

SZKLANE BELKI, SŁUPY I DACHY

Wszyscy doskonale znamy piramidę na dziedzińcu Luwru. Przypomnę tylko, że głównymi obiektami projektu są dwie szklane piramidy umieszczone na osi założenia. Większa wystaje ponad poziom dziedzińca Napoleona i stanowi wejście do muzeum Luwru, natomiast druga na placu Karuzeli jest jakby „zawieszona do góry nogami”, skierowana szczytem w dół doświetlając pomieszczenia w podziemiach. Duża część obiektu spełniająca różne funkcje znajduje się właśnie na dole.

LABORATORIUM BADAWCZE LUWRU

Obok architekta I.M.Pei'a, autora obu sławnych szklanych piramid, w tym wielkim przedsięwzięciu brało udział kilka pracowni projektowych między innymi pracownia paryskich architektów Jerome Brunet & Eric Saunier, która wykonała projekt laboratorium badawczego Luwru, gdzie zastosowano po raz pierwszy we Francji **szkło jako element konstrukcyjny budynku**.

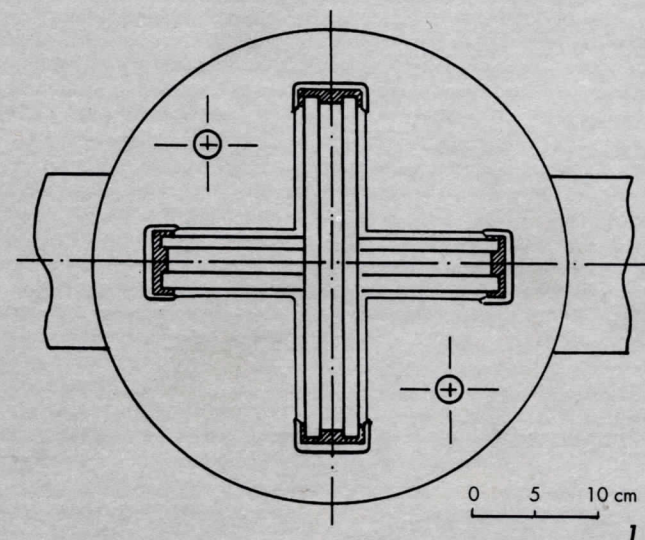
Głównemu inwestorowi zależało, aby projekt i rozwiązania techniczne zastosowane w tym założeniu były całkowicie nowatorskie. Skłoniło to Jerome'a Bruneta i Erica Sauniera do pomysłów czysto intuicyjnych. Obie piramidy są ze szkła. Zainspirowało to projektantów do badań nad jego zastosowaniem. Usytuowanie wszystkich obiektów poniżej poziomu posadzki dziedzińców narzucało też potrzebę znalezienia sposobu na doświetlenie tych pomieszczeń. Naturalnym materiałem wydawało się tu szkło, od dawna już używane w pionie jako element usztywniający: w oknach, w systemach elewacyjnych, lub jako przegrody wewnętrzne. Ale nigdy jeszcze nie było elementem przenoszącym obciążenia w konstrukcji budynku. W ten sposób narodził się pomysł, aby **dach laboratorium stanowiący jednocześnie posadzkę placu**, był wykonany ze szkła i podtrzymywany nie przez metalową strukturę, ale przez **szklane belki** – wszystko po to, aby wpuścić do środka jak najwięcej światła. Nikt nie potrafił jednak przewidzieć, jakie będą skutki takiego pomysłu. Nie istniały też żadne normy regulujące wykorzystanie szkła w konstrukcji. Specjalne prawa francuskiej architektury, jakimi rządziła się ona przez ostatnich kilkanaście lat, spowodowały rozpoczęcie cyklu badań zleconych przez klienta (w tym przypadku inwestora państwowego). Celem tych badań było ustalenie wytrzymałości szkła na wszelkie obciążenia, sprawdzenie jak reaguje ono na różne temperatury i jak się starzeje – czyli stworzenie normy dla takich konstrukcji. Sukces tego pomysłu jest udziałem architektów, którzy wymyślili formę i biura inżynierskiego OTH, które potrafiło ten niezwykły pomysł zrealizować konstrukcyjnie. Koncepcja zakładała przekrycie 64 m² powierzchni szklanym dachem. Należało więc uwzględnić obciążenia przenoszące ciężar własny szkła, obciążenie wywołane warunkami atmosferycznymi 212 kg/m² oraz obciążenie użytkowe 500 kg/m². Już na początku napotkano wiele trudności: brakowało możliwości wykorzystania doświadczeń i obserwacji z istniejących już podobnych zastosowań szkła, należało poruszać się tylko po dobrze znanych obszarach fizyki i docenić to, że stwarza się precedens we Francji. Zgodnie z koncepcją architektów próbowano zaprojektować **belki podtrzymujące dach, złożone z kilku listew ze szkła feuilleté** (pol. – listkowe, blaszkowe, warstwowe) grubości 15 mm, długości 4350 mm, które powinny przenieść obciążenie około 4 ton. Należało ustalić, ile będzie tych listew, jak będą klejone i jaka będzie wysokość belki. Okazało się, że teoretyczne ustalenie tych danych jest niemożliwe z powodu zbyt małej ilości informacji i zbyt dużego błędu obliczeń. W nowym typie konstrukcji wykorzystujemy znane właściwości materiału pod kątem jego użycia. Stosujemy go również jako element zamienny. W obliczeniach eksploatuje się znane obszary fizyki i mechaniki lub sprawdza się doświadczalnie nowe rozwiązania, przeprowadza się eksperymenty, których celem jest określenie potrzebnych parametrów. Przystępując do projektowania szklanych belek konstruktorzy nie mogli skorzystać z żadnej z wymienionych wyżej wskazówek, ponieważ takie nie istniały. Rozpoczęto więc **cykl badań praktycznych**. Poniżej brakiem potrzebnych wymiarów belek najistotniejszym problemem była **podatność szkła na gwałtowne zniszczenia** (bez możliwości przenoszenia zmiennych obciążeń wymagających elastycznej konstrukcji). Próbowano też znaleźć sposób na **idealne sklejenie kilku listew szkła**. Prace badawcze i produkcja belek trwały blisko trzy lata. Za realizację tego etapu odpowiedzialne były firmy: CSTB, OTH, VERITAS i MACOCCO. W trakcie eksperymentów ustalono wysokość belki na 500 mm, liczbę listew na cztery i opracowano **detale mocowania belek na podparciach i włączeniu ze szklanym dachem**. Wykonano belki przenoszące obciążenia 14 ton, chociaż przewidywane obciążenie nie powinno przekroczyć 3 do 5 ton. Konstrukcja dachu składa się z jedenastu czterowarstwowych belek szklanych o rozpiętości 460 cm oraz dwunastu szklanych płyt o wymiarach 460 x 140 cm. **Listwy belek są zespolone ze sobą za pomocą trzech specjalnych folii poliwinylowych** (franc. – butyral de polyvinyle) i **połączone ze szklanym dachem laboratorium** (będącym jednocześnie

posadzką placu) **systemem profili, uszczelek i podkładek, które pełnią istotną rolę w procesie przenoszenia obciążeń**.

W efekcie uzyskano szklany dach, który dzięki szklanej konstrukcji doświetla światłem dziennym trzy piętra pomieszczeń laboratoryjnych (pod dachem jest patio, na które wychodzą pomieszczenia laboratorium).

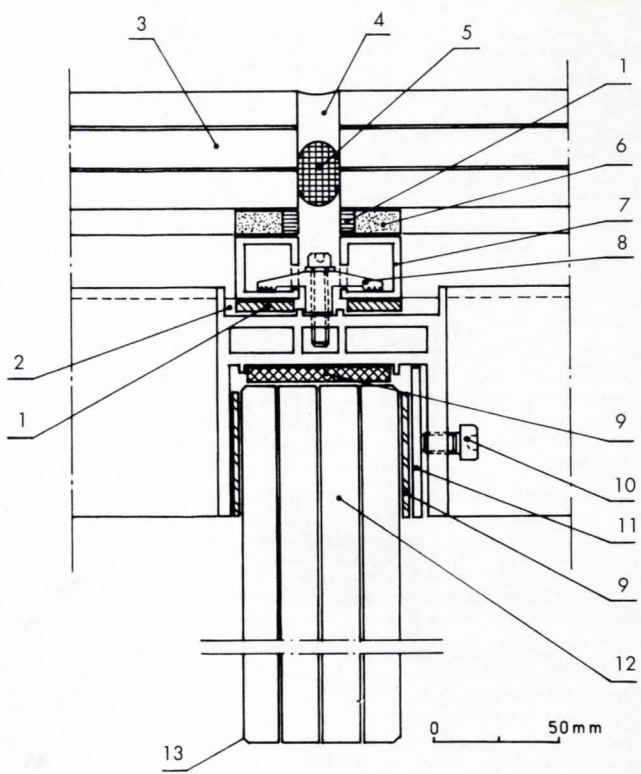
CENTRUM ADMINISTRACYJNE W SAINT-GERMAIN EN LAYE

Doświadczenia, jakie Jerome Brunet i Eric Saunier wynieśli z tej realizacji, mogli wykorzystać w projekcie Centrum Administracyjnego w Saint-Germain en Laye. Ich zadanie polegało m.in. na przekryciu 500 m² dziedzińca metalową konstrukcją pokrytą szkłem, która miała opierać się na 12 słupach rozstawionych na siatce 4 x 4 m. Dziedzińiec jest jednocześnie częścią budynku dostępną dla interesantów. Ponieważ cały budynek miał dużo przeszkleń, a las „ciężkich” słupów w patio nie pasował do ogólnej koncepcji obiektu, projektanci postanowili zaryzykować i zastosować **słupy ze szkła**, aby uzyskać spójność architektoniczną. Również w tym wypadku musieli powtórzyć badania nad wytrzymałością szkła, bo choć poprzednio przetarli szlak testując szklane belki, tutaj powstał problem pierwszych szklanych słupów. Prace trwały jednak o wiele krócej. Zniszczono tylko 3 czy 4 elementy wykorzystując doświadczenia wyniesione z wcześniejszych prób. Zaprojektowano słup o wysokości 3,40 m, zawierający **główną listwę nośną** o przekroju 25 cm na 1,5 cm, wykonaną również ze szkła feuilleté. **Aby usztywnić poprzecznie listwę nośną, dokleiono dwa paski podobnego szkła**, tak że słup ma plan równoramiennego krzyża o wymiarach 25 x 25 cm. Dodatkowo, **by ochronić szkło (nośne) przed uszkodzeniami mechanicznymi, okleiono każdą płaszczyznę dodatkową**



szklaną warstwą o grubości 10 mm, która nie pełni już funkcji konstrukcyjnej. Z przeprowadzonych obliczeń wynikało, że każdy ze słupów powinien przenieść 3,9 ton obciążenia własnych konstrukcji oraz 3 ton ewentualnych obciążeń śniegiem. Bezpieczne obciążenie wynosiło maksymalnie 41,4 ton. Podczas badań laboratoryjnych słupy uzyskały wytrzymałość 43,44 ton, powyżej tej wartości następowało ich zniszczenie. **Słupy umieszczono w metalowych „butach”, umożliwiających dzięki systemowi sprężystych podkładek ich osadzenie w posadzce sali jak również w stalowej konstrukcji dachu**. Bardzo istotną sprawą było **dokładne wypionowanie słupów**, aby obciążenia rozkładały się równomiernie. Szkło użyte przez Brunet & Saunier w Centrum Administracyjnym ma modny zielonkawawy odcień (dotyczy to zarówno szkła konstrukcyjnego i niekonstrukcyjnego, które wizualnie niczym się nie różnią). Kolorystykę pogłębiają ciemnozielone wykładziny dywanowe. Przeciwwagą dla zieleni są ściany obłożone panelami jasnego drewna, z podobnego drewna są meble, a część dla interesantów uzupełniają miękkie fotele oraz sofy (w kolorze lososiowym). Cały trzykondygnacyjny budynek wydaje się skromny, elegancki i nowoczesny. Wytrawne oko doceni dbałość o detale, przestronność pomieszczeń hallu i sali dla petentów oraz dobre doświetlenie. Dopiero po jakimś czasie dostrzeżemy słupy ze szkła, które wtapiają się w całość kompozycji budynku, będąc jakby kruszą dekoracją. Ich delikatność pogłębia jeszcze forma. Na razie jedno jest pewne: szkło jest materiałem konkurencyjnym dla betonu i stali. Jednocześnie dzięki swej przezroczystości umożliwia wykorzystanie naturalnego światła, o wiele zdrowszego od sztucznego.

1. Szklany słup, przekrój poziomy
2. Szklana belka – połączenie z przekryciem, przekrój pionowy.
Oznaczenia:
1 – uszczelka;
2 – kanalik odwadniający;
3 – przezroczyste szkło wielowarstwowe;
4 – zestaw uszczelniający;
5 – uszczelka o zamkniętych porach;
6 – uszczelka strukturalna;
7 – profil aluminiowy;
8 – klin mocujący mechanicznie; 9 – podkładka;
10 – śruba dociskowa;
11 – klin dociskowy;
12 – belka z czterowarstwowego szkła z przekładkami poliwinylowymi;
13 – szlifowane wykończenie brzegów
3. Słup przekrój pionowy.
Oznaczenia:
1 – trzpień centrujący;
2 – uszczelka dociskowa;
3 – uszczelka grubości 1 mm;
4 – podkładka z tworzywa przejmująca obciążenia; 5 – podkładka z neoprenu;
6 – gniazdo osadzenia słupa; 7 – wykończona posadzka
4. Szklana konstrukcja dachu w Laboratorium Luwru; fot. Georges Fessy
5. Szklane słupy w Centrum Administracyjnym Saint-Germain en Laye



2

