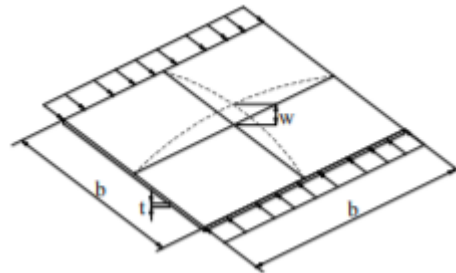
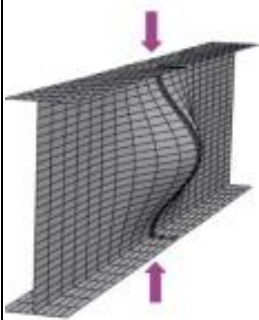


### Poprečni presjeci klase 4 – efektivni poprečni presjek

#### Ponašanje vitkih pritisnutih elemenata



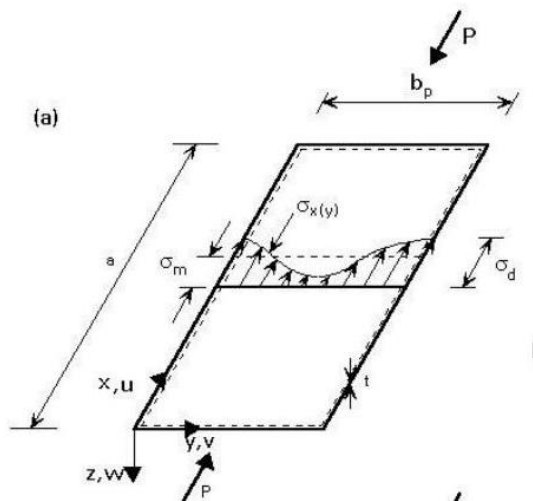
Postepenim povećavanjem napona  $\sigma$ , u slučaju lima klase 4, u jednom trenutku dešava se gubitak stabilnosti koji se naziva **izbočavanje**. Izbočavanje se dešava kada vrijednost napona  $\sigma$  dostigne vrijednost tzv. *elastičnog kritičnog napona izbočavanja*  $\sigma_{cr}$ .



Dostizanjem napona  $\sigma_{cr}$  **nije iscrpljena** nosivost ploče/lima.

Ova nosivost naziva se postkritična nosivost.

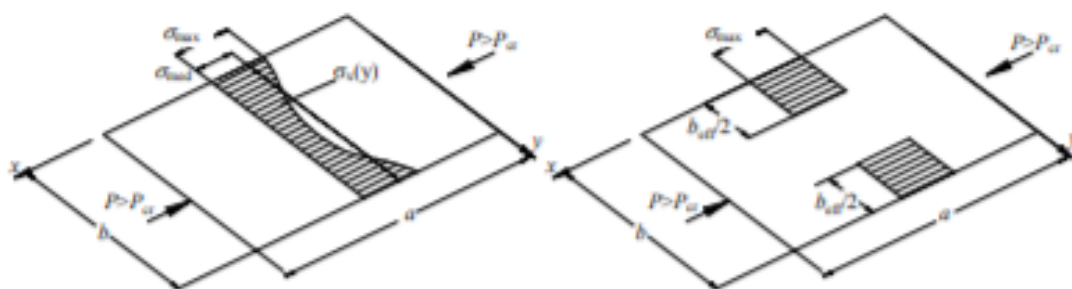
Nakon dostizanja napona  $\sigma_{cr}$  raspodjela napona duž ploče postaje nelinearna. Granično stanje smatra se dosegnutim kada vrijednost napona u ivičnim vlaknima dostigne  $f_y$ .



#### Reference

U ovom primjeru, pozivanje u referencama podrazumjeva standard MEST EN-1993-1-5

## Metoda efektivne širine



Efektivna širina  $b_{eff}$  zavisi od:

- statičkog sistema ploče,
- naponskog stanja,
- klase čelika,
- materijalnih i geometrijskih imperfekcija,
- vitkosti ploče.

Prema MEST EN 1993-1-5 efektivnu širinu treba odrediti na sljedeći način:

$$A_{c,eff} = \rho A_c$$

odnosno

$$b_{eff} = \rho \bar{b}$$

$\bar{b}$  → odgovarajuća širina koju treba uzeti kako slijedi:

$\bar{b} = c_w$  za rebra vruće valjanih i zavarenih I presjeka,

$\bar{b} = b - 3t$  za šuplje presjeke pravougaonog poprečnog presjeka,

$\bar{b} = c_f$  za nožice vruće valjanih i zavarenih I presjeka.

Faktor redukcije  $\rho$  određuje se prema sljedećim izrazima.

### Unutrašnji pritisnuti pločasti elementi

$$\rho = 1,0 \text{ za } \bar{\lambda}_p \leq 0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055\psi}$$

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055(3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2} \text{ za } \bar{\lambda}_p > 0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055\psi}$$

Tačka 4.4 (2)

Izraz 4.2

### Spoljašnji pritisnuti pločasti elementi

$$\rho = 1,0 \text{ za } \bar{\lambda}_p \leq 0,748$$

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,188}{\bar{\lambda}_p^2} \text{ za } \bar{\lambda}_p > 0,748$$

Izraz 4.3

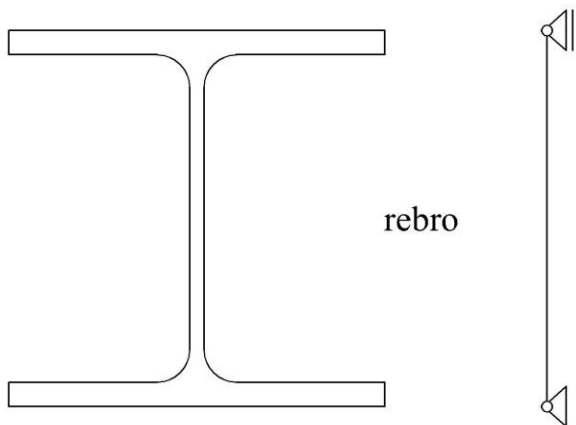
$\bar{\lambda}_p$  → relativna vitkost ploče

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\bar{b}/t}{28,4 \cdot \varepsilon \sqrt{k_\sigma}}$$

$t$  → debljina analiziranog lima,

$k_\sigma$  → koeficijent izbočavanja (zavisi od statičkog sistema ploče i njenog opterećenja),

$\psi$  → odnos normalnih napona.



*Usvojen statički sistem*

**Ploča zglobno oslonjena po konturi**

$k_{\sigma} = 4$  za čist pritisak

$k_{\sigma} = 23,9$  za čisto savijanje

nožica



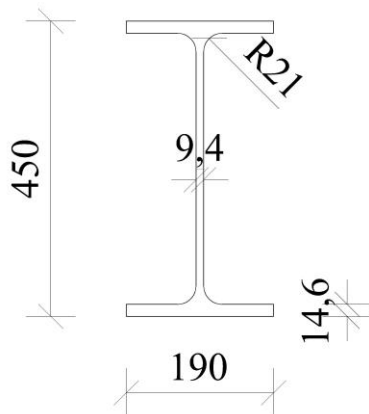
*Usvojen statički sistem*

**Ploča na tri ivice zglobno oslonjena a na jednu slobodna**

$k_{\sigma} = 0,43$  za čist pritisak

### Primjer 1

Za zadati poprečni presjek odrediti efektivni presjek. Presjek je izložen aksijalnoj sili pritiska i izrađen je od čelika klase S355.



IPE 450 O

$A = 98,82 \text{ cm}^2$

### Klasifikacija poprečnog presjeka

#### Klasifikacija nožice

$$c = \frac{190 - 2 \cdot 2 \cdot 9,4}{2} = 69,3 \text{ mm}$$

→ nožica je klase 1

$$c/t = \frac{69,3}{14,6} = 4,746 \leq 9 \cdot 0,81 = 7,29$$

#### Klasifikacija rebra

$$c = 450 - 2 \cdot 14,6 - 2 \cdot 21 = 378,8 \text{ mm}$$

→ rebro je klase 4

$$c/t = \frac{378,8}{9,4} = 40,298 > 34,02$$

## Klasifikacija poprečnog presjeka

nožica klasa 1

rebro klasa 4

→ poprečni presjek je klase 4

→ *dešava se lokalno izbočavanje rebra*

Efektivna visina rebra

$$h_{\text{eff}} = \rho \cdot h_c$$

Kako bismo odredili faktor redukcije  $\rho$  potrebno je prvo odrediti relativnu vitkost ploče  $\bar{\lambda}_p$

Relativna vitkost ploče (rebra)

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\bar{b}/t}{28,4 \cdot \varepsilon \sqrt{k_\sigma}}$$

$$\bar{b} = \bar{h} = c_w = 378,8 \text{ mm}$$

Rebro → zglobno oslonjeno na sve 4 strane

naponsko stanje čist pritisak

$$\rightarrow k_\sigma = 4$$

$$\psi = 1$$

$$\bar{\lambda}_p = \frac{378,8/9,4}{28,4 \cdot 0,81 \sqrt{4}} = 0,876 > 0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055 \cdot 1}$$
$$> 0,673$$

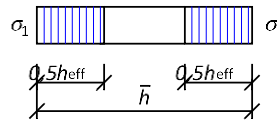
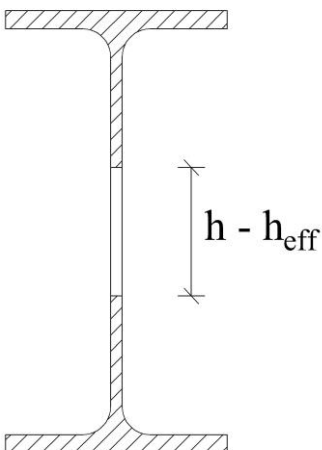
Faktor redukcije  $\rho$

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055(3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2}$$

$$\rho = \frac{0,876 - 0,055(3 + 1)}{0,876^2} = 0,855$$

$$h_{\text{eff}} = 0,855 \cdot 378,8 = 323,87 \text{ mm}$$

Efektivan poprečni presjek

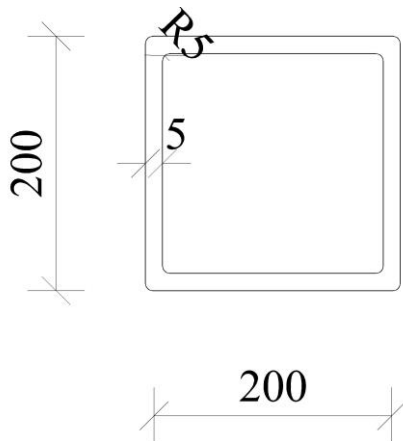


$$A_{\text{eff}} = A - \Delta A$$

$$= 98,82 - (37,88 - 32,387) \cdot 0,94 = 93,6571 \text{ cm}^2$$

### Primjer 2

Za zadati poprečni presjek odrediti efektivni presjek. Presjek je izložen aksijalnoj sili pritiska i izrađen je od čelika klase S355.



RHS 200\*200\*5

A = 38,7 cm<sup>2</sup>

Tabela 3.4

### Klasifikacija poprečnog presjeka

#### Klasifikacija vertikalne / horizontalne strane

$$c = 200 - 4 \cdot 5 = 180 \text{ mm}$$

$$c/t = \frac{180}{5} = 36 > 34,2$$

→ vertikalna i horizontalna strana je klase 4

→ *dešava se lokalno izbočavanje vertikalne i horizontalne strane*

Efektivna visina vertikalne / horizontalne strane (unutrašnji pločasti element - rebro)

$$h_{\text{eff}} = \rho \cdot h_c$$

Relativna vitkost ploče

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\bar{b}/t}{28,4 \cdot \varepsilon \sqrt{k_\sigma}}$$

$$\bar{b} = h - 3t = 185 \text{ mm}$$

Rebro → zglobno oslonjeno na sve 4 strane

naponsko stanje čist pritisak

$$\rightarrow k_\sigma = 4$$

$$\psi = 1$$

$$\bar{\lambda}_p = \frac{185/5}{28,4 \cdot 0,81 \sqrt{4}} = 0,804 > 0,5 + \sqrt{0,085 - 0,055 \cdot 1}$$
$$> 0,673$$

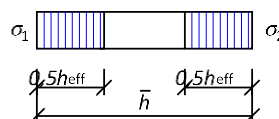
Faktor redukcije  $\rho$

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,055(3 + \psi)}{\bar{\lambda}_p^2}$$

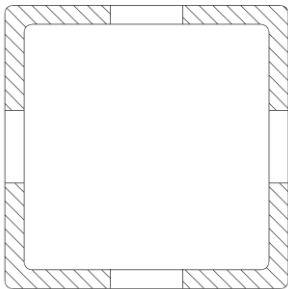
$$\rho = \frac{0,804 - 0,055(3 + 1)}{0,804^2} = 0,903$$

$$h_{\text{eff}} = 0,903 \cdot 185 = 167,1 \text{ mm}$$

$$b_{\text{eff}} = 0,903 \cdot 185 = 167,1 \text{ mm}$$



### Efektivan poprečni presjek



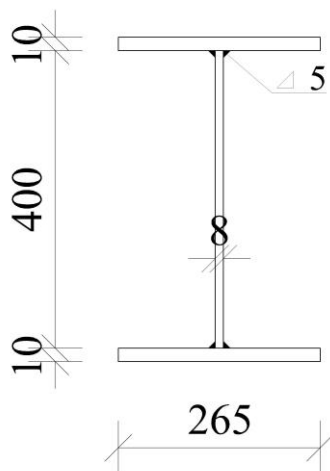
$$A_{\text{eff}} = A - \Delta A$$

$$\Delta A = 4(18,5 - 16,71)0,5 = 3,58 \text{ cm}^2$$

$$A_{\text{eff}} = 38,7 - 3,58 = 35,12 \text{ cm}^2$$

### Primjer 3

Za zadati poprečni presjek odrediti efektivni presjek. Presjek je izložen momentu savijanja i izrađen je od čelika klase S355.



$$A = 85 \text{ cm}^2$$

### Klasifikacija poprečnog presjeka

#### Klasifikacija nožice

$$c = \frac{265 - 2 \cdot 5\sqrt{2} - 8}{2} = 121,4 \text{ mm}$$

→ nožica je klase 4

$$c/t = \frac{121,4}{10} = 12,14 > 14 \cdot 0,81 = 11,34$$

#### Klasifikacija rebra

$$c = 400 - 2 \cdot 5\sqrt{2} = 385,9 \text{ mm}$$

→ rebro je klase 1

$$c/t = \frac{385,9}{8} = 48,24 < 72 \cdot 0,81 = 58,32$$

### Klasifikacija poprečnog presjeka

nožica klasa 4

rebro klasa 1

→ poprečni presjek je klase 4

→ *dešava se lokalno izbočavanje nožice*

### *Efektivna širina nožice*

Posmatramo pritisnutu nožicu (u ovom primjeru smatra se da je gornja nožica pritisnuta).

$$b_{\text{eff}} = \rho \cdot b_c$$

Relativna vitkost ploče (nožice)

$$\bar{\lambda}_p = \frac{\bar{b}/t}{28,4 \cdot \varepsilon \sqrt{k_\sigma}}$$

$$\bar{b} = c_f = 121,4 \text{ mm}$$

Nožica → zglobno oslonjena na 3 strane a na jednu slobodna  
naponsko stanje čist pritisak

$$\rightarrow k_\sigma = 0,43$$

$$\bar{\lambda}_p = \frac{121,4/10}{28,4 \cdot 0,81 \sqrt{0,43}} = 0,805 > 0,748$$

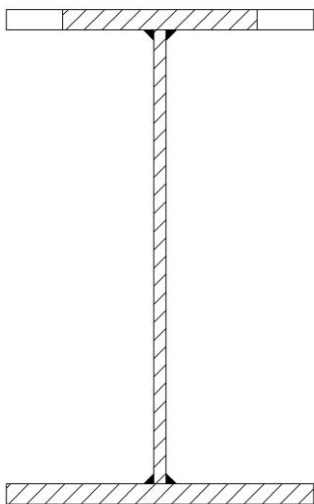
Faktor redukcije  $\rho$

$$\rho = \frac{\bar{\lambda}_p - 0,188}{\bar{\lambda}_p^2}$$

$$\rho = \frac{0,805 - 0,188}{0,805^2} = 0,952$$

$$b_{\text{eff}} = 0,952 \cdot 121,4 = 115,6 \text{ mm}$$

*Efektivan poprečni presjek*



$$A_{\text{eff}} = 83,84 \text{ cm}^2$$

$$I_{y,\text{eff}} = 26050 \text{ cm}^4$$