

KARAKTERISTIČNA ČVRSTOĆA ZIDA NA ZATEZANJE – mehanizam loma usljed nastanka kose pukotine

U Nacionalnom aneksu standarda MEST EN 1966-1-1:2017/NA, u Aneksu B „Posebne odredbe za proračun zidanih konstrukcija u Crnoj Gori“ definisan je proračun karakteristična čvrstoća zida na zatezanje (lom stvaranjem kose pukotine).

Predviđeno je da se karakteristična čvrstoća na zatezanje (pravac dejstva glavnih napona u zidu) provjerava pri proračunu seizmičke otpornosti zidanog objekta.

Karakteristična čvrstoća na zatezanje može se odrediti na sljedeće načine:

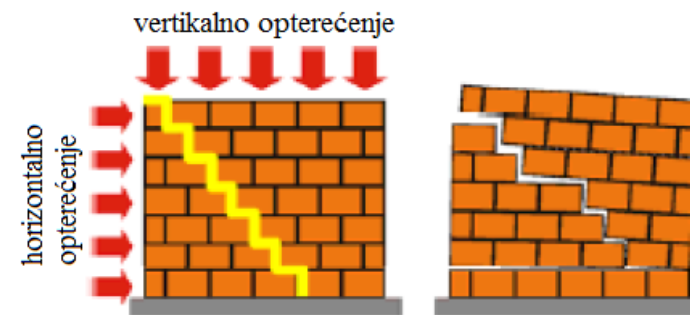
- u skladu sa odgovarajućim izrazima
- u skladu sa rezultatima ispitivanja za određeni pr
- iz baze podataka ranije sprovedenih ispitivanja.

$$H_{Rd} = \tau_{Rd} \cdot A_w$$

$$f_t = -\frac{\sigma_0}{2} + \sqrt{(1.5 * \tau_R)^2 + \left(\frac{\sigma_0}{2}\right)^2}$$

$$\sigma_0 = N_d / A_w$$

$$\tau_R = H_u / A_w$$



Gdje je:

σ_0 normalni napon u zidu za odgovarajuću proračunsku situaciju,

N_d proračunska vrijednost vertikalne sile, (uz $\gamma_s=1,0$ i $\gamma_Q=0$ iz standarda MEST EN 1966-1-1:2017/NA)

H_u granična horizontalna sila u trenutku loma

A_w površina poprečnog presjeka zida $A_w=lxt$

Transformacijom izraza dobija se granična vrijednost smičućeg napona: $\tau_R = \frac{f_t}{1,5} \cdot [1 + (\sigma_0/f_t)]^{0,5}$

Ako se iz više pojedinačnih ispitivanja iz vrijednosti f_t statističkom obradom podataka ili inženjerskom procjenom utvrdi karakteristična vrijednost čvrstoće na zatezanje f_{tk} , tada je **proračunska vrijednost smičuće otpornosti zida**:

$$\tau_{Rd} = \frac{f_{tk}}{1,5 \cdot \gamma_M} \cdot [1 + (\sigma_0 \cdot \gamma_M / f_{tk})]^{0,5}$$

Proračunska nosivost na horizontalnu silu:

$$H_{Rd} = \tau_{Rd} \cdot A_w$$

Proračunska vrijednost čvrstoće zida na zatezanje:

$$f_{td} = f_{tk} / \gamma_M$$

γ_M parcijalni koeficijent za materijal

- za stalne i prolazne proračunske situacije iz tabele u zavisnosti od kategorije materijal i klase izvođenja,
- za incidentne i seizmičke proračunske situacije: $\gamma_M = (2/3) \times \gamma_M$ ali ne manje od 1,5 (u skladu sa tačkom 9.6 standarda MEST EN 1998-1).

Red.br.	Opis zidnog elementa	Čvrstoća na pritisak elementa za zidanje f [N/mm ²]	Čvrstoća na pritisak maltera f_m [N/mm ²]	Karakteristična čvrstoća na zatezanje zida f_{tk} [N/mm ²]
1	Puni element za zidanje od opeke 250x120x65mm	10	2,5	0,15
2	Šuplji element za zidanje od opeke 190x250x250mm	15	2,5	0,10
3	Šuplji element za zidanje od opeke 190x250x250mm	15	5	0,15
4	Šuplji element za zidanje od opeke 190x300x238mm	10	10	0,25
5	Betonski blok	10	5	0,23
6	Beton sa porama, tankoslojni malter	>2	10	0,08
7	Prirodni kamen, grubo klesan, $t \geq 450$ mm	>30	5	0,25

Karakteristična čvrstoća zida na zatezanje, tablica iz standarda MEST EN 1966-1-1:2017/NA

PRIMJER: Zid dužine 3,0m i debljine 19 cm, zidan modularnim blokom dimenzija 19x25x25, MO 15, I kategorije kvaliteta. Malter je marke MM5, projektovanih svojstava. Klasa izvođenja radova 2 (Izvođač ugrađuje samo materijale koji imaju potvrdu o usaglašenosti proizvoda. Investitor mora obezbijediti vršenje nadzora na objektu).

Zid je izložen je dejstvu vertikalne sile pritiska od stalnog opterećenja $N_G=380\text{kN}$ i od povrmenog opterećenja $N_p=150\text{kN}$. Na zid djeluje horizontalna sila $H=120\text{kN}$, koja je posljedica seizmičke proračunske situacije. Sve sile djeluju u donjoj ivici zida.

Odrediti da li zadovoljana nosivost zida pri zatezanju.

Rješenje:

$$H_{Rd} = \tau_{Rd} \cdot A_w \quad \tau_{Rd} = \frac{f_{tk}}{1,5 \cdot \gamma_M} \cdot [1 + (\sigma_0 \cdot \gamma_M / f_{tk})]^{0,5} \quad \sigma_0 = N_d / A_w$$

$$N_d = 1,0 \times N_G + 0,0 \times N_Q = 1,0 \times 380 + 0,0 \times 150 = 380 \text{ kN}$$

$$\sigma_0 = \frac{N_d}{A_w} = \frac{380}{300 \times 19} = 0,07 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 0,7 \text{ MPa}$$

$$\gamma_M = \frac{2}{3} \times 2,0 = 1,33 \leq 1,5$$

Usvaja se da je koeficijent za materijale 1.5.

Materijal		γ_m				
		Klasa				
		1		2		3
A	Elementi kategorije I i sa malterom projektovanih svojstva	1,5		2,0		2,5
B	Elementi kategorije I i sa malterom projektovanog sastava	1,7		2,2		2,7
C	Elementi kategorije II sa bilo kojim malterom	2,0		2,5		3,0

Red.br.	Opis zidnog elementa	Čvrstoća na pritisak elementa za zidanje f [N/mm ²]	Čvrstoća na pritisak maltera f_m [N/mm ²]	Karakteristična čvrstoća na zatezanje zida f_{tk} [N/mm ²]
1	Puni element za zidanje od opeke 250x120x65mm	10	2,5	0,15
2	Šuplji element za zidanje od opeke 190x250x250mm	15	2,5	0,10
3	Šuplji element za zidanje od opeke 190x250x250mm	15	5	0,15
4	Šuplji element za zidanje od opeke 190x300x238mm	10	10	0,25
5	Betonski blok	10	5	0,23
6	Beton sa porama, tankoslojni malter	>2	10	0,08
7	Prirodni kamen, grubo klesan, $t \geq 450$ mm	>30	5	0,25


 $f_{tk} = 0,15 \text{ MPa}$

$$\tau_{Rd} = \frac{f_{tk}}{1,5 \cdot \gamma_M} \cdot [1 + (\sigma_0 \cdot \gamma_M / f_{tk})]^{0,5}$$

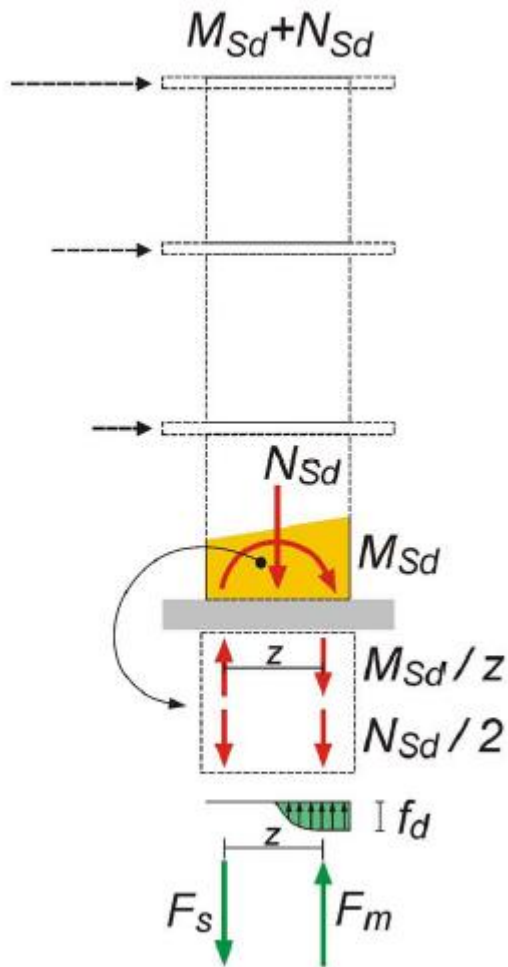
$$\tau_{Rd} = \frac{0,15}{1,5 \times 1,5} \times [1 + (0,7 \times 1,5 / 0,15)]^{0,5} = 0,19 \text{ MPa}$$

$$H_{Rd} = 0,019 \times 300 \times 19 = 107,48 \text{ kN}$$

Proračunska nosivost na horizontalnu silu iznosi 107.48 kN, što je manje od horizontalne sile za seizmičku situaciju, što znači da **nosivost na zatezanje zida debljine 19 cm nije zadovoljena.**

Ako bi zid bio debljine 25cm, u njemu bi imali normalni pritisak od $\sigma_0 = \frac{N_d}{A_w} = \frac{380}{300 \times 25} = 0,05 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 0,5 \text{ Mpa}$ i proračunsku smičuću nosivost od $\tau_{Rd} = \frac{0,15}{1,5 \times 1,5} \times [1 + (0,5 \times 1,5 / 0,15)]^{0,5} = 0,16 \text{ Mpa}$.

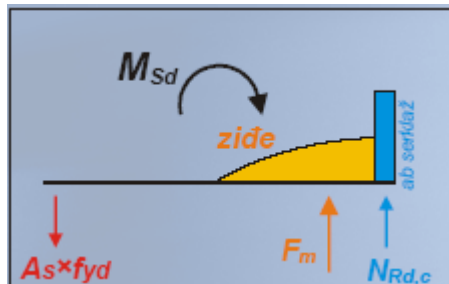
Proračunska nosivost na horizontalnu silu iznosi 122.47 kN, što je veće od horizontalne sile za seizmičku situaciju, što znači da **nosivost na zatezanje zida debljine 25 cm bi bila zadovoljena.**

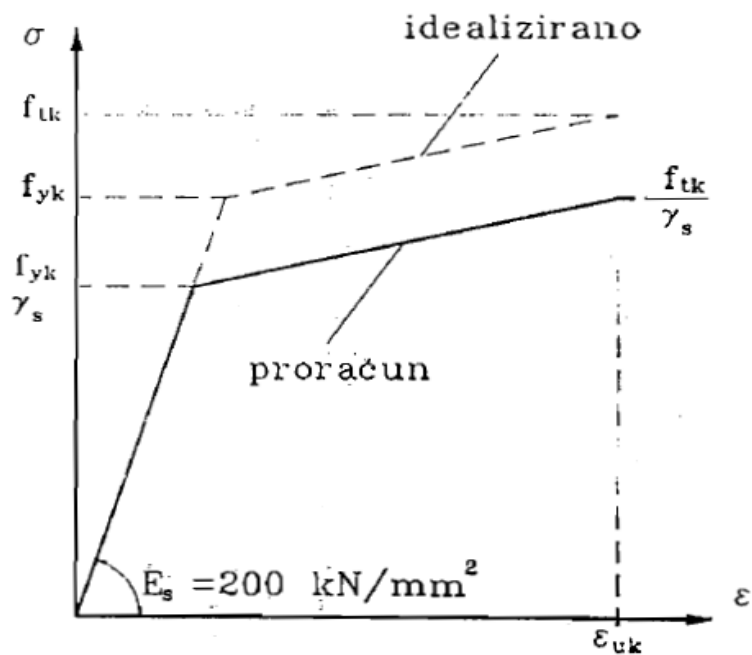


Horizontalno dejstvo u ravni zida **SAVIJANJE sa i bez aksijalne sile**

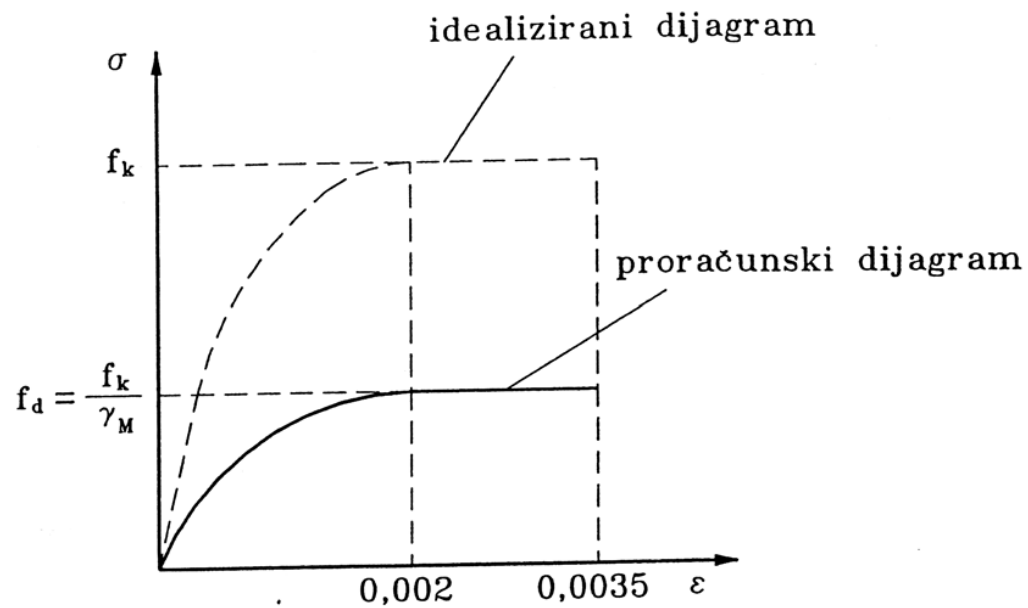
Proračun treba je zasnovan na sljedećim pretpostavkama:

- ravni presjeci ostaju ravni
- armatura ima iste dilatacija kao i okolni dio zida
- čvrstoća zida na zatezanje jednaka je nuli
- maksimalna dilatacija pritiska zida odgovara mehaničkim karakteristikama zida
- maksimalna dilatacija zategnute armature odgovara mehaničkim karakteristikama armature
- veza između napona i dilatacije armature uzima se da je bilinearna
- za poprečne presjeke koji nisu potpuno pritisnuti, granična dilatacija nije veća za elemente Grupe 1 od 0.0035, niti veća od 0.002 za elemente Grupa 2, 3 i 4.

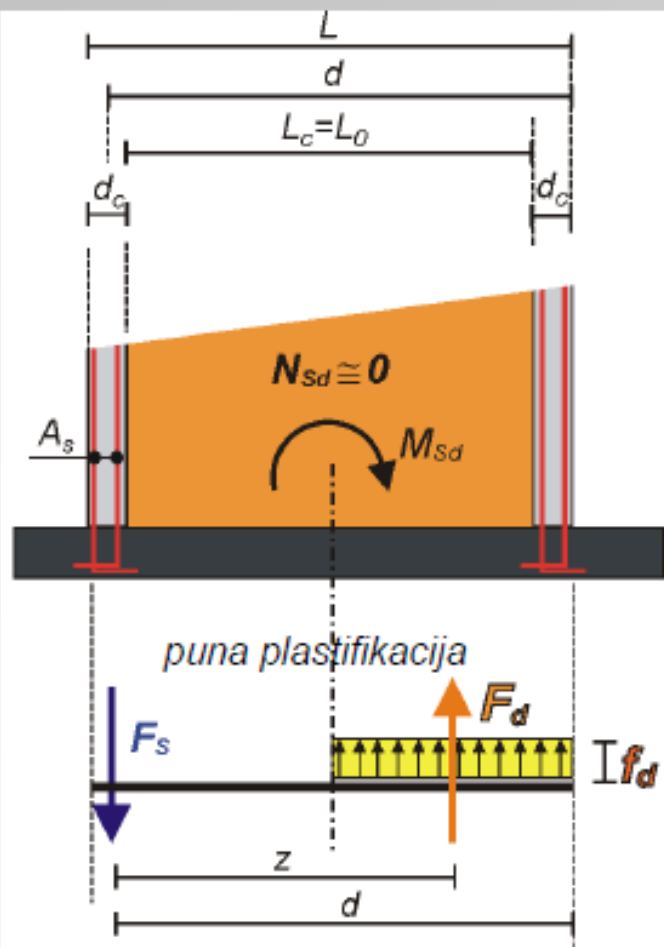




Armatura, dijagram napon-dilatacija



Zidarija, proračunski dijagram naprezanje-deformacija



$$\frac{N_{Sd}}{t \cdot L} < 0.3 f_d = \text{ČISTO SAVIJANJE}$$

$$\Sigma M = 0 \rightarrow F_s \cdot d - F_d (d - z) = 0$$

$$F_s = A_s \cdot f_y \quad ; \quad F_d = f_d \cdot t \cdot \frac{d}{2}$$

$$z = d \left(1 - 0.5 \frac{A_s \cdot f_y}{f_d \cdot t \cdot d} \right) \leq 0.95d$$

$$M_{Rd} = \min \begin{cases} A_s \cdot f_{yd} \cdot z \\ \alpha \cdot f_d \cdot t \cdot d^2 \end{cases}$$

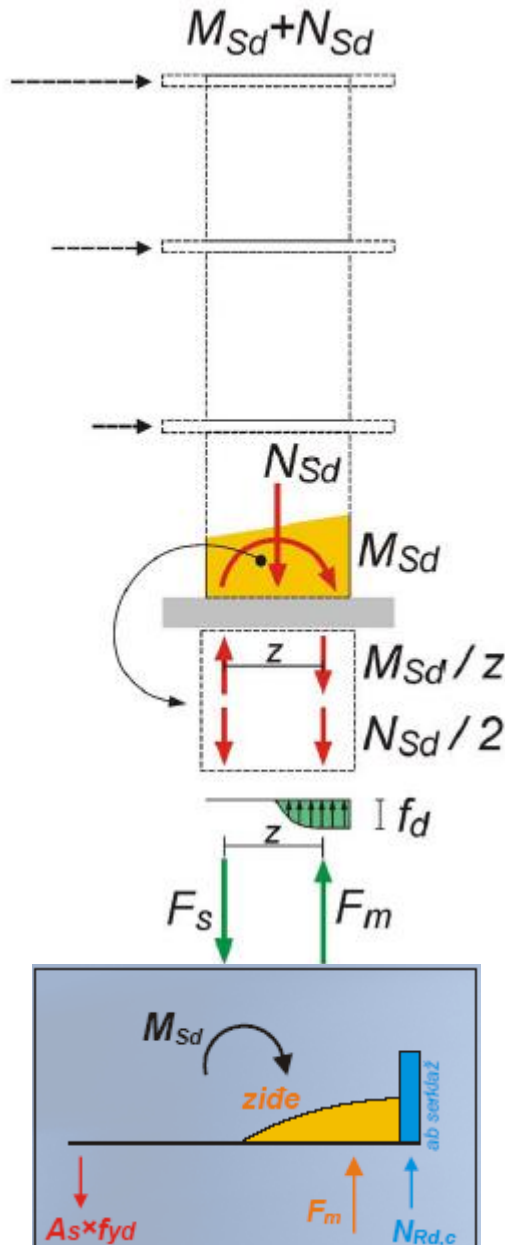
$$\alpha = 0.4 \quad \text{za Grupu 1}$$

$$\alpha = 0.3 \quad \text{za Grupu 2, 3, 4}$$

Odabrano: A_s [cm²]

Potrebno je dokazati da je:

$$M_{Sd} < M_{Rd}$$



Pri verifikaciji uokvirenih zidova koji su izloženi savijanju i/ili akcijalnom opterećenju **usvajaju se pretpostavke koje važe za armirane zidove.**

Proračunska vrijednost momenta otpornosti na savijanje zasniva se samo na čvrstoći zida. Pritisnuta armatura se zanemaruje.

U slučaju jednostruko armiranog pravougaonog poprečnog presjeka koji je izložen samo savijanju, proračunska vrijednost **momenta nosivosti**, M_{Rd} , data je izrazom:

$$M_{rd} = A_s f_{yd} z$$

Gdje je:

A_s - površina poprečnog presjeka zategnute armature

f_{yd} - proračunska vrijednost granice tečenja čelika za armiranje

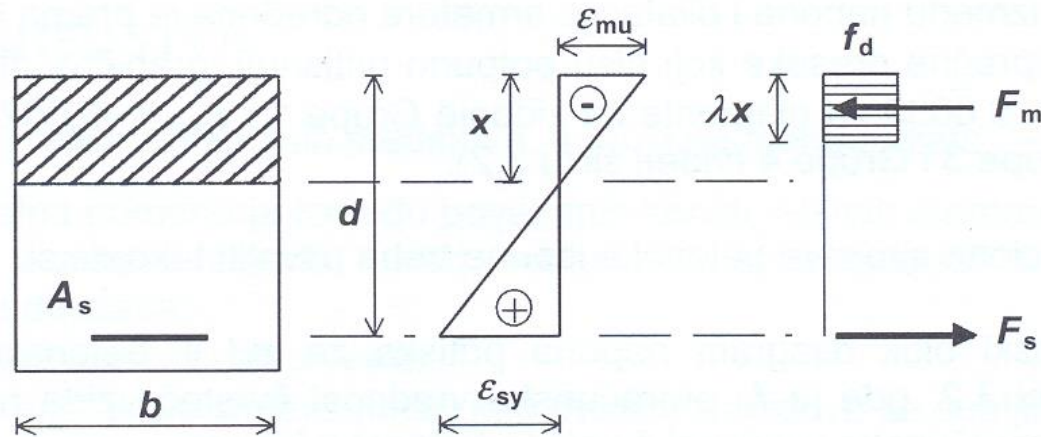
z - krak unutrašnjih sila

$$z = d \left(1 - 0,5 \frac{A_s f_{yd}}{b d f_d} \right) \leq 0,95d, \quad (6.23)$$

gde je:

- b** širina preseka;
- d** efektivna visina preseka;
- A_s** površina poprečnog preseka zategnute armature;
- f_d** proračunska vrednost čvrstoće na pritisak zida u pravcu opterećenja, dobijena prema 2.4.1 i 3.6.1, ili čvrstoća betonske ispune, dobijena prema 2.4.1 i 3.3 (merodavna je manja vrednost);
- f_{yd}** proračunska vrednost čvrstoće čelika za armiranje.

Napomena: Za specijalan slučaj armiranih konzolnih zidova izloženih savijanju, pogledati dole navedenu odredbu (5).



Pri izračunavanju vrijednosti momenta nosivosti, M_{Rd} , armiranih zidanih elemenata izloženih savijanju, proračunska čvrstoća na pritisak, f_d , može se uzeti kao konstantna preko visine pritisnute zone presjeka, λ_x , kada proračunska vrijednost momenta nosivosti, M_{Rdf} , pri pritisku, nije veća od:

- za elemente za zidanje grupe 1, osim za betonske elemente sa lakim agregatom : $M_{Rd} \leq 0,4 f_d b d^2$

- Za elemente za zidanje grupe 2, grupe 3 i grupe 4 i betonske elemente sa lakim agregatom grupe 1:

Gdje su:

$$M_{Rd} \leq 0,3 f_d b d^2$$

f_d proračunska čvrstoća zida na pritisak

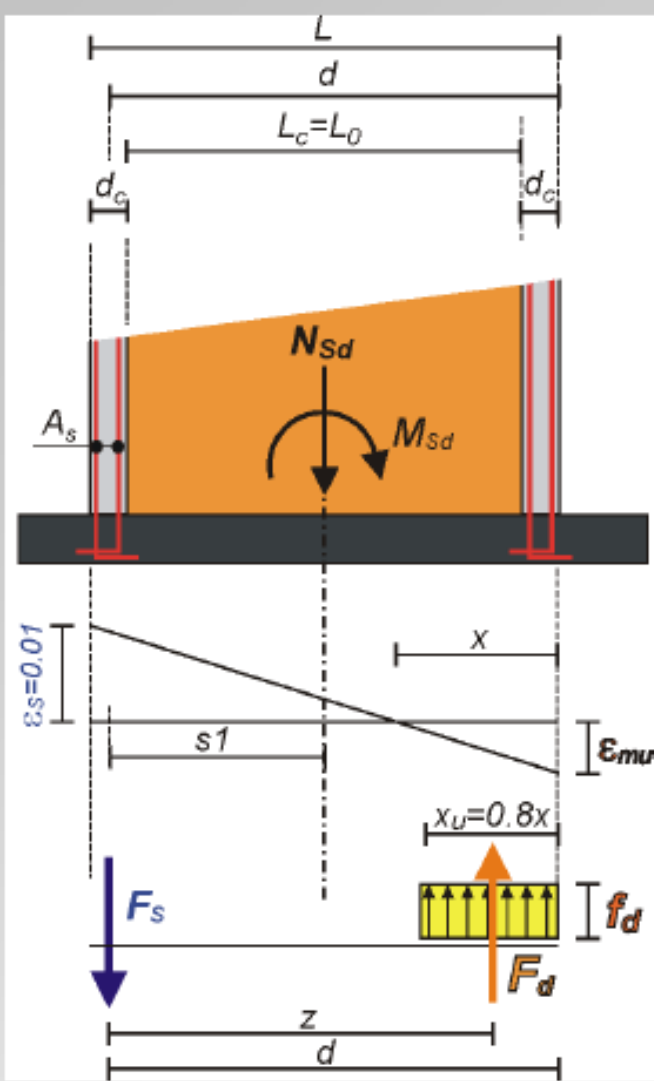
b širina presjeka;

d efektivna visina presjeka;

x visina do neutralne ose.

Armirani zidani elementi izloženi maloj aksijalnoj sili mogu se proračunati samo na savijanje, ako proračunska vrijednost normalnog napona, σ_d , ne prelazi:

$$\sigma_d \leq 0,3 f_d$$



$$\frac{N_{Sd}}{t \cdot L} \geq 0.3 f_d = \text{SAVIJANJE + UZDUŽNA SILA}$$

$$\begin{aligned} \Sigma V = 0 &\rightarrow N_{Sd} = F_d - F_s \\ \Sigma M = 0 &\rightarrow M_{Sd} + N_{Sd} \cdot s_1 = F_d \cdot z \end{aligned} \rightarrow M_{Sd} + N_{Sd} \cdot s_1 = (N_{Sd} + F_s) \cdot z$$

Zadano: $M_{Sd}, N_{Sd}, A_s \rightarrow z = \frac{M_{Sd} + N_{Sd} \cdot \left(\frac{l}{2} - \frac{d_c}{2}\right)}{N_{Sd} + A_s \cdot f_{yd}}$

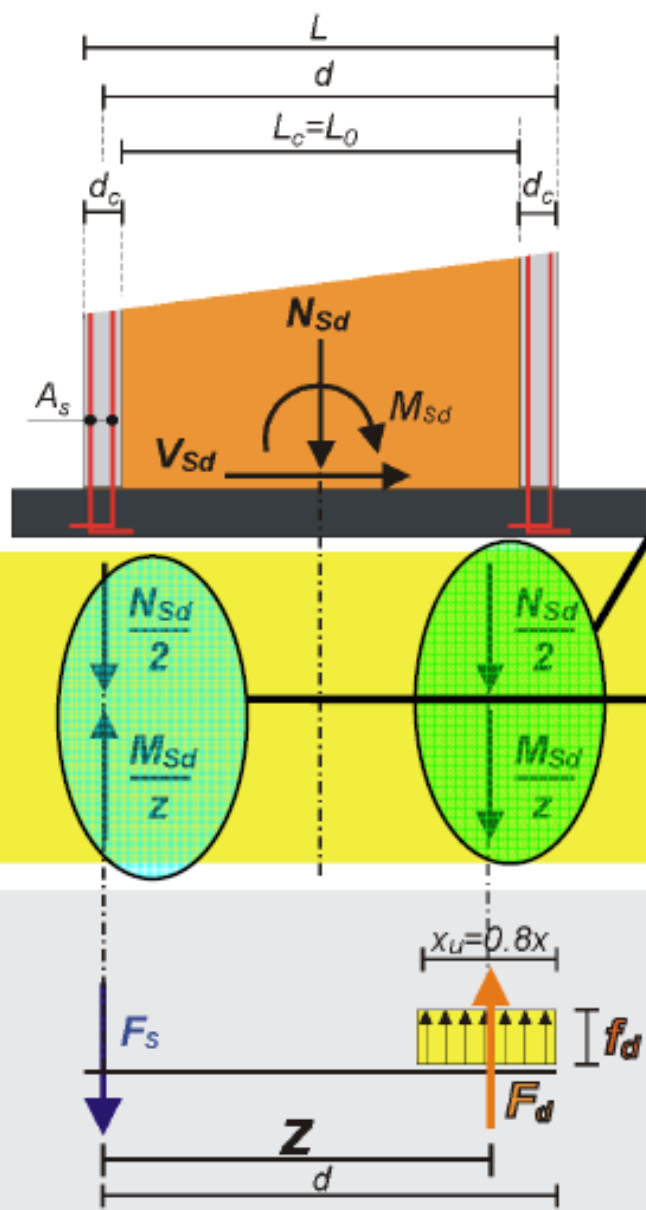
$$x = \frac{\epsilon_{mu}}{\epsilon_{mu} + \epsilon_s} \cdot d ; x_u = 0.8 \cdot x ; z = d - \frac{x_u}{2} ; x_u = 2(d - z)$$

$$\epsilon_{mu} = 3.5\text{‰} \text{ za Grupu 1}$$

$$\epsilon_{mu} = 2.0\text{‰} \text{ za Grupu 2,3,4}$$

Kontrola tlačnih napreznja:

$$F_d = \frac{M_{Sd} + N_{Sd} \cdot s_1}{z} < F_{d,R} = x_u \cdot t \cdot f_d$$



PRIMJER PRORACUNA ZIDOVA NA DJELOVANJE POTRESA
 Dokaz nosivosti u tlačnom području:

$$F_d = \frac{N_{Sd}}{2} + \frac{M_{Sd}}{z} < F_{d,R} = x_u \cdot t \cdot f_d$$

$$x_u = 2(d - z)$$

Potrebna armatura vert. serklaža:

$$A_{s1} = A_{s2} = \frac{M_{Sd}}{z \cdot f_{yd}} - \frac{N_{Sd}}{2 \cdot f_{yd}}$$

$$z = \frac{M_{Sd} + N_{Sd} \cdot \left(\frac{l}{2} - \frac{d_c}{2} \right)}{N_{Sd} + A_s \cdot f_{yd}}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk} = (500 \text{ MPa})}{\gamma_s = 1.15}$$

Materijal		γ_M				
		Klasa				
		1	2	3	4	5
	Zid izveden sa:					
A	Elementima kategorije I i malterom projektovanih svojstava ^a	1,5	1,7	2,0	2,2	2,5
B		1,7	2,0	2,2	2,5	2,7
C	Elementima kategorije I i malterom projektovanog sastava ^b	2,0	2,2	2,5	2,7	3,0
	Elementima kategorije II i bilo kojim malterom ^{a, b, e}					
D	Usidrenim čelikom za armiranje	1,7	2,0	2,2	2,5	2,7
E	Čelikom za armiranje i čelikom za prethodno naprezanje	1,15				
F		1,7	2,0	2,2	2,5	2,7
G	Pomoćnim komponentama ^{c, d}	1,5 - 2,5				
	Nadvojima u skladu sa EN 845-2	1,5 - 2,5				

^a Zahtjevi za maltere projektovanih svojstava dati su u EN 998-2 i EN 1996-2.

^b Zahtjevi za maltere projektovanog sastava dati su u EN 998-2 i EN 1996-2.

^c Deklarisane vrijednosti su srednje vrijednosti.

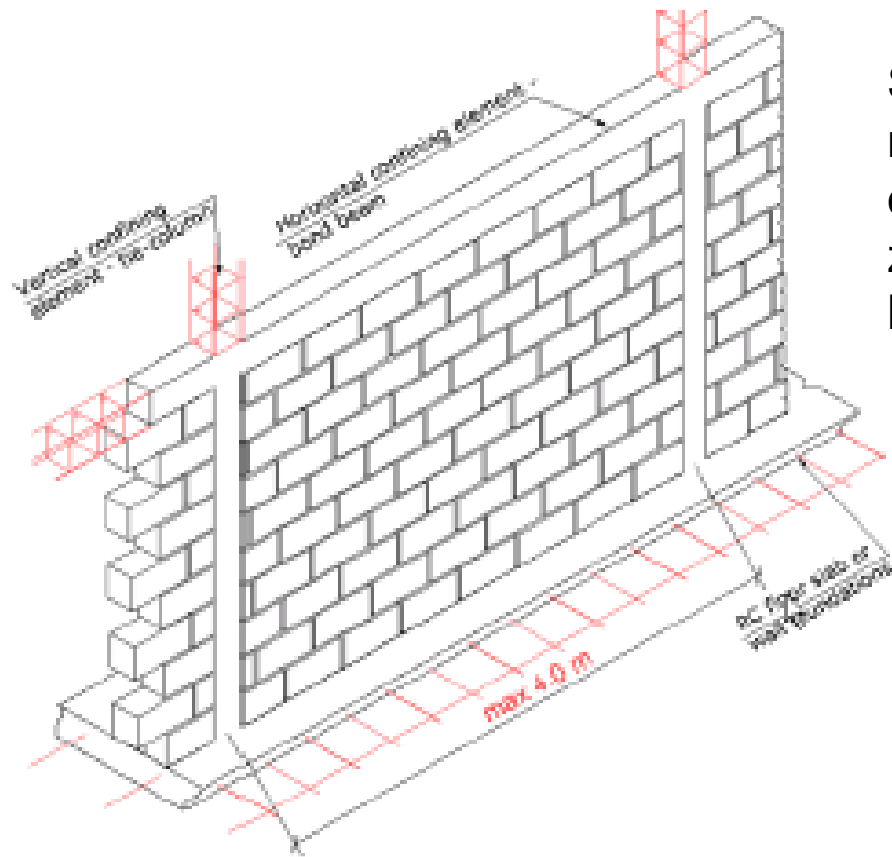
^d Pretpostavlja se da su slojevi nepropusni na vlagu obuhvaćene vrijednošću γ_M za zid.

^e Kada koeficijent varijacije za elemente kategorije II nije veći od 25 %.

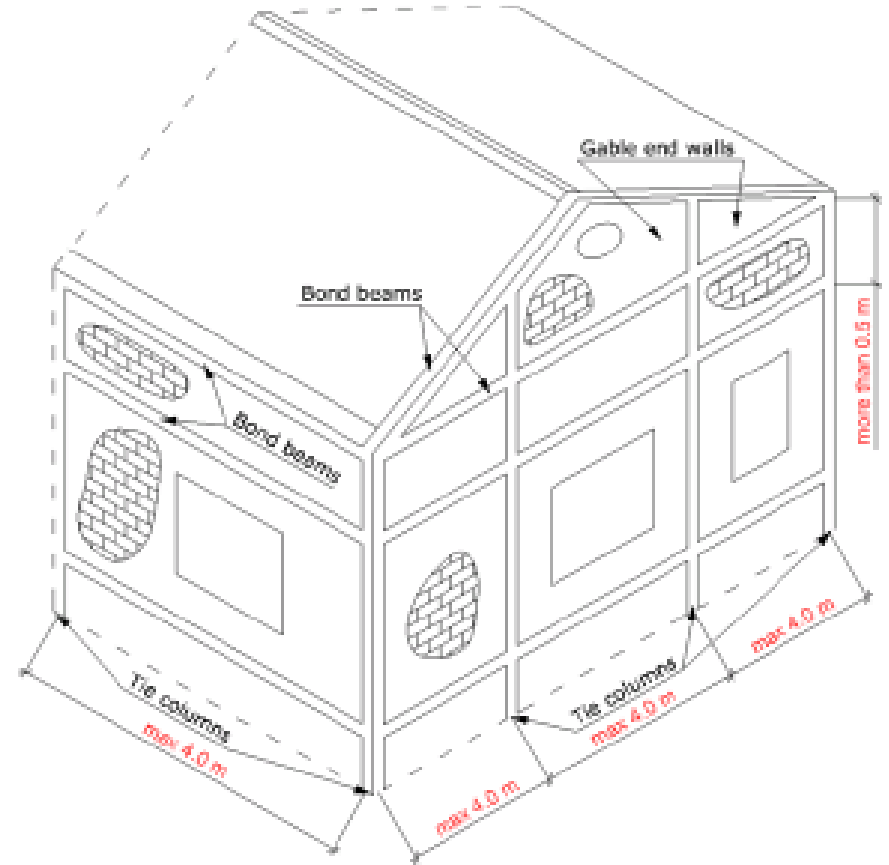
Parcijalni koeficijenti za materijale za granična stanja nosivosti

Dijametri:	8 - 32 mm šipka 8 - 16 mm kotur (do 25mm)	Masa:	veza 2.5 t šipka 1.5-2 t kotur					
Dužina (šipka): standardna 12 m, specifične dužine po zahtjevu (do 16 m) uz toleranciju +/- 100 mm								
Dimenzije (kotur): unutrašnji dijametar ca 700mm; vanjski dijametar ca 1000mm; visina ca 700mm								
Nominalne vrijednosti			Tolerancija na masu					
Prečnik	Poprečni presjek	Masa po metru	B500B B450C	B550B ÖN B4707	B550B HRN 1130	B500C	B500B(C)	PC 52
mm	mm ²	kg/m			%			mm
8	50,3	0,395	± 6,0	± 6,0	± 5,0	± 6,0	+6/-4,5	+0,3 / -0,5
10	78,5	0,617	± 4,5	± 4,5	± 5,0	± 4,5	+6/-4,5	+0,3 / -0,5
12	113	0,888	± 4,5	± 4,5	± 5,0	± 4,5	+6/-4,5	+0,3 / -0,5
14	154	1,21	± 4,5	± 4,5	± 5,0	± 4,5	+6/-4,5	+0,3 / -0,5
16	201	1,58	± 4,5	± 4,5	± 5,0	± 4,5	+6/-4,5	+0,3 / -0,5
18	254	1,99	± 4,5	± 4,5	± 5,0	± 4,5	+6/-4,5	+0,4 / -0,5
20	314	2,47	± 4,5	± 4,5	± 5,0	± 4,5	+6/-4,5	+0,4 / -0,5
22	380	2,98	± 4,5	± 4,5		± 4,5	+6/-4,5	+0,4 / -0,5
24	452	3,55	± 4,5		± 5,0		+6/-4,5	
25	491	3,85	± 4,5	± 4,5		± 4,5	+6/-4,5	+0,4 / -0,5
26	531	4,17	± 4,5	± 4,5	± 5,0		+6/-4,5	
28	616	4,83	± 4,5	± 4,5		± 4,5	+6/-4,5	+0,4 / -0,75
30	707	5,55	± 4,5	± 4,5	± 5,0		+6/-4,5	
32	804	6,31	± 4,5	± 4,5	± 5,0	± 4,5	+6/-4,5	+0,4 / -0,75

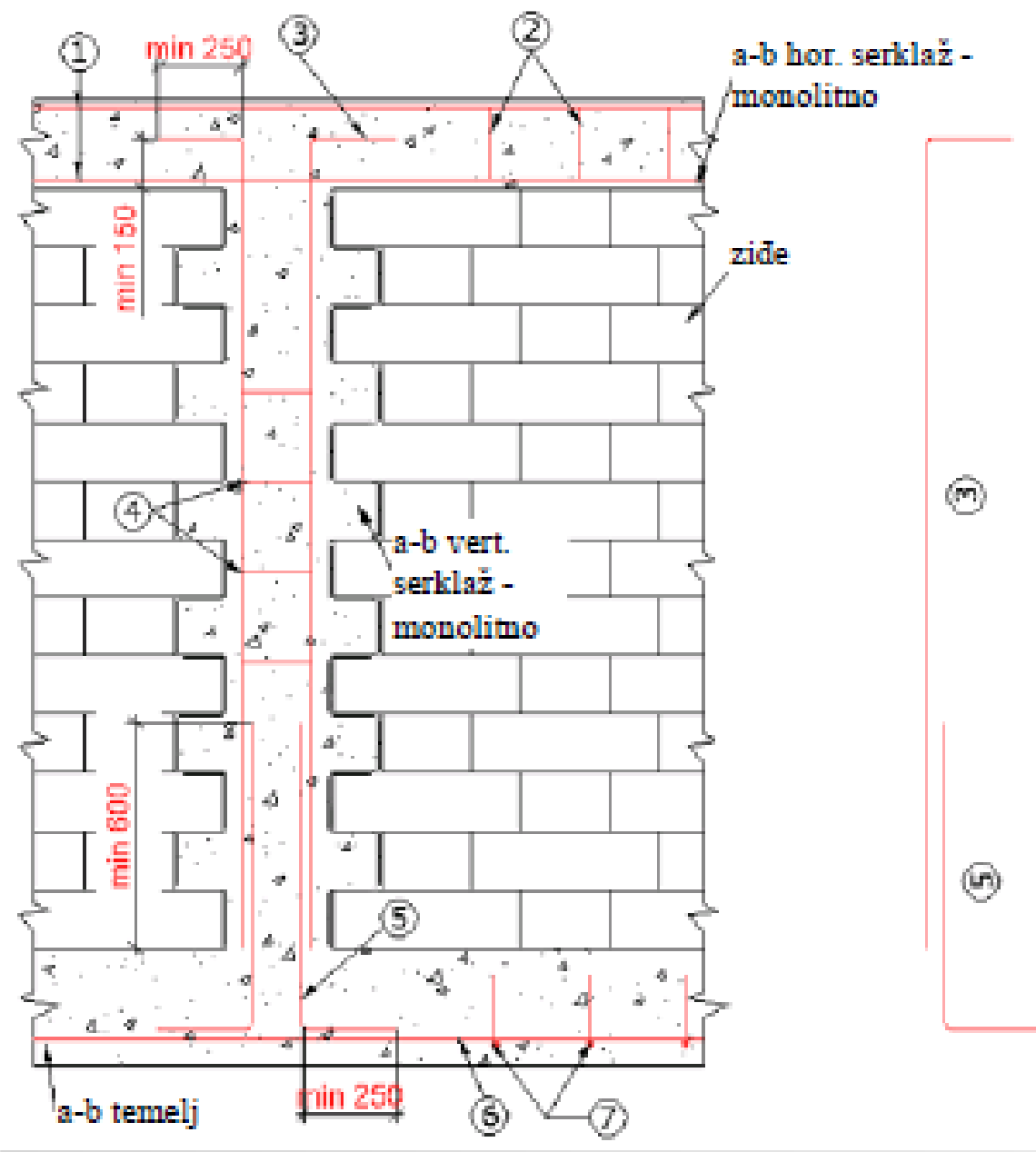
Čelik za armiranje betona – katalog željezare Zenica

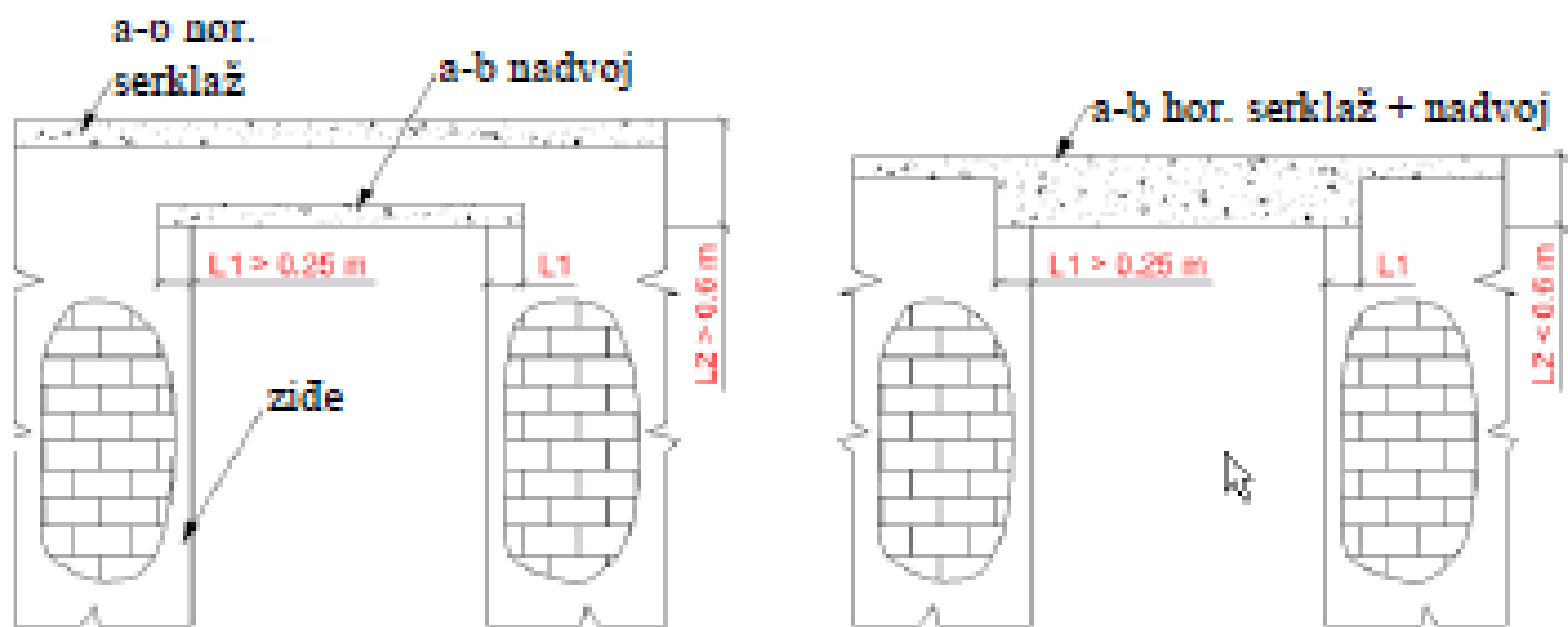


Serklaže treba predvidjeti na nivou svakog sprata, na mjestima sučeljavanja zidova i sa obje strane svakog otvora površine veće od 1,5 m². Dodatni serklaži mogu se zahtijevati u zidovima, tako da njihov maksimalni razmak, kako horizontalno tako i vertikalno, iznosi 4 m.



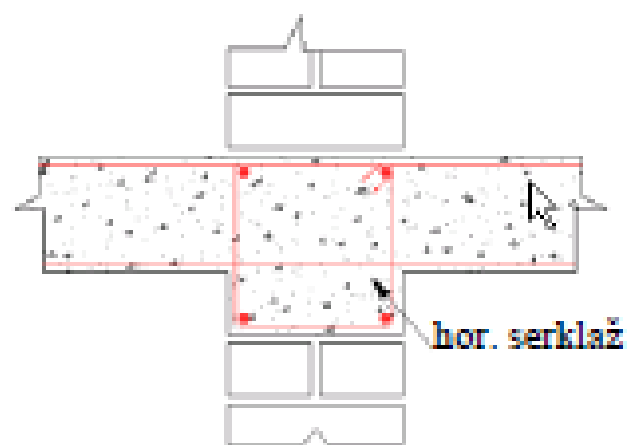
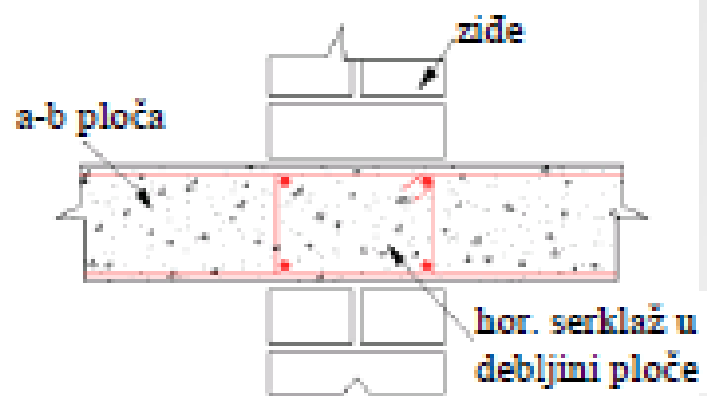
Serklaži treba da imaju površinu poprečnog presjeka ne manju od 0,02 m², uz minimalnu dimenziju u ravni zida od 150 mm i sa podužnom armaturom koja ima minimalnu površinu od 0,8 % površine poprečnog presjeka serklaža, ali ne manju od 200 mm². Uzengije treba da imaju minimalni prečnik od 6 mm i treba da su na rastojanju ne većem od 300 mm.





Detalji armiranja vertikalnih serklaža

Detalji armiranja horizontalnih serklaža



PRIMJER 1: Zid dužine 5,6m je uokviren vertikalnim serklažima. Zid je izgrađen od zidnih blokova Porotherm 38S, dimenzija 250x380x238, sa vertikalnim šupljinam druge grupe. Prema kategoriji proizvodnje elementi se svrstavaju u I kategoriju. Srednja čvrstoća pri pritisku je 10MPa.

Za zidanje je korišćen malter opšte namjene M10, projektovanog sastava. Klasa izvođenja radova je 3 (Izvođač ugrađuje samo materijale koji imaju potvrdu o usaglašenosti proizvoda).

Provjeriti nosivost zida na savijanje ako su vertikalni serklaži minimalnih dimenzija i ako su armirani minimalnom količinom armature, uz uslov da u dnu zida djeluju:

- A) minimalno vertikalno proračunsko opterećenje od 100 kN i moment savijanja od 200 kNm;
- B) minimalno vertikalno proračunsko opterećenje od 1400 kN i moment savijanja od 3000 kNm.

Rješenje:

A) minimalno vertikalno proračunsko opterećenje od 100 kN i moment savijanja u ravni zida od 200 kNm;

1) Prvo ćemo provjeriti nivo napona pritiska u zidu, da bismo utvrdili da li zid provjeravamo na čisto savijanje, kada je $M_{rd} = A_s f_{yd} z$.

Ako proračunska vrijednost normalnog napona zadovoljava izraz

$$\sigma_d \leq 0,3 f_d$$

Gdje je f_d proračunska čvrstoća zida na pritisak, zid se može provjeriti na čisto savijanje.

Proračunska čvrstoća na pritisak je $f_d = \frac{f_k}{\gamma_M}$

Izraz za proračun karakteristične čvrstoće na pritisak

glasi:

$$f_k = K f_b^{0.7} f_m^{0.3}$$



Blokova Porotherm 38S, dimenzija 250x380x238.

Najmanja horizontalna dimenzija je 250mm, a visina 238mm.
Srednja čvrstoća pri pritisku je 10 MPa.

Traži se normalizovana srednja vrijednost čvrstoće pri pritisku, f_b

Visina zidnog elementa	Najmanja horizontalna dimenzija zidnog elementa (mm)				
	50	100	150	200	≥250
50	0,85	0,75	0,70	/	/
65	0,95	0,85	0,75	0,70	0,65
100	1,15	1,0	0,90	0,80	0,70
150	1,30	1,2	1,1	1,0	0,95
190			1,22	1,12	
200	1,45	1,35	1,25	1,15	1,10
238					1,138
≥250	1,55	1,45	1,35	1,25	1,15

Sračunavanje koeficijenta oblika za element dimenzija 250x380x238, čije se dimenzije ne nalaze u tabeli dobija se linearnom interpolacijom za elemente dimenzija 200x250 i 250x250:

$$\text{Konačan koeficijent oblika } \delta \text{ je: } \delta = 1,10 + \frac{(238-200) \times (1,15-1,10)}{(250-200)} = 1,138$$

Normalizovana srednja vrijednost čvrstoće pri pritisku elementa za zidanje iznosi:

$$f_b = f_{sr, suv} \delta = 10 \times 1,138 = 11,38 \text{ MPa}$$

$$f_m = 10 \text{ MPa}$$

$$f_k = 0,45 \times f_b^{0,7} \times f_m^{0,3} = 4,93 \text{ MPa}$$

Prema kategoriji proizvodnje elementi se svrstavaju u I kategoriju. Za zidanje je korišćen malter opšte projektovanog sastava. Klasa izvođenja radova je 3.

Koeficijent za materijale je 2,7.

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_M} = \frac{4,93}{2,7} = 1,83 \text{ MPa}$$

Napon pritiska u zidu je $\sigma_d = \frac{100}{560 \times 38} \times 10 = 0,047 \text{ MPa} < 0,3 \times 1,83 = 0,55 \text{ MPa}$. Možemo primijeniti izraze za čisto savijanje.

$$2) M_{rd} = A_s f_{yd} z$$

Ako su serklaži dimenzija 38x15, njihova površina je $0,057 \text{ m}^2$, što je veće od minimalnih $0,02 \text{ m}^2$. Minimalna površina armature je 0,8% od površine serklaža, te je to $A_{sw} = 0,8\% \times 380 \times 150 = 456 \text{ mm}^2$ ili 200 mm^2 .

Usvojeno je da su serklaži armirani sa $4\phi 14$ ($4 \times 1,54 = 6,04 \text{ cm}^2$). Prečnik jedne šipke $\phi 14$ je 154 mm^2 . Vrsta čelika je B500 B, te je granica tečenja čelika $f_y = 500 \text{ Mpa}$, a proračunska vrijednost granice tečenja iznosi $f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,8 \text{ MPa}$

$$A_s = 6,04 \text{ cm}^2 \quad f_{yd} = 434,8 \text{ MPa}$$

Materijal		γ_m			
		Klasa			
		1	2	3	
A	Elementi kategorije I i sa malterom projektovanih svojstva	1,5	2,0	2,5	
B	Elementi kategorije I i sa malterom projektovanog sastava	1,7	2,2	2,7	
C	Elementi kategorije II sa bilo kojim malterom	2,0	2,5	3,0	

Dijametri: 8 - 32 mm šipka
8 - 16 mm kotur (do 25mm)

Masa: veza 2.5 t šipka
1.5-2 t kotur

Dužina (šipka): standardna 12 m, specifične dužine po zahtjevu (do 16 m) uz toleranciju +/- 100 mm

Dimenzije (kotur): unutrašnji dijametar ca 700mm; vanjski dijametar ca 1000mm; visina ca 700mm

Nominalne vrijednosti

Tolerancija na masu

Prečnik	Poprečni presjek	Masa po metru	B500B B450C	B550B ÖN B4707	B550B HRN 1130	B500C	B500B(C)	PC 52
mm	mm ²	kg/m			%			mm
8	50,3	0,395	± 6,0	± 6,0	± 5,0	± 6,0	+6/-4,5	+0,3 / -0,5
10	78,5	0,617	± 4,5	± 4,5	± 5,0	± 4,5	+6/-4,5	+0,3 / -0,5
12	113	0,888	± 4,5	± 4,5	± 5,0	± 4,5	+6/-4,5	+0,3 / -0,5
14	154	1,21	± 4,5	± 4,5	± 5,0	± 4,5	+6/-4,5	+0,3 / -0,5
16	201	1,58	± 4,5	± 4,5	± 5,0	± 4,5	+6/-4,5	+0,3 / -0,5
18	254	1,99	± 4,5	± 4,5	± 5,0	± 4,5	+6/-4,5	+0,4 / -0,5
20	314	2,47	± 4,5	± 4,5	± 5,0	± 4,5	+6/-4,5	+0,4 / -0,5
22	380	2,98	± 4,5	± 4,5		± 4,5	+6/-4,5	+0,4 / -0,5
24	452	3,55	± 4,5		± 5,0		+6/-4,5	
25	491	3,85	± 4,5	± 4,5		± 4,5	+6/-4,5	+0,4 / -0,5
26	531	4,17	± 4,5	± 4,5	± 5,0		+6/-4,5	
28	616	4,83	± 4,5	± 4,5		± 4,5	+6/-4,5	+0,4 / -0,75
30	707	5,55	± 4,5	± 4,5	± 5,0		+6/-4,5	
32	804	6,31	± 4,5	± 4,5	± 5,0	± 4,5	+6/-4,5	+0,4 / -0,75



$$z = d \left(1 - 0,5 \frac{A_s f_{yd}}{b d f_d} \right) \leq 0,95d, \quad (6.23)$$

gde je:

- b** širina preseka;
- d** efektivna visina preseka;
- A_s** površina poprečnog preseka zategnute armature;
- f_d** proračunska vrednost čvrstoće na pritisak zida u pravcu opterećenja, dobijena prema 2.4.1 i 3.6.1, ili čvrstoća betonske ispune, dobijena prema 2.4.1 i 3.3 (merodavna je manja vrednost);
- f_{yd}** proračunska vrednost čvrstoće čelika za armiranje.

$$\text{Krak unutrašnjih sila } z = dx \left(1 - 0,5 \frac{A_s}{bxd} x \frac{f_{yd}}{f_d} \right)$$

Gdje je efektivna visina presjeka d rastojanje od težišta vertikalnog serklaža do pritisnute ivice zida:

$$d = l - \frac{l_c}{2} = 5,6 - \frac{0,15}{2} = 5,525 \text{ m} = 552,5 \text{ cm}$$

$$z = dx \left(1 - 0,5 \frac{A_s}{bxd} x \frac{f_{yd}}{f_d} \right) = 5,525 \times \left(1 - 0,5 \times \frac{6,04}{38 \times 552,5} \times \frac{434,8}{1,83} \right) = 5,33 \text{ m} > 0,95 \times 5,525 = 5,25 \text{ m}$$

$$z = 5,25 \text{ m}$$

M_{rd, t} = A_s f_{yd} z = 6,04 × 43,48 × 5,25 = 1378,8 kNm - zatezanje

M_{rd, c} = 0,3 × 0,183 $\frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$ × 38 × 552,5² / 100 = 6368,3 kNm - pritisak

$$M_{Rd} \leq 0,3 f_d b d^2$$

U dnu zida djeluje moment savijanja od 200 kN, a nosivost zida na savijanje je 1378,8 kNm. Ovo znači da minimalna armatura u vertikalnom serklažu, sa 4φ14, zadovoljava.

Rješenje:

B) minimalno vertikalno proračunsko opterećenje od 1400 kN i moment savijanja u ravni zida od 3000 kNm;

Napon pritiska u zidu je $\sigma_d = \frac{1400}{560 \times 38} \times 10 = 0,65 \text{ MPa} > 0,3 \times 1,83 = 0,55 \text{ MPa}$. Ne možemo primijeniti izraze za čisto savijanje. Ovo je savijanje sa aksijalnom silom.

$$f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_s} = \frac{500}{1,15} = 434,8 \text{ MPa} \quad f_d = \frac{f_k}{\gamma_M} = \frac{4,93}{2,7} = 1,83 \text{ MPa}$$

Vertikalni serklaži su dimenzija 38x15 cmxcm. Pretpostavlja se da su armirani sa 4 ϕ 14 (6,04 cm²).

$$d = l - \frac{l_c}{2} = 5,6 - \frac{0,15}{2} = 5,525 \text{ m} = 552,5 \text{ cm}$$

$$z = \frac{3000 + 1400 \times \left(\frac{5,6}{2} - \frac{0,15}{2}\right)}{1400 + 6,04 \times 43,48} = 4,1 \text{ m}$$

Dokaz nosivosti u pritisnutoj zoni:

$$\text{Sila pritiska } F_d = \frac{1400}{2} + \frac{3000}{4,1} = 1.431,7 \text{ kN} < F_{d,R} = 2 \times (552,5 - 410) \times 38 \times 0,182 = 1971 \text{ kN}$$

Nosivost u pritisnutoj zoni je zadovoljena.

Potrebna armatura u vertikalnom serklažu

$$A_{s1} = A_{s2} = \frac{3000}{4,1 \times 43,48} - \frac{1400}{2 \times 43,48} = 16,8 - 16,1 = 0,7 \text{ cm}^2$$

PRIMJER PRORACUNA ZIDOVA NA DJELOVANJE POTRESA
Dokaz nosivosti u tlačnom području:

$$F_d = \frac{N_{Sd}}{2} + \frac{M_{Sd}}{z} < F_{d,R} = x_u \cdot t \cdot f_d$$
$$x_u = 2(d - z)$$

Potrebna armatura vert. serklaža:

$$A_{s1} = A_{s2} = \frac{M_{Sd}}{z f_{yd}} - \frac{N_{Sd}}{2 f_{yd}}$$
$$z = \frac{M_{Sd} + N_{Sd} \cdot \left(\frac{l}{2} - \frac{d_c}{2}\right)}{N_{Sd} + A_s \cdot f_{yd}}$$
$$f_{yd} = \frac{f_{yk} = (500 \text{ MPa})}{\gamma_s = 1.15}$$

Minimalna površina armature je 0,8% od površine serklaža, te je to

$$A_{sw} = 0,8\% \times 380 \times 150 = 456 \text{ mm}^2 \text{ ili } 200 \text{ mm}^2.$$

Zadovoljava pretpostavljena minimalna armatura u vertikalnom serklažu 4 ϕ 14 (6,04 cm²).