



PODSTAWOWE FUNKCJE WSPÓŁCZESNEJ SZKLANEJ FASADY W ASPEKCIE ZAGADNIEŃ FIZYKI BUDOWLI

THE BASIC FUNCTIONS OF THE CONTEMPORARY GLASS FACADE. BUILDING PHYSICS

Miłosz Raczyński

Dr inż. arch.

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

STRESZCZENIE

Rola, jaką pełni współczesna szklana fasada w procesie zapewnienia zysków ciepła, ochrony przed jego stratami, dostarczeniem odpowiedniego oświetlenia, redukcji hałasu i innych zależności wynikających wprost z fizyki budowli, potwierdza dobitnie ścisły związek pomiędzy doбором konkretnych rozwiązań technicznych a końcowym efektem wizualnym obiektu.

Słowa kluczowe: architektura, forma, materiał, szklana fasada, fizyka budowli.

ABSTRACT

The role the contemporary glass facade plays in the process of assurance of i.a. heat gains, protection against heat loss, provision of adequate lighting, noise reduction and the other complexities arising directly from the building physics, clearly confirms close relationship between the selection of specific technical solutions and the final visual effect of an object.

Keywords: architecture, form, material, glass facade, building physics.

1. WSTĘP

Od niepamiętnych czasów, jednym z podstawowych zadań fasady, była ochrona budynku przed stratami ciepła. W przeszłości działania ograniczały się na ogół do kształtowania budynków w sposób, który miał temu zapobiegać. Efektem była zwarta bryła z małymi otworami okiennymi. Dopiero w architekturze modernistycznej pojawiły się bryły bardziej rozczłonkowane ze znacznie większymi przeszkleniami. W tym wypadku, kwestie związane z bilansem energetycznym nie miały istotnego znaczenia, a główną rolę odgrywały czynniki funkcjonalne i estetyczne. Stosunkowo szybko jednak postępujący rozwój technologii i systemów termoizolacyjnych, pozwalających na coraz większą redukcję strat ciepła i możliwość regulacji innych procesów związanych z fizyką budowli, objął swoim zakresem również przegrody przepuszczające światło¹.

2. BILANS ENERGETYCZNY

Przełomem w procesie zastosowania szkła w architekturze na szeroką skalę, okazała się możliwość pozyskiwania ciepła z promieniowania słonecznego, przenikającego do wnętrza budynku. Uwzględnienie tego składnika w bilansie energetycznym budynku zmieniło w znaczącym stopniu rolę przegród przepuszczających światło i otworzyło nowe perspektywy ich rozwoju stając się jednym z najbardziej obiecujących sposobów wykorzystania niekonwencjonalnych źródeł energii². Energia słoneczna stała się jednym z decydujących czynników w procesie kształtowania architektury, a możliwość jej pozyskiwania przez przegrody przezroczyste wzmogła zainteresowanie ścianami przeszklonymi i stała się jednym z argumentów ich szerokiego wykorzystania³. Modyfikacje przegród spowodowały zmiany w preferencjach projektowych w tym zakresie, a to z kolei nie pozostało bez wpływu na sposób myślenia o architekturze współczesnej.

Obecnie dąży się do uzyskania korzystnego bilansu cieplnego, działając dwukierunkowo: osiągając maksymalne zyski termiczne z promieniowania słonecznego, oraz minimalizując straty ciepłe z wnętrza budynku. Optymalny przepływ energii, przy danej funkcji i lokalizacji obiektu, powinien zapewniać możliwie najkorzystniejszy bilans energetyczny budynku oraz komfort fizyczny wewnątrz. Pod tym kątem należy rozpatrywać współczesne, przeszklone przegrody zewnętrzne, a wymienione cechy, wg wielu projektantów, powinny ukierunkowywać ich rozwój w przyszłości.

2.1. Przenikanie energii cieplnej przez przegrodę zewnętrzną

Współcześnie przegrody przepuszczają energię w różnym stopniu i różnej postaci. Za najbardziej energetycznie aktywne uważa się te, przez które energia przepływa najintensywniej. Spośród wielu stosowanych systemów i rodzajów przegród przepuszczających światło, najszerze zastosowania zdobyły przegrody przezroczyste, w szczególności te wykonane ze szkła. Przegrody te mają zdolność do przepuszczania energii występującej pod wieloma postaciami a możliwość ingerencji w proces jej przepływu sprawia, że są one bardziej elastyczne pod tym względem od innych⁴.

Należy zdawać sobie sprawę, że proces przenikania promieniowania cieplnego przez przegrody jest złożony i zależy od bardzo wielu czynników. Po dotarciu do przegrody szklanej część promieni ulega odbiciu (refleksji) i powraca do środowiska zewnętrznego. Druga część przenika do masy szkła i ulega pochłonięciu (absorpcji). Jest ona tym więk-

¹ Artykuł opracowano w oparciu o badania naukowe stanowiące kontynuację rozprawy doktorskiej 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 Szymiski.

² Wołoszyn M.: *Wykorzystanie energii słonecznej w budownictwie jednorodzinym*, Warszawa 1991r. Str.3.

³ Celadyn W.: *Przegrody przeszklone w architekturze energooszczędnej*, Kraków 2004r. Str. 20-22.

⁴ Op. cit oraz Wigginton Michael: *Glass in architecture*. Wyd. Phaidon 1996r. Str 12.

sza im ciemniejsze jest szkło. Trzecia część przedostaje się przez masę materiału i dociera do wnętrza. Po przeniknięciu do wnętrza jest ona absorbowana przez materiały wewnętrzne pomieszczenia podnosząc w ten sposób temperaturę powietrza⁵.

2.2. Wpływ konstrukcji na bilans cieplny

Wpływ na energooszczędność przeszklonej przegrody ma nie tylko rodzaj zastosowanego szkła. Szklane fasady to konstrukcje składające się z kilku do kilkunastu materiałów, ze względu na konieczność nadania im odpowiednich parametrów wytrzymałościowych oraz zapewnienia odpowiedniej szczelności fasady. Temu służą profile konstrukcyjne wykonywane przeważnie ze stali, aluminium, drewna lub z tworzyw sztucznych. Biorąc pod uwagę podział elewacji, przegrody złożone z mniejszych elementów przeszklonych powodują większe straty ciepła i są mniej korzystne w porównaniu z przegrodami o większych powierzchniach przeszklenia⁶.

W zależności więc od rodzaju zastosowanego systemu, proporcje powierzchni ramiaków, słupków, rygli a także powierzchniowych elewacyjnych elementów wypełniających są zróżnicowane. Przyjmuje się, że gdy te nieczynne energetycznie powierzchnie stanowią więcej niż 40% całej powierzchni fasady przeszklonej, nie uwzględnia się zysków energetycznych z promieniowania słonecznego. Warunek ten ma wpływ na wygląd fasad, bowiem przy zwielokrotnionym podziale i zastosowaniu szerokich elementów konstrukcyjnych, może dojść do niekorzystnego bilansu cieplnego budynku⁷.

3. OŚWIETLENIE NATURALNE

Od zawsze stosowanie przeszkleń w elewacji związane było z potrzebą naturalnego oświetlenia wnętrza budynku a także umożliwieniem kontaktu wizualnego ze światem zewnętrznym. To kolejny, równie istotny czynnik wpływający na rodzaj i kształt przegrody zewnętrznej, ściśle powiązany z wytycznymi odnoszącymi się do procesu przepływu i regulacji energii cieplnej⁸.

Oświetlenie naturalne powinno być zapewnione dzięki przegrodom przeszklonym, przynajmniej w ilości podanej przez obowiązujące normy i warunki techniczne. Z uwagi jednak na potrzeby funkcjonalne i charakter transparentnych budynków, potrzeby dotyczące oświetlenia naturalnego są z reguły znacznie większe i dotyczą nie tylko ilości, ale przede wszystkim jakości oświetlenia wewnątrz. Obowiązujące w projektowaniu warunki techniczne podają minimalną wielkość przeszkleń w stosunku do powierzchni doświetlanych pomieszczeń. Nie uwzględniają one jednak rodzaju zastosowanego szkła, mającego istotny wpływ na ilość przepuszczanego przez nie światła dziennego, którego część zostaje odbita a część pochłonięta.

Duża różnorodność w przepuszczalności światła przez współcześnie stosowane przegrody przeszklone wymaga dużej wiedzy i świadomości przy wyborze konkretnego materiału w celu zapewnienia właściwego doświetlenia wnętrza obiektu a jednocześnie ochrony przedmiotów znajdujących się wewnątrz⁹.

⁵ Celadyn W.: *Przegrody przeszklone ... op.cit.*. Str. 27-28.

⁶ Na podstawie:

Bródka J., Łubiński M. *Lekkie konstrukcje stalowe*. Wyd. Arkady, W-wa 1971r.

Żółtowski W., Łubiński M. *Konstrukcje metalowe*. Wyd. Arkady, W-wa 2003r.

Schuco: *Aluminium – Fenstersysteme*. 2005r.

⁷ Celadyn Wacław: *Przegrody przeszklone ... op.cit.*. Str. 53.

⁸ Wołoszyn M.: *Wykorzystanie energii słonecznej w budownictwie ... op.cit.*. Str. 47.

⁹ Button D., Pye B.: *Glass In Building, A Guide to Modern Architectural Glass Performance*. Oxford 1993r. Str.102.

3.1. Intensyfikacja przepuszczalności światła

Maksymalne przepuszczanie światła dziennego zapewniają systemy, w których zastosowane szkło redukuje promieniowanie widzialne w minimalnym stopniu, czyli szkło bezbarwne i białe o niewielkich grubościach. Obecność wszelkiego rodzaju powłok refleksyjnych czy też niskoemisyjnych, dodatkowo zmniejsza przepuszczalność światła. Środki powszechnie stosowane w celu ograniczenia ilości promieniowania słonecznego z reguły ograniczają niestety przepuszczanie światła dziennego. Konflikt ten jest najlepiej rozwiązywany przy pomocy regulowanych urządzeń wspomagających. Systemy szyb zespolonych nowej generacji, wykorzystujące folie antykonwekcyjne z powłokami specjalnymi, pozwalają na selekcję składników promieniowania słonecznego, redukując przepuszczalność promieni podczerwonych w stopniu znacznie większym niż promieniowanie widzialne.

Przeszkodą dla promieni światła są również elementy konstrukcyjne systemów. Im szersze i głębsze profile ramiaków i innych elementów konstrukcji przegrody tym większe ograniczenie ilości światła. Przy gęstych podziałach przegrody i znaczącej liczbie profili o dużej głębokości znaczenia nabiera również ich kolor. Profile jasne pochłaniają mniejsze ilości światła i odbijają je w kierunku światła, poprawiając intensywność oświetlenia.

3.2. Redukcja przepuszczalności światła

Strategia ograniczania ilości światła jest rzadką przyjmowaną opcją przez projektantów gdyż jest sprzeczna z ideą zastosowania przeszkleń w budynkach. Bywa czasem jednak uzasadniona czy wręcz konieczna. Zazwyczaj jednak stosuje się okresowe ograniczanie przepuszczania światła przez system. Służą temu najlepiej urządzenia wspomagające o takiej funkcji jak żaluzje, rolety (Ryc1-4), zasłony itp. Ilość światła redukują z zasady wszystkie te systemy przeszkleń, których zadaniem jest redukcja przenikania promieniowania słonecznego.



Ryc.1. Budynek Fundacji Cartiera, Paryż. Arch. Jean Nouvel. Widok żaluzji na elewacji. Źródło: www.lightningfield.com

Fondation Cartier
Fig.1. Fondation Cartier, Paris. Arch. Jean Nouvel. View blinds on the facade. Source: www.lightningfield.com



Ryc.2. Budynek Fundacji Cartiera, Paryż. Arch. Jean Nouvel. Widok od strony ulicy. Źródło: www.galinsky.com

Fig.12. Fondation Cartier, Paris. Arch. Jean Nouvel. View from the street.. Source: www.galinsky.com



Ryc.3. Siedziba PLL LOT, Warszawa. Arch. Kuryłowicz & Associates. Żaluzje na elewacji. Źródło: Mat. własne. Fot. M. Mateńko.

Fig3. Seat of PLL LOT, Warsaw. Arch. Kuryłowicz & Associates. Blinds on the façade. Source: own materials Phot. M. Mateńko.



Ryc.4. Siedziba PLL LOT, Warszawa. Arch. Kuryłowicz & Associates. Widok. Źródło: www.budimex.com.pl

Fig4. Seat of PLL LOT, Warsaw. Arch. Kuryłowicz & Associates. View. Source: own materials Phot. M. Mateńko.

3.3. Równomierność oświetlenia

Równomierny rozkład światła dziennego w pomieszczeniach jest zależny m. in. od warunków nasłonecznienia przegrody. Przy intensywnej insolacji powstają duże różnice w natężeniu światła w różnych miejscach wnętrza wynikające z prostoliniowego rozchodzenia się promieni świetlnych. Szkło zwykle nie powoduje istotnej zmiany w kierunku ich przebiegu. Znacznie korzystniej zachowują się w tym przypadku przegrody przeświecające, wykonane ze szkła o właściwościach rozpraszających (Ryc.5-8). Stosuje się wówczas materiał o strukturach lub fakturach rozpraszająco - odbijających, folie o podobnych cechach fizycznych połączonych z taflami szkła bądź szkło termochromowe podobnych właściwościach takie jak stosuje się przy redukowaniu zysków ciepła¹⁰.



Ryc.5. Muzeum Sztuki Współczesnej, Bregenz, Austria. Arch. Peter Zumthor Wnętrze parteru. Źródło: www.archiweb.cz

Fig.5. Museum of Contemporary Art, Bregenz, Austria. Arch. Peter Zumthor The interior of the ground floor. Source: www.archiweb.cz



Ryc.6. Muzeum Sztuki Współczesnej, Bregenz, Austria. Arch. Peter Zumthor Zewnętrzna warstwa szklenia. Źródło: www.archiweb.cz

Fig.6. Museum of Contemporary Art, Bregenz, Austria. Arch. Peter Zumthor The outer layer of glazing. Source: www.archiweb.cz



Ryc.7. Centrum tańca Laban Londyn. Arch. Herzog & de Mauron. Widok wnętrza. Źródło: *Detail*, nr 7/8 2003r.

Fig.7. Laban Creekside London. Arch. Herzog & de Mauron. View of the interior. Source: *Detail*, no 7/8 2003r.



Ryc.8. Centrum tańca Laban Londyn. Arch. Herzog & de Mauron. Fragment elewacji. Źródło: www.0111.com

Fig.8. Laban Creekside London. Arch. Herzog & de Mauron. Detail of the facade. Source: www.0111.com

4. SYSTEMY WSPOMAGANIA ENERGETYCZNEGO

Przegrody przeszklone cechują się parametrami technicznymi, które niestety pod wieloma względami są niekorzystne. Takie zjawiska jak zbyt małe lub nadmierne zyski ciepła, straty ciepła spowodowane parciem wiatru, a także nadmierna emisja promieniowania termicznego to cechy niepożądane. Niemożliwa jest również poprawa ich parametrów energetycznych w ramach zastosowanego już rozwiązania. Istnieją jednak sposoby podniesieniach efektywności energetycznej przegród przeszklonych przy pomocy innych, współpracujących systemów. Odnosi się to do wszystkich rozważanych form energii: cieplnej, światła dziennego, ruchu powietrza, energii akustycznej. Systemy wspomagające, współpracują z przegrodami przeszklonymi, pozostając z nimi w różnej relacji przestrzennej. Zlokalizowane bywają zarówno po stronie zewnętrznej, a także wewnątrz przegród lub po stronie wewnętrznej. Nie ulega wątpliwości, że istotnie decydują wyglądzie zewnętrznym obiektu.

¹⁰ Na podstawie:

Celadyn W.: *Przegrody przeszklone ... op.cit.*, Str. 138.

Lisik A.: *Inteligentne struktury architektoniczne*. „Zeszyty Naukowe. Politechnika Śląska”, nr 27, 1996r.

Wehle-Strzelecka S.: *Szkło w architekturze słonecznej. Współczesne rozwiązania*. „Świat szkła” nr 09(100)/2006r. Str. 32-37.

5. OSŁONY PRZECIWSŁONECZNE

Z powodu intensywnej penetracji promieni słonecznych do wnętrza budynku, okresowo niekorzystnie kształtuje się jego bilans cieplny w wyniku powstania efektu szklarniowego i nadmiernego wzrostu temperatury w pomieszczeniach. Ochrona przed słońcem to jeden z podstawowych problemów, z jakim borykają się projektanci obiektów transparentnych. Sposoby, czy też próby ograniczania nadmiaru promieni słonecznych przedostających się do wnętrza budynków, wymuszają stosowane różnego rodzaju zabezpieczeń w formie nadruków na szkłe (Ryc.9-12), jego barwienia, matowienia, zastosowania specjalnego szkła redukującego transmisję promieniowania słonecznego a także rozwiązań bardziej radykalnych, zastosowania osłon przeciwsłonecznych w formie żaluzji, rolet, łamaczy światła a nawet metalowych siatek i elementów stalowych (Ryc.13-16). Wszystkie te środki zapobiegawcze można stosować w różnych kombinacjach. Jest to więc kolejny element mający istotny wpływ na wygląd i formę budynku. Urządzenia ochronne tego rodzaju powinny zapewniać redukcję bądź eliminację promieniowania bezpośredniego w celu ograniczenia ilości energii cieplnej, pozyskiwanej przez przegrody przeszklone. Stosuje się, umieszczając przed przegrodą (na zewnątrz), wewnątrz niej lub wewnątrz pomieszczenia.



Ryc.9. Mediateka w Sendai, Japonia. Arch. Toyo Ito. Nadruki na elewacji frontowej. Źródło: www.galinsky.com.

Fig.9. Sendai Mediatheque, Japan. Arch. Toyo Ito. Printing on the front elevation. Source: www.galinsky.com.



Ryc.10. Mediateka w Sendai, Japonia. Arch. Toyo Ito. Fragment elewacji frontowej. Źródło: *Architectural Design* Nr 5". 2001r.

Fig.10. Sendai Mediatheque, Japan. Arch. Toyo Ito. Detail of the facade. Source: *Architectural Design* No 5. 2001r.



Ryc.11. Kunstmuseum w Stuttgarcie, Niemcy. Arch. Werner Sobek. Wnętrze z widocznymi nadrukami na szkłe. Źródło: www.hascherjehle.de

Fig.11. Kunstmuseum Stuttgart, Germany. Arch. Werner Sobek. Wnętrze z widocznymi nadrukami na szkłe. Source: www.hascherjehle.de



Ryc.12. Kunstmuseum w Stuttgarcie, Niemcy. Arch. Werner Sobek. Fragment elewacji. Źródło: www.hascherjehle.de

Fig.12. Kunstmuseum Stuttgart, Germany. Arch. Werner Sobek. Detail of the facade. Source: www.hascherjehle.de

Osłony umieszczone przed przegrodą są najkorzystniejsze gdyż w sposób znaczący zmniejszają zyski cieplne. Ich efektywność wynika z faktu, że gdy promienie słoneczne napotykają na powierzchnię nieprzenikalną dla nich, zostaną od niej odbite, pochłonięte przez nią lub częściowo przenikną w stronę przegrody przeszklonej. Jest to zależne od parametrów fizyczno-technicznych zastosowanych osłon.

Powstaje jednak problem sprawności technicznej osłon ze względu na intensywne oddziaływanie czynników klimatycznych. Te trudności determinują, w niektórych przypadkach, umieszczanie osłon przeciw słonecznych po stronie wewnętrznej przegrody lub wewnątrz jej przestrzennej struktury. Dochodzi wówczas do znaczącego wzrostu temperatury powierzchni ograniczających tą przestrzeń. Wewnętrzna część przegrody emituje w kierunku wnętrza pomieszczenia energię cieplną powodując wzrost temperatury powietrza - wskazane jest, a wręcz konieczne, zapewnienie jego wymiany. Umieszczenie osło-

ny za przegrodą, wewnątrz budynku, jest najmniej korzystne, gdyż promieniowanie słoneczne bez przeszkód przenika do jego wnętrza.



Ryc.13. Francuska Biblioteka Narodowa, Paryż. Arch. Dominique Perrault. Fragment metalowej siatki zawieszony przed oknami. Źródło: *Detail*, nr 2/1999r.

Fig.13 National Library of France, Paris.. Arch. Dominique Perrault. A fragment of a metal grid suspended in front of windows. Source: *Detail*, no 2/1999r.



Ryc.14. Francuska Biblioteka Narodowa, Paryż. Metalowe ruszty na elewacji. Źródło: www.unimaas.nl/publicati/e2000pub4bnf.htm

Fig.14. National Library of France, Paris.. Arch. Dominique Perrault. Metal grates on the façade. Source: www.unimaas.nl/publicati/e2000pub4bnf.htm



Ryc.15. Mediateka w Venissieux Francja. Arch. Dominique Perrault. Metalowe panele wewnątrz tafli szkła. Źródło: *El Croquis*, nr 104/2001r.

Fig.15. Mediatheque in Venissieux, France. Arch. Dominique Perrault. Metal panels inside the glass panes. Source: *El Croquis*, no 104/2001r.



Ryc.16. Mediateka w Venissieux Francja. Arch. Dominique Perrault. Fragment elewacji. Źródło: *El Croquis*, nr 104/2001r.

Fig.16. Mediatheque in Venissieux, France. Arch. Dominique Perrault. Detail of the façade. Source: *El Croquis*, no 104/2001r.

Należy jednocześnie pamiętać, że osłony służące ograniczaniu dostępu promieniowania słonecznego bezpośrednio do przegród, w różnym stopniu zależnym od ich konstrukcji, redukują jednocześnie ilość promieniowania rozproszonego docierającego do wnętrza budynku. Dlatego też współczesne osłony przeciw słoneczne są konstruowane w taki sposób, aby mogły pełnić podwójną rolę – ochrony przed promieniami słonecznymi i jednocześnie urządzenia regulującego w optymalny sposób oświetlenie dzienne we wnętrzach przylegających do przeszklonej przegrody.

Najkorzystniejsze pod tym względem są osłony o poziomej pozycji przestrzennej, a także systemy regulowane. Do takich należą w szczególności systemy ruchome, które mogą być sterowane w sposób zsynchronizowany z ruchem słońca. Niektóre systemy osłon chroniących przed promieniowaniem słonecznym pozwalają dodatkowo na pozyskiwanie z nich energii dzięki zastosowaniu w nich elementów fotowoltaicznych (ogniw), przetwarzających energię promieniowania słonecznego w elektryczną¹¹.

¹¹ Na podstawie: Celadyn W.: *Przegrody przeszklone ... op.cit.*. Str. 64.

Lessing J.: *Ochrona przed słońcem i właściwości niskoemisyjne w atrakcyjnym kolorze*. „Świat szkła” nr 10(101)/2006r. Str. 58.

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

Schmidt K.: *Ochrona przed słońcem*. „Świat szkła” nr 08(104)/2007r. Str.38-40.

Ibidem. Str.38-40.

6. AKUSTYKA

Ze względu na swoją strukturę i cechy fizyczne, przegrody szklane są z reguły systemami niekorzystnymi pod względem akustycznym. Płaskie i gładkie powierzchnie szkła odbijają fale dźwiękowe, skierowując je często w nieodpowiednich kierunkach, co dodatkowo zwiększa niepożądane efekty akustyczne. Energia akustyczna potrafi dodatkowo wprawiać cienkie i sztywne tafle szkła w drgania, generując po drugiej stronie fale dźwiękowe pogarszające komfort pomieszczeń. Izolacyjność akustyczna przegród przeszklonych zależy od wielu czynników. Zgodnie z tak zwanym prawem masy pogrubienie szkła powoduje wzrost izolacyjności akustycznej. Niekorzystnym z kolei rozwiązaniem są systemy symetryczne o tej samej grubości zastosowanych szyb gdyż wpadają one w rezonans jednocześnie¹².

Rozwiązaniem optymalnym pod względem akustycznym jest zróżnicowanie grubości oraz zastosowanie szyb klejonych bądź zespolonych wypełnionych materiałami tłumiącymi dźwięki takie jak szkła z żelem i gąbką akrylową.

Równie istotnym jest sposób zamocowania tafli szklanych. Szyby uchwycone elastycznymi uszczelkami w ramiakach, tłumią dźwięki w znacznie większym stopniu niż w zamocowaniu sztywnym¹³.

Ochrona budynków przed hałasem polega na redukowaniu energii akustycznej poprzez obniżanie natężenia fal dźwiękowych. Efekt ten osiąga się poprzez rozpraszanie energii akustycznej, które uniemożliwia nadmierny wzrost ciśnienia akustycznego w danej przestrzeni, oraz tłumienie fal dźwiękowych polegające na pochłanianiu energii akustycznej przez materiał przegrody. Podstawowym warunkiem dla utrzymania odpowiednich parametrów akustycznych, jest więc szczelność fasady. Paradoksalnie współczesne fasady szklane stanowią bardzo często element systemu wentylacji budynku. Jednym z podstawowych problemów jest więc osłabienie fal dźwiękowych wnikaających do wnętrza wraz z powietrzem wentylacyjnym.

Podnoszenie izolacyjności akustycznej przegród szklanych wydaje się być uzasadnione jedynie w szczególnych przypadkach, a przegrody szczelne, pozbawione funkcji wentylacyjnych wydają się być rozwiązaniem kompromisowym. Należy raczej skupić się nad właściwą orientacją fasad przeszklonych pod względem relacji przestrzennej przegród w stosunku do lokalizacji źródeł dźwięku. Nierównoległe ustawienie fasad względem siebie jest rozwiązaniem akustycznie korzystnym, gdyż fale dźwiękowe są wtedy odbijane od ich powierzchni w kierunku przestrzeni otwartej na zewnątrz takiego układu¹⁴.

Istotny jest też, oparty na zasadach geometrycznych, sposób podziału przegród zewnętrznych na szereg przeszklonych pól ze względu na odmienne zachowanie się ich pod względem akustycznym. Pola prostokątne o proporcjach wydłużonych reagują na ciśnienie akustyczne w sposób bardziej korzystny, tłumiąc fale dźwiękowe w stopniu większym niż tafle szkła o proporcjach zbliżonych do kwadratu

Ważną rolę odgrywa także wielkość powierzchni tafli szklanych. Pola przeszklone o mniejszych powierzchniach cechują się większą izolacyjnością akustyczną niż tafle o rozmiarach większych¹⁵. Nie jest to jednak związane z zależnością wprost proporcjonalną.

7. WNIOSKI

Bez wątpienia rola, jaką zaczęła spełniać współczesna szklana fasada spowodowała jedną z najbardziej przełomowych zmian w rozwiązaniach technicznych i materiałowych,

¹² Iżewska A.: *Właściwości akustyczne ścian zewnętrznych i okien*. „Świat szkła” nr 02(105)/2007r. Str.36-39.

¹³ Celadyn W.: *Przegrody przeszklone ... op.cit.* Str. 143.

¹⁴ Celadyn W.: *Przegrody przeszklone ... op.cit.* Str. 41.

¹⁵ *Ibidem*. Str. 54

a w konsekwencji estetycznych i wizualnych obserwowanych w tzw. współczesnej architekturze transparentnej. O wyglądzie zewnętrznym budynków coraz częściej decyduje konieczność stosowania rozwiązań związanych z ochroną przed promieniowaniem słonecznym. W wielu przypadkach, powstaje konieczność stosowania różnych metod ograniczających dostęp promieni słonecznych przedostających się do wnętrza budynku. Ich fizyczna obecność zdaje się niejednokrotnie zaprzeczać idei lekkości i niematerialności przezroczystej formy. Zdarza się również tak, że umiejętne zastosowanie odpowiednich rozwiązań stanowi dopełnienie specyfiki formy będąc uzupełnieniem pierwotnych założeń projektowych.

THE BASIC FUNCTIONS OF THE CONTEMPORARY GLASS FACADE. BUILDING PHYSICS

1. INTRODUCTION

Since time immemorial, one of the basic tasks of the facade, has been to protect the building against heat losses. In the past, the activities were generally limited to shaping the buildings in a way that the heat losses were prevented. As a result, there was a compact mass of the building with small window openings. More fragmented masses with much larger glazing came to existence only in the contemporary architecture. In this case, the questions related to energy balance were not significant, and the functional and aesthetic factors played the main role. However, relatively quickly, the progressive development of technologies and thermal insulation systems, allowing for bigger and bigger reduction in heat losses and possible regulation of other processes related to the physics building, also covered the light-permeable barriers¹⁶.

2. ENERGY BALANCE

The real breakthrough for the extensive use of glass in architecture was the possibility to obtain heat from solar radiation, permeating into the building interior. Consideration of this component in the energy balance of the building has significantly changed the role of light-permeable barriers and opened new perspectives of development becoming one of the most up-and-coming alternative sources of energy¹⁷. Solar energy has become one of the deciding factors in the development of so-called transparent architecture and the possibility to obtain solar energy through transparent barriers has increased the interest in glass walls and become one of the arguments to use it on a large scale¹⁸. Modifications of barriers triggered off changes in the design preferences in this area, and this in turn had an impact on the way of thinking about contemporary architecture.

At present we strive at obtaining beneficial heat balance, acting in two directions; acquiring maximum thermal gains from solar radiation and minimizing heat losses from the interior of the building. The optimal flow of energy, with particular function and location of the object, shall ensure possibly the most beneficial energy balance of the building and the physical comfort inside. Contemporary, glazed exterior barriers shall be

¹⁶ The article was elaborated based on scientific studies that follow 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 Szymiski PhD. Eng. of Architecture.

¹⁷ Wołoszyn M.: *Wykorzystanie energii słonecznej w budownictwie jednorodzinym*, Warszawa 1991. Page 3.

¹⁸ Celadyn W.: *Przegrody przeszklone w architekturze energooszczędnej*, Kraków 2004. Pages. 20-22

considered in this respect and the presented features, shall direct their development in the future, according to many designers.

2.1. Permeation of heat energy through the exterior barrier.

Contemporary barriers permeate energy to different extent and form. The most energy-active barriers are considered those through which energy flows the most intensively. Of many applied systems and types of light-permeable barriers, the transparent barriers, in particular those made of glass, have been used the most extensively. These barriers have the ability to permeate energy existing in many forms and the possibility of interference in the process of its flow makes it that they are more elastic in this respect from the others¹⁹.

We need to bear in mind that the process of permeation of solar energy through the barriers is complex and depends on a lot of factors. Having reached the glass barrier some rays are reflected and comes back to the external environment. Some other rays permeate into the mass of glass and are absorbed. Having permeated into the interior it is absorbed by the materials. Still other rays get through the mass of material and reach the interior²⁰.

2.2. Influence of the construction on the heat balance.

Energy efficiency of the glazed barrier is not influenced only by the type of applied glass. Glass facades are the constructions consisting of several or several dozen materials, due to the fact it is necessary to give them proper strength parameters and ensure proper tightness of the facade. Construction profiles, mainly made of steel, aluminum, wood or plastics are used for this purpose. Taking into consideration the division of facades, the barriers made of smaller glazed elements cause bigger heat losses and they are less profitable in comparison to the barriers with bigger glazed surfaces²¹.

Thus, depending on the type of the applied system, the proportions of frame, pillar, cross-bar surfaces as well as filling facade surface elements are diversified. It is assumed that when these energy non-active surfaces account for more than 40% of the whole glazed facade, the energy gains from solar radiation are not taken into consideration. This condition has an influence on the appearance of facades since with its multiple division and application of wide construction elements, the building heating balance may be unfavorable, as a result of the fact that heat gains were not taken into consideration²².

3. NATURAL LIGHT

The application of glazing in the facades has always been related with the need to provide natural light inside the building and also with visual contact with the external world. This is another, equally important factor that has an influence on the type and shape of the external barrier, closely related with the guidelines referring to the process of flow and regulation of heating energy²³.

¹⁹ Wigginton Michael: *Glass in architecture*. Wyd. Phaidon 1996r. Page12.

²⁰ Celadyn W.: *Przegrody przeszklone ... op.cit.* Pages 27-28.

²¹ On the basis of:

Bródka J., Łubiński M. *Lekkie konstrukcje stalowe*. Wyd. Arkady, W-wa 1971.

Żółtowski W., Łubiński M. *Konstrukcje metalowe*. Wyd. Arkady, W-wa 2003.

Schuco: *Aluminium – Fenstersysteme*. 2005.

²² Celadyn Wacław: *Przegrody przeszklone ... op.cit.* Page 53.

²³ Wołoszyn M.: *Wykorzystanie energii słonecznej w budownictwie ... op.cit.* Page 47.

Natural light shall be ensured, thanks to the glazed barriers, at least in the amount provided by the binding norms and technical conditions. However, due to the functional needs and character of transparent buildings, the needs regarding natural light are, as a rule, much bigger and concern not only the amount, but most of all, the quality of the interior light. Technical conditions applicable in designs provide a minimum size of glazing in relation to the area of the rooms into which light is provided. However, they do not take into consideration the type of the applied glass, having an important influence on the amount of the permeated daylight, part of which is reflected and part of which is absorbed.

A big diversity in permeability of light through the glazed barriers, applied as of the present day requires extensive knowledge and awareness when it comes to the selection of a particular material in order to provide adequate light inside the building and protection of the interior objects at the same time²⁴.

3.1. Insensitivity of light permeability.

Maximum permeability of daylight is provided by the systems, in which the applied glass reduces visible radiation at minimum degree, i.e. the taintless and white glass with the minimum thickness. The presence of all kinds of reflexive or low-emission layers additionally reduces light permeability. Unfortunately, the means commonly used to reduce the amount of solar radiation generally reduce the permeability of daylight. This conflict is best solved with help of regulated auxiliary devices. The systems of combined panes of new generation that use anti-convection films with infrared special layers allow to select components of solar radiation reducing permeability of infrared rays to a much bigger degree than visible radiation. The obstacle for the light rays are also the system construction elements. The wider and deeper the frame profiles and the other elements of barrier construction the bigger limit of light amount. With thick barrier divisions and considerable amount of profiles of big depth their color also becomes important. Bright profiles absorb less amounts of light and reflect them towards the light, improving light intensity.

3.2. Reduction of light permeability.

The strategy to limit the amount of light is rarely accepted by designers as it is contrary to the idea of applying glazing in the buildings. However, it is sometimes justified or even necessary. However, periodical limit of light permeability by the system is most frequently used. This is best served by auxiliary devices such as blinds (Fig.1-4), shades, etc. Basically the amount of light is reduced by the glazing systems, the task of which is to reduce permeability of solar radiation.

3.3. Uniformity of light.

Uniform distribution of daylight in the rooms is dependent mainly on the conditions of barrier insolation. With intense insolation there are big differences in light intensity at various places inside the room. This results from rectilinear propagation of light rays. Simple glass does not cause a significant change in their course direction. Translucent barriers, made of glass with diverging features, behave much more preferably in this case (Fig.5-8). Then we apply the material with diverging-reflective structures or textures, films with similar physical characteristics combined with glass panes or thermochromic glass with similar properties, as used in reduction of heat gain²⁵.

²⁴ Button D., Pye B.: *Glass In Building, A Guide to Modern Architectural Glass Performance*. Oxford 1993r. Page 102.

²⁵ On the basis of:

4. ENERGY AUXILIARY SYSTEMS.

Glazed barriers are characterized by technical parameters, which, unfortunately, in many ways are unfavorable. Such phenomena as too little or excessive heat gains, heat losses caused by wind pressure and the excessive emission of thermal radiation are undesirable features. It is also impossible to improve their energy parameters within the solution that has already been used. However, there are ways to improve energy efficiency of the glazed barriers with help of other auxiliary systems. This applies to all considered forms of energy: heat, daylight, air movement, acoustic energy. The auxiliary systems, cooperate with glazed barriers, remaining in different spatial relationships. They are located both outside, inside the barriers or inside the buildings. There is no doubt that they significantly determine the appearance of an object.

5. SOLAR SHIELDS.

Due to the intense penetration of the sunlight into the building, for some period of time the heat balance of the building is unfavorably shaped as a result of the creation of the greenhouse effect and excessive temperature rise in the room. Protection against the sun is one of the major problems faced by designers of transparent objects. The ways or attempts to limit the excessive sunlight entering the interior of buildings, force the application of various types of protection in the form of glass prints (Fig.9-12), glass coloring, matting, application of special glass reducing transmission of solar radiation as well as more radical solutions, use of sun protection in the form of blinds, shades, light breakers and metal mesh and steel components (Fig.13-16). All these preventive measures can be used in various combinations. So, it is yet another element that has a significant impact on the appearance and form of a building. Protective devices of this kind should provide a reduction or elimination of direct radiation to reduce the amount of heat energy absorbed by glazed barriers. They are placed in front of the barrier (outside), inside it or inside the room.

The shields placed in front of the barrier are the most favorable since they significantly reduce heat gains. Their effectiveness results from the fact that when the sunlight faces the impermeable surface, it will be reflected, absorbed by it or it will partially penetrate towards the glazed barrier. It depends on the physical and technical parameters of the applied shields.

However, due to heavy influence of climatic factors there is a problem of technical efficiency of shields. These difficulties determine, in some cases, the location of solar shields inside the barrier or inside its spatial structure. It leads to a significant increase of temperature of the surfaces limiting this space. The interior part of the barrier emits heat energy towards the interior of the room causing increase of the air temperature - it is desirable, and even necessary, to provide its exchange. Locating a shield behind the barrier inside the building, is the least favorable because solar radiation penetrates into it freely.

It should also be remembered that the shields served to limit the access of solar radiation directly to the barriers, the degree of which depends on their construction, reduce at the same time the amount of scattered radiation that reaches the interior of the building. Therefore, modern solar shields are constructed in such a way that they have a dual function - protection against the sun and optimal adjustment of daylight inside the rooms adjacent to the glazed barrier.

In this regard, the most favorable shields are the shields with horizontal spatial position, and also the adjusting systems. They include, in particular, moving systems which can be

Celadyn W.: *Przegrody przeszklone ... op.cit.*. Page 138.

Lisik A.: *Inteligentne struktury architektoniczne*. „Zeszyty Naukowe. Politechnika Śląska”, no.27, 1996.

Wehle-Strzelecka S.: *Szkló w architekturze słonecznej. Współczesne rozwiązania*. „Świat szkła” no. 09(100)/2006. Pages 32-37.

controlled in a manner synchronized with the movement of the sun. Some systems of the shields protecting against the solar radiation also allow to obtain solar energy thanks to the application of photovoltaic elements (cells) converting solar energy into electricity²⁶.

6. ACOUSTICS.

Due to their structure and physical features, the glazed barriers are generally unfavorable systems in terms of acoustics. Flat and smooth glass surfaces reflect sound waves often directing them in unsuitable directions, which, in addition, increase the undesirable acoustics effects. The acoustics energy can also make thin and rigid sheets of glass vibrate, generating the sound waves on the other side that decreases comfort in the rooms. Acoustic insulation of the glazed barriers depends on many factors. According to the so-called principle of mass, thickening of the glass causes an increase in acoustic insulation. On the other hand, symmetrical systems of the same pane thickness are an unfavorable solution since they resonate simultaneously²⁷.

The optimal solution in terms of acoustics is the variation of thickness and the application of glued or combined panes filled with muffling materials such as glass with gel and acrylic foam²⁸.

Protection of buildings against noise relies in reduction of acoustic energy by reducing the intensity of sound waves. This effect is achieved by scattering acoustic energy, which prevents from the excessive increase of acoustic pressure in the space, and suppressing sound waves that involved the absorption of acoustic energy by the barrier material. So, the basic condition for the maintenance of adequate acoustic parameters is tightness of the facade. Paradoxically, modern glass facades are very often part of the building ventilation system. Thus, one of the main problems is to weaken the sound waves that penetrate into the interior together with the ventilation air.

Improvement of the insulation in the glazed barriers seems to be justified only in exceptional cases, and tight barriers lacking ventilation functions seem to be a compromise. Instead, we should focus on the proper orientation of the glazed facades in terms of spatial barrier relation with respect to the location of sound sources. Non-parallel setting of the facades in relation to each other is a solution that is favorable in terms of acoustics, because the sound waves are then reflected from the surface towards the open space outside this system²⁹.

A way of dividing the external barriers into a number of glazed fields based on the principles of geometry is important on account of their different behavior in terms of acoustics. Rectangular fields with longer proportions react to acoustic pressure in a more favorable way, suppressing the sound waves to a greater degree than the glass panes with the proportions close to the square.

An important role is also played by the size of the surface of the glass panes. Glazed fields with smaller areas are characterized by a bigger acoustic insulation than larger panels³⁰. However, this is not related with the directly proportional dependency.

²⁶ On the basis of:

Celadyn W.: *Przegrody przeszklone ... op.cit.*. Page 64.

Lessing J.: *Ochrona przed słońcem i właściwości niskoemisyjne w atrakcyjnym kolorze*. „Świat szkła” nr 10(101)/2006r. Page 58.

Polijaniuk A.: *Systemowe rozwiązania ochrony przeciwsłonecznej*. „Świat szkła” no. 11(102)/2006r. Pages 24-25. Schmidt K.: *Ochrona przed słońcem*. „Świat szkła” nr 08(104)/2007. Pages 38-40.

Ibidem. Pages 38-40.

²⁷ Iżewska A.: *Właściwości akustyczne ścian zewnętrznych i okien*. „Świat szkła” no. 02(105)/2007. Pag. 36-39.

²⁸ Celadyn W.: *Przegrody przeszklone ... op.cit.* Page 143.

²⁹ Celadyn W.: *Przegrody przeszklone ... op.cit.* Page 41.

³⁰ *Ibidem*. Page 54.

7. CONCLUSIONS.

Without a doubt, the new functions of the modern glazed facade consequently led to one of the most crucial changes in technical and thus aesthetic solutions observed in the so-called contemporary transparent architecture. As far as the buildings are concerned, their appearance is frequently determined by necessity to apply solutions related to sunlight protection. In many cases, it becomes necessary to apply different methods limiting penetration of sunlight into the building. Their physical presence often seems to contradict the idea of lightness and non-materiality of transparent form. It also happens that skillful application of appropriate solutions constitutes a completion of specific form supplementing the original design assumptions.

BIBLIOGRAFIA

- [1] Bródka J., Łubiński M. Lekkie konstrukcje stalowe. Wyd. Arkady, W-wa 1971r.
- [2] Button D., Pye B.: Glass In Building, A Guide to Modern Architectural Glass Performance. Oxford 1993r..
- [3] Celadyn W.: Przegrody przeszklone w architekturze energooszczędnej. Kraków 2004r..
- [4] Iżewska A.: Właściwości akustyczne ścian zewnętrznych i okien. „Świat szkła” nr 02(105)/2007r..
- [5] Lessing J.: Ochrona przed słońcem i właściwości niskoemisyjne w atrakcyjnym kolorze. „Świat szkła” nr 10(101)/2006r..
- [6] Lisik A.: Inteligentne struktury architektoniczne. „Zeszyty Naukowe. Politechnika Śląska”, nr 27, 1996r..
- [7] Polijaniuk A.: Systemowe rozwiązania ochrony przeciwsłonecznej. „Świat szkła” nr 11(102)/2006r. Str. 24-25.
- [8] Schmidt K.: Ochrona przed słońcem. „Świat szkła” nr 08(104)/2007r..
- [9] Schuco: Aluminium – Fenstersysteme. 2005r.
- [10] Wehle-Strzelecka S.: Szkło w architekturze słonecznej. Współczesne rozwiązania. „Świat szkła” nr 09(100)/2006r.
- [11] Wigginton Michael: Glass in architecture. Wyd. Phaidon 1996r..
- [12] Wołoszyn M.: Wykorzystanie energii słonecznej w budownictwie jednorodzinym. Warszawa 1991r..
- [13] Żółtowski W., Łubiński M. Konstrukcje metalowe. Wyd. Arkady, W-wa 2003r.

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.