

Plan rozwoju: Wybór ekonomicznych układów ramowych dla niskich i średniowysokich budynków o konstrukcji stalowej i zespolonej

Dokument ten wprowadza i definiuje koncepcje głównej ramy konstrukcyjnej dla kondygnacji nadziemnych wielopiętrowych stalowych i zespolonych budynków ramowych. Przedstawiono kluczowe możliwości wyboru dostępne do projektanta i podaje informacje do ekonomicznych wyborów dla specyficznego projektu.

Zawartość

1.	Wprowadzenie	2
2.	Zakres	2
3.	Główne pojęcia, definicje i znaczenia dla projektu	2
4.	Wybór konstrukcji prostej albo ciągłej	7
5.	Informacja na temat ekonomicznego wyboru ramy ze względu na specyfikę budynku	7

1. Wprowadzenie

Z szerokiego zakresu konstrukcji, można wybrać zalecenia dla niskich i średniowysokich stalowych budynków szkieletowych.

W PN-EN 1993-1-1, są zawarte różne opcje podejścia do:

- Nośność od obciążeń przechyłowych
- Zmienność sztywności przechyłowej
- Uwzględnianie imperfekcji zarówno ogólnej jak i miejscowej
- Użycia prostej, półciąglej lub ciąglej konstrukcji.

Jako rezultat, PN-EN 1993-1-1 podaje ogólne podejście do szerokiego zakresu konstrukcji szkieletowych. Wynikająca różnorodność podejść może wprawiać w zakłopotanie nawet najbardziej doświadczonych projektantów konstrukcji stalowych.

Dlatego ten dokument próbuje podać ograniczony zakres uproszczonych podejść do wyboru konstrukcji i metody analizy. Będzie to zawsze bezpieczne i w znacznej większości przypadków, będą też prowadzić do najbardziej ekonomicznego rozwiązania projektowego.

Powinno być zaznaczone, że większość ram wielokondygnacyjnych budynków, to trójwymiarowe konstrukcje z prostokątnymi poziomymi siatkami, tj. z podstawowymi i drugorzędnymi belkami w dwóch kierunkach pod kątem 90° . Nośność ze względu na poziome siły i osiągnięcie zadowalającej stabilności przechyłowej powinno być rozważane osobno w tych dwóch głównych kierunkach. Różne rozwiązania mogą być odpowiednie w dwóch kierunkach.

2. Zakres

Te informacje są skierowane do nisko i średniowysokich budynków wielokondygnacyjnych dla wszystkich zakresów przeznaczenia, głównie handlowy i mieszkalnych budynków.

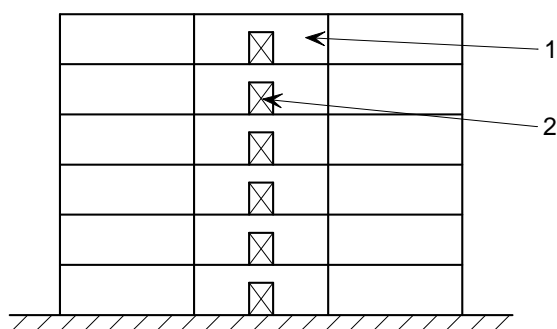
Nisko i średniowysokie budynki są zdefiniowane jako te, dla których wymagania dla nośności ze względu na poziome siły i osiągnięcie odpowiedniej stabilności przechyłowej nie mają dużego wpływu na formę konstrukcji. Dla budynków o normalnych proporcjach w regionach nie-sejsmicznych, górny wynik może być brany jak dla 10-piętrowego budynku.

3. Główne pojęcia, definicje i znaczenia dla projektu

3.1 Ramy stężone i niestężone

Jak pokazano na Rysunek 3.1, **ramy stężone** przenoszą obciążenia poziome na jeden z dwóch sposobów:

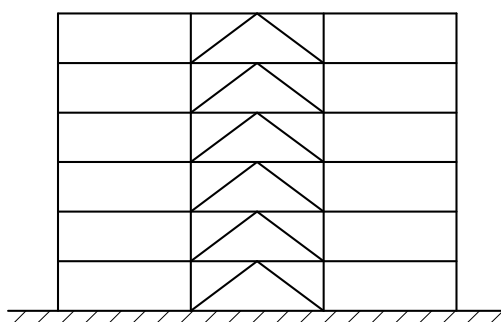
- Połączenie konstrukcji stalowej do sztywnego, żelbetowego trzonu, zwykle otaczającego szyb windy, pionowy instalacyjne i schody.
- Użycie stężeń do przeniesienia oddziaływań poziomych.



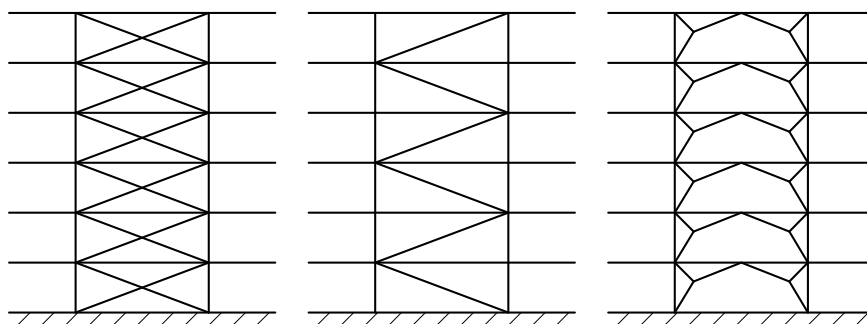
(a)

Legenda:

- 1 Żelbetowe ściany trzonu komunikacyjnego
- 2 Otwory drzwiowe



(b)



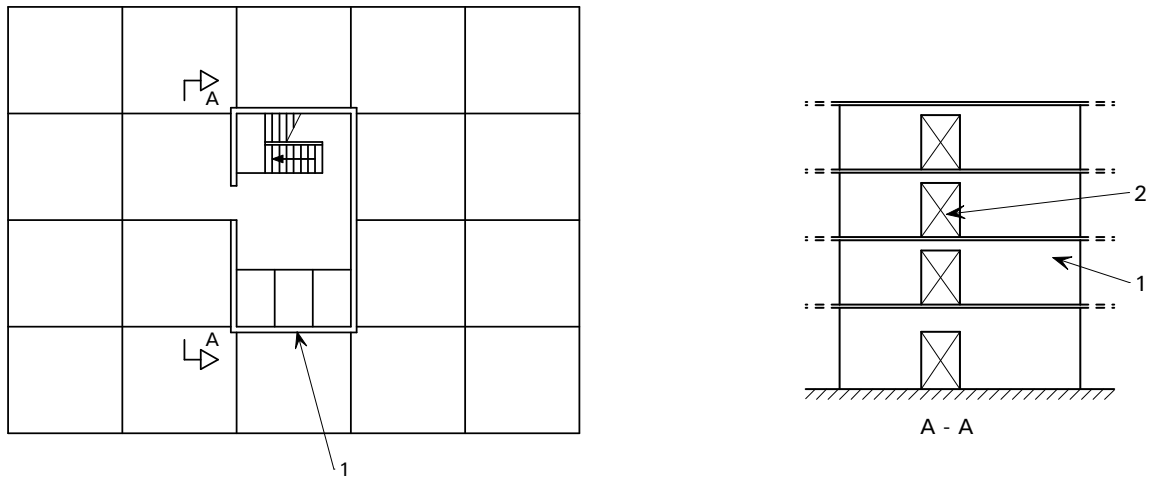
(c)

Rysunek 3.1 Typy ram stężonych:

(a) Sztywny trzon żelbetowy, (b) Odwrócone stężenie typu V, (c) Alternatywny typ stężenia trójkątnego

Gdy stężenie krzyżulcowe jest nie jest możliwe do zastosowania w budynku, może ono być zastąpione przez stężenie portalowe.

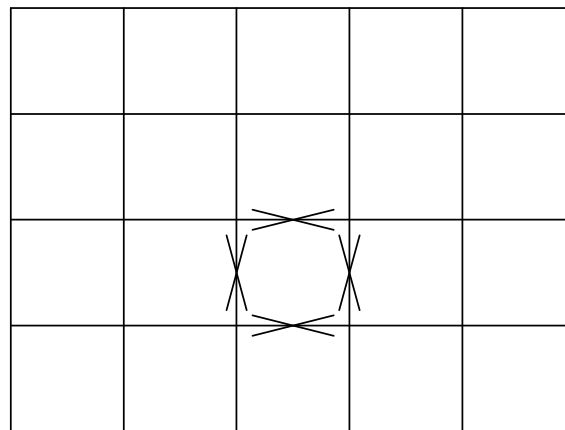
Jak pokazano na Rysunek 3.2, aby sztywny trzon albo elementy stężące były efektywne muszą być ustawione mniej więcej symetrycznie w ogólnym planie budynku. Gdy budynek jest podzielony przez dylatacje na części, każda część powinna być uważana jak oddzielny budynek. Aby przenieść całkowite obciążenie poziome na sztywny trzon albo elementy stężące, stropy działają jako przepony.



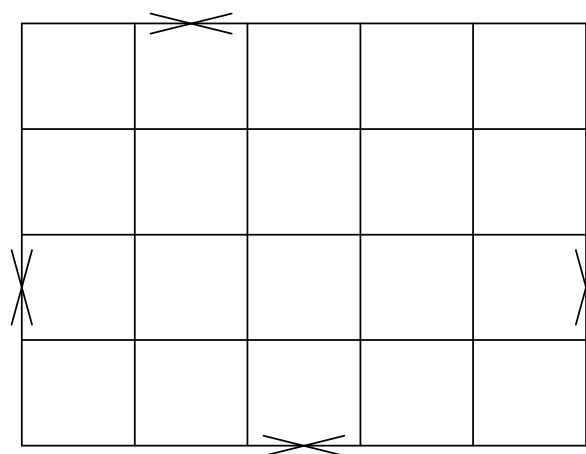
Legenda 1. Żelbetowe ściany trzonu

2. Otwory drzwiowe

(a)



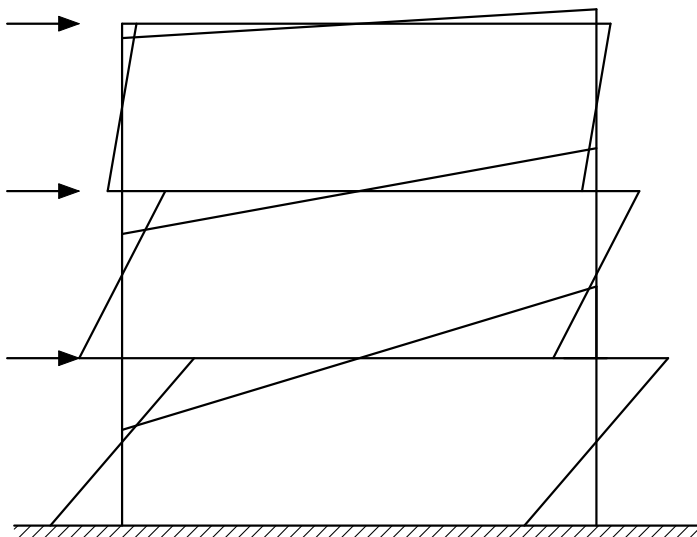
(b)



(c)

Rysunek 3.2 *Efektywne położenie elementów przenoszących siły przechyłowe:*
 (a) Żelbetowy trzon otaczający schody, szyb windy, piony instalacyjne itp.,
 (b) Trzon usztywniający centralnie stężący panel, (c) Panel usztywniony nie zgrupowany jako trzon

Jak pokazano na Rysunek 3.3, **ramy niestężone** przenoszą oddziaływania poziome przez momenty zginające i siły poprzeczne w słupach i belkach. Należy zauważyć, że momenty zginające w belkach, wynikające z oddziaływań przechyłowych, są największe przy połączeniu belek ze słupami. Jest zrozumiałe, że w takich ramach połączenia muszą być zdolne do przeniesienia znacznych momentów między belkami i słupami.



Rysunek 3.3 Momenty zginające w belkach i słupach wynikające z sił przechyłowych w wielokondygnacyjnej jednostruktowej ramie niestężonej

Ramowe działanie konstrukcji może odbywać się przez:

- Rozdzielenie obciążeń między wszystkie równoległe ramy w budynku, jak szczegółowo pokazano w rozdziale 5.3.
- Skupienie obciążeń na wybranej „ramie usztywniającej”, jak szczegółowo pokazano w rozdziale 5.4.

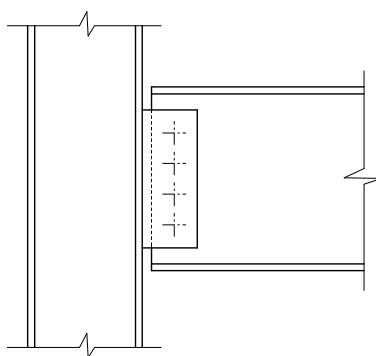
3.2 Sztywność przechyłowa ram

W [PN-EN 1993-1-1 §5.2](#), sztywność przechyłowa ramy dotyczy przyjętej do stosowania analizy konstrukcji. Analiza pierwszego rzędu może być używana dla ram spełniających wymagania sztywności według [PN-EN 1993-1-1 §5.2](#). Procedury projektowe dopuszczające analizę pierwszego rzędu są podane w [SF015a](#). Skutki deformacji powinny być uwzględniane we wszystkich innych ramach. Procedury projektowe są podane w [SF002a](#). Chociaż wszystkie ramy odkształcają się w pewnym zakresie, zależnie od wielkości skutków odkształceń, są one często klasyfikowane jako **ramy przechyłowe** i **ramy nieprzechyłowe**.

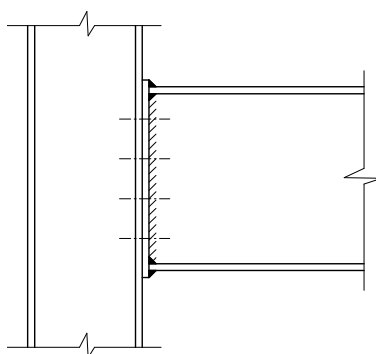
- Efekty geometrycznych odkształceń (efekty drugiego rzędu) powinny być zawarte w analizie ram przechyłowych.
- Jest prawdopodobne, że rama która jest lekko stężona zachowa się jak rama przechyłowa.

3.3 Konstrukcje proste, półciągłe i ciągłe

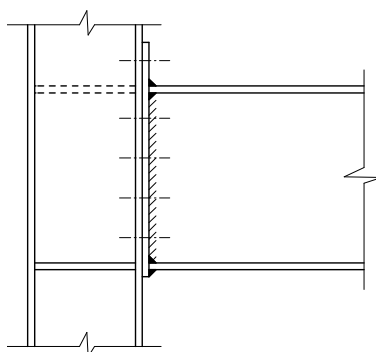
Klasyfikacja typów konstrukcji jest oparta na rodzajach połączeń belek ze słupami, jak pokazano na Rysunek 3.4.



(a)



(b)



(c)

Rysunek 3.4 Rodzaje połączeń belek ze słupami:
(a) nominalnie przegubowe, (b) półsztywne, (c) sztywne

W **konstrukcji prostej** (w której belka jest połączona nominalnie przegubowo do słupa), połączenia belek ze słupami przenoszą tylko ścinające siły reakcji z belki na słup. Charakterystyka połączenia musi zezwalać na wystarczający obrót końca belki, by bezpiecznie zaprojektować ją jako swobodnie podpartą.

W **konstrukcji półciągłej**, połączenia półsztywne belek ze słupami dodatkowo przenoszą znaczne momenty zginające z belek na słupy. Jednak, lokalny obrót w obrębie połączenia związane z momentem zginającym jest wystarczająco duży żeby wpływać na globalną dystrybucję sił wewnętrznych w obrębie ramy. Analiza globalna konstrukcji półsztywnej wymaga odpowiedniego modelowania zachowania się połączeń i dlatego jest skomplikowana.

W **konstrukcji ciągłej** połączenia belek ze słupami są efektywnie sztywne. Lokalne obroty połączenia nie muszą być brane pod uwagę w globalnej analizie konstrukcji. Muszą być one zaprojektowane by przenieść pełne moment podporowe i siły reakcji z belek na słupy.

3.4 Imperfekcje

Jak omówiono w [§5.3 normy PN-EN 1993-1-1](#), skutki równoważnych imperfekcji, zawierające efekty zarówno naprężeń wewnętrznych jak i imperfekcji geometrycznych, są przeznaczone do analizy i projektowania wielokondygnacyjnych ram stalowych.

Dla wielu rzeczywistych konstrukcji, globalne imperfekcje są bardziej przeznaczone do zastępowania ich równoważnymi systemami sił poziomych, jak omówiono w [PN-EN 1993-1-1 §5.3.2\(7\)](#). Szczegółowe informacje na temat imperfekcji podano w [SN047](#), a dla projektowania stężeń pionowych patrz SF007.

Imperfekcje elementów są przeznaczone do oszacowania nośności wyboconej elementów, [PN-EN1993-1-1 §5.3.4\(1\)](#).

4. Wybór konstrukcji prostej albo ciągłej

W **ramach niestężonych**, stateczność przechyłowa może być osiągnięta tylko przez ramową pracę konstrukcji. Dlatego zasadniczo przyjmuje się konstrukcję ciągłą. (W przypadku użycia konstrukcji półciągłej sprawdzenie stateczności przechyłowej jest złożona i nie obejmuje jej zakres tego dokumentu.) Jak zaznaczono w 3.1, konstrukcja ciągła może być przyjmowana dla wszystkich ram albo może być użyta jako dyskretna „rama usztywniająca” konstrukcji prostej przyjętej dla wszystkich innych ram.

Przy **ramach stężonych**, projektant może wybrać ze względów ekonomicznych między prostą albo ciągłą konstrukcją. Dla ekonomii w konstrukcji.

1. Gdy nośność konstrukcji decyduje o projekcie, powinna **zawsze** być przyjęta prosta konstrukcja.
2. Gdy sztywność konstrukcji decyduje o projekcie, ogólnie bardziej ekonomiczne będą jeszcze osiągać proste konstrukcje. Jednak, jeżeli wysokość belki jest surowo ograniczona, tam może być korzystniej rozważyć konstrukcję ciągłą. Zaleca się, aby opracować alternatywne plany, które będą przedyskutowane z dostawcą wyrobów stalowych i kosztorysowane, zanim będzie zrobiony wybór ostateczny.

5. Informacja na temat ekonomicznego wyboru ramy ze względu na specyfikę budynku

Możliwy dla projektanta wybór jest przedstawione w porządku rosnącej złożoności i ogólnie, w kolejności malejącej ekonomii, tj. najpierw podano konstrukcje najprostsze i bardziej ekonomiczne.

Każdy główny kierunek siatki słupów powinien być rozważany oddzielnie. Różne wybory mogą być prowadzone właściwe w dwóch kierunkach.

Obecnie jest szeroko używana analiza komputera. Komentarz o jej potencjalnej roli jest podana w każdym punkcie.

5.1 Ramy stężone w konstrukcjach prostych

Ramy takie używają prostych połączeń belek ze słupami, jak pokazano na Rysunek 3.4(a).

[SN020](#) podaje założenia projektowe zalecane dla ram stężonych.

Zalety

- Proste, ekonomiczne połączenia belki ze słupem
- Minimalne wymiary i masa słupów
- Belki poddane zginaniu jedynie dodatnim momentem, tworząc najlepsze proste zastosowanie konstrukcji sprężonej.
- Proste analizy wymiarowania konstrukcji stalowych, ułatwiają optymalne wybory elementów belek i słupów.

Wady

- Niezalecane dla konstrukcji małej skali, jeżeli stężenie musi być dodawane, a o projektowanych stropach decyduje nośność.
- Może prowadzić do nieekonomicznych belek jeżeli o projekcie stropu decyduje użyteczność.

Jeżeli takie ramy mają sztywne stężenia, mogą one być zaprojektowane używając analizy pierwszego rzędu, tj. z $\alpha_{cr} \geq 10$. Sztywne stężenie może być przewidziane albo przez betonowy trzon albo przez stalowe stężenia trójkątne, jak pokazano na Rysunek 3.1. Kiedy wzrasta wysokość i liczba pięter ramy, wzrastają rozmiary stężenia i mogą stać się nieekonomiczne albo trudne do dostosowania w granicach układów architektonicznych. [SN028](#) dostarcza proste zasady do zapewnienia, że stalowe stężenie trójkątne jest dostosowane by osiągnąć $\alpha_{cr} \geq 10$. Gdy jest zastosowany żelbetowy trzon, jest przyjęte, że żelbetowy trzon zapewnia wystarczającą sztywność przechyłową by zapewnić $\alpha_{cr} \geq 10$ dla większości niskich i średniowysokich budynków (jeżeli projektant ma wątpliwości, może być wykonana własna analiza wartości). Analiza pierwszego rzędu może być wykonana ręcznie; podstawowa korzyść z analizy komputerowej to organizacja przypadków obciążenia i określenie decydujących schematów obciążeń na wymiarowanie konstrukcji.

Gdy stężenie trójkątne osiągające $\alpha_{cr} \geq 10$ nie może być konstrukcyjnie albo ekonomicznie są zastosowane, jest możliwe zaprojektowanie lżejszego systemu stężącego. [SN047](#) dostarcza praktyczne informacje przy wyborze minimalnych równoważnych sił poziomych. α_{cr} może być określony w przybliżeniu i ręcznie dla pewnych klas konstrukcji według [PN-EN 1993-1-1 §5.2.1 4\(B\)](#). Jednak odpowiednia analiza komputerowa pozwala uzyskać dokładną wartość α_{cr} i kombinacje przypadków obciążenia i określenie decydujących schematów obciążeń na wymiarowanie konstrukcji.

Teoretycznie jest możliwe aby zaprojektować ramę z α_{cr} mniejszym niż 3,0, używając analizy drugiego rzędu zgodnie z [PN-EN 1993-1-1 §5.2.1](#). Jednak, tak zaprojektowana rama będzie tak wiotka bocznie, że jest prawdopodobne, aby praktycznie ona nie spełniła kryteriów odkształceń przechyłowych dla konwencjonalnej konstrukcji. Podejście to powinno być więc używane dla specjalnych form konstrukcji, których omówienie jest poza zakresem tego dokumentu.

5.2 Ramy stężone w konstrukcjach ciągłych

Gdy sztywność stropu decyduje o projektowaniu, np. gdy wysokość belki jest surowo ograniczona, to **może** być ekonomiczniejsze aby przyjąć ramę stężoną o ciągłej konstrukcji.

Stężenie rozpatrywane jest w taki sam sposób jak w przypadku stężonych ram prostych. Jest to konieczne aby wykonać globalną analizę ramy i aby określić wewnętrzne siły i momenty w słupach, belkach, stężeniu i połączeniach. Analiza plastyczna może być użyta dla tych ram.

Zalety

- Ciągłe połączenia belka/słup znacznie zwiększają sztywność systemów stropowych do spełnienia warunków użyteczności dla belek dużych rozpiętości i/lub ograniczonej wysokości.

Wady

- Słupy, zwłaszcza zewnętrzne, zwiększają znacznie masę aby przenieść momenty zginające.
- Ciągłe połączenia belka/słup są kosztowne.
- Wymiarujące momenty w belkach prawdopodobnie są umieszczone przy podporach, znacznie zmniejszając korzyści z konstrukcji zespolonej.
- Analiza globalna jest złożona, utrudniając optymalizację wielkości elementu.

Analiza komputera jest zasadnicza do:

- by określić wewnętrzne siły i momenty w belkach i słupach
- by określić rozkład oddziaływań przechyłowych między stężeniem i ramą
- do określenia α_{cr}

Gdy jest dostępna pełna komputerowa analiza drugiego rzędu, prawdopodobnie bardziej efektywnym jest w projekcie użycie jej niż podejścia rozszerzonego według [PN-EN 1993-1-1 § 5.2.1 \(3\)](#).

5.3 Ramy przechyłowe niestężone: Informacje ogólne

Gdy nie możliwe jest, ze względów architektonicznych, zastosowanie stężeń, zasadniczo przyjmuje się konstrukcje ciągłe lub półciągłe aby zapewnić stateczność przechyłową i by przenieść siły przechyłowe. (Półsztywna konstrukcja jest złożona i dlatego jest poza zakresem tego dokumentu).

Projektowanie mocno przewymiarowanej struktury jest złożone. Wybieranie odpowiednich początkowych wymiarów jest zasadnicze dla osiągnięcia ekonomicznego końcowego wyniku.

1. Użycie [SN012](#) do wymiarowania słupów. Schematy te dają przybliżone uwzględnienie przypadkowych efektów obciążeń osiowych i momentów.
2. Wielkość belki dla $\frac{wl^2}{12}$, gdzie w jest obciążeniem rozłożonym na jednostkę długości a l jest rozpiętością belki.
3. Początkowo, wykonuje się oddzielnie analizę pierwszego rzędu dla poziomych i pionowych i używa [PN-EN 1993-1-1 §5.2.1\(4\)B](#) by określić α_{cr} i sprawdzić, czy odkształcenia poziome konstrukcji są mniejsze niż graniczne, patrz [SN034](#).

Efekty drugiego rzędu muszą być poddane analizie. Jeżeli $\alpha_{cr} \geq 3,0$, [PN-EN 1993-1-1 §5.2.2 \(5\)B](#) i [\(6\)B](#) dopuszcza się użycie podejścia zwiększając momenty i siły oddziaływań poziomych. Może być to łatwiejsze niż pełna analiza drugiego rzędu.

Zalety

- Pozwala na rozwiązania architektoniczne bez jakichkolwiek stężeń trójkątnych.

Wady

- Słupy, zwłaszcza zewnętrzne, zwiększają znacznie masę aby przenieść momenty zginające.
- Ciągłe połączenia belka/słup są złożone i kosztowne.
- Wymiarujące momenty w belkach prawdopodobnie są umieszczone przy podporach, znacznie zmniejszając korzyści z konstrukcji zespolonej.
- Analiza globalna jest złożona, utrudniając optymalizację wielkości elementu.

Potrzebna jest pełna analiza z podobnych powodów jak w Punkcie 5.2 powyżej.

5.4 Ramy usztywniające

Jak pokazano na Rysunek 5.1(a), może być architektonicznie pożądane by użyć dyskretnych “mocnych” ram albo “bramowych” ram dających całą stateczność przechyłową i przenoszą siły przechyłowe.

Pod warunkiem że sztywności przechyłowa jest zgodna, możliwe jest połączenie takich ram usztywniających z użyciem ram stężonych, jak pokazano na Rysunek 5.1(b). W obydwu okolicznościach, można zastosować różne podejścia projektowe do obu typów konstrukcji.

- Użycia techniki z punktu 5.3 dla ram usztywniających. Ramy usztywniające muszą zapewnić sztywność przechyłową i nośność przechyłową dla całego budynku. Dlatego belki i słupy muszą być bardzo sztywne by przenieść skutki przechyłu całej konstrukcji.
- Użycie koncepcji prostych ramy stężonych według punktu 5.1 dla pozostałej konstrukcji.

Do określenia α_{cr} takiego hybrydowego układu, powinna być wykonana pełna analiza globalna

Zalety

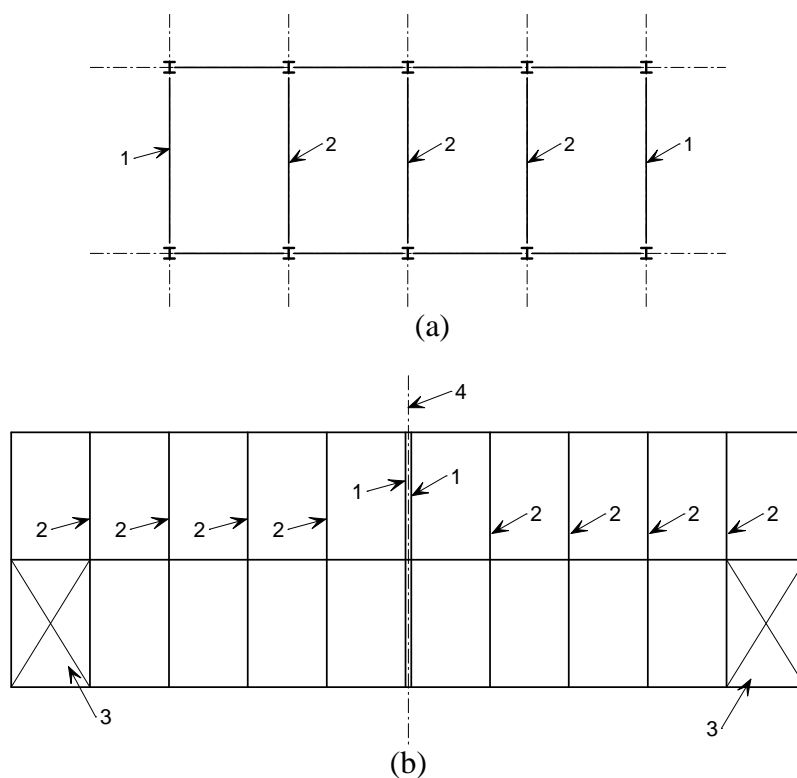
- Pozwala na rozwiązania architektoniczne bez jakichkolwiek stężeń trójkątnych.
- Zmniejsza liczbę połączeń belka/słup, które są wymagane do przeniesienia dużych momentów zginających.

Wady

- Słupy, zwłaszcza zewnętrzne w “ramach bramowych”, znacznie zwiększają swoją masę.
- Połączenia belka/słup w „ramach bramowych” są złożone i kosztowne.
- Dokładne rozważanie są potrzebne do zapewnienia zgodności między sztywnością przechyłową „ramy bramowej”, prostej ramy i ramy stężonej, (jeżeli te ostatnie występują).
- Analiza globalna jest złożona, utrudniając optymalizację wielkości elementu.

Rozważanie całej konstrukcji jest konieczna dla analizy ramy usztywniającej, rozważania te przedstawiono w punkcie 5.2. Wygodniejszym może się okazać użycie symulacji

komputerowej dla całej konstrukcji dla ustalenia kombinacje obciążenia i wymiarujących schematów obciążenia.



Legenda:

1. Rama bramowa z połączeniami sztywnymi
2. Ramy z prostymi połączeniami
3. Sztywne trzony
4. Dylatacja

Rysunek 5.1 Przykłady ram usztywniających:

(a) Mała konstrukcja dużej rozpiętości bez żadnych wewnętrznych słupów i trzonów usztywniających,

(b) Mała konstrukcja dużej rozpiętości ze słupami wewnętrznymi i trzonami usztywniającymi,

Protokół jakości

TYTUŁ ZASOBU	Plan rozwoju: Wybór ekonomicznych układów ramowych dla niskich i średniowysokich budynków o konstrukcji stalowej i zespolonej.		
Odniesienie(a)			
ORYGINAŁ DOKUMENTU			
	Nazwisko	Instytucja	Data
Stworzony przez	G W Owens	SCI	
Zawartość techniczna sprawdzona przez	C M King	SCI	
Zawartość redakcyjna sprawdzona przez			
Techniczna zawartość zaaprobowana przez następujących partnerów STALE:			
1. Wielka Brytania	G W Owens	SCI	23/5/06
2. Francja	A Bureau	CTICM	23/5/06
3. Szwecja	B Uppfeldt	SBI	23/5/06
4. Niemcy	C Müller	RWTH	23/5/06
5. Hiszpania	J Chica	Labein	23/5/06
Zasób zatwierdzony przez Technicznego Koordynatora	G W Owens	SCI	04/9/06
DOKUMENT TŁUMACZONY			
To Tłumaczenie wykonane i sprawdzone przez:	Zdzisław Pisarek		
Przetłumaczony zasób zatwierdzony przez:	B. Stankiewicz	PRz	

Poprawiono 26/6/07

Poprawiona adnotacja do SN028. Skorygowano czcionki w odniesieniach do EN 1993-1-1 §5.2.1

Informacje ramowe

Tytuł*	Plan rozwoju: Wybór ekonomicznych układów ramowych dla niskich i średniowysokich budynków o konstrukcji stalowej i zespolonej.	
Seria		
Opis*	Dokument ten wprowadza i definiuje koncepcje głównej ramy konstrukcyjnej dla kondygnacji nadziemnych wielopiętrowych stalowych i zespolonych budynków ramowych. Przedstawiono kluczowe możliwości wyboru dostępne do projektanta i podaje informacje do ekonomicznych wyborów dla specyficznego projektu.	
Poziom Dostępu*	Ekspertyza	Praktyka
Identyfikatory	Nazwa pliku	D:\ACCESS_STEEL_PL\SS\SS047a-PL-EU-corr.doc
Format		Microsoft Office Word; 13 Stron; 247kb;
Kategoria*	Typ zasobu	Plan rozwoju
	Punkt widzenia	Architekt, inżynier
Przedmiot*	Obszar zastosowań(a)	Budynki wielokondygnacyjne,
Daty	Data utworzenia	26/05/2006
	Data ostatniej modyfikacji	
	Data sprawdzenia	
	Ważny Od	
	Ważny Do	
Język(i)*		Polski
Kontakty	Autor	G W Owens, SCI
	Sprawdzony przez	C M King, SCI
	Zatwierdzony przez	
	Redaktor	
	Ostatnio modyfikowany przez	
Słowa kluczowe*	Projektowanie koncepcyjne, Budynki wielokondygnacyjne	
Zobacz Też	Odniesienie do Eurokodu	
	Przykład(y) obliczeniowe	
	Komentarz	
	Dyskusja	
	<i>Inny</i>	
Omówienie	Narodowa Przydatność	EU
Szczególne Instrukcje		