

W POSZUKIWANIU CIĄGŁOŚCI IDEI PROSTOPADŁOŚCIENNEJ FORMY. SZKLANA FASADA. UWARUNKOWANIA TECHNICZNE I MATERIAŁOWE. CZĘŚĆ CZWARTA¹.

IN SEARCH OF THE IDEA OF CONTINUITY OF THE CUBOIDAL FORM. TECHNICAL AND MATERIAL CONDITIONS. PART FOUR.

Miłosz Raczyński

Dr inż. arch.

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

STRESZCZENIE

Odkrywanie coraz nowszych możliwości technicznych konstrukcji fasadowych, a także właściwości mechanicznych szkła i związane z tym różnorodne jego zastosowanie, pozwala na coraz szersze użycie tego materiału we współczesnej architekturze. W trakcie procesu projektowego pojawia się jednak szereg problemów i zależności technicznych, które nie występowały dotychczas lub też nie były dostrzegane wcześniej w potocznie rozumianym budownictwie tradycyjnym.

Słowa kluczowe: architektura, forma, przestrzeń, materiał.

ABSTRAKT

Discovering newer and newer technical possibilities of the facade constructions, as well as mechanical properties of glass and the associated diverse glass application, allows for the increasing use of this material in modern architecture. However, during the design process, there is a number of technical problems and relations that have not yet been present or have not been noticed before in the commonly understood traditional construction.

Key words: architecture, form, space, material.

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 Szymski. Stanowi także kontynuację trzech pierwszych części pod tytułami: *W poszukiwaniu ciągłości idei prostopadłościennej formy. Zarys historyczny. Część pierwsza i druga* - opublikowanych odpowiednio w PiF nr 13 i 14 /2010 oraz *W poszukiwaniu ciągłości idei prostopadłościennej formy. Uwarunkowania techniczne i materiałowe. Część trzecia* - opublikowanych w PiF nr 16/2012.

1. SZKLANA FASADA

Oczywistym wydaje się fakt, że jednym z głównych elementów, który wpływa na postrzeganie obiektu w otaczającej go przestrzeni, jest jego fasada. Była ona, jest i zapewne nadal będzie nieodzowną cechą budynków. Ponieważ jednak współczesne życie publiczne, zaczęło skrywać się w ich wnętrzach, diametralnie zmieniła się jej rola. Stała się ona bardziej wieloznaczna w procesie percepcji otaczającej nas przestrzeni, będąc nie tylko zewnętrznym obrazem obiektu, lecz także stanowiąc o jego faktycznym wizerunku poprzez ukazywanie zawartości jego wnętrza.

Bariera fasady nie jest już równoznaczna z podziałem pomiędzy istotą a pozorem. Pojęcie fasady jako skóry nie jest zatem interesujące dla współczesnej architektury. Teraz sama istota jest równoznaczna ze skórą – elastyczną i sprężystą powłoką, którą można rzucić tak łatwo, jak zrzuca skórę wąż ... taka agresywna ingerencja w granicę pomiędzy wnętrzem a zewnątrz... To niejako daremność konwencjonalnej hierarchii architektonicznej, która dyktuje, że najpierw należy projektować formę budynku, potem elewacje a dopiero na końcu detale².

Lekkość i ażurowość współczesnych konstrukcji pozwala wznosić budowle o coraz większych rozpiętościach i wysokościach, przy użyciu mniejszej ilości materii. Belki i słupy zastępowane są przez ciężkie dachy przez konstrukcje namiotowe masywne stropy i ściany przez szklane płaszczyzny. Wybór konkretnej technologii szklenia fasady pociąga za sobą problemy z wiązane ze statyką konstrukcji, jej typem, ograniczeniami rozpiętości, technicznymi możliwościami zamocowania itp. W zależności od dokonanego wyboru konstrukcji, jej rozmiarów i ekonomiki stosowania skazani jesteśmy na ograniczenia związane z możliwościami jej zastosowania w konkretnych przypadkach. Wybór danego rozwiązania konstrukcyjnego ma z kolei istotny wpływ na estetykę i percepcję danego obiektu.

Obecne systemy szklenia dają prawie nieograniczone możliwości tworzenia i kształtowania przestrzeni³. Firmy opracowują coraz to nowsze systemy szklenia, nieustannie poszerzając swój asortyment, gotowe są przyjąć każde nowe zadanie. Na pytanie, jakie funkcje musi spełniać dobra fasada, jeden ze znanych architektów niemieckich Günter Behnisch odpowiedział: *Funkcji jest wiele i są one rozmaite. Fasada jest powiązaniem pomiędzy wewnętrzną i zewnętrzną strefą klimatyczną. Reprezentuje ona budynek od zewnątrz, w przestrzeni publicznej jak i od wewnątrz, do strony klienta. To jak on określa siebie, ma swoje konsekwencje we wnętrzu, bowiem użyte materiały przekazują istotne informacje o niej samej⁴.*

Dostępne obecnie możliwości tworzenia lekkich, przeszklonych struktur pozwalają na wykorzystanie szklanych powłok również jako nośników, służących generowaniu obrazów i przepływowi informacji w sferze otaczającej nas rzeczywistości multimedialnej. Wywołują u obserwatora poczucie głębi plastycznej, której stosowane do tej pory ściany osłonowe nigdy nie dawały.

2. KONSTRUKCJE FASADOWE

Spośród wszystkich systemów szklenia, które niejednokrotnie się wzajemnie przenikają, tworząc najróżniejsze hybrydy, można wyróżnić kilka, podstawowe, systemów konstrukcyjnych fasad szklanych⁵.

² Berkel B., Bos C.: *Niepoprawni wizjonerzy*. Seria „Biblioteka Architekta”. Wydawnictwo Murator. Warszawa 2000r.

³ Rybak A.: *Przegląd techniczny-szklane fasady*. „Architektura-murator”, nr 08/1999r. Str. 95-98.

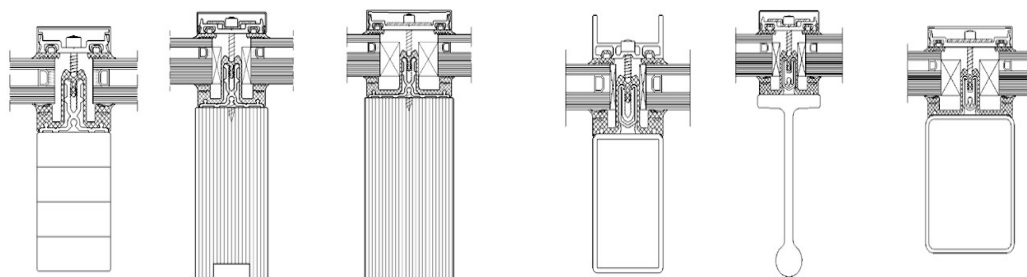
⁴ Behnisch G: „Detail” nr 7 1998 okt/nov. Str.1149.

⁵ Zaproponowany przeze mnie podział systemów konstrukcji fasadowych jest wynikiem studiów i obserwacji obiektów w oparciu o dostępną literaturę fachową i materiały techniczne. Najwcześniej stosowane systemy szklenia tj. system słupowo-ryglowy czy strukturalny dwu i czterostronny, są dość klarowne i łatwe do sklasyfi-

2.1. SYSTEM SŁUPOWO – RYGLOWY.

Podstawową i najczęściej stosowaną konstrukcją fasadową jest układ słupowo-ryglowy. W tym sposobie mocowania szkła na elewacji budynku z reguły wyraźnie zaznaczają się profile konstrukcyjne, mając istotny wpływ na estetykę budynku. Najczęściej stosowane są profile aluminiowe, stalowe i drewniane⁶ (ryc.1, 2). Wielu projektantów wykorzystuje jednak te podziały oraz funkcję nośną słupów i rygli do wzbogacenia elewacji. Przy mniejszych powierzchniach podziały te z reguły nie stanowią problemu. Są one z powodzeniem stosowane od wielu lat w małych kubaturach, a od powrotu konstrukcji szkieletowej w budownictwie w pierwszej połowie XX wieku, również w dużych realizacjach⁷.

Na szeroką skalę szklane elewacje w tym systemie konstrukcji zostało wprowadzone przez Waltera Gropiusa, czego przykładem może być budynek szkoły w Dessau oraz projekt Crown Hall, autorstwa Miesa van der Rohe. Szkieletowa konstrukcja ramowa słupów i rygli, wykonanych z kształtowników stalowych, jest wyeksponowana i nadaje niepowtarzalny charakter bryle a wypełniające ją płaszczyzny szkła potęgują wrażenie ich ażurowości i lekkości.



Ryc. 1. Przekroje profili (słupy) drewnianych. Źródło: www.raico.de

Fig. 1. Cross-section of wooden profiles (pillars). Source: www.raico.de

Ryc. 2. Przekroje profili (słupy) stalowych i aluminiowych. Źródło: www.raico.de

Fig. 2. Cross-section of steel and aluminum profiles (pillars). Source: www.raico.de

Zastosowanie tego systemu pozwala na różne, często zupełnie odmienne podejścia do projektowanych elewacji. Mies van der Rohe w projekcie Seagram Building (ryc.3) przeszklął całą wysokość piętra. Pozwoliło to uzyskać naprzemienny układ poziomo ułożonych pasów szerokich i wąskich z nieznacznym podziałem wertykalnym na całej długości fasady. Natomiast Pietro Belluschi w budynku Equitable Savings i Loan Building (ryc. 4, 5), zastosował również przeszklenie na całej wysokości piętra, ale zachował podział wynikający z układu konstrukcji szkieletu budynku. Dodatkowo zastosował osobny podział wewnątrz powstałych pól⁸.

Można więc stosować szklenie na wysokość całego piętra lub stosować podziały w polach wynikających ze szkieletu budynku, uzyskując zupełnie odmienne efekty estetyczne, pomimo zastosowania technicznie jednakowych rozwiązań konstrukcyjnych. Wiele zależy od rozwiązań konstrukcji a przede wszystkim od indywidualnego podejścia projektanta⁹.

kowania. W przeciwieństwie do nich, większą trudność sprawiają systemy bardziej zaawansowane i nowsze technologicznie, głównie przez mnogość stosowanych rozwiązań tj. system żeber szklanych, system sworzniowy klejony, czy sworzniowy śrubowany, który bardzo często wyodrębnia się jako punktowy. Na potrzeby niniejszej pracy pozwoliłem sobie sklasyfikować systemy przede wszystkim pod względem sposobu mocowania i łączenia elementów szklanych z konstrukcją nośną, przypisując im decydujący wpływ na końcowy efekt i wygląd szklanej fasady budynku. Często wymiennie stosowane rozwiązania zaczerpnięte z różnych systemów utrudnia ich klasyfikację, a próby ich usystematyzowania przypominają badania nad żywym organizmem, w którym wszystko nieustannie się zmienia i rozwija.

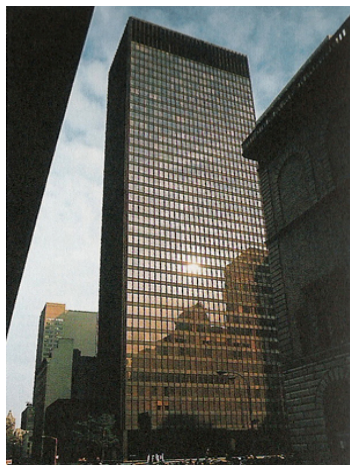
⁶ Żółtowski W., Łubiński M. *Konstrukcje metalowe*. Wyd. Arkady, W-wa 2003r.; Schuco: *Aluminium – Fenstersysteme*. 2005r.

⁷ Patrzykont R.: *Szklana fasada na miarę trzeciego tysiąclecia*. www.press-glas.com.pl.

⁸ Rogers R.: *Architecture, a Modern View*. Londyn, 1991r.

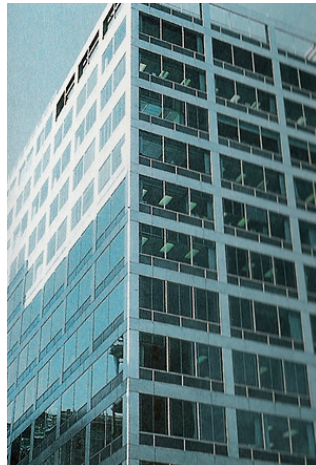
Stawińska J.: *Architektura high-tech – próba charakterystyki*. „Architektus”, 1998r. Str.53.

⁹ Davies C.: *Michael Hopkins and Partners, Building and Projects*. „Phaidon Press”. Londyn 1993r.



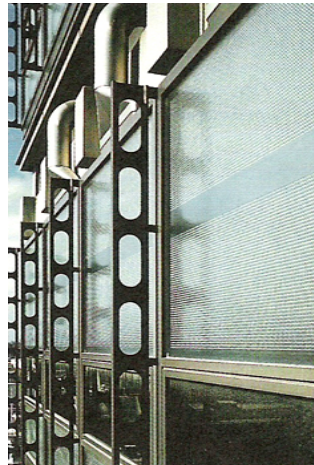
Ryc. 3. Seagram Building, New York, USA. M. van der Rohe. Źródło: Wigginton Michael: *Glass in architecture*. Wyd. Phaidon 1996r.

Fig. 3. Seagram Building, New York, USA. M. van der Rohe. Source: Wigginton Michael: *Glass in architecture*. Phaidon Press 1996r.



Ryc. 4. Equitable Savings and Loan Building, Portland, USA. Pietro Belluschi. Źródło: Wigginton Michael: *Glass in architecture*. Wyd. Phaidon 1996r.

Fig. 4. Equitable Savings and Loan Building, Portland, USA. Pietro Belluschi. Source: Wigginton Michael: *Glass in architecture*. Phaidon Press 1996r.



Ryc. 5. Lloyd's Building, Londyn, Anglia. Richard, Rogers Partnership. Widok fasady. Źródło: Wigginton Michael: *Glass in architecture*. Wyd. Phaidon 1996r.

Fig. 5. Lloyd's Building, Londyn, Anglia. Richard, Rogers Partnership. View of the facade. Source: Wigginton Michael: *Glass in architecture*. Phaidon Press 1996r.

W budynku Lloyd'a w Londynie architekci zamierzyli wyeksponować konstrukcję, funkcję oraz całą infrastrukturę budynku. Słupowo-ryglowy system szklenia uzupełnił to założenie a dodatkowe uwydatnienie konstrukcji okien zagęścić miało podziały elewacji i zapobiec powstaniu dużych gładkich powierzchni. W przypadku tego budynku należy również wspomnieć o efekcie trójwymiarowości fasad słupowo-ryglowych, które pozwalają wykorzystać działanie światła dziennego, wywołującego na ich płaszczyznach dodatkowe efekty odbłasków oraz wyraziste rzucanie cienia przez użytą konstrukcję. Potęguje to wrażenie większej plastyczności budynku. Dodatkowo zastosowano słupy z kształtowników, w których zostały wycięte otwory dla zmniejszenia ciężaru konstrukcji i zwiększenia efektu wizualnego ścian zewnętrznych¹⁰.

Ten system konstrukcyjny, używany jest głównie do budowania ścian osłonowych, za którymi kryją się właściwe funkcje i niezależne podziały poszczególnych kondygnacji. Zwany jest też szkleniem kurtynowym¹¹. Przykładem jego zastosowania jest budynek Chemical Center (ryc. 6-8).

Konstrukcja słupowo-ryglowa jest znakomita do tego rodzaju fasad wielko powierzchniowych, ze względu na samonośność profili, przenoszących obciążenia główne oraz parcie wiatru dzięki dodatkowemu połączeniu konstrukcji elewacji z konstrukcją budynku. Nie wymaga to jednak skomplikowanych rozwiązań inżynierskich. Fasada zakrywa strukturę budynku i wynikające z niej podziały mogące wystąpić na elewacji, pozostawiając dość dużą swobodę jej kreacji dla architekta¹². System ten pozwala przykrywać duże powierzchnie a poszczególne elementy są łatwe w montażu i transporcie. Ich produkcja nie wymaga zaawansowanych technologii, co sprawia również zmniejszenie kosztów realizacji¹³.

¹⁰ Wigginton M.: *Glass in architecture*. Wyd. Phaidon 1996r. Str.150.

¹¹ Bródka J., Łubiński M. *Lekkie konstrukcje stalowe*. Wyd. Arkady, W-wa 1971r.

¹² Wigginton M.: *Glass in architecture*. Wyd. Phaidon 1996r. Str.156.

¹³ www.metalplast.pl



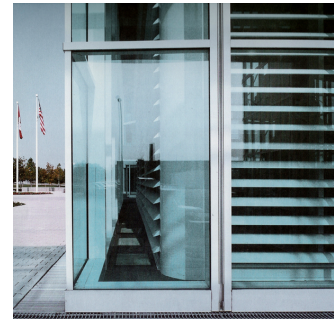
Ryc. 6. Hooker Chemical Building, Niagara Falls, USA. Cannon Design. Źródło: Wigginton Michael: *Glass in architecture*. Wyd. Phaidon 1996r.

Fig. 6. Hooker Chemical Building, Niagara Falls, USA. Cannon Design. Source: Wigginton Michael: *Glass in architecture*. Phaidon Press 1996r.



Ryc. 7. Hooker Chemical Building, Niagara Falls, USA. Cannon Design. Źródło: Wigginton Michael: *Glass in architecture*. Wyd. Phaidon 1996r.

Fig. 7. Hooker Chemical Building, Niagara Falls, USA. Cannon Design. Source: Wigginton Michael: *Glass in architecture*. Phaidon Press 1996r.



Ryc. 8. Elewacja Hooker Chemical Building. Źródło: Wigginton Michael: *Glass in architecture*. Wyd. Phaidon 1996r.

Fig. 8. Elevation of Hooker Chemical Building. Source: Wigginton Michael: *Glass in architecture*. Phaidon Press 1996r.

Możliwa jest duża różnorodność w słupowo-ryglowym systemie szklenia budynku, co pozwala na dobór odpowiedniego wariantu przez projektanta¹⁴. Podstawową różnicą i wyznacznikiem jest jednak sposób połączenia szyby ze szkieletem. Jest ona mocowana w ramie, podobnie jak powszechnie stosowane okna. Taki zestaw następnie jest mocowany do słupów i rygli, bądź też samo obramowanie spełnia tę funkcję. Istnieje możliwość stosowania samych słupów bądź rygli na określonych obszarach powierzchni, podział fasady będzie nadal widoczny, lecz podkreślał będzie tylko jeden z kierunków poziomy lub pionowy, w zależności od rodzaju zastosowanych profili nośnych. Istnieje również możliwość wykonania konstrukcji słupów bądź rygli niezależnie od przeszklenia, wówczas zestawy okien zostaną do nich osobno zamocowane. Daje to efekt pozornego ukrycia konstrukcji nośnej¹⁵.

2.2. SYSTEM STRUKTURALNY

Chcąc stworzyć wrażenie całkowicie oszklonej bryły budynku stosuje się systemy szklenia strukturalnego, który cieszy się coraz większą popularnością wśród architektów. System ten zapewnia tworzenie jednolitych płaszczyzn szklanych poprzez dopasowanie do siebie poszczególnych połączeń szkła tak, że swoimi krawędziami praktycznie stykają się ze sobą. Krawędź stykowa jest minimalnie widoczna, ponieważ pomiędzy nimi na ogół znajduje się uszczelka lub warstwa silikonu. Nie zakłóca to jednak zbytnio wrażenia jednolitości i ażurowości powstałej przy zastosowaniu tego systemu przegrody szklanej¹⁶. Mocowanie polega na przyklejeniu dwóch lub czterech stron tafli szkła do konstrukcji, używając do tego konstrukcyjnego kleju silikonowego. Montaż szyb odbywać się może też przy pomocy specjalnych sworzni mocowanych do szyb również przy pomocy silikonu lub śrub. Silikon jest też wykorzystywany przy klejeniu konstrukcyjnych żeber szklanych. Pod względem rozwiązań konstrukcyjnych rozróżnia się pięć podstawowych typów szklenia strukturalnego: system czterostronny; system dwustronny; system sworzniowy klejony; system sworzniowy śrubowany; system żeber szklanych¹⁷ (ryc. 8-10).

¹⁴ Żółtowski W., Cwyl M.: *Metody inżynierskich obliczeń konstrukcji ze stopów aluminiowych na bazie konstrukcji fasad słupowo – ryglowych*. Murator Plus, W-wa 2003r.

¹⁵ www.metalplast.pl

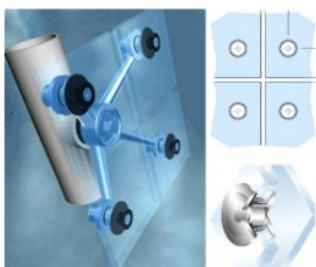
¹⁶ Socha E. *Systemy szklenia strukturalnego*. „Architektura - Murator” nr 6(33)/1997r. Str.89-90.

¹⁷ Patrzykont Robert.: *Szklana fasada na miarę trzeciego tysiąclecia*. www.press-glas.com.pl.

System czterostronny charakteryzuje się tym, że wszystkie cztery boki szklanego panelu elewacyjnego są przyklejone do ramy aluminiowej a występujące obciążenia statyczne i dynamiczne są przenoszone na konstrukcję nośną wyłącznie, przez uszyty do mocowania szyb, konstrukcyjny klej silikonowy. Daje to efekt zupełnie gładkości konstrukcji niezakłóconej mechanicznymi łącznikami czy sworzniami. System ten można stosować nawet w wysokich budynkach¹⁸.

System dwustronny jest podobny do czterostronnego systemu szklenia, ale w tym wypadku dwa boki zestawu szybowego są klejone do aluminiowej ramy konstrukcyjnej, natomiast pozostałe dwa mocowane są mechanicznie. Obciążenia statyczne w tym systemie są przenoszone na konstrukcję nośną tylko przez połączenia mechaniczne (np. ramy), natomiast obciążenia dynamiczne są przenoszone zarówno przez połączenia silikonowe, jak i mechaniczne.

System sworzniowy, klejony jest kolejnym sposobem zamocowania tafli szklanej do konstrukcji nośnej budynku. Jest system mocowania punktowego, polegający na mocowaniu szyb za pośrednictwem elementów stalowych, łączących oszklenie z konstrukcją nośną ściany.



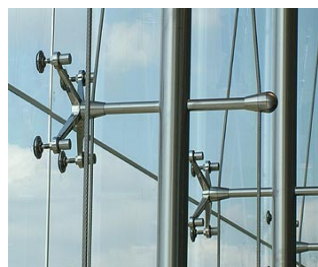
Ryc. 8. System strukturalny, sworzniowy (uchwyt typu plannar wall). Źródło: www.faraone.it

Fig. 8. The structural system bolting (planar wall mount bracket). Source: www.faraone.it



Ryc. 9. System strukturalny, sworzniowy (uchwyt typu plannar wall). Źródło: www.faraone.it

Fig. 9. The structural system bolting (planar wall mount bracket). Source: www.faraone.it



Ryc. 10. System strukturalny, sworzniowy (uchwyt typu plannar wall). Źródło: www.faraone.it

Fig. 10. The structural system bolting (planar wall mount bracket). Source: www.faraone.it

Tafle szkła są mocowane mechanicznie do konstrukcji nośnej budynku za pomocą specjalnych sworzni wprowadzonych w oszklenie przez odpowiednio zaprojektowane otwory. W tym systemie wewnętrzna szyba elewacji jest przytwierdzona do konstrukcji nośnej fasady za pomocą metalowego sworznia, a zewnętrzna przyklejona na obwodzie silikonem konstrukcyjnym. Sworznie działa jako wspornik mechaniczny mocujący panel elewacyjny do konstrukcji nośnej połączonej za szkieletem budynku. System ten pozwala na stworzenie elewacji budynku jako jednolitej, niezakłóconej z zewnątrz elementami konstrukcyjnymi, płaszczyzny szklanej. W systemie tym nie występuje bezpośredni kontakt szkła i metalu, zapobiega temu zastosowanie odpowiednich uszczelek.

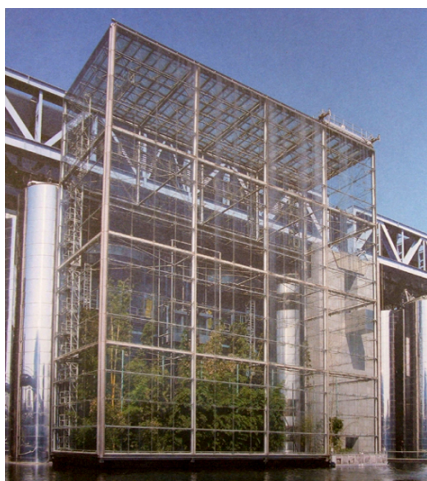
W systemie tym zestaw szybowy jest mocowany do specjalnego sworzni przyklejonego bezpośrednio do tafli szkła. Nie wymaga, więc stosowania ram aluminiowych. Przeważnie sworznie nie są też bezpośrednio mocowane do słupów, rygli bądź to konstrukcji budynku, lecz na tak zwanym pająku, czyli układzie lin stalowych przenoszącym obciążenia. Dopiero one łączą się z właściwą konstrukcją budynku. Do klejenia, podobnie jak w poprzednich systemach, stosuje konstrukcyjny klej silikonowy. Ponieważ powierzchnia klejenia jest znacznie mniejsza niż przy mocowaniu na dwóch czy czterech bokach, dlatego nie stosuje się tego systemu w przypadku szklanych fasad o dużych wysokościach. Nie ma natomiast przeciwwskazań do przeszklenia dużych powierzchni. Z uwagi na to, że nie ma konieczności wykonywania konstrukcji słupów i rygli w tym systemie, często

¹⁸ Wigginton M.: *Glass in architecture*. Wyd. Phaidon 1996r.

zastępuje się je ażurową „siecią” cięgien konstrukcyjnych. Umożliwia to uzyskanie wizualnej lekkości fasady oraz ułatwia penetrację wnętrza obiektu z zewnątrz¹⁹.

System ten i jego możliwości wykorzystali m.in. Rice Francis Ritchie w Parc de la Villette w Paryżu (ryc. 11-14). Tafle szkła o wymiarach 2m x 2m mocowane są w narożach przy pomocy specjalnie zaprojektowanych sworzni. Całość jest zawieszona na systemie lin stalowych połączonych z konstrukcją obiektu, na którą składa się złożony z sześciątów szkielet. Na połączeniu szyb zastosowano silikon uszczelniający, który zarazem usztywnia jak i pomaga w przenoszeniu obciążeń.

Użyte sworznie w kształcie litery „H” są ledwo dostrzegalne podobnie jak miejsca styku szklanych tafli, dlatego fasada sprawia wrażenie, jednorodnej szklanej powierzchni. Całość jest niezwykle transparentna, lekka konstrukcja nośna wydaje się być praktycznie niezauważalna. Patrząc od wewnątrz ma się wrażenie zupełnej przezroczystości przegrody sprawiającej wrażenie zawieszzonej w powietrzu²⁰.



Ryc. 11. Glass Walls – ‘Les serres’ w Paryżu, Francja. A. Fainsiber i Rice Francis Richie. Widok od zewnątrz. Źródło: Wigginton Michael: *Glass in architecture*. Wyd. Phaidon 1996r.

Fig. 11. Glass Walls – ‘Les serres’ in Paris, France. A. Fainsiber i Rice Francis Richie. View from outside. Source: Wigginton Michael: *Glass in architecture*. Phaidon Press 1996r.



Ryc. 12. Glass Walls – ‘Les serres’ w Paryżu, Francja. A. Fainsiber i Rice Francis Richie. Widok z wnętrza. Źródło: Wigginton Michael: *Glass in architecture*. Wyd. Phaidon 1996r.

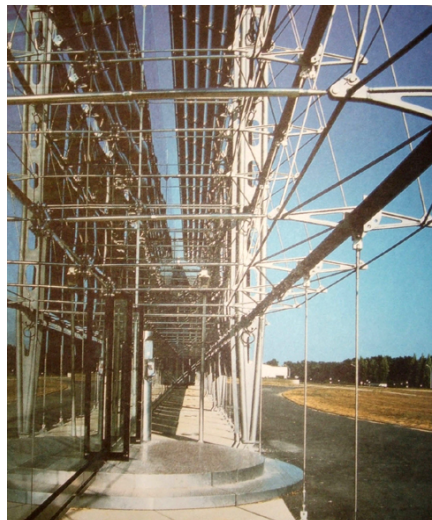
Fig. 12. Glass Walls – ‘Les serres’ in Paris, France. A. Fainsiber i Rice Francis Richie. View from inside. Source: Wigginton Michael: *Glass in architecture*. Phaidon Press 1996r.

System sworzniowy śrubowany opiera się na podobnie opracowanych sworzniach, co w systemie sworzniowym klejonym. Sworznie te jednak są zamocowane do szyby poprzez śruby przechodzące przez szybę na zewnątrz fasady. Nie dochodzi jednak do kontaktu szkła z metalem, zapobiega temu specjalna uszczelka. Ta sama grupa projektantów Rice Francis Ritchie wraz z Odile Decq i Benoit Cornette zaprojektowała budynek Banque Populaire L’ouest w Montgermont, Rennes we Francji. Twórcy wykorzystali doświadczenie zdobyte w poprzednich realizacjach. Tym razem posłużyli się sworzniem w kształcie litery X. Szczególne w tym obiekcie jest mocowanie szyb zespolonych systemem sworzni śrubowanych. Jest to pierwszy obiekt, w którym wykorzystano ten system z zastosowaniem szyb zespolonych. Do utrzymania elewacji o wysokości 8m postawiono specjalną konstrukcję. Nie włączano jej jednak do przegrody szklanej ani do wnętrza budynku, lecz pozostawiono ją na zewnątrz. Stworzyło to niezwykle plastyczną fasadę

¹⁹ Na podstawie: Żółtowski W., Kwaśniewski L., Cwyl M.: *Modelowanie i analiza połączeń punktowych*. „Świat szkła” nr 10(101)/2006r. Str. 22-24.; Czupkiewicz M.: *Podstawy projektowania przeszkleń mocowanych punktowo*. „Świat szkła” nr 7-8(109)/2007r. Str.28-29.; Patrzykont Robert.: *Szklana fasada na miarę trzeciego tysiąclecia*. www.press-glas.com.pl.

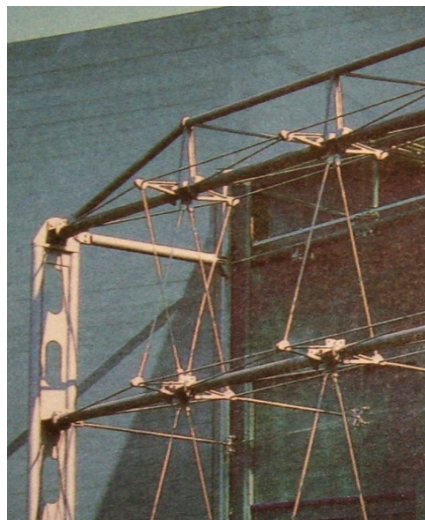
²⁰ Wigginton M.: *Glass in architecture*. Wyd. Phaidon 1996r. Str.172.

zaczynającą wewnątrz i powierzchnię szkła strukturalnego. Sworznie są połączone bezpośrednio z linami stalowymi gr. 25mm a następnie z siecią cieńszych lin. Poszczególne słupy odsunięte od ściany szklanej na odległość 2m połączone są ze sobą, by umożliwić mocowanie sworzni. Od wewnątrz fasada tworzy niemal gładką ścianę, w której odbija się wewnątrz i miesza z cieniami rzucanymi przez zewnętrzną konstrukcję. Nowatorskie jest wyeksponowanie konstrukcji na zewnątrz, a pozostawienie gładkiej ściany strukturalnej we wnętrzu²¹.



Ryc. 13. Banque Populaire L'ouest w Montgermont, Francja. Odile Decq i Benoit Cornette. Widok zewnętrzny fasady. Źródło: Wigginton Michael: *Glass in architecture*. Wyd. Phaidon 1996r.

Fig. 13. Banque Populaire L'ouest in Montgermont, France. Odile Decq i Benoit Cornette. Exterior view of the facade. Source: Wigginton Michael: *Glass in architecture*. Phaidon Press 1996r.



Ryc. 14. Banque Populaire L'ouest w Montgermont, Francja. Odile Decq i Benoit Cornette. Widok zewnętrzny fasady. Źródło: Wigginton Michael: *Glass in architecture*. Wyd. Phaidon 1996r.

Fig. 14. Banque Populaire L'ouest in Montgermont, France. Odile Decq i Benoit Cornette. Exterior view of the facade. Source: Wigginton Michael: *Glass in architecture*. Phaidon Press 1996r.

2.3. SYSTEM ŻEBER SZKLANYCH

Ewolucją w zastosowaniu szklenia strukturalnego jest wykonanie szklanej fasady usztywnionej przy pomocy żebier konstrukcyjnych wykonanych ze szkła. Są one mocowane do konstrukcji głównej budynku, natomiast szklana powłoka elewacji mocowana jest do żebier szklanych, klejami konstrukcyjnymi. Elewacje mocuje się też za pomocą sworzni śrubowanych, a żebra szklane wykorzystuje się do połączenia elewacji z konstrukcją nośną budynku²².

Przykładem zastosowania tego systemu szklenia jest fasada budynku Musee D'histoire De La Ville De Luxembourg autorstwa Conny Lentz oraz budynek Faber & Dumas (ryc. 15-17), w którego elewacji zastosowano system sworzniowy śrubowany do połączenia ze sobą poszczególnych tafli szkła. Fasada łączy się z żebierami szklanymi, które pełnią funkcję konstrukcji przenoszącej obciążenia i połączenia szklanego pokrycia z konstrukcją budynku²³.

²¹ Wigginton Michael: *Glass in architecture*. Wyd. Phaidon 1996r. Str. 03.184.

²² Na podstawie: Pollak Z.: *Szko klejone – technologia, właściwości, zastosowanie*. „Świat szkła” nr 03(95)/2006r. Str. 50-53.; *Szko budowlane. Produkty, zastosowanie, montaż. Dane techniczne*. Saint-Gobain. Polfloat, Alsdorf 1996r.; Patrzykont Robert.: *Szklana fasada na miarę trzeciego tysiąclecia*. www.press-glas.com.pl.

²³ Wigginton M.: *Glass in architecture*. Wyd. Phaidon 1996r. Str.110.

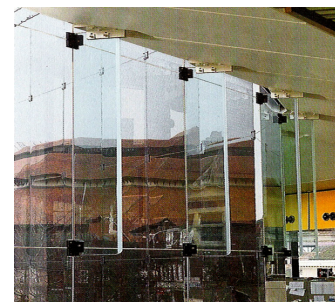
W wyniku zastosowania tego systemu szklenia uzyskuje się w pełni przezroczystą konstrukcję o estetycznym wyglądzie i bez stosowania słupów, rygli czy systemu lin. Spoiny pomiędzy szybami tak jak w pozostałych systemach strukturalnych wypełnione są konstrukcyjnym silikonem uszczelniającym²⁴.



Ryc. 15. Fasada Musee D'histoire De La Ville De Luxembourg. Conny Lentz. Źródło: www.gra-pa.at



Ryc. 16. Fasada Musee D'histoire De La Ville De Luxembourg. Conny Lentz. Źródło: www.gra-pa.at



Ryc. 17. Wills Faber & Dumas Building, Ipswich, Anglia. Foster Associates. Widok od wnętrza. Źródło: Wigginton Michael: *Glass in architecture*. Wyd. Phaidon 1996r.

Fig. 15. Facade of Musee D'histoire De La Ville De Luxembourg. Conny Lentz. Source: www.gra-pa.at

Fig. 16. Facade of Musee D'histoire De La Ville De Luxembourg. Conny Lentz. Source: www.gra-pa.at

Fig. 17. Wills Faber & Dumas Building, Ipswich, England. Foster Associates. View from inside. Source: Wigginton Michael: *Glass in architecture*. Phaidon Press 1996r.

2.4. SYSTEM SZKLANYCH KONSTRUKCJI NOŚNYCH

Podobnie jak w systemie szklenia strukturalnego przy wykorzystaniu żeber szklanych można konstruować obiekty niemal całkowicie transparentne. Całość konstrukcji może być wykonana ze szkła łączonego silikonem i sworzniami śrubowanymi w różnym kształcie blaszek, kątowników itp. W przeciwieństwie do żeber szklanych szkło konstrukcyjne przenosi wszystkie obciążenia i nie istnieje potrzeba mocowania go do żadnej innej konstrukcji.



Ryc. 18. Rommantick Summer pavillon w Burgundii, Francja, arch. Dirck Jan Dostel. Źródło: www.dupont.com



Ryc. 19. Pawilon Technical College For Glas w Rheinbach. Jörg Hieber, Jürgen Marquardt. Źródło: www.workshop-archiv.de



Ryc. 20. Pawilon Technical College For Glas w Rheinbach. Jörg Hieber, Jürgen Marquardt. Źródło: www.workshop-archiv.de

Fig. 18. Rommantick Summer pavillon in Burgundy, France, arch. Dirck Jan Dostel. Source: www.dupont.com

Fig. 19. Pavilion of Technical College For Glas in Rheinbach. Jörg Hieber, Jürgen Marquardt. Source: www.workshop-archiv.de

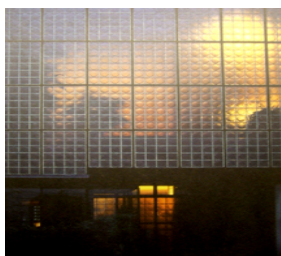
Fig. 20. Pavilion of Technical College For Glas w Rheinbach. Jörg Hieber, Jürgen Marquardt. Source: www.workshop-archiv.de

²⁴Glegola P.: *Szklane belki, słupy i dachy*. "Architektura – Murator" nr 10/1995r. Str. 62-63.

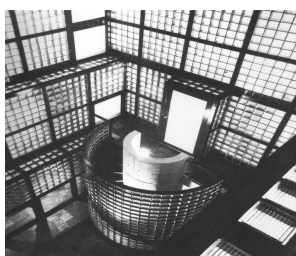
Pawilon Rommantick Summer pavillon w Burgundy, Francja, arch. Dirck Jan Dostel oraz Technical College For Glas w Rheinbach w Niemczech autorstwa Jörg Hieber, Jürgen Marquardt (ryc. 18-20), to przykłady takiej konstrukcji. Osiem szklanych słupów w kształcie prostopadłościanów, współtworzących fasadę, pełni rolę kolumn wspierających konstrukcję dachu o powierzchni ok. 500m², przekazując nacisk na podłoże przy pomocy specjalnych zaprojektowanych stóp. Szklane słupy mają wymiarach 1,25 x 3,70m i wykonane ze specjalnie dobranego szkła. W ten sposób 28 tonowy sprawia wizualnie wrażenie zawieszonoego w powietrzu, unosząc się ponad przestrzenią wystawową²⁵.

2.5. SYSTEM KSZTAŁTEK SZKLANYCH

W przypadku, gdy nie jest pożądane, by przegroda była zupełnie transparentna, poza stosowaniem barwionego szkła, sitodruku, zbrojenia, czy fakturowania, można zastosować również fasady wykonane ze szklanych kształtek. Najbardziej powszechnie stosowane są pustaki szklane, dające możliwość stworzenia izolacji termicznej wypełniając je gazami szlachetnymi, odporne na czynniki mechaniczne, łatwe w montażu i stosunkowo niedrogie. Łączy się je przy pomocy kleju, można je dodatkowo zbroić przy większych powierzchniach, styki można fugować. Kształtki same w sobie tworzą fakturę, często wzbogaconą przez spoinę. W zależności, jaka jest konstrukcja ściany wypełnianej i jaki podział zastosujemy na elewacji, efekty mogą być różne.



Ryc. 21. Maison Dalsace, Maison Verre, Paryż, Francja. Pierre Chareau i Bernard Bijvoet. Elewacja. Źródło: Wigginton Michael: *Glass in architecture*. Wyd. Phaidon 1996r.



Ryc. 22. Ishihara House, Osaka Tadao Ando. Wnętrze. Źródło: Wigginton Michael: *Glass in architecture*. Wyd. Phaidon 1996r.



Ryc. 23. Matsumoto House, Wakayama. Tadao Ando. Elewacja. Źródło: Wigginton Michael: *Glass in architecture*. Wyd. Phaidon 1996r.

Fig. 21. Maison Dalsace, Maison Verre, Pais, France. Pierre Chareau i Bernard Bijvoet. Elewacja. Source: Wigginton Michael: *Glass in architecture*. Phaidon Press 1996r.

Fig. 22. Ishihara House, Osaka Tadao Ando. Interior. Source: Wigginton Michael: *Glass in architecture*. Phaidon Press 1996r.

Fig. 23. Matsumoto House, Wakayama. Tadao Ando. Elevation. Source: Wigginton Michael: *Glass in architecture*. Phaidon Press 1996r.

W Maison Dalsace, Maison Verre, autorstwa Pierre Chareau i Bernard Bijvoet (ryc. 21), pustaki szklane umieszczono na stalowej konstrukcji wzmacniającej²⁶. Tadao Ando zastosował konstrukcję żelbetową wypełnioną pustakami szklanymi w obu przedstawionych projektach domów. W Ishihara House w Osace (ryc. 22) zastosował gęstszy podział natomiast w budynku Matsumoto House w Wakayamie (ryc. 23) pokrył całą ścianę w świetle konstrukcji. Zastosowanie pustaków szklanych daje efekt rozproszonej poświaty wewnątrz pomieszczeń.

²⁵Na podstawie: *Bauen mit Glas*. "Detail 03/2000r. Str.358.; Pollak Z.: *Szkoło klejone – technologia, właściwości, zastosowanie*. „Świat szkła” nr 03(95)/2006r. Str. 50-53.; *Szkoło budowlane. Produkty, zastosowanie, montaż. Dane techniczne*. Saint-Gobain. Polfloat, Alsdorf 1996r.; Glegola P.: *Szklane belki, słupy i dachy*. "Architektura – Murator" nr 10/1995r. Str. 62-63.

²⁶Wigginton M.: *Glass in architecture*. Wyd. Phaidon 1996r. Str. 58.

W ostatnich latach szerokie zastosowanie znalazło także szkło profilowane zbrojone, które może być instalowany pionowo, poziomo, jako przekrycie dachowe lub jako zewnętrzne ściany osłonowe. Wymiary szkła profilowanego zależą od obciążeń klimatycznych i rodzaju wybranego szkła. Architekci mają do czynienia z materiałem o dobrej izolacji cieplnej, wytrzymałym, niedrogim i łatwym w montażu²⁷.

Rola, jaką zaczęła odgrywać współczesna szklana fasada, spowodowała w konsekwencji jedną z najbardziej przełomowych zmian w rozwiązaniach technicznych a tym samym estetycznych obserwowanych we współczesnej architekturze. Cdn.

²⁷ Pilkington: *The international magazine for glass and design*. Pilkington plc 2000-2006r.

IN SEARCH OF THE IDEA OF CONTINUITY OF THE CUBOIDAL FORM. GLASS FACADE. TECHNICAL AND MATERIAL CONDITIONS. PART FOUR²⁸.

1. GLASS FACADE

It is obvious that one of the main elements influencing the perception of an object in the surrounding space, is its facade. It has been, it is, and it will probably continue to be an essential feature of the buildings. However, since the contemporary public life has begun to hide in the interiors of buildings, the role of the facade has completely changed. It has become more ambiguous in the perception of the space that surrounds us, being not only the external image of the object, but also determining its actual image by showing the contents of its interior.

*The barrier of the facade is no longer synonymous with the division between essence and appearance. Thus, the concept of the facade as skin is not interesting for contemporary architecture. Now the essence alone is synonymous with skin - a flexible and resilient coat that can be shed as easily as a snake sheds its skin... such an aggressive interference in the boundary between the interior and exterior... It's somewhat the futility of conventional architectural hierarchy, which dictates that the form of the building shall be de-signed first, followed by the design of elevations and finally the details.*²⁹

Light and delicate modern constructions allow for the erection of increasingly larger and higher structures using smaller amounts of material. Beams and pillars are replaced by connectors, heavy roofs are replaced by tent constructions, and massive ceilings and walls are replaced by glass surfaces. A selection of a specific technology of facade glazing involves problems associated with statics of the structure, its type, limitations on the range, technical possibilities of fixing, etc. Depending on the selection of the structure, its sizes and efficiency of use we are doomed to the limitations related to the possibilities of its application in specific cases. A selection of a particular construction solution has in turn a significant influence on the aesthetics and perception of a particular object.

The present glazing systems give almost unlimited possibilities for creating and shaping of space³⁰. Companies are developing newer and newer glazing systems and by constantly widening its product range they are ready to accept any new task. When asked what functions must be met by a good facade, one of the famous German architects, Günter Behnisch replied: *There are many functions are they are diverse. The facade is a link between the inner and outer climate zone. It represents the building from the outside in public spaces as well as from the inside, towards the client's side. The way the client defines himself, has its consequences in the interior, since the applied materials provide the important information about the facade itself*³¹.

Modern glazing systems give almost unlimited possibilities for creating and shaping of space. Companies are developing newer and newer glazing systems and by constantly widening its product range they are ready to accept any new task. Currently, the possibility to create light, glass structures allow to use glass coatings also as media to generate images and flow of information in the area of the surrounding multimedia

²⁸ 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 Szymiski PhD. Eng. of Architecture. It also constitutes a continuation of the first three parts entitled: In search of the idea of continuity of the cuboidal form. Historical overview. Parts one and two- published respectively in PiF no. 13 and 14/2010 and In search of the idea of continuity of the cuboidal form. Technical materials and conditions. Part Three- Publisher in PiF No.16/2012.

²⁹ Berkel B., Bos C.: Niepoprawni wizjonerzy. Seria „Biblioteka Architekta”. Wydawnictwo Murator. Warszawa 2000r.

³⁰ Rybak A.: *Przegląd techniczny-szklane fasady*. „Architektura-murator”, nr 08/1999r. Page 95-98.

³¹ Behnisch G: „Detail” nr 7 1998 okt/nov. Page 1149.

reality. They give the observer a feeling of plastic depth that the applied covering walls have never given so far.

2. TYPES OF FACADE CONSTRUCTIONS

Of all the glazing systems that repeatedly penetrate into one another creating all kinds of hybrids, we can distinguish a few basic construction systems of glass facades³².

2.1. MULLION AND TRANSOM SYSTEM

The basic and most commonly used facade construction is the mullion and transom system. In this way of fixing glass, the construction profiles are clearly marked on the building facade as a rule, having a significant impact on the aesthetics of the building. The most commonly applied are aluminum, steel and wooden profiles³³ (fig. 1 i 2). However, many designers use these divisions and the load-bearing function of mullions and transoms to reinforce the elevation. For smaller areas these divisions are generally not a problem. They have been successfully applied for many years in small cubic buildings, and also in large investments since the return of the timber-framed constructions in the first half of the twentieth century³⁴.

The extensive use of the glass facades in this construction system was introduced by Walter Gropius, as exemplified by the school building in Dessau and Crown Hall project, designed by Mies van der Rohe. Backbone frame structure of mullions and transoms, made of steel fittings, is exposed and gives the block the unique nature and the filling glass surfaces intensify the impression of their delicacy and lightness.

Application of this system allows for various, often quite different approaches to the designed elevations. Mies van der Rohe in the Seagram Building (fig. 3) project glazed the whole height of the storey. This helped to obtain an alternate arrangement of wide and narrow strips laid horizontally with a slight vertical division along the entire length of the facade. On the other hand, Pietro Belluschi in the Equitable Savings building and the Loan Building (fig. 4 i 5), also applied glazing on the whole height of the storey, but retained the division resulting from the backbone structure of the building. In addition, he applied a separate division within the generated fields³⁵.

Thus, we can apply glazing on the entire height of the storey or apply the divisions in the fields resulting from the backbone of the building to obtain a completely different aesthetic effects, despite the application of technically identical construction solutions. Much depends on the construction solutions and first of all on the individual approach of a designer³⁶.

In the Lloyd building in London the architects intended to expose the structure, function and the whole infrastructure of the building. The glazing system of mullions and transoms

³² The division of the facade construction systems, which I proposed, is the result of the studies and observations of objects on the basis of available scientific literature and technical materials. The earliest applied glazing systems, i.e. a system of mullions and transoms or a double-sided and a four-sided structural system, are quite clear and easy to classify. In contrast, more advanced systems, which are newer in terms of technology cause more trouble, mainly because of the multitude of system solutions, i.e. a system of glass ribs, a system of glued bolts, a screwed bolting system, which is often isolated as a point system. For the purpose of this thesis I took the liberty of classifying the systems mainly in terms of fastening manner and connecting glass parts with a load-bearing structure, attributing them a decisive influence on the final effect and appearance of the glass facade of the building. The solutions, often used interchangeably, which are taken from different systems, make the classification more difficult, and the attempts to systematize them resemble the studies of a living organism, in which everything is constantly changing and evolving.

³³ Żółtowski W., Łubiński M. *Konstrukcje metalowe*. Wyd. Arkady, W-wa 2003r. Schuco: Aluminium – Fenstersysteme. 2005r.

³⁴ Patrzykont R.: *Szklana fasada na miarę trzeciego tysiąclecia*. www.press-glas.com.pl.

³⁵ Rogers R.: *Architecture, a Modern View*. Londyn, 1991r.; Sławińska J.: *Architektura high-tech – próba charakterystyki*. „Architektus”, 1998r. Page53.

³⁶ Davies C.: *Michael Hopkins and Partners, Building and Projects*. “Phaidon Press”. Londyn 1993r.

supplemented this assumption and additional enhancement of windows' structure was to concentrate the divisions of elevation and prevent from creation of large smooth surfaces. As far as this building is concerned we should also mention the effect of three-dimensional mullion and transom facades that allow to make use of the daylight, making on their levels the additional glare effects and clear shadows cast by the used structure. This intensifies the impression of greater plasticity of the building. In addition, the mullions made of fittings were used, in which the holes were cut to reduce the weight of the structure and increase the visual effect of external walls³⁷.

This construction system is used mainly for the construction of curtain walls, behind which the right functions and independent divisions of particular storeys are hidden. It is also called a curtain glazing³⁸. An example of its application is the Chemical Center building (fig. 6-8).

Mullion and transom structure is excellent for this type of large surface facades due to self-deadweight of profiles, bearing the main load and wind pressure due to additional connection of the elevation structure with the building structure. However, this does not require complicated engineering solutions. The façade covers the building structure and the divisions that result from it and which may occur on the elevation, leaving an architect quite big freedom of creation³⁹. This system allows to cover large areas and particular items are easy to install and transport. Their production does not require advanced technology, which also reduces the costs of realization⁴⁰.

Large diversity is possible in mullion and transom system of glazing, which allows for a selection of the right option by the designer⁴¹. However, the main difference and the determinant is the question how to connect the glass with the backbone. It is installed in a frame, like the commonly used windows. This set is then fastened to the mullions and transoms, or the frame itself can fulfill this function. It is possible to use the same mullions and transoms on the specific surface areas. The division of the facade shall still be visible, but it shall stress only one of the directions - horizontal or vertical, depending on the nature of the load-bearing profiles. It is also a possible to make the structures of the mullions and transoms regardless of glazing. In this case the set of windows will be fixed to them separately. This gives the effect of apparent concealment of the load-bearing structure⁴².

2.2. STRUCTURAL GLAZING

In order to create the impression of fully glazed body of the building, structural glazing systems are used, which have become increasingly popular among architects. The system allows for the creation of uniform planes of glass by fitting together the various stretches of glass, so that their edges almost touch each other. The contact edge is slightly visible because there is generally a gasket or silicon layer between them. However, this does not spoil much the impression of uniformity and delicacy created by using this glass partition system⁴³. Fastening results in sticking two or four sides of glass to the structure using construction silicone adhesive. Installation of panes can also be done by using special bolts fixed to the panes also using silicone or screws. Silicone is also used for gluing structural glass ribs. In terms of construction solutions we can distinguish five main types of structural glazing: a four-sided system, a double-

³⁷ Wigginton M.: *Glass in architecture*. Phaidon Press 1996r. Page 150.

³⁸ Bródka J., Łubiński M. *Lekkie konstrukcje stalowe*. Wyd. Arkady, W-wa 1971r.

³⁹ Wigginton M.: *Glass in architecture*. Phaidon Press 1996r. Page 156.

⁴⁰ www.metalplast.pl

⁴¹ Żółtowski W., Cwyl M.: *Metody inżynierskich obliczeń konstrukcji ze stopów aluminiowych na bazie konstrukcji fasad słupowo – ryglowych*. Murator Plus, W-wa 2003r.

⁴² www.metalplast.pl

⁴³ Socha E. *Systemy szklenia strukturalnego*. „Architektura - Murator” nr 6(33)/1997r. Page.89-90.

sided system, a system of glued bolts, a system of screwed bolts, a system of glass ribs⁴⁴ (fig. 8-10).

The four-sided system is characterized by the fact that all the four sides of the glass elevation panel are glued to an aluminum frame and the present static and dynamic loads are transferred to the load-bearing structure only by construction silicone adhesive, tailored to fix windows. This gives the effect of completely smooth construction undisturbed by mechanical connectors or bolts. This system can be used even in high buildings⁴⁵.

The double-sided system is similar to the four-sided glazing system, but in this case the two sides of the pane set are glued to the construction aluminum frame, while the other two sides are fastened mechanically. Static loads in this system are transferred to the load-bearing structure only by mechanical connections (e.g. frames), whereas dynamic loads are transferred through the silicone and mechanical connections.

The system of glued bolts is another way of fixing the glass sheet to the load-bearing structure of the building. It is a point mounting system, which consists in fixing panes with the help of steel elements, connecting glass to the load-bearing construction of the wall.

The glass sheets are mechanically fixed to the load-bearing structure of the building with the help of special bolts implemented in the glass through the properly designed holes. In this system, the interior elevation glass is attached to the load-bearing structure of the facade with the help of the metal bolt, and to the exterior glass is glued with construction silicone on the circumference. The bolt acts as a mechanical support mounting the elevation panel to the load-bearing structure connected to the backbone of the building. This system allows to create the elevation of the building as a uniform glass surface, undisturbed by construction elements from the outside. In this system there is no direct contact between metal and glass, which is prevented by the application of appropriate gaskets.

In this system, a glass set is attached to the special bolt glued directly to the glaze. Thus, aluminum frames are not required. The bolts are not usually attached directly to mullions, transoms, bolts or the construction of the building. They are usually fixed on the so-called spider, i.e. a set of steel ropes bearing the loads. Only they are connected to the construction proper of the building. For gluing, like in previous systems, construction silicone adhesive is applied. Since the gluing surface is much smaller than the surface when two or four sides are fixed, this system is not applied in the high glass facades. However, there are no counter indications to glaze large areas. Due to the fact that there is no need to execute the constructions of mullions, transoms in this system, they are often replaced by delicate "network" of construction ties. This allows to obtain a visual lightness of the facade and facilitates penetration of the interior of the object from the outside⁴⁶.

This system and its possibilities were used i.a. by Rice Francis Ritchie in the Parc de la Villette in Paris (fig. 11-14). The glass sheets with dimensions of 2m x 2m are fixed at the corners with the help of specially designed bolts. The whole thing is suspended on the steel ropes connected to the construction of the object, which consists of the backbone composed of cubes. Insulation silicone was applied at the connections of the panes, which also hardens and helps to bear loads.

The applied bolts in the shape of letter "H" are barely visible just like the connection points of glass sheets. Therefore, the facade gives the impression of a uniform glass

⁴⁴ Patrzykont Robert.: *Szklana fasada na miarę trzeciego tysiąclecia*. www.press-glas.com.pl.

⁴⁵ Wigginton M.: *Glass in architecture*. Phaidon Press 1996r.

⁴⁶ Na podstawie: Żółtowski W., Kwaśniewski L., Cwyl M.: *Modelowanie i analiza połączeń punktowych*. „Świat szkła” nr 10(101)/2006r. Page 22-24.; Czupkiewicz M.: *Podstawy projektowania przeszkleń mocowanych punktowo*. „Świat szkła” nr 7-8(109)/2007r. Page 28-29.; Patrzykont Robert.: *Szklana fasada na miarę trzeciego tysiąclecia*. www.press-glas.com.pl.

surface. The whole thing is very transparent, a light load-bearing construction seems to be almost inconspicuous. Looking from the inside we have the feeling of complete transparency of the barrier giving the impression of being hung in the air⁴⁷.

The system of screwed bolts is based on similarly designed bolts, like in the system of glued bolts. However, these bolts are fixed to the glass with screws passing through the glass on the outside of the facade. However, there is no contact between glass and metal, which is prevented by special gasket. The same group of designers, Rice Francis Ritchie together with Odile Decq and Benoit Cornette designed the Banque Populaire L'ouest building in Montgermont, Rennes, in France. The creators made use of the experience gained in previous projects. This time they used a bolt in the shape of letter X. The special thing about this object is fixing of multiple glazed panels with the system of screwed bolts. This is the first object, in which this system with the application of multiple glazed panels was used. In order to support a 8m- high facade the special construction was erected. However, it was not included in the glass partition or in the interior of the building, but it was left it outside. This created a highly artistic shading the interior and surface of the structural glass. The bolts are connected directly to 25mm- thick steel ropes and then to the network of thinner ropes. The individual mullions moved away from the glass wall at a distance of 2m are connected with one another in order to allow mounting of the bolts. From the inside, the facade constitutes an almost smooth wall, in which the interior is reflected and blended with the shadows cast by the exterior construction. A new idea was to expose the construction to the outside and leave a smooth structural wall in the inside⁴⁸.

2.3. CONSTRUCTION RIBS MADE OF GLASS

The evolution in the application of structural glazing is the performance of glass facade hardened with the construction ribs made of glass. These ribs are attached to the main structure of the building, whereas the glass layer of the facade is attached to the glass ribs with construction adhesives.

The application of this system was exemplified by the facade of the Musee d'Histoire de la Ville de Luxembourg building by Conny Lentz and the Faber & Dumas building (fig. 15-17), in the elevation of which the system of screwed bolts was applied to connect particular glass sheets. The facade is connected with glass ribs that serve as load-bearing construction and the glass cover connection with the structure of the building⁴⁹.

As a result of this glazing system, a fully transparent, esthetic construction is obtained without use of pillars, bolts, or the system of ropes.

2.4. LOAD-BEARING GLASS CONSTRUCTION SYSTEM

In the **load-bearing glass construction system** it is also possible to construct almost fully transparent objects. However, contrary to the glass ribs, construction glass transfers all loads and there is no need to fix it to any other construction.

Rommantick Summer Pavilion in Burgundy, France by architect Dirck Jan Dosteland and Technical College For Glas in Rheinbach in Germany by Jörg Hieber, Jürgen Marquardt (fig. 18-20), are the examples of such a construction. Eight glass mullions in the shape of rectangulars cocreating the façade fulfills the role of pillars supporting the roof construction of the area of approximately 500m², bearing load to the ground by means of special feet. Glass mullions have the dimensions of 1.25 x 3.70 m and are made of specially selected glass. Thus, 28 ton – heavy object makes the impression of being hung in the air, hovering above the exhibition space.

⁴⁷ Wigginton M.: *Glass in architecture*. Phaidon Press 1996r. Page 172.

⁴⁸ Wigginton Michael: *Glass in architecture*. Phaidon Press 1996r. Page 03.184.

⁴⁹ Wigginton M.: *Glass in architecture*. Phaidon Press 1996r. Page110.

2.5. GLASS FITTINGS SYSTEM

In the case when the wall barrier is not desired to be fully transparent, apart from the application of stained glass, screen printing, reinforcement or texture, we can also apply the facades made of glass fittings. The most commonly used are the glass blocks, giving the possibility of creating thermal insulation filling them with inert gases, resistant to mechanical factors, easy to install and relatively inexpensive. They are connected with the help of an adhesive, they can be additionally reinforced on larger surfaces, the contacts can be grouted. The fittings create a texture alone, which is often enriched by a joint. The effects may be different depending on the structure of the filling wall and the type of division applied on the façade.

In *Maison Dalsace*, *Maison Verre*, by Pierre Chareau and Bernard Bijvoet (fig. 21), the glass blocks were placed on a steel supporting structure⁵⁰. Tadao Ando applied reinforced concrete construction filled with glass blocks in the two projects of the houses. In *Ishihara House* in Osaka (fig. 22) he applied thicker division, whilst in the *Matsumoto House* in Wakayama (fig. 23) he covered the entire wall in the light of the construction. The application of glass blocks gives the effect of diffuse glimmer inside the rooms.

The reinforced profiled glass that can be installed vertically, horizontally, as a roof covering or as exterior curtain walls has also been used extensively in recent years. The dimensions of the profiled glass depend on the snow/ wind load and the type of selected glass. The architects have to do with the material that has good thermal insulation, resistance, and which is inexpensive and easy to install⁵¹.

Thus, the role that a modern glass facade started to play consequently caused one of the most crucial changes in the technical and thus aesthetic solutions observed in the modern architecture. To be continued...

⁵⁰ Wigginton M.: *Glass in architecture*. Phaidon Press 1996r. Page 58.

⁵¹ Pilkington: *The international magazine for glass and design*. Pilkington plc 2000-2006r.

BIBLIOGRAFIA

- [1] *Bauen mit Glas*. „Detail” 03/2000r.
- [2] Behnisch G: „Detail” nr 7 1998 okt/nov. Str.1149.
- [3] Berkel B., Bos C.: *Niepoprawni wizjonerzy*. Seria „Biblioteka Architekta”. Wydawnictwo Murator. Warszawa 2000r.
- [4] Bródka J., Łubiński M. *Lekkie konstrukcje stalowe*. Wyd. Arkady, W-wa 1971r.
- [5] Czupkiewicz M.: *Podstawy projektowania przeszkleń mocowanych punktowo*. „Świat szkła” nr 7-8(109)/2007r.
- [6] Davies C.: *Michael Hopkins and Partners, Building and Projects*. Phaidon Press. Londyn 1993r.
- [7] Glegola P.: *Szklane belki, słupy i dachy*. „Architektura – Murator” nr 10/1995r.
- [8] Patrzykont Robert.: *Szklana fasada na miarę trzeciego tysiąclecia*. www.press-glas.com.pl.
- [9] Pollak Z.: *Szkło klejone – technologia, właściwości, zastosowanie*. „Świat szkła” nr 03(95)/2006r.
- [10] Rogers R.: *Architecture, a Modern View*. Londyn, 1991r.
- [11] Rybak A.: *Przegląd techniczny-szklane fasady*. „Architektura-murator”, nr 08/1999r.
- [12] Schuco: *Aluminium – Fenstersysteme*. 2005r.
- [13] Sławińska J.: *Architektura high-tech – próba charakterystyki*. „Architektus”, 1998r.
- [14] Socha E. *Systemy szklenia strukturalnego*. „Architektura - Murator” nr 6(33)/1997r.
- [15] *Szkło budowlane. Produkty, zastosowanie, montaż. Dane techniczne*. Saint-Gobain. Polfloat, Alsdorf 1996r.
- [16] Wigginton M.: *Glass in architecture*. Wyd. Phaidon 1996r.
- [17] www.dupont.com
- [18] www.faraone.it
- [19] www.gra-pa.at
- [20] www.metalplast.pl
- [21] www.raico.de
- [22] Żółtowski W., Cwyl M.: *Metody inżynierskich obliczeń konstrukcji ze stopów aluminiowych na bazie konstrukcji fasad słupowo – ryglowych*. Murator Plus, W-wa 2003r.
- [23] Żółtowski W., Kwaśniewski L., Cwyl M.: *Modelowanie i analiza połączeń punktowych*. „Świat szkła” nr 10(101)/2006r.
- [24] 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.