

# ISPITIVANJA PONAŠANJA ZGRADA GRAĐENIH YTONGOM U SEIZMIČKIM UVJETIMA

Miha Tomažević

Zavod za gradbeništvo Slovenije  
Dimičeva 12, 1000 Ljubljana, Slovenia  
e-mail: miha.tomazevic@zag.si

Xella Porobeton HR, d.o.o., Zagreb  
Stručni skup Zagreb - Split 2010



## Sadržaj

- Uvod i namjena ispitivanja
- Modeliranje
- Izrada modela
- Seizmičko opterećenje i ispitivanja
- Rezultati ispitivanja i pretvaranje na prototipne zgrade
- Zaključci

Xella Porobeton HR, d.o.o., Zagreb  
Stručni skup Zagreb - Split 2010



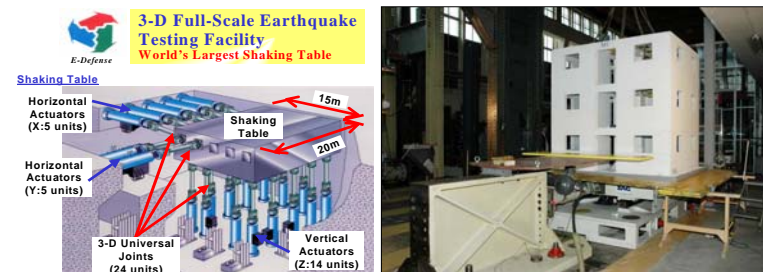
## Namjena ispitivanja

- Istražiti ponašanje zgrada građenih Ytongom kod potresnog opterećenja
- Provjeriti mogućnost optimizacije konstrukcijskog sistema. Omeđeno zide (raspored, dimenzije i armatura vertikalnih serklaža), stropne konstrukcije (bijeli strop)
- Provjeriti i/ili utvrditi vrijednosti nekih projektnih parametara (kapacitet deformacija i disipacije energije: faktor ponašanja konstrukcije  $q$ )
- Učvrstiti povjerenje za građenje sa porastim betonom u potresnim područjima

Xella Porobeton HR, d.o.o., Zagreb  
Stručni skup Zagreb - Split 2010



## Modelska ispitivanja



Velika platforma (Miki, Japan): prototip

Jednostavna platforma (ZAG): model zgrade 1:4

Xella Porobeton HR, d.o.o., Zagreb  
Stručni skup Zagreb - Split 2010



## Modelska ispitivanja

### Prednosti

- Modelska ispitivanja su jednostavnija i jeftinija od ispitivanja prototipa
- Upotrebljava se jednostavnija višenamjenska oprema
- Globalno ponašanje konstrukcije može se pouzdano simulirati
- Tehnika modeliranja može se prilagoditi stvarnim mogućnostima

### Manjkavosti

- Ograničenje mjerila zbog tehnoloških ograničenja
- Ne mogu se ispitati konstrukcijski detalji

Xella Porobeton HR, d.o.o., Zagreb  
Stručni skup Zagreb - Split 2010



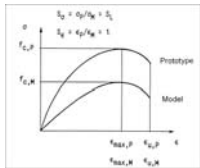
## Glavni uslovi za uspjeh modelskih ispitivanja

- **Sličnost dinamičkog ponašanja**  
sličnost raspodele masa i krutosti po visini prototipa i modela
- **Sličnost rušnog mehanizma**  
sličan odnos između stvarnih napona i čvrstoće materijala u prototipu i modelu

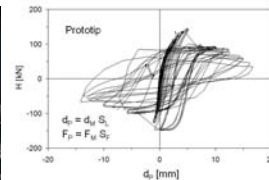
Xella Porobeton HR, d.o.o., Zagreb  
Stručni skup Zagreb - Split 2010



## Odnos između mehaničkih osobina prototipa i modela

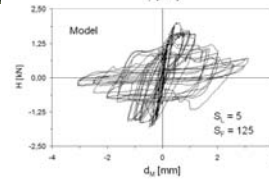


Prototip



$$q_p = q_m S_q$$

Model



Xella Porobeton HR, d.o.o., Zagreb  
Stručni skup Zagreb - Split 2010

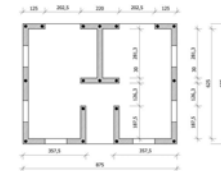


## Opis prototipne zgrade



Zgrada	1	2	3
Broj etaža	3 + mansarda	3 + mansarda	4 + mansarda
Stropna konstrukcija	Bijeli strop	Armiranobetonske ploče	Armiranobetonske ploče
Φ vertikalnih serklaža	16 cm	16 cm	10 cm
Smjer potresnog opterećenja	Y	X	X

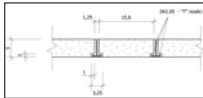
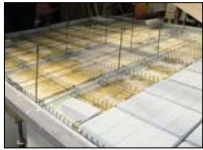
- Dimenzije u tlocrtu 6.85 m/8.75 m
- Etažna visina 2.50 m
- Debljina zidova 30 cm, dimenzije blokova 62.5/25/30 cm
- Ploština zidova: 5.8 % od tlocrta u x-smjeru i 8.3 % od tlocrta u y-smjeru
- Položaj vertikalnih serklaža prema EC 8



Xella Porobeton HR, d.o.o., Zagreb  
Stručni skup Zagreb - Split 2010



## Materiali i izrada modela 1:4



- Za zidanje zidova upotrebljen je Ytong material ( $f_{b,M} = 1,59 \text{ Mpa}$ ) i ljepilo
- Za betoniranje stropnih ploča i vertikalnih serklaža upotrebljen je mikrobeton odgovarajuće čvrstoće
- Za armiranje upotrebljena je armatura prototipnog kvaliteta no smanjenog presjeka
- Bijeli strop modeliran je što je moguće tačno
- Modele su izradili zidari-instruktori Xella porobeton SI

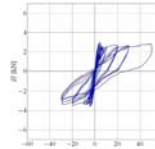


Xella Porobeton HR, d.o.o., Zagreb  
Stručni skup Zagreb - Split 2010

ZAG

## Prethodna ispitivanja

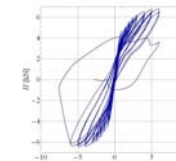
Utvrdjivanje mehaničkih osobina materiala  
Ispitivanje zidova sa cikličnim opterećenjem



Bez vertikalnih serklaža: savijanje, mala nosivost



Određivanje diagonalne čvrstoće na zatezanje

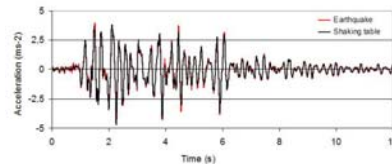
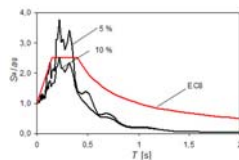


Sa vertikalnim serklažima: smicanje, velika nosivost

Xella Porobeton HR, d.o.o., Zagreb  
Stručni skup Zagreb - Split 2010

ZAG

## Seizmičko opterećenje



- N-S komponenta registracije ubrzanja potresa u Crnoj Gori 1979 (Petrovac, Hotel Oliva, PGA 0 0.43 g)
- Da bi se postigla bolja sličnost između spektra odgovora potresa i projektnog spektra po EC 8, vreme trajanja potresa je skraćeno na pola
- Modeli su ispitani u fazama sa postepeno povećanim intenzitetom ekscitacije sve do početka loma

Xella Porobeton HR, d.o.o., Zagreb  
Stručni skup Zagreb - Split 2010

ZAG

## Instrumentiranje modela i priprema na ispitivanje



Posle pričvršćivanja modela na platformu, na stropne ploče stavljena je dodatna masa, koja simulira manjkajuću stalnu težinu i pokretno korisno opterećenje

Modeli su instrumentirani sa akcelerometrima i meračima pomaka

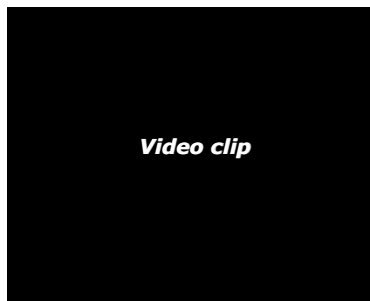
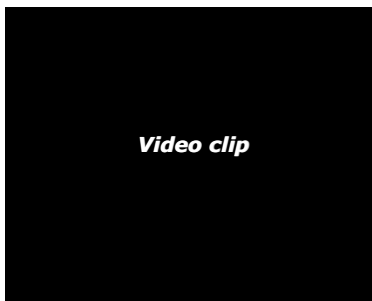
Xella Porobeton HR, d.o.o., Zagreb  
Stručni skup Zagreb - Split 2010

ZAG

## Ispitivanje na seizmičkoj platformi

Model M2

Model M3



Modeli su ispitani u fazama sa postepeno povećanim intenzitetom ekscitacije sve do početka loma

Xella Porobeton HR, d.o.o., Zagreb  
Stručni skup Zagreb - Split 2010



## Mehanizam ponašanja

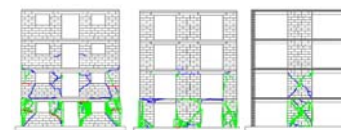
M1



M2



M3



Xella Porobeton HR, d.o.o., Zagreb  
Stručni skup Zagreb - Split 2010

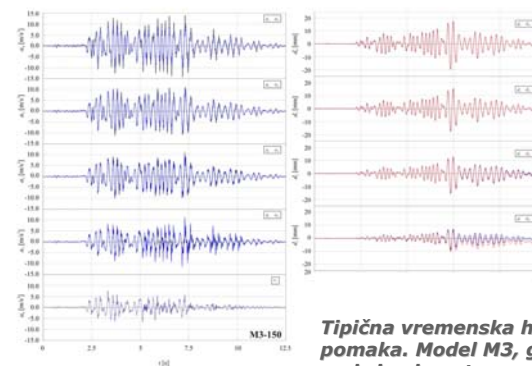
## Funkcija vertikalnih serklaža



Xella Porobeton HR, d.o.o., Zagreb  
Stručni skup Zagreb - Split 2010



## Dinamički odgovor

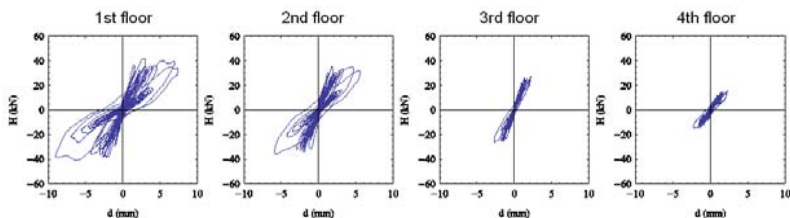


Tipična vremenska historija ubrzanja i pomaka. Model M3, granično stanje maksimalne otpornosti

Xella Porobeton HR, d.o.o., Zagreb  
Stručni skup Zagreb - Split 2010



## Dinamički odgovor

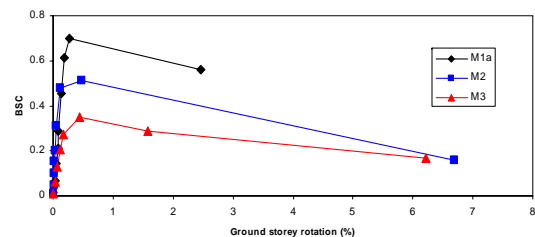


Histereze etažna poprečna sila – relativni etažni pomak, izračunate na osnovu izmjerenih ubrzanja i pomaka te poznatih masa modela. Model M3, granično stanje maksimalne otpornosti

Xella Porobeton HR, d.o.o., Zagreb  
Stručni skup Zagreb - Split 2010

ZAG

## Rezultati ispitivanja – otpornost i kapacitet deformacija



Vrijednosti važe za prototipne zgrade!

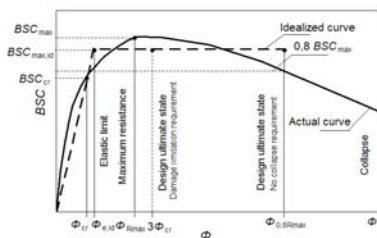
$$BS_{\max} = \max\left(\sum_{i=1}^{st. \text{ etaž}} m_i a_i\right)$$

Xella Porobeton HR, d.o.o., Zagreb  
Stručni skup Zagreb - Split 2010

ZAG

## Kriva otpornosti i određivanje projektnih parametara

- zahtjev za sprećenje rušenja
- zahtjev za ograničenje oštećenja



$\phi_e \approx 0.2 - 0.3 \%$   
 $\phi_{Hmax} \approx 0.4 - 0.5 \%$   
 $\phi_u \approx 1.0 \%$

Xella Porobeton HR, d.o.o., Zagreb  
Stručni skup Zagreb - Split 2010

ZAG

## Rezultati ispitivanja – otpornost i kapacitet deformacija

Granično stanje	M1		M2		M3	
	BSC	$\phi$ (%)	BSC	$\phi$ (%)	BSC	$\phi$ (%)
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

Vrijednosti važe za prototipne zgrade!

Xella Porobeton HR, d.o.o., Zagreb  
Stručni skup Zagreb - Split 2010

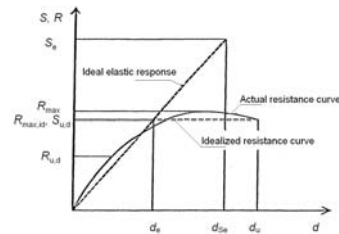
ZAG

## Faktor ponašanja q

Projektno seizmičko opterećenje:

$$A_{Ed} = S_d(T) m = A_{Ee} / q = S_e(T) m / q$$

$S_e(T)$  = elastični spektar ubrzanja  
 $S_d(T)$  = projektni spektar ubrzanja  
 $q$  = faktor ponašanja konstrukcije



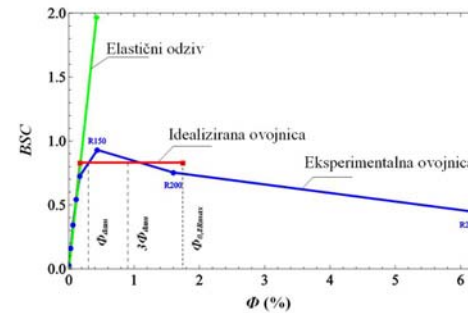
$$q = S_e / S_{u,d}$$

$$q = (2\mu_u - 1)^{1/2}$$

Xella Porobeton HR, d.o.o., Zagreb  
 Stručni skup Zagreb - Split 2010

ZAG

## Faktor ponašanja q



Model M3

Xella Porobeton HR, d.o.o., Zagreb  
 Stručni skup Zagreb - Split 2010

ZAG

## Faktor ponašanja q

Model	$q = BSC_e / BSC_{max}$ (eskp. kriva)	$q = BSC_e / BSC_u$ (ideal. kriva)	$q = (2\mu_u - 1)^{1/2}$
M1	1,87	2,05	2,23
M2	1,17	1,30	4,69
M3	2,12	2,37	3,08

Xella Porobeton HR, d.o.o., Zagreb  
 Stručni skup Zagreb - Split 2010

ZAG

## ZAKLJUČCI

- Ispitivanja su pokazala da će se zgrade, građene Ytongom u sistemu omeđenog zida visine 3-4 etaže, ponašati adekvatno u seizmičkim područjima gdje projektno ubrzanje tla ne bude veće od 0,35 g (ubrzanje na čvrstom tlu 0,25 g, faktor tla  $S = 1,4$ ).
- Ispitivanja su pokazala važnu ulogu vertikalnih serklaža koji kod materijala sa visokim odnosom između čvrstoće na zatezanje i čvrstoće na pritisak bitno poboljšaju kako kapacitet nosivosti tako i kapacitet duktilnosti zidova. Kod граничног stanja rušenja, vertikalni serklaži su spriječili raspadanje zidova i obezbjedili integritet konstrukcije.
- Ispitivanja su potvrdila očekivano ugodno ponašanje zgrada, građanih Ytongom u sistemu omeđenog zida. Na osnovu rezultata ispitivanja može se zaključiti, da je ponašanje Ytong zgrada u seizmičkim uvjetima ravnopravno ponašanju drugih vrsta zidanih zgrada jednake veličine.

Xella Porobeton HR, d.o.o., Zagreb  
 Stručni skup Zagreb - Split 2010

ZAG

## ZAKLJUČCI I PREPORUKE

- *Iako bijeli strop ne ispunjava zahtjeve propisa, ispitivanja su pokazala da za vreme potresa djeluje kao kruta horizontalna dijafragma, koja povezuje zidove i raspoređuje seizmičke sile prema krutostima zidova. U bijelom stropu nije bilo oštećenja ni u fazi rušenja konstrukcije*
- *Iako presjek vertikalnih serklaža nije bio sasvim u skladu sa propisima, serklaži su u potpunosti odigrali svoju ulogu. Međutim zbog tehnoloških zahtjeva i zaštite armature od korozije preporučuje se, da promjer serklaža ne bude manji od 150 mm, a količina armature ne manja od zahtjevane u EC 8.*
- *Na osnovu rezultata ispitivanja može se preporučiti, da se za određivanje projektnih seizmičkih sila za zgrade, građene Ytongom u sistemu omedenog zida, upotrebljava faktor ponašanja konstrukcije  $q = 2,5$ .*

Xella Porobeton HR, d.o.o., Zagreb  
Stručni skup Zagreb - Split 2010



## HVALA NA PAŽNJI!

Xella Porobeton HR, d.o.o., Zagreb  
Stručni skup Zagreb - Split 2010

