

*KATEDRA ZA BETONSKE KONSTRUKCIJE I MOSTOVE  
STRUČNI STUDIJ GRAĐEVINARSTVA*

# **BETONSKE KONSTRUKCIJE I**

(god. 2007/2008.)

*Predmetni nastavnik:  
V.pred. mr.sc. Vladica Herak-Marović, dipl.ing.građ.*

## Nastavne jedinice kolegija:

- (1) Fizikalno mehanička svojstva betona i čelika za armiranje; deformacije betona;
- (2) Uvjeti zajedničkog rada betona i armature; prionljivost, sidrenje, nastavljanje, oblikovanje, zaštitni slojevi; razmaci šipki; odredbe propisa;
- (3) Osnove proračuna armiranobetonskih elemenata prema GSN;
- (4) Dimenzioniranje presjeka na savijanje (pravokutni presjeci, T-presjeci, jednostruko i dvostruko armirani presjeci);
- (5) Dimenzioniranje presjeka na centrični i ekscentrični tlak i vlak;
- (6) Dimenzioniranje na poprečne sile; dimenzioniranje na torziju;
- (7) Lokalni tlačni naponi;
- (8) Vitki elementi naprezani centričnom i ekscentričnom tlačnom silom; stupovi;
- (9) Osnove proračuna armiranobetonskih elemenata prema GSU (naprezanja, pukotine, progibi);
- (10) Konstruiranje armature u različitim elementima konstrukcija; neki detalji; odredbe propisa.

# *Dimenzioniranje presjeka na moment savijanja*

## MINIMALNA POVRŠINA ARMATURE

- Kod slabo armiranih presjeka slom nastaje trenutačno. Da se takav slom ne dogodi potrebno je presjek armirati s minimalnom armaturom.
- Količina armature u vlačnoj zoni mora biti tolika da primi silu vlaka koju je prije otvaranja pukotine preuzimala vlačna zona betona (s vlačnom armaturom).

*Uvjet glasi:*

$$A_{s1,min} \cdot f_{yk} \cdot z \geq f_{ct,m} \cdot W_{ct}$$

moment nosivosti armature u presjeku  $\geq$  moment nosivosti betona u vlačnoj zoni

gdje je:

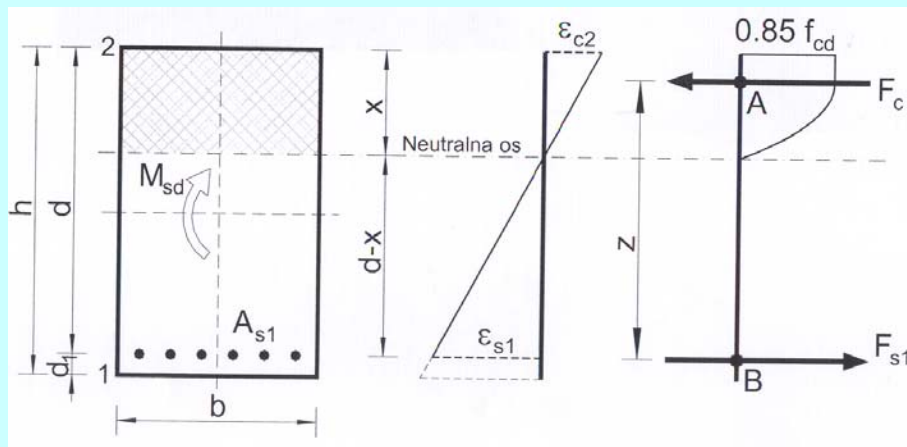
$W_{ct}$  – moment otpora betonskog presjeka

$f_{ct,m}$  – srednja vlačna čvrstoća betona

$z$  – krak unutrašnjih sila

$f_{yk}$  – karakteristična granica popuštanja čelika

Za pravokutni presjek grede:



pretpostavimo:

- krak unutrašnjih sila  $z \approx 0.9 \cdot d$
- moment otpora betonskog presjeka  $W_{ct} \approx b \cdot h^2/6 \approx b \cdot (1.1d)^2/6 \approx 0.2 b \cdot d^2$
- vlačna čvrstoća betona  $f_{ct} \approx 0.1 \cdot f_{ck}$

slijedi:

$$A_{s1,min} \cdot f_{yk} \cdot 0.9 \cdot d = 0.1 f_{ck} \cdot 0.2 \cdot b \cdot d^2$$

Minimalni koeficijent armiranja:

$$\rho_{1,min} = A_{s1,min} / b \cdot d = 0.022 \cdot f_{ck} / f_{yk}$$

***Minimalna površina armature za ploče i grede računa se prema izrazu:***

$$A_{s1,\min} \geq 0.6 \cdot b_t \cdot d / f_{yk} \geq 0.0015 \cdot b_t \cdot d \quad [f_{yk} \text{ u N/mm}^2]$$

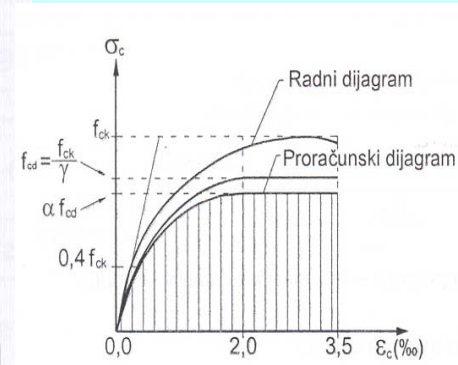
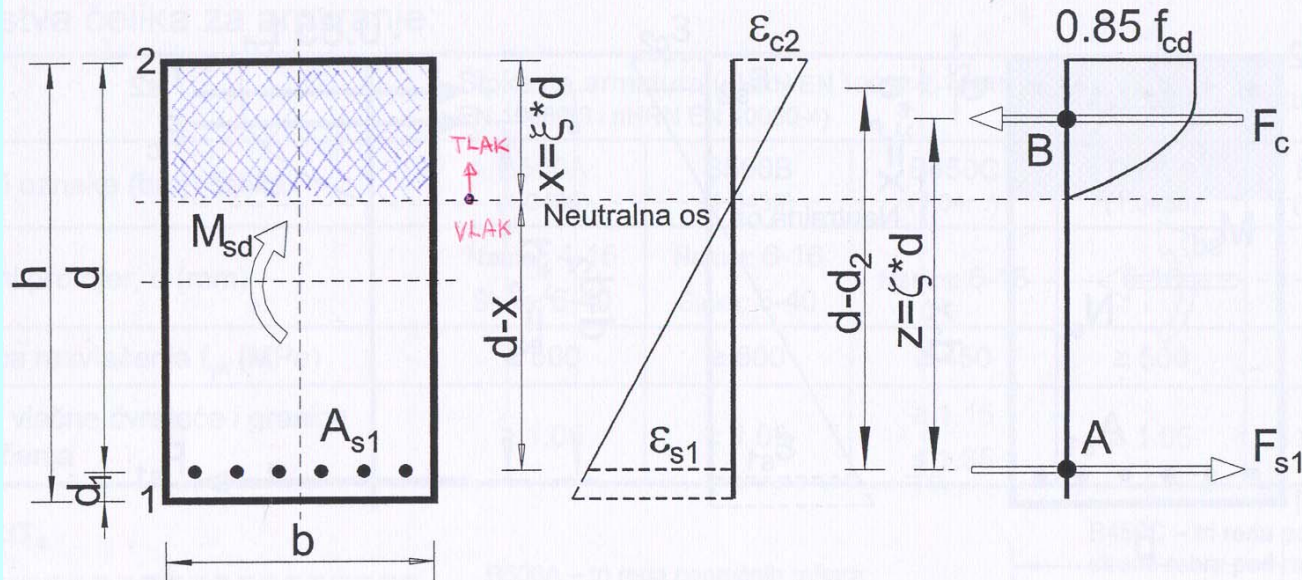
$b_t$  – srednja širina vlačne zone

***Maksimalna površina armature za ploče i grede računa se prema izrazu:***

$$A_{s1,\max} = 0.04 \cdot A_c$$

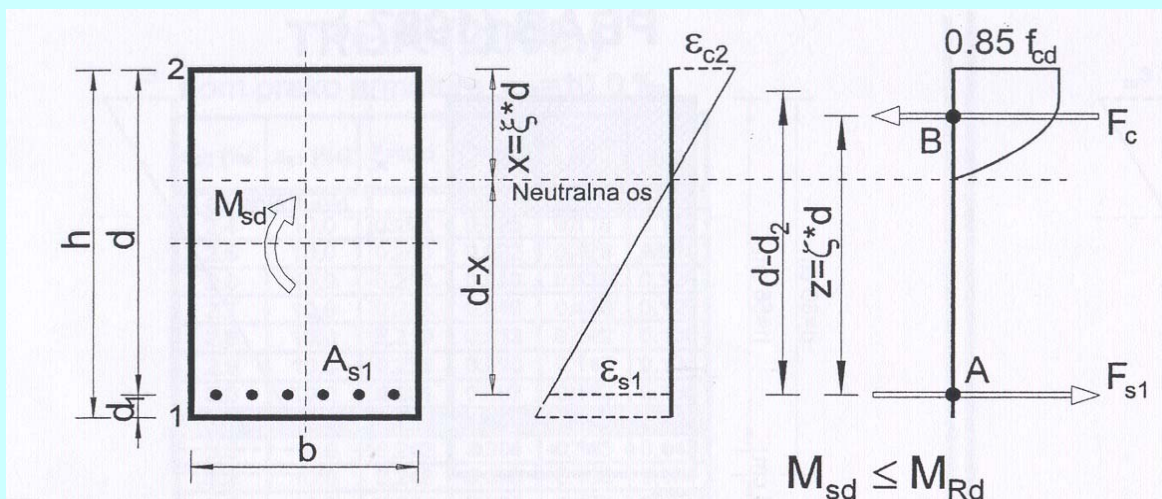
$A_c$  – površina betonskog presjeka

# DIMENZIONIRANJE PRAVOKUTNOG PRESJEKA NA MOMENT SAVIJANJA



- $d$  – statička visina presjeka
- $h$  – ukupna visina presjeka
- $b$  – širina presjeka
- $d_1$  – udaljenost težišta vlačne armature od vlačnog ruba presjeka
- $d_2$  – udaljenost težišta tlačne armature od tlačnog ruba presjeka
- $x$  – udaljenost neutralne osi od tlačnog ruba presjeka (s koeficijentom  $\xi$ )
- $z$  – krak unutrašnjih sila (s koeficijentom  $\zeta$ )
- $\epsilon_{c2}$  – deformacija betona na tlačnom rubu
- $\epsilon_{s1}$  – deformacija armature u težištu vlačnih šipki
- $f_{cd}$  – računska čvrstoća betona
- $M_{sd}$  – računski moment savijanja
- $F_{s1}$  – sila u vlačnoj armaturi ;  $F_c$  - sila u betonu
- $A_{s1}$  – površina vlačne armature

## Jednostruko armirani pravokutni presjek opterećen na moment savijana ( $M_{Sd} \leq M_{Rd}$ )



Položaj neutralne osi:

$$\frac{x}{\epsilon_{c2}} = \frac{d}{\epsilon_{c2} + \epsilon_{s1}} \Rightarrow$$

$$x = \frac{\epsilon_{c2}}{\epsilon_{c2} + \epsilon_{s1}} \cdot d = \xi \cdot d$$

(i)  $\sum M = 0 \Rightarrow \sum M_{(A)} = \sum M_{(B)} = 0$   
 $M_{Sd} = M_{Rd}$   
 $M_{Sd} = F_c \cdot z = F_{s1} \cdot z$

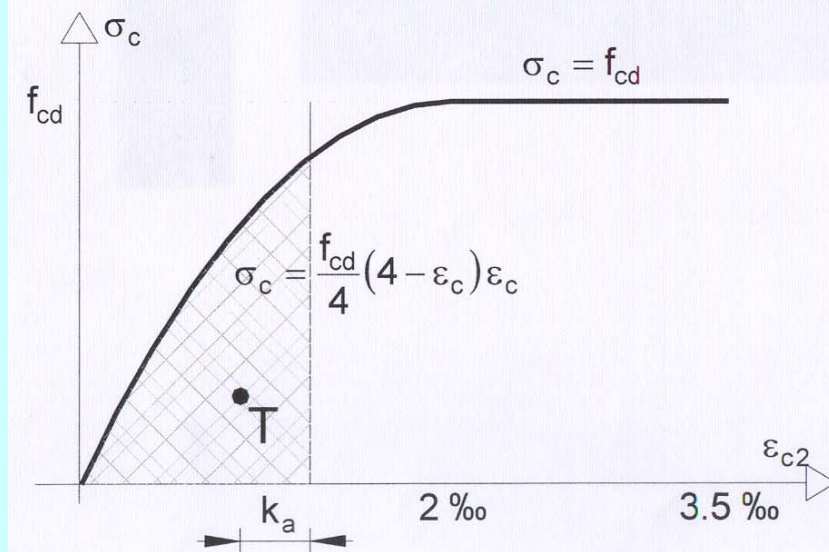
(ii)  $\sum N = 0 \Rightarrow F_c = F_{s1}$   
 $F_{s1} = A_{s1} \cdot f_{yd}$   
 $F_c = \int_A \sigma_c \cdot dA = b \cdot \int_0^x \sigma_c \cdot dx = \alpha \cdot \alpha_v \cdot x \cdot b \cdot f_{cd}$   
 ( $\alpha = 0.85$  – za pravokutni presjek)

Na temelju radnog dijagrama betona određujemo:

- Koeficijent punoće RDB-a ( $\alpha_v$ )

$$\alpha_v = \frac{\int_0^{\varepsilon_c} \sigma_c d\varepsilon}{\varepsilon_{c2} \cdot f_{cd}} \Rightarrow \alpha_v = \frac{\int_0^{\varepsilon_c} \left[ \frac{f_{cd}}{4} (4 - \varepsilon_{c2}) \varepsilon_{c2} \right] d\varepsilon}{\varepsilon_{c2} \cdot f_{cd}} = \frac{f_{cd}}{4} \frac{\int_0^{\varepsilon_c} (4 \cdot \varepsilon_{c2} - \varepsilon_{c2}^2) d\varepsilon}{\varepsilon_{c2} \cdot f_{cd}}$$

$$\frac{f_{cd}}{4} \left( 4 \cdot \frac{\varepsilon_{c2}^2}{2} - \frac{\varepsilon_{c2}^3}{3} \right) = \frac{\varepsilon_{c2}}{2} - \frac{\varepsilon_{c2}^2}{12} = \frac{\varepsilon_{c2}}{12} (6 - \varepsilon_{c2}) \quad 0\text{‰} < \varepsilon_c \leq 2\text{‰}$$



$$\alpha_v = f(\varepsilon_{c2})$$

$$\alpha_v = \frac{\varepsilon_{c2}}{12} (6 - \varepsilon_{c2}) \quad 0\text{‰} < \varepsilon_{c2} \leq 2\text{‰}$$

$$\alpha_v = \frac{3\varepsilon_{c2} - 2}{3\varepsilon_{c2}} \quad 2\text{‰} < \varepsilon_{c2} \leq 3.5\text{‰}$$

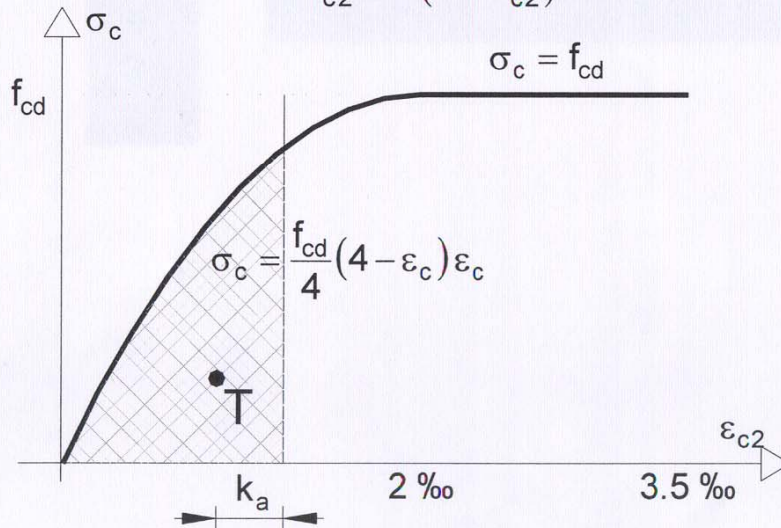
$k_a$  – koeficijent položaja tlačne sile (težišta)

- Koeficijent položaja tlačne sile (težište dijagrama)

$$k_a = 1 - \frac{\int_0^{\varepsilon_{c2}} \varepsilon_{c2} \cdot \sigma_c d\varepsilon}{\varepsilon_{c2} \cdot \int_0^{\varepsilon_{c2}} \sigma_c d\varepsilon} \Rightarrow k_a = 1 - \frac{\int_0^{\varepsilon_{c2}} \left[ \frac{f_{cd}}{4} (4 - \varepsilon_{c2}) \varepsilon_{c2} \right] \cdot \varepsilon_{c2} d\varepsilon}{\varepsilon_{c2} \cdot \int_0^{\varepsilon_{c2}} \left[ \frac{f_{cd}}{4} (4 - \varepsilon_{c2}) \varepsilon_{c2} \right] d\varepsilon} = 1 - \frac{\frac{f_{cd}}{4} \int_0^{\varepsilon_{c2}} (4 \cdot \varepsilon_{c2} - \varepsilon_{c2}^2) \cdot \varepsilon_{c2} d\varepsilon}{\varepsilon_{c2} \cdot \frac{f_{cd}}{4} \int_0^{\varepsilon_{c2}} (4 \cdot \varepsilon_{c2} - \varepsilon_{c2}^2) d\varepsilon}$$

$$1 - \frac{\left( \frac{4 \cdot \varepsilon_{c2}^3}{3} - \frac{\varepsilon_{c2}^4}{4} \right)}{\varepsilon_{c2} \cdot \left( \frac{4 \cdot \varepsilon_{c2}^2}{2} - \frac{\varepsilon_{c2}^3}{3} \right)} = 1 - \frac{\frac{\varepsilon_{c2}^3}{12} (16 - 3\varepsilon_{c2})}{\varepsilon_{c2} \cdot \frac{\varepsilon_{c2}^2}{12} \cdot 4 \cdot (6 - \varepsilon_{c2})} = 1 - \frac{(16\varepsilon_{c2} - 3\varepsilon_{c2}^2)}{\varepsilon_{c2} \cdot 4 \cdot (6 - \varepsilon_{c2})}$$

$$\frac{(24\varepsilon_{c2} - 4\varepsilon_{c2}^2) - (16\varepsilon_{c2} - 3\varepsilon_{c2}^2)}{\varepsilon_{c2} \cdot 4 \cdot (6 - \varepsilon_{c2})} = \frac{24\varepsilon_{c2} - 16\varepsilon_{c2} - 4\varepsilon_{c2}^2 + 3\varepsilon_{c2}^2}{\varepsilon_{c2} \cdot 4 \cdot (6 - \varepsilon_{c2})} = \frac{(8 - \varepsilon_{c2})}{4 \cdot (6 - \varepsilon_{c2})}$$



$$k_a = f(\varepsilon_{c2})$$

$$k_a = \frac{8 - \varepsilon_{c2}}{4(6 - \varepsilon_{c2})} \quad 0\text{‰} < \varepsilon_{c2} \leq 2\text{‰}$$

$$k_a = \frac{\varepsilon_{c2}(3\varepsilon_{c2} - 4) + 2}{2\varepsilon_{c2}(3\varepsilon_{c2} - 2)} \quad 2\text{‰} < \varepsilon_{c2} \leq 3.5\text{‰}$$

$$F_{s1} = A_{s1} \cdot f_{yd}$$

$$F_c = 0.85 \cdot \alpha_v \cdot x \cdot b \cdot f_{cd} = 0.85 \cdot \alpha_v \cdot \xi \cdot d \cdot b \cdot f_{cd}$$

$$\sum M = 0 \Rightarrow M_{sd} = F_c \cdot z$$

$$z = d - k_a \cdot x = d - k_a \cdot \xi \cdot d = (1 - k_a \cdot \xi) \cdot d = \zeta \cdot d$$

$$M_{sd} = F_c \cdot z = 0.85 \cdot \alpha_v \cdot \xi \cdot d \cdot b \cdot f_{cd} \cdot \zeta \cdot d$$

$$\mu_{sd} = 0.85 \cdot \alpha_v \cdot \xi \cdot \zeta = \frac{M_{sd}}{b \cdot d^2 \cdot f_{cd}}$$

$$\xi \text{ i } \zeta = f(\varepsilon_{s1}, \varepsilon_{c2})$$

$$\sum M = 0 \Rightarrow M_{sd} = F_{s1} \cdot z$$

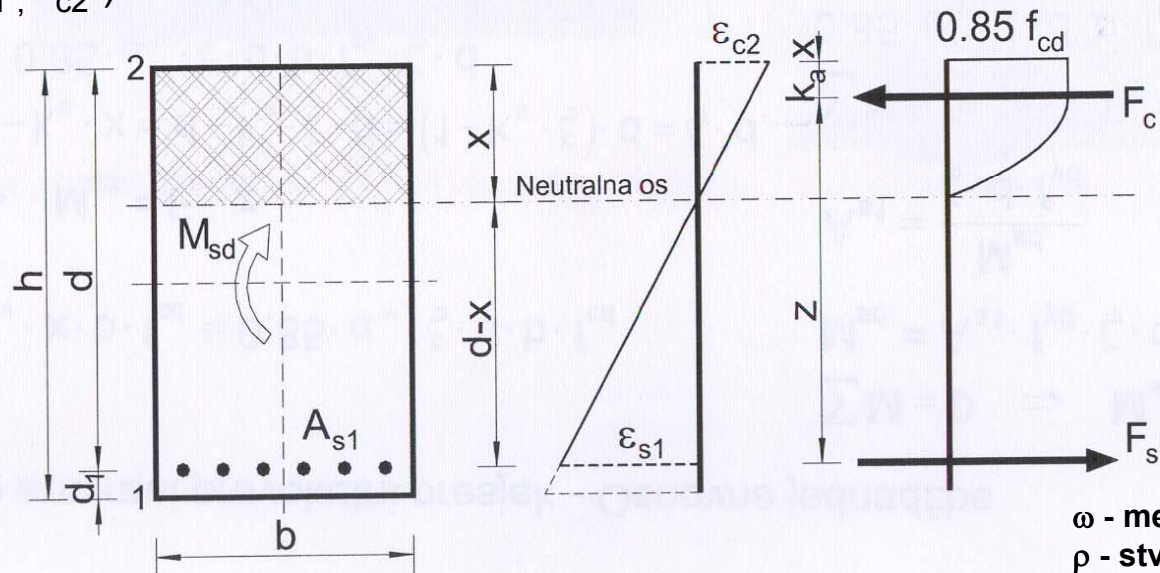
$$M_{sd} = A_{s1} \cdot f_{yd} \cdot \zeta \cdot d$$

$$A_{s1} = \frac{M_{sd}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}}$$

$$\sum N = 0 \Rightarrow F_c = F_{s1}$$

$$0.85 \cdot \alpha_v \cdot \xi \cdot d \cdot b \cdot f_{cd} = A_{s1} \cdot f_{yd}$$

$$\omega = 0.85 \cdot \alpha_v \cdot \xi = \frac{A_{s1}}{d \cdot b} \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}} = \rho \cdot \frac{f_{yd}}{f_{cd}}$$



$\omega$  - mehanički koef. armiranja  
 $\rho$  - stvarni koef. armiranja

Ako dimenzije presjeka nisu zadane:

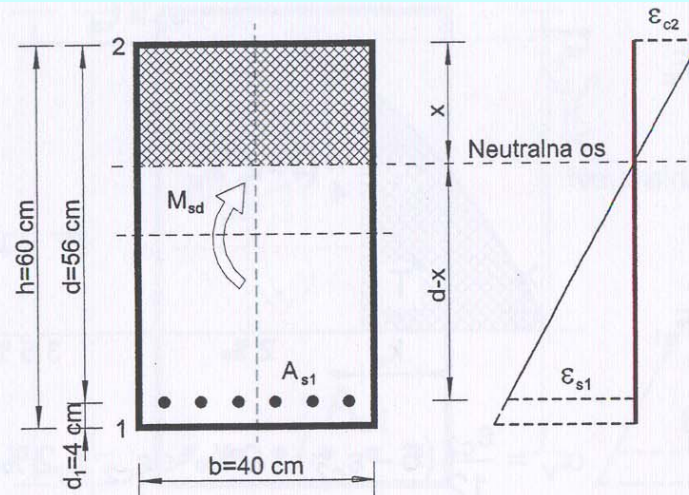
- pretpostavimo širinu presjeka  $b$
- možemo odrediti potrebnu visinu presjeka  $h$

$$M_{sd} = F_c \cdot z = \mu_{Rd} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd} \quad \Rightarrow \quad d = \sqrt{(1/\mu_{Rd})} \cdot \sqrt{(M_{sd}/b \cdot f_{cd})}$$

$$d = k_d \cdot \sqrt{(M_{sd}/b \cdot f_{cd})}$$

$K_d$  – koeficijent visine presjeka

- Primjer dimenzioniranja jednostruko armiranog pravokutnog presjeka na moment savijanja:



**Geometrija :**

$b = 40 \text{ cm}; h = 60.0 \text{ cm}; d_1 = 4.0 \text{ cm}; d = h - d_1 = 56.0 \text{ cm}$

**Materijal :**

C 25/30  $\Rightarrow f_{ck} = 25.0 \text{ MPa} \Rightarrow f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{25.0}{1.5} = 16.67 \text{ MPa}$

B500B  $\Rightarrow f_{yk} = 500.0 \text{ MPa} \Rightarrow f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500.0}{1.15} = 434.78 \text{ MPa}$

**Opterećenje :**

$M_g = 130.0 \text{ kNm}; M_q = 80.0 \text{ kNm};$

$M_{sd} = \gamma_g \cdot M_g + \gamma_q \cdot M_q = 1.35 \cdot 130.0 + 1.5 \cdot 80.0 = 295.5 \text{ kNm};$

**Postupak :**

$\mu_{sd} = \frac{M_{sd}}{b d^2 f_{cd}} = \frac{29550}{40 \cdot 56^2 \cdot 1.67} = 0.141$

za  $\epsilon_{s1} = 10\text{‰}$ ; ocitano :  $\epsilon_{c2} = 3.1\text{‰}$ ;  $\zeta = 0.904$

$A_{s1} = \frac{M_{sd}}{\zeta d f_{yd}} = \frac{29550}{0.904 \cdot 56 \cdot 43.48} = 12.56 \text{ cm}^2$

$\text{MPa} = \text{MN/m}^2 =$   
 $= 1000/100 \cdot 100 \text{ kN/cm}^2$

## Tablice za dimenzioniranje armiranobetonskih presjeka

$\varepsilon_{c2}$ (‰)	$\varepsilon_{s1}$ (‰)	$\xi=x/d$	$\zeta=z/d$	$\mu_{sd}$	$\omega$
- 3,5	1,0	0,778	0,676	0,362	0,535
- 3,5	0,5	0,575	0,636	0,383	0,602
- 0,1	10,0	0,010	0,997	0,000	0,000
- 0,2	10,0	0,020	0,993	0,002	0,002
- 0,3	10,0	0,029	0,990	0,003	0,004
- 0,4	10,0	0,038	0,987	0,006	0,006
- 0,5	10,0	0,048	0,984	0,009	0,009
- 0,6	10,0	0,057	0,980	0,013	0,013
- 0,7	10,0	0,065	0,978	0,017	0,017
- 0,8	10,0	0,074	0,974	0,021	0,022
- 0,9	10,0	0,083	0,971	0,026	0,027
- 1,0	10,0	0,091	0,968	0,031	0,032
- 1,1	10,0	0,099	0,965	0,036	0,038
- 1,2	10,0	0,107	0,962	0,042	0,044
- 1,3	10,0	0,115	0,959	0,048	0,050
- 1,4	10,0	0,123	0,956	0,054	0,056
- 1,5	10,0	0,130	0,953	0,059	0,062
- 1,6	10,0	0,138	0,950	0,065	0,069
- 1,7	10,0	0,145	0,947	0,071	0,075
- 1,5	10,0	0,153	0,944	0,077	0,082
- 1,9	10,0	0,160	0,940	0,083	0,088
- 2,0	10,0	0,167	0,937	0,089	0,095
- 2,1	10,0	0,174	0,934	0,094	0,101
- 2,2	10,0	0,180	0,931	0,099	0,107
- 2,3	10,0	0,187	0,928	0,105	0,113
- 2,4	10,0	0,194	0,925	0,111	0,119
- 2,5	10,0	0,200	0,922	0,115	0,125
- 2,6	10,0	0,206	0,919	0,120	0,130
- 2,7	10,0	0,213	0,915	0,125	0,136
- 2,8	10,0	0,219	0,912	0,129	0,142
- 2,9	10,0	0,225	0,910	0,134	0,147
- 3,0	10,0	0,231	0,906	0,138	0,153
- 3,1	10,0	0,237	0,903	0,143	0,158
- 3,2	10,0	0,242	0,901	0,147	0,163
- 3,3	10,0	0,248	0,898	0,151	0,168
- 3,4	10,0	0,254	0,895	0,155	0,174
- 3,5	10,0	0,259	0,892	0,159	0,178
$\varepsilon_{c2}$ (‰)	$\varepsilon_{s1}$ (‰)	$\xi=x/d$	$\zeta=z/d$	$\mu_{sd}$	$\omega$

## Dvostruko armirani pravokutni presjek opterećen na moment savijanja

$$(M_{sd} > M_{Rd,lim})$$

$$M_{Rd,lim} = \mu_{sd,lim} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd}$$

$$A_{s1} = \frac{M_{Rd,lim}}{\zeta_{lim} \cdot d \cdot f_{yd}} + \frac{M_{sd} - M_{Rd,lim}}{(d - d_2) \cdot f_{yd}}$$

$$A_{s2} = \frac{M_{sd} - M_{Rd,lim}}{(d - d_2) \cdot f_{yd}}$$

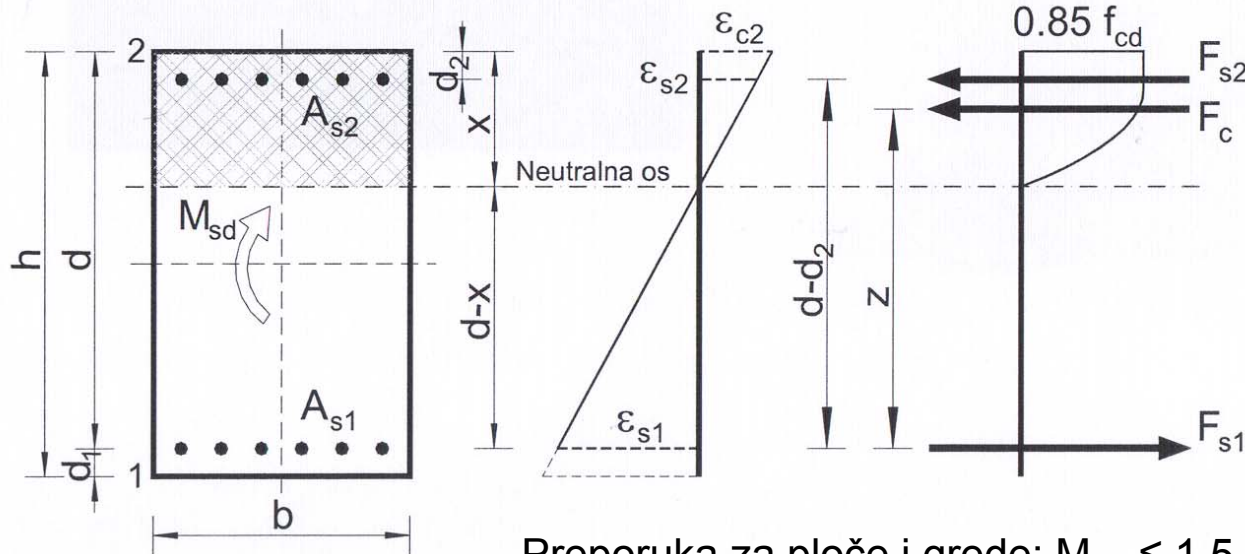
$$M_{sd} > M_{Rd,lim}$$

$$M_{Rd,lim} = \mu_{sd,lim} \cdot b \cdot d^2 \cdot f_{cd}$$

$$\mu_{sd,lim} = \mu_{sd} (\varepsilon_{c2} = 3.5\text{‰}; \varepsilon_{s1} = 20.0\text{‰})$$

$$\zeta_{lim} = \zeta (\varepsilon_{c2} = 3.5\text{‰}; \varepsilon_{s1} = 20.0\text{‰})$$

10.0 ‰  
5.0 ‰

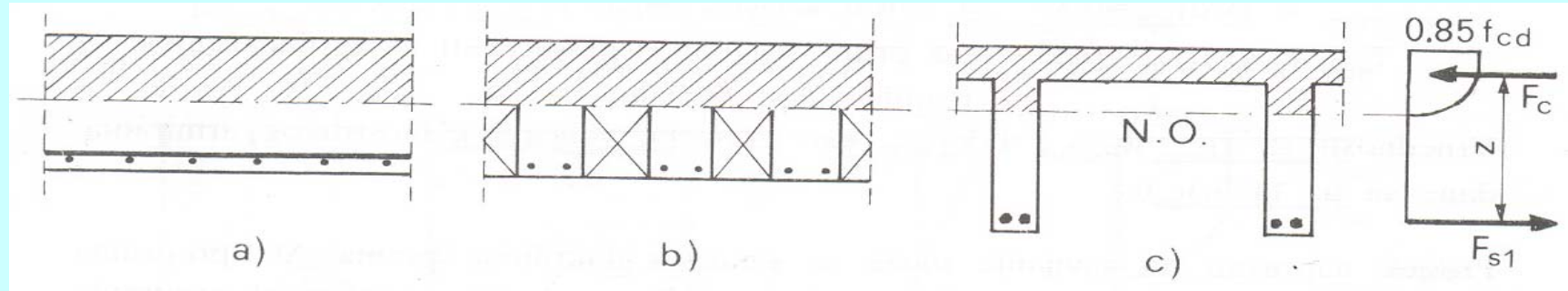


$$\sigma = E \cdot \varepsilon$$

$$F/A = E \cdot \varepsilon$$

- Preporuka za ploče i grede:  $M_{sd} \leq 1,5 M_{Rd,lim}$

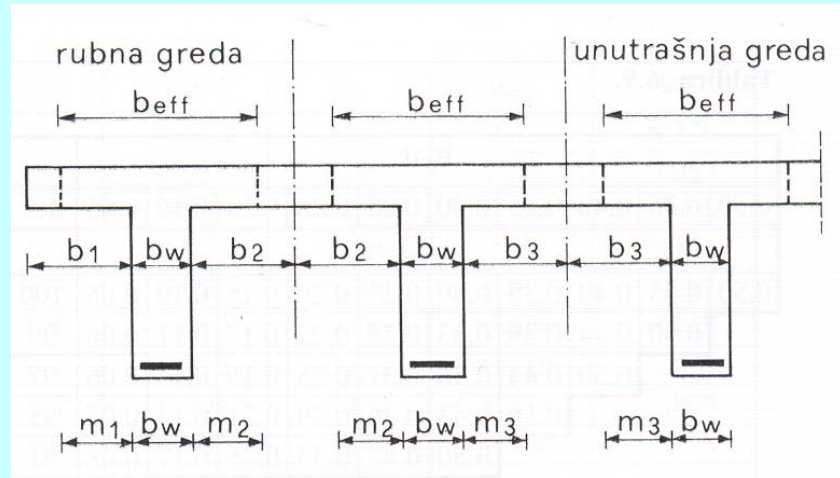
# PRIKAZ NASTAJANJA T - PRESJEKA



- Vlačni naponi se prihvaćaju armaturom, a funkcija betona u vlačnoj zoni je prijenos posmičnih napona i zaštita armature od korozije.  
Za velike raspone potrebna je velika visina konstrukcije, znatno se povećava vlastita težina i konstrukcija postaje masivna.
- Armatura se može skupiti u grupe, a za vezu s tlačnom zonom dovoljno je ostaviti rebra, a ostatak se vlačne zone izostavi te tako uštedi velika i suvišna masa.  
Još uvijek suviše masivna konstrukcija.
- Uklanja se beton koji statički nije dobro iskorišten (beton oko neutralne osi), a s obzirom da površina betonskog presjeka preuzima to veći  $M_s$  što je dalje od N.o., konstrukcijski element bi se trebao sastojati od tanke ploče i visokog rebra (širina rebra uvjetovana je smještajem vlačne armature i prijenosom posmičnih napona).

## DIMENZIONIRANJE T- PRESJEKA NA MOMENT SAVIJANJA

### Sudjelujuća širina T-presjeka



\*  $b_{eff} = b_w + l_0/5$  – za T- presjek

\*  $b_{eff} = b_w + l_0/10$  – za jednostrani ili polu-T presjek

- za krajnja polja:  $l_0=0.85 \cdot l$ , za srednja polja  $l_0=0.70 \cdot l$ , a za konzolu  $l_0 = 2 \cdot l_k$

gdje je:

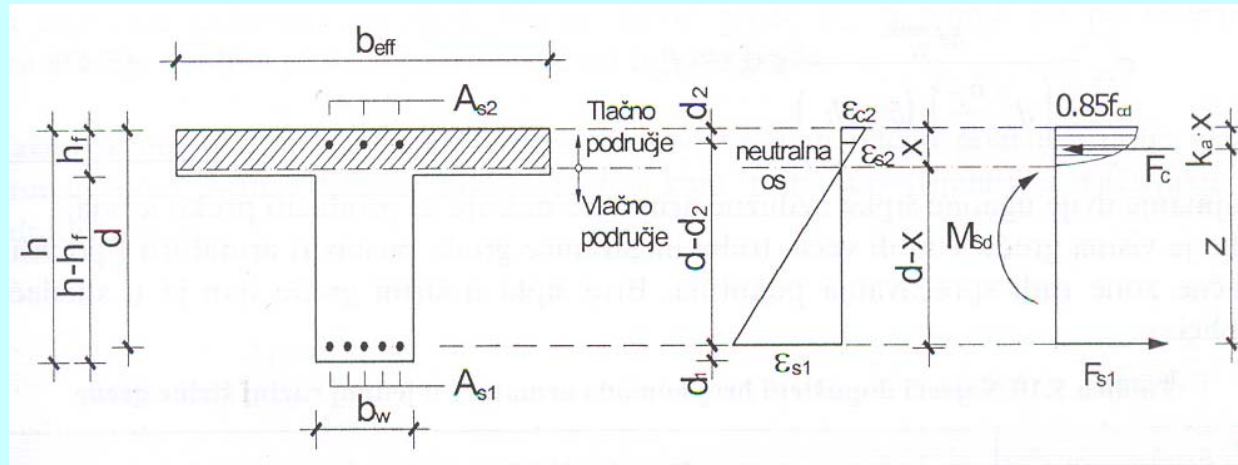
$l_0$  – udaljenost nultočaka momentnog dijagrama

$l$  – raspon nosača

$l_k$  – duljina konzole

## (1) Neutralna os prolazi kroz ploču ( $x \leq h_f$ )

### (a) Proračun armature u polju

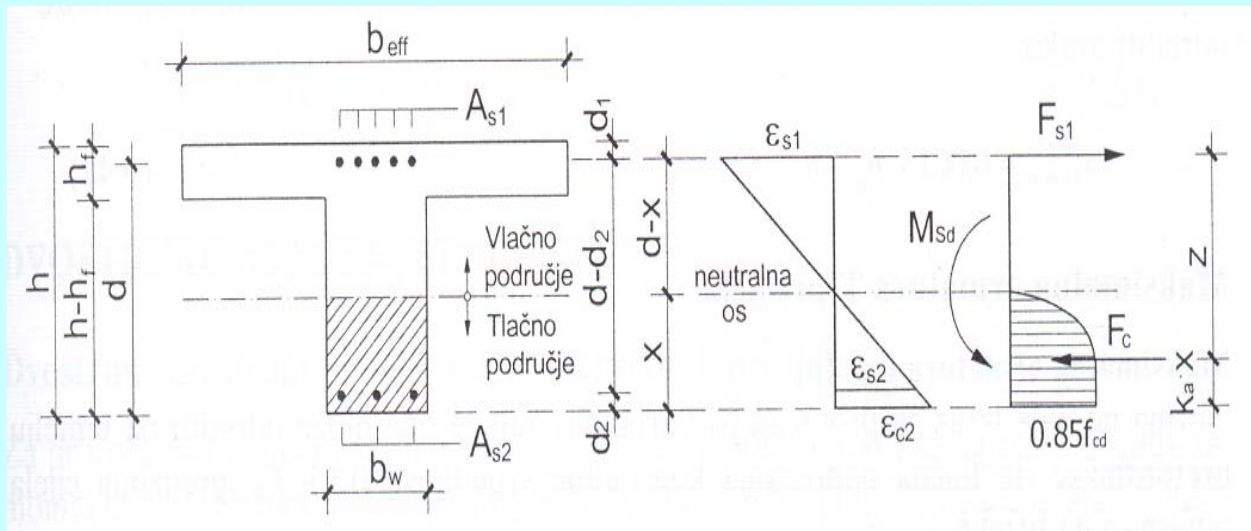


### VAŽNO!

Greda T-presjeka u polju (tlačno područje gore), a neutralna os prolazi pločom tj.  $x \leq h_f$  proračunava se kao pravokutni presjek širine  $b_{eff}$  i visine  $h$ .

$$\mu_{Sd} = \frac{M_{Sd}^{polje}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} \quad \text{i} \quad A_{S1} = \frac{M_{Sd}^{polje}}{(\zeta \cdot d) \cdot f_{yd}}$$

## (b) Proračun armature na ležaju



### VAŽNO!

Greda T-presjeka na ležaju (tlačno područje dolje) a neutralna os siječe rebro tj.  $x > h_f$  proračunava se kao pravokutni presjek širine  $b_w$  i visine  $h$ .

$$\mu_{Sd} = \frac{M_{Sd}^{ležaj}}{b_w \cdot d^2 \cdot f_{cd}}$$

$$A_{S1,req} = \frac{M_{Sd}^{ležaj}}{\zeta \cdot d \cdot f_{yd}}$$

## (2) Neutralna os siječe rebro ( $x > h_f$ )

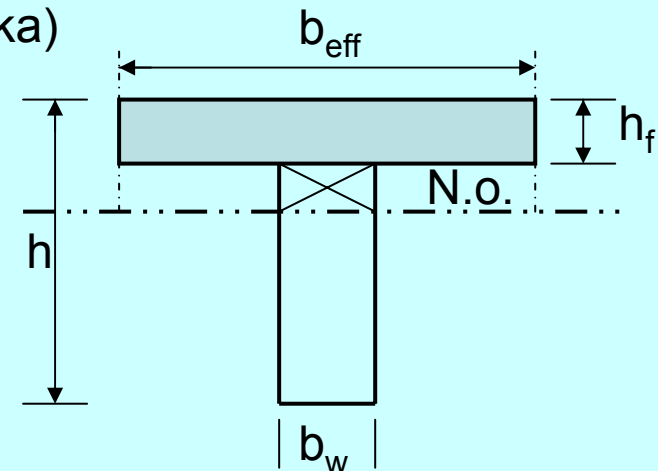
### (a) Proračun armature u polju

#### (a1) $b_{\text{eff}} \geq 5b_w$

(može se zanemariti dio rebra ispod ploče, pa tada cijelu tlačnu silu preuzima ploča, tj. pojasnica T-presjeka)

Potrebna armatura:

$$A_{S1,req} = \frac{M_{Sd}^{polje}}{\left(d - \frac{h_f}{2}\right) \cdot f_{yd}}$$



Potrebno je provjeriti tlačna naprezanja (ne smiju premašiti proračunska):

$$\sigma_{cd} = \frac{M_{Sd}^{polje}}{\left(d - \frac{h_f}{2}\right) \cdot (b_{\text{eff}} \cdot h_f)} \leq 0,85 \cdot f_{cd}$$

**(a2)  $b_{\text{eff}} < 5b_w$**

(takav T-presjek treba računati tako da se tlačni dio presjeka zamijeni pravokutnikom širine  $b_i$  kojem neutralna os prolazi donjim rubom)

Određivanje reducirane širine T presjeka ( $b_i$ )

$$F_{ca} - F_{cb} = F_{ci}$$

$$0.85 \cdot f_{cd} \cdot \alpha_v \cdot \xi \cdot d \cdot b_{\text{eff}} - 0.85 \cdot f_{cd} \cdot \alpha_v^* \cdot (\xi \cdot d - h_f) \cdot (b_{\text{eff}} - b) = 0.85 \cdot f_{cd} \cdot \alpha_v \cdot \xi \cdot d \cdot b_i$$

$$\alpha_v \cdot \xi \cdot d \cdot b_{\text{eff}} - \alpha_v^* \cdot (\xi \cdot d - h_f) \cdot (b_{\text{eff}} - b) = \alpha_v \cdot \xi \cdot d \cdot b_i$$

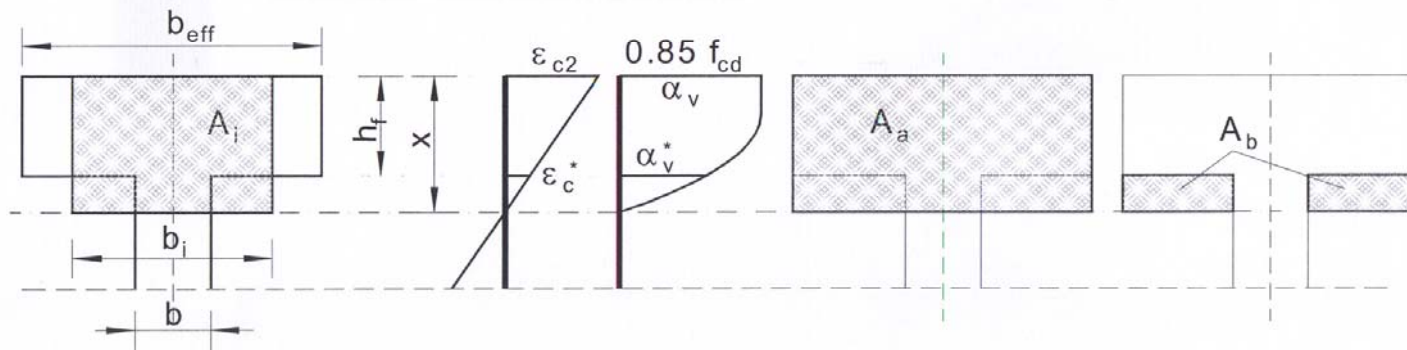
$$b_i = \frac{\alpha_v \cdot \xi \cdot d \cdot b_{\text{eff}} - \alpha_v^* \cdot (\xi \cdot d - h_f) \cdot (b_{\text{eff}} - b)}{\alpha_v \cdot \xi \cdot d}$$

$$b_i = \left[ 1 - \frac{\alpha_v^*}{\alpha_v} \left( 1 - \frac{h_f}{\xi \cdot d} \right) \cdot \left( 1 - \frac{b}{b_{\text{eff}}} \right) \right] \cdot b_{\text{eff}}$$

$$\alpha_v = f(\varepsilon_{c2})$$

$$\alpha_v^* = f(\varepsilon_c^*)$$

$$\varepsilon_c^* = \frac{x - h_f}{x} \cdot \varepsilon_{c2}$$



Odnosno:

$$b_i = \lambda_b \cdot b_{\text{eff}}$$

koeficijent  $\lambda_b$  pronaći u tablici ovisno o:

$h_f/d$  i  $b_{\text{eff}}/b_w$ , te  $\xi = x/d$  koji se uzima za  $\varepsilon_{c2} = -0.0035$  i  $\varepsilon_{s1} = 0.01$

$h_f/d$										$b_{\text{eff}}/b_w$						
0.50	0.45	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5	4.0	5.0
$\xi$										$100 \lambda_b$						
0.50	0.45	0.40	0.35	0.30	0.25	0.20	0.15	0.10	0.05	100	100	100	100	100	100	100
	0.50	0.44	0.39	0.33	0.28	0.22	0.17	0.11	0.06	99	99	99	99	99	99	98
		0.50	0.44	0.38	0.31	0.25	0.19	0.13	0.06	97	96	95	95	95	94	94
			0.50	0.43	0.36	0.29	0.21	0.14	0.07	95	92	90	89	89	88	87
				0.50	0.42	0.33	0.25	0.17	0.08	91	87	84	82	81	80	79
					0.50	0.40	0.30	0.20	0.10	87	81	77	75	73	71	70
						0.50	0.38	0.25	0.13	83	75	70	66	64	62	60
							0.50	0.33	0.17	79	69	62	58	55	53	50
								0.50	0.25	75	62	55	50	46	44	40
									0.50	71	56	47	42	37	34	30

nakon toga provodi se dimenzioniranje kao za **pravokutni presjek  $b_i/h$** .

(Proračuna se  $\mu_{Sd}$  te se u tablicama za dimenzioniranje pronalazi koeficijent  $\xi$ , vrijednosti koeficijentata  $\xi$  (pretpostavljena i proračunata) se uspoređuju, te ako ima razlike postupak se ponavlja sa zadnjim koeficijentom  $\xi$ .)

**Minimalna površina armature za T-presjek računa se prema izrazu:**

$$A_{s1,\min}^{\text{polje}} \geq 0.6 \cdot b_w \cdot d / f_{yk} \geq 0.0015 \cdot b_w \cdot d \quad [f_{yk} \text{ u N/mm}^2]$$

$b_w$  – širina rebra

$$A_{s1,\min}^{\text{ležaj}} \geq 0.0015 \cdot b_{\text{eff}} \cdot d$$

$b_{\text{eff}}$  – sudjelujuća širina ploče

**Maksimalna površina armature za T-presjek u polju računa se prema izrazu:**

$$A_{s1,\max}^{\text{polje}} = (0.85 \cdot f_{cd} / f_{yd}) \cdot b_{\text{eff}} \cdot h_f$$

$A_c$  – površina betonskog presjeka

## Maksimalna površina armature za jednostruko armirani T-presjek na ležaju računa se:

Za betone razreda  $\leq C35/45$  prema normi HRN ENV 1992-1-1 dopuštena najveća vrijednost koeficijenta tlačnog područja presjeka iznosi:  $\xi_{lim} = x_{lim}/d = 0,45$ . S tim u vezi su i ostali parametri:

$$\varepsilon_c = 3,5\text{‰}, \varepsilon_{s1} = 4,278\text{‰}, \xi_{lim} = 0,45, \zeta_{lim} = 0,813, \mu_{lim} = 0,252.$$

Prema tome, najveći moment savijanja koji jednostruko armirani presjek može preuzeti iznosi:

$$M_{Rd,lim} = \mu_{lim} (b_w \cdot d^2) f_{cd} \text{ ili } M_{Rd,lim} = 0,688 \cdot \xi_{lim} \cdot (1 - 0,416 \cdot \xi_{lim}) \cdot (b_w \cdot d^2) f_{cd}$$

$$\text{Za } \xi_{lim} = 0,45 \text{ iznosi } M_{Rd,lim} = 0,252 \cdot (b_w \cdot d^2) f_{cd}$$

$$\omega_{lim} = \mu_{lim} / \zeta_{lim} = 0,310 \quad \text{pa je za betone razreda } \leq C35/45:$$

$$A_{s1,max}^{ležaj} = 0,310 \cdot b_w \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \quad (5.49)$$

Za betone razreda  $\geq C40/50$  prema normi dopuštena najveća vrijednost koeficijenta tlačnog područja presjeka iznosi:  $\xi_{lim} = x_{lim}/d = 0,35$ . S tim u vezi su i ostali parametri:

$$\varepsilon_c = 3,5\text{‰}, \varepsilon_{s1} = 6,5\text{‰}, \xi_{lim} = 0,35, \zeta_{lim} = 0,854, \mu_{lim} = 0,206$$

$$M_{Rd,lim} = \mu_{lim} (b_w \cdot d^2) f_{cd} \text{ ili } M_{Rd,lim} = 0,688 \cdot \xi_{lim} \cdot (1 - 0,416 \cdot \xi_{lim}) \cdot (b_w \cdot d^2) f_{cd}$$

$$\text{Za } \xi_{lim} = 0,35 \text{ iznosi } M_{Rd,lim} = 0,206 \cdot (b_w \cdot d^2) f_{cd}$$

$$\omega_{lim} = \mu_{lim} / \zeta_{lim} = 0,241, \text{ pa je za betone razreda } \geq C40/50:$$

$$A_{s1,max}^{ležaj} = 0,241 \cdot b_w \cdot d \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \quad (5.50)$$