

Tlačno in upogibno obremenjeni elementi s konstantnim prečnim prerezom

(1) Če ni bila opravljena analiza po teoriji drugega reda ob upoštevanju nepopolnosti iz SIST EN 1003-1-1, pogl. 5.3.2, je potrebno elemente z dvojno simetričnimi prečnimi prerezi, ki niso občutljivi na distorzijske deformacije, preveriti v skladu z odstavki (2) do (5). Pri tem je potrebno razlikovati med dvema primeroma:

- elementi, ki niso občutljivi na torzijske zasuke, npr. elementi z votlimi prerezi ali bočno oziroma torzijsko podprti elementi
- elementi, ki so občutljivi na torzijske zasuke, npr. elementi z odprtimi prečnimi prerezi brez bočnih oziroma torzijskih podpor.

(2) Dodatno h kontroli stabilnosti je potrebno zagotoviti, da imajo prečni prerezi na obeh koncih elementa zadostno nosilnost.

OPOMBA 1 Interakcijske formule temeljijo na računskem modelu izoliranih členkastih palic z viličastimi podporami (na obeh koncih preprečen torzijski zasuk), ki so bočno proste ali bočno povsem podprte in podvržene tlačni osni sili, robnim upogibnim momentom in/ali prečni obtežbi.

OPOMBA 2 Za elemente, ki ne izpolnjujejo pogojev uporabe interakcijskih enačb iz (1) in (2), glej SIST EN 1993-1-1, pogl. 6.3.4.

(3) Posamezne elemente konstrukcijskega sistema lahko obravnavamo kot izolirane palice, izrezane iz konstrukcije. Globalne vplive teorije drugega reda je potrebno upoštevati bodisi s povečanjem robnih momentov (globalna analiza po teoriji drugega reda) ali z upoštevanjem ustreznih uklonskih dolžin.

(4) Elementi, podvrženi istočasnemu vplivu upogiba in tlačne osne sile, morajo izpolniti naslednja pogoja:

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}} + k_{yy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1 \tag{0.1}$$

$$\frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk}} + k_{zy} \frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{\frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1, \tag{0.2}$$

kjer so N_{Ed} , $M_{y,Ed}$ in $M_{z,Ed}$ projektne vrednosti tlačne osne sile in največjih upogibnih momentov vzdolž elementa okoli y-y in z-z osi

$\Delta M_{y,Ed}$, $\Delta M_{z,Ed}$ upogibna momenta zaradi premika težišča sodelujočega prereza v skladu z SIST EN 1993-1-1, pogl. 6.2.9.3 (4. razred kompaktnosti), glej preglednico 1,

χ_y in χ_z redukcijska faktorja upogibnega uklona, glej SIST EN 1993-1-1, pogl. 6.3.1

χ_{LT} redukcijski faktor bočne zvrnitve, glej SIST EN 1993-1-1, pogl. 6.3.2

k_{yy} , k_{yz} , k_{zy} , k_{zz} interakcijski faktorji.

Preglednica 1: Vrednosti za $N_{Rk} = f_y A_i$, $M_{i,Rk} = f_y W_i$ in $\Delta M_{i,Ed}$

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

OPOMBA Za elemente, ki niso občutljivi na torzijske deformacije se za χ_{LT} privzame $\chi_{LT} = 1,0$.

- (5) Interakcijski faktorji k_{yy} , k_{yz} , k_{zy} , k_{zz} se razlikujejo glede na metodo, ki jo uporabimo.

OPOMBA 1 Interakcijski faktorji k_{yy} , k_{yz} , k_{zy} in k_{zz} so bili določeni ločeno za dva različna pristopa. Njihove vrednosti so podane v Dodatku A (alternativna metoda 1) oziroma Dodatku B (alternativna metoda 2).

OPOMBA 2 V Nacionalnem dodatku k SIST EN 1993-1-1 je dovoljena uporaba obeh metod (metoda 1 in metoda 2). Metoda 1 je nekoliko natančnejša, vendar zahtevnejša za uporabo (računalniški programi), metoda 2 pa malo manj natančna, vendar primerna za ročno računanje.

OPOMBA 3 Zaradi enostavnosti je dovoljeno kontrole interakcije izvesti samo v elastičnem področju.

Dodatek A [informativni] – Metoda 1: Interakcijski faktorji k_{ij} za interakcijske enačbe

PREGLEDNICA A.1: Interakcijski faktorji k_{ij}

Interakcijski faktorji	Projektne predpostavke	
	elastične lastnosti prečnega prereza 3. in 4. razred kompaktnosti	plastične lastnosti prečnega prereza 1. in 2. razred kompaktnosti
k_{yy}	$C_{my} C_{mLT} \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}$	$C_{my} C_{mLT} \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \frac{1}{C_{yy}}$
k_{yz}	$C_{mz} \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}$	$C_{mz} \frac{\mu_y}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \frac{1}{C_{yz}} 0,6 \sqrt{\frac{w_z}{w_y}}$
k_{zy}	$C_{my} C_{mLT} \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}$	$C_{my} C_{mLT} \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}} \frac{1}{C_{zy}} 0,6 \sqrt{\frac{w_y}{w_z}}$
k_{zz}	$C_{mz} \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}$	$C_{mz} \frac{\mu_z}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}} \frac{1}{C_{zz}}$
Pomožni izrazi:		
$\mu_y = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}{1 - \chi_y \frac{N_{Ed}}{N_{cr,y}}}$ $\mu_z = \frac{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}{1 - \chi_z \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}}$ $w_y = \frac{W_{pl,y}}{W_{el,y}} \leq 1,5$ $w_z = \frac{W_{pl,z}}{W_{el,z}} \leq 1,5$ $n_{pl} = \frac{N_{Ed}}{N_{Rk} / \gamma_{M1}}$ $C_{my} \text{ glej Pregl. A.2}$ $a_{LT} = 1 - \frac{I_T}{I_y} \geq 0$	$C_{yy} = 1 + (w_y - 1) \left[\left(2 - \frac{1,6}{w_y} C_{my}^2 \bar{\lambda}_{max} - \frac{1,6}{w_y} C_{my}^2 \bar{\lambda}_{max}^2 \right) n_{pl} - b_{LT} \right] \geq \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}},$ <p>kjer je $b_{LT} = 0,5 a_{LT} \frac{\bar{\lambda}_0^{-2}}{\chi_{LT}} \frac{M_{y,Ed}}{M_{pl,y,Rd}} \frac{M_{z,Ed}}{M_{pl,z,Rd}}$</p> $C_{yz} = 1 + (w_z - 1) \left[\left(2 - 14 \frac{C_{mz}^2 \bar{\lambda}_{max}^2}{w_z^5} \right) n_{pl} - c_{LT} \right] \geq 0,6 \sqrt{\frac{w_z}{w_y}} \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}},$ <p>kjer je $c_{LT} = 10 a_{LT} \frac{\bar{\lambda}_0^{-2}}{5 + \bar{\lambda}_z} \frac{M_{y,Ed}}{C_{my} \chi_{LT} M_{pl,y,Rd}}$</p> $C_{zy} = 1 + (w_y - 1) \left[\left(2 - 14 \frac{C_{my}^2 \bar{\lambda}_{max}^2}{w_y^5} \right) n_{pl} - d_{LT} \right] \geq 0,6 \sqrt{\frac{w_y}{w_z}} \frac{W_{el,y}}{W_{pl,y}},$ <p>kjer je $d_{LT} = 2 a_{LT} \frac{\bar{\lambda}_0}{0,1 + \bar{\lambda}_z} \frac{M_{y,Ed}}{C_{my} \chi_{LT} M_{pl,y,Rd}} \frac{M_{z,Ed}}{C_{mz} M_{pl,z,Rd}}$</p> $C_{zz} = 1 + (w_z - 1) \left[\left(2 - \frac{1,6}{w_z} C_{mz}^2 \bar{\lambda}_{max} - \frac{1,6}{w_z} C_{mz}^2 \bar{\lambda}_{max}^2 \right) - e_{LT} \right] n_{pl} \geq \frac{W_{el,z}}{W_{pl,z}},$ <p>kjer je $e_{LT} = 1,7 a_{LT} \frac{\bar{\lambda}_0}{0,1 + \bar{\lambda}_z} \frac{M_{y,Ed}}{C_{my} \chi_{LT} M_{pl,y,Rd}}$</p>	

Preglednica A.1 (nadaljevanje)

$$\bar{\lambda}_{\max} = \max \left\{ \bar{\lambda}_y, \bar{\lambda}_z \right\}$$

$\bar{\lambda}_0$ = relativna vitkost pri bočni zvrnitvi zaradi konstantnega upogibnega momenta, ko je $\psi_y = 1,0$ (glej preglednico A.2)

$\bar{\lambda}_{LT}$ = relativna vitkost pri bočni zvrnitvi

Pri $\lambda_0 \leq 0,2\sqrt{C_1}$ $\sqrt[4]{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right)\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,TF}}\right)}$: $C_{my} = C_{my,0}$

$C_{mz} = C_{mz,0}$
 $C_{mLT} = 1,0$

Pri $\lambda_0 > 0,2\sqrt{C_1}$ $\sqrt[4]{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right)\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,TF}}\right)}$: $C_{my} = C_{my,0} + (1 - C_{my,0}) \frac{\sqrt{\varepsilon_y} a_{LT}}{1 + \sqrt{\varepsilon_y} a_{LT}}$

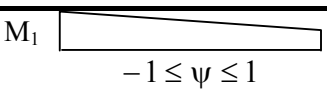
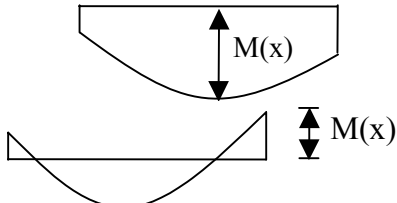
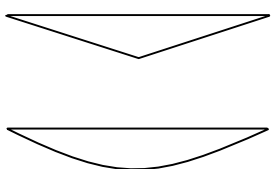
$C_{mz} = C_{mz,0}$
 $C_{mLT} = C_{my}^2 \frac{a_{LT}}{\sqrt{\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,z}}\right)\left(1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr,T}}\right)}} \geq 1$

$\varepsilon_y = \frac{M_{y,Ed}}{N_{Ed}} \frac{A}{W_{el,y}}$ za prečne prereze v 1., 2. in 3. razredu kompaktnosti

$\varepsilon_y = \frac{M_{y,Ed}}{N_{Ed}} \frac{A_{eff}}{W_{eff,y}}$ za prečne prereze v 4. razredu kompaktnosti

$N_{cr,y}$ = elastična kritična sila pri upogibnem uklonu okoli y-y osi
 $N_{cr,z}$ = elastična kritična sila pri upogibnem uklonu okoli z-z osi
 $N_{cr,T}$ = elastična kritična sila pri torzijskem uklonu
 I_T = vztrajnostni moment za St. Venantovo torzijo
 I_y = vztrajnostni moment okoli y-y osi

Preglednica A.2: Faktor nadomestnega upogibnega momenta $C_{mi,0}$

Momentni diagram	$C_{mi,0}$
	$C_{mi,0} = 0,79 + 0,21\psi_i + 0,36(\psi_i - 0,33) \frac{N_{Ed}}{N_{cr,i}}$
	$C_{mi,0} = 1 + \left(\frac{\pi^2 EI_i \delta_x }{L^2 M_{i,Ed}(x) } - 1 \right) \frac{N_{Ed}}{N_{cr,i}}$ <p>$M_{i,Ed}(x)$ je največji upogibni moment $M_{y,Ed}$ ali $M_{z,Ed}$ δ_x je največji upogibek vzdolž elementa</p>
	$C_{mi,0} = 1 - 0,18 \frac{N_{Ed}}{N_{cr,i}}$ $C_{mi,0} = 1 + 0,03 \frac{N_{Ed}}{N_{cr,i}}$

Dodatek B [informativni] – Metoda 2: Interakcijski faktorji k_{ij} za interakcijske enačbe

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


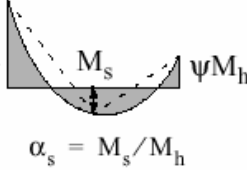
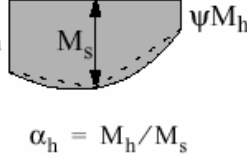
Interakcijski faktorji	Vrsta prečnega prereza	Projektne predpostavke	
		elastične lastnosti prečnega prereza 3. in 4. razred kompaktnosti	plastične lastnosti prečnega prereza 1. in 2. razred kompaktnosti
k_{yy}	I-prerezi ali pravokotni votli prerezi (RHS)	$C_{my} \left(1 + 0,6 \bar{\lambda}_y \frac{N_{Ed}}{\chi_y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

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

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

Interakcijski 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}	$\left[1 - \frac{0,05 \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25) \chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right]$ $\geq \left[1 - \frac{0,05}{(C_{mLT} - 0,25) \chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right]$	$\left[1 - \frac{0,1 \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25) \chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right]$ $\geq \left[1 - \frac{0,1}{(C_{mLT} - 0,25) \chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right]$ <p>for $\bar{\lambda}_z < 0,4$:</p> $k_{zy} = 0,6 + \bar{\lambda}_z \leq 1 - \frac{0,1 \bar{\lambda}_z}{(C_{mLT} - 0,25) \chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}}$
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
	$-1 \leq \psi \leq 1$		$0,6 + 0,4\psi \geq 0,4$	
 $\alpha_s = M_s / M_h$	$0 \leq \alpha_s \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$
	$-1 \leq \alpha_s < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,1 - 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$-0,8\alpha_s \geq 0,4$
		$-1 \leq \psi < 0$	$0,1(1-\psi) - 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$0,2(-\psi) - 0,8\alpha_s \geq 0,4$
 $\alpha_h = M_h / M_s$	$0 \leq \alpha_h \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_h$	$0,90 + 0,10\alpha_h$
	$-1 \leq \alpha_h < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_h$	$0,90 + 0,10\alpha_h$
		$-1 \leq \psi < 0$	$0,95 + 0,05\alpha_h(1+2\psi)$	$0,90 + 0,10\alpha_h(1+2\psi)$
Za elemente pomičnih okvirov se za faktor nadomestnega upogibnega momenta vzame $C_{my} = 0,9$ oziroma $C_{Mz} = 0,9$.				
C_{my} , C_{mz} in C_{mLT} je potrebno določiti glede na potek upogibnih momentov med sosednjima točkama podpiranja kot sledi:				
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		