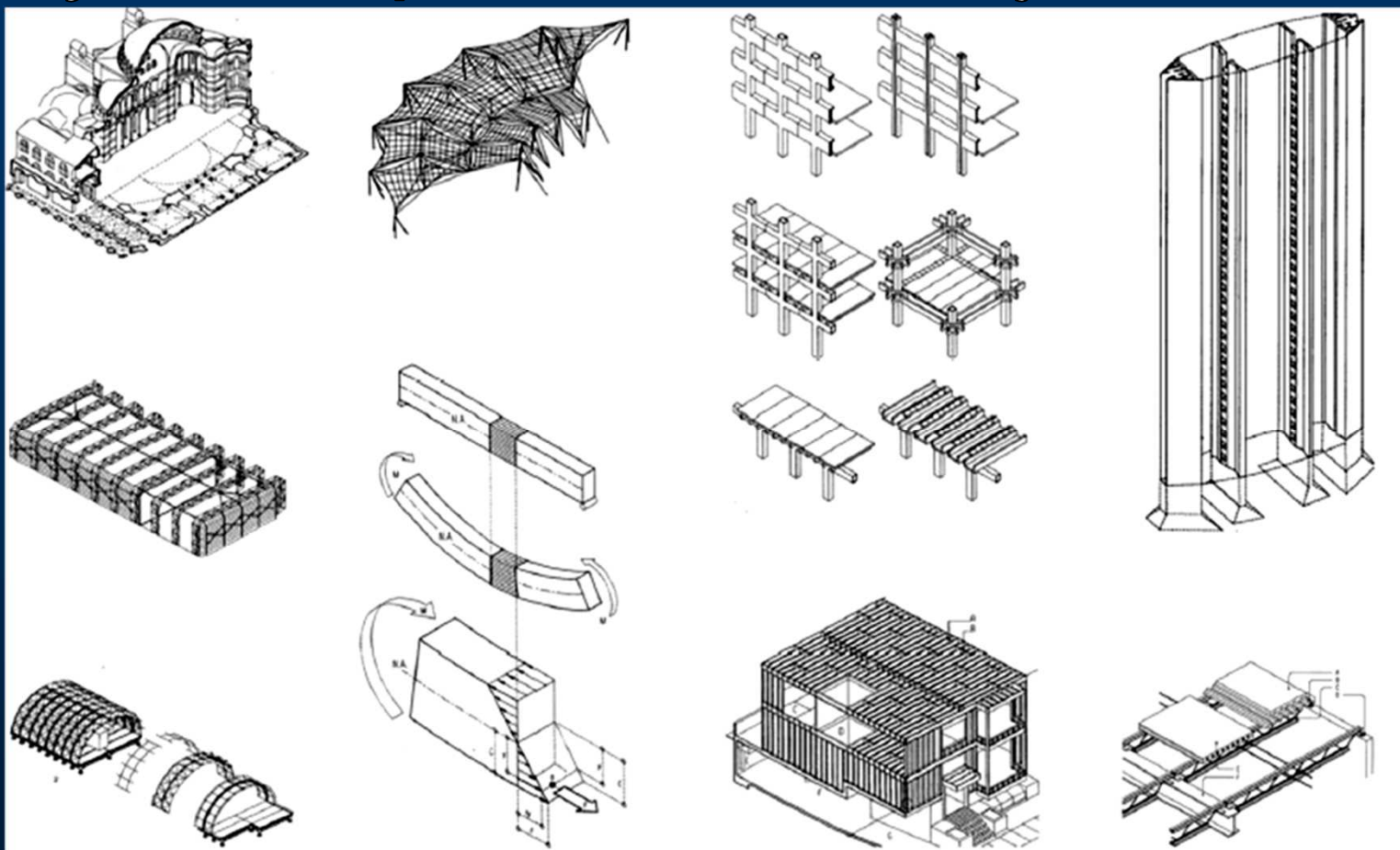


Wykład 6 Współczesne konstrukcje-stal, żelbet



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] Croft C., Concrete Architecture, Lurence King Publishing, London, 2004

[6.5] strony www dostępne w dniu 18-12- .

Leszek CHODOR , dr inż. bud, inż.arch.

leszek@chodor.co www.polskie-inwestycje.pl

1. Konstrukcje metalowe

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 i składników stopowych (np. mangan, krzem) o zawartości węgla poniżej 2%. Wyższa zawartość węgla powoduje 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 (żłom) 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.]



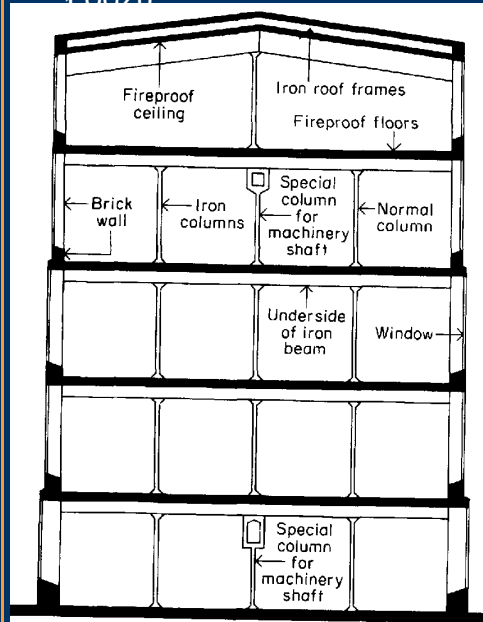
Konstrukcje żeliwne

Historyczne konstrukcje metalowe - żeliwne

Przykłady obiektów z konstrukcją żeliwną: mosty, akwedukty, fasady, szklarnie, fabryki: słupy i belki żeliwne

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

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

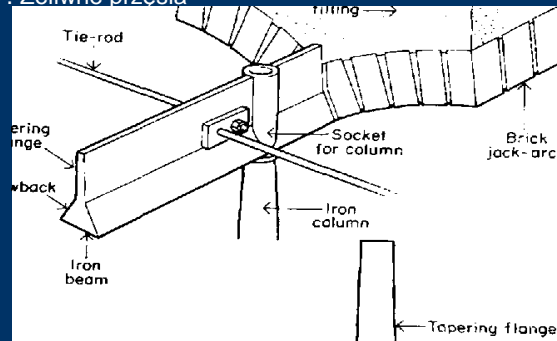


Typowy przykład budynku fabryki w konstrukcji żeliwnej. [6.3]. Bage's Mill, Shrewsbury, -- England, 1796 → detal stropu i słupa

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



Akwedukt Pontcysyllte w północnej Walii [6.5] → Żeliwne przęsła



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

← Słynny **Pałac kryształowy** wzniesiony na wystawę światową 1851. zbudowany z żeliwa i szkła i następnie przeniesiony i rozbudowany 1854 [6.5.] arch/inż. **Joseph Paxton**

Wyraz architektoniczno-konstrukcyjny konstrukcji stalowych

Lekkość
budowli,
ekspresja/impr
esja

Lekkość konstrukcji stalowych decyduje o szerokim stosowaniu w architekturze w celu uzyskania efektu lekkości utwory 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]



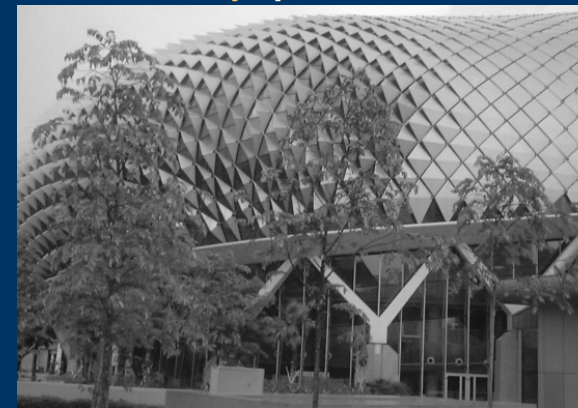
Przekrycie szklane na
zakrzywionym dachu, arch
Jestico and Whiles [6.2]



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



南華 vs 清水心跳 © ricciwong 2002



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

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

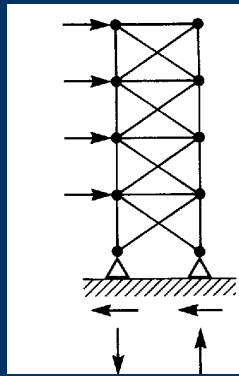
←Hong – Kong Stadium 1995 . Inż.. Ove
Arup& Partners [6.5]

Konstrukcje stalowe – ekspresja stężeń

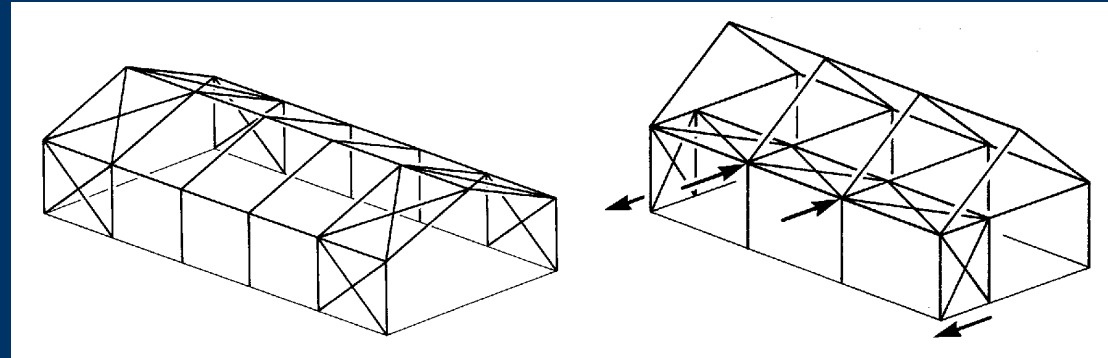
Stężenia konstrukcji

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 prętowe 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. Faulkner Browns, [6.2] (1)



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



[6.2](2)



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



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

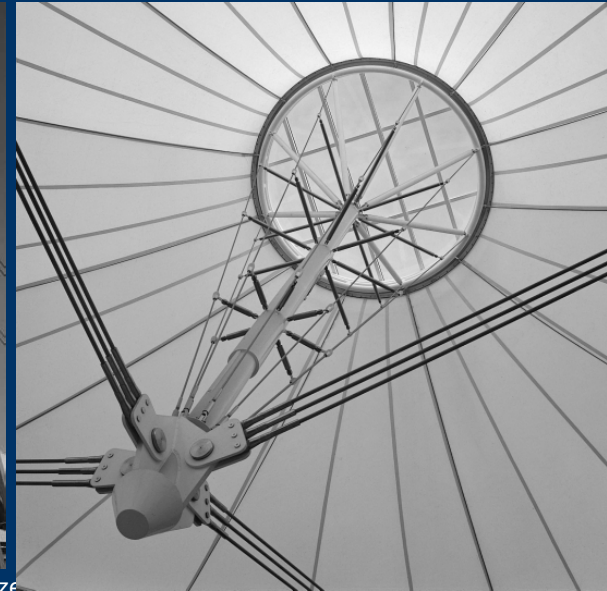
Konstrukcje stalowe – ciągnowe lub kablowe

Ekspresja
stalowych form
ciągnowych

Cięgna 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.



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 siatkowe Stuttgart-Germany [6.5]



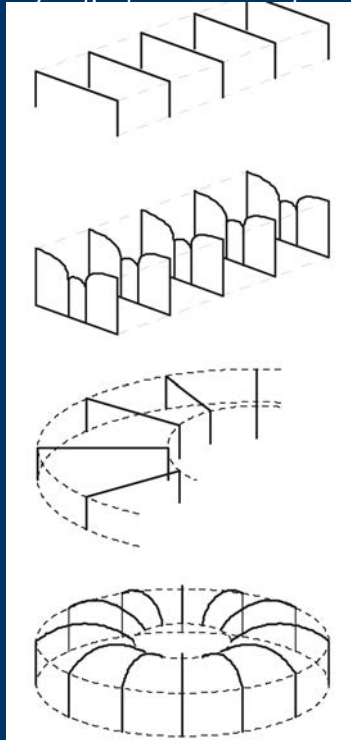
Stadion w Poznaniu arch. Modern Construction System [6.5]



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



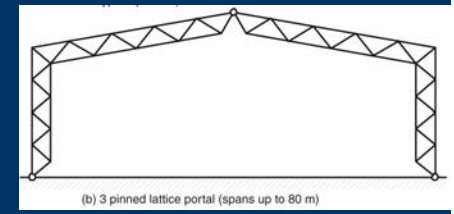
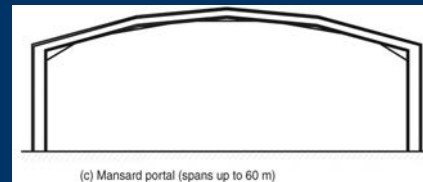
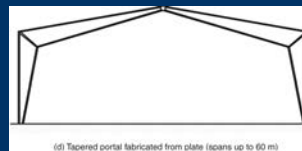
Zewnętrzny układ poprzeczny [6.2]



Pokrycie płatwiowe [6.2]



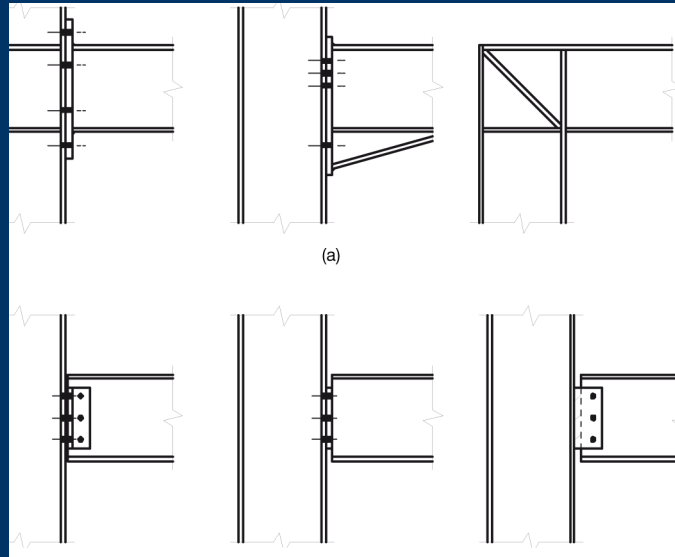
Rama portalowa [6.2.]



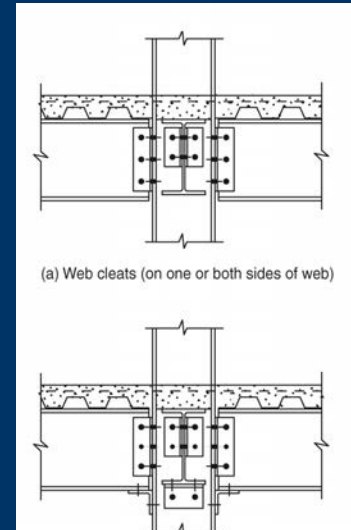
Konstrukcje stalowe – połączenia

Przykłady połączeń konstrukcji stalowych

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

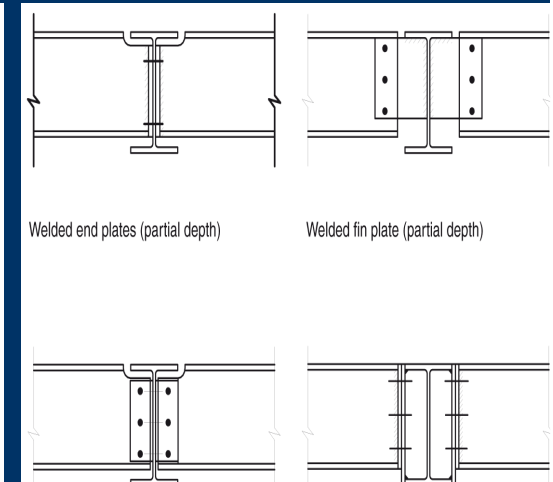


(a)



(a) Web cleats (on one or both sides of web)

Belka-słup-strop [6.2.]

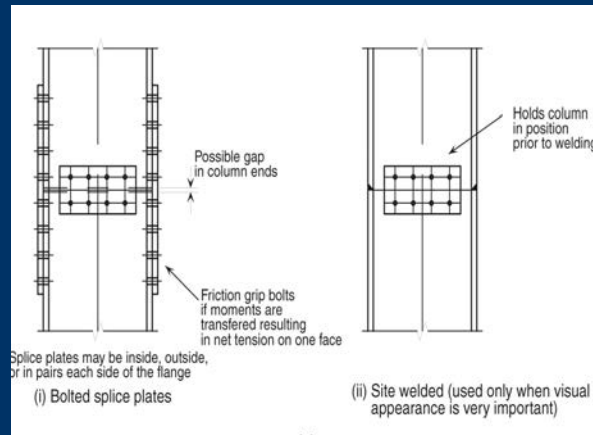


Welded end plates (partial depth)

Welded fin plate (partial depth)

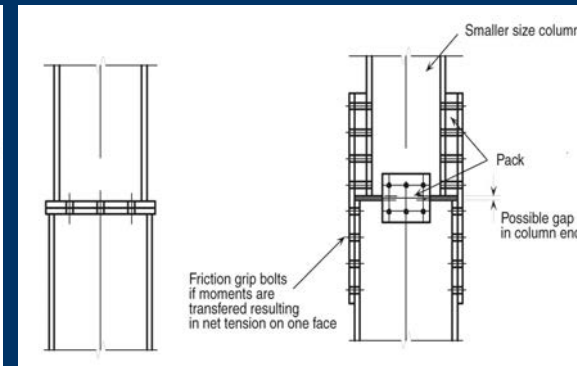
Belka-belka [6.2.]

Przykłady połączeń belki ze słupem [6.2.]

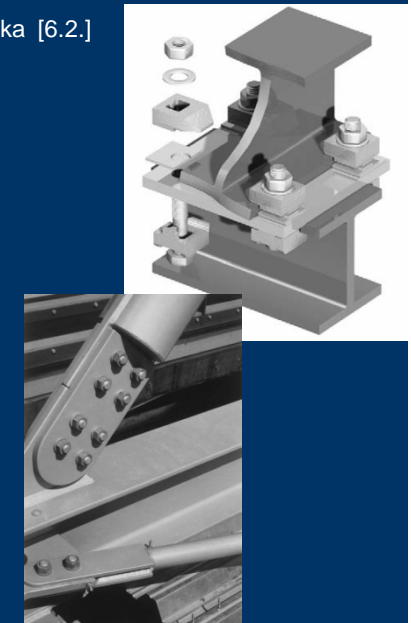


(i) Bolted splice plates

(ii) Site welded (used only when visual appearance is very important)

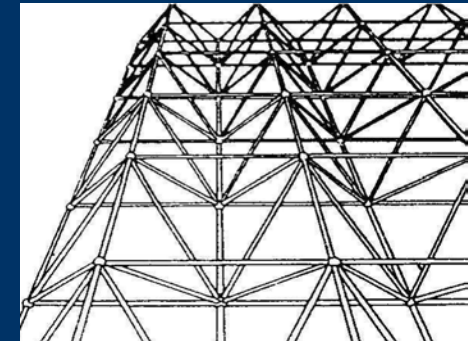
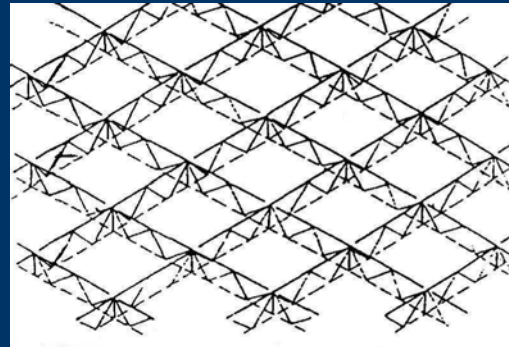
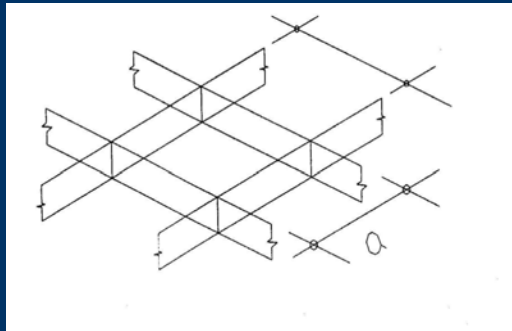


słup-słup [6.2.]



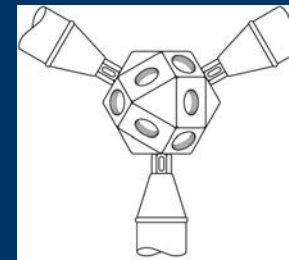
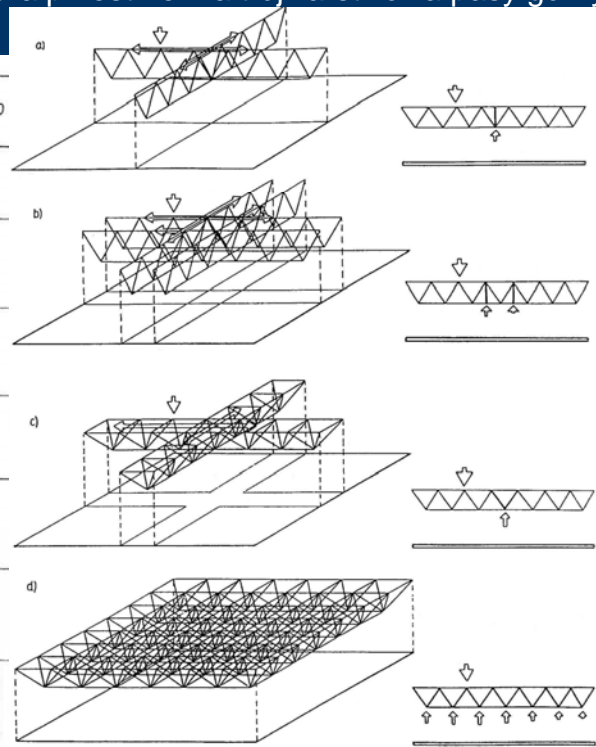
Konstrukcje stalowe – struktury przestrzenne

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 belek, działanie obciążeniowe	$\frac{b}{l} \approx \frac{1}{2}$ Płyta	■										
	$\frac{b}{l} \approx \frac{1}{3}$ Płyta + dźwigary	■	■									
	$\frac{b}{l} \approx \frac{2}{3}$ Dźwigary główne + dźwigary drugorzędne		■	■								
	$\frac{b}{l} \approx \frac{2}{3}$ Wiązary łukowy			■	■							
Układy prętów, działanie wektorowe	$\frac{b}{l} \approx \frac{1}{4}$ 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

Konstrukcje stalowe – detale mocowania szkła

Mocowanie szkła

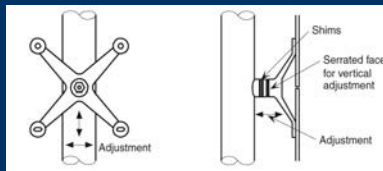
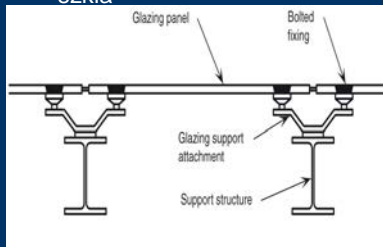
Z punktu widzenia architektonicznego istotne są detale połączeń stal-szkło



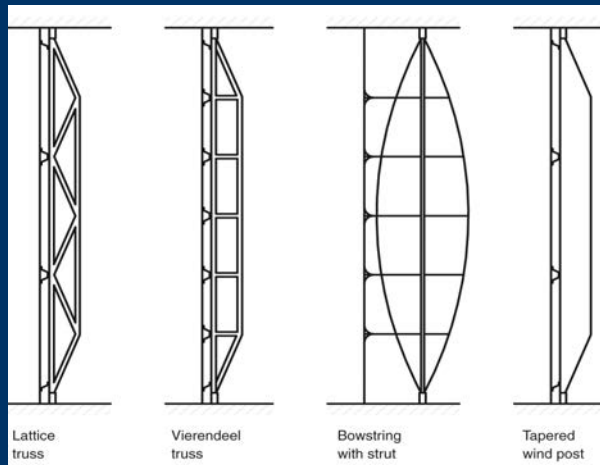
Kopuła Museum of Fruit, Yamanashi, Japan arch. **Itsuko** [6.2]

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

Typowy system mocowania szkła



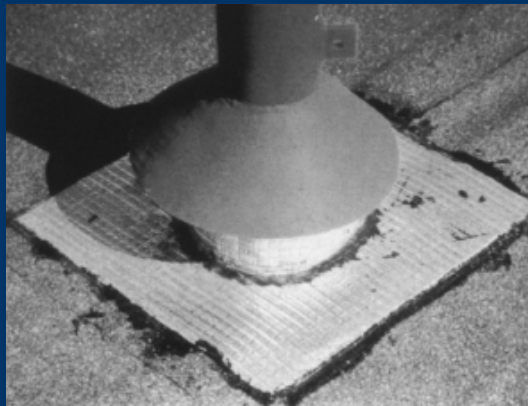
System ciągnowy dla podwójnej szklanej fasady
Banque Populaire, Rennes, France



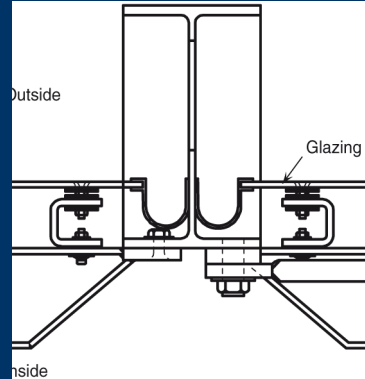
Konstrukcje stalowe – penetracja przez czynniki zewnętrzne

Penetracja wody oraz mostki cieplne

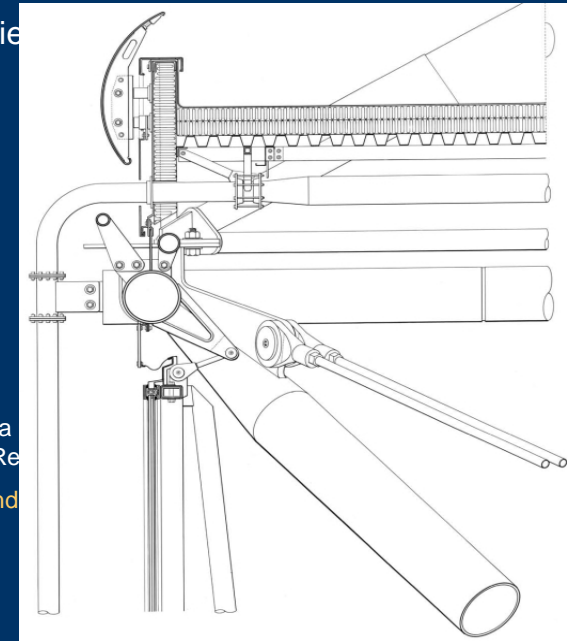
Ważne jest zabezpieczenie przed penetracją wody oraz przed mostkami cieplnymi. Opracowanie stosownych detali jest ważnym zadaniem dla Architekta.



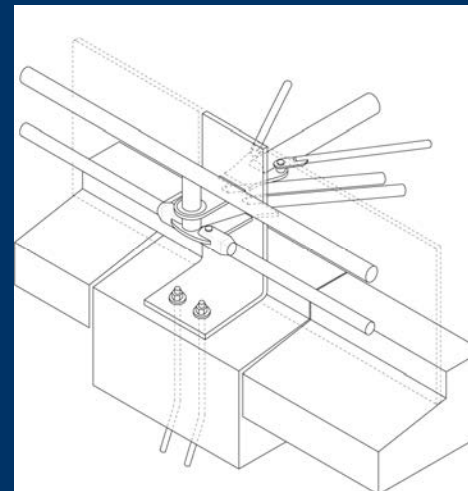
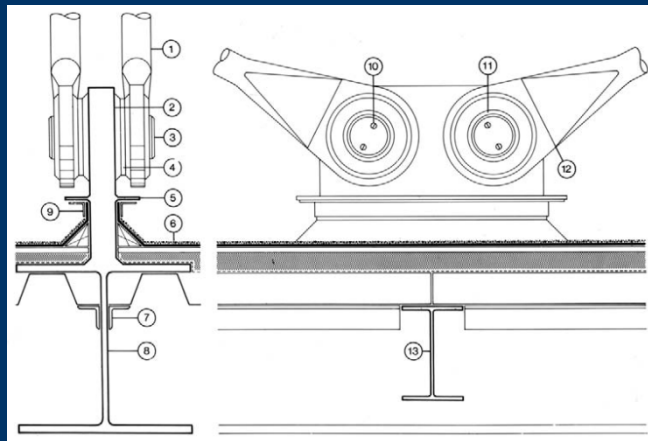
Przejście konstrukcji przez dach musi być uszczelnione



Przykład uszczelnienia mocowania szkła arch. Odile Decq and Populaire, Reims



Węzeł konstrukcyjny i mocowanie pokrycia oraz obudowy [6.2]



Przebiecie przez szklaną fasadę Cologne Airport [6.2]

Konstrukcje stalowe – zabezpieczenia a-kor i p-poż

Zabezpieczenia antykorozyjne (a-kor)

Koszt zabezpieczenie antykorozyjnego (a-kor) przewyższa 20% koszt 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-poliuretynowe 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, 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*.

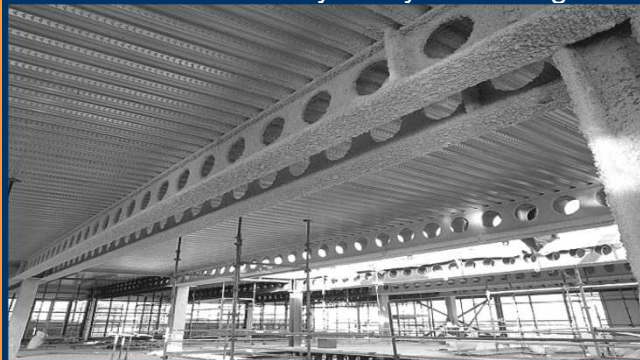
Konstrukcja stalowa niezabezpieczona nie jest palna, ale ma niewielką wytrzymałość ogniową (ok. 15 min).

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 konstrukcyjnych.



Natryskiwana powłoka p-poz. na belki stalowe

Konstrukcje stalowe – projektowanie

Eurokod 3

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.



Polski Komitet
Normalizacyjny

POLSKA NORMA

ICS 91.010.30; 91.080.10

PN-EN 1993-1-1

czerwiec 2006

Wprowadza
EN 1993-1-1:2005 + AC:2006; IDT

Zastępuje
PN-EN 1993-1-1:2005 (U)

**Eurokod 3:
Projektowanie konstrukcji stalowych
Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla
budynków**

Norma Europejska EN 1993-1-1:2005 z włączoną poprawką AC:2006 ma status
Polskiej Normy

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)*

2. Konstrukcje żelbetowe

Zalety i wady konstrukcji żelbetowych

Konstrukcje żelbetowe są współcześnie najczęściej stosowanym materiałem konstrukcyjnym.

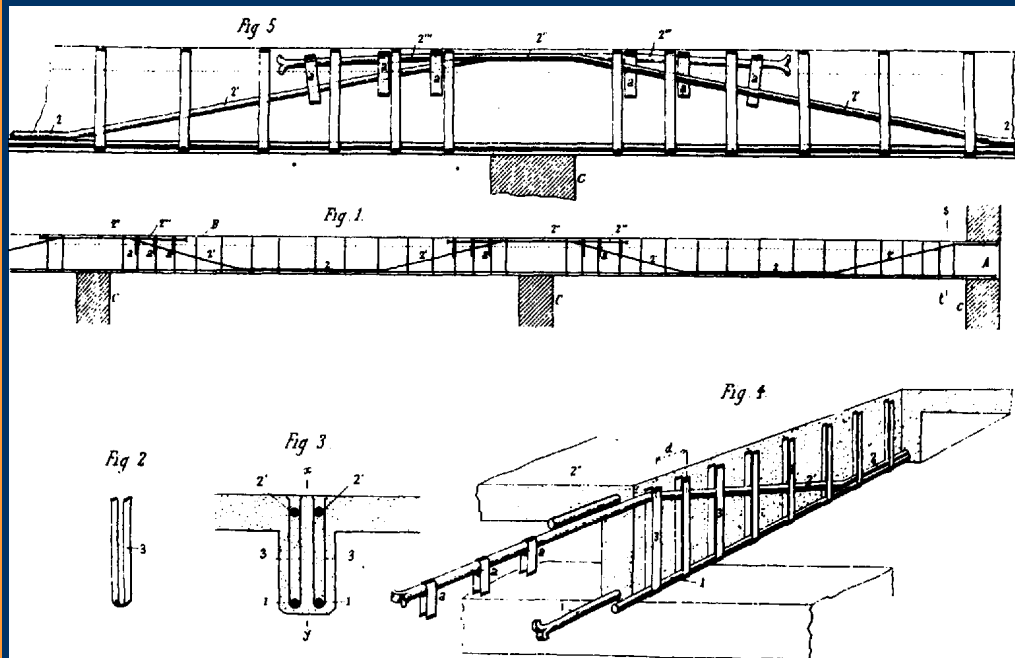
Zalety:

1. Wytrzymały na ściskanie oraz po zazbrojeniu również na ściskanie
2. Wytrzymały na obciążenia ogniowe
3. Dobra trwałość
4. Dobre tłumienie drgań (duża masa)

Wady

Ciężki - szacunkowo w 60% żelbet niesie sam siebie

Mało odporny na chlorki i zamrażanie, ...



Patent 1897. Francois Hennebique. Zastosowanie zbrojenia w belkach ciągłych



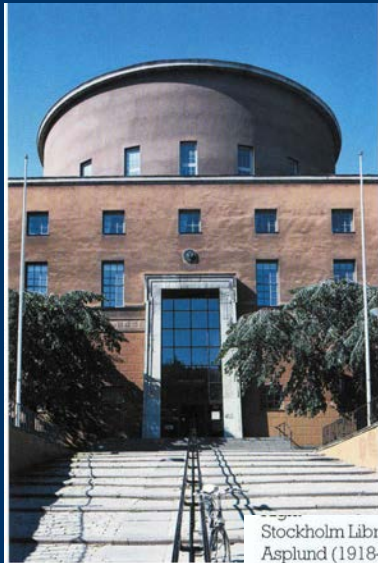
Żelbet stosowany jest w dwóch postaciach:

- 1) W prefabrykacjach
- 2) in situ – wylewany na mokro na budowie

W pierwszym przypadku uzyskujemy korzyść w postaci szybkiego montażu, w drugim oszczędzamy na transporcie, a także uzyskujemy elastyczność w kształtowaniu obiektu

2. Konstrukcje żelbetowe

Zalety i wady konstrukcji żelbetowych



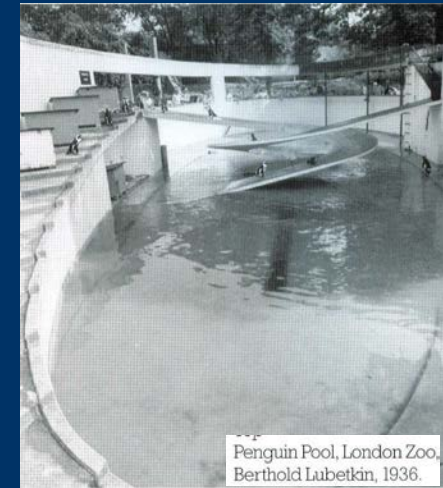
Stockholm Library, Erik Gunnar Asplund (1918–27).



Lovell Beach House, Newport Beach, Rudolf Schindler, 1922–6.



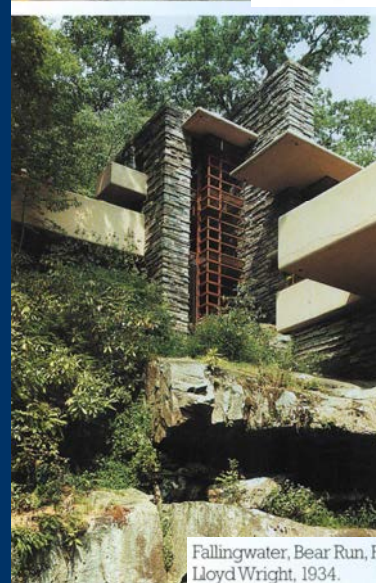
Unity Temple, Oak Park, Frank Lloyd Wright, 1906.



Penguin Pool, London Zoo, Berthold Lubetkin, 1936.



Ingalls Building, Cincinnati, Elzner & Anderson, 1902–03



Fallingwater, Bear Run, Frank Lloyd Wright, 1934.

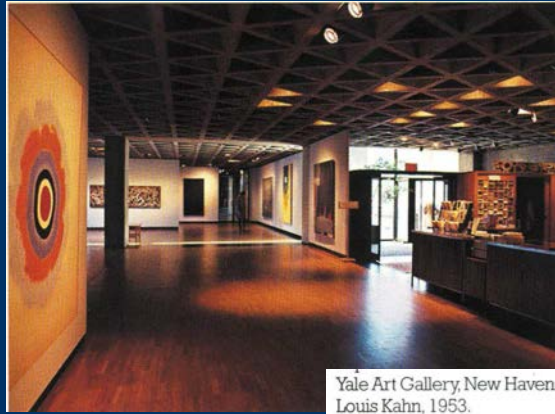


High-rise public housing estate Sheffield, England, 1960s.



Unité d'Habitation, Marseilles, Le Corbusier, 1947–52.

Konstrukcje żelbetowe



Yale Art Gallery, New Haven, Louis Kahn, 1953.



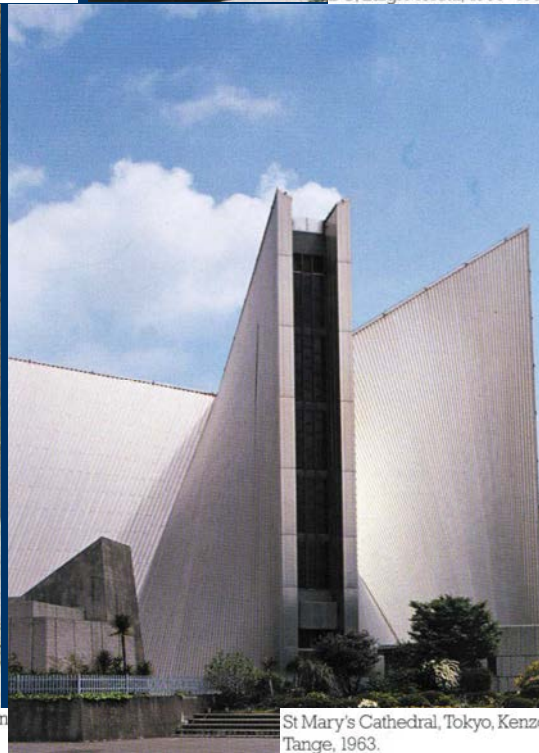
Watergate Complex, Washington DC, Luigi Moretti, 1960-1963.



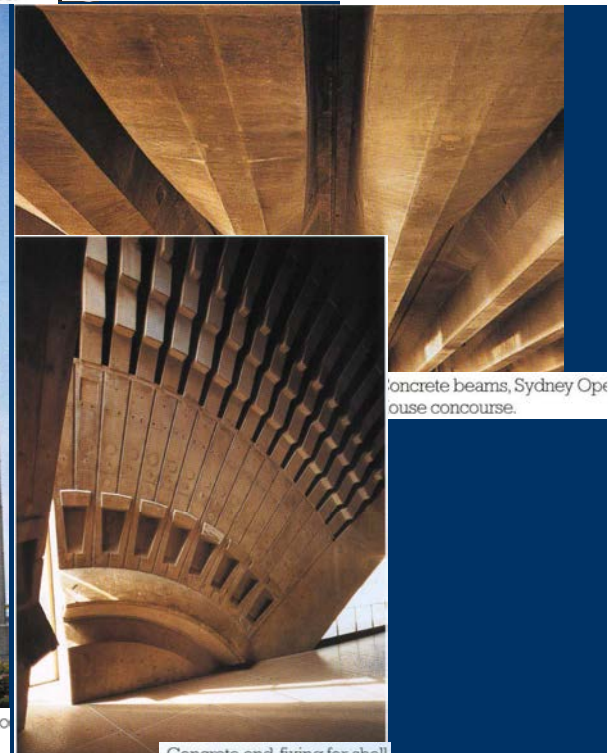
Sydney Opera House, Jørn Utzon, 1957-73.



Salk Institute, La Jolla, Louis Kahn, 1959-66.



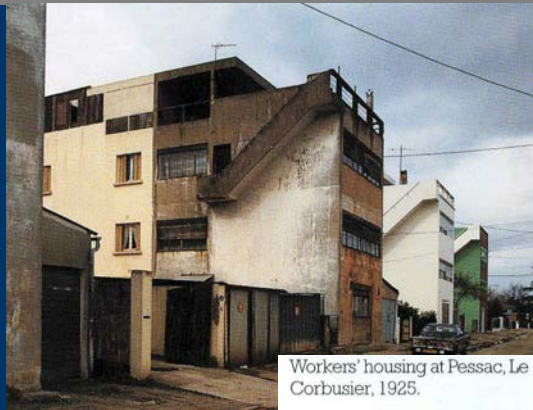
St Mary's Cathedral, Tokyo, Kenzo Tange, 1963.



Concrete beams, Sydney Opera House concourse.

Concrete end-fixing for shell plinth, Sydney Opera House.

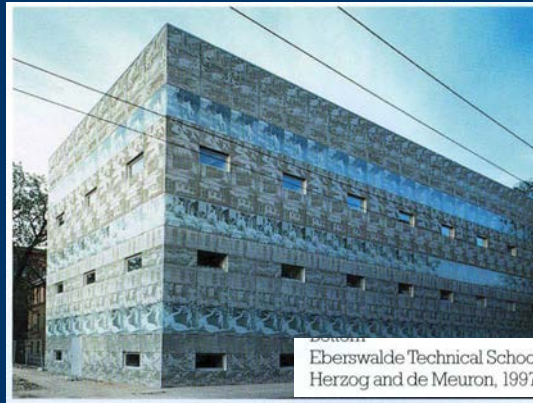
Konstrukcje żelbetowe



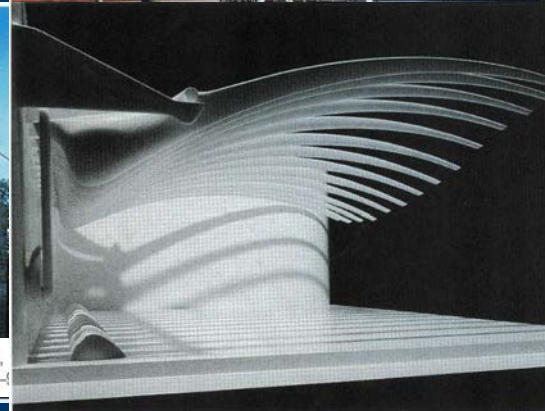
Workers' housing at Pessac, Le Corbusier, 1925.



Oskar Reinhart Collection, Winterthur, Gigon/Guyer, 1998



Eberswalde Technical School, Herzog and de Meuron, 1997-



Konstrukcje żelbetowe

Budynki
mieszkalne

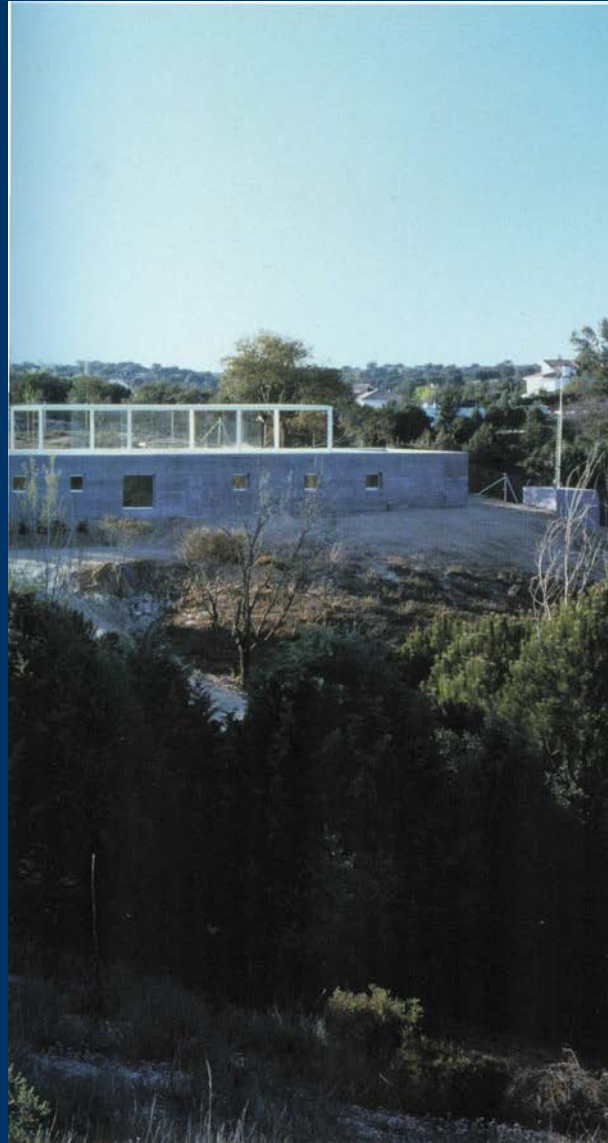


Family Home

Flasch, Switzerland, 2001
Beath and Deplazes

Konstrukcje żelbetowe

Budynki
mieszkalne

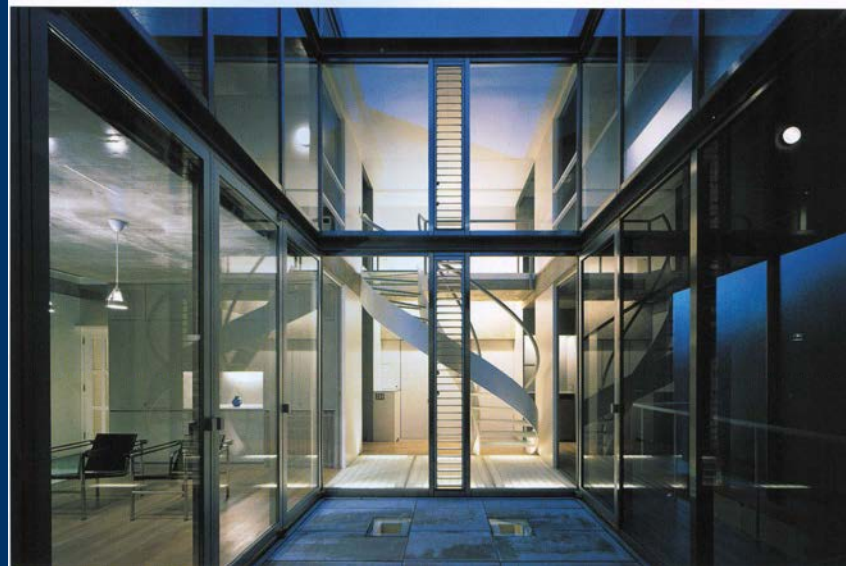


A steel-framed, cast-concrete central door links the open-plan living/dining room with the exterior.



Konstrukcje żelbetowe

Budynki
mieszkalne



Konstrukcje żelbetowe

Budynki
mieszkalne



Möbius House

Het Gooi, Netherlands, 1998
UN Studio

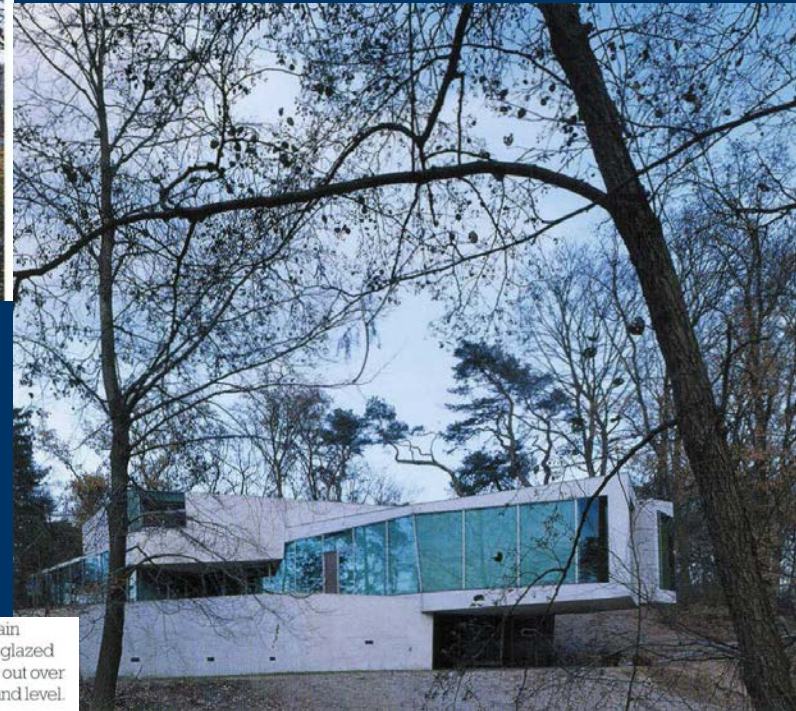


Konstrukcje żelbetowe

Budynki
mieszkalne



The main dining and living areas are located on the lower ground floor. Fractured and fragmented, concrete blocks appear to float in mid-air.



A studio space and the main bedroom are housed in a glazed runway, which cantilevers out over a guest apartment at ground level.

Konstrukcje żelbetowe

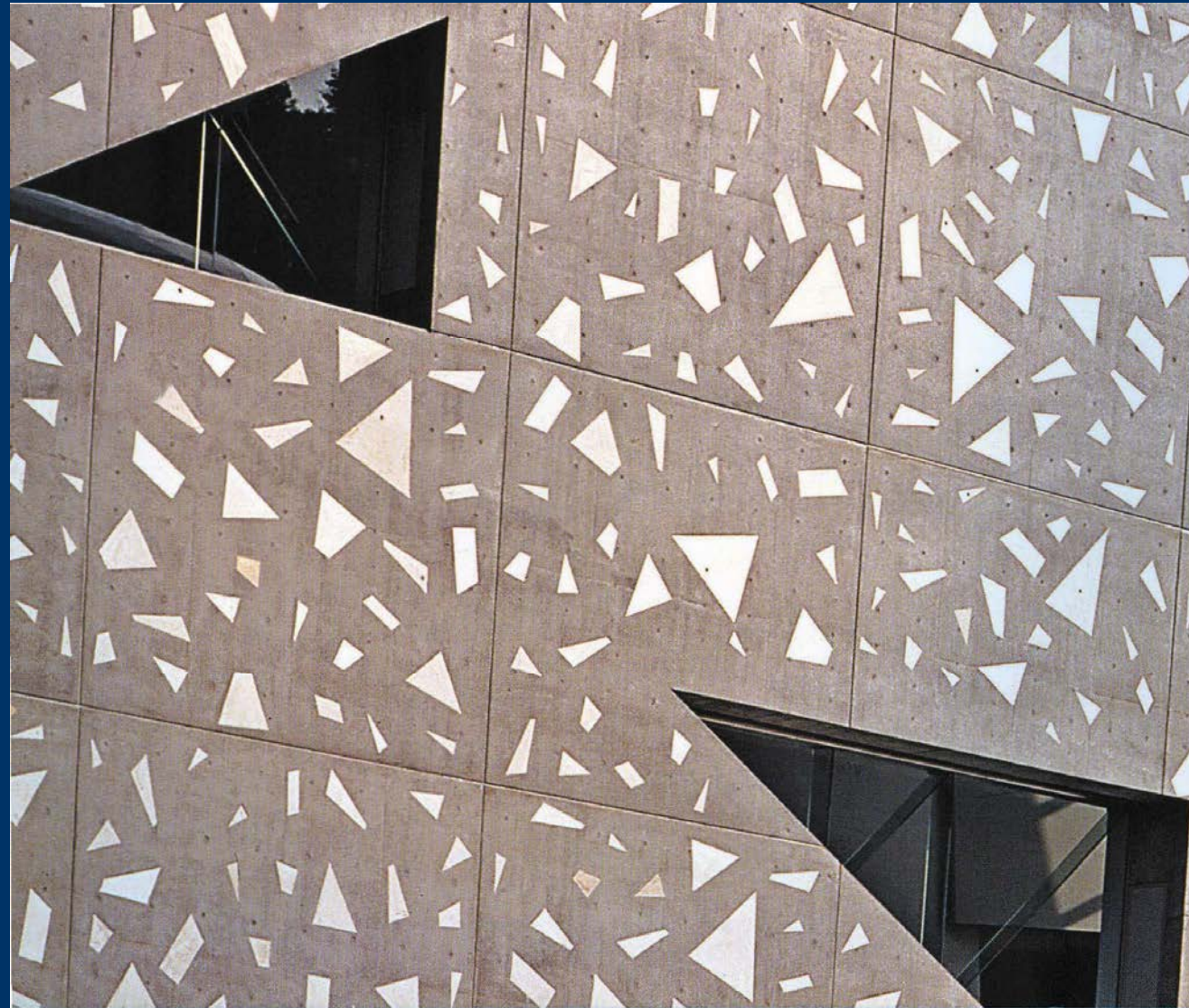
Budynki
mieszkalne



Since Japan is plagued by earthquakes, it is a big risk to build a concrete-wall structure there. However, by using a series of 2.4 metre (8 foot) cubes, there is no individual structure that carries through from the ground to top floor.



Praca



Konstrukcje żelbetowe

Praca



Haslach School

Au, Switzerland, 2000
Beat Consoni

Praca



The Court of Honour faces east towards the Reichstag. Its grand entrance is sheltered by a tensile fabric canopy – an accent added by Schultes to soften the imposing front façade. Eduardo Chillida's Corten steel sculpture *Berlin* greets visitors on their way in.



Konstrukcje żelbetowe

Praca



Konstrukcje żelbetowe

Praca





Konstrukcje żelbetowe

Praca





Środowisko





Barcelona Botanic Garden

Barcelona, Spain, 1999
Carlos Ferrater, Bet Figueras and José Luís Canosa

Eurokod 2

Projektowanie konstrukcji żelbetowych reguluje zestaw norm **PN-EN 1992 (Eurokod 2)**, a mianowicie:
PN-EN 1992-1-1 *Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-1: Reguły ogólne i reguły dla budynków*
PN-EN 1992-1-2 *Projektowanie konstrukcji z betonu. Część 1-2: Reguły ogólne. Obliczanie konstrukcji na warunki pożarowe*
..... itd

