

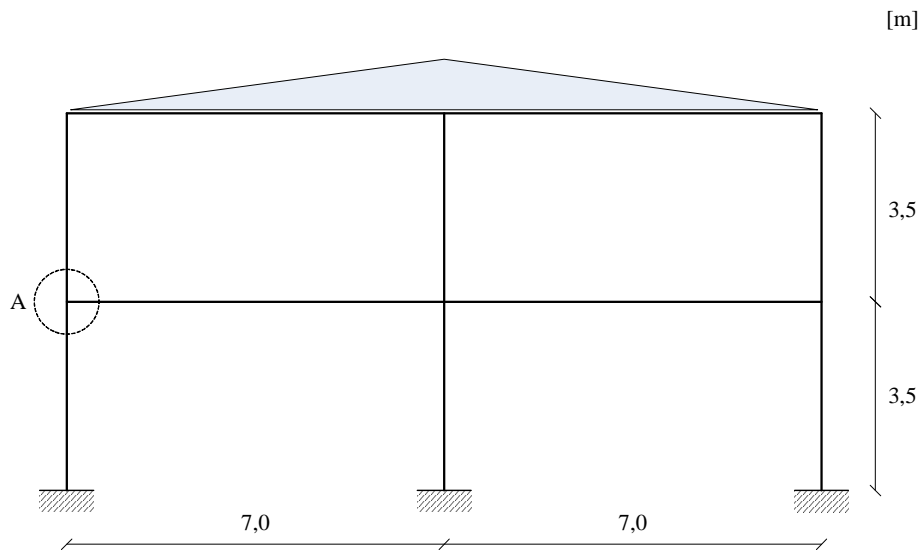
Document Ref:	SX008a-EN-EU	Sheet	1	of	9
Title	Przykład: Stateczność ramy na przechył				
Eurocode Ref	EN 1993-1-1				
Made by	Jonas Gozzi	Date	April 2005		
Checked by	Bernt Johansson	Date	July 2005		



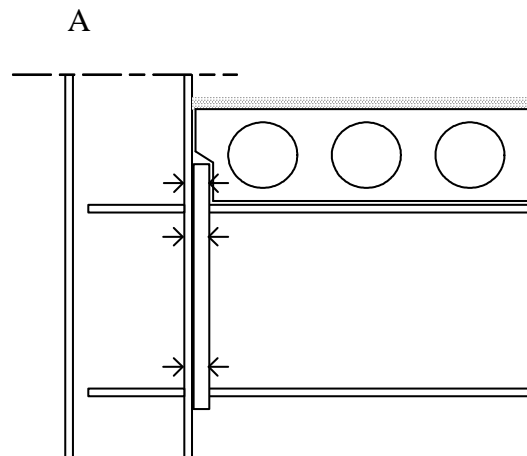
Przykład: Stateczność ramy na przechył


Przykład dotyczy projektowania ram narażonych na przechył. Rozważanym układem jest rama niestężona budynku dwukondygnacyjnego.


W przykładzie rozpatrzono budynek dwukondygnacyjny, o schemacie pokazanym poniżej. Rozstaw ram w kierunku podłużnym wynosi $s = 10$ m.



Połączenia w ramie zaprojektowano jako sztywne, zgodnie z poniższym rysunkiem.



CALCULATION SHEET 	Document Ref:	<i>SX008a-EN-EU</i>	Sheet	2	of	9
	Title	<i>Przykład: Stateczność ramy na przechył</i>				
	Eurocode Ref	<i>EN 1993-1-1</i>				
	Made by	<i>Jonas Gozzi</i>	Date	<i>April 2005</i>		
	Checked by	<i>Bernt Johansson</i>	Date	<i>July 2005</i>		
<p><u>Dane dotyczące ramy:</u></p> <p>Słupy skrajne HEA 200 S355</p> <p style="padding-left: 40px;">Moment bezwładności przekroju $I_y = 3692 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$</p> <p>Słup wewnętrzny HEA 220 S355</p> <p style="padding-left: 40px;">Moment bezwładności przekroju $I_y = 5410 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$</p> <p>Belki górne IPE 400 S355</p> <p style="padding-left: 40px;">Moment bezwładności przekroju $I_y = 23130 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$</p> <p>Belki dolne IPE 450 S355</p> <p style="padding-left: 40px;">Moment bezwładności przekroju $I_y = 33740 \cdot 10^4 \text{ mm}^4$</p> <p><u>Obciążenia:</u></p> <p>Rozważono działanie następujących obciążeń:</p> <p>Obciążenia stałe:</p> <p style="padding-left: 40px;">Ciężar płyty $g_{\text{slab}} = 4,0 \text{ kN/m}^2$</p> <p style="padding-left: 40px;">Ciężar warstw wykończeniowych $g_{\text{ffin}} = 0,8 \text{ kN/m}^2$</p> <p style="padding-left: 40px;">Ciężar konstrukcji stalowej $g_s = 0,3 \text{ kN/m}^2$</p> <p style="padding-left: 40px;">Ciężar ścian działowych $g_w = 0,5 \text{ kN/m}^2$</p> <p style="padding-left: 40px;">Ciężar stropu podwieszonego $g_{\text{sc}} = 0,2 \text{ kN/m}^2$</p> <p style="padding-left: 40px;">Ciężar instalacji $g_i = 0,2 \text{ kN/m}^2$</p> <p style="padding-left: 40px;">Ciężar dachu, wraz z izolacją $g_{\text{roof}} = 0,4 \text{ kN/m}^2$</p> <p>Obciążenia zmienne:</p> <p style="padding-left: 40px;">Obciążenie użytkowe $q = 2,5 \text{ kN/m}^2$</p> <p style="padding-left: 40px;">Śnieg $q_{\text{snow}} = 1,0 \text{ kN/m}^2$</p> <p style="padding-left: 40px;">Wiatr (od nawietrznej) $q_{\text{wind1}} = 0,5 \cdot 0,75 = 0,375 \text{ kN/m}^2$</p> <p style="padding-left: 40px;">Wiatr (od zawietrznej) $q_{\text{wind2}} = 0,5 \cdot 0,4 = 0,2 \text{ kN/m}^2$</p> <p>Współczynniki częściowe oddziaływań:</p> <ul style="list-style-type: none"> • $\gamma_G = 1,35$ (oddziaływania stałe) • $\gamma_Q = 1,5$ (oddziaływania zmienne) • $\psi_0 = 0,7$ (współczynnik dla wartości kombinacyjnej: obciążenie użytkowe i śnieg) 						
						PN-EN 1990

CALCULATION SHEET 	Document Ref:	<i>SX008a-EN-EU</i>	Sheet	3 of 9	
	Title	<i>Przykład: Stateczność ramy na przechył</i>			
	Eurocode Ref	<i>EN 1993-1-1</i>			
	Made by	<i>Jonas Gozzi</i>	Date	<i>April 2005</i>	
	Checked by	<i>Bernt Johansson</i>	Date	<i>July 2005</i>	

Obciążenia obliczeniowe:

Obciążenia obliczeniowe wyznaczono przyjmując obciążenie wiatrem jako wiodące oddziaływanie zmienne.

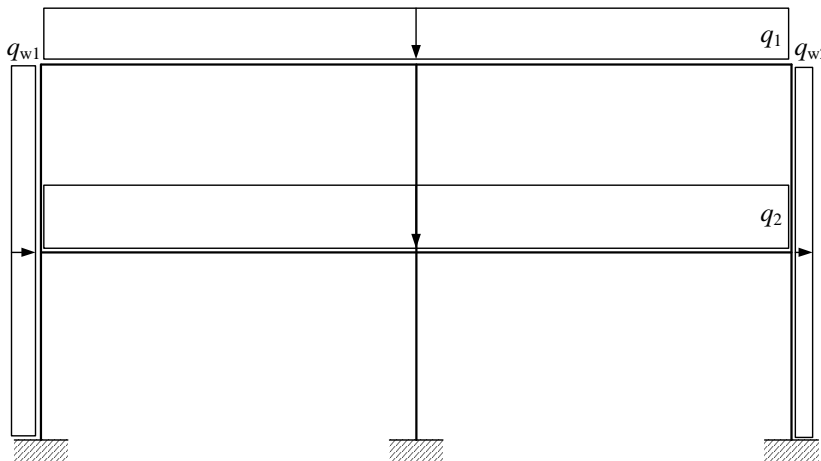
$$q_1 = (\gamma_G \cdot (g_{\text{roof}} + g_{\text{slab}} + g_s + g_1 + g_{\text{sc}}) + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot q_{\text{snow}}) \cdot s = 82,1 \text{ kN/m}$$

$$q_2 = (\gamma_G \cdot (g_{\text{ffin}} + g_w + g_{\text{slab}} + g_s + g_1 + g_{\text{sc}}) + \gamma_Q \cdot \psi_0 \cdot q) \cdot s = 107,3 \text{ kN/m}$$

$$q_{w1} = 1,5 \cdot q_{\text{wind1}} \cdot s = 5,6 \text{ kN/m}$$

$$q_{w2} = 1,5 \cdot q_{\text{wind2}} \cdot s = 3,0 \text{ kN/m}$$

Na rysunku poniżej pokazano ramę z układem obciążeń obliczeniowych.



Sprawdzenie, czy imperfekcja przechyłowa może zostać pominięta.

$$H_{\text{Ed}} \geq 0,15 \cdot V_{\text{Ed}}$$

$$H_{\text{Ed}} = (q_{w1} + q_{w2}) \cdot h = (5,6 + 3,0) \cdot 7 = 60,2 \text{ kN}$$

$$V_{\text{Ed}} = (q_1 + q_2) \cdot L = (82,1 + 107,3) \cdot 14 = 2651,6 \text{ kN}$$

$$H_{\text{Ed}} = 60,2 < 0,15 \cdot 2651,6 = 398 = 0,15 \cdot V_{\text{Ed}}$$

Wpływ imperfekcji przechyłowej należy uwzględnić. .

PN-EN1990


[§6.4.3.2](#)

(6.10)

PN-EN

1993-1-1

[§5.3.2](#) (4)B

CALCULATION SHEET 	Document Ref:	<i>SX008a-EN-EU</i>	Sheet	4 of 9
	Title	<i>Przykład: Stateczność ramy na przechył</i>		
	Eurocode Ref	<i>EN 1993-1-1</i>		
	Made by	<i>Jonas Gozzi</i>	Date	<i>April 2005</i>
	Checked by	<i>Bernt Johansson</i>	Date	<i>July 2005</i>

Obliczenie globalnej wstępnej imperfekcji przechyłowej.

$$\phi = \phi_0 \cdot \alpha_h \cdot \alpha_m$$

$$\phi_0 = \frac{1}{200}$$

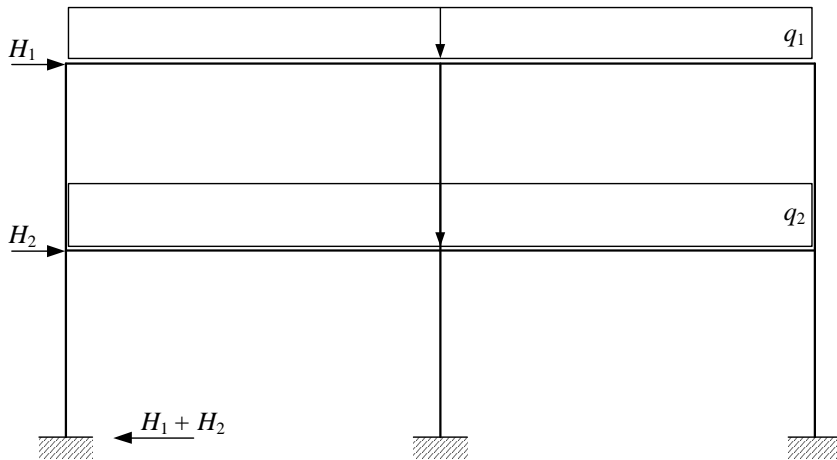
$$\alpha_h = \frac{2}{\sqrt{h}} \quad \text{gdzie } h \text{ jest wysokością konstrukcji w metrach}$$

$$\alpha_m = \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{m}\right)} \quad \text{gdzie } m \text{ jest liczbą słupów w rzędzie}$$

$$\phi = \frac{1}{200} \cdot \frac{2}{\sqrt{7,0}} \cdot \sqrt{0,5 \cdot \left(1 + \frac{1}{3}\right)} = 3,09 \cdot 10^{-3}$$

PN-EN
1993-1-1
[§5.3.2](#) (3)


Obliczenie równoważnych sił poziomych H_1 oraz H_2 , zastępujących imperfekcję przechyłową:



$$H_1 = \phi \cdot q_1 \cdot L = 3,09 \cdot 10^{-3} \cdot 82,1 \cdot 14 = 3,55 \text{ kN}$$

$$H_2 = \phi \cdot q_2 \cdot L = 3,09 \cdot 10^{-3} \cdot 107,3 \cdot 14 = 4,64 \text{ kN}$$

PN-EN
1993-1-1
[§5.3.2](#) (7)

CALCULATION SHEET 	Document Ref:	<i>SX008a-EN-EU</i>	Sheet	<i>5</i>	of	<i>9</i>
	Title	<i>Przykład: Stateczność ramy na przechył</i>				
	Eurocode Ref	<i>EN 1993-1-1</i>				
	Made by	<i>Jonas Gozzi</i>	Date	<i>April 2005</i>		
	Checked by	<i>Bernt Johansson</i>	Date	<i>July 2005</i>		

Określenie mnożnika obciążenia krytycznego α_{cr} :

Istnieje kilka metod obliczenia α_{cr} . Jedną z nich jest zastosowanie procedury podanej w PN-EN 1993-1-1 §5.2.1 (4)B, co opisano poniżej. Inną metodą jest wykonanie analizy wyboczeniowej przy użyciu pakietu metody elementów skończonych. Tę metodę również opisano i zastosowano w dalszej części zadania. Wpływ deformacji od przechyłu może zostać pominięty, jeśli spełnione jest kryterium.

$$\alpha_{cr} = \frac{F_{cr}}{F_{Ed}} \geq 10$$

Sprawdzenie wrażliwości na przechył dla każdej kondygnacji:

$$\alpha_{cr} = \left(\frac{H_{Ed}}{V_{Ed}} \right) \left(\frac{h}{\delta_{H,Ed}} \right)$$

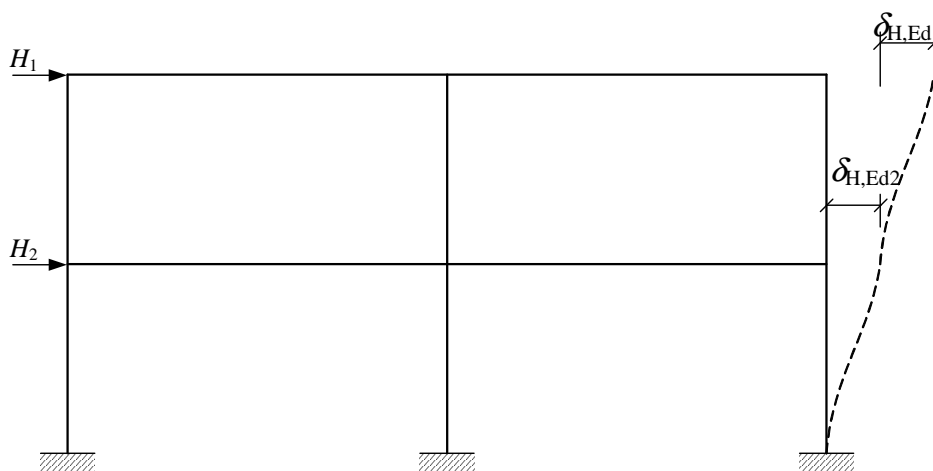
H_{Ed} jest siłą poziomą. W tym przykładzie jako siłę poziomą zastosowano jedynie zastępczą siłę poziomą.

V_{Ed} jest sumarycznym obliczeniowym obciążeniem pionowym konstrukcji u dołu kondygnacji.

$\delta_{H,Ed}$ jest przemieszczeniem poziomym góry kondygnacji, wywołane wszystkimi obciążeniami poziomymi.

h jest wysokością kondygnacji.

Przemieszczenie każdej kondygnacji wywołane równoważnymi siłami poziomymi obliczono przy użyciu programu komputerowego do analizy ram. Przemieszczenia $\delta_{H,Ed1}$ oraz $\delta_{H,Ed2}$ pokazano na rysunku poniżej.



$$\delta_{H,Ed1} = 0,69 \text{ mm}$$

$$\delta_{H,Ed2} = 1,23 \text{ mm}$$

Patrz NCCI
[SN001](#)

PN-EN
1993-1-1
§[5.2.1](#) (3)

PN-EN
1993-1-1
§[5.2.1](#)

równanie
(5.2)

Patrz NCCI
[SN001](#)

PN-EN
1993-1-1
Rys. 5.1

Document Ref:	<i>SX008a-EN-EU</i>	Sheet	6 of 9
Title	<i>Przykład: Stateczność ramy na przechył</i>		
Eurocode Ref	<i>EN 1993-1-1</i>		
Made by	<i>Jonas Gozzi</i>	Date	<i>April 2005</i>
Checked by	<i>Bernt Johansson</i>	Date	<i>July 2005</i>



Sumaryczne obciążenie pionowe na kondygnacjach:

$$V_{Ed1} = q_1 \cdot L = 82,1 \cdot 14 = 1149,4 \text{ kN}$$

$$V_{Ed2} = q_2 \cdot L = 107,3 \cdot 14 = 1502,2 \text{ kN}$$

Współczynnik α_{cr} kondygnacji wyższej:

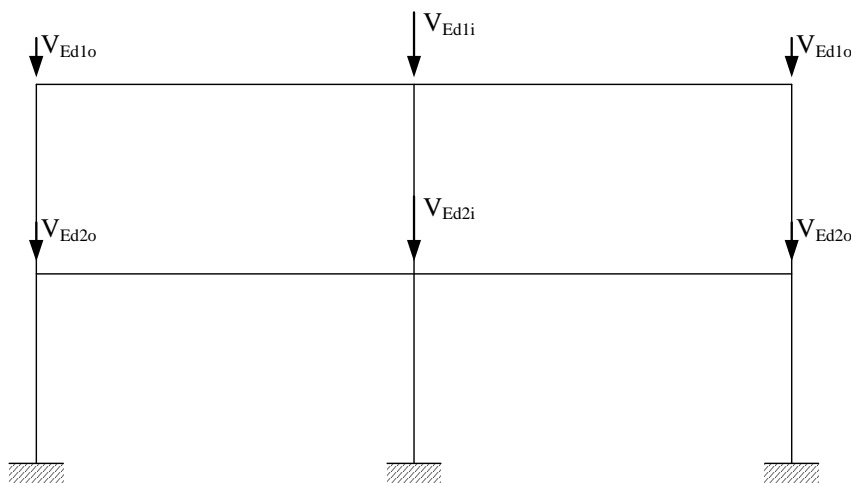
$$\alpha_{cr} = \left(\frac{H_1}{V_{Ed1}} \right) \left(\frac{h}{\delta_{H,Ed1}} \right) = \left(\frac{3,55}{1149,4} \right) \left(\frac{3500}{0,69} \right) = 15,66 > 10$$

Współczynnik α_{cr} kondygnacji niższej:

$$\alpha_{cr} = \left(\frac{H_1 + H_2}{V_{Ed1} + V_{Ed2}} \right) \left(\frac{h}{\delta_{H,Ed2}} \right) = \left(\frac{3,55 + 4,64}{1149,4 + 1502,2} \right) \left(\frac{3500}{1,23} \right) = 8,79 < 10$$

Przechyłowe efekty drugiego rzędu nie mogą zostać pominięte przy projektowaniu rozpatrywanej ramy.


Drugą, alternatywną metodą jest wyznaczenie mnożnika obciążenia krytycznego α_{cr} przy użyciu programu metody elementów skończonych. W tym wypadku rozważono jedynie działanie obciążenia pionowego, w postaci sił skupionych działających w węzłach ramy, jak pokazano to na rysunku poniżej.



Z analizy wyboczeniowej wartość współczynnika obciążenia krytycznego można otrzymać bezpośrednio.

$$\alpha_{cr} = 7,51 < 10$$

Jak widać, przechyłowe efekty drugiego rzędu nie mogą zostać pominięte.

CALCULATION SHEET 	Document Ref:	<i>SX008a-EN-EU</i>	Sheet	<i>7</i> of <i>9</i>
	Title	<i>Przykład: Stateczność ramy na przechył</i>		
	Eurocode Ref	<i>EN 1993-1-1</i>		
	Made by	<i>Jonas Gozzi</i>	Date	<i>April 2005</i>
	Checked by	<i>Bernt Johansson</i>	Date	<i>July 2005</i>

Można zauważyć, że różne metody prowadzą do nieco odmiennych wyników. Analiza za pomocą metody elementów skończonych powinna zwykle dać najbardziej prawidłowe wyniki, natomiast równanie z PN-EN 1993-1-1 należy traktować jako uproszczenie. Daje ono konserwatywne oszacowania, ponieważ przy stałym przekroju poprzecznym słupa jego część w kondygnacji górnej jest mniej obciążona w porównaniu do części znajdującej się w kondygnacji dolnej. Jednak, przy dużych wartościach mnożnika α_{cr} , wpływ na jego wartość od przechyłu ramy jest niewielki. W rozpatrywanym przykładzie rozpatrywano dalej wartość α_{cr} otrzymaną z analizy wyboczeniowej przeprowadzonej za pomocą MES-u.

Określenie, czy należy uwzględnić lokalne imperfekcje łukowe

Lokalne imperfekcje łukowe zaleca się wprowadzać, gdy zachodzą następujące okoliczności:

- co najmniej jeden węzeł elementu przenosi moment, oraz
- $\bar{\lambda} > 0,5 \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{Ed}}}$

gdzie

N_{Ed} jest obliczeniową wartością siły ściskającej

$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}}$ jest względna smukłością elementu w płaszczyźnie ramy, przy założeniu przegubów na jego końcach


Warunek powyższy może zostać przekształcony do postaci:

$$\sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{cr}}} > 0,5 \sqrt{\frac{A \cdot f_y}{N_{Ed}}}$$

$$N_{Ed} > 0,25 \cdot N_{cr}$$

PN-EN
1993-1-1
§[5.3.2](#)(6)

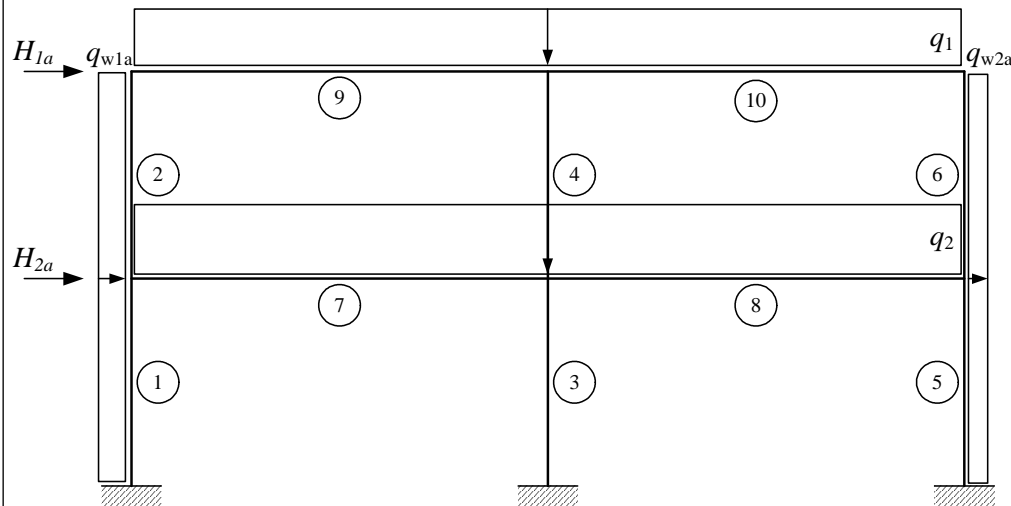
PN-EN
1993-1-1
§[6.3.1.2](#)(1)

<p>CALCULATION SHEET</p> 	Document Ref:	<i>SX008a-EN-EU</i>	Sheet	<i>8</i>	of	<i>9</i>
	Title	<i>Przykład: Stateczność ramy na przechył</i>				
	Eurocode Ref	<i>EN 1993-1-1</i>				
	Made by	<i>Jonas Gozzi</i>	Date	<i>April 2005</i>		
	Checked by	<i>Bernt Johansson</i>	Date	<i>July 2005</i>		
<p>Siła krytyczna dla słupów, zakładając przegubowe podparcie na ich końcach wynosi:</p> <p>Słupy skrajne, HEA 200</p> $N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{l^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 3692 \cdot 10^4}{3500^2} = 6247 \text{ kN}$ <p>Słup wewnętrzny, HEA 220</p> $N_{cr} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{l^2} = \frac{\pi^2 \cdot 210000 \cdot 5410 \cdot 10^4}{3500^2} = 9153 \text{ kN}$ <p>Elementem przenoszącym największą siłę podłużną jest słup środkowy i skrajny, w kondygnacji dolnej.</p> <p>Siła podłużna w słupie skrajnym w kondygnacji dolnej, obliczona na podstawie analizy pierwszego rzędu, wynosi:</p> $N_{Ed} = 568 \text{ kN}$ $N_{Ed} = 568 \text{ kN} < 1562 \text{ kN} = 0,25 \cdot N_{cr}$ <p>Siła podłużna w słupie wewnętrznym w kondygnacji dolnej, obliczona na podstawie analizy pierwszego rzędu, wynosi:</p> $N_{Ed} = 1533 \text{ kN}$ $N_{Ed} = 1533 \text{ kN} < 2288 \text{ kN} = 0,25 \cdot N_{cr}$ <p>Ponieważ oba elementy nie spełniają odpowiednich warunków smukłości, w związku z tym nie potrzeba w nich, ani w innych słupach, wprowadzać lokalnych imperfekcji łukowych.</p> <p><u>Wybór metody uwzględnienia przechyłowych efektów drugiego rzędu</u></p> <p>Przechyłowe efekty drugiego rzędu mogą zostać uwzględnione przez przeprowadzenie analizy pierwszego rzędu, z odpowiednio zwiększonymi obciążeniami poziomymi, tj. obciążeniami od wiatru i od zastępczych równoważnych sił poziomych. Obciążenia poziome należy zwiększyć za pomocą współczynnika:</p> $\frac{1}{1 - 1/\alpha_{cr}}$ <p>pod warunkiem, że $\alpha_{cr} \geq 3,0$</p> <p>W rozpatrywanym przypadku $\alpha_{cr} = 7,51$, więc metoda ta może zostać użyta.</p>						
<p>PN-EN 1993-1-1 §5.2.2(5)B & (6)B</p>						

Document Ref:	<i>SX008a-EN-EU</i>	Sheet	9	of	9
Title	<i>Przykład: Stateczność ramy na przechył</i>				
Eurocode Ref	<i>EN 1993-1-1</i>				
Made by	<i>Jonas Gozzi</i>	Date	<i>April 2005</i>		
Checked by	<i>Bernt Johansson</i>	Date	<i>July 2005</i>		



W analizie pierwszego rzędu należy zastosować następujące obciążenie ramy:



Liczby oznaczają kolejne elementy ramy.

Siły poziome, z dodatkowym indeksem „a” są zwiększone za pomocą współczynnika

$$\frac{1}{1-1/\alpha_{cr}} = \frac{1}{1-1/7,51} = 1,15$$


Czyli

$$H_{1a} = 1,15 \cdot 3,55 = 4,08 \text{ kN}$$

$$H_{2a} = 1,15 \cdot 4,64 = 5,34 \text{ kN}$$

$$q_{w1a} = 1,15 \cdot 5,6 = 6,44 \text{ kN/m}$$

$$q_{w2a} = 1,15 \cdot 3,0 = 3,45 \text{ kN/m}$$

CALCULATION SHEET 	Document Ref:	<i>SX008a-EN-EU</i>	Sheet	<i>10</i>	of	<i>9</i>
	Title	<i>Przykład: Stateczność ramy na przechył</i>				
	Eurocode Ref	<i>EN 1993-1-1</i>				
	Made by	<i>Jonas Gozzi</i>	Date	<i>April 2005</i>		
	Checked by	<i>Bernt Johansson</i>	Date	<i>July 2005</i>		

Obliczeniowe wartości sił przekrojowych w ramie:

W tablicy poniżej zestawiono obliczeniowe wartości sił przekrojowych w elementach ramy. W przypadku siły poprzecznej i momenty zginającego pokazano dwie wartości, odpowiadające początkowi i końcowi elementu. Pierwsza wartość w przypadku słupów odpowiada dolnemu węzłowi, zaś druga górnemu. W przypadku belek pierwsza wartość odpowiada lewemu węzłowi, zaś druga prawemu.

Element	N_{Ed} [kN]	V_{Ed} [kN]		M_{Ed} [kNm]	
1	546,9	0,95	21,6	6,0	42,2
2	238,3	42,9	65,4	86,0	103,5
3	1533,1	26,9	26,9	48,4	45,8
4	668,4	9,6	9,6	16,3	17,3
5	570,9	50,8	38,7	67,5	89,1
6	242,7	72,0	59,9	114,0	116,8
7	16,0	308,6	442,1	128,2	595,4
8	33,3	422,5	328,2	533,3	203,2
9	69,5	238,3	336,4	103,5	446,8
10	59,9	332,0	242,7	429,5	116,8

Protokół jakości

Tytuł zasobu	Przykład: Stateczność ramy na przechył		
Odniesienie			
ORYGINAŁ DOKUMENTU			
	Imię i nazwisko	Instytucja	Data
Stworzony przez	Jonas Gozzi	SBI	30/04/2005
Zawartość techniczna sprawdzona przez	Bernt Johansson	SBI	18/05/2005
Zawartość redakcyjna sprawdzona przez			
Zawartość techniczna zaaprobowana przez:			
1. Wielka Brytania	G W Owens	SCI	7/7/05
2. Francja	A Bureau	CTICM	17/8/05
3. Szwecja	A Olsson	SBI	8/8/05
4. Niemcy	C Muller	RWTH	10/8/05
5. Hiszpania	J Chica	Labein	12/8/05
Zasób zatwierdzony przez Koordynatora Technicznego	G W Owens	SCI	21.05.06
TŁUMACZENIE DOKUMENTU			
Tłumaczenie wykonał i sprawdził:	L. Ślęczka		
Tłumaczenie zatwierdzone przez:			

Informacje ramowe

Tytuł*	Przykład: Stateczność ramy na przechył	
Seria		
Opis*	Przykład dotyczy projektowania ram narażonych na przechył. Rozważanym układem jest rama niestężona budynku dwukondygnacyjnego.	
Poziom dostępu*	Umiejętności specjalistyczne	Specjalista
Identyfikator*	Nazwa pliku	T1713-DFE
Format	Microsoft Office Word; 12 stron; 323 kb;	
Kategoria*	Typ zasobu	Przykład obliczeniowy
	Punkt widzenia	Inżynier
Temat*	Obszar stosowania	Budynki wielokondygnacyjne
Daty	Data utworzenia	17/08/2005
	Data ostatniej modyfikacji	04/07/2005
	Data sprawdzenia	18/05/2005
	Ważny od	
	Ważny do	
Język(i)*		Polski
Kontakt	Autor	Jonas Gozzi
	Sprawdził	Bernt Johansson
	Zatwierdził	
	Redaktor	
	Ostatnia modyfikacja	
Słowa kluczowe*	Budynki wielokondygnacyjne, Ramy przechyłowe	
Zobacz też	Odniesienie do Eurokodu	EN 1990, EN 1993-1-1
	Przykład(y) obliczeniowy	
	Komentarz	
	Dyskusja	
	Inne	SN001
Sprawozdanie	Przydatność krajowa	EU
Instrukcje szczególne		