

## “T” PRESECI

Nosač **T** preseka čini armiranobetonska greda (rebro) koja je u svom pritisnutom delu MONOLITNO vezana sa pločom. Time se u pritisnutoj zoni preseka koncentriše velika masa betona, što rezultira optimalnim iskorišćenjem betona kao materijala.

Normalne napone pritiska prihvataju rebro i sadejstvujući deo ploče na izvesnoj širini, koja se naziva *računska aktivna širina ploče* **B**. Monolitnost veze obezbeđuje do izvesnog nivoa naprezanja smicanje na spoju ploče i rebra, a zatim se ova veza održava potrebnim armiranjem ploče upravno na pravac rebra.

Aktivna širina ploče koja se koristi za dimenzionisanje je Pravilnikom BAB 87 određena kao minimalna od sledećih vrednosti:

$$B = \min \left\{ \begin{array}{l} b + 0.25 \times l_0 \\ b + 20 \times d_p \\ e \end{array} \right\}, \text{ odnosno } B = \min \left\{ \begin{array}{l} b_1 + b + \frac{0.25}{3} \times l_0 \\ b_1 + b + 8 \times d_p \\ e/2 \end{array} \right\}$$

za simetrične, odnosno nesimetrične (**T** odnosno **Γ** preseke). Pritom je:

**b** - širina rebra

**d<sub>p</sub>** - debljina ploče

**l<sub>0</sub>** - rastojanje nultih tačaka dijagrama momenata savijanja na delu na kome je ploča pritisnuta

**e** - osovinsko rastojanje rebra, odnosno fizički raspoloživa širina ploče koja se može dodeliti jednom rebro (rožnjače, korube, sedišta tribina i slični nosači kod kojih je ovaj uslov najčešće merodavan).

Bez obzira na geometrijski oblik, presek se proračunava kao **T** presek samo ukoliko je ploča pritisnuta, a neutralna linija se nalazi u rebro, drugim rečima ukoliko je PRITISNUTA ZONA preseka **T** oblika. Ukoliko je ploča u zategnutoj zoni preseka, sprovodi se proračun za pravougaoni presek širine **b**, a ukoliko se je ploča pritisnuta, ali se neutralna linija nalazi u njoj, presek se proračunava kao pravougaoni širine **B**.

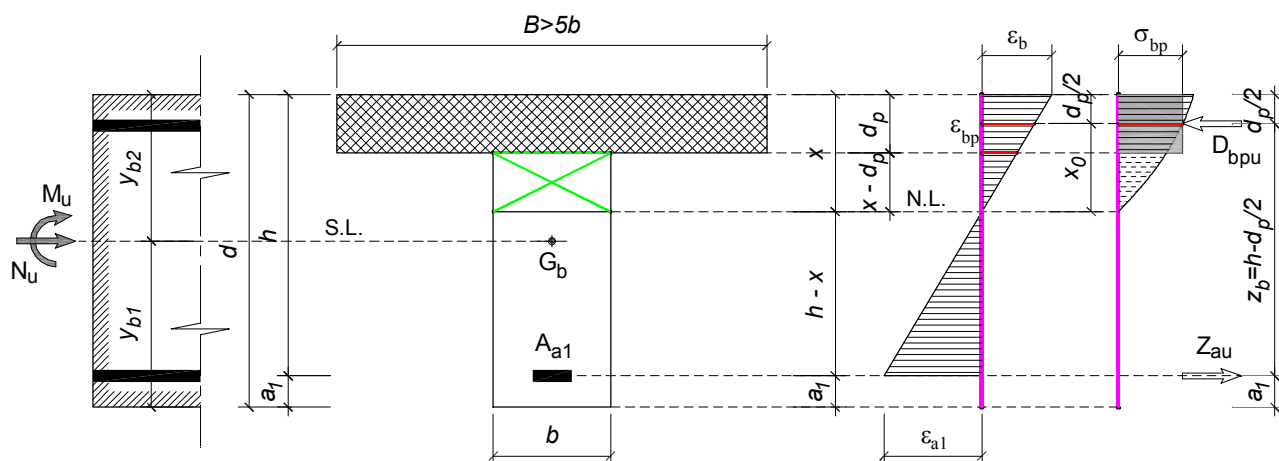
Ukoliko presek treba proračunati kao **T** presek, zavisno od odnosa aktivne širine **B** i širine rebra **b**, mogu nastupiti dva slučaja:

- ukoliko je odnos širina **B/b > 5**, sprovodi se **uprošćeni postupak** kojim se **zanemaruje nosivost rebra**. U ovom slučaju, sila pritiska koju prihvata rebro je vrlo mala u odnosu na silu pritiska koju prihvata ploča (daleko manja površina betona, znatno manji naponi pritiska, manji krak unutrašnjih sila). Dalje pojednostavljenje proračuna se sastoji u uprosečavanju napona pritiska - **usvaja se da je napon pritiska po čitavoj visini ploče konstantan** i jednak naponu u njenoj srednjoj ravni; to ujedno znači da unutrašnja sila pritiska deluje u srednjoj ravni ploče, odnosno da je krak unutrašnjih sila **z<sub>b</sub> = h - d<sub>p</sub>/2**.
- ukoliko je odnos širina **B/b ≤ 5**, mora se sprovesti **tačniji** proračun, koji **obuhvata i nosivost pritisnutog dela rebra**. Ovaj slučaj može nastati kod istovremenog delovanja momenata savijanja i relativno velikih sila pritiska.

## PRORAČUN "T" PRESEKA SA ZANEMARENJEM NOSIVOSTI REBRA

U slučaju da se nosivost rebra može zanemariti (slučaj  $B/b > 5$ ), uslov ravnoteže momenata savijanja u odnosu na težište zategnute armature može se napisati u obliku:

$$\Sigma M_{a1} = 0: \Rightarrow D_{bu} \times z_b + D_{au} \times (h - a_2) = M_{au} = M_u + N_u \times (y_{b1} - a_1)$$



Zbog velike površine (nosivosti) pritisnutog dela betonskog preseka, kod ovakvog oblika poprečnog preseka prisustvo armature u pritisnutoj zoni je nepotrebno (barem u računskom smislu), pa je stoga  $D_{au} \equiv 0$ . S druge strane, zanemarenjem nosivosti rebra i uprosečavanjem napona pritiska u ploči, može se napisati:

$$D_{bu} = D_{bpu} = B \times d_p \times \sigma_{bp}$$

$$z_b = h - d_p/2$$

gde je  $\sigma_{bp}$  napon u srednjoj ravni ploče. Tako se uslov ravnoteže momenata savijanja može napisati u obliku:

$$\Sigma M_{a1} = 0: \Rightarrow B \times d_p \times \sigma_{bp} \times (h - d_p/2) = M_{au} = M_u + N_u \times (y_{b1} - a_1)$$

U ovom uslovu ravnoteže nepoznate veličine mogu biti:

- statička visina  $h$  (slobodno dimenzionisanje, usvajanje  $\sigma_{bp}$ )
- napon u betonu  $\sigma_{bp}$  (vezano dimenzionisanje, pp.  $a_1 \Rightarrow h$ )

Ostale veličine ( $B$ ,  $d_p$ ,  $y_{b1}$ ,  $M_u$ ,  $N_u$ ) su sračunate ili poznate (usvojene).

## SLOBODNO DIMENZIONISANJE

Biće ilustrovano na primeru nosača napregnutog na čisto savijanje. Za slučaj složenog savijanja postupak je principijelno isti, ali se sprovodi iterativno (nepoznata visina preseka  $d$ , a samim tim i  $M_{au}$ ) na način opisan kod dimenzionisanja pravougaonih preseka.

### Poznato:

- statički uticaji za pojedina opterećenja ( $M_i$ ) - sračunato
- kvalitet materijala ( $f_B$ ,  $\sigma_v$ ) - usvojeno
- širina rebra ( $b$ ), aktivna širina ploče ( $B$ ), debljina ploče ( $d_p$ )

### Nepoznato:

- visina poprečnog preseka ( $d$ )
- površina armature ( $A_a$ )

1. korak: Sračunavaju se granični računski statički uticaji:

$$M_u = \sum_i \gamma_{u,i} \times M_i \quad (i=g, p, \Delta)$$

Pri tome se usvajaju MINIMALNE vrednosti koeficijenata sigurnosti, jer presek dostiže granično stanje otkazom armature ( $\varepsilon_{a1} = 10\%$ ).

2. korak: Usvaja se napon u betonu u nivou srednje ravni ploče  $\sigma_{bp}$ . S obzirom na uvedeno uprošćenje dijagrama napona u betonu, usvajanje dilatacija  $\varepsilon_b / \varepsilon_a$  ne bi imalo nikakvog praktičnog smisla. Veće usvojene vrednosti napona daju preseke manje visine, armirane većom količinom armature.

3. korak: Za usvojenu vrednost  $\sigma_{bp}$  iz uslova ravnoteže momenata savijanja sračunava se odgovarajuća statička visina:

$$h = \frac{M_u}{B \times d_p \times \sigma_{bp}} + \frac{d_p}{2}$$

Napon  $\sigma_{bp}$  se najčešće usvaja u granicama  $(0.20 \dots 0.50) \times f_{bk}$ , gde je  $f_{bk}$  karakteristična vrednost čvrstoće betona pri jednoaksijalnom pritisku (*marka betona*). Ove granice treba shvatiti uslovno i po potrebi (preseci izrazito male ili izrazito velike visine) korigovati pretpostavljenu vrednost napona. Takođe, redovno se usvaja  $\sigma_{bp} < f_B$ , gde je  $f_B$  – računski čvrstoća betona.

4. korak: Iz poznate veze napon–dilatacija, definisane Pravilnikom (parabolični deo dijagrama), sračunava se dilatacija betona u nivou srednje ravni ploče:

$$\varepsilon_{bp} = 2 \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{\sigma_{bp}}{f_B}} \right) (\%) ; \quad \varepsilon_a = 10\%$$

5. korak: Određuje se položaj neutralne linije u odnosu na srednju ravan ploče:

$$x_0 = \frac{\varepsilon_{bp}}{\varepsilon_{bp} + \varepsilon_a} \times \left( h - \frac{d_p}{2} \right)$$

i upoređuje sa **POLOVINOM DEBLJINE** ploče.

6a korak: Ukoliko je konstatovano da se neutralna linija nalazi u rebru ( $x_0 > d_p/2$ ), određuje se površina armature iz uslova ravnoteže normalnih sila:

$$A_a = \frac{M_u}{\left( h - \frac{d_p}{2} \right) \times \sigma_v}$$

6b korak: Ukoliko je konstatovano da se neutralna linija nalazi u ploči ( $x_0 \leq d_p/2$ ), presek treba dimenzionisati kao pravougaoni širine B. Za sračunatu statičku visinu određuje se bezdimenzioni koeficijent k:

$$k = \frac{h}{\sqrt{\frac{M_u}{B \times f_B}}}$$

i iz tabela za dimenzionisanje pravougaonih preseka očita vrednost mehaničkog koeficijenta armiranja  $\bar{\mu}$ . Potrebna površina armature se sračunava iz izraza:

$$A_a = \bar{\mu} \times \frac{B \times h}{100} \times \frac{f_B}{\sigma_v}$$

7. korak: Usvaja se broj i prečnik šipki armature. Usvojena armatura se raspoređuje u poprečnom preseku, vodeći računa o zahtevima propisanih Pravilnikom (debljina zaštitnog sloja, čisto rastojanje između šipki).

8. korak: Sračunava se položaj težišta  $a_1$  usvojene armature u odnosu na zategnutu ivicu preseka i potrebna ukupna visina preseka d:

$$d = h + a_1$$

koja se zaokružuje na prvi veći ceo broj (ceo broj deljiv sa pet).

9. korak: Konačno se konstruiše poprečni presek usvojenih dimenzija, armiran usvojenom količinom armature, i prikazuje u odgovarajućoj razmeri (1:10) sa svim potrebnim kotama i oznakama.

**Primer 13.** Odrediti visinu i potrebnu površinu armature za T presek zadatih geometrijskih karakteristika, opterećen momentima savijanja usled stalnog ( $M_g$ ) i povremenog ( $M_p$ ) opterećenja. Podaci za proračun:

$$\begin{array}{llll} M_g = 200 \text{ kNm} & B = 180 \text{ cm} & d_p = 10 \text{ cm} & \text{MB 30} \\ M_p = 250 \text{ kNm} & b = 30 \text{ cm} & & \text{RA 400/500} \end{array}$$

$$M_u = 1.6 \times 200 + 1.8 \times 250 = 770 \text{ kNm}$$

$$\text{MB 30} \Rightarrow f_B = 2.05 \text{ kN/cm}^2 ; f_{bk} = 3.0 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{usvojeno: } \sigma_{bp} = 9 \text{ MPa} = 0.9 \text{ kN/cm}^2$$

$$h = \frac{770 \times 10^2}{180 \times 10 \times 0.9} + \frac{10}{2} = 52.53 \text{ cm}$$

$$\varepsilon_{bp} = 2 \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{0.9}{2.05}} \right) = 0.502\text{‰} ; \varepsilon_a = 10\text{‰}$$

$$x_0 = \frac{0.502}{0.502 + 10} \times \left( 52.53 - \frac{10}{2} \right) = 2.27 \text{ cm} < d_p/2 = 5 \text{ cm}$$

Neutralna linija se nalazi u ploči, pa se presek dimenzioniše kao pravougaoni, širine B.

$$k = \frac{52.53}{\sqrt{\frac{770 \times 10^2}{180 \times 2.05}}} = 3.636$$

$$\varepsilon_b/\varepsilon_a = 1.575/10\text{‰} ; \bar{\mu} = 7.903\text{‰} ; s = 0.136^1$$

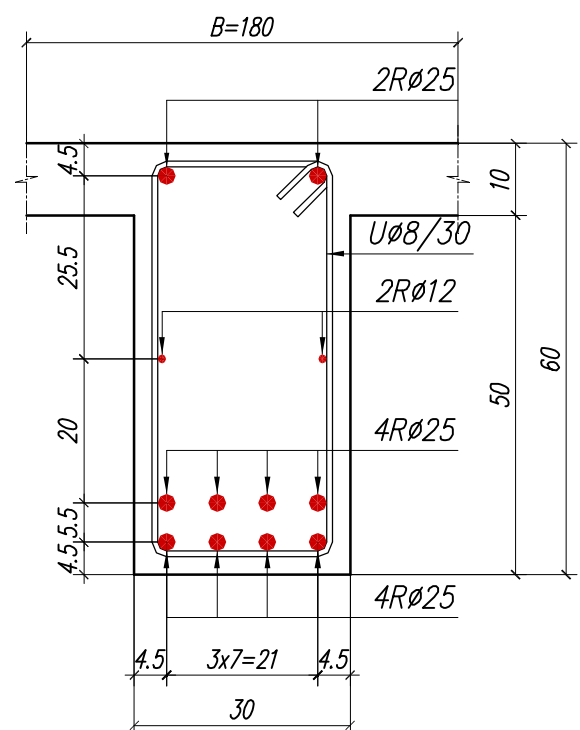
$$A_a = 7.903 \times \frac{180 \times 52.53}{100} \times \frac{2.05}{40} = 38.30 \text{ cm}^2$$

$$\text{usvojeno: } \mathbf{8R\text{\O}25} \text{ (39.27 cm}^2\text{)}$$

$$a_1 = \frac{4 \times (4.5 + 10)}{8} = 7.25 \text{ cm}$$

$$d = 52.53 + 7.25 = 59.78 \text{ cm}$$

$$\text{usvojeno: } \mathbf{d=60 \text{ cm}}$$



<sup>1</sup> Mada nije neophodno, sprovodi se kontrola položaja neutralne linije:

$$x = 0.136 \times 52.53 = 7.14 \text{ cm} < d_p = 10 \text{ cm}$$

Naime, ovo je tačan položaj neutralne linije, jer je sračunat iz stvarnog radnog dijagrama betona a ne iz osrednjenog. Može se konstatovati da je neutralna linija bliže pritisnutoj ivici preseka nego što daje proračun T preseka ( $x = x_0 + d_p/2 = 5 + 2.27 = 7.27 \text{ cm} > 7.14 \text{ cm}$ ).

## VEZANO DIMENZIONISANJE

Biće ilustrovano na primeru nosača napregnutog na složeno savijanje.

### Poznato:

- statički uticaji za pojedina opterećenja ( $M_i$ ) - sračunato
- kvalitet materijala ( $f_B, \sigma_v$ ) - usvojeno
- širina rebra, aktivna širina ploče, debljina ploče, visina preseka ( $b, B, d_p, d$ )

### Nepoznato:

- površina armature ( $A_a$ )

1. korak: Sračunavaju se granični računski statički uticaji:

$$M_u = \sum_i \gamma_{u,i} \times M_i \quad (i = g, p, \Delta)$$

$$N_u = \sum_i \gamma_{u,i} \times N_i$$

Pri tome se usvajaju MINIMALNE vrednosti koeficijenata sigurnosti.

2. korak: Pretpostavlja se položaj težišta zategnute armature u preseku i sračunava statička visina  $h$ . Iz uslova ravnoteže momenata savijanja sračunava se napon u betonu u nivou srednje ravni ploče  $\sigma_{bp}$ .

$$h = d - a_1 \Rightarrow M_{au} = M_u + N_u \times \left( \frac{d}{2} - a_1 \right)$$

$$\sigma_{bp} = \frac{M_{au}}{B \times d_p \times \left( h - \frac{d_p}{2} \right)}$$

U slučaju da se računski dobije  $\sigma_{bp} > f_B$ , postupak se prekida i sprovodi tačan proračun (u proračun se uvodi i nosivost rebra, npr. ispisivanjem uslova ravnoteže - određivanje položaja neutralne linije iz  $\Sigma M_{a1} = 0$ ).

3. korak: Iz poznate veze napon–dilatacija, definisane Pravilnikom (parabolični deo dijagrama), sračunava se dilatacija betona u nivou srednje ravni ploče:

$$\varepsilon_{bp} = 2 \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{\sigma_{bp}}{f_B}} \right) (\text{‰}) ; \varepsilon_a = 10\text{‰}$$

4. korak: Određuje se položaj neutralne linije u odnosu na srednju ravan ploče:

$$x_0 = \frac{\varepsilon_{bp}}{\varepsilon_{bp} + \varepsilon_a} \times \left( h - \frac{d_p}{2} \right)$$

i upoređuje sa **POLOVINOM DEBLJINE** ploče.

5a korak: Ukoliko je konstatovano da se neutralna linija nalazi u rebru ( $x_0 > d_p/2$ ), određuje se površina armature iz uslova ravnoteže normalnih sila:

$$A_a = \frac{M_{au}}{\left(h - \frac{d_p}{2}\right) \times \sigma_v} - \frac{N_u}{\sigma_v}$$

5b korak: Ukoliko se utvrdi da se neutralna linija nalazi u ploči ( $x_0 \leq d_p/2$ ), presek treba dimenzionisati kao pravougaoni širine B. Za sračunatu statičku visinu određuje se bezdimenzioni koeficijent k:

$$k = \frac{h}{\sqrt{\frac{M_{au}}{B \times f_B}}}$$

i iz tabele za dimenzionisanje pravougaonih preseka očita vrednost mehaničkog koeficijenta armiranja  $\bar{\mu}$ . Potrebna površina armature se sračunava iz izraza:

$$A_a = \bar{\mu} \times \frac{B \times h}{100} \times \frac{f_B}{\sigma_v} - \frac{N_u}{\sigma_v}$$

6. korak: Usvaja se broj i prečnik šipki armature. Usvojena armatura se raspoređuje u poprečnom preseku, vodeći računa o zahtevima propisanih Pravilnikom (debljina zaštitnog sloja, čisto rastojanje između šipki).

7. korak: Sračunava se položaj težišta  $a_1$  usvojene armature u odnosu na zategnutu ivicu preseka i stvarna statička visina h, koja se upoređuje sa računskom. Po potrebi se koriguje pretpostavljeno  $a_1$  i proračun u potpunosti ponavlja.

8. korak: Konačno se konstruiše poprečni presek usvojenih dimenzija, armiran usvojenom količinom armature, i prikazuje u odgovarajućoj razmeri (1:10) sa svim potrebnim kotama i oznakama.

**Primer 14.** Odrediti potrebnu površinu armature za T presek zadatih geometrijskih karakteristika, opterećen uticajima usled stalnog ( $M_g$ ,  $N_g$ ) i povremenog ( $M_p$ ,  $N_p$ ) opterećenja. Podaci za proračun:

$$M_g = 300 \text{ kNm} \quad N_g = 500 \text{ kN} \quad B = 180 \text{ cm} \quad d_p = 10 \text{ cm} \quad \text{MB 25}$$

$$M_p = 250 \text{ kNm} \quad N_p = 400 \text{ kN} \quad b = 30 \text{ cm} \quad d = 60 \text{ cm} \quad \text{RA 400/500}$$

$$M_u = 1.6 \times 300 + 1.8 \times 250 = 930 \text{ kNm}$$

$$N_u = 1.6 \times 500 + 1.8 \times 400 = 1520 \text{ kN}$$

$$\text{MB 25} \Rightarrow f_B = 1.725 \text{ kN/cm}^2$$

$$\text{pretpostavljeno: } a_1 = 7 \text{ cm} \Rightarrow h = 60 - 7 = 53 \text{ cm}$$

$$M_{au} = 930 + 1520 \times \left( \frac{60}{2} - 7 \right) \times 10^{-2} = 1279.6 \text{ kNm}$$

$$\sigma_{bp} = \frac{1279.6 \times 10^2}{180 \times 10 \times \left( 53 - \frac{10}{2} \right)} = 1.67 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow \varepsilon_{bp} = 2 \times \left( 1 - \sqrt{1 - \frac{1.67}{1.725}} \right) = 1.631\text{‰}$$

$$\varepsilon_a = 10\text{‰} \Rightarrow x_0 = \frac{1.631}{1.631 + 10} \times \left( 53 - \frac{10}{2} \right) = 6.73 \text{ cm} > d_p/2 = 5 \text{ cm}$$

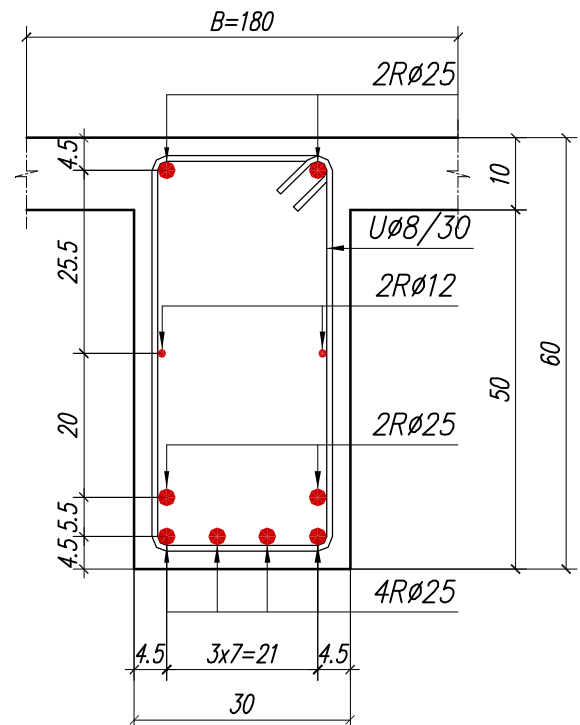
Kako se neutralna linija nalazi u rebru, potrebna površina armature se određuje iz izraza koji odgovaraju "T" preseku. Kako je  $B/b = 180/30 = 6 > 5$ , može se primeniti uprošćen postupak (zanemarenje nosivosti rebra), pa se potrebna površina armature određuje iz izraza:

$$A_a = \frac{1279.6 \times 10^2}{\left( 53 - \frac{10}{2} \right) \times 40} - \frac{1520}{40} = 28.65 \text{ cm}^2$$

usvojeno: **6RØ25** (29.45 cm<sup>2</sup>)

$$a_1 = \frac{4 \times 4.5 + 2 \times 10}{6} = 6.33 \text{ cm}$$

$$h_{stv.} = 60 - 6.33 = 53.67 \text{ cm} > h_{rač.} = 53 \text{ cm}$$



## PRORAČUN "T" PRESEKA

### SA UZIMANJEM U OBZIR NOSIVOSTI REBRA

Ukoliko se neutralna linija nalazi u rebru, a pritom nije zadovoljen uslov  $B/b > 5$ , pristupa se tačnijem proračunu, odnosno nosivost rebra se uzima u obzir. Potreba za ovim se javlja uglavnom kod preseka ograničene širine B (rožnjače i sl.), koja nije znatno veća od širine rebra, kao i kod preseka koji su, pored momenata savijanja, napregnuti i znatnim aksijalnim silama pritiska. Dva su moguća načina da se tačniji postupak dimenzionisanja ovakvih preseka sprovede:

- postupak zasnovan na iznalaženju ekvivalentnog pravougaonog preseka širine  $b_i$ ; širina  $b_i$  se određuje iz uslova da se pri jednakim položajima neutralne linije dobiju jednake sile pritiska u ekvivalentnom pravougaonom preseku i u stvarnom T preseku (približan postupak - krakovi unutrašnjih sila se razlikuju - postupak je na strani sigurnosti za  $B > b$ )
- položaj neutralne linije u preseku se određuje iz uslova ravnoteže momenata savijanja u odnosu na težište zategnute armature, a sila pritiska u betonu se određuje dekompozicijom T preseka na dva pravougaona (tačno rešenje).