

## Informacje uzupełniające: Uprozczone podejścia do wyboru równoważnych sił poziomych w globalnej analizie ramy stężonej i niestężonej

*Dokument przedstawia uproszczone, bezpieczne podejście do stosowania równoważnych sił poziomych zamiast początkowych imperfekcji przechyłowej dla globalnych chwiejnych imperfekcji nachylenia słupów między sąsiednimi piętami i stykami słupów siły stężające w ramach stężonych.*

### Spis treści

1. Wprowadzenie	2
2. Początkowe imperfekcje przechyłowe w ramach wielokondygnacyjnych	2
3. Nachylenia słupa między sąsiednimi piętami	3
4. Styk słupa ograniczający siły w ramach stężonych	3
5. Zalecenia projektowe	4
6. Lokalne imperfekcje w analizie globalnej	5
7. Interakcja między odpornością na imperfekcje a stosunkiem sprężystego obciążenia krytycznego w konstrukcjach stężonych	5

## 1. Wprowadzenie

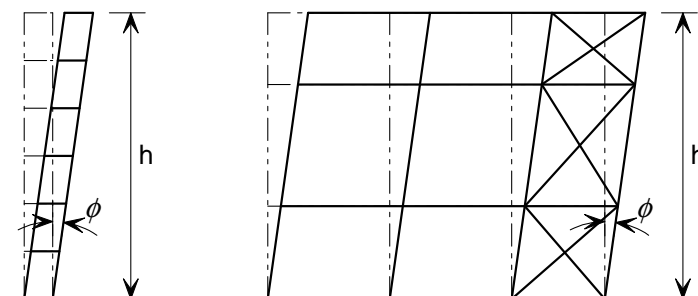
Wszystkie konstrukcje posiadają imperfekcje i dla konstrukcji stalowych norma [PN-EN 1993-1-1 § 5.3](#) wyraźnie definiuje zalecenia do analizy konstrukcji by uwzględnić ich skutki.

Potraktowanie imperfekcji w PN-EN1993-1-1 jest bardzo ogólne, aby mogło być odpowiednie do wszystkich rodzajów konstrukcji stalowych.

Dokument przedstawia uproszczone podejście do tych efektów, który skupia się na odpowiednim traktowaniu imperfekcji dla nisko i średnio – wysokich budynków wielokondygnacyjnych. Zaproponowano poziome współczynniki siły, które są proste w zastosowaniu i znane przez doświadczonych użytkowników z poprzednich krajowych norm projektowych.

## 2. Początkowe imperfekcje przechyłowe w ramach wielokondygnacyjnych

[PN-EN 1993-1-1 § 5.3.2](#)(3)a i Rysunek 5.2 (skopiowany poniżej jako Rysunek 2.1) definiuje globalne imperfekcje przechyłowe. Powinny być one stosowane do wszystkich ram zarówno stężonych jak i niestężonych, które mogłyby zawieść przez przechył.



**Rysunek 2.1** Zastępcze imperfekcje przechyłowe (wzięte z EN1993-1-1 Rysunek 5.2)

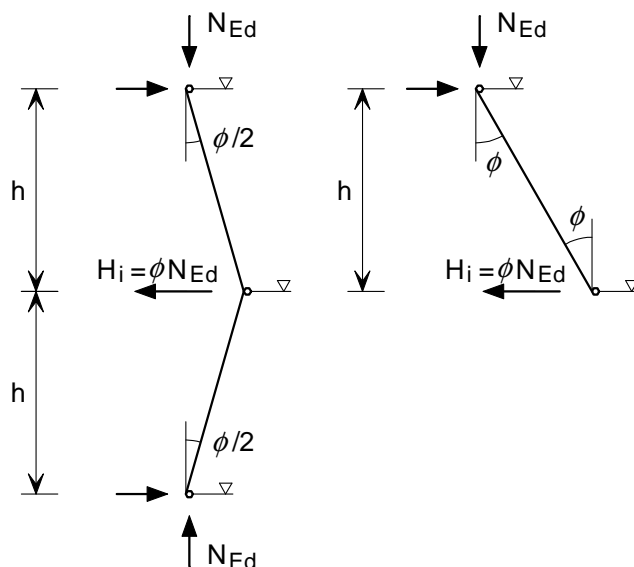
[PN-EN1993-1-1 § 5.3.2\(7\)](#) podano, że pionowe imperfekcje przechyłowe mogą być zastąpione przez układ sił poziomych, działających na poszczególne słupy, o wartości  $\phi N_{Ed}$ .

Ten dokument zaleca, żeby były używane równoważne poziome siły zamiast wprowadzania geometrycznych imperfekcji do modelu. Ponieważ:

- Imperfekcja musi być sprawdzona w każdym kierunku, aby znaleźć najbardziej niekorzystny skutek i tutaj jest łatwiej przyłożyć obciążenie niż zmodyfikować geometrię konstrukcji
- Przyłożenie obciążeń nie powoduje problemów ze zmianą długości, które występowałyby podczas pochylania słupów budynków, w których podstawy słupów są na różnych poziomach

### 3. Nachylenia słupa między sąsiednimi piętrami

[PN-EN 1993-1-1 §5.3.2](#)(5) i Rysunek 5.3 (skopiowany poniżej jako Rysunek 3.1) definiuje imperfekcje przechyłowe i związane poziome siły, które trzeba uwzględnić z powodu miejscowych przechyłów słupów między sąsiednimi piętrami.



**Rysunek 3.1** Konfiguracja imperfekcji przechyłowych  $\phi$  dla sił poziomych działających na tarcze stropowe (wzięte z EN1993-1-1 Rysunek 5.3)

Rysunek pokazuje dwa przypadki, obydwa dają początek poziomego ścinania o wartości  $\phi N_{Ed}$ .

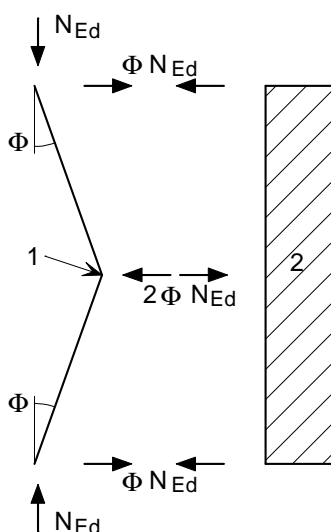
### 4. Styk słupa ograniczający siły w ramach stężonych

[PN-EN 1993-1-1 § 5.3.3](#)(4) i Rysunek 5.7 (skopiowany poniżej jako Rysunek 4.1) wymaga, że stężenie powinno być zdolne do przeniesienia lokalnych sił od każdego styku z  $\alpha_m N_{Ed}/100$

gdzie

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \left( 1 + \frac{1}{m} \right)}$$

W którym  $m$  jest liczbą elementów, które przenoszą obciążenie jak podano w [§ 5.3.3](#)(1). To NIE jest ta sama wartość jak zdefiniowano parametr  $m$  używany przy obliczaniu imperfekcji przechyłowych.



$$\Phi = \alpha_m \Phi_0 \quad ; \quad \Phi_0 = 1/200$$

$$2\Phi N_{Ed} = \alpha_m N_{Ed} / 100$$

Legenda:

- 1 Styki
- 2 Układ stężający

**Rysunek 4.1** Siły stężające w miejscach styków elementów ściskanych (wzięte z EN1993-1-1 Rysunek 5.7)

## 5. Zalecenia projektowe

W oparciu o podstawowe studia przedstawione w Dodatku A, można zrobić następujące proste, bezpieczne zalecenia projektowe. (Bardziej bezpośrednie stosowanie procedur zawartych w Eurokodzie 3 mogłoby zmniejszyć obliczeniowe siły imperfekcyjne do 50% w kilku okolicznościach, ale siły są w zawsze małe.)

### 5.1 Ramy stężone i niestężone

1. Przykłada się równoważne siły poziome o wartości 0,5% sił pionowych gdziekolwiek może to się zdarzyć. Tak piętra na każdym poziomie budynku będą ścinane siłą 0,5% całkowitych sił z kondygnacji powyżej. To uwzględnia wszystkie imperfekcje, które wywołują ścinanie kondygnacji.

Siły te powinny być rozważane we wszystkich istotnych kierunkach poziomych, ale rozpatruje się je osobno w każdym z rozpatrywanych kierunków.

(Zgodnie z [PN-EN 1993-1-1 § 5.3.2](#)(10), powinny być rozważone możliwe efekty skrętne układu spowodowane antysymetrycznymi przechyłami dwóch przeciwległych ścian. Ma to znaczenie jedynie tylko w budynku o bardzo małej sztywności skrętnej w poziomie, sytuacja ta jest w rzeczywistości nieprawdopodobna).

2. Sprawdzenie, czy wszystkie słupy są związane do wszystkich dołączanych belek przez minimalny nośność o wartości 1,0% z osiowej siły w słupie, tj. czy nośność połączenia belki do słupa jest przynajmniej  $0,01 N_{Ed,column}$ .

## 5.2 Dodatkowe wymagania dla ram stężonych

Należy sprawdzić, że wszystkie równoważne siły poziome w słupie mogą być przeniesione do stosownego układu stężającego. Aby spełnić ten warunek, można wykorzystać działanie przepony w płycie stropowej.

Zgodnie z [PN-EN 1993-1-1 § 5.3.3](#)(1), może być zastosowany współczynnik redukcyjny

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \left( 1 + \frac{1}{m} \right)},$$

gdzie  $m$  jest liczbą stężonych słupów.

## 5.3 Kryteria użyteczności

Jak wyjaśniono w Rozdziale 7 poniżej, użycie tych minimalnych równoważnych poziomych sił, prawdopodobnie prowadzi do tego, że konstrukcja jest podatna boczenie. W pierwszym etapie projektowania, jest to celowe do spełnienia kryteriów przemieszczeń bocznych.

## 6. Lokalne imperfekcje w analizie globalnej

Dla ram stężonych “konstrukcji prostych” (patrz [SN020](#)) o “regularnej” geometrii, nie jest konieczne zastosowanie imperfekcji łukowych w analizie globalnej, jak podano w [PN-EN 1993-1-1 § 5.3.2](#)(6), ponieważ:

- niema ścinania kondygnacji jeżeli sztywność belki wraz z połączeniem jest taka sama na każdym końcu segmentu słupa
- gdy połączenia belki do słupa są nominalnie przegubowe, sztywność belka wraz z połączeniem będzie podobna na każdym poziomie stropu
- każde ścinanie kondygnacji wynikające z różnic sztywności belki wraz z połączeniem będzie mała i nie przekroczy projektowanych sił zarówno z (i) globalnych imperfekcji przechyłowych, jak i (ii) sił pomiędzy słupami a przeponą stropu.

Nośność wybozeniową słupów powinna być sprawdzana według [PN-EN 1993-1-1 § 6.3](#).

## 7. Interakcja między odpornością na imperfekcje a stosunkiem sprężystego obciążenia krytycznego w konstrukcjach stężonych

Uprozczone zalecenia zamieszczone w Rozdziale 5 zapewniają właściwe uwzględnianie imperfekcji.

[PN-EN 1993-1-1 § 5.2.1](#) rozważa efekty deformacji geometrii na zachowanie się konstrukcji. Wyjaśnia to wpływ sprężystej niestabilności przechyłowej i definiuje warunki, w których może być używana prosta analizy pierwszego rzędu, to jest dla analizy sprężystej  $\alpha_{cr} \geq 10$ . [SN028](#) pokazuje, że  $\alpha_{cr}$  może przekraczać 10 jeżeli stężenie jest projektowane na siły

poziome ze współczynnikiem 2,5% obciążenia pionowego, o ile są ograniczone naprężenia w układzie stężającym.

Oznacza to, że:

- każda konstrukcja stężona, zaprojektowana tak, aby osiągnąć  $\alpha_{cr} \geq 10$  automatycznie spełnia wszystkie wymagania dla imperfekcji przechyłowych, imperfekcji w pionowym układzie stężającym i imperfekcji styków słupów.
- konstrukcje stężone, zaprojektowane z zastosowaniem minimalnych równoważnych sił poziomych, zdefiniowanych powyżej w Rozdziale 5, mają prawdopodobnie niski stosunek obciążenia krytycznego, prawdopodobnie mniej niż 3,0, które jest dolną granicą dla używania rozszerzonych metod przechyłowych według [PN-EN 1993-1-1 § 5.2.2\(5\)B](#).

## Dodatek A Określenie rządzących równoważnych sił poziomych

### A.1 Ograniczenie wartości równoważnych sił poziomych w analizie globalnej

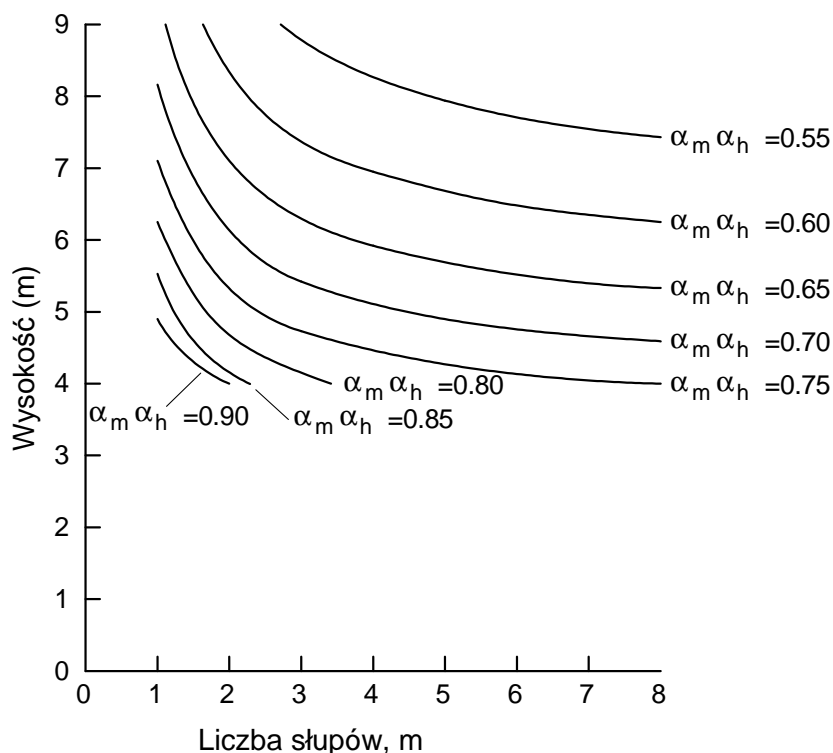
[PN-EN 1993-1-1 § 5.3.2](#) definiuje podstawowe wartości globalnych wstępnych imperfekcji przechyłowych  $\phi_0$  jako  $\frac{1}{200}$ . Podaje też współczynnik redukcyjny  $\alpha_h$  dla wysokości konstrukcji  $h$ , i współczynnik dla liczby słupów w rzędzie,  $\alpha_m$ .

Według podanych wzorów:

$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}}; \text{ ale } 2/3 \leq \alpha_h \leq 1,0$$

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \left( 1 + \frac{1}{m} \right)}$$

Rysunek A.1 przedstawia graficzną prezentację skutków tych dwóch parametrów na globalną początkową imperfekcję przechyłową  $\phi = \alpha_h \cdot \alpha_m \phi_0$ .



**Rysunek A.1** Graficzna prezentacja wartości  $\alpha_m$  i  $\alpha_h$  dla różnych wartości wysokości,  $h$ , i liczby słupów,  $m$

Można wykazać, że dla wielu rzeczywistych konstrukcji, jest osiągalna wartości  $\phi$  tak małą jak  $\frac{1}{400} = 0,0025$ . Jednak takie niskie współczynniki siły poziomej są podobno niepraktyczne:

- ❑ dla wszystkich konstrukcji prawdopodobnie prowadzi to do wartości stosunku sprężystego krytycznego obciążenia  $\alpha_{cr}$ , znacząco mniejszego niż 3, wymagając pełnej analizy drugiego rzędu i prowadzi konstrukcję do prawdopodobnego nie spełnienia kryteriów odchylenia poziomego.
- ❑ w konstrukcjach stężonych, uwzględnienie ścinania w kondygnacji od sił w stykach słupów wymaga każdorazowo współczynników przybliżających 0,5%, jak przedstawiona w następnym punkcie.

## A.2 Ścinanie kondygnacji przez siły styków słupów w ramach stężonych

Omówione w [PN-EN 1993-1-1 § 5.3.3\(4\)](#) i pokazane na Rysunek 4.1, lokalne siły  $\alpha_m N_{Ed}/100$  dają początek siłom ścinającym w układzie stężającym. Przy jednakowych wysokościach kondygnacji, siły ścinające powyżej i poniżej poziomu styku są takie same i równe  $\alpha_m N_{Ed}/200$ .

Jak ogólnie omówiono powyżej, o siłach ścinających w analizie globalnej, podstawowe imperfekcje mogą być zmniejszone przez współczynnik

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \left( 1 + \frac{1}{m} \right)}$$

gdzie  $m$  jest liczbą słupów stężanych.

Jeśli rama stężona, ma powiedzmy 20 słupów w rzędzie, to  $\alpha_m = 0,725$  daje lokalną siłę imperfekcyjną o wartości 0,725%  $N_{Ed}$ . Przy jedynie czterech słupach -  $\alpha_m = 0,79$ .

Jeśli rama stężona ma 20 słupów w rzędzie, ścinanie kondygnacji wynosiłoby następującą część pionowego obciążenia na poziomie styku.

Stosunek wysokości wyższego : niższego piętra	Obliczeniowa siła dla ramy z 20 słupami
1:1	$\frac{1}{2} 0,725 \frac{\sum N_{Ed}}{100} = 0,36\% \sum N_{Ed}$
1:1,5	$\frac{1,5}{2,5} 0,725 \frac{\sum N_{Ed}}{100} = 0,43\% \sum N_{Ed}$
1:2	$\frac{2}{3} 0,725 \frac{\sum N_{Ed}}{100} = 0,48\% \sum N_{Ed}$



Jeśli rama stężona ma 4 słupy w rzędzie, ścinanie kondygnacji wynosiłoby następującą część pionowego obciążenia na poziomie styku:

Stosunek wysokości wyższego : niższego piętra	Obliczeniowa siła dla ramy z 20 słupami
1:1	$\frac{1}{2} 0,79 \frac{\sum N_{Ed}}{100} = 0,40\% \sum N_{Ed}$
1:1,5	$\frac{1,5}{2,5} 0,79 \frac{\sum N_{Ed}}{100} = 0,47\% \sum N_{Ed}$
1:2	$\frac{2}{3} 0,79 \frac{\sum N_{Ed}}{100} = 0,53\% \sum N_{Ed}$

Ta siła ścinająca występuje na każdym poziomie, zależnie od poziomu styków. Zaznaczmy, że położenie styku można zmienić w projekcie i uszczegółwić wykonanie konstrukcji ramowej. Dlatego rozważnie byłoby zaprojektować stężenie na minimalną siłę ścinającą o wartości 0,5%  $N_{Ed}$ .

## Protokół jakości

<b>TYTUŁ ZASOBU</b>	Informacje uzupełniające: Uprozczone podejścia do wyboru równoważnych sił poziomych w globalnej analizie ramy stężonej i niestężonej		
<b>Odniesienie(a)</b>			
<b>ORYGINAŁ DOKUMENTU</b>			
	<b>Nazwisko</b>	<b>Instytucja</b>	<b>Data</b>
<b>Stworzony przez</b>	G W Owens	SCI	
<b>Zawartość techniczna sprawdzona przez</b>	C M King	SCI	
<b>Zawartość redakcyjna sprawdzona przez</b>			
<b>Techniczna zawartość zaaprobowana przez następujących partnerów STALE:</b>			
<b>1. Wielka Brytania</b>	G W Owens	SCI	23/5/06
<b>2. Francja</b>	A Bureau	CTICM	23/5/06
<b>3. Szwecja</b>	B Uppfeldt	SBI	23/5/06
<b>4. Niemcy</b>	C Müller	RWTH	23/5/06
<b>5. Hiszpania</b>	J Chica	Labein	23/5/06
<b>Zasób zatwierdzony przez Technicznego Koordynatora</b>	G W Owens	SCI	10/7/06
<b>DOKUMENT TŁUMACZONY</b>			
<b>To Tłumaczenie wykonane i sprawdzone przez:</b>	Zdzisław Pisarek		
<b>Przetłumaczony zasób zatwierdzony przez:</b>	B. Stankiewicz	PRz	

## Informacje ramowe

Tytuł*	<b>Informacje uzupełniające: Uprozczone podejścia do wyboru równoważnych sił poziomych w globalnej analizie ramy stężonej i niestężonej</b>	
Seria		
Opis*	Dokument przedstawia uproszczone, bezpieczne podejście do stosowania równoważnych sił poziomych zamiast początkowych imperfekcji przechyłowej dla globalnych chwiejnych imperfekcji nachylenia słupów między sąsiednimi piętami i stykami słupów siły stężające w ramach stężonych.	
Poziom Dostępu*	Ekspertyza	Praktyka
Identyfikatory	Nazwa pliku	D:\ACCESS_STEEL_PL\SN\SN047a-PL-EU.doc
Format	Microsoft Word 9.0; 11 Stron; 224kb;	
Kategoria*	Typ zasobu	Informacje uzupełniające
	Punkt widzenia	Inżynier
Przedmiot*	Obszar zastosowań(a)	Budynki wielokondygnacyjne
Daty	Data utworzona	14/04/2009
	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*	budynki wielokondygnacyjne, projektowanie konstrukcji ramowych, stateczność przechyłowa, ramy przechyłowe	
Zobacz Też	Odniesienie do Eurokodu	
	Przykład(y) obliczeniowe	
	Komentarz	
	Dyskusja	
	Inny	
Omówienie	Narodowa Przydatność	EU
<b>Szczególne Instrukcje</b>		