

KONSTRUKCJE STALOWE W EUROPIE

**Jednokondygnacyjne
konstrukcje stalowe
Część 11: Połączenia zginane**

**Jednokondygnacyjne
konstrukcje stalowe
Część 11: Połączenia zginane**

PRZEDMOWA

Niniejsza publikacja stanowi jedenastą część przewodnika projektanta zatytułowanego *Jednokondygnacyjne konstrukcje stalowe*.

Przewodnik *Jednokondygnacyjne konstrukcje stalowe* składa się z następujących 11 części:

- Część 1: Poradnik architekta
- Część 2: Projekt koncepcyjny
- Część 3: Oddziaływania
- Część 4: Projekt wykonawczy ram portalowych
- Część 5: Projekt wykonawczy kratownic
- Część 6: Projekt wykonawczy słupów złożonych
- Część 7: Inżynieria pożarowa
- Część 8: Przegrody zewnętrzne budynku
- Część 9: Wprowadzenie do oprogramowania komputerowego
- Część 10: Wzorcowa specyfikacja konstrukcji
- Część 11: Połączenia zginane

Jednokondygnacyjne konstrukcje stalowe to jeden z dwóch przewodników projektanta. Drugi przewodnik nosi tytuł *Wielokondygnacyjne konstrukcje stalowe*.

Obydwa przewodniki projektanta powstały w ramach europejskiego projektu „Wspieranie rozwoju rynku kształowników na potrzeby hal przemysłowych i niskich budynków (SECHALO) RFS2-CT-2008-0030”.

Przewodniki projektanta zostały opracowane pod kierownictwem firm ArcelorMittal, Peiner Träger oraz Corus. Treść techniczna została przygotowana przez ośrodki badawcze CTICM oraz SCI współpracujące w ramach joint venture Steel Alliance.

Spis treści

	Nr strony
PRZEDMOWA	iii
STRESZCZENIE	vi
1 WPROWADZENIE	1
1.1 Metoda projektowa	1
1.2 Strefa rozciągania	1
1.3 Rozkład plastyczny	5
1.4 Nośność w strefie ściskania	5
1.5 Nośność panelu środknika słupa	6
1.6 Obliczanie nośności przy zginaniu	7
1.7 Projektowanie spoiny	8
1.8 Ścinanie pionowe	10
1.9 Elementy usztywniające	10
2 SZTYWNOŚĆ POŁĄCZEŃ	12
2.1 Klasyfikacja na podstawie obliczeń	12
2.2 Granice klasyfikacji	13
3 WYTYCZNE DOTYCZĄCE NAJLEPSZYCH PRAKTYK W PRZYPADKU POŁĄCZEŃ ZGINANYCH	14
3.1 Skos w połączeniu narożnym	14
3.2 Blacha doczołowa	14
3.3 Elementy usztywniające	15
3.4 Śruby	16
3.5 Połączenia wierzchołkowe	16
3.6 Spoiny	17
4 TABELE PROJEKTOWE POŁĄCZEŃ	18
4.1 Ogólne	18
4.2 Główne założenia projektowe	20
4.3 Uwagi do tabel	20
4.4 Połączenia wierzchołkowe	24
4.5 Połączenia narożne	40
LITERATURA	56

STRESZCZENIE

Niniejsza publikacja jest wprowadzeniem do procesu projektowania połączeń skręcanych odpornych na zginanie w jednokondygnacyjnych budynkach o konstrukcji stalowej. Naświetlono w niej złożoność procesu projektowania obejmującego: wykonanie wielu kroków w celu wyznaczenia nośności poszczególnych rzędów śrub w strefie rozciągania, sprawdzenie, czy należy obniżyć nośność grupy śrub ze względu na funkcjonowanie połączonych elementów oraz obliczenie nośności przy zginaniu na podstawie nośności rzędów śrub przy rozciąganiu. W celu uproszczenia procesu projektowania zamieszczono szereg tabel projektowych dla standardowych połączeń narożnych i wierzchołkowych w ramach portalowych dla rygli ze skosem lub bez.

1 WPROWADZENIE

Ręczne projektowanie połączeń skręcanych odpornych na zginanie jest pracochłonne, szczególnie wówczas, gdy kilka rzędów śrub jest poddawanych rozciąganiu. Każda zmiana geometrii lub komponentu połączenia (np. zmiana rozstawienia lub wielkości śrub) wiąże się z koniecznością całkowitego przeprojektowania. Z tego względu projektowanie połączeń skręcanych odpornych na zginanie generalnie wykonuje się przy użyciu odpowiedniego oprogramowania.

Celem niniejszego rozdziału jest wprowadzenie do procesu weryfikacji opisanego w normie EN 1993-1-8^[1].

1.1 Metoda projektowa

Weryfikacja połączenia śrubowego odpornego na zginanie obejmuje trzy odrębne kroki:

1. Oddzielne wyznaczenie potencjalnej nośności każdego rzędu śrub w strefie rozciągania.
2. Sprawdzenie, czy możliwe jest uzyskanie całkowitej nośności przy rozciąganiu, gdy może być ona ograniczona nośnością przy ścinaniu panelu środkiem słupa lub nośnością połączenia w strefie ściskania.
3. Obliczenie nośności przy zginaniu jako sumy sił rozciągających pomnożonych przez odpowiednie ramiona dźwigni.

Kluczową cechą omawianej metody jest po pierwsze założenie, że dopuszcza się plastyczny rozkład sił w rzędach śrub, jeśli tylko grubość blachy doczołowej lub pasa słupa jest dostatecznie mała. Drugą z kluczowych cech tej metody jest zastąpienie złożonych układów linii załomów plastycznych w strefie rozciągania zastępczym prostym i łatwiejszym do obliczenia modelem króćca teowego.

1.2 Strefa rozciągania

Zgodnie z § 6.2.7.2(6) normy EN 1993-1-8 jako efektywną nośnością obliczeniową przy rozciąganiu $F_{tr,Rd}$ każdego rzędu śrub w strefie jest najmniejsza z następujących nośności:

- Nośność pasa słupa przy zginaniu oraz wytrzymałość śrub ($F_{t,fc,Rd}$)
- Nośność środkiem słupa przy poprzecznym rozciąganiu ($F_{t,wc,Rd}$)
- Nośność blachy doczołowej przy zginaniu i wytrzymałość śrub ($F_{t,ep,Rd}$)
- Nośność środkiem rygla przy rozciąganiu ($F_{t,wb,Rd}$).

Efektywną nośność obliczeniową przy rozciąganiu dla każdego rzędu śrub można zatem przedstawić w postaci równania:

$$F_{tr,Rd} = \min(F_{t,fc,Rd}; F_{t,wc,Rd}; F_{t,ep,Rd}; F_{t,wb,Rd})$$

Oдноśne paragrafy normy EN 1993-1-8 dla powyższych komponentów podano w tabeli 1.1.

Tabela 1.1 Komponenty połączenia do wyznaczania potencjalnej nośności obliczeniowej rzędu śrub

Komponent		Numer paragrafu normy EN 1993-1-8
Pas słupa poddany zginaniu	$F_{t,fc,Rd}$	6.2.6.4 oraz Tabela 6.2
Środek słupa poddany poprzecznym rozciąganiu	$F_{t,wc,Rd}$	6.2.6.3
Blacha doczołowa poddana zginaniu	$F_{t,ep,Rd}$	6.2.6.5 oraz Tabela 6.6
Środek rygla poddany rozciąganiu	$F_{t,wb,Rd}$	6.2.6.8

Nośność każdego rzędu śrub obliczana jest oddzielnie. Nośność połączenia może być ograniczona przez:

- nośność obliczeniową grupy śrub,
- sztywność pasa słupa lub blachy doczołowej, która może uniemożliwić plastyczny rozkład sił rozciągających,
- nośność panelu środka słupa przy ścinaniu,
- nośność w strefie ściskania.

W związku z tym, że nośność rzędu śrub przy rozciąganiu może być ograniczona przez wpływ sił występujących w innych rzędach grupy śrub, efektywne nośności obliczeniowe przy rozciąganiu uznaje się za nośności potencjalne — pełne ich uzyskanie może być ograniczone innymi elementami projektu.

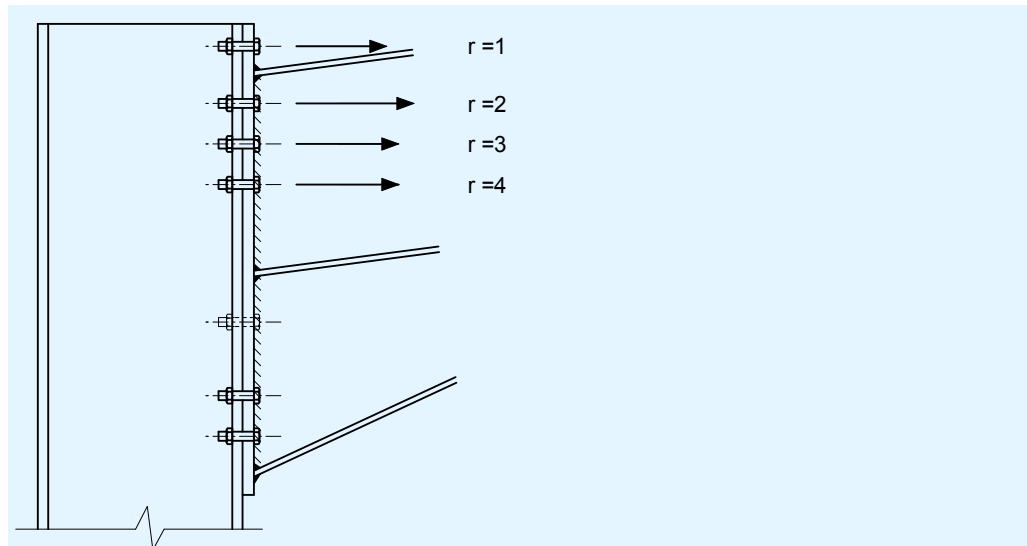
Potencjalną nośność obliczeniową przy rozciąganiu $F_{tr,Rd}$ dla każdego rzędu śrub należy wyznaczać kolejno, począwszy od rzędu położonego najdalej od środka ściskania (z maksymalnym ramieniem dźwigni). Zgodnie z § 6.2.7.2(4) nośność każdego rzędu śrub znajdującego się bliżej środka ściskania jest pomijana podczas obliczeń nośności określonego rzędu śrub lub grupy rzędów śrub.

Kolejne rzędy śrub weryfikuje się zarówno oddzielnie, jak również jako elementy grupy w połączeniu z rzędami położonymi powyżej. Zatem nośność rzędu 2 jest przyjmowana jako mniejsza z następujących nośności:

- nośność rzędu 2 rozpatrywanego oddzielnie,
- nośność rzędów 1 i 2 rozpatrywanych jako grupa, pomniejszona o wyznaczoną wcześniej nośność rzędu 1.

Rząd 1 położony jest najdalej od środka ściskania i rzędy ponumerowane są kolejno.

Umieszczenie elementu usztywniającego na słupie lub na ryglu zakłóca każdy wspólny układ linii załomów plastycznych. Oznacza to, że po tej stronie nie ma konieczności weryfikowania grup zawierających element usztywniający. W przypadku przedłużonej blachy doczołowej, takim jak na rysunku 1.1, pas rygla sprawia, że nie ma możliwości wystąpienia wspólnego układu linii załomów plastycznych wokół dwóch górnych rzędów śrub blachy doczołowej. Jednak po stronie słupa możliwe jest wystąpienie wokół dwóch górnych rzędów śrub wspólnego układu linii załomów plastycznych, który musi zostać zweryfikowany.



Rysunek 1.1 Przedłużona blacha doczołowa w połączeniu narożnym ze skosem

1.2.1 Blacha doczołowa i pas słupa poddane zginaniu

Podczas wyznaczania potencjalnej nośności przy rozciąganiu blachy doczołowej poddanej zginaniu $F_{t,ep,Rd}$ oraz pasa słupa poddanego zginaniu $F_{t,fc,Rd}$ należy skorzystać z normy EN 1993-1-8, w której rzeczywiste układy linii załomów plastycznych przekształcane są w zastępczy model króćca teowego. Zasadniczo możliwe jest wystąpienie kilku układów linii załomów plastycznych — każdy o długości zastępczego króćca teowego. Przyjmowany jest najkrótszy zastępczy króciec teowy. Gdy śruby przylegają do elementu usztywniającego lub do pasa rygla, zwiększonej nośności pasa lub blachy doczołowej odpowiada dłuższy zastępczy króciec teowy. Umieszczenie śrub w obszarze przylegającym do nieusztywnionej krawędzi swobodnej skutkuje mniejszą długością zastępczego króćca teowego.

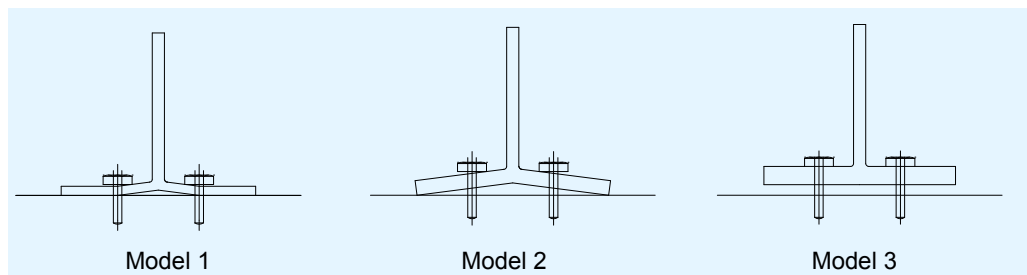
Efektywne długości zastępczych króćców teowych dla pasów nieusztywnionych l_{eff} podano w Tabeli 6.4 normy EN 1993-1-8, dla nieusztywnionych blach doczołowych w Tabeli 6.6 oraz dla usztywnionych pasów (lub blach doczołowych) w Tabeli 6.5.

W każdym przypadku efektywne długości zastępczych króćców teowych podane zostały dla oddzielnych rzędów śrub oraz rzędów śrub będących częścią grupy — długość zastępczego króćca teowego dla grupy śrub składa się z udziałów rzędów śrub w ramach grupy.

Korzystny wpływ elementów usztywniających zależy od geometrii danego elementu usztywniającego, lokalizacji śruby oraz odległości od środka. Problem ten przedstawiono w normie EN 1993-1-8 na rysunku 6.11, gdzie podany został współczynnik wykorzystywany do określania efektywnej długości zastępczego króćca teowego. Gdy śruba znajduje się wystarczająco daleko zarówno od środka, jak i od elementu usztywniającego, wówczas element usztywniający nie wywiera już jakiegokolwiek wpływu — długość efektywna jest taka sama, jak w strefie bez usztywnienia.

Po wyznaczeniu długości efektywnej króćca teowego obliczana jest nośność króćca teowego. Przeprowadza się analizę trzech modeli, jak pokazano na rysunku 1.2:

- Model 1, w którym pas króćca teowego jest komponentem krytycznym i uplastycznia się w wyniku zginania z podwójną krzywizną
- Model 2, w którym pas i śruby uplastyczniają się przy tym samym obciążeniu
- Model 3, w którym śruby są komponentem krytycznym, a nośnością jest nośność śrub przy rozciąganiu



Rysunek 1.2 Modele zachowania się zastępczego króćca teowego

Zależności służące do obliczania nośności w przypadku różnych modeli podano w tabeli 6.2 normy EN 1993-1-8.

1.2.2 Środek słupa poddany poprzecznemu rozciąganiu

Nośność obliczeniową nieusztywnionego środka słupa poddanego poprzecznemu rozciąganiu określa równanie 6.15 w normie EN 1993-1-8; jest to po prostu nośność długości środka ze współczynnikiem redukcyjnym ω uwzględniającym interakcję ze ścinaniem w panelu środka słupa. W § 6.2.6.3(3) podano, że w przypadku połączeń śrubowych długość środka, jaką należy przyjąć dla każdego rzędu śrub lub dla każdej grupy rzędów śrub, jest równa długości zastępczego króćca teowego wyznaczonej dla tego rzędu (lub grupy rzędów).

1.2.3 Środek belki poddany rozciąganiu

Nośność obliczeniowa środka belki poddanego rozciąganiu została podana w § 6.2.6.8 i jest ona taka sama, jak nośność środka słupa poddanego poprzecznemu rozciąganiu, (patrz punkt 1.2.2), ale bez uwzględniania ścinania. Przyjmuje się, że długość środka belki poddanego rozciąganiu jest równa długości zastępczego króćca teowego wyznaczonej dla tej pary (lub grupy) śrub.

1.3 Rozkład plastyczny

Plastyczny rozkład sił w rzędach śrub jest dopuszczalny, ale jest możliwy tylko wtedy, gdy możliwe jest odkształcenie pasa lub blachy doczołowej słupa. Uzyskuje się go poprzez nałożenie ograniczenia na rozkład sił w rzędzie śrub, jeśli modelem krytycznym jest model 3, ponieważ ten model zniszczenia nie jest plastyczny.

Zgodnie z § 6.2.7.2(9) normy EN 1993-1-8 ograniczenie to stosuje się, gdy nośność jednego z poprzednich rzędów śrub jest większa niż $1,9 F_{t,Rd}$, gdzie:

$F_{t,Rd}$ jest nośnością jednej śruby przy rozciąganiu

Ograniczenie jest wprowadzane poprzez zmniejszenie nośności rozpatrywanego rzędu do wartości $F_{tr,Rd}$, takiej że:

$$F_{tr,Rd} \leq F_{tx,Rd} h_r / h_x, \text{ gdzie:}$$

$F_{tx,Rd}$ to obliczeniowe rozciąganie najdalszego od środka ściskania rzędu śrub, który ma obliczeniową nośność przy rozciąganiu większą niż $1,9 F_{t,Rd}$

h_x to ramię dźwigni od środka ściskania do rzędu śrub o nośności $F_{tx,Rd}$

h_r to ramię dźwigni od środka ściskania do rozpatrywanego rzędu śrub.

Skutkiem tego ograniczenia jest nałożenie trójkątnego rozkładu sił w rzędzie śrub.

1.4 Nośność w strefie ściskania

1.4.1 Ogólne

Nośność obliczeniowa w strefie ściskania może być ograniczona przez:

- nośność środnika słupa ($F_{c,wc,Rd}$) lub
- nośność pasa i środnika (rygla) belki poddanych ściskaniu ($F_{c,fb,Rd}$).

Odnośne paragrafy normy EN 1993-1-8 podano w tabeli 1.2.

Tabela 1.2 Komponenty połączenia podane ściskaniu

Komponent		Paragraf normy EN 1993-1-8
Nośność środnika słupa	$F_{c,wc,Rd}$	6.2.6.2
Nośność pasa i środnika (rygla) belki	$F_{c,fb,Rd}$	6.2.6.7

1.4.2 Środnik słupa bez ściskanego elementu usztywniającego

Najlepiej byłoby, gdyby można było uniknąć elementów usztywniających w słupie, ponieważ są one drogie i mogą być destrukcyjne podczas wykonywania połączeń w osi słabej. Jednak w strefie ściskania słupa elementy usztywniające są zazwyczaj niezbędne, szczególnie w połączeniu narożnym ramy portalowej. W ramie portalowej występuje duży moment zginający, wytwarzający dużą siłę ściskającą, a słup wykonany jest zazwyczaj z dwuteownika o względnie cienkim środniku.

Nośność obliczeniowa nieuszywnionego środka słupa poddanego ścisaniu poprzecznemu została podana w § 6.2.6.2 normy EN 1993-1-8. Nośność obliczeniowa oparta jest na efektywnej szerokości środka poddanego ścisaniu ze środkiem weryfikowanym jako rozpórka i ze współczynnikiem redukcyjnym ω dla ścinania oraz współczynnikiem redukcyjnym ρ dla wzdłużnego naprężenia ściskającego w słupie.

1.4.3 Środek słupa ze ścisaniem elementem usztywniającym

Nośność obliczeniową usztywnionego słupa poddanego ścisaniu poprzecznemu można obliczyć zgodnie z § 9.4 normy EN 1993-1-5.

1.4.4 Pas i środek (rygla) belki poddane ścisaniu

Nośność przy ścisaniu pasa belki oraz przyległego środka określona została w § 6.2.6.7 normy EN 1993-1-8 za pomocą zależności:

$$F_{c,fb,Rd} = \frac{M_{c,Rd}}{(h - t_{fb})}$$

gdzie:

h to wysokość dołączanej belki

$M_{c,Rd}$ to obliczeniowa nośność przy zginaniu przekroju poprzecznego belki, w razie potrzeby zredukowana w celu uwzględnienia ścinania, patrz § 6.2.5 normy EN 1993-1-1. W przypadku belki ze skosem, takiej jak rygiel, nośność $M_{c,Rd}$ można obliczać, pomijając pas pośredni.

t_{fb} jest grubością pasa dołączanej belki

W przypadku belek ze skosem, powszechnie wykorzystywanych jako rygle w ramach portalowych, wysokość h powinna być przyjmowana jako wysokość wytwarzanego kształtownika, a grubość t_{fb} powinna odpowiadać grubości pasa skosu.

Jeśli wysokość belki (rygiel + skos) przekracza 600 mm, to udział środka rygla w obliczeniowej nośności przy ścisaniu należy ograniczyć do 20%. Oznacza to, że jeśli nośnością pasa jest $t_{fb} b_{fb} f_{y,fb}$, wówczas:

$$F_{c,fb,Rd} \leq \frac{t_{fb} b_{fb} f_{y,fb}}{0,8}$$

1.5 Nośność panelu środka słupa

Nośność panelu środka słupa podano w § 6.2.6.1 normy EN 1993-1-8; reguły tam podane mają zastosowanie, gdy $d/t_w \leq 69\varepsilon$.

Nośność nieuszywnionego panelu środka słupa poddawanego ścinaniu, $V_{wp,Rd}$, określana jest zależnością:

$$V_{wp,Rd} = \frac{0,9 f_{y,wc} A_{vc}}{\sqrt{3} \gamma_{M0}}$$

gdzie:

A_{vc} to pole przekroju przy ścinaniu słupa, patrz § 6.2.6(3) normy EN 1993-1-1.

1.6 Obliczanie nośności przy zginaniu

Po obliczeniu potencjalnych nośności w strefie rozciągania (rozdział 1.2), nośności obliczeniowej w strefie ściskania (rozdział 1.4) oraz nośności panelu średnika słupa poddawanego ścinaniu (rozdział 1.5), można wyznaczyć efektywne nośności obliczeniowe w strefie rozciągania.

Zgodnie z § 6.2.7.2(7) normy EN 1993-1-8 całkowita nośność obliczeniowa w strefie rozciągania nie może przekraczać nośności obliczeniowej w strefie ściskania.

Podobnie całkowita nośność obliczeniowa w strefie rozciągania nie może przekroczyć nośności obliczeniowej panelu średnika słupa zmodyfikowanej za pomocą parametru przekształcenia β . Jest ona wyrażana jako:

$$\sum F_{t,Rd} \leq V_{wp,Rd} / \beta$$

Parametr przekształcenia β opisano w § 5.3(7). W przypadku połączeń jednostronnych jego wartość można przyjąć na podstawie tabeli 5.4 jako 1,0.

Jeśli nośność panelu średnika słupa lub nośność w strefie ściskania jest mniejsza od całkowitej nośności obliczeniowej w strefie rozciągania, to nośności w strefie rozciągania muszą zostać zredukowane.

W pierwszym kroku redukowana jest nośność rzędu śrub położonego najbliżej środka ściskania, a następnie kolejnego rzędu, aż do momentu, gdy całkowita nośność obliczeniowa w strefie rozciągania nie przekracza nośności przy ściskaniu lub nośności panelu średnika przy ścinaniu. Redukowanie w ten sposób nośności rzędu śrub jest zadowalające, gdy metoda projektowa zakłada plastyczny rozkład sił w śrubach.

Zamiast redukowania nośności w strefie rozciągania, można umieścić elementy usztywniające w celu zwiększenia nośności obliczeniowej panelu średnika poddawanego ścinaniu oraz średnika poddawanego ściskaniu.

Po obliczeniu efektywnych nośności obliczeniowych przy rozciąganiu, jeśli to konieczne poprzez zredukowanie potencjalnych nośności, można obliczyć obliczeniową nośność połączenia przy zginaniu jako sumę nośności przy rozciąganiu każdego rzędu śrub mnożonej przez jego ramię dźwigni od środka ściskania, tzn.:

$$M_{j,Rd} = \sum_r h_r F_{tr,Rd} \quad (\text{jak podano w § 6.2.7.2 normy EN 1993-1-8})$$

Przyjmuje się, że położenie środka ściskania pokrywa się ze środkiem ściskanego pasa.

1.7 Projektowanie spoiny

W § 6.2.3(4) normy EN 1993-1-8 podano wymóg, aby obliczeniowa nośność połączenia przy zginaniu zawsze była ograniczona nośnością obliczeniową innych podstawowych komponentów połączenia, a nie nośnością obliczeniową spoin. Dogodnym zachowawczym rozwiązaniem jest zatem wykonanie w komponentach poddawanych rozciąganiu spoin o pełnej wytrzymałości. Gdy komponenty, takie jak dolny pas skosu, poddawane są ścisnaniu, standardowo przyjmuje się, że komponenty te są bezpośrednio dociskane i w związku z tym wymagane jest wykonanie jedynie spoiny nominalnej. Jeśli połączenie poddawane jest odwróconemu momentowi zginającemu, spoina musi przenosić pewną siłę rozciągającą i należy to uwzględnić podczas projektowania.

1.7.1 Spoiny pasa rozciąganego

Spoiny pomiędzy rozciągającym pasem a blachą doczołową muszą być spoinami o pełnej wytrzymałości.

Często wykorzystywaną alternatywną praktyką jest projektowanie spoin z rozciągającym pasem w oparciu o tę z następujących sił, której wartość jest mniejsza:

- (a) nośność pasa przy rozciąganiu równa $b_f t_f f_y$,
- (b) całkowita siła rozciągająca w trzech górnych rzędach śrub w przypadku przedłużonej blachy doczołowej lub całkowita siła rozciągająca w dwóch górnych rzędach śrub w przypadku blachy doczołowej licującej.

Przedstawiona powyżej metoda może wydawać się zachowawcza, ale w stanie granicznym nośności może występować tendencja blachy doczołowej do rozciągania się pionowo pomiędzy pasami belki. W rezultacie pas rozciągany bierze większy udział w przenoszeniu obciążenia w stosunku do samych tylko przyległych śrub.

Spoinę o pełnej wytrzymałości z pasem poddanym rozciąganiu można uzyskać poprzez wykonanie:

- pary symetrycznie rozmieszczonych spoin pachwinowych, o sumarycznej grubości równej grubości pasa lub
- pary symetrycznie rozmieszczonych spoin doczołowych o niepełnym przetopie z nakładanymi następnie spoinami pachwinowymi lub
- spoiny doczołowej o pełnym przetopie.

W przypadku większości belek małych i średnich rozmiarów spoiny pasa poddanego rozciąganiu są symetrycznymi spoinami pachwinowymi o pełnej wytrzymałości. W przypadku, gdy szerokość wymaganej spoiny pachwinowej przekroczy 12 mm, bardziej ekonomicznym rozwiązaniem może okazać się połączenie o pełnej wytrzymałości za pomocą spoin doczołowych o częściowym przetopie oraz nakładanych spoin pachwinowych.

1.7.2 Spoiny pasa ściskanego

Gdy pas ściskany ma ścięty koniec, można założyć dopasowanie dociskowe pomiędzy pasem a blachą doczołową i w tym przypadku wystarczy wykonanie nominalnych spoin pachwinowych. Jeśli nie można założyć dopasowania dociskowego, wówczas spoina musi być tak zaprojektowana, aby przenosić całą siłę ściskającą.

1.7.3 Spoiny środника

Zaleca się, aby spoiny środnika w strefie rozciągania były spoinami o pełnej wytrzymałości.

W przypadku środków belek o grubości do 11,3 mm spoinę o pełnej wytrzymałości można uzyskać za pomocą spoin pachwinowych o szerokości 8 mm (o grubości 5,6 mm). W związku z tym uzasadnione jest rozważenie zastosowania na całej wysokości środnika spoin o pełnej wytrzymałości. W takim przypadku nie ma konieczności wykonywania żadnych obliczeń dla rozciągania czy ścinania.

W przypadku grubszych środków, spoiny środnika można rozpatrywać w dwóch wyodrębnionych częściach, ze strefą rozciągania wokół śrub, które są przeznaczone do przeniesienia rozciągania, oraz z pozostałą częścią środnika działającą jak strefa ścinania.

Strefa rozciągania

Zalecane są spoiny o pełnej wytrzymałości. Spoiny o pełnej wytrzymałości dla środnika w strefie rozciągania powinny sięgać poniżej dolnego rzędu śrub poddawanych rozciąganiu na odległość $1,73g/2$, gdzie g jest rozstawem (odległością między środkami śrub). Umożliwia to efektywny rozkład pod kątem 60° od rzędu śrub do blachy doczołowej.

Strefa ścinania

Nośność spoin środnika belki przy działaniu pionowych sił ścinających należy przyjąć jako:

$$P_{sw} = 2 \times a \times f_{vw,d} \times L_{ws}$$

gdzie:

a jest grubością spoiny pachwinowej

$f_{vw,d}$ jest wytrzymałością obliczeniową spoin pachwinowych (według § 4.5.3.3(2) normy EN 1993-1-8).

L_{ws} jest pionową długością spoin w strefie ścinania (pozostałej części środnika nieprzyporządkowanej do strefy rozciągania).

1.8 Ścinanie pionowe

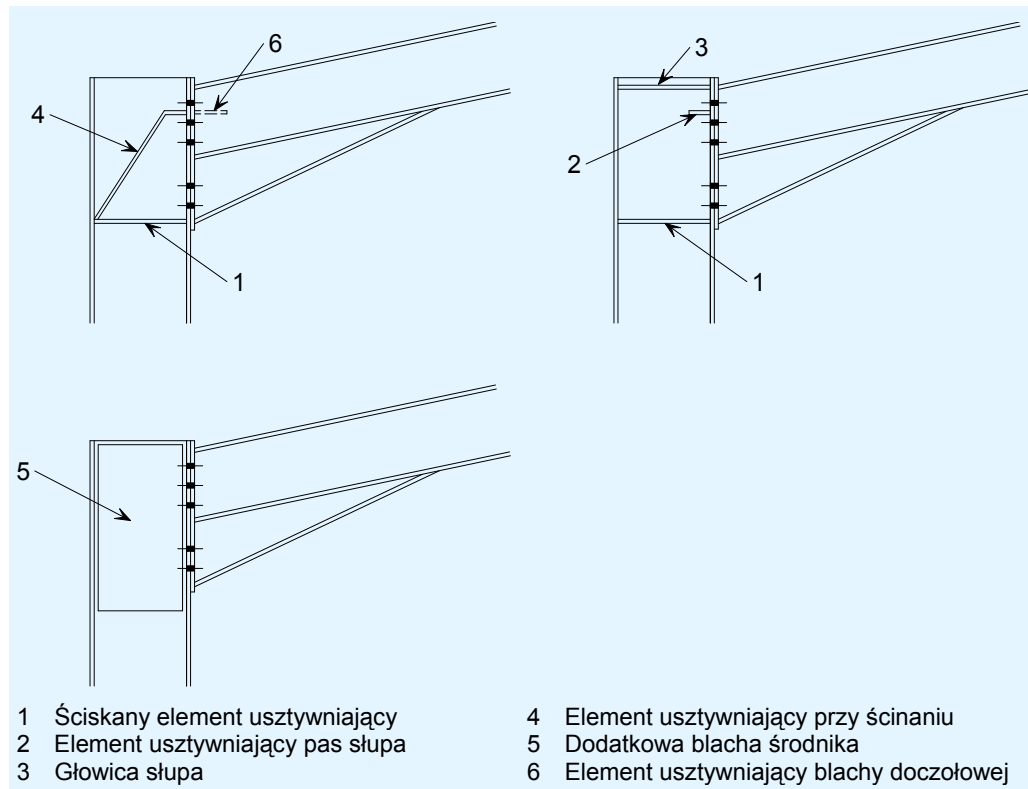
Projektowanie z uwagi na ścinanie pionowe jest proste. Ogólnie biorąc, przyjmuje się, że śruby położone u dołu połączenia nie przenoszą żadnego znaczącego rozciągania i są przeznaczone do przenoszenia ścinania pionowego. Śruby te należy zweryfikować przy ścinaniu i docisku zgodnie tabelą 3.4 normy EN 1993-1-8.

1.9 Elementy usztywniające

Komponenty połączenia można wzmocnić dodatkowym materiałem, choć oznacza to dodatkowe koszty. Tabela 1.3 zawiera możliwości wzmocnienia połączeń odpornych na zginanie. Typy elementów usztywniających przedstawiono na rysunku 1.3.

Tabela 1.3 Elementy usztywniające

Typ elementu usztywniającego	Skutek	Komentarze
Ściskany element usztywniający	Zwiększa nośność przy ściskaniu	Wymagany zazwyczaj w połączeniach ram portalowych.
Element usztywniający pas w strefie rozciągania	Zwiększa nośność pasa słupa przy zginaniu	
Ukośny element usztywniający przy ścinaniu	Zwiększa nośność panelu środknika słupa i wzmacnia pas rozciągany	Powszechnie stosowane rozwiązanie — połączenia osi słabej mogą być bardziej skomplikowane.
Dodatkowa blacha środknika	Zwiększa nośność środknika słupa przy ścinaniu i ściskaniu	Połączenia osi słabej są uproszczone. Element wymagający położenia wielu spoin. Patrz §6.2.6.1 w normie EN 1993-1-8.
Element usztywniający blachy doczołowej	Zwiększa nośność blachy doczołowej przy zginaniu	Nie należy wykorzystywać — należy wybrać blachę doczołową o większej grubości.
Głowica słupa	Zwiększa nośność pasa przy zginaniu oraz nośność przy ściskaniu (w przypadku odwróconego momentu zginającego)	Zwykle montowana w słupie, wyrównana z górną półką rygla. Ogólnie stosuje się ją w przypadku kombinacji obciążeń odwrotnych, ale może również służyć jako rozciągany element usztywniający pasa słupa.
Podkładka pasa	Zwiększa nośność pasa przy zginaniu	Efektywna tylko w przypadku wzmocniania pasa w modelu 1. Patrz norma EN 1993-1-8, §6.2.4.3



Rysunek 1.3 Rodzaje elementów usztywniających

2 SZTYWNOŚĆ POŁĄCZEŃ

W § 5.2 normy EN 1993-1-8 zawarty jest wymóg, aby wszystkie połączenia były sklasyfikowane ze względu na wytrzymałość lub sztywność. Klasyfikacja ze względu na wytrzymałość jest właściwa w przypadku globalnej analizy plastycznej.

Zgodnie z § 5.2.2.1(1) połączenie można sklasyfikować pod względem sztywności obrotowej, którą należy obliczyć przy użyciu metody opisanej w rozdziale 6.3 normy EN 1993-1-8. Zaleca się wykonanie obliczeń sztywności początkowej połączenia za pomocą oprogramowania. W rozdziale 2.1 zamieszczono wprowadzenie do tej metody.

Zgodnie z § 5.2.2.1(2) połączenia można też klasyfikować na podstawie danych eksperymentalnych, doświadczeń z wcześniejszego zadowalającego ich funkcjonowania w podobnych przypadkach lub na podstawie obliczeń opartych na wynikach testów. W niektórych krajach dopuszczalna może być klasyfikacja na podstawie zadowalającego funkcjonowania — może to być nawet potwierdzone w Załączniku krajowym, który może wskazywać na dopuszczone w danym kraju metody projektowe lub szczegóły połączeń i zezwalać na klasyfikację połączeń bez konieczności wykonywania obliczeń.

2.1 Klasyfikacja na podstawie obliczeń

W § 6.3.1(4) sztywność początkowa, S_j została określona zależnością:

$$S_j = \frac{Ez^2}{\mu \sum_i \frac{1}{k_i}}$$

gdzie:

- E jest modulem sprężystości
- μ jest współczynnikiem sztywności zależnym od stosunku przyłożonego momentu do nośności połączenia przy zginaniu
- z jest ramieniem dźwigni podanym w § 6.2.7
- k_i jest sztywnością podstawowego komponentu połączenia

2.1.1 Sztywność podstawowych komponentów połączenia

W tabeli 6.10 normy EN 1993-1-8 określono podstawowe komponenty połączenia, które należy uwzględnić. W przypadku jednostronnego śrubowego połączenia doczołowego, takiego jak połączenia narożnego ramy portalowej, podstawowe komponenty połączenia, które należy uwzględnić podano w tabeli 2.1.

Tabela 2.1 Podstawowe komponenty połączenia na przykładzie połączenia narożnego ramy portalowej

Współczynnik sztywności	Komponent połączenia
k_1	panel środka słupa poddany ścinaniu
k_2	środek słupa poddany ściskaniu
k_3	środek słupa poddany rozciąganiu
k_4	pas słupa poddany zginaniu
k_5	blacha doczołowa poddana zginaniu
k_{10}	śruby poddawane rozciąganiu

W przypadku połączenia o dwóch lub więcej rzędach śrub, podstawowym komponentom każdego rzędu powinna odpowiadać jedna sztywność równoważna k_{eq} . W przypadku połączenia doczołowego belka-słup tą równoważną sztywność wyznacza się za pomocą współczynników k_3 , k_4 , k_5 oraz k_{10} dla każdego odrębnego rzędu śrub oraz równoważnego ramienia dźwigni (patrz § 6.3.3.1(4) normy EN 1993-1-8).

W tabeli 6.11 normy EN 1993-1-1 przedstawione zostały metody wyznaczania poszczególnych współczynników sztywności.

2.2 Granice klasyfikacji

Granice klasyfikacji podano w § 5.2.2.5 normy EN 1993-1-8. Zależą one od sztywności początkowej $S_{j,ini}$, momentu bezwładności przekroju belki I_b , długości belki l_b oraz współczynnika k_b zależącego od sztywności ramy.

Połączenia klasyfikuje się jako sztywne, gdy $S_{j,ini} \geq k_b EI_b / l_b$

Zatem dla danej sztywności początkowej $S_{j,ini}$ można obliczyć minimalną długość belki, l_b , tak aby połączenie zostało sklasyfikowane jako sztywne. Jest to podstawa minimalnych długości podanych w rozdziale 4.

3 WYTYCZNE DOTYCZĄCE NAJLEPSZYCH PRAKTYK W PRZYPADKU POŁĄCZEŃ ZGINANYCH

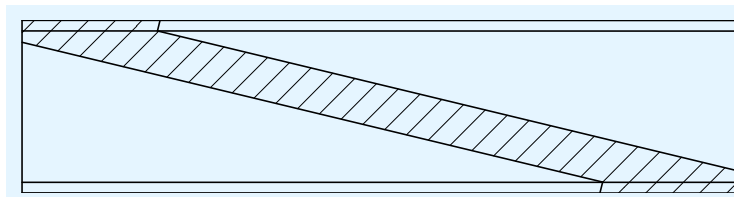
W porównaniu z połączeniami prostymi (poddawanymi wyłącznie ścinaniu) zastosowanie każdego połączenia odpornego na zginanie związane jest z koniecznością poniesienia dodatkowych kosztów. Połączenia należy projektować tak, aby przenosiły przyłożone siły i momenty w najbardziej ekonomiczny sposób. Może to wymagać zapewnienia elementów konstrukcyjnych o większych rozmiarach lub zmiany geometrii połączenia, w celu redukcji prac produkcyjnych związanych z dopasowaniem elementów usztywniających.

Poniższe rozdziały zawierają wskazówki dotyczące właściwego ustalania szczegółów.

3.1 Skos w połączeniu narożnym

Skos w ramie portalowej oznacza zazwyczaj dodatkowy trójkątny wycinek przyspawany pod rygłem przy połączeniu ze słupem. Długość wycinka wynosi zwykle około 10% rozpiętości, lub do 15% rozpiętości w najbardziej efektywnych projektach sprężystych. Skos wycina się zazwyczaj z tego samego kształtownika, z którego wykonany jest rygiel, lub też z kształtownika wyższego i cięższego.

Pary wycinków na skosy wytwarza się z jednego odcinka kształtownika, jak pokazano na rysunku 3.1. Jeśli skos wycinany jest z kształtownika rygla, wówczas maksymalna wysokość kształtownika ze skosem nie może z tego powodu przekroczyć podwójnej wysokości kształtownika rygla. Wyższe skosy muszą być wykonane z większych kształtowników lub z grubej blachy.



Rysunek 3.1 Wycinanie wycinków na skosy

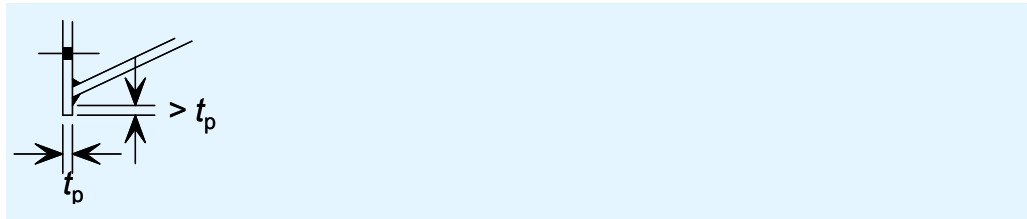
3.2 Blacha doczołowa

Blachy doczołowe wytwarza się zazwyczaj ze stali S275 lub S235. W przypadku śrub klasy 8.8 i stali gatunku S275 grubość blachy doczołowej powinna być w przybliżeniu równa średnicy śruby. Powszechnie stosowane grubości blach to:

20 mm w przypadku wykorzystywania śrub M20 klasy 8.8

25 mm w przypadku wykorzystywania śrub M24 klasy 8.8

Blacha doczołowa powinna być szersza od kształtownika rygla, aby możliwe było wykonanie spoiny wokół pasów. Blacha doczołowa powinna wystawać powyżej i poniżej kształtownika ze skosem, aby było możliwe wykonanie spoin pachwinowych. W strefie ściskania blacha doczołowa powinna wystawać poniżej spoiny pachwinowej na odległość równą co najmniej grubości blachy, jak pokazano na Figure 3.2, aby maksymalnie zwiększyć długość docisku sztywnego podczas weryfikacji słupa poddanego ściskaniu.

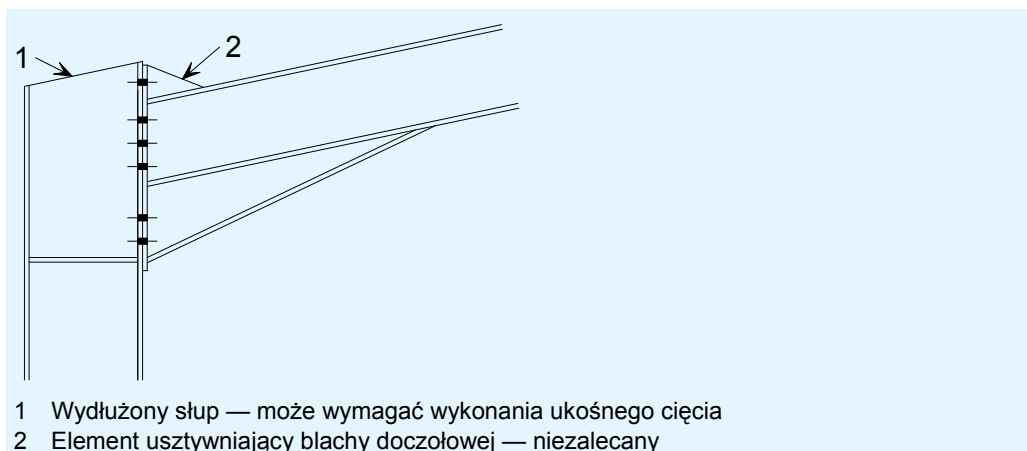


Rysunek 3.2 Blacha doczołowa — strefa ściskania

3.3 Elementy usztywniające

Na rysunku 1.3 pokazano różne rodzaje elementów usztywniających wykorzystywanych w połączeniu narożnym. Zazwyczaj wykorzystywany jest ściskany element usztywniający. Jeśli to możliwe, należy unikać wykorzystywania innych elementów usztywniających. Nie ma nigdy potrzeby stosowania elementów usztywniających blach doczołowych — aby zwiększyć nośność, można wybrać grubsza blachę doczołową. Elementy usztywniające pasa słupa wykorzystuje się w celu zwiększenia nośności połączenia. Zamiast wykorzystywania elementów usztywniających, zwiększoną nośność można uzyskać poprzez:

- zastosowanie większej liczby rzędów śrub,
- wydłużenie blachy doczołowej powyżej górnej krawędzi rygla, jak pokazano na rysunku 3.3,
- zwiększenie wysokości skosu,
- zwiększenie ciężaru kształtownika słupa.



1 Wydłużony słup — może wymagać wykonania ukośnego cięcia
2 Element usztywniający blachy doczołowej — niezalecany

Rysunek 3.3 Połączenie z przedłużoną blachą doczołową

3.4 Śruby

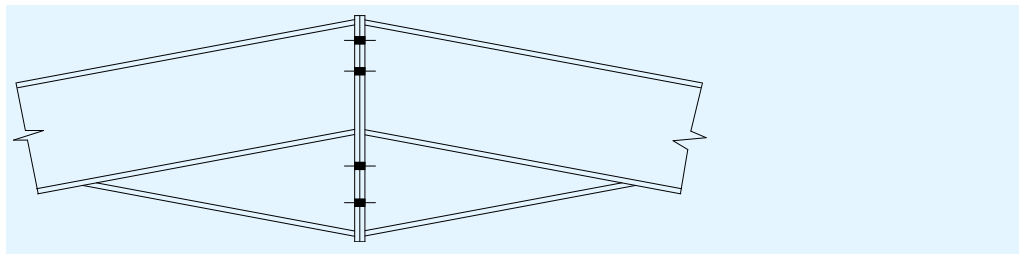
W połączeniach zginanych wykorzystuje się generalnie śruby M20 lub M24 klasy 8.8 lub 10.9. W niektórych krajach standardem jest klasa 8.8. Śruby powinny mieć pełny gwint, co oznacza, że w całym budynku można wykorzystywać takie same śruby.

Śruby są zazwyczaj rozstawiane z odległością między środkami śrub (rozstawem) równym 90 lub 100 mm. Skok pionowy wynosi zazwyczaj od 70 do 90 mm. W niektórych krajach powszechną praktyką są regularne odstępy między śrubami na całej wysokości połączenia. W innych krajach może istnieć znaczna odległość pomiędzy śrubami poddawanych rozciąganiu a śrubami poddawanych ścinaniu. Wymagania normy EN 1991-1-8 nie wykluczają żadnego z tych rozwiązań. W tej normie podano maksymalne odstępy między śrubami, pozwalające zapobiec wyboczeniu komponentów pomiędzy łącznikami. Zjawisko to nie występuje natomiast w połączeniach blach doczołowych.

W połączeniach ramy portalowej nie jest wymagane wykorzystywanie śrub sprężanych.

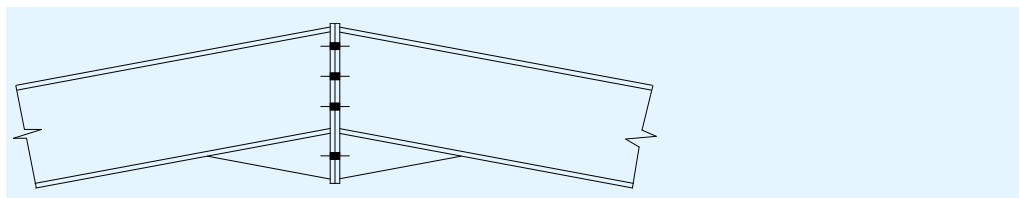
3.5 Połączenia wierzchołkowe

Typowe połączenie wierzchołkowe pokazano na rysunku 3.4. W wyniku działania obciążeń od ciężaru własnego spód skosu jest poddany rozciąganiu. Skos może być wykonany z tego samego kształtownika co rygiel lub może być wykonany z grubej blachy.



Rysunek 3.4 Typowe połączenie wierzchołkowe

W przypadku niewielkich konstrukcji i małych momentów zginających połączenie wierzchołkowe może po prostu zawierać blachę usztywniającą, jak pokazano na rysunku 3.5, zamiast skosu z pasami.

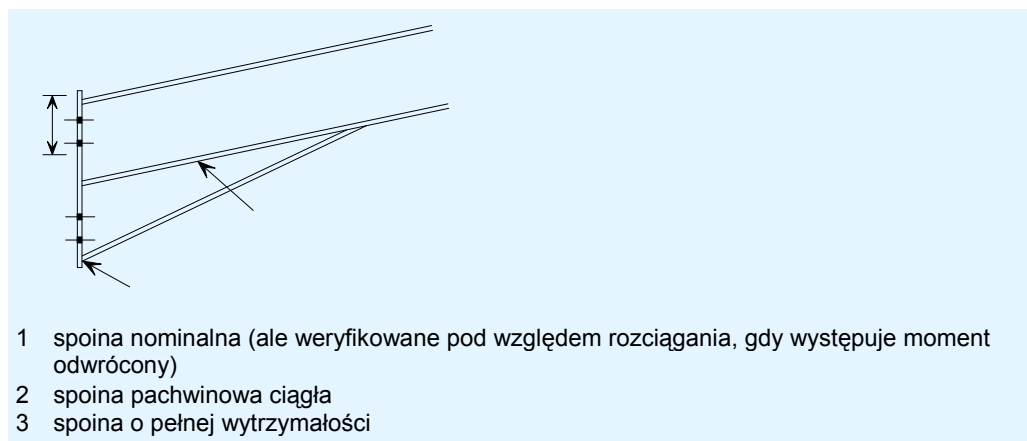


Rysunek 3.5 Alternatywne rozwiązanie wierzchołkowe

3.6 Spoiny

Jak to opisano w rozdziale 1.7, w połączeniu narożnym na krawędzi pasa rozciąganego oraz w obszarze przylegającym do śrub rozciąganych zazwyczaj wymagane jest wykonanie spoin o pełnej wytrzymałości, jak pokazano na rysunku 3.6. Reszta spoiny środnika służy do przenoszenia ścinania. Choć ścinane spoiny środnika mogą być mniejsze od spoin w obszarze rozciągania, powszechna praktyką jest wykonywanie spoiny tego samego rozmiaru na całej wysokości środnika.

Przy założeniu, że końce elementu konstrukcyjnego są ścięte, komponenty w strefie ściskania są bezpośrednio dociskane i wymagane jest tylko wykonanie spoiny nominalnej. W przypadku projektowym, w którym występuje odwrócony moment zginający (z podnoszeniem z powodu wiatru), spoiny u dołu skosu połączenia narożnego oraz u góry połączenia wierzchołkowego poddawane są rozciąganiu i niezbędne jest zweryfikowanie ich pod względem wytrzymałości przy takiej kombinacji oddziaływań.



Rysunek 3.6 Spoiny skosu

Spoina pomiędzy skosem a dolną powierzchnią rygła to zazwyczaj ciągła spoina pachwinowa. Mimo, że pod względem konstrukcyjnym spoina przerywana byłaby jak najbardziej odpowiednia, to zazwyczaj wygodniejsze jest wykonanie spoiny ciągłej.

4 TABELE PROJEKTOWE POŁĄCZEŃ

4.1 Ogólne

W niniejszym rozdziale zamieszczono tabele projektowe dla kilku typowych konfiguracji połączeń zginanych w ramach portalowych. Obejmują one zarówno połączenia narożne, jak i wierzchołkowe.

Uwzględniono trzy podstawowe rodzaje kształtowników: IPE 300, IPE 400 oraz IPE 500 wykonane ze stali o gatunku S235, S275 i S355. Kształtowniki tej wielkości są zwykle odpowiednie do projektowania elementów o rozpiętościach przęsła odpowiednio 20, 25 i 30 m.

W tabelach podano trzy konfiguracje połączeń wierzchołkowych dla każdego z kształtowników, przy typowej wielkości śrub i grubości blach doczołowych oraz trzy konfiguracje połączeń narożnych dla tych samych typowych wielkości śrub i grubości blach doczołowych. Dla każdego kształtownika zamieszczono dwie dodatkowe tabele, jedną dla śrub o innej klasie, a drugą dla innej grubości blachy doczołowej. Te dwie dodatkowe tabele dotyczą jedynie połączeń wierzchołkowych bez śrub zewnętrznych oraz połączeń narożnych ze skosem półkowym. W tabelach 4.1 i 4.2 podano numery tabel wszystkich konfiguracji.

Tabela 4.1 Połączenia wierzchołkowe

Kształtownik	Blacha doczołowa t_p (mm)	Rozmiar śrub	Klasa śrub	Bez śrub zewnętrznych	Ze śrubami zewnętrznymi	Ze śrubami zewnętrznymi i elementem usztywniającym
IPE 300	15	M16	8.8	Tabela 4.10	Tabela 4.13	Tabela 4.14
	15		10.9	Tabela 4.11		
	20		8.8	Tabela 4.12		
IPE 400	20	M20	8.8	Tabela 4.15	Tabela 4.18	Tabela 4.19
	20		10.9	Tabela 4.16		
	25		8.8	Tabela 4.17		
IPE 500	25	M24	8.8	Tabela 4.20	Tabela 4.23	Tabela 4.24
	25		10.9	Tabela 4.21		
	20		8.8	Tabela 4.22		

Tabela 4.2 Połączenia narożne

Kształtownik	Blacha doczołowa t_p (mm)	Rozmiar śrub	Klasa śrub	Skos (a)	½ skosu (b)	Bez skosu
IPE 300	15	M16	8.8	Tabela 4.29	Tabela 4.25	Tabela 4.28
	15		10.9		Tabela 4.26	
	20		8.8		Tabela 4.27	
IPE 400	20	M20	8.8	Tabela 4.34	Tabela 4.30	Tabela 4.33
	20		10.9		Tabela 4.31	
	25		8.8		Tabela 4.32	
IPE 500	25	M24	8.8	Tabela 4.39	Tabela 4.35	Tabela 4.38
	25		10.9		Tabela 4.36	
	20		8.8		Tabela 4.37	

(a) Wysokość belki ze skosem jest dwukrotnie większa od wysokości kształtownika podstawowego

(b) Wysokość belki ze skosem jest 1,5 razy większa od wysokości kształtownika podstawowego

Tabele od 4.10 do 4.39 zawierają następujące informacje:

- Szczegółowy szkic połączenia
- Podstawowe parametry (kształtownik, wielkość śrub, klasa śrub, grubość blachy doczołowej)
- Główne nośności obliczeniowe (nośność przy zginaniu, nośność osiowa, nośność przy ścinaniu).

W tabelach podano następujące wyniki:

- Obliczeniowa nośność przy zginaniu $M_{j,Rd}^+$ dla momentu dodatniego
- Minimalna rozpiętość przęsła $L_{b,min}$ stanowiąca warunek uznania połączenia za sztywne, dla momentu dodatniego
- Obliczeniowa nośność przy zginaniu $M_{j,Rd}^-$ dla momentu ujemnego
- Minimalna rozpiętość przęsła $L_{b,min}$ stanowiąca warunek uznania połączenia za sztywne, dla momentu ujemnego
- Obliczeniowa nośność osiowa $N_{t,j,Rd}$ przy rozciąganiu
- Obliczeniowa nośność osiowa $N_{c,j,Rd}$ przy ściskaniu
- Maksymalna nośność przy ścinaniu $V_{j,Rd}$ dla której nie ma konieczności uwzględniania żadnych interakcji z momentem zginającym.

Gdy połączenie poddawane jest momentowi zginającemu M_{Ed} oraz sile osiowej N_{Ed} należy zastosować kryterium interakcji liniowej z powyższych nośności:

$$N_{Ed}/N_{j,Rd} + M_{Ed}/M_{j,Rd} \leq 1,0$$

W przypadku interakcji powinny być wykorzystywane odpowiednie nośności obliczeniowe zwrócone w tym samym kierunku, co siły wewnętrzne:

- $N_{t,j,Rd}$ lub $N_{c,j,Rd}$ dla siły osiowej (rozciągającej lub ściskającej)
- $M_{j,Rd}^+$ lub $M_{j,Rd}^-$ dla momentu zginającego (dodatniego lub ujemnego)

4.2 Główne założenia projektowe

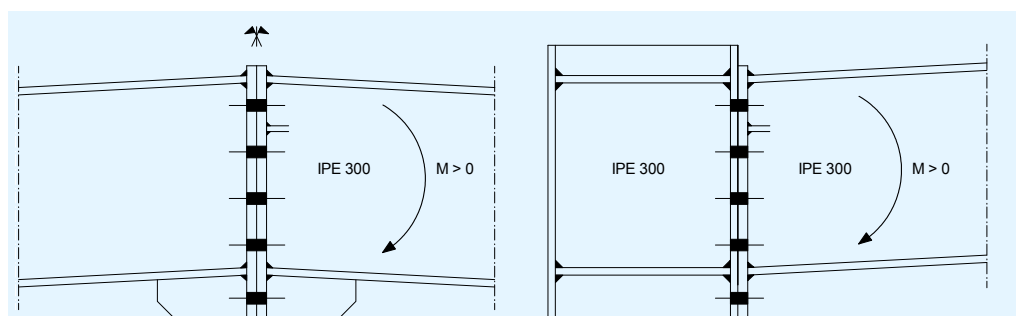
Tabele te zostały przygotowane przy użyciu oprogramowania *PlatineX* dostępnego w witrynie internetowej www.steelbizfrance.com. Oprogramowanie to można wykorzystywać bezpłatnie online i umożliwia ono konstruktorowi dobieranie różnych konfiguracji połączeń wierzchołkowych lub narożnych.

Tabele oparto o następujące założenia projektowe:

- Obliczenia zgodne z normą EN 1993-1-8
- Blachy doczołowe i elementy usztywniające wykonane ze stali S235 oraz elementy konstrukcyjne wykonane ze stali S235; w przeciwnym razie ze stali S275
- Śruby klasy 8.8 i 10.9
- Współczynniki częściowe γ_M zgodnie z zaleceniami (nie według jakiegoś konkretnego Załącznika krajowego)

Konwencja znaku:

Moment zginający jest dodatni, gdy generuje naprężenia ściskające w dolnym pasie a naprężenia rozciągające w górnych pasach (rysunek 4.1).



Rysunek 4.1 Konwencja znaku momentu zginającego

4.3 Uwagi do tabel

4.3.1 Połączenia wierzchołkowe

Tabele od 4.4 do 4.6 zawierają podsumowanie obliczeniowych nośności przy zginaniu połączeń wierzchołkowych poddawanych dodatnim momentom zginającym. Można je porównać z nośnością przy zginaniu plastycznym przekroju poprzecznego (tabela 4.3).

Tabela 4.3 Nośność przy zginaniu plastycznym przekroju poprzecznego (kNm)

Kształtownik	S235	S275	S355
IPE 300	148	173	223
IPE 400	307	359	464
IPE 500	516	603	779

Śruby położone poza kształtownikiem mają znaczny wpływ na nośność przy zginaniu, jeśli są to śruby poddawane rozciąganiu. Element usztywniający przyspawany do pasa rozciąganego zawsze zwiększaj nośność przy zginaniu, ale nie w jednakowym stopniu.

Nośność przy zginaniu jest niższa od nośności przekroju poprzecznego przy zginaniu plastycznym. Jednakże nie stanowi to problemu ponieważ nośność elementu konstrukcyjnego jest zazwyczaj zredukowana przez wyboczenie, łącznie ze zwichrzeniem.

Minimalna rozpiętość przęsła stanowiąca warunek uznania połączenia wierzchołkowego za w pełni sztywne jest względnie mała. W praktyce połączenia te stosowane są zawsze w ramach portalowych o rozpiętości przęsła większej od tej wartości minimalnej, więc można uznawać je za sztywne.

Siła ścinająca w wierzchołku jest mała i weryfikacja ta nigdy nie będzie miała krytycznego znaczenia w powszechnej praktyce projektowej.

Tabela 4.4 Połączenia wierzchołkowe belek wykonanych ze stali S235 — nośność przy zginaniu (kNm)

Kształtownik	Blacha doczołowa t_p (mm)	Rozmiar śrub	Klasa śrub	Bez śrub zewnętrznych	Ze śrubami zewnętrznymi	Ze śrubami zewnętrznymi i elementem usztywniającym
IPE 300	15	M16	8.8	75,4	118	123
	15		10.9	86,3		
	20		8.8	78,4		
IPE 400	20	M20	8.8	189	258	269
	20		10.9	210		
	25		8.8	197		
IPE 500	25	M24	8.8	358	449	472
	25		10.9	363		
	20		8.8	340		

Tabela 4.5 Połączenia wierzchołkowe belek wykonanych ze stali S275 — nośność przy zginaniu (kNm)

Kształtownik	Blacha doczołowa t_p (mm)	Rozmiar śrub	Klasa śrub	Bez śrub zewnętrznych	Ze śrubami zewnętrznymi	Ze śrubami zewnętrznymi i elementem usztywniającym
IPE 300	15	M16	8.8	78,4	123,5	132,8
	15		10.9	91,7		
	20		8.8	78,4		
IPE 400	20	M20	8.8	199,7	284,3	301,2
	20		10.9	231,0		
	25		8.8	199,7		
IPE 500	25	M24	8.8	407,3	504,8	533,6
	25		10.9	421,5		
	20		8.8	360,0		

Tabela 4.6 Połączenia wierzchołkowe belek wykonanych ze stali S355 — nośność przy zginaniu (kNm)

Kształtownik	Blacha doczołowa t_p (mm)	Rozmiar śrub	Klasa śrub	Bez śrub zewnętrznych	Ze śrubami zewnętrznymi	Ze śrubami zewnętrznymi i elementem usztywniającym
IPE 300	15	M16	8.8	78,4	123,5	132,8
	15		10.9	91,7		
	20		8.8	78,4		
IPE 400	20	M20	8.8	199,7	293,9	318,4
	20		10.9	231,3		
	25		8.8	199,7		
IPE 500	25	M24	8.8	426,3	577,1	620,4
	25		10.9	479,4		
	20		8.8	360,0		

4.3.2 Połączenia narożne

Minimalna rozpiętość przęśła stanowiąca warunek uznania połączenia narożnego za w pełni sztywne jest względnie mała w przypadku zastosowania skosu i w praktyce połączenia te są zawsze wykorzystywane w ramach portalowych o rozpiętości przęśła większej od tej wartości minimalnej. W związku z tym połączenia te można uznać za sztywne.

Bez skosu nośność przy zginaniu jest niższa i połączenie może zostać sklasyfikowane jako półsztywne. W związku z tym dobrą praktyką jest projektowanie połączeń narożnych ze skosem, tak aby całkowita wysokość była co najmniej 1,5 razy większa od wysokości rygla.

Krytycznym kryterium jest często nośność środka słupa przy ścinaniu.

W przypadku połączeń narożnych siła ścinająca jest znaczna, ale weryfikacja nie ma zazwyczaj krytycznego znaczenia w procesie projektowania.

Tabela 4.7 Połączenia narożne elementów konstrukcyjnych wykonanych ze stali S235 — nośność przy zginaniu (kNm)

Kształtownik	Blacha doczołowa t_p (mm)	Rozmiar śrub	Klasa śrub	Skos	½ skosu	Bez skosu
IPE 300	15	M16	8.8	177,2	134,7	87,4
	15		10.9		136,4	
	20		8.8		134,7	
IPE 400	20	M20	8.8	388,0	291,2	186,6
	20		10.9		293,9	
	25		8.8		291,2	
IPE 500	25	M24	8.8	683,3	511,0	327,8
	25		10.9		514,9	
	20		8.8		500,2	

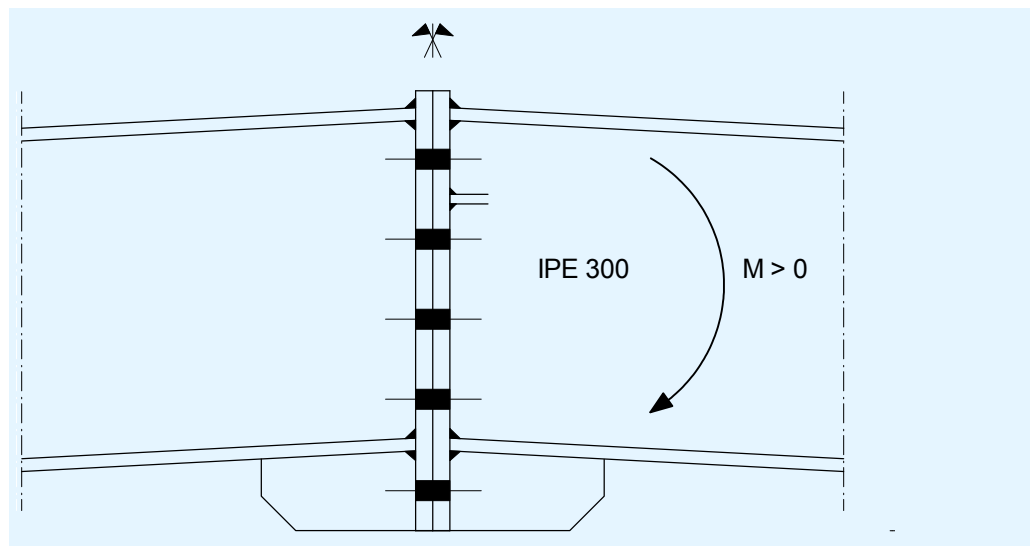
Tabela 4.8 Połączenia narożne elementów konstrukcyjnych wykonanych ze stali S275 — nośność przy zginaniu (kNm)

Kształtownik	Blacha doczołowa t_p (mm)	Rozmiar śrub	Klasa śrub	Skos	½ skosu	Bez skosu
IPE 300	15	M16	8.8	204,1	154,3	98,9
	15		10.9		158,2	
	20		8.8		154,3	
IPE 400	20	M20	8.8	451,8	338,3	214,8
	20		10.9		341,6	
	25		8.8		338,3	
IPE 500	25	M24	8.8	795,8	593,9	379,0
	25		10.9		599,2	
	20		8.8		580,9	

Tabela 4.9 Połączenia narożne elementów konstrukcyjnych wykonanych ze stali S355 — nośność przy zginaniu (kNm)

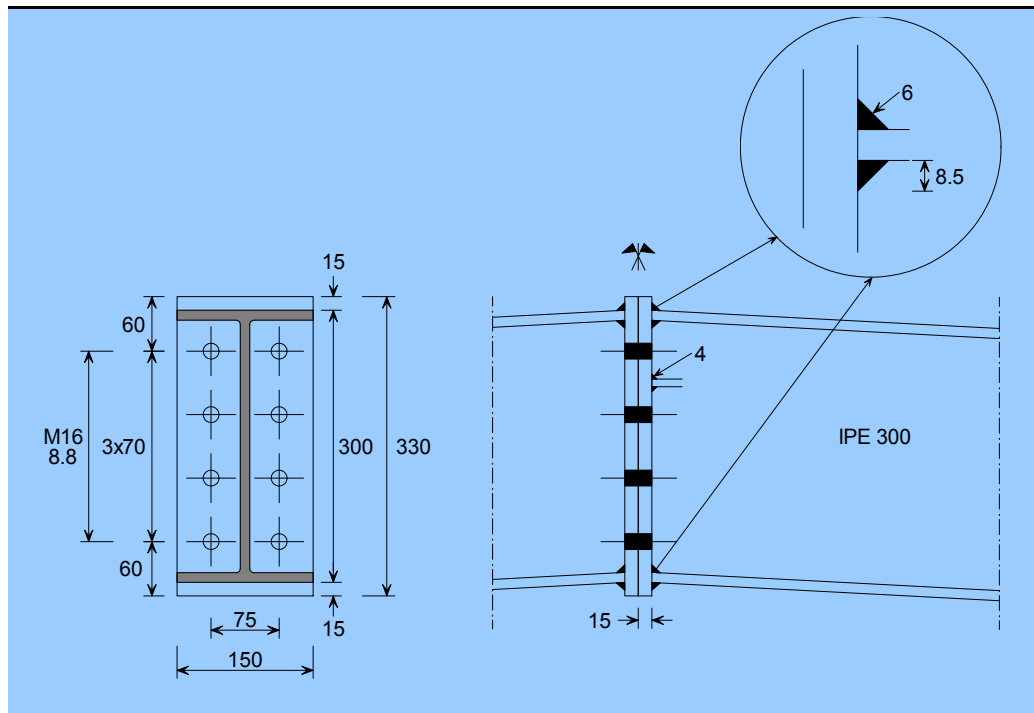
Kształtownik	Blacha doczołowa t_p (mm)	Rozmiar śrub	Klasa śrub	Skos	½ skosu	Bez skosu
IPE 300	15	M16	8.8	251,9	187,4	113,6
	15		10.9		197,2	
	20		8.8		189,1	
IPE 400	20	M20	8.8	564,0	417,5	258,2
	20		10.9		435,2	
	25		8.8		420,8	
IPE 500	25	M24	8.8	1000	739,7	462,3
	25		10.9		763,7	
	20		8.8		716,4	

4.4 Połączenia wierzchołkowe



Rysunek 4.2 Konwencja znaku momentu zginającego w połączeniach wierzchołkowych

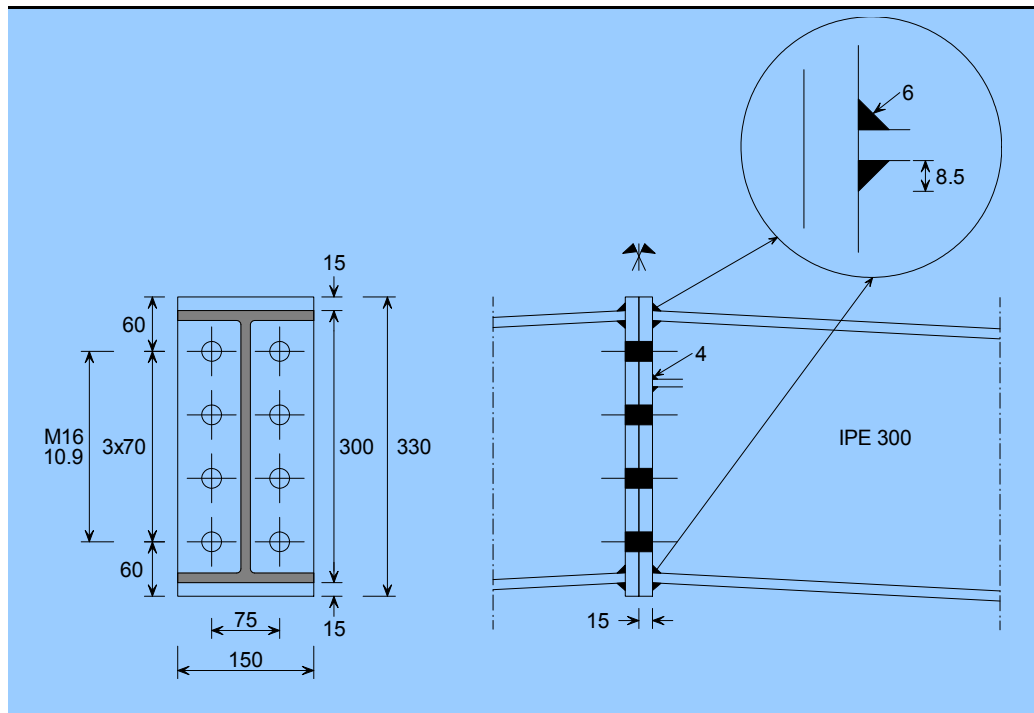
Tabela 4.10 Połączenie wierzchołkowe — IPE 300



Śruby M16	8.8
Średnica otworu	18 mm
Błacha doczołowa	$t_p = 15$ mm

Belka IPE 300	S235	S275	S355
Moment dodatni			
Obliczeniowa nośność przy zginaniu $M_{i,Rd}$ (kNm)	75,4	78,4	78,4
Minimalna rozpiętość przęsła dla połączenia sztywnego $L_{b,min}$ (m)		6,37	
Moment ujemny			
Obliczeniowa nośność przy zginaniu $M_{i,Rd}$ (kNm)	75,4	78,4	78,4
Minimalna rozpiętość przęsła dla połączenia sztywnego $L_{b,min}$ (m)		6,37	
Obliczeniowa nośność osiowa			
Przy rozciąganiu $N_{t,i,Rd}$ (kN)	567	595	595
Przy ściskaniu $N_{c,i,Rd}$ (kN)	1264	1480	1710
Obliczeniowa nośność przy ścinaniu $V_{i,Rd}$ (kN)		135	

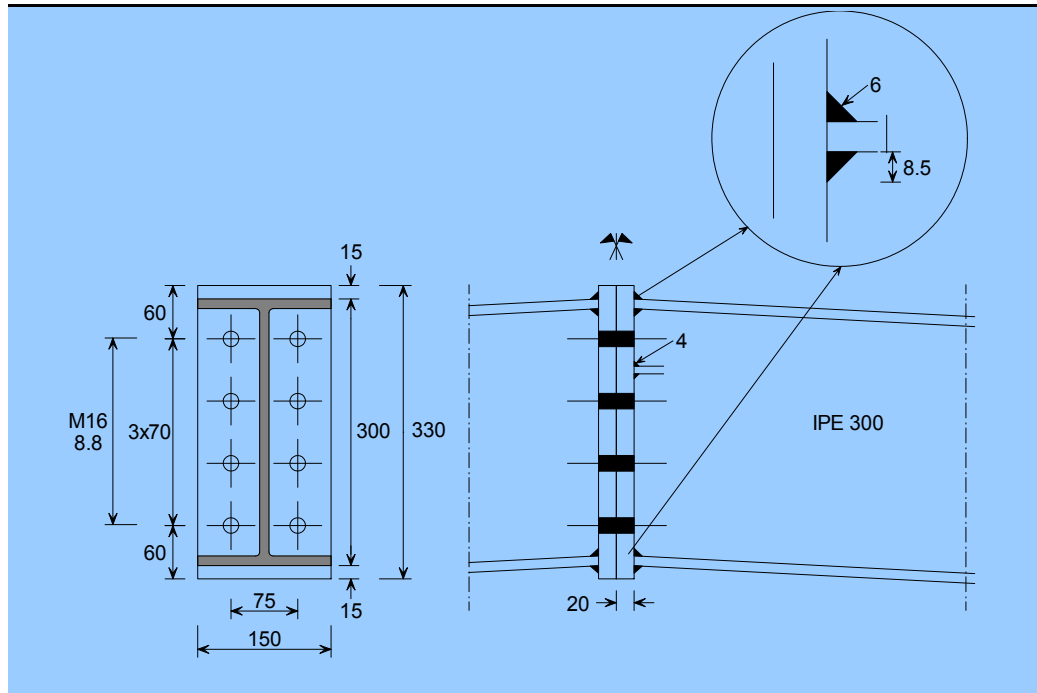
Tabela 4.11 Połączenie wierzchołkowe — IPE 300



Śruby M16	10.9
Średnica otworu	18 mm
Błacha doczołowa	$t_p = 15$ mm

Belka IPE 300	S235	S275	S355
Moment dodatni			
Obliczeniowa nośność przy zginaniu $M_{i,Rd}$ (kNm)	86,3	91,7	91,7
Minimalna rozpiętość przęsła dla połączenia sztywnego $L_{b,min}$ (m)		6,37	
Moment ujemny			
Obliczeniowa nośność przy zginaniu $M_{i,Rd}$ (kNm)	86,3	91,7	91,7
Minimalna rozpiętość przęsła dla połączenia sztywnego $L_{b,min}$ (m)		6,37	
Obliczeniowa nośność osiowa			
Przy rozciąganiu $N_{t,i,Rd}$ (kN)	668	696	696
Przy ściskaniu $N_{c,i,Rd}$ (kN)	1264	1480	1710
Obliczeniowa nośność przy ścinaniu $V_{i,Rd}$ (kN)		141	

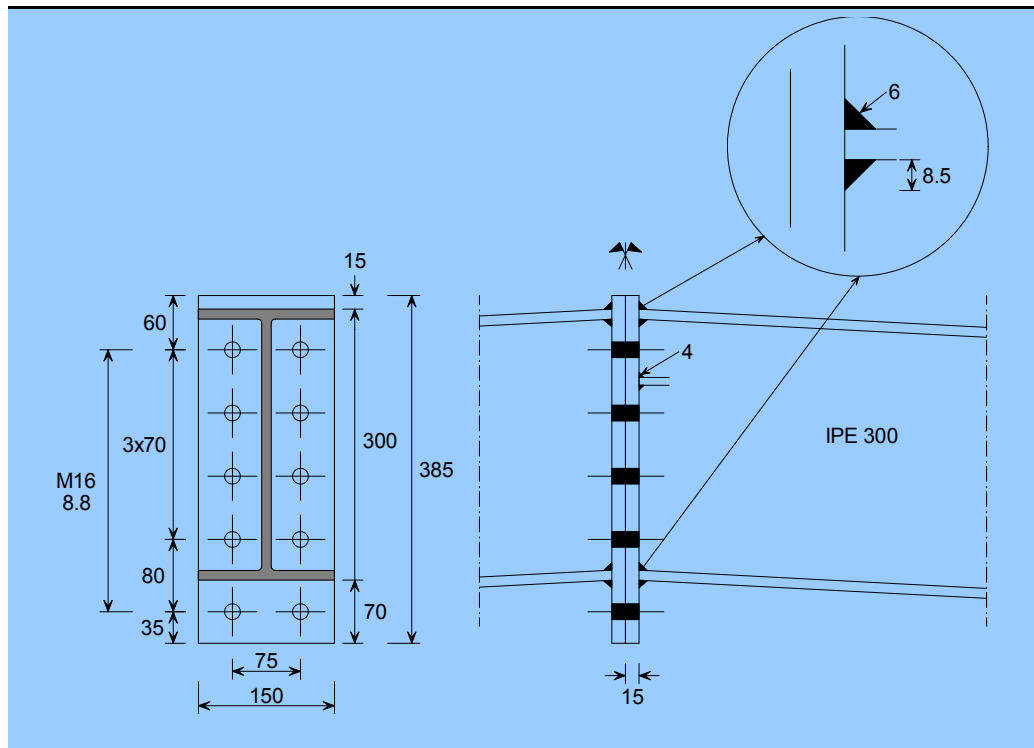
Tabela 4.12 Połączenie wierzchołkowe — IPE 300



Śruby M16	8.8
Średnica otworu	18 mm
Blacha doczołowa	$t_p = 20$ mm

Belka IPE 300	S235	S275	S355
Moment dodatni			
Obliczeniowa nośność przy zginaniu $M_{i,Rd}$ (kNm)	78,4	78,4	78,4
Minimalna rozpiętość przęsła dla połączenia sztywnego $L_{b,min}$ (m)		5,37	
Moment ujemny			
Obliczeniowa nośność przy zginaniu $M_{i,Rd}$ (kNm)	78,4	78,4	78,4
Minimalna rozpiętość przęsła dla połączenia sztywnego $L_{b,min}$ (m)		5,37	
Obliczeniowa nośność osiowa			
Przy rozciąganiu $N_{t,i,Rd}$ (kN)	688	723	723
Przy ściskaniu $N_{c,j,Rd}$ (kN)	1264	1480	1710
Obliczeniowa nośność przy ścinaniu $V_{j,Rd}$ (kN)		135	

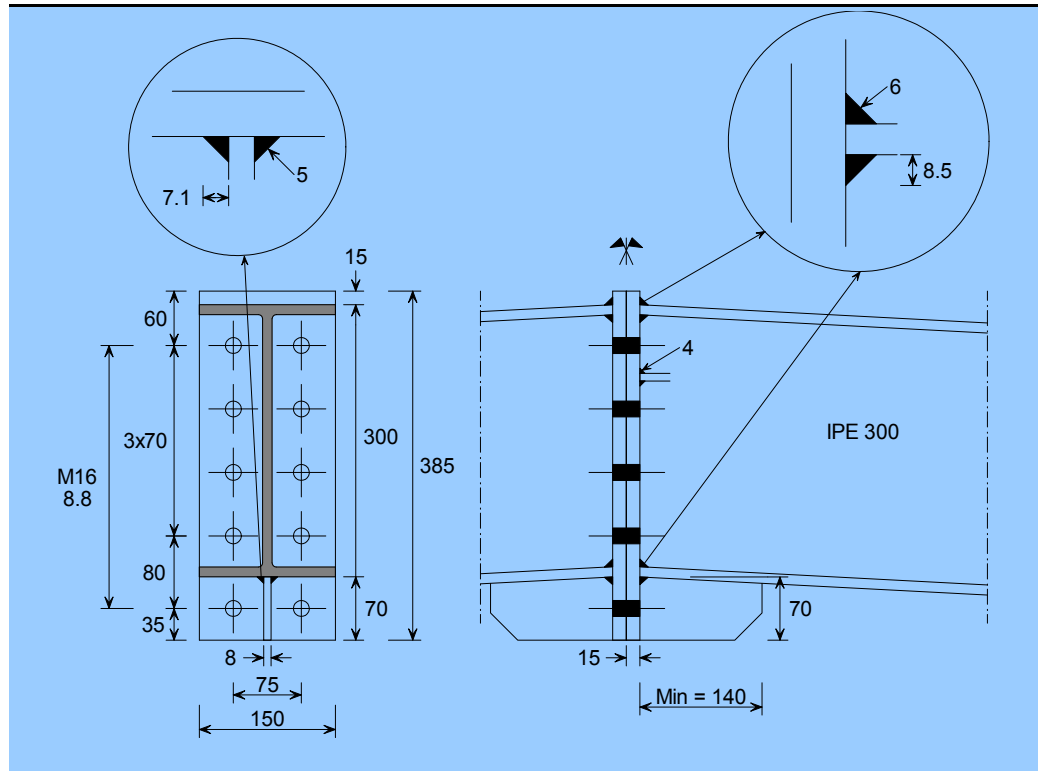
Tabela 4.13 Połączenie wierzchołkowe — IPE 300



Śruby M16 8.8
 Średnica otworu 18 mm
 Blacha doczołowa $t_p = 15$ mm

Belka IPE 300	S235	S275	S355
Moment dodatni			
Obliczeniowa nośność przy zginaniu $M_{i,Rd}$ (kNm)	117,8	123,5	123,5
Minimalna rozpiętość przęsła dla połączenia sztywnego $L_{b,min}$ (m)		3,34	
Moment ujemny			
Obliczeniowa nośność przy zginaniu $M_{i,Rd}$ (kNm)	75,4	78,4	78,4
Minimalna rozpiętość przęsła dla połączenia sztywnego $L_{b,min}$ (m)		6,37	
Obliczeniowa nośność osiowa			
Przy rozciąganiu $N_{t,i,Rd}$ (kN)	699	732	732
Przy ściskaniu $N_{c,j,Rd}$ (kN)	1264	1480	1710
Obliczeniowa nośność przy ścinaniu $V_{i,Rd}$ (kN)		169	

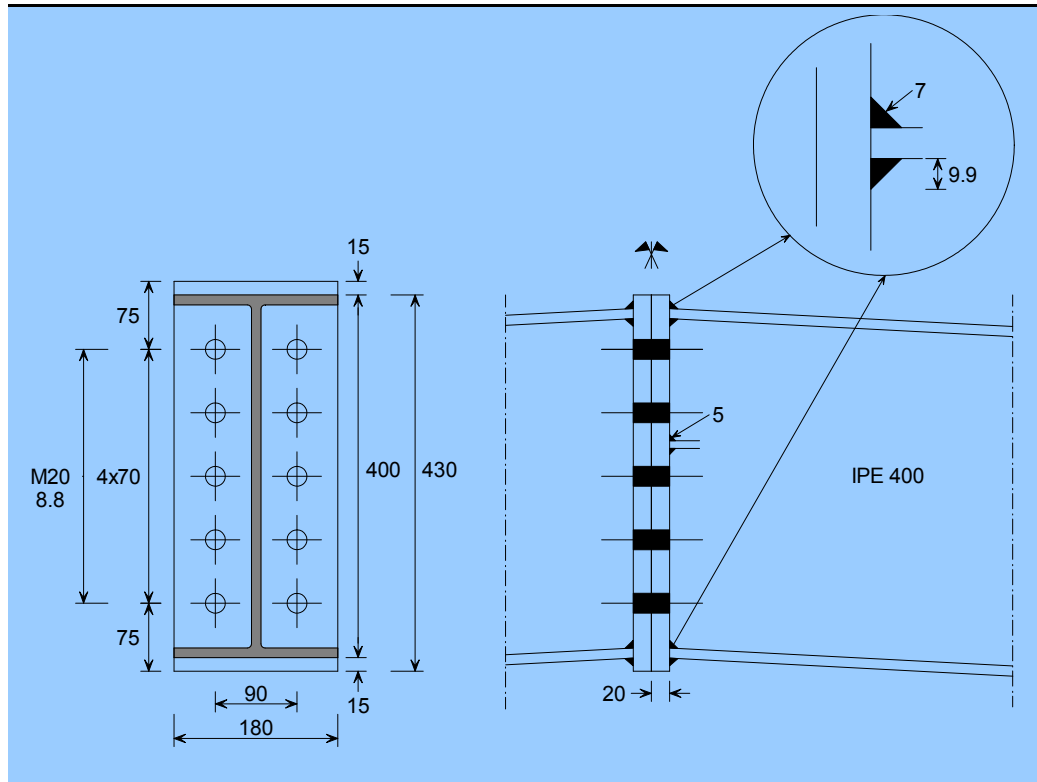
Tabela 4.14 Połączenie wierzchołkowe — IPE 300



Śruby M16	8.8
Średnica otworu	18 mm
Błacha doczołowa	$t_p = 15$ mm
Elementy usztywniające	$t_p = 8$ mm

Belka IPE 300	S235	S275	S355
Moment dodatni			
Obliczeniowa nośność przy zginaniu $M_{i,Rd}$ (kNm)	123,4	132,8	132,8
Minimalna rozpiętość przęsła dla połączenia sztywnego $L_{b,min}$ (m)		2,90	
Moment ujemny			
Obliczeniowa nośność przy zginaniu $M_{i,Rd}$ (kNm)	75,4	78,4	78,4
Minimalna rozpiętość przęsła dla połączenia sztywnego $L_{b,min}$ (m)		6,37	
Obliczeniowa nośność osiowa			
Przy rozciąganiu $N_{t,i,Rd}$ (kN)	723	761	761
Przy ściskaniu $N_{c,i,Rd}$ (kN)	1264	1480	1710
Obliczeniowa nośność przy ścinaniu $V_{i,Rd}$ (kN)		169	

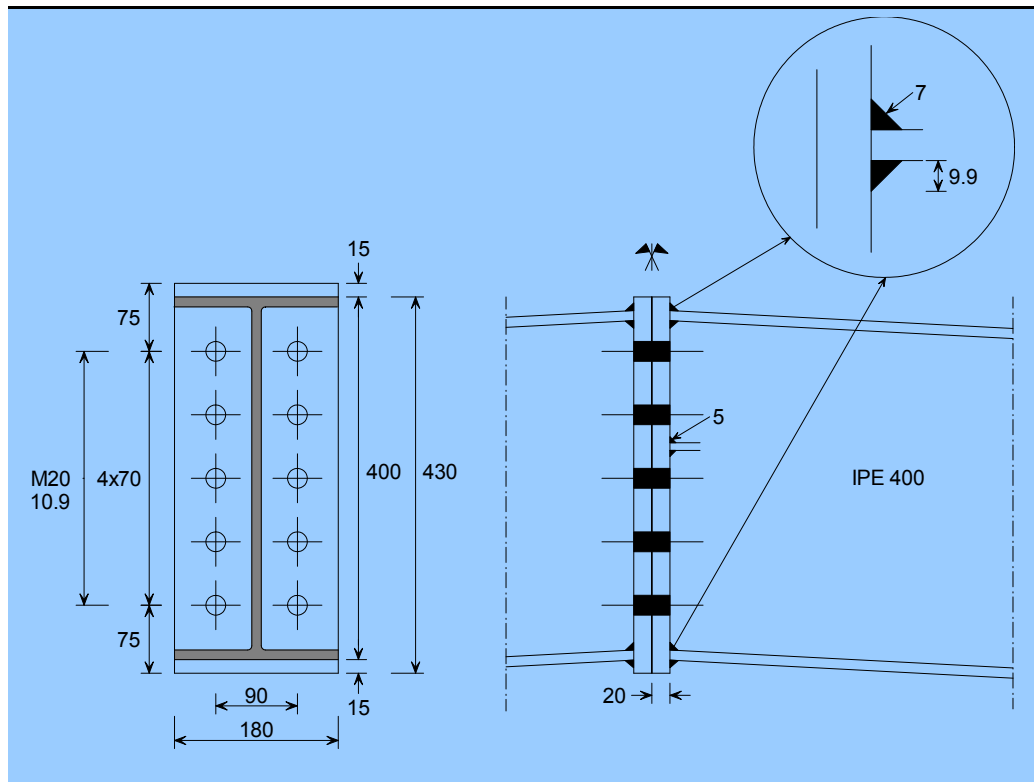
Tabela 4.15 Połączenie wierzchołkowe — IPE 400



Śruby M20 8.8
 Średnica otworu 22 mm
 Blacha doczołowa $t_p = 20$ mm

Belka IPE 400	S235	S275	S355
Moment dodatni			
Obliczeniowa nośność przy zginaniu $M_{i,Rd}$ (kNm)	189,4	199,7	199,7
Minimalna rozpiętość przęsła dla połączenia sztywnego $L_{b,min}$ (m)		6,36	
Moment ujemny			
Obliczeniowa nośność przy zginaniu $M_{i,Rd}$ (kNm)	189,4	199,7	199,7
Minimalna rozpiętość przęsła dla połączenia sztywnego $L_{b,min}$ (m)		6,36	
Obliczeniowa nośność osiowa			
Przy rozciąganiu $N_{t,i,Rd}$ (kN)	1038	1142	1142
Przy ściskaniu $N_{c,j,Rd}$ (kN)	1986	2279	2553
Obliczeniowa nośność przy ścinaniu $V_{j,Rd}$ (kN)		263	

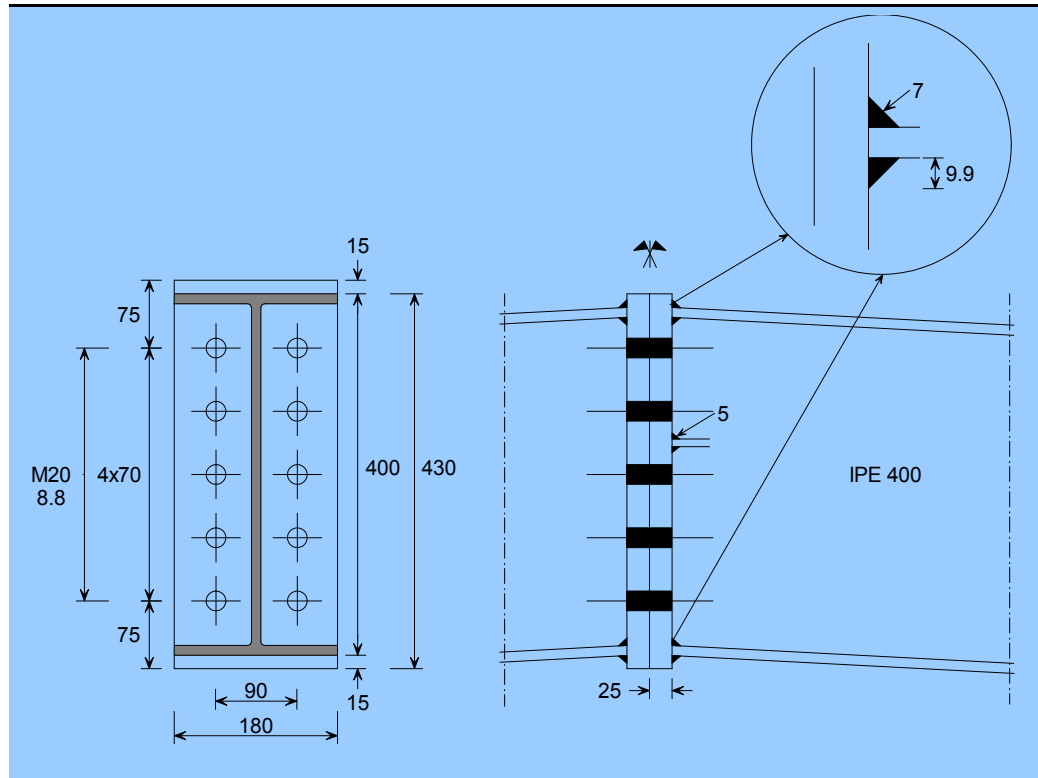
Tabela 4.16 Połączenie wierzchołkowe — IPE 400



Śruby M20	10.9
Średnica otworu	22 mm
Blacha doczołowa	$t_p = 20$ mm

Belka IPE 400	S235	S275	S355
Moment dodatni			
Obliczeniowa nośność przy zginaniu $M_{i,Rd}$ (kNm)	210,2	231,0	231,3
Minimalna rozpiętość przęsła dla połączenia sztywnego $L_{b,min}$ (m)		6,36	
Moment ujemny			
Obliczeniowa nośność przy zginaniu $M_{i,Rd}$ (kNm)	210,2	231,0	231,3
Minimalna rozpiętość przęsła dla połączenia sztywnego $L_{b,min}$ (m)		6,36	
Obliczeniowa nośność osiowa			
Przy rozciąganiu $N_{t,i,Rd}$ (kN)	1038	1200	1338
Przy ściskaniu $N_{c,j,Rd}$ (kN)	1986	2279	2553
Obliczeniowa nośność przy ścinaniu $V_{j,Rd}$ (kN)		274	

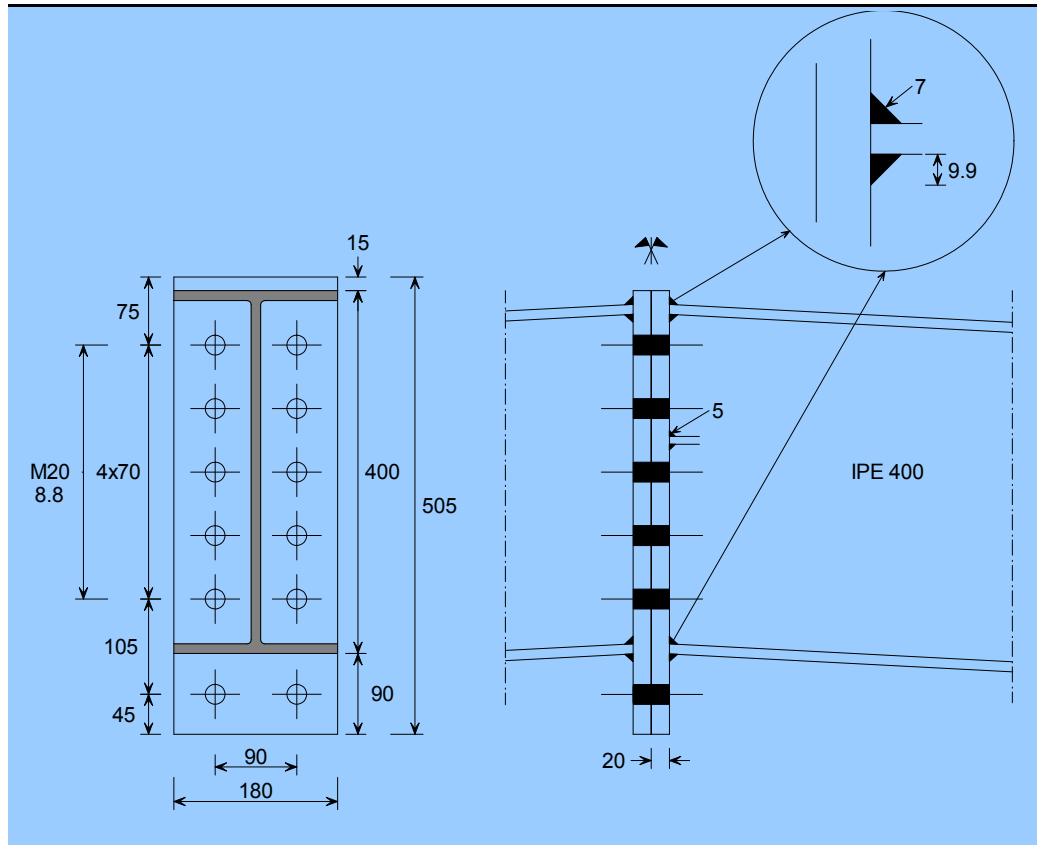
Tabela 4.17 Połączenie wierzchołkowe — IPE 400



Śruby M20	8.8
Średnica otworu	22 mm
Blacha doczołowa	$t_p = 25$ mm

Belka IPE 400	S235	S275	S355
Moment dodatni			
Obliczeniowa nośność przy zginaniu $M_{i,Rd}$ (kNm)	196,9	199,7	199,7
Minimalna rozpiętość przęsła dla połączenia sztywnego $L_{b,min}$ (m)		5,61	
Moment ujemny			
Obliczeniowa nośność przy zginaniu $M_{i,Rd}$ (kNm)	196,9	199,7	199,7
Minimalna rozpiętość przęsła dla połączenia sztywnego $L_{b,min}$ (m)		5,61	
Obliczeniowa nośność osiowa			
Przy rozciąganiu $N_{t,i,Rd}$ (kN)	1038	1200	1344
Przy ściskaniu $N_{c,i,Rd}$ (kN)	1986	2279	2553
Obliczeniowa nośność przy ścinaniu $V_{j,Rd}$ (kN)		263	

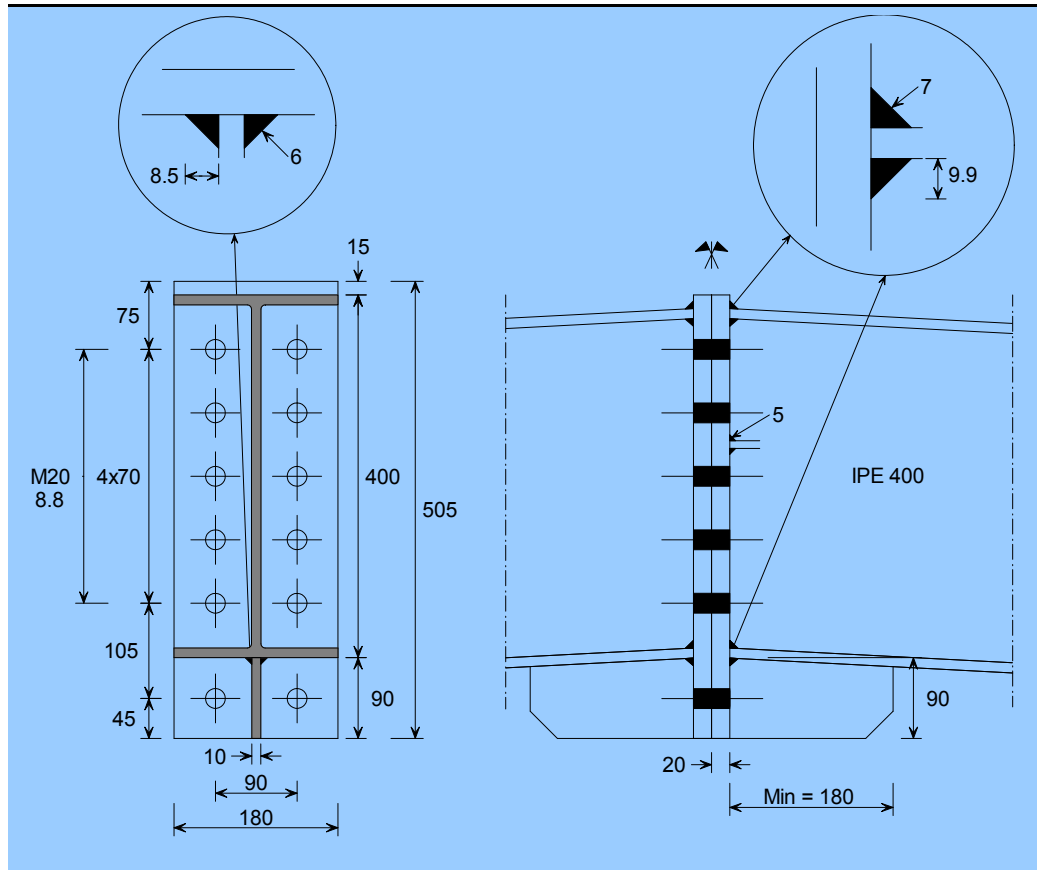
Tabela 4.18 Połączenie wierzchołkowe — IPE 400



Śruby M20 8.8
 Średnica otworu 22 mm
 Blacha doczołowa $t_p = 20$ mm

Belka IPE 400	S235	S275	S355
Moment dodatni			
Obliczeniowa nośność przy zginaniu $M_{i,Rd}$ (kNm)	257,7	284,3	293,9
Minimalna rozpiętość przęsła dla połączenia sztywnego $L_{b,min}$ (m)		3,72	
Moment ujemny			
Obliczeniowa nośność przy zginaniu $M_{i,Rd}$ (kNm)	189,4	199,7	199,7
Minimalna rozpiętość przęsła dla połączenia sztywnego $L_{b,min}$ (m)		6,36	
Obliczeniowa nośność osiowa			
Przy rozciąganiu $N_{t,i,Rd}$ (kN)	1244	1357	1357
Przy ściskaniu $N_{c,i,Rd}$ (kN)	1986	2279	2553
Obliczeniowa nośność przy ścinaniu $V_{j,Rd}$ (kN)		316	

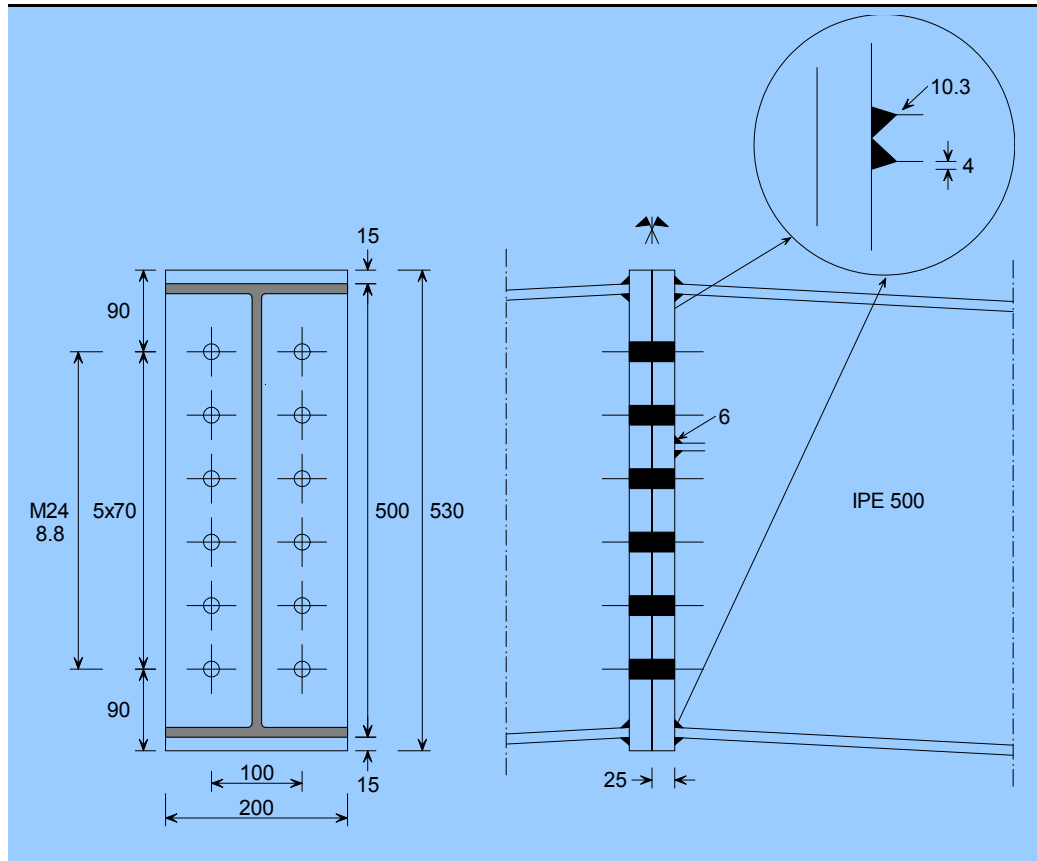
Tabela 4.19 Połączenie wierzchołkowe — IPE 400



Śruby M20	8.8
Średnica otworu	22 mm
Błacha doczołowa	$t_p = 20$ mm
Elementy usztywniające	$t_p = 10$ mm

Belka IPE 400	S235	S275	S355
Moment dodatni			
Obliczeniowa nośność przy zginaniu $M_{i,Rd}$ (kNm)	269,4	301,2	318,4
Minimalna rozpiętość przęsła dla połączenia sztywnego $L_{b,min}$ (m)		3,14	
Moment ujemny			
Obliczeniowa nośność przy zginaniu $M_{i,Rd}$ (kNm)	189,4	199,7	199,7
Minimalna rozpiętość przęsła dla połączenia sztywnego $L_{b,min}$ (m)		6,36	
Obliczeniowa nośność osiowa			
Przy rozciąganiu $N_{t,i,Rd}$ (kN)	1292	1413	1413
Przy ściskaniu $N_{c,i,Rd}$ (kN)	1986	2279	2553
Obliczeniowa nośność przy ścinaniu $V_{i,Rd}$ (kN)		316	

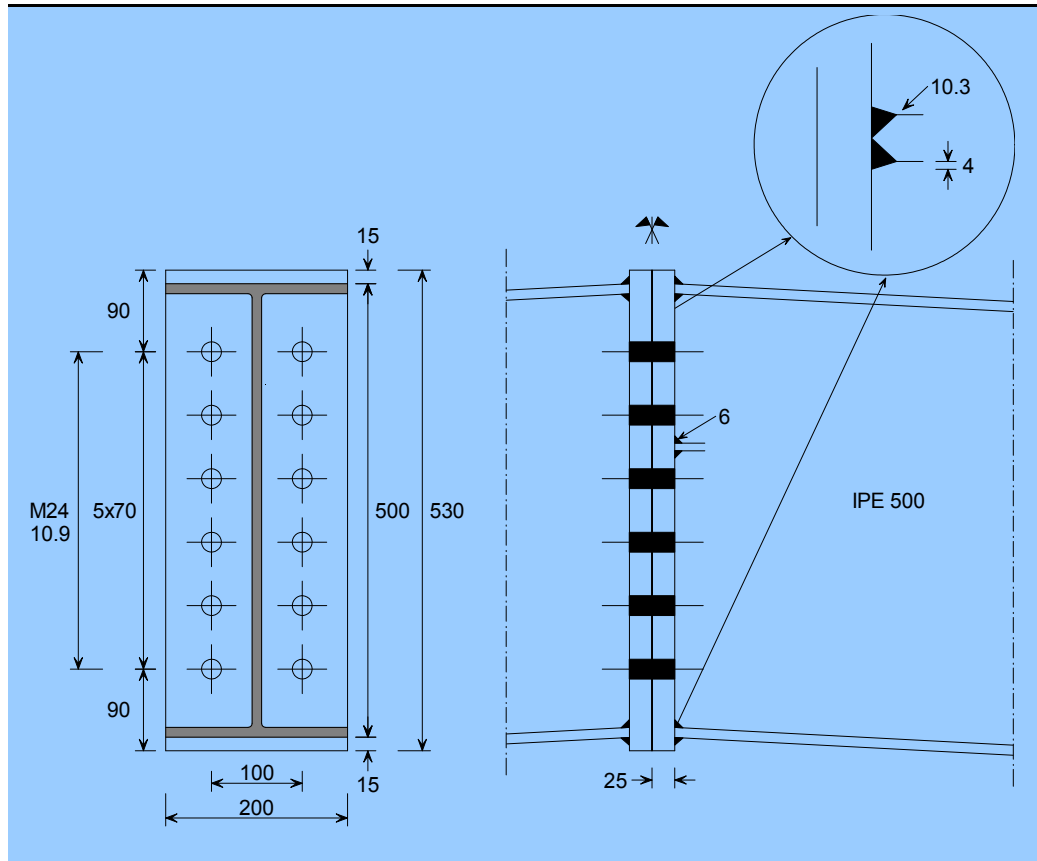
Tabela 4.20 Połączenie wierzchołkowe — IPE 500



Śruby M24 8.8
 Średnica otworu 26 mm
 Blacha doczołowa $t_p = 25$ mm

Belka IPE 500	S235	S275	S355
Moment dodatni			
Obliczeniowa nośność przy zginaniu $M_{i,Rd}$ (kNm)	358,1	407,3	426,3
Minimalna rozpiętość przęsła dla połączenia sztywnego $L_{b,min}$ (m)		5,62	
Moment ujemny			
Obliczeniowa nośność przy zginaniu $M_{i,Rd}$ (kNm)	358,1	407,3	426,3
Minimalna rozpiętość przęsła dla połączenia sztywnego $L_{b,min}$ (m)		5,62	
Obliczeniowa nośność osiowa			
Przy rozciąganiu $N_{t,i,Rd}$ (kN)	1404	1642	1839
Przy ściskaniu $N_{c,i,Rd}$ (kN)	2726	3190	4044
Obliczeniowa nośność przy ścinaniu $V_{j,Rd}$ (kN)		455	

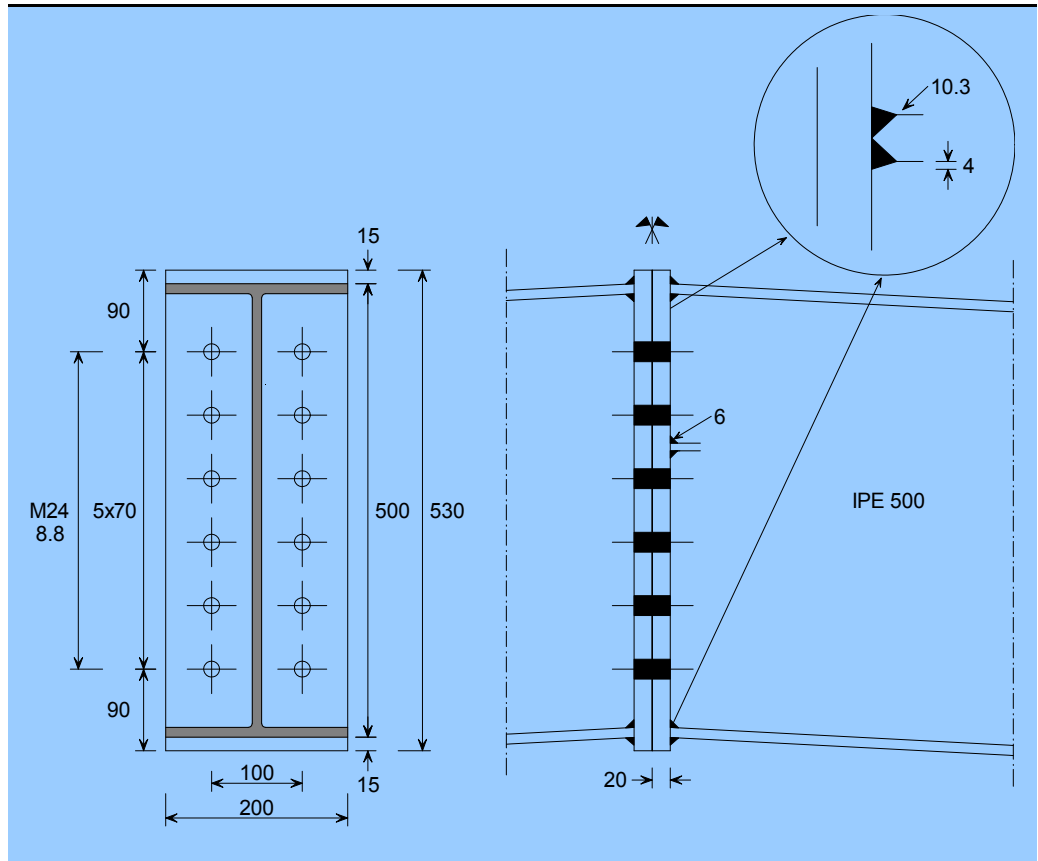
Tabela 4.21 Połączenie wierzchołkowe — IPE 500



Śruby M24 10.9
 Średnica otworu 26 mm
 Blacha doczołowa $t_p = 25$ mm

Belka IPE 500	S235	S275	S355
Moment dodatni			
Obliczeniowa nośność przy zginaniu $M_{i,Rd}$ (kNm)	363,1	421,5	479,4
Minimalna rozpiętość przęsła dla połączenia sztywnego $L_{b,min}$ (m)		5,62	
Moment ujemny			
Obliczeniowa nośność przy zginaniu $M_{i,Rd}$ (kNm)	363,1	421,5	479,4
Minimalna rozpiętość przęsła dla połączenia sztywnego $L_{b,min}$ (m)		5,62	
Obliczeniowa nośność osiowa			
Przy rozciąganiu $N_{t,i,Rd}$ (kN)	1404	1642	1839
Przy ściskaniu $N_{c,i,Rd}$ (kN)	2726	3190	4044
Obliczeniowa nośność przy ścinaniu $V_{j,Rd}$ (kN)		474	

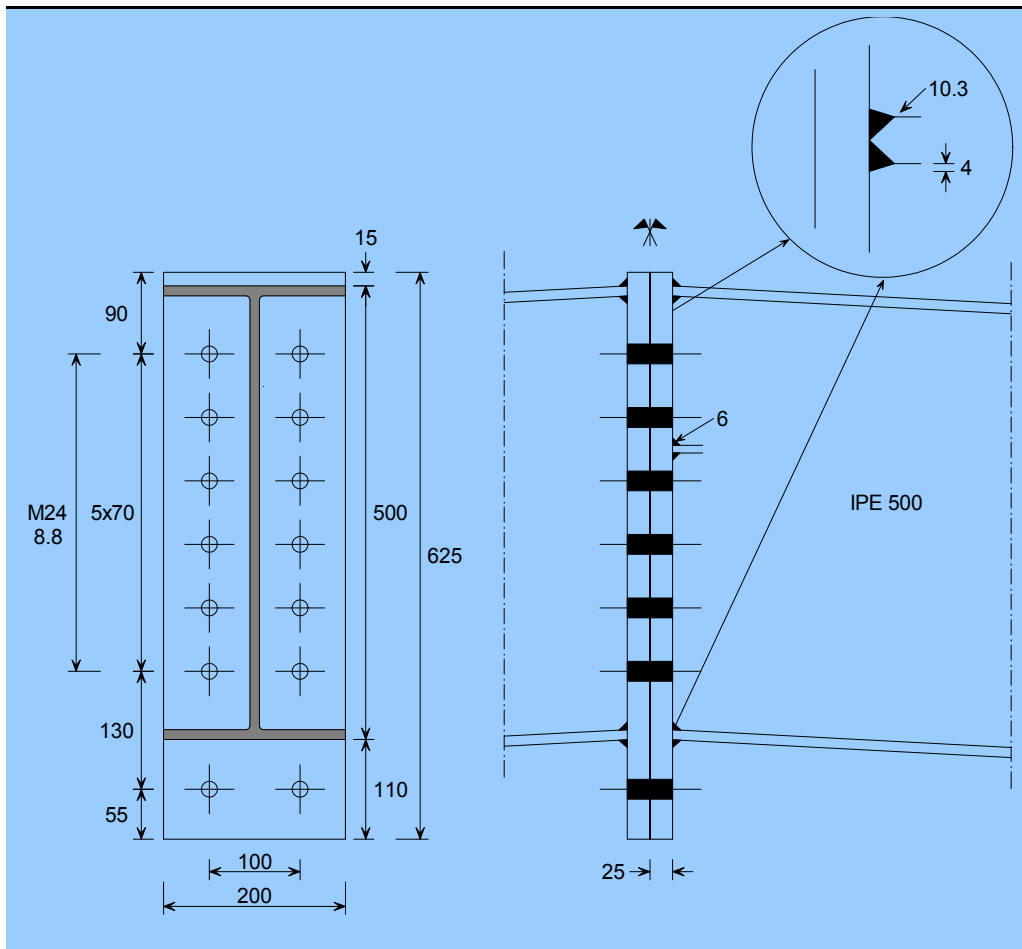
Tabela 4.22 Połączenie wierzchołkowe — IPE 500



Śruby M24 8.8
 Średnica otworu 26 mm
 Blacha doczołowa $t_p = 20$ mm

Belka IPE 500	S235	S275	S355
Moment dodatni			
Obliczeniowa nośność przy zginaniu $M_{i,Rd}$ (kNm)	339,9	360,0	360,0
Minimalna rozpiętość przęsła dla połączenia sztywnego $L_{b,min}$ (m)		7,18	
Moment ujemny			
Obliczeniowa nośność przy zginaniu $M_{i,Rd}$ (kNm)	339,9	360,0	360,0
Minimalna rozpiętość przęsła dla połączenia sztywnego $L_{b,min}$ (m)		7,18	
Obliczeniowa nośność osiowa			
Przy rozciąganiu $N_{t,i,Rd}$ (kN)	1404	1445	1691
Przy ściskaniu $N_{c,i,Rd}$ (kN)	2726	3190	4044
Obliczeniowa nośność przy ścinaniu $V_{j,Rd}$ (kN)		455	

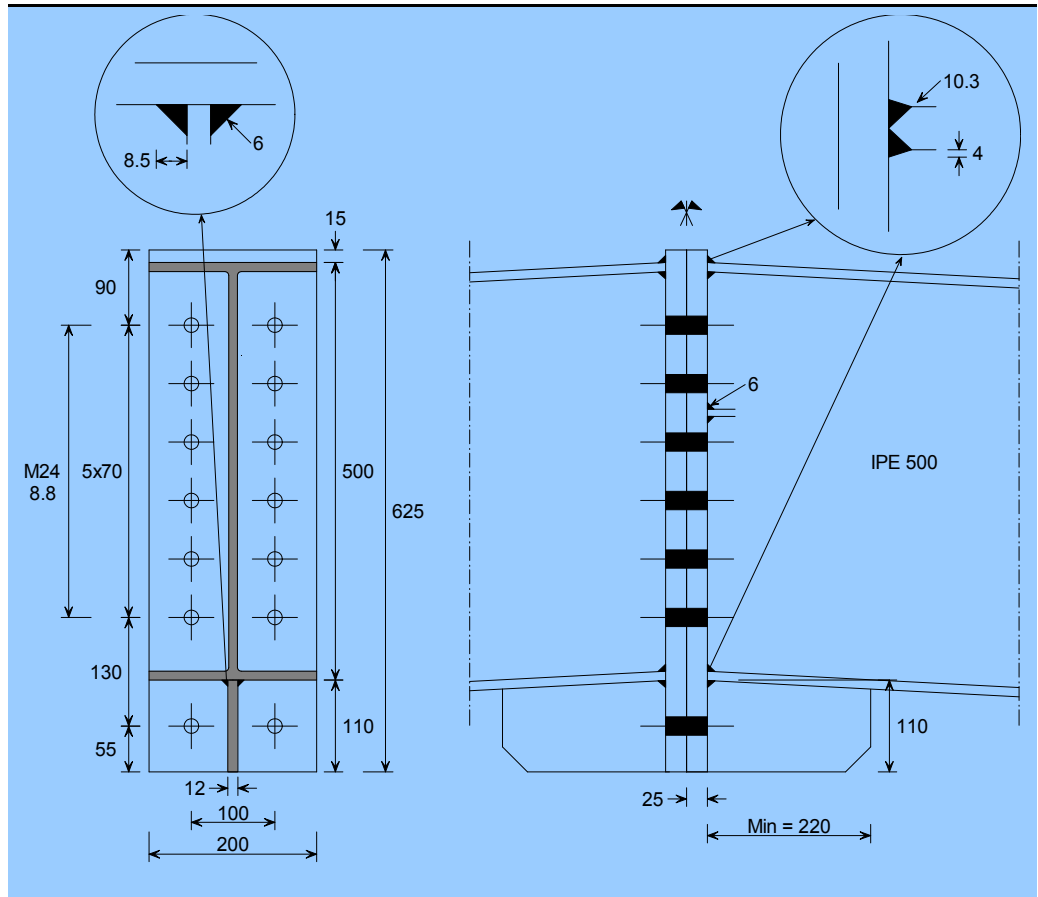
Tabela 4.23 Połączenie wierzchołkowe — IPE 500



Śruby M24	8.8
Średnica otworu	26 mm
Błacha doczołowa	$t_p = 25$ mm

Belka IPE 500	S235	S275	S355
Moment dodatni			
Obliczeniowa nośność przy zginaniu $M_{i,Rd}$ (kNm)	448,6	504,8	577,1
Minimalna rozpiętość przęsła dla połączenia sztywnego $L_{b,min}$ (m)		3,87	
Moment ujemny			
Obliczeniowa nośność przy zginaniu $M_{i,Rd}$ (kNm)	358,1	407,3	426,3
Minimalna rozpiętość przęsła dla połączenia sztywnego $L_{b,min}$ (m)		5,62	
Obliczeniowa nośność osiowa			
Przy rozciąganiu $N_{tj,Rd}$ (kN)	1684	1934	2131
Przy ściskaniu $N_{cj,Rd}$ (kN)	2726	3190	4044
Obliczeniowa nośność przy ścinaniu $V_{j,Rd}$ (kN)		531	

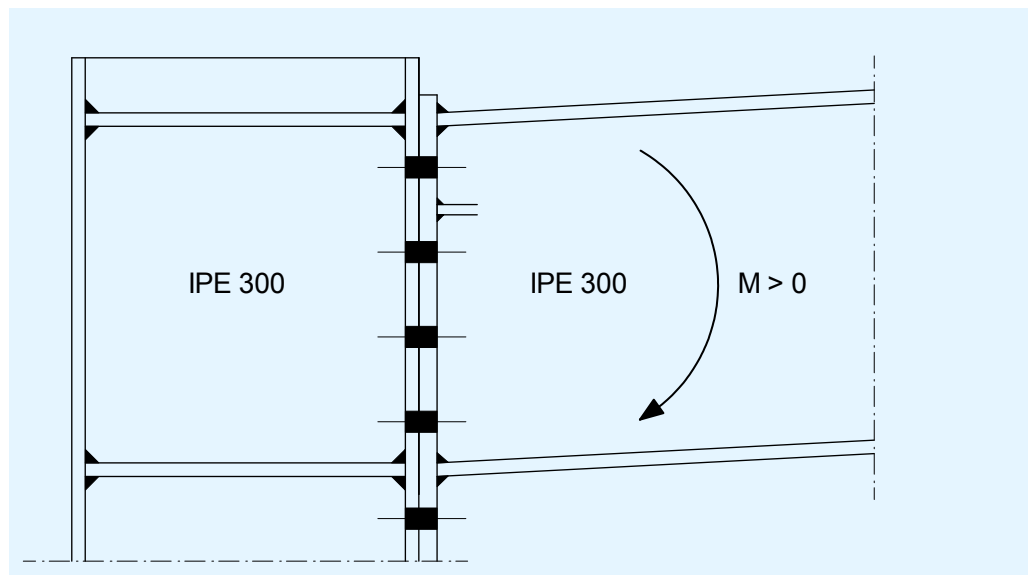
Tabela 4.24 Połączenie wierzchołkowe — IPE 500



Śruby M24	8.8
Średnica otworu	26 mm
Blacha doczołowa	$t_p = 25$ mm
Elementy usztywniające	$t_p = 12$ mm

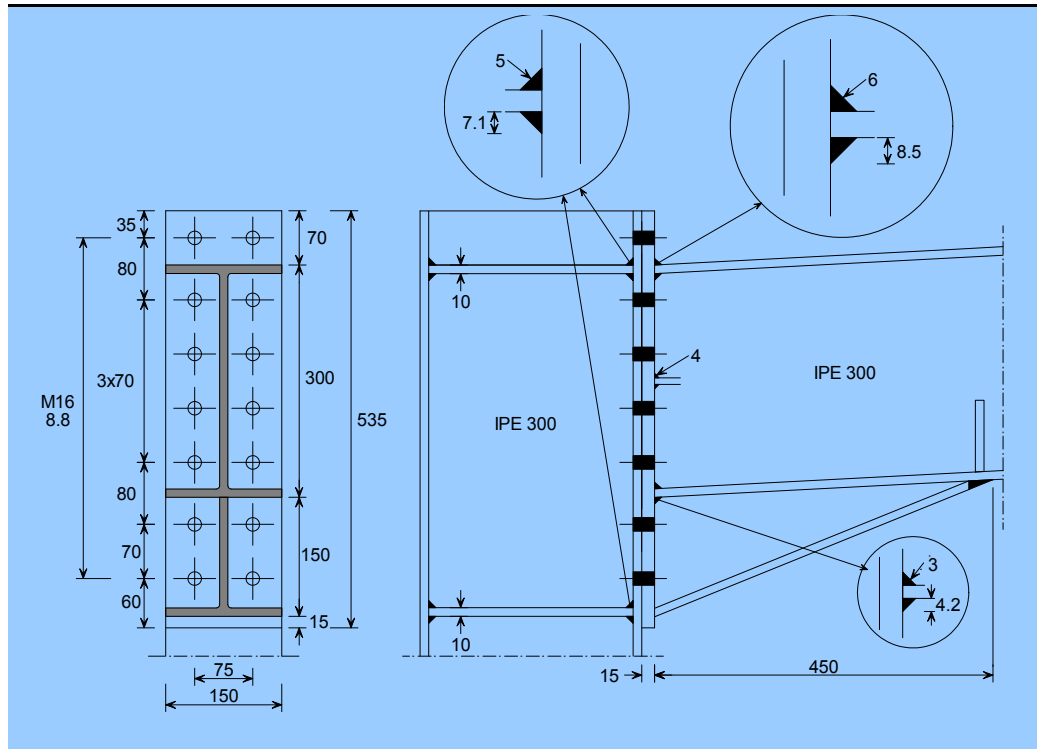
Belka IPE 500	S235	S275	S355
Moment dodatni			
Obliczeniowa nośność przy zginaniu $M_{i,Rd}$ (kNm)	472,4	533,6	620,4
Minimalna rozpiętość przęsła dla połączenia sztywnego $L_{b,min}$ (m)		3,03	
Moment ujemny			
Obliczeniowa nośność przy zginaniu $M_{i,Rd}$ (kNm)	358,1	407,3	426,3
Minimalna rozpiętość przęsła dla połączenia sztywnego $L_{b,min}$ (m)		5,62	
Obliczeniowa nośność osiowa			
Przy rozciąganiu $N_{t,i,Rd}$ (kN)	1775	2041	2238
Przy ściskaniu $N_{c,j,Rd}$ (kN)	2726	3190	4044
Obliczeniowa nośność przy ścinaniu $V_{i,Rd}$ (kN)		531	

4.5 Połączenia narożne



Rysunek 4.3 Konwencja znaku momentu zginającego w połączeniach narożnych

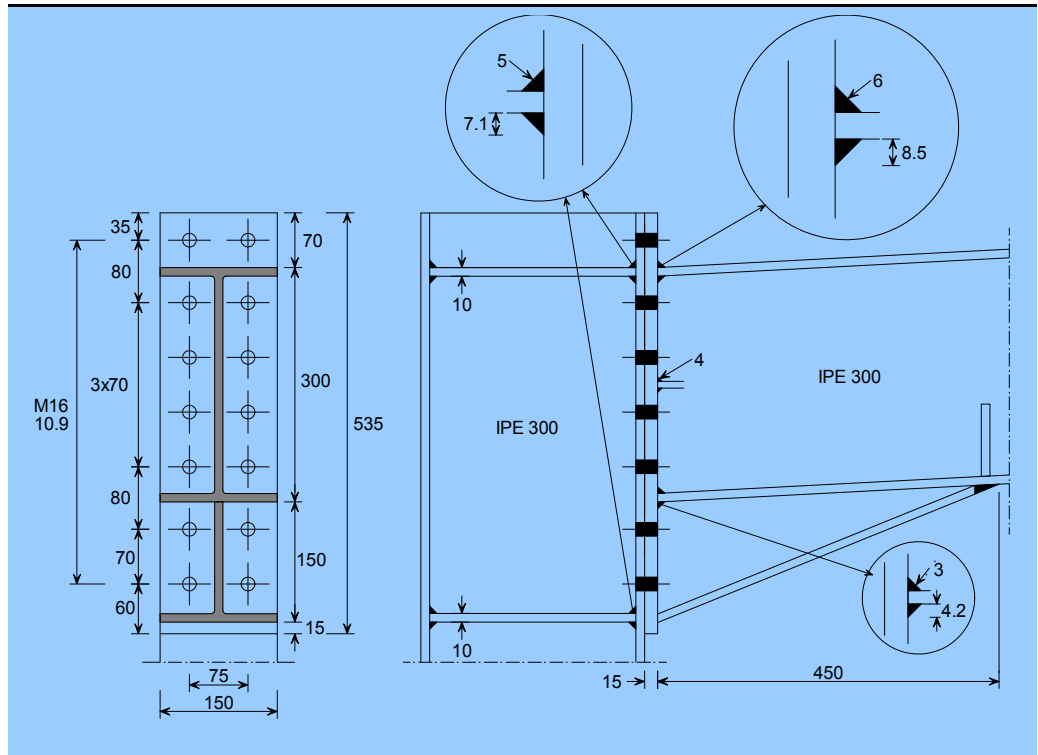
Tabela 4.25 Połączenie narożne — IPE 300



Śruby M16	8.8
Średnica otworu	18 mm
Elementy usztywniające słup	$t_p = 10$ mm
Blacha doczołowa	$t_p = 15$ mm

Śłup IPE 300	Belka IPE 300	S235	S275	S355
Moment dodatni				
Obliczeniowa nośność przy zginaniu $M_{j,Rd}$ (kNm)		134,7	154,3	187,4
Minimalna rozpiętość przęsła dla połączenia sztywnego $L_{b,min}$ (m)			9,03	
Moment ujemny				
Obliczeniowa nośność przy zginaniu $M_{j,Rd}$ (kNm)		110,5	124,2	146,6
Minimalna rozpiętość przęsła dla połączenia sztywnego $L_{b,min}$ (m)			12,10	
Obliczeniowa nośność osiowa				
Przy rozciąganiu $N_{t,j,Rd}$ (kN)		348	408	526
Przy ściskaniu $N_{c,j,Rd}$ (kN)		348	408	526
Obliczeniowa nośność przy ścinaniu $V_{j,Rd}$ (kN)			236	

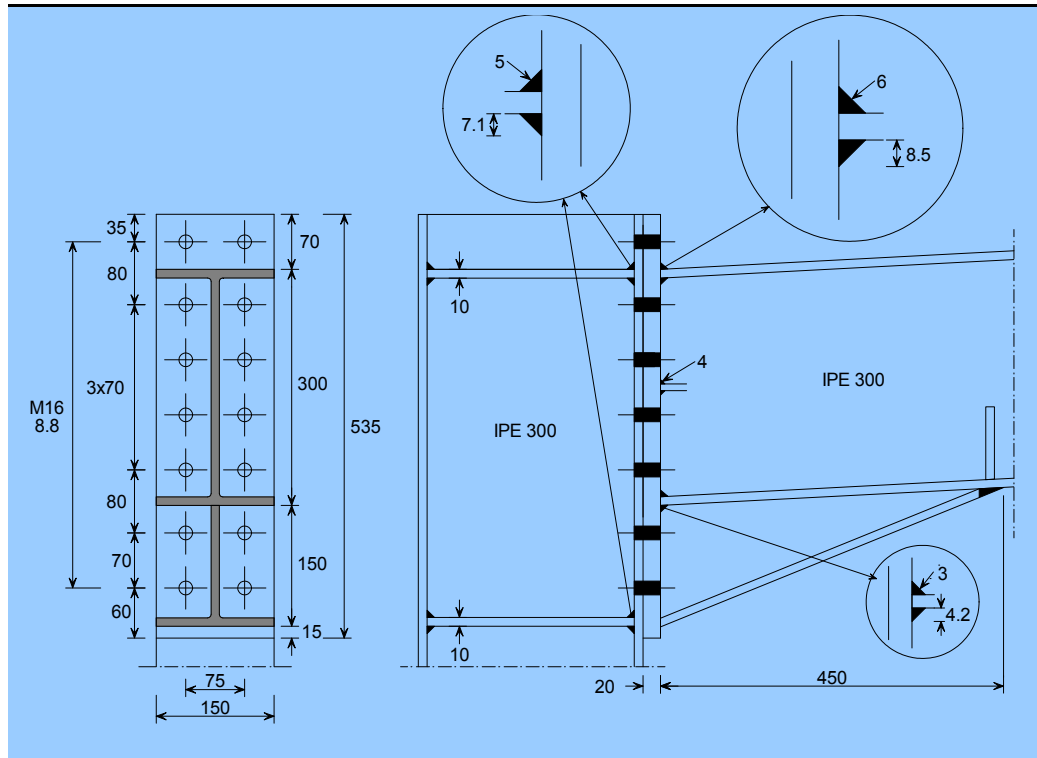
Tabela 4.26 Połączenie narożne — IPE 300



Śruby M16	10.9
Średnica otworu	18 mm
Elementy usztywniające słup	$t_p = 10$ mm
Blacha doczołowa	$t_p = 15$ mm

Słup IPE 300	Belka IPE 300	S235	S275	S355
Moment dodatni				
Obliczeniowa nośność przy zginaniu $M_{i,Rd}$ (kNm)		136,4	158,2	197,2
Minimalna rozpiętość przęsła dla połączenia sztywnego $L_{b,min}$ (m)			9,03	
Moment ujemny				
Obliczeniowa nośność przy zginaniu $M_{i,Rd}$ (kNm)		112,7	130,4	158,8
Minimalna rozpiętość przęsła dla połączenia sztywnego $L_{b,min}$ (m)			12,10	
Obliczeniowa nośność osiowa				
Przy rozciąganiu $N_{t,i,Rd}$ (kN)		348	408	526
Przy ściskaniu $N_{c,j,Rd}$ (kN)		348	408	526
Obliczeniowa nośność przy ścinaniu $V_{i,Rd}$ (kN)			246	

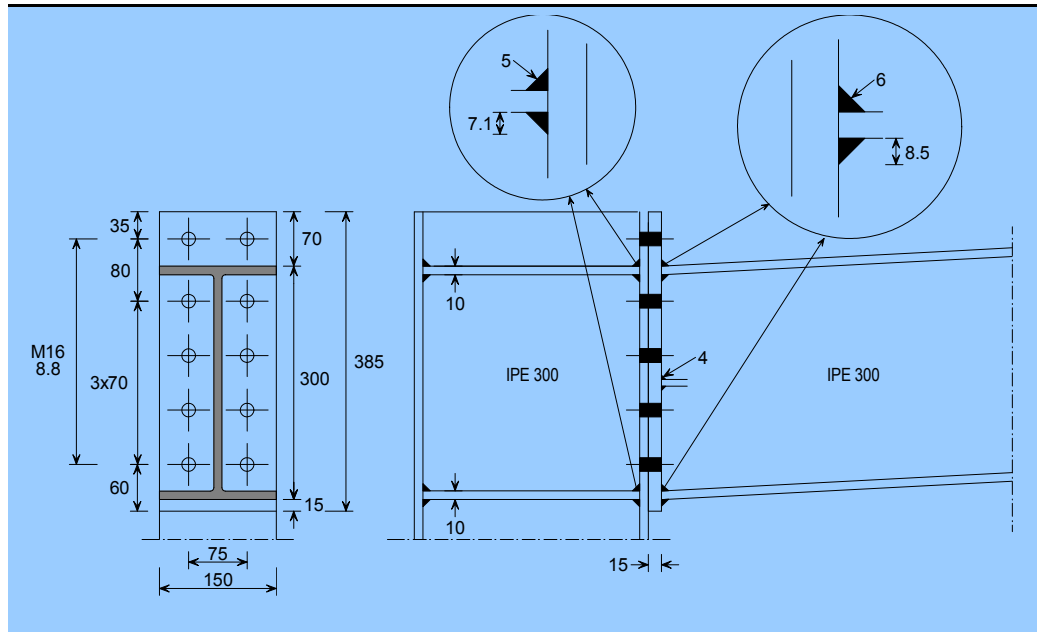
Tabela 4.27 Połączenie narożne — IPE 300



Śruby M16	8.8
Średnica otworu	18 mm
Elementy usztywniające słup	$t_p = 10$ mm
Blacha doczołowa	$t_p = 20$ mm

Słup IPE 300	Belka IPE 300	S235	S275	S355
Moment dodatni				
Obliczeniowa nośność przy zginaniu $M_{i,Rd}$ (kNm)		134,7	154,3	189,1
Minimalna rozpiętość przęsła dla połączenia sztywnego $L_{b,min}$ (m)			8,91	
Moment ujemny				
Obliczeniowa nośność przy zginaniu $M_{i,Rd}$ (kNm)		110,5	124,2	146,6
Minimalna rozpiętość przęsła dla połączenia sztywnego $L_{b,min}$ (m)			12,02	
Obliczeniowa nośność osiowa				
Przy rozciąganiu $N_{t,j,Rd}$ (kN)		348	408	526
Przy ściskaniu $N_{c,j,Rd}$ (kN)		348	408	526
Obliczeniowa nośność przy ścinaniu $V_{i,Rd}$ (kN)			236	

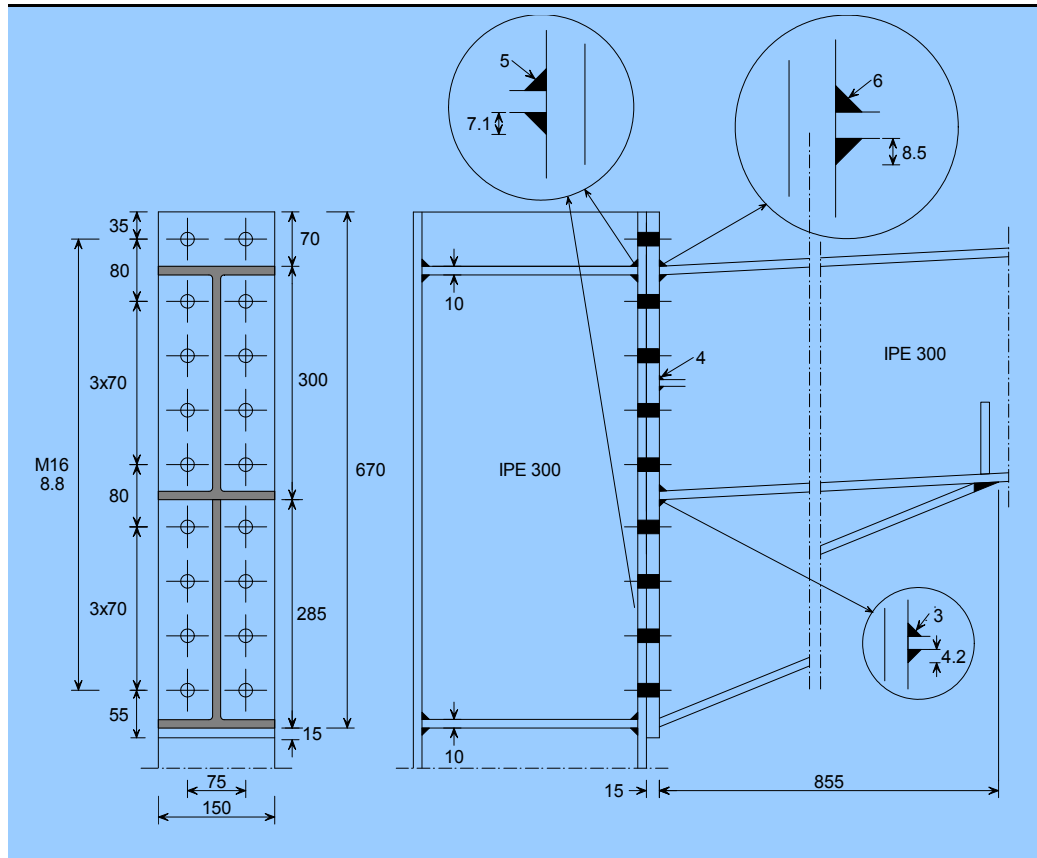
Tabela 4.28 Połączenie narożne — IPE 300



Śruby M16	8.8
Średnica otworu	18 mm
Elementy usztywniające słup	$t_p = 10$ mm
Blacha doczołowa	$t_p = 15$ mm

Śłup IPE 300	Belka IPE 300	S235	S275	S355
Moment dodatni				
Obliczeniowa nośność przy zginaniu $M_{i,Rd}$ (kNm)		87,4	98,9	113,6
Minimalna rozpiętość przęsła dla połączenia sztywnego $L_{b,min}$ (m)			16,65	
Moment ujemny				
Obliczeniowa nośność przy zginaniu $M_{i,Rd}$ (kNm)		60,4	63,2	68,9
Minimalna rozpiętość przęsła dla połączenia sztywnego $L_{b,min}$ (m)			27,89	
Obliczeniowa nośność osiowa				
Przy rozciąganiu $N_{t,i,Rd}$ (kN)		348	408	526
Przy ściskaniu $N_{c,i,Rd}$ (kN)		348	408	526
Obliczeniowa nośność przy ścinaniu $V_{j,Rd}$ (kN)			176	

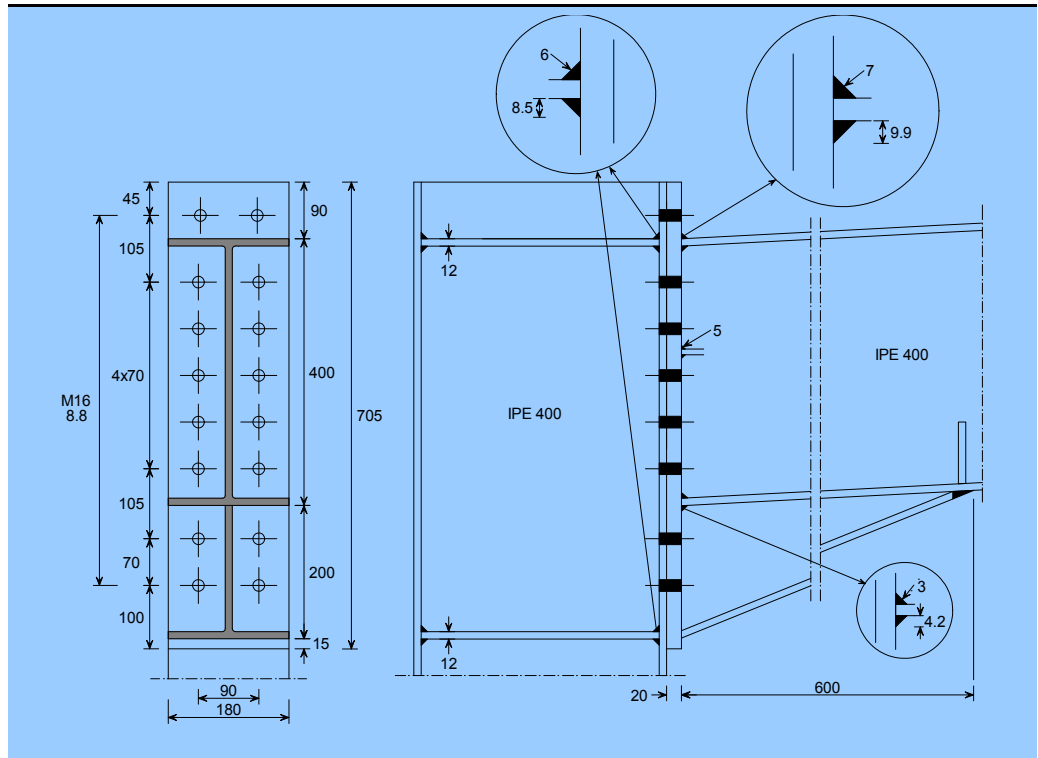
Tabela 4.29 Połączenie narożne — IPE 300



Śruby M16	8.8
Średnica otworu	18 mm
Elementy usztywniające słup	$t_p = 10$ mm
Blacha doczołowa	$t_p = 15$ mm

Słup IPE 300	Belka IPE 300	S235	S275	S355
Moment dodatni				
Obliczeniowa nośność przy zginaniu $M_{i,Rd}$ (kNm)		177,2	204,1	251,9
Minimalna rozpiętość przęsła dla połączenia sztywnego $L_{b,min}$ (m)			6,31	
Moment ujemny				
Obliczeniowa nośność przy zginaniu $M_{i,Rd}$ (kNm)		156,0	178,9	219,0
Minimalna rozpiętość przęsła dla połączenia sztywnego $L_{b,min}$ (m)			7,61	
Obliczeniowa nośność osiowa				
Przy rozciąganiu $N_{t,j,Rd}$ (kN)		348	408	526
Przy ściskaniu $N_{c,j,Rd}$ (kN)		348	408	526
Obliczeniowa nośność przy ścinaniu $V_{i,Rd}$ (kN)			317	

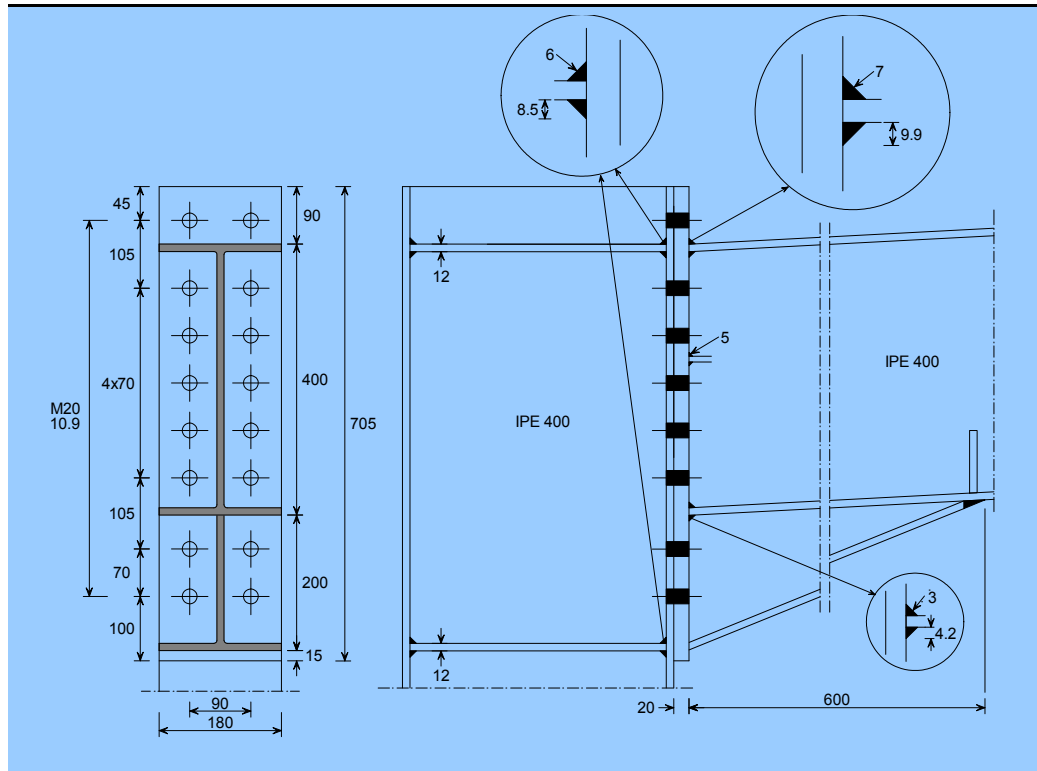
Tabela 4.30 Połączenie narożne — IPE 400



Śruby M20	8.8
Średnica otworu	22 mm
Elementy usztywniające słup	$t_p = 12$ mm
Blacha doczołowa	$t_p = 20$ mm

Słup IPE 400	Belka IPE 400	S235	S275	S355
Moment dodatni				
Obliczeniowa nośność przy zginaniu $M_{i,Rd}$ (kNm)		291,2	338,3	417,5
Minimalna rozpiętość przęsła dla połączenia sztywnego $L_{b,min}$ (m)			11,53	
Moment ujemny				
Obliczeniowa nośność przy zginaniu $M_{i,Rd}$ (kNm)		233,9	263,0	311,8
Minimalna rozpiętość przęsła dla połączenia sztywnego $L_{b,min}$ (m)			16,56	
Obliczeniowa nośność osiowa				
Przy rozciąganiu $N_{t,i,Rd}$ (kN)		579	678	875
Przy ściskaniu $N_{c,i,Rd}$ (kN)		579	678	875
Obliczeniowa nośność przy ścinaniu $V_{j,Rd}$ (kN)			421	

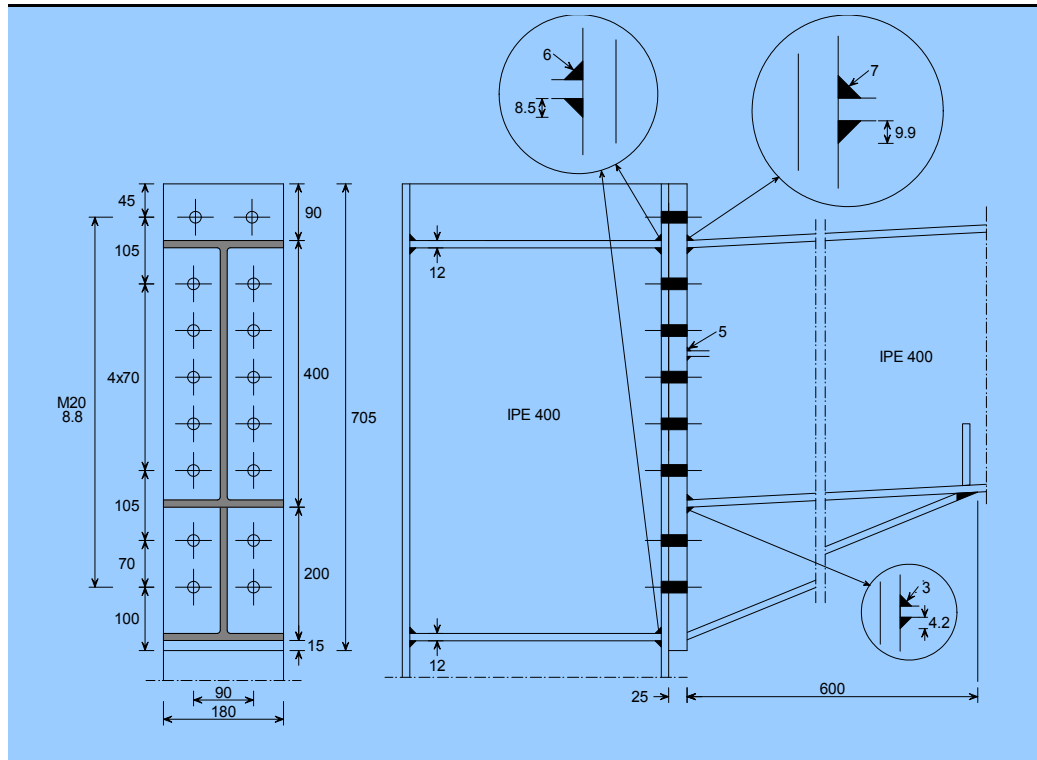
Tabela 4.31 Połączenie narożne — IPE 400



Śruby M20	10.9
Średnica otworu	22 mm
Elementy usztywniające słup	$t_p = 12$ mm
Blacha doczołowa	$t_p = 20$ mm

Śłup IPE 400	Belka IPE 400	S235	S275	S355
Moment dodatni				
Obliczeniowa nośność przy zginaniu $M_{i,Rd}$ (kNm)		293,9	341,6	435,2
Minimalna rozpiętość przęsła dla połączenia sztywnego $L_{b,min}$ (m)			11,53	
Moment ujemny				
Obliczeniowa nośność przy zginaniu $M_{i,Rd}$ (kNm)		234,9	274,3	336,5
Minimalna rozpiętość przęsła dla połączenia sztywnego $L_{b,min}$ (m)			16,56	
Obliczeniowa nośność osiowa				
Przy rozciąganiu $N_{t,i,Rd}$ (kN)		579	678	875
Przy ściskaniu $N_{c,i,Rd}$ (kN)		579	678	875
Obliczeniowa nośność przy ścinaniu $V_{j,Rd}$ (kN)			439	

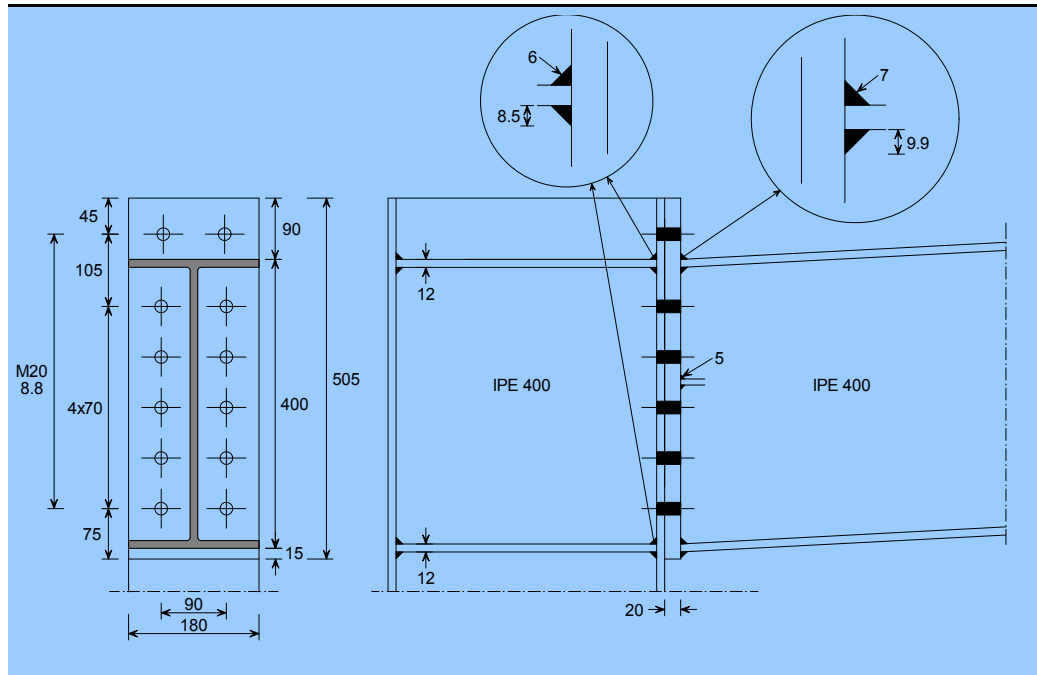
Tabela 4.32 Połączenie narożne — IPE 400



Śruby M20	8.8
Średnica otworu	22 mm
Elementy usztywniające słup	$t_p = 12$ mm
Blacha doczołowa	$t_p = 25$ mm

Śłup IPE 400	Belka IPE 400	S235	S275	S355
Moment dodatni				
Obliczeniowa nośność przy zginaniu $M_{i,Rd}$ (kNm)		291,2	338,3	420,8
Minimalna rozpiętość przęsła dla połączenia sztywnego $L_{b,min}$ (m)			11,41	
Moment ujemny				
Obliczeniowa nośność przy zginaniu $M_{i,Rd}$ (kNm)		233,9	263,0	311,8
Minimalna rozpiętość przęsła dla połączenia sztywnego $L_{b,min}$ (m)			16,49	
Obliczeniowa nośność osiowa				
Przy rozciąganiu $N_{t,i,Rd}$ (kN)		579	678	875
Przy ściskaniu $N_{c,i,Rd}$ (kN)		579	678	875
Obliczeniowa nośność przy ścinaniu $V_{j,Rd}$ (kN)			421	

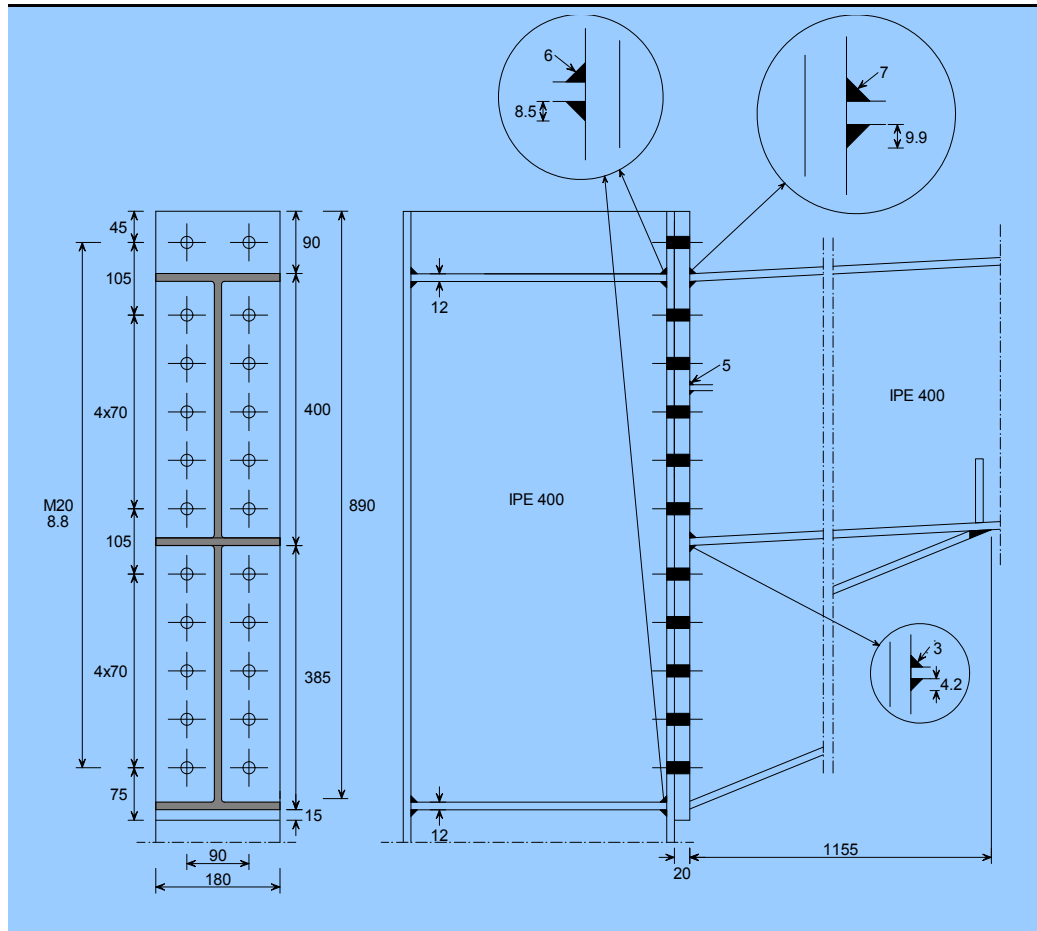
Tabela 4.33 Połączenie narożne — IPE 400



Śruby M20	8.8
Średnica otworu	22 mm
Elementy usztywniające słup	$t_p = 12$ mm
Błacha doczołowa	$t_p = 20$ mm

Śłup IPE 400	Belka IPE 400	S235	S275	S355
Moment dodatni				
Obliczeniowa nośność przy zginaniu $M_{i,Rd}$ (kNm)		186,6	214,8	258,2
Minimalna rozpiętość przęsła dla połączenia sztywnego $L_{b,min}$ (m)			21,58	
Moment ujemny				
Obliczeniowa nośność przy zginaniu $M_{i,Rd}$ (kNm)		142,7	160,0	176,5
Minimalna rozpiętość przęsła dla połączenia sztywnego $L_{b,min}$ (m)			35,16	
Obliczeniowa nośność osiowa				
Przy rozciąganiu $N_{t,i,Rd}$ (kN)		579	678	875
Przy ściskaniu $N_{c,j,Rd}$ (kN)		579	678	875
Obliczeniowa nośność przy ścinaniu $V_{i,Rd}$ (kN)			316	

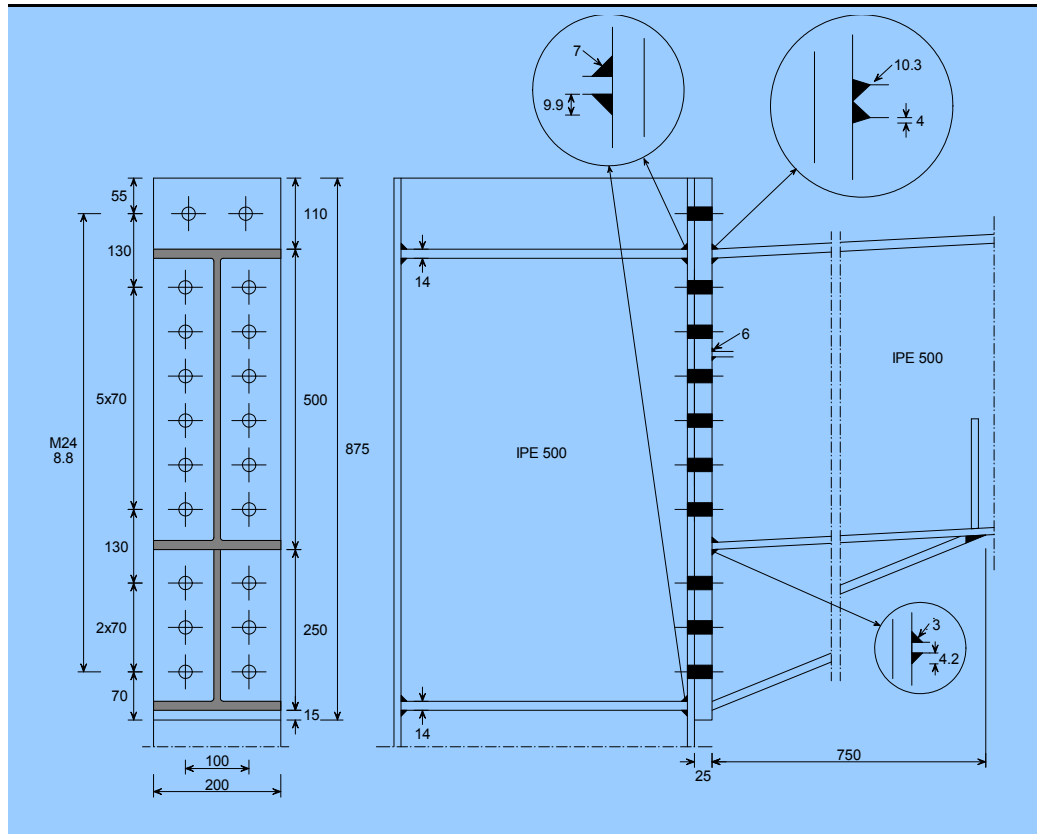
Tabela 4.34 Połączenie narożne — IPE 400



Śruby M20	8.8
Średnica otworu	22 mm
Elementy usztywniające słup	$t_p = 12$ mm
Błacha doczołowa	$t_p = 20$ mm

Słup IPE 400	Belka IPE 400	S235	S275	S355
Moment dodatni				
Obliczeniowa nośność przy zginaniu $M_{i,Rd}$ (kNm)		388,0	451,8	564,0
Minimalna rozpiętość przęsła dla połączenia sztywnego $L_{b,min}$ (m)			7,95	
Moment ujemny				
Obliczeniowa nośność przy zginaniu $M_{i,Rd}$ (kNm)		347,3	400,9	498,3
Minimalna rozpiętość przęsła dla połączenia sztywnego $L_{b,min}$ (m)			9,59	
Obliczeniowa nośność osiowa				
Przy rozciąganiu $N_{t,j,Rd}$ (kN)		579	678	875
Przy ściskaniu $N_{c,j,Rd}$ (kN)		579	678	875
Obliczeniowa nośność przy ścinaniu $V_{j,Rd}$ (kN)			580	

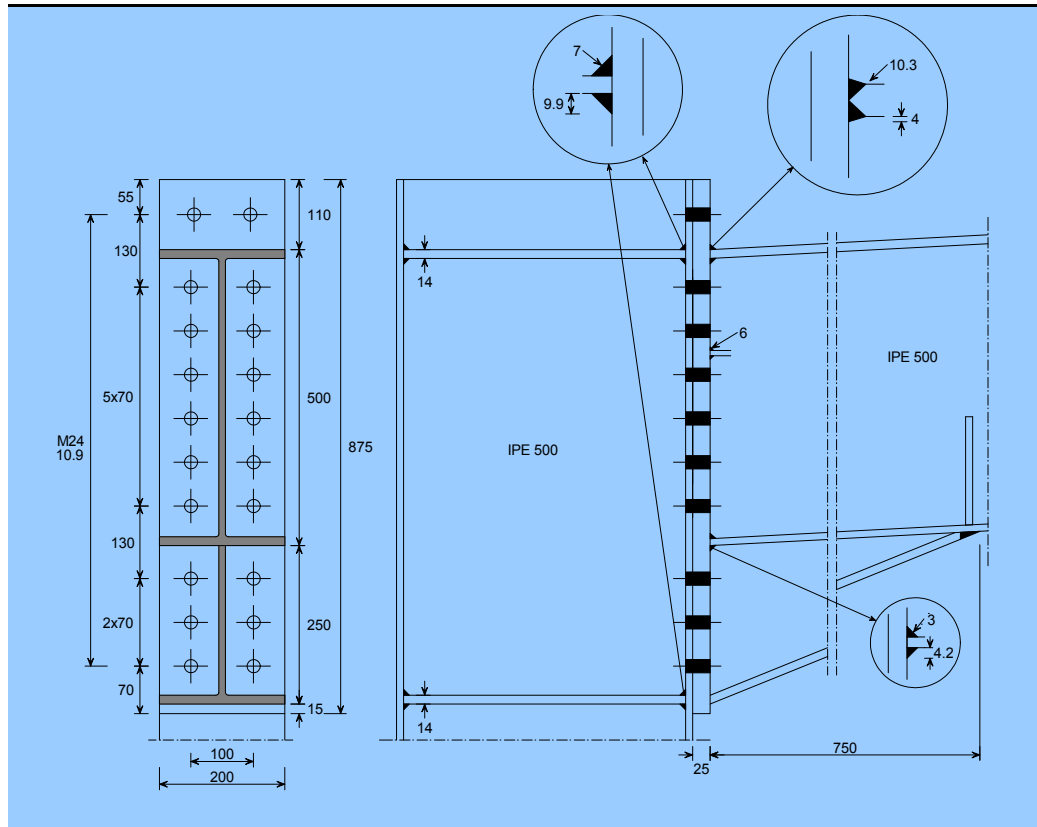
Tabela 4.35 Połączenie narożne — IPE 500



Śruby M24	8.8
Średnica otworu	26 mm
Elementy usztywniające słup	$t_p = 14$ mm
Błacha doczołowa	$t_p = 25$ mm

Słup IPE 500	Belka IPE 500	S235	S275	S355
Moment dodatni				
Obliczeniowa nośność przy zginaniu $M_{i,Rd}$ (kNm)		511,0	593,9	739,7
Minimalna rozpiętość przęsła dla połączenia sztywnego $L_{b,min}$ (m)			13,80	
Moment ujemny				
Obliczeniowa nośność przy zginaniu $M_{i,Rd}$ (kNm)		458,4	529,9	650,5
Minimalna rozpiętość przęsła dla połączenia sztywnego $L_{b,min}$ (m)			16,62	
Obliczeniowa nośność osiowa				
Przy rozciąganiu $N_{t,i,Rd}$ (kN)		812	951	1227
Przy ściskaniu $N_{c,j,Rd}$ (kN)		812	951	1227
Obliczeniowa nośność przy ścinaniu $V_{j,Rd}$ (kN)			759	

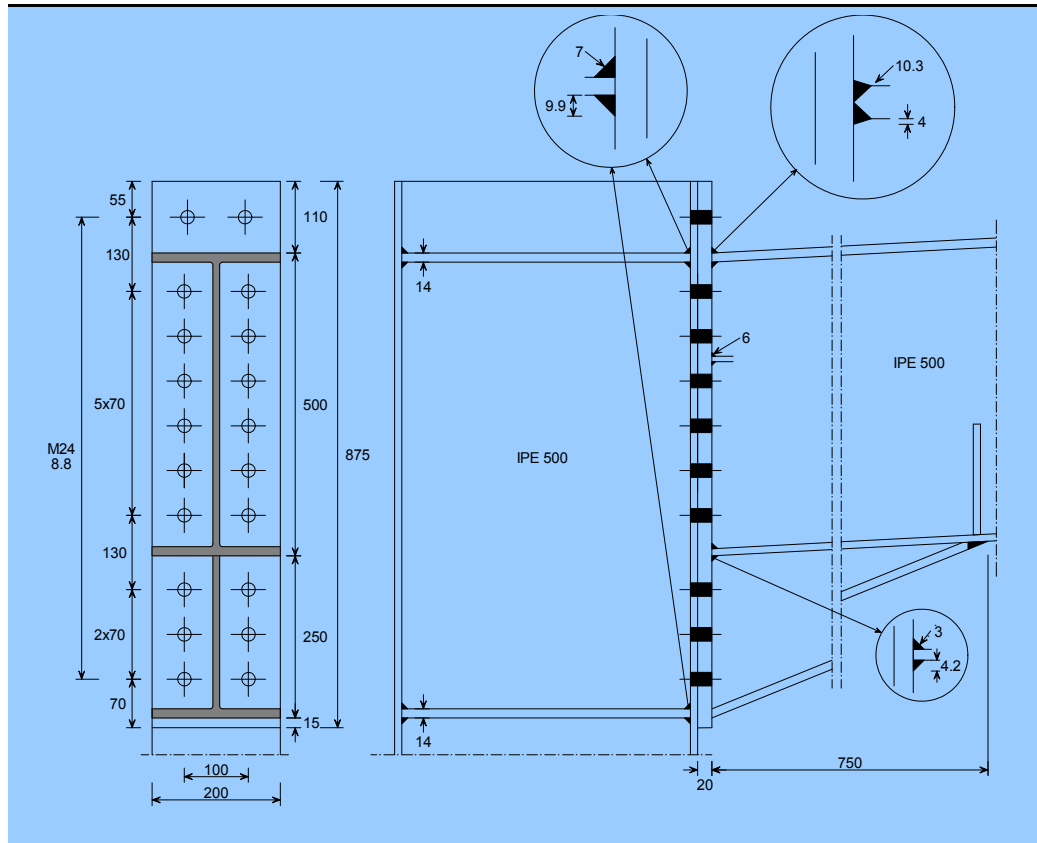
Tabela 4.36 Połączenie narożne — IPE 500



Śruby M24	10.9
Średnica otworu	26 mm
Elementy usztywniające słup	$t_p = 14$ mm
Blacha doczołowa	$t_p = 25$ mm

Śłup IPE 500	Belka IPE 500	S235	S275	S355
Moment dodatni				
Obliczeniowa nośność przy zginaniu $M_{j,Rd}$ (kNm)		514,9	599,2	763,7
Minimalna rozpiętość przęsła dla połączenia sztywnego $L_{b,min}$ (m)			13,80	
Moment ujemny				
Obliczeniowa nośność przy zginaniu $M_{j,Rd}$ (kNm)		492,3	537,6	682,1
Minimalna rozpiętość przęsła dla połączenia sztywnego $L_{b,min}$ (m)			16,62	
Obliczeniowa nośność osiowa				
Przy rozciąganiu $N_{t,i,Rd}$ (kN)		812	951	1227
Przy ściskaniu $N_{c,i,Rd}$ (kN)		812	951	1227
Obliczeniowa nośność przy ścinaniu $V_{j,Rd}$ (kN)			791	

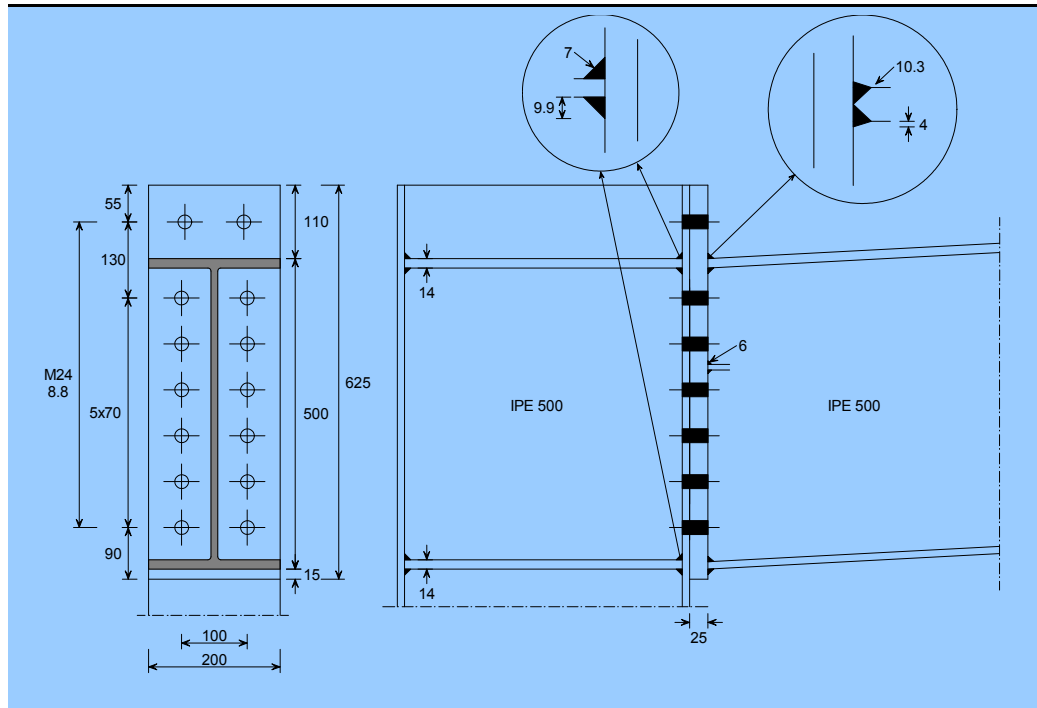
Tabela 4.37 Połączenie narożne — IPE 500



Śruby M24	8.8
Średnica otworu	26 mm
Elementy usztywniające słup	$t_p = 14$ mm
Blacha doczołowa	$t_p = 20$ mm

Śłup IPE 500	Belka IPE 500	S235	S275	S355
Moment dodatni				
Obliczeniowa nośność przy zginaniu $M_{i,Rd}$ (kNm)		500,2	580,9	716,4
Minimalna rozpiętość przęsła dla połączenia sztywnego $L_{b,min}$ (m)			14,17	
Moment ujemny				
Obliczeniowa nośność przy zginaniu $M_{i,Rd}$ (kNm)		458,4	529,9	650,5
Minimalna rozpiętość przęsła dla połączenia sztywnego $L_{b,min}$ (m)			16,77	
Obliczeniowa nośność osiowa				
Przy rozciąganiu $N_{t,i,Rd}$ (kN)		812	951	1227
Przy ściskaniu $N_{c,i,Rd}$ (kN)		812	951	1227
Obliczeniowa nośność przy ścinaniu $V_{j,Rd}$ (kN)			759	

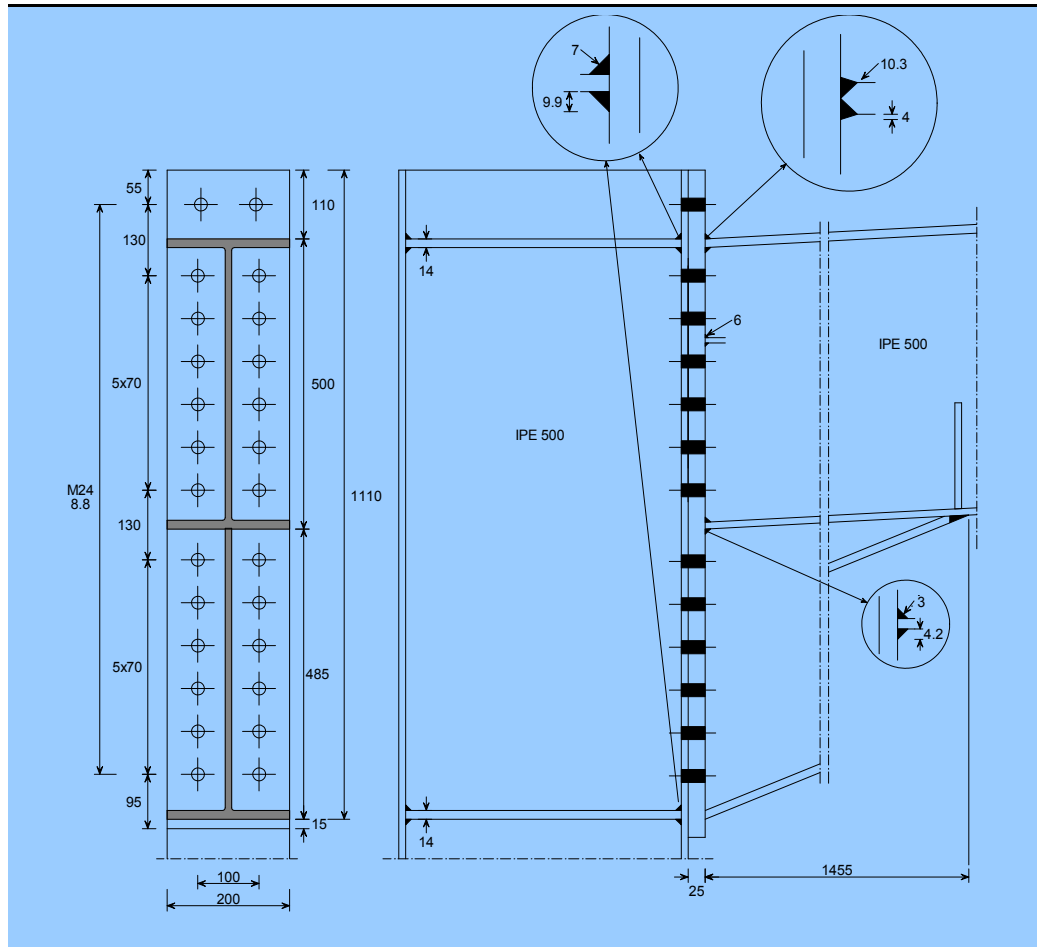
Tabela 4.38 Połączenie narożne — IPE 500



Śruby M24	8.8
Średnica otworu	26 mm
Elementy usztywniające słup	$t_p = 14$ mm
Blacha doczołowa	$t_p = 25$ mm

Śłup IPE 500	Belka IPE 500	S235	S275	S355
Moment dodatni				
Obliczeniowa nośność przy zginaniu $M_{j,Rd}$ (kNm)		327,8	379,0	462,3
Minimalna rozpiętość przęsła dla połączenia sztywnego $L_{b,min}$ (m)			25,97	
Moment ujemny				
Obliczeniowa nośność przy zginaniu $M_{j,Rd}$ (kNm)		258,4	297,9	353,7
Minimalna rozpiętość przęsła dla połączenia sztywnego $L_{b,min}$ (m)			40,84	
Obliczeniowa nośność osiowa				
Przy rozciąganiu $N_{t,i,Rd}$ (kN)		812	951	1227
Przy ściskaniu $N_{c,i,Rd}$ (kN)		812	951	1227
Obliczeniowa nośność przy ścinaniu $V_{j,Rd}$ (kN)			531	

Tabela 4.39 Połączenie narożne — IPE 500



Śruby M24	8.8
Średnica otworu	26 mm
Elementy usztywniające słup	$t_p = 14$ mm
Blacha doczołowa	$t_p = 25$ mm

Śłup IPE 500	Belka IPE 500	S235	S275	S355
Moment dodatni				
Obliczeniowa nośność przy zginaniu $M_{i,Rd}$ (kNm)		683,3	795,8	1000
Minimalna rozpiętość przęsła dla połączenia sztywnego $L_{b,min}$ (m)			9,45	
Moment ujemny				
Obliczeniowa nośność przy zginaniu $M_{i,Rd}$ (kNm)		612,8	712,6	899,3
Minimalna rozpiętość przęsła dla połączenia sztywnego $L_{b,min}$ (m)			11,28	
Obliczeniowa nośność osiowa				
Przy rozciąganiu $N_{t,i,Rd}$ (kN)		812	951	1227
Przy ściskaniu $N_{c,j,Rd}$ (kN)		812	951	1227
Obliczeniowa nośność przy ścinaniu $V_{i,Rd}$ (kN)			987	

LITERATURA

- 1 EN 1993-1-8: Eurokod 3 Projektowanie konstrukcji stalowych.
Projektowanie połączeń