

DISPOZICIONO RJEŠAVANJE KONSTRUKCIJE STAMBENOG ZIDANOG OBJEKTA

1. ZIDANI ZIDOVI – VERTIKALNI NOSIVI SISTEMI

1.1. OPŠTE

Zidani zidovi se sastoje od:

1) ZIDANOG ELEMENTA

- **puna opeka** – proizvod od pečene gline
dimenzije $L=25\text{cm}$; $B=12\text{cm}$; $h=6,5\text{cm}$
- **šuplja opeka** – proizvod od pečene gline sa vertikalnim šupljinama
dimenzije $L=25\text{cm}$; $B=12\text{cm}$; $h=6,5\text{cm}$

2) MALTERA – vezivno sredstvo

najčešće krečno – cementni malter

1.2. DEBLJINE ZIDOVA

Debljine zidova od opeke se formiraju kombinacijom dužine (25cm) i širine (12cm) opeke i iznose: 12cm ; 25cm ; 38cm ; 51cm ; 64cm ...

Smičući zidovi treba da ispune određene geometrijske zahtjeve - EN 1998-1:2004 (9.5.1 (5)P):

- a) efektivna debljina zidova t_{ef} ne smije biti manja od minimalne $t_{ef,min}$;
 $t_{ef,min}=240\text{mm} = 24\text{cm}$
- b) odnos h_{ef}/t_{ef} efektivne visine zida (prema EN 1996-1-1:2004) prema njegovoj efektivnoj debljini, ne smije prelaziti maksimalnu vrijednost $(h_{ef}/t_{ef})_{max}$;
 $(h_{ef}/t_{ef})_{max} = 15$

1.3. OPŠTI PRINCIPI ASEIZMIČKOG PROJEKTOVANJA

Pri projektovanju zidanih konstrukcija treba težiti ravnomjernom rasporedu zidova u oba ortogonalna pravca.

EN 1998-1:2004, 9.7.2 (2) - Konfiguracija zgrade u osnovi treba da ispuni sledeće uslove:

- a) Osnova je približno pravougaona
- b) Odnos između dužina kraće i duže strane u osnovi nije manje od minimalne λ_{min} ;
Preporučena vrijednost za λ_{min} je 0,25
- c) Površina projekcije odstupanja od pravougaonog oblika u vidu ispada ili udubljenja nije veća od vrijednosti P_{max} , izražene u procentima od ukupne površine sprata iznad posmatranog nivoa. Preporučena vrijednost za P_{max} je 15%.

Treba težiti simetričnom rasporedu zidova u osnovi i kontinuitetu zidova po visini objekta. Pravilnim konstruktivnim konceptom konstrukcije izbjegavaju se efekti torzije.

EN 1998-1:2004, 9.7.2 (3) – Smičući zidovi zgrade treba da ispune sledeće uslove:

- a) zgrada je ukružena smičućim zidovima koji su postavljeni skoro simetrično u osnovi u dva ortogonalna pravca.
- b) smičući zidovi moraju se kontinualno pružati od vrha do dna zgrade.

EN 1998-1:2004, 9.7.2 (1)

U zavisnosti od vrijednosti produkta $a_g \cdot S$ na lokaciji objekta i načina građenja, dozvoljeni broj spratova iznad tla n se ograničava, a smičući zidovi se moraju postaviti u dva ortogonalna pravca,

sa minimalnom površinom A_{\min} u svakom pravcu. Minimalna površina zidova se izražava kao minimalni procenat $\rho_{A,\min}$ od ukupne površine sprata.

Tabela 9.3: Dozvoljeni broj spratova iznad tla i minimalne površine smičućih zidova za "jednostavne zidane zgrade"

Ubrzanje na lokaciji $a_g \cdot S$		$\leq 0,07 k \cdot g$	$\leq 0,10 k \cdot g$	$\leq 0,15 k \cdot g$	$\leq 0,20 k \cdot g$
Način građenja	Broj spratova (n)**	Minimalna površina smičućih zidova za svaki pravac, kao procenat $\rho_{A,\min}$ od ukupne površine sprata			
Nearmirani zidovi	1	2,0%	2,0%	3,5%	n/a*
	2	2,0%	2,5%	5,0%	n/a*
	3	3,0%	5,0%	n/a*	n/a*
	4	5,0%	n/a*	n/a*	n/a*
Zidovi sa serklažima	2	2,0%	2,5%	3,0%	3,5%
	3	2,0%	3,0%	4,0%	n/a*
	4	4,0%	5,0%	n/a*	n/a*
Armirani zidovi	2	2,0%	2,0%	2,0%	3,5%
	3	2,0%	2,0%	3,0%	5,0%
	4	3,0%	4,0%	5,0%	n/a*
	5	4,0%	5,0%	n/a*	n/a*

* n/a znači "nije dozvoljeno".

** Tavanski prostor iznad punih spratova nije uključen u dozvoljeni broj spratova.

• Određivanje k

Za zgrade kod kojih je najmanje 70% razmatranih smičućih zidova duže od 2 m, koeficijent k je dat izrazom:

$$1) \quad k = 1 + \frac{(l_{av} - 2)}{4} \leq 2$$

l_{av} - prosječna dužina razmatranih smičućih zidova izražena u m

$$2) \quad \text{Za ostale slučajeve} \quad k=1$$

Y Pravac			
z1	L=	10,46 m	/*2 ≥ 2
z2	L=	2,28 m	/*2 ≥ 2
z3	L=	1,78 m	/*2 ≤ 2
z4	L=	2,52 m	/*2 ≥ 2
z5	L=	1,58 m	/*2 ≤ 2
z6	L=	4,83 m	/*2 ≥ 2
z7	L=	4,59 m	/*2 ≥ 2
z8	L=	7,21 m	/*2 ≥ 2

X Pravac			
z9	L=	1,6 m	/*6 ≤ 2
z10	L=	4,4 m	/*2 ≥ 2
z11	L=	2,78 m	/*2 ≥ 2
z12	L=	2,8 m	/*2 ≥ 2
z13	L=	1,85 m	/*2 ≤ 2
z14	L=	1,18 m	/*2 ≤ 2
z15	L=	5,8 m	/*1 ≥ 2

Ukupno zidova n=16

Zidovi $L \leq 2m$ n=4

Zidovi $L \geq 2m$ n=12

$$\frac{12}{16} = 0,75 = 75\% > 70\%$$

$$k_y = 1 + \frac{(l_{av} - 2)}{4} = 1 + \frac{(4,41 - 2)}{4} = 1,6$$

$$l_{av} = \frac{(L_1 + \dots + L_{16})}{16} = \frac{70,5m}{16} = 4,41m$$

Ukupno zidova n=17

Zidovi $L \leq 2m$ n=10

Zidovi $L \geq 2m$ n=7

$$\frac{7}{17} = 0,41 = 41\% < 70\%$$

$$k_x = 1$$

$$a_g = 0,4g \quad a_g S = 0,4g \quad (S=1 \text{ za tlo tipa A}) \quad \begin{cases} X \text{ pravac} \leq 0,20g \\ Y \text{ pravac} \leq 0,32g \end{cases}$$

Iz tabele 9.3 slijedi da je $n=2$ i $\rho_{\min(x,y)}=3,5\%$

S+P+1 (n=2)

Ukupna Površina Sprata

$$A_{\text{sprata}}=18,58 \cdot 14,08 - 1,39 \cdot 2,6=258 \text{ m}^2 \quad (\text{bez terasa})$$

Površina zidova Y pravac

z1	A1=	10,46	·	0,38	=	3,97	/	*2
z2	A2=	2,28	·	0,38	=	0,87	/	*2
z3	A3=	1,78	·	0,25	=	0,45	/	*2
z4	A4=	2,52	·	0,25	=	0,63	/	*2
z5	A5=	1,58	·	0,25	=	0,4	/	*2
z6	A6=	4,83	·	0,25	=	1,21	/	*2
z7	A7=	4,59	·	0,38	=	1,74	/	*2
z8	A8=	7,21	·	0,38	=	2,74	/	*2

Površina zidova X pravac

z9	A9=	1,6	·	0,38	=	0,61	/	*6
z10	A10=	4,4	·	0,38	=	1,67	/	*2
z11	A11=	2,78	·	0,38	=	1,06	/	*2
z12	A12=	2,8	·	0,25	=	0,70	/	*2
z13	A13=	1,85	·	0,38	=	0,70	/	*2
z14	A14=	1,18	·	0,38	=	0,45	/	*2
z15	A15=	5,8	·	0,38	=	2,20	/	*1

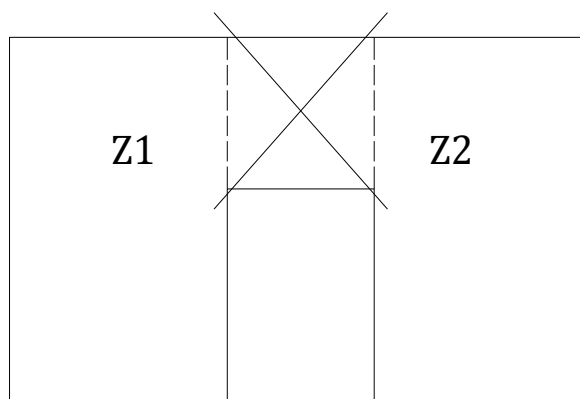
$$A_{\text{ukupno}}^y = 24,02 \text{ m}^2$$

$$\rho_{ay} = \frac{24,02}{258} = 9,3\% \geq 3,5\%$$

$$A_{\text{ukupno}}^x = 15,02 \text{ m}^2$$

$$\rho_{ax} = \frac{15,02}{258} = 5,8\% \geq 3,5\%$$

1.4. POZICIONIRANJE ZIDOVA - KONZOLNI MODEL KONSTRUKCIJE



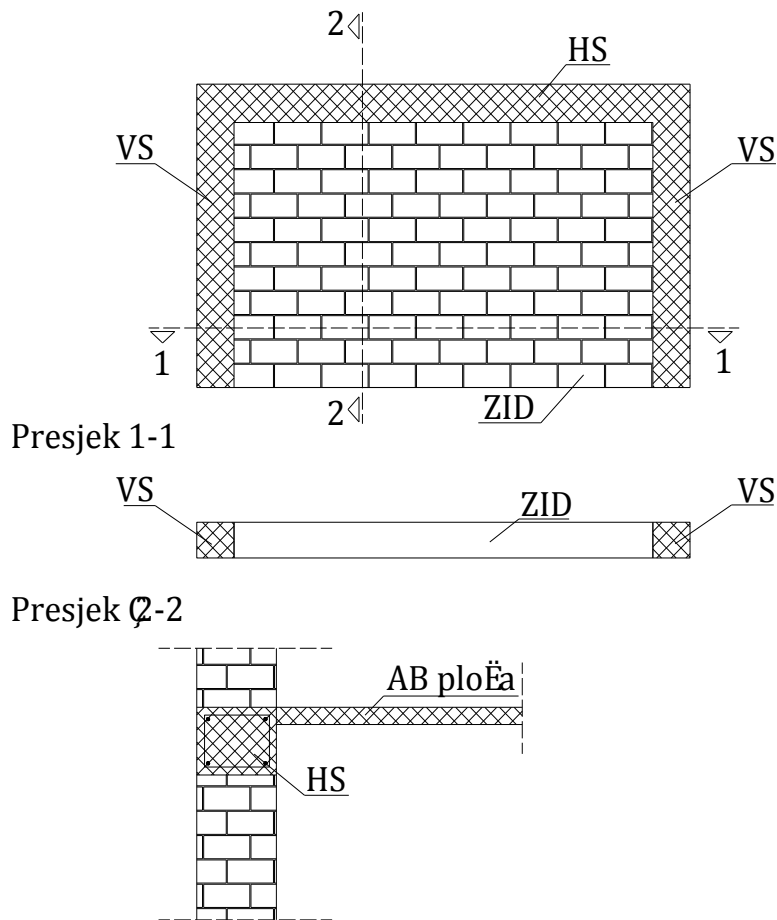
2. HORIZONTALNI SERKLAŽI I VERTIKALNI SERKLAŽI

Horizontalni serklaž

- Horizontalni AB elementi u zidanim zidovima
- $b=d_z$ (širina = debljina zida)
- Visina je = min 20cm > d_p (debljina ploče)

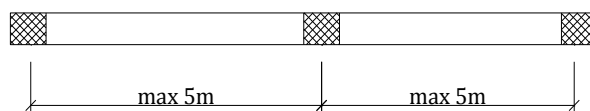
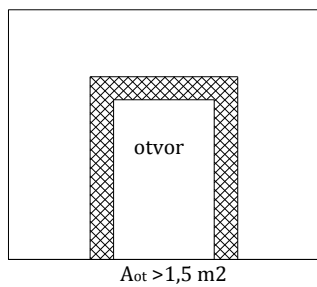
Vertikalni serklaž

- Vertikalni AB element u zidanim zidovima
- Dimenzije VS = debljina zidova



EN 1998-1:2004/ 9.5.3 – Dodatni zahtjevi

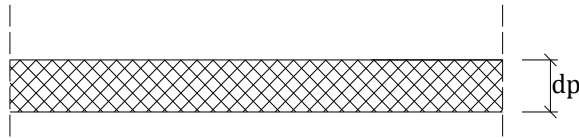
- (1)P Horizontalni i vertikalni serklaži moraju biti međusobno povezani i usidreni za elemente glavnog konstrukcijskog sistema
- (2)P
- (3) min $d = 15 \text{ cm}$
- (4) Vertikalni serklaži za utezanje zidova se moraju postaviti:
 - na slobodnim krajevima svih konstrukcijskih elemenata zida
 - sa obje strane svakog otvora u zidu čija je površina veća od $1,5 \text{ m}^2$
 - Unutar zida, ako je potrebno, a da razmak između serklaža ne bude veći od 5 m
 - kod svakog ukrštanja zidova
- (6) Podužna armatura vertikalnih i horizontalnih serklaža ne smije biti manja od $\min A_a = 300 \text{ mm}^2 = 3 \text{ cm}^2$, niti od 1% površine poprečnog presjeka serklaža $\min A_c = 1\% A_s$
- (7) Uzengije $\min \phi = 5 \text{ mm}$; $\min e = 15 \text{ cm}$



MEĐUSPRATNA TAVANICA – AB PLOČA

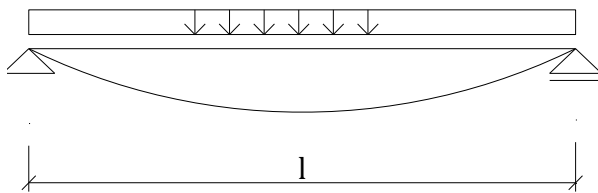
l_0 – razmak između nultih tačaka momentnog dijagrama

$$\min d_p = \begin{cases} 5 \text{ cm} & \text{krovne ploče} \\ 7 \text{ cm} & \text{ploča sa pod. opt} \\ 10 \text{ cm} & \text{ploče za pld. noz.} \\ 12 \text{ cm} & \text{ploče za ter. noz.} \end{cases}$$



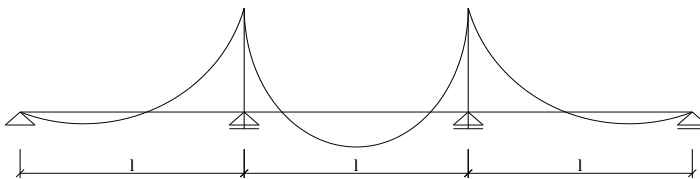
$$\min d_p = \frac{l_o}{35}$$

PROSTA GREDA



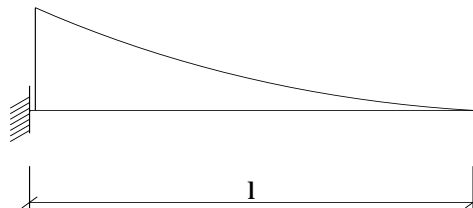
$$l_o = l$$

KONTINUALNA GREDA



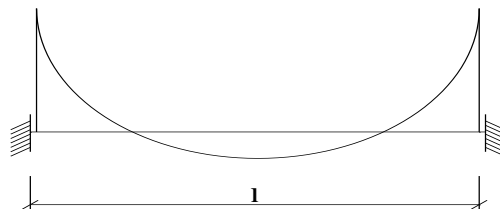
$$l_o = 0.80l$$

KONZOLA



$$l_o = 1.50l$$

OBOSTRANO UKLJEŠTENA GREDA

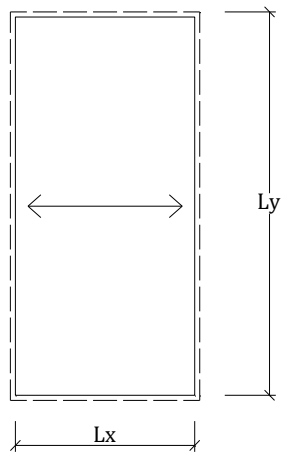


$$l_o = 0.50l$$

NAPOMENA: Usvojiti svuda istu debljinu ploče.

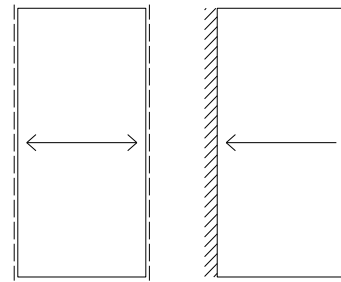
- VRSTE PLOČA U ZAVISNOSTI OD NAČINA PRENOSA OPTEREĆENJA

1. Ploče koje prenose opterećenje u jednom pravcu

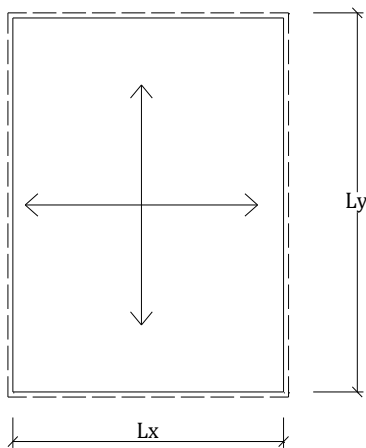


$$\frac{L_y}{L_x} > 2$$

Napomena:



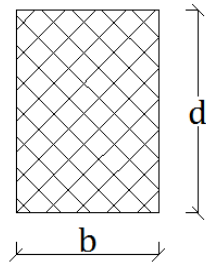
2. Ploče koje prenose opterećenje u dva pravca



$$\frac{L_y}{L_x} < 2$$

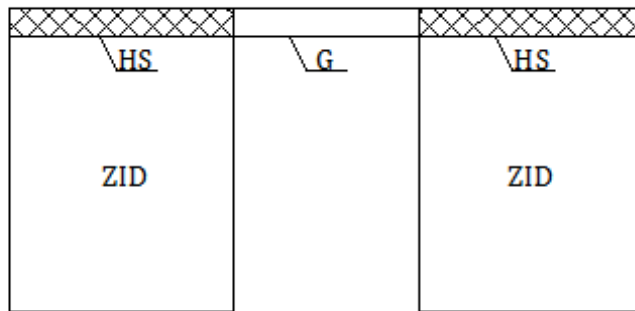
Pozicioniranje ploče

GREDE



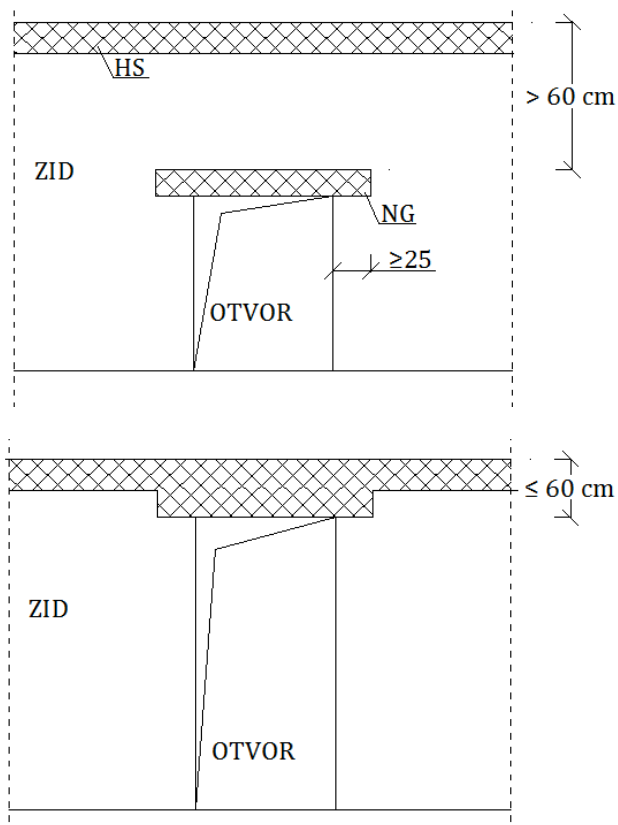
$$b/d = 2:1$$

$$d = \frac{l_o}{12} \div \frac{l_o}{10} \quad (l_o - \text{isto kao i kod ploča})$$



Pozicioniranje grede

- Natprozornici i nadvratnici

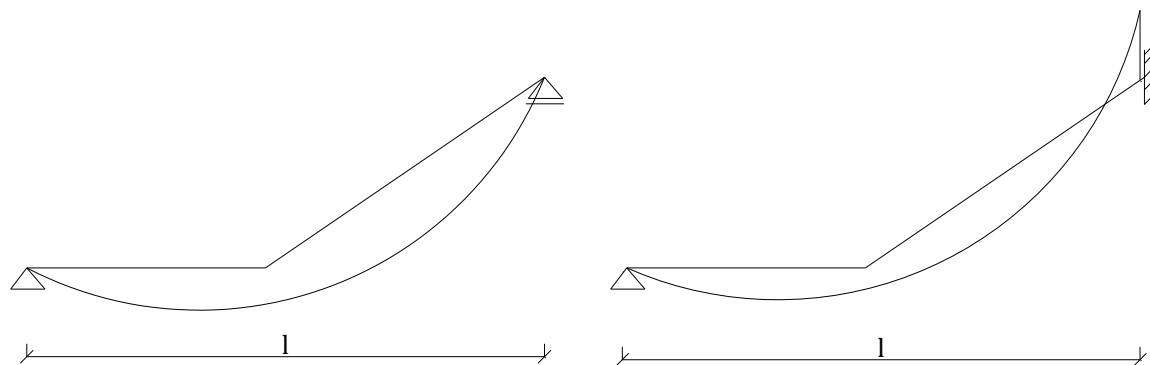


Natprozornik koji se radi nezavisno od ploče

Natprozornik koji se radi zajedno sa pločom

STEPENIŠTE

Nosivi dio stepeništa je koljenasta (kosa) ploča.



$$\min d_p = \frac{l}{35}$$

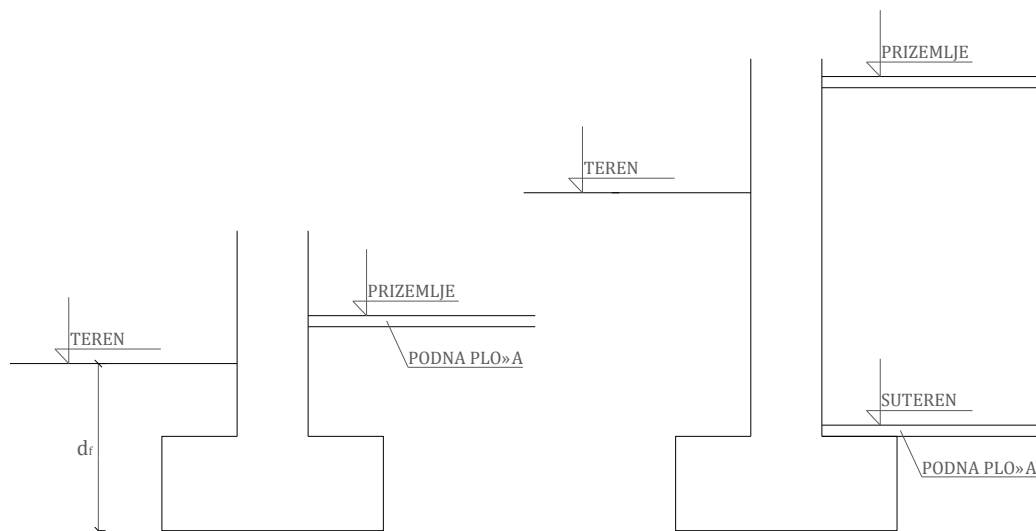
$$\min d_p = \frac{0,80 \cdot l}{35}$$

Napomena:

Zabranjeno oslanjati stepenište na bočne zidane zidove.

TEMELJI

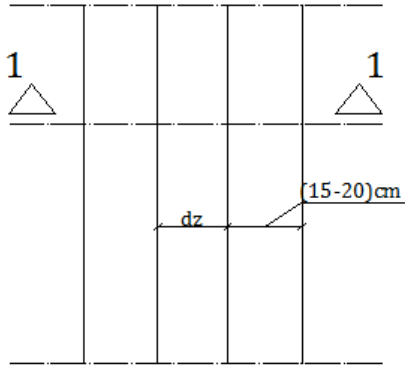
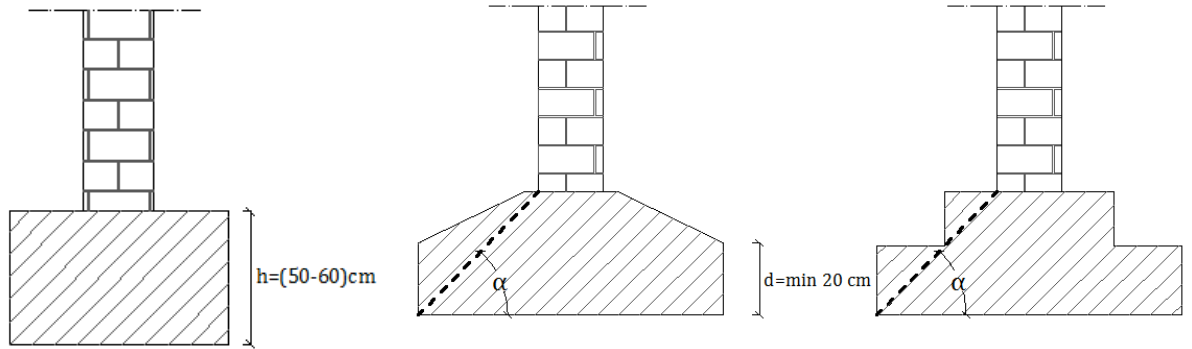
Ispod zidanih zidova postavljaju se trakasti temelji.



$d_f = 0,80 - 1,0$ m (dubina fundiranja)

NEARMIRANI TEMELJI

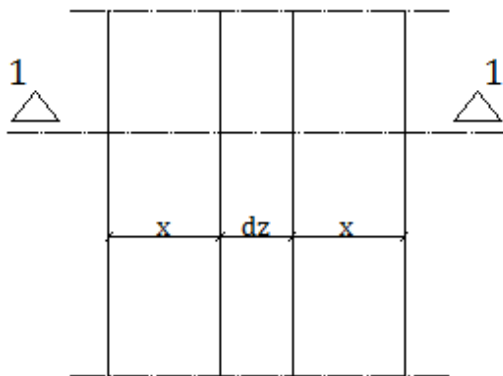
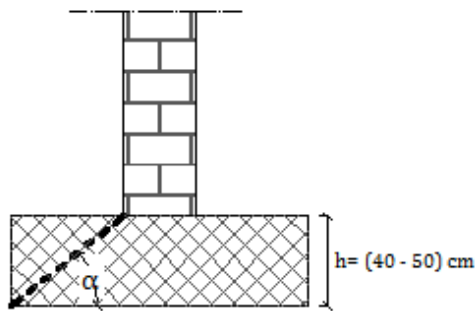
1-1



$\alpha = 40 - 50^\circ \Rightarrow x$ Napomena:
Druge dvije varijante - ušteda betona

ARMIRANI TEMELJI

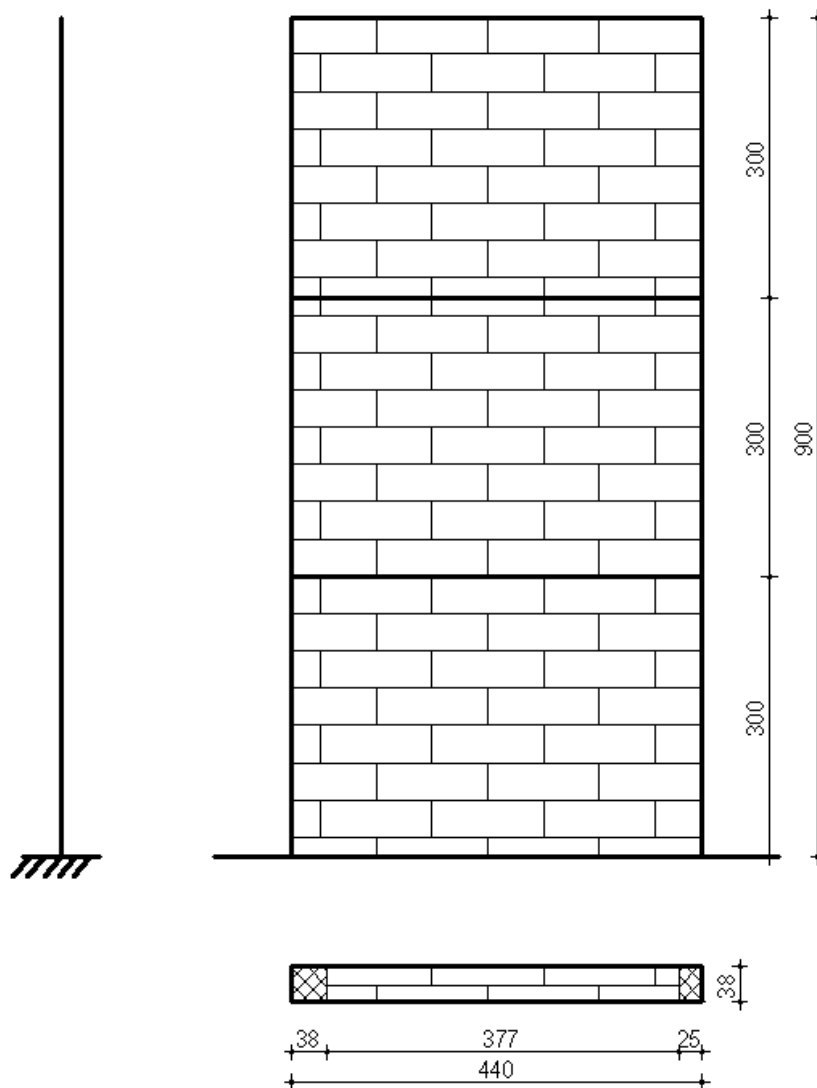
1-1



$\alpha = 30 - 40^\circ$ Ugao prenošenja opterećenja
 $\alpha \Rightarrow x$

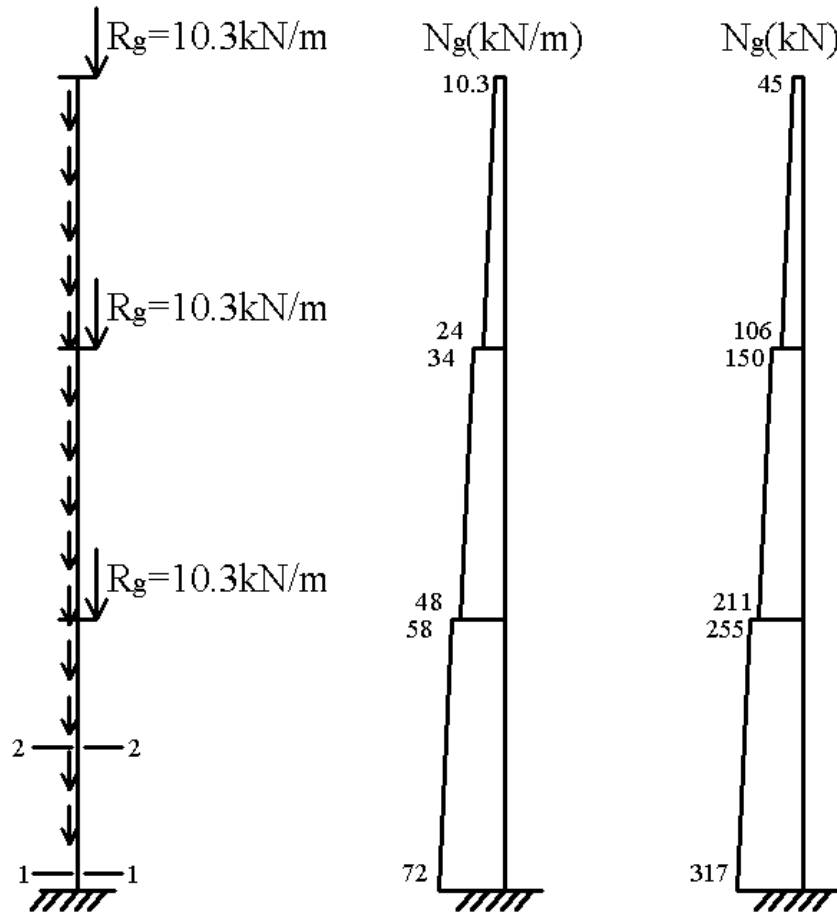
PRORAČUN ZIDA Z10

Izgled zida Z10, karakteristični poprečni presjek i statički sistem prikazani su na slici.



○ STATIČKI UTICAJI U ZIDU Z10

- Statički uticaji od stalnog opterećenja

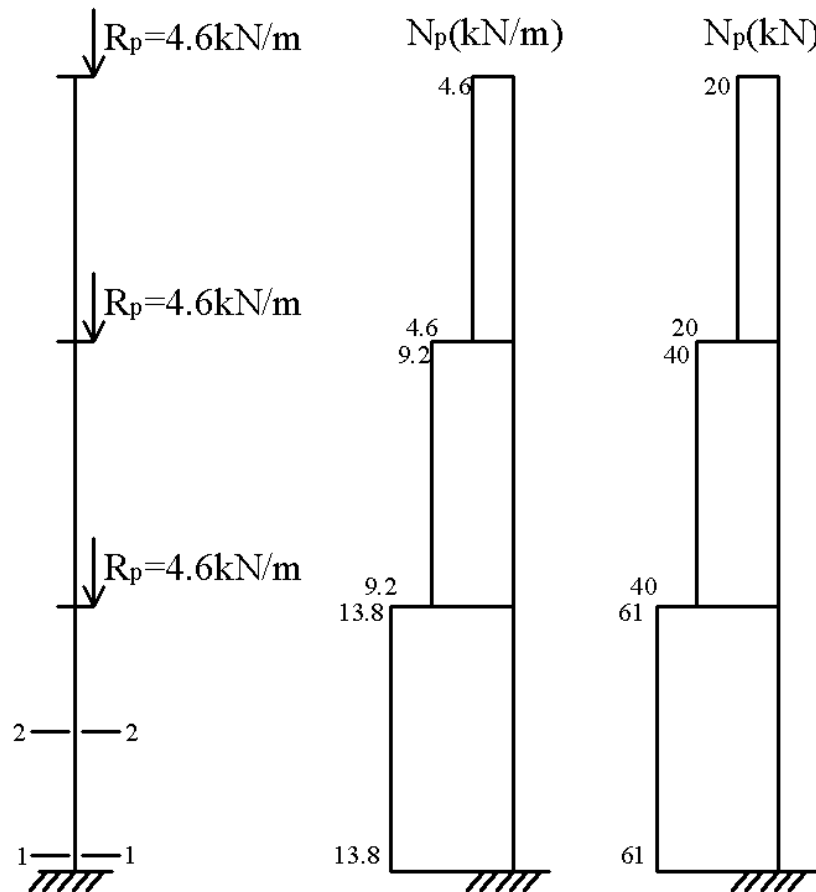


Presjek 1-1:

$$R_g = R_g(\text{POS101}) + R_g(\text{POS102}) = 5.8 + 4.5 = 10.3 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$N_g = 3 \cdot R_g \cdot l_z + g_{st} \cdot l_z \cdot H_z = 3 \cdot 10.3 \cdot 4.4 + 0.38 \cdot 12 \cdot 4.4 \cdot 9 = 317 \text{ kN}$$

- Statički uticaji od korisnog opterećenja

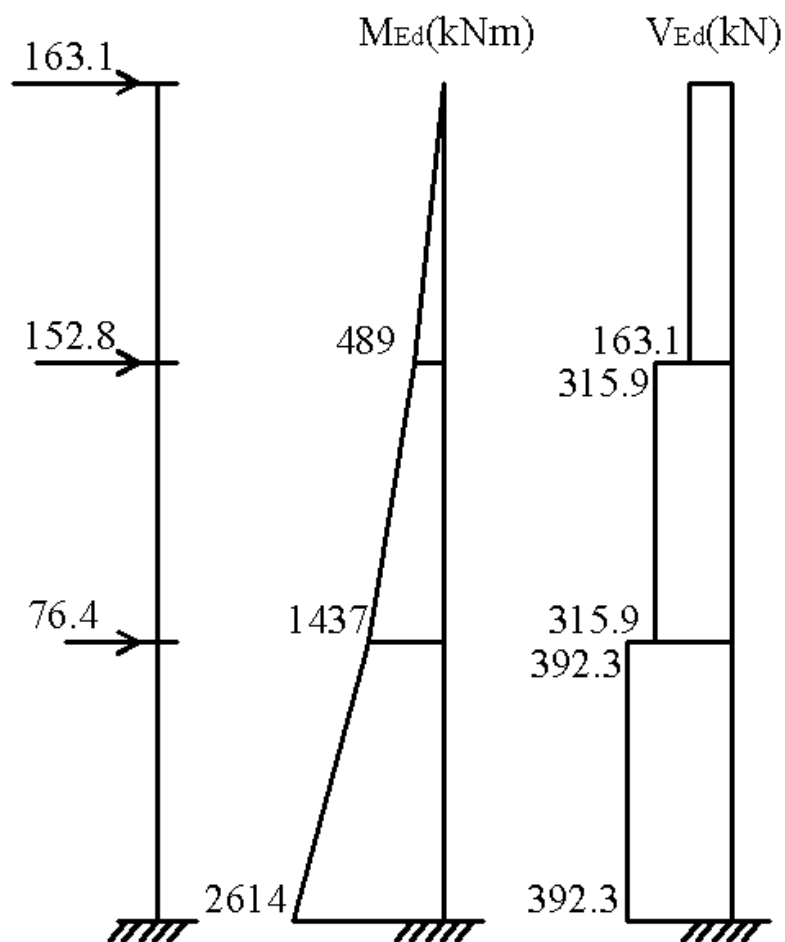


Presjek 1-1:

$$R_p = R_p(\text{POS101}) + R_p(\text{POS102}) = 2.6 + 2.0 = 4.6 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$$

$$N_p = 3 \cdot R_p \cdot l_z = 3 \cdot 4.6 \cdot 4.4 = 60.7 \text{ kN}$$

- Statički uticaji od seizmičkih sila



Ukupna seizmička sila koju prihvata zid Z10 iznosi $F_{bx,Z10} = 163.1 + 152.8 + 76.4 = 392.3 \text{ kN}$.

○ **KARAKTERISTIKE UPOTREBLJENOG MATERIJALA**

- Marka opeke M10

Normalizovana srednja vrijednost čvrstoće na pritisak giter opeke: $f_b = 1 \times 10 = 10 \text{ MPa}$

Visina ¹⁾ zidnog elementa(mm)	Najmanja horizontalna dimenzija zidnog elementa (mm)				
	50	100	150	200	≥250
40	0,80	0,70	-	-	-
50	0,85	0,75	0,70	-	-
65	0,95	0,85	0,75	0,70	0,65
100	1,15	1,00	0,90	0,80	0,75
150	1,30	1,20	1,10	1,00	0,95
200	1,45	1,35	1,25	1,15	1,10
≥250	1,55	1,45	1,35	1,25	1,15

¹⁾ Visina uzorka nakon pripreme površine.

- Marka maltera M5

Čvrstoća na pritisak maltera: $f_m = 5 \text{ Mpa}$

Karakteristična čvrstoća zidarije na pritisak f_k se određuje na sledeći način (EN 1996-1-1:2005 3.6.1.2(2)):

$$f_k = K \cdot f_b^{0.70} \cdot f_m^{0.30}$$

K – konstanta prema tabeli 3.3. iz EN 1996-1-1.

K=0.45 za giter opeku koja spada u grupu 2 i malter opšte namjene. (Grupa 2: vertikalne šupljine >25 i <55)

$$f_k = K \cdot f_b^{0.70} \cdot f_m^{0.30} = 0.45 \cdot 10^{0.70} \cdot 5^{0.30} = 3.66 \text{ MPa}$$

Modul elastičnosti E se određuje na sledeći način (EN 1996-1-1:2005 3.7.2(2)):

$$E = 1000 \cdot f_k = 1000 \cdot 3.66 = 3660 \text{ MPa}$$

Modul smicanja G se određuje na sledeći način (EN 1996-1-1:2005 3.7.3(1)):

$$G = 40\% \cdot E = 0.4 \cdot 3660 = 1464 \text{ MPa}$$

Modul elastičnosti betona E se određuje na sledeći način (EN 1992-1-1:2017 3.1.3(Tabela 3.1)):

$$E = 31 \text{ GPa} = 31000 \text{ MPa za C25/30}$$

Parcijalni koeficijent za materijal:

Tabela 2.1N: Parcijalni koeficijenti za materijale za granična stanja nosivosti

Proračunske situacije	γ_c za beton	γ_s za čelik za armaturu	γ_s za čelik za prethodno naprezanje
Stalne i prolazne	1,5	1,15	1,15
Incidentne	1,2	1,0	1,0

Tabela 2.4.3 – Parcijalni koeficijenti za materijal γ_M za granicna stanja nosivosti

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

^a Zahtjevi za maltere projektovanih svojstava dati su u MEST EN 998-2 i MEST EN 1996-2.
^b Zahtjevi za maltere projektovanog sastava dati su u MEST EN 998-2 i MEST EN 1996-2.
^c Deklarisane vrijednosti su srednje vrijednosti.
^d Pretpostavlja se da su slojevi nepropusni na vlagu obuhvaćeni vrijednošću γ_M zida.
^e Kada koeficijent varijacije za elemente kategorije II nije veći od 25 %.

Značenje klase:

a) klasa 1

Izvođač ima certifikat prema standardu EN ISO 9001 i/ili potvrđen sastav kontrole kvaliteta izvođenja za objekat koji izvodi.

Izvođač ugrađuje samo materijale koji imaju potvrde o usaglašenosti proizvoda.

Investitor mora osigurati nadzor.

b) klasa 2

Izvođač ugrađuje samo materijale koji imaju potvrde o usaglašenosti proizvoda.

Investitor mora osigurati nadzor.

c) klasa 3

Izvođač ugrađuje samo materijale koji imaju potvrde o usaglašenosti proizvoda.

Parcijalni koeficijent sigurnosti za materijal γ_m (EN 1996-1-1:2005 2.4.3(1)P):

Usvojeno: $\gamma_m = 2.5$.

Za seizmičku proračunsku situaciju koristi se parcijalni koeficijent sigurnosti $\frac{2}{3} \cdot \gamma_m = \frac{2}{3} \cdot 2.5 = 1.67$, ali ne manje od 1.5.

○ KONTROLA NAPONA PRITISKA U ZIDU

Pri graničnom stanju nosivosti, proračunska vrijednost vertikalnog opterećenja koje djeluje na zid, N_{Ed} , mora da bude manja ili jednaka proračunskoj vrijednosti nosivosti zida na pritisak, N_{Rd} , tako da je:

$$N_{Ed} \leq N_{Rd}$$

Proračunska vrijednost nosivosti jednostrukog zida na pritisak data je kao:

$$N_{Rd} = \Phi \cdot A \cdot f_d$$

gdje je:

Φ - koeficijent izvijanja

A – površina poprečnog presjeka zida

f_d – proračunska vrijednost čvrstoće zida na pritisak

Određivanje koeficijenta izvijanja kojim se uzima u obzir vitkost i ekscentričnost EN 1996-1-1:2005 6.1.2.2.

1/ Vrijednost koeficijenta izvijanja pri vrhu i pri dnu zida se određuje na sledeći način:

$$\Phi_i = 1 - 2 \cdot \frac{e_i}{t}$$

$$e_i = \frac{M_{id}}{N_{id}} + e_{he} + e_{init} \geq 0.05t$$

gdje je:

e_i - ekscentricitet pri vrhu ili dnu zida

t - debljina zida

M_{id} - proračunska vrijednost momenta savijanja pri vrhu ili dnu zida, koji je rezultat ekscentričnosti vertikalnog opterećenja od međuspratne konstrukcije na njenom osloncu, koja se sračunava u skladu sa Aneksom C EN 1996-1-1:2005

N_{id} - proračunska vrijednost vertikalnog opterećenja pri vrhu ili dnu zida

e_{he} - ekscentricitet pri vrhu ili dnu zida usled djelovanja horizontalnih opterećenja

$e_{he} = 0$ - nema horizontalnog opterećenja

e_{init} - početni ekscentricitet, $e_{init} = \frac{h_{ef}}{450}$, $h_{ef} = \rho_n \cdot h$

$$M_1 = \frac{\frac{n_1 E_1 I_1}{h_1}}{\frac{n_1 E_1 I_1}{h_1} + \frac{n_2 E_2 I_2}{h_2} + \frac{n_3 E_3 I_3}{h_3} + \frac{n_4 E_4 I_4}{h_4}} \left[\frac{w_3 l_3^2}{4(n_3 - 1)} - \frac{w_4 l_4^2}{4(n_4 - 1)} \right], \quad (C.1)$$

gde je:

n_i koeficijent krutosti elementa i , $i = 1, 2, 3$ ili 4 , koji se može uzeti da je jednak 4 za elemente uklještene na obe strane, a ako to nije slučaj, uzeti da je jednak 3 ;

E_i modul elastičnosti elementa i , $i = 1, 2, 3$ ili 4 .

Napomena: Uobičajeno će biti dovoljno tačno da se vrednost E usvoji kao $1000 f_k$ za sve elemente za zidanje.

I_i moment inercije preseka elementa i , $i = 1, 2, 3$ ili 4 (u slučaju dvoslojnog zida sa šupljinom, kada je samo jedan sloj noseći, I_i treba odrediti kao moment inercije samo nosećeg sloja);

h_1 čista visina elementa 1;

h_2 čista visina elementa 2;

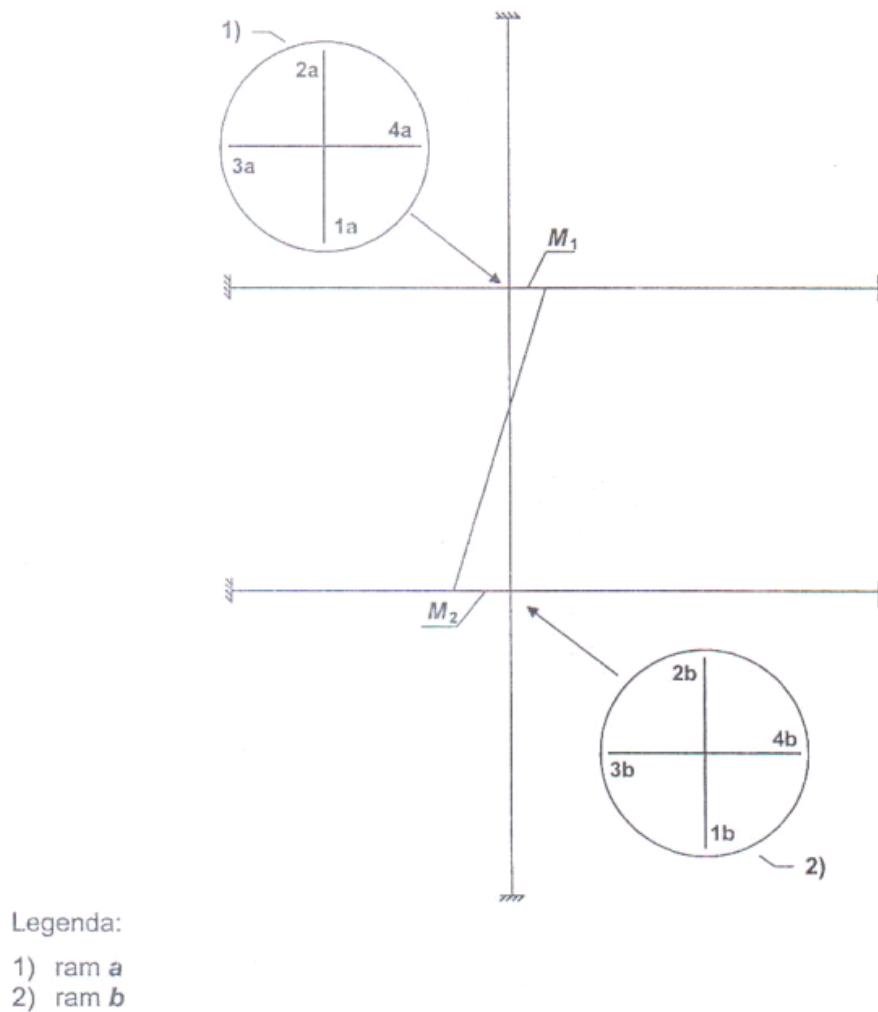
l_3 čist raspon elementa 3;

l_4 čist raspon elementa 4;

w_3 proračunska vrednost jednako podeljenog opterećenja na elementu 3, uz primenu parcijalnih koeficijenata sigurnosti prema EN 1990, za nepovoljan uticaj;

w_4 proračunska vrednost jednako podeljenog opterećenja na elementu 4, uz primenu parcijalnih koeficijenata sigurnosti prema EN 1990, za nepovoljan uticaj.

Određivanje M_{id} proračunske vrijednosti momenta savijanja pri vrhu ili dnu zida u skladu sa Aneksom C EN 1996-1-1:2005



Napomena: Moment M_1 je određen iz rama *a*, a moment M_2 iz rama *b*.

Slika C.1: Pojednostavljeni model rama

Napomena: Na slici je prikazan model rama u skladu sa Eurokodom. Vertikalni elementi (zid) imaju oznake 1 i 2, a horizontalni elementi (ploče) imaju oznake 3 i 4. U ovom primjeru spratna visina zida Z10 je $h_1 = h_2 = 3.0\text{m}$, a dužine ploča su za POS 101 - $l_3 = 6.1\text{m}$ i za POS 102 - $l_4 = 4.3\text{m}$ (pogledati osnove).

$$n_1 = n_2 = n_3 = n_4 = 4 \quad E_1 = E_2 = 3660\text{MPa} \quad E_3 = E_4 = 31000\text{MPa} \quad (\text{MB 30}) \quad h_1 = h_2 = 3.0\text{m} \quad l_3 = 6.1\text{m} \quad l_4 = 4.3\text{m}$$

$$I_1 = I_2 = \frac{0.38 \cdot 4.4^3}{12} = 2.697\text{m}^4 \quad I_3 = I_4 = \frac{1.0 \cdot 0.12^3}{12} = 1.44 \cdot 10^{-4}\text{m}^4 \quad (\text{uzima se širina ploče } 1.0\text{m})$$

$$w_3 = w_4 = 1.35 \cdot g + 1.5 \cdot p = 1.35 \cdot 4.51 + 1.5 \cdot 2.0 = 9.1\text{ kN/m}^2$$

1.35 – koeficijent sigurnosti za statično opterećenje

1.5 – koeficijent sigurnosti za povremeno opterećenje

$$M_{1d} = M_{2d} = \frac{\frac{4 \cdot 2.697 \cdot 3660}{3}}{\frac{4 \cdot 2.697 \cdot 3660}{3} \cdot 2 + \frac{4 \cdot 1.44 \cdot 10^{-4} \cdot 31000}{6.1} + \frac{4 \cdot 1.44 \cdot 10^{-4} \cdot 31000}{4.3}} \cdot \left[\frac{9.1 \cdot 6.1^2}{4 \cdot (4-1)} - \frac{9.1 \cdot 4.3^2}{4 \cdot (4-1)} \right]$$

$$= 7.1\text{ kNm}$$

Napomena: Moment se javlja isključivo zbog različitih dužina ploča.

$$e_i = \frac{M_{id}}{N_{id}} + e_{init}$$

$$h_{ef} = \rho_4 \cdot h \quad \rho_4 = \frac{1}{1 + \left[\frac{\rho_2 \cdot h}{L} \right]^2} \cdot \rho_2 \quad \text{kada je } h \leq 1.15 \cdot L$$

$$\rho_4 = \frac{0.5 \cdot L}{h} \quad \text{kada je } h > 1.15 \cdot L$$

$$\rho_2 = 0.75$$

h – visina sprata

L – dužina zida

kada je $h = 3.0\text{m} \leq 1.15 \cdot L = 1.15 \cdot 4.4 = 5.1\text{m}$

$$h_{ef} = 0.6 \cdot 3 = 1.8\text{m} \quad \rho_4 = \frac{1}{1 + \left[\frac{\rho_2 \cdot h}{L} \right]^2} \cdot \rho_2 = \frac{1}{1 + \left[\frac{0.75 \cdot 3}{4.4} \right]^2} \cdot 0.75 = 0.60$$

$$N_{id} = 1.35 \cdot N_g + 1.5 \cdot N_p = 1.35 \cdot 317 + 1.5 \cdot 60.7 = 519\text{kN}$$

$$e_i = \frac{M_{id}}{N_{id}} + e_{init} = \frac{7.1}{519} + \frac{h_{ef}}{450} = 0.0136 + \frac{0.60 \cdot 3.0}{450} = 0.0136\text{m} + 0.004\text{m} = 0.0176\text{m}$$

$$\leq 0.05 \cdot t = 0.05 \cdot 0.38 = 0.019\text{m} \Rightarrow e_i = 0.019\text{m}$$

$$\Phi_i = 1 - 2 \cdot \frac{e_i}{t} = 1 - 2 \cdot \frac{0.019}{0.38} = 0.9$$

$$A = t \cdot L = 38 \cdot 440 = 16720\text{cm}^2$$

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_m} = \frac{3.66}{2.5} = 1.46\text{MPa} = 0.146 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$N_{Rd} = \Phi \cdot A \cdot f_d = 0.9 \cdot 16720 \cdot 0.146 = 2197\text{ kN}$$

Za kontrolu napona pritiska u zidu mjerodavna je kombinacija uticaja od stalnog opterećenja i korisnog opterećenja sa odgovarajućim koeficijentima sigurnosti:

$$N_{Ed} = 1.35 \cdot N_g + 1.5 \cdot N_p$$

Za presjek 1-1

$$N_{Ed} = 1.35 \cdot N_g + 1.5 \cdot N_p = 1.35 \cdot 317 + 1.5 \cdot 60.7 = 519\text{ kN}$$

$$N_{Rd} = 2197\text{ kN} > N_{Ed} = 519\text{ kN} \Rightarrow \text{Kontrola zida na pritisak je zadovoljena.}$$

○ KONTROLA NA SMICANJE U ZIDU

Pri graničnom stanju nosivosti, proračunska vrijednost smičućeg opterećenja koje djeluje na zid uokviren serklažima, V_{Ed} , mora da bude manja ili jednaka proračunskoj vrijednosti nosivosti zida uokvirenog serklažima na smicanje, V_{Rd} , tako da je:

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

Proračunska vrijednost nosivosti na smicanje zida uokvirenog serklažima V_{Rd} dobija se kao zbir nosivosti na smicanje zida i betona serklaža:

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

Proračunska vrijednost nosivosti na smicanje zida uokvirenog serklažima $V_{Rd,zid}$ određuje se prema EN 1996-1-1:2005 6.2(2) odnosno kao I za slučaj nearmiranih zidova i to:

$$V_{Rd,zid} = f_{vd} \cdot t \cdot L_c$$

Gdje je:

f_{vd} - proračunska vrijednost čvrstoće zida na smicanje (EN 1996-1-1:2005 3.6.2(3))

t - debljina zida

L_c - dužina pritisnutog dijela zida.

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

$$f_{vk} = f_{vko} + 0.4 \cdot \sigma_d \leq 0.065 \cdot f_b$$

Vrijednost početne čvrstoće zida na smicanje za giter opeku i malter klase M5:

$$f_{vko} = 0.2 \text{MPa} \text{ tabela 3.4 EN 1996-1-1:2005 3.6.2(6)}$$

$$f_{vko} = 0.2 \text{MPa} \text{ za malter klase M2.5 – M9}$$

$$f_{vko} = 0.3 \text{MPa} \text{ za malter klase M10 – M20}$$

Vrijednost napona pritiska upravnog na ravan smicanja u zidu, u nivou koji se razmatra:

$$\sigma_d = \frac{N_{Ed,zid}}{A_{zid}}$$

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

$$V_{Ed} = 1.0 \cdot V_g + 0.3 \cdot V_p + 1.0 \cdot V_s$$

$$N_{Ed} = 1.0 \cdot N_g + 0.3 \cdot N_p + 1.0 \cdot N_s$$

$$M_{Ed} = 1.0 \cdot M_g + 0.3 \cdot M_p + 1.0 \cdot M_s$$

Presjek 1-1:

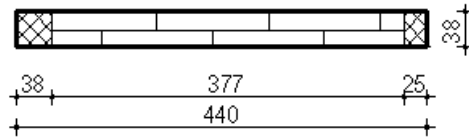
$$V_{Ed} = 1.0 \cdot V_g + 0.3 \cdot V_p + 1.0 \cdot V_s = 1.0 \cdot 392 = 392 \text{kN}$$

$$N_{Ed} = 1.0 \cdot N_g + 0.3 \cdot N_p + 1.0 \cdot N_s = 1.0 \cdot 317 + 0.3 \cdot 60.7 = 335 \text{kN}$$

$$M_{Ed} = 1.0 \cdot N_g + 0.3 \cdot N_p + 1.0 \cdot N_s = 1.0 \cdot 2614 = 2614 \text{kNm}$$

Dužina pritisnutog dijela zida uz pretpostavku linearne raspodjele napona pritiska u zidu iznosi:

$$L_c = \frac{L}{2} \cdot \left[1 + L \cdot N_{Ed} / (6 \cdot M_{Ed}) \right] = \frac{4.4}{2} \cdot \left[1 + 4.4 \cdot 335 / (6 \cdot 2614) \right] = 2.4 \text{ m} \leq L = 4.4 \text{ m}$$



Za presjek 1-1:

$$\sigma_d = \frac{N_{Ed,zid}}{A_{zid}} = \frac{N_{Ed,zid}}{t \cdot L_c} = \frac{335}{0.38 \cdot 2.40} = 367.3 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 0.367 \text{ MPa}$$

$$f_{vk} = f_{vko} + 0.4 \cdot \sigma_d = 0.2 + 0.4 \cdot 0.367 = 0.347 \text{ MPa} \leq 0.065 \cdot f_b = 0.065 \cdot 10 = 0.65 \text{ MPa}$$

f_b - marka opeke

$$f_{vd} = \frac{f_{vk}}{\gamma_m} = \frac{0.347}{1.67} = 0.21 \text{ MPa}$$

$$\gamma_m = \frac{2}{3} \cdot 2.5 = 1.67 \quad \text{za seizmičku proračunsku situaciju}$$

$$V_{Rd,zid} = f_{vd} \cdot t \cdot L_c = 0.21 \cdot 10^3 \cdot 0.38 \cdot 2.4 = 191.5 \text{ kN}$$

Proračunska vrijednost nosivosti na smicanje vertikalnih serklaža $V_{Rd,c}$ određuje se prema EN 1992-1-1:2004 6.2.2(1) i to:

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

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

Gdje je:

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}} \leq 2.0 \quad \text{sa } d - \text{statička visina serklaža u [mm]}$$

$$\rho_1 = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} \leq 0.02 \quad \text{- procenat armiranja zategnutom armaturom}$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed}}{A_c} \leq 0.2 \cdot f_{cd} \quad \text{u [MPa]}$$

$$v_{min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2}$$

$$k_1 = 0.15$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0.18}{\gamma_c}$$

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

Napomena: Razmatra se nosivost jednog vertikalnog serklaža koji se nalazi u okviru pritisnutog dijela zida na doprinos nosivosti na smicanje zida. Zbog alternativnog dejstva seizmičkih sila uzima se vertikalni serklaž VS2 manjih dimenzija u odnosu na vertikalni serklaž VS1, što je na strani sigurnosti.

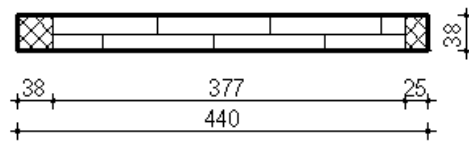
Za vertikalni serklaž VS2

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{220}} = 1.95 \leq 2.0 \quad d = b_{\text{serklVS2}} - a_0 = 25 - 3 = 22 \text{ cm} = 220 \text{ mm} \quad \text{zaštitni sloj betona je 3 cm}$$

$$\min A_s = 1\% \cdot A_{\text{VSI}} = 0.01 \cdot 38 \cdot 25 = 9.5 \text{ cm}^2 \geq 3 \text{ cm}^2 \Rightarrow \text{Usvaja se } 5R\emptyset 16 \text{ (10.05 cm}^2\text{)}$$

$$\rho_1 = \frac{A_{\text{sl}}}{b_w \cdot d} = \frac{10.05}{38 \cdot 22} = 0.012 \leq 0.02$$

Vertikalna sila koja djeluje na vertikalni serklaž VS2 po pripadajućoj površini:



$$N_{\text{Ed,serklVS2}} = N_{\text{Ed,zid}} \cdot \frac{b_{\text{serklVS2}}}{L_{\text{zid}}} = 335 \cdot \frac{0.25}{4.4} = 19 \text{ kN}$$

$$\sigma_{\text{cp}} = \frac{N_{\text{Ed,serklVS2}}}{A_{\text{serkl,VS2}}} = \frac{19}{0.38 \cdot 0.25} = 200 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 0.2 \text{ MPa} \leq 0.2 \cdot 20.83 = 4.2 \text{ MPa}$$

$$f_{\text{cd}} = \frac{f_{\text{ck}}}{\gamma_c} = \frac{25}{1.2} = 20.83 \text{ MPa} \quad \gamma_c = 1.2 \quad \text{koeficijent sigurnosti za beton (incidentna situacija)}$$

$$v_{\text{min}} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{\text{ck}}^{1/2} = 0.035 \cdot 1.95^{3/2} \cdot 25^{1/2} = 0.48 \text{ MPa}$$

$$C_{\text{Rd,c}} = \frac{0.18}{\gamma_c} = \frac{0.18}{1.2} = 0.15$$

$$V_{\text{Rd,c}} = \left[0.15 \cdot 1.95 \cdot (100 \cdot 0.012 \cdot 25)^{1/3} + 0.15 \cdot 0.2 \right] \cdot 380 \cdot 220 = 78489 \text{ N} = 78.5 \text{ kN}$$

$$\min V_{\text{Rd,c}} = (v_{\text{min}} + k_1 \cdot \sigma_{\text{cp}}) \cdot b_w \cdot d = (0.48 + 0.15 \cdot 0.2) \cdot 380 \cdot 220 = 42636 \text{ N} = 42.6 \text{ kN}$$

Proračunska vrijednost nosivosti na smicanje zida:

$$V_{\text{Rd}} = V_{\text{Rd,zid}} + V_{\text{Rd,c}} = 191.5 + 78.5 = 270.0 \text{ kN}$$

$$V_{\text{Ed}} = 392 \text{ kN} > V_{\text{Rd}} = 270 \text{ kN}$$

Kontrola na smicanje u zidu nije zadovoljena. Potrebno je povećati debljinu zida. Usvaja se debljina zida $d=64 \text{ cm}$.

Za debljinu zida $d=64 \text{ cm}$ ponavlja se proračun. Povećava se vertikalna sila u zidu, odnosno sopstvena težina zida, usljed povećanja debljine zida:

$$N_g = 3 \cdot R_g \cdot l_z + g_{\text{st}} \cdot l_z \cdot H_z = 3 \cdot 10.3 \cdot 4.4 + 0.64 \cdot 12 \cdot 4.4 \cdot 9 = 440.1 \text{ kN}$$

$$N_p = 3 \cdot R_p \cdot l_z = 3 \cdot 4.6 \cdot 4.4 = 60.7 \text{ kN}$$

$$N_{Ed} = 1.0 \cdot N_g + 0.3 \cdot N_p + 1.0 \cdot N_s = 1.0 \cdot 440.1 + 0.3 \cdot 60.7 = 458.3 \text{ kN}$$

Doprinos zidanog zida:

$$L_c = \frac{L}{2} \cdot \left[1 + L \cdot N_{Ed} / (6 \cdot M_{Ed}) \right] = \frac{4.4}{2} \cdot \left[1 + 4.4 \cdot 458.3 / (6 \cdot 2614) \right] = 2.48 \text{ m} \leq L = 4.4 \text{ m}$$

$$\sigma_d = \frac{N_{Ed,zid}}{t \cdot L_c} = \frac{458.3}{0.64 \cdot 2.48} = 288.7 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 0.289 \text{ MPa}$$

$$f_{vk} = f_{vko} + 0.4 \cdot \sigma_d = 0.2 + 0.4 \cdot 0.289 = 0.316 \text{ MPa} \leq 0.065 \cdot f_b = 0.065 \cdot 10 = 0.65 \text{ MPa}$$

$$f_{vd} = \frac{f_{vk}}{\gamma_m} = \frac{0.316}{1.67} = 0.189 \text{ MPa}$$

$$\gamma_m = \frac{2}{3} \cdot 2.5 = 1.67$$

$$V_{Rd,zid} = f_{vd} \cdot t \cdot L_c = 0.189 \cdot 10^3 \cdot 0.64 \cdot 2.48 = 300.0 \text{ kN}$$

Doprinos vertikalnog serklaža VS2:

$$k = 1 + \sqrt{\frac{200}{220}} = 1.95 \leq 2.0 \quad d = 25 - 3 = 22 \text{ cm} = 220 \text{ mm}$$

$$\min A_s = 1\% \cdot A_{VS1} = 0.01 \cdot 64 \cdot 25 = 16.0 \text{ cm}^2 \geq 3 \text{ cm}^2 \Rightarrow \text{Usvaja se } 8R\emptyset 16 \text{ (16.08 cm}^2\text{)}$$

$$\rho_1 = \frac{A_{sl}}{b_w \cdot d} = \frac{16.08}{64 \cdot 22} = 0.0114 \leq 0.02$$

$$N_{Ed,serklVS2} = N_{Ed,zid} \cdot \frac{b_{serklVS2}}{L_{zid}} = 458.3 \cdot \frac{0.25}{4.4} = 26 \text{ kN}$$

$$\sigma_{cp} = \frac{N_{Ed,serklVS2}}{A_{serkl,VS2}} = \frac{26}{0.64 \cdot 0.25} = 162.5 \frac{\text{kN}}{\text{m}^2} = 0.163 \text{ MPa} \leq 0.2 \cdot 20.83 = 4.2 \text{ MPa}$$

$$f_{cd} = \frac{f_{ck}}{\gamma_c} = \frac{25}{1.2} = 20.83 \text{ MPa}$$

$$v_{\min} = 0.035 \cdot k^{3/2} \cdot f_{ck}^{1/2} = 0.035 \cdot 1.95^{3/2} \cdot 25^{1/2} = 0.48 \text{ MPa}$$

$$C_{Rd,c} = \frac{0.18}{\gamma_c} = \frac{0.18}{1.2} = 0.15$$

$$V_{Rd,c} = \left[0.15 \cdot 1.95 \cdot (100 \cdot 0.0114 \cdot 25)^{1/3} + 0.15 \cdot 0.163 \right] \cdot 640 \cdot 220 = 129241 \text{ N} = 129.2 \text{ kN}$$

$$\min V_{Rd,c} = (0.48 + 0.15 \cdot 0.163) \cdot 640 \cdot 220 = 71027 \text{ N} = 71.0 \text{ kN}$$

Proračunska vrijednost nosivosti na smicanje zida:

$$V_{Rd} = V_{Rd,zid} + V_{Rd,c} = 300.0 + 129.2 = 429.2 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 392 \text{ kN} \leq V_{Rd} = 429.2 \text{ kN} \text{ Kontrola na smicanje u zidu debljine } d=64 \text{ cm je zadovoljena.}$$

○ KONTROLA NA SAVIJANJE ZIDA

Pri graničnom stanju nosivosti, proračunska vrijednost momenta savijanja koji djeluje na zid uokviren serklažima, M_{Ed} , mora da bude manja ili jednaka proračunskoj vrijednosti momenta nosivosti zida uokvirenog serklažima, M_{Rd} , tako da je:

$$M_{Ed} \leq M_{Rd}$$

Proračunska vrijednost momenta nosivosti M_{Rd} data je izrazom:

$$M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot \left(\frac{L-b}{2} \right) + 0.8 \cdot x \cdot d_z \cdot f_d \cdot \left(\frac{L}{2} - 0.4 \cdot x \right)$$

Gdje je:

L - dužina zida

A_s - površina poprečnog presjeka armature u vertikalnom serklažu

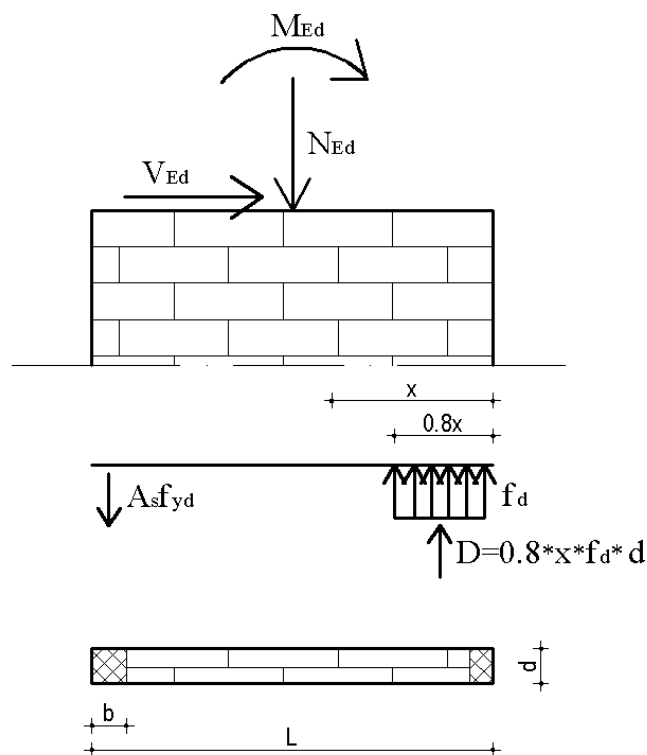
b_{serkl} - širina serklaža

d_z - debljina zida

f_{yd} - proračunska vrijednost čvrstoće čelika za armiranje

x - položaj neutralne ose

Položaj neutralne ose x određuje se iz ravnoteže sila:



$$A_s \cdot f_{yd} + N_{Ed} - 0.8 \cdot x \cdot d_z \cdot f_d = 0$$

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

$$M_{Ed} = 1.0 \cdot M_g + 0.3 \cdot M_p + 1.0 \cdot M_s$$

$$N_{Ed} = 1.0 \cdot N_g + 0.3 \cdot N_p + 1.0 \cdot N_s$$

Presjek 1-1:

$$M_{Ed} = 1.0 \cdot M_s = 1.0 \cdot 2614 = 2614 \text{ kNm}$$

$$N_{Ed} = 1.0 \cdot N_g + 0.3 \cdot N_p + 1.0 \cdot N_s = 1.0 \cdot 440.1 + 0.3 \cdot 60.7 = 458.3 \text{ kN}$$

Usvaja se minimalna armatura u vertikalnim serklažima:

$$VS1 \Rightarrow \min A_s = 1\% \cdot A_{VS1} = 0.01 \cdot 64 \cdot 38 = 24.3 \text{ cm}^2 \geq 3 \text{ cm}^2 \Rightarrow \text{Usvaja se } 12R\phi 16 \text{ (24.12 cm}^2\text{)}$$

$$VS2 \Rightarrow \min A_s = 1\% \cdot A_{VS2} = 0.01 \cdot 64 \cdot 25 = 16 \text{ cm}^2 \geq 3 \text{ cm}^2 \Rightarrow \text{Usvaja se } 8R\phi 16 \text{ (16.08 cm}^2\text{)}$$

Napomena: S obzirom da debljina zida za kontrolu na smicanje nije bila zadovoljena, usvojen je zid debljine $d=64$ cm. Za ovu debljinu je sprovedena kontrola na savijanje zida.

Provjera vertikalne armature u serklažu VS1:

Položaj neutralne ose x:

$$A_s \cdot f_{yd} + N_{Ed} - 0.8 \cdot x \cdot d_z \cdot f_d = 0$$

$$12 \cdot 2.01 \cdot 40.0 + 458.3 - 0.8 \cdot x \cdot 64 \cdot 0.219 = 0 \Rightarrow x = 126.9 \text{ cm}$$

$$f_y = 40 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \text{ (RA 400/500)} \quad f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_s} = \frac{40}{1.0} = 40 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$\gamma_s = 1.0$ koeficijent sigurnosti za armaturu (incidentna situacija-seizmika)

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_m} = \frac{3.66}{1.67} = 2.19 \text{ MPa} = 0.219 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\gamma_m = \frac{2}{3} \cdot 2.5 = 1.67 \quad \text{za seizmičku proračunsku situaciju}$$

Proračunska vrijednost momenta nosivosti M_{Rd} :

$$\begin{aligned} M_{Rd} &= A_s \cdot f_{yd} \cdot \left(\frac{L - b_{serkl}}{2} \right) + 0.8 \cdot x \cdot d_z \cdot f_d \cdot \left(\frac{L}{2} - 0.4 \cdot x \right) = \\ &= 12 \cdot 2.01 \cdot 40 \cdot \left(\frac{4.4 - 0.38}{2} \right) + 0.8 \cdot 126.9 \cdot 64 \cdot 0.219 \cdot \left(\frac{4.4}{2} - 0.4 \cdot 1.269 \right) = 4347.4 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$M_{Ed} = 2614 \text{ kNm} \leq M_{Rd} = 4347.4 \text{ kNm}$$

Usvojena minimalna armatura u vertikalnom serklažu VS1 zadovoljava.

Provjera vertikalne armature u serklažu VS2:

Položaj neutralne ose x:

$$A_s \cdot f_{yd} + N_{Ed} - 0.8 \cdot x \cdot d_z \cdot f_d = 0$$

$$8 \cdot 2.01 \cdot 40.0 + 458.3 - 0.8 \cdot x \cdot 64 \cdot 0.219 = 0 \Rightarrow x = 98.2 \text{ cm}$$

$$f_y = 40 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \text{ (RA 400/500)} \quad f_{yd} = \frac{f_y}{\gamma_s} = \frac{40}{1.0} = 40 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$\gamma_s = 1.0$ koeficijent sigurnosti za armaturu (incidentna situacija-seizmika)

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_m} = \frac{3.66}{1.67} = 2.19 \text{ MPa} = 0.219 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\gamma_m = \frac{2}{3} \cdot 2.5 = 1.67 \quad \text{za seizmičku proračunsku situaciju}$$

Proračunska vrijednost momenta nosivosti M_{Rd} :

$$M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot \left(\frac{L - b_{serkl}}{2} \right) + 0.8 \cdot x \cdot d_z \cdot f_d \cdot \left(\frac{L}{2} - 0.4 \cdot x \right) =$$

$$= 8 \cdot 2.01 \cdot 40 \cdot \left(\frac{4.4 - 0.25}{2} \right) + 0.8 \cdot 98.2 \cdot 64 \cdot 0.219 \cdot \left(\frac{4.4}{2} - 0.4 \cdot 0.982 \right) = 3324.5 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 2614 \text{ kNm} \leq M_{Rd} = 3324.5 \text{ kNm}$$

Usvojena minimalna armatura u vertikalnom serklažu VS2 zadovoljava.

Pojednostavljeni proračun za male vrijednosti vertikalnog opterećenja

Kontrola na savijanje zida može se provjeriti na čisto savijanje kada je vertikalna sila u zidu dovoljno mala, odnosno kada je ispunjen uslov:

$$\sigma_d \leq 0.3f_d$$

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_m} = \frac{3.66}{1.67} = 2.19 \text{ MPa} = 0.219 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$\sigma_d = \frac{N_{Ed}}{A_{zid}} = \frac{458.3}{64 \cdot 440} = 0.0163 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} \leq 0.3 \cdot 0.219 = 0.0657 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

Uslov je ispunjen, pa se mogu primijeniti izrazi za čisto savijanje.

Proračunska vrijednost momenta nosivosti M_{Rd} dobija se na osnovu sljedećih izraza:

$$M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot z$$

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

z - krak unutrašnjih sila

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

$$d = L - \frac{b_{serkl}}{2}$$

$b = d_z$ - širina presjeka (debljina zida)

Ovako dobijena nosivost mora biti manja od:

$$M_{Rd} \leq 0.4 \cdot f_d \cdot b \cdot d^2 \quad \text{za punu opeku – Grupa 1}$$

$$M_{Rd} \leq 0.3 \cdot f_d \cdot b \cdot d^2 \quad \text{za šuplju opeku – Grupa 2}$$

Provjera vertikalne armature u serklažu VS1:

$$d = L - \frac{b_{serkl}}{2} = 4.4 - \frac{0.38}{2} = 4.21 \text{ m} = 421 \text{ cm}$$

$$b = d_z = 64 \text{ cm}$$

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_m} = \frac{3.66}{1.67} = 2.19 \text{ MPa} = 0.219 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$z = 421 \cdot \left(1 - 0.5 \cdot \frac{12 \cdot 2.01 \cdot 40}{64 \cdot 421 \cdot 0.219} \right) = 386.6 \text{ cm} \leq 0.95 \cdot 421 = 400 \text{ cm}$$

Proračunska vrijednost momenta nosivosti M_{Rd} :

$$M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot z = 12 \cdot 2.01 \cdot 40 \cdot \frac{386.6}{100} = 3729.9 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} \leq 0.3 \cdot f_d \cdot b \cdot d^2 = 0.3 \cdot 0.219 \cdot 64 \cdot \frac{421^2}{100} = 7452.6 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 2614 \text{ kNm} \leq \min M_{Rd} = \min \{3729.9; 7452.6\} = 3729.9 \text{ kNm}$$

Usvojena minimalna armatura u vertikalnom serklažu VS1 zadovoljava.

Provjera vertikalne armature u serklažu VS2:

$$d = L - \frac{b_{\text{serkl}}}{2} = 4.4 - \frac{0.25}{2} = 4.28 \text{ m} = 428 \text{ cm}$$

$$b = d_z = 64 \text{ cm}$$

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_m} = \frac{3.66}{1.67} = 2.19 \text{ MPa} = 0.219 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$z = 428 \cdot \left(1 - 0.5 \cdot \frac{8 \cdot 2.01 \cdot 40}{64 \cdot 428 \cdot 0.219} \right) = 405.0 \text{ cm} \leq 0.95 \cdot 428 = 406.6 \text{ cm}$$

Proračunska vrijednost momenta nosivosti M_{Rd} :

$$M_{Rd} = A_s \cdot f_{yd} \cdot z = 8 \cdot 2.01 \cdot 40 \cdot \frac{405.0}{100} = 2605.0 \text{ kNm}$$

$$M_{Rd} \leq 0.3 \cdot f_d \cdot b \cdot d^2 = 0.3 \cdot 0.219 \cdot 64 \cdot \frac{428^2}{100} = 7702.5 \text{ kNm}$$

$$M_{Ed} = 2614 \text{ kNm} > \min M_{Rd} = \min \{2605.0; 7702.5\} = 2605.5 \text{ kNm}$$

Napomena: Na osnovu pojednostavljenog proračuna za čisto savijanje usvojena minimalna armatura u vertikalnom serklažu VS2, za malo, ne zadovoljava. Međutim, s obzirom da je preciznijim proračunom sa uključenom normalnom silom pritiska dobijena nosivost $M_{Rd} = 3324.5 \text{ kNm} > M_{Ed} = 2614 \text{ kNm}$, zaključuje se da usvojena minimalna armatura u vertikalnom serklažu VS2 zadovoljava.

KONTROLA NOSIVOSTI PRI ZATEZANJU ZIDA

Nosivost pri zatezanju zida mora da bude zadovoljena tako što proračunska vrijednost horizontalnog opterećenja koje djeluje na zid, V_{Ed} , mora da bude manja ili jednaka proračunskoj nosivosti na horizontalnu silu, H_{Rd} , tako da je:

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

Proračunska nosivost na horizontalnu silu dobija se iz izraza:

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

$$A_w = A_{\text{zid}} - \text{površina zida}$$

τ_{Rd} - proračunska vrijednost smičuće otpornosti zida

$$\tau_{Rd} = \frac{f_{tk}}{1.5 \cdot \gamma_M} \cdot \sqrt{1 + \frac{\sigma_0 \cdot \gamma_M}{f_{tk}}}$$

f_{tk} - karakteristična čvrstoća na zatezanje zida

$$\sigma_0 = \frac{N_d}{A_w} \text{ - normalni napon u zidu}$$

N_d - proračunska vrijednost vertikalne sile

$$N_d = 1.0 \cdot N_g + 0 \cdot N_p = 1.0 \cdot 440.1 = 440.1 \text{ kN}$$

$$V_{Ed} = 1.0 \cdot V_s = 1.0 \cdot 392 = 392 \text{ kN}$$

$f_{tk} = 0.15 \text{ MPa}$ za šuplji element za zidanje iz tabele Aneksa B MEST EN 1996-1-1

$$\sigma_0 = \frac{N_d}{A_{zid}} = \frac{440.1}{64 \cdot 440} = 0.0156 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2} = 0.156 \text{ MPa}$$

$$\gamma_m = \frac{2}{3} \cdot 2.5 = 1.67 \text{ za seizmičku proračunsku situaciju}$$

$$\tau_{Rd} = \frac{f_{tk}}{1.5 \cdot \gamma_M} \cdot \sqrt{1 + \frac{\sigma_0 \cdot \gamma_M}{f_{tk}}} = \frac{0.15}{1.5 \cdot 1.67} \cdot \sqrt{1 + \frac{0.156 \cdot 1.67}{0.15}} = 0.1 \text{ MPa} = 0.01 \frac{\text{kN}}{\text{cm}^2}$$

$$H_{Rd} = \tau_{Rd} \cdot A_{zid} = 0.01 \cdot 64 \cdot 440 = 281.6 \text{ kN}$$

$$H_{Rd} = 281.6 \text{ kN} < V_{Ed} = 392 \text{ kN}$$

Nosivost na zatezanje zida debljine $d=64 \text{ cm}$ nije zadovoljena.

Napomena: Kako nosivost na zatezanje zida debljine 64 cm nije zadovoljena, i kako nema smisla povećavati debljinu zida (s obzirom da je debljina već 64 cm), očigledno da je jedina adekvatna mjera smanjenje spratnosti objekta, ili, što je zbog funkcionalnosti objekta teže primjenljivo, dodavanje novih zidova u kritičnom pravcu.