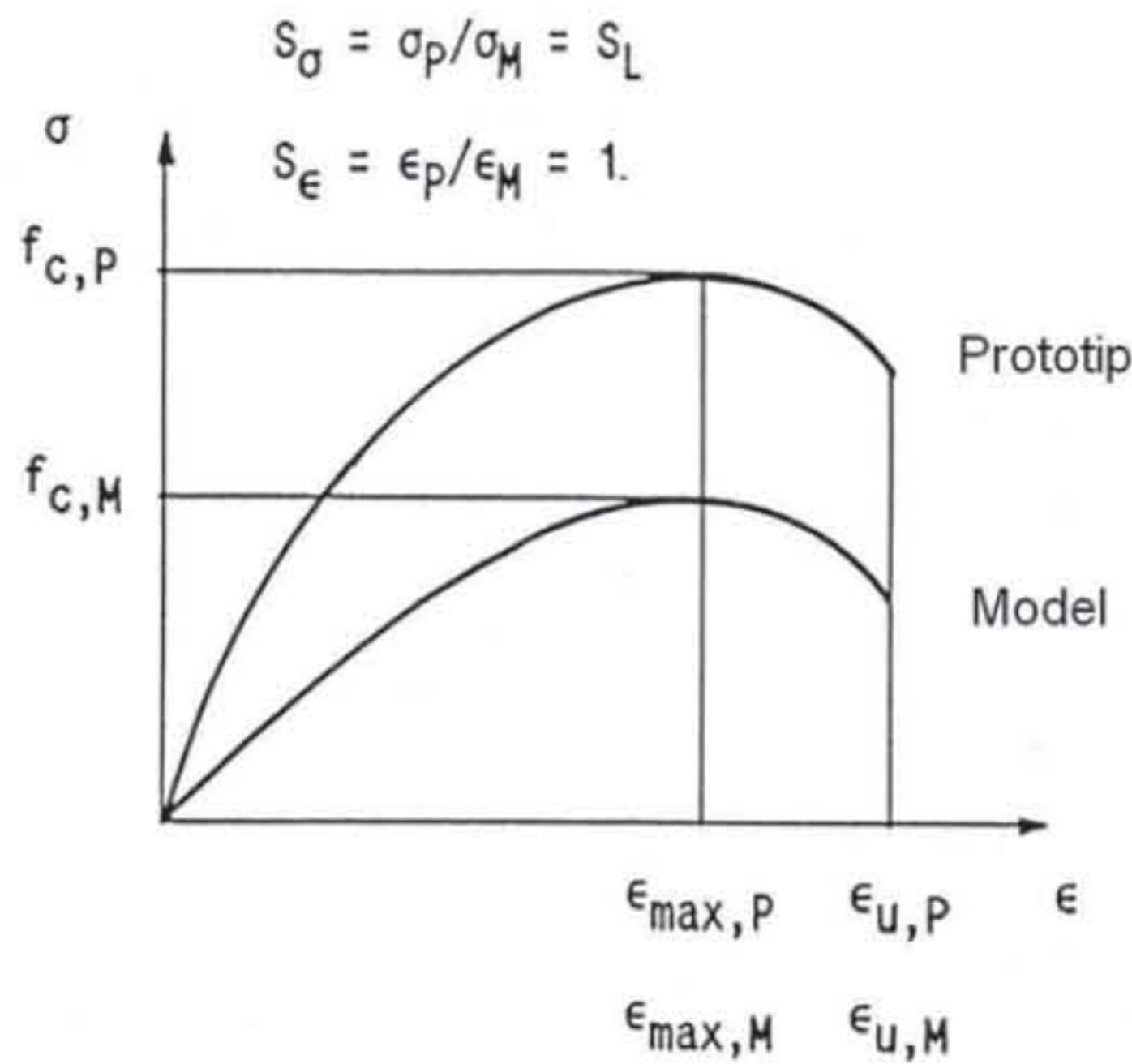


PORASTI BETON VS POTRES

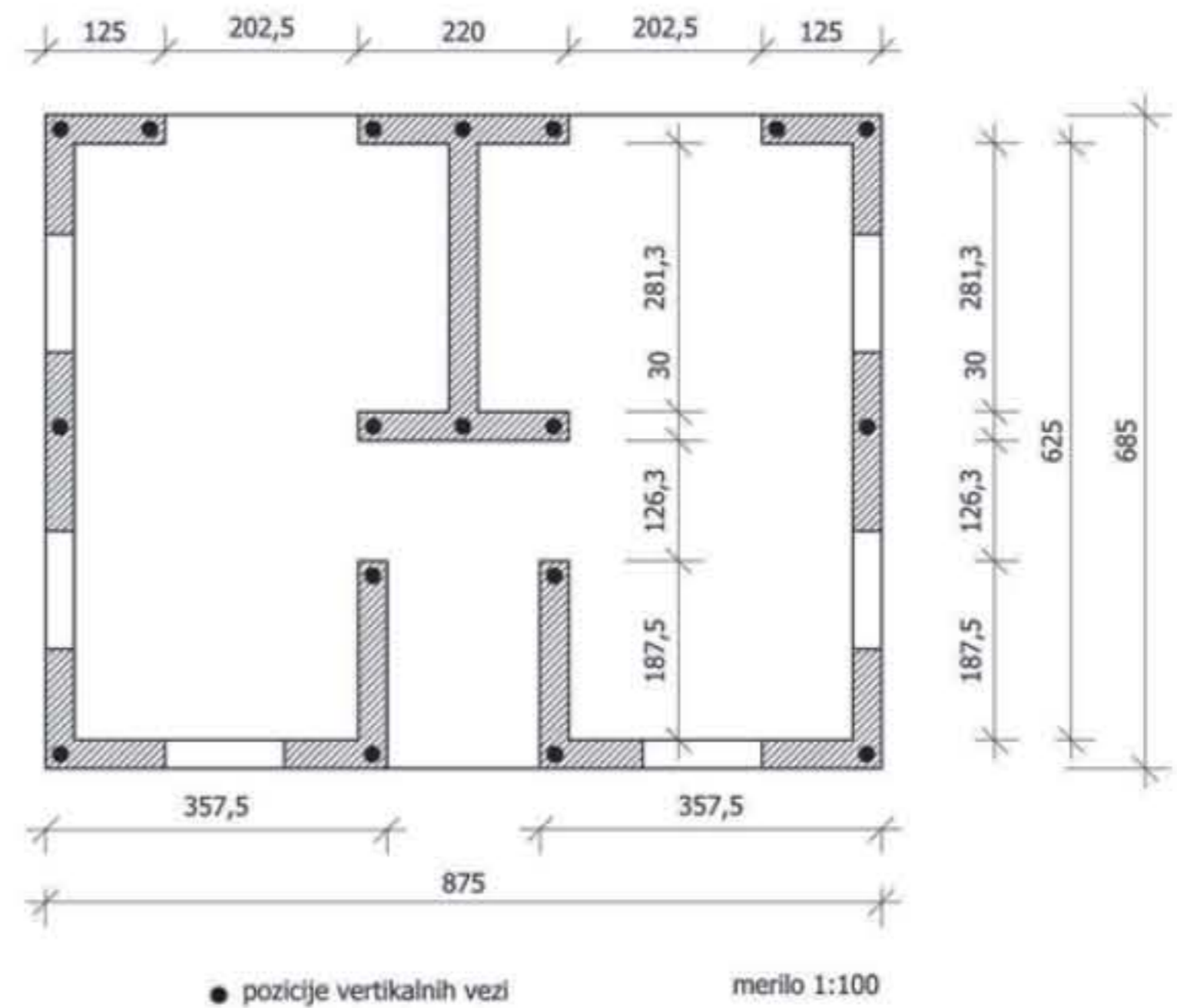
piše: Berislav Medić

YTONG®

slika 1



slika 2



Kada se zna da je gradnja porastim betonom ekonomična i ekološka i da se radi o materijalu visoke kvalitete proizvodnje, odličnih termoizolacijskih svojstava i velike požarne otpornosti, za očekivati bi bilo da je njegova primjena, prije svega u stanogradnji, mnogo učestalija. Zašto tome nije tako? Odgovor prije svega leži u konzervativnim odredbama propisa koji gradnju višetažnih zidanih zgrada od porastog betona u potresnim područjima praktično onemogućavaju. Kako bi se utvrdile stvarne vrijednosti nekih ključnih parametara (faktor ponašanja q i sposobnost deformacije i rasipanja energije) i učvrstilo povjerenje za građenje porastim betonom u potresnim područjima, grupa stručnjaka iz Zagreba i Ljubljane provela je ispitivanja višetažnih zgrada od porastog betona za slučaj potresnog opterećenja.

Ispitivanja su provedena u laboratoriju za konstrukcije Zavoda za gradbeništvo Slovenije. S obzirom da kapacitet laboratorija nije dopuštao ispitivanje konstrukcija u prototipskoj velični, ispitivanja su provedena na modelima u mjerilu 1:4. Modelska ispitivanja su jednostavnija i jeftinija od ispitivanja prototipa pri čemu se globalno ponašanje konstrukcije može pouzdano simulirati. Za pouzdanost rezultata važna je sličnost dinamičkog ponašanja i mehanizma loma prototipa i modela. Sličnost dinamičkog ponašanja postiže se podjednakom raspodjelom masa i krutosti na prototipu i modelu. Sličnost lomnog mehanizma osigurana je sličnim odnosom stvarnih naprezanja i čvrstoće. Planirano je

bilo modele izraditi u tehnici potpune modelske sličnosti, što znači za gradnju koristiti materijal koji će pri jednakoj specifičnoj masi imati za geometrijsko mjerilo (četiri puta) manju tlačnu i vlačnu čvrstoću nego prototipski materijal (deformacijska svojstva ostaju nepromijenjena, slika 1). S obzirom da nije bilo moguće proizvesti materijal koji bi u potpunosti zadovoljio navedeni uvjet, pretvorba rezultata ispitivanja na prototip bila je nešto složenija.

Prototipne zgrade dimenzije su 6,85 x 8,75 metara (slika 2) i sastoje se od prizemlja i tri, odnosno četiri etaže. Raspored zidova zadovoljava propisanu simetričnost po tlocrtu i visini. Omjer površine poprečnog presjeka nosivih zidova i bruto površine kata također je u skladu s propisanim: 5,8% u x-smjeru i 8,3% u y-smjeru. Visina etaže je 2,5 m, a debljina zidova 30 cm. Za zidanje je korišten YTONG blok dimenzije 62,5/25/30 cm, čvrstoće 4 Mpa.

Prototipne zgrade zidane su u sustavu omeđenog ziđa, s horizontalnim i vertikalnim serklažima. Upravo vertikalni serklaži kod materijala s visokim odnosom tlačne i vlačne čvrstoće značajno povećavaju kapacitet duktilnosti ziđa. Ispitivanjem zidova od porastog betona pod cikličkim opterećenjem utvrđeno je da zidovi bez vertikalnih serklaža imaju puno manju nosivost od onih sa serklažima te da se slom na zidovima bez serklaža događao savijanjem. Slom smicanjem događao se isključivo na zidu sa serklažima (slika 3). Prilikom ispitivanja na potresnom stolu, za slučaj graničnog stanja rušenja, serklaži su osigurali integritet konstrukcije i spriječili njeno raspadanje (slika 4).

Modeli su ispitani na jednokomponentnom potresnom stolu s pločom dimenzije 2,0 x 3,2 m. Za pobudu je korišten potres koji odgovara snažnoj, 24 sekunde dugoj fazi zapisa ubrzanja N-S komponente crnogorskog potresa iz 1979. godine, s maksimalnim izmjerenim ubrzanjem od 0,43 g. Seizmički proračun prema EC8 temelji se na elastičnom spektru odgovora (tip 1 ili 2). Kako bi se postigla bolja sličnost spektra odgovora i projektnog spektra, vrijeme trajnja potresa korištenog za pobudu skraćeno je na pola (slika 5). Time je omogućena usporedba rezultata dobivenih na potresnom stolu s rezultatima kompjutorske analize provedene u skladu s važećim propisima. Ispitivanje je provedeno u fazama, s povećanjem intenziteta potresa u svakoj sljedećoj fazi. Za svaku je fazu provedeno mjerenje odziva modela, utvrđene su nastale štete i

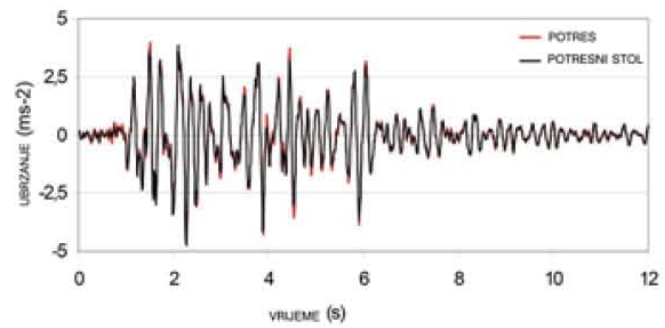
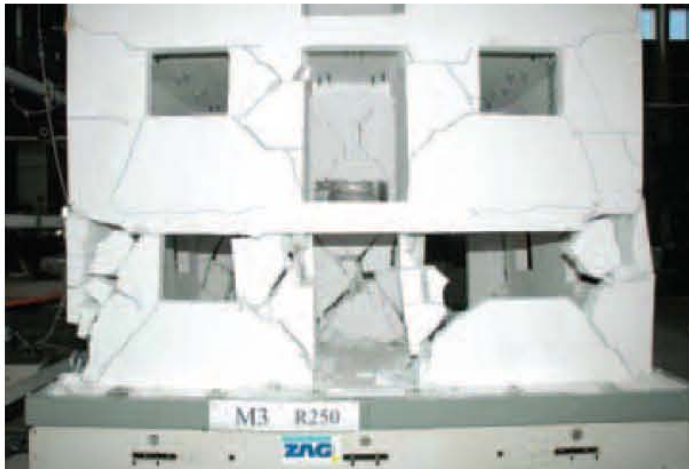


slika 3

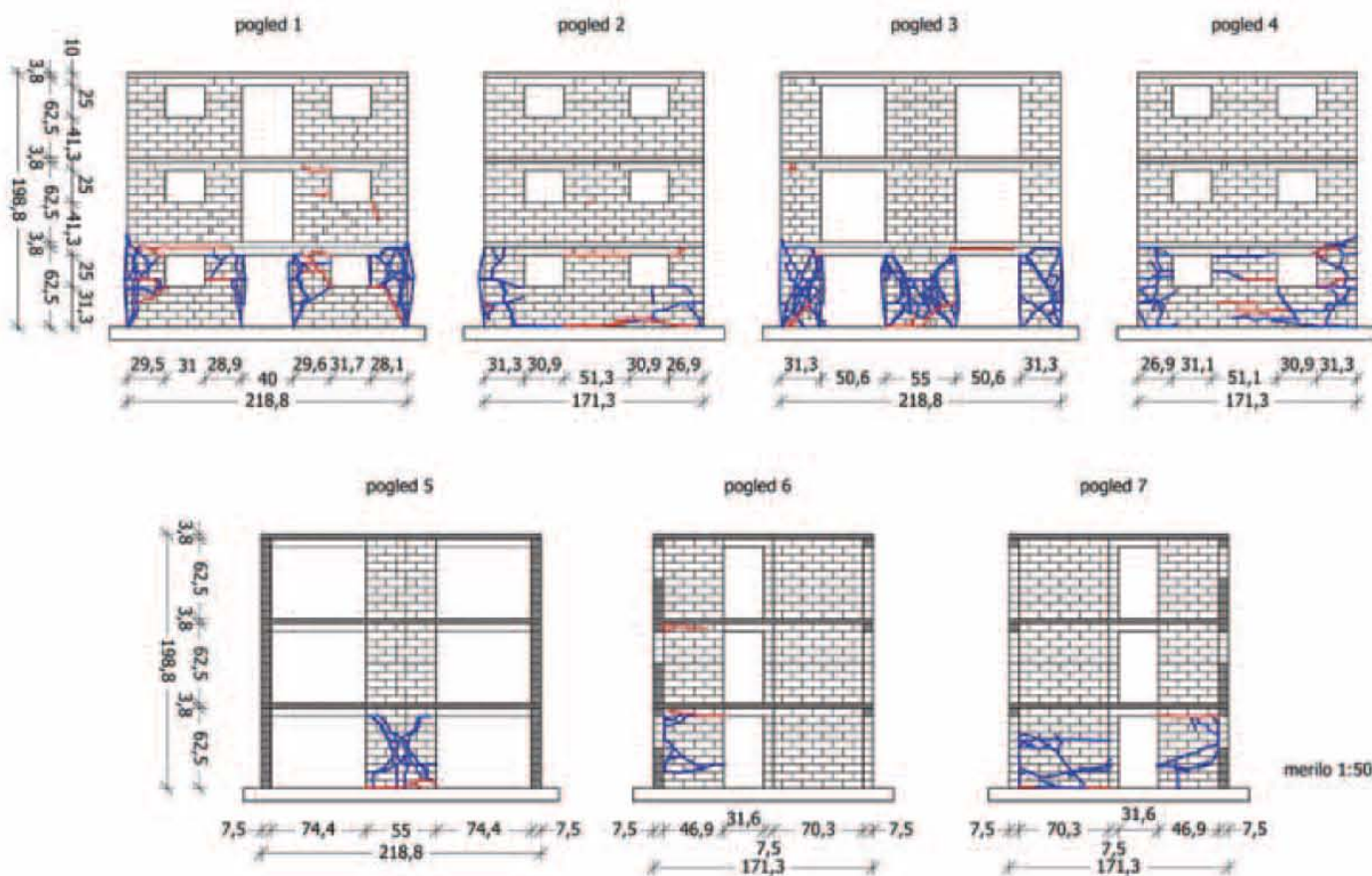


slika 4

slika 5



slika 6



slika 7

promjene dinamičkih svojstava modela. Mehanizam ponašanja za sve je modele bio identičan, tipičan za slom smicanjem (slika 6). Temeljem dobivenih podataka utvrđena je otpornost ($BSC =$ koeficijent granične proračunske poprečne sile, omjer poprečne sile pri dnu zgrade i ukupne težine) i kapacitet deformacije (slika 7) te faktor ponašanja $q = 2,5$.

S eksperimentalno određenom vrijednošću faktora ponašanja proveden je seizmički proračun prototipa korištenjem nekoliko dostupnih programskih paketa (SCIA, SAP, FEDRA). Napravljen je kvazistatički proračun (s obzirom na pravilnost zgrade po tlocrtu i visini propis omogućava takav proračun) i modalna analiza (koja daje nešto povoljnije rezultate od kvazistatičkog proračuna). Rezultati u linearnom području gotovo su u potpunosti (osobito za modalnu analizu) odgovarali eksperimentalnima. U slučaju zgrade s približno simetričnom raspodjelom nosivih zidova (minimalan utjecaj torzije), nelinearnost (preraspodjela potresnog djelovanja između zidova) nema značajnijeg utjecaja na re-

Granično stanje	M1		M2		M3	
	BSC	ϕ (%)	BSC	ϕ (%)	BSC	ϕ (%)
Granica oštećenja	0,67	0,23	0,48	0,36	0,32	0,30
Maksimalna otpornost	0,70	0,28	0,51	0,49	0,35	0,43
Granica rušenja	0,56	2,55	0,17	6,69	0,17	6,22

zultate (jer istovremeno otkazu svi zidovi jednog smjera) pa je dovoljno koristiti linearni proračun. Ukoliko se ne koristi neki specijalizirani program za zidane konstrukcije koji kontrolu otpornosti provodi automatski, dokaz otpornosti treba provesti u skladu sa EC6:

slika 8



• otpornost na tlak

$$N_{sd} < N_{Rd} \quad [kN/m]$$

$$N_{Rd} = \Phi_{i,m} \cdot t \cdot \frac{f_k}{\gamma_M} \quad [kN/m]$$

• otpornost na smicanje

$$V_{sd} \leq V_{Rd}$$

$$f_{vk} - f_{vko} + 0,4\sigma_d, \quad \text{gdje je } \sigma_d = \frac{N_d}{t \cdot L_c}$$

$L_c \rightarrow$ duljuna tlačno napreznog dijela

$$L_c = 3 \cdot \left(\frac{L}{2} - \frac{M_{sd}}{N_{sd}} \right)$$

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

• otpornost na slom po kosoj pukotini

$$V_{sd} \leq V_{RHE}$$

$V_{RHE} \rightarrow$ maksimalna proračunska poprečna sila ako je kriterij otkazivanja vlačni dijagonalni slom

$$\tau_{Rd} = \frac{f_t}{1,5 \cdot \gamma_M} \sqrt{1 + \gamma_M \frac{\sigma_0}{f_t}}, \quad \text{gdje je } \sigma_0 = \frac{N}{t \cdot L}$$

$$V_{RHE} = C_\gamma \cdot A_m \cdot \tau_{Rd}$$

$$A_m = t \cdot L$$

$C_\gamma \rightarrow$ faktor redukcije, obično $C_\gamma = 0,9$

• otpornost na savijanje sa uzdužnom silom

$$M_{sd} \leq M_{Rd}$$

$$M_{Rd} = f_d \cdot t \cdot a_{d,min} \cdot e_{d,max} = \frac{\sigma_d \cdot t \cdot L^2}{2} \left(1 - \frac{\sigma_d}{f_d} \right)$$

$$\sigma_d = \frac{N_{sd}}{t \cdot L}; \quad f_d = \frac{f_k}{\gamma_M}, \quad \text{gdje je } f_k - \text{karakteristična tlačna čvrstoća zida}$$

$$a_{d,min} = \frac{\sigma_d}{f_d} L \geq 0,05L, \quad \text{gdje je } a_{d,min} - \text{najmanja proračunska duljina tlačnog područja}$$

$$e_{d,max} = \frac{L}{2} - \frac{a_{d,min}}{2} = \frac{L}{2} \left(1 - \frac{\sigma_d}{f_d} \right) \leq 0,475L, \quad \text{gdje je } e_{d,max} - \text{najveći proračunski ekscentricitet}$$

Temeljem rezultata ispitivanja moguće je utvrditi da je ponašanje zgrada građenih od porastog betona u sustavu omeđenog zida ravno ponašanje drugih vrsta zidanih zgrada jednake veličine. Za zgrade visine 3-4 etaže moguće je osigurati potrebnu potresnu otpornost poštujući pravila zidanja i odredbe propisa za građenje u potresnim po-

družjima, osobito one o pravilnosti po tlocrtu i visini i rasporedu vertikalnih serklaža. Može se preporučiti da se za određivanje projektnih potresnih sila na zgrade od porastog betona u sustavu omeđenog zida primjenjuje faktor ponašanja $q = 2,5$.