


ARKUSZ OBLICZENIOWY 	Dokument:	<i>SX026a-PL-EU</i>	Strona	1 z 6
	Tytuł	Przykład: Sprawdzenie stanów granicznych nośności i użytkowalności zginanego elementu z kształtownika		
	Dot. Eurokodu	PN-EN 1993-1-3		
	Wykonał	<i>V. Ungureanu, A. Ruff</i>	Data	grudzień 2005
	Sprawdził	<i>D. Dubina</i>	Data	grudzień 2005

Przykład: Sprawdzenie stanów granicznych nośności i użytkowalności zginanego elementu z kształtownika zimnogiętego

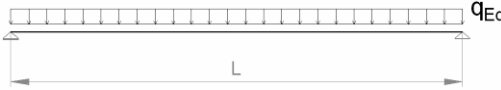
Przykład ten zawiera obliczenia swobodnie podpartej belki stropowej wykonanej z ceownika czterogiętego. Przyjęto, że pasy górny i dolny są ciągle bocznie stężone. Podano również sposób sprawdzania stanu granicznego użytkowalności.

W praktyce projektowej dotyczącej przekrojów cienkościennych wg PN-EN1993, projektanci zazwyczaj używają oprogramowania lub odwołują się do danych producenta. Przykład ten jest przedstawiony dla celów ilustracyjnych.

Dane podstawowe

Rozpiętość belki $L = 5 \text{ m}$

Rozstaw między belkami $S = 0,6 \text{ m}$

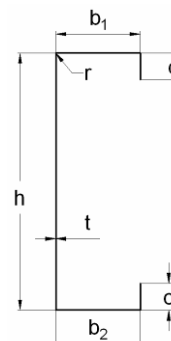



Obciążenie równomiernie rozłożone przypadające na belkę:

ciężar własny belki	$q_{G,beam} = 0,06 \text{ kN/m}$
ciężar płyty	$0,68 \text{ kN/m}^2$
	$q_{G,slab} = 0,68 \times 0,6 = 0,41 \text{ kN/m}$
obciążenie stałe	$q_G = q_{G,beam} + q_{G,slab} = 0,47 \text{ kN/m}$
obciążenie użytkowe	$2,50 \text{ kN/m}^2$
	$q_Q = 2,50 \times 0,6 = 1,50 \text{ kN/m}$

Wymiary przekroju poprzecznego i właściwości materiału:

Wysokość całkowita	$h = 200 \text{ mm}$
Całkowita szerokość pasa w strefie ściskanej b_1	$b_1 = 74 \text{ mm}$
Całkowita szerokość pasa w strefie rozciąganej b_2	$b_2 = 66 \text{ mm}$
Całkowita szerokość fałdy	$c = 20,8 \text{ mm}$
Wewnętrzny promień gięcia	$r = 3 \text{ mm}$
Grubość nominalna	$t_{nom} = 2 \text{ mm}$
Grubość rdzenia stalowego	$t = 1,96 \text{ mm}$
Umowna granica plastyczności	$f_{yb} = 350 \text{ N/mm}^2$
Moduł sprężystości	$E = 210000 \text{ N/mm}^2$
Współczynnik Poisson'a	$\nu = 0,3$



	Dokument:	<i>SX026a-PL-EU</i>	Strona	2	z	6
	Tytuł	<i>Przykład: Sprawdzenie stanów granicznych nośności i użytkowości zginanego elementu z kształtownika</i>				
	Dot. Eurokodu	<i>PN-EN 1993-1-3</i>				
	Wykonał	<i>V. Ungureanu, A. Ruff</i>	Data	<i>grudzień 2005</i>		
	Sprawdził	<i>D. Dubina</i>	Data	<i>grudzień 2005</i>		

Częściowe współczynniki bezpieczeństwa $\gamma_{M0} = 1,0$

$$\gamma_{M1} = 1,0$$

$$\gamma_G = 1,35 \text{ – obciążenie stałe}$$

$$\gamma_Q = 1,50 \text{ – obciążenie zmienne}$$

[PN-EN1993-1-3](#)

§2(3)

PN-EN1990

1. Sprawdzenie stanu granicznego nośności belki

Efektywne charakterystyki przekroju dla stanu granicznego nośności

Moment bezwładności dla zimnogiętego ceownika czterogiętego poddanego zginaniu względem mocnej osi bezwładności:

$$I_{\text{eff},y} = 4139861 \text{ mm}^4$$

[SX022](#)

Położenie osi obojętnej:

- od pasa ściskanego: $z_c = 102,3 \text{ mm}$

- od pasa rozciąganego: $z_t = 95,7 \text{ mm}$

Efektywny wskaźnik wytrzymałości na zginanie:

- w odniesieniu do pasa ściskanego:

$$W_{\text{eff},y,c} = \frac{I_{\text{eff},y}}{z_c} = \frac{4140000}{102,3} = 40460 \text{ mm}^3$$

- w odniesieniu do pasa rozciąganego:

$$W_{\text{eff},y,t} = \frac{I_{\text{eff},y}}{z_t} = \frac{4140000}{95,7} = 43260 \text{ mm}^3$$

$$W_{\text{eff},y} = \min(W_{\text{eff},y,c}, W_{\text{eff},y,t}) = 40463 \text{ mm}^3$$


Obciążenie przyłożone do belki w stanie granicznym nośności

$$q_d = \gamma_G q_G + \gamma_Q q_Q = 1,35 \times 0,47 + 1,50 \times 1,50 = 2,89 \text{ kN/m}$$

PN-EN1990

Maksymalny moment zginający (w środku rozpiętości) względem mocnej osi y-y:

$$M_{\text{Ed}} = q_d L^2 / 8 = 2,89 \times 5^2 / 8 = 9,03 \text{ kNm}$$

ARKUSZ OBLICZENIOWY 	Dokument:	<i>SX026a-PL-EU</i>	Strona	3	z	6
	Tytuł	<i>Przykład: Sprawdzenie stanów granicznych nośności i użytkowości zginanego elementu z kształtownika</i>				
	Dot. Eurokodu	<i>PN-EN 1993-1-3</i>				
	Wykonał	<i>V. Ungureanu, A. Ruff</i>	Data	<i>grudzień 2005</i>		
	Sprawdził	<i>D. Dubina</i>	Data	<i>grudzień 2005</i>		

Sprawdzenie nośności na zginanie w stanie granicznym nośności

Nośność obliczeniowa przekroju na zginanie:

$$M_{c,Rd} = W_{eff,y} f_{yb} / \gamma_{M0} = 40463 \times 10^{-9} \times 350 \times 10^3 / 1,0 = 14,16 \text{ kNm}$$

[PN-EN1993-1-3](#)
§6.1.4.1(1)

Sprawdzenie warunku nośności na zginanie:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{9,03}{14,16} = 0,638 < 1 \quad - \text{OK}$$

[PN-EN1993-1-1](#)
§6.2.5(1)

Sprawdzenie nośności na ścinanie w stanie granicznym nośności

Obliczeniowa siła ścinająca

Maksymalna wartość przyłożonej siły ścinającej

$$V_{Ed} = q_d L / 2 = 2,89 \times 5 / 2 = 7,225 \text{ kN}$$

Obliczeniowa plastyczna nośność na ścinanie

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_{yb} / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}} = \frac{h_w t (f_{yb} / \sqrt{3})}{\gamma_{M0} \sin \phi}$$

[PN-EN1993-1-1](#)
§6.2.6(2)


gdzie:

A_v – jest polem przekroju przy ścinaniu

$h_w = h - t_{nom}$ – jest wysokością środnika belki

$\phi = 90^\circ$ – jest pochyleniem środnika w stosunku do pasów.

$$V_{pl,Rd} = \frac{(200 - 2) \times 10^{-3} \times 1,96 \times 10^{-3} \times (350 \times 10^3 / \sqrt{3})}{\sin 90^\circ \times 1,0} = 78,42 \text{ kN}$$

	Dokument:	<i>SX026a-PL-EU</i>	Strona	4 z 6
	Tytuł	<i>Przykład: Sprawdzenie stanów granicznych nośności i użyteczności zginanego elementu z kształtownika</i>		
	Dot. Eurokodu	<i>PN-EN 1993-1-3</i>		
	Wykonał	<i>V. Ungureanu, A. Ruff</i>	Data	<i>grudzień 2005</i>
	Sprawdził	<i>D. Dubina</i>	Data	<i>grudzień 2005</i>

Obliczeniowa nośność na ścinanie z uwzględnieniem utraty stateczności miejscowej

$$V_{b,Rd} = \frac{\frac{h_w}{\sin\phi} t f_{bv}}{\gamma_{M0}}$$

[PN-EN1993-1-3](#)
§6.1.5

gdzie:

f_{bv} is nośnością na ścinanie z uwzględnieniem stateczności miejscowej

Dla środnika usztywnionego w punktach podparcia:

$$f_{bv} = 0,58 f_{yb} \quad \text{jeżeli} \quad \bar{\lambda}_w \leq 0,83$$

$$f_{bv} = 0,48 f_{yb} / \bar{\lambda}_w \quad \text{jeżeli} \quad \bar{\lambda}_w > 0,83$$

Smukłość względna środnika $\bar{\lambda}_w$ bez usztywnień wzdłużnych:

$$\bar{\lambda}_w = 0,346 \frac{s_w}{t} \sqrt{\frac{f_{yb}}{E}} = 0,346 \frac{h - t_{nom}}{t} \sqrt{\frac{f_{yb}}{E}} =$$

$$0,346 \times \frac{200 - 2}{1,96} \times \sqrt{\frac{350}{210000}} = 1,427$$

$$\bar{\lambda}_w = 1,427 > 0,83 \quad \text{to:}$$

$$f_{bv} = 0,48 f_{yb} / \bar{\lambda}_w = 0,48 \times 350 / 1,427 = 117,7 \text{ N/mm}^2$$

$$V_{b,Rd} = \frac{\frac{(200 - 2) \times 10^{-3}}{\sin 90^\circ} \times 1,96 \times 10^{-3} \times 117,7 \times 10^3}{1,0} = 45,7 \text{ kN}$$


Obliczeniowa nośność na ścinanie

$$V_{c,Rd} = \min(V_{pl,Rd}, V_{b,Rd}) = \min(78,42; 45,7) = 45,7 \text{ kN}$$

Sprawdzenie warunku nośność na ścinanie

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{7,225}{45,7} = 0,158 < 1 \quad - \text{OK}$$

[PN-EN1993-1-1](#)
§6.2.6(1)

	Dokument:	SX026a-PL-EU	Strona	5 z 6
	Tytuł	Przykład: Sprawdzenie stanów granicznych nośności i użyteczności zginanego elementu z kształtownika		
	Dot. Eurokodu	PN-EN 1993-1-3		
	Wykonał	V. Ungureanu, A. Ruff	Data	grudzień 2005
	Sprawdził	D. Dubina	Data	grudzień 2005

Sprawdzenie nośności lokalnej w stanie granicznym nośności

Reakcja podporowa:

$$F_{Ed} = q_d L / 2 = 2,89 \times 5 / 2 = 7,225 \text{ kN}$$

Aby obliczyć lokalną nośność środnika przy poprzecznym obciążeniu skupionym, dla przekroju z pojedynczym nieusztynwionym środnikiem, powinny być spełnione następujące kryteria:

[PN-EN1993-1-3](#)
§6.1.7.2 (1)

$$h_w / t \leq 200 \quad 198 / 1,96 = 101,02 < 200 \quad - \text{OK}$$

$$r / t \leq 6 \quad 3 / 1,96 = 1,53 < 6 \quad - \text{OK}$$

$$45^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$$

gdzie ϕ jest pochyleniem środnika w stosunku do pasów: $\phi = 90^\circ$ – OK

Lokalna nośność środnika pod skupioną siłą poprzeczną

Długość podparcia: $s_s = 80 \text{ mm}$

[PN-EN1993-1-3](#)
§6.1.7.2 (2)
Rysunek 6.7

Dla $s_s / t = 80 / 1,96 = 40,816 < 60$ lokalna nośność środnika pod skupioną siłą poprzeczną $R_{w,Rd}$ wynosi:

$$R_{w,Rd} = \frac{k_1 k_2 k_3 \left[5,92 - \frac{h_w / t}{132} \right] \left[1 + 0,01 \frac{s_s}{t} \right] t^2 f_{yb}}{\gamma_{M1}}$$

gdzie:

$$k_1 = 1,33 - 0,33k \quad \text{w którym} \quad k = f_{yb} / 228 = 350 / 228 = 1,535$$

[PN-EN1993-1-3](#)
§6.1.7.2(3)


$$k_1 = 1,33 - 0,33 \times 1,535 = 0,823$$

$$k_2 = 1,15 - 0,15 r / t = 1,15 - 0,15 \times 3 / 1,96 = 0,92$$

$$k_3 = 0,7 + 0,3(\phi / 90)^\circ = 0,7 + 0,3 \times (90 / 90)^\circ = 1$$

$$R_{w,Rd} = \frac{0,823 \times 0,92 \times 1 \times \left[5,92 - \frac{198 / 1,96}{132} \right] \times \left[1 + 0,01 \times \frac{80}{1,96} \right] \times 1,96^2 \times 350}{1,0} = 7396 \text{ N}$$

$$R_{w,Rd} = 7,396 \text{ kN}$$

	Dokument:	<i>SX026a-PL-EU</i>	Strona	6 z 6
	Tytuł	<i>Przykład: Sprawdzenie stanów granicznych nośności i użytkowności zginanego elementu z kształtownika</i>		
	Dot. Eurokodu	<i>PN-EN 1993-1-3</i>		
	Wykonał	<i>V. Ungureanu, A. Ruff</i>	Data	<i>grudzień 2005</i>
	Sprawdził	<i>D. Dubina</i>	Data	<i>grudzień 2005</i>

Sprawdzenie lokalnej nośności środnika pod skupioną siłą poprzeczną

$$F_{Ed} = 7,225 \text{ kN} < R_{w,Rd} = 7,396 \text{ kN} \quad - \text{OK}$$

[PN-EN1993-1-3](#)
§6.1.7.1(1)

2. Sprawdzenie stanu granicznego użytkowności

Obciążenie przyłożone do belki w stanie granicznym użytkowności (kombinacja częsta)

$$q_{d,ser} = q_G + q_Q = 0,47 + 1,50 = 1,97 \text{ kN/m}$$

Maksymalny moment zginający:

PN-EN1990

$$M_{Ed,ser} = q_{d,ser} L^2 / 8 = 1,97 \times 5^2 / 8 = 6,16 \text{ kNm}$$

Efektywne charakterystyki przekroju dla stanu granicznego użytkowności

Moment bezwładności przekroju w stanie granicznym użytkowności:

$$I_{fic} = I_{gr} - \frac{\sigma_{gr}}{\sigma} (I_{gr} - I(\sigma)_{eff})$$

gdzie:

$$I_{gr} = 4496000 \text{ mm}^4 \quad - \text{ jest momentem bezwładności pełnego przekroju}$$

[PN-EN1993-1-3](#)
§7.1(3)

σ_{gr} – maksymalne naprężenia ściskające przy zginaniu w stanie granicznym użytkowności


$z_{c,gr} = 96,88 \text{ mm}$ – położenie osi obojętnej w stosunku do pasa ściskanego

$$\sigma_{gr} = \frac{M_{Ed,ser}}{W_{gr}} = \frac{M_{Ed,ser}}{I_{gr}/z_{c,gr}} = \frac{6,16 \times 10^6}{4496000/96,88} = 132,7 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma = f_{yb} = 350 \text{ N/mm}^2$$

$$I(\sigma)_{eff} = I_{eff,y} = 4140000 \text{ mm}^4$$

$$I_{fic} = 4496000 - \frac{132,7}{350} \times (4496000 - 4140000) = 4361000 \text{ mm}^4$$

ARKUSZ OBLICZENIOWY 	Dokument:	<i>SX026a-PL-EU</i>	Strona	<i>7</i> z <i>6</i>
	Tytuł	<i>Przykład: Sprawdzenie stanów granicznych nośności i użyteczności zginanego elementu z kształtownika</i>		
	Dot. Eurokodu	<i>PN-EN 1993-1-3</i>		
	Wykonał	<i>V. Ungureanu, A. Ruff</i>	Data	<i>grudzień 2005</i>
	Sprawdził	<i>D. Dubina</i>	Data	<i>grudzień 2005</i>

Sprawdzenie ugięć

Ugięcie belki:

$$\delta = \frac{5}{384} \frac{q_{d,ser} L^4}{EI_{fic}} = \frac{5}{384} \times \frac{1,97 \times 5000^4}{210000 \times 4361000} = 17,51 \text{ mm}$$

Ugięcie wynosi $L/286$ – OK

Uwaga 1: ugięcia graniczne powinny być ustalone przez klienta. Załącznik Krajowy może precyzować pewne wartości ugięć. Tutaj wynik może być uważany za w pełni zadowalający.

[PN-EN 1993-1-1](#)
§7.2.1

Uwaga 2: w odniesieniu do drgań, Załącznik Krajowy może precyzować graniczne częstotliwości drgań. Tutaj, całkowite ugięcie jest dopuszczalnie niskie, z tego powodu nie ma zagrożenia wibracjami.

[PN-EN 1993-1-1](#)
§7.2.3

Protokół jakości

TYTUŁ ZASOBU		Przykład: Sprawdzenie stanów granicznych nośności i użyteczności zginanego elementu z kształownika zimnogiętego	
Odniesienie(a)			
ORYGINAŁ DOKUMENTU			
	Nazwisko	Instytucja	Data
Stworzony przez	V. Ungureanu, A. Ruff	BRITT Ltd. Timisoara, Romania	
Zawartość techniczna sprawdzona przez	D. Dubina	BRITT Ltd. Timisoara, Romania	
Zawartość redakcyjna sprawdzona przez			
Techniczna zawartość zaaprobowana przez następujących partnerów STALE:			
1. Wielka Brytania	G W Owens	SCI	12/4/06
2. Francja	A Bureau	CTICM	12/4/06
3. Szwecja	B Uppfeldt	SBI	11/4/06
4. Niemcy	C Müller	RWTH	11/4/06
5. Hiszpania	J Chica	Labein	12/4/06
Zasób zatwierdzony przez Technicznego Koordynatora	G W Owens	SCI	11/9/06
DOKUMENT TŁUMACZONY			
To Tłumaczenie wykonane i sprawdzone przez:		Zdzisław Pisarek	
Przetłumaczony zasób zatwierdzony przez:	B. Stankiewicz	PRz	

Informacje ramowe

Tytuł*	Przykład: Sprawdzenie stanów granicznych nośności i użytkowności zginanego elementu z kształownika zimnogiętego	
Seria		
Opis*	Przykład ten zawiera obliczenia swobodnie podpartej belki stropowej wykonanej z ceownika czterogiętego. Przyjęto, że pasy górny i dolny są ciągle bocznie stężone. Podano również sposób sprawdzania stanu granicznego użytkowności.	
Poziom Dostępu*	Ekspertyza	Praktyka
Identyfikatory*	Nazwa pliku	D:\ACCESS_STEEL_PL\SX\SX026a-PL-EU.doc
Format		Microsoft Word 9.0; 9 Stron; 551kb;
Kategoria*	Typ zasobu	Przykład obliczeniowy
	Punkt widzenia	Inżynier
Przedmiot*	Obszar zastosowań(a)	Budynki mieszkalne
Daty	Data utworzona	10/04/2009
	Data ostatniej modyfikacji	
	Data sprawdzenia	
	Ważny Od	
	Ważny Do	
Język(i)*		Polski
Kontakty	Autor	V. Ungureanu, A. Ruff, BRITT Ltd. Timisoara, Romania
	Sprawdzony przez	D. Dubina, BRITT Ltd. Timisoara, Romania
	Zatwierdzony przez	
	Redaktor	
	Ostatno modyfikowany przez	
Słowa kluczowe*	Stan graniczny nośności, stan graniczny użytkowności, zginanie, ceownik czterogięty, kształownik gięty na zimno, belka	
Zobacz Też	Odniesienie do Eurokodu	
	Przykład(y) obliczeniowe	
	Komentarz	
	Dyskusja	
	<i>Inny</i>	
Omówienie	Narodowa Przydatność	EU
Szczególne Instrukcje		