

Primljen / Received: 4.7.2025.

Ispravljen / Corrected: 21.10.2025.

Prihvaćen / Accepted: 29.10.2025.

Dostupno online / Available online: 10.2.2026.

Dimenzioniranje armiranobetonskih T-presjeka prema drugoj generaciji Eurokoda

Autori:

Izv.prof.dr.sc. **Željko Smolčić**, dipl.ing.građ.

Sveučilište u Rijeci

Građevinski fakultet

zeljko.smolicic@uniri.hr

Autor za korespondenciju

Doc.dr.sc. **Paulo Ščulac**, dipl.ing.građ.

Sveučilište u Rijeci

Građevinski fakultet

paulo.sculac@gradri.uniri.hrProf.dr.sc. **Davor Grandić**, dipl.ing.građ.

Sveučilište u Rijeci

Građevinski fakultet

dgrandic@gradri.uniri.hr

Prethodno priopćenje

Željko Smolčić, Paulo Ščulac, Davor Grandić

Dimenzioniranje armiranobetonskih T-presjeka prema drugoj generaciji Eurokoda

U radu opisan je postupak dimenzioniranja armiranobetonskih T-presjeka prema normi HRN EN 1992-1-1:2023 (druga generacija Eurokoda 2). Za beton primijenjena je pravokutna raspodjela naprezanja, dok je za čelik za armiranje primijenjen bilinearni proračunski dijagram naprezanje – deformacija s horizontalnom gornjom granom bez ograničenja deformacije. Zbog primjene takvih proračunskih dijagrama naprezanje – deformacija pri dimenzioniranju armiranobetonskog T-presjeka potrebno je dostići i ograničiti deformaciju u tlačnoj zoni betona kako bi presjek bio u graničnome stanju nosivosti. Korištenjem pravokutne raspodjele naprezanja moguće je primijeniti direktni analitički postupak dimenzioniranja armiranobetonskog T-presjeka, pri kojemu se rješavanjem kvadratne jednadžbe dobiva visina neutralne osi, a nakon toga potrebna ploština vlačne i eventualno ploština tlačne armature. Dane su i tablice za dimenzioniranje armiranobetonskih T-presjeka, dobivene na temelju izvedenih izraza dobivenih izravnim analitičkim postupkom.

Ključne riječi:

armiranobetonski T-presjek, norma HRN EN 1992-1-1:2023, druga generacija Eurokoda 2, savijanje, dimenzioniranje

Research Paper

Željko Smolčić, Paulo Ščulac, Davor Grandić

Design of reinforced concrete T-sections according to the second generation of Eurocode

The design procedure for reinforced concrete T-sections according to the standard HRN EN 1992-1-1:2023 (second generation of Eurocode 2) is described in this paper. Rectangular stress-strain diagram was used for concrete, while bilinear stress-strain diagram with a horizontal post-elastic branch without strain limit was applied for the reinforcing steel. Due to the use of such stress-strain diagrams, while designing reinforced concrete T-sections, it is necessary to reach and limit strain in the compressive zone of the concrete, so that the cross-section is in the ultimate limit state. Hence, by using rectangular stress-strain diagram for concrete, it is possible to apply direct analytical procedure for the design of reinforced concrete T-sections, in which, by solving the quadratic equation, the depth of the neutral axis is obtained, and subsequently, the required cross-sectional area of tensile reinforcement and possibly compressive reinforcement. Tables for the design of reinforced concrete T-sections are also provided, which were obtained based on derived equations by direct analytical procedure.

Key words:

reinforced concrete T-section, standard HRN EN 1992-1-1:2023, the second generation of Eurocode 2, bending, design

1. Uvod

Prema važećoj normi HRN EN 1992-1-1:2013 [1] (prva generacija Eurokoda 2), predviđena je upotreba dijagrama naprezanje – deformacija betona u obliku parabole i pravca, bilinearnog dijagrama i pravokutne raspodjele naprezanja. Norma HRN EN 1992-1-1:2023 [2] (druga generacija Eurokoda 2) predviđa primjenu dijagrama naprezanje – deformacija betona u obliku parabole drugog stupnja i pravca te pravokutne raspodjele naprezanja.

U ovome radu za dimenzioniranje T-presjeka prema normi HRN EN 1992-1-1:2023 [2] primjenjuje se pravokutna raspodjela naprezanja. Taj oblik dijagrama odabran je kako bi se mogao primijeniti direktni analitički postupak dimenzioniranja T-presjeka. Kod izravnoga analitičkog postupka rješavanjem kvadratne jednadžbe dobiva se visina neutralne osi x , a potom potrebna ploština vlačne armature kod jednostruko armiranog presjeka te potrebna ploština vlačne i tlačne armature kod dvostruko armiranog presjeka.

Norme HRN EN 1992-1-1:2013 [1] i HRN EN 1992-1-1:2023 [2] za čelik za armiranje predviđaju primjenu bilinearnog dijagrama naprezanje – deformacija s kosom ili horizontalnom gornjom granom bez ograničenja deformacije armature. U ovome radu za dimenzioniranje T-presjeka prema normi HRN EN 1992-1-1:2023 [2] za čelik za armiranje primjenjuje se bilinearni dijagram naprezanje – deformacija s horizontalnom gornjom granom bez ograničenja deformacije armature.

U velikome dijelu Europe prevladava primjena dijagrama naprezanje – deformacija betona u obliku parabole i pravca [3–7], dok se u Ujedinjenome Kraljevstvu (UK) preferira pravokutna raspodjela naprezanja [8, 9]. Rezultat primjene dijagrama naprezanje – deformacija betona u obliku parabole i pravca jest taj da se pri dimenzioniranju T-presjeka teško dobiva točno rješenje, već se primjenjuju približni postupci, koji su u pravilu na strani sigurnosti. Budući da se u Velikoj Britaniji preferira primjena pravokutne raspodjele naprezanja, pri dimenzioniranju T-presjeka moguće je dobiti točno rješenje [8, 9]. To je glavni razlog zbog kojeg se u ovome radu primjenjuje pravokutna raspodjela naprezanja, koja omogućuje primjenu izravnoga analitičkog postupka pri dimenzioniranju T-presjeka.

Dimenzioniranje T-presjeka se pri korištenju dijagrama naprezanje – deformacija betona u obliku parabole i pravca obično dijeli na dva slučaja: "slučaj 1." i "slučaj 2." ("2.a" i "2.b") [3–7]. Kod "slučaja 1." neutralna os prolazi kroz pojasnicu i tada se T-presjek dimenzionira kao pravokutni presjek širine b_{eff} (proračunska širina pojasnice) i visine h , uz korištenje tablica za dimenzioniranje pravokutnoga armiranobetonskog presjeka, koje su približno rješenje problema. Kod "slučaja 2." neutralna os prolazi kroz rebro, a pritom postoje dva slučaja. "Slučaj 2.a" odnosi se na slučaj kada je $b_{\text{eff}}/b_w > 5$ (b_w je širina rebra), kod kojeg se pretpostavlja pravokutna raspodjela tlačnih naprezanja u pojasnici grede, a zanemaruje tlačno naprezani dio rebra. Rješenje dobiveno tim postupkom također je približno rješenje. "Slučaj 2.b" odnosi se na

slučaj kada je $b_{\text{eff}}/b_w \leq 5$, kod kojeg se T-presjek zamjenjuje ekvivalentnim pravokutnim presjekom uz iterativno rješavanje, te na korištenje tablice koja daje ovisnost h_f/d i b_{eff}/b_w o ξ , gdje je h_f visina pojasnice, d statička visina a ξ koeficijent visine neutralne osi. Kao i prethodne metode, i ta je metoda približna.

U literaturi [6, 7] dane su tablice za dimenzioniranje T-presjeka koje za određene odnose h_f/d , b_{eff}/b_w i μ_{Ed} (bezdimenzijska vrijednost proračunskog djelujućeg momenta savijanja) daju mehanički koeficijent armiranja vlačnom armaturom ω_1 . Te su tablice dobivene primjenom dijagrama naprezanje – deformacija betona u obliku parabole i pravca. Tako dobiveno rješenje samo je približno.

U literaturi [10, 11] pokazano je da se primjenom dijagrama naprezanje – deformacija betona u obliku parabole i pravca pri dimenzioniranju T-presjeka može dobiti izraz koji je polinom četvrtog stupnja, a čije su nultočke rješenja za koeficijent visine neutralne osi ξ . Tako dobiveno rješenje, iako numerički točno, presloženo je za dimenzioniranje T-presjeka u inženjerskoj praksi.

Pri dimenzioniranju T-presjeka primjenom pravokutne raspodjele naprezanja [8, 9] problem se svodi na rješavanje kvadratne jednadžbe. Međutim, u [8, 9] nisu dani opći izrazi za dimenzioniranje T-presjeka, nego je svaki put potrebno izvoditi i rješavati kvadratnu jednadžbu.

Iz dostupne literature [3–11] jasno je da se relativno jednostavno i točno rješenje dimenzioniranja T-presjeka može dobiti samo uz primjenu pravokutne raspodjele naprezanja. Tada se može primijeniti direktni analitički postupak dimenzioniranja T-presjeka, i to tako da se izvedu opći izrazi za dimenzioniranje T-presjeka.

Izrazi za dimenzioniranje T-presjeka izvedeni u ovome radu slični su izrazima u literaturi [12, 13], u kojoj je za beton korištena pravokutna raspodjela naprezanja, ali prema normi BS 8110 [14].

U literaturi [15] već je uspješno primijenjen direktni analitički postupak dimenzioniranja pravokutnog presjeka, a točno rješenje kod pravokutnog presjeka dobiva se primjenom dijagrama naprezanje – deformacija betona u obliku parabole drugog stupnja i pravca ili pravokutne raspodjele naprezanja.

U programu *Mathcad* [16] izrađen je program za dimenzioniranje T-presjeka uz korištenje općih izraza dobivenih u radu. Kontrola dobivenih rezultata provedena je uz pomoć računalnog programa *Gala* [17], koji služi za dimenzioniranje armiranobetonskih presjeka općeg oblika.

Osim formula izvedenih pri izravnome analitičkom postupku, dane su i tablice za dimenzioniranje armiranobetonskih T-presjeka koje mogu poslužiti za jednostavna i brza dimenzioniranja u inženjerskoj praksi.

Cilj je rada primjenom izravnoga analitičkog postupka dobiti opće izraze za dimenzioniranje T-presjeka, a sve u cilju da se dobije jednostavno i numerički točno rješenje pri dimenzioniranju T-presjeka. Kako bi se to ostvarilo, primjenjuje se pravokutna raspodjela naprezanja, a problem se svodi na rješavanje

kvadratne jednadžbe, u kojoj je nepoznata veličina visina neutralne osi x . Nakon toga dobije se točno rješenje za potrebnu ploštinu vlačne armature i eventualno potrebnu ploštinu tlačne armature. Svi izvedeni izrazi usklađeni su s odredbama norme HRN EN 1992-1-1:2023 [2].

2. Proračunski dijagrami

2.1. Proračunski dijagram betona

Prema normi HRN EN 1992-1-1:2023 [2, 15], proračunska tlačna čvrstoća betona određuje se izrazom (1):

$$f_{cd} = \eta_{cc} \cdot k_{tc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} \quad (1)$$

gdje je f_{ck} karakteristična tlačna čvrstoća betona, γ_c parcijalni koeficijent za beton ($\gamma_c = 1,50$ za stalne i prolazne proračunske situacije), η_{cc} koeficijent kojim se u obzir uzimaju razlike između stvarne tlačne čvrstoće valjka i efektivne tlačne čvrstoće koja se javlja u konstrukciji:

$$\eta_{cc} = \left(\frac{f_{ck,ref}}{f_{ck}} \right)^{1/3} \leq 1,0 \quad (2)$$

a k_{tc} koeficijent kojim se u obzir uzima učinak dugotrajnog opterećenja i trenutka opterećenja na tlačnu čvrstoću betona.

U normi HRN EN 1992-1-1:2023 [2] dane su sljedeće preporučene vrijednosti:

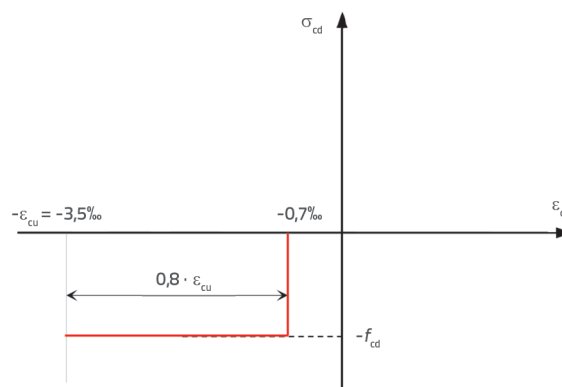
- $f_{ck,ref} = 40$ MPa
- $k_{tc} = 1,00$ za $t_{ref} \leq 28$ dana za beton s cementima razreda CR (brzovezujući) i CN (normalnovezujući) i $t_{ref} \leq 56$ za beton s cementom razreda CS (sporovezujući), gdje se proračunsko opterećenje ne očekuje najmanje 3 mjeseca nakon betoniranja i gdje je t_{ref} starost betona u trenutku određivanja tlačne čvrstoće betona
- $k_{tc} = 0,85$ za druge slučajeve, uključujući kada je f_{ck} zamijenjen s $f_{ck}(t)$.

U Nacionalnome dodatku se prema normi HRN EN 1992-1-1:2023 [2] smiju dati druge vrijednosti (hrvatski Nacionalni dodatak je u fazi izrade).

Norma HRN EN 1992-1-1:2023 [2] dopušta za dimenzioniranje presjeka primjenu pravokutne raspodjele naprezanja (slika 1.), gdje je granična tlačna deformacija betona $\varepsilon_{cu} = 3,5$ ‰. Pravokutna raspodjela naprezanja za beton odabrana je kako bi se mogao primjenjivati direktni analitički postupak dimenzioniranja, kod kojeg se problem svodi na rješavanje kvadratne jednadžbe.

Kod direktnog analitičkog postupka rješavanjem kvadratne jednadžbe dobiva se visina neutralne osi x , nakon čega se kod jednostruko armiranog presjeka dobiva potrebna ploština vlačne

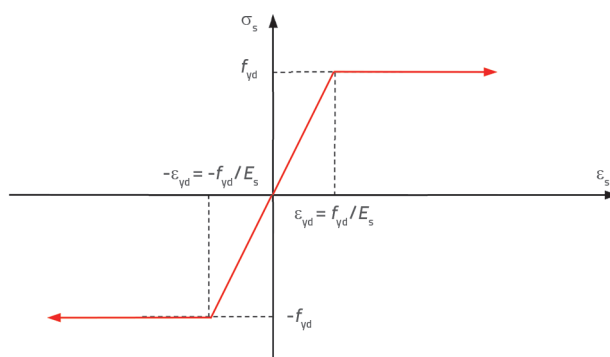
armature A_{s1} , a kod dvostruko armiranog presjeka i potrebna ploština tlačne armature A_{s2} .



Slika 1. Pravokutna raspodjela naprezanja za beton

2.2. Proračunski dijagram čelika za armiranje

Za dimenzioniranje presjeka prema normi HRN EN 1992-1-1:2023 [2, 15] može se koristiti dijagram naprezanje – deformacija za čelik za armiranje s horizontalnom gornjom granom bez ograničenja deformacije (slika 2.).



Slika 2. Dijagram naprezanje – deformacija čelika za armiranje

Proračunska granica popuštanja čelika za armiranje f_{yd} određuje se izrazom (3):

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} \quad (3)$$

gdje je f_{yk} karakteristična granica popuštanja čelika za armiranje a γ_s parcijalni koeficijent za čelik za armiranje ($\gamma_s = 1,15$ za stalne i prolazne proračunske situacije).

Naprezanje u čeliku za armiranje σ_s (prema slici 2.) može se pojednostavljeno opisati izrazom (4):

$$\sigma_s = \frac{|\varepsilon_s| \cdot E_s}{1000} \leq f_{yd} \quad (4)$$

gdje je ε_s deformacija čelika za armiranje [‰], a $E_s = 200$ GPa modul elastičnosti čelika za armiranje.

3. Dimenzioniranje T-presjeka

3.1. Granične vrijednosti za čisto savijanje

Granične vrijednosti za čisto savijanje (tablica 1.) potrebne su kako bi se znala granica između jednostruko armiranog presjeka i dvostruko armiranog presjeka, a preuzete su iz literature [15], pri čemu je $\varepsilon_{c,ed2,lim}$ granična vrijednost deformacije u tlačnoj zoni betona a $\varepsilon_{s1,lim}$ granična vrijednost deformacije u vlačnoj armaturi.

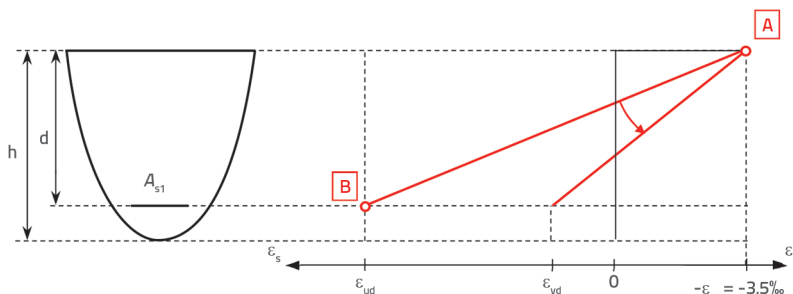
Tablica 1. Granične vrijednosti za čisto savijanje ($E_s = 200$ GPa, $\gamma_s = 1,15$) [15]

f_{yk} [MPa]	f_{yd} [MPa]	$\varepsilon_{c,ed2,lim}$ [‰]	$\varepsilon_{s1,lim}$ [‰]	ξ_{lim}
400	347,83	-3,5	2,484	0,585
450	391,30	-3,5	2,795	0,556
500	434,78	-3,5	3,106	0,530
550	478,26	-3,5	3,416	0,506
600	521,74	-3,5	3,727	0,484
700	608,70	-3,5	4,348	0,446

Granična vrijednost koeficijenta visine tlačnog područja $\xi_{lim} = x_{lim} / d$ dobiva se izjednačavanjem δ_M s 1, gdje je δ_M odnos momenta savijanja nakon preraspodjele (linearna teorija elastičnosti s preraspodjelom) i elastičnog momenta savijanja a x_{lim} granična vrijednost visine tlačnog područja. Više informacija o postupku određivanja granične vrijednosti koeficijenta visine tlačnog područja ξ_{lim} dano je u [15]. Prema tablici 1., granična vrijednost koeficijenta visine tlačnog područja ξ_{lim} određuje se ovisno o karakterističnoj granici popuštanja čelika korištenog za armiranje f_{yk} : 400 MPa, 450 MPa, 500 MPa, 550 MPa, 600 MPa i 700 MPa.

3.2. Raspodjela deformacija u armiranobetonskome presjeku

Prema HRN EN 1992-1-1:2023 [2], pri dimenzioniranju armiranobetonskog presjeka uzimaju se u obzir sljedeće pretpostavke:



Slika 3. Raspodjela deformacija u armiranobetonskome presjeku općeg oblika za slučaj čistog savijanja

- Ravni presjeci ostaju ravni.
- Deformacije armature u vlačnome i tlačnome području jednake su deformaciji okolnog betona.
- Vlačna čvrstoća betona zanemaruje se.
- Raspodjela tlačnih napreznja betona izvodi se iz pravokutne raspodjele napreznja (slika 1.).
- Napreznje u čeliku za armiranje izvodi se iz proračunskog dijagrama napreznja – deformacija (slika 2.).

Na slici 3. prikazan je mogući raspon raspodjele deformacija u armiranobetonskome presjeku općeg oblika za slučaj čistog savijanja.

Za postizanje graničnog stanja nosivosti u armiranobetonskome presjeku potrebno je dostići barem jednu graničnu deformaciju, u betonu ($-\varepsilon_{cu}$) ili čeliku za armiranje (ε_{ud}) (slika 3.). Granična deformacija čelika za armiranje neće biti nikada dostignuta jer se primjenjuje proračunski dijagram napreznja – deformacija za čelik za armiranje s horizontalnom gornjom granom bez ograničenja deformacija (slika 2.). Zbog toga je potrebno dostići i ograničiti deformaciju u tlačnoj zoni betona na $\varepsilon_{c,ed2} = -\varepsilon_{cu} = -3,5$ ‰ (slika 3.) kako bi armiranobetonski presjek bio u graničnome stanju nosivosti.

3.3. Jednostruko armirani T-presjek za slučaj $0,8 \cdot x \leq h_f$

Jednostruko armirani T-presjek za slučaj $0,8 \cdot x \leq h_f$ prikazan je na slici 4. Vrijednost $0,8 \cdot x$ nije jednaka visini neutralne osi x jer se primjenjuje pravokutna raspodjela napreznja, koja je prikazana na slici 1.

Proračunska tlačna sila u betonu određuje se prema izrazu (5):

$$F_{cd} = b_{eff} (0,8 \cdot x) \cdot f_{cd} \quad (5)$$

Proračunska sila u vlačnoj armaturi proračunava se s uz pomoć izraza (6):

$$F_{s1d} = \sigma_{s1d} \cdot A_{s1} \quad (6)$$

gdje je σ_{s1d} proračunsko napreznje u vlačnoj armaturi a A_{s1} ploština vlačne armature.

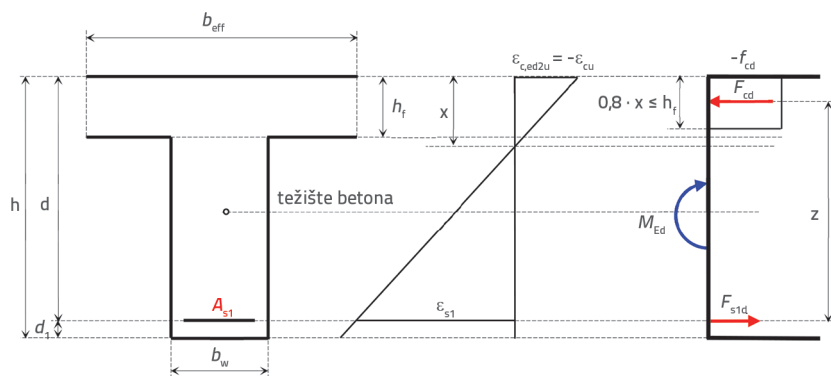
Krak unutarnjih sila jest (slika 4.):

$$z = d - 0,4 \cdot x \quad (7)$$

gdje je d statička visina.

Moment nosivosti kojim se presjek odupire savijanju proračunava s obzirom na težište vlačne armature iznosi:

$$M_{rd} = F_{cd} \cdot z = [b_{eff} \cdot (0,8 \cdot x) \cdot f_{cd}] (d - 0,4 \cdot x) \quad (8)$$

Slika 4. Jednostruko armirani T-presjek za slučaj $0,8 \cdot x \leq h_f$

U presjecima naprežanim momentom savijanja potrebno je zadovoljiti:

$$M_{Ed} \leq M_{Rd} \quad (9)$$

gdje je M_{Ed} proračunski djelujući moment savijanja a M_{Rd} moment nosivosti presjeka.

Za dimenzioniranje presjeka primjenjuje se uvjet ravnoteže:

$$M_{Ed} = M_{Rd} = b_{eff} \cdot 0,8 \cdot f_{cd} \cdot d \cdot x - b_{eff} \cdot 0,32 \cdot f_{cd} \cdot x^2 \quad (10)$$

Sređivanjem izraza (10) dobiva se kvadratna jednadžba:

$$\frac{0,4}{d} x^2 - x + \frac{M_{Ed}}{0,8 \cdot b_{eff} \cdot d \cdot f_{cd}} = 0 \quad (11)$$

koja ima dva rješenja:

$$x_{1,2} = 1,25 \cdot d \left[1 \pm \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}}} \right] \quad (12)$$

Prvo rješenje x_1 iz izraza (12) nema fizikalno značenje jer je $x_1 > d$. Prema tome drugo rješenje x_2 daje visinu neutralne osi $x = x_2$:

$$x = 1,25 \cdot d \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}}} \right] \quad (13)$$

Na osnovu sličnosti trokuta (slika 4.) dobiva se deformacija u vlačnoj armaturi ε_{s1} , uz uvrštavanje deformacije u tlačnoj zoni betona $\varepsilon_{ced2} = -\varepsilon_{cu} = -3,5 \text{ ‰}$:

$$\frac{|\varepsilon_{ced2}|}{x} = \frac{\varepsilon_{s1}}{d - x} \quad (14)$$

$$\varepsilon_{s1} = \frac{|-3,5 \text{ ‰}| (d - x)}{x} \quad (15)$$

Ako je deformacija u vlačnoj armaturi ε_{s1} veća od ε_{yd} (slika 2.), tada je u vlačnoj armaturi došlo do popuštanja. Prema tome proračunsko naprežanje u vlačnoj armaturi iznosi $\sigma_{s1d} = f_{yd}$.

Iz sume horizontalnih sila u poprečnome presjeku dobiva se (slika 4.):

$$\Sigma H = 0 \quad (16)$$

$$F_{s1d} - F_{cd} = 0 \quad (17)$$

Uvrštavanjem izraza (5) i (6) u izraz (17) i uz pretpostavku da je došlo do popuštanja u vlačnoj armaturi $\sigma_{s1d} = f_{yd}$ dobiva se potrebna ploština vlačne armature:

$$A_{s1} = \frac{b_{eff} \cdot 0,8 \cdot x \cdot f_{cd}}{f_{yd}} \quad (18)$$

Najveći moment nosivosti presjeka $M_{Rd,f}$, koji presjek može nositi u slučaju kada je visina $0,8 \cdot x$ jednaka visini pojasnice h_f dobije se uvrštavanjem $0,8 \cdot x = h_f$ u izraz (8):

$$M_{Rd,f} = (b_{eff} \cdot h_f \cdot f_{cd}) \cdot \left(d - \frac{h_f}{2} \right) \quad (19)$$

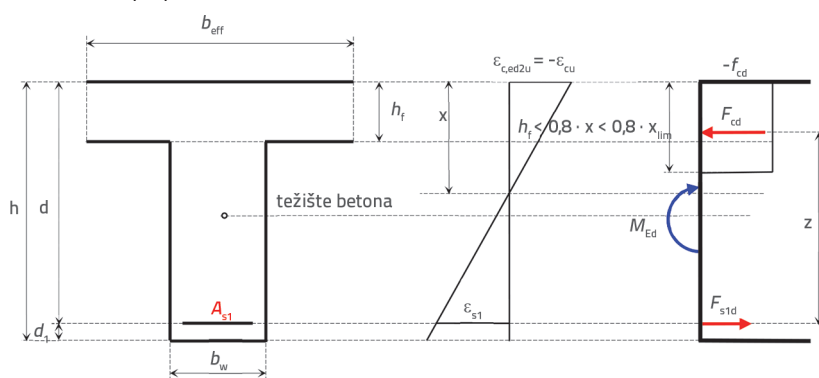
Izrazi izvedeni u ovome poglavlju vrijede za dimenzioniranje jednostruko armiranog T-presjeka za slučaj $0,8 \cdot x \leq h_f$, a što se može prikazati tako da je $M_{Ed} \leq M_{Rd}$.

3.4. Jednostruko armirani T-presjek za slučaj $h_f < 0,8 \cdot x < 0,8 \cdot x_{lim}$

Na slici 5. prikazan je jednostruko armirani T-presjek za slučaj $h_f < 0,8 \cdot x < 0,8 \cdot x_{lim}$.

Proračunska tlačna sila u betonu određuje se prema izrazu:

$$F_{cd} = (b_{eff} - b_w) \cdot h_f \cdot f_{cd} + b_w \cdot (0,8 \cdot x) \cdot f_{cd} \quad (20)$$

Slika 5. Jednostruko armirani T-presjek za slučaj $h_f < 0,8 \cdot x < 0,8 \cdot x_{lim}$

Proračunska sila u vlačnoj armaturi proračunava se pomoću izraza (6).

Moment nosivosti kojim se presjek odupire savijanju, proračunan s obzirom na težište vlačne armature, iznosi:

$$M_{Rd} = F_{cd} \cdot z = \left[(b_{eff} - b_w) h_f \cdot f_{cd} \right] \cdot \left(d - \frac{h_f}{2} \right) + \left[b_w (0,8 \cdot x) \cdot f_{cd} \right] (d - 0,4 \cdot x) \quad (21)$$

Za dimenzioniranje presjeka koristi se uvjet ravnoteže:

$$M_{Ed} = M_{Rd} = \left[(b_{eff} - b_w) h_f \cdot f_{cd} \right] \cdot \left(d - \frac{h_f}{2} \right) + \left[b_w (0,8 \cdot x) \cdot f_{cd} \right] (d - 0,4 \cdot x) \quad (22)$$

Sređivanjem izraza (22) dobiva se kvadratna jednadžba:

$$\frac{0,4}{d} x^2 - x + \frac{\frac{b_{eff}}{b_w} \left[M_{Ed} - (b_{eff} - b_w) h_f \cdot f_{cd} \cdot \left(d - \frac{h_f}{2} \right) \right]}{0,8 \cdot b_{eff} \cdot d \cdot f_{cd}} = 0 \quad (23)$$

koja ima dva rješenja:

$$x_{1,2} = 1,25 \cdot d \left[1 \pm \sqrt{1 - \frac{2 \cdot \frac{b_{eff}}{b_w} \left[M_{Ed} - (b_{eff} - b_w) h_f \cdot f_{cd} \cdot \left(d - \frac{h_f}{2} \right) \right]}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}}} \right] \quad (24)$$

Prvo rješenje x_1 iz izraza (24) nema fizikalno značenje jer je $x_1 > d$. Dakle, drugo rješenje x_2 daje visinu neutralne osi $x = x_2$:

$$x = 1,25 \cdot d \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot \frac{b_{eff}}{b_w} \left[M_{Ed} - (b_{eff} - b_w) h_f \cdot f_{cd} \cdot \left(d - \frac{h_f}{2} \right) \right]}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}}} \right] \quad (25)$$

Deformacija u vlačnoj armaturi ε_{s1} dobiva se pomoću izraza (15). Ako je deformacija vlačne armature ε_{s1} veća od ε_{yd} (slika 2.), tada je u vlačnoj armaturi došlo do popuštanja. Dakle, proračunsko naprezanje u vlačnoj armaturi iznosi $\sigma_{s1d} = f_{yd}$.

Uvrštavanjem izraza (20) i (6) u izraz (17), i uz pretpostavku da je došlo do popuštanja u vlačnoj armaturi $\sigma_{s1d} = f_{yd}$, dobiva se potrebna ploština vlačne armature:

$$A_{s1} = \frac{f_{cd} \left[(b_{eff} - b_w) \cdot h_f + b_w \cdot 0,8 \cdot x \right]}{f_{yd}} \quad (26)$$

Granični moment savijanja za jednostruko armirani T-presjek, koji presjek može nositi za slučaj kada je visina neutralne

osi x jednaka graničnoj vrijednosti visine neutralne osi x_{lim} , dobije se uvrštavanjem $x = x_{lim}$ u izraz (21):

$$M_{Rd,lim} = \left[(b_{eff} - b_w) h_f \cdot f_{cd} \right] \cdot \left(d - \frac{h_f}{2} \right) + \left[b_w \cdot 0,8 \cdot x_{lim} \cdot f_{cd} \right] (d - 0,4 \cdot x_{lim}) \quad (27)$$

Izrazi izvedeni u ovome poglavlju vrijede za dimenzioniranje jednostruko armiranog T-presjeka za slučaj $h_f < 0,8 \cdot x < 0,8 \cdot x_{lim}$, a što se može prikazati tako da je $M_{Rd,f} < M_{Ed} < M_{Rd,lim}$.

3.5. Dvostruko armirani T-presjek ($x = x_{lim}$)

Na slici 6. prikazan je dvostruko armirani T-presjek za slučaj $x = x_{lim}$.

Taj slučaj nastaje kada je proračunski djelujući moment savijanja M_{Ed} veći ili jednak graničnome momentu savijanja za jednostruko armirani T-presjek $M_{Rd,lim}$ (27). U tome slučaju bila bi dobivena, pri dimenzioniranju jednostruko armiranog T-presjeka, visina neutralne osi x koja je veća od granične vrijednosti visine neutralne osi x_{lim} . Zbog toga se visina neutralne osi x mora izjednačiti s graničnom vrijednosti visine neutralne osi x_{lim} . Posljedica tog uvjeta je da se osim vlačne armature mora odrediti tlačna armatura kod T-presjeka.

Prema tome uvjet za dimenzioniranje dvostruko armiranog T-presjeka prikazan je izrazom:

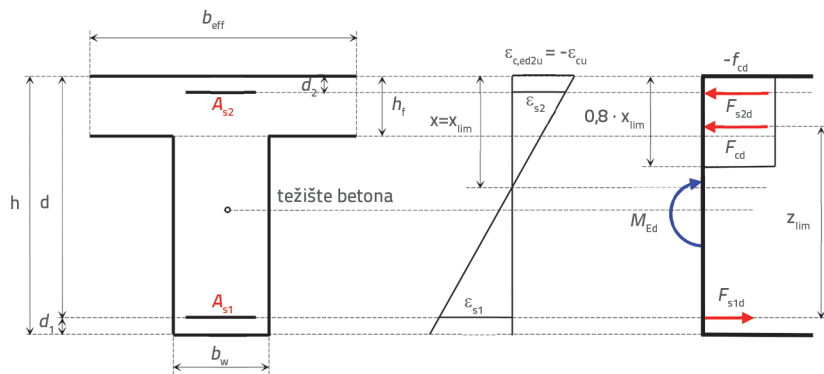
$$M_{Ed} \geq M_{Rd,lim} \quad (28)$$

Proračunska tlačna sila u betonu određuje se prema izrazu (20), uz uvrštavanje $x = x_{lim}$:

$$F_{cd} = (b_{eff} - b_w) \cdot h_f \cdot f_{cd} + b_w \cdot (0,8 \cdot x_{lim}) \cdot f_{cd} \quad (29)$$

Na temelju sličnosti trokuta (slika 6.) dobiva se:

$$\frac{|\varepsilon_{c,ed2}|}{x_{lim}} = \frac{|\varepsilon_{s2}|}{x_{lim} - d_2} \quad (30)$$



Slika 6. Dvostruko armirani T-presjek ($x = x_{lim}$)

Sređivanjem izraza (30) dobiva se deformacija u tlačnoj armaturi:

$$|\varepsilon_{s2}| = \frac{|\varepsilon_{c,ed2}|(x_{lim} - d_2)}{x_{lim}} \quad (31)$$

Proračunsko naprezanje u tlačnoj armaturi proračunava se pomoću izraza (4):

$$\sigma_{s2d} = \frac{|\varepsilon_{s2}| \cdot E_s}{1000} \leq f_{yd} \quad (32)$$

Proračunska sila u tlačnoj armaturi proračunava se pomoću izraza:

$$F_{s2d} = \sigma_{s2d} \cdot A_{s2} \quad (33)$$

Moment nosivosti kojim se presjek odupire savijanju, proračunan s obzirom na težište vlačne armature iznosi (slika 6.):

$$M_{Rd} = M_{Rd,lim} + F_{s2d}(d - d_2) = M_{Rd,lim} + (\sigma_{s2d} \cdot A_{s2})(d - d_2) \quad (34)$$

Za dimenzioniranje presjeka koristi se uvjet ravnoteže:

$$M_{Ed} = M_{Rd} = M_{Rd,lim} + (\sigma_{s2d} \cdot A_{s2})(d - d_2) \quad (35)$$

Sređivanjem izraza (35) dobiva se potrebna ploština tlačne armature:

$$A_{s2} = \frac{M_{Ed} - M_{Rd,lim}}{\sigma_{s2d}(d - d_2)} \quad (36)$$

Deformacija u vlačnoj armaturi ε_{s1} dobiva se pomoću izraza (15), a ako je deformacija vlačne armature ε_{s1} veća od ε_{yd} (slika 2.), tada je u vlačnoj armaturi došlo do popuštanja, a proračunsko naprezanje u vlačnoj armaturi iznosi $\sigma_{s1d} = f_{yd}$. Iz sume horizontalnih sila u poprečnome presjeku, izraz (16) i slika 6., dobiva se:

$$F_{s1d} - F_{cd} - F_{s2d} = 0 \quad (37)$$

Uvrštavanjem izraza (6), (29) i (33) u izraz (37) dobiva se potrebna ploština vlačne armature:

$$A_{s1} = \frac{f_{cd}[(b_{eff} - b_w) \cdot h_f + b_w \cdot 0,8 \cdot x_{lim}] + \sigma_{s2d} \cdot A_{s2}}{f_{yd}} \quad (38)$$

Izrazi izvedeni u ovome poglavlju vrijede ako je $x_{lim} \geq d_2$, odnosno tlačna armatura mora biti u tlačnome području betona, što je redovito slučaj koji se u praksi pojavljuje kod dvostruko armiranih presjeka.

3.6. Tablice za dimenzioniranje T-presjeka

Osim dimenzioniranja T-presjeka direktnim analitičkim postupkom, prikazanog u prethodnim poglavljima, dane su tablice za dimenzioniranje T-presjeka.

Kod jednostruko armiranog T-presjeka za slučaj $0,8 \cdot x \leq h_f$ izraz (13) za određivanje visine neutralne osi x može se prikazati kao:

$$\xi = 1,25 \left[1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu_{Ed}} \right] \quad (39)$$

gdje je ξ koeficijent visine tlačnog područja:

$$\xi = \frac{x}{d} \quad (40)$$

a μ_{Ed} bezdimenzijska vrijednost proračunskog djelujućeg momenta savijanja:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}} \quad (41)$$

Izraz (18) za određivanje potrebne ploštine vlačne armature A_{s1} može se prikazati kao:

$$\omega_1 = 1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \mu_{Ed}} \quad (42)$$

gdje je ω_1 mehanički koeficijent armiranja vlačnom armaturom:

$$\omega_1 = \frac{A_{s1} \cdot f_{yd}}{f_{cd} \cdot b_{eff} \cdot d} \quad (43)$$

Za jednostruko armirani T-presjek za slučaj $h_f < 0,8 \cdot x < 0,8 \cdot x_{lim}$ izraz (25) za određivanje visine neutralne osi x može se prikazati kao:

$$\xi = 1,25 \left[1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \frac{b_{eff}}{b_w} \cdot \mu_{Ed} + 2 \cdot \left(\frac{b_{eff}}{b_w} - 1 \right) \frac{h_f}{d} \left(1 - \frac{h_f}{2 \cdot d} \right)} \right] \quad (44)$$

Izraz (26) za određivanje potrebne ploštine vlačne armature A_{s1} može se prikazati kao:

$$\omega_1 = \left(1 - \frac{b_w}{b_{eff}} \right) \frac{h_f}{d} + \frac{b_w}{b_{eff}} \left[1 - \sqrt{1 - 2 \cdot \frac{b_{eff}}{b_w} \cdot \mu_{Ed} + 2 \cdot \left(\frac{b_{eff}}{b_w} - 1 \right) \frac{h_f}{d} \left(1 - \frac{h_f}{2 \cdot d} \right)} \right] \quad (45)$$

Tablice za dimenzioniranja T-presjeka dobivene su pomoću izraza (39), (42), (44) i (45) i za odnose $b_{eff}/b_w = 2, 3, 5$ i 10 te za odnose h_f/d od 0,05 do 0,5 s korakom 0,05 i prikazane u tablicama 2., 3., 4. i 5.

Tablice za dimenzioniranje T-presjeka mogu se pronaći u literaturi [6, 7, 18], a u radu primijenjen je način prikaza tablica za dimenzioniranje T-presjeka prema [18], jer je takav način prikaza pregledniji.

Pri primjeni tablica za dimenzioniranje T-presjeka potrebno je izračunati bezdimenzijsku vrijednost proračunskog djelujućeg momenta savijanja μ_{Ed} prema izrazu (41), a nakon toga se za odgovarajući odnos b_{eff}/b_w odabire tablica 2., 3., 4. ili 5. U odabranoj tablici, i za odgovarajući odnos h_f/d , odabire se prva veća ili jednaka bezdimenzijska vrijednost proračunskog djelujućeg momenta savijanja μ_{Ed} i odgovarajući mehanički koeficijent armiranja vlačnom armaturom ω_1 i koeficijent visine tlačnog područja ξ . Pritom je potrebno provjeriti je li očitani koeficijent visine tlačnog područja ξ manji ili jednak graničnoj

vrijednosti koeficijenta visine tlačnog područja ξ_{lim} iz tablice 1. Ako je taj uvjet zadovoljen, potrebna ploština vlačne armature dobije se pomoću izraza (46):

$$A_{s1} = \frac{\omega_1 \cdot f_{cd} \cdot b_{eff} \cdot d}{f_{yd}} \quad (46)$$

Ako je očitani koeficijent visine tlačnog područja ξ veći od granične vrijednosti koeficijenta visine tlačnog područja ξ_{lim} , tada se ne mogu koristiti tablice za dimenzioniranje T-presjeka jer je dobiven slučaj dvostruko armiranog presjeka.

Tablica 2. Tablica za dimenzioniranje T-presjeka za $b_{eff}/b_w = 2$

μ_{Ed}	$h/d=0,05$		$h/d=0,10$		$h/d=0,15$		$h/d=0,20$		$h/d=0,25$		$h/d=0,30$		$h/d=0,35$		$h/d=0,40$		$h/d=0,45$		$h/d=0,50$	
	ω_1	ξ	ω_1	ξ	ω_1	ξ	ω_1	ξ	ω_1	ξ	ω_1	ξ	ω_1	ξ	ω_1	ξ	ω_1	ξ	ω_1	ξ
0,010	0,010	0,013	0,010	0,013	0,010	0,013	0,010	0,013	0,010	0,013	0,010	0,013	0,010	0,013	0,010	0,013	0,010	0,013	0,010	0,013
0,020	0,020	0,025	0,020	0,025	0,020	0,025	0,020	0,025	0,020	0,025	0,020	0,025	0,020	0,025	0,020	0,025	0,020	0,025	0,020	0,025
0,030	0,030	0,038	0,030	0,038	0,030	0,038	0,030	0,038	0,030	0,038	0,030	0,038	0,030	0,038	0,030	0,038	0,030	0,038	0,030	0,038
0,040	0,041	0,051	0,041	0,051	0,041	0,051	0,041	0,051	0,041	0,051	0,041	0,051	0,041	0,051	0,041	0,051	0,041	0,051	0,041	0,051
0,050	0,051	0,066	0,051	0,066	0,051	0,066	0,051	0,066	0,051	0,066	0,051	0,066	0,051	0,066	0,051	0,066	0,051	0,066	0,051	0,066
0,060	0,062	0,092	0,062	0,077	0,062	0,077	0,062	0,077	0,062	0,077	0,062	0,077	0,062	0,077	0,062	0,077	0,062	0,077	0,062	0,077
0,070	0,073	0,120	0,073	0,091	0,073	0,091	0,073	0,091	0,073	0,091	0,073	0,091	0,073	0,091	0,073	0,091	0,073	0,091	0,073	0,091
0,080	0,084	0,148	0,083	0,104	0,083	0,104	0,083	0,104	0,083	0,104	0,083	0,104	0,083	0,104	0,083	0,104	0,083	0,104	0,083	0,104
0,090	0,096	0,177	0,094	0,118	0,094	0,118	0,094	0,118	0,094	0,118	0,094	0,118	0,094	0,118	0,094	0,118	0,094	0,118	0,094	0,118
0,100	0,107	0,206	0,106	0,139	0,106	0,132	0,106	0,132	0,106	0,132	0,106	0,132	0,106	0,132	0,106	0,132	0,106	0,132	0,106	0,132
0,110	0,120	0,236	0,117	0,167	0,117	0,146	0,117	0,146	0,117	0,146	0,117	0,146	0,117	0,146	0,117	0,146	0,117	0,146	0,117	0,146
0,120	0,132	0,268	0,129	0,197	0,128	0,160	0,128	0,160	0,128	0,160	0,128	0,160	0,128	0,160	0,128	0,160	0,128	0,160	0,128	0,160
0,130	0,145	0,300	0,141	0,227	0,140	0,175	0,140	0,175	0,140	0,175	0,140	0,175	0,140	0,175	0,140	0,175	0,140	0,175	0,140	0,175
0,140	0,158	0,334	0,153	0,258	0,151	0,191	0,151	0,189	0,151	0,189	0,151	0,189	0,151	0,189	0,151	0,189	0,151	0,189	0,151	0,189
0,150	0,172	0,368	0,166	0,290	0,163	0,221	0,163	0,204	0,163	0,204	0,163	0,204	0,163	0,204	0,163	0,204	0,163	0,204	0,163	0,204
0,160	0,187	0,405	0,179	0,323	0,176	0,252	0,175	0,219	0,175	0,219	0,175	0,219	0,175	0,219	0,175	0,219	0,175	0,219	0,175	0,219
0,170	0,202	0,442	0,193	0,357	0,189	0,284	0,188	0,234	0,188	0,234	0,188	0,234	0,188	0,234	0,188	0,234	0,188	0,234	0,188	0,234
0,180	0,218	0,482	0,207	0,393	0,202	0,317	0,200	0,250	0,200	0,250	0,200	0,250	0,200	0,250	0,200	0,250	0,200	0,250	0,200	0,250
0,190	0,235	0,524	0,222	0,430	0,215	0,351	0,213	0,282	0,213	0,266	0,213	0,266	0,213	0,266	0,213	0,266	0,213	0,266	0,213	0,266
0,200	0,252	0,568	0,238	0,469	0,229	0,386	0,226	0,315	0,225	0,282	0,225	0,282	0,225	0,282	0,225	0,282	0,225	0,282	0,225	0,282
0,210	0,271	0,616	0,254	0,510	0,244	0,423	0,239	0,349	0,238	0,298	0,238	0,298	0,238	0,298	0,238	0,298	0,238	0,298	0,238	0,298
0,220			0,272	0,554	0,260	0,462	0,254	0,384	0,252	0,315	0,252	0,315	0,252	0,315	0,252	0,315	0,252	0,315	0,252	0,315
0,230			0,290	0,600	0,276	0,503	0,268	0,421	0,265	0,331	0,265	0,331	0,265	0,331	0,265	0,331	0,265	0,331	0,265	0,331
0,240					0,293	0,546	0,284	0,459	0,279	0,386	0,279	0,349	0,279	0,349	0,279	0,349	0,279	0,349	0,279	0,349
0,250					0,312	0,592	0,300	0,500	0,294	0,423	0,293	0,366	0,293	0,366	0,293	0,366	0,293	0,366	0,293	0,366
0,260							0,317	0,543	0,310	0,462	0,307	0,393	0,307	0,384	0,307	0,384	0,307	0,384	0,307	0,384
0,270							0,335	0,589	0,326	0,503	0,322	0,430	0,322	0,402	0,322	0,402	0,322	0,402	0,322	0,402
0,280									0,343	0,546	0,338	0,469	0,337	0,421	0,337	0,421	0,337	0,421	0,337	0,421
0,290									0,362	0,592	0,354	0,510	0,352	0,442	0,352	0,440	0,352	0,440	0,352	0,440
0,300											0,372	0,554	0,368	0,482	0,368	0,459	0,368	0,459	0,368	0,459
0,310											0,390	0,600	0,385	0,524	0,384	0,479	0,384	0,479	0,384	0,479
0,320													0,402	0,568	0,400	0,500	0,400	0,500	0,400	0,500
0,330													0,421	0,616	0,417	0,543	0,417	0,521	0,417	0,521
0,340															0,435	0,589	0,434	0,543	0,434	0,543
0,350																	0,452	0,568	0,452	0,565
0,360																	0,471	0,616	0,471	0,589

Tablica 3. Tablica za dimenzioniranje T-presjeka za $b_{eff}/b_w = 3$

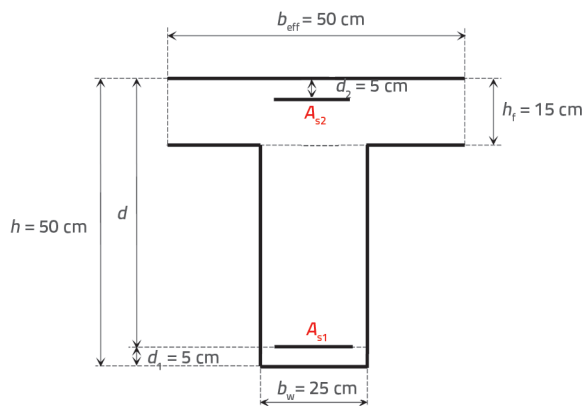
μ_{Ed}	$h/d=0,05$		$h/d=0,10$		$h/d=0,15$		$h/d=0,20$		$h/d=0,25$		$h/d=0,30$		$h/d=0,35$		$h/d=0,40$		$h/d=0,45$		$h/d=0,50$	
	ω_1	ξ	ω_1	ξ	ω_1	ξ	ω_1	ξ	ω_1	ξ	ω_1	ξ	ω_1	ξ	ω_1	ξ	ω_1	ξ	ω_1	ξ
0,010	0,010	0,013	0,010	0,013	0,010	0,013	0,010	0,013	0,010	0,013	0,010	0,013	0,010	0,013	0,010	0,013	0,010	0,013	0,010	0,013
0,020	0,020	0,025	0,020	0,025	0,020	0,025	0,020	0,025	0,020	0,025	0,020	0,025	0,020	0,025	0,020	0,025	0,020	0,025	0,020	0,025
0,030	0,030	0,038	0,030	0,038	0,030	0,038	0,030	0,038	0,030	0,038	0,030	0,038	0,030	0,038	0,030	0,038	0,030	0,038	0,030	0,038
0,040	0,041	0,051	0,041	0,051	0,041	0,051	0,041	0,051	0,041	0,051	0,041	0,051	0,041	0,051	0,041	0,051	0,041	0,051	0,041	0,051
0,050	0,051	0,067	0,051	0,064	0,051	0,064	0,051	0,064	0,051	0,064	0,051	0,064	0,051	0,064	0,051	0,064	0,051	0,064	0,051	0,064
0,060	0,062	0,108	0,062	0,077	0,062	0,077	0,062	0,077	0,062	0,077	0,062	0,077	0,062	0,077	0,062	0,077	0,062	0,077	0,062	0,077
0,070	0,073	0,150	0,073	0,091	0,073	0,091	0,073	0,091	0,073	0,091	0,073	0,091	0,073	0,091	0,073	0,091	0,073	0,091	0,073	0,091
0,080	0,085	0,193	0,083	0,104	0,083	0,104	0,083	0,104	0,083	0,104	0,083	0,104	0,083	0,104	0,083	0,104	0,083	0,104	0,083	0,104
0,090	0,097	0,238	0,094	0,118	0,094	0,118	0,094	0,118	0,094	0,118	0,094	0,118	0,094	0,118	0,094	0,118	0,094	0,118	0,094	0,118
0,100	0,110	0,286	0,106	0,146	0,106	0,132	0,106	0,132	0,106	0,132	0,106	0,132	0,106	0,132	0,106	0,132	0,106	0,132	0,106	0,132
0,110	0,123	0,336	0,117	0,189	0,117	0,146	0,117	0,146	0,117	0,146	0,117	0,146	0,117	0,146	0,117	0,146	0,117	0,146	0,117	0,146
0,120	0,137	0,388	0,129	0,234	0,128	0,160	0,128	0,160	0,128	0,160	0,128	0,160	0,128	0,160	0,128	0,160	0,128	0,160	0,128	0,160
0,130	0,152	0,445	0,142	0,282	0,140	0,175	0,140	0,175	0,140	0,175	0,140	0,175	0,140	0,175	0,140	0,175	0,140	0,175	0,140	0,175
0,140	0,168	0,505	0,155	0,331	0,151	0,193	0,151	0,189	0,151	0,189	0,151	0,189	0,151	0,189	0,151	0,189	0,151	0,189	0,151	0,189
0,150	0,186	0,571	0,169	0,384	0,164	0,238	0,163	0,204	0,163	0,204	0,163	0,204	0,163	0,204	0,163	0,204	0,163	0,204	0,163	0,204
0,160	0,205	0,644	0,184	0,440	0,176	0,286	0,175	0,219	0,175	0,219	0,175	0,219	0,175	0,219	0,175	0,219	0,175	0,219	0,175	0,219
0,200			0,500	0,190	0,336	0,188	0,234	0,188	0,234	0,188	0,234	0,188	0,234	0,188	0,234	0,188	0,234	0,188	0,234	
0,217			0,565	0,204	0,388	0,200	0,250	0,200	0,250	0,200	0,250	0,200	0,250	0,200	0,250	0,200	0,250	0,200	0,250	
0,237			0,638	0,219	0,445	0,213	0,298	0,213	0,266	0,213	0,266	0,213	0,266	0,213	0,266	0,213	0,266	0,213	0,266	
0,180					0,235	0,505	0,226	0,349	0,225	0,282	0,225	0,282	0,225	0,282	0,225	0,282	0,225	0,282	0,225	0,282
0,190					0,252	0,571	0,241	0,402	0,238	0,298	0,238	0,298	0,238	0,298	0,238	0,298	0,238	0,298	0,238	0,298
0,200					0,272	0,644	0,256	0,459	0,252	0,319	0,252	0,315	0,252	0,315	0,252	0,315	0,252	0,315	0,252	0,315
0,210							0,272	0,521	0,265	0,371	0,265	0,331	0,265	0,331	0,265	0,331	0,265	0,331	0,265	0,331
0,220							0,290	0,589	0,280	0,426	0,279	0,349	0,279	0,349	0,279	0,349	0,279	0,349	0,279	0,349
0,230									0,296	0,485	0,293	0,366	0,293	0,366	0,293	0,366	0,293	0,366	0,293	0,366
0,240																				
0,250																				
0,260									0,313	0,548	0,307	0,402	0,307	0,384	0,307	0,384	0,307	0,384	0,307	0,384
0,270									0,332	0,619	0,323	0,459	0,322	0,402	0,322	0,402	0,322	0,402	0,322	0,402
0,280											0,339	0,521	0,337	0,421	0,337	0,421	0,337	0,421	0,337	0,421
0,290											0,357	0,589	0,352	0,445	0,352	0,440	0,352	0,440	0,352	0,440
0,300													0,368	0,505	0,368	0,459	0,368	0,459	0,368	0,459
0,310													0,386	0,571	0,384	0,479	0,384	0,479	0,384	0,479
0,320													0,405	0,644	0,400	0,500	0,400	0,500	0,400	0,500
0,330															0,417	0,565	0,417	0,521	0,417	0,521
0,340															0,437	0,638	0,434	0,543	0,434	0,543
0,350																	0,452	0,571	0,452	0,565
0,360																	0,472	0,644	0,471	0,589

Tablica 4. Tablica za dimenzioniranje T-presjeka za $b_{\text{eff}}/b_w = 5$

μ_{Ed}	$h/d=0,05$		$h/d=0,10$		$h/d=0,15$		$h/d=0,20$		$h/d=0,25$		$h/d=0,30$		$h/d=0,35$		$h/d=0,40$		$h/d=0,45$		$h/d=0,50$	
	ω_1	ξ	ω_1	ξ	ω_1	ξ	ω_1	ξ	ω_1	ξ	ω_1	ξ	ω_1	ξ	ω_1	ξ	ω_1	ξ	ω_1	ξ
0,010	0,010	0,013	0,010	0,013	0,010	0,013	0,010	0,013	0,010	0,013	0,010	0,013	0,010	0,013	0,010	0,013	0,010	0,013	0,010	0,013
0,020	0,020	0,025	0,020	0,025	0,020	0,025	0,020	0,025	0,020	0,025	0,020	0,025	0,020	0,025	0,020	0,025	0,020	0,025	0,020	0,025
0,030	0,030	0,038	0,030	0,038	0,030	0,038	0,030	0,038	0,030	0,038	0,030	0,038	0,030	0,038	0,030	0,038	0,030	0,038	0,030	0,038
0,040	0,041	0,051	0,041	0,051	0,041	0,051	0,041	0,051	0,041	0,051	0,041	0,051	0,041	0,051	0,041	0,051	0,041	0,051	0,041	0,051
0,050	0,051	0,071	0,051	0,064	0,051	0,064	0,051	0,064	0,051	0,064	0,051	0,064	0,051	0,064	0,051	0,064	0,051	0,064	0,051	0,064
0,060	0,062	0,139	0,062	0,077	0,062	0,077	0,062	0,077	0,062	0,077	0,062	0,077	0,062	0,077	0,062	0,077	0,062	0,077	0,062	0,077
0,070	0,074	0,212	0,073	0,091	0,073	0,091	0,073	0,091	0,073	0,091	0,073	0,091	0,073	0,091	0,073	0,091	0,073	0,091	0,073	0,091
0,080	0,086	0,290	0,083	0,104	0,083	0,104	0,083	0,104	0,083	0,104	0,083	0,104	0,083	0,104	0,083	0,104	0,083	0,104	0,083	0,104
0,090	0,100	0,375	0,094	0,118	0,094	0,118	0,094	0,118	0,094	0,118	0,094	0,118	0,094	0,118	0,094	0,118	0,094	0,118	0,094	0,118
0,100	0,115	0,469	0,106	0,160	0,106	0,132	0,106	0,132	0,106	0,132	0,106	0,132	0,106	0,132	0,106	0,132	0,106	0,132	0,106	0,132
0,110	0,132	0,577	0,118	0,234	0,117	0,146	0,117	0,146	0,117	0,146	0,117	0,146	0,117	0,146	0,117	0,146	0,117	0,146	0,117	0,146
0,120	0,153	0,705	0,130	0,315	0,128	0,160	0,128	0,160	0,128	0,160	0,128	0,160	0,128	0,160	0,128	0,160	0,128	0,160	0,128	0,160
0,130			0,144	0,402	0,140	0,175	0,140	0,175	0,140	0,175	0,140	0,175	0,140	0,175	0,140	0,175	0,140	0,175	0,140	0,175
0,140			0,160	0,500	0,151	0,197	0,151	0,189	0,151	0,189	0,151	0,189	0,151	0,189	0,151	0,189	0,151	0,189	0,151	0,189
0,150			0,178	0,613	0,164	0,204	0,163	0,204	0,163	0,204	0,163	0,204	0,163	0,204	0,163	0,204	0,163	0,204	0,163	0,204
0,160					0,177	0,357	0,175	0,219	0,175	0,219	0,175	0,219	0,175	0,219	0,175	0,219	0,175	0,219	0,175	0,219
0,170					0,192	0,450	0,188	0,234	0,188	0,234	0,188	0,234	0,188	0,234	0,188	0,234	0,188	0,234	0,188	0,234
0,180					0,209	0,554	0,200	0,250	0,200	0,250	0,200	0,250	0,200	0,250	0,200	0,250	0,200	0,250	0,200	0,250
0,190					0,228	0,677	0,213	0,331	0,213	0,266	0,213	0,266	0,213	0,266	0,213	0,266	0,213	0,266	0,213	0,266
0,200							0,227	0,421	0,225	0,282	0,225	0,282	0,225	0,282	0,225	0,282	0,225	0,282	0,225	0,282
0,210							0,243	0,521	0,238	0,298	0,238	0,298	0,238	0,298	0,238	0,298	0,238	0,298	0,238	0,298
0,220							0,262	0,638	0,252	0,323	0,252	0,315	0,252	0,315	0,252	0,315	0,252	0,315	0,252	0,315
0,230									0,266	0,411	0,265	0,331	0,265	0,331	0,265	0,331	0,265	0,331	0,265	0,331
0,240									0,282	0,510	0,279	0,349	0,279	0,349	0,279	0,349	0,279	0,349	0,279	0,349
0,250									0,300	0,625	0,293	0,366	0,293	0,366	0,293	0,366	0,293	0,366	0,293	0,366
0,260											0,307	0,421	0,307	0,384	0,307	0,384	0,307	0,384	0,307	0,384
0,270											0,323	0,521	0,322	0,402	0,322	0,402	0,322	0,402	0,322	0,402
0,280											0,337	0,421	0,337	0,421	0,337	0,421	0,337	0,421	0,337	0,421
0,290											0,352	0,450	0,352	0,440	0,352	0,440	0,352	0,440	0,352	0,440
0,300											0,369	0,554	0,368	0,459	0,368	0,459	0,368	0,459	0,368	0,459
0,310													0,388	0,677	0,384	0,479	0,384	0,479	0,384	0,479
0,320															0,400	0,500	0,400	0,500	0,400	0,500
0,330															0,418	0,613	0,417	0,521	0,417	0,521
0,340																	0,434	0,543	0,434	0,543
0,350																	0,452	0,577	0,452	0,565
0,360																	0,473	0,705	0,471	0,589

Tablica 5. Tablica za dimenzioniranje T-presjeka za $b_{\text{eff}}/b_w = 10$

μ_{Ed}	$h/d=0,05$		$h/d=0,10$		$h/d=0,15$		$h/d=0,20$		$h/d=0,25$		$h/d=0,30$		$h/d=0,35$		$h/d=0,40$		$h/d=0,45$		$h/d=0,50$	
	ω_1	ξ	ω_1	ξ	ω_1	ξ	ω_1	ξ	ω_1	ξ	ω_1	ξ	ω_1	ξ	ω_1	ξ	ω_1	ξ	ω_1	ξ
0,010	0,010	0,013	0,010	0,013	0,010	0,013	0,010	0,013	0,010	0,013	0,010	0,013	0,010	0,013	0,010	0,013	0,010	0,013	0,010	0,013
0,020	0,020	0,025	0,020	0,025	0,020	0,025	0,020	0,025	0,020	0,025	0,020	0,025	0,020	0,025	0,020	0,025	0,020	0,025	0,020	0,025
0,030	0,030	0,038	0,030	0,038	0,030	0,038	0,030	0,038	0,030	0,038	0,030	0,038	0,030	0,038	0,030	0,038	0,030	0,038	0,030	0,038
0,040	0,041	0,051	0,041	0,051	0,041	0,051	0,041	0,051	0,041	0,051	0,041	0,051	0,041	0,051	0,041	0,051	0,041	0,051	0,041	0,051
0,050	0,051	0,071	0,051	0,064	0,051	0,064	0,051	0,064	0,051	0,064	0,051	0,064	0,051	0,064	0,051	0,064	0,051	0,064	0,051	0,064
0,060	0,063	0,221	0,062	0,077	0,062	0,077	0,062	0,077	0,062	0,077	0,062	0,077	0,062	0,077	0,062	0,077	0,062	0,077	0,062	0,077
0,070	0,076	0,386	0,073	0,091	0,073	0,091	0,073	0,091	0,073	0,091	0,073	0,091	0,073	0,091	0,073	0,091	0,073	0,091	0,073	0,091
0,080	0,092	0,592	0,083	0,104	0,083	0,104	0,083	0,104	0,083	0,104	0,083	0,104	0,083	0,104	0,083	0,104	0,083	0,104	0,083	0,104
0,090			0,094	0,118	0,094	0,118	0,094	0,118	0,094	0,118	0,094	0,118	0,094	0,118	0,094	0,118	0,094	0,118	0,094	0,118
0,100			0,106	0,197	0,106	0,132	0,106	0,132	0,106	0,132	0,106	0,132	0,106	0,132	0,106	0,132	0,106	0,132	0,106	0,132
0,110			0,119	0,357	0,117	0,146	0,117	0,146	0,117	0,146	0,117	0,146	0,117	0,146	0,117	0,146	0,117	0,146	0,117	0,146
0,120			0,134	0,554	0,128	0,160	0,128	0,160	0,128	0,160	0,128	0,160	0,128	0,160	0,128	0,160	0,128	0,160	0,128	0,160
0,130			0,157	0,835	0,140	0,175	0,140	0,175	0,140	0,175	0,140	0,175	0,140	0,175	0,140	0,175	0,140	0,175	0,140	0,175
0,140					0,151	0,206	0,151	0,189	0,151	0,189	0,151	0,189	0,151	0,189	0,151	0,189	0,151	0,189	0,151	0,189
0,150					0,164	0,368	0,163	0,204	0,163	0,204	0,163	0,204	0,163	0,204	0,163	0,204	0,163	0,204	0,163	0,204
0,160					0,180	0,568	0,175	0,219	0,175	0,219	0,175	0,219	0,175	0,219	0,175	0,219	0,175	0,219	0,175	0,219
0,170					0,204	0,860	0,188	0,234	0,188	0,234	0,188	0,234	0,188	0,234	0,188	0,234	0,188	0,234	0,188	0,234
0,180							0,200	0,250	0,200	0,250	0,200	0,250	0,200	0,250	0,200	0,250	0,200	0,250	0,200	0,250
0,190							0,214	0,421	0,213	0,266	0,213	0,266	0,213	0,266	0,213	0,266	0,213	0,266	0,213	0,266
0,200							0,231	0,638	0,225	0,282	0,225	0,282	0,225	0,282	0,225	0,282	0,225	0,282	0,225	0,282
0,210									0,238	0,298	0,238	0,298	0,238	0,298	0,238	0,298	0,238	0,298	0,238	0,298
0,220									0,252	0,334	0,252	0,315	0,252	0,315	0,252	0,315	0,252	0,315	0,252	0,315



Slika 7. T-presjek

Koeficijent η_{cc} (2):

$$\eta_{cc} = \left(\frac{f_{ck,ref}}{f_{ck}} \right)^{\frac{1}{3}} \leq 1,0$$

$$\eta_{cc} = \left(\frac{40}{30} \right)^{\frac{1}{3}} = 1,01 \leq 1,0$$

$$\eta_{tc} = 1,0$$

Koeficijent k_{tc} za starost betona u trenutku određivanja tlačne čvrstoće betona $t_{ref} = 28$ dana i razred cementa CN (normalno vezujući):

$$k_{tc} = 1,0$$

Proračunska tlačna čvrstoća betona (1):

$$f_{cd} = \eta_{cc} \cdot k_{tc} \cdot \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = 1,0 \cdot 1,0 \cdot \frac{30}{1,5} = 20 \text{ MPa}$$

Proračunska granica popuštanja armature (3):

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ MPa}$$

Deformacija armature u trenutku dostizanja proračunske granice popuštanja (slika 2.):

$$\varepsilon_{yd} = \frac{f_{yd}}{E_s} = \frac{434,78}{200000} = 2,17 \text{ ‰}$$

Statička visina (slika 7.):

$$d = h - d_s = 50 - 5 = 45 \text{ cm}$$

Najveći moment nosivosti presjeka $M_{Rd,f}$ koji presjek može nositi u slučaju kada je visina $0,8 \cdot x$ jednaka visini pojasnice h_f (19):

$$M_{Rd,f} = (b_{eff} \cdot h_f \cdot f_{cd}) \cdot \left(d - \frac{h_f}{2} \right) = (0,5 \cdot 0,15 \cdot 20000) \cdot \left(0,45 - \frac{0,15}{2} \right) = 562,5 \text{ kNm}$$

Granična vrijednost za jednostruko armiranje za B500 očitava se iz tablice 1.:

$$\xi_{lim} = \frac{x_{lim}}{d} = 0,530$$

$$x_{lim} = \xi_{lim} \cdot d = 0,530 \cdot 45 = 23,85 \text{ cm}$$

Granični moment savijanja za jednostruko armirani T-presjek koji presjek može nositi u slučaju kada je visina neutralne osi x_{lim} jednaka graničnoj vrijednosti visine neutralne osi x_{lim} (27):

$$M_{Rd,lim} = [(b_{eff} - b_w) h_f \cdot f_{cd}] \cdot \left(d - \frac{h_f}{2} \right) + [b_w \cdot 0,8 \cdot x_{lim} \cdot f_{cd}] \cdot (d - 0,4 \cdot x_{lim}) = [(0,5 - 0,25) 0,15 \cdot 20000] \cdot \left(0,45 - \frac{0,15}{2} \right) + [0,25 \cdot 0,8 \cdot 0,2385 \cdot 20000] \cdot (0,45 - 0,4 \cdot 0,2385) = 619,54 \text{ kNm}$$

Budući da je $M_{Ed} = 100 \text{ kNm} < M_{Rd,f} = 562,5 \text{ kNm}$, radi se o slučaju kada je $0,8 \cdot x \leq h_f$ i trebaju se primjenjivati izrazi izvedeni u poglavlju 3.3. Radi se o jednostruko armiranome presjeku jer je $M_{Ed} = 100 \text{ kNm} < M_{Rd,lim} = 619,54 \text{ kNm}$.

Visina neutralne osi (13):

$$x = 1,25 \cdot d \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot M_{Ed}}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}}} \right] = 1,25 \cdot 45 \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot 100000}{50 \cdot 45^2 \cdot 2}} \right] = 2,85 \text{ cm}$$

Deformacija vlačne armature (15):

$$\varepsilon_{s1} = \frac{[-3,5\text{‰}](d - x)}{x} = \frac{[-3,5\text{‰}](45 - 2,85)}{2,85} = 51,76 \text{ ‰}$$

Budući da je deformacija vlačne armature $\varepsilon_{s1} = 51,76 \text{ ‰} > \varepsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$, u vlačnoj armaturi došlo je do popuštanja, a proračunsko naprezanje u vlačnoj armaturi je $\sigma_{s1d} = f_{yd}$. Potrebna ploština vlačne armature (18):

$$A_{s1} = \frac{b_{eff} \cdot 0,8 \cdot x \cdot f_{cd}}{f_{yd}} = \frac{50 \cdot 0,8 \cdot 2,85 \cdot 2}{43,478} = 5,24 \text{ cm}^2$$

4.2. Primjer 2.

Potrebno je dimenzionirati T-presjek opterećen proračunskim djelujućim momentom savijanja $M_{Ed} = 600 \text{ kNm}$ (slika 7.). Sve ostale veličine iste su kao i u primjeru 1.

Budući da je $M_{Ed} = 600 \text{ kNm} > M_{Rd,f} = 562,5 \text{ kNm}$, radi se o slučaju kada je $h_f < 0,8 \cdot x < 0,8 \cdot x_{lim}$ i trebaju se primjenjivati izrazi izvedeni u poglavlju 3.4. Radi se o jednostruko armiranome presjeku jer je $M_{Ed} = 600 \text{ kNm} < M_{Rd,lim} = 619,54 \text{ kNm}$. Visina neutralne osi (25):

$$x = 1,25 \cdot d \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot \frac{b_{eff}}{b_w} \left[M_{Ed} - (b_{eff} - b_w) h_f \cdot f_{cd} \cdot \left(d - \frac{h_f}{2} \right) \right]}{b_{eff} \cdot d^2 \cdot f_{cd}}} \right] =$$

$$= 1,25 \cdot 45 \left[1 - \sqrt{1 - \frac{2 \cdot \frac{50}{25} \left[60000 - (50 - 25) 15 \cdot 2 \cdot \left(45 - \frac{15}{2} \right) \right]}{50 \cdot 45^2 \cdot 2}} \right] = 22,02 \text{ cm}$$

Deformacija vlačne armature (15):

$$\varepsilon_{s1} = \frac{|-3,5\%|(d-x)}{x} = \frac{|-3,5\%|(45-22,02)}{22,02} = 3,65 \text{ ‰}$$

Budući da je deformacija vlačne armature $\varepsilon_{s1} = 3,65 \text{ ‰} > \varepsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$, u vlačnoj armaturi došlo je do popuštanja, a proračunsko naprezanje u vlačnoj armaturi je $\sigma_{s1d} = f_{yd}$. Potrebna ploština vlačne armature (26):

$$A_{s1} = \frac{f_{cd} [(b_{eff} - b_w) \cdot h_f + b_w \cdot 0,8 \cdot x]}{f_{yd}} =$$

$$= \frac{2 [(50 - 25) \cdot 15 + 25 \cdot 0,8 \cdot 22,02]}{43,478} = 37,51 \text{ cm}^2$$

4.3. Primjer 3.

Potrebno je dimenzionirati T-presjek opterećen proračunskim djelujućim momentom savijanja $M_{Ed} = 700 \text{ kNm}$ (slika 7.). Sve ostale veličine iste su kao i u primjeru 1.

Budući da je zadovoljen uvjet (28) $M_{Ed} = 700 \text{ kNm} > M_{Rd,lim} = 619,54 \text{ kNm}$, radi se o dvostruko armiranome presjeku i trebaju se koristiti izrazi izvedeni u poglavlju 3.5. ($x = x_{lim}$). Deformacija tlačne armature (31) dobivena kao apsolutna vrijednost:

$$|\varepsilon_{s2}| = \frac{|\varepsilon_{c,ed2}|(x_{lim} - d_2)}{x_{lim}} = \frac{|-3,5\%|(23,85 - 5)}{23,85} = 2,77 \text{ ‰}$$

Proračunsko naprezanje u tlačnoj armaturi (32) dobiveno kao apsolutna vrijednost:

$$\sigma_{s2d} = \frac{|\varepsilon_{s2}| \cdot E_s}{1000} \leq f_{yd}$$

$$\sigma_{s2d} = \frac{|2,77\%| \cdot 200000}{1000} \leq 434,78 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{s2d} = 554 \text{ MPa} \leq 434,78 \text{ MPa}$$

$$\sigma_{s2d} = 434,78 \text{ MPa}$$

Potrebna ploština tlačne armature (36):

$$A_{s2} = \frac{M_{Ed} - M_{Rd,lim}}{\sigma_{s2d}(d - d_2)} = \frac{70000 - 61954}{43,478(45 - 5)} = 4,63 \text{ cm}^2$$

Deformacije vlačne armature (15), uz uvjet $x = x_{lim}$:

$$\varepsilon_{s1} = \frac{|-3,5\%|(d-x)}{x} = \frac{|-3,5\%|(45-23,85)}{23,85} = 3,10 \text{ ‰}$$

Budući da je deformacija vlačne armature $\varepsilon_{s1} = 3,10 \text{ ‰} > \varepsilon_{yd} = 2,17 \text{ ‰}$, u vlačnoj armaturi došlo je do popuštanja, a proračunsko naprezanje u vlačnoj armaturi je $\sigma_{s1d} = f_{yd}$. Potrebna ploština vlačne armature (38):

$$A_{s1} = \frac{f_{cd} [(b_{eff} - b_w) \cdot h_f + b_w \cdot 0,8 \cdot x_{lim}] + \sigma_{s2d} \cdot A_{s2}}{f_{yd}} =$$

$$= \frac{2 [(50 - 25) \cdot 15 + 25 \cdot 0,8 \cdot 23,85] + 43,478 \cdot 4,63}{43,478} = 43,82 \text{ cm}^2$$

4.4. Usporedba rezultata

U ovome poglavlju uspoređeni su rezultati dobiveni u primjerima 1. i 2. računalnim programom *Gala* [17], koji služi za dimenzioniranje armiranobetonskih presjeka. Primjer 3. nije provjeravan računalnim programom *Gala* jer se u njemu ne može zadati dvostruko armirani presjek. U tablici 6. prikazani su najvažniji rezultati dobiveni u primjerima 1. i 2., i to dobiveni primjenom analitičkih izraza, računalnog programa *Gala* uz primjenu pravokutne raspodjele naprezanja i računalnog programom *Gala* uz primjenu dijagrama naprezanje – deformacija betona u obliku parabole i pravca. Za čelik za armiranje uvijek je korišten bilinearni dijagram naprezanje – deformacije s horizontalnom gornjom granom bez ograničenja deformacije armature.

Vidljivo je da su rezultati dobiveni u primjerima 1. i 2. (pravokutna raspodjela naprezanja) istovjetni rezultatima dobivenima programom *Gala* (pravokutna raspodjela naprezanja) jer je primijenjena ista pravokutna raspodjela naprezanja. Ta provjera dokazala je točnost izvedenih izraza.

Kada se usporede rezultati dobiveni u primjerima 1. i 2. (pravokutna raspodjela naprezanja) s rezultatima dobivenima programom *Gala* (dijagram naprezanje – deformacija betona u obliku parabole i pravca), tada je vidljivo da se programom *Gala* dobivaju nešto veće ploštine vlačne armature, ali ta razlika manja je od 1 % i posljedica je primjene različitih dijagrama naprezanje – deformacija betona.

Tablica 6. Usporedba rezultata

Veličina	Primjer 1			Primjer 2		
	Analitički izrazi	Gala (pravokutni)	Gala (parabola i pravac)	Analitički izrazi	Gala (pravokutni)	Gala (parabola i pravac)
ϵ_{ced2} [‰]	-3,5	-3,5	-3,5	-3,5	-3,5	-3,5
x [cm]	2,85	2,85	2,82	22,02	22,02	22,42
ϵ_{s1} [‰]	51,76	51,763	52,383	3,65	3,653	3,525
A_{s1} [cm ²]	5,24	5,24	5,25	37,51	37,51	37,76

5. Zaključak

T-presjek je uz pravokutni presjek najčešći poprečni presjek kod armiranobetonskih konstrukcija. Zbog korištenja dijagrama naprezanje – deformacija betona u obliku parabole i pravca do sada smo bili prisiljeni koristiti približna rješenja pri dimenzioniranju T-presjeka.

Danas se za dimenzioniranje armiranobetonskih presjeka na moment savijanja većinom primjenjuju razni računalni programi, koji iterativnim postupkom dolaze do rješenja problema, a to je potrebna ploština vlačne armature i eventualno tlačne armature. Bez obzira na postojanje računalnih programa za dimenzioniranje armiranobetonskih presjeka, poželjno je provesti kontrolu dobivenih rezultata na jednostavan način, primjenom gotovih analitičkih izraza ili tablica.

U radu dani su relativno jednostavni i točni analitički izrazi za dimenzioniranje T-presjeka, koji su dobiveni primjenom direktnog analitičkog postupka, a rezultiraju rješavanjem kvadratne jednadžbe, u kojoj je nepoznanica visina neutralne osi x . Kada je poznata visina neutralne osi x , tada se dobije potrebna ploština vlačne i eventualno tlačne armature. Da bi se dobili relativno jednostavni izrazi, potrebno je za

beton koristiti pravokutnu raspodjelu naprezanja, a za čelik za armiranje bilinearni proračunski dijagram naprezanje – deformacija s horizontalnom gornjom granom bez ograničenja deformacije.

Na temelju analitičkih izraza u programu *Mathcad* izrađen je program za dimenzioniranje T-presjeka koji omogućuje jednostavno dimenzioniranje T-presjeka u inženjerskoj praksi. Točnost dobivenih rezultata provjerena je računalnim programom *Gala*, koji služi za dimenzioniranje armiranobetonskih presjeka općeg oblika. Osim toga dobiveni analitički izrazi mogu poslužiti za izradu pomagala za dimenzioniranje T-presjeka korištenjem, naprimjer, programa *Excel* ili sličnoga tabličnog kalkulatora i na taj se način postupak dimenzioniranja može automatizirati.

Tablice za dimenzioniranje armiranobetonskih T-presjeka mogu pronaći primjenu u inženjerskoj praksi za jednostavno i brzo približno dimenzioniranje armiranobetonskih T-presjeka.

Iako je još uvijek važeća norma HRN EN 1992-1-1:2013, u radu se primjenjuje norma HRN EN 1992-1-1:2023 kako bi se stručna javnost počela privikavati na promjene koje dolaze s novom normom. Ovaj rad doprinos je jednostavnom, brzom i točnom rješavanju problema dimenzioniranja armiranobetonskih T-presjeka.

LITERATURA

- [1] HRN EN 1992-1-1:2013 - Eurokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcija - 1-1. dio: Opća pravila i pravila za zgrade (EN 1992-1-1:2004+AC:2010), Hrvatski zavod za norme, 2013.
- [2] HRN EN 1992-1-1:2023: Eurokod 2: Projektiranje betonskih konstrukcija - Dio 1-1: Opća pravila i pravila za zgrade, mostove i građevinske konstrukcije (EN 1992-1-1:2023), Hrvatski zavod za norme, 2023.
- [3] Tomić, I.: Betonske konstrukcije, Treće izmijenjeno i dopunjeno izdanje, DHGK, 1996.
- [4] Sorić, Z., Kišiček, T.: Betonske konstrukcije 1, Drugo izdanje, Građevinski fakultet Zagreb, 2014.
- [5] Harapin, A., Radnić, J., Grgić, N., Smilović Zulim, M., Sunara, M., Buzov, A., Banović, I.: Osnove betonskih konstrukcija usklađeno s HRN EN 1992-1-1:2013/A1:2015, Fakultet građevinarstva arhitekture i geodezije Split, 2023.
- [6] Hadrović, A., Hasanović, V.: Betonske konstrukcije prvi dio, Građevinski fakultet Univerziteta "Džemal Bijedić" Mostar, 2016.
- [7] Zilch, K., Zehetmaier, G.: Bemessung im konstruktiven Betonbau Nach DIN 1045-1 (Fassung 2008) und EN 1992-1-1 (Eurocode 2), Berlin Heidelberg: Springer, 2010.
- [8] Mosley, B., Bungey, J., Hulse, R.: Reinforced Concrete Design to Eurocode 2, Sixth Edition, Palgrave Macmillan, 2007.
- [9] Bhatt, P., MacGinley, T.J., Choo, B.S.: Reinforced Concrete Design to Eurocodes Design Theory and Examples, Fourth edition, CRC Press, 2014.
- [10] Skrinar, M.: Direct Analytical Solutions for Uniaxial Bending Design of Reinforced Concrete T Cross Sections according to the Eurocode 2 Standard, Journal of the Mechanical Behavior of Materials, 64 (2009) 4, pp. 259-267.

- [11] Skrinar, M.: Flexural analysis of reinforced concrete T cross sections according to EC2 standard for strains ϵ_{c2} smaller than 2.0 ‰, *Proceedings in Applied Mathematics and Mechanics*, 1 (2002) 1, pp. 175-176.
- [12] Hulse, R., Mosley, W.H.: *Reinforced Concrete Design by Computer*, Macmillan Education, 1986.
- [13] Mosley, W.H., Spencer, W.J.: *Microcomputer Applications in Structural Engineering*, Macmillan, 1984.
- [14] BS 8110: *The structural use of concrete*, British Standards Institution, 1985.
- [15] Smolčić, Ž., Grandić, D., Šćulac, P.: Dimenzioniranje armiranobetonskih pravokutnih presjeka prema drugoj generaciji Eurokoda, *Građevinar*, 75 (2023) 12, pp. 1203-1216, <https://doi.org/10.14256/JCE.3855.2023>
- [16] Mathcad 15.0 M010: *User's Guide*, 2011.
- [17] Alashki, I.: *Računalni program Gala Reinforcement 4.1e*, Alashki.e.c Group, Sofija, Bugarska, 2010.
- [18] Barros, H., Figueiras, J., Ferreira, C., Pimentel, M.: *Design of Reinforced Concrete Sections under Bending and Axial Forces Tables and Charts According to EUROCODE 2*, Springer, 2022.