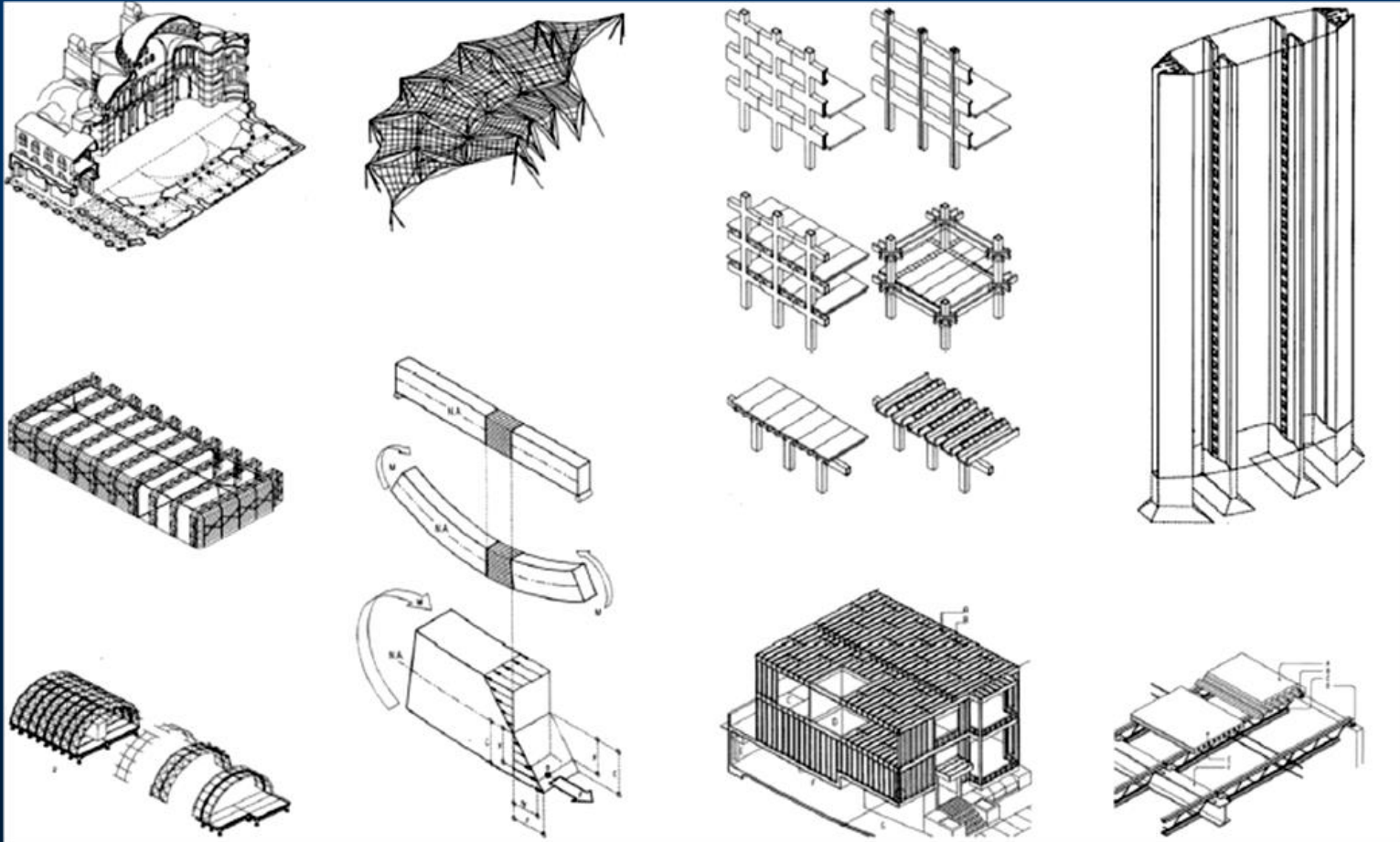


# Konstrukcje stalowe dla architektów - Wprowadzenie



Opracowano z wykorzystaniem materiałów:

[6.1] G.G. Schierle, Architectural Structures Excerpts, University of Southern California Custom Publishing, 2003

[6.2.] Trebilcock P, Lawson M., Architectural Design in Steel, Spon Press, 2004

[6.3] Macdonald A.J., Structural Design for Architecture, Architectural Press, Oxford-Boston, 1998

[6.4] Budownictwo ogólne, tom 3: konstrukcje budynków, praca zbiorowa red. Wiesław Buczkowski, Arkady, 2009

[[6.5] strony www dostępne w dniu 19-02-2011

## Rodzaje konstrukcji metalowych

## Zalety i wady konstrukcji stalowych

## Lekkość konstrukcji stalowych: ekspresja/impresja w nowoczesnej architekturze

W architekturze i budownictwie metale używane są powszechnie w postaci:

1. **metali żelaznych** (przede wszystkim stal i żeliwo): Żeliwo jest to stop żelaza i węgla, zawierający ponad 2% węgla. Stal jest to stop żelaza, węgla oraz składników stopowych (np. mangan, krzem) o zawartości węgla poniżej 2%. Wyższa zawartość węgla powoduje większą kruchość stopu.
2. **metali nieżelaznych** ( kolorowych, głównie: aluminium, miedź, brąz, mosiądz, cynk, nikiel, tytan itd.)

Zalety konstrukcji metalowych, a przede wszystkim stalowych:

1. lekkość – dzięki znakomitym własnościom mechanicznym stal cechuje duża wytrzymałość przy stosunkowo małej masie własnej (dobry **wskaźnik lekkości**: stal  $3,14$  do  $4,64 \cdot 10^{-4}$  1/m; drewno  $6,0 \cdot 10^{-4}$  1/m; żelbet  $20 \cdot 10^{-4}$  1/m; cegła  $60 \cdot 10^{-4}$  1/m)
2. duże rozpiętości – uzyskuje się znaczne rozpiętości przekryć ( $>100$  m) w stosunku do innych materiałów
3. krótki czas montażu,
4. elastyczność kształtowania powierzchni;
5. mniejsze zagrożenie awarią – znaczna jednorodność i powtarzalność,
6. ekologiczność – łatwa możliwość odzyskania materiału (złom) przy rozbiórce obiektu)

Wady: wrażliwość na korozję, mała odporność ogniowa; niewielkie tłumienie drgań, w tym hałasu, zmęczenie dynamiczne,

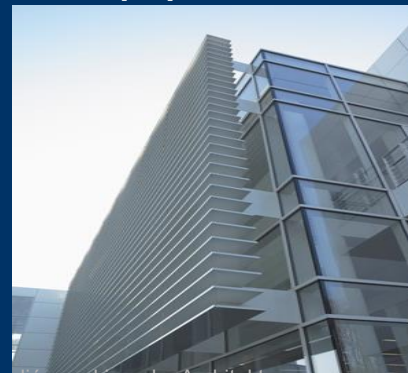
**Muzeum Arpa**, Remagen/Bonn, 2007, System aluminiowy Reynaers, → arch. **Richard Meier**, inż. **Rupert App** 6.5.]

Słynny **Pałac kryształowy** → wzniesiony na wystawę światową 1851. zbudowany z żeliwa i szkła i następnie przeniesiony w nową lokalizację i rozbudowany 1854 arch/inż. **Joseph Paxton**

[6.5.]

The Seagram Building, NY, 1957, arch **Ludwig Mies van der Rohe** →

Ekspresja formy: stal i szkło [6.3.]



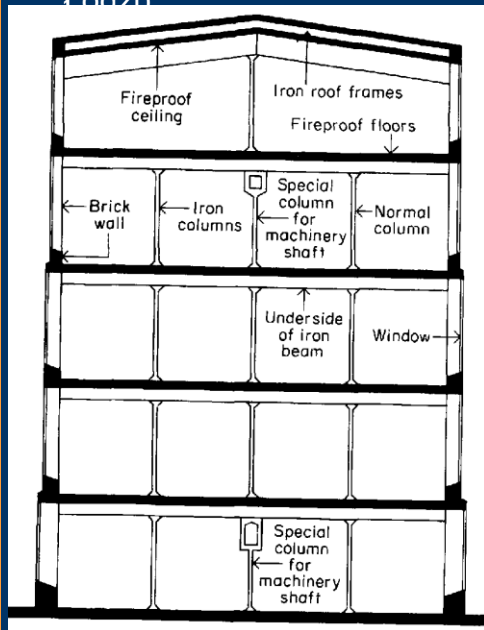
# Konstrukcje żelwne

Historyczne konstrukcje metalowe - żelwne

Przykłady obiektów z konstrukcją żelwną: mosty, akwedukty, fasady, szklarnie, fabryki: słupy i belki żelwne

Pomijając metale szlachetne, historycznie najwcześniej zastosowanie znalazło żelwo, które stosowano w Wielkiej Brytanii od XVIII w. po opracowaniu metod produkcji żelwa, opłacalnych i ilościowo wystarczających do regularnego stosowania. Ważnym projektem był wykonany w całości z żelwa, most **Iron Bridge w Shropshire**. Jakość żelwa nie była wysoka. Obecnie zaobserwowano prawie 80. kruchych pęknięć w konstrukcji mostu.

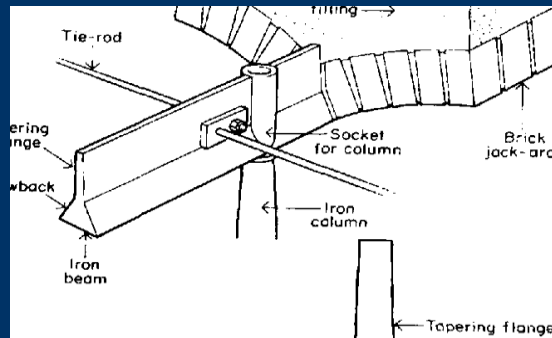
Wraz z poprawą jakości materiału i metod projektowania stosowanie żelwa stało się opłacalne. Fasady żelwne były tańsze od kamiennych, a równie finezyjne. Słupy żelwne były smuklejsze. Największą wartością była jednak niepalność i odporność na działanie ognia (błędne przekonanie) – ważne w **objektach fabrycznych- zastosowanie na słupy oraz belki stropowe** (np.fabryka Poznańskich w Łodzi)



Typowy przykład budynku fabryki w konstrukcji żelwnej. [6.3]. Bage's Mill, Shrewsbury, -- England, 1796 → detal stropu i słupa



Akwedukt Pontcysyllte w północnej Walii [6.5] → Żelwne przęsła



Iron Bridge w Shropshire inż.. Abraham Darby, XVIII w. [6.5]



Fasada żelwna Ca 'D'Oro Glasgow, Szkocja, wzniesiony w 1872 [6.5.



# Wyraz architektoniczno-konstrukcyjny konstrukcji stalowych

Lekkość  
budowli,  
ekspresja/impr  
esja

Lekkość konstrukcji stalowych decyduje o szerokim stosowaniu w architekturze. Poprzez uzyskanie efektu lekkości utworu architektonicznego, a także eksponowania finezji konstrukcji - można uzyskać efekt zarówno ekspresji (siły wyrazu) jak i impresji (wrażenia).



←Channel 4 Television Headquarters London, 1994 . arch  
Richard Rogers and Partners [6.5]



Przekrycie szklane na  
zakrzywionym dachu , arch  
Jestico and Whiles [6.2]



Waterloo International Terminal, arch.  
Nicholas Grimshaw & Partners [6.2]



←Kopuła  
siatkowa systemu  
Mero. Expalande  
Theatre Complex  
Singapore, arch

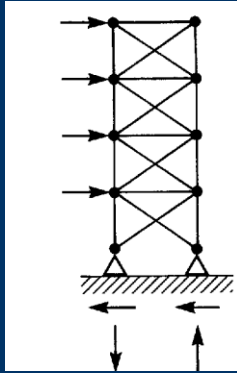
Michael Wilford  
& Partners and  
DP  
Architects Pte  
Ltd) [6.2]

←Hong – Kong Stadium 1995 . Inż.. Ove  
Arup& Partners [6.5]

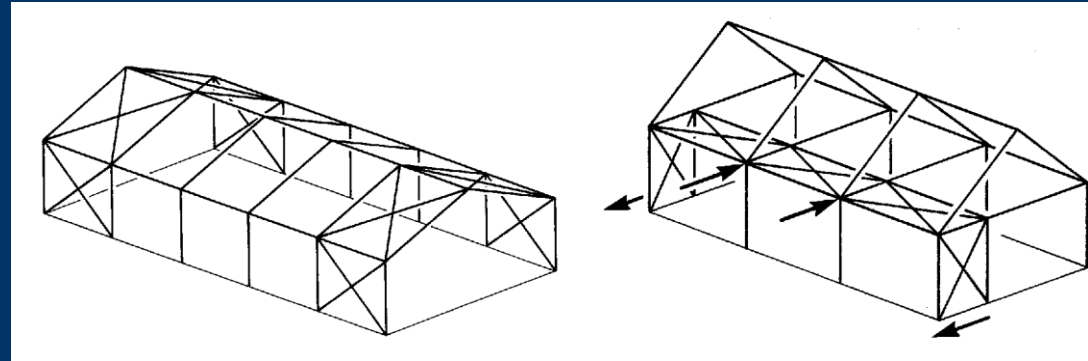
# Konstrukcje stalowe – ekspresja stężeń

## Stężenia konstrukcji

Wizualna ekspresja form jest związana z funkcją konstrukcyjną. Konstrukcje stalowe, to przede wszystkim konstrukcje prętowe, w których występuje wiele prętów stężających (pręty drugorzędowe, rozmieszczone tak, by zapewnić stateczność przestrzenną konstrukcji, wyposażonej w wiele połączeń przegubowych, tzn. nie przenoszących zginania). Stężenia umieszczane są zarówno wewnątrz jak i na zewnątrz konstrukcji głównej i nadają charakterystyczną formę konstrukcji stalowej .



Przykłady schematów stężeń w konstrukcjach stalowych [6.2]



Podparcie przegubowe słupa stalowego [6.2.]



Ekspresja stężeń (tężników) ściennych [6.2]





# Konstrukcje stalowe – łukowe i krzywoliniowe

Ekspresja  
stalowych form  
łukowych

Krzywoliniowe konstrukcje kształtowane są najczęściej w następujący sposób: (1) gięte rury lub kształtowniki, (2) blachownice spawane z krzywoliniowym środkiem, (3) łuki składane z blach lub kształtowników odcinkowo prostoliniowych (aproksymacja).



Łukowy dach . Windsor Leisure Centre,  
arch. FaulknerBrowns, [6.2] (1)



Krzywoliniowa galeria. Strasbourg  
Parliament arch. Richard Rogers  
Partnership [6.2] (3)



Elementy łukowe. Hong Kong Int Airport, arch.  
Richard Foster & Partner [6.2] (1)



Stratford Station. Łukowe ramy, arch. Wilkinson  
Eyre, [6.2] (2)

## Konstrukcje stalowe – ciągnowe lub kablone

Ciągna lub kable są elementami przenoszącymi TYLKO rozciąganie. W układzie konstrukcyjnym muszą jednak wystąpić elementy ściskane, np. w formie masztów lub sztywnych ram. Połączenie obu elementów pozwala uzyskać ciekawe efekty architektoniczne.

Ekspresja  
stalowych form  
ciągnowych



Homebase, London. Centralny maszt ze wspornikiem do napięcia lin-ciągów arch. Nicholas Grimshaw & Partners [6.2]



Maszt wewnętrzny napinający „namiot”. Channel Tunnel, UK, arch. BDP [6.2]



Konstrukcje ciągnowo-linowe w grupie, wyk. Pfeifer [6.5]



Konstrukcja siatkowa Stuttgart-Germany [6.5]



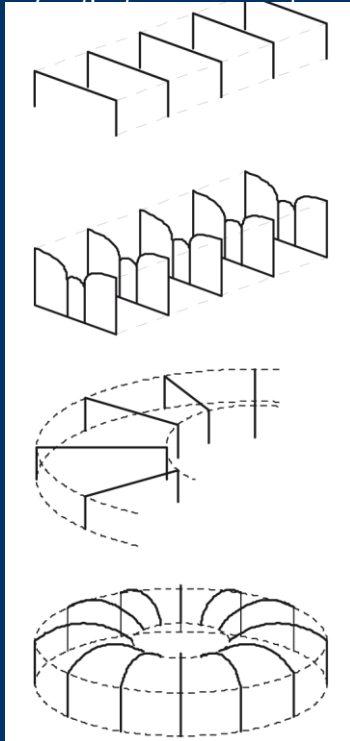
Stadion w Poznaniu arch. Modern Construction System [6.5]



# Konstrukcje stalowe – ramy

## Ekspresja stalowych form ramowych

Układy ramowe, to najczęstszy system w konstrukcjach stalowych. Na ramach są układane płatwie (system płatwiowy) lub bezpośrednio blacha pokrycia (system bezpłatwiowy), a całość stężona układem tężników: poprzecznych i podłużnych w połaci dachowej oraz pionowych w ścianach bocznych. W systemie stężeń wystąpią również stężenia ścian szczytowych w postaci poziomych kratownic zwanych wiatrownicami



Konstrukcja jest tworzona poprzez dublowanie układów poprzecznych (ram) [6.2]



Rama kratowa jako nośny układ poprzeczny konstrukcji stalowej



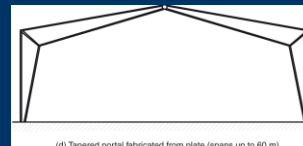
Zewnętrzny układ poprzeczny [6.2]



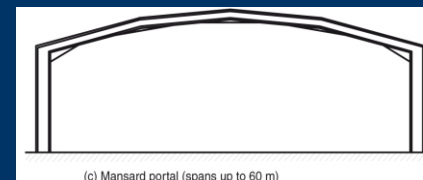
Pokrycie płatwiowe [6.2]



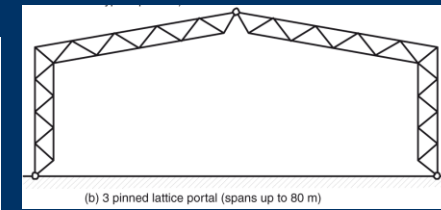
Rama portalowa [6.2.]



(d) Tapered portal fabricated from plate (spans up to 60 m)



(c) Mansard portal (spans up to 60 m)



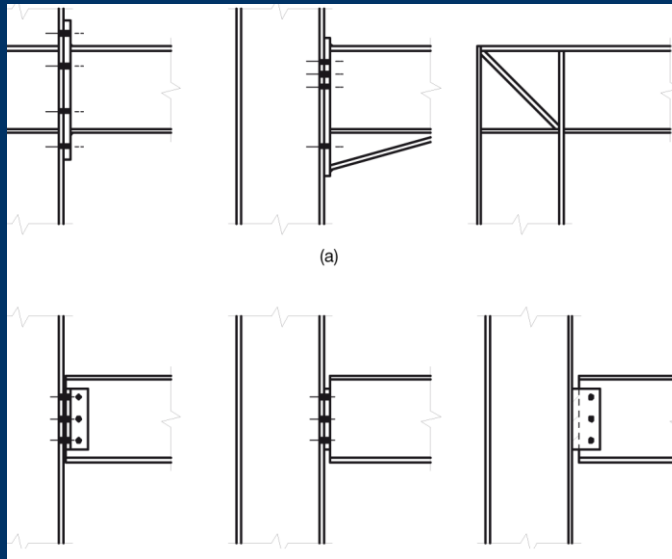
(b) 3 pinned lattice portal (spans up to 80 m)



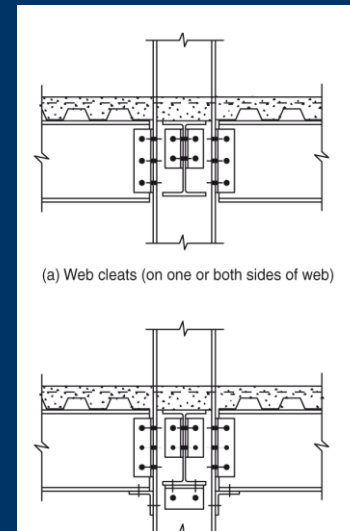
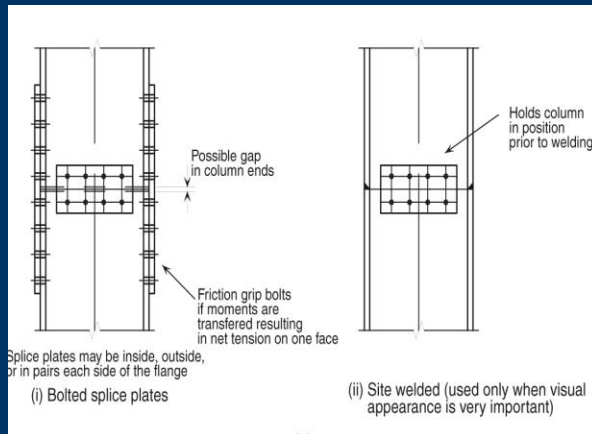
# Konstrukcje stalowe – połączenia

Jedną z najważniejszych zagadnień w konstrukcjach stalowych jest prawidłowe konstruowanie połączeń między elementami

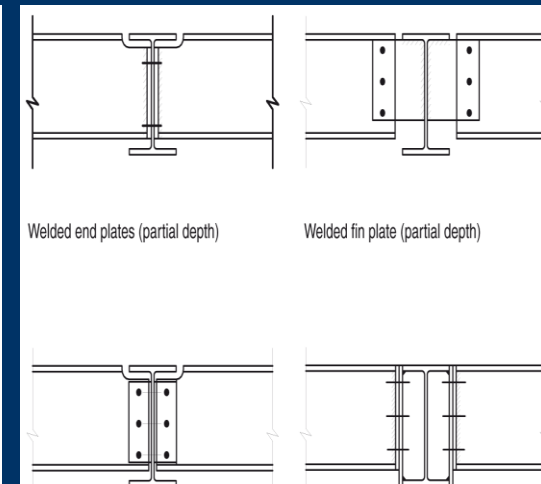
Przykłady połączeń konstrukcji stalowych



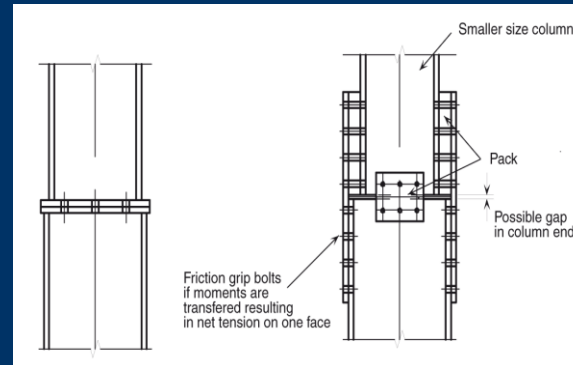
Przykłady połączeń belki ze słupem [6.2]



Belka-słup-strop [6.2.]



Belka-belka [6.2.]

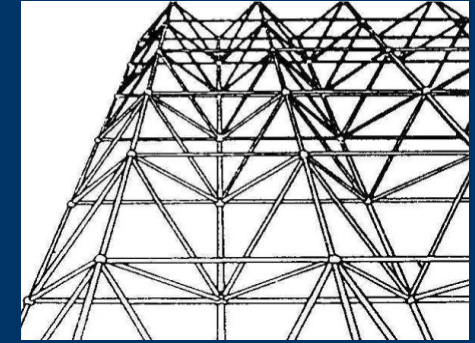
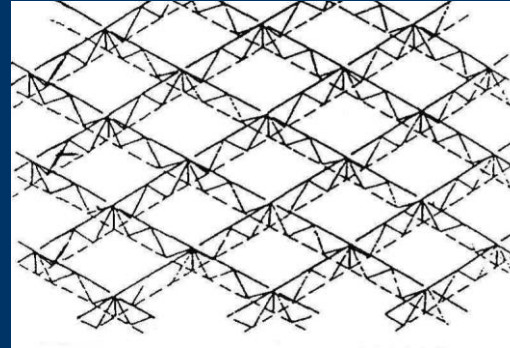
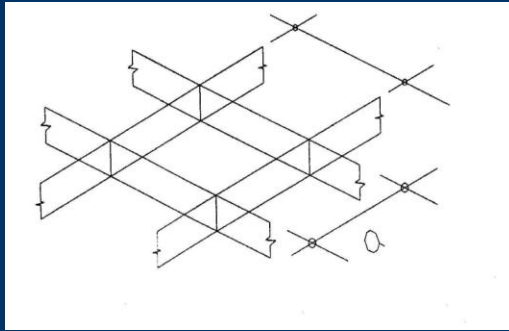


słup-słup [6.2.]







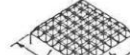


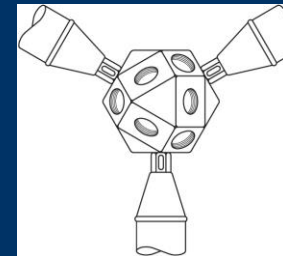
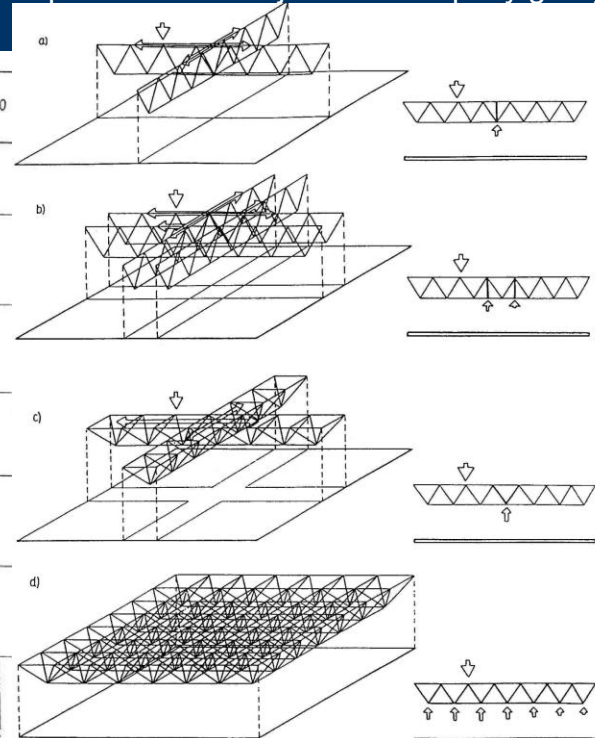
# Konstrukcje stalowe – struktury przestrzenne

## Struktury przestrzenne



Ruszt belkowy -> Ruszt kratownicowy -> Struktura przestrzenna trójwarstwowa pasy górny-pasy dolne-krzyżulce  
Maksymalne rozpiętości różnych typów przekryć

Oznaczenie	Układ nośny	Rozpiętość L, m												
		5	10	15	20	30	40	50	70	100	200			
Układy belki, działanie obustronne	 $\frac{b}{l} \approx \frac{1}{2}$ Płyta													
	 $\frac{b}{l} \approx \frac{1}{3}$ Płyta + dźwigary													
	 $\frac{b}{l} \approx \frac{2}{3}$ Dźwigary główne + dźwigary drugorzędne													
Układy prętów, działanie wektorowe	 $\frac{b}{l} \approx \frac{2}{3}$ Wiązary łukowy													
	 $\frac{b}{l} \approx \frac{1}{4}$ Dźwigary kratowe													
	 $\frac{b}{l} \approx \frac{2}{3}$ główne i drugorzędne dźwigary kratowe													
	 $\frac{b}{l} \approx \frac{1}{15}$ Przestrzenne ustroje prętowe													



Przykład węzła struktury – węzeł typu MERO.

Opatentowano wiele rodzajów węzłów kratownic przestrzennych, lub przestrzennych systemów prętowych

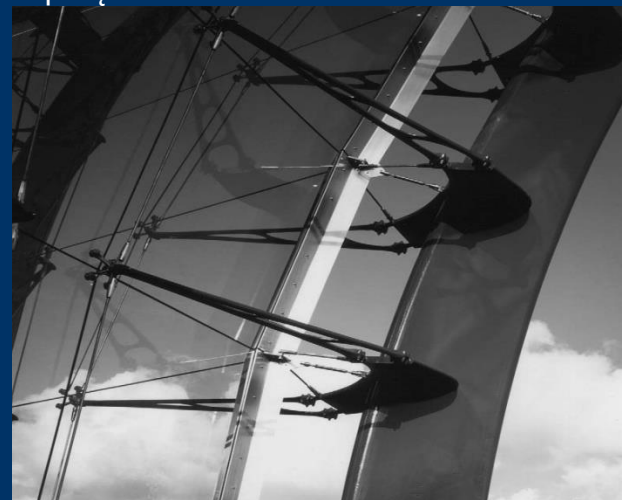
Schemat pracy struktury przestrzennej



Z punktu widzenia architektonicznego istotne są detale połączeń stal-szkło

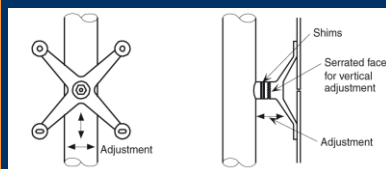
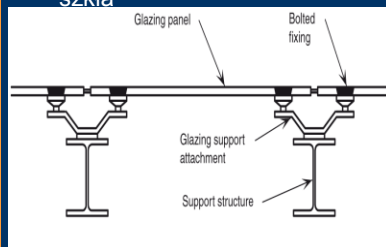


Kopuła Museum of Fruit, Yamanashi, Japan arch. **Itsuko** [6.2]

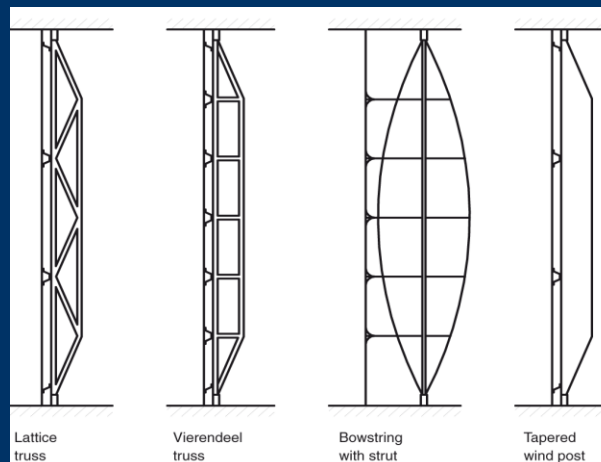


Detal stal-szkło Western Morning News, Plymouth arch. **Nicholas Grimshaw** [6.2]

Typowy system mocowania szkła

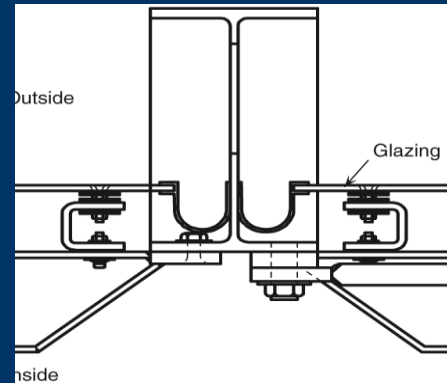
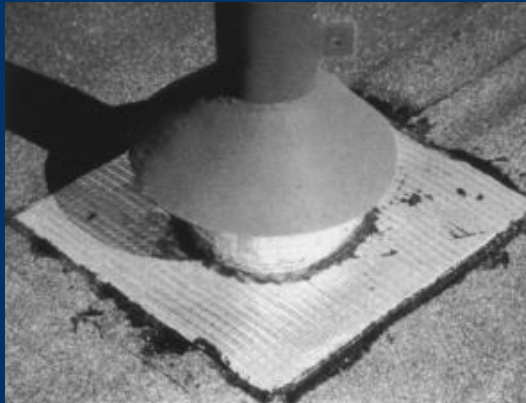


System cięgnowy dla podwójnej szklanej fasady  
Banque Populaire, Rennes, France

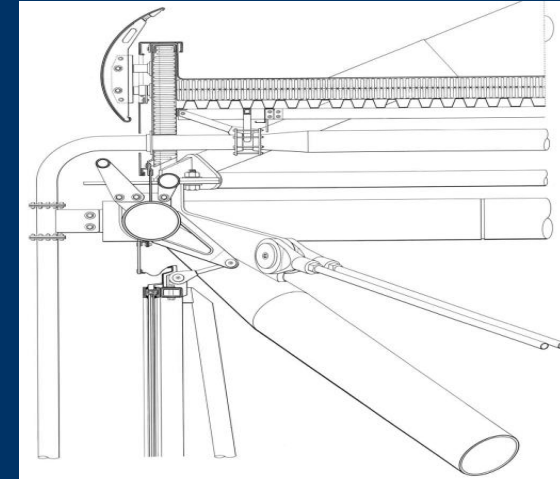


## Penetracja wody oraz mostki cieplne

Ważne jest zabezpieczenie przed penetracją wody oraz przed mostkami cieplnymi. Opracowanie detali jest ważnym zadaniem dla Architekta.

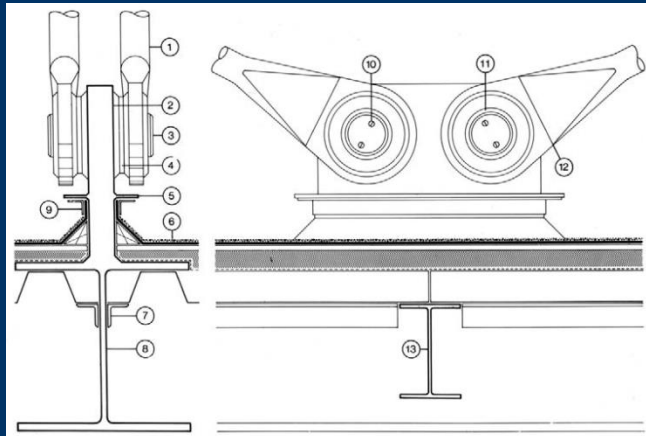


Przykład uszczelnienia mocowania szkła

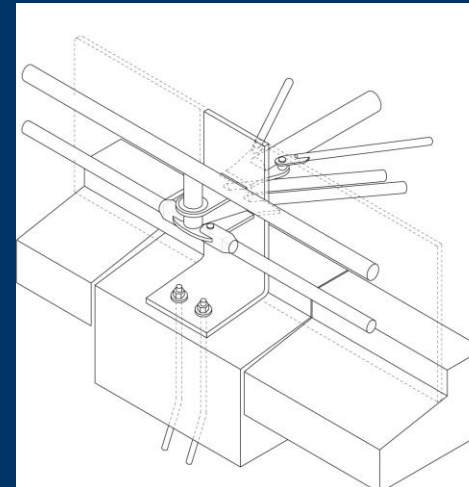


Przejście konstrukcji przez dach musi być uszczelnione

Przykładowe detale przebicia obudowy stężeniem [6.2]



System ciągnowy dla podwójnej szklanej fasady Banque Populaire, Rennes, France arch. **Odile Decq and Benoit Cornete** [6.2].



Węzeł konstrukcyjny i mocowanie pokrycia oraz obudowy [6.2]



Przebiecie przez szklaną fasadę  
Cologne Airport [6.2]



## Zabezpieczenia antykorozyjne (a-kor)

Koszt zabezpieczenie antykorozyjnego (a-kor) przewyższa 20% kosztu konstrukcji stalowej. Systemy powłok zabezpieczających a-kor różnicujemy przynajmniej dla konstrukcji wewnętrznych i zewnętrznych (poddanych działaniu czynników atmosferycznych).

Powłoki a-kor można podzielić na:

- **Lakiernicze**- najczęściej zestawy epoksydowo-poliuretnowe o gr. ok. 120 um
- **Metalizowane** – najczęściej cynkowanie ogniowe lub lakiery wysokocynkowe.

Dobór sposobu zabezpieczenia a-kor systemami malarskimi należy dokonywać zgodnie z normami serii **PN-EN ISO 12944 Ochrona przed korozją konstrukcji stalowych za pomocą ochronnych systemów malarskich – 7 części**

Wytrzymałość ogniowa elementów konstrukcyjnych jest mierzona czasem, w którym konstrukcja powinna wytrzymać w warunkach pożaru i jest oznaczana RI minuty, np. RI 120 oznacza 2 godz wytrzymałość ogniową (przez taki czas konstrukcja ma być stateczna i wytrzymała w warunkach pożaru.) Podstawowe wymagania są określone w *warunkach technicznych, które powinna spełniać budowla i jej usytuowania*.

Konstrukcja stalowa niezabezpieczona nie jest palna, ale ma niewielką wytrzymałość ogniową (ok. 15 min).

W celu uzyskania większej wytrzymałości ogniowej, elementy konstrukcyjne należy zabezpieczyć.

Ze względów ekonomicznych:

- 1) Wytrzymałość 30 min da się uzyskać przez malowanie farbami pęczniejącymi
- 2) Wytrzymałość 1 lub 2 godz uzyskuje się z zastosowaniem okładzin z płyt g-k lub specjalnych albo natrysku specjalnej powłoki.

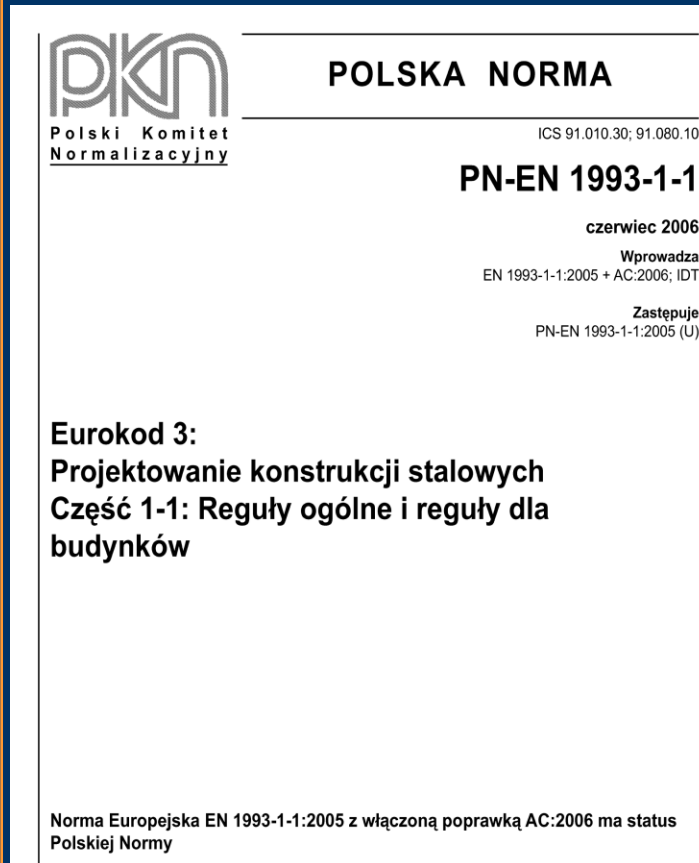
Zastosowanie stałych systemów gaśniczych (np. tryskaczy) umożliwia zmniejszenie wymagań odnośnie wytrzymałości ogniowej elementów konstrukcyjnych.

Natryskiwana powłoka p-poż. na belki stalowe →



## Zabezpieczenia ogniowe (p-poż)

Projektowanie konstrukcji stalowych reguluje zestaw norm **PN-EN 1993 (Eurokod 3)**, a mianowicie:  
**PN-EN 1993-1-1** *Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków*  
**PN-EN 1993-1-2** *Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-2: Reguły ogólne. Obliczanie konstrukcji na warunki pożarowe*  
**PN-EN 1993-1-3** *Projektowanie konstrukcji stalowych. Część 1-3: Reguły ogólne. Reguły uzupełniające dla konstrukcji i blach profilowanych na zimno*  
..... itd  
Łącznie 20 części ponad 600 stron.



Ponadto konstruktorzy konstrukcji stalowych powinni znać:

- 1) **PN-EN 1994 (Eurokod 4)** *Projektowanie konstrukcji zespolonych stalowo-betonowych (ok.. 200 stron)*
- 2) *Normy z zakresu spawalnictwa*
- 3) **PN-EN 1090-2-2009** *Wymagania techniczne dotyczące wykonania konstrukcji stalowych (ok. 200 stron)*