

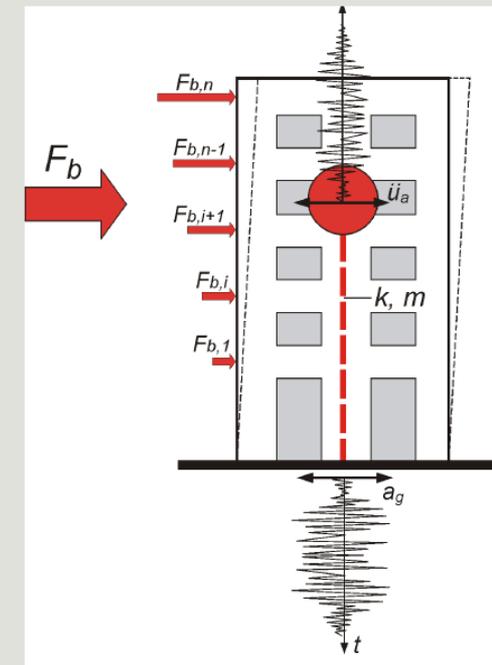
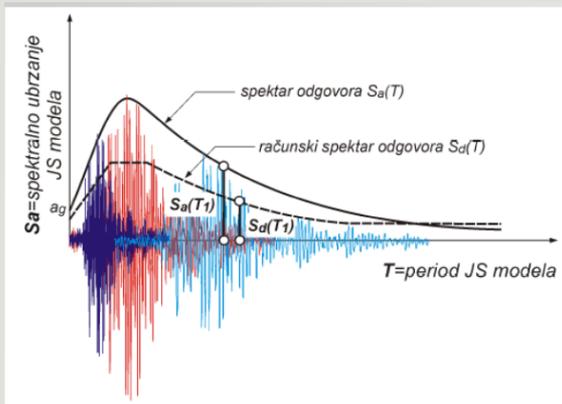
VIRTUELNI SEMINAR "ASEIZMIČKO PROJEKTOVANJE ZIDANIH KONSTRUKCIJA ZGRADA" 25. NOVEMBAR 2021.



PRORAČUN NOSIVOSTI ZIDANIH KONSTRUKCIJA PRI SEIZMIČKOM DEJSTVU PREMA EVROKODU 8

Doc. dr Radovan R. Cvetković, dipl. građ. inž.
Građevinsko-arhitektonski fakultet u Nišu,
Univerzitet u Nišu, Srbija

E-mail: radovancvetkovic@yahoo.com



PRORAČUN NOSIVOSTI ZIDANIH KONSTRUKCIJA PRI SEIZMIČKOM DEJSTVU PREMA EC 8

Računski modeli ponašanja zidanih konstrukcija pri seizmičkom opterećenju

Matematički modeli proračuna seizmičke otpornosti, koji su razvijeni za AB konstrukcije, ne mogu se koristiti za zidane konstrukcije. Razlog je u velikim razlikama mehaničkih svojstava materijala, što pokazuju i eksperimentalna istraživanja.

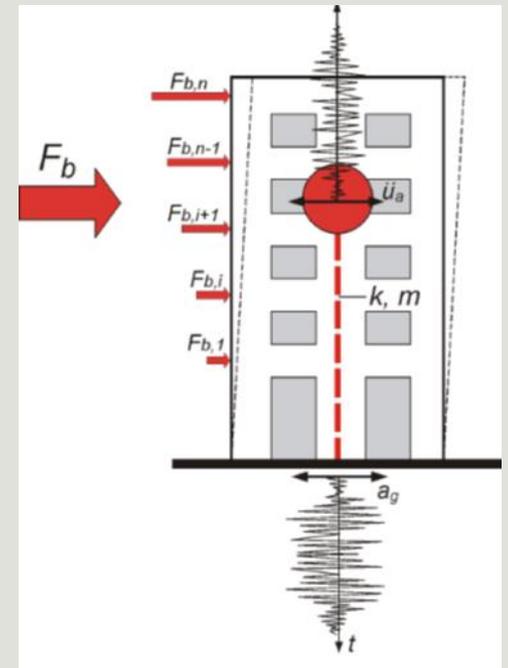
AB zidovi (platna), AB konstrukcije, modeliramo kao konzole koje su ukleštene u temeljnu konstrukciju. Eksperimenti sa nearmiranom zidarijom **nisu** potvrdili pretpostavku da se zidovi ponašaju kao konzole ukleštene u temeljnu konstrukciju.

AB zidna platna su kruto spojena sa međuspratnim pločama.

Zidani zidovi su se (u eksperimentima) ponašali kao ukleštene u međuspratnu konstrukciju, sa tačkom infleksije (momenta) u sredini visine zidova pojedinih spratova.

Tavanice (MSK), kao „beskonačno krute“ u svojoj ravni, utiču na jednaka pomeranja svih zidova sprata od seizmičkih sila, u odgovarajućem pravcu.

Raspodela seizmičkog opterećenja je u direktnoj vezi sa odnosom krutosti pojedinih zidova i ukupne krutosti zidova analiziranog sprata objekta u određenom pravcu.

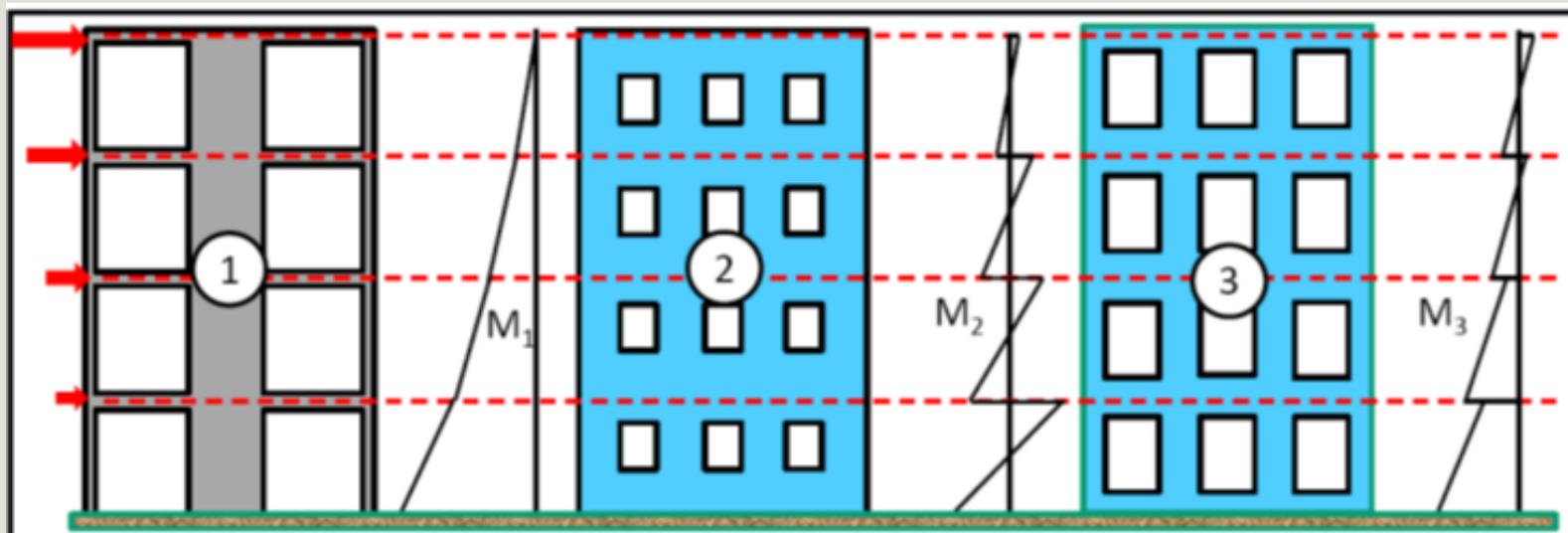
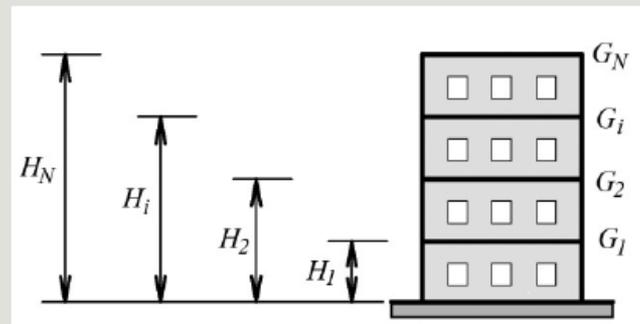


PRORAČUN NOSIVOSTI ZIDANIH KONSTRUKCIJA PRI SEIZMIČKOM DEJSTVU PREMA EC 8

Računski modeli ponašanja zidanih konstrukcija pri seizmičkom opterećenju

Pri dejstvu seizmičkih horizontalnih sila zidani zidovi se mogu ponašati kao:

- 1) Odvojeni zidovi (sl. 1),
- 2) Dijafragme sa otvorima (sl. 2) ili
- 3) Vezne grede tj. prečke (sl. 3)



PRORAČUN NOSIVOSTI ZIDANIH KONSTRUKCIJA PRI SEIZMIČKOM DEJSTVU PREMA EC 8

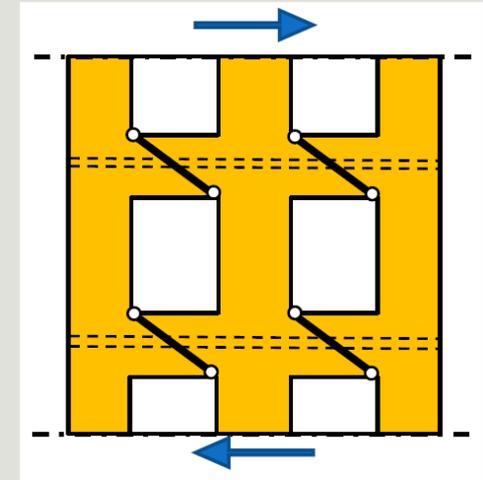
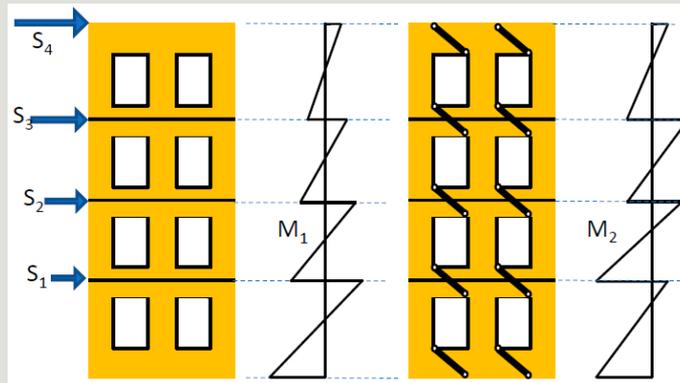
Računski modeli ponašanja zidanih konstrukcija pri seizmičkom opterećenju

Proračun celog objekta se može uraditi po linearnoj teoriji, tretirajući međuspratnu konstrukciju kao apsolutno krutu u svojoj ravni

Ako se u proračunu uzimaju vezne grede između dva zida, tada se zidovi i vezne grede mogu računati kao ramovske konstrukcije.

U veznim gredama, zbog delovanja horizontalnih seizmičkih sila i sprečene rotacije zidova, nastaju unutrašnje kose sile pritiska.

Mehanizam prenosa tih sila na zid može se zasniva se na dijagonalnim pritisnutim elementima, koji povezuju pritisnute ivice zidova u uglovima prozorskih otvora



Upoređenjem raspodele momenata savijanja po visini zidova, **povezanih dijagonalnim pritisnutim elementima**, sa raspodelom vrednosti momenata savijanja za **punu uklještenost zidova** u međuspratne konstrukcije (**dijafragme sa otvorima**), može se potvrditi određena sličnost.

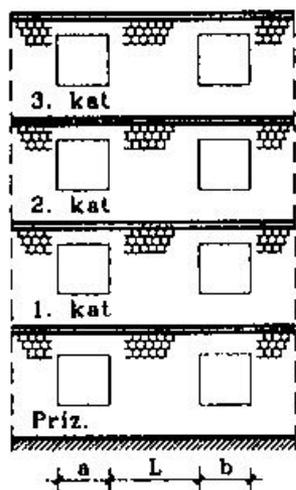
Ovakav računski model spratnog ponašanja zidane zgrade dao je zadovoljavajuće rezultate.

PRORAČUN NOSIVOSTI ZIDANIH KONSTRUKCIJA PRI SEIZMIČKOM DEJSTVU PREMA EC 8

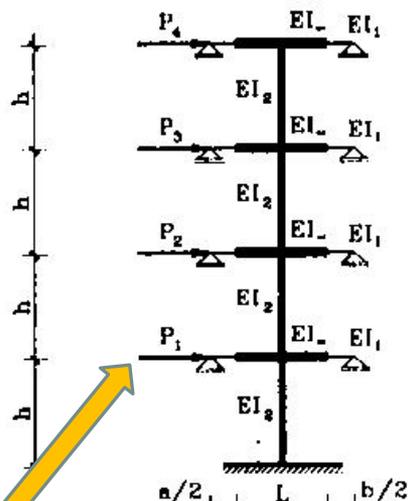
Računski modeli ponašanja zidanih konstrukcija pri seizmičkom opterećenju

Proračunski model i raspodela momenata savijanja po visini jedne zgrade spratnosti P+3

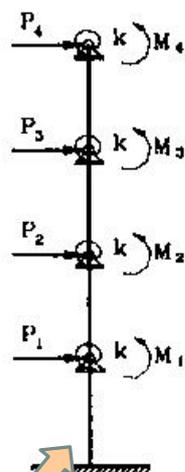
a.)



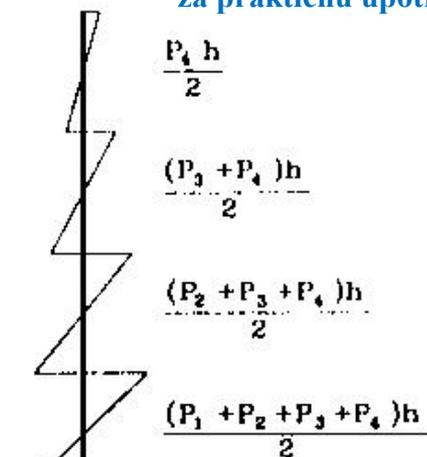
b.)



c.)

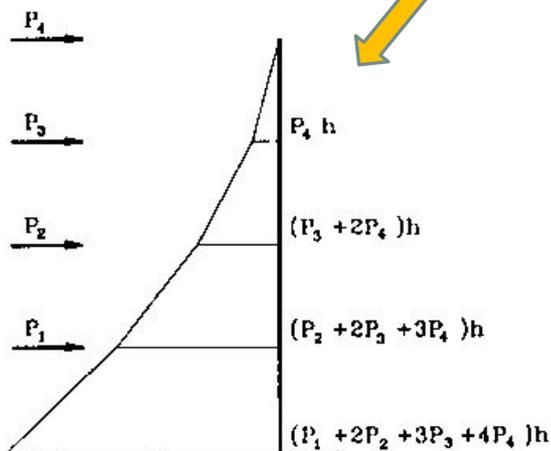


f.) Dijagram momenata savijanja za praktičnu upotrebu

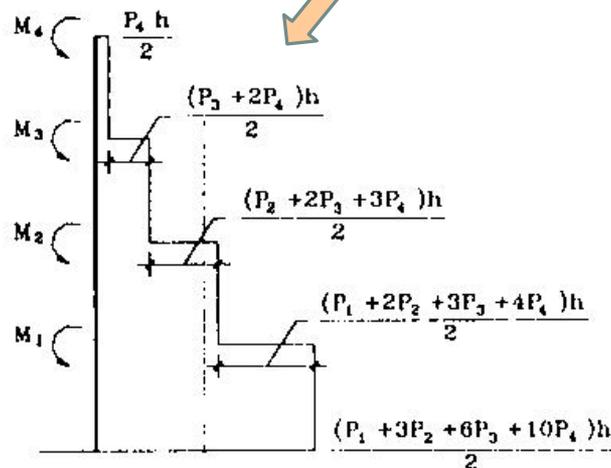


d.) + e.) = f.)

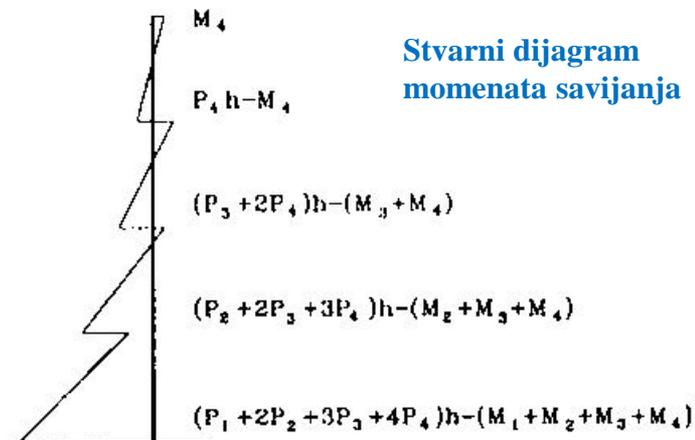
d.)



e.)



g.)



Stvarni dijagram momenata savijanja

PRORAČUN NOSIVOSTI ZIDANIH KONSTRUKCIJA PRI SEIZMIČKOM DEJSTVU PREMA EC 8

Pravila i zahtevi pri seizmičkom proračunu u skladu sa odredbama EC8

Pri projektovanju zidanih zgrada primenjuju se odredbe Evrokoda 6, dok pri seizmičkom proračunu postoje dodatna pravila i zahtevi u skladu sa odredbama Evrokoda 8.

Propisane su minimalne vrednosti čvrstoće elemenata za zidanje i maltera i date u tabeli.



Minimalne čvrstoće prema Evrokodu 8

Minimalna čvrstoća	N/mm ²
Elementa za zidanje upravno na površinu spojnice $f_{b,min}$	5.0
Elementa za zidanje paralelno površini spojnice u ravni zida $f_{bh,min}$	2.0
Maltera za nearmirane zidove $f_{m,min}$	5.0
Maltera za armirane zidove $f_{m,min}$	10.0

Smičući zidovi koji ne zadovoljavaju navedene zahteve tretiraju se kao sekundarni seizmički elementi.

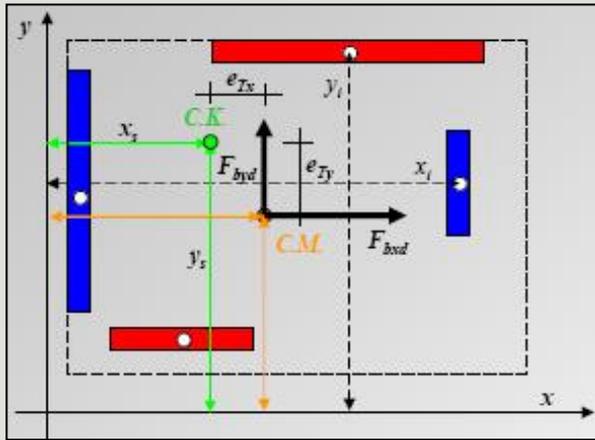
U specijalnom slučaju kada zidane zgrade zadovoljavaju propisane uslove regularnosti, minimalne vrednosti mehaničkih karakteristika materijala i geometrijske zahteve elemenata konstrukcije, seizmički proračun nije potreban.

Zahtevi za smičuće zidove

Tip zida	$t_{ef,min}$	$(h_{ef} / t_{ef,max})$	$(l/h)_{min}$
Nearmirani, od kamena	350 mm	9	0.5
Nearmirani, bilo koji elementi	240 mm	12	0.4
Zidovi sa serklažima	240 mm	15	0.3
Armirani zidovi	240 mm	15	-

PRORAČUN NOSIVOSTI ZIDANIH KONSTRUKCIJA PRI SEIZMIČKOM DEJSTVU PREMA EC 8

Proračun seizmičkog dejstva. Torzioni momenti od seizmičkih sila



B. Trogrlić, *Projektiranje i proračun zidanih konstrukcija*, 2007.

Ekscentricitet usled nepoklapanja centra krutosti i centra masa:

$$e_{Tx} = x_m - x_s$$

$$e_{Ty} = y_s - y_m$$

Slučajna ekscentričnost:

$$e_x = 0,05L_x$$

$$e_y = 0,05L_y$$

Proračun centra krutosti :

$$x_s = \frac{\sum(x_j \cdot K_{y,j})}{\sum K_{y,j}}, \quad y_s = \frac{\sum(y_i \cdot K_{x,i})}{\sum K_{x,i}}$$

Proračun centra masa:

$$x_m = \frac{\sum(x_j \cdot m_j)}{\sum m_j}, \quad y_m = \frac{\sum(y_j \cdot m_j)}{\sum m_j}$$

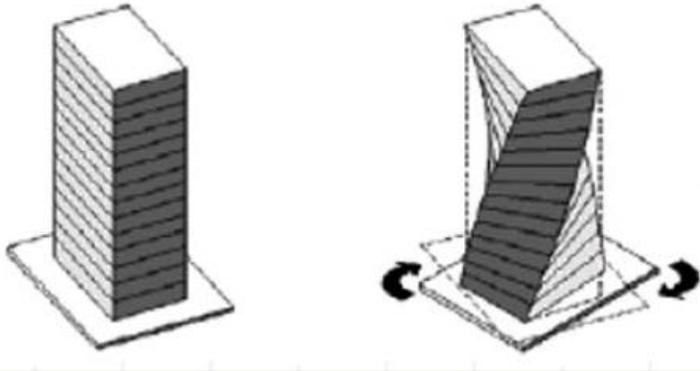
Centar krutosti i centar mase objekta se moraju poklapati ili odstupati za neznatne vrednosti ekscentriciteta

$$y_m = \frac{L_x \cdot L_y \cdot (g_{mk} + \varphi \cdot \psi_2 \cdot q) \cdot y_{mk} + \sum A_{wp} \cdot \left(\frac{h_{sv,g}}{2} + \frac{h_{sv,d}}{2} \right) \cdot g_{zp} \cdot y_{zp}}{L_x \cdot L_y \cdot (g_{mk} + \varphi \cdot \psi_2 \cdot q) + \sum A_{wp} \cdot \left(\frac{h_{sv,g}}{2} + \frac{h_{sv,d}}{2} \right) \cdot g_{zp}}$$

$$x_m = \frac{L_x \cdot L_y \cdot (g_{mk} + \varphi \cdot \psi_2 \cdot q) \cdot x_{mk} + \sum A_{wp} \cdot \left(\frac{h_{sv,g}}{2} + \frac{h_{sv,d}}{2} \right) \cdot g_{zp} \cdot x_{zp}}{L_x \cdot L_y \cdot (g_{mk} + \varphi \cdot \psi_2 \cdot q) + \sum A_{wp} \cdot \left(\frac{h_{sv,g}}{2} + \frac{h_{sv,d}}{2} \right) \cdot g_{zp}}$$

PRORAČUN NOSIVOSTI ZIDANIH KONSTRUKCIJA PRI SEIZMIČKOM DEJSTVU PREMA EC 8

Proračun seizmičkog dejstva. Torzioni momenti od seizmičkih sila



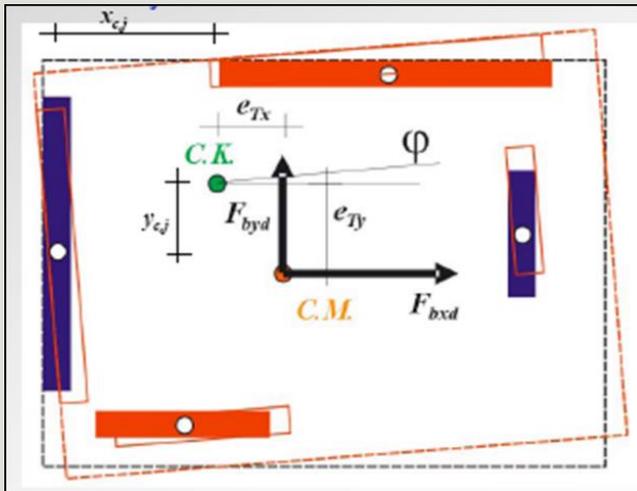
Ukupni (globalni) torzioni moment:

$$T_G = F_{bxd} \cdot (e_{Ty} + 0,05L_y) + F_{byd} \cdot (e_{Tx} + 0,05L_x)$$

Proračun ugla rotacije (torzije), ravnotežni uslov:

$$\left[\sum K_{y,j} \cdot \varphi \cdot x_{c,j} \cdot x_{c,j} + \sum K_{x,j} \cdot \varphi \cdot y_{c,j} \cdot y_{c,j} \right] = T_G$$

$$\varphi = \frac{T_G}{\sum K_{y,j} \cdot x_{c,j}^2 + \sum K_{x,j} \cdot y_{c,j}^2}$$



Vrednost sile koja deluje na zid „j” x-pravca usled momenta torzije:

$$F_{Tx,j} = K_{x,j} \cdot \varphi \cdot y_{c,j}; \quad F_{Ty,j} = K_{y,j} \cdot \varphi \cdot x_{c,j}$$

Ukupna sila na zid „j” x-pravca usled translacije i torzije:

$$F_{bx,j} = F_{Hx,j} + F_{Tx,j}$$

PRORAČUN NOSIVOSTI ZIDANIH KONSTRUKCIJA PRI SEIZMIČKOM DEJSTVU PREMA EC 8

Proračun seizmičkog dejstva

Raspodela seizmičkih sila i torzionih momenata na zidove etaže

Seizmički uticaj u nivou svake tavanice prihvataju zidovi, pa je neophodno odrediti veličinu uticaja koji svaki zid etaže preuzima. Veličina uticaja koji zid prihvata u odnosu na ukupan uticaj u nivou tavanice zavisi od odnosa krutosti posmatranog zida i ukupne krutosti svih zidova etaže. Raspodela seizmičkih sila i torzionih momenata na zidove etaže određuje se prema izrazima:

$$F_{nx} = \frac{K_n}{\sum K_n} \sum_k^z F_{ix}; \quad F_{my} = \frac{K_m}{\sum K_m} \sum_k^z F_{iy}$$

➔ Proračunska sile u nekim zidovima „n“ i „m“ koji se pružaju u x i y pravcu, respektivno, sprata „k“ usled translacije izazvane seizmičkim dejstvom

$$F_{nTix} = \frac{K_n e_{yn}}{\sum K_i (e_{yi})^2 + \sum K_j (e_{xj})^2} \sum_k^z T_{kx}$$

➔ Proračunska sila u nekom zidu „n“ koji se pruža u x-pravcu sprata „k“ stvorena torzijom ΣT_{kx}

$$F_{mTix} = \frac{K_m e_{xm}}{\sum K_i (e_{yi})^2 + \sum K_j (e_{xj})^2} \sum_k^z T_{kx}$$

➔ Proračunska sila u nekom zidu „m“ koji se pruža u y-pravcu sprata „k“ stvorena torzijom ΣT_{kx}

$$F_{nTiy} = \frac{K_n e_{yn}}{\sum K_i (e_{yi})^2 + \sum K_j (e_{xj})^2} \sum_k^z T_{ky}$$

K_n, K_m krutosti posmatranih zidova etaže u x i y pravcu,
 e_{yn}, e_{xm} udaljenost težišta posmatranog zida u x i y pravcu od centra krutosti.

$$F_{mTiy} = \frac{K_m e_{xm}}{\sum K_i (e_{yi})^2 + \sum K_j (e_{xj})^2} \sum_k^z T_{ky}$$

PRORAČUN NOSIVOSTI ZIDANIH KONSTRUKCIJA PRI SEIZMIČKOM DEJSTVU PREMA EC 8

Proračun seizmičkog dejstva

Raspodela seizmičkih sila i torzionih momenata na zidove etaže

Konačno, za dobijanje proračunskih uticaja od seizmičkih sila Evrokodom 8 predviđena je sledeća kombinacija:

$$E_{Ed} = E_{Edx} + 0,3E_{Edy}, \quad E_{Ed} = E_{Edy} + 0,3E_{Edx}$$

Translaciju zgrade u određenom pravcu najvećim delom preuzimaju zidovi koji se pružaju u tom pravcu, a doprinos zidova kod kojih seizmička sila deluje upravno na njihovu ravan se zanemaruje. Iz toga proizilazi da u prvoj jednačini kombinacije seizmičkih dejstava,

član E_{Edx} predstavlja seizmičku silu i torziju u **x-pravcu**, koju preuzima posmatrani zid u **x-pravcu**, dok

član E_{Edy} predstavlja torziju u **y-pravcu** koju preuzima posmatrani zid **x-pravca**.

Analogno je za zidove y-pravca (Radić i sar., 2007).

PRORAČUN NOSIVOSTI ZIDANIH KONSTRUKCIJA PRI SEIZMIČKOM DEJSTVU PREMA EC 8

Proračun seizmičkog dejstva

Uz pretpostavku pune uklještenosti na gornjem i donjem kraju, krutost zidova se određuje na osnovu izraza (Sorić, 1999):

$$K = \frac{GA}{1,2h \left[1 + \alpha \frac{G}{E} \left(\frac{h}{L} \right)^2 \right]}$$

E	<i>modul elastičnosti</i>
G	<i>modul smicanja ($G=E/6$)</i>
t	<i>debljina zida</i>
h	<i>svetla visina zida</i>
L	<i>dužina zida</i>
A	<i>površina zida ($A=tL$)</i>
a	<i>proračunski koeficijent,</i>

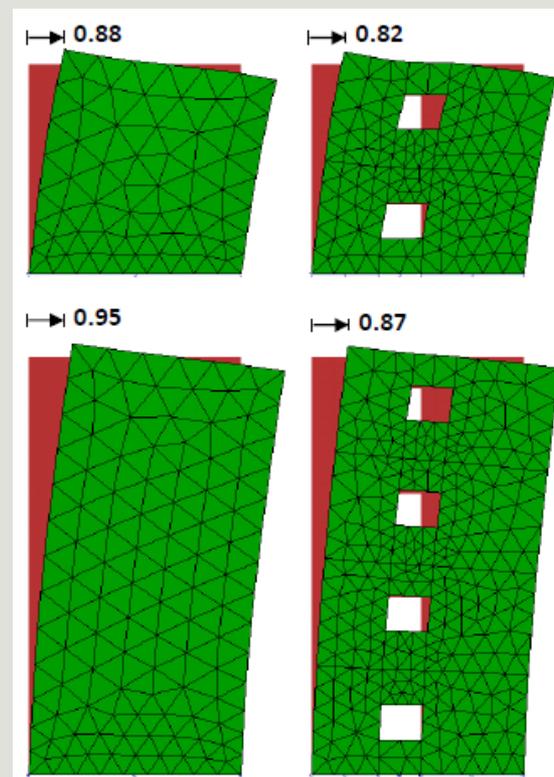
$\alpha=0,83$ *za puno uklještenje na gornjem i donjem spratu;*

$\alpha=3,33$ *za konzolni zid;*

Početna krutost zida sa otvorima za prozore:

$$K_{e,otv.} = K_e \cdot k_1 \quad k_1 = \left(1 - \frac{t \cdot \sum L_i}{0,85A} \right)$$

$\sum L_i$ *suma dužina svih otvora u zidu*
 A *površina zida ($A=tL$)*



PRORAČUN NOSIVOSTI ZIDANIH KONSTRUKCIJA PRI SEIZMIČKOM DEJSTVU PREMA EC 8

Granično stanje nosivosti usled seizmičkog dejstva

Smatra se da je sigurnost protiv rušenja (granično stanje nosivosti) usled seizmičke proračunske situacije osigurana ukoliko je zadovoljena sledeća relacija:

$$E_d < V_{Rd}$$

Računska nosivost na smicanje nearmiranog zida određuje se prema izrazu:

$$V_{Rd} = \frac{f_{vk} t L_c}{\gamma_m}$$

f_{vk} – karakteristična čvrstoća zida na smicanje,
 t – debljina zida,
 L_c – dužina pritisnutog dela zida,
 γ_m – parcijalni koeficijent sigurnosti za materijale.

Karakterističnu čvrstoću zida na smicanje treba odrediti eksperimentalno, ali u slučaju kada ne postoje eksperimentalno dobijeni rezultati moguća je i primena sledećeg izraza:

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

f_{vko} – čvrstoća na smicanje kada je $\sigma_d=0$, dobijena eksperimentalno ili u slučaju nepostojanja eksperimentalnih rezultata mogu se usvojiti vrednosti prema tabeli 3.4, EC6;

σ_d – računski vrednost normalnog napona pritiska u zidu.

f_b – normalizovana srednja vrednost čvrstoće na pritisak elementa za zidanje u pravcu uticaja apliciranog dejstva – (prema deklaraciji proizvođača);

Vrednosti parc. koef. sigurn. za kvalitet materijala (zid, armatura):

γ_m		Kategorija kontrole zidanja			
		A	B	C	
Zid	Kategorija kontrole kvaliteta elemenata za zidanje	I	1,2	1,5	1,8
	II	1,4	1,7	2,0	
Čelična armatura			1,0		

Vrednosti početne čvrstoće zida na smicanje f_{vko} (tabela 3.4 EC 6):

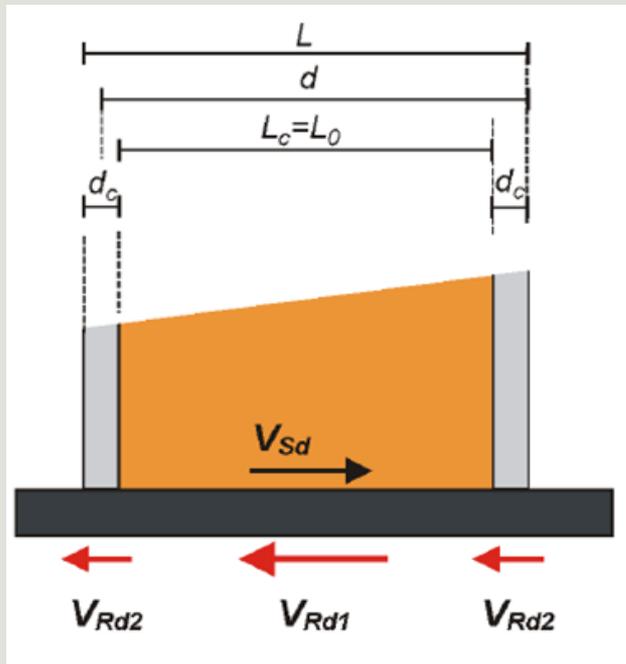
Element za zidanje	Malter opšte namene, klase čvrstoće	f_{vko} [N/mm ²]
Glina	M10 – M20	0.30
	M2.5 – M9	0.20
	M1 – M2	0.10

PRORAČUN NOSIVOSTI ZIDANIH KONSTRUKCIJA PRI SEIZMIČKOM DEJSTVU PREMA EC 8

Granično stanje nosivosti usled seizmičkog dejstva

Zidovi uokvireni armirano-betonskim serklažima, imaju veću računsku vrednost smičuće nosivosti zida. Smičuća nosivost zida bez serklaža V_{Rd1} uvećava se za računsku nosivost betona serklaža na smicanje V_{Rd2} , s tim što se ne uzima u obzir armatura u serklažu, pa je ukupna nosivost na smicanje:

$$V_{Rd} = V_{Rd1} + V_{Rd2} = \frac{f_{vk} t L_c}{\gamma_m} + V_{Rd2}$$



Računska nosivost betona serklaža na smicanje V_{Rd2} , dimenzija $b \times d$, određuje se prema odredbama EC 2:

$$V_{Rd2} = [v_{\min} + k_1 \sigma_{cp}] \cdot b \cdot d$$

$$v_{\min} = 0,035 k^{1,5} f_{ck}^{0,5} \quad k = 1 + \sqrt{\frac{200}{d}}, \quad d[\text{mm}].$$

f_{ck} karakteristična čvrstoća betona pri pritisku na cilindar starosti od 28 dana;

$$k_1 = 0,15;$$

$\sigma_{cp} = N_{Ed} / A_c < 0,2 f_{cd}$ napon pritiska u betonu;

N_{Ed} normalna sila pritiska u serklažu;

$f_{cd} = f_{ck} / \gamma_c$ računsku vrednost čvrstoće betona pri pritisku;

A_c površina poprečnog preseka serklaža;

f_{ck} karakteristična vrednost čvrstoće betona pri pritisku;

$\gamma_c = 1,2$ parc. koef. sigurn za beton (incidentno dejstvo).

PRORAČUN NOSIVOSTI ZIDANIH KONSTRUKCIJA PRI SEIZMIČKOM DEJSTVU PREMA EC 8

Granično stanje nosivosti usled seizmičkog dejstva

Vrednost računskih napona pritiska od vertikalnih dejstava i horizontalnih seizmičkih sila dobija se pomoću izraza:

$$\sigma_0 = \frac{\sum G_{ki} + \sum \psi_2 Q_{ki}}{A_{wi}} + \frac{6\gamma_i M_{ed}}{tL^2} \leq f_d$$

Prvi član prethodne jednačine predstavlja napon od vertikalnog opterećenja uz odgovarajuću kombinaciju stalnog i korisnog opterećenja. Drugi član predstavlja napone izazvane **momentom savijanja od horizontalnih seizmičkih sila**.

Proračunski naponi od vertikalnih opterećenja i horizontalnih seizmičkih sila **moraju biti manji od računске nosivosti zida**.

Računska nosivost zidova f_d dobija se iz izraza:

$$f_d = \frac{f_k}{\gamma_m},$$

$$f_k = K f_b^{0,7} f_m^{0,3}$$

gde su:

K – konstanta prema Tabeli 3.3, EC 6;

f_m – vrednost čvrstoće maltera na pritisak,

f_k – karakteristična vrednost čvrstoće zida na pritisak

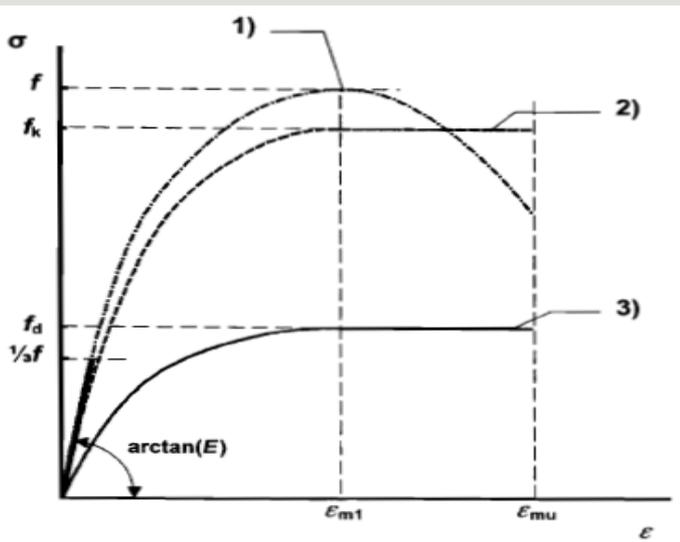
PRORAČUN NOSIVOSTI ZIDANIH KONSTRUKCIJA PRI SEIZMIČKOM DEJSTVU PREMA EC 8

Granično stanje nosivosti usled seizmičkog dejstva

PRORAČUN ZIDOVA UOKVIRENIH AB SERKLAŽIMA

Pretpostavke proračuna zidova uokvirenih AB serklažima (EN 1996-1):

- Za delovanje momenta i/ili normalne sile koriste se načela armiranih konstrukcija.
- U proračunu M_{Rd} može se koristiti pravougaona raspodela naprezanja, zasnovana samo na čvrstoći zida (bez betona i armature vertikalnih serklaža).
- U proračunu V_{Rd} uzima se u obzir čvrstoća zida i betona serklaža (bez armature).
- U proračunu nosivosti na poprečna dejstva, uzima se u obzir savojna čvrstoća zida i serklaža (sa armaturom).

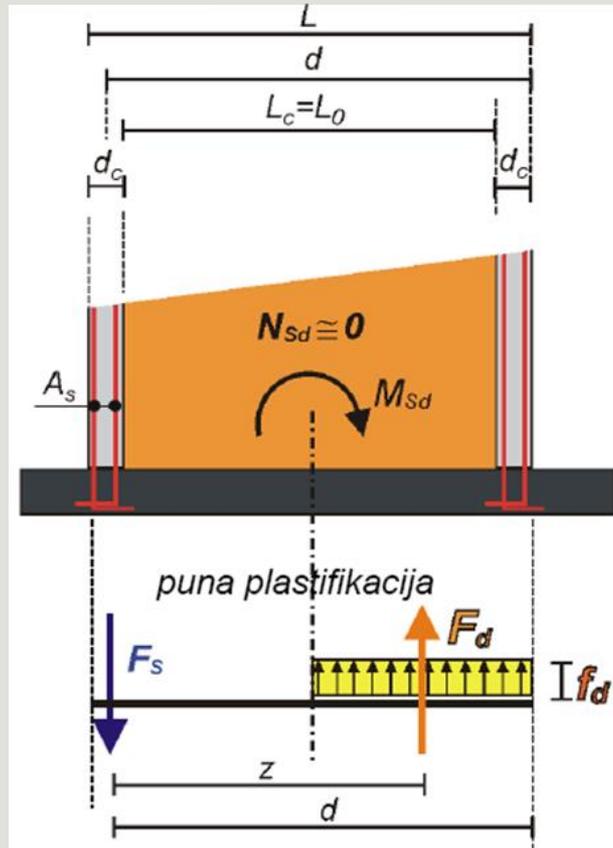


Veza napon-dilatacija kod pritisnutih zidova je nelinearna. Radi uprošćenja u proračunu se može uzeti pravougaona veza (Evrokod 8, 2009).

PRORAČUN NOSIVOSTI ZIDANIH KONSTRUKCIJA PRI SEIZMIČKOM DEJSTVU PREMA EC 8

Granično stanje nosivosti usled seizmičkog dejstva

PRORAČUN ZIDOVA UOKVIRENIH AB SERKLAŽIMA



$$\frac{N_{sd}}{t \cdot L} < 0,3 f_d \Leftrightarrow \text{čisto savijanje}$$

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

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

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

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

$$\alpha = 0,4 \quad \text{za Grupu 1}$$

$$\alpha = 0,3 \quad \text{za Grupe 2, 3, 4}$$

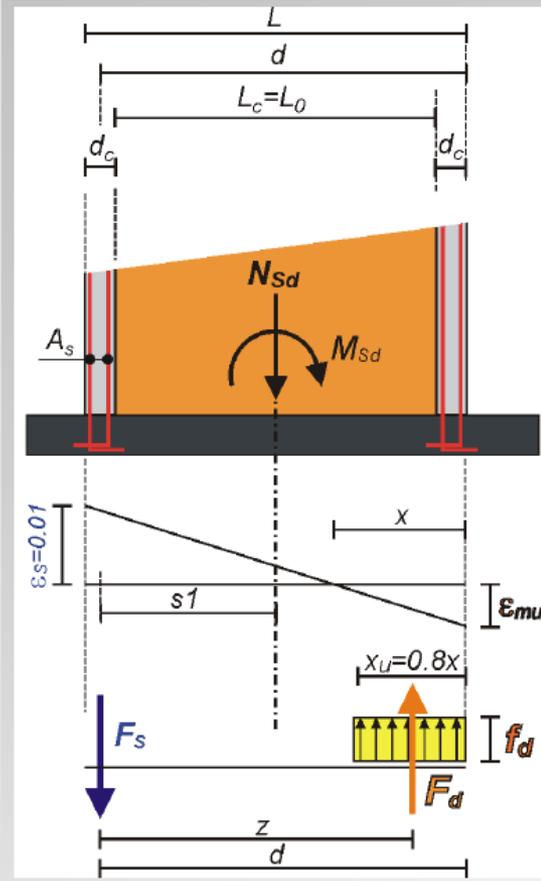
*B. Trogrlić, Projektiranje i proračun zidanih konstrukcija, 2007.

Za usvojenu armaturu, A_s , potrebno je dokazati da je: $M_{sd} < M_{Rd}$

PRORAČUN NOSIVOSTI ZIDANIH KONSTRUKCIJA PRI SEIZMIČKOM DEJSTVU PREMA EC 8

Granično stanje nosivosti usled seizmičkog dejstva

PRORAČUN ZIDOVA UOKVIRENIH AB SERKLAŽIMA



*B. Trogrlić, Projektiranje i proračun zidanih konstrukcija, 2007.

$$\frac{N_{sd}}{t \cdot L} \geq 0,3 f_d \Leftrightarrow \text{savijanje + normalna sila}$$

$$\sum V = 0 \rightarrow N_{sd} = F_d - F_s$$

$$\sum M = 0 \rightarrow M_{sd} + N_{sd} \cdot s_1 = F_d \cdot z$$

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

$$z = \frac{M_{sd} + N_{sd} \left(\frac{1}{2} - \frac{d_c}{2} \right)}{N_{sd} + A_s \cdot f_{yd}}$$

$$x = \frac{\varepsilon_{mu}}{\varepsilon_{mu} + \varepsilon_s} \cdot d, \quad x_u = 0,8x$$

$$\varepsilon_{mu} = 3,5\text{‰}, \text{ za Grupu 1}$$

$$z = d - \frac{x_u}{2}, \quad x_u = 2(d - z)$$

$$\varepsilon_{mu} = 2,0\text{‰}, \text{ za Grupe 2,3,4}$$

PRORAČUN NOSIVOSTI ZIDANIH KONSTRUKCIJA PRI SEIZMIČKOM DEJSTVU PREMA EC 8

Granično stanje nosivosti usled seizmičkog dejstva

PRORAČUN ZIDOVA UOKVIRENIH AB SERKLAŽIMA

Dokaz nosivosti u pritisnutom delu zida:

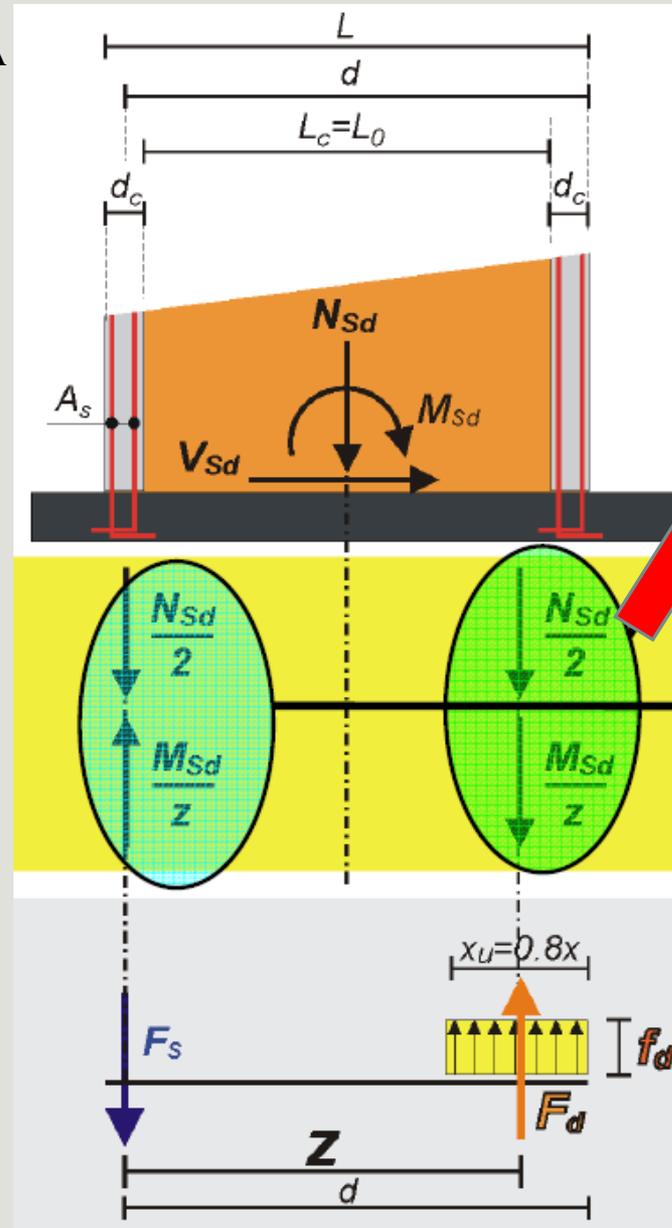
$$F_d = \frac{N_{Sd}}{2} + \frac{M_{Sd}}{2} \leq F_{R,d} = x_u \cdot t \cdot f_d$$

Potrebna armatura u vertikalnim serklažima:

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

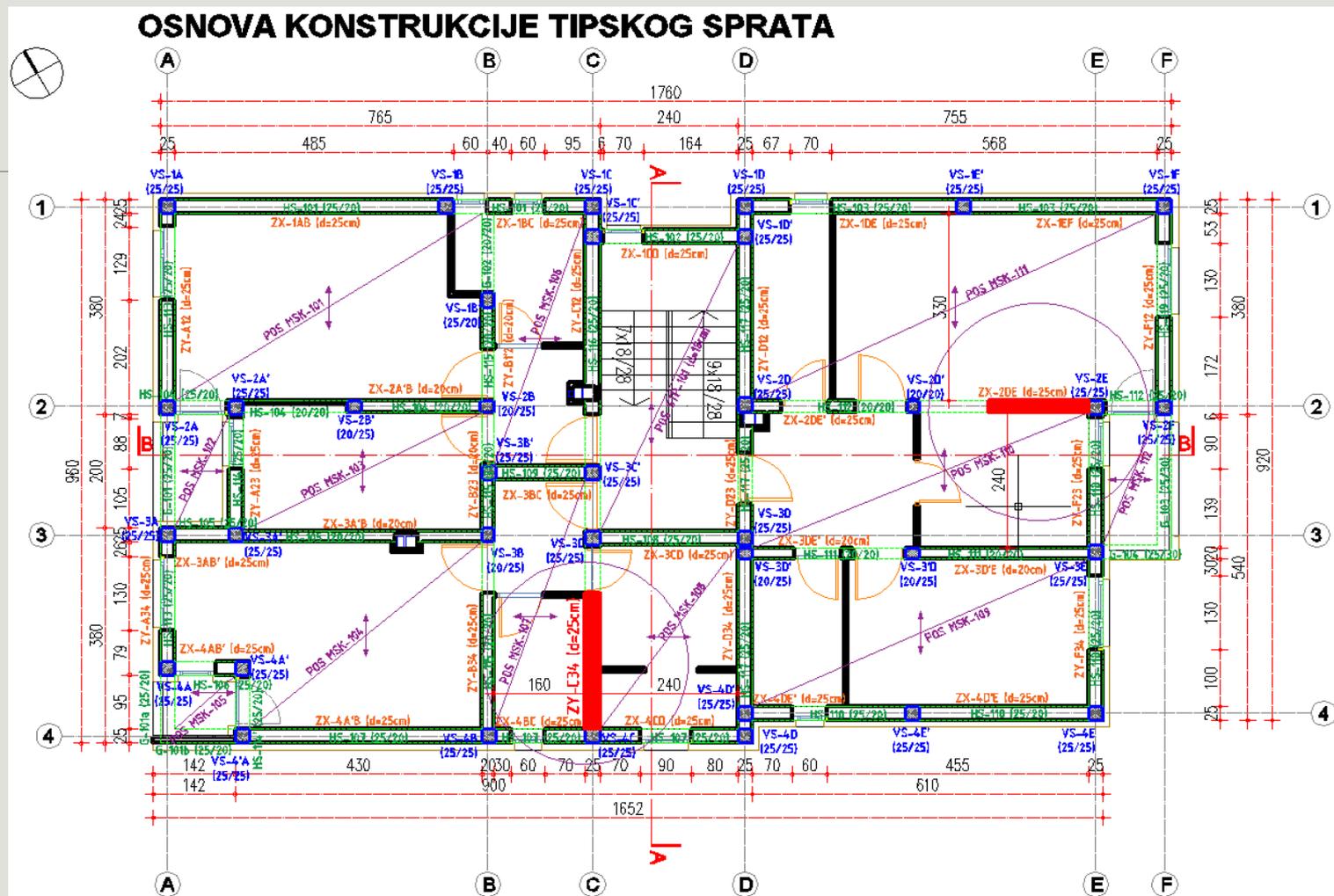
$$z = \frac{M_{Sd} + N_{Sd} \left(\frac{1}{2} - \frac{d_c}{2} \right)}{N_{Sd} + A_s \cdot f_{yd}}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}, \quad f_{yk} = 500 \text{ MPa}, \quad \gamma_s = 1,15$$



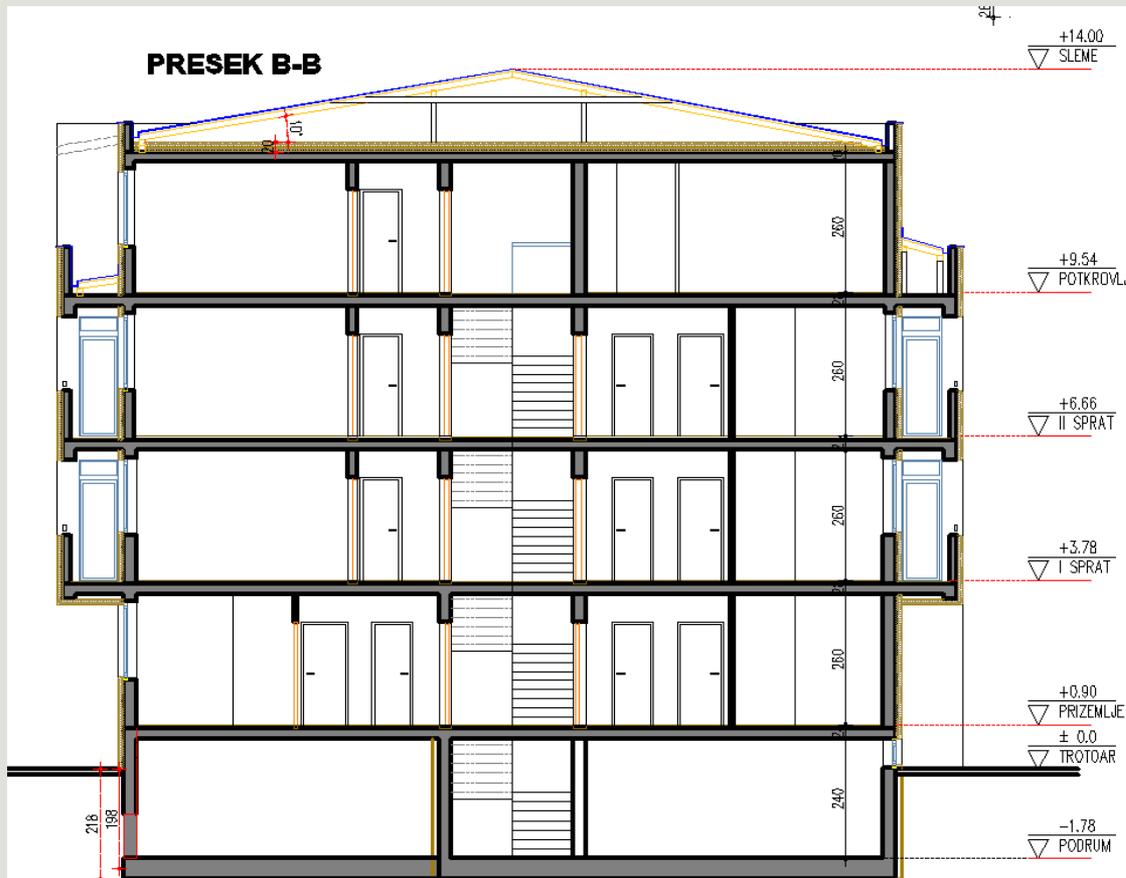
PRORAČUN NOSIVOSTI ZIDANIH KONSTRUKCIJA PRI SEIZMIČKOM DEJSTVU PREMA EC 8

Granično stanje nosivosti usled seizmičkog dejstva – brojni primer



PRORAČUN NOSIVOSTI ZIDANIH KONSTRUKCIJA PRI SEIZMIČKOM DEJSTVU PREMA EC 8

Granično stanje nosivosti usled seizmičkog dejstva – brojni primer



Proračun seizmičkih sila i parametara u pravcu x

$F_b = 1762,27 \text{ kN}$, ukupna seizmička sila,
 $M_b = 2290,95 \text{ kNm}$, ukupni seizmički moment,
 $E = 4000 \text{ MPa}$, modul elastičnosti,
 $f_k = 4,0 \text{ MPa}$ čvrstoća zida na pritisak,
 $f_{vk} = 0,4 \text{ MPa}$, čvrstoća zida na smicanje
 $\gamma_m = 1,5$ parc. faktor sigurnosti za zid,
 $\gamma_s = 1,15$ parc. faktor sigurnosti za armaturu,

Incidentna proračunska kombinacija:

$$E_d = \Sigma G_{kj} + \gamma_I A_{Ed} + \Sigma \psi_{2i} Q_{ki} + P_k$$

PRORAČUN NOSIVOSTI ZIDANIH KONSTRUKCIJA PRI SEIZMIČKOM DEJSTVU PREMA EC 8

Granično stanje nosivosti usled seizmičkog dejstva – brojni primer

	1	2	3	4	5	6	7
ZID	Debljina zida t[m]	Dužina zida L[m]	Površina zida A[m²]	Dužina otvora u zidu $\sum L_i^o$ [m]	Visina zida H[m]	Koeficijent redukcije za zidove sa otvorom k₁	Početne krutosti zida bez otvora K_e[kN/m]
X	0,25	7,05	1,7625	0,70	2,60	3 749 093,333	274.954,507
Y	0,25	3,25	0,8125	0	2,60	1 464 958,334	133.633,308

$$M_{Sd,i} = M_b \frac{K_i}{\sum K_i} \quad V_{Sd,i} = F_b \frac{K_i}{\sum K_i}$$

$$K_e = \frac{GA}{1.2h \left[1 + \alpha \frac{G}{E} \left(\frac{h}{L} \right)^2 \right]} * k_1$$



	8	9	10	11	12	13	14
ZID	Moment od seizmičkog dejstva M_{Sd}[kNm]	Sila smicanja od seizmičkog dejstva V_{Sd}[kN]	Aksijalna sila od stalnog dejstva N_g[kN]	Aksijalna sila od korisnog dejstva N_q[kN]	Računska vertikalna sila N_{Sd}[kN]	Krak unutrašnjih sila z[m]	Ukupno računsko vertikalno dejstvo F_{Sd}[kN]
X	239,278	184,06	67,275	15,1475	862,376	4,408	485,471
Y	93,498	71,921	68,984	16,185	365,495	1,742	236,42

	15	16	17	18	19	20
ZID	Дужина притиснуте зоне L_c[m]	Рачунска носивост на смицање V_{Rd}[kN]	Рачунска носивост на притисак F_{Rd}[kN]	V_{Sd}/V_{Rd}×100 [%]	F_{Sd}/F_{Rd}×100 [%]	Арматура у вертикалним серкљажима A_S[cm²]
X	6,80	304,619	851,625	60,423	57,005	4Ø14 (6,16 cm ²)
Y	2,80	222,222	408,375	32,364	57,893	4Ø14 (6,16 cm ²)

PRORAČUN NOSIVOSTI ZIDANIH KONSTRUKCIJA PRI SEIZMIČKOM DEJSTVU PREMA EC 8

Granično stanje nosivosti usled seizmičkog dejstva- brojni primer

Зид ZX-1DE (d=25cm) и зид ZX-1EF (d=25cm)

- рачунске вертикалне силе

$$N_{sd,x} = L_{zida} \times N_{sd,2-2} = 6,80 \times 126,82 = 862,376 \text{ kN}$$

- момента од земљотреса

$$M_{sd,x} = M_b \times \frac{k_i}{\sum k_{i,x}} = 2.290,955 \times \frac{3.749.093,333}{35.895.526,04} = 239,278 \text{ kNm}$$

- сила смицања од земљотреса

$$V_{sd,x} = F_b \times \frac{k_i}{\sum k_{i,x}} = 1.762,274 \times \frac{3.749.093,333}{35.895.526,04} = 184,06 \text{ kN}$$

- рачунско вертикално деловање

$$F_{sd,x} = \frac{N_{sd,x}}{2} + \frac{M_{sd,x}}{z} = \frac{862,376}{2} + \frac{239,278}{4,408} = 485,471 \text{ kN}$$

- крак унутрашњих сила

$$z_x = L - \left(\frac{L_{c,x}}{2}\right) - \left(\frac{d_c}{2}\right) = 6,80 - \left(\frac{6,80}{3}\right) - \left(\frac{0,25}{2}\right) = 4,408 \text{ m}$$

- дужина притиснуте зоне

$$L_{c,x} = \left(\frac{L}{2}\right) \times \left[1 + L \times \frac{N_{sd,x}}{6 \times M_{sd,x}}\right] = \left(\frac{6,80}{2}\right) \times \left[1 + 6,80 \times \frac{862,376}{6 \times 239,278}\right] = 17,288 \text{ m} > L \rightarrow L_{c,x} = 6,80 \text{ m}$$

- арматура у серкљима

$$A_{S1} = A_{S2} = \frac{M_{sd,x}}{z \times f_{yd}} - \frac{N_{sd,x}}{2}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$$

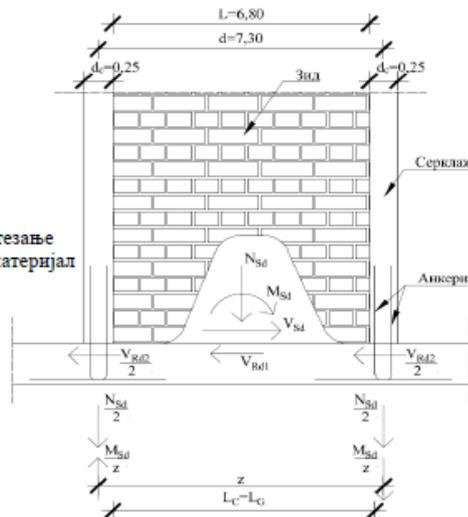
$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$ – чврстоћа челика на тегезање
 $\gamma_s = 1,15$ – коефицијент редукије за материјал

$$f_{yd} = \frac{500}{1,15} = 434,783 \text{ MPa}$$

$$A_{S1,x} = A_{S2,x} = \frac{239,278}{4,408 \times 434,783 \times 10^{-3}} -$$

$$- \frac{862,376}{2} = -431,188 \text{ cm}^2$$

$$\rightarrow \min A_{S1,x} = \min A_{S2,x} = 4014 (6,16 \text{ cm}^2)$$



Зид ZY-D34 (d=25cm)

- рачунске вертикалне силе

$$N_{sd,y} = L_{zida} \times N_{sd,2-2} = 2,80 \times 130,534 = 365,495 \text{ kN}$$

- момента од земљотреса

$$M_{sd,y} = M_b \times \frac{k_i}{\sum k_{i,y}} = 2.290,955 \times \frac{1.464.958,334}{35.895.526,04} = 93,498 \text{ kNm}$$

- сила смицања од земљотреса

$$V_{sd,y} = F_b \times \frac{k_i}{\sum k_{i,y}} = 1.762,274 \times \frac{1.464.958,334}{35.895.526,04} = 71,921 \text{ kN}$$

- рачунско вертикално деловање

$$F_{sd,y} = \frac{N_{sd,y}}{2} + \frac{M_{sd,y}}{z} = \frac{365,495}{2} + \frac{93,498}{1,742} = 236,42 \text{ kN}$$

- крак унутрашњих сила

$$z_y = L - \left(\frac{L_{c,y}}{3}\right) - \left(\frac{d_c}{2}\right) = 2,80 - \left(\frac{2,80}{3}\right) - \left(\frac{0,25}{2}\right) = 1,742 \text{ m}$$

- дужина притиснуте зоне

$$L_{c,y} = \left(\frac{L}{2}\right) \times \left[1 + L \times \frac{N_{sd,y}}{6 \times M_{sd,y}}\right] = \left(\frac{2,80}{2}\right) \times \left[1 + 2,80 \times \frac{365,495}{6 \times 93,498}\right] = 3,954 \text{ m} > L \rightarrow L_{c,y} = 2,80 \text{ m}$$

- арматура у серкљима

$$A_{S1} = A_{S2} = \frac{M_{sd,y}}{z \times f_{yd}} - \frac{N_{sd,y}}{2}$$

$$f_{yd} = \frac{f_{yk}}{\gamma_s}$$

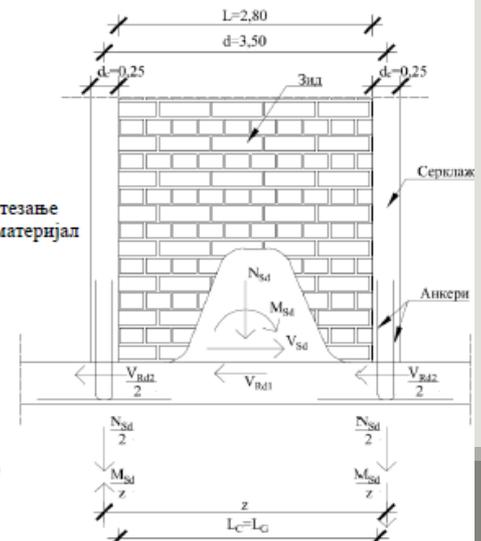
$f_{yk} = 500 \text{ MPa}$ – чврстоћа челика на тегезање
 $\gamma_s = 1,15$ – коефицијент редукије за материјал

$$f_{yd} = \frac{500}{1,15} = 434,783 \text{ MPa}$$

$$A_{S1,y} = A_{S2,y} = \frac{93,498}{1,742 \times 434,783 \times 10^{-3}} -$$

$$- \frac{365,495}{2} = -182,747 \text{ cm}^2$$

$$\rightarrow \min A_{S1,y} = \min A_{S2,y} = 4014 (6,16 \text{ cm}^2)$$



PRORAČUN NOSIVOSTI ZIDANIH KONSTRUKCIJA PRI SEIZMIČKOM DEJSTVU PREMA EC 8

ZAKLJUČCI:

Evropski standardi za projektovanje zidanih konstrukcija detaljnije sagledavaju različite vrste elemenata za zidanje i maltera u odnosu na važeće propise;

Osnovana poruka EN 1996 je da kvalitet zidanih konstrukcija zavisi od kvaliteta ugrađenih materijala i od kvaliteta izvođenja-niži kvalitet, viši faktori sigurnosti za materijale, te samim ti i skuplji objekti.

Seizmička analiza je dosta složenija i sadržajnija u odnosu na postupke koje sagledava naš Pravilnik. Povratni period seizmičkog dejstva je kraći i samom činjenicom da se očekuju češća zemljotresna dejstva uspostavljeni su strožiji i skuplji kriterijumi proračuna, konstrukcijskog oblikovanja i projektovanja zidanih konstrukcija.

LITERATURA

- [1] Evrokodovi za konstrukcije Evrokod 2: EN 1992-1-1:2004, Proračun betonskih konstrukcija. Deo 1-1: Opšta pravila i pravila za zgrade, Građevinski fakultet, Univerziteta u Beogradu, Beograd, 2006.
- [2] Evrokodovi za konstrukcije Evrokod 6: EN 1996-1-1:2005, Proračun zidanih konstrukcija. Deo 1-1: Opšta pravila za armirane i nearmirane zidane konstrukcije, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 2009.
- [3] Evrokodovi za konstrukcije Evrokod 8: EN 1998-1-1:2004, Proračun seizmički otpornih konstrukcija. Deo 1-1: Opšta pravila, seizmička dejstva i pravila za zgrade, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, 2009.
- [4] Muravljev M., Stevanović B., *Zidane i drvene konstrukcije zgrada*, Građevinski fakultet u Beogradu, Beograd, 1999.
- [6] Pravilnik o tehničkim normativima za izgradnju objekata visokogradnje u seizmičkim područjima, Službeni list SFRJ, broj 87/81
- [7] Pravilnik o tehničkim normativima za zidane zidove, Službeni list SFRJ, broj 87/91
- [8] Stevanović B.: *Evrokod 6 – Zidane konstrukcije, Izgradnja*, (2010), Vol. 64, No. 1-2, pp. 79-82
- [9] Tomažević, M., *Earthquake-Resistant Design of Masonry Buildings*, Imperial College Press, London, 1999.
- [10] Tomažević M.: Uvođenje eurokodova i proračun seizmičke otpornosti zidanih konstrukcija, *Materijali i konstrukcije*, (2008), Vol. 51, No. 2, pp. 3-24,
- [11] R. Salatić, R. Mandić, M. Marinković: *Seizmički proračun zidanih zgrada prema evrokodu 8, IZGRADNJA 67 (2013)*, No 5–6, pp. 221–234.
- [12] Radić Jure i saradnici: *“Zidane konstrukcije 1“*, Zagreb, 2007.
- [13] Sorić Zorislav: *“Zidane konstrukcije 1”*, Zagreb, 1999.
- [14] Andrija Zorić: *Proračun zidane konstrukcije višespratne stambene zgrade prema Evrokodu 6 i Evrokodu 8*, Master rad, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu, 2014.
- [15] Ervin Kožoman, Marijana Hadzima-Nyarko, Dragan Morić., *Usporedbe razlika u proračunima prema različitim propisima na primjeru stvarne armiranobetonske konstrukcije s posmičnim zidovima*’, **Društvo za ispitivanje i istraživanje materijala i konstrukcija Srbije**, XXVI Kongres - Vrnjačka Banja, 29-31. oktobar 2014.



Hvala Vam na pažnji!