

Konstruisanje i proračun stubova i zidova

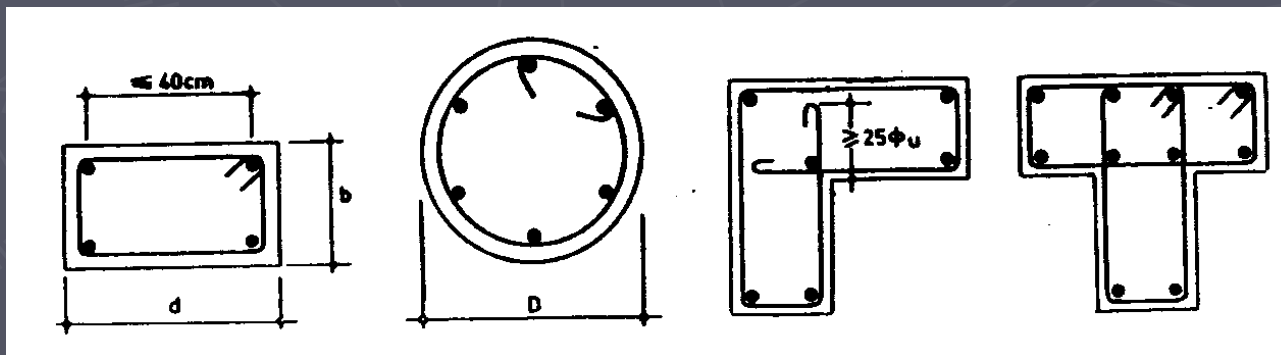
Stubovi su elementi konstrukcije izloženi pretežno pritisku sa odnosom strana poprečnog presjeka $b \leq 5d$, gdje je d manja strana stuba.

Zidovi su elementi konstrukcije izloženi pretežno pritisku sa odnosom strana poprečnog presjeka $b > 5d$.

Minimalna debljina AB zidova, livenoig na licu mjesta iznosi 10 cm, a montažno izvedenih 8 cm, uslov je da su zidovi međusobno povezani kontinualnim međuspratnim tavanicama.

Ako ne postoji kontinuitet u međuspratnim konstrukcijama, minimalne debljine zidova su 12 cm za zidove livene na licu mjesta odnosno 10 za montažno izvedene zidove.

U seizmički aktivnim područjima minimalna debljina AB zidova je 15 cm.



Stubovi različitog oblika i položaj armature u njima

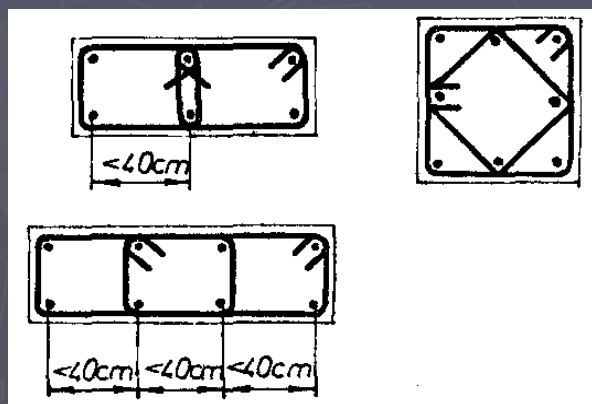
Prečnik šipke podužne armature u stubovima iznosi najmanje 12 cm. Zidovi se mogu armirati mrežastom armaturom, sa najmanjim prečnikom podužne armature od 5 mm.

U pritisnutim linijskim elementima, a to su stubovi, da bi se spriječilo lokalno izbočavanje pojedinih šipki armature, predviđaju se uzengije, čiji razmak u seizmički aktivnim područjima ne smije biti veći od 15 cm, dok se u čvorovima, na dužini od 1m, razmak uzengija dvostruko smanjuje.

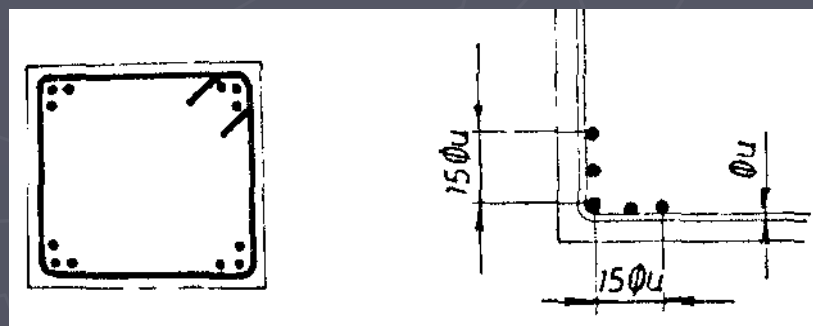
Uzengije se izvode sa preklopom po čitavoj dužini kraće strane. Podužna armatura u stubu se nastavlja van područja plastičnih zglobova i na mjestima najmanjih napona zatezanja. Nastavljanje na preklop vrši se bez kuka.

Nastavljanje armature većeg prečnika od 20 može se vršiti zavarivanjem.

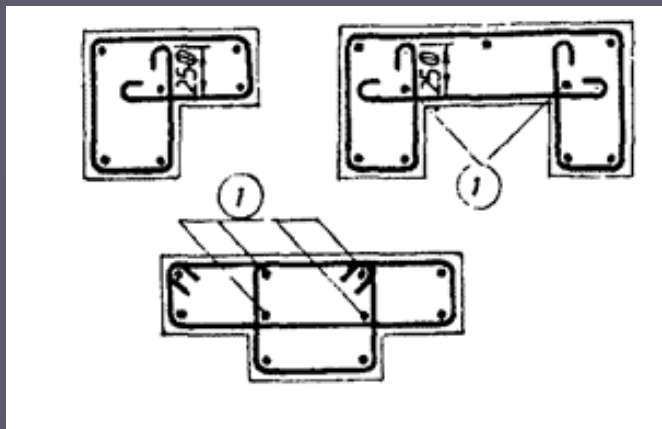
Armatura stubova, ako se ne zavaruje, vodi se kroz dva sprata, čime se nastavlja na preklop 50% armature na svakom spratu.



Utezanje podužne armature stubova uzengijama



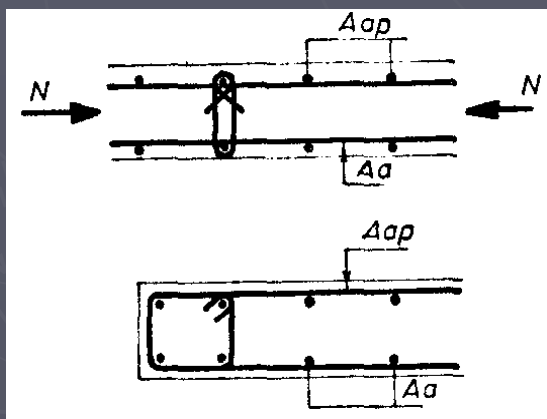
Ako su stubovi jako armirani armatura se može grupisati u uglovima



Ako su presjeci stubova razučeni, uzengija na konkavnoj strani mora se prekinuti i usidriti u stub. Usidrenje se računa od presjeka uzengija i iznosi 25 prečnika šipke uzengije. Ako nema mjesta za usidrenja, treba izvesti dvojne uzengije u istom presjeku stuba.

Ako na mjestima ukrštanja krajeva uzengija nije potrebna statička armatura, zavisno od debljine profila glavne armature postavljaju se montažne šipke prečnika 6, 8 ili 10 mm.

Montažne šipke kod stubova razučenih presjeka



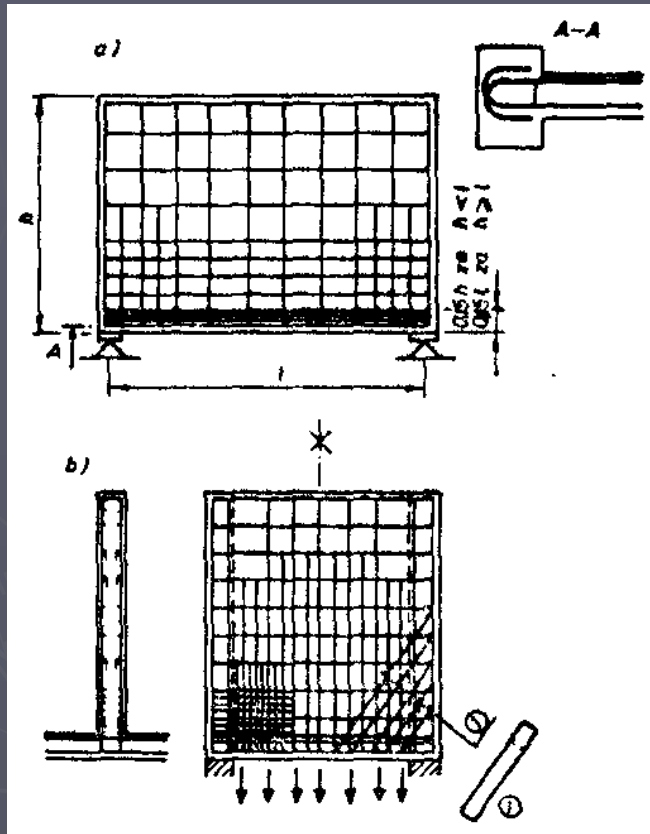
Vertikalno armiranje zidova, u seizmički aktivnim područjima, vrši se mekom armaturom ili u kombinaciji zavarenih mreža i meke armature.

Na krajevima vrši se grupisanje armature na dužini od 1/10 presjeka zida. Količina armature na svakom kraju zida ne smije biti manja od 0.15% od ukupne površine zida. Srednji dio može se armirati mrežama sa minimalnim procentom armiranja od 0.15% ukupne površine zida.

Armatura u AB zidovima

Ukupna vertikalna armatura (krajevi+sredina) ne smije biti manja od 0.45% površine zida. Presjek horizontalne armature ne smije biti manji od 0.20% površine vertikalnog presjeka zida.

Zidni nosači nisu zidovi to su visoke grede



Zidni nosači su ravni površinski nosači opterećeni u srednjoj ravni čija je visina jednaka ili veća od polovine raspona za nosače na dva slobodna oslonca, a jednaka ili veća od 0,4 raspona za kontinualne nosače.

Zidni nosači proračunavaju se kao površinski nosači napregnuti u srednjoj ravni.

Pri projektovanju i izvođenju kontinualnih zidnih nosača mora se obezbjediti da ne dođe do nejednakog slijeganja oslonaca. Minimalna debljina zidnog nosača ne može biti manja od 10 cm.

Zidni nosač

Centrično pritisnuti elementi

Stanje centričnog pritiska karakteristično je za AB stubove i zidove. U zavisnosti od dimenzija poprečnog presjeka i dužine izvijanja stuba, definiše se parametar vitkosti stuba λ . Dimenzionisanje, odnosno dokaz granične nosivosti, vrši se za određene vitkosti uvođenjem efekta izvijanja. Za vitkosti manje od 25 proračun se sprovodi bez uticaja izvijanja. Za vitkosti $25 \leq \lambda \leq 75$, stubovi se tretiraju kao umjereno vitki i u tom slučaju se primjenjuje približan proračun. Kada je vitkost u granicama $75 < \lambda \leq 140$ stubovi se smatraju izrazito vitkim i za njihovo dimenzionisanje treba koristiti tačnije postupke proračuna.

Vitkost stubova veća od 140 nije dopuštena. Samo u prolaznim fazama montaže dopuštena je maksimalna vitkost 200.

4.9.5. Kriterijumi kada nije neophodno uvođenje efekata vitkosti u proračun granične nosivosti
- PBAB 87, član 105

$$\lambda_i < 25$$

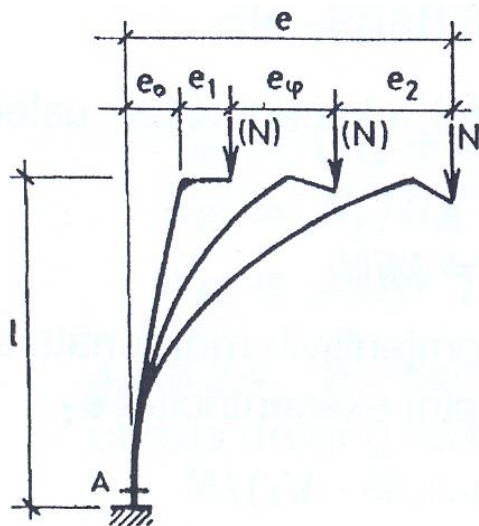
$$e_1/d \geq 3,5 \quad \text{za } \lambda_i \leq 75$$

$$e_1/d \geq 3,5 \cdot \lambda_i/75 \quad \text{za } \lambda_i > 75$$



Proračun vitkih stubova se svodi na određivanje dodatne ekcentričnosti normalne sile, koja može nastati usljed:

- netačnosti pri izvođenju e_0 , odnosno odstupanju ose stuba od projektovanog položaja,
- povećanja deformacija ose stuba izazvanih vremenskim deformacijama betona e_ϕ ,
- uticaja koje izaziva normalna sila pritiska pri pomeranjima usled poprečnih deformacija stuba e_2 (efekat drugog reda),



$$e_1 = M/N$$

Parcijalni ekscentriciteti
normalne sile

Uzimajući u obzir ove efekte, dokaz granične nosivosti elemenata vrši se sa uticajima $M=N \times e$, gdje je ukupni ekcentricitet normalne sile:

$$e = e_0 + e_1 + e_\varphi + e_2$$

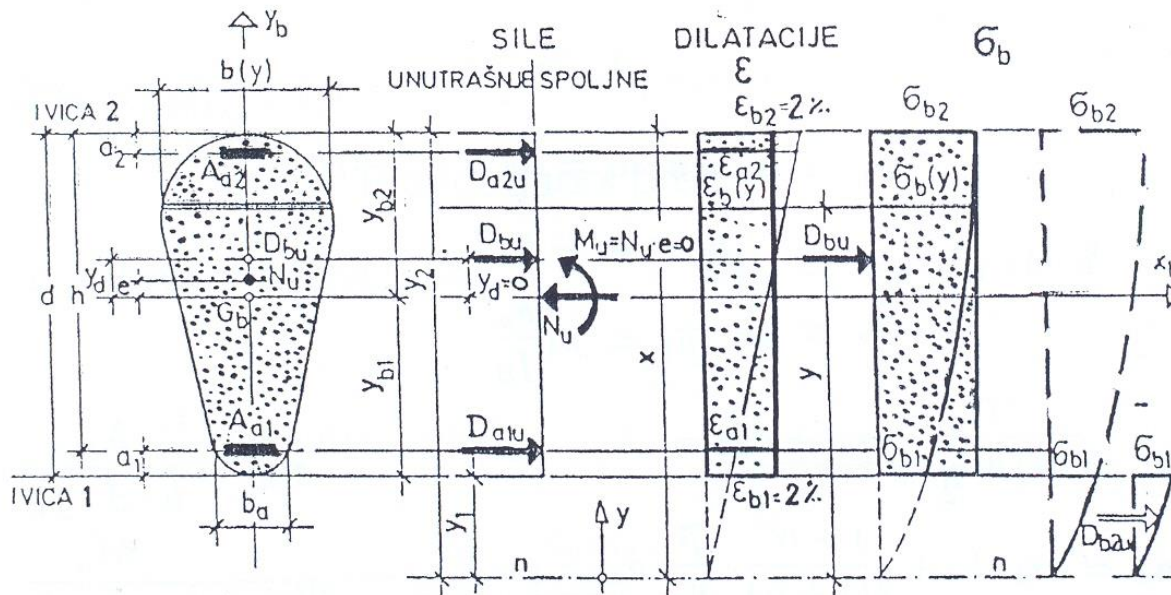
Iz prethodnog izraza se vidi da sile u presjecima zavise od deformacija, pa je problem geometrijski nelinearan. Kod tačnijih proračuna uvodi se i veza spoljašnjih sila i deformacija u presjeku, koja je za uticaje M i N nelinearna, pa cio problem postaje materijalno nelinearan.

Proračun centrično pritisnutih elemenata prema graničnoj nosivosti, kada vitkost elementa λ ne prelazi vrijednost 25, vrši se tako što se u nosivost presjeka uključuje nosivost betonskog dijela presjeka i nosivost ukupne armature. Granična nosivost za slučaj centričnog pritiska dostiže se pri dilatacijama u betonu, odnosno u armaturi.

$$\epsilon_b = \epsilon_a = 2\text{‰}$$

Pri čemu se smatra da ni u graničnom stanju nije narušena veza između armature i betona.

4.6.2. Centrični pritisak (bez uticaja izvijanja)



$$\epsilon_{b1} = \epsilon_{b2} = 2 \text{ ‰}$$

4.6.2.1. Uslov ravnoteže

$$\Sigma N = 0 \quad D_{bu} + D_{a1u} + D_{a2u} - N_u = 0$$

$$D_{bu} = \alpha_d \cdot f_B \cdot b \cdot d = \alpha_d \cdot f_B \cdot A_b \quad D_a = A_a \cdot \sigma_{au}$$

$$A_a = A_{a1} + A_{a2} = \bar{\mu} \cdot A_b \quad \bar{\mu} = \bar{\mu}_1 + \bar{\mu}_2 \quad \bar{\mu} = \mu \cdot n^*$$

$$N_u = \alpha_d \cdot f_B \cdot A_b \cdot (1 + n^* \mu) \quad n^* = \frac{\sigma_{au}}{\alpha_d f_B}$$

$$\alpha_d = \frac{1}{189} (125 + 64 \epsilon_{b2} - 16 \epsilon_{b2}^2) = 1$$

$$N_u = f_B A_b (1 + \bar{\mu}) \quad \bar{\mu} = \mu \cdot n^* = \mu \frac{\sigma_{au}}{1,0 \cdot f_B} = \mu \cdot \sigma_v / f_b$$

Iz uslova ravnoteže spoljašnje granične sile loma N_u i unutrašnjih sila pri dostizanju konvencionalne granice loma, dobija se relacija.

$$N_u = A_b f_B + A_a \sigma_q$$

Gdje je $\sigma_q = \sigma_v$

Izraz možemo napisati u obliku:

$$N_u = A_b f_B \left(1 + \frac{A_a}{A_b} \frac{\sigma_v}{f_B} \right)$$

ili konačno:

$$N_u = A_b f_B (1 + \bar{\mu}_0)$$

$$\bar{\mu}_0 = \frac{A_a}{A_b} \frac{\sigma_v}{f_B} = \mu_0 \frac{\sigma_v}{f_B}$$

$$N_u = \sum \gamma_{ui} N_i = 1.9 N_g + 2.1 N_p \quad (7.9)$$

određuju se dimenzije poprečnog preseka, usvajajući minimalni procenat armiranja $\mu_{\min} = 0.6\%$. Ovaj procenat se odnosi na slučaj kada je dostignuta puna nosivost betonskog dela preseka, odnosno kada je $\sigma_b = f_B$. Pri tome minimalna količina armature mora da obezbedi određenu duktilnost ("žilavost") betona.

Međutim, ukoliko je $\sigma_b < f_B$, procenat armiranja se može smanjiti najviše na vrednost $\mu_{\min} = 0.3\%$ u odnosu na stvarnu površinu betonskog dela poprečnog preseka.

Primjer:

Armiranobetonski stub, slobodno oslonjen na obje strane, visine $h = 3.0$ m, kvadratnog poprečnog presjeka, centrično je pritisnut silom

$N_g = 1000$ kN i $N_p = 1200$ kN, dimenzionisati stub ne uzimajući u obzir vitkost.
Kvalitet usvojenog materijala: MB 30 RA 400/500

Rješenje:

1. Statički sistem



2. Statički uticaji

Cio presjek je pritisnut, $\varepsilon_a < 0\text{‰}$, pa su koeficijenti sigurnosti $\gamma_g = 1.9$ i $\gamma_p = 2.1$.

$$N_u = 1.9 \cdot N_g + 2.1 \cdot N_p = 1.9 \cdot 1000 + 2.1 \cdot 1200 = 4420 \text{ kN}$$

3. Dimenzionisanje

Usvojeno

$$\min \mu = 0.6\%$$

$$N_u = A_b f_B \left(1 + \frac{A_a}{A_b} \frac{\sigma_v}{f_B} \right)$$

$$\bar{\mu} = \mu \cdot \frac{\sigma_v}{f_b} = 0.6 \cdot \frac{400}{20.5} = 11.71\%$$

$$A_b = \frac{N_u}{f_b \cdot (1 + \bar{\mu})} = \frac{4420}{2.05 \cdot \left(1 + \frac{11.71}{100} \right)} = 1930.1 \text{ cm}^2$$

$$b = \sqrt{A_b} = 43.9 \text{ cm} \Rightarrow \text{usvojeno } b = 45 \text{ cm}$$

5. Kontrola vitkosti

$$h=l=3.0 \text{ m}$$

$$i = \frac{b}{\sqrt{12}} = \frac{45}{\sqrt{12}} = 13 \text{ cm}$$

$$\lambda = \frac{h}{i} = \frac{300}{13} = 23.1 < 25$$

Ne vrši se provjera stabilnosti na uticaje izvijanja
(član 105 PBAB'87 knjiga 2)

6. Određivanje armature

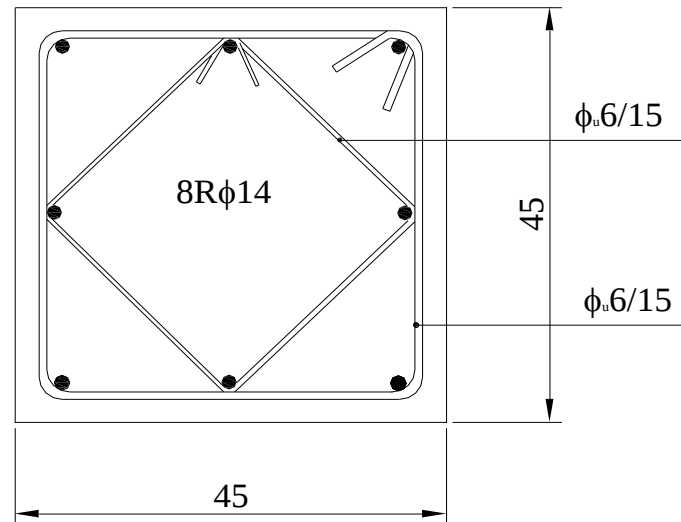
$$\bar{\mu} = \frac{N_u}{f_b \cdot A_b} - 1 = \frac{4420}{2.05 \cdot 45^2} - 1 = 0.0647 = 6.47\%$$

$$\mu = \bar{\mu} \cdot \frac{f_b}{\sigma_v} = 6.47 \cdot \frac{2.05}{40} = 0.33\%$$

$$\mu_{\min} = 0.3 \cdot \left(1 + \frac{\sigma_b}{f_b} \right) = 0.3 \cdot \left(1 + \frac{\frac{4420}{45 \cdot 45}}{2.05} \right) = 0.619\% > 0.33\%$$

$$A_a = \frac{0.619}{100} \cdot 45 \cdot 45 = 12.54 \text{ cm}^2$$

Usvaja se : 8R ϕ 14 (12.32 cm²)



Proračun vitkih elemenata prema graničnoj nosivosti

Pritisnuti armiranobetonski elementi i konstrukcije moraju biti provjereni na izvijanje zavisno od vitkosti, odnosno mora se dokazati stabilan ravnotežni položaj spoljašnjih i unutrašnjih sila kad se uzmu u obzir i deformacije elementa (efekti teorije II reda).

Za prizmatične elemente armiranobetonskih konstrukcija vitkost λ_i određuje se prema izrazu

$$\lambda_i = \frac{h_i}{i_b}$$

Gdje su:

h_i - efektivna dužina izvijanja;

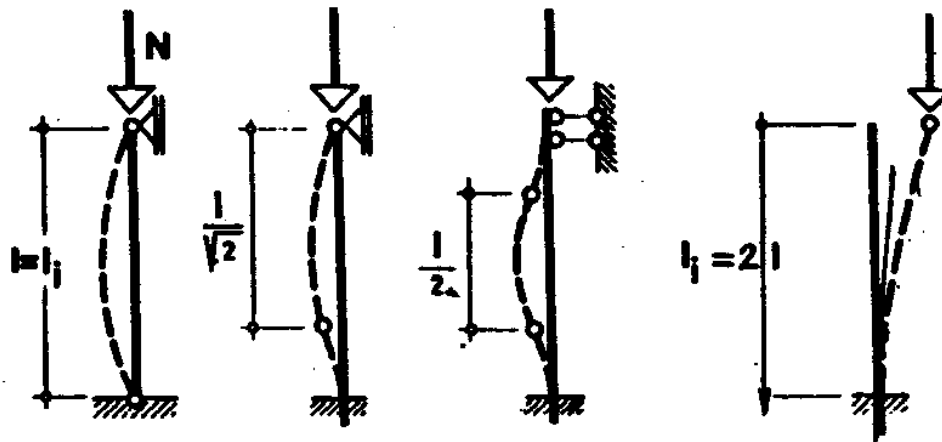
i_b - poluprečnik inercije betonskog djela poprečnog preseka za osu oko koje se presjek obrće prilikom izvijanja ili savijanja. On se određuje prema izrazu

$$i_b = \sqrt{\frac{I_b}{A_b}}$$

gde su I_b i A_b odgovarajući moment inercije i površina homogenog betonskog djela poprečnog presjeka (ne uzimajući u obzir prsline).

$$\lambda_i = \frac{l_i}{i_{\min}} \quad ; \quad i_{\min} = \sqrt{\frac{I_{\min}}{A_b}}$$

- l_i - dužina izvijanja elementa, koja zavisi od veze elemenata u statičkom sistemu, slika 6.3, i geometrijske dužine stuba l
- $i_{\min}$ - najmanji poluprečnik inercije elementa u odnosu na osu oko koje se vrši izvijanje,
- $I_{\min}$ - moment inercije poprečnog preseka elementa u odnosu na osu oko koje se vrši izvijanje.



Slika 6.3 Dužine izvijanja elemenata - Ojlerovi slučajevi

Provjera stabilnosti od uticaja izvijanja ne vrši se u slučaju ako je

$$\lambda_1 \leq 25$$

$$e/d \geq 3,5 \quad \text{za } \lambda_1 \leq 75$$

$$e/d \geq 3,5 \quad \lambda_1/75 \quad \text{za } \lambda_1 > 75$$

$$\lambda_1 \leq 50 - 25 \frac{M_1}{M_2}$$

gde su:

M_1 i M_2 momenti na krajevima elementa sračunati po teoriji prvog reda, pri čemu je $|M_2| > |M_1|$;

e - ekscentricitet normalne sile sračunat po teoriji I reda za elastičan sistem

$e=e_1=M/N$;

d - odgovarajuća visina poprečnog preseka.

U slučajevima koji nisu obuhvaćeni gornjim izrazima mora se vršiti provjera stabilnosti od uticaja izvijanja (efekti teorije II reda), za najnepovoljnije moguće kombinacije spoljnih opterećenja, uzimajući u obzir i uticaje tečenja betona i geometrijske netačnosti, dok se efekti skupljanja mogu zanemariti.

Za vitkost $25 < \lambda_i \leq 75$ provjera stabilnosti može se vršiti približnim postupcima (metoda zamenjujućeg štapa ili dopunske ekscentričnosti).

4.9.6.2.3. Ekscentricitet normalne sile usled tečenja betona - e_φ

a. Uslov pri kome je moguće zanemarenje efekata tečenja betona na ekscentricitet normalne sile - PBAB 87, član 106

$$\lambda_i \leq 50$$

$$e_1/d > 2$$

$$N_g \leq 0,2 \cdot N_q$$

gde je N_g normalna sila od stalnog, a N_q normalna sila od ukupnog opterećenja.

Efekti tečenja uzimaju se u proračun u svim slučajevima, koji nisu obuhvaćeni gornjim izrazom, uvođenjem dodatne ekscentričnosti, prema izrazu

$$e_\varphi = (e_g + e_o) \left(e^{\frac{\alpha_E}{1-\alpha_E} \varphi} - 1 \right)$$

$$\lambda_E = \frac{N_g}{N_E}; \quad N_E = E I_d \frac{\pi^2}{h_l^2}; \quad I_d = I_b + \frac{E_a}{E_b} I_a$$

gde su:

I_{id} - idealizovani momenat inercije;

e_g - ekscentričnost normalne sile od stalnog opterećenja (N_g);

e_o - ekscentričnost usled netačnosti pri izvođenju,

Netačnosti pri izvođenju (odstupanja od vertikale) moraju se uzeti u obzir i pri tačnom i pri približnom proračunu.

Uticaj netačnosti izvođenja uvodi se preko početne ekscentričnosti,

gde je

$e_0 = l_i/300$, koja ne može biti manja od 2 cm niti veća od 10 cm, gde je l_i sistemna dužina elementa.



Primjer:

Armiranobetonski stub, slobodno oslonjen na obje strane, visine $h = 3.0$ m, kvadratnog poprečnog presjeka dimenzija 45×45 cm, centrično je pritisnut silom $N_g = 1000$ kN i $N_p = 1200$ kN. Orediti potrebnu armaturu za slučaj vitkosti $\lambda = 60$.

Kvalitet usvojenog materijala: MB 30 RA 400/500

Rješenje:

Umjereno vitak stub ($25 \leq \lambda \leq 75$)

$\lambda = 60$ i $h = 7.8$ m

$e = e_0 + e_1 + e_\phi + e_2$

e – ukupna ekcentričnost

e_0 – ekcentričnost usljed udstupanja od vertikale pri izvođenju

$e_1 - e_1 = N/M$

e_ϕ – ekcentričnost usljed uticaja tečenja

e_2 – ekcentričnost koju izaziva sila pritiska usled deformacija stuba, uticaji drugog reda

b.1.2. Metoda dopunske ekcentričnosti za $25 \leq \lambda_i \leq 75$, važi za $\lambda=60$

$$e_0 = \frac{h_i}{300} = \frac{780}{300} = 2.6 \text{ cm, treba da važi } 2 \text{ cm} \leq e_0 \leq 10 \text{ cm}$$

$$e_1 \quad M=0, \text{ pa je } e_1=0$$

e_φ Efekti tečenja mogu biti zanemareni ako je ispunjen jedan od sljedećih uslova

$\lambda_i \leq 50$	$\lambda_i = 60$	$\left. \begin{array}{l} \text{nije} \\ \text{nije} \\ \text{nije} \end{array} \right\} \text{ tečenje se ne može zanemariti}$
$e_1/d > 2$	$e_1/d = 0$	
$N_g \leq 0.2 N_q \quad 1000 > 0.2 \times (1000 + 1200) = 440$		

$$e_\varphi = (e_{1g} + e_0) \cdot \left(e^{\frac{\alpha_E}{1-\alpha_E} \varphi} - 1 \right), \quad \alpha_E = \frac{N_g}{N_E}$$

$$N_E = \frac{E_b I_b \pi^2}{h_i^2} \quad \text{Ojlerova sila izvijanja}$$

$$N_E = \frac{3150 \cdot \frac{45^4}{12} \cdot \pi^2}{780^2} = 17462 \text{ kN}; \quad N_g = 1000 \text{ kN}; \quad \alpha_E = \frac{1000}{17462} = 0.057$$

Za MB 30 $E_b = 31500 \text{ MPa}$

$$\varphi_\infty = 2.5$$

PBAB '87, član 52, tabela 8.

PBAB '87, član 59, tabela 11.

$$e_\varphi = 2.6 \cdot \left(e^{\frac{0.057}{1-0.057} \cdot 2.5} - 1 \right) = 0.42 \text{ cm}$$

e₂ Postupak dopunske ekcentričnosti za $\lambda_i \leq 75$

$$\frac{e_2}{d} = \frac{\lambda_i - 25}{100} \cdot \sqrt{0.10 + \frac{e_1}{d}} \geq 0 \text{ kada je } 0 \leq \frac{e_1}{d} \leq 0.30$$

$$\frac{e_2}{d} = \frac{\lambda_i - 25}{160} \geq 0 \text{ kada je } 0.3 \leq \frac{e_1}{d} < 2.5$$

$$\frac{e_2}{d} = \frac{\lambda_i - 25}{160} \cdot \left(3.5 - \frac{e_1}{d} \right) \text{ kada je } 2.5 \leq \frac{e_1}{d} < 3.5$$

$$e_1 = 0, \text{ pa je } e_2 = \frac{\lambda_i - 25}{100} \cdot \sqrt{0.10} \cdot d = \frac{60 - 25}{100} \cdot \sqrt{0.10} \cdot 45 = 4.98$$

$$e = e_0 + e_1 + e_\varphi + e_2 = 2.6 + 0 + 0.42 + 4.98 = 8 \text{ cm}$$

b.1.3. Statički uticaji

$$N_u = 4420 \text{ kN}$$

$$M_u = e \cdot N_u = 0.08 \cdot 4420 = 353.6 \text{ kNm}$$

b.1.4. Dimenzionisanje

$$\left. \begin{aligned} m_u &= \frac{M_u \cdot 100}{b \cdot d^2 \cdot f_b} = \frac{353.6 \cdot 100}{45^3 \cdot 2.05} = 0.189 \\ n_u &= \frac{N_u}{b \cdot d \cdot f_b} = \frac{4420}{45^2 \cdot 2.05} = 1.065 \end{aligned} \right\} \begin{aligned} A_{a1} &= A_{a2}; a/d = 0.1; R_A \\ \bar{\mu}_1 &= \bar{\mu}_2 = 0.26 \end{aligned}$$

$$A_{a1} = A_{a2} = \bar{\mu} \cdot b \cdot d \cdot \frac{f_b}{\sigma_v} = 0.26 \cdot 45 \cdot 45 \cdot \frac{2.05}{40} = 26.98 \text{ cm}^2, \quad \text{pa je } A_a = 53.98 \text{ cm}^2$$

Usvaja se: 4R ϕ 28+4R ϕ 32 (56.8 cm²)

