

Univerza
v Ljubljani

Fakulteta
*za gradbeništvo
in geodezijo*



Katedra za metalne konstrukcije

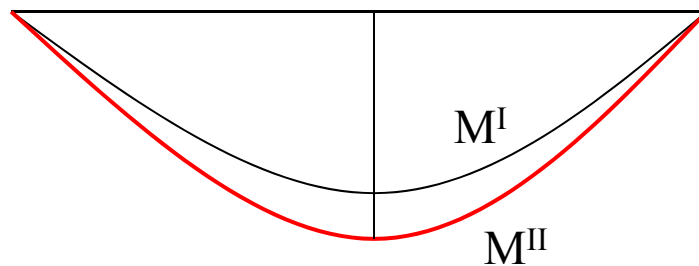
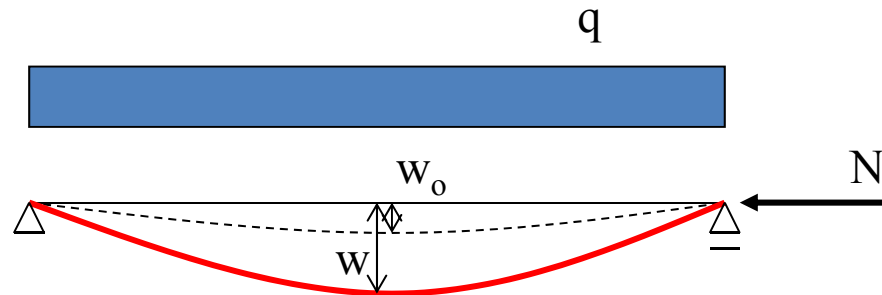
JEKLENE KONSTRUKCIJE I

12.0 INTERAKCIJA TLAČNO IN UPOGIBNO OBREMENJENIH NOSILCEV

prof. dr. Darko Beg

Sodelavci: dr. Peter Skuber, Tomaž Rugelj

Interakcija M – N: enoosni upogib – elastična TDR brez bočne zvrnitve



$$M^I = M(q) + w_0 N$$

$$M^{II} \approx k_\delta M^I = k_\delta (M(q) + w_0 N)$$

$$k_\delta = \frac{1}{1 - \bar{\lambda}^2 \bar{N}} \quad \dots \text{ koeficient TDR}$$

$$\sigma_{\max}^{II} = \frac{N}{A} + \frac{M^{II}}{W} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

Interakcijska enačba

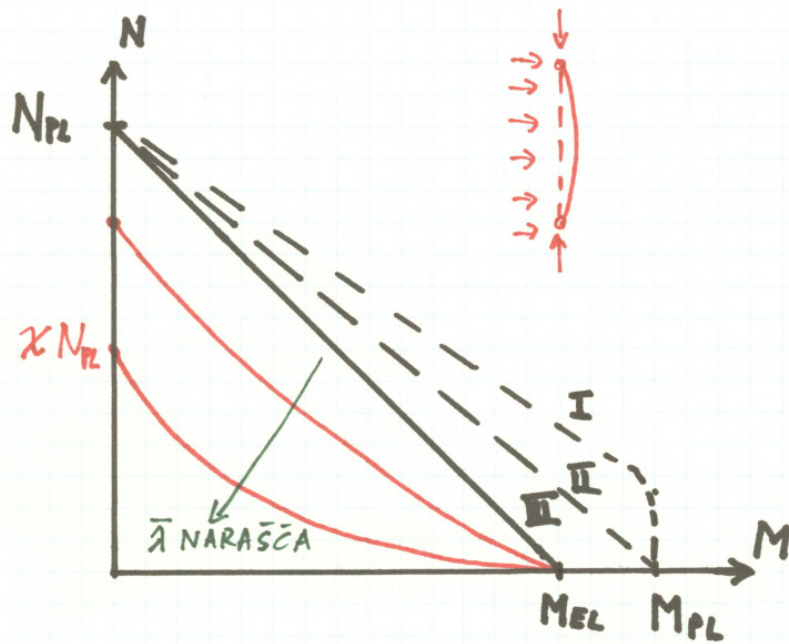
$$\sigma_{\max}^H = \frac{N}{A} + k_{\delta} \frac{M(q) + w_o N}{W} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M1}}$$

$$\sigma_{\max}^H = \frac{N}{A} \left(1 + k_{\delta} \frac{w_o A}{W} \right) + k_{\delta} \frac{M(q)}{W} \leq \frac{f_y}{\gamma_{M1}} \quad \left(: \frac{f_y}{\gamma_{M1}} \right)$$

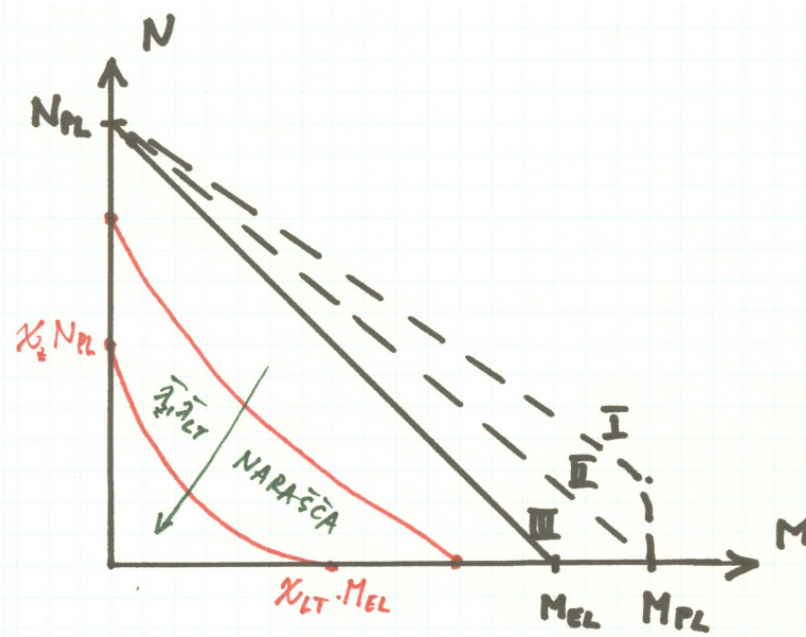
$$k_N \frac{N}{\chi A \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} + k_M \frac{M(q)}{W \frac{f_y}{\gamma_{M1}}} \leq 1.0 \quad ; \quad k_N = \chi \left(1 + k_{\delta} \frac{w_o A}{W} \right) \approx 1.0, \quad k_M = k_{\delta}$$

Interakcijska enačba

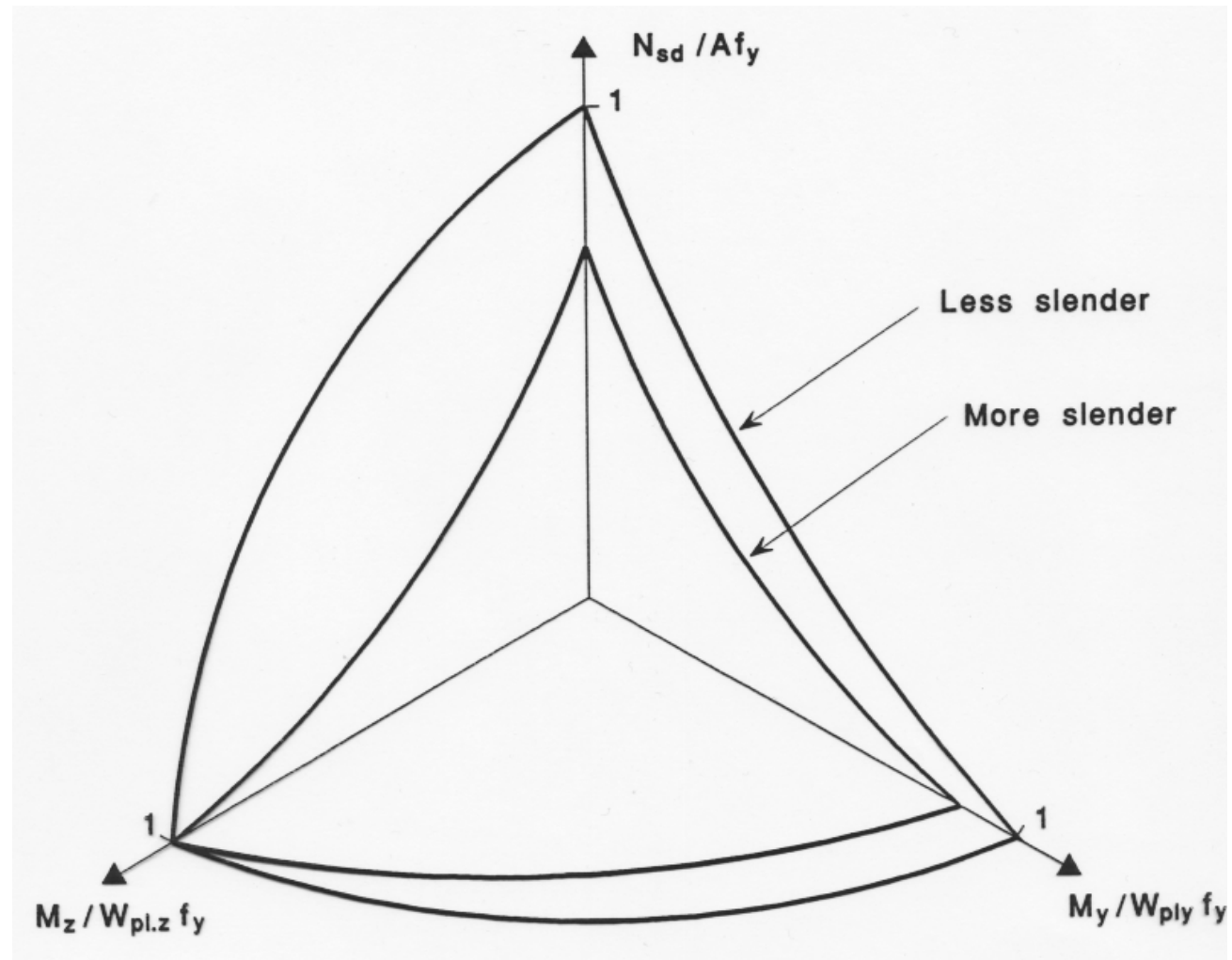
- Ne izraža kontrole napetosti, ampak kontrolo stabilnosti elementa (vsebuje vitkost $\bar{\lambda}$).
- Vpliv TDR je zajet v amplifakcijskem faktorju k_{δ} .
- Vpliv začetnih geometrijskih nepopolnosti in zaostalih napetosti je zajet v w_0 .



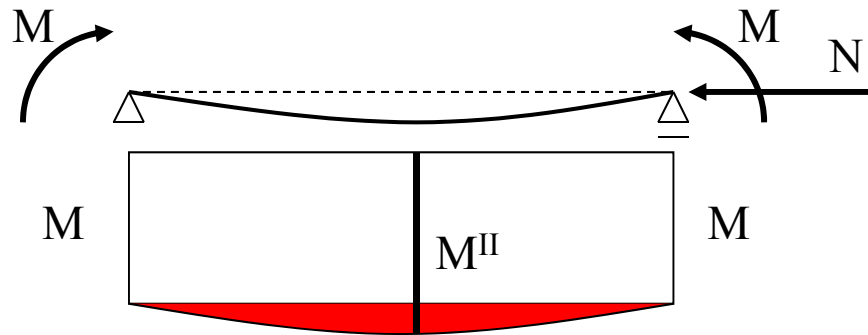
Interakcija brez bočne zvrnitve.



Interakcija z bočno zvrnitvijo.

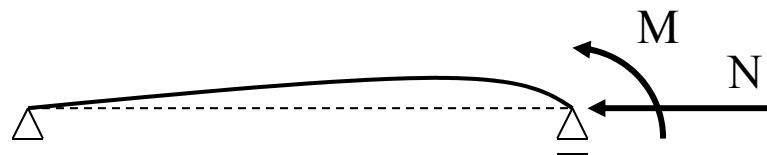


- Vpliv poteka upogibnih momentov se lahko zajame s prilagoditvijo koeficienta k_M .

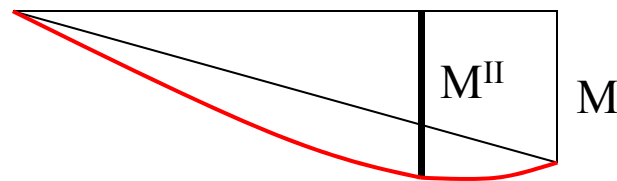


vedno:

$$M^{II} \geq M$$

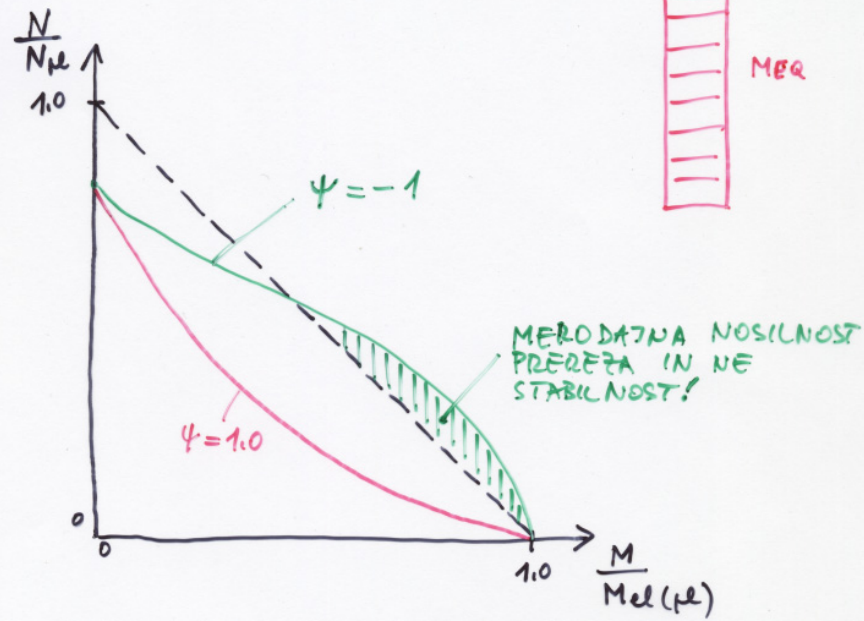
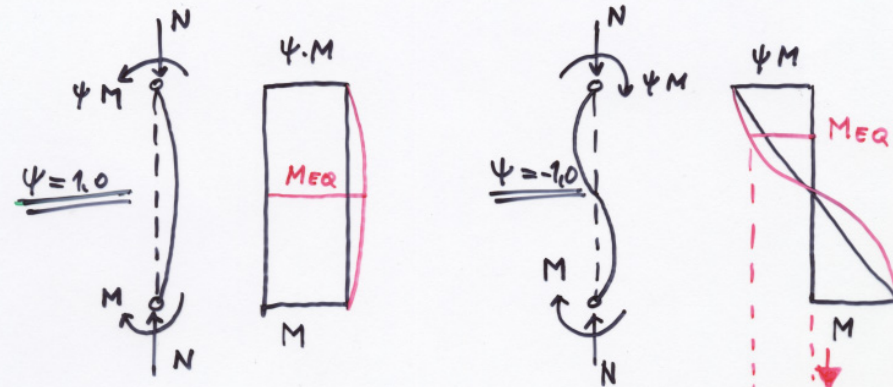


samo pri velikih vitkosti in osnih silah:



$$M^{II} \geq M$$

VPLIV POTEKA MOMENTA



Interakcijske enačbe v SIST EN 1993-1-1

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \frac{\frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yz} \frac{\frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1$$

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zy} \frac{\frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{zz} \frac{\frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1$$

Interakcijske enačbe v SIST EN 1993-1-1

$$N_{Rk} = A_i f_y$$

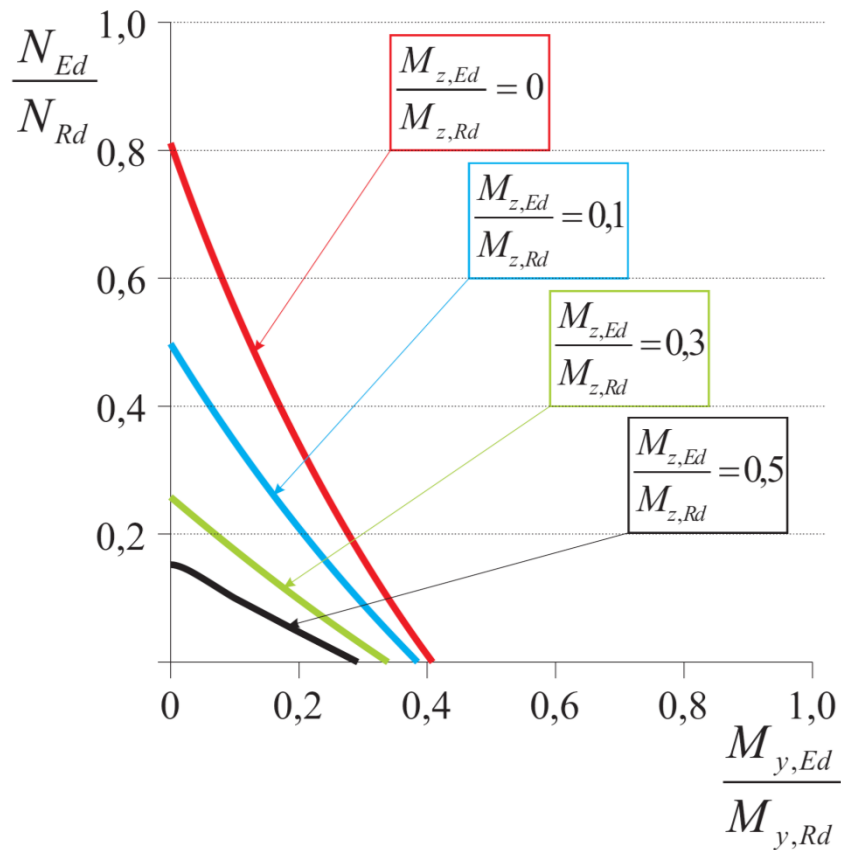
$$M_{i,Rk} = W_i f_y$$

Razred kompaktnosti	1	2	3	4
A_i	A	A	A	A_{eff}
W_y	$W_{\text{pl},y}$	$W_{\text{pl},y}$	$W_{\text{el},y}$	$W_{\text{eff},y}$
W_z	$W_{\text{pl},z}$	$W_{\text{pl},z}$	$W_{\text{el},z}$	$W_{\text{eff},z}$
$\Delta M_{y,\text{Ed}}$	0	0	0	$e_{N,y} N_{\text{Ed}}$
$\Delta M_{z,\text{Ed}}$	0	0	0	$e_{N,z} N_{\text{Ed}}$

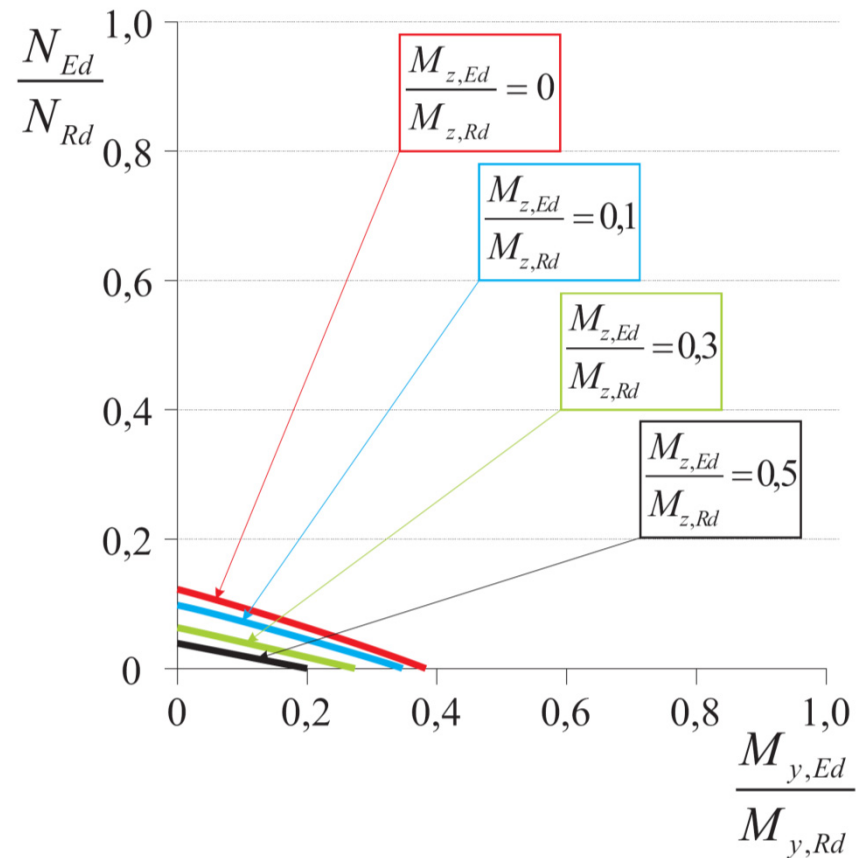
Interakcijske enačbe

- *prostoležič nosilec*, $l_u = 10$ m
- IPE 400 $\rightarrow \lambda_{LT} = 1,61 > 0,4 \rightarrow$ *nevarnost bočne zvrnitve*

Interakcija za IPE 400,
močna os



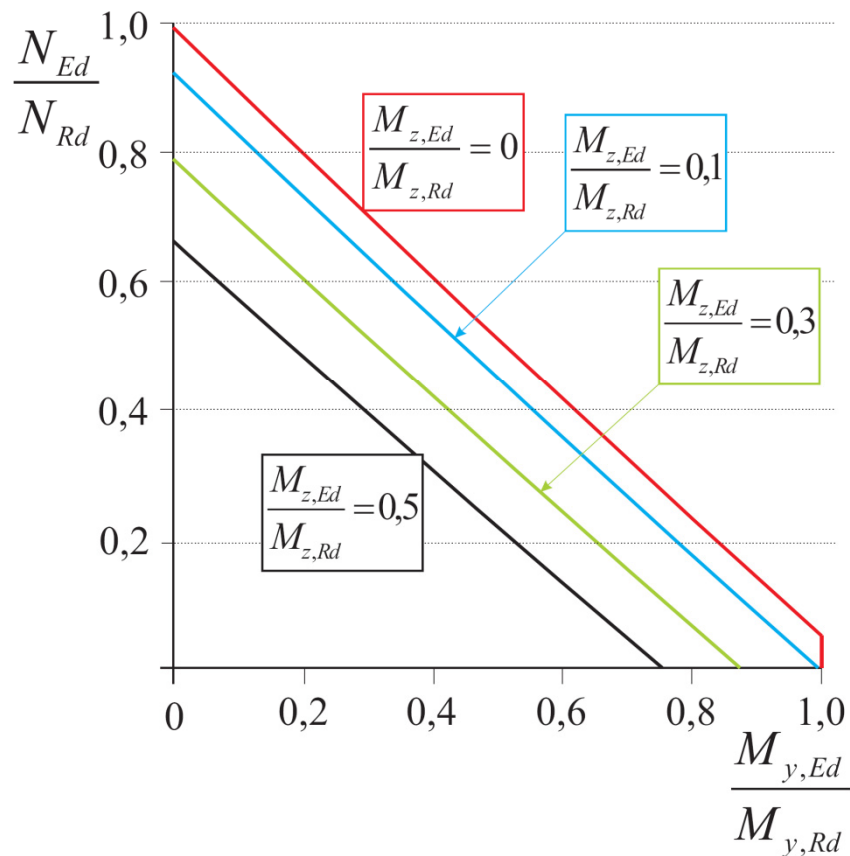
Interakcija za IPE 400,
šibka os



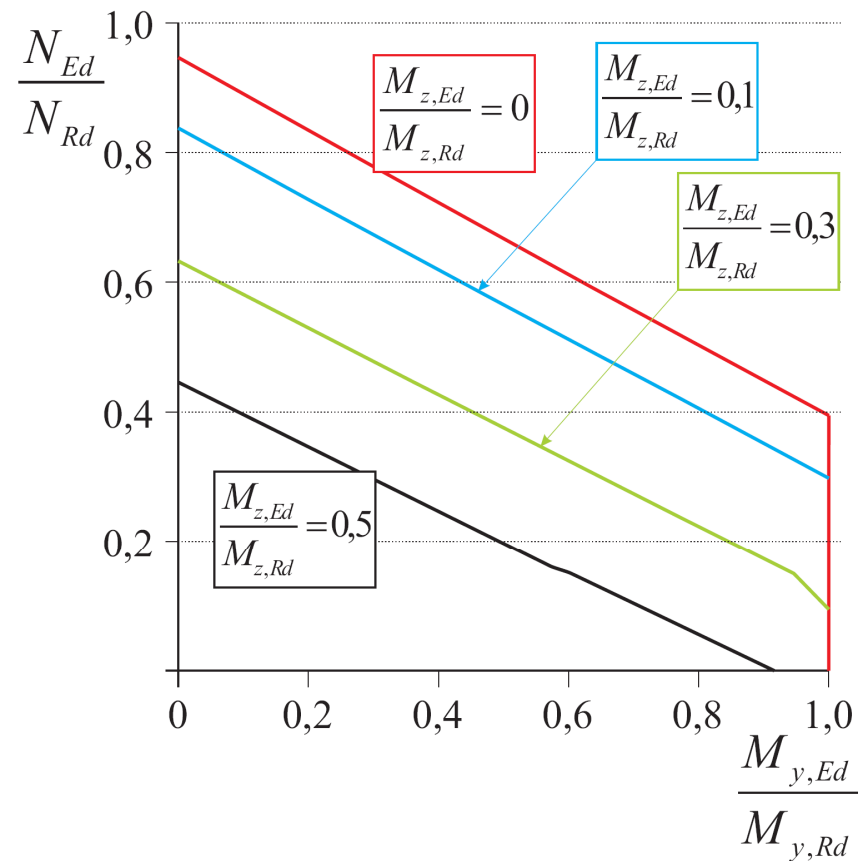
Interakcijske enačbe

- *prostoležič nosilec, $l_u = 3$ m*
- *HEB 300 $\rightarrow \lambda_{LT} = 0,37 < 0,4 \rightarrow$ nevarnosti bočne zvrnitve NI!*

Interakcija za HEB 300,
močna os



Interakcija za HEB 300,
šibka os



Preglednica B.1: Interakcijski faktorji k_{ij} za elemente, ki niso občutljivi na torzijske deformacije


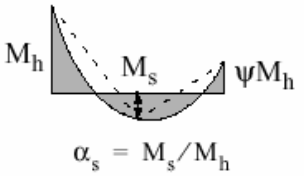
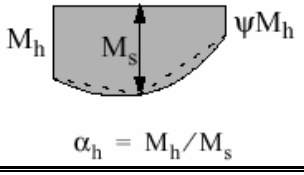
Interakcijski faktorji	Vrsta prečnega prereza	Projektne predpostavke	
		elastične lastnosti prečnega prereza 3. in 4. razred kompaktnosti	plastične lastnosti prečnega prereza 1. in 2. razred kompaktnosti
k_{yy}	I-prerezi ali pravokotni votli prerezi (RHS)	$C_{my} \left(1 + 0,6 \bar{\lambda}_y \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{my} \left(1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$	$C_{my} \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$
k_{yz}	I-prerezi RHS-prerezi	k_{zz}	$0,6 k_{zz}$
k_{zy}	I-prerezi RHS-prerezi	$0,8 k_{yy}$	$0,6 k_{yy}$
k_{zz}	I-prerezi	$C_{mz} \left(1 + 0,6 \bar{\lambda}_z \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{mz} \left(1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$	$C_{mz} \left(1 + (2\bar{\lambda}_z - 0,6) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{mz} \left(1 + 1,4 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$
	Pravokotni votli prerezi (RHS)	$C_{mz} \left(1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$	$C_{mz} \left(1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$ $\leq C_{mz} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$

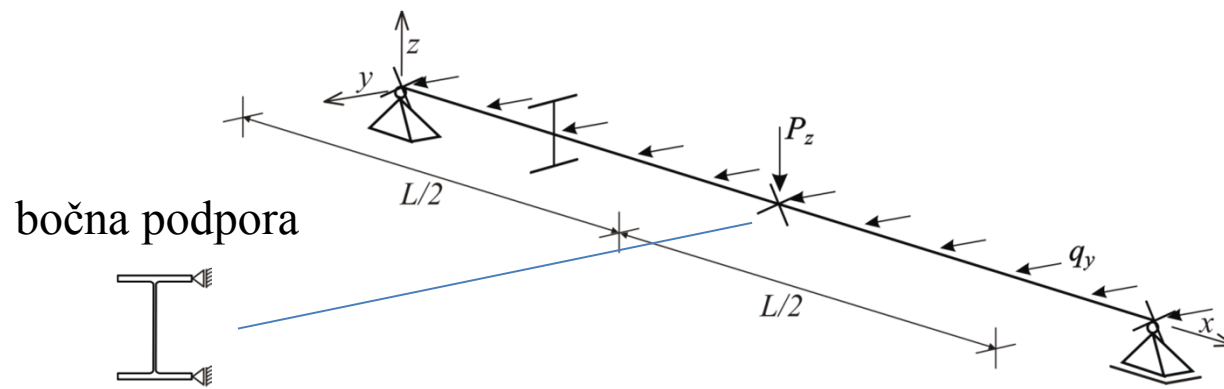
Pri I- in H-prerezih ter pri pravokotnih votlih prerezih, obremenjenih s tlačno osno silo in enoosnim upogibom $M_{y,Ed}$, lahko privzamemo $k_{zy} = 0$.

Preglednica B.2: Interakcijski faktorji k_{ij} za elemente, ki so občutljivi na torzijske deformacije

Interak- cijski faktorji	Projektne predpostavke	
	elastične lastnosti prečnega prereza 3. in 4. razred kompaktnosti	plastične lastnosti prečnega prereza 1. in 2. razred kompaktnosti
k_{yy}	k_{yy} iz preglednice B.1	k_{yy} iz preglednice B.1
k_{yz}	k_{yz} iz preglednice B.1	k_{yz} iz preglednice B.1
k_{zy}	$\left[1 - \frac{0,05\bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right]$ $\geq \left[1 - \frac{0,05}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right]$	$\left[1 - \frac{0,1\bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right]$ $\geq \left[1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right]$ <p>for $\bar{\lambda}_z < 0,4$:</p> $k_{zy} = 0,6 + \bar{\lambda}_z \leq 1 - \frac{0,1\bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25)} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}}$
k_{zz}	k_{zz} iz preglednice B.1	k_{zz} iz preglednice B.1

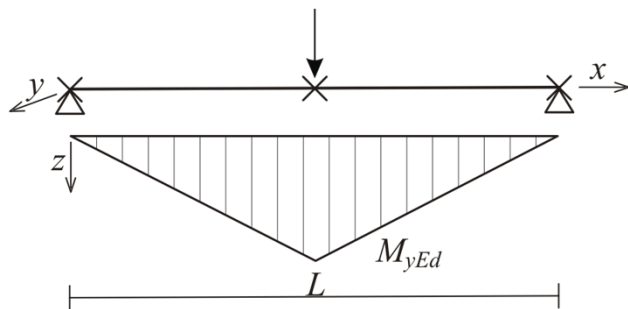
Preglednica B.3: Faktorji nadomestnega upogibnega momenta C_m v preglednicah B.1 in B.2

Momentni diagram	območje		C_{my} , C_{mz} in C_{mLT}													
			zvezna obtežba	koncentrirana obtežba												
	$-1 \leq \psi \leq 1$		$0,6 + 0,4\psi \geq 0,4$													
 $\alpha_s = M_s/M_h$	$0 \leq \alpha_s \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$												
	$-1 \leq \alpha_s < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,1 - 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$-0,8\alpha_s \geq 0,4$												
		$-1 \leq \psi < 0$	$0,1(1-\psi) - 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$0,2(-\psi) - 0,8\alpha_s \geq 0,4$												
 $\alpha_h = M_h/M_s$	$0 \leq \alpha_h \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_h$	$0,90 + 0,10\alpha_h$												
	$-1 \leq \alpha_h < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_h$	$0,90 + 0,10\alpha_h$												
		$-1 \leq \psi < 0$	$0,95 + 0,05\alpha_h(1+2\psi)$	$0,90 + 0,10\alpha_h(1+2\psi)$												
<p>Za elemente pomičnih okvirov se za faktor nadomestnega upogibnega momenta vzame $C_{my} = 0,9$ oziroma $C_{Mz} = 0,9$.</p> <p>C_{my}, C_{mz} in C_{mLT} je potrebno določiti glede na potek upogibnih momentov med sosednjima točkama podpiranja kot sledi:</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>faktor momenta</th> <th>os upogiba</th> <th>točke podpiranja v smeri</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>C_{my}</td> <td>y-y</td> <td>z-z</td> </tr> <tr> <td>C_{mz}</td> <td>z-z</td> <td>y-y</td> </tr> <tr> <td>C_{mLT}</td> <td>y-y</td> <td>y-y</td> </tr> </tbody> </table>					faktor momenta	os upogiba	točke podpiranja v smeri	C_{my}	y-y	z-z	C_{mz}	z-z	y-y	C_{mLT}	y-y	y-y
faktor momenta	os upogiba	točke podpiranja v smeri														
C_{my}	y-y	z-z														
C_{mz}	z-z	y-y														
C_{mLT}	y-y	y-y														



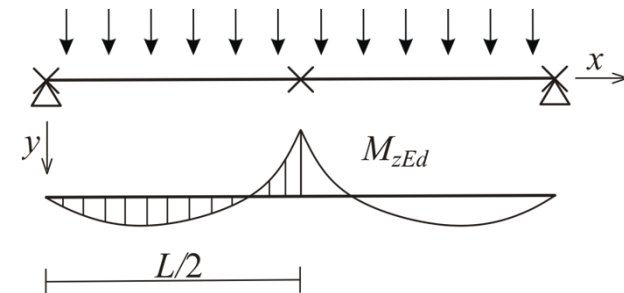
- moment okoli močne osi, podpore v smeri z osi

$$C_{my}, L_{u,y} = L$$



- moment okoli šibke osi, podpore v smeri y osi

$$C_{mz}, L_{u,z} = \frac{L}{2}$$



- moment okoli močne osi, podpore v smeri y osi

$$C_{MLT}, L_{u,LT} = \frac{L}{2}$$

