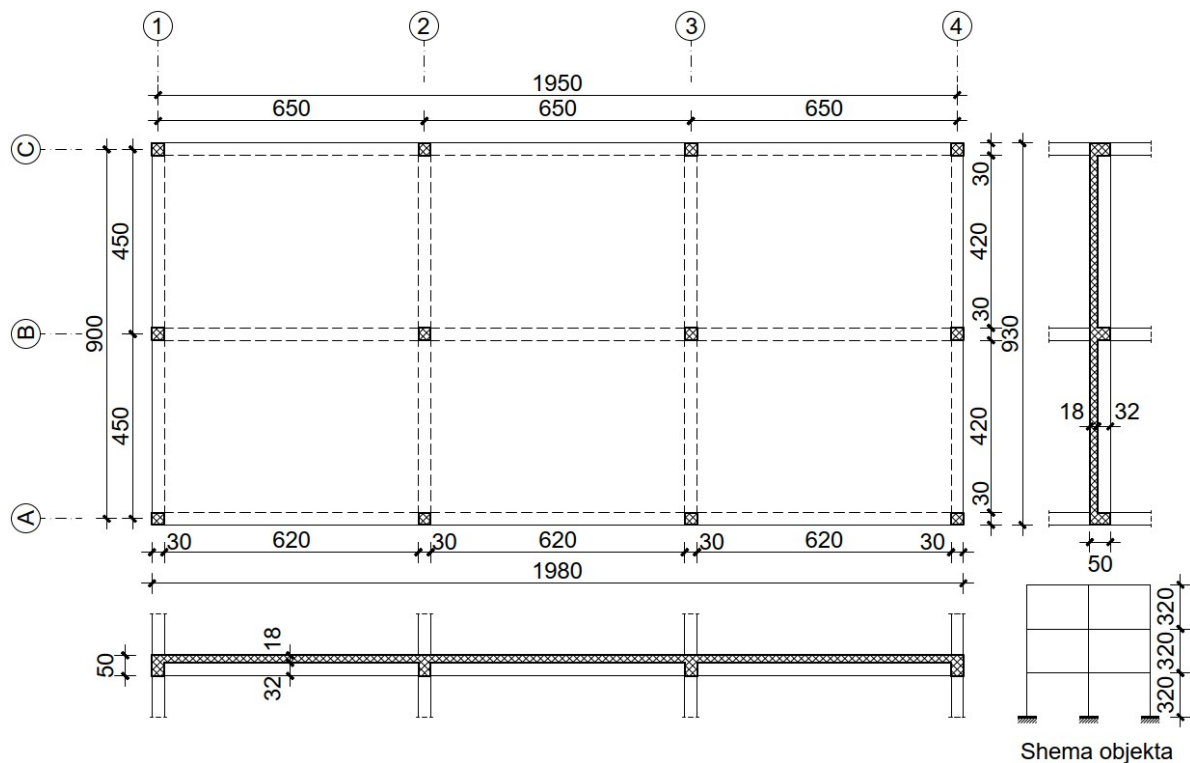


Betonske i zidane konstrukcije I – Primjer za 2. kolokvij



Opterećenja: Dodatno stalno opterećenje: $\Delta g = 2,5 \text{ kN/m}^2$; Korisno opterećenje: $q = 2,0 \text{ kN/m}^2$

Materijali: Beton: C25/30; Armatura: B500B

1. Potrebno je proračunati uzdužnu i poprečnu armaturu stupa prizemlja u osima B-1 i to samo na vrhu stupa. Također je potrebno skicirati uzdužni i jedan poprečni presek stupa sa svom odabranom armaturom (obavezno prikazati stup od dna do vrha jedne cijele etaže! Obavezno je na presjeku označiti osi!). Momenti savijanja oko osi 1 iznose: $M_g = 50 \text{ kNm}$, $M_q = 20 \text{ kNm}$.

2. Treba odrediti nosivost nearmiranog zida na vertikalnu i na poprečnu silu. Zidni elementi su opečni skupine 2, normalizirana tlačna čvrstoća zidnog elementa je $f_b = 10 \text{ MPa}$, a razred morta je M5. Horizontalne i vertikalne sljubnice su potpuno ispunjene mortom. Razred kontrole zidanja je 1-A. Zapreminska težina ziđa je 8 kN/m^3 . Zid je visine $h_w = 302 \text{ cm}$, duljine $L_w = 420 \text{ cm}$ i debljine $t_w = 30 \text{ cm}$. Ukrućen je s tri strane. Tlačna uzdužna sila na vrhu zida je $N_g = 308,99$ i $N_q = 70,94 \text{ kN}$. Može se pretpostaviti da vertikalno opterećenje djeluje u odnosu na ravninu zida s ekscentricitetom $e_0 = t_w / 10$. Poprečna sila iznosi $V_{Ed} = 41,58 \text{ kN}$, a moment savijanja na dnu je $M_{Ed} = 239,52 \text{ kNm}$. Treba zaključiti je li nosivost zida dostatna i ako nije što treba učiniti.

1. Proračun stupa

Karakteristike materijala

Proračunska tlačna čvrstoća betona iznosi:

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_C} = \frac{25}{1,5} = 16,67 \text{ N/mm}^2 = 1,67 \text{ kN/cm}^2$$

Proračunska granica popuštanja armature iznosi:

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_S} = \frac{500}{1,15} = 434,78 \text{ N/mm}^2 = 43,5 \text{ kN/cm}^2$$

Opterećenje na ploču

Vlastita težina ploče debljine 18 cm

$$g_{vt,pl} = 0,18 \cdot 25 = 4,5 \text{ kN/m}^2$$

Dodatno stalno opterećenje

$$\Delta g = 2,5 \text{ kN/m}^2$$

Ukupno stalno

$$g_{pl} = 4,5 + 2,5 = 7,0 \text{ kN/m}^2$$

Uporabno

$$q_{pl} = 2,0 \text{ kN/m}^2$$

Ploča se oslanja na grede u oba smjera, a omjer stranica je $6,5 \text{ m} / 4,5 \text{ m} = 1,44$ pa ploča nosi u dva smjera.

Opterećenje na gredu u osi 1

Stalno opterećenje koje se prenosi s ploče na gredu u osi 1 iznosi:

$$g_{gr} = \frac{5}{16} \cdot g_{pl} \cdot L_{krace} = \frac{5}{16} \cdot 7,0 \cdot 4,5 = 9,84 \text{ kN/m'}$$

Vlastita težina hrpta grede u osi 1 iznosi:

$$g_{vt,gr} = (h_{gr} - h_{pl}) \cdot b_w \cdot 25 = 0,32 \cdot 0,3 \cdot 25 = 2,4 \text{ kN/m'}$$

Ukupno stalno opterećenje na gredu u osi 1 iznosi:

$$g_{gr,1} = g_{vt,gr} + g_{gr} = 2,4 + 9,84 = 12,24 \text{ kN/m'}$$

Uporabno opterećenje na gredu u osi 1 iznosi:

$$q_{gr,1} = \frac{5}{16} \cdot q_{pl} \cdot L_{krace} = \frac{5}{16} \cdot 2,0 \cdot 4,5 = 2,81 \text{ kN/m'}$$

Opterećenje na gredu u osi B

Pomoćni koeficijent iznosi:

$$\alpha = \frac{L_{krace}}{2 \cdot L_{dulje}} = \frac{450}{2 \cdot 650} = 0,346$$

Stalno opterećenje koje se prenosi s ploče na gredu u osi B iznosi:

$$g_{gr} = 2 \cdot 0,5 \cdot (1 - 2 \cdot \alpha^2 + \alpha^3) \cdot g_{pl} \cdot L_{krace} = 2 \cdot 0,5 \cdot (1 - 2 \cdot 0,346^2 + 0,346^3) \cdot 7,0 \cdot 4,5 = 25,26 \text{ kN/m'}$$

Vlastita težina hrpta grede u osi B iznosi:

$$g_{vt,gr} = (h_{gr} - h_{pl}) \cdot b_w \cdot 25 = 0,32 \cdot 0,3 \cdot 25 = 2,4 \text{ kN/m'}$$

Ukupno stalno opterećenje na gredu u osi B iznosi:

$$g_{gr,B} = g_{vt,gr} + g_{gr} = 2,4 + 25,26 = 27,66 \text{ kN/m'}$$

Uporabno opterećenje koje se prenosi s ploče na gredu u osi B iznosi:

$$q_{gr,B} = 2 \cdot 0,5 \cdot (1 - 2 \cdot \alpha^2 + \alpha^3) \cdot q_{pl} \cdot L_{krace} = 2 \cdot 0,5 \cdot (1 - 2 \cdot 0,346^2 + 0,346^3) \cdot 2,0 \cdot 4,5 = 7,22 \text{ kN/m'}$$

Vertikalno opterećenje na stup

Stalno opterećenje koje se prenosi s jedne grede u osi 1 na stup:

$$G_{os1} = R_B = 1,25 \cdot g_{gr,1} \cdot L = 1,25 \cdot 12,24 \cdot 4,5 = 68,85 \text{ kN}$$

Uporabno opterećenje koje se prenosi s jedne grede u osi 1 na stup:

$$Q_{os1} = R_B = 1,25 \cdot q_{gr,1} \cdot L = 1,25 \cdot 2,81 \cdot 4,5 = 15,81 \text{ kN}$$

Stalno opterećenje koje se prenosi s jedne grede u osi B na stup:

$$G_{osB} = R_A = 0,4 \cdot g_{gr,B} \cdot L = 0,4 \cdot 27,66 \cdot 6,5 = 71,92 \text{ kN}$$

Uporabno opterećenje koje se prenosi s jedne grede u osi B na stup:

$$Q_{osB} = R_A = 0,45 \cdot q_{gr,B} \cdot L = 0,45 \cdot 7,22 \cdot 6,5 = 21,12 \text{ kN}$$

Stalno opterećenje koje se na jednoj etaži unosi u stup B-1 iznosi:

$$G_{B-1} = G_{os1} + G_{osB} = 68,85 + 71,92 = 140,77 \text{ kN}$$

Uporabno opterećenje koje se na jednoj etaži unosi u stup B-1 iznosi:

$$Q_{B-1} = Q_{os1} + Q_{osB} = 15,81 + 21,12 = 36,93 \text{ kN}$$

Vlastita težina stupa iznosi:

$$G_{vt,st} = (h_{et} - h_{gr}) \cdot b \cdot h \cdot 25 = (3,2 - 0,5) \cdot 0,3 \cdot 0,3 \cdot 25 = 6,08 \text{ kN}$$

Na vrh je stup u prizemlju opterećen s tri ploče i dva stupa iznad. Proračunska vrijednost uzdužne tlačne sile iznosi:

$$N_{Ed} = 3 \cdot (1,35 \cdot G_{B-1} + 1,5 \cdot Q_{B-1}) + 2 \cdot 1,35 \cdot G_{vt,st}$$

$$N_{Ed} = 3 \cdot (1,35 \cdot 140,77 + 1,5 \cdot 36,93) + 2 \cdot 1,35 \cdot 6,08 = 752,72 \text{ kN}$$

Proračunski moment savijanja iznosi:

$$M_{Ed} = 1,35 \cdot M_g + 1,5 \cdot M_q = 1,35 \cdot 50 + 1,5 \cdot 20 = 97,5 \text{ kNm}$$

Dimenzioniranje stupa – uzdužna armatura

Bezdimenzijska vrijednost uzdužne sile iznosi:

$$\nu_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{752,72}{30 \cdot 30 \cdot 1,67} = 0,5$$

Bezdimenzijska vrijednost momenta savijanja iznosi:

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{9750}{30 \cdot 30^2 \cdot 1,67} = 0,22$$

Iz interakcijskog dijagrama je očitano:

$$\omega = 0,14$$

Potrebna površina armature uz jedan rub iznosi:

$$A_{s1} = A_{s2} = \omega \cdot b \cdot h \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} = 0,14 \cdot 30 \cdot 30 \cdot \frac{1,67}{43,5} = 4,84 \text{ cm}^2$$

Minimalna uzdužna armatura stupa iznosi:

$$A_{s,min} = 4\phi 12 = 4,52 \text{ cm}^2 \rightarrow \text{mjerodavno}$$

$$A_{s,min} = 0,15 \cdot \frac{N_{Ed}}{f_{yd}} = 0,15 \cdot \frac{752,72}{43,5} = 2,60 \text{ cm}^2$$

$$A_{s,min} = 0,003 \cdot A_c = 0,003 \cdot 30 \cdot 30 = 2,70 \text{ cm}^2$$

Maksimalna uzdužna armatura stupa iznosi:

$$A_{s,max} = 0,04 \cdot A_c = 0,04 \cdot 30 \cdot 30 = 36 \text{ cm}^2$$

Odabrana armatura je 3Ø16 uz dva nasuprotna lica stupa, tj. ukupno 6Ø16.

Ugrađena je armatura:

$$A_{s,prov} = 6 \cdot 2,01 = 12,06 \text{ cm}^2 > A_{s,req} = 2 \cdot 4,84 = 9,68 \text{ cm}^2$$

Vrijedi:

$$A_{s,min} = 4,52 \text{ cm}^2 < A_{s,prov} = 12,06 \text{ cm}^2 < A_{s,max} = 36 \text{ cm}^2$$

Dimenzioniranje stupa – poprečna armatura

Maksimalni razmak spona iznosi:

$$s_{cl,tmax} = 12 \cdot \phi_s = 12 \cdot 1,6 = 19,2 \text{ cm} \rightarrow \text{mjerodavno}$$

$$s_{cl,tmax} = b = 30 \text{ cm}$$

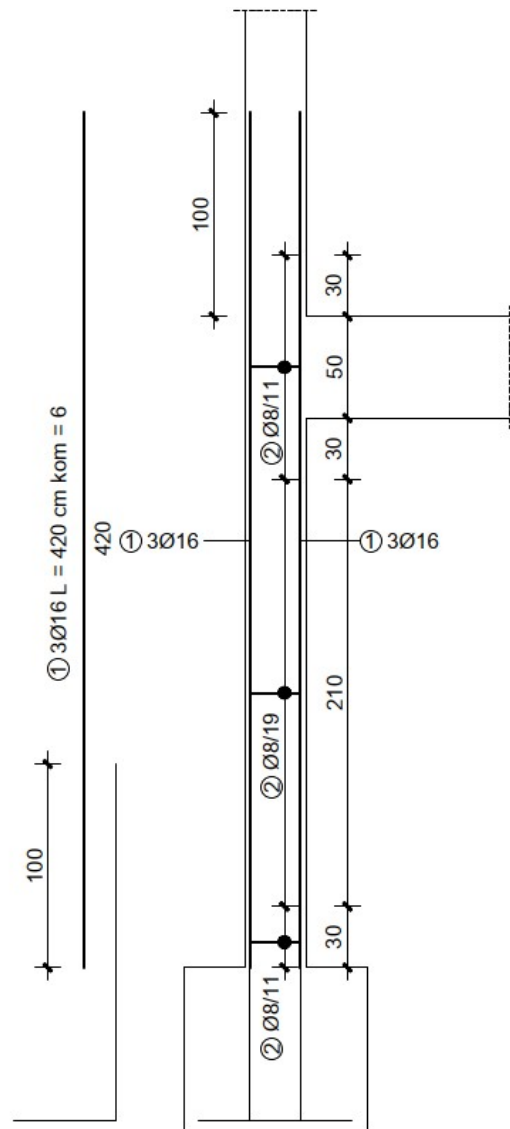
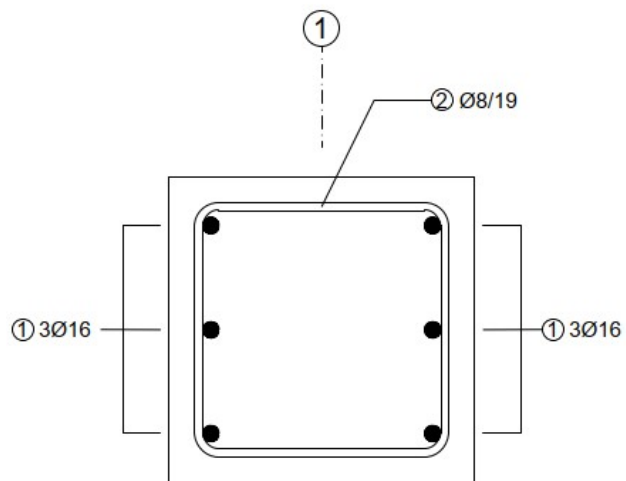
$$s_{cl,tmax} = 30 \text{ cm}$$

Odabrane su spona: **Ø8/19 cm**

Na duljini jednakoj većoj dimenziji stupa, tj. 30 cm od spoja stupa s gredom potrebno je progustiti spona na 60 % razmaka, tj.:

$$s'_{cl,tmax} = 0,6 \cdot s_{cl,tmax} = 0,6 \cdot 19 = 11,4 \text{ cm}$$

Odabrane spona u kritičnom području: **Ø8/11 cm**



2. Proračun zida

Karakteristike materijala

Za skupinu 2 koeficijent $K = 0,45$.

Karakteristična tlačna čvrstoća ziđa iznosi:

$$f_k = K \cdot f_b^{0,7} \cdot f_m^{0,3} = 0,45 \cdot 10^{0,7} \cdot 5^{0,3} = 3,66 \text{ N/mm}^2 = 0,366 \text{ kN/cm}^2$$

Koeficijent sigurnosti za ziđe iznosi:

$$\gamma_M = 1,5$$

Proračunska vrijednost tlačne čvrstoće ziđa iznosi:

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_M} = \frac{3,66}{1,5} = 2,44 \text{ N/mm}^2 = 0,244 \text{ kN/cm}^2$$

Početna posmična čvrstoća iznosi:

$$f_{vk0} = 0,2 \text{ N/mm}^2 = 0,02 \text{ kN/cm}^2$$

Opterećenje na zid

Vlastita težina zida iznosi:

$$g_{vt,z} = h_w \cdot t_w \cdot 8 = 3,02 \cdot 0,3 \cdot 8 = 7,25 \text{ kN/m'}$$

Uzdužna sila na vrhu zida prizemlja od stalnog opterećenja iznosi:

$$N_{g,vrh} = 308,99 \text{ kN}$$

Uzdužna sila na sredini visine zida prizemlja od stalnog opterećenja iznosi:

$$N_{g,sr} = N_{g,vrh} + 0,5 \cdot g_{vt,z} \cdot L_w = 308,99 + 0,5 \cdot 7,25 \cdot 4,2 = 324,22 \text{ kN}$$

Uzdužna sila na dnu zida prizemlja od stalnog opterećenja iznosi:

$$N_{g,dno} = N_{g,vrh} + g_{vt,z} \cdot L_w = 308,99 + 7,25 \cdot 4,2 = 339,44 \text{ kN}$$

Uzdužna sila na zid prizemlja od uporabnog opterećenja iznosi:

$$N_q = 70,94 \text{ kN}$$

Proračunska uzdužna sila na vrhu zida prizemlja iznosi:

$$N_{Ed,vrh} = 1,35 \cdot N_{g,vrh} + 1,5 \cdot N_q = 1,35 \cdot 308,99 + 1,5 \cdot 70,94 = 523,55 \text{ kN}$$

Proračunska uzdužna sila na sredini visine zida prizemlja iznosi:

$$N_{Ed,sr} = 1,35 \cdot N_{g,sr} + 1,5 \cdot N_q = 1,35 \cdot 324,22 + 1,5 \cdot 70,94 = 544,11 \text{ kN}$$

Proračunska uzdužna sila na dnu zida prizemlja iznosi:

$$N_{Ed,dno} = 1,35 \cdot N_{g,dno} + 1,5 \cdot N_q = 1,35 \cdot 339,44 + 1,5 \cdot 70,94 = 564,65 \text{ kN}$$

Dimenzioniranje zida na tlačnu silu i moment van ravnine

Ekscentricitet od vertikalnog opterećenja iznosi:

$$e_0 = \frac{t_w}{10} = \frac{30}{10} = 3 \text{ cm}$$

Slučajni ekscentricitet iznosi:

$$e_i = \frac{h_{ef}}{450}$$

Zid je ukrućen s tri strane (gore i dolje s pločom i u osi A sa zidom) pa vrijedi:

$$h_{\text{ef}} = \rho_3 \cdot h_w$$

Ploče su AB pa je $\rho_2 = 0,75$.

$$h_w = 302 \text{ cm} < 3,5 \cdot L_w = 3,5 \cdot 420 = 1470 \text{ cm}$$

$$\rho_3 = \frac{\rho_2}{1 + \left(\frac{\rho_2 \cdot h_w}{3 \cdot L_w} \right)^2} = \frac{0,75}{1 + \left(\frac{0,75 \cdot 302}{3 \cdot 420} \right)^2} = 0,727 > 0,3$$

Vrijedi:

$$h_{\text{ef}} = \rho_3 \cdot h_w = 0,727 \cdot 302 = 219,41 \text{ cm}$$

Slučajni ekscentricitet iznosi:

$$e_i = \frac{h_{\text{ef}}}{450} = \frac{219,41}{450} = 0,49 \text{ cm}$$

Vjetar ne djeluje izravno na zid pa je $e_h = 0$.

Provjera na vrhu zida

Ukupni ekscentricitet iznosi:

$$e_1 = e_0 + e_h + e_i = 3 + 0 + 0,49 = 3,49 \text{ cm}$$

Minimalni ekscentricitet iznosi:

$$e_{\text{min}} = 0,05 \cdot t_w = 0,05 \cdot 30 = 1,5 \text{ cm}$$

Koeficijent smanjenja nosivosti iznosi:

$$\Phi = 1 - 2 \cdot \frac{e_1}{t_w} = 1 - 2 \cdot \frac{3,49}{30} = 0,77$$

Nosivost na tlačnu silu iznosi:

$$N_{\text{Rd}} = \Phi \cdot L_w \cdot t_w \cdot f_d = 0,77 \cdot 420 \cdot 30 \cdot 0,244 = 2367,29 \text{ kN}$$

Nosivost 2367,29 kN veća je od djelovanja 523,55 kN pa zid zadovoljava na vrhu.

Provjera na dnu zida

Na dnu zida nosivost je jednaka kao i na vrhu jer je moment jednak.

Nosivost 2367,29 kN veća je od djelovanja 564,65 kN pa zid zadovoljava na dnu.

Provjera u sredini visine zida

Ukupni ekscentricitet iznosi:

$$e_m = e_0 + e_h + e_i = 3 + 0 + 0,49 = 3,49 \text{ cm}$$

$$e_{\text{mk}} = e_m$$

$$\lambda = \frac{h_{ef}}{t_w} \cdot \sqrt{\frac{f_k}{E}} = \frac{219,41}{30} \cdot \sqrt{\frac{1}{1000}} = 0,231$$

$$u = \frac{\lambda - 0,063}{0,73 - 1,17 \cdot \frac{e_{mk}}{t}} = \frac{0,231 - 0,063}{0,73 - 1,17 \cdot \frac{3,49}{30}} = 0,283$$

$$A_1 = 1 - 2 \cdot \frac{e_{mk}}{t} = 1 - 2 \cdot \frac{3,49}{30} = 0,77$$

$$\Phi_m = A_1 \cdot e^{\frac{u^2}{2}} = 0,77 \cdot e^{\frac{0,283^2}{2}} = 0,74$$

Nosivost na tlačnu silu iznosi:

$$N_{Rd,m} = \Phi_m \cdot L_w \cdot t_w \cdot f_d = 0,74 \cdot 420 \cdot 30 \cdot 0,244 = 2275,06 \text{ kN}$$

Nosivost 2275,06 kN veća je od djelovanja 544,11 kN pa zid zadovoljava u sredini visine.

Provjera zida na poprečnu silu

Duljina tlačnog područja iznosi:

$$L_c = 3 \cdot \left[\frac{L_w}{2} - \frac{M_{Ed}}{N_{g,vrh}} \right] = 3 \cdot \left[\frac{420}{2} - \frac{23952}{308,99} \right] = 397,45 \text{ cm} < L_w = 420 \text{ m}$$

Prosječni pritisak na tlačnom dijelu zida iznosi:

$$\sigma_{d1} = \frac{N_{g,vrh}}{L_c \cdot t_w} = \frac{308,99}{397,45 \cdot 30} = 0,026 \text{ kN/cm}^2 = 0,26 \text{ N/mm}^2$$

Karakteristična posmična čvrstoća iznosi:

$$f_{vk} = f_{vk0} + 0,4 \cdot \sigma_{d1} = 0,2 + 0,4 \cdot 0,26 = 0,3 \text{ N/mm}^2$$

Granična vrijednost posmične čvrstoće iznosi:

$$f_{vk,u} = 0,065 \cdot f_b = 0,065 \cdot 10 = 0,65 \text{ N/mm}^2$$

U skladu s tim je proračunska posmična čvrstoća zida:

$$f_{vd} = \frac{\min(f_{v,k}; f_{vk,u})}{\gamma_M} = \frac{\min(0,3; 0,65)}{1,5} = \frac{0,3}{1,5} = 0,2 \text{ N/mm}^2 = 0,02 \text{ kN/cm}^2$$

Proračunska posmična čvrstoća zida iznosi:

$$V_{Rd} = f_{vd} \cdot t_w \cdot L_c = 0,02 \cdot 30 \cdot 397,45 = 238,47 \text{ kN}$$

Nosivost na poprečnu silu je 238,47 kN, a djelovanje je 41,58 kN pa zid zadovoljava.

Provjera zida na moment savijanja

Ekscentricitet djelovanja u ravnini na dnu zida iznosi:

$$e = \frac{M_{Ed}}{N_{Ed,dno}} = \frac{23952}{564,65} = 42,42 \text{ cm} < \frac{L_w}{2} = \frac{480}{2} = 240 \text{ cm}$$

Ekscentricitet je manji od pola duljine zida pa ne dolazi do prevrtanja zida kao krutog tijela. Duljina tlačnog područja potrebna za preuzimanje tlačne sile iznosi:

$$a_{d,min} = \frac{N_{Ed,dno}}{t_w \cdot f_d} = \frac{564,65}{30 \cdot 0,244} = 77,14 \text{ cm} > 0,05 \cdot L_w = 0,05 \cdot 480 = 24 \text{ cm}$$

Najveći dopušteni ekscentricitet iznosi:

$$e_{d,max} = \frac{L_w}{2} - \frac{a_{d,min}}{2} = \frac{480}{2} - \frac{77,14}{2} = 201,43 \text{ cm}$$

Najveći dopušteni moment savijanja iznosi:

$$M_{Rd} = f_d \cdot t_w \cdot a_{d,min} \cdot e_{d,max} = 0,244 \cdot 30 \cdot 77,14 \cdot 201,43 = 113740 \text{ kNcm} = 1137,4 \text{ kNm}$$

Moment savijanja 239,52 kNm manji je od nosivosti 1137,4 kNm pa zid zadovoljava.

NAPOMENA:

Gornji zadatak izrađen je za ziđe zidano mortom opće namjene.

U nastavku je dan proračun čvrstoće istog ziđa kad bi se ono zidalo sa uskim trakama morta ili tankoslojnim mortom.

ZIĐE S USKIM TRAKAMA MORTA

Zid je zidan zidnim elementima od pečene gline Skupine 2 u mortu opće namjene.

Mort je izveden u obliku dvije trake uz svako lice ziđa. Npr. debljina svake trake morta iznosi 10,0 cm, tj. $g = 2 \cdot 10,0 = 20,0 \text{ cm}$

Prema tome: $g/t = 20/30 = 0,667$

Kategorije kontrole su 1-A. Za kategorije kontrole 1-A, iz tablice 2.7 slijedi: $\gamma_M = 1,5$.

Debljina ziđa $t = 30 \text{ cm}$ tj. jednaka duljini zidnog elementa pa nema vertikalne uzdužne sljubnice morta u ziđu, što dovodi do koeficijenta $K = 0,45$ iz tablice 3.11.

Zbog 2 trake morta umanjuje se koeficijent K , umnoškom sa koeficijentom:

$$[0,5+5 \cdot (g/t-0,4)/6]$$

Za $g/t = 0,667$ taj koeficijent iznosi: $0,5+5 \cdot (g/t-0,4)/6 = 0,5+5 \cdot (0,667-0,4)/6 = 0,72$

$$f_b = 10,0 \text{ N/mm}^2$$

$$f_k = (0,72 \cdot 0,45) \cdot 10^{0,7} \cdot 5,0^{0,3} = 2,63 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{vk} = 0,667 \cdot 0,2 + 0,4 \cdot 0,26 = 0,234 \text{ N/mm}^2$$

Nastavak proračuna je jednak onom iz prethodnog primjera, naravno uz primjenu drugačijih karakterističnih čvrstoća ziđa.

ZIDE ZIDANO TANKOSLOJNIM MORTOM

Ako je zid iz prvog zadatka zidan u tankoslojnom mortu, čvrstoća зида se određuje kao:

$$f_k = K \cdot f_b^{0,7} = 0,7 \cdot 10^{0,7} = 3,51 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{vk} = f_{vk0} + 0,4 \cdot \sigma_{d1} = 0,3 + 0,4 \cdot 0,26 = 0,404 \text{ N/mm}^2$$

Izraz za f_k odnosi se na skupinu zidnih elemenata 2 i 3. Ako su zidni elementi skupine 1 ili 4 tada vrijedi izraz: $f_k = K \cdot f_b^{0,85}$

Nastavak proračuna je jednak onom iz prethodnog primjera, naravno uz primjenu drugačije karakteristične čvrstoće зида.