

Konstrukcje stalowe -Węzły



Wieża Eiffla, Paris 1889



Freedom Tower NY (na miejscu WTC)



Muzeum Guggenhaima, Bilbao, 2005



Centre Pompidou, Paryż, 1971-77



Beijing Stadium Pekin 2008

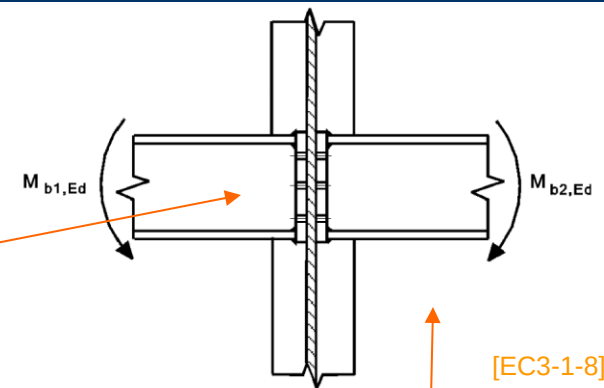
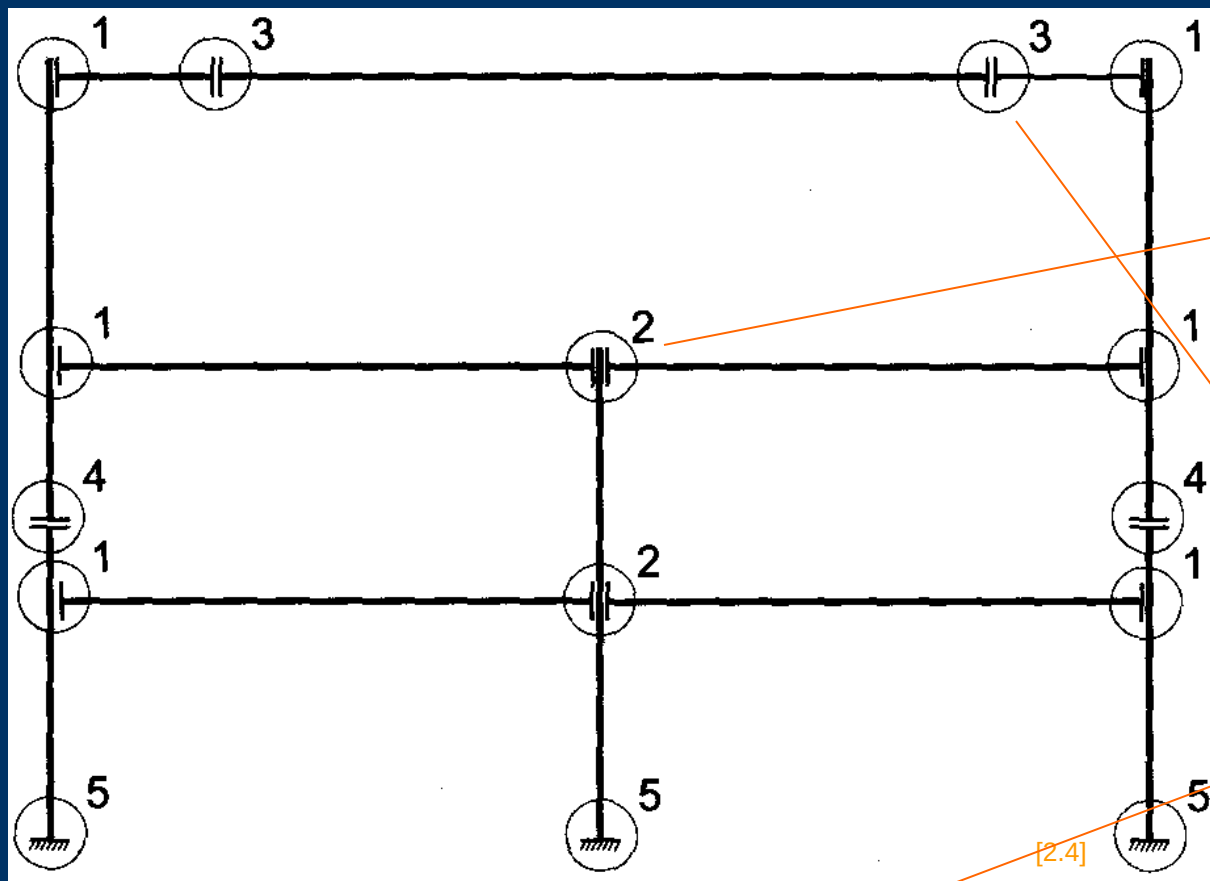
Opracowano z wykorzystaniem materiałów:

- [2.1] Arup O & Partners, *Worked Example for the Design of Steel Structures, Based on EuroCode 3*, SCI Publication, 1994
- [2.2.] Trebilcock P, Lawson M., *Architectural Design in Steel*, Spon Press, 2004
- [2.3] Steel Designers' Manual - 6th Edition (2003), ed: Davison B., Owens G., W., Blackwell Publishing, 2003
- [2.4] Budownictwo ogólne, tom 3: konstrukcje budynków, praca zbiorowa red. Wiesław Buczkowski, Arkady, 2009
- [2.5] Kozłowski A. (red), *Konstrukcje stalowe, Przykłady obliczeń wg PN-EN 1993-1*, cz. Pierwsza Wybrane elementy i połączenia
- [2. 6] Biegus A. *Zgodnie z Eurokodem 3 – część 5- wymiarowanie elementów*, Builder, czerwiec 2009

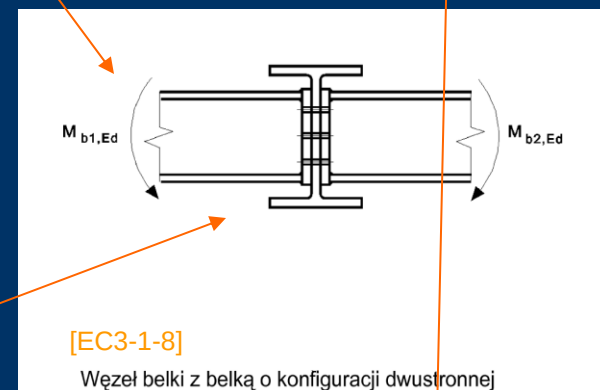
Leszek CHODOR , dr inż. bud, inż.arch.

leszek@chodor.co ; lch@chodor-projekt.net

Węzły w szkieletach stalowych



Węzeł belki ze słupem o konfiguracji dwustronnej



Węzeł belki z belką o konfiguracji dwustronnej

Węzły występujące w szkieletowych konstrukcjach stalowych:

1- węzeł jednostronny (zewnątrzny) rygiel-słup ; 2- węzeł dwustronny (wewnętrzny) rygiel-słup;

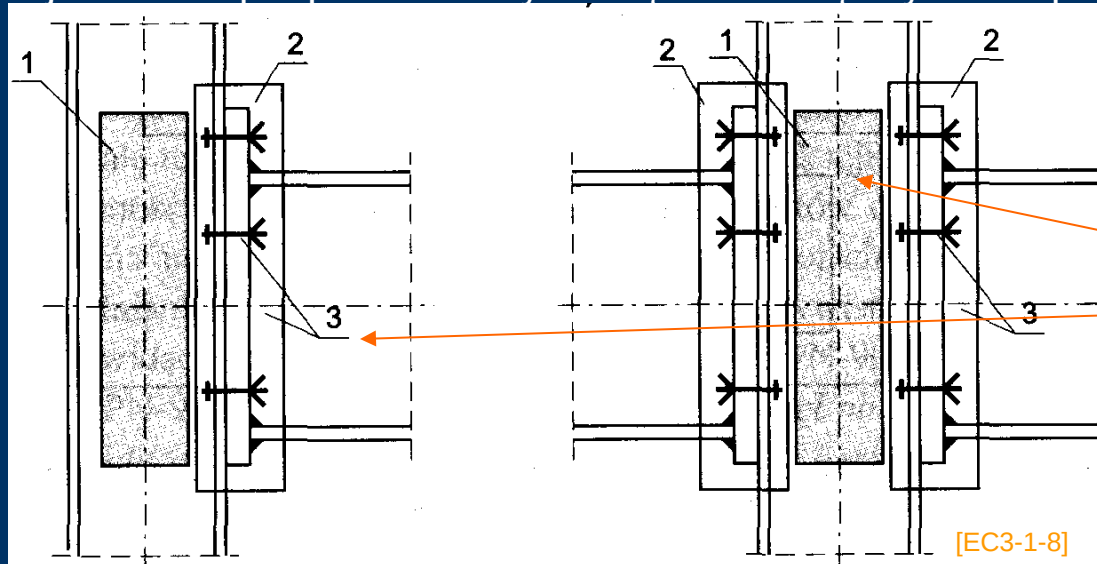
3- styk belki (rygli); 4- styk słupa; 5- zakotwienie słupa

Węzły w szkieletach stalowych

Połączenie → miejsce w którym zbiegają się co najmniej dwa elementy

Węzeł → strefa, w której połączone są wzajemnie elementy

– jest to zespół podstawowych części niezbędnych do przenoszenia sił w złączu



Konfiguracja węzłów konstrukcji stalowych budynków szkieletowych: jednostronna i dwustronna:

1- ścinany panel środkowy, 2- połączenie, 3- podstawowe części węzła (śruby, blachy, czołowe, środek słupa i belki)

1. ze względu na nośność:

2. nominalnie przegubowe, [nośność na zginanie <25% elementu]

3. o częściowej nośności, [inne niż przegubowe i o pełnej nośności]

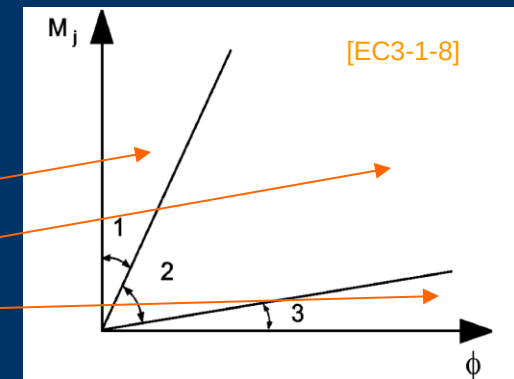
4. o pełnej nośności [nośność nie mniejsza niż elementów]

2. ze względu na sztywność:

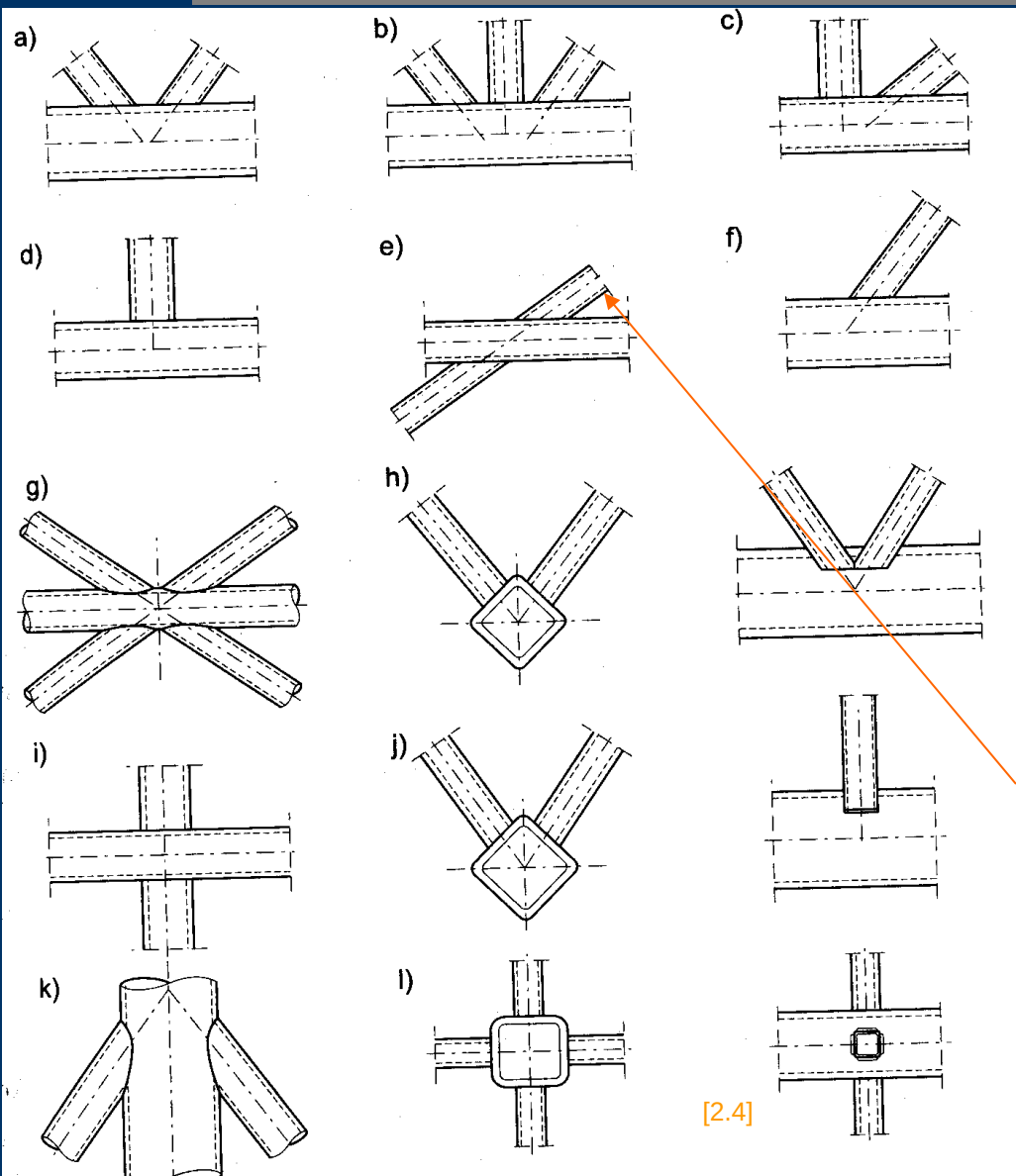
nominalnie przegubowe, [przenosi siły bez znaczącego udziału momentów zginających]

sztywne [mają sztywność obrotową wystarczającą do zapewnienia ciągłości układu elementów]

podatne [nie spełnia kryteriów węzła podatnego lub nominalnie przegubowego]



Węzły kratownic z kształtowników zamkniętych



Wybrane typy węzłów:

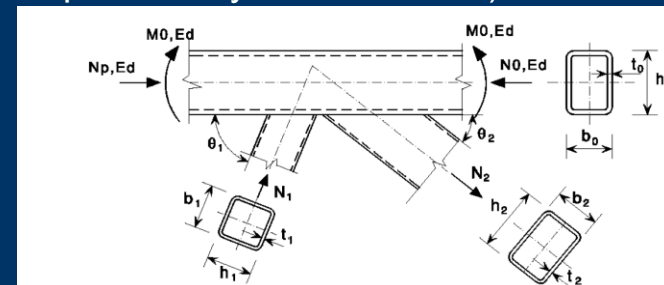
a) K, b) KT, c) N, d) T, e) X, f) Y, g) DK,

b) h) KK, i) X, j) TT, k) DY l) XX

W budownictwie stalowym coraz większego znaczenia nabierają konstrukcje wykonane z elementów o przekrojach zamkniętych, czyli rur o przekroju kołowym, kwadratowym, prostokątnym.

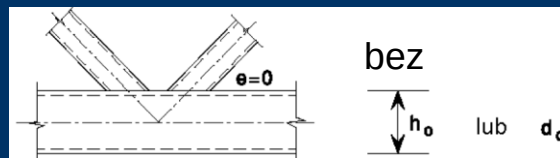
Zasady kształtowania:

- 1) granica plastyczności $> 460 \text{ MPa}$
- 2) nominalna grubość ścianki $\geq 2,5 \text{ mm}$
- 3) elementy ściskane – klasa 1 lub 2
- 4) kąt między prętami $> 30^\circ$
- 5) Końce prętów powinny być przygotowane w taki sposób, by kształt ich przekroju nie był zmieniony (z wyjątkiem połączeń z prętami spłaszczonymi na końcach)

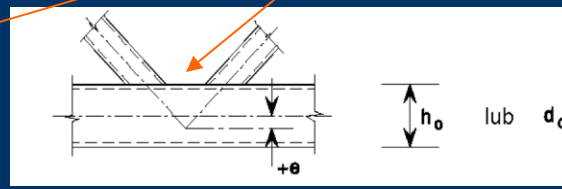
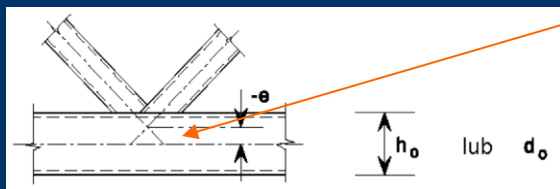


[2.4]

Mechanizmy zniszczenia węzłów prętów rurowych



Mimośrodowość w węzłach



Tablica 2.1: Współczynniki częściowe dotyczące węzłów [EC3-1-8]

Nośność elementów i przekrojów	γ_{M0}, γ_{M1} i γ_{M2} patrz EN 1993-1-1
Nośność śrub	γ_{M2}
Nośność nitów	
Nośność sworzni	
Nośność spoin	
Nośność blach na docisk	
Nośność na poślizg - w stanie granicznym nośności (kategoria C) - w stanie granicznym użyteczności (kategoria B)	γ_{M3} $\gamma_{M3,ser}$
Nośność na docisk śrub z iniekcją	γ_{M4}
Nośność węzłów kratownic z kształtowników rurowych	γ_{M5}
Nośność sworzni w stanie granicznym użyteczności	$\gamma_{M6,ser}$
Siła sprężania w śrubach o wysokiej wytrzymałości	γ_{M7}
Nośność betonu	γ_c patrz EN 1992

(a) zniszczenie przystykowe pasa
[plastyczne zniszczenie czołowej
ścianki pasa]

lub [plastyczne zniszczenie przekroju
poprzecznego pasa]

(b) zniszczenie bocznej ścianki
pasa lub zniszczenie środka
pasa

[wskutek uplastycznienia,
zgniecenia, lub niestateczności
bocznej ścianki pasa lub środka
pasa, wskutek ściskania od pręta
skratowania]

(c) ścięcie pasa

(d) zniszczenie skutek przebicia
ścianki pasa kształtownika
rurowego [inicjacja pęknięcia
prowadzącego do oderwania prętów
skratowania od pasa]

(e) zniszczenie skratowania

[pęknięcie spoin lub prętów
skratowania]

(f) zniszczenie wskutek wyboczenia
miejscowego

[pręta skratowania lub pręta pasa z rury
w obszarze węzła]

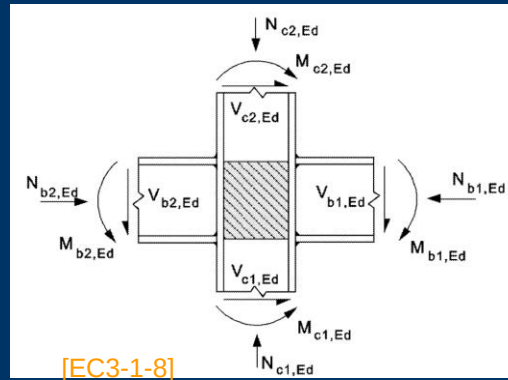
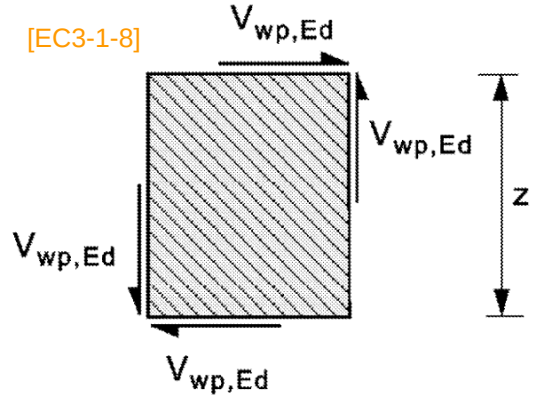
Na slajdzie zilustrowano mechanizmy zniszczenia (a) do (f) w przypadku profili z rur prostokątnych (RHS) →

Model	Siły podłużne	Moment zginający
a		
b		
c		
d		
e		
f		

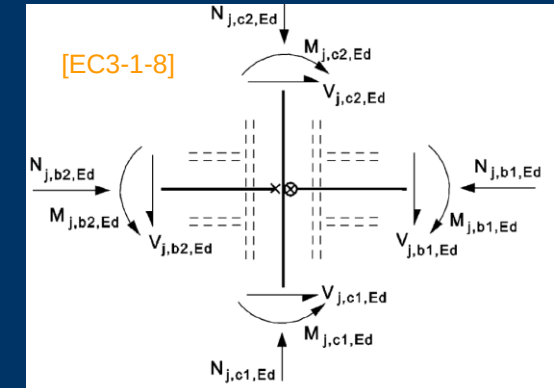
Węzeł belka(rygiel)-słup (B-S) w KS szkieletowych (KSs)

Model węzła B-S -skł

[EC3-1-8]



Wartości przywęzłowe na obrzeżach panelu środknika

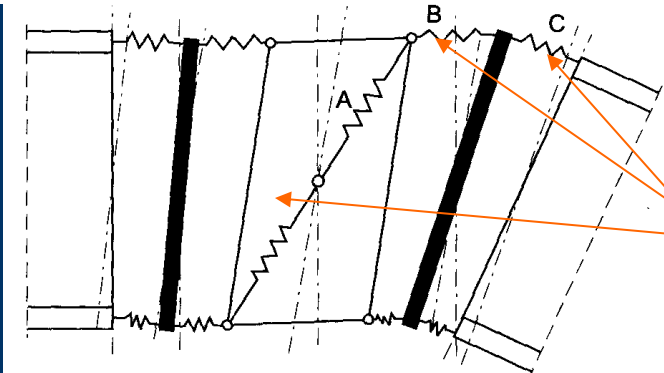
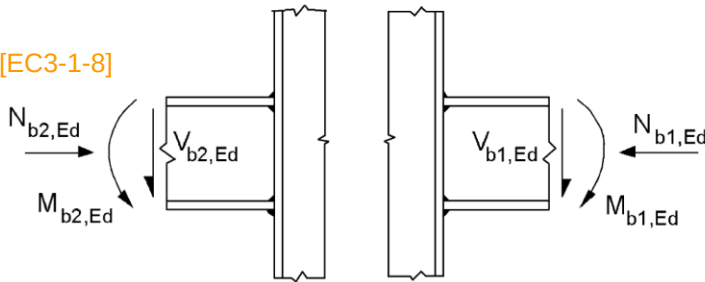


Wartości przywęzłowe w przecięciu osi środkowych elementów

Siły poprzeczne w panelu środknika

Połączenia oraz siły i momenty w belkach

[EC3-1-8]



Analizując pracę węzła należy uwzględnić odkształcenia pochodzące od wszystkich istotnych wpływów, w tym odkształcenia połączeń, postaciowe odkształcenia panelu środknika oraz deformację obrotową połączenia przerwanego w węźle (balcha czołowa i śruby).

W EC3 do charakteryzowania węzłów wykorzystuje się **metodę składnikową** ← **Model (B-S) – skł** [lata 80-te **Tschemmernegg**]

W metodzie modelu się odrębnie panel środknika i oddzielnie połączenie.

Węzeł modeluje sprężynami

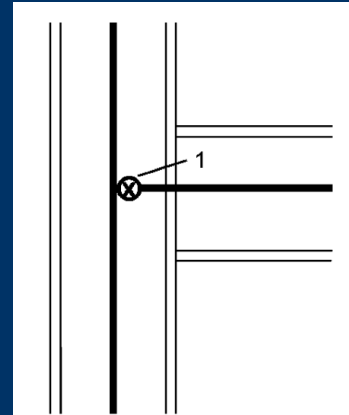
A – modeluje zachowanie się ścinanego środknika

B – lokalne odkształcenie środknika od sił skupionych

C- odkształcenia blachy czołowej i wydłużenia śrub

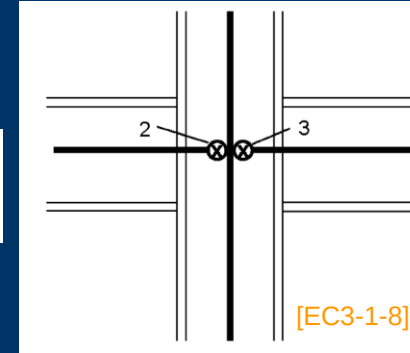
Węzeł (B-S)

Modelowanie węzła metodą składnikową jest bardzo niewygodne w praktyce. Jako dopuszczalne uproszczenie w EC3-1-8 przyjęto modelowanie węzłów za pomocą **jednej, łącznej charakterystyki** → czyli jednej **stałej sprężystości C** = moment/obrót (w ogólności nieliniowej)

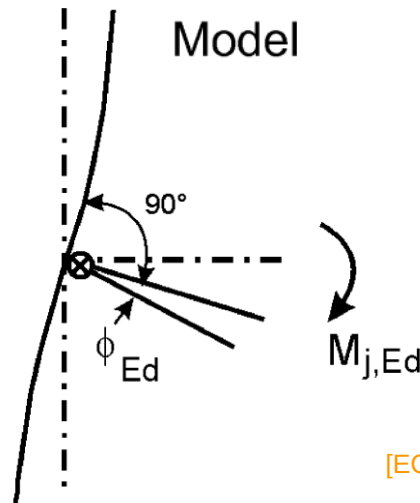
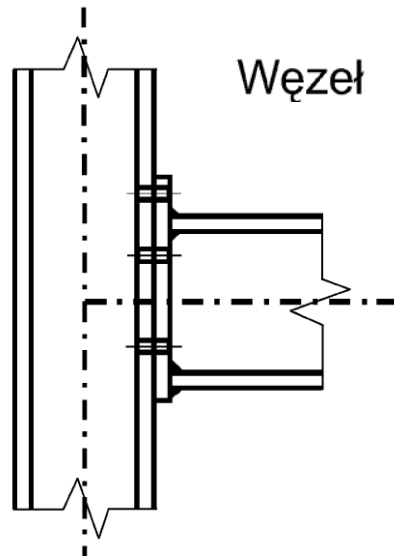


Konfiguracja węzła jednostronnego

- 1 Węzeł
- 2 Węzeł 2: z lewej strony
- 3 Węzeł 3: z prawej strony

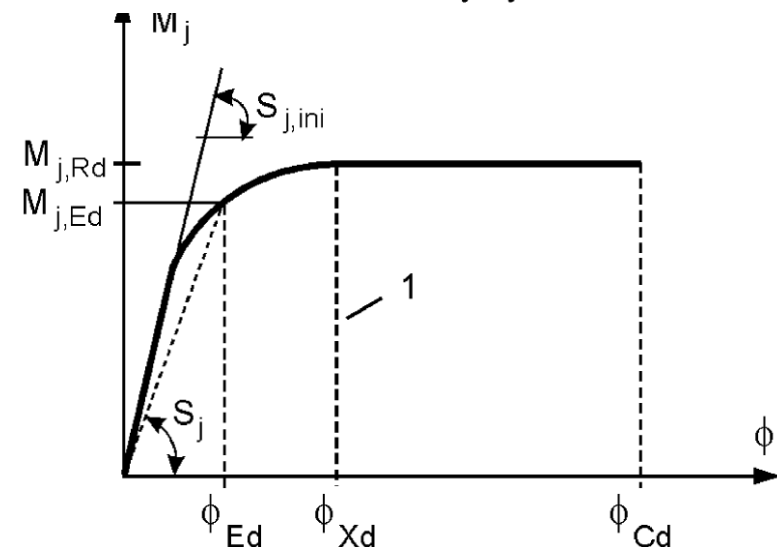


Konfiguracja węzła dwustronnego

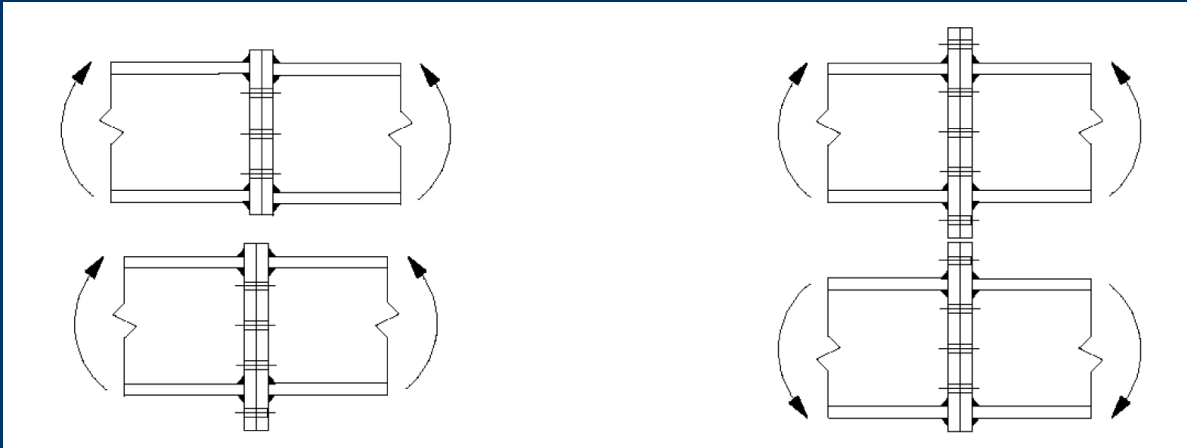


[EC3-1-8]

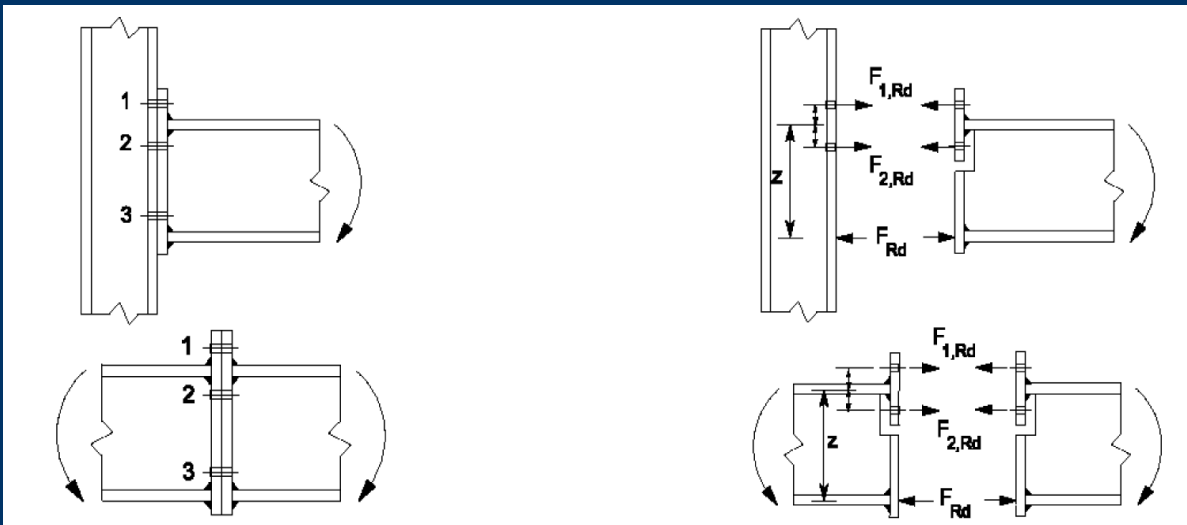
Obliczeniowa charakterystyka moment-obrót



Węzeł belka-belka (B-B) lub słup-słup (S-S) w KSs



Śrubowe styki belek z dospawanymi blachami czołowymi



Uprozczone modele węzłów śrubowych z wystającymi blachami czołowymi

W przypadku styku słupów:

1. Środek ciężkości nakładek i przykładek pokrywa się z środkiem przekroju słupa
2. Jeśli końce słupów są obrobione mechanicznie (frezowane), to 75% siły osiowej przekazuje się Przez bezpośredni docisk
3. Nakładki i przekładki w stykach o niepełnym kontakcie (bez frezowania) w obu kierunkach głównych styk powinien być zdolny przenieść co najmniej 25% nośności przekroju słupa w każdym kierunku i dla dowolnej siły (zginanie, Ścinanie, ściskanie (tutaj 2,5%))

← **Połączenia czołowe.**

Inne typy połączeń (B-B), (S-S), To:

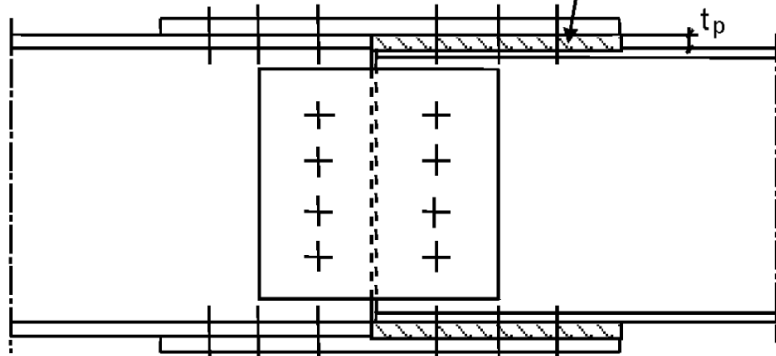
zakładkowe,

Zakładkowe – przekładkowe

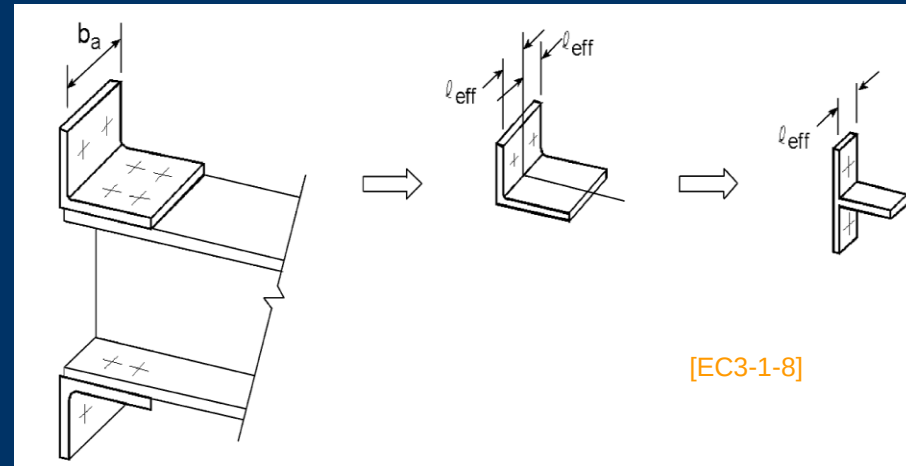
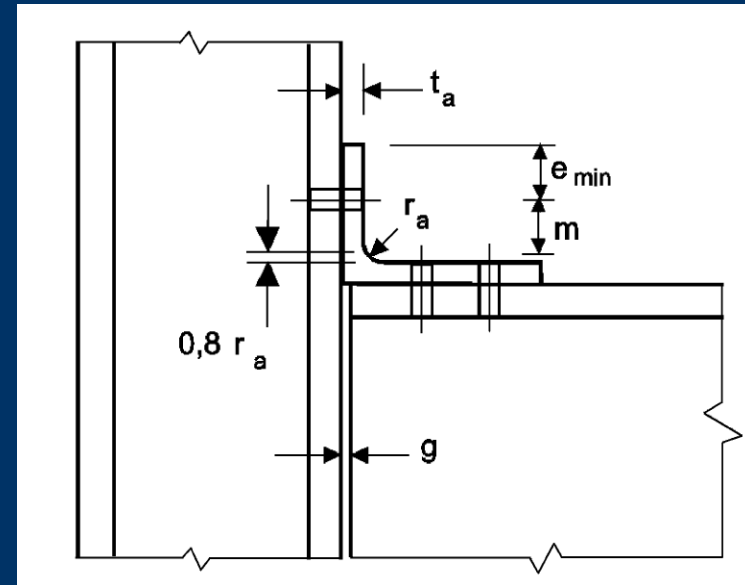


[EC3-1-8]

Przekładka

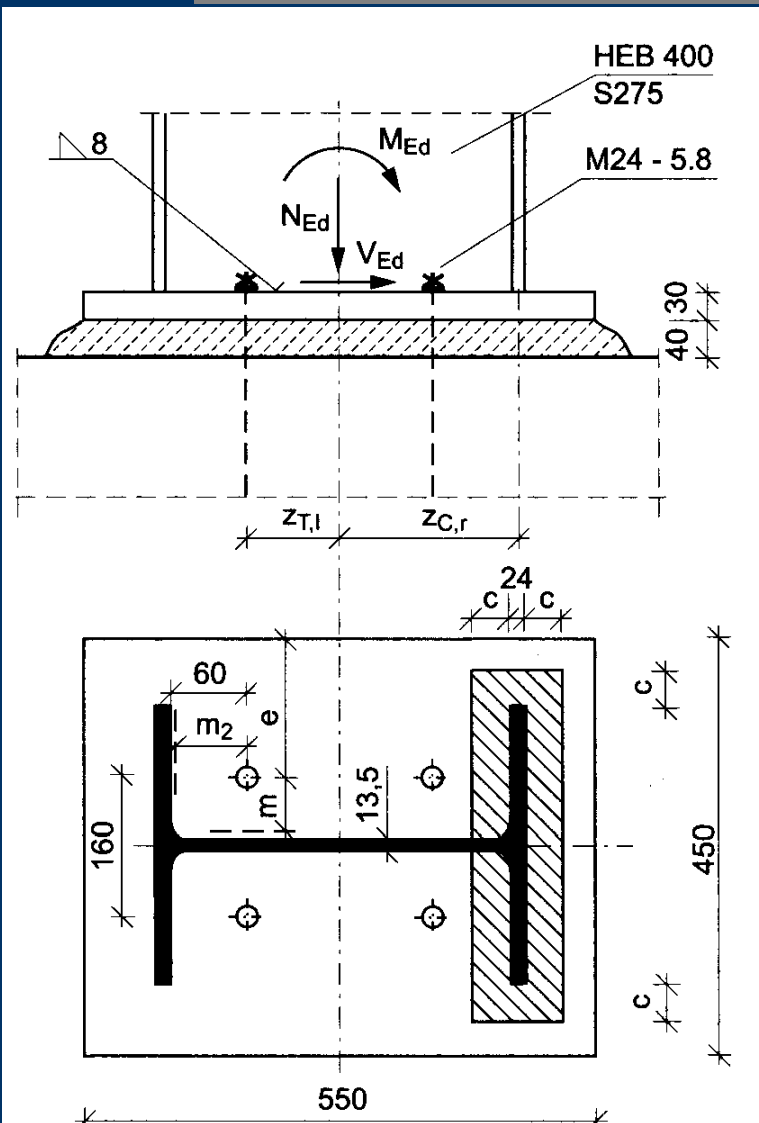


Łączniki w złączach z przekładkami

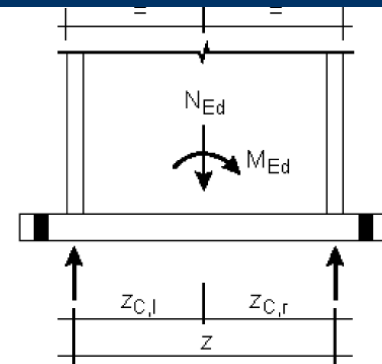


[EC3-1-8]

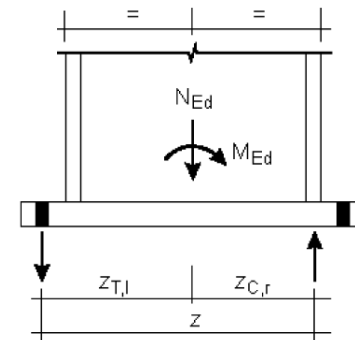
Nakładki z kątownika na pasach



Przykład stopy słupa



a) Połączenie podstawy słupa przy dominującej ściskającej sile podłużnej



d) Połączenie podstawy słupa przy dominującym momencie zginającym

Połączenia doczołowe- efekt dźwigni

W połączeniach doczołowych siły działające w złączu są równoległe do osi łączników.

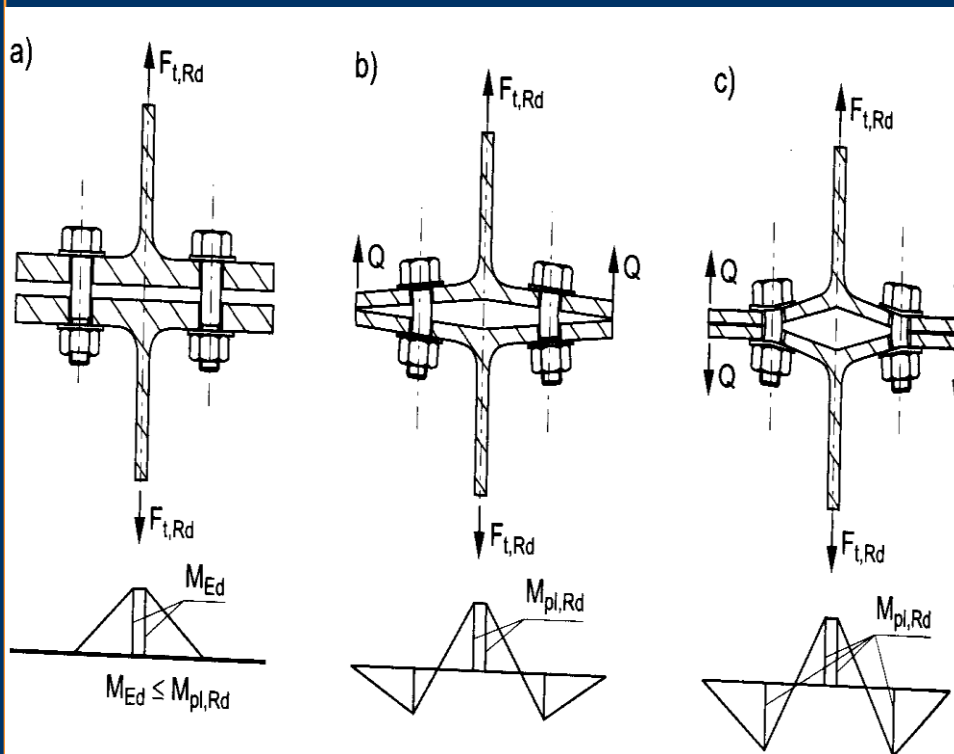
Wyróżniamy dwa typy połączeń doczołowych:

Kategoria **D** – niesprężane

Kategoria **E** – sprężane

Obliczeniowo obie kategorie są identyczne. W obu należy uwzględniać efekt dźwigni Q , wynikający z odkształceń blachy czołowej.

Zachowanie się połączeń doczołowych można zilustrować na przykładzie prostego połączenia teowego na dwie śruby:



a) Gruba blacha czołowa odkształca się nieznacznie – jej odkształcenia są pomijalne w stosunku do wydłużenia śrub. Dochodzi do rozwarcia styku, a siły

w

śrubach są równe $P/2$

c) Przy cieńszej blasze czołowej, odkształcenia blachy i

śrub są porównywalne. Dochodzi do rozwarcia styku, ale blacha czołowa pozostaje w kontakcie na brzegach.

To powoduje postępnie efektu dźwigni i zwiększenie sił w śrubach

c) Gdy blacha jest jeszcze cieńsza, to dochodzi do mechanizmu uplastycznienia blach na granicy spoin oraz w linii śrub, a siła efektu dźwigni jest jeszcze większa.

EC3 preferuje te dwa przypadki, nie zezwalając na projektowanie styków czołowych, w których modelem zniszczenia jest zerwanie śrub, gdyż jest to zniszczenie kruche, bez sygnalizacji zagrożenia

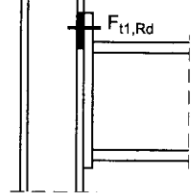
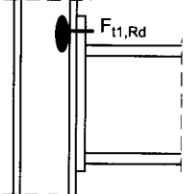
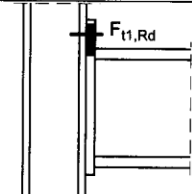
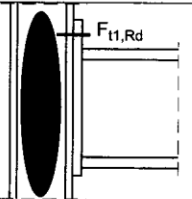
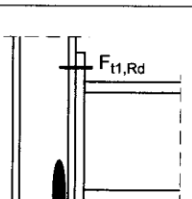
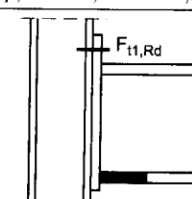
Schemat procedury obliczania nośności śrubowego węzła z trzema szeregami śrub

[2.4]

Widok węzła

1. szereg śrub
2. szereg śrub
3. szereg śrub
4. szereg śrub
nie brany pod uwagę

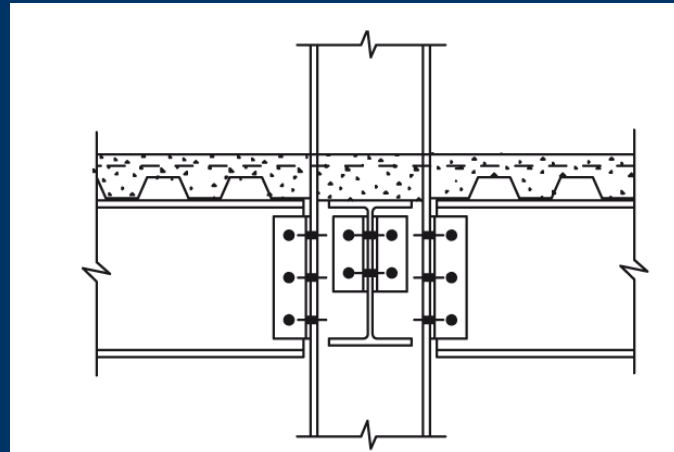
Obliczenie nośności 1. szeregu śrub $F_{t1,Rd}$, z pominięciem wpływu szeregów 2. i 3.

Nośność na rozciąganie szeregu śrub nr 1, ze względu na:	 zginanie pasów słupa: $F_{t1,fc,Rd}$; $F_{t1,Rd} \leq F_{t1,fc,Rd}$	[2.4]  rozciąganie środnika słupa: $F_{t1,wc,Rd}$, wzór (8.63); $F_{t1,Rd} \leq F_{t1,wc,Rd}$	 zginanie blachy czołowej: $F_{t1,ep,Rd}$; $F_{t1,Rd} \leq F_{t1,ep,Rd}$
Ograniczenie nośności ze względu na:	 ściananie środnika słupa: $V_{wp,Rd}$, wzór (8.51); $F_{t1,Rd} \leq \frac{V_{wp,Rd}}{\beta}$	 ściskanie środnika słupa: $F_{c,wc,Rd}$, wzór (8.54) i (8.55); $F_{t1,Rd} \leq F_{c,wc,Rd}$	 ściskanie pasa i środnika belki: $F_{c,fb,Rd}$, wzór (8.66); $F_{t1,Rd} \leq F_{c,fb,Rd}$

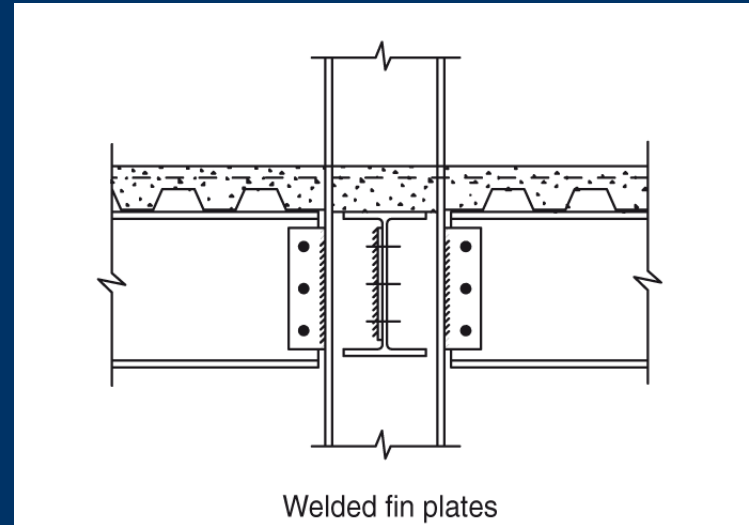
Nośność 1. szeregu śrub $F_{t1,Rd}$	$F_{t1,Rd}$ jest najmniejszą spośród wartości:		
	$F_{t1,fc,Rd}$	$F_{t1,wc,Rd}$	$F_{t1,ep,Rd}$
	$V_{wp,Rd}$	$F_{c,wc,Rd}$	$F_{c,fb,Rd}$
	β		

Nośność 2 i 3 szeregu śrub wyznacza się analogicznie – obliczenia są żmudne

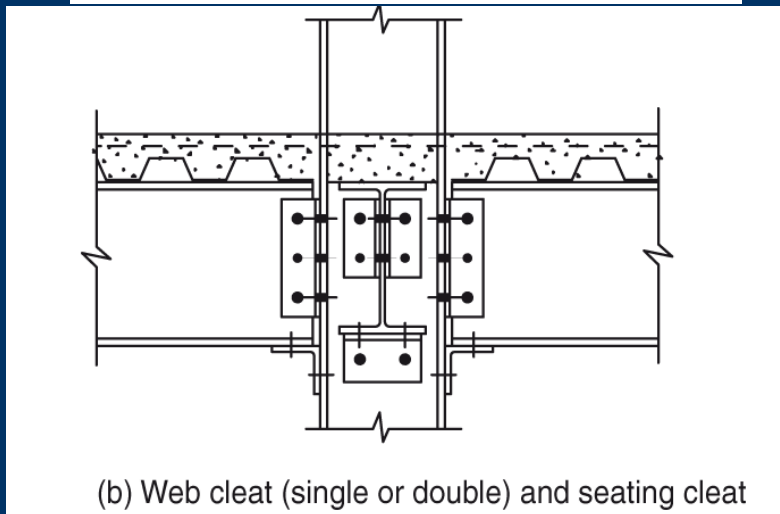
Połączenia między elementami dwuteowymi {1} [2.2.]



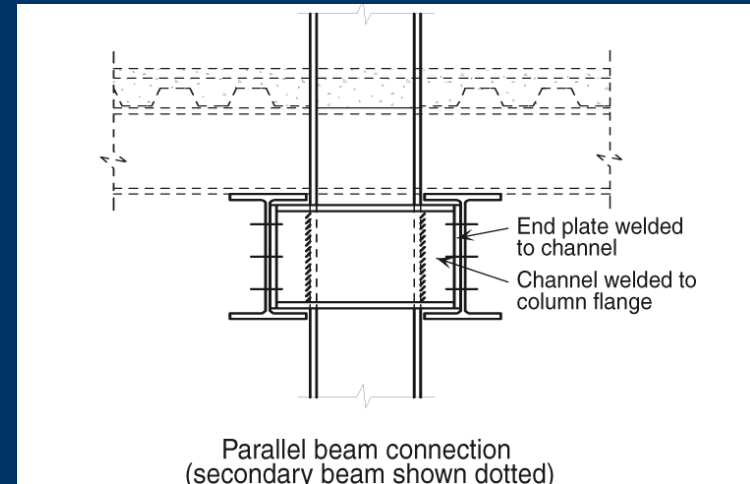
(a) Web cleats (on one or both sides of web)



Welded fin plates

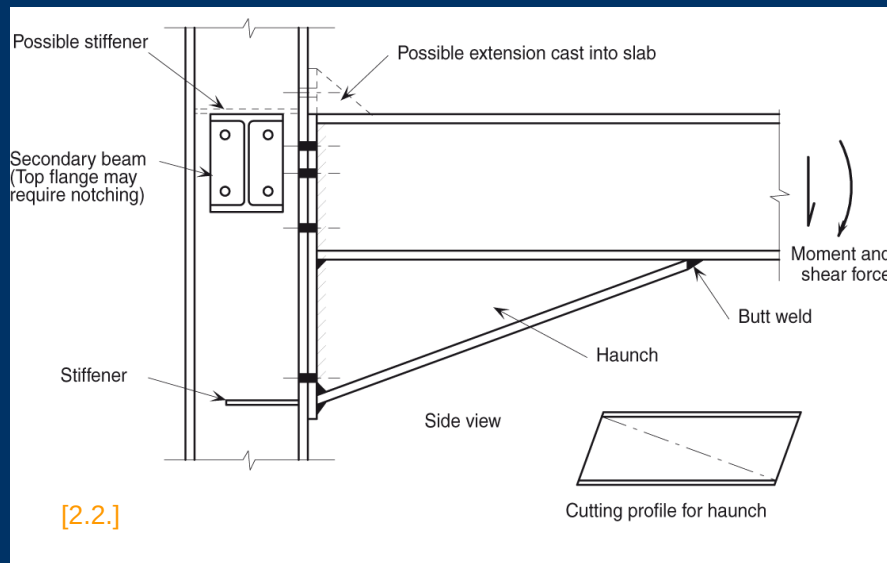
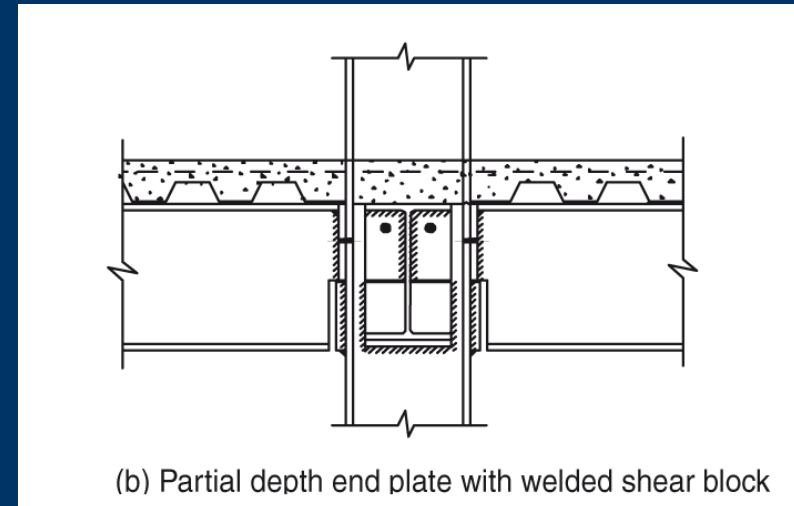
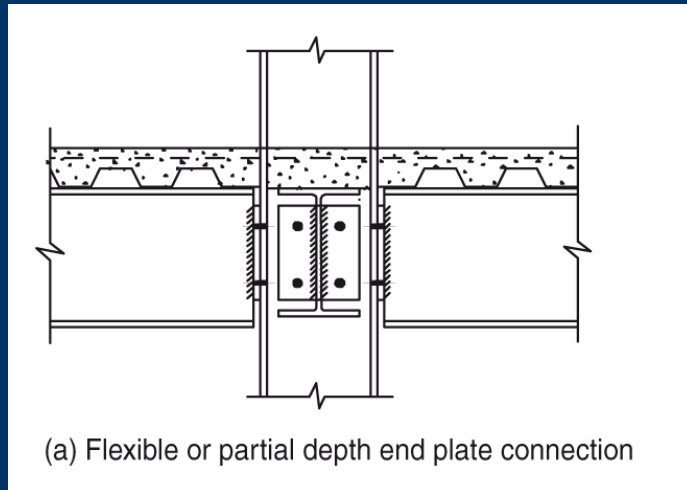


(b) Web cleat (single or double) and seating cleat

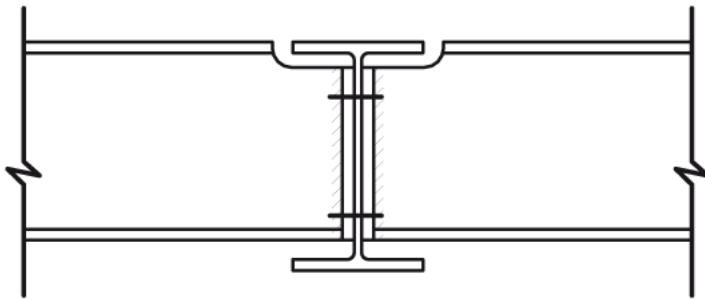


Parallel beam connection
(secondary beam shown dotted)

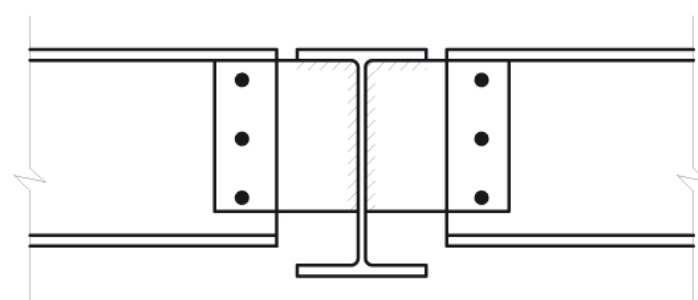
Połączenia między elementami dwuteowymi {2} [2.2.]



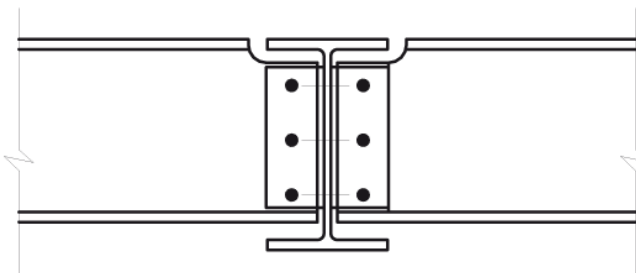
Połączenia między elementami dwuteowymi {3} [2.2.]



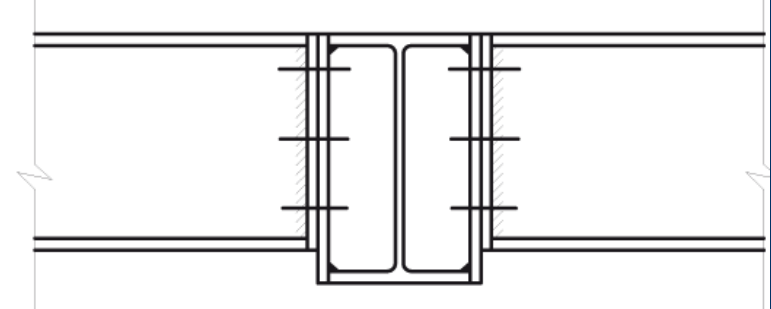
Welded end plates (partial depth)



Welded fin plate (partial depth)

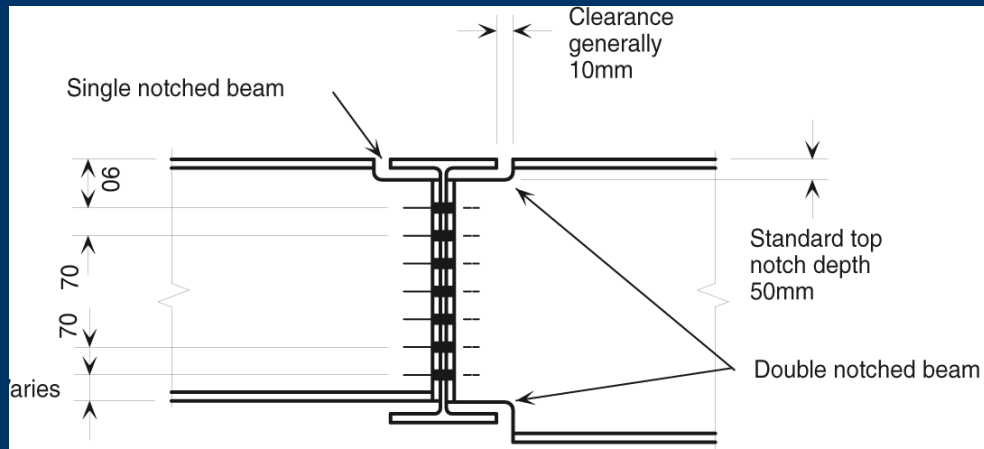


Bolted cleats
(on one or both sides of web)

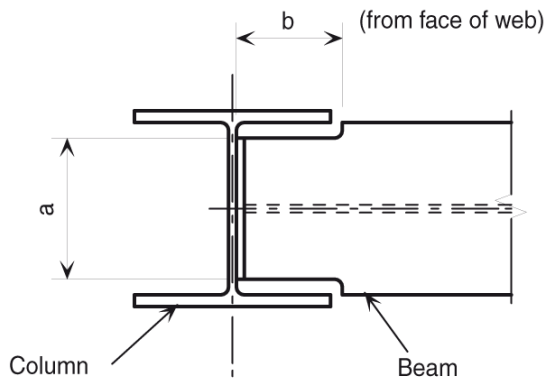


Welded side plate

Połączenia między elementami dwuteowymi {4} [2.2.]

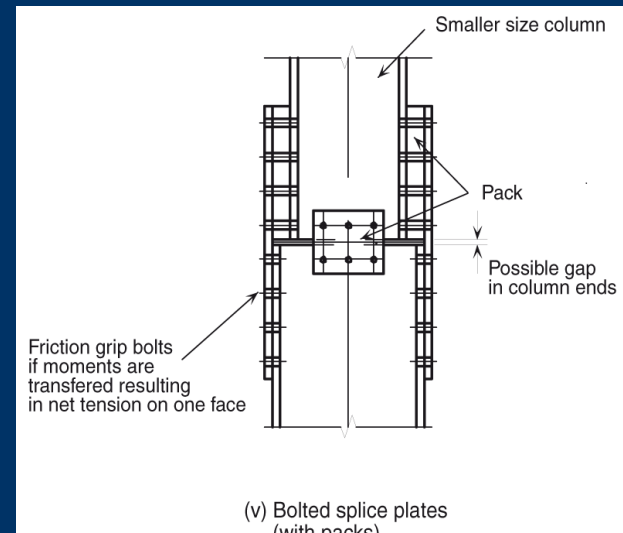
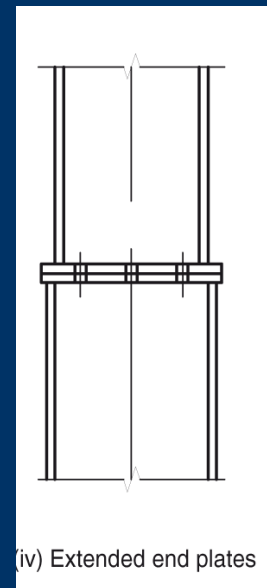
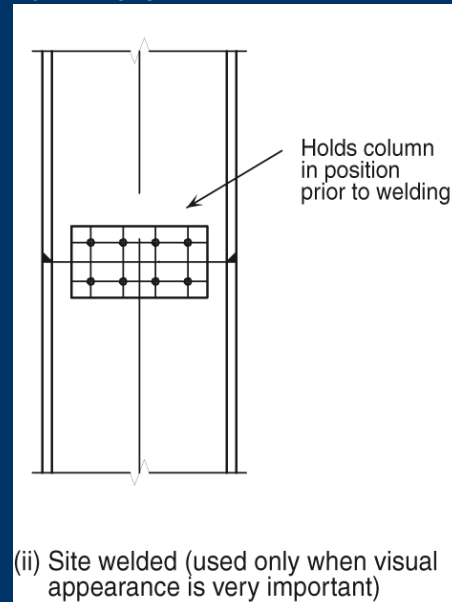
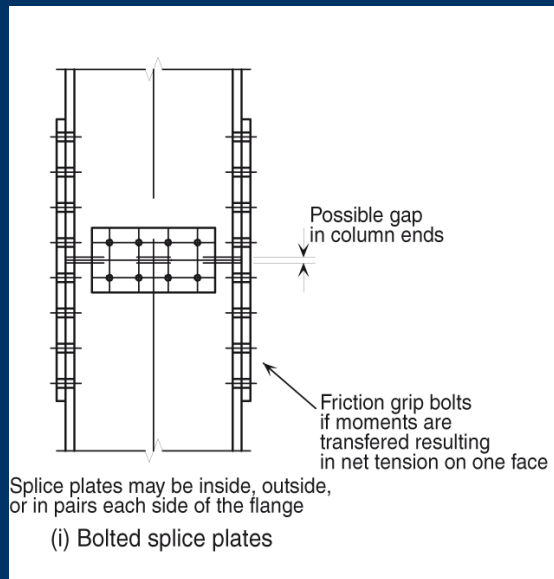


Standard notching of beam-beam connection

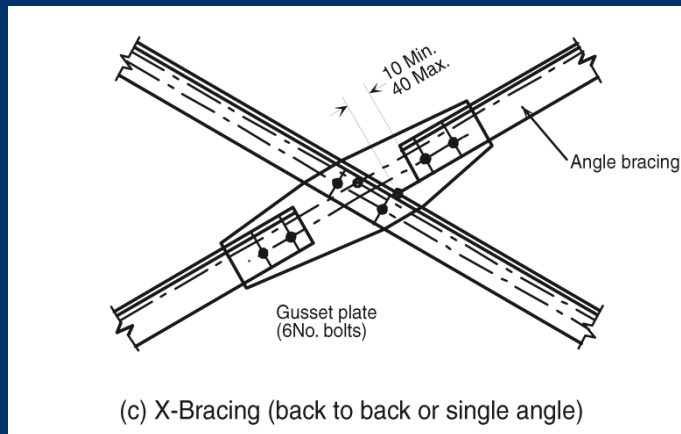
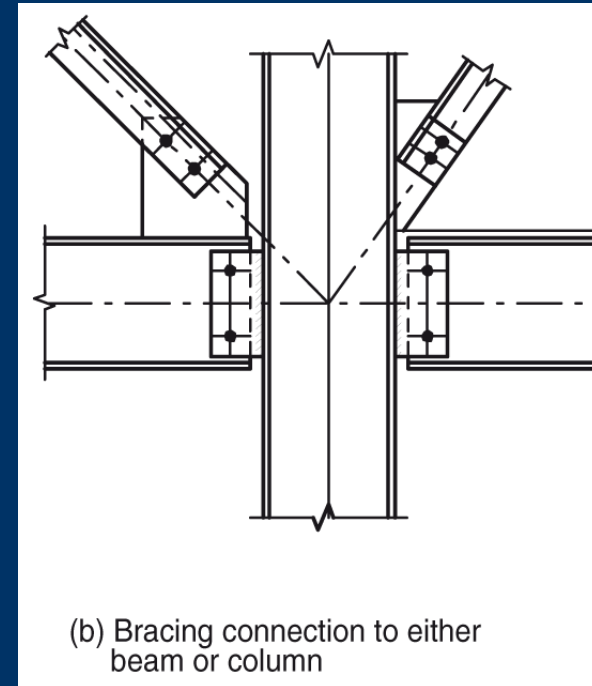
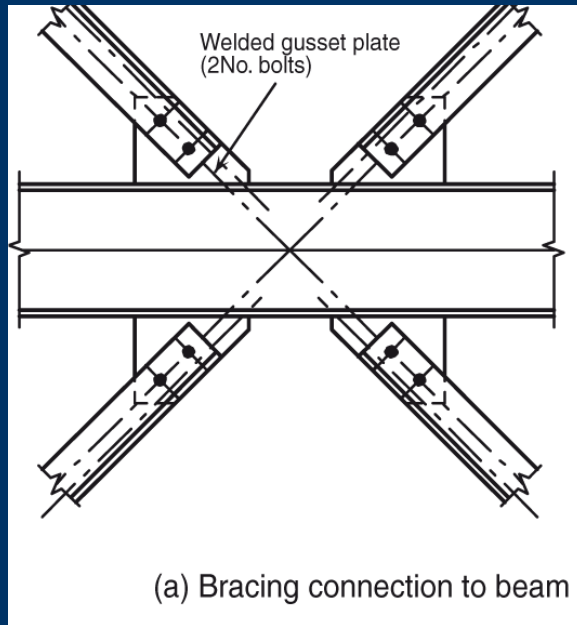


5.9 Suspended beam to beam connections by Lindapter

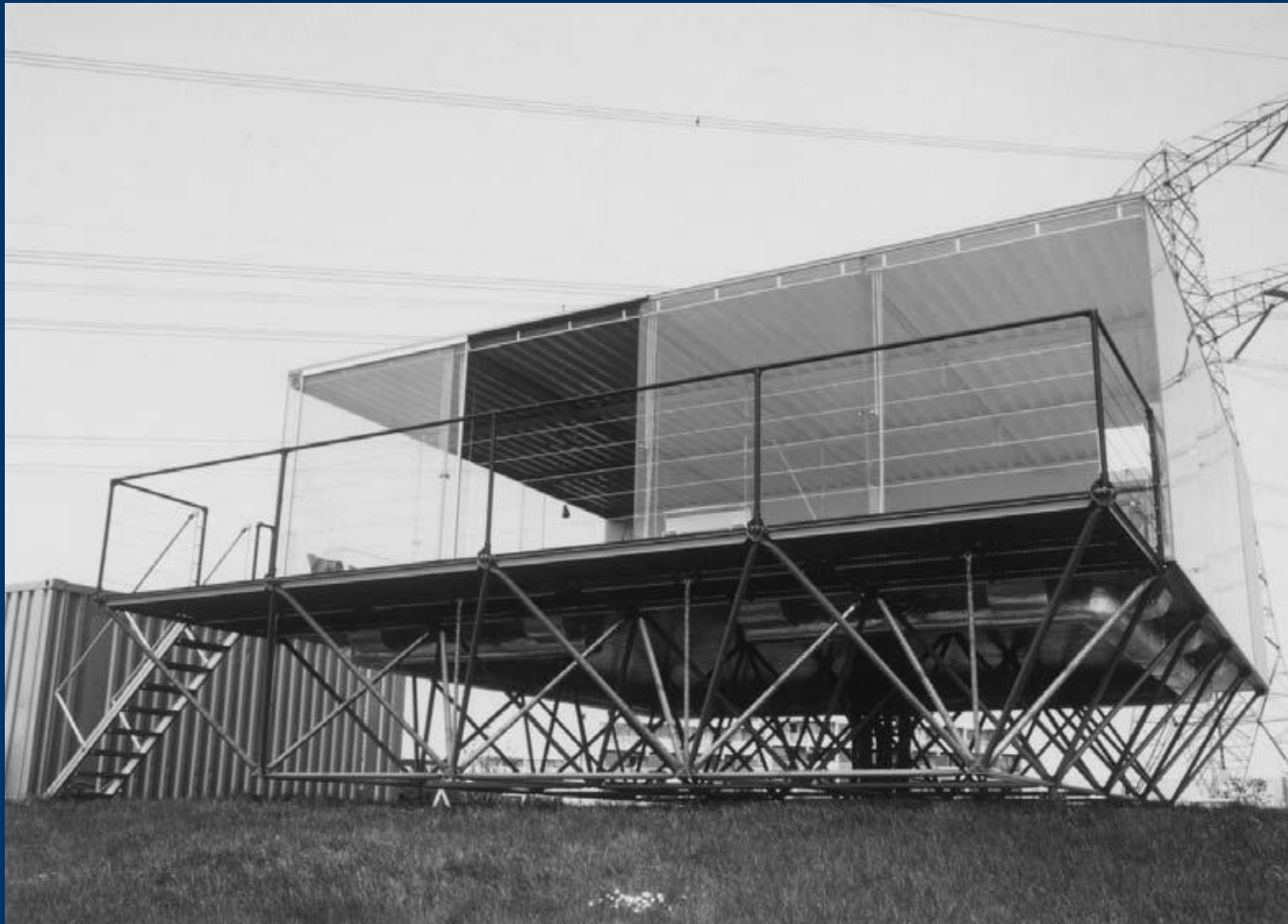
Połączenia między elementami dwuteowymi {5} [2.2.]



Stężenia [2.2.]

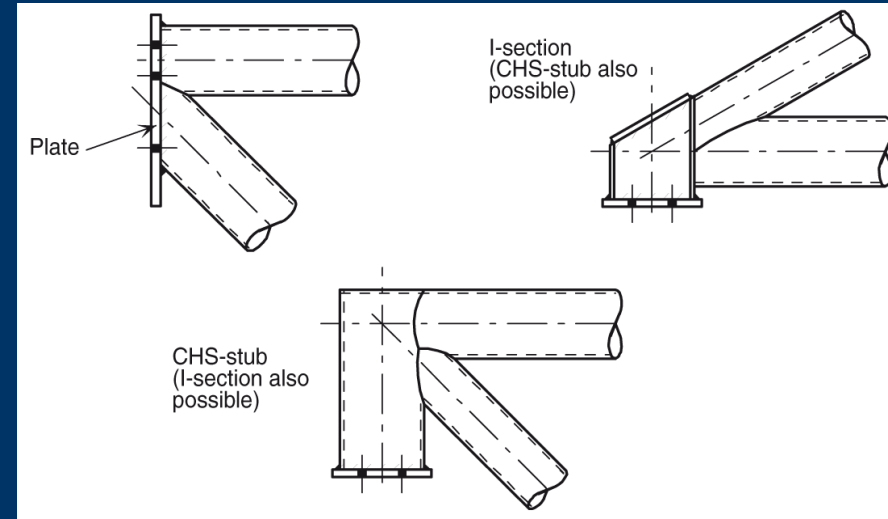
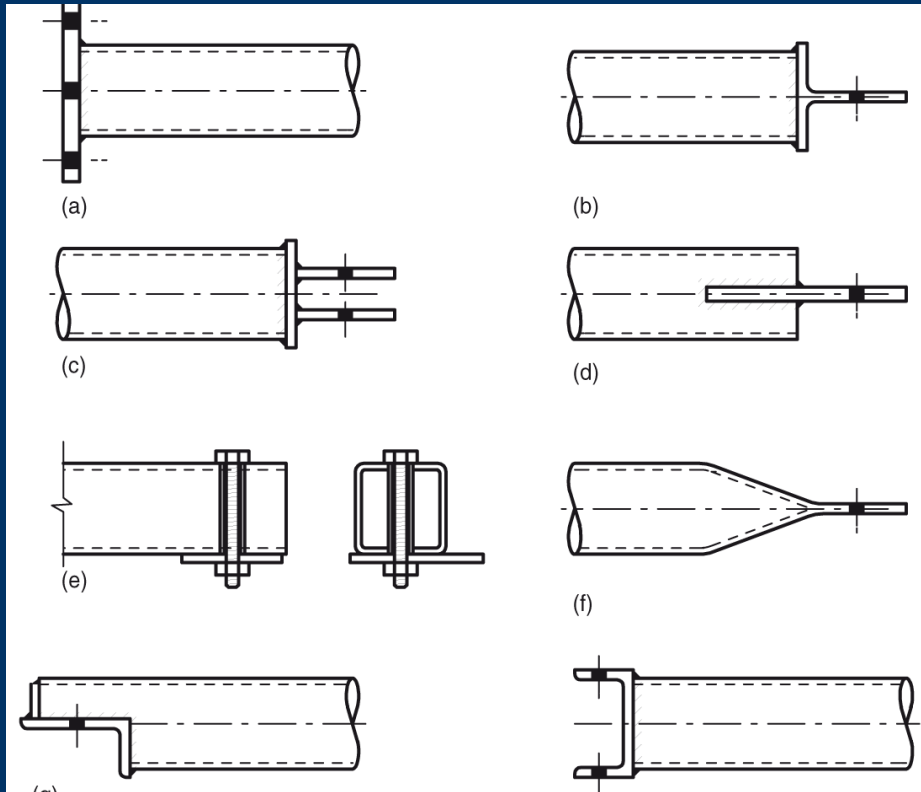


Węzły elementów rurowych {1} [2.2.]

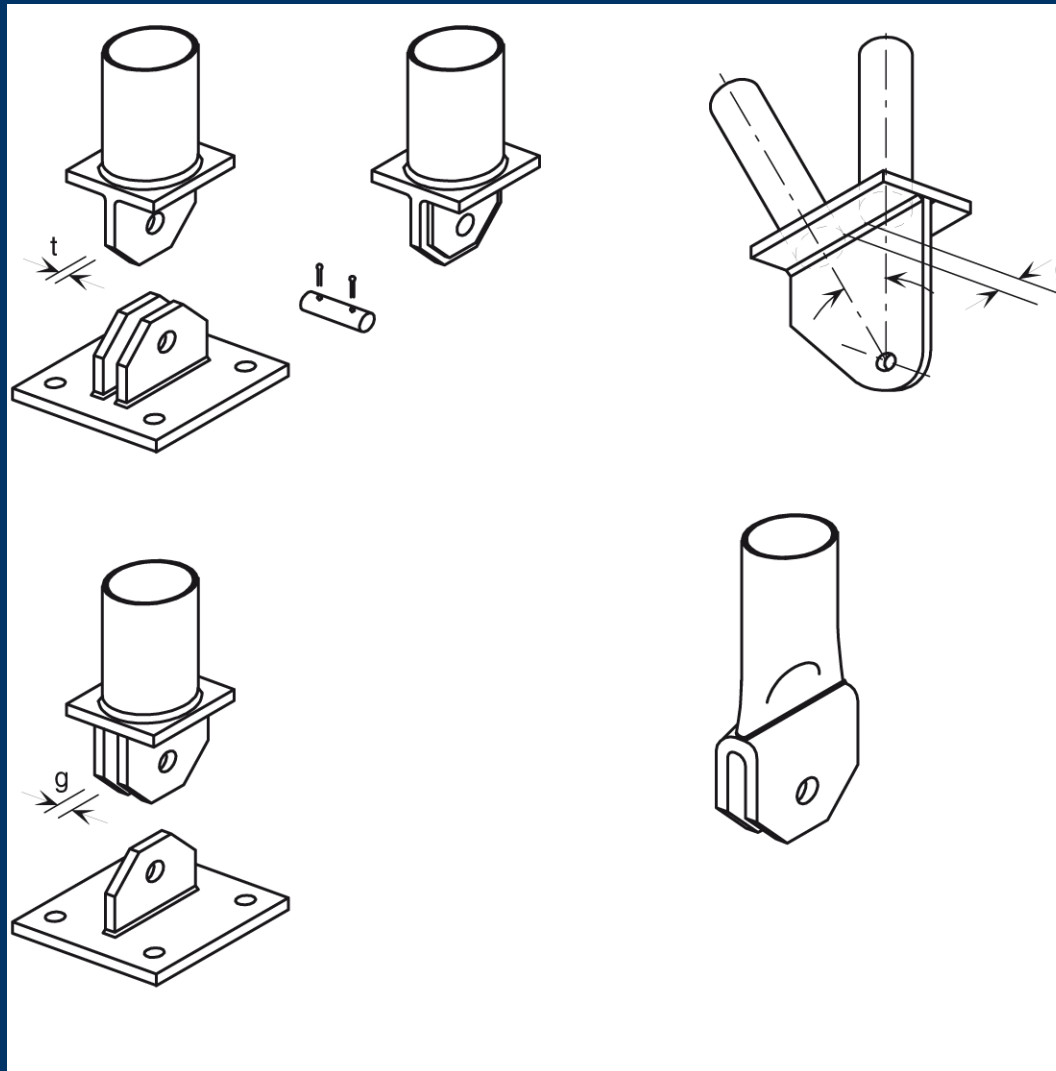


Use of an octagonal connector receiving flattened tubular struts, for a house at Almere, Holland (architect: **Bentham and Crouwel**)

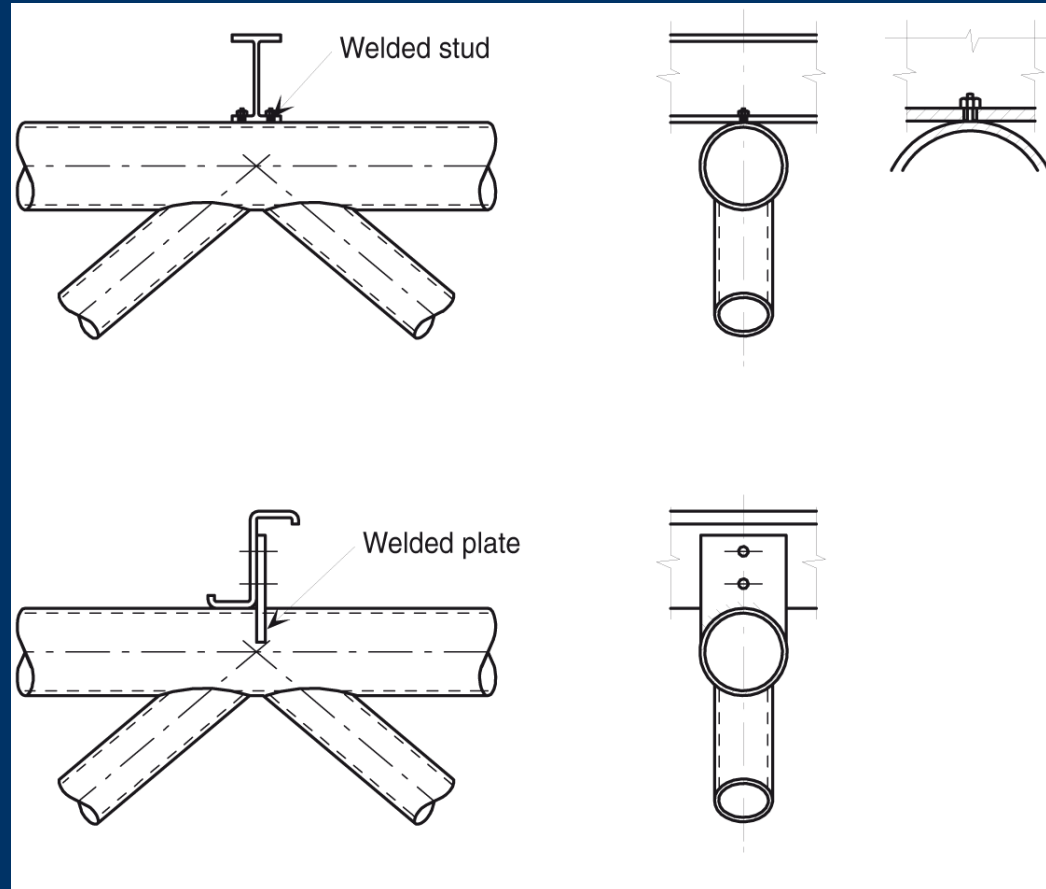
Węzły elementów rurowych {2} [2.2.]



Węzły elementów rurowych {3} – przeguby [2.2.]



Węzły elementów rurowych{4} [2.2.]



Węzły elementów rurowych{5} [2.2.]



Węzły elementów rurowych{6} [2.2.]



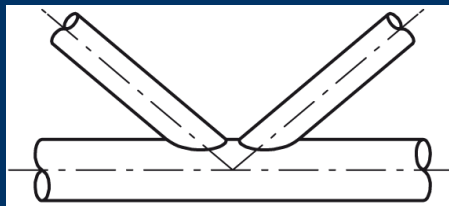
Węzły elementów rurowych {7} [2.2.]



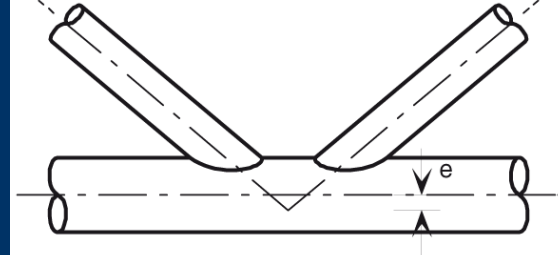
Węzły elementów rurowych {8} [2.2.]



Węzły elementów rurowych{9} [2.2.]



Gap joint noding

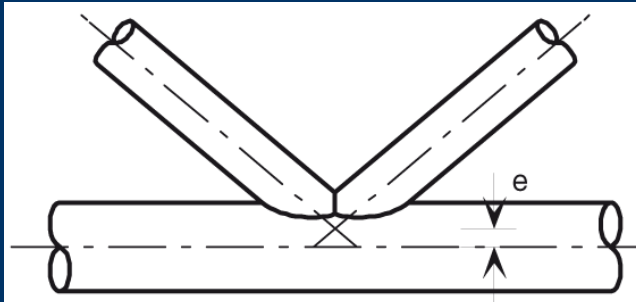


(a) Gap joint with positive eccentricity

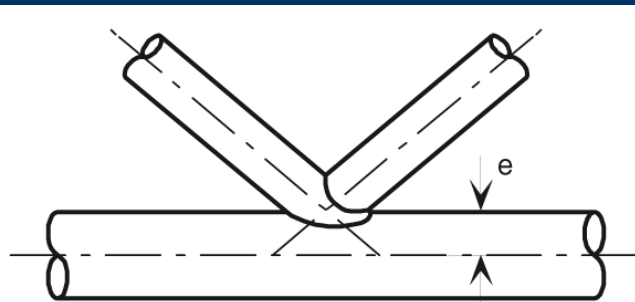
6.17 Illustration of the alignment of centre-lines of tubular members in a welded connection



Węzły elementów rurowych{10} [2.2.]

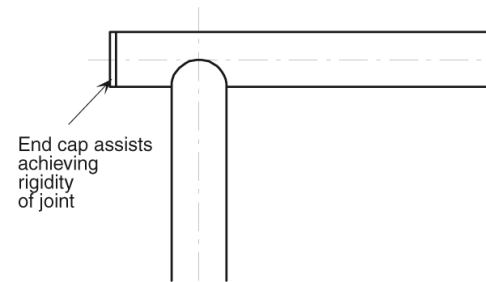


(b) Partial overlap with negative eccentricity

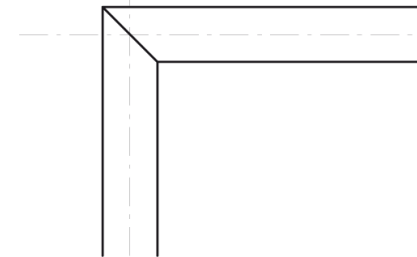


(c) Total overlap joint with negative eccentricity

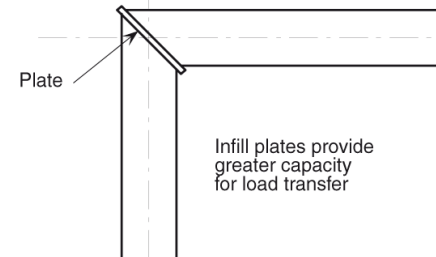
6.18 Examples of noding with modest eccentricity



(a) Overshooting right-angle connection

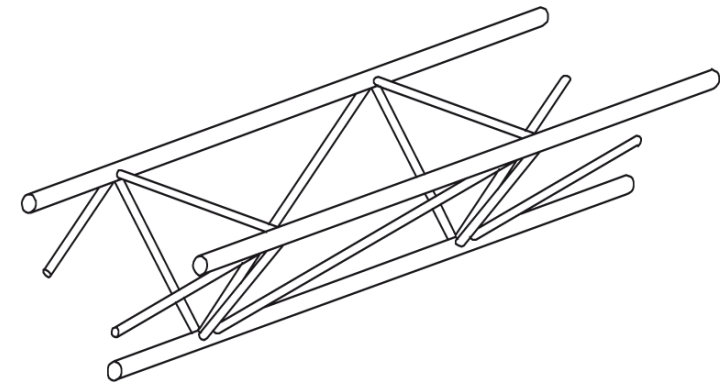
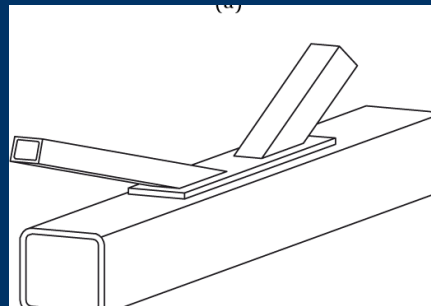
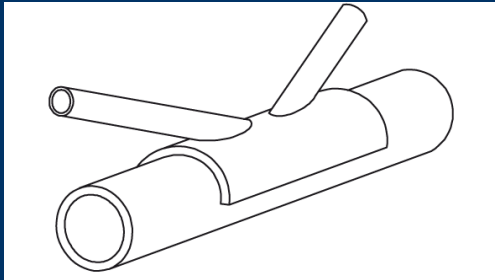
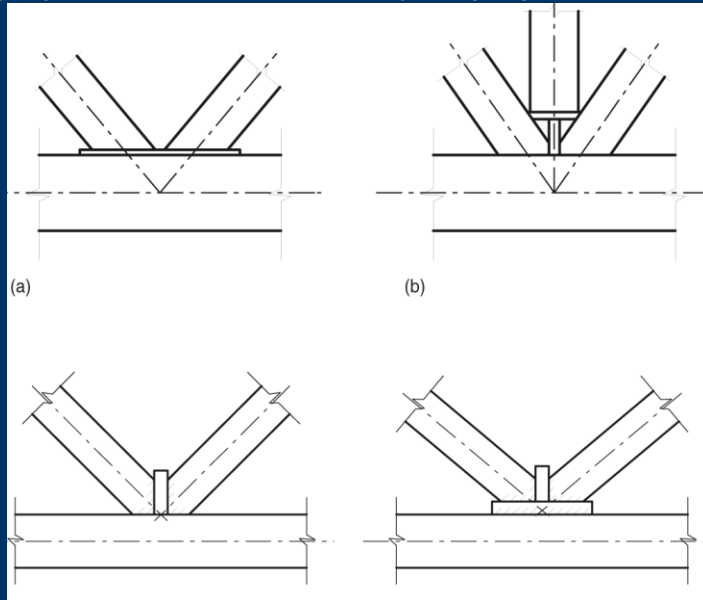


(b) Flush right-angle connection

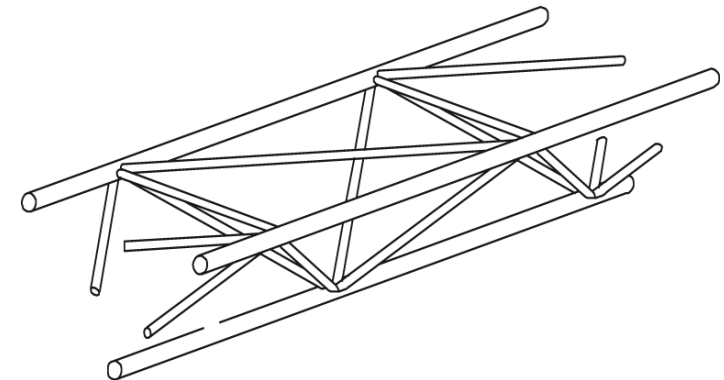


(c) Flush right-angle connection with infill plate

Węzły elementów rurowych{11} [2.2.]



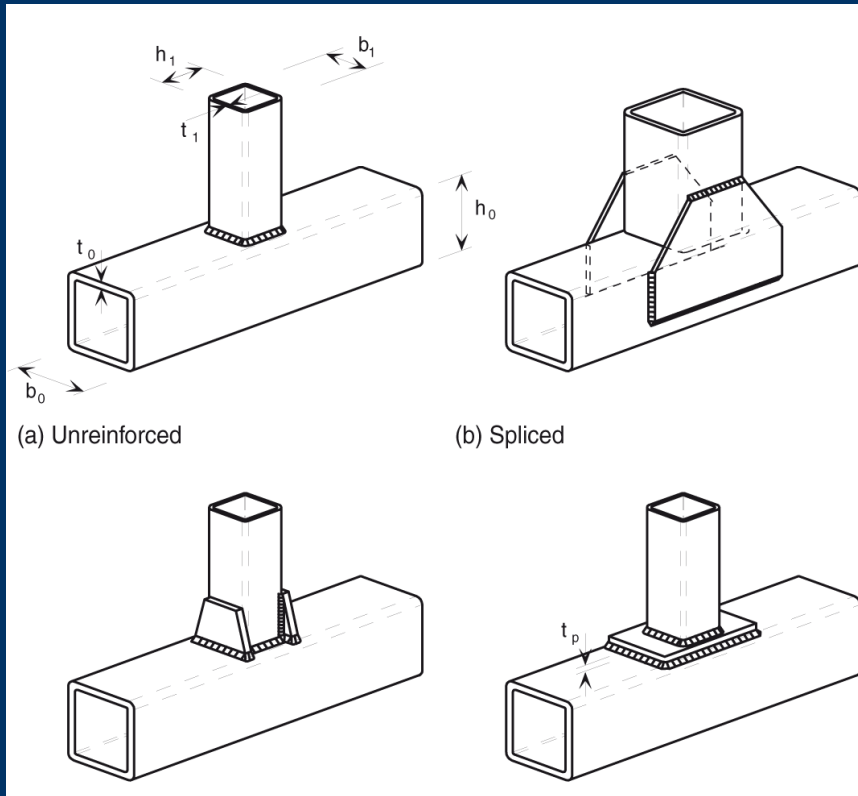
(a) A relatively complex member requiring precise cutting, welding and grinding of the joints (see Colour Plate 23)



(b) Simplified connection detail

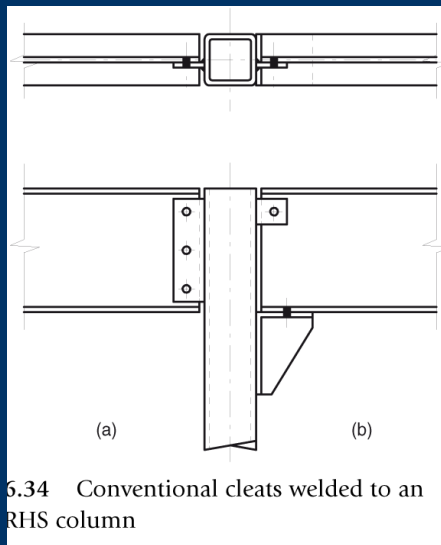
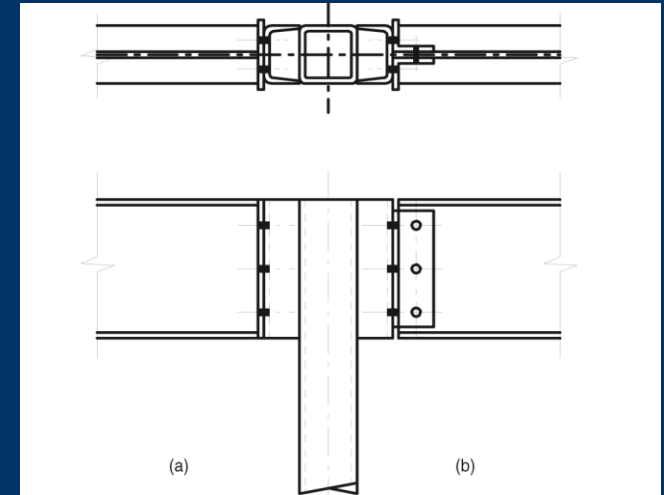
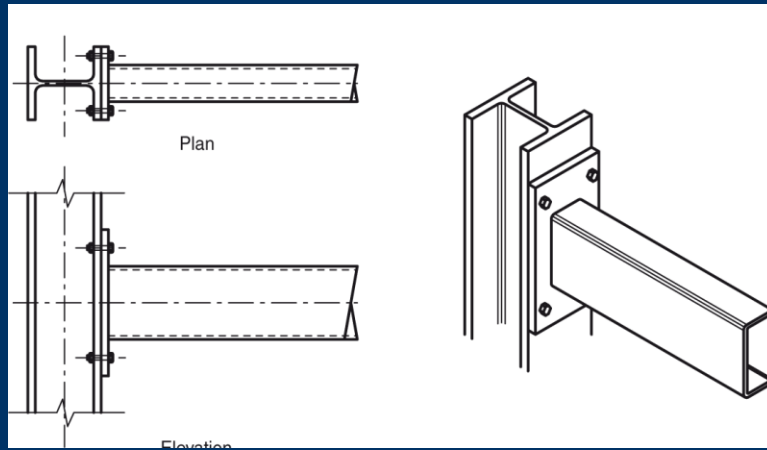
Węzły elementów rurowych{12}

[2.2.]

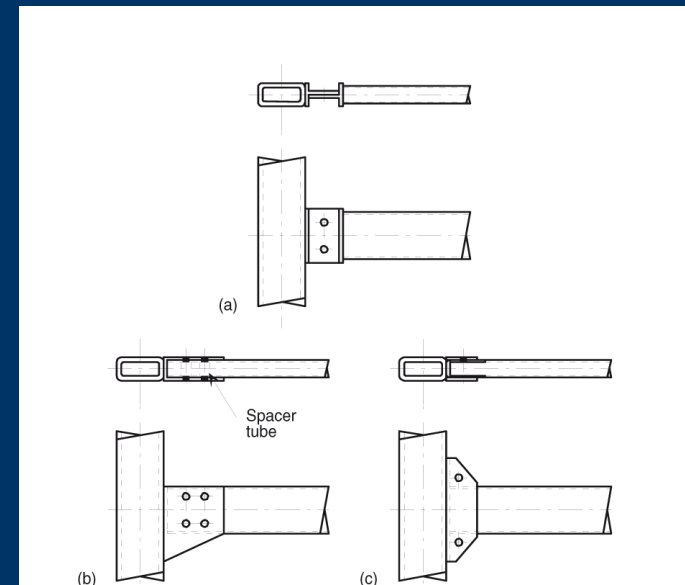
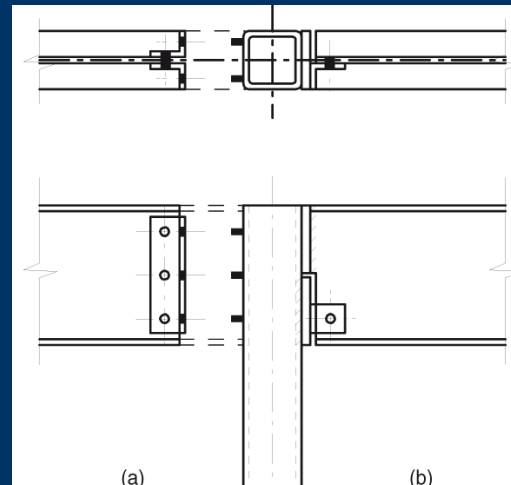


Węzły elementów rurowych{13}

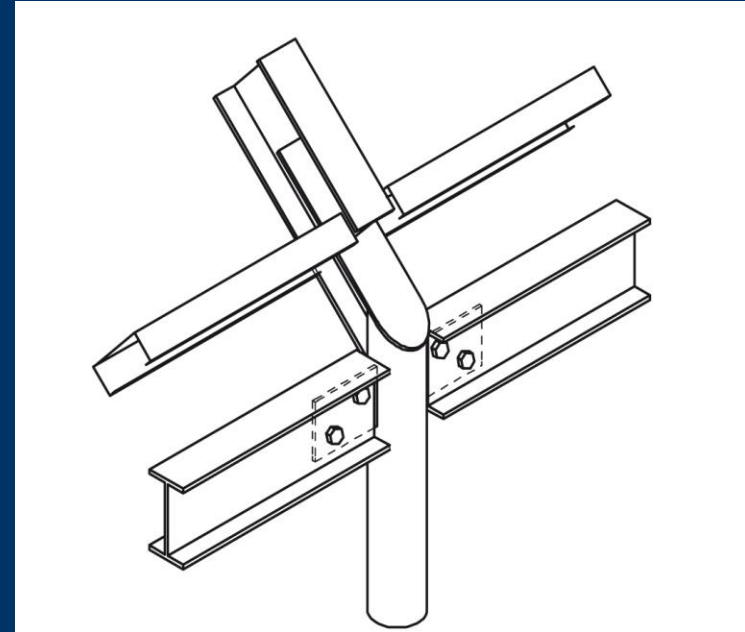
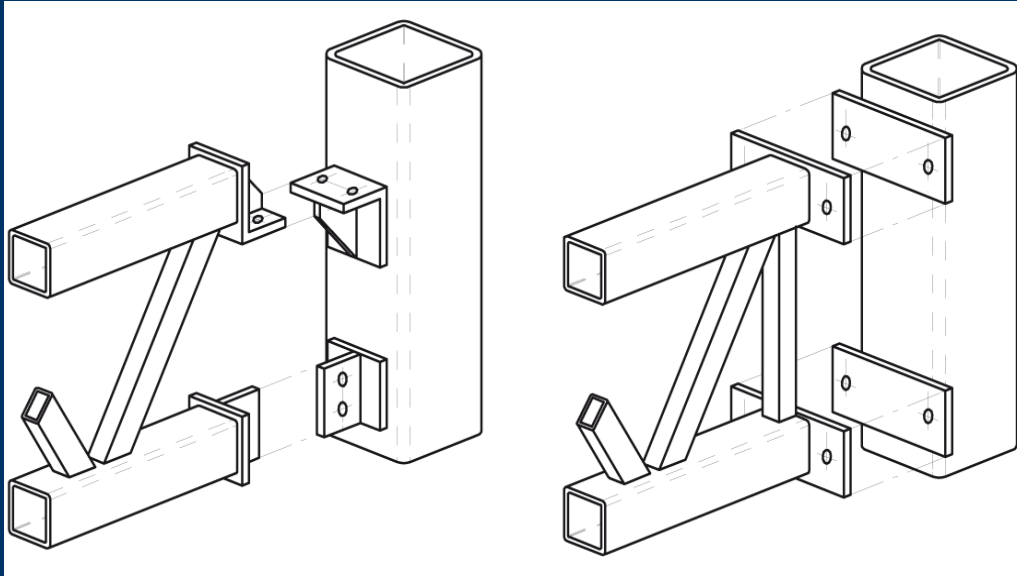
[2.2.]

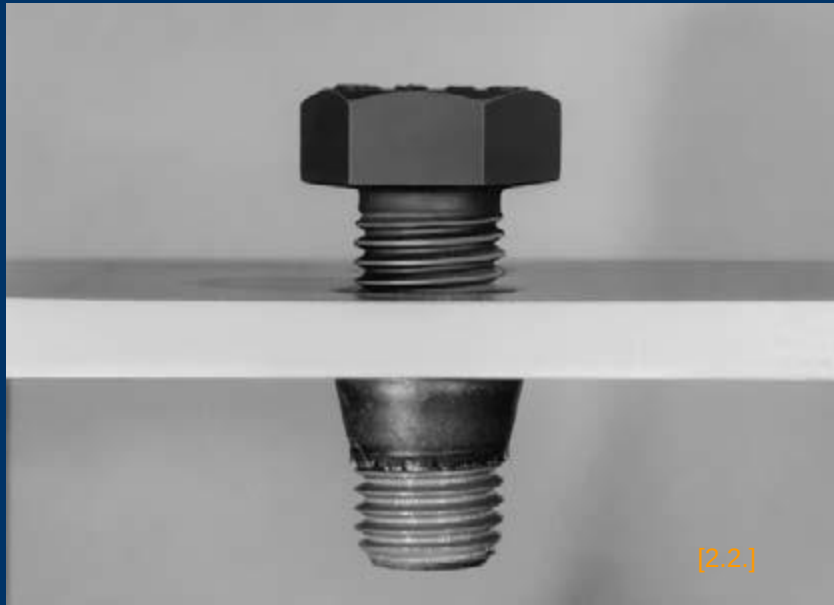


6.34 Conventional cleats welded to an RHS column



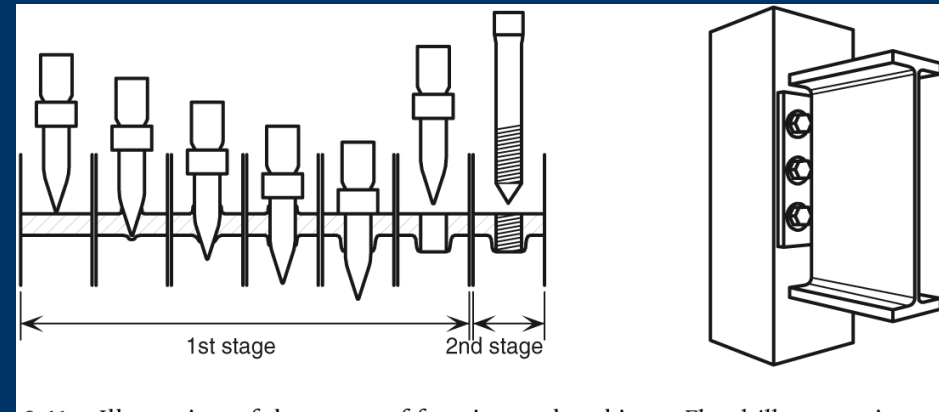
Węzły elementów rurowych{14} [2.2.]



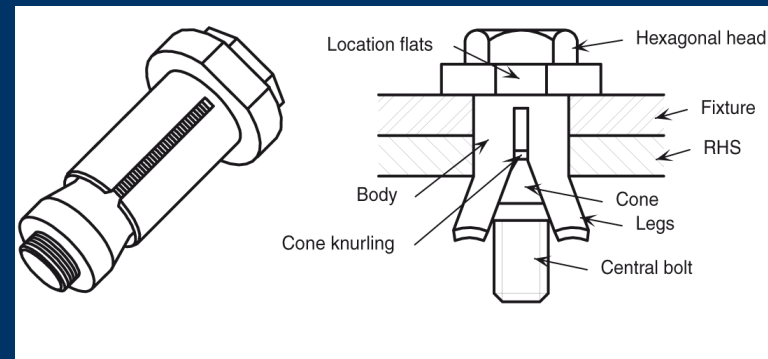


[2.2]

Wkręt samogwintujący (Flowdrill)



Etapy formowania i wykonania połączenia Flowdrill



Wkręt rozporowy (Hollo-Bolt)