

ANNA JÓŻWIK*

ROZWIĄZANIA KONSTRUKCYJNE W ASPEKCIE NOWYCH TECHNOLOGII SZKŁA

STRUCTURAL DESIGN IN ASPECT OF NEW GLASS TECHNOLOGY

Streszczenie

Trudno dziś wskazać inny materiał budowlany, który znajduje tak szerokie zastosowanie, jak szkło. Przez długie lata jego przezroczystość była głównym atrybutem, który inspirował projektantów do poszukiwania nowych zastosowań w architekturze. Obecnie szkło obejmuje coraz większe powierzchnie, tworząc elewacje i dachy budynków. Szklane żebra, belki i stopnie schodów, a nawet słupy stanowią przykład konstrukcji szklanych. Rozwiązania te wpływają na percepcję współczesnych budynków i stanowią o ich nowoczesności. Wymagają jednak interdyscyplinarnego podejścia do projektowania i realizacji.

Słowa kluczowe: architektura, szkło, szkło strukturalne, konstrukcje szklane

Abstract

Today it is difficult to show another building material, which has such a wide application in architecture like glass. Transparency has been the main attribute, which has inspired designers to search for new solution for a long time. Nowadays glass covers bigger and bigger areas creating façades and canopies of buildings. Glass fins, beams and tread of staircase, and even columns are examples of glass structures. This solution changes the perception of contemporary building and determines its modernity. It requires interdisciplinary attitude to design and project execution.

Keywords: architecture, glass, structural glass, glass structures

* Mgr inż. Anna Józwick, Zakład Projektowania Konstrukcji, Wydział Architektury, Politechnika Warszawska.

1. Wstęp

Brak odpowiednich technologii i urządzeń do produkcji szkła przez długie lata był barierą w stosowaniu tego materiału. Szkło na skalę masową zaczęto produkować dopiero w drugiej połowie XIX w. Przyczyniło się do tego skonstruowanie przez niemieckiego inżyniera Fryderyka Siemensa pierwszego pieca szklarskiego ogrzewanego gazem oraz wanny szklarskiej, w której można było topić większą ilość masy szklanej. Wzniesiony zaledwie kilka lat wcześniej, z okazji Wystawy Światowej w Londynie w 1851 r., Pałac Kryształowy pochłonął jeszcze wtedy jedną trzecią ówczesnej produkcji szkła w Królestwie Brytyjskim [3]. Istotny rozwój przemysłu szklarskiego nastąpił dopiero w XX w. Duże znaczenie miało opracowanie przez Alastaira Pilkingtona sposobu wytwarzania szkła płaskiego float, dzięki któremu zaczęto otrzymywać szkło o niespotykanej wcześniej jakości.

Dalszy rozwój nowoczesnych technologii sprawił, że znacznie wzrosła rola szkła we współczesnej architekturze. Przezroczystość inspiruje bowiem do poszukiwania nowych rozwiązań, które spełniają coraz wyższe wymagania użytkowe. Można więc powiedzieć, że mamy dziś epokę stali i szkła [4] lub nową erę szkła w budownictwie [2]. Przejawem tej epoki jest możliwość zastosowania szkła jako materiału konstrukcyjnego. Rozwój konstrukcji szklanych zapoczątkowany został przez stosowanie w elewacjach płyt szklanych, które z racji przenoszenia obciążeń od parcia wiatrem nazwano szkłem strukturalnym. Przykładami nowoczesnych konstrukcji wykonanych ze szkła są żebra, belki, schody, a nawet słupy. Według [8] innowacje w zakresie konstrukcji budynków stanowią, obok analiz funkcjonalnych i rozważań nad formą obiektów budowlanych, podstawowy bodziec rozwoju myśli architektonicznej.

2. Właściwości wytrzymałościowe szkła

Za ogromnym postęпом w technologii produkcji szkła idzie wzrost wiedzy o właściwościach fizycznych i mechanicznych tego materiału budowlanego. Szybko dostrzeżono, że szkło ma dość wysoki moduł Younga¹, który wynosi 70 000 MPa i wartość ta jest porównywalna z modułem Younga aluminium. W porównaniu z innymi materiałami konstrukcyjnymi, takimi jak stal czy beton, szkło ma wysoką wytrzymałość na ściskanie, które wynosi 800–1000 MPa. Jednak ze względu na wady struktury wartość ta ulega zmniejszeniu. Wytrzymałość szkła na rozciąganie oraz na zginanie jest znacznie niższa i wynosi 30–90 MPa. Szkło jest niewątpliwie materiałem kruchym, co oznacza, że osiągając swoją maksymalną wytrzymałość, ulega nagle spękaniu. Nie daje jakichkolwiek ostrzeżeń o utracie nośności, jak to się dzieje w przypadku stali, która ulega deformacji czy w przypadku drewna, które zaczyna skrzypieć, czy w przypadku konstrukcji betonowych, w których beton ulega zarysowaniu.

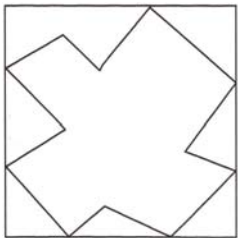
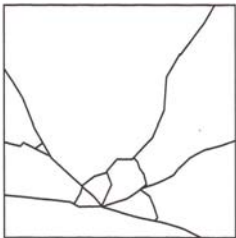
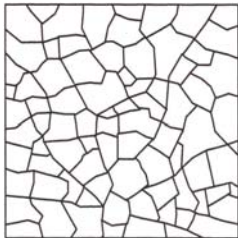
¹ Moduł Younga jest jednym z głównych parametrów wytrzymałościowych materiałów konstrukcyjnych, obok wytrzymałości na zginanie, ściskanie i rozciąganie. Moduł Younga jest wielkością, która wskazuje na zależność między naprężeniami a odkształceniami liniowymi.

3. Rodzaje szkła w konstrukcjach szklanych

Gdy zaistniała możliwość zastosowania szkła jako tworzywa konstrukcyjnego, podjęto próby zwiększenia jego wytrzymałości i niezawodności. Dlatego oprócz szkła float stosuje się szkła wzmacniane termicznie i hartowane, które charakteryzują się wyższą wytrzymałością i odpornością termiczną, a także specyficznym sposobem pęknięcia po rozbiciu. Natomiast w celu zwiększenia sztywności szklanych elementów konstrukcyjnych szkło jest laminowane. Laminowanie polega na sklejeniu dwóch lub kilku tafli za pomocą jednej lub więcej warstw klejących – folii PVB lub żywicy. Jako składowe szkła laminowanego stosuje się: szkło float, szkło wzmacniane termicznie i szkło hartowane.

Tablica 1

Właściwości szkła konstrukcyjnego

Rodzaj szkła	Szkło float	Szkło wzmacniane termicznie	Szkło hartowane
Wytrzymałość na zginanie	45 [MPa]	70 [MPa]	120 [MPa]
Siatka spękań			

4. Problemy projektowe

Pomimo licznych ograniczeń projektowych, od ponad piętnastu lat powstają z mniejszym lub większym powodzeniem realizacje, w których wybrane elementy konstrukcyjne kształtuje się ze szkła. Najważniejszą przeszkodą w szerokim stosowaniu tych rozwiązań jest niewystarczająca znajomość ich właściwości i sposobu projektowania. Ograniczenia mają również charakter legislacyjny, a mianowicie na dzień dzisiejszy brak jest norm dotyczących konstrukcji szklanych². Dlatego podstawową metodą wymiarowania szkła pozostaje metoda naprężeń dopuszczalnych, która polega na określeniu takiej grubości przekroju, aby były spełnione dwa warunki: nośności i sztywności³. Niemniej jednak dla bardziej skomplikowanych projektów konieczne było wykonanie testów wytrzymałościowych

² Trwają prace nad normą dotyczącą zastosowania szkła do celów konstrukcyjnych, projekt takiej normy pojawił się w 2006 r. w Niemczech (DIN 18008 Glas im Bauwesen. Bemessungs und Konstruktionsregeln).

³ Metodę naprężeń dopuszczalnych w wymiarowaniu szkła przedstawiają niemieckie wytyczne TRLV [6].

na modelach w skali 1:1, ponieważ – jak dla każdej konstrukcji budowlanej – szkło musi spełniać wymagania w zakresie nośności, sztywności, trwałości i bezpieczeństwa pożarowego. Takie doświadczalne próby przyczyniają się do zwiększenia wiedzy o właściwościach i możliwościach szkła w konstrukcjach budowlanych.

5. Specyfika konstrukcji szklanych

Ze względu na specyfikę kształtowania konstrukcji szklanych można wyróżnić elementy konstrukcyjne powierzchniowe i prętowe.

Do elementów powierzchniowych zaliczamy płytę szklaną. W architekturze płyta szklana znajduje zastosowanie między innymi w fasadach, przekryciach dachowych, podłogach czy balustradach. Do elementów prętowych zaliczamy natomiast belki i słupy. Szklane belki występują najczęściej jako żebra usztywniające szklane ściany, belki swobodnie podparte czy rygle w ramach. Słupy natomiast mają formę wolno stojącego elementu lub słupa w ramie.

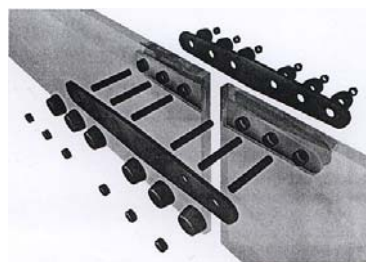
6. Przykłady realizacji

Omówione poniżej realizacje są wybranymi przykładami obrazującymi aktualne możliwości kształtowania niektórych elementów konstrukcyjnych ze szkła.

6.1. Wydział Medycyny „Wolfson” w Glasgow, Wielka Brytania 2002

Architekt: Reiach & Hall

Konstruktor: Arup



Ryc. 1. Widok na szklane belki i detal połączenia ze sobą szklanych elementów (www.arup.com)

Fig. 1. View of glass beams and detail of connection of glass elements (www.arup.com)

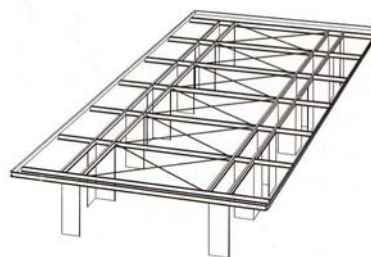
Wewnętrzny dziedziniec Wydziału Medycyny o trójkątym rzucie został przekryty szklanym dachem (ryc. 1). Uzyskana w ten sposób przestrzeń ma funkcję komunikacyjną i służy społeczności akademickiej. Konstrukcję nośną przekrycia dachowego stanowią szklane belki. Rozpiętość najdłuższej belki wynosi 15,5 m i składa się z czterech łączonych odcinków. W ten sposób uzyskano rozpiętość dwa razy dłuższą niż dotychczas. Belki są laminowane, a każda warstwa może bezpiecznie przejąć pełne obciążenie. Połączenia

poszczególnych odcinków wykonano za pomocą stalowych łączników. W celu zabezpieczenia warstwy żywicy przed siłami ściskającymi, wprowadzono aluminiową przekładkę dystansową [9].

6.2. Pawilon konferencyjno-wystawienniczy w Rheinbach, Niemcy 2002

Architekt: Jürgen Marquardt, Jörg Heiber
Konstruktor: Ludwig & Weiler Ingenieurbüro

Zademonstrowanie możliwości współczesnego szkła przyświecało twórcom pawilonu wystawienniczo-konferencyjnego (ryc. 2). W obiekcie tym prawie 20 tonowy dach o stalowej konstrukcji podtrzymywany jest wyłącznie przez szklane podpory o kształcie prostopadłościanu. Elementy konstrukcyjne wykonano ze szkła laminowanego o trzech warstwach. Środkową warstwę nośną stanowi szkło hartowane float o grubości 19 mm, natomiast warstwy zewnętrzne to szkło hartowane float o grubości 10 mm. Ważnym elementem było zaprojektowanie odpowiedniej podstawy szklanego słupa [7].



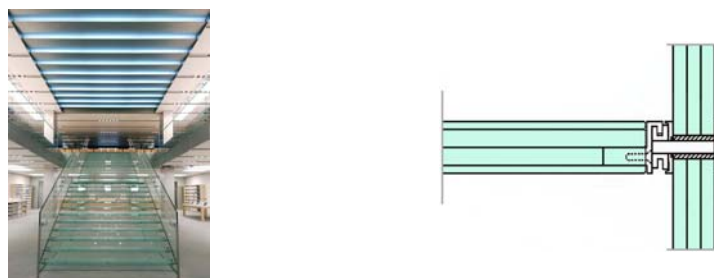
Ryc. 2. Widok na szklane słupy i układ konstrukcyjny pawilonu
(www.workshop-archiv.de/marquardt/marquardt_glass.html i Architektura-Murator, 3/2003)

Fig. 2. View of glass columns and structure of pavilion
(www.workshop-archiv.de/marquardt/marquardt_glass.html i Architektura-Murator, 3/2003)

6.3. Salon sprzedaży Apple w Londynie, Wielka Brytania 2005

Architekt: Bohlin, Cywiński, Jackson
Konstruktor: Dewhurst Macfarlane and Partners

Szkło stało się również znakiem rozpoznawczym firmy Apple, której motto brzmi „wiedza to potęga”. Tą dewizą kieruje się przy projektowaniu swoich rozwiązań. Posłużyła ona również przy tworzeniu koncepcji projektowej dla firmowych salonów sprzedaży. Szklane schody są ich nieodłącznym elementem (ryc. 3). Architekci posłużyli się szkłem, nawiązując do jego nowoczesności. Szklane schody Apple to nie tylko szklane stopnie i podesty, ale również cała ich konstrukcja. Stopnie schodów zostały wykonane ze szkła laminowanego, które składa się z czterech warstw, tj. dwóch środkowych ze szkła hartowanego o grubości 15 mm oraz dwóch zewnętrznych ze szkła float o grubości 8 mm. Połączenia stopni ze szklanymi ścianami wykonano za pomocą tytanowych sworzni [5].



Ryc. 3. Widok na szklane schody Apple i przekrój przez stopień schodowy
(http://carpenterlowings.com/images/apple_all.jpg i www.apple.com)

Fig. 3. View of Apple glass staircase and section of glass tread
(http://carpenterlowings.com/images/apple_all.jpg i www.apple.com)

7. Podsumowanie

Nowe technologie szkła cieszą się coraz większym zainteresowaniem architektów i konstruktorów. Stosowanie konstrukcji szklanych w budownictwie stworzyło zupełnie nowe możliwości estetyczne i statyczne, czego dowodem są powstające realizacje. Zakres kształtowania nośnych elementów ze szkła jest na dzień dzisiejszy ograniczony, między innymi ze względu na ich rozpiętość w porównaniu z tradycyjnymi materiałami konstrukcyjnymi. Słabym punktem tych rozwiązań są również połączenia, a także mocowania elementów. Należy jednak podkreślić, że konstrukcje szklane stosuje się od niedawna, a z każdą realizacją wzrasta wiedza o możliwościach ich stosowania w budownictwie. Obserwując dynamiczny rozwój tych ustrojów nośnych, szczególne perspektywy ich zastosowania rysują się w elewacjach oraz w przekryciach dachowych. Dlatego lepsze poznanie właściwości i zasad kształtowania konstrukcji szklanych było jednym z głównych celów programu badawczego Eu COST C13 Glass and Interactive Building Envelopes [1].

Literatura

- [1] Crisinel M., Eekhout M., Haldimann M., Visser R., *Final Report: Glass & Interactive building envelopes*, Delft 2007.
- [2] Cywiński Z., *Nowa era szkła w budownictwie*, Warszawa 2007.
- [3] Gympel J., *Historia architektury, od antyku do czasów współczesnych*, Kolno 1996.
- [4] Kucza-Kuczyński K., *Zawód-architekt, o etyce zawodowej i moralności architektury*, Warszawa 2004.
- [5] O`Callaghan E., *A case study of the Apple Computer Stores – Glass Structures 2001–2005*, Tampere 2005.
- [6] *TRLV – Technische Regeln für die Verwendung von linienförmig gelagerten Verglasungen*, Berlin 2006.
- [7] Wellershoff F., Sedlacek G., *Glass Pavilion Rheinbach – Stability of Glass Columns*, Tampere 2003.
- [8] Włodarczyk J., *Technika jako czynnik inspirujący w architekturze*, Gliwice 2004.
- [9] Zespół redakcyjny, *Szklany dach szkoły medycznej*, *Architektura-Murator*, 3/2003.