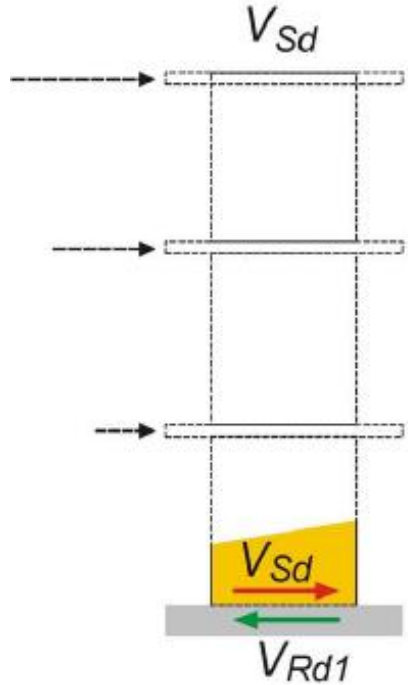


# Horizontalno dejstvo u ravni zida

## SMICANJE

### Nearmirani zidovi

Proračunska vrijednost smičućih uticaja,  $V_{Ed}$ , mora da bude manja ili jednaka proračunskoj vrijednosti nosivosti zida na smicanje,  $V_{Rd}$ , da bi mogli konstatovati da je zadovoljeno granično stanje nosivosti na smicanie.



$$V_{Ed} \leq V_{Rd}$$

Proračunska vrijednost nosivosti na smicanje zida od **nearmirane zidarije** data je izrazom:

$$V_{Rd} = f_{vd} \times t \times l_c$$

Gdje je:

$f_{vd}$  - proračunska vrijednost čvrstoće zida na smicanje, zasnovana na prosječnoj vrijednosti vertikalnog napona pritisnutog dijela zida koji obezbjeđuje nosivost na smicanje

$$f_{vd} = \frac{f_{vk}}{\gamma_m}$$

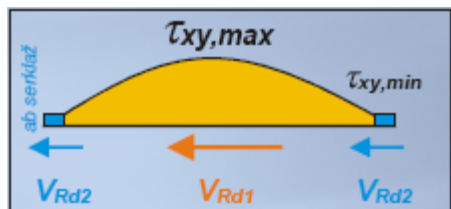
$t$  - debljina zida

$l_c$  - dužina pritisnutog dijela zida, uz zanemarivanje bilo kog dijela zida koji je izložen zatezanju.

$$f_{vk} = f_{vko} + 0.4 \cdot \sigma_d \leq 0.065 \cdot f_b \quad \text{ili manje od } f_{vlt}$$

$f_{vlt}$  granična vrijednost za  $f_{vk}$

$\sigma_d$  proračunska vrijednost napona pritiska upravnog na ravan smicanja u elementu u nivou koji se razmatra, uz korišćenje odgovarajuće kombinacije opterećenja, baziran na prosječnom vertikalnom naponu pritisnutog dijela zida koji pruža otpor na smicanje



Granična vrijednost  $f_{vlt}$  za karakterističnu čvrstoću zida na smicanje  $f_{Vk}$  nije definisana u nacionalnom aneksu standarda MEST EN 1996-1-1, te stoga treba primijeniti vrijednosti koje su se koristile u do sada važećem propisu PZZ'91.

*Tabela 5.3. Najveće dozvoljene vrednosti čvrstoće  $f_{vk}$  i vrednosti čvrstoće  $f_{vko}$*

Elementi za zidanje	Marke maltera	$f_{vko}$ (MPa)	Najveće dozvoljene vrednosti $f_{vk}$ (MPa)
Sve vrste elemenata sa 25% i više vertikalnih šupljina	M15,M10,M5,M2	0,2-0,1	0,8, ali ne više od podužne pritisne čvrstoće elementa za zidanje <sup>*)</sup>
Elementi od betona, ćelijastog betona i krečnog silikata sa manje od 25% vertikalnih šupljina	M15,M10,M5,M2	0,2-0,1	0,8
Elementi od gline sa $f_b \leq 15$ MPa	M15,M10,M5,M2	0,3-0,1	1,0
Elementi od gline sa $f_b > 15$ MPa	M15,M10,M5,M2	0,3-0,1	1,5
<sup>*)</sup> Podužna pritisna čvrstoća elementa za zidanje je čvrstoća koja se dobija pri ispitivanju koje podrazumeva dejstvo sile u pravcu dužine elementa $l$ . Ako su oblik i raspored šupljina u elementu za zidanje takvi da je ta pritisna čvrstoća veća od 0,15 pritisne čvrstoće u vertikalnom pravcu, granična vrednost za $f_{vk}$ je 0,8 MPa.			

Dužinu pritisnutog dijela zida,  $l_c$ , treba izračunati uz pretpostavku linearne raspodjele napona pritiska, uzimajući u obzir sve otvore, žljebove ili udubljenja. Bilo koji dio zida izložen vertikalnom naponu zatezanja treba zanemariti prilikom proračuna površine zida koja pruža otpor smicanju. Vrijednos  $l_c$ , dobijamo pomoću sledećeg izraza:

$$l_c = 3 * \left( \frac{l}{2} - \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} \right) \leq l$$

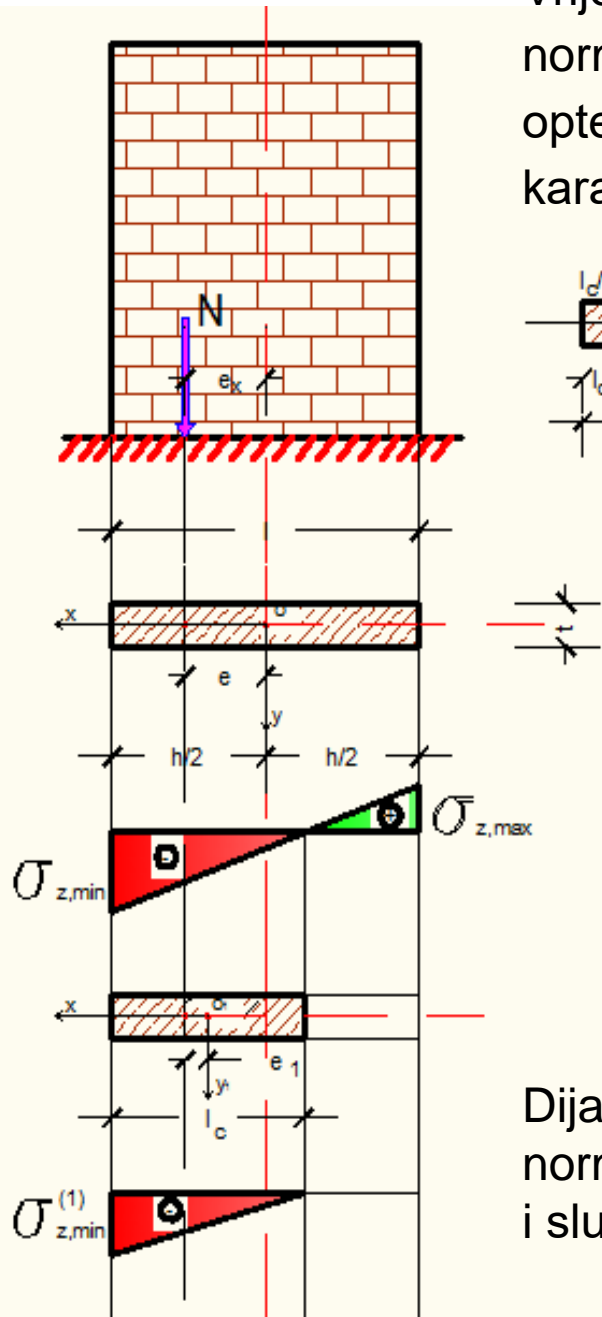
Gdje je:

$l$  - dužina zida

$e$  - ekscentricitet vertikalnog opterećenja,  $e = M_{Ed}/N_{Ed}$

Kada je proračunska vrijednost  $l_c > l$ , tada u izrazu za proračunsku vrijednost na smicanje treba umjesto  $l_c$  koristiti stvarnu dužinu zida  $l$ .

Vrijednost dužine pritisnutog dijela,  $l_c$ , možemo dobiti primjenjujući poznati proračun normalnih napona pri otvaranju spojnice iz otpornosti materijala. Naime, posmatramo zid opterećen normalnom silom pritiska  $N$ . Na slici ispod su dati dijagrami dobijenih napona za karakterističan položaj normalne sile.



Sa slike se može zaključiti da je :

$$\frac{l}{2} - e = \frac{l_c}{3}$$

$$l_c = \frac{3}{2} \cdot l - 3 \cdot e = 3 \cdot \left(\frac{l}{2} - e\right)$$

(ovo je teorijski moguće ako je  $l_c > 0$  i  $e < \frac{l}{2}$ )

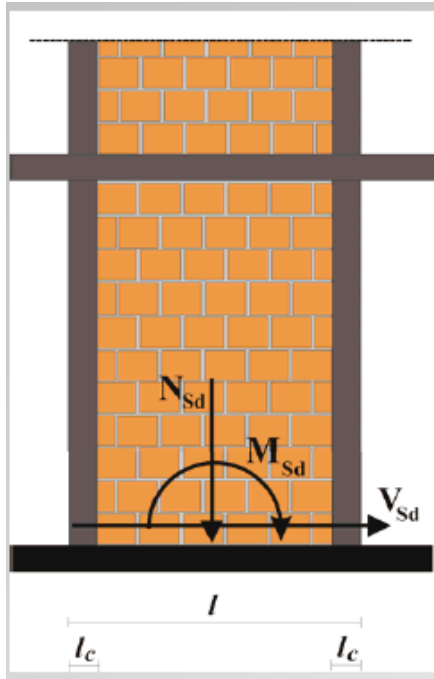
$$\sigma_{z,\max} = 0 \rightarrow \text{za slučaj kada je } e_1 = \frac{l_c}{6}$$

Dijagrami napona za slučaj kada se normalna sila nalazi van jezgra presjeka i slučaj kada je na konturi jezgra

## **Zidovi sa vertikalnim serklažima, uporedna primjena standard MEST EN 1996-1-1 i MEST EN 1998-1**

- (1) P Horizontalni i vertikalni vezni elementi moraju biti međusobno povezani i usidreni za elemente glavnog konstrukcijskog sistema.
- (2) P Radi ostvarenja kvalitetne veze između serklaža i zidanog dijela, beton ovih elemenata se mora ugraditi nakon izvođenja zidanog dijela.
- (3) Dimenzije poprečnog presjeka i horizontalnih i vertikalnih serklaža ne mogu biti manje od 150 mm. Kod dvoslojnih zidova, debljina veznih elemenata treba da obezbijedi povezivanje oba sloja i njihovo efektivno utezanje.
- (4) Vertikalni serklaži za utezanje zidova se moraju postaviti:
  - na slobodnim krajevima svih konstruktivnih elemenata zida;
  - s obje strane svakog otvora u zidu čija je površina veća od 1,5 m<sup>2</sup>;
  - **unutar zida, ako je potrebno da razmak između serklaža ne bude veći od 4 m**
  - kod svakog ukrštanja zidova, gdje god su vertikalni serklaži, nametnuti gore navedenim pravilima, na rastojanju većem od 1,5 m.
- (5) Horizontalni serklaži moraju se postaviti u ravni zida u nivou svake tavanice, pri čemu razmak ni u kom slučaju ne smije biti veći od 4 m.
- (6) **Podužna armatura vertikalnih i horizontalnih serklaža ne smije biti manja od 300 mm<sup>2</sup>, niti od 1% površine poprečnog presjeka serklaža.**
- (7) **Uzengije prečnika ne manjeg od 5 mm i na razmaku ne većem od 150 mm, treba da se postave oko podužne armature.**
- (8) Čelik za armiranje treba biti klase B ili C u skladu sa EN 1992-1-1:2004, tabela C.1.
- (9) Nastavljanje armature mora se postići preklopima na dužini ne manjoj od 60 prečnika šipki.

**Kada je zid uokviren vertikalnim i horizontalnim armirano-betonskim serklažima**, armaturu serklaža treba dimenzionisati tako da preuzme napone zatezanja. U tom se slučaju dužina pritisnutog dijela zida  $l_c$ , računa na osnovu linearne raspodjele naprezanja, ali sada uzimajući u obzir napone zatezanja, jer ih vertikalni serklaž može preuzeti, pa je dužina pritisnutog dijela jednaka:



$$l_c = \frac{l}{2} * \left( 1 + \frac{l * N_{Ed}}{6 * M_{Ed}} \right) \leq l$$

**Pri verifikaciji zidova uokvirenih serklažima** koji su izloženi smičućem opterećenju, nosivost na smicanje treba uzeti kao zbir nosivosti zida  $V_{rd,1}$  i betona serklaža  $V_{Rd,c}$ :

$$V_{Rd} = V_{Rd,1} + V_{Rd,c}$$

Pri provjeri zidova uokvirenih serklažima koji su izloženi smičućem opterećenju, nosivost na smicanje treba uzeti kao zbir nosivosti zida i betona serklaža. Pri proračunu nosivosti zida na smicanje, treba koristiti pravila za nearmirane zidove izložene smičućem opterećenju, uzimajući za  $l_c$  dužinu zidanog elementa. Armaturu serklaža ne treba uzimati u obzir

Nosivost zidanog dijela zida na smicanje  $V_{Rd,1}$  je:

$$V_{Rd,1} = f_{vd} \times t \times l_c$$

Gdje su:

$f_{vd}$  - proračunska vrijednost čvrstoće zida na smicanje, zasnovana na prosječnoj vrijednosti vertikalnog napona pritisnutog dijela zida koji obezbjeđuje nosivost na smicanje

$$f_{vd} = \frac{f_{vk}}{\gamma_m} \quad f_{vk} = f_{vko} + 0.4 \cdot \sigma_d \leq 0.065 \cdot f_b$$

$\gamma_m$  - Parcijalni koeficijent sigurnosti za materijal se redukuje na 2/3 za seizmičku proračunsku situaciju.

$t$  - debljina zida

$l_c$  - dužina pritisnutog dijela zida uz zanemarivanje bilo kojeg dijela zida koji je izložen zatezanju

Za armirano – betonske seklaže pri proračunu nosivosti na smicanje primjenjuju se izrazi dati u pravilniku *EC2* za elemente u kojima nije potrebna proračunska armatura za smicanje:

$$V_{Rd,c} = \left[ C_{Rd,c} k (100 \rho_I f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp} \right] b_w d$$

$$! \geq (V_{min} + k_1 * \sigma_{cp}) * b_w * d$$

Gdje je:

$f_{ck}$  - karakteristična vrijednost čvrstoće betona pri pritisku na cilindru starosti od 28 dana, u MPa

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d[\text{mm}]}} \leq 2.0$$

C25/30

$$\Rightarrow f_{ck} = 25 \text{ MPa}$$

$$\rho_i = \frac{A_{sl}}{b_w * d} \leq 0.02$$

procenat armiranja zategnutom armaturom

$A_{sl}$  - površina zategnute armature u serklažu

$b_w$  - najmanja širina poprečnog presjeka u zategnutoj zoni u (mm)

$d$  – statička visina presjeka



$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} \leq 0.2 * f_{cd}, [MPa]$$

$N_{Ed}$  - aksijalna sila u poprečnom presjeku serklaža od opterećenja ili prethodnog naprezanja u  $N$ , ( $N_{Ed} > 0$ , za pritisak)

$A_c$  - površina poprečnog presjeka betona u serklažu ( $mm^2$ )

Preporučena vrijednost za  $C_{Rd,c} = 0.18/\gamma_c$ ,  $k_1 = 0.15$ .

$$V_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2}$$

**PRIMJER 1:** Odrediti najveću smičuću nosivost zidanog zida, dužine 5.6m. U zidu nema smičuće armature. Zid je izgrađen od zidnih blokova Porotherm 30S, dimenzija 250x300x238, sa vertikalnim šuplinam 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).

U dnu zida djeluje vertikalno proračunsko opterećenje od 100 kN, horizontalna proračunska seizmička sila od 80 kN i moment savijanja 200 kNm.

Proračunska vrijednost nosivosti na smicanje zida od nearmirane zidarije je:

$$V_{Rd,1} = f_{vd} \times t \times l_c$$

$$f_{vd} = \frac{f_{vk}}{\gamma_m}$$

Gdje su:

$f_{vd}$  - proračunska vrijednost čvrstoće zida na smicanje

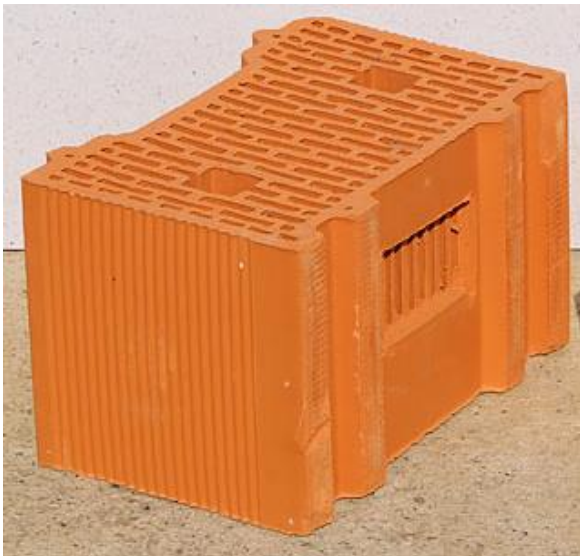
$f_{vk}$  - karakteristična čvrstoća zida na smicanje

$\gamma_m$  - koeficijent za materijale

$l_c$  - dužina pritisnutog dijela zida

$$l_c = 3 * \left( \frac{l}{2} - \frac{M_{Ed}}{N_{Ed}} \right) \leq l$$

$$l_c = 3 * \left( \frac{5,6}{2} - \frac{200}{100} \right) = 2,4 \text{ m}$$



Blokova Porotherm 30S, dimenzija 250x300x238.

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					
≥250	1,55	1,45	1,35	1,25	1,15

Sračunavanje koeficijenta oblika za element dimenzija 250x300x238, 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:

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

$$f_{vk} = f_{vko} + 0.4 \cdot \sigma_d \leq 0.065 \cdot f_b \quad \text{Ili manje od } f_{vlt}$$

$$f_{vko} = 0,30 \text{ MPa}$$

$$\sigma_d = \frac{100 \text{ kN}}{0,30 \times 2,4} = 138,9 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 0,139 \text{ MPa}$$

$\sigma_d$  proračunska vrijednost napona pritiska upravnog na ravan smicanja u elementu u nivou koji se razmatra, baziran na prosječnom vertikalnom naponu pritisnutog dijela zida koji pruža otpor na smicanje

$$f_{Vk} = 0,30 + 0,4 \times 0,139 = 0,356 \text{ MPa}$$

$$0,065 \times f_b = 0,065 \times 11,38 = 0,74 \text{ MPa}$$

$$f_{vlt} = 1,0 \text{ MPa}$$

$\gamma_m$  - koeficijent za materijale

Prema kategoriji proizvodnje elementi se svrstavaju u I kategoriju. Za zidanje je korišćen malter opšte projektovanog sastava. Klasa izvođenja radova je 3. Kako je horizontalna sila usljed seizmičkog dejstva uzima se 2/3 koeficijenta za materijale iz tabele.



Element za zidanje	$f_{vko} \text{ (N/mm}^2\text{)}$		
	Malter opšte namene, klase čvrstoće	Tankoslojni malter (debljina spojnice 0,5-3,0 mm)	Lakoagregatni malter
Glina	M10 - M20	0,30	0,30
	M2,5 - M9	0,20	
	M1 - M2	0,10	
Kalcijum silikat	M10 - M20	0,20	0,40
	M2,5 - M9	0,15	
	M1 - M2	0,10	
Beton	M10 - M20	0,20	0,30
Autoklavirani aerirani beton	M2,5 - M9	0,15	
Veštački kamen i obrađeni prirodni kamen	M1 - M2	0,10	

Materijal		$\gamma_m$		
		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	<b>2,7</b>
C	Elementi kategorije II sa bilo kojim malterom	2,0	2,5	3,0

$$f_{Vd} = \frac{f_{Vk}}{\frac{2}{3}\gamma_m} = \frac{0,356}{2/3 \times 2,7} = 0,198 \text{ MPa}$$

$$V_{Rd,1} = f_{vd} \times t \times l_c = 0,0198 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \times 30 \times 240 = 142,56 \text{ kN} - \text{proračunska nosivost na smicanje}$$

Nosivost na smicanje je zadovoljena ako je proračunska sila smicanja manja od proračunske nosivosti na smicanje

$$V_{Ed} \leq V_{Rd}$$

Za kontrolu na smicanje zida mjerodavna je kombinacija uticaja od stalnog, korisnog i seizmičkog opterećenja sa odgovarajućim koeficijentima sigurnosti:

$$V_{Ed} = 1,0 \cdot V_g + 0,3 \cdot V_p + 1,0 \cdot V_s$$

$$N_{Ed} = 1,0 \cdot N_g + 0,3 \cdot N_p + 1,0 \cdot N_s$$

U ovom zadatku horizontalna seizmička sila je 80 kN, te je  $V_{Ed} = 1,0 \times V_s = 80 \text{ kN}$

Proračunska vrijednost nosivosti na smicanje zida ovog nearmiranog zida iznosi 142,56 kN, što je veće od sile smicanja 80 kN. Nosivost na smicanje je zadovoljena.

**PRIMJER 2:** Zid dužine 5,6m je uokviren vertikalnim serklažima. Zid je izgrađen od zidnih blokova Porotherm 38S, dimenzija 250x380x238, sa vertikalnim šuplinam 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).

U dnu zida djeluje vertikalno proračunsko opterećenje od 100 kN, horizontalna proračunska seizmička sila od 300 kN i moment savijanja 200 kNm.

Odrediti najveću smičuću nosivost zidanog zida:

- A) Uz zanemarivanje doprinosa u vertikalnog serklaža
- B) Uzimajući u obzir doprinos vertikalnog serklaža



**A) Proračunska vrijednost nosivosti na smicanje zida sa vertikalnim serklažima. Doprinos serklaža se ne uzima.**

$$V_{Rd,1} = f_{vd} \times t \times l_c$$

**Gdje su:**

- $f_{vd}$  - proračunska vrijednost čvrstoće zida na smicanje
- $f_{vk}$  - karakteristična čvrstoća zida na smicanje
- $\gamma_m$  - koeficijent za materijale
- $l_c$  - dužina pritisnutog dijela zida

$$f_{vd} = \frac{f_{vk}}{\gamma_m}$$

$$l_c = \frac{l}{2} * \left( 1 + \frac{l * N_{Ed}}{6 * M_{Ed}} \right) \leq l$$

$$l_c = \frac{5,6}{2} * \left( 1 + \frac{5,6 * 100}{6 * 200} \right) = 4,1 \text{ m}$$

Normalizovana srednja vrijednost čvrstoće pri pritisku elementa za zidanje iznosi:

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

$$f_{vk} = f_{vko} + 0,4 \cdot \sigma_d \leq 0,065 \cdot f_b$$

$$f_{vko} = 0,30 \text{ MPa}$$

$$\sigma_d = \frac{100 \text{ kN}}{0,38 \times 4,1} = 64,18 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 0,064 \text{ MPa}$$

$$f_{V_k} = 0,30 + 0,4 \times 0,064 = 0,33 \text{ MPa}$$

$$0,065 \times f_b = 0,065 \times 11,38 = 0,74 \text{ MPa}$$

$$f_{vlt} = 1,0 \text{ MPa}$$

$$f_{Vd} = \frac{f_{V_k}}{\frac{2}{3} \gamma_m} = \frac{0,33}{\frac{2}{3} \times 2,7} = 0,183 \text{ MPa}$$

$$V_{Rd,1} = f_{vd} \times t \times l_c = 0,0183 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \times 38 \times 410 = 285,11 \text{ kN} - \text{proračunska nosivost na smicanje}$$

$$V_{Ed} \leq V_{Rd}$$

U ovom zadatku horizontalna seizmička sila je 200 kN, te je  $V_{Ed} = 1,0 \times V_s = 200 \text{ kN}$

Proračunska vrijednost nosivosti na smicanje zida ovog nearmiranog zida iznosi 285,11 kN, što je manje od sile smicanja 300 kN. Nosivost na smicanje zida **nije zadovoljena**.

B) Proračunska vrijednost nosivosti na smicanje zida sa vertikalnim serklažima. Doprinos serklaža se uzima.

$$V_{Rd} = V_{Rd,1} + V_{Rd,c}$$

Doprinos zidanog zida

$$V_{Rd,1} = f_{vd} \times t \times l_c$$

$$V_{Rd,1} = f_{vd} \times t \times l_c = 0,0183 \frac{kN}{cm^2} \times 38 \times 410 = \mathbf{285,11 \text{ kN}}$$
 - nosivost zidanog zida na smicanje bez doprinosa v.serklaža

Doprinos serklaža

$$V_{Rd,c} = \left[ C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp} \right] b_w d$$

Sa minimalnom vrijednošću  $V_{Rd,c} = (v_{min} + k_1 \cdot \sigma_{cp}) \cdot b_w \cdot d$

Ako su serklaži dimenzija 38x15, njihova površina je  $0,057m^2$ , što je veće od minimalnih  $0.03m^2$ . Minimalna površina armature je 1,0% od površine serklaža, te je to  $A_{sw} = 1,0\% \times 380 \times 150 = 570 \text{ mm}^2$  ili  $300 \text{ mm}^2$ . Usvojeno je da su serklaži armirani sa  $4\phi 14$  ( $6,04 \text{ cm}^2$ ).

$$d = 15 - 3 = 12 \text{ cm}$$

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d[\text{mm}]}} \leq 2.0$$

$$K = 1 + \sqrt{\frac{200}{120}} = 2,29, \text{ te je } k = 2,0$$

$$\rho_l = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} \leq 0.02$$

$$\rho_l = \frac{6,04}{38 \times 12} = 0,013$$

$$C25/30 \quad \Rightarrow \quad f_{ck} = 25 \text{ MPa}$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0,18}{\gamma_c} = \frac{0,18}{1,2} = 0,15$$

$$k_1 = 0.15$$



$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} \leq 0.2 * f_{cd}, [MPa]$$

$N_{Ed}$  - aksijalna sila u poprečnom presjeku serklaža od opterećenja ili prethodnog naprezanja u  $N$ , ( $N_{Ed} > 0$ , za pritisak)

$A_c$  - površina poprečnog presjeka betona u serklažu ( $mm^2$ )

$$N_{Ed} = \frac{100}{5,6} \times 0,15 = 2,7 \text{ kN}$$

Ako su serklaži dimenzija 38x15, njihova površina je  $A_c = 0,057 m^2$

$$\sigma_{cp} = \frac{2,7}{38 \times 15} \times 10 = 0,047 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{25}{1,2} = 20,83 \text{ MPa}, 0,2 \times f_{cd} = 4,16 \text{ MPa} \quad V_{min} = 0.035 * k^{3/2} * f_{ck}^{1/2} \quad V_{min} = 0,035 \times 2,0^{\frac{3}{2}} \times 25^{\frac{1}{2}} = 0,49 \text{ MPa}$$

$$V_{Rd,c} = \left[ C_{Rd,c} k (100 \rho_l f_{ck})^{1/3} + k_1 \sigma_{cp} \right] b_w d \quad \geq (V_{min} + k_1 * \sigma_{cp}) * b_w * d$$

$$V_{Rd,c} = \left[ 0,15 \times 2,0 \times (100 \times 0,013 \times 25)^{\frac{1}{3}} + 0,15 \times 0,047 \right] / 10 \times 38 \times 12 = 44 \text{ kN} \quad (0,49 + 0,15 \times 0,047) / 10 \times 38 \times 12 = 22,7 \text{ kN}$$

$$V_{Rd} = 285,11 + 44 = 329,1 \text{ kN}$$

Proračunska vrijednost nosivosti na smicanje zida ovog nearmiranog zida iznosi 329,1 kN, što je veće od sile smicanja 300 kN. Nosivost na smicanje zida je **zadovoljena**.

## 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:

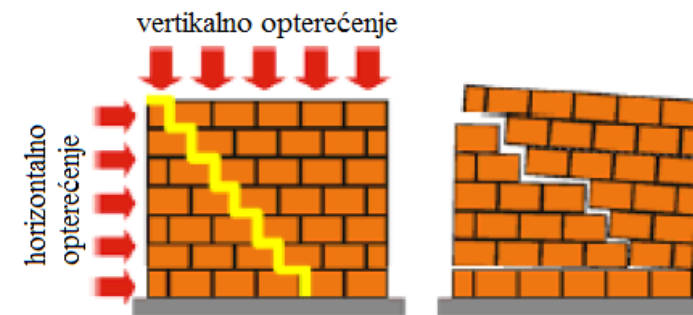
- u skladu sa odgovarajućim izrazima
- u skladu sa rezultatima ispitivanja za određeni pr
- iz baze podataka ranije sprovedenih ispitivanja.

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

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

$$\sigma_0 = N_d / A_w$$

$$\tau_R = H_u / A_w$$



Gdje je:

$\sigma_0$  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:

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

$\gamma_M$  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 <sup>2</sup> ]	Čvrstoća na pritisak maltera $f_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Karakteristična čvrstoća na zatezanje zida $f_{tk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
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		$\gamma_m$				
		Klasa				
		1		2		3
A	Elementi kategorije I i sa malterom projektovanih svojstva	1,5		<b>2,0</b>		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 <sup>2</sup> ]	Čvrstoća na pritisak maltera $f_m$ [N/mm <sup>2</sup> ]	Karakteristična čvrstoća na zatezanje zida $f_{tk}$ [N/mm <sup>2</sup> ]
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

→  $f_{tk} = 0,15$  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.**