

INŽINJERSKA KOMORA CRNE GORE

Informativni seminar o Eurokodovima

Prof. dr DUŠKO LU I

**EVROKOD 3:
Proraun i njihova konstrukcija**

Podgorica, 09. oktobra 2013. godine

Sadržaj

- Uvod
- Struktura EN 1993
- Eurokod 3 dio 1-1
- Proračun presjeka i elemenata
- Zategnuti elementi
- Pritisnuti elementi - izvijanje
- Elementi izloženi savijanju
- Elementi izloženi smicanju
- Interakcija dejstava
- Bočno-torziono izvijanje
- Zaključak

UVOD

Eurokodove sa injava 10 dijelova sa oko 5000 strana i 1281 NOP-om

Eurokod 3 ili EN 1993 obrađuje projektovanje
eličnih konstrukcija

Sadrži šest dijelova sa 1281 stranom i 377 NOP-a

EN 1993-1-1:General rules and rules for buildings

Eurokod 3 - Dio 1-1: Opšta pravila i pravila za zgrade

Pravila za nosivost i stabilnost

Pravila za projektovanje
konstrukcija zgrada



EN 1993-1-2: Structural fire design

Eurokod 3 - Dio 1-2: Projektovanje konstrukcija na
dejstvo požara

EN1993-1-3: Supplementary rules for cold formed members and sheeting

Eurokod 3 - Dio 1-3: Dodatna pravila za hladno oblikovane elemente i limove



EN1993-1-4: Supplementary rules for stainless steels

Eurokod 3 - Dio 1-4: Dodatna pravila za nerđajuće čelike

EN1993-1-5: Plated structural elements (in-plane loaded)

Eurokod 3 - Dio 1-5: Pločasti konstruktivni elementi

EN1993-1-6: Strength and stability of shells

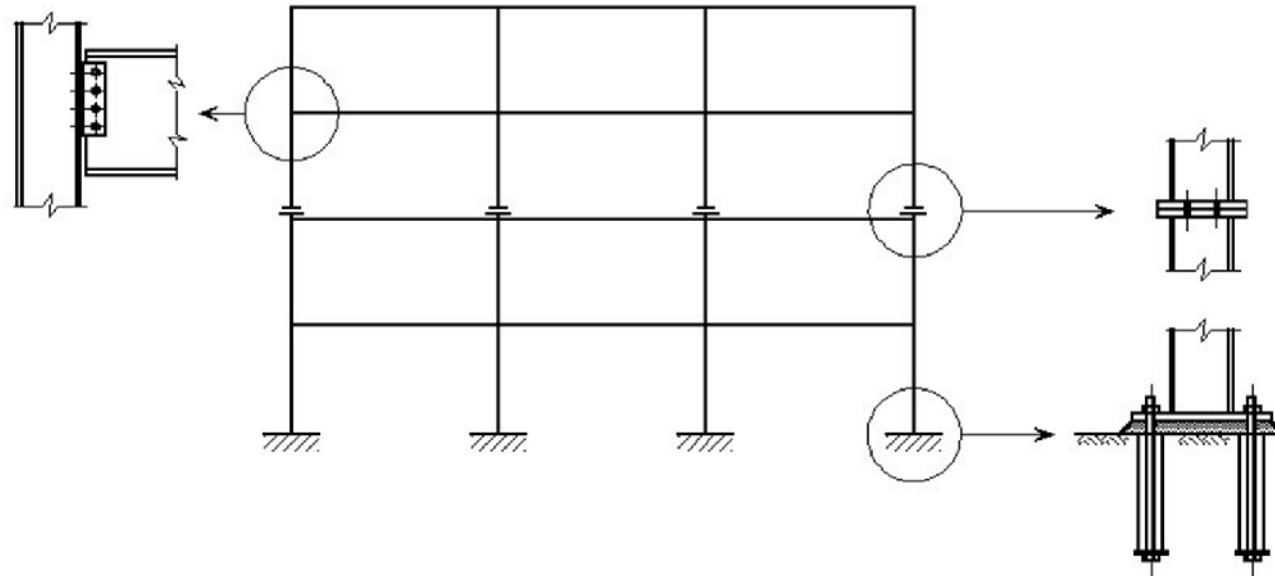
Eurokod 3 - Dio 1-6: vrsto a i stabilnost ljuski

EN1993-1-7: Plated structural elements
(transversely loaded)

Eurokod 3 - Dio 1-7: Ploaste konstrukcije
opterećene izvan ravni

EN 1993-1-8: Design of joints

Eurokod 3 - Dio 1-8: Projektovanje veza



EN 1993-1-9: Fatigue

Eurokod 3 - Dio 1-9: Zamor

EN 1993-1-10: Material toughness and through-thickness properties

Eurokod 3 - Dio 1-10: Žilavost materijala i svojstva po debljini

EN1993-1-11: Design of structures with tension elements

Eurokod 3 - Dio 1-11:
Projektovanje konstrukcija sa
zategnutim elementima

EN1993-1-12: Additional rules
for the extension of EN 1993 up
to steel grades S700

Eurokod 3 - Dio 1-12: Dodatna
pravila za proširenje primjene EN
1993 na vrste elika do S 700



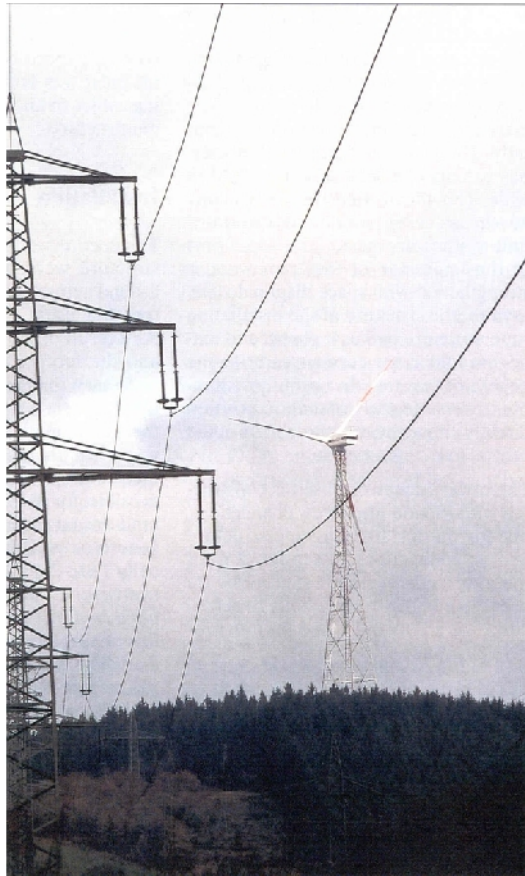
EN1993-2: Steel bridges

Eurokod 3 - Dio 2: elinmostovi



EN1993-3-1: Towers and Masts

Eurokod 3 - Dio 3-1: Tornjevi, jarboli i dimnjaci -
Tornjevi i jarboli



EN1993-3-2: Chimneys

Eurokod 3 - Dio 3-2: Tornjevi, jarboli i dimnjaci -
Dimnjaci

EN1993-4-1:Silos

Eurokod 3 - Dio 4-1: Silosi

EN1993-4-2: Tanks

Eurokod 3 - Dio 4-2: Rezervoari

EN1993-4-3: Pipelines

Eurokod 3 - Dio 4-3: Cjevovodi

EN1993-5: Piling

Eurokod 3 - Dio 5: Šipovi

EN1993-6: Crane supporting structures

Eurokod 3 - Dio 6: Kranske staze

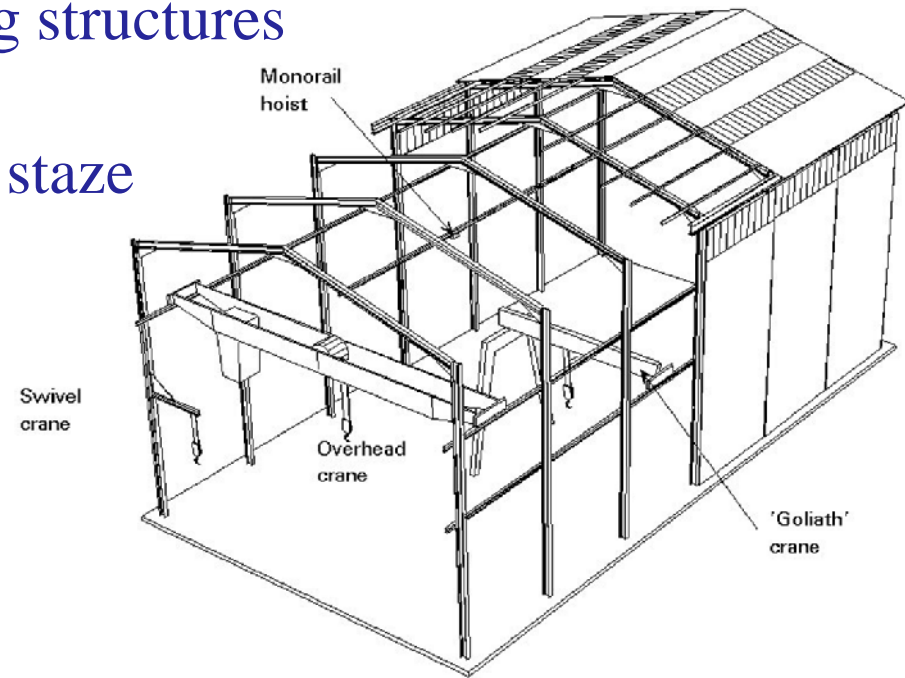


Figure 13 Examples of cranes in portal frame buildings

Sadržaj EN 1993-1-1

Poglavlje 1: Opšte odredbe,

Poglavlje 2: Osnove proračuna,

Poglavlje 3: Materijali,

Poglavlje 4: Trajnost,

Poglavlje 5: Analiza konstrukcije,

Poglavlje 6: Granična stanja nosivosti,

Poglavlje 7: Granična stanja upotrebljivosti,

Aneks A: Metoda 1 - Koeficijenti interakcije k_{ij}

Aneks B: Metoda 2 - Koeficijenti interakcije k_{ij}

Aneks AB: Dodatne odredbe za proračun,

Aneks BB: Izvijanje elemenata konstrukcija zgrada.

Prate i standardi

Ovi standardi su **obavezuju** eg karaktera!

Odnose se na:

- izradu i montažu,
- antikorozijsku zaštitu,
- konstrukcijske veličine,
- tolerancije i tehničke uslove isporuke vruće valjanih i hladno oblikovanih profila.

Nacionalni parametri

- Eurokod definiše odredbe u kojima je dopušten nacionalni izbor određenih parametara.
- Ovi parametri treba da se definišu u odgovarajućim Nacionalnim aneksima.
- U ovom standardu ima ukupno 25 odredbi u kojima se dopušta nacionalni izbor!

Nacionalni izbor se ostvaruje:

- usvajanjem numeričkih vrednosti koeficijenata i graničnih vrednosti parametara koji se koriste pri proračunu;
- izborom metode proračuna kada Eurokod daje alternativu;
- izborom koeficijenata imperfekcije i krivih izvijanja (na primjer za bo no-torziono izvijanje),
- definisanjem polja primjene određenog postupka proračuna;
- definisanjem vrsta elika i nekih njegovih svojstava;
- definisanjem dopuštenih vrijednosti deformacija,

Poglavlje 1: Opšte odredbe

- Uvodne odredbe,
- Definicije,
- Oznake.

Poglavlje 2: Osnove proračuna

- Osnovni zahtjevi
- Osnovni principi proračuna prema granicnim stanjima
- Parcijalni koeficijenti
- Proračun na osnovu rezultata ispitivanja

Poglavlje 3: Materijali

- Vrste elika;
- Standardi za vru e valjane i hladno oblikovane proizvode;
- Ozna avanje;
- Svojstva materijala (f_u i f_y);
- Konstante materijala (E , G , ν i α_t).

Poglavlje 4: Trajnost

- Trajnost je detaljnije obrađena u Evrokodu 0 i EN 1090: "Izvođenje elinik konstrukcija - Tehnički zahtjevi".
- Faktori od uticaja: korozija i zamor materijala;
- Navedeni su elementi odnosno konstrukcije u zgradarstvu kod kojih je neophodna kontrola nosivosti na zamor.

Poglavlje 5: Analiza konstrukcije

- Globalna analiza (elastična, plastična, I reda i II reda);
- Imperfecije (lokalne i globalne);
- Modeliranje veza (polukontinualno);
- Klasifikacija poprečnih presjeka (četiri klase poprečnih preseka; efektivni presjek i šir leg efekti - EN 1993-1-5).

Poglavlje 6:

Grani na stanja nosivosti

- Najobimnije i najznačajnije poglavlje!
- Proračun nosivosti poprečnih presjeka (zatezanje, pritisak, savijanje, smicanje, torzija, kombinovana naprezanja);
- Proračun nosivosti elemenata (izvijanje, bočno-torziono izvijanje, ekscentrični pritisak);
- Višedjelni elementi.

Poglavlje 7:

Grani na stanja upotrebljivosti

- Opšta načela su data u EC0,
- Deformacije;
- Vibracije;
- Dopuštene vrijednosti se mogu definisati u Nacionalnom aneksu!
- Pruža se mogućnost da investitor utiče na dopuštene vrijednosti!

Zategnuti elementi

Kontrola nosivosti popre nog presjeka:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{t,Rd}} \leq 1,0$$

N_{Ed} prora unska vrijednost aksijalne sile,

$N_{t,Rd}$ prora unska nosivost popre nog presjeka na zatezanje.

Proraunska nosivost popreznog presjeka na zatezanje

$$N_{t,Rd} = \min \left\{ \begin{array}{l} N_{pl,Rd} = \frac{Af_y}{\gamma_{M0}} \\ N_{u,Rd} = \frac{0,9A_{net}f_u}{\gamma_{M2}} \end{array} \right.$$

- $N_{pl,Rd}$ proraunska plasti na nosivost bruto preseka,
 $N_{u,Rd}$ grani na proraunska nosivost neto preseka,
 A površina popreznog preseka,
 f_y granica razvlačenja,
 A_{net} neto površina popreznog preseka,
 f_u vrsto a na zatezanje,
 γ_{M0} i γ_{M2} parcijalni koeficijenti.

- Grani na nosivost neto presjeka $N_{u,Rd}$ nije *a priori* mjerodavna za dimenzionisanje!
- Ako je kod elika S235 i S275 slabljenje preseka manje od oko 10%, merodavna je plasti na nosivost bruto popre nog preseka $N_{pl,Rd}$!
- Ako element nije oslabljen rupama za spojna sredstva: $N_{t,Rd} = N_{pl,Rd}$.

Pritisnuti elementi

- Kontrola nosivosti popre nog presjeka;
- Kontrola nosivosti elementa na izvijanje;

Kontrola nosivosti popre nog presjeka

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0$$

N_{Ed} prora unska vrednost sile pritiska,

$N_{c,Rd}$ prora unska nosivost popre nog presjeka na dejstvo pritiska

Proračunska nosivost poprečnog presjeka na dejstvo pritiska

Za presjeke klase 1, 2 i 3

$$N_{c,Rd} = \frac{A f_y}{\gamma_{M0}}$$

Za presjeke klase 4

$$N_{c,Rd} = \frac{A_{eff} f_y}{\gamma_{M0}}$$

A bruto površina poprečnog presjeka,

A_{eff} površina efektivnog presjeka,

f_y granica razvlačenja,

γ_{M0} parcijalni koeficijent.

Kontrola nosivosti pritisnutog elementa na izvijanje

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$$

N_{Ed} proraunska vrednost sile pritiska,

$N_{b,Rd}$ proraunska nosivost pritisnutog elementa na izvijanje

Proračunska nosivost pritisnutog elementa na izvijanje

Za presjeke kase 1, 2 i 3

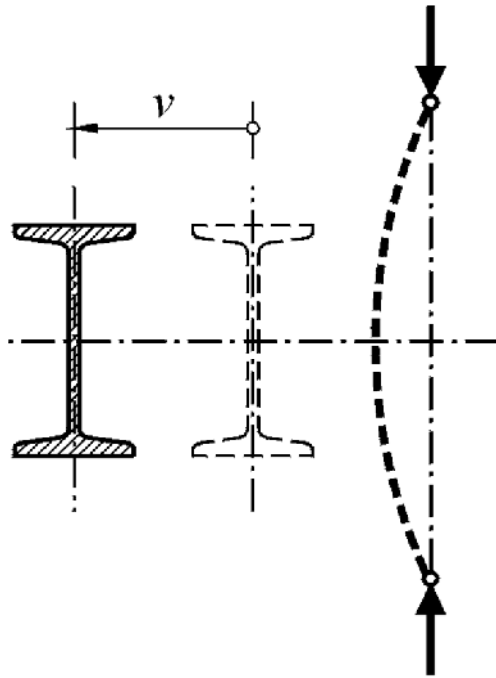
$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A f_y}{\gamma_{M1}}$$

Za presjeke klase 4

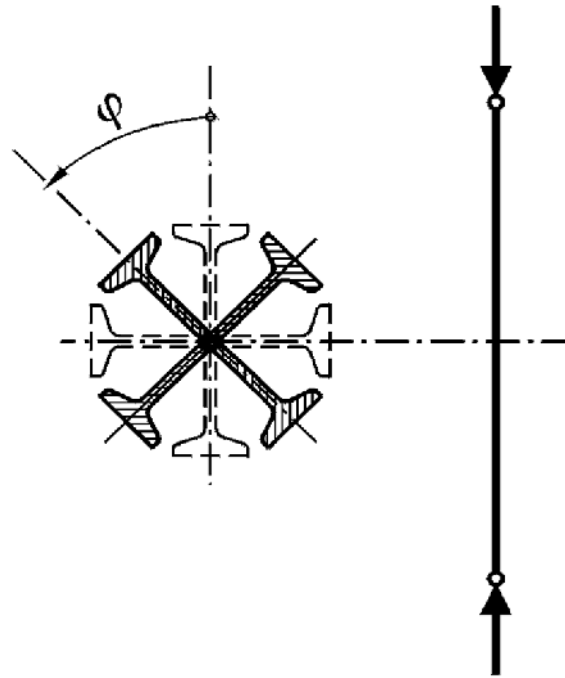
$$N_{b,Rd} = \frac{\chi A_{eff} f_y}{\gamma_{M1}}$$

- χ koeficijent redukcije za izvijanje,
- A bruto površina poprečnog presjeka,
- A_{eff} površina efektivnog presjeka,
- f_y granica razvlačenja,
- γ_{M1} parcijalni koeficijent.

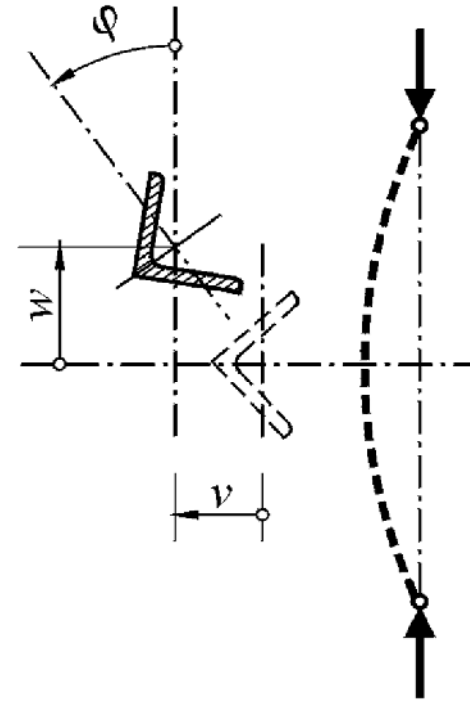
Razliiti modeli izvijanja



Fleksiono



Torziono



Torziono-fleksiono

Relativna vitkost za fleksiono izvijanje

Za presjeke kase 1, 2 i 3

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr}}{i} \frac{1}{\lambda_1}$$

Za presjeke klase 4

$$\bar{\lambda} = \sqrt{\frac{A_{eff} f_y}{N_{cr}}} = \frac{L_{cr}}{i} \frac{\sqrt{A_{eff} / A}}{\lambda_1}$$

N_{cr} elasti na kriti na sila za fleksiono izvijanje,

i polupre nik inercije,

L_{cr} dužina izvijanja,

λ_1 vitkost na granici razvla enja $\lambda_1 = \pi \sqrt{E / f_y} = 93,9 \varepsilon$

Koeficijent redukcije c

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$$

$$\Phi = 0,5 \left[1 + \alpha (\bar{\lambda} - 0,2) + \bar{\lambda}^2 \right]$$

Kriva izvijanja	a_0	a	b	c	d
Koeficijent imperfekcije α	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

Elementi optere eni savijanjem - nosa i

Potrebne kontrole grani nih stanja nosivosti:

- Nosivost popre nog presjeka na dejstvo momenta savijanja;
- Nosivost popre nog presjeka na smicanje;
- Nosivost popre nog presjeka na interaktivno dejstvo savijanja i smicanja;
- Nosivost elementa na bo no-torziono izvijanje.

Kontrola nosivost popre nog presjeka na dejstvo momenta

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1,0$$

M_{Ed} prora unska vrednost momenta savijanja,

$M_{c,Rd}$ prora unski moment nosivosti popre nog presjeka.

Proračunska vrednost momenta nosivosti poprečnog presjeka

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{za klase 1 i 2}$$

$$M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{W_{el,min} f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{za klasu 3}$$

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{eff,min} f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{za klasu 4}$$

W_{pl} plastični otporni moment poprečnog presjeka,

$W_{el,min}$ minimalan elastični otporni moment poprečnog presjeka,

$W_{eff,min}$ minimalan elastični otporni moment efektivnog presjeka.

Kontrola nosivosti popre nog presjeka na smicanje

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1,0$$

V_{Ed} prora unska vrednost sile smicanja,

$V_{c,Rd}$ prora unska nosivost popre nog presjeka na smicanje.

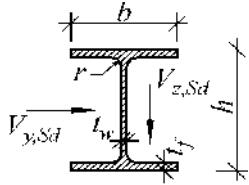
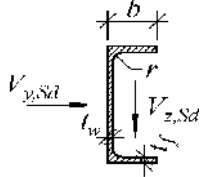
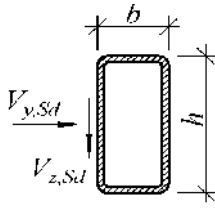
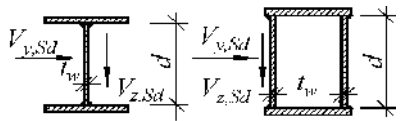
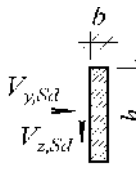
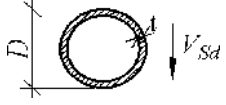
Plasti na proraunska nosivost popreznog presjeka na smicanje

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v (f_y / \sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$$

A_v površina smicanja koja zavisi od oblika
popreznog presjeka i pravca smicanja i sile.

f_y granica razvlačenja,

γ_{M0} parcijalni koeficijent.

Tip popre nog preseka	Površina smicanja	
	$A_{v,z}$	$A_{v,y}$
Valjani 	$A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f$ ali ne manje od $\eta \cdot h \cdot t_w$	$2bt_f$
Valjani 	$A - 2bt_f + (t_w + r)t_f$	$2bt_f$
Valjani 	$Ah / (b + h)$	$Ab / (b + h)$
Zavareni 	$\eta \Sigma (h_w \cdot t_w)$	$A - \Sigma (h_w \cdot t_w)$
	A	
	$2A / \pi$	
<p> A površina popre nog preseka, t_f debljina nožice, b širina profila, t_w debljina rebra, h visina profila, r polupre nik zaobljenja, d visina rebra, η parametar iz EN 1993-1-5. </p>		

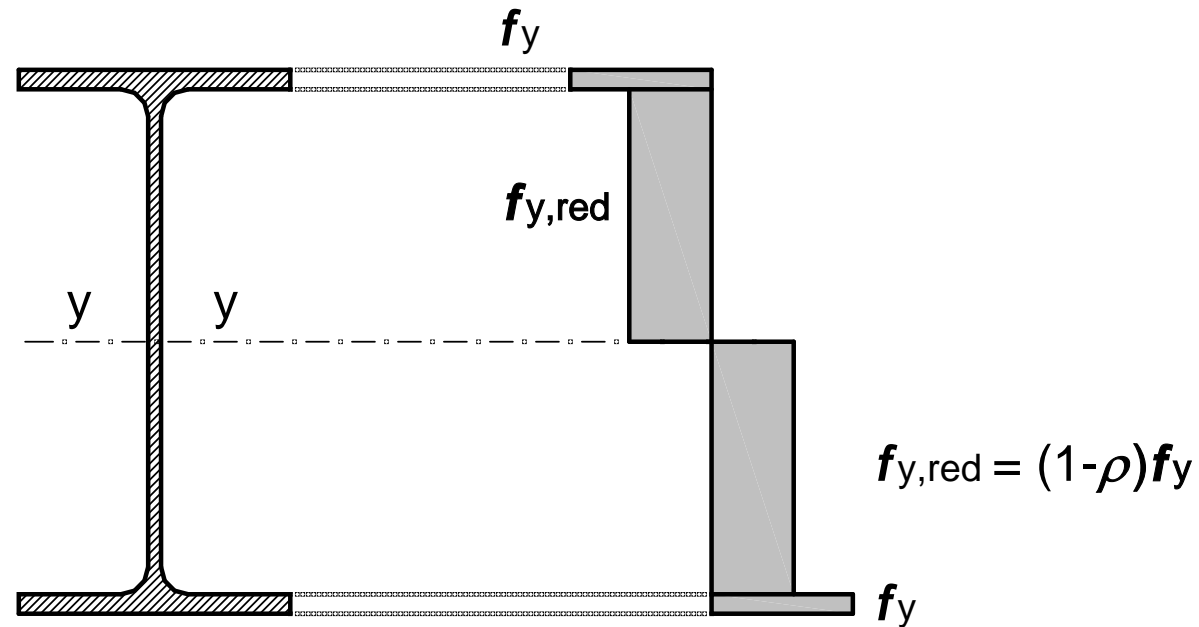
Kontrola elasti ne nosivosti presjeka na smicanje

$$\frac{\tau_{Ed}}{f_y / (\sqrt{3} \gamma_{M0})} \leq 1,0$$

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed} S}{I \cdot t}$$

- τ_{Ed} prora unska vrednost napona smicanja,
 V_{Ed} prora unska vrednost sile smicanja,
 S statiki moment inercije posmatranog dela popre nog presjeka,
 I moment inercije popre nog presjeka,
 t debljina posmatranog dela presjeka (rebra).

Interakcija savijanja i smicanja



$$\rho = \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2$$

Redukovani plasti ni moment nosivosti za simetri ne I presjeke

$$M_{y,V,Rd} = \left[W_{pl,y} - \frac{\rho A_w^2}{4t_w} \right] \frac{f_y}{\gamma_{M0}} \quad \text{ali} \quad M_{y,V,Rd} \leq M_{y,c,Rd}$$

t_w debljina rebra,

A_w površina rebra ($A_w = t_w h_w$),

$W_{pl,y}$ plasti ni otporni moment za savijanje oko y-y ose.

Kontrola nosivosti popre nog preseka: $\frac{M_{Ed}}{M_{y,V,Rd}} \leq 1,0$

Bo no – torziona izvijanje

Predviđena su tri postupka proračuna:

- opšti postupak,
- postupak za valjane I presjeke i ekvivalentne zavarene presjeke,
- uprošćeni postupak za bo no pridržane grede u zgradarstvu.

Kontrola nosivosti elementa na bo no-torziono izvijanje

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} \leq 1$$

M_{Ed} prora unska vrednost momenta savijanja,

$M_{b,Rd}$ prora unska nosivost elementa na bo no-torziono izvijanje.

Proračunska nosivost elementa na bočno-torziono izvijanje

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} W_y \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

χ_{LT} koeficijent redukcije,
 $W_y = W_{pl,y}$ za preseke klase 1 i 2,
 $W_y = W_{el,y}$ za preseke klase 3,
 $W_y = W_{eff,y}$ za preseke klase 4.

Koeficijent redukcije – opšti slučaj

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} \quad \text{ali} \quad \chi_{LT} \leq 1,0$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}} \quad \text{relativna vitkost za bo no-torziono izvijanje}$$

M_{cr} elastičan kritičan moment bo no-torzionog izvijanja,
 α_{LT} koeficijent imperfekcije za odgovarajuću krivu izvijanja

Koeficijent redukcije – I preseki

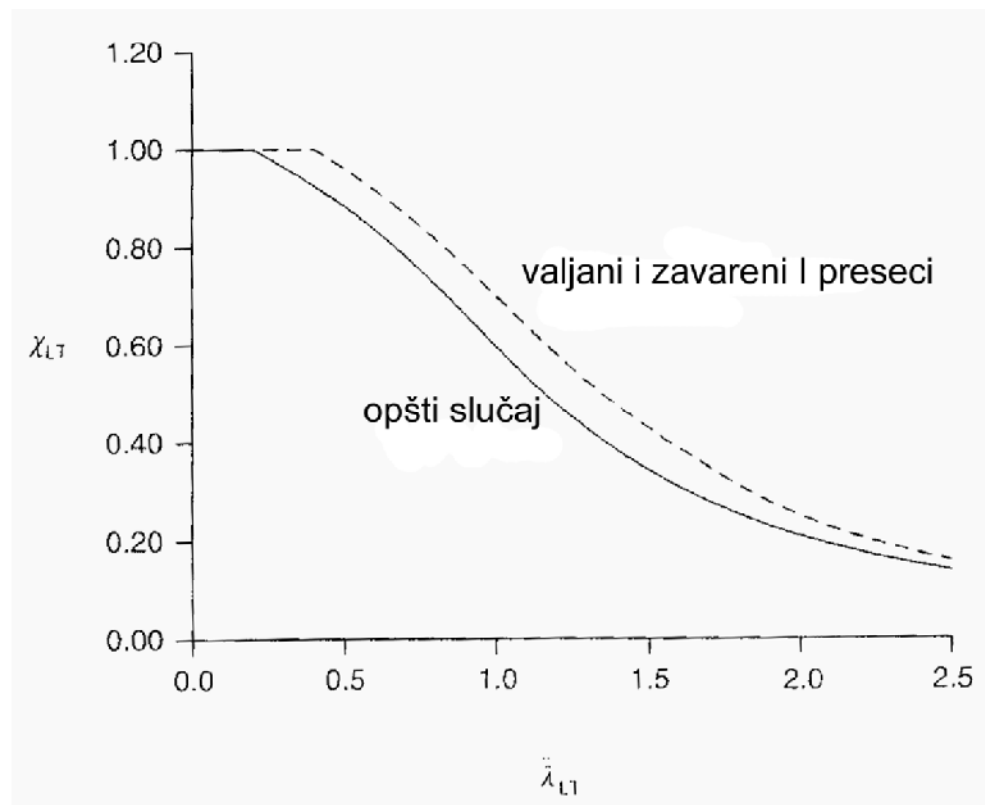
$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \bar{\lambda}_{LT}^2}} \quad \text{ali} \quad \begin{cases} \chi_{LT} \leq 1,0 \\ \chi_{LT} \leq \frac{1}{\bar{\lambda}_{LT}^2} \end{cases}$$

$$\Phi_{LT} = 0,5 \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \bar{\lambda}_{LT}^2 \right]$$

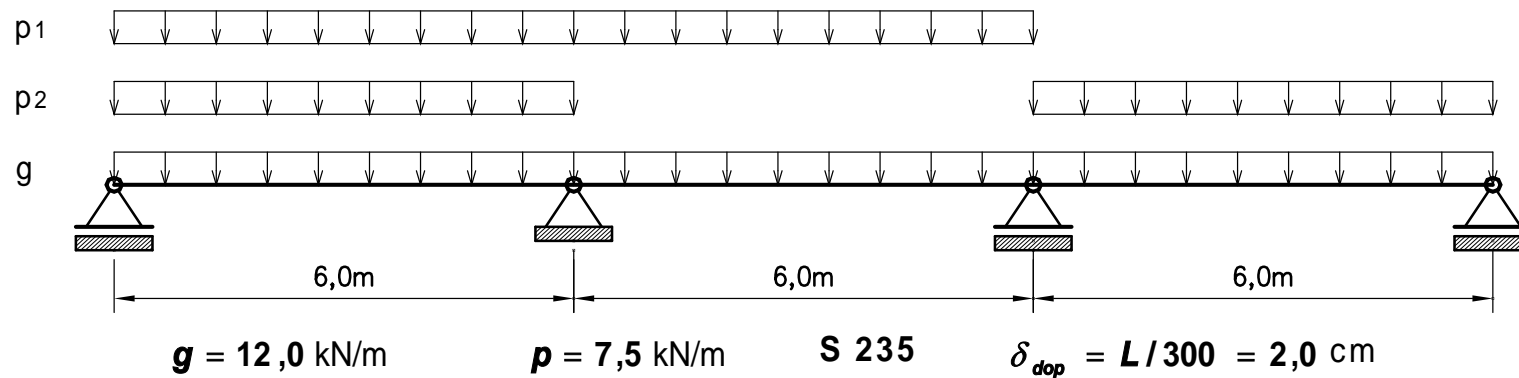
$$\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4 \quad \beta = 0,75$$

Preporu ene vrijednosti parametara!

Krive izvijanja za opšti slučaj i za slučaj I presjeka



Primjer 1: Kontinualni nosa – kontrola nosivosti popre nih presjeka

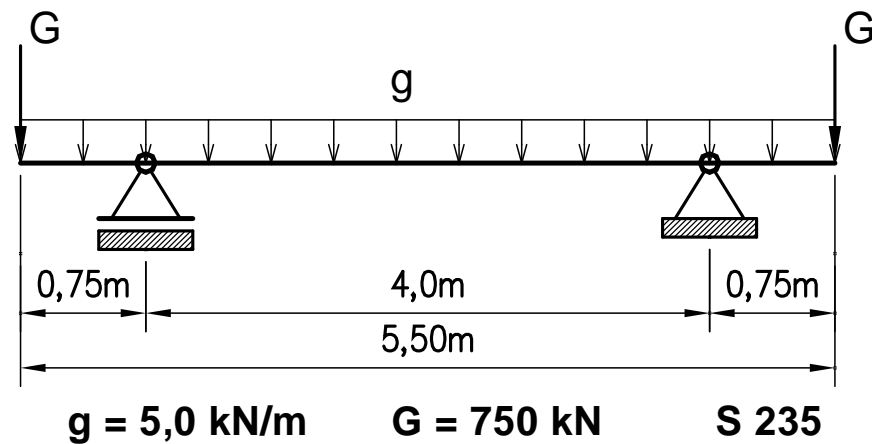


JUS – IPE300

EC3 – IPE270

JUS	EC3
<p>Maksimalni uticaji: - srednji oslonac $M = M_g + M_p = 43,2 + 31,5 = 74,7 \text{ kNm}$ $V = V_g + V_p = 43,20 + 27,75 = 70,95 \text{ kN}$</p> <p>Usvojen presek: IPE 300</p> <p>Kontrola napona: $\sigma = \frac{74,7}{557} = 13,4 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 16,0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$ $\tau = \frac{70,95 \cdot 314}{8360 \cdot 0,71} = 3,75 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 9,0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$</p> <p>Uporedni napon: $\sigma_1 = 12,44 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$ $\tau_1 = 2,77 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$ $\sigma_u = 13,33 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 16,0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$</p> <p>Kontrola deformacija: $\delta = 1,20 \text{ cm} < 2 \text{ cm}$</p>	<p>Maksimalni uticaji: - srednji oslonac $M_{Ed} = 1,35M_g + 1,5M_p = 105,6 \text{ kN}$ $V_{Ed} = 1,35V_g + 1,5V_p = 99,94 \text{ kN}$</p> <p>Usvojen presek: IPE 270 - klasa 1</p> <p>Kontrola nosivosti poprečnih preseka: $M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{484 \cdot 23,5}{1,0} = 113,7 \text{ kNm}$ $\frac{105,6}{113,7} = 0,93 < 1,0$ $A_v = A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f = 22,1 \text{ cm}^2$ $V_{pl,Rd} = \frac{A_v f_y / \sqrt{3}}{\gamma_{M0}} = \frac{22,1 \cdot 13,56}{1,0} = 299,85 \text{ kN}$ $\frac{99,94}{299,85} = 0,33 < 1,0$ Interakcija M-V nije potrebna ($0,33 < 0,5$)!</p> <p>Kontrola deformacija: $\delta = 1,68 \text{ cm} < 2 \text{ cm}$</p>
<p>Komentar: Prema EC3 se dobija manji profil!</p>	

Primer 2: Greda sa prepustima – interakcija savijana i smicanja



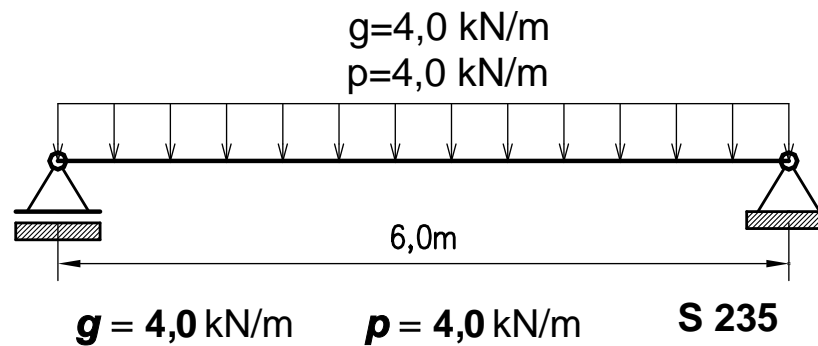
JUS – IPE650

EC3 – IPE450

JUS	EC3
<p>Uticaji na mestu oslonca: $M = M_g = 563,0 \text{ kNm}$ $V = V_g = 753,75 \text{ kN}$</p> <p>Usvojen profil: HEB 650</p> <p>Kontrola napona: $\sigma = \frac{56300}{6480} = 8,7 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 16 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$ $\tau = \frac{753 \cdot 3660}{210600 \cdot 1,6} = 8,18 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 9,0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$ <p>Uporedni napon: $\sigma_1 = 8,7 \cdot \frac{588}{650} = 7,87 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$ $\tau_1 = \frac{753 \cdot 2878}{210600 \cdot 1,6} = 6,43 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$ $\sigma_u = \sqrt{7,87^2 + 3 \cdot 6,43^2} = 13,63 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$ $13,63 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 16,0 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$ </p></p>	<p>Uticaji na mestu oslonca: $M_{Ed} = 1,35M_g = 761,3 \text{ kNm}$ $V_{Ed} = 1,35V_g = 1017,6 \text{ kN}$</p> <p>Usvojen profil: HEB 450 - klasa 1</p> <p>Kontrola nosivosti poprečnog preseka: $M_{c,Rd} = \frac{W_{pl} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{3980 \cdot 23,5}{1,0} = 935,3 \text{ kNm}$ $\frac{761,3}{935,3} = 0,81 < 1,0$ $A_v = A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f = 79,7 \text{ cm}^2$ $V_{pl,Rd} = \frac{A_v f_y / \sqrt{3}}{\gamma_{M0}} = \frac{79,7 \cdot 13,56}{1,0} = 1080,5 \text{ kN}$ $\frac{1017,6}{1080,5} = 0,94 < 1,0$ <p>Interakcija $M - V$: ($0,94 > 0,5$) $\rho = \left(\frac{2V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1 \right)^2 = \left(\frac{2 \cdot 1017,6}{1080,5} - 1 \right)^2 = 0,781$ $M_{y,V,Rd} = \frac{\left(W_{pl} - \frac{\rho A_w^2}{4t_w} \right) f_y}{\gamma_{M0}} =$ $= \frac{\left(3982 - \frac{0,781 \cdot 55,7^2}{4 \cdot 1,4} \right) \cdot 23,5}{1,0} = 812,5 \text{ kNm}$ $\frac{761,3}{812,5} = 0,94 < 1,0$ </p> </p>

Komentar: Prema EC3 se dobija znatno manji profil!

Primer 3: Prosta greda – bo no-torziono izvijanje



JUS – IPE300

EC3 – IPE300

JUS

Maksimalni uticaji:

$$M = M_g + M_p = 18 + 18 = 36,0 \text{ kNm}$$

$$V = V_g + V_p = 12 + 12 = 24,0 \text{ kN}$$

Usvojen presek: **IPE 300**

$$\sigma = \frac{3600}{557} = 6,46 \text{ kN/cm}^2$$

$$\tau = \frac{24 \cdot 312,2}{8356 \cdot 0,71} = 1,26 \text{ kN/cm}^2$$

$$\lambda_z = \frac{l_z}{i_z} = \frac{600}{4,33} = 138,0 > 40 \sqrt{\frac{235}{f_y}}$$

Kontrola stabilnosti:

Razmak viljuškastih oslonaca

$$L_t = 600 \text{ cm}$$

Razmak tačaka bočnog pridržavanja

$$L_y = 600 \text{ cm}$$

Kritičan napon deplanacije

$$\sigma_{wd} = 10,02 \text{ kN/cm}^2$$

Sen-Venanov napon izvijanja

$$\sigma_{va} = 15,1 \text{ kN/cm}^2$$

Kritičan napon izvijanja

$$\sigma_{cr,d} = 13,55 \text{ kN/cm}^2$$

Bezdimenzionalni koeficijent bočnog izvijanja:

$$\chi_D = 0,448$$

Dopušten napon bočnog izvijanja:

$$\sigma_{D,dop} = 8,08 \text{ kN/cm}^2$$

Kontrola stabilnosti

$$\sigma = 6,46 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < \sigma_{D,dop} = 8,08 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

EC3

Maksimalni uticaji:

$$M_{Ed} = 1,35M_g + 1,5M_p = 1,35 \cdot 18 + 1,5 \cdot 18 = 51,3 \text{ kNm}$$

$$V_{Ed} = 1,35V_g + 1,5V_p = 1,35 \cdot 12 + 1,5 \cdot 12 = 34,2 \text{ kN}$$

Usvojen presek: **IPE 300 - klasa 1**

$$M_{c,Rd} = \frac{W_{pl,y} f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{628,4 \cdot 23,5}{1,0} = 147,4 \text{ kNm}$$

$$A_v = A - 2bt_f + (t_w + 2r)t_f = 25,7 \text{ cm}^2$$

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v f_y / \sqrt{3}}{\gamma_{M0}} = \frac{25,68 \cdot 13,56}{1,0} = 348,0 \text{ kN}$$

Proračun nosivosti na bočno toriono izvijanje:

- kritični moment

$$M_{cr} = C_1 \frac{\pi^2 E I_z}{L_{cr}^2} \left\{ \sqrt{\frac{I_w}{I_z} + \frac{L_{cr}^2 G I_t}{\pi^2 E I_z} + (C_2 z_g)^2} - C_2 z_g \right\} =$$

$$= 1,132 \cdot \frac{\pi^2 \cdot E \cdot 603,8}{600^2} \cdot$$

$$\left\{ \sqrt{\frac{125,9}{603,8} + \frac{600^2 \cdot G \cdot 20,12}{\pi^2 \cdot E \cdot 603,8}} + 0,459 \cdot 15 - 0,459 \cdot 15 \right\}$$

$$M_{cr} = 62,18 \text{ kNm}$$

$$\bar{\lambda}_{LT} = \sqrt{\frac{W_y f_y}{M_{cr}}} = \sqrt{\frac{628,4 \cdot 23,5}{62,18}} = 1,541 > \bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{cr}} = \frac{51,3}{62,18} = 0,82 > \bar{\lambda}_{LT}^2 = 0,16$$

Potrebna je kontrola nosivosti na bočno torziono izvijanje!

Proračun nosivosti na bočno torziono izvijanje prema EC3 može da se sprovede na tri načina. U ovom primeru su analizirana sva tri postupka!

Uprošćeni postupak:

$$\bar{\lambda}_y = \frac{k_c L_c}{i_{f,z} \lambda_1} = \frac{0,94 \cdot 600}{3,94 \cdot 93,9} = 1,524$$

$$\Phi = 0,5 \left[1 + \alpha (\bar{\lambda}_y - 0,2) + \bar{\lambda}_y^2 \right] =$$

$$0,5 \cdot \left[1 + 0,49 \cdot (1,524 - 0,2) + 1,524^2 \right] = 1,985$$

$$\chi = \frac{1}{\Phi + \sqrt{\Phi^2 - \bar{\lambda}_y^2}} = 0,307$$

$$M_{b,Rd} = k_{\chi} \chi M_{c,Rd} = 1,10 \cdot 0,307 \cdot 147,4 = 49,8 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{51,3}{49,8} = 1,03 > 1,0$$

Opšti postupak:

$$\Phi_{LT} = 0,5 \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - 0,2) + \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] =$$

$$0,5 \cdot \left[1 + 0,206 \cdot (1,541 - 0,2) + 1,541^2 \right] = 1,825$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \bar{\lambda}_{LT}^2}} = 0,356$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \frac{W_y f_y}{\gamma_{M1}} = 0,356 \cdot 147,4 = 52,5 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{51,3}{52,5} = 0,98 < 1,0$$

Postupak za I i H profile ($\bar{\lambda}_{LT,0} = 0,4$; $\beta = 0,75$)

$$\Phi_{LT} = 0,5 \left[1 + \alpha_{LT} (\bar{\lambda}_{LT} - \bar{\lambda}_{LT,0}) + \beta \bar{\lambda}_{LT}^2 \right] =$$

$$0,5 \cdot \left[1 + 0,339 \cdot (1,541 - 0,4) + 0,75 \cdot 1,541^2 \right] = 1,584$$

$$\chi_{LT} = \frac{1}{\Phi_{LT} + \sqrt{\Phi_{LT}^2 - \beta \bar{\lambda}_{LT}^2}} = 0,410$$

$$M_{b,Rd} = \chi_{LT} \frac{W_y f_y}{\gamma_{M1}} = 0,411 \cdot 147,4 = 60,58 \text{ kNm}$$

$$\frac{M_{Ed}}{M_{b,Rd}} = \frac{51,3}{60,58} = 0,85 < 1,0$$

Komentar: Dobijaju se slični rezultati prema JUS-u i prema EC3 (isti profil). Uprošćeni postupak prema EC3 daje najniže vrednosti nosivosti na bočno torziono izvijanje, nešto veće vrednosti se dobijaju primenom opšteg postupka, a najveće vrednosti daje postupak za vruće valjane i ekvivalentne zavarene I i H profile koji u ovakvim slučajevima treba i koristiti.

Obzirom da u okviru ovog standarda - EN 1993-1-1 nisu date odredbe za proračun kritičnog momenta savijanja u ovom primeru je korišćen opšti izraz za kritični moment bočno torzionog izvijanja koji je dat u predstandardu ENV 1993-1-1.

Zaključak

- Eurokod 3 je sveobuhvatan savremen propis zasnovan na najnovijim saznanjima iz oblasti elinih konstrukcija;
- Naši važeći propisi su, u većoj ili manjoj meri, konzervativni i nedoređeni u odnosu na EC3;
- EC 3 je veoma obiman i zahtjevan standard koji podrazumijeva duge i zametne proračune kod kojih se od inženjera traži naročita pažnja i posvećenost;
- Za uspješno projektovanje pomoću EC 3 preporučuje se upotreba odgovarajućih softvera, pri čemu se podrazumijeva potpuno razumijevanje kodova i mogućnost pune kontrole tačnosti rezultata proračuna;

Zaključak

- Da bi se uspješno projektovala konstrukcija zgrade potrebno je uključiti EN 1993-1-3, EN 1993-1-5 i EN 1993-1-8
- Nacionalni aneksi;
- Prateći standardi.

