

## Proračun AB stuba

Potrebno je izvršiti proračun stuba jednodrodne armirano-betonske hale dimenzija 22x49 metara. Poprečni ramovi su formirani na razmaku od 7 metara. Hala je u posljednja dva polja visinski pregrađena međuspratnom konstrukcijom na visini od 4 metra. Međuspratna konstrukcija je formirana kao ploča nosiva u dva pravca u rasteru 2x7 u podužnom i 4x5.5 u poprečnom pravcu.

### Dimenzije AB stuba:

Visina stuba  $l=8.45$  m

Maksimalna dozvoljena vitkost za armirano betonske stubove iznosi 140. Kako se u primjeru radi o prefabrikovanom stubu usvaja se nešto veća vitkost. Usvojena je vitkost  $I = 100$ .

$$\lambda = \frac{l}{i} = \frac{2 \cdot 8.45}{0.289 \cdot d} \Rightarrow d \geq \frac{2 \cdot 8.45}{0.289 \cdot 100} \cdot 100 = 58.47 \text{ cm}$$

Oblik izvijanja stuba kao i uslovi oslanjanja su jednaki u oba ortogonalna pravca pa se usvaja stub dimenzija  $b/h=60/60$  cm.

### Karakteristike materijala:

$$f_{ck}=30 \text{ MPa} \Rightarrow f_{cd} = \frac{f_{ck}}{1.5} = \frac{30}{1.5} = 20.00 \text{ Mpa}$$

$$f_{yk}=500 \text{ MPa} \Rightarrow f_{yd} = \frac{f_{yk}}{1.15} = \frac{500}{1.15} = 434.78 \text{ Mpa}$$

### Uticaji u stubu:

Posmatraće se najopterećeniji stub a to je stub na dijelu hale gdje je međuspratna konstrukcija. Na predmetni stub djeluju gravitaciona opterećenja sa krovne konstrukcije i međuspratne konstrukcije, te opterećenja nastala djelovanjem vjetra i zemljotresa.

### Analiza opterećenja:

#### Vertikalna opterećenja:

##### Stalno-nivo krova:

tež. glavnog nosača .....	12·22/2 .....	132.0 kN
rožnjače .....	2.0/2.5·7·11 .....	61.6 kN
pokrov .....	0.2·7·11 .....	15.4 kN
sopstv. tež. stub .....	0.6·0.6·25·4 .....	76 kN
fasada .....	0.2·7·8 .....	11.2 kN

##### Stalno-nivo tavanice:

reakcija grede .....	9·7·5.5/2 .....	173.3 kN
----------------------	-----------------	----------

Promjenjivo-nivo krova:

snijeg .....  $2 \cdot 7 \cdot 5.5$  ..... 77.0 kN

Promjenjivo-nivo tavanice:

korisno .....  $2.0 \cdot 7 \cdot 5.5$  ..... 77.0 kN

Horizontalna opterećenja:

Vjetar:

vjetar .....  $0.7 \cdot 7$  ..... 4.9 kN/m

Zemljotres:

Za proračun seizmičkih uticaja pretpostavljeno je da se period oscilovanja nalazi između  $T_B$  i  $T_C$ , jer se na taj način dobija maksimalni seizmički uticaj.

Za određivanje seizmičke sile potrebno je znati ukupnu masu (težinu) koja pripada ramu koji analiziramo. To smo već odredili u analizi opterećenja iznad.

Ukupna težina iznosi:

$$W_1 = 1.0 \cdot (132.0 + 61.4 + 15.4 + 76/4 + 11.2/2) + 1.0 \cdot 77 = 310.4 \text{ kN}$$

$$W_2 = 1.0 \cdot (173.3 + 76.4 \cdot 3/4 + 11.2/2) + 0.3 \cdot 77 = 259.3 \text{ kN}$$

$$W_b = 310.4 + 259.3 = 569.7 \text{ kN}$$

Seizmička sila koja djeluje na stub iznosi:

$$F_b = S_{d(T)} \cdot m \cdot \lambda$$

Ordinata projektnog spektra za osnovni period T:

$$T_B \leq T \leq T_C \Rightarrow S_{d(T)} = a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q}$$

Tlo pripada kategoriji A pa su tačke proračunskog spektra definisane vrijednostima:

$$S = 1.0 \quad T_B = 0.15 \quad T_C = 0.4 \quad T_D = 2.0$$

Objekat se nalazi u XIX zoni seizmičkog dejstva pa projektno ubrzanje tla iznosi  $a_g = 0.3 \cdot g$ .

$$S_{d(T)} = 0.3 \cdot g \cdot 1.0 \cdot \frac{2.5}{1.5} = 0.5 \cdot g$$

$$F_b = 0.5 \cdot g \cdot \frac{569.7}{g} \cdot 1.0 = 284.85 \text{ kN}$$

Seizmičke sile po etažama:

$$F_1 = F_b \cdot \frac{z_1 \cdot m_i}{\sum z_i \cdot m_i} = 284.45 \cdot \frac{4 \cdot 259.3}{4 \cdot 259.3 + 8.45 \cdot 310.4} = 80.61 \text{ kN}$$

$$F_2 = F_b \cdot \frac{z_2 \cdot m_i}{\sum z_i \cdot m_i} = 284.45 \cdot \frac{8.45 \cdot 310.4}{4 \cdot 259.3 + 8.45 \cdot 310.4} = 203.84 \text{ kN}$$

Osnovna kombinacija:

$$N_{Ed1} = 1.35 \cdot (132.0 + 61.4 + 15.4 + 76/4 + 11.2/2) + 1.5 \cdot 77 = 430.59 \text{ kN}$$

$$N_{Ed2} = 1.35 \cdot (173.3 + 76.4 \cdot 3/4 + 11.2/2) + 1.5 \cdot 0.6 \cdot 77 = 387.76 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 430.59 + 387.76 = 818.35 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 1.5 \cdot 0.6 \cdot 4.9 \cdot 8 \cdot 8.45/2 = 149.1 \text{ kNm}$$

Seizmička kombinacija:

$$N_{Ed1} = 1.0 \cdot (132.0 + 61.4 + 15.4 + 76/4 + 11.2/2) + 1.0 \cdot 77 = 310.4 \text{ kN}$$

$$N_{Ed2} = 1.0 \cdot (173.3 + 76.4 \cdot 3/4 + 11.2/2) + 0.3 \cdot 77 = 259.3 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 310.4 + 259.3 = 569.7 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 1.0 \cdot (203.84 \cdot 8.45 + 80.61 \cdot 4.00) = 2037.79 \text{ kNm}$$

Dimenzionisanje za seizmičku kombinaciju:

Potrebno je izračunati graničnu vitkost stuba. Ukoliko je vitkost stuba manja od granične efekti uticaja drugog reda se mogu zanemariti. Vrijednost  $\lambda_{lim}$  dat je u nacionalnim aneksima za svaku zemlju pojedinačno ali ako nisu definisani NA tada se može koristiti sljedeći izraz:

$$\lambda_{lim} = \frac{20 \cdot A \cdot B \cdot C}{\sqrt{v}} \quad \text{gdje je:}$$

$$A = \frac{1}{1 + 0.2 \cdot \varphi_{ef}} \quad (\text{ako efektivni koeficijent tečenja nije poznat može da se usvoji } A=0.7)$$

$$B = \sqrt{1 + 0.2 \cdot \omega} \quad (\text{ako mehanički koeficijent armiranja nije poznat može da se usvoji } B=1.1)$$

$$C = 1.7 - r_m \quad (\text{ako odnos momenata na krajevima štapa nije poznat može da se usvoji } C=0.7)$$

$$n = N_{Ed} / (A_c \cdot f_{cd}) \quad (\text{relativna normalna sila})$$

$$v = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{469.5}{0.6 \cdot 0.6 \cdot 20 \cdot 1000} = 0.065$$

$$\lambda_{lim} = \frac{20 \cdot 0.7 \cdot 1.1 \cdot 0.7}{\sqrt{0.065}} = 42.28 \quad - \text{ efekti vitkosti se moraju uzeti u obzir!}$$

**Ekscentričnost momenta prvog reda:**

$$e_0 = \frac{M_{0Ed}}{N_{Ed}} = \frac{2037.79}{569.7} \cdot 100 = 357.69 \text{ cm}$$

**Ekscentričnost usljed geometrijskih nesavršenosti:**

Nesavršenosti izvođenja i ostalih proračunskih pretpostavki se može prikazati sa otklonom vertikale tj. nagibom  $\theta_i$  u iznosu:

$$\theta_i = \frac{1}{200}$$

pa se ekscentričnost usljed nesavršenosti može izračunati kao:

$$e_i = \theta_i \cdot \frac{l_0}{2} = \frac{1}{200} \cdot \frac{2 \cdot 8.45}{2} \cdot 100 = 4.23 \text{ cm}$$

**Ekscentričnost nastala deformacijom presjeka:**

$$e_2 = \frac{1}{r} \cdot \frac{l_0^2}{c}$$

$$\frac{1}{r} = K_r \cdot K_\varphi \cdot \frac{1}{r_0}$$

$$\frac{1}{r_0} = \frac{\varepsilon_{yd}}{0.45 \cdot d}$$

$$\frac{1}{r_0} = \frac{434.78}{200\,000} \cdot \frac{1}{0.45 \cdot 0.9 \cdot 60} = 8.752 \cdot 10^{-5} \text{ 1 / cm}$$

$$e_2 = 8.752 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{16.9^2}{10} = 25.0 \text{ cm}$$

**Ukupna ekscentričnost:**

$$e_{tot} = e_0 + e_i + e_2 = 357.69 + 4.23 + 25.0 = 386.92 \text{ cm, pa je ukupni momenat}$$

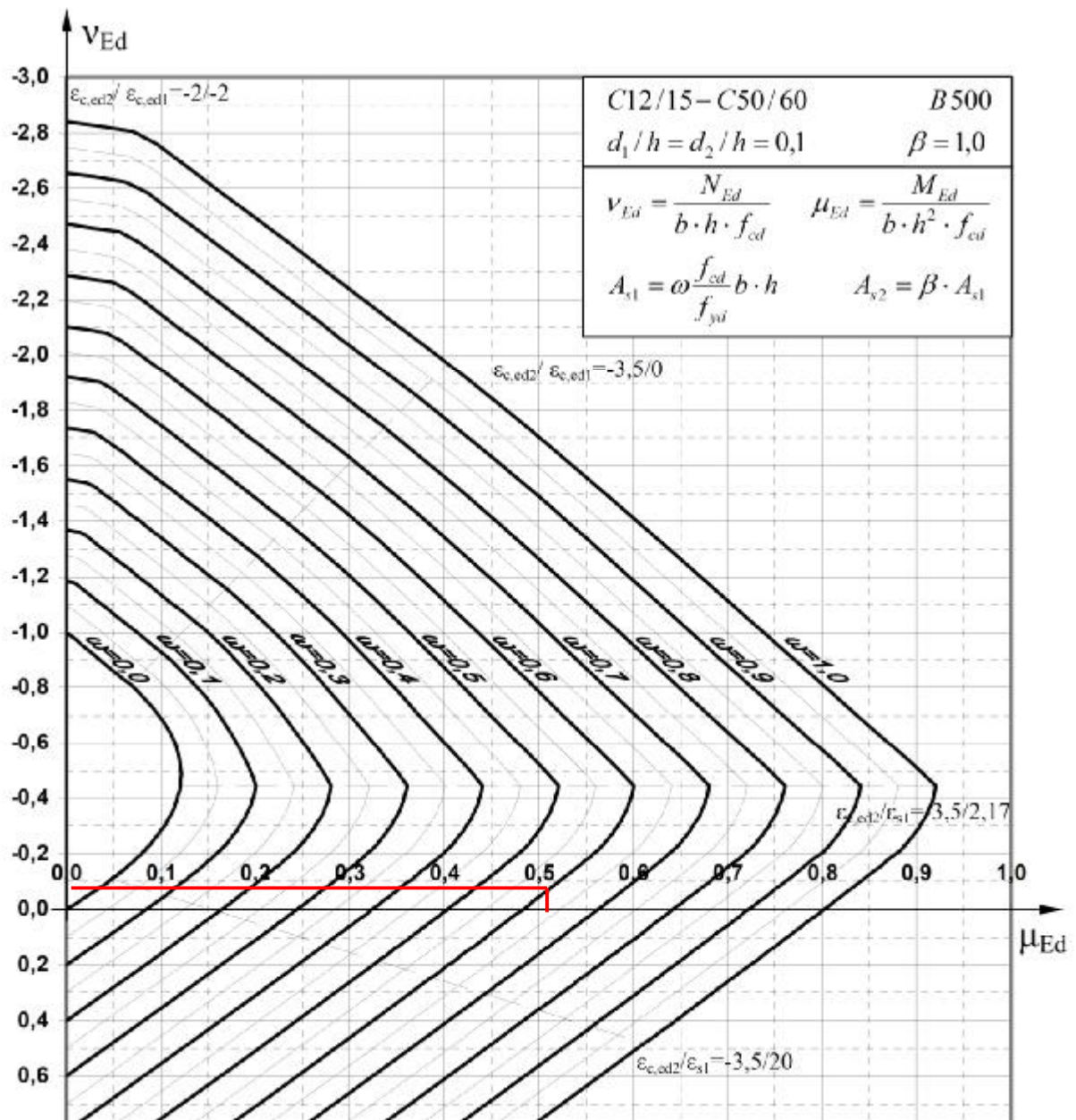
$$M_{Ed} = N_{Ed} \cdot e_{tot} = 569.7 \cdot 3.87 = 2204.74 \text{ kNm}$$

**Bezdimenzionalne vrijednosti momenta i normalne sile:**

$$\nu_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{569.7}{0.6 \cdot 0.6 \cdot 20 \cdot 1000} = 0.08$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{2204.74}{0.6 \cdot 0.6^2 \cdot 20 \cdot 1000} = 0.51$$

Očitava se mehanički koeficijent armiranja iz dijagrama interakcije



$$\omega_1 = \omega_2 = 0.47$$

$$A_{s1} = A_{s2} = \omega_2 \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot b \cdot h = 0.47 \cdot \frac{20}{434.78} \cdot 60 \cdot 60 = 77.83 \text{ cm}^2$$

Proračunska armatura je veća od maksimalno dozvoljene za stubove ( $A_{s1,max} = 1/100 \cdot 60 \cdot 60 = 36 \text{ cm}^2$ ), potrebno je izvršiti određene korekcije.

Jedna od mogućnosti je da se povećaju dimenzije stuba.

Druga mogućnost je da se izanalizira proračun i razmotri detaljniji proračun koji bi eventualno smanjio uticaje u stubu. Kako je u proračunu seizmičkih uticaja predpostavljen period oscilovanja manji od  $T_c=0.4$  s, a radi se o konstrukciji za koju je moguće da će period oscilovanja biti veći, može se izvršiti tačniji proračun osnovnog perioda oscilovanja konstrukcije.

Jedan od načina je da se odredi period oscilovanja prema izrazu:

$$T_1 = \sqrt{d}$$

gdje je  $d$  jednako horizontalnom pomjeranju vrha konstrukcije, izraženo u metrima, usljed gravitacionih sila koje su primjenjene u horizontalnom pravcu:

$$\begin{aligned} d &= \frac{W_1 \cdot z_1^3}{3 \cdot E \cdot I} + \frac{W_2 \cdot z_1^2}{6 \cdot E \cdot I} \cdot (3 \cdot (z_1 + z_2) - z_1) = \\ &= \frac{310.4 \cdot 8.45^3}{3 \cdot 31.5 \cdot 10^6 \cdot 0.0108} + \frac{259.3 \cdot 4^2}{6 \cdot 31.5 \cdot 10^6 \cdot 0.0108} \cdot (3 \cdot (4 + 4.45) - 4) = 0.227 \text{ m} \end{aligned}$$

pa se za osnovni period oscilovanja može usvojiti:

$$T_1 = \sqrt{d} = \sqrt{0.227} = 0.95 \text{ s}$$

pa je sada

Ordinata projektnog spektra za osnovni period  $T$ :

$$T_c \leq T < T_D \Rightarrow S_{d(T)} = a_g \cdot S \cdot \frac{2.5}{q} \cdot \left[ \frac{T_c}{T} \right]$$

Objekat se nalazi u XIX zoni seizmičkog dejstva pa projektno ubrzanje tla iznosi  $a_g=0.3 \cdot g$ .

$$S_{d(T)} = S_{d(T)} = 0.3 \cdot g \cdot 1.0 \cdot \frac{2.5}{1.5} \cdot \left[ \frac{0.4}{0.95} \right] = 0.2105 \cdot g$$

$$F_b = 0.2105 \cdot g \cdot \frac{569.7}{g} \cdot 1.0 = 119.92 \text{ kN}$$

Seizmičke sile po etažama:

$$F_1 = F_b \cdot \frac{z_1 \cdot m_1}{\sum z_i \cdot m_i} = 119.92 \cdot \frac{4 \cdot 259.3}{4 \cdot 259.3 + 8.45 \cdot 310.4} = 33.98 \text{ kN}$$

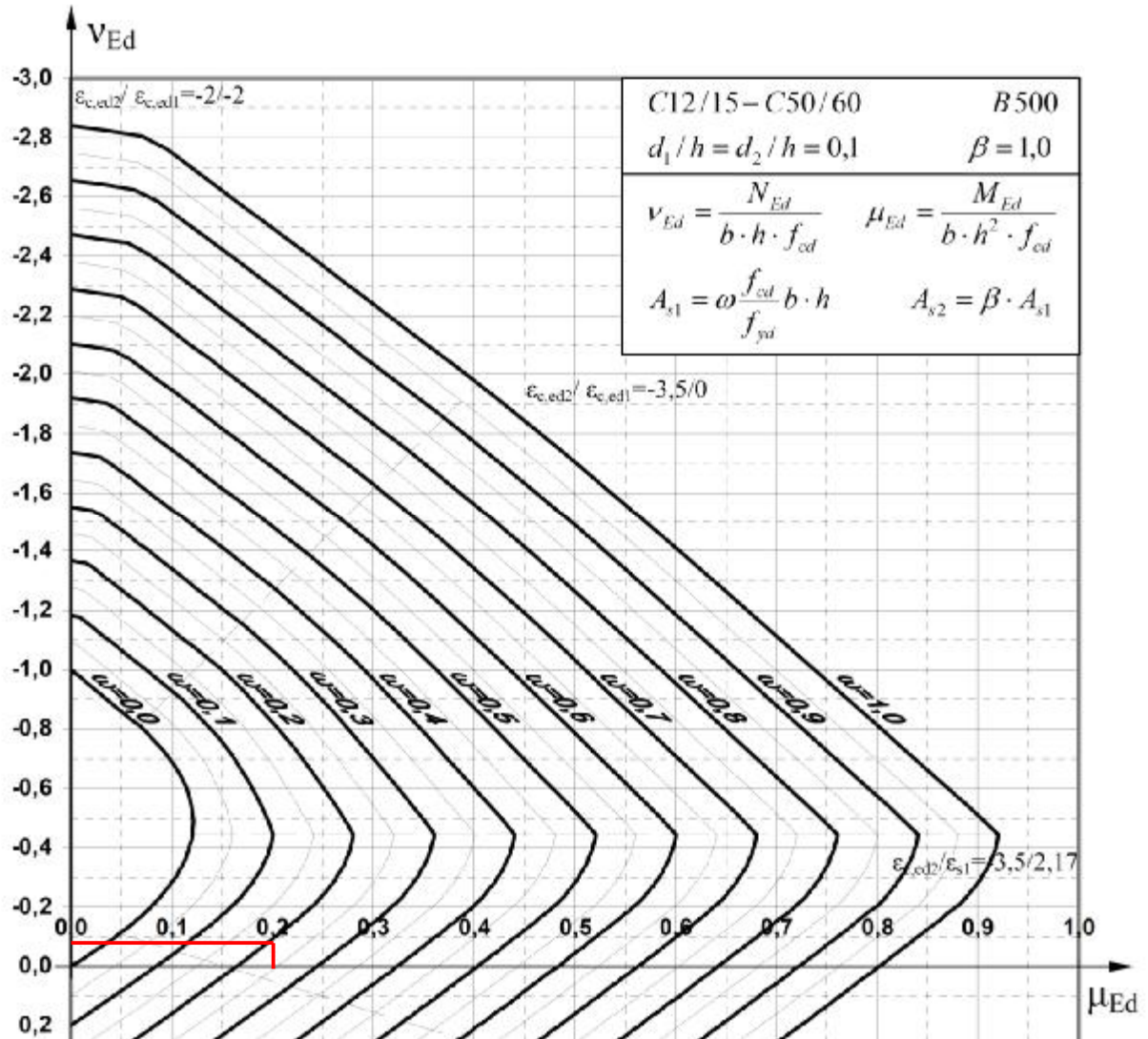
$$F_2 = F_b \cdot \frac{z_1 \cdot m_1}{\sum z_i \cdot m_i} = 119.92 \cdot \frac{8.45 \cdot 310.4}{4 \cdot 259.3 + 8.45 \cdot 310.4} = 85.94 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 310.4 + 259.3 = 569.7 \text{ kN}$$

$$M_{Ed} = 1.0 \cdot (85.94 \cdot 8.45 + 33.98 \cdot 4.00) = 862.12 \text{ kNm}$$

$$v_{Ed} = \frac{N_{Ed}}{b \cdot h \cdot f_{cd}} = \frac{569.7}{0.6 \cdot 0.6 \cdot 20 \cdot 1000} = 0.08$$

$$\mu_{Ed} = \frac{M_{Ed}}{b \cdot h^2 \cdot f_{cd}} = \frac{862.12}{0.6 \cdot 0.6^2 \cdot 20 \cdot 1000} = 0.2$$



$$\omega_1 = \omega_2 = 0.2$$

$$A_{s1} = A_{s2} = \omega_2 \cdot \frac{f_{cd}}{f_{yd}} \cdot b \cdot h = 0.2 \cdot \frac{20}{434.78} \cdot 60 \cdot 60 = 33.12 \text{ cm}^2 \quad \rightarrow \text{Usvojeno } 7\phi 25 \text{ (34.34)}$$

Ukupna armatura u stubu iznosi  $(2 \times 7 + 2 \times 5) = 24\phi 25$   $(68.69/3600 \cdot 100 = 1.9\% < 4\%)$

$$\text{razmak uzengija } s_w \leq \left. \begin{array}{l} \left\lfloor \frac{b_0}{2} \right\rfloor \\ 17.5 \\ 8 \cdot \phi \end{array} \right\} = \left. \begin{array}{l} \left\lfloor \frac{60 - 2 \cdot (2.5 + 0.8)}{2} \right\rfloor = 26.7 \\ 17.5 \\ 8 \cdot 2.5 = 20 \end{array} \right\} = 17.5 \quad \rightarrow \text{Usvojeno } u\phi 8/17.5$$