

## DIMENZIONISANJE ZATEGE - GRANIČNO STANJE PRSLINA

*Dimenzionisati centrično zategnut štap opterećen silama  $Z_g = 200$  kN i  $Z_p = 250$  kN, pravougaonog preseka, tako da karakteristična širina prslina bude max. 0.15 mm. MB 30, RA 400/500.*

Zbog velikog broja nepoznatih veličina, presek se ne može direktno dimenzionisati tako da se zadovolji postavljeni uslov graničnog stanja prslina. Stoga se presek najpre dimenzioniše po teoriji granične nosivosti i usvoje oblik, dimenzije poprečnog preseka i raspored armature. Za tako usvojen poprečni presek se odredi karakteristična širina prslina i uporedi sa zahtevanom vrednošću. Ukoliko uslov zadatka nije zadovoljen, vrši se korekcija jednog ili više parametara koji će najefikasnije dovesti do zadovoljenja postavljenog kriterijuma.

### DIMENZIONISANJE

$$Z_u = 1.6 \times Z_g + 1.8 \times Z_p = 1.6 \times 200 + 1.8 \times 250 = 770 \text{ kN}$$

$$\text{RA 400/500} \Rightarrow \sigma_v = 40 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow A_{a,\text{potr.}} = \frac{Z_u}{\sigma_v} = \frac{770}{40} = 19.25 \text{ cm}^2$$

usvojeno: **6 RØ 22** (22.81 cm<sup>2</sup>)

Usvojeni poprečni presek je pravougaoni, dimenzija:

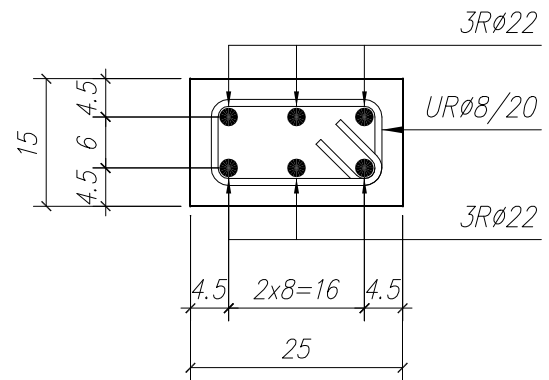
$$b \geq 2 \times (a_0 + \text{Ø}_u) + m \times \text{Ø} + (m-1) \times 5.0$$

$$b \geq 2 \times (2.5 + 0.8) + 3 \times 2.2 + 2 \times 5.0 = 23.2 \text{ cm}$$

$$d \geq 2 \times (a_0 + \text{Ø}_u) + n \times \text{Ø} + (n-1) \times 3.0$$

$$d \geq 2 \times (2.5 + 0.8) + 2 \times 2.2 + 1 \times 3.0 = 14.0 \text{ cm}$$

usvojeno: **b/d = 25/15 cm**



### PRORAČUN KARAKTERISTIČNE ŠIRINE PRSLINA

$$Z = Z_g + Z_p = 200 + 250 = 450 \text{ kN}$$

Proračun sile pri kojoj nastaje prslina

$$\text{MB 30} \Rightarrow f_{bz} = 0.7 \times f_{bzm} = 0.7 \times 2.4 = 1.68 \text{ MPa} = 0.168 \text{ kN/cm}^2 \text{ (član 51. BAB 87)}$$

$$E_b = 31.5 \text{ GPa (član 52. BAB 87)} \Rightarrow n = \frac{E_a}{E_b} = \frac{210}{31.5} = 6.67$$

$$A_i = A_b + n \times A_a = 25 \times 15 + 6.67 \times 22.81 = 527.05 \text{ cm}^2$$

$$Z_r = f_{bz} \times A_i = 0.168 \times 527.05 = 88.5 \text{ kN} < Z = 450 \text{ kN} \Rightarrow \text{presek sa prslinom}$$

Proračun srednjeg rastojanja prslina

Geometrijske veličine relevantne za proračun prslina prikazane su na skici.

$$a_0 = a_1 - \text{Ø}/2 = 4.5 - 2.2/2 = 3.4 \text{ cm}$$

$$\text{Ø} = 22 \text{ mm} = 2.2 \text{ cm} \quad ; \quad k_1 = 0.4 \text{ (RA 400/500)}$$

$$e_{\text{Ø}} = 8.0 \text{ cm} \quad ; \quad k_2 = 0.25 \text{ (čisto zatezanje)}$$

$$A_{bz,ef.} = A_b = b \times d = 25 \times 15 = 375 \text{ cm}^2$$

$$\mu_{z,ef.} = \frac{A_a}{A_{bz,ef.}} = \frac{22.81}{375} = 0.0608 = 6.08\%$$

$$l_{ps} = 2 \times \left( 3.4 + \frac{8.0}{10} \right) + 0.4 \times 0.25 \times \frac{2.2}{6.08 \times 10^{-2}} = 12.0 \text{ cm}$$

#### Određivanje napona u zategnutoj armaturi

$$\sigma_a = \frac{Z}{A_a} = \frac{450}{22.81} = 19.73 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow \varepsilon_a = \frac{\sigma_a}{E_a} = \frac{19.73}{21.0 \times 10^3} = 0.940\%$$

#### Proračun karakteristične širine prslina

$$a_{pk} = 1.7 \times \zeta_a \times \varepsilon_a \times l_{ps}$$

$$\zeta_a = 1 - \beta_1 \times \beta_2 \times \left( \frac{\sigma_{a1,r}}{\sigma_{a1}^II} \right)^2 = 1 - \beta_1 \times \beta_2 \times \left( \frac{Z_r}{Z} \right)^2 \left\{ \begin{array}{l} \leq 1.0 \\ \geq 0.4 \end{array} \right.$$

$$\left. \begin{array}{l} \beta_1 = 1.0 \text{ (RA400/500)} \\ \beta_2 = 1.0 \text{ (} t = 0 \text{)} \end{array} \right\} \Rightarrow \zeta_a = 1 - 1.0 \times 1.0 \times \left( \frac{88.5}{450} \right)^2 = 0.961$$

$$a_{pk} = 1.7 \times 0.961 \times 0.940 \times 10^{-3} \times 12.0 = 18.0 \times 10^{-3} \text{ cm} = 0.18 \text{ mm} > a_{pk,dop.} = 0.15 \text{ mm}$$

Uslov zadatka nije zadovoljen. U cilju optimalnog izbora parametra koji treba promeniti kako bi zahtevani kriterijum bio zadovoljen, sprovodi se kratka analiza.

Širina prslina direktno zavisi od:

- srednjeg rastojanja prslina
- napona u zategnutoj armaturi

Veličina koeficijenta  $\zeta_a$ , kojim se u proračun uvodi sadejstvo zategnutog betona između prslina, je praktično irelevantna, jer je njegova vrednost veoma bliska jedinici.

Pored debljine zaštitnog sloja  $a_0$ , koju možemo smatrati konstantnom, na veličinu srednjeg rastojanja prslina utiču sledeći parametri:

- rastojanje profila  $e_\emptyset$
- prečnik upotrebljene armature  $\emptyset$
- usvojene dimenzije preseka (b,d) - preko koeficijenta armiranja  $\mu_{z,ef.}$

Realno je pretpostaviti da je veličina  $e_\emptyset$  minimizirana, ali tako da obezbedi pravilno ugrađivanje betona, te se i ona može smatrati konstantnom. Preostale veličine su u tesnoj vezi: usvajanjem velikog broja tankih profila, smanjuje se  $\emptyset$  uz nužno povećanje dimenzija preseka, odnosno smanjenje koeficijenta  $\mu_{z,ef.}$ ; nasuprot tome, usvajanjem malog broja debelih profila,  $\emptyset$  raste uz smanjenje  $\mu_{z,ef.}$ ; nijedan od ekstrema nije dobar. To praktično znači da treba izbegavati upotrebu najtanjih i najdebljih profila, odnosno težiti usvajanju 6 - 12 profila armature. U takvom slučaju, iskustvo pokazuje da se srednje rastojanje prslina, za uobičajene debljine zaštitnog sloja i raspored armature, kreće u relativno uskim granicama (kako za savijanje, tako i za zatezanje):

$$\text{GA 240/360: } l_{ps} = 12 \div 15 \text{ cm}$$

$$\text{RA 400/500: } l_{ps} = 10 \div 12 \text{ cm}$$

Preostali parametar koji utiče na širinu prslina je napon u zategnutoj armaturi, kao direktna funkcija količine armature u preseku. Za slučaj da usvojena površina armature malo odstupa od računski potrebne, mogu se očekivati sledeće vrednosti napona u armaturi:

$$\text{GA 240/360: } \sigma_a = 120 \div 140 \text{ MPa} \Rightarrow \epsilon_a = 0.57 \div 0.67\%$$

$$\text{RA 400/500: } \sigma_a = 220 \div 240 \text{ MPa} \Rightarrow \epsilon_a = 1.05 \div 1.15\%$$

Na osnovu izloženog, može se očekivati karakteristična širina prslina u sledećim granicama:

$$\text{GA 240/360: } l_{ps} \approx 1.7 \times 1.0 \times 0.67 \times 10^{-3} \times (12.0 \div 15.0) = (0.14 \div 0.17) \text{ mm}$$

$$\text{RA 400/500: } l_{ps} \approx 1.7 \times 1.0 \times 1.15 \times 10^{-3} \times (10.0 \div 12.0) = (0.19 \div 0.23) \text{ mm}$$

Dakle, ovo su vrednosti karakteristične širine prslina koje se mogu očekivati pri iskorišćenim naponima u armaturi i relativno kompaktnim presecima, propisno oblikovanim u smislu obezbeđenja dovoljnih zaštitnih slojeva i čistog rastojanja armature. Praktično, proizilazi da se željena širina prslina postiže SMANJENJEM NAPONA U ZATEGNUTOJ ARMATURI i to u onom procentu koliko je prekoračenje postavljenog kriterijuma.

### KOREKCIJA PRESEKA I PONOVI PRORAČUN PRSLINA

U konkretnom slučaju, proračunom je dobijena vrednost  $a_{pk} = 0.18 \text{ mm}$ , što je 20% veće od tražene vrednosti. To praktično znači da je potrebno površinu armature u preseku povećati za cca. 20%, uz zadržavanje što većeg broja ostalih parametara.

Zadržavaju se oblik i dimenzije preseka, a menja samo prečnik usvojene armature:

$$\text{usvojeno: } \quad \mathbf{6 R\text{Ø} 25} \quad (29.45 \text{ cm}^2)$$

$$A_i = A_b + n \times A_a = 25 \times 15 + 6.67 \times 29.45 = 571.35 \text{ cm}^2$$

$$Z_r = f_{bz} \times A_i = 0.168 \times 571.35 = 96.0 \text{ kN} < Z = 450 \text{ kN} \Rightarrow \text{presek sa prslinom}$$

$$a_0 = a_1 - \text{Ø}/2 = 4.5 - 2.5/2 = 3.25 \text{ cm}$$

$$\text{Ø} = 25 \text{ mm} = 2.5 \text{ cm} \quad ; \quad k_1 = 0.4 \text{ (RA 400/500)}$$

$$e_{\text{Ø}} = 8.0 \text{ cm} \quad ; \quad k_2 = 0.25 \text{ (čisto zatezanje)}$$

$$\mu_{z,ef} = \frac{A_a}{A_{bz,ef}} = \frac{29.45}{375} = 0.0785 = 7.85\%$$

$$l_{ps} = 2 \times \left( 3.25 + \frac{8.0}{10} \right) + 0.4 \times 0.25 \times \frac{2.5}{7.85 \times 10^{-2}} = 11.3 \text{ cm}$$

$$\sigma_a = \frac{Z}{A_a} = \frac{450}{29.45} = 15.28 \text{ kN/cm}^2 \Rightarrow \epsilon_a = \frac{\sigma_a}{E_a} = \frac{15.28}{21.0 \times 10^3} = 0.728\%$$

$$\left. \begin{array}{l} \beta_1 = 1.0 \text{ (RA400/500)} \\ \beta_2 = 1.0 \text{ (} t = 0 \text{)} \end{array} \right\} \Rightarrow \zeta_a = 1 - 1.0 \times 1.0 \times \left( \frac{96.0}{450} \right)^2 = 0.955$$

$$a_{pk} = 1.7 \times 0.955 \times 0.728 \times 10^{-3} \times 11.3 = 13.0 \times 10^{-3} \text{ cm} = 0.13 \text{ mm} < a_{pk,dop.} = 0.15 \text{ mm}$$

---

Konačno usvojeni presek je isti kao onaj prikazan na skici, samo su šipke RØ25 umesto RØ22.

---