

Plan rozwoju: Projektowanie ram portalowych z blachownicowych przekrojów spawanych

Ten dokument podaje informacje dla projektowania wstępnego ram portalowych wykonanych z blachownicowych przekrojów spawanych dla typowych budynków użytkowanych jako przemysłowe lub handlowych.

Zawartość

1.	Powszechne stosowane konstrukcje ram portalowych	2
2.	Wybór ramy portalowej	2
3.	Korzyści przekrojów blachownic spawanych	3
4.	Wymiarowanie przekrojów	4
5.	Przypadki praktyczne	5
6.	Materiały, wytwarzanie, transport i montaż	7
7.	Połączenia	8

1. Powszechne stosowane konstrukcje ram portalowych

Ramy portalowe często tworzą główną konstrukcję budynków przemysłowych i handlowych, magazynów, stacji, budynków publicznych i czasami kompleksów sportowych, które wymagają dużych wielkości przestrzeni.

Dla tych “lekkich” lub “średnio ciężkich” budynków, stal oferuje proste i wydajne rozwiązanie pozwalające równocześnie na śmiałe opcje architektoniczne.

Ramy portalowe mogą też być używane do usztywnienia bardziej konkretnych budynków używanych w przemyśle ciężkim, zwłaszcza w stalowniach i elektrowniach.

2. Wybór ramy portalowej

Na projektowanie wszystkich ram portalowych wpływa kilka czynników. Projektanci aby jak najlepiej spełnić te kryteria mogą wybrać przekroje walcowane, elementy spawane, konstrukcje kratowe, albo konstrukcje łączące więcej niż jeden typ elementów.

Najważniejszymi z pośród tych kryteriów są:

- rozpiętość między słupami
- wielkość i typ obciążenia (statyczne, dynamiczne – typowy ruch suwnicy itp.)
- wygląd architektoniczny
- wewnętrzna wysokość przy okapie
- względne koszty różnych rozwiązań

Ogólnie, ramy portalowe z blachownic są najkorzystniejsze w następujących przypadkach:

- dla wysoce znormalizowanych rozwiązań konstrukcji, gdzie redukcja masy stali i ekonomie produkcji masowej zrównoważą dodatkowe koszty produkcyjne. Optymalizowane systemy dla znormalizowanych konstrukcji od specjalistycznych dostawców zatem stają się przedmiotem ostrej konkurencji.
- dla dużych rozpiętości, gdzie użycie profili walcowanych nie jest ekonomiczny i użycie dźwigarów kratowych nie jest dobrym rozwiązaniem, np. z powodu ich większej wysokości konstrukcyjnej.
- dla dużych sił wewnętrznych, gdzie wybór profili walcowanych jest albo nie możliwy, z powodu wielkości przyłożonych obciążeń, albo nie akceptowalny ze względu na konieczność zmniejszenia rozstawu między ramami.

Istnieją rozwiązania hybrydowe; takie jak:

- blachownicowe słupy spawane z dźwigarami kratowymi w przypadku dużych rozpiętości
- blachownicowe słupy spawane z ryglami dachowymi z kształtowników walcowanych dla budynków przemysłowych o małych rozpiętościach, gdzie zastosowano suwnice podparte o dużym udźwigu



Fotografia: Jean-Pierre Muzeau – Copyright APK

Rysunek 2.1 *Ogólny widok budynku o konstrukcji ramy portalowej wykonanej z blachownic spawanych podczas montażu,*

3. Korzyści przekrojów blachownic spawanych

3.1 Porównanie blachownic spawanych z profilami walcowanymi

W porównaniu z tradycyjnymi przekrojami walcowanymi, dla średnich rozpiętości, elementy z blachownic spawanych pozwalają na zmniejszenie ich przekroju ze względu na dokładniejsze dostosowanie ich do wartości sił wewnętrznych. Jest to niewykonalne przy ściśle określonym zakresie przekrojów walcowanych.

Przy zachowaniu identycznego zewnętrznego wymiaru, może być zmniejszona grubość środnika od wyczerpania nośności na ścinanie i grubości pasa w przekrojach o mniejszym momencie zginającym. To znacząco zmniejsza wagę a przy tym koszt, jednak, spoiny pomiędzy pasem a środnikiem będą różnej grubości.

Użycie przekroju spawanego albo kratowego staje się niezbędne dla dużych rozpiętości i/lub dużych obciążeń, gdzie walcowane na gorąco przekroje handlowe nie są odpowiednie.

3.2 Porównanie blachownic spawanych z przekrojami kratowymi

W porównaniu z dźwigarami kratowymi, użycie złożonych profili jest estetyczniejsze. Ich mniejsza wysokość zmniejsza też objętość budynku. W dodatku, zmniejsza liczbę wymaganych połączeń i jest prostsza, dla średnich rozpiętości, ogólnie czyniąc przekroje blachownicowe tańszymi.

Z drugiej strony, dźwigar kratowy może łatwiej pomieścić w swojej wysokości duże kanały i przewody rurowe.

3.3 Wybór między elementami o równoległych lub zbieżnych pasach

Są dwa typy przekrojów złożonych.

- Ogólnie stałej wysokości i szerokości, z możliwą zmianą grubości blach. Grubość może się zmienić ogólnie albo zmiany mogą być ograniczone do miejscowego wzmocnienia w połączeniach.
- Elementy złożone ze stopniowo zmniejszającą się wysokością i, możliwą zmianą szerokości pasa.

Inne rodzaje przekrojów też mogą być rozważane, włączając przekroje z asymetrycznymi pasami, gdzie pas ściskany jest szerszy by poprawić jego stabilność przeciw zwichrzeniu. Powinno się zaznaczyć, że przekroje asymetryczne i o zbieżnej szerokości dla efektywnej produkcji wymagają specjalnego wyposażenia.

Przekroje asymetryczne i o zbieżnej szerokości nie są omawiane dalej w tym dokumencie.

4. Wymiarowanie przekrojów

4.1 Postanowienia ogólne

Wielkość przekroju jest głównie związana z rozkładem momentu zginającego otrzymaną z analizy liniowo - sprężystej.

Aby optymalizować przekrój, przyjmuje się aby momenty bezwładności przekroju podążały za zmianami wykresu momentu zginającego tak dokładnie jak to jest tylko możliwe, zwłaszcza w obszarach o dużych wartościach momentu zginającego, przez:

- zwiększenie wysokości środka
- zwiększenie grubości pasa
- kombinację tych dwóch efektów.

W przekrojach które są obciążone statycznie, powinny być one wstępnie dobierane przyjmując:

- pasy przejmują moment zginający
- środek przejmuje siłę ścinającą.

4.2 Wymiary / proporcje przekroju

Ignorując względy architektoniczne i estetyczne, rozsądnie jest projektować blachownice o większej wysokości niż przekroje walcowane, aby zmniejszyć wielkość pasów dla danego momentu zginającego.

Podobnie, dla wymaganego przekroju pasa, pasy powinny być tak szerokie jak to możliwe, aby miały one optymalną wytrzymałość na zwichrzenie.

Środek zasadniczo przenosi siłę poprzeczna. Jego wysokość jest maksymalizowana by zmniejszyć wielkość pasów dla danego momentu zginającego. Dla danego przekroju poprzecznego, będzie on tak smukły jak to możliwe, ze zredukowaną przez utratę stateczności miejscowej, nośnością na ścinanie.

Ogólnie problemem optymalnego wymiarowania blachownic wymaga najlepszego kompromisu między wymiarami zewnętrznymi przekroju (wysokość i szerokość) a smukłością blach składowych, podczas rozważania zjawisk utraty stateczności ogólnej (najczęściej zależnej od całego układu konstrukcyjnego) i zjawisk miejscowych (wymagania usztywnień dla dużych obciążeń skupionych, itd.).

4.3 Klasyfikacja przekrojów

Doświadczenia pokazują, że największa ekonomiczność ramy portalowej z blachownic jest osiągnięta przy użyciu teorii sprężystości, bez brania pod uwagę plastycznej redystrybucji naprężeń i nawet bez odnoszenia się do plastycznej nośności przekroju. Dlatego są używane następujące kryteria:

- Klasa 3 pasy są dobierane tak, aby pas ściskany mógł osiągnąć granicę plastyczności.
- Klasa 4 środniki są dobierane by zmniejszyć masę konstrukcji. Siły poprzeczne są ogólnie niewielkie i mogą być przeniesione przez takie przekroje w ich stanie nadkrytycznym. Obciążenia skupione potrzebują specjalnych względów; w miarę możliwości, powinno się ogólnie unikać żeber usztywniających chociaż one mogą być konieczne przy dużym obciążeniu skupionym.

4.4 Specyficzne rodzaje wyboczenia związane z przekrojami blachownicowymi

Podczas gdy przekroje spawane znacząco zmniejszają wagę konstrukcji, należy zauważyć, że te przekroje mają znacznie wyższy stosunek $I_y : I_z$ niż przekroje walcowane. Dlatego ten typ przekroju jest dużo bardziej wrażliwy na zjawisko wyboczenia z płaszczyzny. Powinno to wpływać na rozmieszczenie elementów konstrukcyjnych obiektu.

Na przykład, by zapobiec zwichrzeniu może być konieczne stężenie pasa ściskanego przy każdej pławie, a nie przy co drugiej, jak to mogło być przyjęte przy zastosowaniu tradycyjnych przekrojów walcowanych.

5. Przypadki praktyczne

5.1 Typowe proporcje

Do pomocy w projektowaniu początkowym sugeruje się następujące proporcje:

Wysokość elementów spawanych h dla rygli dachowych wynosi zwykle $L/30$ (gdzie L jest rozpiętością) i dla słupów $H/10$ (gdzie H jest wysokością słupa).

Szerokości pasów b jest zwykle proporcjonalna do wysokości h . To jest:

$$h/5 \leq b \leq h/2$$

Grubość środnika jest między $h/150$ a $h/100$, większe grubości głównie są używane przy połączeniach belki ze słupem (skosach), gdzie wzrost w siły poprzecznej jest połączony z dużym gradientem momentu zginającego.

Powinno się zaznaczyć że może też być używana nawet większa smukłość środnika, ale to wymaga głębszej analizy zjawiska stateczności miejscowej, dokładniejszej produkcji i pewną ostrożność podczas transportu gdy się podnosi te smukłe przekroje z bardzo smukłymi blachami.

Przykład ogólnego przypadku:

Typowe wymiary elementu o rozpiętości portalu 25 m mógłby być następujący:

rozpiętość	$L = 25$ m
wysokość środnika	$h = 800$ mm
grubość środnika:	6 mm w środkowej części 8 mm przy skosach.
szerokość pasa:	$b = 200$ mm
grubość pasa:	10 mm

Spoiny pachwinowe łączące pasy ze środnikiem zwykle mają minimalną grubość 3 do 4 mm.

5.2 Zakres rozmiarów

Do pomocy w początkowej fazie projektu, są podana poniżej pewne ograniczenia wymiarów:

Tablica 5.1 Maksymalna szerokość pasa dla klasy 3, zależnie od grubości i gatunku stali

Grubość (mm)	Maksymalna szerokość (mm) dla gatunku stali			
	S235	S275	S355	S460
8	225	205	180	160
10	280	255	225	200
12	335	310	270	240
15	420	380	340	300
18	500	460	410	360
20	560	510	450	400

Tablica 5.2 Wysokość środnika w mm, zależnie od grubości i smukłości

Grubość (mm)	Wysokość środnika (mm) dla stosunku wysokości do grubości			
	$h_w / t_w = 100$ (*)	$h_w / t_w = 120$ (**)	$h_w / t_w = 140$	$h_w / t_w = 160$
6	600	720	840	960
8	800	960	1120	1280
10	1000	1200	1400	1600
12	1200	1440	1680	1920

(*) ograniczenie smukłości środnika przy zginaniu dla klasy 3 dla gatunku stali $f_y = 355$ N/mm² wynosi $h_w / t_w = 100,4$

(**) ograniczenie smukłości środnika przy zginaniu dla klasy 3 dla gatunku stali $f_y = 235$ N/mm² wynosi $h_w / t_w = 124$

6. Materiały, wytwarzanie, transport i montaż

6.1 Gatunki stali

Wybór gatunku stali zależy od dużego zakresu kryteriów, głównie od obciążenia i ograniczenia odkształceń.

Z reguły:

- gdy kryteria odkształcalności są rygorystyczne (np. ograniczając poziome przemieszczenia góry słupów ze względu na poprawne działanie suwnicy), jest rozsądnie zdecydować się na duży moment bezwładności, który preferuje stale gatunków S235 lub S275 niż stal gatunku S355.
- w przypadku dużego obciążenia, braku specjalnych ograniczeń ugięć i gdy wyboczenie nie ma istotnego wpływu, rozsądne jest przyjęcie stali gatunku S355.

Aby zmniejszyć koszty można przyjąć przekroje hybrydowe ze stali dwóch gatunków.

Przekroje spawane powinny wtedy używać:

- pasy ze stali S355
- środnik ze stali S235 lub S275

6.2 Produkcja przekrojów

Produkcja przekrojów spawanych wymaga dostarczenia standardowej szerokości blach, przyciętych do wymaganej szerokości, przez wyspecjalizowanych hurtowników, albo cięcie tych blach w warsztacie (palnikiem, laserem, itp.) z arkuszy większych rozmiarów by zmniejszyć ilość odpadów.

Wybór zależy od wyposażenia warsztatu i różnicy cen między dostarczeniem blach o wymaganym końcowym wymiarze a cięciem tych blach z arkuszy, wymagających dodatkowych prac przeładunkowych.

Przekroje proste

Tradycyjne przekroje spawane składają się ze środnika i dwóch, zwykle identycznych pasów aby otrzymać przekrój podwójnie symetryczny.

Każdy pas jest przyspawany do środnika przy użyciu dwóch spoin pachwinowych, wymiarowanych na przeniesienie wzdłużnego ścinania.

Operacja ta jest ogólnie wykonywana w trzech procesach:

- środnik jest położony płasko, dwa pasy umieszcza się po obu jego stronach i wykonuje ciągłe spoiny pachwinowe
- przekrój jest odwracany
- wykonywane są następne dwie spoiny pachwinowe

W przypadku obciążenia statycznego, można mocować pas do środnika przy użyciu pojedynczej spoiny pachwinowej w środkowej strefie rozpiętości, daleko od połączeń i dużych sił poprzecznych. Blisko połączeń i gdy siły wzdłużne, przekrój jest odwracana i jest stosowane spawanie dwustronne.

Jednostronne spawanie nie jest zalecane w przypadku obciążenia dynamicznego

Przekroje zakrzywione albo ze zmianą kierunku

Dla elementów zbieżnych, gdzie pas jest zakrzywiony, zmiana kierunku tego pasa powoduje rozciąganie albo ściskanie w połączeniu pomiędzy pasami a środkiem. Musi być to wzięte pod uwagę podczas projektowania tych spoin, lub jeśli to konieczne powinny być dodane żebra usztywniające.

6.3 Transport: Wytwórnia, podczas transportu i montażu

Dla elementów bardzo smukłych i dużej rozpiętości, ważnym jest wnikliwe zapoznanie się z warunkami transportu i załadunku. Szczególnie ważne podczas tych operacji jest uniemożliwienie skręcenia się elementu pod własnym ciężarem; w innym przypadku, możliwe jest jego zniszczenie ze względu na zginanie/wyboczenie względem jego słabej osi.

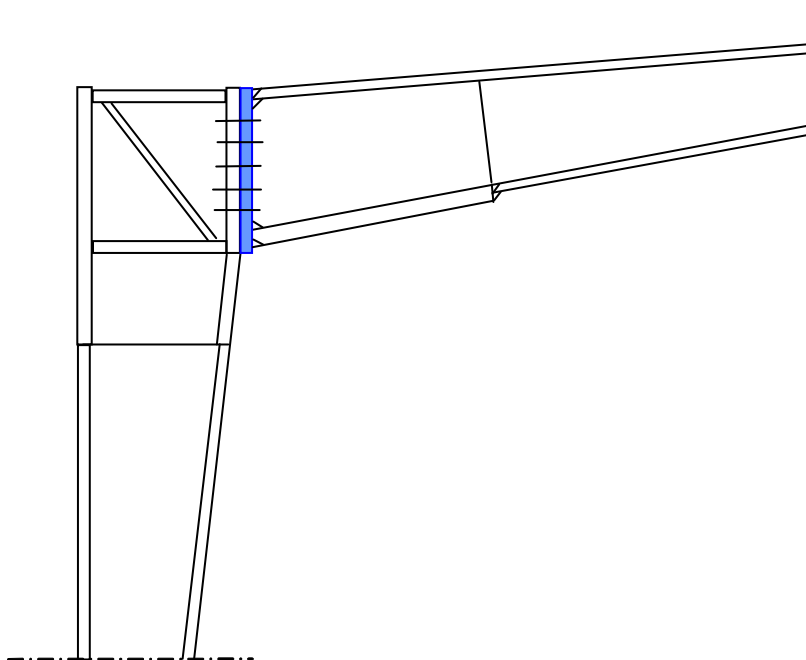
7. Połączenia

7.1 Skosy i połączenia kalenicowe

Skosy i połączenia kalenicowe są ważnymi szczegółami które projekt musi szczegółowo rozpatrzyć. Ogólnie są one wykonane jako rozciągnięte śrubowe połączenia doczołowe.

W wypadku portali używających przekroje blachownicowe, zwiększona nośność i sztywność połączenia rygla dachowego ze słupem może łatwo być otrzymana przez powiększenie wysokości przekroju styku oraz zwiększając grubość środka w tym obszarze o dużej sile poprzecznej, jak pokazano na Rysunek 7.1 i Rysunek 7.2. Usztywnienie może być tutaj zmniejszone albo wyeliminowane. W przeciwieństwie do przekrojów walcowanych, które wymagają skosów i możliwych dodatkowych żeber usztywniających środkik.

Projekt stosujący przekroje blachownicowe odpowiada specyficznym warunkom projektowania jeżeli chodzi o estetykę i koszt.



Rysunek 7.1 Schemat skosu portalowego

7.2 Styki

Dla dużych rozpiętości i ciężkiej konstrukcji, by nie używać specjalnych środków transportu, który jest zawsze kosztowny i wymaga specjalnych upoważnień, często jest konieczne podzielenie rygli dachowych/słupów na kilka elementów, ze stykami wykonywanymi na budowie.

Może być też ekonomiczniejsze aby rozszerzyć słup o fragment rygla dachowego by zmienić miejsce połączenia do obszaru z mniejszymi siłami wewnętrznymi. (Jakkolwiek mimo niewielkiego momentu zginającego, to połączenie musi jeszcze być sztywne aby nie naruszyć założeń sprężystej analizy globalnej). Jednak w zależności od wielkości fragmentu rygla, to zamierzenie może okazać się ze względów transportowych nie do przyjęcia.



Fotografia : Jean-Pierre Muzeau – Copyright APK

Rysunek 7.2 Połączenie słup – rygiel dachowy

7.3 Podstawy słupów

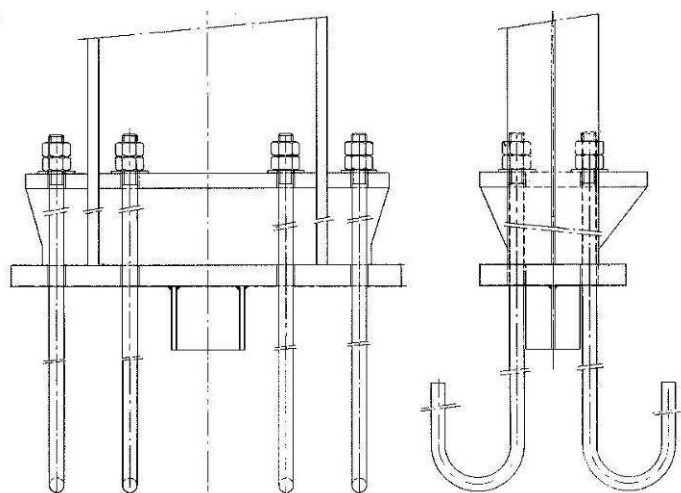
Podstawy słupów są też ważne dla całościowego projektowania.

Należy zapamiętać , że wymiarowanie całej konstrukcji i zachowanie się ramy portalowej ze względu na poziome odkształcenia, jest szczególnie zależne od warunków podparcia słupów na fundamencie.

Z reguły:

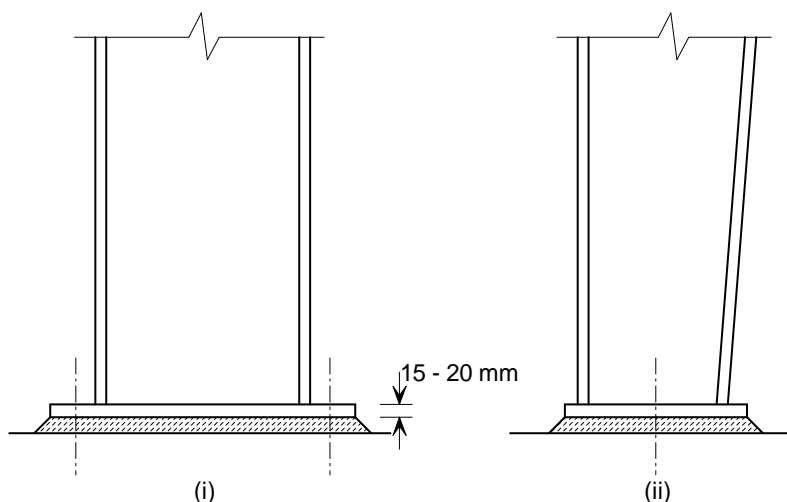
- Ramy ze sztywną podstawą słupa osiągają znaczne oszczędności w wadze konstrukcji nadziemnej podczas zmniejszenia odkształceń poziomych. Dlatego to rozwiązanie jest polecane dla konstrukcji portalowych popierających suwnice, gdzie są ostre ograniczenia odkształceń.

- ❑ To rozwiązanie jest też zalecane dla konstrukcji przenoszących duże obciążenia, narażone warunki sejsmiczne, albo cyklony. Jest najefektywniejsze ze względu na zmniejszanie wymiarów słupa.
- ❑ Jednak wadą tego rozwiązania jest to, że wymaga ono znacznie większych fundamentów. Muszą być w one o takiej wielkości by przenieść moment przewracający. Połączenie podstawy słupa wymaga dużego zakotwienia śrub i często wymaga znacznego sztywnienia słupa, jak pokazano na Rysunek 7.3.



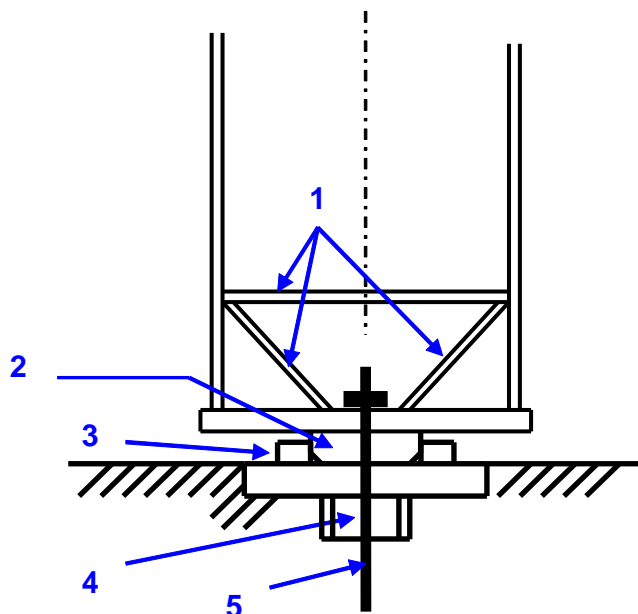
Rysunek 7.3 Sztywna podstawa słupa

- ❑ Przegubowe podstawy słupów są bardziej powszechnie używane, zwłaszcza dla lekkich albo średnich konstrukcji stalowych. Rysunek 7.4, Rysunek 7.5 i Rysunek 7.6 pokazują różne rozwiązania podstaw słupów dla różnych praktyk krajowych.



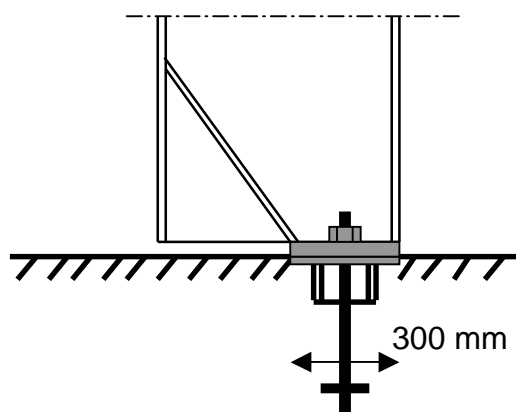
Rysunek 7.4 Proste "przegubowe" podstawy słupów: (i) stała wysokość przekroju słupa; (ii) słup o pasach zbieżnych

Wbrew ich nominalnej sztywności, która zwiększa bezpieczeństwo podczas montażu, podstawy te są w praktyce przyjmowane jako „przegubowe” co potwierdzają doświadczenia



- Legenda
- 1: Żebra usztywniające środek
 - 2: Łożysko
 - 3: Osłona łożyska
 - 4: Ostroga
 - 5: Śruba kotwiąca

Rysunek 7.5 Przegubowa podstawa słupa z łożyskiem wahaczowym



Rysunek 7.6 Przegubowa podstawa słupa z przesunięciem połączenia dla zminimalizowania efektywnej rozpiętości ramy i wprowadzić korzystne nieosiowości słupów

Protokół jakości

TYTUŁ ZASOBU	Plan rozwoju: Projektowanie ram portalowych z blachownicowych przekrojów spawanych		
Odniesienie(a)			
ORYGINAŁ DOKUMENTU			
	Nazwisko	Instytucja	Data
Stworzony przez	Jean-Claude Delongueville	CTICM	28/04/2006
Zawartość techniczna sprawdzona przez	Patrick Le Chaffotec	CTICM	28/04/2008
Zawartość redakcyjna sprawdzona przez			
Techniczna zawartość zaaprobowana przez następujących partnerów STALE:			
1. Wielka Brytania	G W Owens	SCI	30/8/06
2. Francja	A Bureau	CTICM	30/8/06
3. Szwecja	B Uppfeldt	SBI	30/8/06
4. Niemcy	C Müller	RWTH	30/8/06
5. Hiszpania	J Chica	Labein	30/8/06
Zasób zatwierdzony przez Technicznego Koordynatora	G W Owens	SCI	02/10/06
DOKUMENT TŁUMACZONY			
To Tłumaczenie wykonane i sprawdzone przez:	Zdzisław Pisarek		
Przetłumaczony zasób zatwierdzony przez:	B. Stankiewicz	PRz	

Informacje ramowe

Tytuł*	Plan rozwoju: Projektowanie ram portalowych z blachownicowych przekrojów spawanych	
Seria		
Opis*	Ten dokument podaje informacje dla projektowania wstępnego ram portalowych wykonanych z blachownicowych przekrojów spawanych dla typowych budynków użytkowanych jako przemysłowe lub handlowych.	
Poziom Dostępu*	Ekspertyza	Praktyka
Identyfikatory	Nazwa pliku	D:\ACCESS_STEEL_PL\SS\SS052a-PL-EU.doc
Format		Microsoft Office Word; 14 Stron; 897kb;
Kategoria*	Typ zasobu	Plan rozwoju
	Punkt widzenia	Architekt, inżynier, konstruktor
Przedmiot*	Obszar zastosowań(a)	Budynki jednokondygnacyjne
Daty	Data utworzona	30/08/2006
	Data ostatniej modyfikacji	19/05/2006
	Data sprawdzenia	19/05/2006
	Ważny Od	
	Ważny Do	
Język(i)*		Polski
Kontakty	Autor	Jean-Claude Delongueville, CTICM
	Sprawdzony przez	Patrick Le Chaffotec, CTICM
	Zatwierdzony przez	
	Redaktor	
	Ostatnio modyfikowany przez	
Słowa kluczowe*	Ramy portalowe, blachownice stalowe, budynki przemysłowe, budynki handlowe, budynki rekreacyjne, budynki jednokondygnacyjne	
Zobacz Też	Odniesienie do Eurokodu	
	Przykład(y) obliczeniowe	
	Komentarz	
	Dyskusja	
	Inny	
Omówienie	Narodowa Przydatność	EU
Szczególne Instrukcje		