

**SUVREMENA RJEŠENJA
ZA
PROTUPOTRESNU GRADNJU**

YTONG[®]

prof.dr.sc. Dražen Aničić

**POTRESNA OTPORNOST ZGRADA
OD
PORASTOGA BETONA**

Zagreb, 11. travnja 2010.

The logo consists of a solid yellow square. Inside the square, the word "YTONG" is written in a bold, black, sans-serif font. A registered trademark symbol (®) is positioned to the upper right of the word.

YTONG[®]

Sadržaj

- 1 **Uvod**
- 2 **Odredbe Tehničkog propisa za zidane konstrukcije i norma HRN EN 1996-1-1 i HRN EN 1998-1 o zidanim konstrukcijama od porastoga betona**
 - 2.1 **Tehnički propis za zidane konstrukcije**
 - 2.2 **Norma HRN EN 1996-1-1**
 - 2.2.1 **Općenito**
 - 2.1.1 **Tlačna čvrstoća zida**
 - 2.1.2 **Posmična čvrstoća zida**
 - 2.1.3 **Čvrstoća zida na savijanje**
 - 2.1.4 **Vlačna čvrstoća ziđa**
 - 2.1.5 **Proračun omeđenog ziđa**
 - 2.1.6 **Oblikovanje pojedinosti omeđenog ziđa i odstupanja od pravila norme**
 - 2.3 **Norma HRN EN 1998-1**
 - 2.4 **Provjera otpornosti**
- 3 **Ispitivanje modela zgrade od porastoga betona na potresnoj platformi**
- 4 **Zaključci modelskih ispitivanja**
- 5 **Zaključci za Hrvatsku**

1 Uvod

Republika Hrvatska nalazi se u potresnim područjima u kojima se očekuju tektonski potresi koji oslobađaju veliku energiju i koji na građevinama mogu prouzročiti znatna oštećenja pa i rušenja. Prema seizmološkoj karti intenziteta potresa koja je još uvijek na snazi oko 95 % hrvatskog teritorija nalazi se u potresnim područjima intenziteta VII., VIII. i IX. stupnja ljestvice MSK-64. Tim intenzitetima dodijeljena su u nacionalnom dodatku za primjenu norme HRN ENV 1998-1-1 ubrzanja temeljnog tla 0,1g, 0,2g i 0,3g. Iako su izdanja konačnih verzija eurokodova prihvaćena i objavljena u Hrvatskom zavodu za norme, njihova primjena bit će moguća tek nakon prihvaćanja i objavljivanja nacionalnih dodataka u obliku posebnih norma. Jedna od njih, HRN EN 1998-1/NA, sadržavat će i novu seizmološku kartu pripremljenu s vrijednostima ubrzanja temeljnog tla.

Opće je uvjerenje građevinskih stručnjaka da su zidane zgrade manje otporne na djelovanje potresnih sila. Takvo se stajalište zasniva za promatranju ponašanja oštećenja starijih zidanih građevina ili novih građevina izgrađenih bez poznavanja osnovnih načela gradnje u potresnim područjima. Suvremena teorijska i eksperimentalna istraživanja kao i odredbe europskih norma za projektiranje građevina (eurokodova) pokazuju, međutim, da se gradnjom zidanih zgrada može postići zadovoljavajuća i zahtijevana otpornost na djelovanje potresnih sila. Pri tom je nužno pridržavati se određenih načela oblikovanja nosive konstrukcije, ugrađivati primjerene materijale i zgrade izvoditi tako da zahtjevi projekta budu poštivani.

Zidane je zgrade moguće graditi uporabom šest vrsta zidnih elemenata: opečnih, vapnenosilikatnih, betonskih, uz uporabu elemenata od porastoga betona te od umjetnog i prirodnog kamena. Ovaj dokument obrađuje gradnju zgrada primjenom zidnih elemenata od porastoga betona i potvrđuje da se tim materijalom mogu, s konstrukcijskog stajališta, graditi zgrade jednakovrijedne zgradama izgrađenim od opečnih zidnih elemenata. Toplinsko-izolacijska svojstva i požarna otpornost dvaju materijala u ovom se dokumentu ne uspoređuju. Dokument se zasniva na Tehničkom propisu za zidane konstrukcije (NN 1/2007), normama HRN EN 1996-1-1:2008, HRN EN 1998-1:2008 i Izvještaju Zavoda za gradbeništvo Slovenije (ZAG), Ljubljana, siječanj 2010., broj P 0891/08-650-1 "Obnašanje YTONG hiš pri potresni obtežbi: Modelne preiskave na potresni mizi" (Ponašanje kuća od YTONG-a pri potresnom opterećenju: Modelna ispitivanja na potresnoj platformi). Taj izvještaj zasnovan je na ispitivanjima koja su pripremili, proveli i rezultate obradili prof.dr.sc. Miha Tomažević i dr.sc. Matija Gams. U ovom su dokumentu primijenjene i druge suvremene norme koje se odnose na djelovanja (niz HRN EN 1991), betonske konstrukcije (niz HRN EN 1992), geotehnička pitanja (niz HRN EN 1997) i norme za proizvode i metode ispitivanja.

Dokument je namijenjen projektantima zidanih zgrada izvednih sa zidnim elementima od porastoga betona u potresnim područjima, kao i svima koji žele saznati više o tom svestranom materijalu.



2 Odredbe Tehničkog propisa za zidane konstrukcije i norma HRN EN 1996-1-1 i HRN EN 1998-1 o zidanim konstrukcijama od porastoga betona

2.1 Tehnički propis za zidane konstrukcije

Tehnički propis za zidane konstrukcije (TPZK) (NN 1/2007) propisuje tehnička svojstva za zidane konstrukcije u građevinama i to zahtjeve za projektiranje, izvođenje radova, uporabljivost, održavanje i drugo. Propis obrađuje zahtjeve za ispunjenje prvog bitnog zahtjeva (mehanička otpornost i stabilnosti građevine) i drugog bitnog zahtjeva (zaštita od požara - pasivne mjere zaštite).

Zidana se konstrukcija može izvesti od nearmiranog, omeđenog, armiranog i prednapetog ziđa. Ovaj dokument obrađuje zgrade izvedene od omeđenog ziđa (tj. ziđa pojačanog horizontalnim i vertikalnim serklažima), sa zidnim elementima od porastog betona, tankoslojnog morta u vertikalnim i horizontalnim sljubnicama, betona i čelične armature. Svi ti građevni proizvodi izrađuju se u tvornici (pogonu) a ugrađuju se na gradilištu u zidanu konstrukciju. Građevni proizvodi moraju biti sukladni odgovarajućim tehničkim specifikacijama (normama ili tehničkim dopuštenjima).

Projektom se moraju obuhvatiti sva djelovanja kojima će konstrukcija biti izložena tijekom svog uporabnog vijeka koji iznosi najmanje 50 godina. Propisani bitni zahtjevi dokazuju se proračunima graničnih stanja nosivosti i graničnih stanja uporabljivosti. Za tzv. "jednostavne zidane zgrade" (vidi normu HRN EN 1998-1, točka 9.7) koje ispunjavaju određene uvjete nije, za djelovanje potresa, obvezna provjera mehaničke otpornosti i stabilnosti proračunom. Za zidane se konstrukcije požarna otpornost može dokazivati primjenom tabličnih vrijednosti u skladu s normom HRN EN 1996-1-2. Proračuni se po potrebi dopunjuju ispitivanjima. U ovom se dokumentu rabe rezultati ispitivanja iz izvještaja ZAG-a navedenog u uvodu.

Osim otpornosti na djelovanje potresnih sila utvrđene ispitivanjima, ovim se dokumentom, na osnovi rezultata ispitivanja, dokazuje mogućnost i opravdanost odstupanja od odredaba TPZK-a koje se odnose na izvedbu vertikalnih serklaža "sa zubima" (točka J.2.1.18), najmanju ploštinu njihova poprečnog presjeka (150 mm x 150 mm), ploštinu armature vertikalnih serklaža (ovisnu o katnosti) i razmak spona armaturnog koša serklaža (točka J.2.1.19). Ta se odstupanja zasnivaju na odrebi članka 17(2) TPZK-a koja dopušta primjenu drugih pravila projektiranja zidanih konstrukcija koja se razlikuju od pravila danih hrvatskim normama iz Priloga "I" Propisa, ako se dokaže da se primjenom tih pravila ispunjavaju zahtjevi Propisa najmanje na razini određenoj hrvatskim normama iz Priloga "I".



2.2 Norma HRN EN 1996-1-1

2.2.1 Općenito

Norma HRN EN 1996-1-1:2008, *Eurokod 6: Projektiranje zidanih konstrukcija - Dio 1-1: Opća pravila za armirane i nearmirane zidane konstrukcije* sadrži 9 poglavlja (oko 100 stranica). Ovdje će se prikazati samo formule za proračun karakterističnih čvrstoća zida. Formule se primjenjuju kad nema dostupnih rezultata ispitivanja. Ako su ispitivanja provedena, treba im dati prednost pred formulama. Ispitivanja se provode u skladu s normom HRN EN 1052-1 za određivanje tlačne čvrstoće, normama HRN EN 1052-3 ili HRN EN 1052-4 za određivanje posmične čvrstoće i normom HRN EN 1052-2 za određivanje čvrstoće na savijanje.

2.1.1 Tlačna čvrstoća zida

Karakteristična tlačna čvrstoća zida od porastog betona i tankoslojnog morta određuje se iz formule (3.3) norme:

$$f_k = 0,80 f_b^{0,85} \quad (1)$$

gdje je:

f_b normalizirana srednja tlačna čvrstoća zidnog elementa.

Primjer:

Za zidni element objavljene tlačne čvrstoće 2 MPa (normalizirane tlačne čvrstoće 2,5 MPa) karakteristična tlačna čvrstoća zida iznosi $f_k = 1,74$ MPa.

Za zidni element objavljene tlačne čvrstoće 4 MPa (normalizirane tlačne čvrstoće 5 MPa) karakteristična tlačna čvrstoća zida iznosi $f_k = 3,14$ MPa.

Iz formule proizlazi da tlačna čvrstoća tankoslojnog morta nema nikakav utjecaj na tlačnu čvrstoću zida. Uobičajene tlačne čvrstoće tankoslojnog morta su 5-10 MPa. Propisana je samo debljina sljubnice koja mora biti od 0,5 do 3 mm i najveće zrno agregata (≤ 2 mm). Normalizirana tlačna čvrstoća je čvrstoća utvrđena ispitivanjem ispitnih uzoraka u skladu s normom HRN EN 772-1 svedena na veličinu kocke brida 100 mm. Zidni element mora biti sukladan s normom HRN EN 771-4.



2.1.2 Posmična čvrstoća zida

Karakteristična posmična čvrstoća zida od porastog betona i tankoslojnog morta određuje se iz formule (3.5) norme:

$$f_{vk} = f_{vk0} + 0,4 \sigma_d \leq 0,065 f_b \quad i \leq f_{vit} \quad (2)$$

gdje je:

- f_{vk0} karakteristična početna posmična čvrstoća za $\sigma_d = 0$ koja prema tablici 3.4 norme iznosi $f_{vk0} = 0,3$ MPa
- σ_d proračunsko tlačno naprezanje okomito na ravninu posmika u elementu na promatranoj razini, uzimajući odgovarajuću kombinaciju opterećenja utemeljenu na prosječnom vertikalnom naprezanju na tlačnoj duljini zida koja osigurava posmičnu otpornost
- f_{vit} granična vrijednost za f_{vk} . Vrijednost je definirana u nacionalnom dodatku, u normi HRN EN 1996-1-1/NA i iznosi $f_{vit} \leq 0,065 f_b$.

Primjer:

Za $f_{vk0}=0,3$ MPa, $\sigma_d = 0,1$ MPa i $f_b = 2,5$ MPa: $f_{vk} = 0,34$ MPa > $0,065 \cdot 2,5 = 0,16$ MPa. Mjerodavna vrijednost je $0,16$ MPa.

2.1.3 Čvrstoća zida na savijanje

Vrijednosti se odnose na savijanje zida u smjeru okomitom na vlastitu ravninu. Karakteristična čvrstoća na savijanje zida od porastog betona i tankoslojnog morta određena je iz tabličnih vrijednosti u točki 3.6.3(3) norme:

$$f_{xk1} = 0,15 \text{ MPa} \quad (3.a)$$

$$f_{xk2} = 0,20 \text{ MPa} \quad \text{za } \rho < 400 \text{ kg/m}^3 \quad (3.b)$$

$$f_{xk2} = 0,30 \text{ MPa} \quad \text{za } \rho \geq 400 \text{ kg/m}^3 \quad (3.c)$$

gdje je:

- f_{xk1} čvrstoća na savijanje kada je ravnina sloma uporedna s horizontalnim sljubnicama morta
- f_{xk2} čvrstoća na savijanje kada je ravnina sloma okomita na horizontalne sljubnice morta
- ρ obujamska masa zidnih elemenata.

Dopuštena je i primjena sljedećih formula ako je tlačna čvrstoća tankoslojnog morta ≥ 5 MPa:

$$f_{xk1} = 0,035 \cdot f_b \quad \text{za ispunjene ili neispunjene vertikalne sljubnice} \quad (4.a)$$

$$f_{xk2} = 0,035 \cdot f_b \quad \text{za ispunjene vertikalne sljubnice} \quad (4.b)$$

$$f_{xk2} = 0,025 \cdot f_b \quad \text{za neispunjene vertikalne sljubnice.} \quad (4.c)$$

2.1.4 Vlačna čvrstoća ziđa

Europska norma EN 1996-1-1 ne predviđa određivanje vlačne čvrstoće ziđa a ne postoji ni europska norma za metodu ispitivanja tog svojstva. Nacionalni dodatak tj. norma HRN EN 1996-1-1:2008/NA navodi da se vlačna čvrstoća može odrediti ispitivanjem.

Vlačna čvrstoća ziđa (potrebna za proračun na djelovanje potresnog opterećenja) određuje se na osnovi provedenog ispitivanja iz formule Turnšeka i Čačoviča (1970.):

$$f_t = - \frac{\sigma_0}{2} + [(1,5 \tau_R)^2 + (\sigma_0/2)^2]^{0,5} \quad (5)$$

gdje je:

$$\sigma_0 = N_d / A_w \quad (6)$$

$$\tau_R = H_u / A_w \quad (7)$$

- σ_0 normalno naprezanje ziđa za odgovarajuću proračunsku situaciju
- τ_R posmično naprezanje u trenutku vlačnog sloma ispitnog uzorka ziđa uz otvaranje jedne ili više dijagonalnih pukotina uz istodobno konstantno vertikalno opterećenje ziđa koje daje normalno naprezanje σ_0 i horizontalnu silu pri vrhu ziđa H_u
- N_d proračunska vrijednost vertikalne sile (uz $\gamma_s = 1,0$)
- H_u horizontalna sila u trenutku sloma ziđa
- A_w ploština poprečnog presjeka ziđa ($A_w = \ell \times t$).

Transformacijom izraza (5) dobiva se granična vrijednost posmičnog naprezanja:

$$\tau_R = \frac{f_t}{1,5} [1 + (\sigma_0 / f_t)]^{0,5} \quad (8)$$

odnosno ako se iz više ispitivanja iz vrijednosti f_t statističkom obradom podataka ili inženjerskom procjenom utvrdi karakteristična vrijednost vlačne čvrstoće f_{tk} može se odrediti proračunska vrijednost posmične otpornosti ziđa

$$\tau_{Rd} = \frac{f_{tk}}{1,5 \gamma_M} [1 + (\sigma_0 \gamma_M / f_{tk})]^{0,5} \quad (9)$$

a proračunska nosivost na horizontalnu silu dobiva se iz izraza

$$H_{Rd} = \tau_{Rd} A_w, \quad (10)$$

gdje je:

$$f_{td} = f_{tk} / \gamma_M \quad (11)$$

- f_{td} proračunska vrijednost vlačne čvrstoće ziđa
- γ_M parcijalni koeficijent za materijal (npr. $\gamma_{M,a}=(2/3)$: $\gamma_M = (2/3) \cdot 2,0=1,33$, ali ne manji od 1,5 za izvanrednu proračunsku situaciju, vidi t. 9.6 norme HRN EN 1998-1).



2.1.5 Proračun omeđenog zida

Norma HRN EN 1996-1-1 u točki 6.9 daje jednostavna pravila za proračun omeđenog zida. Proračun elemenata omeđenog zida mora se temeljiti na sličnim pretpostavkama kao za elemente od nearmiranog i armiranog zida. Za vertikalno opterećenje proračun omeđenog zida ni u čemu se ne razlikuje od proračuna nearmiranog zida. Postojanje vertikalnih serklaža ne uzima se u obzir. Kod horizontalnog opterećenja vertikalni serklaži pridonose povećanju duktilnosti zida, a zatim i povećanju otpornosti na djelovanje poprečne sile a otpornosti na djelovanje momenta savijanja u ravnini zida samo djelovanjem armature na vlačno napregnutom rubu.

Kod provjere otpornosti omeđenog zida opterećenog savijanjem i/ili uzdužnim opterećenjem usvajaju se pretpostavke navedene u normi HRN EN 1996-1-1 za armirano ziđe. Pri određivanju proračunske vrijednosti otpornosti presjeka na djelovanje momenta savijanja u tlačnom se području smije pretpostaviti blok tlačnog napreznja koji se zasniva samo na čvrstoći zida. Beton tlačnog vertikalnog serklaža i tlačnu armaturu treba zanemariti.

Kod provjere posmične otpornosti u vlastitoj ravnini otpornost na posmik treba odrediti kao zbroj posmičnih otpornosti zida i betona omeđenih elemenata. Proračun posmične otpornosti zida provodi se kao za nearmirano ziđe izloženo posmičnom opterećenju, uzimajući u obzir samo tlačno opterećenu duljinu zida l_c . U proračunu doprinosa posmične otpornosti betona serklaža vrijede pravila dana u normi HRN EN 1992-1-1. Armaturu omeđujućih elemenata (serklaža) ne treba uzeti u obzir. Posmična otpornost omeđenog zida stoga iznosi

$$V_{Rd, mc} = V_{Rd, m} + V_{Rd, c} \quad (12)$$

gdje je:

$V_{Rd, m}$ = V_{Rd} proračunska posmična otpornost zida

$V_{Rd, c}$ proračunska posmična otpornost dvaju vertikalnih serklaža.

$$V_{Rd} = f_{vd} t l_c \quad (N) \quad (13)$$

f_{vd} proračunska posmična čvrstoća zida, dobivena iz jednadžbe (2) za prosječno vertikalno naprezanje tlačno opterećenog dijela zida; $f_{vd} = f_{vk}/\gamma_M$

t debljina zida

l_c duljina tlačno opterećenog dijela zida, zanemarujući sve vlačno naprezane dijelove zida

γ_M parcijalni koeficijent za materijal (npr. $\gamma_M=2,0$ za kategoriju zidnih elemenata I. i odabrani razred izvedbe).

$$V_{Rd, c} = 2 A_c (v_{min} + k_1 \sigma_{cp}) \quad (N) \quad (14)$$

prema točki 6.2.2 norme HRN EN 1992-1-1, gdje je:

A_c ploština poprečnog presjeka jednog vertikalnog serklaža (mm^2)

$v_{min} = 0,035 k^{3/2} f_{ck}^{1/2}$ (N/mm^2)

$k_1 = 0,15$

$\sigma_{cp} = N_{Ed}/A_c$ (N/mm^2)

$k = 1 + (200/d)^{0,5} \leq 2,0$ uz d u mm ($d = 150$ mm, promjer vertikalnog serklaža kružnog presjeka)

f_{ck} karakteristična tlačna čvrstoća betona vertikalnog serklaža.

Kako se izraz $k_1\sigma_{cp}$ u formuli (14) može zanemariti jer je vertikalni serklaž neznatno opterećen vertikalnim opterećenjem pa je $\sigma_{cp} \approx 0$, dobiva se

$$V_{Rd, c} = 2 A_c v_{min} \quad (N) \quad (15)$$



YTONG®

Vrijednost $v_{\min} \approx 0,50 \text{ N/mm}^2$ za beton C25/30 pa se jednadžba (15) pretvara u

$$V_{Rd,c} = A_c \quad (N) \quad (16)$$

za A_c u mm^2 . Kako je za $d=150 \text{ mm}$ $A_c = 17663 \text{ mm}^2$ dobiva se doprinos posmične otpornosti jednog vertikalnog serklaža $V_{Rd,c} \approx 18000 \text{ (N)}$.

2.1.6 Oblikovanje pojedinosti omeđenog zida i odstupanja od pravila norme

Norma HRN EN 1996-1-1 u točki 8.4 daje pravila za oblikovanje pojedinosti (detalje konstruiranja) omeđenog zida.

Vertikalni i horizontalni serklaži moraju sa zidom koje omeđuju djelovati kao jedinstveni konstrukcijski element. Oni se moraju izvesti nakon što je zid sazidan tako da su međusobno valjano povezani. Serklaže treba predvidjeti na razini svakog stropa, na svakom križanju zidova i na objema stranama svakog otvora koji ima ploštinu veću od $1,5 \text{ m}^2$. Smiju se predvidjeti i dodatni serklaži u zidovima tako da je njihov najveći razmak u horizontalnom i vertikalnom smjeru $4,0 \text{ m}$.

Horizontalni serklaži trebaju imati ploštinu presjeka $\geq 225 \text{ cm}^2$, s najmanjom stranicom od $15,0 \text{ cm}$ i uzdužnu armaturu s najmanjom ploštinom 300 mm^2 ($4\Phi 10$), vidi t. 9.5.3(6) norme HRN EN 1998-1. Treba također postaviti spone promjera ne manjeg od 6 mm na razmaku ne većem od 300 mm . Čelik za armiranje je B500B ili B500C u skladu s normom HRN EN 1992-1-1, tablica C.1.

Kod zgrada izvedenih od porastoga betona dopuštena su određena odstupanja od zahtjeva norme koji se odnose na vertikalne serklaže. Odstupanja su uzrokovana namjerom da se zadovolje zahtjevi za toplinskom izolacijom, zahtjevi za sprečavanjem pojave toplinskih mostova i radi jednostavnosti i praktičnosti izvedbe. Tehničku opravdanost odstupanja nužno je dokazati ispitivanjima. Dokazivanje je provedeno modelskim ispitivanjima zgrada na potresnoj platformi prikazanim u ovom dokumentu.

Prostor za izvedbu vertikalnog serklaža oblikuje se izradom vertikalne kružne bušotine promjera 150 mm u zidnom elementu vanjskog zida zgrade debljine 300 mm . U tako dobiveni šuplji valjkasti prostor, u njegovoj osi, postavlja se jedna armaturna šipka ($1\Phi 20$) čelika B500B ili B500C koja zamjenjuje armaturni koš. Šupljina se zalijeva betonom s odgovarajućim najvećim zrnom agregata. Presjek armaturne šipke uvijek je isti tj. neovisan je o broju katova zgrade. Nužno je osigurati kontinuitet armature vertikalnog serklaža po visini zgrade, preklopom ili mehaničkim spajalom i povezivanje s armaturom horizontalnih serklaža. Položaj šipke u osi šupljine treba osigurati odgovarajućim razmačnikom.

Odredba norme o izvedbi vertikalnih serklaža oko svakog otvora većeg od $1,5 \text{ m}^2$ čini se vrlo ograničavajuća i konzervativna, bar u odnosu na dosadašnju domaću praksu, jer znači da se oko svakog prozora uobičajene veličine $140 \times 140 \text{ cm}$ i oko svakih vrata jednakih ili većih od $0,8 \times 2,0 \text{ m}$ mora izvesti vertikalni serklaž. Dok se ova odredba norme ne revidira može ju se protumačiti ovako:

a) ako su uz otvor ploštine $>1,5 \text{ m}^2$ izvedeni vertikalni serklaži i ako serklaži postoje uz druge vertikalne rubove toga zida, zidovi uz otvor smatraju se omeđenim



b) ako uz otvor ploštine $>1,5 \text{ m}^2$ nisu izvedeni vertikalni serklaži, zid se smatra neomeđenim bez obzira što se vertikalni serklaži nalaze u istom zidu na drugim mjestima (npr. uz njegove druge rubove ili na mjestu križanja zidova međusobno okomitih smjerova).

Razmatranjem tako definiranih omeđenih i neomeđenih (nearniranih) zidova projektant će odlučiti hoće li zgradu proračunavati kao da se ona izvodi od nearniranog ili od omeđenog ziđa.

Konstruktivske pojedinosti (detalji) povezivanja armature stropnih ploča, vertikalnih i horizontalnih serklaža moraju biti u projektu razrađene crtežima tako da je osigurana cjelovitost svih nosivih elemenata pri djelovanju stalnih, uporabnih i izvanrednih djelovanja.

2.3 Norma HRN EN 1998-1

Norma HRN EN 1998-1, *Eurokod 8: Projektiranje potresne otpornosti konstrukcija - 1. dio: Opća pravila, potresna djelovanja i pravila za zgrade* u 9. poglavlju određuje posebna pravila za zidane zgrade koje se grade u potresnim područjima. Ovdje se daju samo odredbe primjenjive na proračun omeđenog ziđa od porastog betona.

Norma u točki 9.2.2 navodi preporučene minimalne vrijednosti normaliziranih tlačnih čvrstoća zidnih elemenata i to:

- u smjeru okomito na horizontalnu sljubnicu: $f_{b,min} = 5 \text{ N/mm}^2$
- u smjeru usporedno s horizontalnom sljubnicom u ravnini zida: $f_{bh,min} = 2 \text{ N/mm}^2$.

Objavljena tlačna čvrstoća zidnih elemenata od porastog betona je 2 MPa ili 4 MPa (odnosno normalizirana tlačna čvrstoća je 2,5 ili 5 MPa) pa zidni elementi objavljene tlačne čvrstoće 2 MPa ne bi uklapali u preporučene vrijednosti. Kako je tlačna čvrstoća zbog prirode zidnih elemenata od porastog betona (puni elementi) jednaka u oba smjera u točki 2.42 Nacionalnog dodatka tj. u normi HRN EN 1998-1/NA navedeno je da se prihvaćaju preporučene vrijednosti osim za zidne elemente od porastoga betona za koje vrijedi $f_{b,min} = f_{bh,min} = 2 \text{ N/mm}^2$. Time je dopuštena uporaba zidnih elemenata od porastoga betona i u potresnim područjima.

Za tankoslojni mort, u Nacionalnom dodatku norme prihvaćena je, u točki 2.43 za omeđeno ziđe, normom preporučena najmanja tlačna čvrstoća $f_{m,min} = 5 \text{ N/mm}^2$.

Povezivanje zidnih elemenata u zid ostvaruje se mortom pri čemu vertikalne sljubnice moraju biti potpuno ispunjene mortom. To pretpostavlja da zidni elementi nemaju spoj na pero-utor ali mogu imati rukohvat. Djelomično ispunjene, neispunjene vertikalne sljubnice i neispunjene sljubnice s mehaničkim zahvaćanjem između zidnih elemenata nisu predviđene za izvedbu u potresnim područjima.

Potresne sile određuju se u skladu s normom uz primjenu faktora ponašanja za omeđeno ziđe $q=2,5$. Ta je vrijednost u preporučenom rasponu vrijednosti danom u tablici 9.1 (2,0 - 3,0), a prihvaćena je u točki 2.48 Nacionalnog dodatka i potvrđena modelskim ispitivanjima zgrada opisanim u ovom dokumentu.

Ukupna potresna sila u podnožju zgrade po visini se raspodjeljuje tako da su veličine katnih sila raspodijeljene po obrnutom trokutu. Bočna krutost konstrukcijskih elemenata određuje se uzimajući u obzir deformiranja zbog savijanja i posmika. U proračunu horizontalnih pomaka smije se uzeti elastična krutost neraspucalih presjeka ili, čemu se daje prednosti i što je realnije, krutost za raspucalo stanje. Time se u obzir uzima raspucavanje ziđa tijekom potresa. Bočna krutost za raspucalo stanje može se uzeti kao polovina elastične krutosti neraspucaloga presjeka.



YTONG®

Tako dobivena raspodjela katne sile na pojedine zidove smije se preinačiti tako da se načini preraspodjela i to tako da poprečna sila ni u jednom zidu nije smanjena za više od 25 % i da nije povećana za više od 33 %. Uvjet je za postojanje preraspodjele horizontalno kruta stropna konstrukcija.

2.4 Provjera otpornosti

Otpornost zgrade (tj. njezinu mehaničku otpornost i stabilnost) valja provjeriti za dvije proračunske situacije: a) stalnu i prolaznu, tj. za stalna i uporabna djelovanja i b) za izvanrednu, u ovom slučaju za djelovanje potresa. Za svaki nosivi element provjerava se je li $R_d \geq S_d$ tj. je li otpornost veća od djelovanja. Pri tom se rabe parcijalni koeficijenti za djelovanja i za materijale kao u tablici 1.

Tablica 1 - Parcijalni koeficijenti za djelovanja i materijale

| | |
|---|--|
| <ul style="list-style-type: none"> - za uobičajenu proračunsku situaciju - za stalno djelovanje $\gamma_G = 1,35$ - za uporabno djelovanje $\gamma_Q = 1,5$ - za ziđe $\gamma_m = 2,0$ *) - za čelik $\gamma_s = 1,15$ | <ul style="list-style-type: none"> - za izvanrednu proračunsku situaciju - za stalno i uporabno djelovanje $\gamma_G = \gamma_Q = 1,0$ - za potresno djelovanje $\gamma_E = 1,0$ - za ziđe $\gamma_m = 1,5$ **) - za čelik $\gamma_s = 1,0$ |
| <p>*) Parcijalni koeficijent odnosi se na kvalitetu izrade zidnih elemenata I. i određeni razred izvedbe ziđa iz Nacionalnog dodatka HRN EN 1996-1-1/NA.</p> <p>***) Preporučena vrijednost parcijalnog koeficijenta za γ_m je 2/3 vrijednosti specificirane u normi HRN EN 1996-1-1/NA, ali ne manje od 1,5.</p> | |

Proračunska provjera otpornosti za djelovanje potresa nije potrebna ako se radi o tzv. "jednostavnoj zidanoj zgradi" koja ispunjava uvjete navedene u točki 9.7 norme HRN EN 1998-1. Ta se pravila u ovom dokumentu ne navode. Uvijek je, međutim, nužno provjeriti nosivost na vertikalna djelovanja u skladu s normom HRN EN 1996-1-1 jer u nastavku navedena tablica 2 ne obuhvaća oslobađanje od proračunske provjere otpornosti za vertikalna djelovanja.

U točki 2.52 norme HRN EN 1998-1/NA dana je tablica koja za "jednostavne zidane zgrade" daje ovisnost broja katova, najmanjeg omjera ploštine nosivog ziđa svakog glavnog smjera u odnosu na bruto ploštinu kata i ubrzanja temeljnog tla. Ta tablica ne daje podatke primjerene za ziđe od porastog betona pa su ovdje u tablici 2 dani odgovarajući podaci. Te podatke treba smatrati orijentacijskim jer se ne navode u spomenutoj normi i jer ne uzimaju u obzir moguće dodatne utjecaje kao što je torzija zbog nepoklapanja središta krutosti i središta masa i rasipanje vrijednosti vlačne otpornosti ziđa.



Tablica 2 - Najveći broj katova, najmanji omjer ploštine poprečnog presjeka nosivih zidova u svakom smjeru i bruto ploštine kata i ubrzanja temeljnog tla za „jednostavne zidane zgrade“

(Omeđeno ziđe od porastog betona - orijentacijski podaci)

| Proračunsko ubrzanje (m/s ²) | Omjer ploštine poprečnog presjeka nosivih zidova u svakom smjeru i bruto ploštine kata u postotku | | | |
|--|---|-------------|-------------|-------------|
| | $a_g = 0,5$ | $a_g = 1,0$ | $a_g = 2,0$ | $a_g = 3,0$ |
| $S_d(T_1) = a_g \cdot S \cdot (2,5/q)$ | 0,6 | 1,2 | 2,4 | 3,6 |
| Broj katova n | | | | |
| 1 | 2,0 | 2,0 | 2,0 | 3,0 |
| 2 | 2,0 | 2,0 | 3,5 | 5,0 |
| 3 | 2,0 | 2,5 | 4,0 | 6,5 |
| 4 | 2,0 | 3,0 | 5,0 | 7,0 |

Napomena 1: Prizemlje se računa kao kat. Ne računa se prostor ispod krova a iznad punog kata (mansarda).
Napomena 2: Za tip B temeljnog tla $S=1,2$
Napomena 3: Za omeđeno ziđe $q=2,5$ pa je $S_d(T_1) = 1,2 a_g$
Napomena 4: Faktor važnosti zgrade $\gamma_1 = 1,0$ pa je proračunsko ubrzanje $a_g = \gamma_1 \cdot a_{gR} = 1,0 \cdot a_{gR}$
Napomena 5: Karakteristična tlačna čvrstoća ziđa za zidne elemente $f_b=4$ MPa je $f_k = 2,6$ MPa.
Napomena 6: Karakteristična posmična čvrstoća ziđa je $f_{vk} = 0,13$ MPa, vidi t. 2.1.2 ovog dokumenta.
Napomena 7: Parcijalni koeficijent za djelovanje potresa je $\gamma_m=1,5$
Napomena 8: U proračunu potresne sile za sve je katnosti uzet koeficijent $\lambda=1,0$ (formula 4.5 u normi HRN EN 1998-1).

3 Ispitivanje modela zgrade od porastoga betona na potresnoj platformi

Jaki potres u zidanoj zgradi uzrokuje inercijske sile koje dovode do oštećenja nosive konstrukcije. Zgrada iz linearnog prelazi u nelinearno područje ponašanja. Zbog jednostavnosti proračun se provodi kao za linearni sustav a pritom se rabe određeni parametri koji takvo pojednostavnjenje omogućuju. Ti su parametri za zidane zgrade nedovoljno poznati pa ih treba provjeriti ispitivanjima od kojih su najsloženija ona kojima se na potresnoj platformi ispituje veliki model zgrade sve do faze rušenja. Preslikavanjem (pretvorbom) izmjerenih vrijednosti od modela na prototip u skladu sa zakonima modelske sličnosti dobivaju se vrijednosti koje pokazuju otpornost prototipne zgrade.

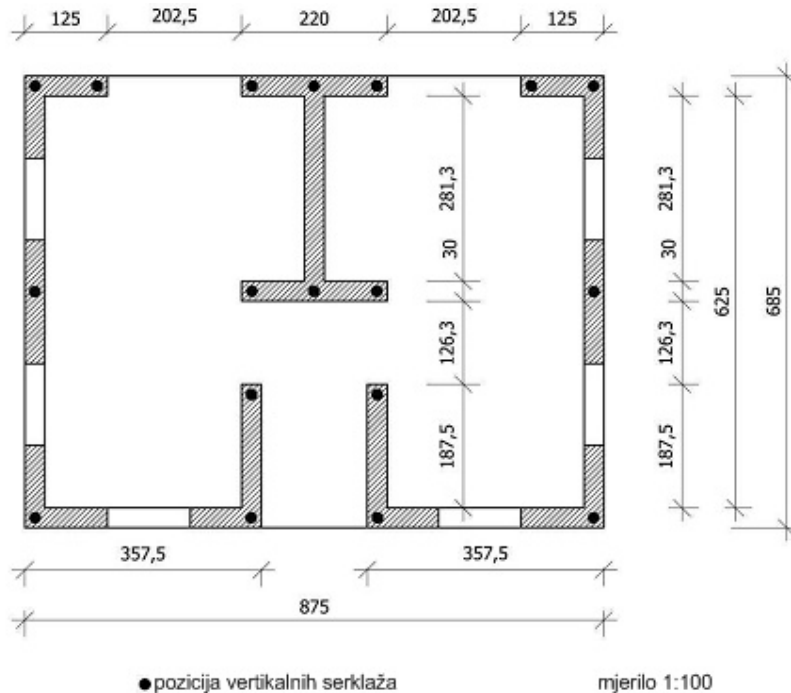
Projektant se redovito susreće s dilemom odabira građevnog materijala (građevnih proizvoda) za zidanu zgradu a kad donese odluku želi saznati ispunjava li odabrani proizvod sve bitne zahtjeve (njih šest) koji se postavljaju na građevinu u skladu sa Zakonom o prostornom uređenju i gradnji. S obzirom na prvi bitni zahtjev (mehanička otpornost i stabilnost) osobito je važno ustanoviti do koje se katnosti može graditi u određenom potresnom području te kolika je potresna otpornost ziđa uz uobičajene omjere ploštine nosivog ziđa i bruto ploštine kata.

Ispitana su tri modela: modeli M1 i M2 imaju tri etaže (P+2) i mansardu a model M3 četiri etaže (P+3) i mansardu. Model M1 ispitan je u dva navrata (M1 i M1a). Prototipne zgrade sustava YTONG projektirane su s ploštinom ziđa u smjeru x od 5,8 % a u smjeru y od 8,3 % bruto ploštine kata. Tlocrtne dimenzije prototipne zgrade su 6,85 x 8,75 m a katna visina 2,70 m. Zidni elementi su blokovi dimenzija $l \times t \times h = 625 \times 300 \times 250$ mm a tlačna čvrstoća elemenata je 4 MPa. Za vezivo rabi se tankoslojni mort M10. Vertikalni serklaži izvedeni su kružnoga presjeka, za modele M1 i M2 $\Phi 160$ mm a za model M3 $\Phi 100$ mm.

Posebna značajka zgrade sustava YTONG je armiranje parapeta u drugom i trećem redu zidnih elemenata ispod otvora, u pripremljenom žlijebu, jednom šipkom $\Phi 8$ mm i njezinim sidrenjem na obje strane u zid na duljini od 500 mm. Stropne konstrukcije modela M1 su "bijeli stropovi" (predgotovljene stropne konstrukcije s ispunskim elementima od porastog betona bez tlačne ploče) a modela M2 i M3 monolitne armiranobetonске. Tlocrt na kojem su pokazana mjesta vertikalnih serklaža prikazan je na slici 1.



Uzbuda potresne platforme odabrana je tako da odgovara zapisu tipičnog kratkoperiodičnog potresa (potres Crna Gora, 15.4.1979., Petrovac, smjer N-S, $a_{max}=0,43g$) koji se smatra tipičnim za uzbudu zidanih zgrada. Amplitude ubrzanja povećavane su na potresnoj platformi postupno u nekoliko koraka sve do rušenja modela pri čemu je višestruko premašeno najveće ubrzanje izvornog zapisa.

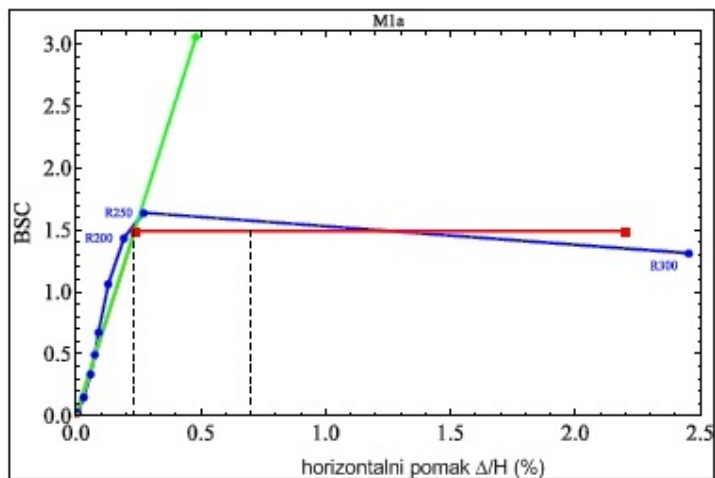


Slika 1 - Karakteristični tlocrt prototipne zgrade i položaj vertikalnih serklaža

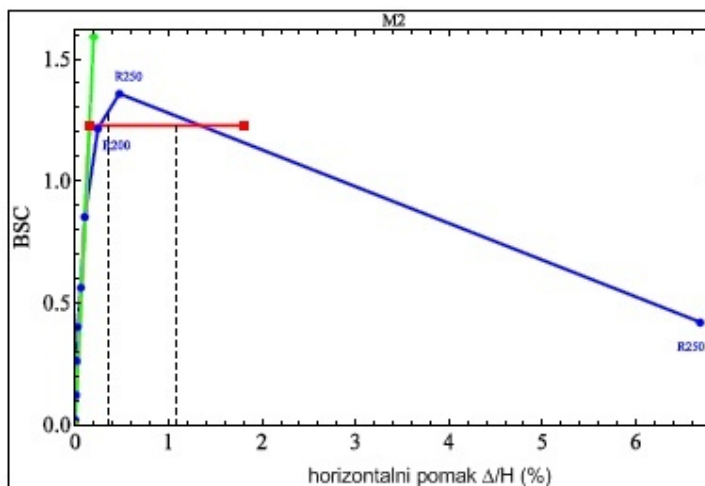
Ispitivanja predložena u ovom dokumentu pokazuju da su zidane zgrade izgrađene od porastoga betona po svojoj potresnoj otpornosti istovrijedne zgradama izgrađenim od opeke i da se parametar ponašanja konstrukcije q nalazi na gornjoj granici vrijednosti preporučениh u normi Eurokod 8, HRN EN 1998-1. Pravila proračuna u skladu s tom normom dopuštaju da se otpornost konstrukcije dokazuje za sile koje su manje od onih koje bi nastale pri elastičnom odzivu. Stoga se elastične sile umanjuju faktorom ponašanja konstrukcije q koji je približno jednak omjeru sila pri elastičnom odzivu i proračunskih sila i koji ispunjava načelo ograničenog opsega oštećenja nosive konstrukcije koja se još ne smatraju rušenjem.

Vrijednost faktora q moguće je odrediti samo ispitivanjima iz idealiziranih krivulja sila - pomak tako da se izjednači energija pri elastičnom i neelastičnom odzivu. Na slikama 2 do 4 prikazane su, za ispitane modele, ovisnosti koeficijenta poprečne sile u prizemlju (BSC , engl. base shear coefficient) i horizontalnog pomaka koji je izražen kao postotak omjera pomaka i visine modela (Δ/H). Zelene crte prikazuju idealizirani elastični odziv, plave odziv utvrđen eksperimentalno a crvene idealizirani elastoplastični odziv. Pri tom se najveći horizontalni pomak ograničuje na trostruku vrijednost pomaka na granici ispitivanjem utvrđenog popuštanja, čime se ispunjava načelo ograničenog opsega oštećenja pri potresu. Prikazane vrijednosti koeficijenta BSC odnose se na modele a za pretvorbu ("preslikavanje") u vrijednosti koje vrijede za prototip nužno je primijeniti zakone modelske sličnosti. Taj postupak ovdje nije prikazan.

YTONG®

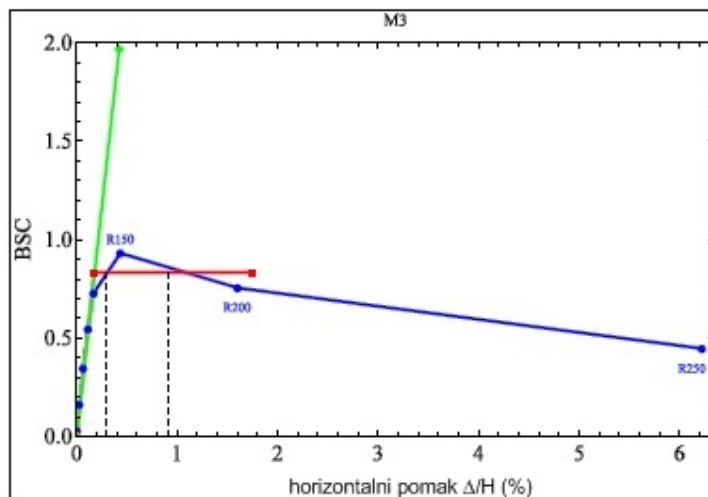


Slika 2 - Model 1a: ovisnost koeficijenta poprečne sile i horizontalnog pomaka



Slika 3 - Model 2: ovisnost koeficijenta poprečne sile i horizontalnog pomaka



**Slika 4 - Model 3: ovisnost koeficijenta poprečne sile i horizontalnog pomaka**

Poprečna sila u podnožju prototipne zgrade u trenutku dostignuća najveće otpornosti izražena bezdimenzijski kao koeficijent poprečne sile prikazana je u tablici 3. Koeficijent *BSC* omjer je poprečne sile u prizemlju i težine zgrade te je primjeren za izravnu usporedbu s proračunskim silama utvrđenim u skladu s normom.



Model 1 prije početka ispitivanja



Model M1a - faza rušenja



Model M2 - faza rušenja



Model M3 - faza rušenja

Slika 5 - Modeli zgrada prije početka ispitivanja i u fazi rušenja

Slika 5 prikazuje neoštećeni model M1 i modele M1a, M2 i M3 u posljednjoj fazi ispitivanja odnosno u fazi rušenja modela (krajnja točka plavih crta na slikama 2 do 4)

YTONG®

Tablica 3 - Koeficijent poprečne sile u podnožju zgrade BSC_{max}

| Prototip koji odgovara modelu | M1 | M1a | M2 | M3 |
|-------------------------------|------|------|------|------|
| BSC_{max} | 0,68 | 0,70 | 0,51 | 0,35 |

Proračunska potresna sila u podnožju zgrade, F_b u kN, određuje se za zidane zgrade u skladu formulom (4.5) u normi HRN EN 1998-1:

$$F_b = S_d(T_1) m \lambda \quad (17)$$

gdje je:

$S_d(T_1)$ ordinata proračunskog spektra za period T_1

$$S_d(T_1) = a_g S \eta (2,5/q) \quad (18)$$

- a_g proračunsko ubrzanje temeljnog tla za tlo tipa A; $a_g = \gamma_I \cdot a_{gR}$
- S faktor tla
- η popravni faktor za viskozno prigušenje; $\eta = 1,0$ za prigušenje 5 %
- q faktor ponašanja konstrukcije (određen u skladu s normom ili eksperimentalno)
- γ_I faktor važnosti zgrade; $\gamma_I = 1,0$ za stambene zgrade
- a_{gR} referentno (poredbeno) vršno ubrzanje temeljnog tla za tlo tipa A u m/s^2
- m ukupna masa zgrade iznad temelja ili iznad krutoga podruma određena za izvanrednu kombinaciju djelovanja; $m = W/g$
- W težina zgrade
- g gravitacijsko ubrzanje
- λ popravni faktor koji iznosi
 $\lambda = 0,85$ ako je $T_1 \leq 2 T_C$ za zgrade koje imaju više od dva kata
 $\lambda = 1,0$ za zgrade s jednim i dva kata
 Uvjet $T_1 \leq 2 T_C$ redovito će biti ispunjen za zgrade do pet katova.

Za zgradu na tlu tipa B kod kojega je brzina rasprostiranja poprečnih potresnih valova 360-800 m/s a moguć je jaki potres magnitude $M > 5,5$ faktor tla je $S=1,2$. Ako se prihvati srednja preporučena vrijednost iz norme za zgrade od omeđenoga ziđa, $q=2,5$, kao u normi HRN EN 1998-1/NA a za proračunsko ubrzanje temeljnog tla uzme $a_g = 0,30 \cdot g$, ordinata proračunskog spektra iznosi

$$S_d(T_1) = 0,30 \cdot g \cdot 1,2 \cdot 1,0 \cdot (2,5/2,5) = 0,36 \cdot g$$

Potresna sila u podnožju za zgrade s tri ili četiri kata tada je prema formuli (5)

$$F_b = 0,36 \cdot g \cdot (W/g) \cdot 0,85 = 0,306 W$$

Proračunski koeficijent u podnožju tada je

$$F_b/W = 0,306$$

Usporedba s vrijednostima koeficijenta poprečne sile iz tablice 3 pokazuje da je otpornost ispitanih prototipova određena preslikavanjem (pretvorbom) iz rezultata ispitivanja modela u svim slučajevima veća od djelujućih sila, čime je bitni zahtjev (mehanička otpornost i stabilnost) zadovoljen. Dapače, kod zgrada koje imaju prizemlje, dva kata i mansardu (modeli M1 i M2) zaliha otpornosti još uvijek je dovoljno velika pa se u obzir mogu uzeti i neki dodatni učinci potresa (tlocrtna nesimetrija, torzija itd.).

Iz podataka ispitivanja također se zaključuje da je kapacitet duktilnosti u skladu sa zahtjevom ograničenog oštećenja.



YTONG®

4 Zaključci modelskih ispitivanja

Zaključci modelskih ispitivanja provedenih u ZAG-u, Ljubljana:

4.1 Na potresnoj platformi Zavoda za gradbeništvo Slovenije (ZAG) u Ljubljani ispitana su tri modela tipične zgrade građene u sustavu YTONG. Iako su tipski projekti morali biti prilagođeni dimenzijama i mogućnostima potresne platforme, modeli su zadržali sve značajke prototipova. Dva modela visine P+2+mansarda razlikovala su se međusobno po stropnim konstrukcijama: u prvom modelu stropovi su bili izrađeni kao "bijeli strop" (predgotovljena stropna konstrukcija s ispunskim elementima od porastog betona bez tlačne ploče) a u drugom kao križno armirane betonske ploče. Prvi je model ispitivan uzbudom u osi simetrije a drugi u smjeru okomitom na prvi. Treći je model bio jednak drugomu no imao je jedan kat više a ispitivan je u smjeru okomitom na os simetrije.

4.2 Modele su u laboratoriju ZAG-a zidali zidari - instruktori tvrtki XELLA POROBETON SI i XELLA POROBETON HR u mjerilu 1:4. Zbog tehnoloških poteškoća materijal modela nije bilo moguće izraditi tako da ispunjava zahtjeve potpune modelske sličnosti pa su modeli zidani zidnim elementima koji su se, s obzirom na razred čvrstoće, više ili manje, približili zahtjevima modeliranja, no mehaničke su značajke zida izgrađenog od tih zidnih elemenata bile uglavnom slične značajkama prototipa. Kako je ključni parametar koji određuje ponašanje ovakvih zgrada pri potresu vlačna čvrstoća zida, koja je na zidu modela bila izmjerena i bila praktično jednaka čvrstoći prototipa, pri preslikavanju rezultata upotrijebljena su pravila jednostavne odnosno opće modelske sličnosti. Osim toga, ispitivanja prototipova zidova izvedenih od zidnih elemenata različitih razreda tlačne čvrstoće koji se nalaze u literaturi pokazuju da je vlačna čvrstoća zida gotovo neovisna o tlačnoj čvrstoći zidnih elemenata odnosno zida.

4.3 Ispitivanje modela M1 s "bijelim stropovima" (predgotovljenim stropnim konstrukcijama s ispunskim elementima od porastog betona bez tlačne ploče) izvedeno je u dvije faze: u prvoj su na stropne konstrukcije bile pričvršćene dodatne mase kojima se nadomjestilo stalno i uporabno opterećenje u skladu s pravilima potpunog modeliranja. Kada se pokazalo da su pri potresnoj uzbudi uz maksimalnu mogućnost potresne platforme na modelu nastala samo manja, nevažna oštećenja, odlučeno je da se inercijske sile pri jednakoj uzbudi potresne platforme umjetno povećaju tako da se na model pričvrsti dodatna masa. Tako je postignuto da je u nastavku ispitivanja model srušen, a pri preslikavanju rezultata na prototip u obzir je uzeta dodatna korekcija. Druga dva modela, trokatni model M2 s punim pločama i četverokatni model M3 ispitani su samo s dodatnom masom.

4.4 Ispitivanja modela na potresnoj platformi i preslikavanja rezultata na prototipne zgrade pokazala su da se zgrade zidane od porastog betona u sustavu YTONG pri potresnom opterećenju ponašaju u skladu s očekivanjima za zidane zgrade. U nelinearnoj fazi ponašanja mehanizam rušenja tipični je posmični mehanizam kojeg u zidovima postavljenim u smjeru potresa karakteriziraju dijagonalne pukotine. Osim posmičnog mehanizma vertikalni omeđujući elementi (serklaži) čuvaju cjelovitost konstrukcije i osiguravaju manje smanjenje nosivosti pri povećanju pomaka, čime se povećava kapacitet duktilnosti i trošenja energije. Analiza rezultata modelskih ispitivanja i njihovo preslikavanje na prototipne zgrade pokazuje sljedeće:

4.4.1 Zidane zgrade zidane u sustavu YTONG pri potresu se ponašaju u skladu s očekivanjima. Mehanizam rušenja je katni posmični mehanizam pri kojem je kritični element otpornost donjega kata dok vertikalni omeđujući elementi (serklaži) i armatura u parapetima omogućuju prijenos opterećenja, bolju iskoristivost kapaciteta otpornosti konstrukcije a time i nastanak oštećenja u zidovima višeg kata. Katni posmični mehanizam karakterizira nastanak posmičnih, dijagonalno usmjerenih pukotina u zidovima postavljenim u smjeru potresne uzbude.



YTONG®

4.4.2 Dinamičko ponašanje zgrada zidanih u sustavu YTONG pri potresnom opterećenju primjereno je ponašanju drugih vrsta zidanih zgrada iako je omjer mase ziđa i stropova radi manje mase porastoga betona drukčiji. Ispitivanja pokazuju da je dinamički odziv na potres sličan kao pri sličnim zidanim konstrukcijama pravilnoga tlocrta. Pri vibraciji prevladava prvi vlastiti period, a kao i kod drugih zidanih konstrukcija s omeđenim ziđem sličan je posmični mehanizam rušenja.

4.4.3 Četverokatne zidane zgrade zidane u sustavu YTONG, projektirane kao zidane konstrukcije od omeđenog ziđa, imaju dostatnu potresnu otpornost i za područja s najvećom očekivanom potresnom opasnošću u Sloveniji. Analiza rezultata modelskih ispitivanja i njihovo preslikavanje na prototipne zgrade pokazuje da postignute vrijednosti koeficijenta poprečne sile u prizemlju (od $BSC=0,51$ do $0,70$ za trokatnu zgradu i $BSC=0,35$ za četverokatnu) premašuju vrijednosti koje se zahtijevaju pri projektiranju zidanih konstrukcija od omeđenog ziđa i za potresom najviše ugrožena područja Slovenije, građenih čak i na slabijim tlima.

4.4.4 "Bijeli strop" (predgotovljena stropna konstrukcija s ispunskim elementima od porastog betona bez tlačne ploče) ispunjava zahtjeve za monolitnim djelovanjem i djeluje kao kruta horizontalna dijafragma i pri najjačem potresu, neovisno o tome što ne ispunjava u potpunosti preporuku odnosno zahtjev tehničke regulative za montažne stropne konstrukcije u potresnim područjima.

4.4.5 Dimenzije i količina armature vertikalnih serklaža prema sustavu YTONG zadovoljavaju očekivano djelovanje serklaža u višekratnim zgradama građenim na područjima najveće očekivane potresne opasnosti iako po dimenzijama i količini armature odstupaju od zahtjeva eurokodova. Ispitivanja na potresnoj platformi pokazala su da su vertikalni serklaži nakon nastanka većih oštećenja u nosivim zidovima uspješno povezali ziđe, spriječili raspadanje dijelova zidova oštećenih pukotinama i osigurali cjelovitost ponašanja zgrade sve do rušenja.

4.4.6 Mehanizam dinamičkog ponašanja i posmični mehanizam rušenja omogućuju da se ponašanje zidanih zgrada zidanih u sustavu YTONG pri potresu može analizirati jednakim proračunskim alatima i da se otpornost na djelovanje potresa može provjeravati na jednak način kao i kod drugih zidanih zgrada.

4.4.7 Ako se za analizu potresne otpornosti zgrade rabi metoda postupnog guranja (engl. push-over), kapacitet duktilnosti i trošenja energije omogućuju da se pri provjeri potresne otpornosti može uzeti vrijednost faktora ponašanja konstrukcije $q=2,5$. Ispitivanja modela na potresnoj platformi daju naznake da bi se mogla upotrijebiti i vrijednost na gornjoj granici područja kojeg preporučuje Eurokod 8, tj. $q=3,0$ iako bi prethodno bilo potrebno provesti neka dodatna ispitivanja. Ako se potresna otpornost provjerava klasičnim metodama koje ne uzimaju u obzir preraspodjelu potresnih sila na zidove, može se vrijednost na gornjoj granici preporučenoga područja upotrijebiti bez potvrde dodatnim ispitivanjima. Ispitivanja na potresnoj platformi su pokazala da se pri potresnom opterećenju, zgrade izgrađene od porastoga betona u sustavu YTONG ponašaju jednakovrijedno ponašanju zgrada od opečnoga ziđa. Razlog je, s jedne strane manja masa materijala ziđa zgrade pa su pri proračunskom potresu potresne sile manje, a s druge strane posmična otpornost ziđa koja nije ništa manja od posmične otpornosti zidova iz opečnih zidnih elemenata. Vlačna čvrstoća ziđa je zbog manje tlačne čvrstoće primjerena vrijednostima utvrđenim na sličnom ziđu od opečnih zidnih elemenata. Kako nema dovoljno eksperimentalnih podataka potrebno je u vezi s tim u budućnosti podrobnije ispitati ovisnost tlačne i vlačne čvrstoće ziđa od porastog betona."



5 Zaključci za Hrvatsku

5.1 Zaključci iz točke 4.4 primjenjivi i na zgrade koje se grade u potresnim područjima Hrvatske.

5.2 Zaključak iz točke 4.4.3 primjenjiv je na zgrade zidane u sustavu YTONG u Hrvatskoj za slučajeve kada je koeficijent poprečne sile u prizemlju $BSC \leq 0,51$ za trokatne, odnosno $BSC \leq 0,35$ za četverokatne zgrade. Time je praktički omogućena gradnja u sustavu YTONG u svim potresnim područjima na tlima tipa A, B i C.

5.3 Vertikalni serklaži kružnog presjeka promjera 150 mm ispunjeni betonom, armirani šipkom $1\Phi 20$ mm kvalitete čelika B500B ili B500C po cijeloj visini zgrade, potpuno zadovoljavaju zahtijevanu funkciju serklaža pri djelovanju potresa pa se, kao inovativni konstrukcijski element, mogu primijeniti unatoč odstupanju od zahtjeva norme HRN EN 1998-1. Ploština šipke $1\Phi 20$ mm jednaka je ploštini armature vertikalnog serklaža kvadratnog presjeka ($4\Phi 10$ mm) koja se zahtijeva u točki 9.5.3(6) norme HRN EN 1998-1. Na modelu M3 promjer vertikalnog serklaža bio je 100 mm što dokazuje da presjek betona za funkciju serklaža nije bitan, ali kako norma određuje najmanju dimenziju stranice vertikalnog serklaža 150 mm i kako je potrebno osigurati zaštitu od korozije preporučuje da promjer vertikalnog serklaža kružnog presjeka bude 150 mm, osim ako se na drugi način osigura zaštita armature od korozije.

5.4 Horizontalni serklaži armiraju se na uobičajeni način s $4\Phi 10$ mm čelikom B500B ili B500C.

5.5 Zaključci iz točke 4.4.7 za primjenu u Hrvatskoj prilagođuju se tako da se pri provjeri potresne otpornosti uzima vrijednost faktora ponašanja konstrukcije $q=2,5$ neovisno o tome je li u obzir uzeta preraspodjela potresne sile na zidove kako to dopušta norma HRN EN 1998-1 ili preraspodjela nije uzeta u obzir.

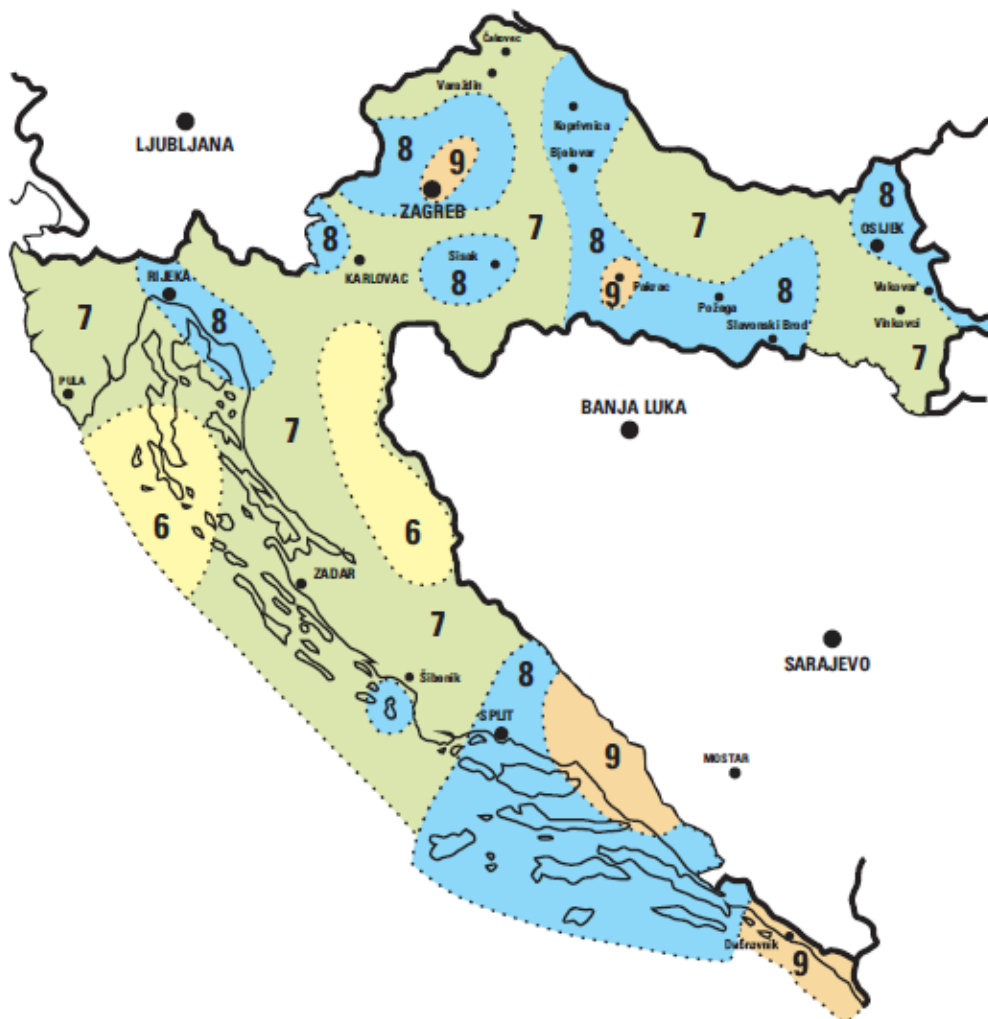


Prilog 1

Seizmološka karta Hrvatske

| | | |
|------------|---------------------------|-------------------------|
| područje 6 | $a_{gR} = 0,05 \text{ g}$ | ili $0,5 \text{ m/s}^2$ |
| područje 7 | $a_{gR} = 0,10 \text{ g}$ | ili $1,0 \text{ m/s}^2$ |
| područje 8 | $a_{gR} = 0,20 \text{ g}$ | ili $2,0 \text{ m/s}^2$ |
| područje 9 | $a_{gR} = 0,30 \text{ g}$ | ili $3,0 \text{ m/s}^2$ |

a_{gR} referentno (poredbeno) vršno ubrzanje temeljnog tla za tlo tipa A



Xella porobeton HR d.o.o.
Kovinska 4a
10090 Susedgrad - Zagreb

Tel.: 01 3436 800
Fax.: 01 3464 920

www.xella.hr
ytong-croatia@xella.com
Besplatni info telefon: 0800 7000