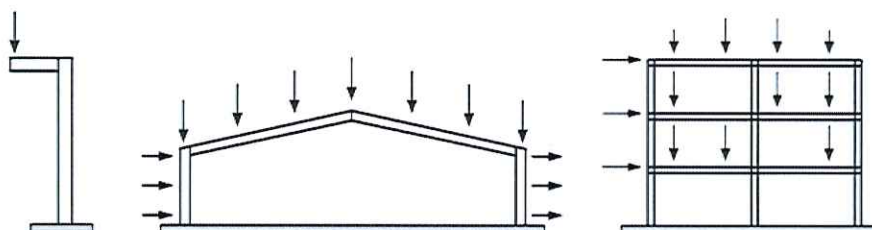


ELEMENTI KONSTANTNOG POPREČNOG PRESJEKA OPTEREĆENI NA SAVIJANJE SA AKSIJALNOM SILOM PRITISKA

UVOD

- Na sljedećoj skici vide se primjeri elemenata u relanim konstrukcijama koji su izloženi savijanju (i/ili smicanju) i pritisku.

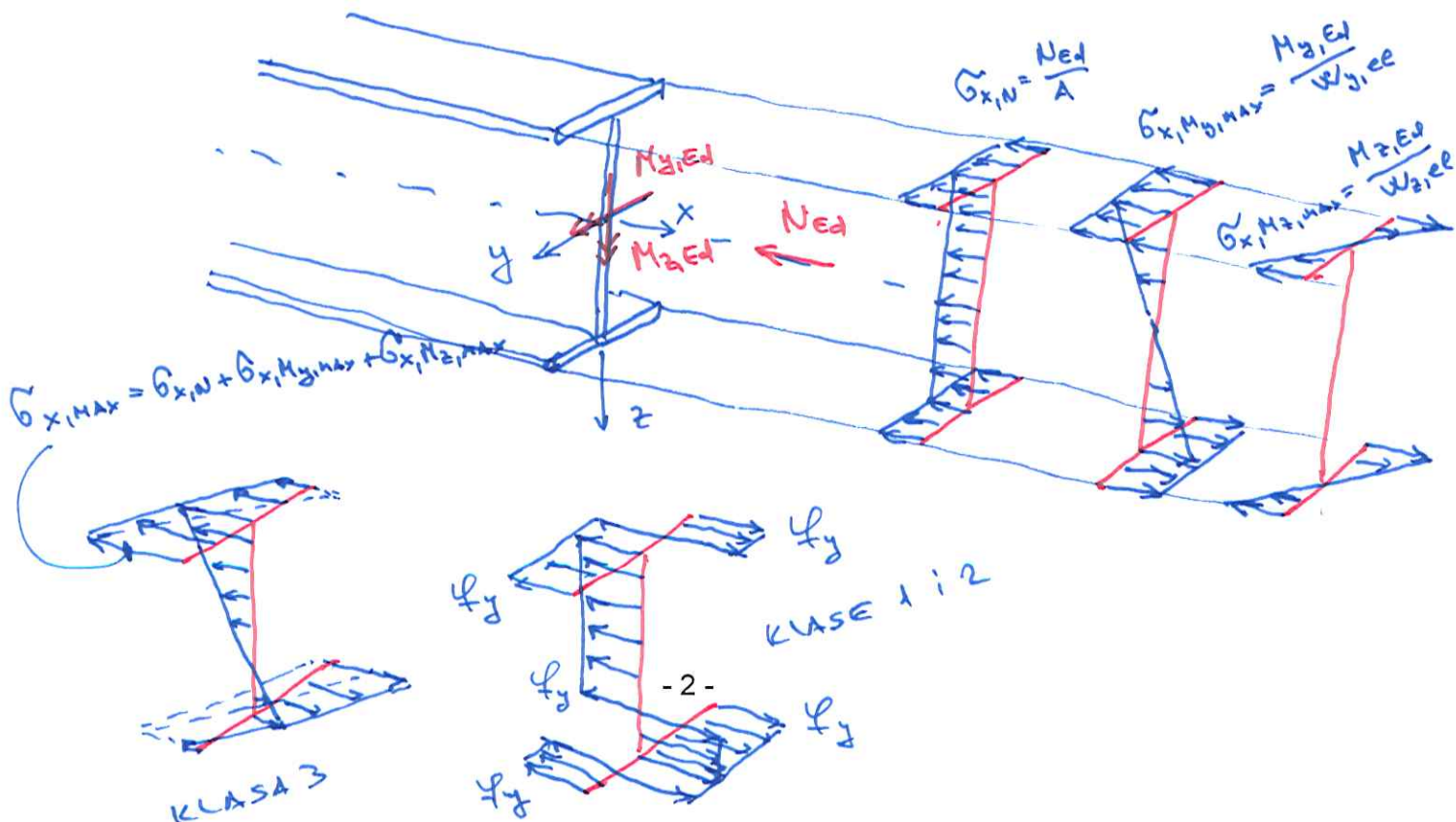


- Obično su stubovi u ramovskim konstrukcijama izloženi ovakvim uticajima. U literaturi takvi elementi nazivaju se beam - columns (nemamo prevod za ovaj termin).
- Ponašanje ovih elemenata zavisi od kombinacije oba uticaja (pritiska i savijanja) i promjenljivo je u zavisnosti od vitkosti.
- Pri manjim vitkostima, nosivost poprečnog presjeka je dominantna. Sa povećanjem vitkosti javljaju se efekti teorije drugog reda, značajno izazvani i geometrijskim nesavršenostima i zaostalim naponima. Na kraju u režimu visokih vitkosti uočljiva je tendencija gubitka stabilnosti (fleksiono ili bočno torziono izvijanje).
- Ponašanje elemenata je u ovom slučaju veoma kompleksno i rezultat je interakcije fenomena gubitka stabilnosti i dostizanja napona na granici tečenja, a zavisno je od nesavršenosti elementa.

ELEMENTI KONSTANTNOG POPREČNOG PRESJEKA OPTEREĆENI NA SAVIJANJE SA AKSIJALNOM SILOM PRITISKA - MEST EN 1993-1-1

- Ukoliko se ne sprovodi analiza drugog reda (**P - δ efekti**) uz korišćenje imperfekcija, stabilnost elemenata konstantnog poprečnog presjeka sa obostrano simetričnim poprečnim presjecima, za presjeka koji nijesu osjetljivi na deformacije krivljenja, treba da se provjeri na fleksiono izvijanje ili bočno torziono izvijanje, kako je dato u sljedećim tačkama, pri čemu treba praviti razliku između:
 - elemenata koji nijesu osjetljivi na torzione deformacije, na primjer kružni šuplji presjeci ili presjeci kojima je spriječena torzija, kod kojih se dešava fleksiono izvijanje i
 - elemenata koji su osjetljivi na torzione deformacije, na primjer elementi sa otvorenim poprečnim presjecima kojima torzija nije spriječena, kod kojih je vjerovatnije da će se desiti bočno torziono izvijanje.
- Pored toga, nosivosti poprečnih presjeka na svakom kraju elementa treba da zadovolji kontrole presjeka (vidi pritisak, savijanje, smicanje, savijanje i smicanje, pritisak i savijanje, pritisak smicanje i savijanje).

Nacrtati napone od N_{Ed} , $M_{y,Ed}$ i $M_{z,Ed}$.



ČELIČNE KONSTRUKCIJE I PREDAVANJE 13

- Interakcione formule za provjeru stabilnosti zasnivaju se na modeliranju prostih greda sa viljuškastim oslanjanjima na krajevima, sa ili bez kontinualnog bočnog pridržavanja, koje su izložene dejstvu sila pritiska, momenata na krajevima i/ili poprečnih opterećenja.
- Za elemente **konstrukcijskih sistema** kontrola nosivosti može da se sprovede na osnovu pojedinačnih jednorasponskih elemenata koji se razmatraju kao da su izdvojeni iz sistema. Uticaji drugog reda sistema sa bočnim pomjeranjem (**P - Δ efekti**) moraju da se uzmu u obzir ili preko momenata na krajevima elementa ili preko odgovarajućih dužina izvijanja.
- Elementi koji su izloženi kombinovanom dejstvu savijanja i aksijalnog pritiska treba da zadovolje uslove:

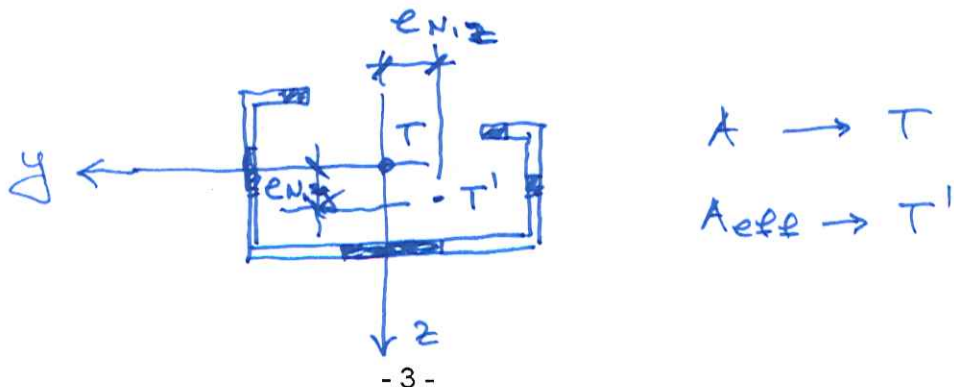
$$\frac{\frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yy} \frac{\frac{M_{y,Ed} + \Delta M_{y,Ed}}{\chi_{LT} M_{y,Rk}}}{\gamma_{M1}} + k_{yz} \frac{\frac{M_{z,Ed} + \Delta M_{z,Ed}}{M_{z,Rk}}}{\gamma_{M1}} \leq 1$$

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

gdje su:

N_{Ed} , $M_{y,Ed}$ i $M_{z,Ed}$ proračunske vrijednosti sile pritiska i maksimalnih momenata oko y-y i z-z ose duž elementa,

$\Delta M_{y,Ed}$, $\Delta M_{z,Ed}$ momenti usljed pomjeranja težišne ose kod poprečnih presjeka klase 4, (**nacrati**)



ČELIČNE KONSTRUKCIJE I

PREDAVANJE 13

χ_y, χ_z faktori redukcije usljed fleksionog izvijanja,

χ_{LT} faktor redukcije usljed bočno-torzionog izvijanja,

$k_{yy}, k_{yz}, k_{zy}, k_{zz}$ faktori interakcije.

$$N_{Rk} = f_y \cdot A$$

$$M_{y,Rk} = f_y \cdot W_y$$

$$M_{z,Rk} = f_y \cdot W_z$$

Napisati izraze iz naslova bez i

Tabela 6.7: Vrijednosti za $N_{Rk} = f_y A_i$, $M_{i,Rk} = f_y W_i$ i $\Delta M_{i,Ed}$

Klasa	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	$e_{N,z} N_{Ed}$

- Za elemente koji nijesu osjetljivi na torzione deformacije χ_{LT} treba uzeti da je $\chi_{LT} = 1,0$.
- Faktori interakcije k_{yy}, k_{yz}, k_{zy} i k_{zz} su dobijeni na osnovu dva alternativna pristupa. U MEST EN 1993-1-1, ovi alternativni pristupi su opisani u Aneksu A (alternativna metoda 1) i Aneksu B (alternativna metoda 2).
- Metodu 1 je razvila grupa Francuskih i Belgijskih istraživača, a Metodu 2 grupa Austrijskih i Njemačkih istraživača. Metoda 2 je opštijeg karaktera i znatno jednostavnija za primjenu.
- Odredbe našeg nacionalnog aneksa MEST EN 1993-1-1 NA, za određivanje vrijednosti faktora interakcije preporučuju alternativnu metodu 2. Alternativna metoda 1 može se koristiti prema procjeni projektanta.
- Radi pojednostavljenja, provjere mogu da se sprovode samo u elastičnoj oblasti.

ČELIČNE KONSTRUKCIJE I
 PREDAVANJE 13

Faktori interakcije k_{ij} (Metoda 2)

Faktori interakcije k_{ij} za elemente koji nisu osjetljivi na torzione deformacije

Faktori interakcije	Tip presjeka	Proračunske pretpostavke	
		elastična svojstva poprečnog presjeka klase 3 i 4	plastična svojstva poprečnog presjeka klase 1 i 2
k_{yy}	I-presjeci	$C_{my} \left(1 + 0,6 \bar{\lambda}_y \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$	$C_{my} \left(1 + (\bar{\lambda}_y - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$
	RHS-presjeci	$\leq C_{my} \left(1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$	$\leq C_{my} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_y N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$
k_{yz}	I-presjeci	k_{zz}	$0,6 k_{zz}$
	RHS-presjeci		
k_{zy}	I-presjeci	$0,8 k_{yy}$	$0,6 k_{yy}$
	RHS-presjeci		
k_{zz}	I-presjeci	$C_{mz} \left(1 + 0,6 \bar{\lambda}_z \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$	$C_{mz} \left(1 + (2\bar{\lambda}_z - 0,6) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$
	RHS-presjeci	$\leq C_{mz} \left(1 + 0,6 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$	$\leq C_{mz} \left(1 + 1,4 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$
			$C_{mz} \left(1 + (\bar{\lambda}_z - 0,2) \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$
			$\leq C_{mz} \left(1 + 0,8 \frac{N_{Ed}}{\chi_z N_{Rk} / \gamma_{M1}} \right)$

Za I- i H-presjeke i šuplje profile pravougaonog presjeka izložene aksijalnom pritisku i jednoosnom savijanju $M_{y,Ed}$ može se uzeti da je $k_{zy} = 0$.

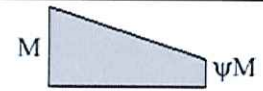
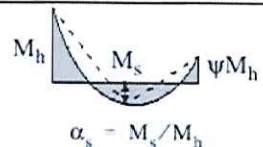
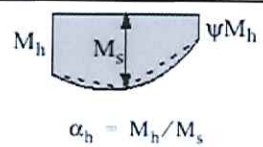
ČELIČNE KONSTRUKCIJE I

PREDAVANJE 13

Faktori interakcije k_{ij} za elemente koji su osjetljivi na torzione deformacije

Faktori interakcije	Proračunske pretpostavke	
	elastična svojstva poprečnog presjeka klase 3 i 4	plastična svojstva poprečnog presjeka klase 1 i 2
k_{yy}	k_{yy} iz tabele B.1	k_{yy} iz tabele B.1
k_{yz}	k_{yz} iz tabele B.1	k_{yz} iz tabele 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 style="text-align: center;">$z\alpha \bar{\lambda}_z < 0,4:$</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 tabele B.1	k_{zz} iz tabele B.1

Faktori ekvivalentnog uniformnog momenta C_m iz predhodne dvije tabele

Dijagram momenata	Opseg		C_{my} i C_{mz} i C_{mLT}	
			jednakopodijeljeno opterećenje	konzentrisano opterećenje
	$-1 \leq \psi \leq 1$		$0,6 + 0,4\psi \geq 0,4$	
 $\alpha_s = M_s / M_h$	$0 \leq \alpha_s \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$0,2 + 0,8\alpha_s \geq 0,4$
	$-1 \leq \alpha_s < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,1 - 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$-0,8\alpha_s \geq 0,4$
		$-1 \leq \psi < 0$	$0,1(1-\psi) - 0,8\alpha_s \geq 0,4$	$0,2(-\psi) - 0,8\alpha_s \geq 0,4$
 $\alpha_h = M_h / M_s$	$0 \leq \alpha_h \leq 1$	$-1 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_h$	$0,90 + 0,10\alpha_h$
	$-1 \leq \alpha_h < 0$	$0 \leq \psi \leq 1$	$0,95 + 0,05\alpha_h$	$0,90 + 0,10\alpha_h$
		$-1 \leq \psi < 0$	$0,95 + 0,05\alpha_h(1+2\psi)$	$\boxed{AC} 0,90 + 0,10\alpha_h(1+2\psi) \boxed{AC}$

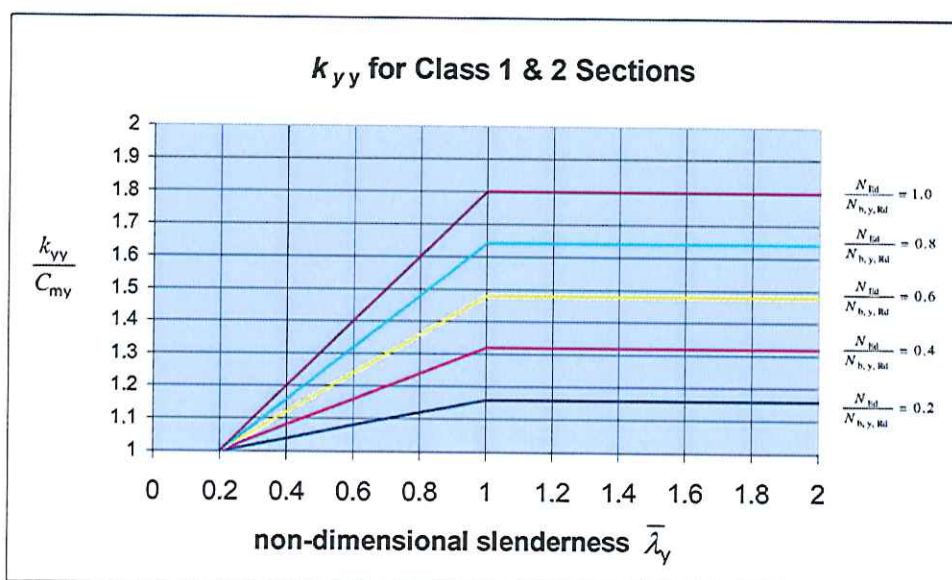
Za elemente sa bočno-pomjerljivim oblikom izvijanja faktor ekvivalentnog konstantnog momenta treba da se uzme kao $C_{my} = 0,9$ odnosno $\boxed{AC} C_{mz} \boxed{AC} = 0,9$.

C_{my} , C_{mz} i C_{mLT} treba da se odrede u skladu sa dijagramom momenata savijanja između relevantnih pridržanih tačaka na sljedeći način:

faktor momenta	osa savijanja	tačke pridržane u pravcu
C_{my}	y-y	z-z
C_{mz}	z-z	y-y
C_{mLT}	y-y	y-y

ČELIČNE KONSTRUKCIJE I PREDAVANJE 13

- Određivanje faktora interakcije je dug i zametan postupak u kome je moguće lako napraviti grešku.
- Da bi pojednostavili i ubrzali proračun Brettle i Brown (2009) su dali grafičko rješenje faktora interakcije. Pomoću ovih grafika, veoma brzo i dovoljno tačno se mogu dobiti faktori interakcije. Za korišćenje grafika potrebni su bezdimenziona vitkosti i odnos N_{Ed}/N_{Rd} . Odgovarajući faktori ekvivalentnog uniformnog momenta C_m se dobijaju iz posljednje tabele za odgovarajući dijagram momenata savijanja (prikazan je jedan od grafika).



- Takođe, isti autori daju tabelu sa faktorima interakcije koji se veoma brzo i lako računaju za potrebe brze provjere nosivosti i usvajanja presjeka. Podaci u tabeli se zasnivaju na metodi iz Aneksa B i za slučaj presjeka koji su osjetljivi na torzione deformacije. Ova tabela daje maksimalne vrijednosti faktora, koji su prilično na strani sigurnosti (konzervativni).

Table 6.13. Safe (maximum) values for interaction factors

Interaction factor	Class 1 and 2	Class 3
k_{yy}	$1.8C_{my}$	$1.6C_{my}$
k_{yz}	$0.6k_{zz}$	k_{zz}
k_{zy}	1.0	1.0
k_{zz}	$2.4C_{mz}$	$1.6C_{mz}$