

## PRITISNUTI ELEMENTI KONSTANTNOG VIŠEDJELNOG PRESJEKA

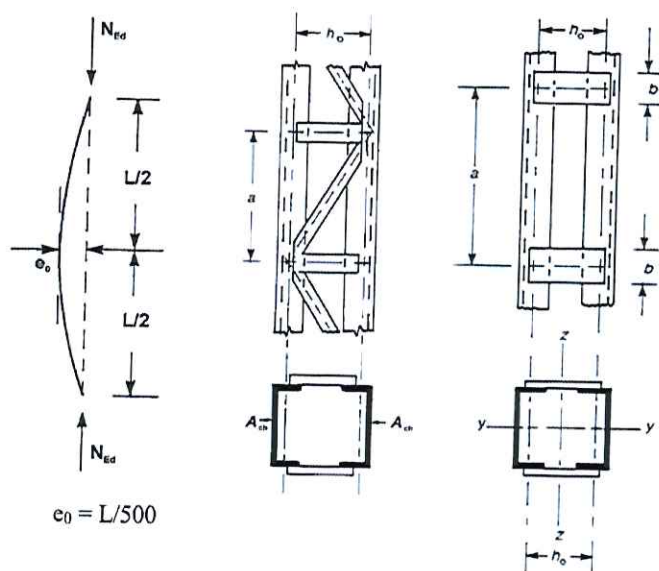
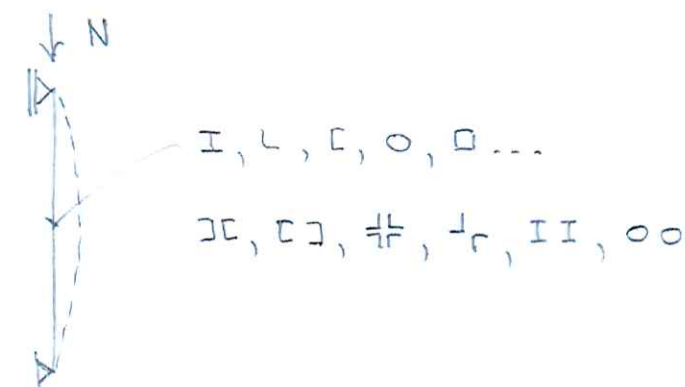
### UVOD



- Pritisnuti elementi se često projektuju tako da se sastoje od dva ili više profila koji su međusobno povezani dijagonalama i horizontalama (formiraju rešetkastu strukturu) ili veznim limovima (pa se formira ramovska struktura).

# ČELIČNE KONSTRUKCIJE I

## PREDAVANJE 11

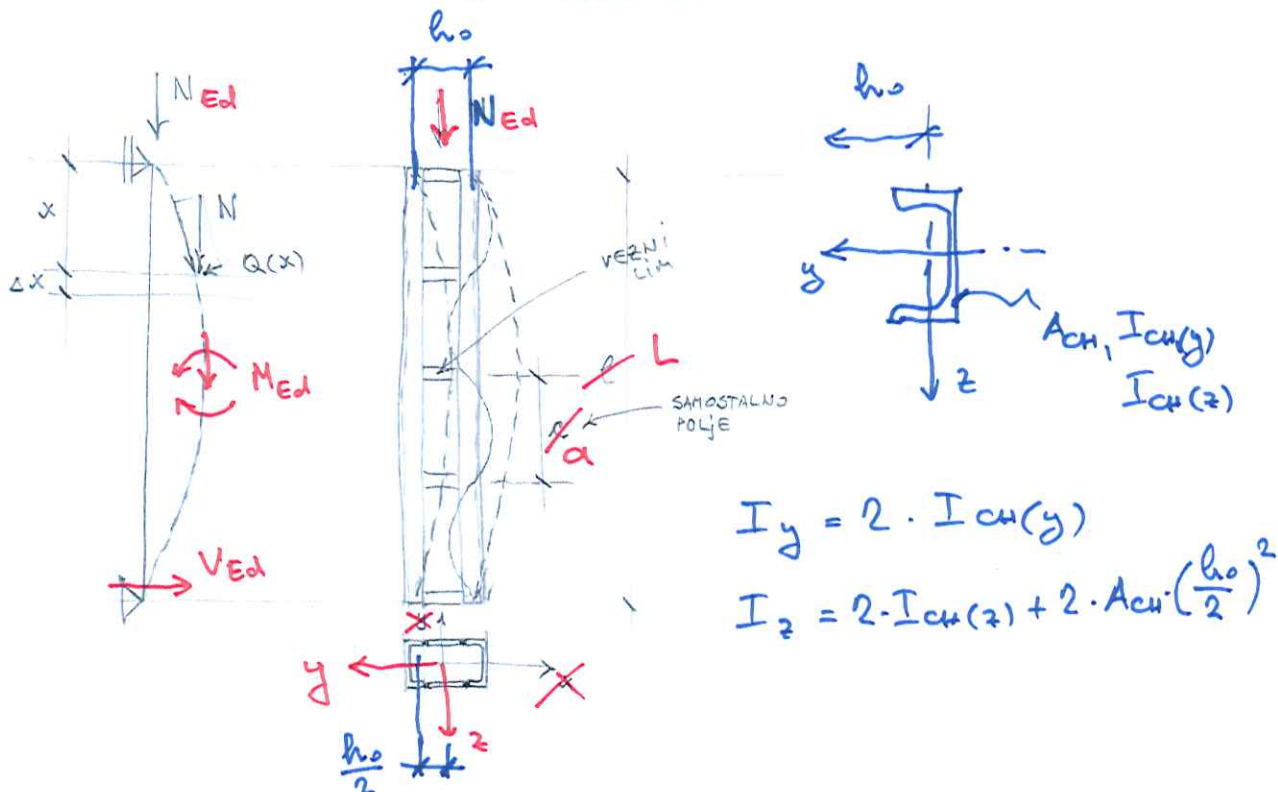


- Logičan pristup proračunu i dimenzionisanju ovakvih pritisnutih konstruktivnih sklopova je da se tretiraju kao rešetka ili ram uz uzimanje u obzir geometrijske nesavršenosti (zakrivljenost). Konstruktivni sklop se sastoji od pojaseva i ispane rešetkastog nosača i veznih limova kao rigli rama i pritisnutih višedjelnih elemenata kao stubova ramovskog sistema.
- Međutim, ovakav višedjelni element, može da se posmatra kao da je jednodjelni, ali treba voditi računa o određenim specifičnostima.
- Na ovaj način se znatno skraćuje vrijeme proračuna (oko dva puta).

# ČELIČNE KONSTRUKCIJE I PREDAVANJE 11

Nacrtati pritisnuti dvodjelni element.

Materijalna i nematerijalna osa. Oblici izvijanja - globalno lokalno. Geometrijske karakteristike u odnosu na nematerijalnu osu.  $\lambda_y \sim \lambda_z$ .



- Osnovna razlika u proračunu višedjelnih pritisnutih elemenata u odnosu na konvencionalne jednodjelne elemente je u njihovom odgovoru na smicanje. U konvencionalnom pristupu teorije izvijanja pritisnutog elementa savijanje se procjenjuje (sa prikladnim nivoom tačnosti) na osnovu karakteristika elementa na savijanje i uticaj smicanja na deformaciju savijanja se zanemaruje.
- Kod višedjelnih elemenata uticaj smicanja na savijanje je značajan (jer ne postoji klasično rebro) i iz tog razloga mora da se uzme u razmatranje prilikom proračuna.
- Rešetkasti višedjelni elementi su generalno krući od elemenata sa veznim limovima.

## POSTUPAK PRORAČUNA PREMA MEST EN 1993-1-1 I UVEDENE PRETPOSTAVKE

- U Eurokodu MEST EN 1993-1-1, daje se postupak za proračun višedjelnih pritisnutih elemenata sa rešetkastom ispunom i sa veznim limovima. Ovaj postupak se zasniva na zadatoj početnoj zakrivljenosti elementa i elastičnom proračunu zasnovanom na teoriji drugog reda.
- Pritisnuti elementi konstantnog višedjelnog presjeka sa bočno pridržanim zglobovima na krajevima treba da se proračunavaju, kao jednodjelni uz sljedeće pretpostavke tj. sa sljedećim uslovima:

- Element se može razmatrati kao stub sa imperfekcijom zakrivljenja

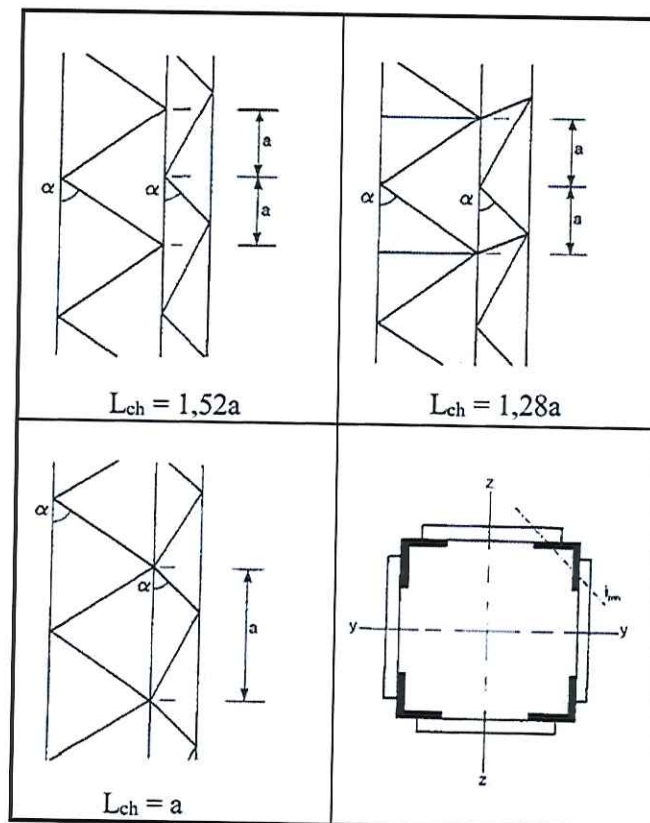
$$e_0 = \frac{L}{500}$$

Ova pretpostavka je empirijskog karaktera.

- Elastične deformacije rešetkaste ili ramovske ispune, mogu da se uzmu u obzir pomoću kontinualne (razmazane) krutosti stuba na smicanje  $S_v$ . Stub se smatra da je jednodjelni sa istom krutošću na smicanje po dužini elementa  $S_v$ .
- Proračun se zatim sastoji iz dva koraka.
    1. Analiza ekvivalentnog elementa (sa razmazanom krutošću na smicanje) korišćenjem teorije drugog reda da bi se odredile maksimalne proračunske sile i momenti. Zatim proračun stabilnosti oko materijalne, pa nematerijalne ose izvijanja.
    2. Provjera kritičnog pojasnog elementa i elementa ispune na proračunske sile (potrebno je uraditi i proračun veza između pojasnih elemenata i elemenata ispune, što sada izostavljamo).

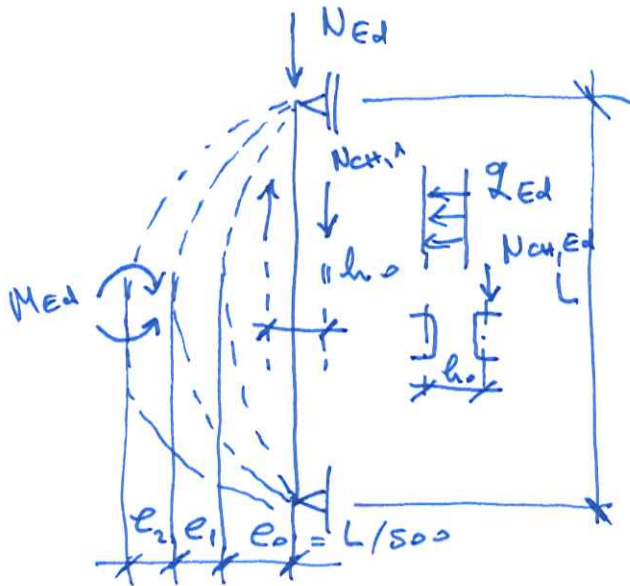
## ČELIČNE KONSTRUKCIJE I PREDAVANJE 11

- Dodatni uslovi da bi se mogao primjeniti model pritisnutog elementa konstantnog poprečnog presjeka su:
  - Pojasevi višedjelnog elementa su paralelni.
  - Rešetkasta ili ramovska ispuna ima jednake razmake duž pojaseva.
  - Najmanji broj ovih razmaka duž elementa je tri.
  - Pojasevi mogu da budu puni elementi ili i oni sami mogu da budu sa rešetkastom ili ramovskom ispunom u upravnoj ravni.
- Rešetkasta konstrukcija pritisnutog višedjelnog elementa u dvije ravni, sa karakterističnim lokalnim dužinama izvijanja pojaseva  $L_{ch}$ , vidi se na sljedećoj slici. Ukoliko je rešetkasta ispuna samo u jednoj ravni, dužina izvijanja se može usvojiti kao što je navedeno u prethodnom predavanju.



Proračunske sile u pojasevima i ispuni

Nacrtati primjer prirasta deformacije i momenata usljed  $e_0$  i  $q_{Ed}$ , na prostoju gredi, kao primjer teorije II reda.



$$e_0 = L/500$$

$$e_1 = \frac{5}{384} \frac{q_{Ed} \cdot L^4}{E \cdot I} \quad (\text{od } M_{Ed}^I)$$

$$M_{Ed}^I = \frac{q_{Ed} \cdot L^2}{8}$$

$$M_{e_0} = N_{Ed} \cdot e_0$$

$$M_{(e_1+e_2)} = N_{Ed} \cdot (e_1 + e_2)$$

$$e_2 = \text{od } N_{Ed} \cdot (e_1 + e_2)$$

$$M_{Ed} = M_{Ed}^{II} = M_{Ed}^I + M_{e_0} + M_{(e_1+e_2)}$$

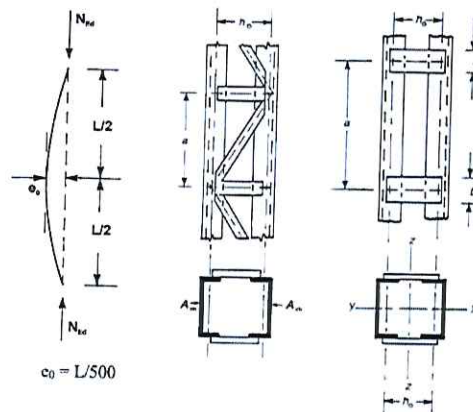
$$N_{ch,Ed} = M_{Ed}^{II} / h_0$$

$$N_{ch,Ed} = N_{Ed}/2 + N_{ch,Ed}$$

- Provjere pojaseva treba da se sprovedu korišćenjem proračunskih sila u pojasevima  $N_{ch,Ed}$ , usljed sila pritiska  $N_{Ed}$  i momenata  $M_{Ed}$  u sredini višedjelnog elementa, sračunatog po teoriji drugog reda.
- Za elemente s dva identična pojasa, proračunska sila  $N_{ch,Ed}$  treba da se odredi na sljedeći način:

$$N_{ch,Ed} = 0,5 N_{Ed} + \frac{M_{Ed} h_0 A_{ch}}{2 I_{eff}}$$

UPROŠĆEN IZRAZ UZ  
 ZANEMARIVANJE SOPSTVENOG  
 MOM. INERC. OKO NEKATERIJAKOVS  
 OSE ( $2 \cdot I_{ch}(z) = 0$ )



## ČELIČNE KONSTRUKCIJE I PREDAVANJE 11

gdje je:

$$M_{Ed} = \frac{N_{Ed}e_0 + M_{Ed}^I}{1 - \frac{N_{Ed}}{N_{cr}} - \frac{N_{Ed}}{S_v}}$$

$$N_{cr} = \frac{\pi^2 EI_{eff}}{L^2}$$

$N_{Ed}$	proračunska vrijednost sile pritiska koja djeluje na višedjelni element,
$M_{Ed}$	proračunska vrijednost maksimalnog momenta u sredini višedjelnog elementa, uzimajući u obzir uticaje drugog reda,
$M_{Ed}^I$	proračunska vrijednost maksimalnog momenta u sredini višedjelnog elementa bez uticaja drugog reda,
$N_{cr}$	efektivna kritična sila višedjelnog elementa,
$h_0$	rastojanje između težišta pojaseva,
$A_{ch}$	površina poprečnog presjeka pojasa,
$I_{eff}$	efektivni moment inercije višedjelnog elementa,
$S_v$	krutost na smicanje rešetke ili rama.

- Iako je u prethodnom izrazu predviđeno postojanje momenta savijanja prvoga reda  $M_{Ed}^I$  (kao da se radi o pritisnutom i savijenom elementu, a ne o centrično pritisnutom elementu), namjera nije da se omogući proračun pritisnutih i savijenih elemenata na ovaj način, već da se uzme u obzir pojava samo incidentnih momenata savijanja, kao što su momenti od ekscentrično unijetog opterećenja.

## ČELIČNE KONSTRUKCIJE I PREDAVANJE 11

- Provjera ispunje kod rešetkastih višedjelnih štapova ili momenata i smičućih sila kod veznih limova ramovskih višedjelnih štapova treba da se sprovede u krajnjem polju, gdje je smicanje najveće, uzimajući u obzir smičuću silu u višedjelnom elementu koja se određuje na sljedeći način:

$$V_{Ed} = \pi \frac{M_{Ed}}{L}$$



### *Rešetkasti pritisnuti elementi*

- Pojasevi i elementi ispune koji su izloženi dejstvu pritiska treba da se proračunaju na izvijanje.
- Provjera pojaseva na izvijanje treba da se izvrši na sljedeći način:

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

gdje je:

$N_{ch,Ed}$  proračunska sila pritiska pojasa u sredini višedjelnog štapa,

$N_{b,Rd}$  proračunska vrijednost nosivosti na izvijanje pojasa, sa dužinom izvijanja  $L_{ch}$ .

- Efektivni moment inercije za rešetkaste višedjelne elemente može da se odredi kao:

$$I_{eff} = 0,5h_0^2 A_{ch}$$

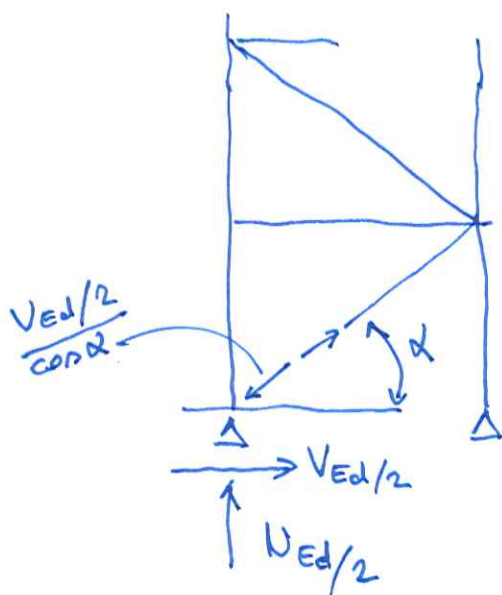
- Krutost na smicanje  $S_v$  rešetkastih ispuna treba da se odredi prema slici:

ČELIČNE KONSTRUKCIJE I  
 PREDAVANJE 11

Sistem			
S <sub>v</sub>	$\frac{nEA_d a h_0^2}{2d^3}$	$\frac{nEA_d a h_0^2}{d^3}$	$\frac{nEA_d a h_0^2}{d^3 \left[ 1 + \frac{A_d h_0^3}{A_v d^3} \right]}$
n je broj ravni rešetkaste ispune A <sub>d</sub> i A <sub>v</sub> su površine poprečnih presjeka štapova ispune			

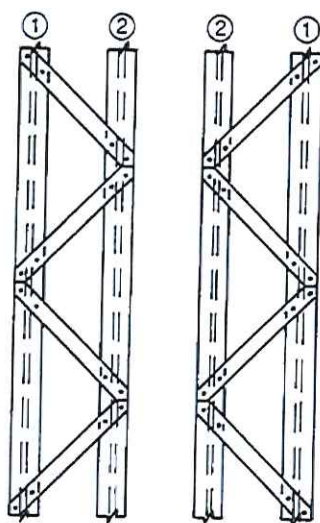
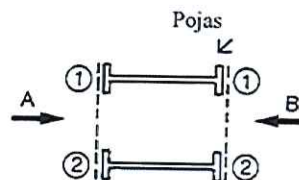
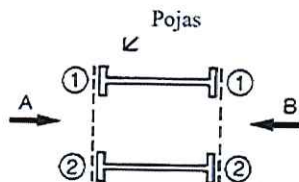
- Proračunske sile u štapovima ispune, takođe treba da budu manje od proračunskih nosivosti štapa na izvijanje.
- Maksimalna sila (u pritisnutoj dijagonali) se dobija pomoću najveće smičuće sile, u prvom polju V<sub>ed</sub> i ravnoteže sila u čvoru rešetke. Dužine izvijanja elemenata ispune treba usvojiti kao što je to već rečeno na prethodnom predavanju.

Nacrtati ravnotežu sila u čvoru rešetke i silu u pritisnutoj dijagonali.

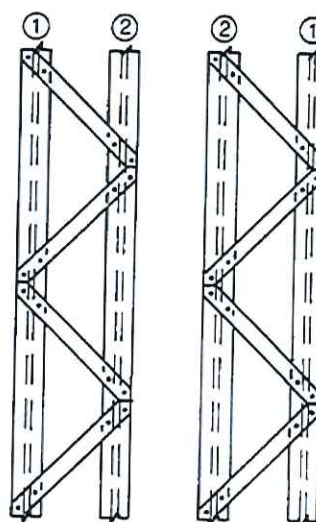


## ČELIČNE KONSTRUKCIJE I PREDAVANJE 11

- Pojedinačni sistemi rešetkaste ispune na suprotnim stranama višedjelnog elementa sa dvije paralelne ravni ispune treba da budu usaglašeni sistemi koji su postavljeni tako da jedan leži u sjenci drugog.



Ispuna na strani A Ispuna na strani B  
a) Sistem sa usaglašenom rešetkastom ispunom (Preporučuje se)

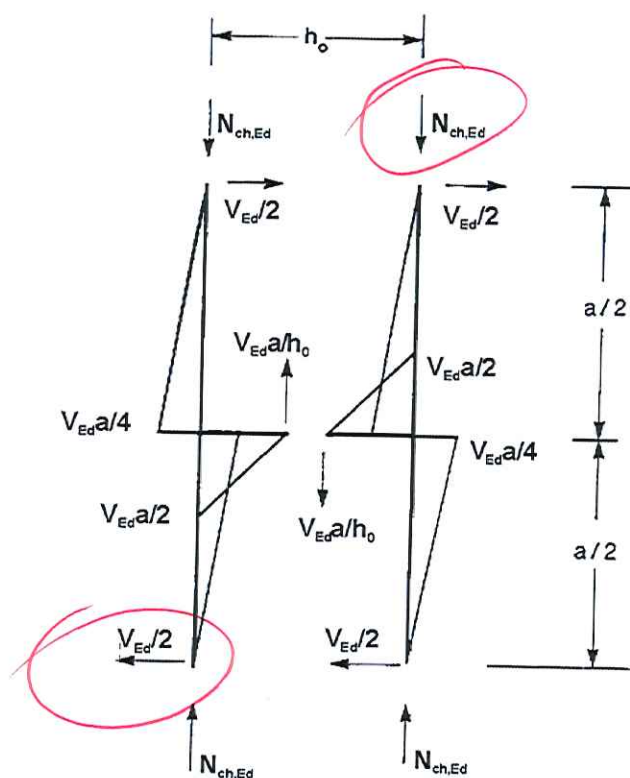


Ispuna na strani A Ispuna na strani B  
b) Sistem rešetkaste ispune međusobno suprotnih pravaca (Ne preporučuje se)

- Ukoliko ovo nije slučaj, treba uzeti u obzir i rezultujuće torzione uticaje.
- Vezni limovi treba da se predvide na krajevima rešetke i na mjestima veza sa drugim elementima.

### Ramovski pritisnuti elementi

- Pojasevi i vezni elementi, kao i njihove veze sa pojasevima treba da se provjere na dejstvo stvarnih momenata i sila u krajnjem polju i u sredini raspona, prema dijagramu presječnih sila i momenata sa sljedeće slike.
- Radi pojednostavljenja, maksimalna sila u pojasu  $N_{ch,Ed}$  može da se kombinuje sa maksimalnom silom smicanja  $V_{Ed}$ .



- Krutost na smicanje  $S_v$  treba da se odredi na sljedeći način:

ČELIČNE KONSTRUKCIJE I  
 PREDAVANJE 11

$$S_v = \frac{24EI_{ch}}{a^2 \left[ 1 + \frac{2I_{ch} h_0}{nI_b a} \right]} \leq \frac{2\pi^2 EI_{ch}}{a^2}$$

- Efektivni momenti inercije ramovskih višedjelnih elemenata mogu da se odrede kao (sopstveni moment inercije se ovdje ne može zanemariti, ali se i ne uzima u punom iznosu):

$$I_{eff} = 0,5h_0^2 A_{ch} + 2\mu I_{ch}$$

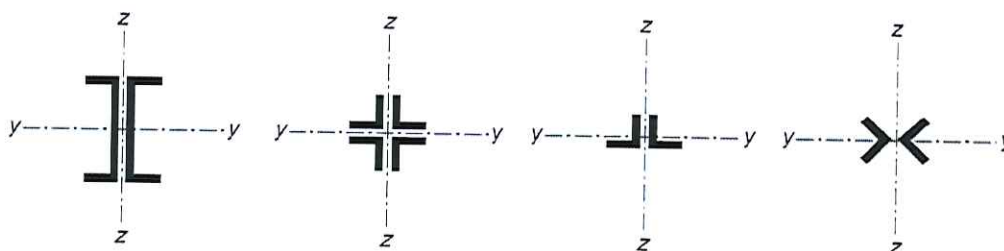
gdje je:

- $I_{ch}$  moment inercije pojasa u ravni,
- $I_b$  moment inercije veznog lima u ravni,
- $\mu$  faktor efikasnosti (uzima se iz sljedeće tabele, empirijski izraz)
- $n$  broj ravni ispune ramovskog višedjelnog elementa

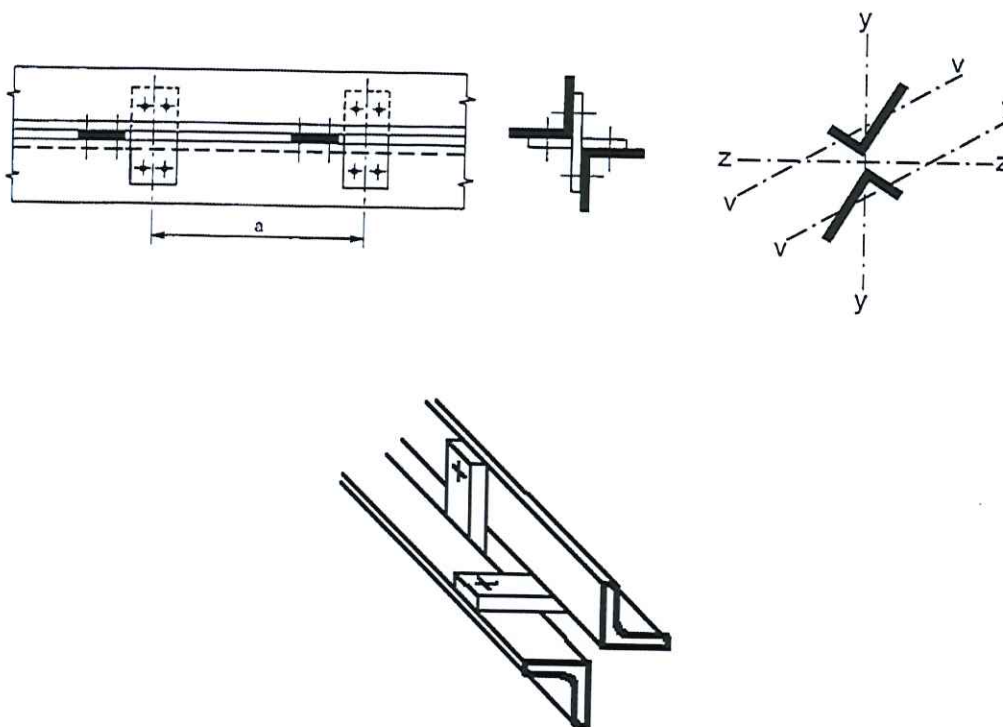
Uslov	Faktor efikasnosti $\mu$
$\lambda \geq 150$	0
$75 < \lambda < 150$	$\mu = 2 - \frac{\lambda}{75}$
$\lambda \leq 75$	1,0
gdje je $\lambda = \frac{L}{i_0}$ ; $i_0 = \sqrt{\frac{I_1}{2A_{ch}}}$ ; $I_1 = 0,5h_0^2 A_{ch} + 2I_{ch}$	

- Vezni limovi u paralelnim ravnima treba da budu postavljeni jedan naspram drugog.
- Vezni limovi treba da budu predviđeni u međutačkama u kojima djeluje opterećenje ili u kojima je predviđeno bočno pridržavanje.

*Višedjelni elementi sa blisko postavljenim pojasevima*



- Višedjelni pritisnuti elementi sa pojasevima koji se dodiruju ili su blisko postavljeni i koji su povezani pomoću veznih limova, ili elementi od unakrsno postavljenih ugaonika povezanih parovima veznih limova u dvije ortogonalne ravni, treba da se provjeravaju na izvijanje kao jedinstveni elementi, zanemarujući uticaje krutosti na smicanje ( $S_v = \infty$ ), kada su ispunjeni uslovi iz sljedeće tabele.



ČELIČNE KONSTRUKCIJE I  
 PREDAVANJE 11

Vrsta višedjelnog elementa	Maksimalno rastojanje između veznih elemenata *)
Elementi sa slike 6.12 spojeni pomoću zavrtnjeva ili zavarivanjem	$15 i_{min}$
Elementi sa slike 6.12 spojeni pomoću parova veznih limova	$70 i_{min}$

\*) rastojanje od težišta do težišta veznih elemenata  
 $i_{min}$  je minimalni poluprečnik inercije jednog pojasa, odnosno jednog ugaonika

- Sila smicanja  $V_{Ed}$ , koju treba da prenesu vezni limovi treba da se odredi iz prethodno navedenog izraza:

$$V_{Ed} = \pi \frac{M_{Ed}}{L}$$

