

## Informacje uzupełniające: Sztywność podstaw słupów w analizie globalnej

*Ten dokument przedstawia szczegółową klasyfikację doczołowych podstaw słupów, określanie ich sztywności obrotowej i zalecenia dla analizy konstrukcji.*

### Spis treści

1.	Wprowadzenie	2
2.	Klasyfikacja ze względu na sztywność	2
3.	Podejście empiryczne	4
4.	Określenie sztywności podstaw słupów	6
5.	Zaawansowne projektowanie interakcji podłoże - fundament	8
6.	Bibliografia	8

## 1. Wprowadzenie

Na charakterystykę moment – obrót podstaw słupów mają wpływ:

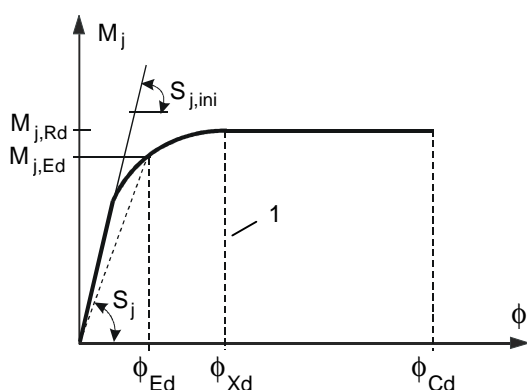
- Blacha podstawy
- Sztywność fundamentu
- Interakcja podłoże - fundament
- Zachowanie się podłoża

Niektóre z tych czynników są trudne do określenia, a niektóre są poza wiedzą i wpływem projektanta konstrukcji stalowych, np. zachowanie się podłoża.

Po ogólnej dyskusji na temat klasyfikacji połączeń, dokument ten przedstawia trzy podejścia dla określania wartości sztywności podstaw słupów, stosowanej w analizie globalnej. Pierwsze, podejście empiryczne, przewiduje prosty bezpieczny sposób poznawania, że praktycznie wszystkie układy podstaw słupów mają w praktyce pewną sztywność obrotową. Druga podejście, przedstawia bardziej szczegółową analizę odpowiedzi podstawy słupa konstrukcji stalowej. Trzecie podejście, bierze pod uwagę interakcję między fundamentem, a otaczającym go gruntem.

## 2. Klasyfikacja ze względu na sztywność

Do analizy globalnej, muszą być wzięte pod uwagę efekty wpływu zachowania się połączeń na rozkład sił i momentów wewnętrznych w konstrukcji, oraz na całkowite odkształcenia konstrukcji. Informacja o zachowaniu się połączenia jest podana przez jego projektowaną charakterystykę moment – obrót, pokazaną na Rysunek 2.1.



Legenda: 1 = Ograniczenie dla  $S_j$  [1]

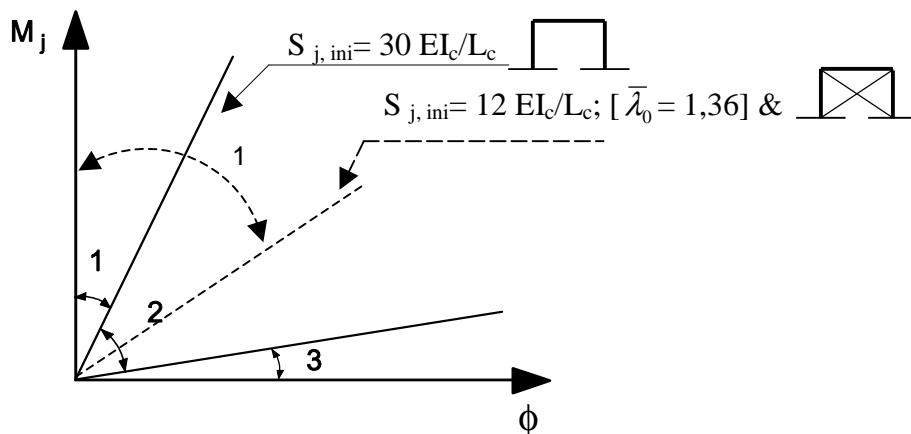
**Rysunek 2.1** Projektowana charakterystyka moment - obrót

Definicja symboli i wielkości związanych ze sztywnością podstaw słupów przedstawione na projektowanej charakterystyce moment – obrót (Rysunek 2.1) są opisane poniżej:

- $S_j$  : sztywność obrotowa, jest sztywnością sieczną jak podano na Rysunek 2.1. Dla projektowanej charakterystyki moment-obrót, sztywność  $S_j$  jest stosowana tylko do obrotu o wartości  $\phi_{Xd}$  przy którym  $M_{j,Ed}$  pierwszy raz osiąga wartość  $M_{j,Rd}$ .

- $S_{j,ini}$  : początkowa sztywność obrotowa, jest pochyleniem charakterystyki moment-obrót w zakresie sprężystym, patrz Rysunek 2.1

Podstawy słupów mogą być klasyfikowane według ich sztywności obrotowej na sztywne, nominalnie przegubowe lub półsztywne, przez porównanie ich początkowej sztywności obrotowej by  $S_{j,ini}$  z granicami klasyfikacji, patrz Rysunek 2.2.



Legenda: 1 = Sztywne; 2 = Półsztywne; 3 = Nominalnie przegubowe

**Rysunek 2.2 Klasyfikacja ze względu na sztywność [3]**

[PN-EN 1993-1-8§5.2.2.5\(2\)](#) aby podstawy słupów były sklasyfikowane jako sztywne muszą spełnić następujące warunki:

- w ramach, gdzie system stężający zmniejsza poziome przemieszczenia przynajmniej o 80 % i gdzie skutki tych przemieszczeń mogą być zanedbane:
  - jeżeli  $\bar{\lambda}_0 \leq 0,5$ ;
  - jeżeli  $0,5 < \bar{\lambda}_0 < 3,93$  i  $S_{j,ini} \geq 7(2\bar{\lambda}_0 - 1) EI_c / L_c$ ;
  - jeżeli  $\bar{\lambda}_0 \geq 3,93$  i  $S_{j,ini} \geq 48 EI_c / L_c (*)$
- w innym przypadku, jeżeli  $S_{j,ini} \geq 30 EI_c / L_c$

gdzie:

$\bar{\lambda}_0$  jest smukłością względną słupa, którego obydwie końce przyjmuje się jako przegubowe;

$I_c$  jest momentem bezwładności przekroju słupa;

$L_c$  jest wysokością słupa rozpatrywanej kondygnacji.

Granica (\*) jest bezpiecznym przybliżeniem i może być stosowana dla wszystkich słupów. Ograniczenie sztywności do  $12 EI_c / L_c$  może być używane w ramach stężonych dla słupów o smukłości względnej mniejszej niż  $\bar{\lambda}_0 = 1,36$  [3], patrz Rysunek 2.2.

Podobnie, mogą być definiowane warunki do klasyfikacji podstaw słupów jako połączenia przegubowe. Jednak jest prawdopodobne, że niewiele podstaw słupów ma tak małą sztywność początkową. Nominalnie przegubowa podstawa słupa powinna być zdolna do przenoszenia sił wewnętrznych bez wywoływania znacznych momentów, które mogłyby

niekorzystnie oddziaływać na elementy lub na konstrukcję jako całość. Powinna mieć również wystarczającą zdolność do obrotu pod obciążeniem obliczeniowym. W praktyce podstawa słupa mająca większą sztywność początkową może być uważana jako połączenie przegubowe, tak długo jak długo są spełnione wcześniej podane warunki.

Półsztywne podstawy słupów to takie, które nie spełniają kryteriów aby je sklasyfikować jako sztywne albo nominalnie przegubowe. Jednak, biorąc pod uwagę poprzednie rozważania dotyczące połączeń przegubowych, najczęściej podstaw słupów, które nie są sztywne będzie traktowanych jako półsztywne.



(a)



(b)

**Rysunek 2.3** (a) *Nominalnie przegubowa podstawa słupa* i (b) *sztywna podstawa słupa z żebrami*

**UWAGA:** Użycie żeber dla usztywnienia blachy podstawy słupa jest ekonomiczne dla niewielkich słupów, ale użycie grubszej nieusztywnionej blachy podstawy prowadzi do opłacalnych rozwiązań przez zmniejszanie kosztów produkcji.

### 3. Podejście empiryczne

Przy braku szczegółowej wiedzy na temat sztywności podstawy słupa, projektowanie może być oparte na następujących założeniach [2]:

#### 3.1 Nominalnie przegubowe podstawy słupów

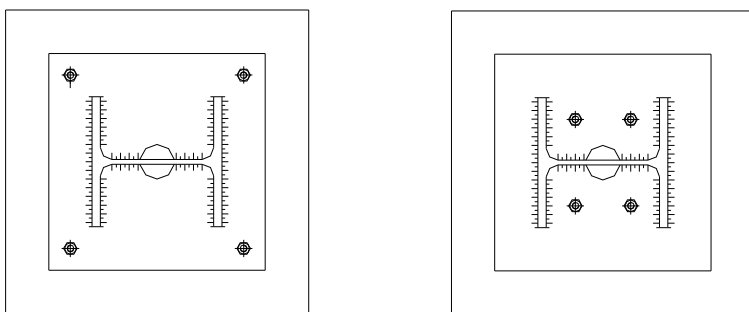
Sztywność podstawy słupa na sworzeń lub łożysko powinna być przyjmowana jako zero.

Jeżeli słup jest nominalnie przegubowo – połączony z fundamentem, który jest obliczeniowo przyjęty, że moment podporowy wynosi zero, połączenie powinno być tak przyjęte aby być przegubem podczas używania sprężystej analizy globalnej do obliczania innych sił i momentów wewnętrznych w ramie od obciążeń stanu granicznego nośności.

Sztywność podstawy słupa może być przyjęta jako równa następującej części sztywności słupa:

- 10% podczas sprawdzania stateczności ramy albo określania długości efektywnych w płaszczyźnie ramy.
- 20% podczas obliczania odkształceń pod obciążeniem charakterystycznym.

**UWAGA:** Płytkowe podstawy słupów z cienką blachą podstawy i czterema śrubami są uważane w niektórych krajach, np. Szwecji, jako przegubowe, jeżeli mają wystarczającą zdolność do odkształceń, chociaż faktycznie zachowują się jak połączenia półsztywne.



*Rysunek 3.1 Przykłady nominalnie przegubowych podstaw słupów.*

## 3.2 Nominalnie sztywne podstawy słupów

Jeżeli słup jest sztywno połączony do odpowiedniego fundamentu, powinny być przyjęte następujące zalecenia:

Globalna analiza sprężysta:

Obliczenia stanu granicznego nośności: sztywność podstawy słupa jest równa sztywności przekroju słupa.

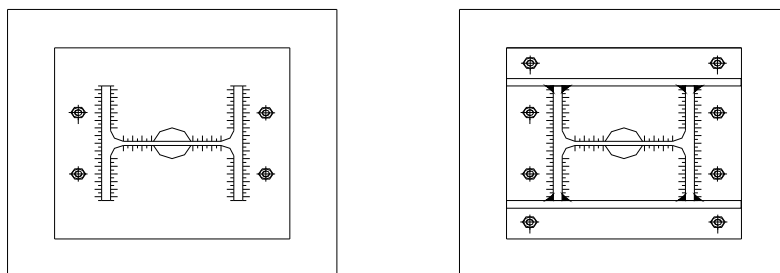
Obliczenia stanu granicznego użyteczności: podstawa słupa jest traktowana jako sztywna do określenia odkształceń od obciążeń charakterystycznych.

Globalna analiza plastyczna:

Może być przyjęta każda nośność na zginanie podstawy słupa od wartości zero do plastycznej nośności przekroju słupa, pod warunkiem że fundament jest zaprojektowany do przeniesienia momentu o przyjętej wartości, razem z siłami wewnętrznymi otrzymanymi od analizy.

Globalna analiza sprężysto-plastyczna:

Przyjęta sztywność podstawy słupa musi być zgodna z przyjętą nośnością na zginanie, ale nie powinna przewyższać sztywności przekroju słupa.



*Rysunek 3.2 Przykłady nominalnie sztywnych podstaw słupów*

### 3.3 Nominalnie półsztywne podstawy słupów

Nominalna sztywność podstawy słupa, aż do 20 % sztywności słupa, może być przyjęta w sprężystej analizie globalnej, pod warunkiem, że fundament jest zaprojektowany na siły i momenty wewnętrzne otrzymane z tej analizy.

## 4. Określenie sztywności podstaw słupów

### 4.1 Procedura obliczeniowa według Eurokodu

Procedura podana w 1993-1-8 EN nie obejmuje wpływów podłoża i fundamentu. Wytyczne do obliczenia interakcji pomiędzy konstrukcją a podłożem jest podane w 1997 EN.

Określenie sztywności podstaw słupów może być obliczone przy użyciu metody podanej w [PN-EN 1993-1-8 §6.3.4](#):

$$S_j = \frac{E z^2}{\mu(1/k_{T,1} + 1/k_{C,r})} \frac{e}{e + e_k}$$

gdzie:

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} = \frac{M_{Rd}}{N_{Rd}}$$

$e_k$  określone zależnie od rodzaju obciążenia (patrz [Tablica 6.11](#) i [Tablica 6.12](#) normy PN-EN 1993-1-8)

$k_T$  i  $k_C$  współczynniki sztywności podstawowych części składowych węzła (patrz [Tablica 6.11](#) i [Tablica 6.12](#) normy EN 1993-1-8);

$z$  ramię dźwigni, patrz Rysunek 4.1;

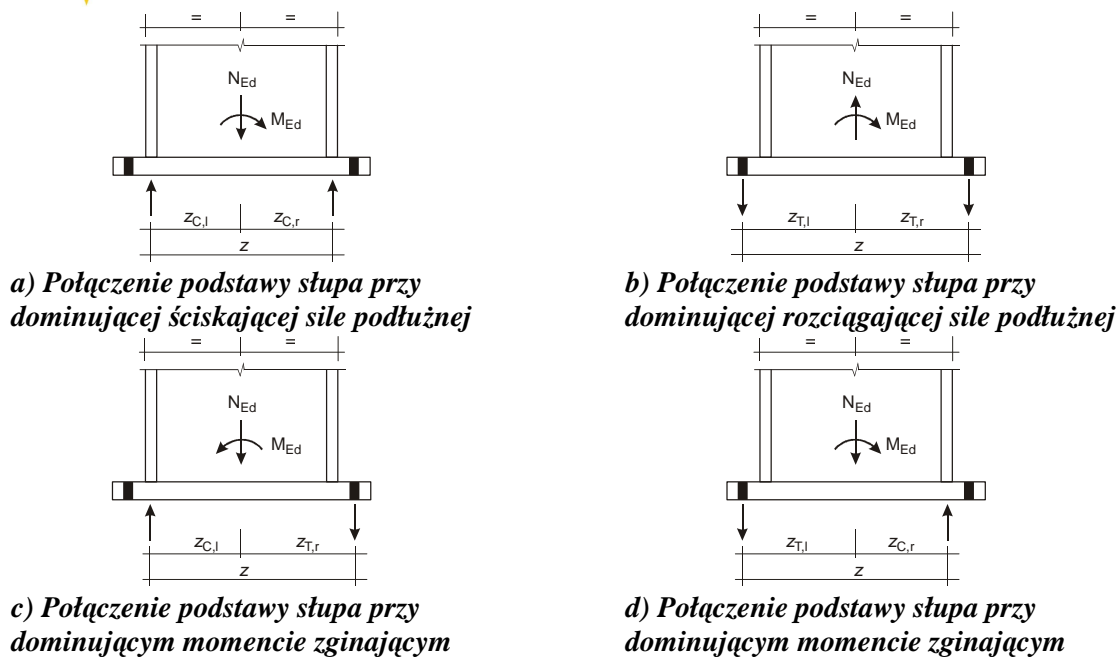
$\mu$  stosunek sztywności  $S_{j,ini}/S_j$  :

– jeżeli  $M_{j,Ed} \leq 2/3 M_{j,Rd}$ :

$$\mu = 1$$

– jeżeli  $2/3 M_{j,Rd} < M_{j,Ed} \leq M_{j,Rd}$ :

$$\mu = (1,5 M_{j,Ed} / M_{j,Rd})^\Psi; \text{ dla połączeń podstaw słupów } \Psi = 2,7$$



Rysunek 4.1 Określenie ramienia dźwigni  $z$  w połączeniach podstaw słupów [1]

## 4.2 Wzory do projektowania wstępnego

Do projektowania wstępnego, mogą być przyjęte następujące wzory przedstawione w [Steenhuis, 1999] & [3].

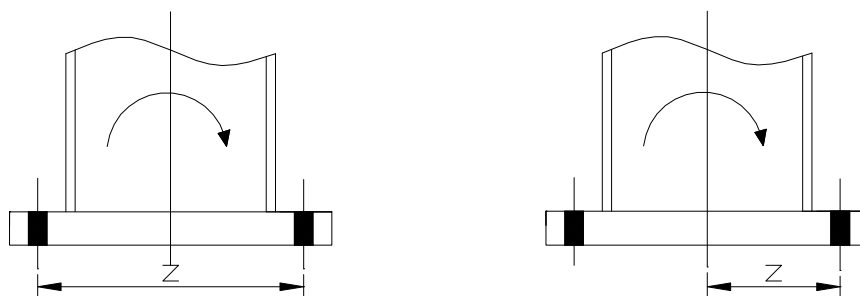
Oszacowanie sztywności połączenia oparte jest o najbliższą część składową.

- Sztywność obrotowa połączenia podstawy słupa

$$S_{j,ini} = \frac{E z^2 t_{fc}}{20}$$

$t_{fc}$  grubość płyty podstawy.

$r$  ramię dźwigni, tj. odległość między śrubą kotwiącą a pasem ściskany patrz Rysunek 4.1.



Rysunek 4.2 Określenie ramienia dźwigni

## 5. Zaawansowane projektowanie interakcji podłoże - fundament

We wprowadzeniu tego dokumentu, było podane, że charakterystyka moment – obrót podstawy słupa zależy od blachy podstawy, sztywności fundamentu, interakcji podłoże – fundament, oraz zachowania się podłoża gruntowego.

Chociaż dwa ostatnie problemy mogłyby być dalekie od wpływu i wiedzy projektanta konstrukcji stalowych, czasami może być to konieczne aby określić obrót podstawy słupa. Dlatego przedstawiono następujący wzór do obliczania obrotu stopy na sprężystym podłożu [4]:

$$\tan \theta = \frac{1 - \mu^2}{E_s} \cdot \frac{M}{B^2 L} \cdot I_\theta$$

$\theta$  obrót podstawy słupa

$\mu$  parametr podłoża: współczynnik Poissona

$E_s$  parametr podłoża: moduł sprężystości

$I_\theta$  parametr fundamentu: moment bezwładności

$B, L$  parametr fundamentu: najmniejszy boczny wymiar i długość

## 6. Bibliografia

- 1 EN 1993 1-8: 2005  
*Eurocode 3: Design of steel structures. Part 1.8: Design of joints.* CEN
- 2 BS 5950 - 1: 2000, *Structural use of steelwork in building. Code of practice for design. Rolled and welded sections*, BSI 2000.
- 3 CESTRUCO  
*Continuing Education in Structural Connections* ([www.fsv.cvut.cz/cestruco](http://www.fsv.cvut.cz/cestruco)). Project funded by European Commission Leonardo da Vinci programme.
- 4 *Foundation analysis and design 5th edition*  
J E Bowles. McGraw-Hill International Editions. Civil Engineering Series



## Protokół jakości

<b>TYTUŁ ZASOBU</b>	Informacje uzupełniające: Sztywność podstaw słupów w analizie globalnej		
<b>Odniesienie(a)</b>			
<b>ORYGINAŁ DOKUMENTU</b>			
	<b>Nazwisko</b>	<b>Instytucja</b>	<b>Data</b>
<b>Stworzony przez</b>	José A. Chica	LABEIN	
<b>Zawartość techniczna sprawdzona przez</b>	Franciso Rey	LABEIN	
<b>Zawartość redakcyjna sprawdzona przez</b>			
<b>Techniczna zawartość zaaprobowana przez następujących partnerów STALE:</b>			
<b>1. Wielka Brytania</b>	G W Owens	SCI	7/4/06
<b>2. Francja</b>	A Bureau	CTICM	7/4/06
<b>3. Szwecja</b>	B Uppfeldt	SBI	7/4/06
<b>4. Niemcy</b>	C Müller	RWTH	7/4/06
<b>5. Hiszpania</b>	J Chica	Labein	7/4/06
<b>Zasób zatwierdzony przez Technicznego Koordynatora</b>	G W Owens	SCI	18/8/06
<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: Sztywność podstaw słupów w analizie globalnej</b>	
Seria		
Opis*	Ten dokument przedstawia szczegółową klasyfikację doczołowych podstaw słupów, określanie ich sztywności obrotowej i zalecenia dla analizy konstrukcji.	
Poziom Dostępu*	Ekspertyza	Praktyka
Identyfikatory	Nazwa pliku	D:\ACCESS_STEEL_PL\SN\SN045a-PL-EU.doc
Format		Microsoft Word 9.0; 10 Stron; 1503kb;
Kategoria*	Typ zasobu	Informacje uzupełniające
	Punkt widzenia	Inżynier
Przedmiot*	Obszar zastosowań(a)	Budynki jednokondygnacyjne
Daty	Data utworzona	13/04/2009
	Data ostatniej modyfikacji	
	Data sprawdzenia	
	Ważny Od	
	Ważny Do	
Język(i)*		Polski
Kontakty	Autor	José A. Chica, LABEIN
	Sprawdzony przez	Franciso Rey, LABEIN
	Zatwierdzony przez	
	Redaktor	
	Ostatnio modyfikowany przez	
Słowa kluczowe*	Podstawy słupów, sztywność, interakcja podłoże-fundament	
Zobacz Też	Odniesienie do Eurokodu	EN 1993 1-8:2005
	Przykład(y) obliczeniowe	
	Komentarz	
	Dyskusja	
	Inny	
Omówienie	Narodowa Przydatność	EU
<b>Szczególne Instrukcje</b>		