

- dimenzionisanje po srpskim propisima stubova iz primera P1 (spratnost P+0) -

1 SEIZMIČKI PRORAČUN

1.1 PRORAČUN SEIZMIČKE SILE

Sprovodi se prema Pravilniku o tehničkim normativima za izgradnju objekata visokogradnje u seizmičkim područjima (u daljem: Pravilnik).

Ukupna horizontalna seizmička sila S se određuje, prema članu 21. Pravilnika, kao:

$$S = K \times Q = k_o \times k_s \times k_p \times k_d \times Q$$

gde je: K - ukupan seizmički koeficijent za horizontalni pravac

k_o - koeficijent kategorije objekta ($k_o=1$, objekat II kategorije, član 4. Pravilnika);

k_s - seizmičkog intenziteta ($k_s=0.1$, IX zona MCS skale, povratni period 500 godina, član 24. i član 6. Pravilnika, ovde zadato zadatkom);

k_p - koeficijent duktiliteta i prigušenja ($k_p=1$, savremena konstrukcija od armiranog betona, član 27. Pravilnika);

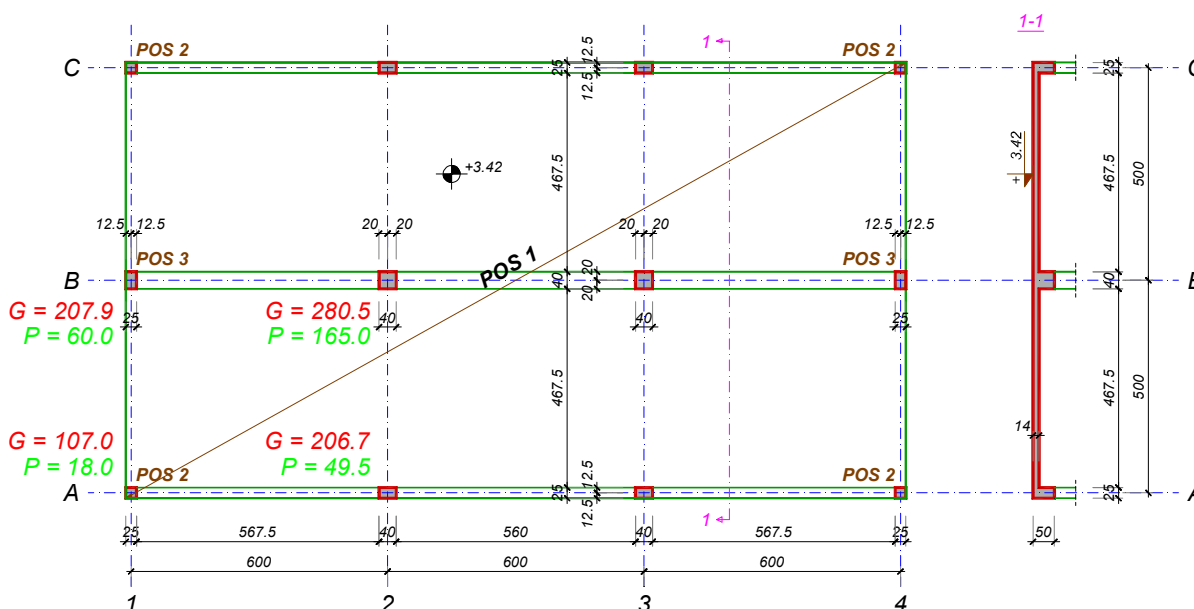
k_d - koeficijent dinamičnosti, prema članu 25. Pravilnika određen relacijom:

$$0.47 \leq k_d = \frac{0.7}{T} \leq 1$$

za tlo II kategorije (u skladu sa članom 9. Pravilnika). Ukoliko se ne vrši proračun perioda slobodnih oscilacija T , može se usvojiti maksimalna vrednost koeficijenta k_d (član 26. Pravilnika).

Q - ukupna težina objekta, određena u skladu sa članom 19. Pravilnika, kao suma ukupnog stalnog i verovatnog povremenog opterećenja ($G+P/2$)

Proračun ukupne težine objekta



S obzirom da su sile u stubovima sračunate u primeru P1, najlakše je do ukupne težine doći njihovim sabiranjem:

$$\Sigma G = 4 \times (107.0 + 206.7) + 2 \times (207.9 + 280.5) = 2231.7 \text{ kN}$$

$$\Sigma P = 4 \times (18.0 + 49.5) + 2 \times (60.0 + 165.0) = 720.0 \text{ kN}$$

Za slučaj da sile u stubovima nisu sračunate:

$$L_x = 3 \times 6.0 = 18.0 \text{ m} \quad ; \quad L_y = 2 \times 5.0 = 10.0 \text{ m}$$

$$A = 18.0 \times 10.0 = 180.0 \text{ m}^2 \text{ - površina ploče}$$

rezultanta jednako raspodeljenog opterećenja:

$$\Sigma G_1 = g \times A = 6.0 \times 180 = 1080 \text{ kN}$$

$$\Sigma P_1 = p \times A = 4.0 \times 180 = 720 \text{ kN}$$

težine fasade, greda i stubova:

$$\Sigma G_f = 2 \times (18.0 + 10.0) \times 16.95 = 949.2 \text{ kN} \text{ - fasada}$$

$$\Sigma G_g = 2 \times 18.0 \times (0.25 \times 0.5 \times 25) + 18.0 \times (0.4 \times 0.5 \times 25) = 202.5 \text{ kN} \text{ - grede}$$

$$\Sigma G_s = [4 \times 0.25 \times 0.25 + (4+2) \times 0.25 \times 0.4 + 2 \times 0.4 \times 0.4] \times 3.5 \times 25 = 102.4 \text{ kN} \text{ - stubovi}^1$$

$$Q = \Sigma G + \Sigma P/2 + \Sigma G_f + \Sigma G_g + \Sigma G_s/2$$

$$Q = 1080 + 720/2 + 949.2 + 202.5 + 102.4/2 = 2642.9 \text{ kN}$$

Ukupna horizontalna seizmička sila u nivou ploče POS 1:

$$S = 0.1 \times 1.0 \times 1.0 \times 1.0 \times 2642.9 = 264.3 \text{ kN}$$

Stubovi su spojeni krutom tavanicom – pločom, koja obezbeđuje jednaka pomeranja njihovih vrhova. Stubovi prihvataju sile proporcionalno svojoj visini (svi stubovi su jednake visine), krutosti na savijanje i konturnim uslovima (konzola ili ram).

U podužnom pravcu horizontalne sile prihvataju tri rama koje formiraju stubovi povezani gredama: dva rama manje krutosti (širine 25 cm) u osama A i C i jedan ram veće krutosti (širine 40 cm) u osi B. U poprečnom pravcu greda nema, pa seizmičku silu prihvataju konzolni stubovi proporcionalno pojedinačnim krutostima na savijanje. Kako je krutost u poprečnom pravcu, usled odsustva greda, očito manja, najpre se proverava ovaj pravac.

1.1 PRORAČUN SEIZMIČKIH UTICAJA - POPREČNI PRAVAC

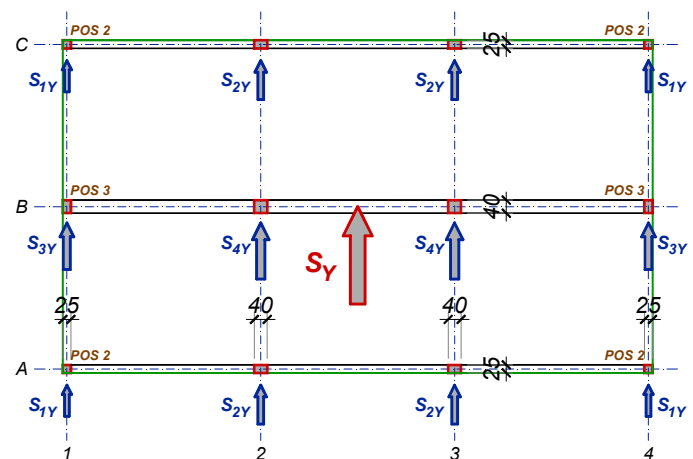
Momenti inercije stubova S1 do S4 su:

$$J_{Y,S1} = \frac{25 \times 25^3}{12} = 32\,552 \text{ cm}^4$$

$$J_{Y,S2} = \frac{40 \times 25^3}{12} = 52\,083 \text{ cm}^4$$

$$J_{Y,S3} = \frac{25 \times 40^3}{12} = 133\,333 \text{ cm}^4$$

$$J_{Y,S4} = \frac{40 \times 40^3}{12} = 213\,333 \text{ cm}^4$$



Ukupan moment inercije svih 12 stubova je:

$$J_Y = 4 \times (32\,552 + 52\,083) + 2 \times (133\,333 + 213\,333) = 1\,031\,875 \text{ cm}^4$$

Sile koje deluju na pojedine stubove i odgovarajući momenti savijanja su:

¹ Po polovina težina stubova i zidova će biti pridružena tavanici, odnosno temelju. Sve ostale težine deluju u nivou međuspratne konstrukcije, pa se tavanici pridružuje polovina težine vertikalnih elemenata sa sprata iznad (ovde ne postoji), odnosno sprata ispod

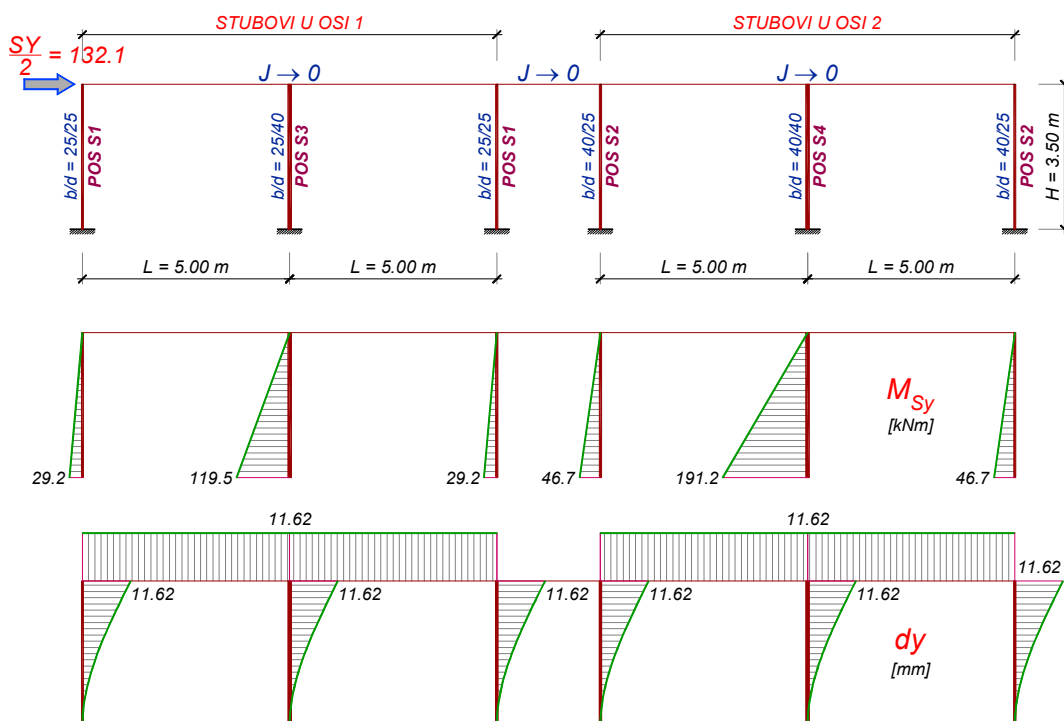
$$S_{1Y} = \frac{32\,552}{10\,318\,75} \times 264.3 = 8.34 \text{ kN} \Rightarrow M_{S1,Y} = S_{1Y} \times H = 8.34 \times 3.5 = 29.2 \text{ kNm}$$

$$S_{2Y} = \frac{52\,083}{10\,318\,75} \times 264.3 = 13.34 \text{ kN} \Rightarrow M_{S2,Y} = 13.34 \times 3.5 = 46.7 \text{ kNm}$$

$$S_{3Y} = \frac{133\,333}{10\,318\,75} \times 264.3 = 34.15 \text{ kN} \Rightarrow M_{S3,Y} = 34.15 \times 3.5 = 119.5 \text{ kNm}$$

$$S_{4Y} = \frac{213\,333}{10\,318\,75} \times 264.3 = 54.64 \text{ kN} \Rightarrow M_{S4,Y} = 54.64 \times 3.5 = 191.2 \text{ kNm}$$

Na skici dole su prikazani dijagrami momenata savijanja i pomeranja **poprečnih** ramova u osama 1 i 2 (polovina konstrukcije), usled dejstva horizontalne sile $S_Y/2 = 132.1 \text{ kN}$ u vrhu. Horizontalni štapovi, aksijalno kruti i sa zanemarivim momentom inercije ($A \rightarrow \infty$, $J \rightarrow 0$), simuliraju ploču, dok su karakteristike stubova sračunate iz usvojenih dimenzija.



Ukupno pomeranje konstrukcije u poprečnom pravcu je:

$$dy = \frac{S_Y \times H^3}{3EJ_Y} = \frac{264.3 \times 3.5^3}{3 \times 31.5 \times 10^6 \times 10\,318\,75 \times 10^{-8}} = 11.62 \times 10^{-3} \text{ m} = 11.62 \text{ mm}$$

dok je dopušteno pomeranje, određeno članom 16 Pravilnika:

$$dy_{dop.} = \frac{H}{600} = \frac{3.5}{600} = 5.83 \times 10^{-3} \text{ m} = 5.83 \text{ mm}$$

Seizmičku silu je moguće smanjiti sračunavanjem vrednosti koeficijenta dinamičnosti k_d (u preliminarnom proračunu usvojena je njena maksimalna vrednost $k_d=1$). Period oscilovanja konstrukcije u prvom tonu se može približno sračunati pomoću pojednostavljene Rejljeve relacije:

$$T_1 = 2\sqrt{d}$$

gde je d – pomeranje **u metrima** vrha konstrukcije usled opterećenja horizontalnim silama jednakim težinama spratova.

Ukupna težina konstrukcije je $Q=2643$ kN i ona deluje na istom mestu i u istom pravcu kao i napred sračunata seizmička sila. Traženo pomeranje d je:

$$d = \frac{Q}{S_Y} \times d_y = \frac{2643}{264.3} \times 11.62 = 116.2 \text{ mm} = 0.1162 \text{ m}$$

$$T_{1Y} = 2\sqrt{0.1162} = 0.682 \text{ sec} \Rightarrow k_d = \frac{0.7}{0.682} = 1.027 \Rightarrow \text{usv. } k_d = 1.0 = k_{d,\max}$$

Horizontalno pomeranje u poprečnom pravcu je dvaput veće od dopuštenog (bilo bi u dopuštenim granicama da je objekat u VII ili VIII seizmičkoj zoni), pa je potrebno konstrukciju ojačati. Kako se ojačavanjem konstrukcije period oscilovanja smanjuje, koeficijent dinamičnosti će uzimati svoju maksimalnu vrednost $k_d = 1$ i na njegovo smanjenje ne može se računati.

Najjednostavniji način ojačanja konstrukcije, pritom arhitektonski potpuno prihvatljiv, je formiranje ramova u osama 1 i 4 (grede POS 4, istih dimenzija kao fasadne grede POS 2 u podužnom pravcu). Kako su ovako formirani ramovi krući od konzolnih stubova u osama 2 i 3, obično se računa oni prihvataju ukupnu seizmičku silu. Kako su im dimenzije, visine stubova i konturni uslovi jednaki, svaki od ovih ramova prihvaćice polovinu ukupne horizontalne sile. Raspodela sile na stubove u jednom ramu se vrši iz uslova jednakih pomeranja vrhova stubova, dakle:

$$J_Y = 2 \times 32\,552 + 133\,333 = 198\,438 \text{ cm}^4$$

$$S_{1Y} = \frac{32\,552}{198\,438} \times 132.1 = 21.68 \text{ kN}$$

$$M_{S1,Y} \approx S_{1Y} \times \frac{H}{2} = 21.68 \times \frac{3.5}{2} = 37.9 \text{ kNm}$$

$$S_{3Y} = \frac{133\,333}{198\,438} \times 132.1 = 88.79 \text{ kN}$$

$$M_{S3,Y} \approx S_{3Y} \times \frac{H}{2} = 88.79 \times \frac{3.5}{2} = 155.4 \text{ kNm}$$

Vertikalne reakcije u ivičnim stubovima:

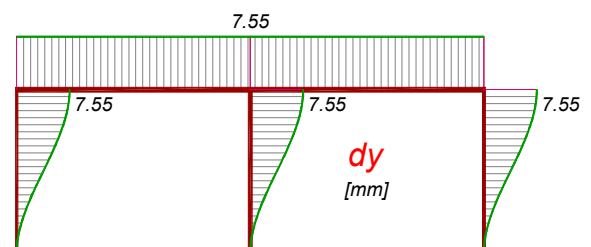
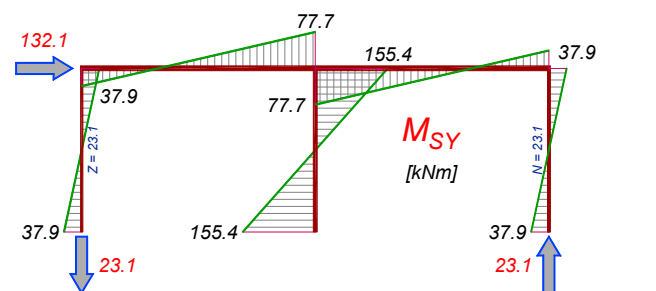
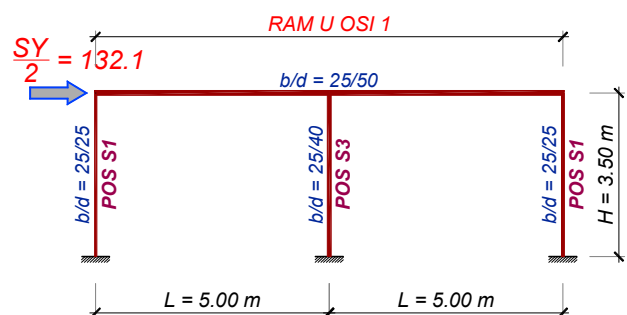
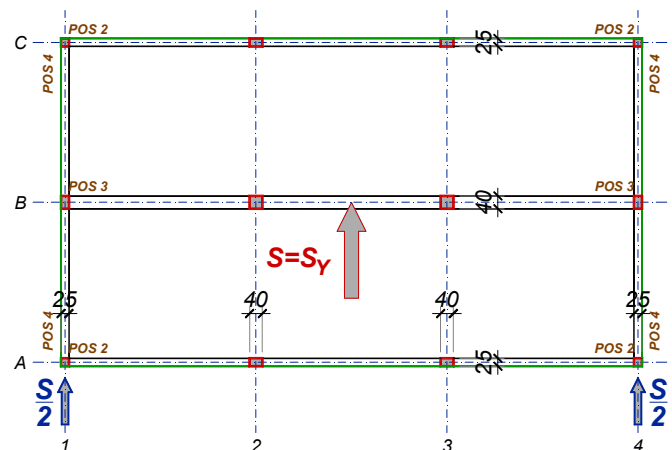
$$-A_{SY} = C_{SY} = \frac{37.9 + \frac{155.4}{2}}{5.0} = 23.1 \text{ kN}$$

Pomeranje vrha stubova je:

$$dy = \frac{S_Y \times H^3}{12EJ_Y} = \frac{132.1 \times 3.5^3}{12 \times 31.5 \times 198\,438 \times 10^{-2}}$$

$$dy = 7.55 \times 10^{-3} \text{ m} = 7.55 \text{ mm}$$

$$dy > dy_{\text{dozv.}} = 5.83 \text{ mm}$$



Kako je pomeranje i dalje prekoračeno, potrebno je ili povećati dimenzije stubova ili u proračun uključiti i elemente čija je krutost zanemarena (stubovi u osama 2 i 3).

Kada u proračun uključimo sve elemente konstrukcije, polovinu seizmičke sile prihvataju tri stuba spojena gredama (osa 1) i tri konzolna stuba u osi 2 (povezana pločom čiju fleksionu krutost zanemarujemo). Krutost stubova povezanih gredama je četiri puta veća od krutosti konzolnih stubova, s obzirom na izraze iz kojih se određuju njihova pomeranja.

$$J_Y = 2 \times (4 \times 32\,552 + 52\,083) + (4 \times 133\,333 + 213\,333) = 1\,111\,250 \text{ cm}^4$$

$$S_{1Y} = \frac{4 \times 32\,552}{1\,111\,250} \times 132.1 = 15.48 \text{ kN} \Rightarrow M_{S1,Y} \approx \frac{15.48 \times 3.5}{2} = 27.1 \text{ kNm}$$

$$S_{3Y} = \frac{4 \times 133\,333}{1\,111\,250} \times 132.1 = 63.42 \text{ kN} \Rightarrow M_{S3,Y} \approx \frac{63.42 \times 3.5}{2} = 111.0 \text{ kNm}$$

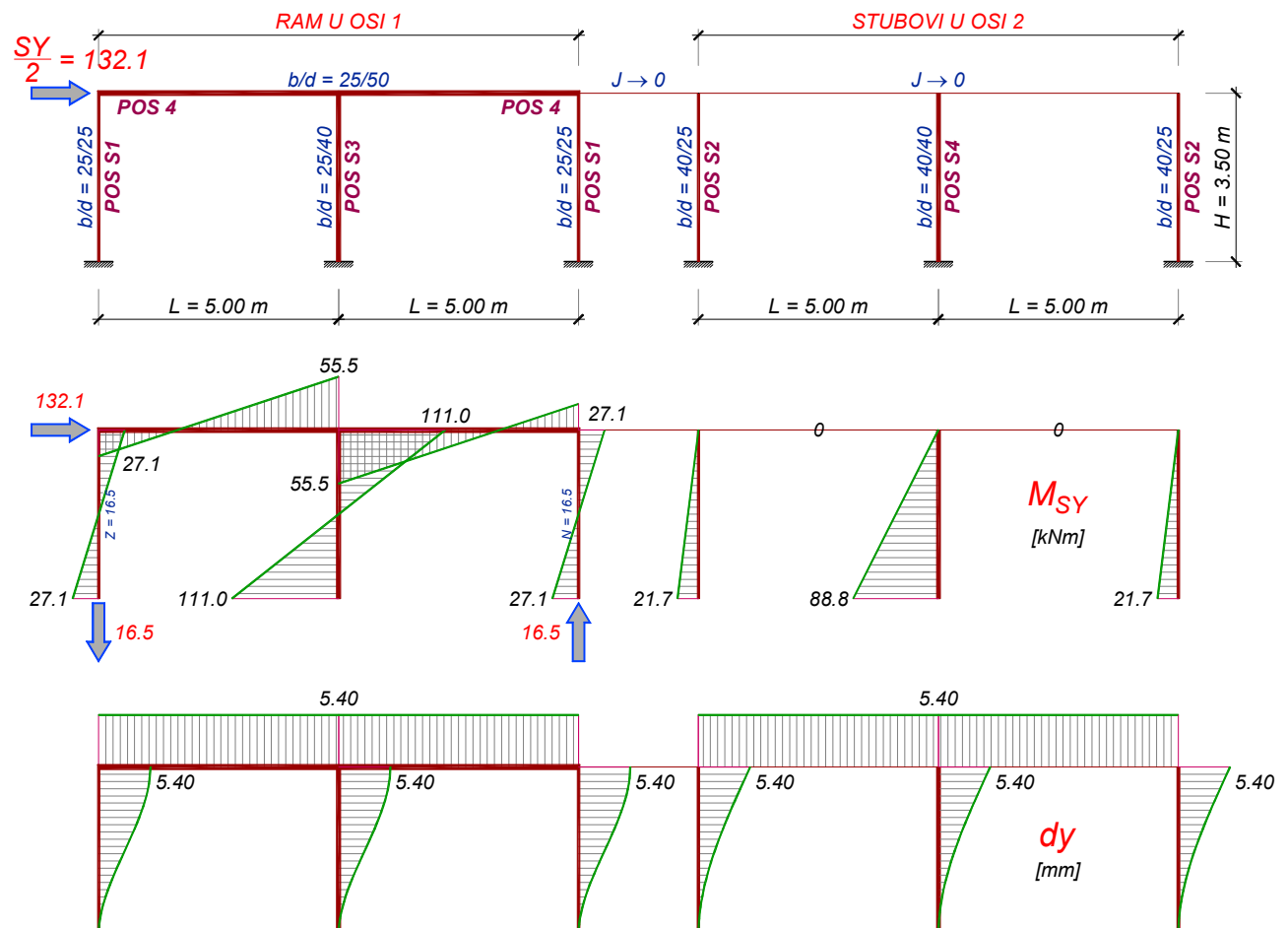
$$S_{2Y} = \frac{52\,083}{1\,111\,250} \times 132.1 = 6.19 \text{ kN} \Rightarrow M_{S2,Y} = 6.19 \times 3.5 = 21.7 \text{ kNm}$$

$$S_{4Y} = \frac{213\,333}{1\,111\,250} \times 132.1 = 25.37 \text{ kN} \Rightarrow M_{S4,Y} = 25.37 \times 3.5 = 88.8 \text{ kNm}$$

Aksijalne sile u ivičnim stubovima A_1 i C_1 :

$$-A_{sY} = C_{sY} = \frac{27.1 + \frac{111.0}{2}}{5.0} = 16.5 \text{ kN}$$

Aksijalne sile u stubovima A_2 i C_2 su jednake nuli, s obzirom da ovi stubovi nisu povezani gredama. Dijagrami momenata savijanja i horizontalnog pomeranja su na donjoj skici.



Pomeranje vrha stubova je:

$$dy \approx \frac{S_{1Y} \times H^3}{12EJ_{Y,S1}} = \frac{15.48 \times 3.5^3}{12 \times 31.5 \times 10^6 \times 32552 \times 10^{-8}} = 5.40 \times 10^{-3} \text{ m}$$

odnosno, posmatrajući ram u osi 2:

$$dy = \frac{S_{2Y} \times H^3}{3EJ_{Y,S2}} = \frac{6.19 \times 3.5^3}{3 \times 31.5 \times 10^6 \times 52083 \times 10^{-8}} = 5.40 \times 10^{-3} \text{ m} < 5.83 \text{ mm} = dy_{\text{dozv.}}$$

Kako je pomeranje u dopuštenim granicama, zadržava se rešenje sa novoprojektovanim fasadnim gredama u osama 1 i 4 i pretpostavljenim dimenzijama stubova.

1.2 PRORAČUN SEIZMIČKIH UTICAJA – PODOŽNI PRAVAC

Na sličan način se proračunavaju uticaji u podužnom pravcu. Ovde je moguće uočiti tri rama, od kojih su ramovi u osama A i C širine 25 cm, a ram u osi B širine 40 cm, pri čemu su dimenzije odgovarajućih stubova u pravcu rama jednake. Nije teško zaključiti da je središnji ram (osa B)

$$b^{(B)}/b^{(A)} = 40/25 = 1.6$$

puta krući od ivičnih, odnosno:

$$S_X^{(A)} = \frac{J_X^{(A)}}{J_X} S_X = \frac{J_X^{(A)}}{2J_X^{(A)} + J_X^{(B)}} S_X = \frac{J_X^{(A)}}{J_X^{(A)} \times (1 + 1.6 + 1)} S_X = \frac{S_X}{3.6} = \frac{264.3}{3.6} = 73.4 \text{ kN} = S_X^{(C)}$$

$$S_X^{(B)} = \frac{J_X^{(B)}}{J_X^{(A)}} S_X^{(A)} = 1.6 \times 73.4 \text{ kN} = 117.5 \text{ kN}$$

Raspodela sila na stubove u okviru jednog rama se sprovodi na način opisan kod proračuna uticaja u poprečnom pravcu, pa se daju samo dijagrami uticaja bez ikakvih komentara.

1.2.1 Ramovi u osama A i C

$$J_{X,S1} = \frac{25 \times 25^3}{12} = 32552 \text{ cm}^4 \quad ; \quad J_{X,S2} = \frac{25 \times 40^3}{12} = 133333 \text{ cm}^4$$

Ukupan moment inercije sva 4 stuba u ramu je:

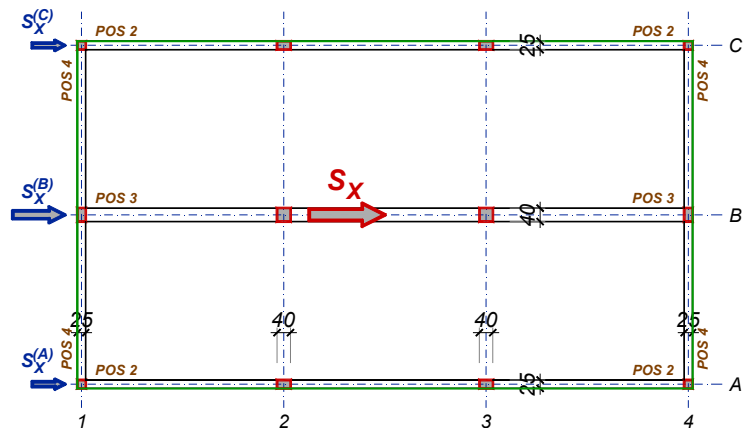
$$J_X^{(A)} = 2 \times (32552 + 133333) = 331771 \text{ cm}^4$$

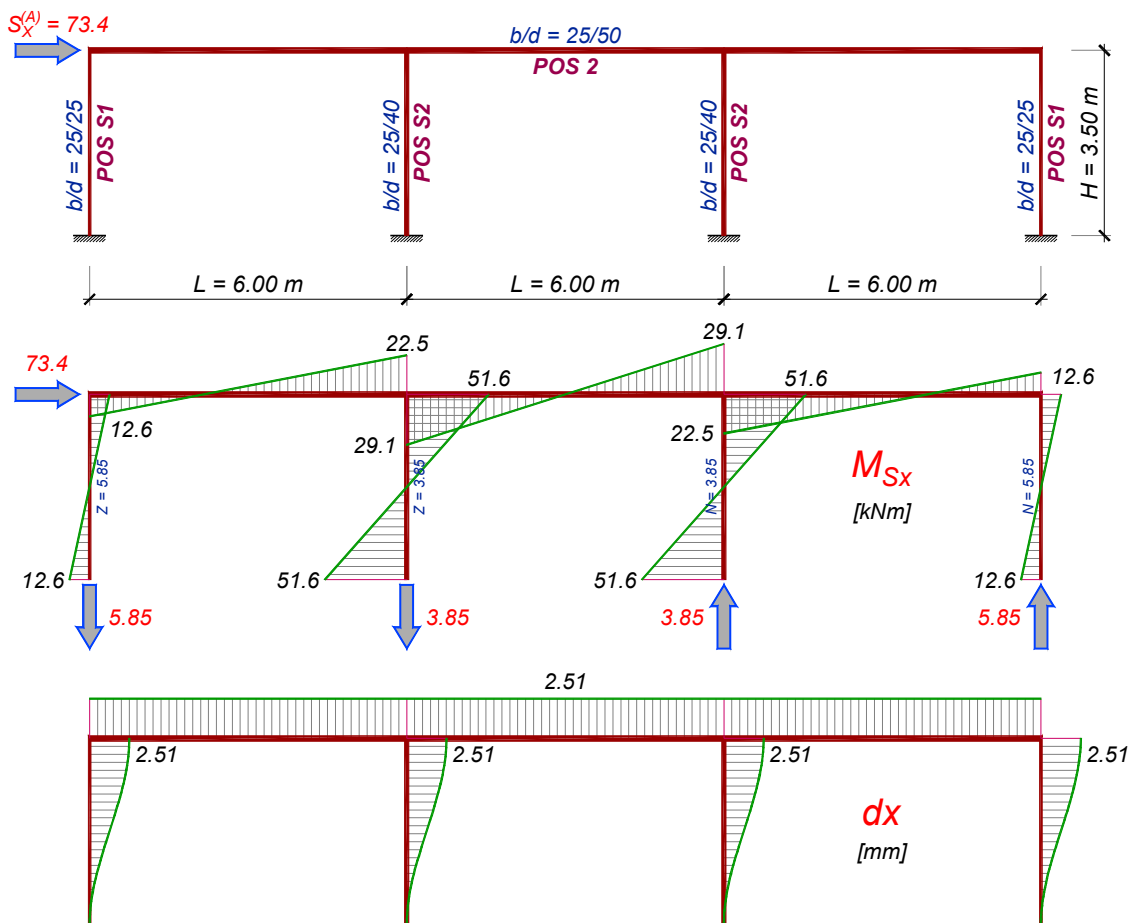
Sile koje deluju na pojedine stubove i odgovarajući momenti savijanja su:

$$S_{1X} = \frac{32552}{331771} \times 73.4 = 7.2 \text{ kN} \Rightarrow M_{S1,X} \approx S_{1X} \times \frac{H}{2} = \frac{7.2 \times 3.5}{2} = 12.6 \text{ kNm}$$

$$S_{2X} = \frac{133333}{331771} \times 73.4 = 29.5 \text{ kN} \Rightarrow M_{S2,X} \approx S_{2X} \times \frac{H}{2} = \frac{29.5 \times 3.5}{2} = 51.6 \text{ kNm}$$

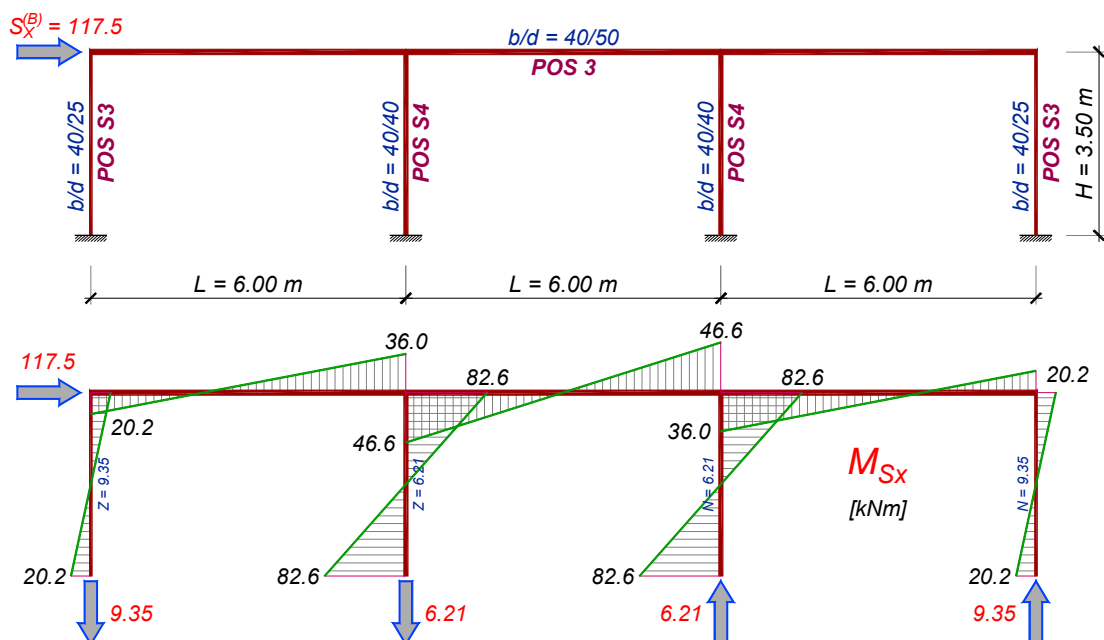
$$dx \approx \frac{S_{1X} \times H^3}{12EJ_{X,S1}} = \frac{7.2 \times 3.5^3}{12 \times 31.5 \times 10^6 \times 32552 \times 10^{-8}} = 2.51 \times 10^{-3} \text{ m} < 5.83 \text{ mm} = dx_{\text{dozv.}}$$





1.2.2 Ram u osi B

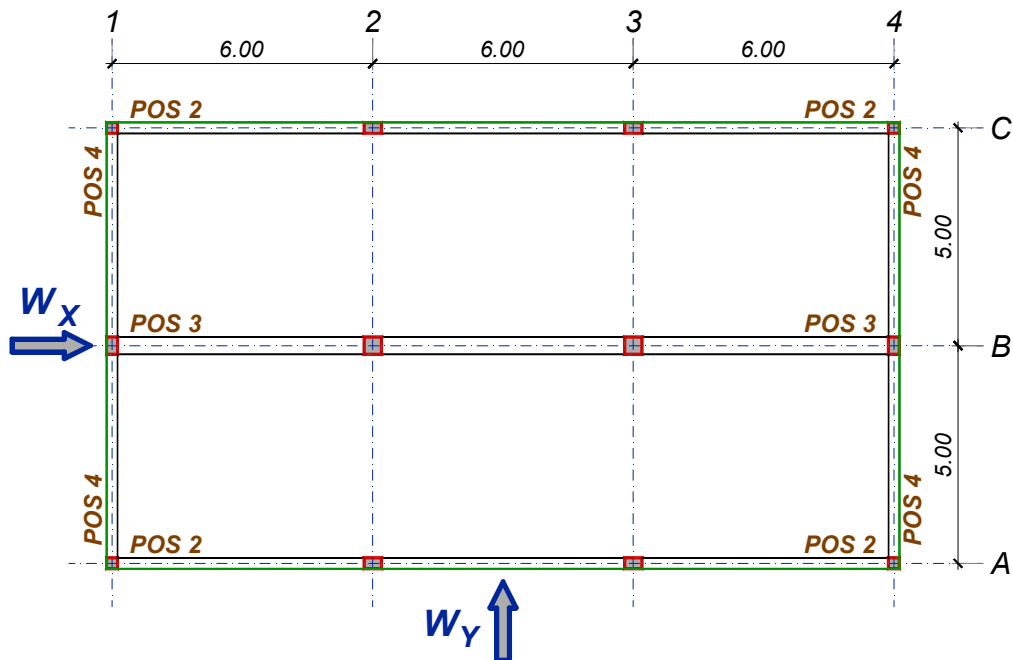
Kako je ovaj ram 1.6 puta krući od ivičnih ramova, to će i odgovarajuće sile i momenti savijanja biti 1.6 puta veći od vrednosti sračunatih za ivični ram. Na donjoj skici su statička šema i dijagrami momenata savijanja, dok dijagram pomeranja nije prikazan (vrednosti su, naravno, iste kao za ram u osi A, jer je iz tog uslova i izvršena raspodela sile na ramove).



Napominje se da se dopušta zanemarenje aksijalnih sila u stubovima usled horizontalnih dejstava kod ramova sa tri i više brodova, gde nije moguće jednostavnim približnim postupkom odrediti raspodelu momenata savijanja levo i desno od srednjih stubova.

2 PRORAČUN SILE OD VETRA

III zona vetra $\Rightarrow w_0 = 0.9 \text{ kN/m}^2$

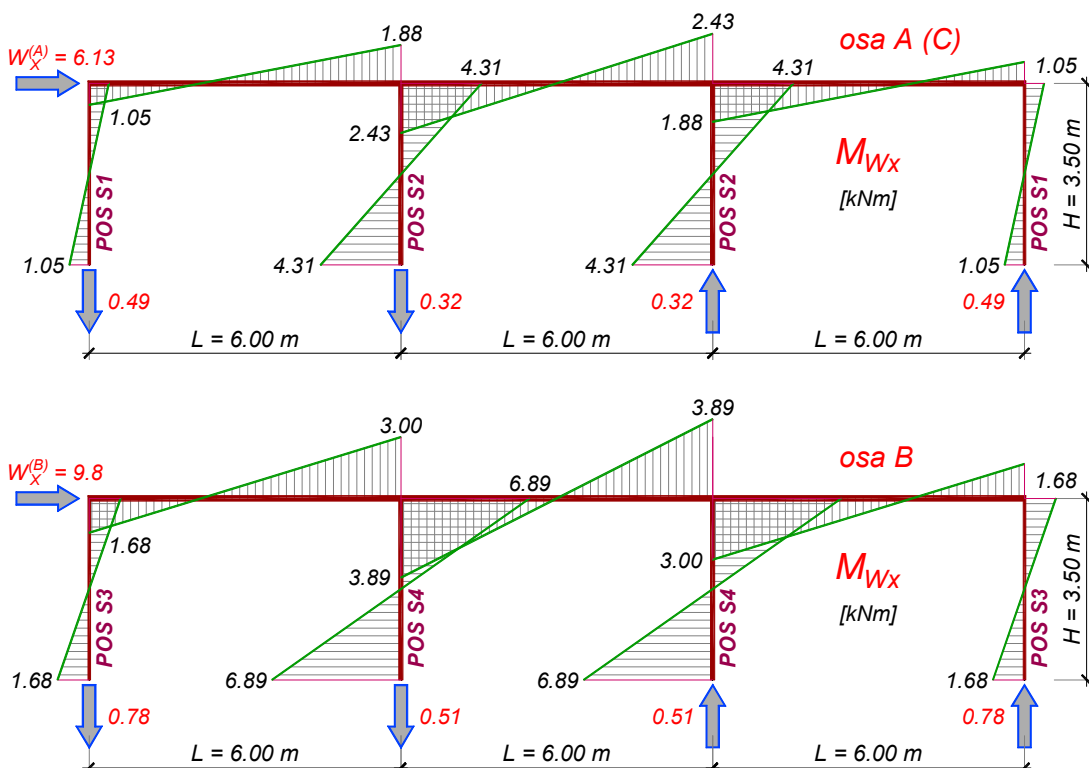


2.1 VETAR U PODUŽNOM PRAVCU (X)

$$A_X = 2 \times 5.0 \times 3.5 = 35.0 \text{ m}^2$$

$$W_X = (0.9 + 0.5) \times w_0 \times \frac{A_X}{2} = (0.9 + 0.5) \times 0.9 \times \frac{35.0}{2} = 22.05 \text{ kN}$$

Ova sila se raspodeljuje na stubove na isti način kao i seizmička sila S_X , pa su momenti savijanja od vetra dobijeni skaliranjem (umanjenjem) $S_X/W_X = 264.3/22.05 = 12$ puta.

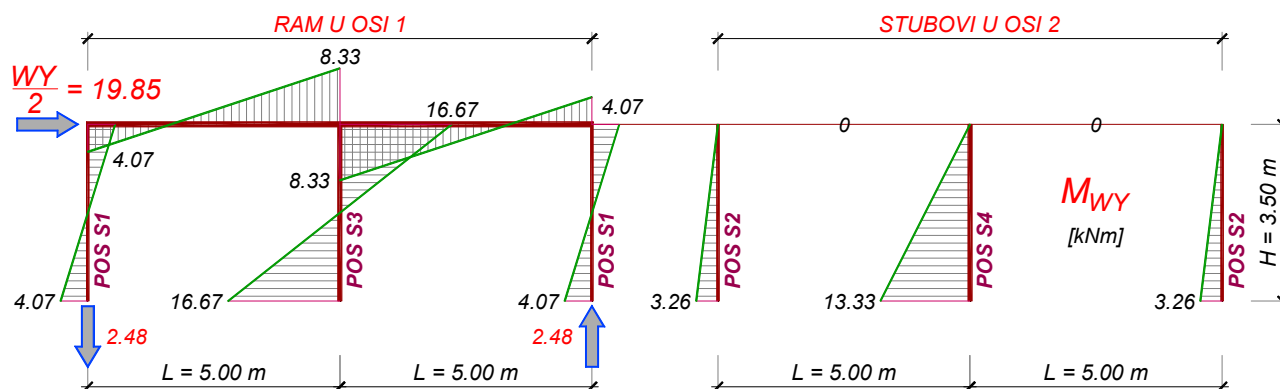


2.2 VETAR U POPREČNOM PRAVCU

$$A_Y = 3 \times 6.0 \times 3.5 = 63.0 \text{ m}^2$$

$$W_Y = (0.9 + 0.5) \times w_0 \times \frac{A_Y}{2} = (0.9 + 0.5) \times 0.9 \times \frac{63.0}{2} = 39.69 \text{ kN}$$

Ova sila se raspodeljuje na stubove na isti način kao i seizmička sila S_Y , pa su momenti savijanja od vetra dobijeni skaliranjem (umanjenjem) $S_Y/W_Y = 264.3/39.69 = 6.66$ puta.



3 KONTROLA DUKTILNOSTI STUBOVA

Ova kontrola se sprovodi u skladu sa odredbama člana 61 Pravilnika o tehničkim normativima za izgradnju objekata visokogradnje u seizmičkim područjima:

»Stubovi se projektuju tako da je odnos uvek $\sigma_0/f_B \leq 0.35$, gde je $\sigma_0 = P/A$, P – aksijalna sila od gravitacionog opterećenja i A – površina preseka stuba, $f_B = 0.7f_{bk}$ gde je f_{bk} čvrstoća kocke.«

Svi stubovi se izvode od betona MB 30, pa sledi:

$$\sigma_0 \leq 0.35 \times f_B = 0.35 \times 0.7 \times 30 = 7.35 \text{ MPa} = 0.735 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

3.1.1 Srednji stubovi POS S4

Srednji stubovi (u osama B2 i B3) su dimenzija 40/40 cm.

$$\sigma_0 = \frac{G + P}{A_b} = \frac{280.5 + 165.0}{40 \times 40} = \frac{445.5}{40 \times 40} = 0.278 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 0.735 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

3.1.2 Ivični stubovi POS S2, POS S3

Ivični stubovi (u osama A2, A3, C2, C3, B1 i B4) su dimenzija 25/40 cm.

$$\sigma_0 = \frac{207.9 + 60.0}{25 \times 40} = \frac{267.9}{25 \times 40} = 0.268 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 0.735 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

3.1.3 Ugaoni stubovi POS S1

Ugaoni stubovi (u osama A1, A4, C1, C4) su dimenzija 25/25 cm.

$$\sigma_0 = \frac{107.0 + 18.0}{25 \times 25} = \frac{125.0}{25 \times 25} = 0.20 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} < 0.735 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Za usvojene dimenzije stubova i kvalitet materijala uslov duktilnosti je zadovoljen.

4 DIMENZIONISANJE STUBOVA

Pri određivanju merodavnih kombinacija za dimenzionisanje, treba voditi računa o sledećem:

- uticaj stalnog opterećenja MORA biti uzet u obzir u svakoj kombinaciji;
- vertikalno povremeno opterećenje p i vetar predstavljaju dva nezavisna povremena opterećenja, koji mogu, a ne moraju delovati na konstrukciju;
- opterećenje vetrom i seizmičko opterećenje su alternativnog znaka. Ne uzimaju se istovremeno i ne kombinuju sa istim uticajem u dva ortogonalna pravca (ne kombinuju se uticaji W_x i W_y , odnosno S_x i S_y);
- u kombinacijama uticaja koje sadrže seizmičko opterećenje razmatraju se sva ona opterećenja (u odgovarajućem intenzitetu) koja su korišćena pri proračunu masa (u konkretnom slučaju, ukupno stalno i polovina povremenog opterećenja). Pri dimenzionisanju se koristi jedinstven koeficijent sigurnosti $\gamma_u = 1.3$ (član 15 Pravilnika): »Ako se proračun nosive konstrukcije vrši po metodi graničnih stanja, primenjuju se sledeći koeficijenti sigurnosti: za armirani i prednapregnuti beton 1.3« nezavisno od dilatacije zategnute armature i ne uzima se u obzir povoljno dejstvo stalnog opterećenja. S obzirom na izneto, »seizmičke« kombinacije sa minimalnom i maksimalnom silom se razlikuju samo u znaku aksijalne sile od seizmike, što je dovoljno mala razlika da se, po pravilu, razmatra samo kombinacija sa **minimalnom** silom.

Kako su momenti savijanja usled dejstva vetra drastično manji od odgovarajućih momenata savijanja usled seizmike, dimenzionisanje na uticaje od vetra se neće ni sprovesti.

4.1.1 Ugaoni stubovi POS S1

To su stubovi u osama A1, A4, C1 i C4, dimenzija 25/25 cm.

4.1.1.1 Seizmika, poprečni pravac

$$M_{y_u} = 1.3 \times 27.1 = 35.2 \text{ kNm} \Rightarrow m_u = \frac{35.2 \times 10^2}{25 \times 25^2 \times 2.05} = 0.11$$

$$N_{y_u, \min} = 1.3 \times \left(107.0 + \frac{18.0}{2} - 16.5 \right) = 129.3 \text{ kN} \Rightarrow n_u = \frac{129.3}{25 \times 25 \times 2.05} = 0.101$$

$$\frac{a}{d} = \frac{4}{25} = 0.16 \Rightarrow \bar{\mu}_1 = 0.093 \Rightarrow A_{a1} = A_{a2} = 0.093 \times 25 \times 25 \times \frac{2.05}{40} = 2.98 \text{ cm}^2$$

usvojeno: **±2RØ14** (±3.08 cm²)

4.1.1.2 Seizmika, podužni pravac

$$M_{x_u} = 1.3 \times 12.6 = 16.4 \text{ kNm} \Rightarrow m_u = \frac{16.4 \times 10^2}{25 \times 25^2 \times 2.05} = 0.051$$

$$N_{x_u, \min} = 1.3 \times \left(107.0 + \frac{18.0}{2} - 5.85 \right) = 143.1 \text{ kN} \Rightarrow n_u = \frac{143.1}{25 \times 25 \times 2.05} = 0.112$$

$$\frac{a}{d} = \frac{4}{25} = 0.16 \Rightarrow \bar{\mu}_1 = 0.003 \Rightarrow A_{a1} = A_{a2} = 0.003 \times 25 \times 25 \times \frac{2.05}{40} = 0.09 \text{ cm}^2$$

$$A_{a1, \min} = A_{a2, \min} = 0.2\% \times b \times d = 0.2 \times 10^{-2} \times 25 \times 25 = 1.25 \text{ cm}^2$$

usvojeno: **±2RØ14** (±3.08 cm²)

4.1.2 Ivični stubovi POS S2

To su stubovi u osama A2, A3, C2 i C3, dimenzija 40/25 cm.

4.1.2.1 Seizmika, poprečni pravac

$$M_{Y_u} = 1.3 \times 21.7 = 28.2 \text{ kNm} \Rightarrow m_u = \frac{28.2 \times 10^2}{40 \times 25^2 \times 2.05} = 0.055$$

$$N_{Y_u, \min} = 1.3 \times \left(206.7 + \frac{49.5}{2} \right) = 300.9 \text{ kN} \Rightarrow n_u = \frac{300.9}{40 \times 25 \times 2.05} = 0.147$$

$$\frac{a}{d} = \frac{4}{25} = 0.16 \Rightarrow \bar{\mu}_1 = 0 \Rightarrow A_{a1} = A_{a2} = A_{a1, \min} = 0.2 \times 10^{-2} \times 40 \times 25 = 2.0 \text{ cm}^2$$

usvojeno: **±3RØ14** (±4.62 cm²)

4.1.2.2 Seizmika, podužni pravac

$$M_{X_u} = 1.3 \times 51.6 = 67.1 \text{ kNm} \Rightarrow m_u = \frac{67.1 \times 10^2}{25 \times 40^2 \times 2.05} = 0.082$$

$$N_{X_u, \min} = 1.3 \times \left(206.7 + \frac{49.5}{2} - 3.85 \right) = 295.9 \text{ kN} \Rightarrow n_u = \frac{295.9}{25 \times 40 \times 2.05} = 0.144$$

$$\frac{a}{d} = \frac{4}{40} = 0.1 \Rightarrow \bar{\mu}_1 = 0.026 \Rightarrow A_{a1} = A_{a2} = 0.026 \times 25 \times 40 \times \frac{2.05}{40} = 1.34 \text{ cm}^2 < A_{a1, \min}$$

usvojeno: **±2RØ14** (±3.08 cm²)

4.1.3 Ivični stubovi POS S3

To su stubovi u osama B1 i B4, dimenzija 25/40 cm.

4.1.3.1 Seizmika, poprečni pravac

$$M_{Y_u} = 1.3 \times 111.0 = 144.3 \text{ kNm} \Rightarrow m_u = \frac{144.3 \times 10^2}{25 \times 40^2 \times 2.05} = 0.176$$

$$N_{Y_u, \min} = 1.3 \times \left(207.9 + \frac{60.0}{2} \right) = 309.3 \text{ kN} \Rightarrow n_u = \frac{309.3}{25 \times 40 \times 2.05} = 0.151$$

$$\frac{a}{d} = \frac{6}{40} = 0.15 \Rightarrow \bar{\mu}_1 = 0.162 \Rightarrow A_{a1} = A_{a2} = 0.162 \times 25 \times 40 \times \frac{2.05}{40} = 8.32 \text{ cm}^2$$

usvojeno: **±5RØ16** (±10.05 cm²)

4.1.3.2 Seizmika, podužni pravac

$$M_{X_u} = 1.3 \times 20.2 = 26.2 \text{ kNm} \Rightarrow m_u = \frac{26.2 \times 10^2}{40 \times 25^2 \times 2.05} = 0.051$$

$$N_{X_u, \min} = 1.3 \times \left(207.9 + \frac{60}{2} - 9.35 \right) = 297.2 \text{ kN} \Rightarrow n_u = \frac{297.2}{40 \times 25 \times 2.05} = 0.145$$

$$\frac{a}{d} = \frac{4}{25} = 0.16 \Rightarrow \bar{\mu}_1 = 0 \Rightarrow A_{a1} = A_{a2} = A_{a1, \min} = 0.2 \times 10^{-2} \times 40 \times 25 = 2.0 \text{ cm}^2$$

usvojeno: **±4RØ16** (±8.04 cm²)

4.1.4 Srednji stubovi POS S4 (stubovi B2,B3)

To su stubovi u osama B2 i B3, dimenzija 40/40 cm.

4.1.4.1 Seizmika, poprečni pravac

$$M_{Yu} = 1.3 \times 88.8 = 115.4 \text{ kNm} \Rightarrow m_u = \frac{115.4 \times 10^2}{40 \times 40^2 \times 2.05} = 0.088$$

$$N_{Yu,\min} = 1.3 \times \left(280.5 + \frac{165.0}{2} \right) = 471.9 \text{ kN} \Rightarrow n_u = \frac{471.9}{40 \times 40 \times 2.05} = 0.144$$

$$\frac{a}{d} = \frac{4}{40} = 0.1 \Rightarrow \bar{\mu}_1 = 0.034 \Rightarrow A_{a1} = A_{a2} = 0.034 \times 40 \times 40 \times \frac{2.05}{40} = 2.80 \text{ cm}^2$$

$$A_{a1,\min} = A_{a2,\min} = 0.2\% \times b \times d = 0.2 \times 10^{-2} \times 40 \times 40 = 3.2 \text{ cm}^2$$

usvojeno: $\pm 3R\emptyset 14$ ($\pm 4.62 \text{ cm}^2$)

4.1.4.2 Seizmika, podužni pravac

$$M_{Xu} = 1.3 \times 82.6 = 107.4 \text{ kNm} \Rightarrow m_u = \frac{107.4 \times 10^2}{40 \times 40^2 \times 2.05} = 0.082$$

$$N_{Xu,\min} = 1.3 \times \left(280.5 + \frac{165.0}{2} - 6.21 \right) = 463.9 \text{ kN} \Rightarrow n_u = \frac{463.9}{40 \times 40 \times 2.05} = 0.141$$

$$\frac{a}{d} = \frac{4}{40} = 0.1 \Rightarrow \bar{\mu}_1 = 0.03 \Rightarrow A_{a1} = A_{a2} = 0.03 \times 40 \times 40 \times \frac{2.05}{40} = 2.46 \text{ cm}^2 < A_{a1,\min}$$

usvojeno: $\pm 3R\emptyset 14$ ($\pm 4.62 \text{ cm}^2$)

Kako nije dostignuta računaska čvrstoća pri čistom smicanju τ_r , nije potrebno osiguranje armaturom. U skladu sa članom 191. Pravilnika za beton i armirani beton, vezano za objekte visokogradnje u seizmičkim područjima, usvojeno je:

U \emptyset 8/7.5 (m=2) na $\lambda=100$ cm od čvorova

U \emptyset 8/15 (m=2) na ostalom delu stuba

