

# Usporedba primjene hrvatskih propisa i Eurokoda 8

Vladimir Sigmund, Mirjana Bošnjak-Klečina, Ivica Guljaš, Andreas Stanić

## Ključne riječi

hrvatski propisi,  
Eurokod 8,  
visokogradnja,  
konstrukcija, potres,  
model konstrukcije,  
dimenzioniranje

## Key words

Croatian regulations,  
Eurocode 8,  
building construction,  
structure,  
earthquake,  
structural model,  
design.

## Mots clés

règlements croates,  
Euro code 8,  
bâtiment,  
construction, séisme,  
modèle de la construction,  
dimensionnement

## Schlüsselworte:

kroatischen Vorschriften,  
Eurocode 8,  
Hochbau,  
Konstruktion,  
Erdbeben,  
Konstruktionsmodell,  
Bemessung

Vladimir Sigmund., Mirjana Bošnjak-Klečina, Ivica Guljaš, Andreas Stanić *Prethodno priopćenje*

## Usporedba seizmičkog proračuna prema hrvatskim propisima i Eurokodu 8

Opisane su razlike između hrvatskih propisa i Eurokoda 8 (EC8) koje se odnose na proračun konstrukcija visokogradnje na djelovanje potresa. Uspoređeni su modeli armiranobetonskih (ab) konstrukcija dimenzionirani prema oba propisa. Uspoređivani su modeli raznih sustava ab konstrukcija: okvirmih, mješovitih i sa zidovima. Pokazalo se da je postupak prema EC8 složeniji i da zahtijeva više inženjerskog znanja. Rad je dio znanstvenog projekta čiji je cilj prilagodba EC8 našim uvjetima.

Vladimir Sigmund, Mirjana Bošnjak-Klečina, Ivica Guljaš, Andreas Stanić *Preliminary note*

## Comparison in the application of Croatian regulations and Eurocode 8

Differences between Croatian regulations and Eurocode (EC8) with respect to seismic design of structural elements of buildings are described. Reinforced-concrete models of structures designed according to both documents are compared. Models of various reinforced-concrete structural systems are compared: frame models, models with walls and mixed models. The authors demonstrate that the procedure based on EC8 is more complex and that it requires higher level of engineering knowledge. The paper is a part of the research project aimed at adapting EC8 to conditions prevailing in our country.

Vladimir Sigmund., Mirjana Bošnjak-Klečina, Ivica Guljaš, Andreas Stanić *Note préliminaire*

## Une comparaison de mise en oeuvre des règlements croates et de l'Euro code 8

L'article décrit les différences entre les règlements croates et l'Euro code 8 (EC8) relatives au calcul des constructions du bâtiment à l'action des séismes. L'on compare les modèles des constructions en béton armé dimensionnées selon les deux règlements. Les modèles de différents systèmes de constructions en béton armé ont été mis en comparaison : en cadre, aux murs, mixtes. Il s'est révélé que le procédé selon le EC8 était plus complexe et qu'il demandait plus de l'art de l'ingénieur. Cet article fait partie d'un projet scientifique dont l'objectif est l'adaptation de l'EC8 à nos conditions.

Vladimir Sigmund., Mirjana Bošnjak-Klečina, Ivica Guljaš, Andreas Stanić *Vorherige Mitteilung*

## Vergleich der Anwendung kroatischer Vorschriften und des Eurocode 8

Es sind Unterschiede zwischen den kroatischen Vorschriften und dem Eurocode 8 (EC8) beschrieben die sich auf die Berechnung von Hochbaukonstruktionen gegen seismische Einflüsse beziehen. Verglichen sind Modelle von Stahlbetonkonstruktionen (Stb), bemessen nach beiden Vorschriften. Es wurden Modelle verschiedener Stb Konstruktionen verglichen: Rahmen, mit Wänden und gemischt. Es zeigte sich dass das Verfahren nach EC8 komplizierter ist und mehr Ingenieurwissen verlangt. Der Artikel ist ein Teil des wissenschaftlichen Projekts dessen Ziel die Anpassung des EC8 an die kroatischen Umstände ist.

Autori: Prof. dr. sc. **Vladimir Sigmund**, dipl. ing. građ.; mr. sc. **Mirjana Bošnjak-Klečina**, dipl. ing. građ.; mr. sc. **Ivica Guljaš**, dipl. ing. građ.; **Andreas Stanić**, dipl. ing. građ., Sveučilište J. J. Strossmayera, Građevinski fakultet u Osijeku

## 1 Uvod

Cijelo područje Hrvatske je seizmički vrlo aktivno i potresi su jedna od prirodnih katastrofa s kojom se u fazi projektiranja i eksploatacije objekta mora računati. Sadašnji propisi za građenje objekata visokogradnje u seizmičkim područjima imaju za cilj očuvanje života ljudi. Oštećenja i ekonomski gubici tijekom djelovanja potresa ponekad su jednako važni. Započetim istraživanjem nastoji se utvrditi i stupanj pouzdanosti projektiranih objekata u odnosu prema seizmičkom ponašanju i stupnju uporabljivosti ili kontrolirani gubitak nosivosti koji su sadržani u prijedlogu Eurokoda 8 (EC8). Uvođenjem novih propisa u koje su ugrađena iskustva iz cijelog svijeta, te uz njihovo neophodno adaptiranje na naše uvjete, moći ćemo ih optimalno upotrijebiti.

U radu se nastoje utvrditi i kvantificirati razlike između armiranobetonskih objekata projektiranih po sadašnjim hrvatskim propisima (HRP) i budućim propisima (Eurokod) u fazi projektiranja i u simuliranom seizmičkom odgovoru. Norme EC8 donose pooštrenje seizmičkih djelovanja i konstruktivnih pravila. EC8 ima različite vrijednosti faktora ponašanja ( $q$ ) za razne tipove armiranobetonskih konstrukcija ovisno o stupnju obraćanja pažnje detaljima. Definišu se klase duktilnosti LD-niski duktilitet, MD-srednji duktilitet i HD-visoki duktilitet. Potresna opterećenja opadaju od LD prema HD, ali rastu zahtjevi za detaljiranjem elemenata kao što su poprečna armatura, minimalna uzdužna armatura, dužina sidrenja. Unutarnje sile se za mnoge kritične presjeke određuju na osnovi kapaciteta nosivosti, a ne na osnovi rezultata proračuna. Broj provjera kapaciteta nosivosti raste s duktilitetom. U okviru ovog rada istražene su tri modelne konstrukcije sa 7 katova: s okvirima, mješovitim sistemom i zidovima. Proračunane su za VIII. i IX. MKS-64 potresnu zonu prema HRP i EC8 normama s LD i HD klasom. Utvrđene su razlike i sličnosti među njima glede utroška materijala i očekivanoga seizmičkog ponašanja.

## 2 Pregled osnovnih karakteristika HRP i EC8

Europske norme sačinjavaju skupinu standarda za projektiranje konstrukcija zgrada i inženjerskih objekata uključivo s geotehničkim elementima. Izvedbu i kontrolu pokrivaju samo djelomično da povežu pretpostavke uporabljene pri projektiranju s kvalitetom izvedbe. Osnovne postavke europskih norma su:

- konstrukcije projektiraju osobe s potrebnim kvalifikacijama i iskustvom
- osigurana je kontrola projektiranja
- konstrukciju izvodi osoblje s potrebnim znanjem i iskustvom
- uporabljaju se materijali koji ispunjavaju zahtjeve europskih norma
- konstrukcije će se redovito održavati
- uporaba konstrukcija odgovara namjeni iz projekta.

Jedna od karakteristika europskih norma jest da su neke vrijednosti samo preporučene, a njihove stvarne vrijednosti mora donijeti svaka država uz poštovanje nacionalnih osobitosti. Te vrijednosti i ostale moguće nacionalne osobnosti sadržane su u državnom dokumentu za primjenu. Europske norme i državni dokument za primjenu čine cjelinu koju državna institucija za normizaciju prihvaća kao nacionalnu normu. Stupanj zaštite sa statističkog gledišta koji se može pružiti različitim kategorijama javnih objekata ovisi o ocjeni optimalne raspodjele materijalnih sredstava i ovisi od države do države glede relativnog udjela potresnog opterećenja u odnosu prema ostalim opterećenjima te glede ekonomskih mogućnosti države. Radi omogućavanja veće fleksibilnosti u EC8 su predviđeni brojni parametri kojima se može prilagoditi stupanj zaštite za svaku državu posebno. Dan je tablični prikaz odnosa HRP i EC8 (tablica 1.).

Tablica 1. Odnosi HRP i EC8

HRVATSKI PROPISI		EUROKOD 8 (EC8)	
<i>2.1 Opće odredbe</i>			
Objekti visokogradnje projektiraju se tako da potresi najjačeg intenziteta mogu uzrokovati oštećenja nosivih konstrukcija, ali ne smije doći do rušenja objekata.		Objekti visokogradnje projektiraju se i grade tako da je s određenom statističkom pouzdanošću ispunjeno sljedeće: a) uvjet da se spriječi rušenje konstrukcije b) uvjet ograničenja stupnja oštećenja c) važni objekti javne namjene ostaju uporabljivi	
<i>2.2 Kategorije objekata visokogradnje</i>			
Koeficijenti kategorije objekta		Koeficijenti važnosti objekta	
	Ko	niski	visoki
Izvan kategorije			
I. kategorija	1,5	I. kategorija	1,2    1,4
II. kategorija	1,0	II. kategorija	1,0    1,2
III. kategorija	0,75	III. kategorija	0,8    1,0
IV. kategorija	0,0	IV. kategorija	0,5    0,8

<h3>2.3 Seizmičnost i seizmički parametri</h3>																			
<p>Seizmička opasnost i potrebni parametri za pojedina seizmička područja utvrđuju se na osnovi detaljne seizmičke rajonizacije i seizmičke mikrorajonizacije. Projektni potres je najjači očekivani potres koji može pogoditi objekt u tijeku njegova amortizacijskog razdoblja, a usvaja se za onaj potres koji se javlja jednom u 500 godina.</p> <p>koeficijent seizmičnosti (g):</p> <table> <tr> <td>stupanj MKS</td> <td>VII.</td> <td>0,025</td> </tr> <tr> <td></td> <td>VIII.</td> <td>0,050</td> </tr> <tr> <td></td> <td>IX.</td> <td>0,100</td> </tr> </table>	stupanj MKS	VII.	0,025		VIII.	0,050		IX.	0,100	<p>Seizmička opasnost i potrebni parametri za pojedina seizmička područja utvrđuju se na osnovi detaljne seizmičke rajonizacije i seizmičke mikrorajonizacije. Projektni potres je najjači očekivani potres koji može pogoditi objekt u tijeku njegova amortizacijskog razdoblja, a usvaja se za onaj potres koji se javlja jednom u 500 godina.</p> <p>koeficijent seizmičnosti (g):</p> <table> <tr> <td>stupanj MCS</td> <td>VII.</td> <td>0,10</td> </tr> <tr> <td></td> <td>VIII.</td> <td>0,20</td> </tr> <tr> <td></td> <td>IX.</td> <td>0,40</td> </tr> </table>	stupanj MCS	VII.	0,10		VIII.	0,20		IX.	0,40
stupanj MKS	VII.	0,025																	
	VIII.	0,050																	
	IX.	0,100																	
stupanj MCS	VII.	0,10																	
	VIII.	0,20																	
	IX.	0,40																	
<h3>2.4 Lokalni uvjeti tla</h3>																			
<p>Legenda:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>EC8 - A (crna linija s trokutima)</li> <li>EC8 - B (plava linija s kvadratima)</li> <li>EC8 - C (crvena linija s kvadratima)</li> <li>P - A (crna linija s trokutima)</li> <li>P - B (plava linija s kvadratima)</li> <li>P - C (crvena linija s kvadratima)</li> </ul>																			
<p><b>Slika 1. Projektni spektri ubrzanja</b></p>																			
<p>Utjecaj lokalnih uvjeta tla uzima se u obzir pri određivanju seizmičkih utjecaja na objekte visokogradnje II. i III. kategorije s pomoću koeficijenta dinamičnosti. Postoje tri kategorije tla.</p>	<p>Utjecaj lokalnih uvjeta tla na seizmičko djelovanje uzima se u obzir s pomoću tri vrste tla A, B i C. On se očituje veličinom maksimalne akceleracije (parametar tla S = 0.9-1.2) i širinu područja konstantnoga spektralnog ubrzanja.</p>																		
<h3>2.5 Metode proračuna</h3>																			
<p>Nosive konstrukcije se proračunavaju kao linearno-elastične konstrukcije po teoriji graničnih stanja (uz koeficijente sigurnosti 1,30; 1,15 i 1,50 za betonske čelične i zidane konstrukcije) ili po teoriji elastičnosti (uz povećanje dopuštenih napona za 50%).</p> <p>Maksimalni horizontalni progib objekta za propisana opterećenja jest</p> $f_{dop} = \frac{H}{600}$ <p>gdje je H visina objekta</p>	<p>Nosive konstrukcije proračunavaju se na bazi linearno-elastičnog ponašanja konstrukcije. Seizmička djelovanja izračunavaju se modalnom analizom i projektnim spektrom ubrzanja. Kao alternativa mogu se primjeniti analiza spektrom snage, vremenskog odgovora i analiza u frekventnom području.</p> <p>Krajnje granično stanje nosivosti</p> $S_d \leq R_d$ <p>Uvjeti duktilnosti</p> <p>Svi konstruktivni elementi i cijela konstrukcija moraju posjedovati dovoljan duktilitet uz primjenu kapacitivnog dimenzioniranja koji osigurava poželjan slijed gubitka nosivosti.</p> <p>Stabilnost</p> <p>Konstrukcija mora posjedovati dovoljnu stabilnost za moguće kombinacije opterećenja (prevrtanje i klizanje)</p> <p>Stabilnost temelja</p> <p>Nosivost temeljne konstrukcije mora biti osigurana za sva projektna opterećenja</p> <p>Granično stanje uporabljivosti</p> <p>Ograničava se međukatni pomak prema razini oštećenja. Postavljeni su sljedeći limiti:</p> <p><math>dr/v \leq 1/250 \times h</math> kod konstrukcija s nekonstruktivnim elementima pričvršćenim na konstruktivne</p> <p><math>dr/v \leq 1/167 \times h</math> kod konstrukcija s nekonstruktivnim elementima odvojenima od konstruktivnih</p>																		

2.6 Proračun potresnog opterećenja	
<p>Konstrukcija se proračunava na djelovanje horizontalnih seizmičkih sila u dvije međusobno ortogonalne ravnine.            Za opterećenje se uzima:            stalno opterećenje (g)            vjerojatno pokretno opterećenje, (p) sa 50% opterećenje snijegom (s)            Ukupna horizontalna seizmička sila  <math>S=K \times G</math>            gdje je  <math>K=K_0 \times K_s \times K_d \times K_p</math>            Za VIII. potresnu zonu jest  <math>K_0=1.0</math>; <math>K_s=0.05</math>; <math>K_d=0,47/T</math>;  <math>S_d=0,05 \times K_d \times G</math>            Koeficijent sigurnosti za opterećenje je <math>\gamma=1.3</math>.            Ukupna potresna sila iznosi za            -okvirne armiranobetonske konstrukcije  <math>S_d=1,3 \times 0,05 \times K_d \times G \leq 0,065G</math>            -armiranobetonske konstrukcije sa zidovima  <math>S_d=1,3 \times 0,065 \times K_d \times G \leq 0,0845G</math></p>	<p>Regularne se konstrukcije analiziraju kao dva ravninska modela.            Za opterećenje se uzima            stalno opterećenje (g)            pokretno opterećenje (p) s koeficijentom kombinacije <math>\Psi_{od}</math> 0,30-1,0            Ukupna horizontalna seizmička sila za regularne armiranobetonske konstrukcije iznosi  <math>F_b=S_d \times W</math>            gdje je <math>S_d=\alpha \times S \times \beta/q</math>            Koeficijenti projektnog spektra i konstrukcije su  <math>\alpha_g=0,20g</math>, <math>\alpha=\alpha_g/g=0,2</math>, <math>S=1</math>, <math>\beta=2,5</math>,            te je za okvirne sisteme i sisteme ekvivalentne okvirima  <math>q=5</math>  <math>S_d=0,2 \times 1,0 \times 2,5/5=0,10</math>            Koeficijent sigurnosti materijala je <math>\gamma_s=1.15</math> i cijela efektivna potresna sila jest  <math>F_{b,ef}=1.15 \times S_d \times W \leq 0,115W</math>            -sistemi zidova i okvira te povezani zidovi  <math>q=4,5</math>  <math>S_d=0,2 \times 1,0 \times 2,5/4,5=0,11</math>  <math>F_{b,ef}=1.15 \times S_d \times W \leq 0,127W</math>            -nepovezani zidovi  <math>q=4,0</math>  <math>S_d=0,2 \times 1,0 \times 2,5/4=0,125</math>  <math>F_{b,ef}=1.15 \times S_d \times W \leq 0,144W</math></p>

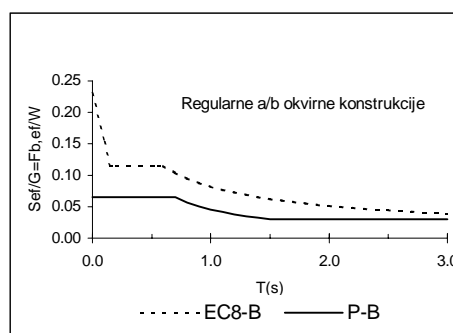
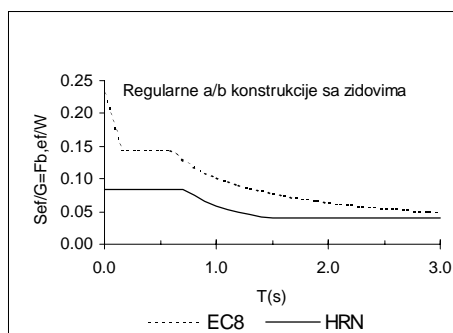
## 2.7. Usporedba graničnih vrijednosti računskih koeficijenata poprečnih sila

Tablica 2. Maksimalna spektralna ubrzanja za različite tipove konstrukcija

Vrsta konstrukcija	Norma	Stupanj seizmičnosti		
		VII.	VIII.	IX.
Okvirne konstrukcije	EC8	0,058	0,115	0,230
	HRP	0,053	0,065	0,130
Mješoviti sustavi	EC8	0,063	0,127	0,253
	HRP	0,033	0,065	0,130
Nosivi zidovi	EC8	0,072	0,144	0,288
	HRP	0,042	0,085	0,169

Razlika između efektivnih potresnih sila izračunanih prema HRP i EC8 dana je na slici 2. Uočljivo je da su

potresne sile prema EC8 za sve tipove konstrukcija veće po cijelom području spektra od interesa.



Slika 2. Odnos poprečne sile pri osloncu za okvirni i mješoviti sistem

### 3 Usporedba na modelima armiranobetonskih konstrukcija

Radi utvrđivanja razlika između norma odabrana je modelna konstrukcija sa 7 katova i istim florisima. Krutost konstrukcija u horizontalnom smjeru postiže se sa tri različita sistema: okvirnim, mješovitim (okvir + zid) i s pomoću zidova. Konstrukcije su proračunate za isto vertikalno opterećenje (stalno i uporabno) te s istim karakteristikama materijala prema HRP i EC8 s niskom (LD) i visokom (HD) zahtjevanom duktilnošću. Projektne zone seizmičnosti su VIII. i IX. MKS-64. Za sve konstrukcije izrađeni su i nacrti armature te su dobiveni rezultati na pojedinim modelima uspoređeni glede vremena potrebnog za projektiranje konstrukcije, potrebnih dimenzija elemenata, utroška materijala i ukupne cijene. Procjena seizmičkog ponašanja sadržana je u drugom dijelu rada. Konstrukcijski modeli objekata prikazani su na slici 3., opseg analize u tablici 3., a osnovni podaci o materijalu i dimenzijama elemenata modela u tablici 4.

Svi modelni objekti su sa 7 katova i visinom prvog kata 3.75 m te ostalih po 3.00 m. Svi katovi imaju jednake tlocrtne dimenzije 17.00x16.00m s rasterima 6.00 + 5.00 + 6.00 m u jednom (X) smjeru te 2.00 + 2 x 6.00 + 2.00 m u drugom (Y) smjeru. Razmatran je samo jedan neovisni (X)-smjer.

Model 1 (M1) armiranobetonska je okvirna konstrukcija s tri jednaka okvira u X smjeru.

Model 2 (M2) mješoviti je sustav okvira i okvira sa zidom u X smjeru.

Model 3 (M3) sustav se nosivih zidova smještenih u ravni dvaju vanjskih okvira.

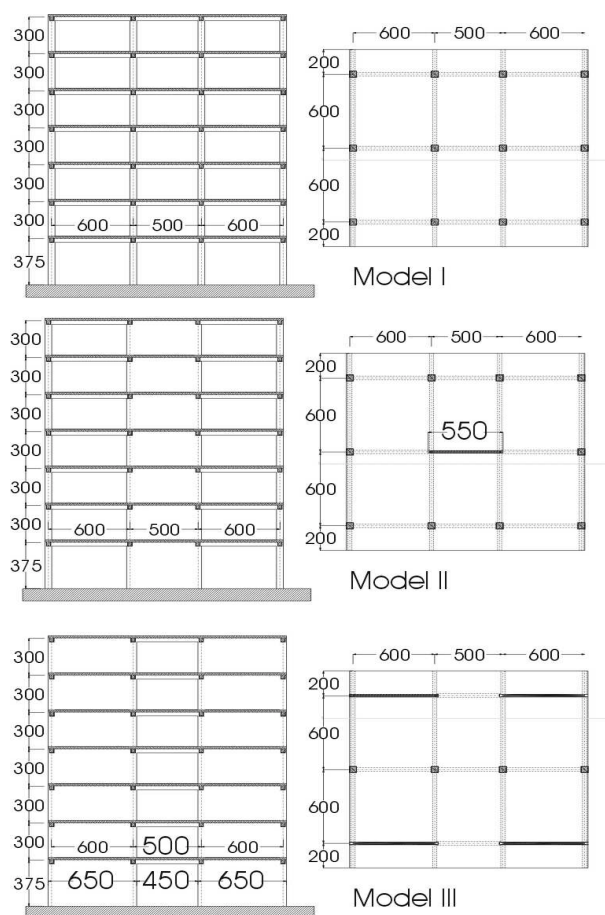
Tablica 3. Prikaz razmatranih modela i vrsta izračuna

Seizmičnost	Model 1			Model 2			Model 3		
<b>zona VIII</b>	HRP	EC8-HD	EC8-LD	HRP	EC8-HD	EC8-LD	HRP	EC8-HD	EC8-LD
dimenzioniranje	da	da	da	da	da	da	da	da	
nelin. odgovor	da	da	da	da	da		da	da	
<b>zona IX</b>	HRP	EC8-HD	EC8-LD	HRP*	EC8-HD	EC8-LD	HRP	EC8-HD	EC8-LD
dimenzioniranje	da	da		da	da		da	da	
nelin. odgovor	da	da		da	da		da	da	

Tablica 4. Osnovni podaci o opterećenju, materijalu i dimenzijama elemenata

Norma	g (kN/m <sup>2</sup> )	p (kN/m <sup>2</sup> )	f <sub>ctk</sub> (Mpa)	f <sub>yd</sub> (Mpa)	ploča (cm)	grede (cm)	stupovi (cm)	zid-M2 (cm)	zidovi-M3 (cm)
HRP	6	3.5	40	400/500	18	30/50	50/50	25	25
EC8-HD	6	3.5	40	400/500	18	30/50	50/50	35	40
EC8-LD	6	3.5	40	400/500	18	40/50	50/50	25	

f<sub>ctk</sub> = čvrstoća betonske kocke, f<sub>yd</sub> = granica tečenja armature, dimenzije gređa i stupova su iste za sva tri modela, zid-M2 = debljina zida u modelu 2, zid-M3 = debljina zida u modelu 3.



Slika 3. Modelne konstrukcije

Kod svih su modela dimenzije konstruktivnih elemenata odabrane prema vertikalnim opterećenjima, uobičajenim izmjerama i zahtjevima za minimalne dimenzije elemenata. Za dimenzije (širinu) zidova kod modela M3

dimenzioniranima prema EC8, s obzirom na njihovu dužinu dominantan je bio zahtjev za  $d \geq (lw/15)$ . Dimenzije ostalih elemenata su se nastojale zadržati, osim kada je to, s obzirom na količinu armature, bilo nemoguće te su povećane. Projektna vertikalna opterećenja uzeta su jednaka za sva tri modela. Njihov iznos je bio: stalno opterećenje od ploče  $6,00 \text{ kN/m}^2$ , stalno opterećenje od greda zidova i stupova  $3,00 \text{ kN/m}^2$  te pokretno opterećenje kata  $3,50 \text{ kN/m}^2$  i krova od  $2,00 \text{ kN/m}^2$ .

Objekti su regularni i tlocrtno i po visini. Stoga je proračun rađen za jedan ravninski model s punim betonskim presjekom, uz zanemarivanje deformabilnosti temelja. Dodatni utjecaji, kao slučajna torzija, koji se prema EC8 moraju uzeti u obzir u izračun djelovanja na pojedine elemente prostornih sistema, nisu razmatrani.

Na osnovi elastičnih karakteristika materijala i brutodimenzija elemenata, izračunane su osnovne dinamičke karakteristike modela. Razlika između vlastitih perioda

Tablica 5. Vlastiti periodi (frekvencije) modela

Model	ton	HRP		EC8	
		T(sec)	f(Hz)	T(sec)	f(Hz)
1	1.	0.865	1.156	0.839	1.191
	2.	0.278	3.597	0.269	3.708
2	1.	0.568	1.76	0.552	1.812
	2.	0.151	6.625	0.146	6.828
3	1.	0.323	3.092	0.314	3.182
	2.	0.073	13.609	0.712	14.028

istog modela u raznim propisima, proisteklo iz različitih koeficijenta s kojima se uzima u obzir uporabno opterećenje pri proračunu seizmičkih djelovanja. Dinamičke karakteristike modela navedene su u tablici 5

#### 4 Projektiranje i dimenzioniranje

Modelne su konstrukcije (M1, M2 i M3) proračunane sukladno propisima za opterećenja i dimenzioniranje.

Tablica 6. Projektne horizontalne sile od potresa za VIII. potresnu zonu

Visina [m]	HRP				EC8			
	Težina [kN]	Sile Fi [kN]			Težina [kN]	Sile Fi [kN]		
		M1	M2	M3		M1	M2	M3
21,75	2720	280,50	455,80	455,80	2611,20	638,00	445,10	614,20
18,75	2924	147,20	239,30	239,30	2590,80	231,30	380,70	525,40
15,75	2924	123,70	201,00	201,00	2590,80	194,30	319,80	441,30
12,75	2924	100,10	162,70	162,70	2590,80	157,30	258,90	357,20
9,75	2924	76,60	124,40	124,40	2590,80	120,30	198,00	273,20
6,75	2924	53,00	86,10	86,10	2590,80	83,30	137,10	189,10
3,75	2924	29,40	47,90	47,90	2590,80	46,30	76,10	105,10
Fb	20264	810,50	1317,20	1317,20	18156,00	147,80	1815,7	2505,50
Fb/W [%]		4,00	6,50	6,50		8,10	10,00	13,80
W1/W2 [%]						7,26	8,96	12,36

Fi - zamjenjujuća horizontalna sila prema propisima; Fb - ukupna horizontalna sila; Fb/W - odnos ukupne horizontalne sile i ukupne težine konstrukcije

Tablica 7. Projektne horizontalne sile od potresa za IX. potresnu zonu

Visina [m]	HRP				EC8			
	Težina [kN]	Sile Fi [kN]			Težina [kN]	Sile Fi [kN]		
		M1	M2	M3		M1	M2	M3
21,75	2720	561,00	911,60	911,60	2611,20	1276,00	890,20	1228,40
18,75	2924	294,40	478,60	478,60	2590,80	462,60	761,40	1050,80
15,75	2924	247,40	402,00	402,00	2590,80	388,60	639,60	882,60
12,75	2924	200,20	325,40	325,40	2590,80	314,60	517,80	714,40
9,75	2924	153,20	248,80	248,80	2590,80	240,60	396,00	546,40
6,75	2924	106,00	172,20	172,20	2590,80	166,60	274,20	378,20
3,75	2924	58,80	95,80	95,80	2590,80	92,60	152,20	210,20
Fb	20264	1621,00	2634,40	2634,40	18156,00	2941,60	3631,40	5011,00
Fb/W [%]		8,00	13,00	13,00		16,20	20,00	27,60
W1/W2 [%]						14,52	17,92	24,73

W1 – težina prema HRP; W2 – težina prema EC8

Vertikalno opterećenje (stalno i uporabno) i horizontalno opterećenje od vjetrova isti su za sve modele. Horizontalno opterećenje od potresa za povratni period potresa (500 godina) i dvije različite zone seizmičkog intenziteta VIII. i IX. MKS-64 računa se sukladno projektnim spektrima sadržanima u Pravilniku i EC8. Unutarnje sile su izračunane za najnepovoljnije kombinacije vertikalnog i horizontalnog opterećenja uz uporabu sukladnih parcijalnih koeficijenata sigurnosti. Dimenzioniranje konstrukcija je sprovedeno prema PBAB i EC2, te prema posebnim konstruktivnim zahtjevima za objekte u seizmičkim područjima prema određenoj klasi duktiliteta. Projektne horizontalne sile od potresa za sve modele, propise i potresne zone dane su u tablicama 6. i 7.

#### 4.1 Rezultati i usporedbe proračuna prema HRP i EC8

Za sve istraživane konstrukcije izrađeni su nacrti armature te su uspoređene količine uzdužne, poprečne i ukupne armature po elementima (stupovi, grede i zidovi) te za cijelu konstrukciju. Armatura ploča pritom nije uzeta u razmatranje. Tabela su prikazani rezultati i usporedbe proračuna prema hrvatskim propisima i EC8.

##### 4.1.1 Model 1 (M1) - okvirni sistem

Prelaskom iz VIII. u IX. potresnu zonu kod HRP raste armatura u gredama (1.92 puta) dok u stupovima ostaje ista. Kod EC8-HD raste armatura u gredama (2.1 puta) i u stupovima (1.56 puta). Pravila za konstruiranje su po EC8 komplicirana i uzrokuju vrlo veliku potrebnu

armaturu čvorova.

##### 4.1.2 Model 2 - mješoviti sistem s okvirom i zidom

Količina armature u stupovima određena je uglavnom minimalnim postotkom armiranja od 0,6%  $A_b$ , odnosno 1,0%  $A_b$  (za EC8). Potrebna armatura raste od HRN do HD konstrukcije, tako da konstrukcija HD traži 1,17 puta više. Raspodjela ukupne armature za stupove je podjednaka (cca 32%), kod greda je više u HRN (44%), dok u zidovima za taj slučaj ima 26%.

##### 4.1.3 Model 3 - sistem sa zidovima

Za VIII. potresnu zonu stavci o najmanjim dimenzijama i najmanjim postotcima armiranja elemenata određuju količinu potrebne armature za preuzimanje horizontalnog opterećenja.

Količina potrebne armature raste od HRP do HD konstrukcije, tako da konstrukcija EC8-HD traži 1,3 puta više armature od konstrukcije HRP. Razlika je uglavnom sadržana u većoj potrebnoj armaturi zidova. Ovdje je uvjet najmanje dimenzije zida po EC8 izrazito nepovoljan jer traži znatnu najmanju debljinu zida pri dužini zidova više od 4 m.

Količina potrebne armature raste od HRP do EC8-HD konstrukcije, tako da konstrukcija HD treba do 1,45 puta više armature od konstrukcije HRP. Usporedbom potrebne armature za VIII. i IX. potresnu zonu vidljivo je da najmanja armatura određuje u potpunosti potrebnu armaturu za obje potresne zone za HRP i gotovo tako za EC8-HD (povećanje od svega 17% uzdužne armature stupova).

Tablica 8. Količina potrebne armature za Model 1 u VIII. potresnoj zoni

Elementi konstrukcije	HRP		EC8 – HD		EC8 -LD	
	[kN]	[%]	[kN]	[%]	[kN]	[%]
Stupovi	75,60	46	99,12	45	99,12	30
Grede	87,00	54	120,42	55	236,10	70
Ukupno	162,60	100	219,54	100	335,22	100
Odnosi [%]	100		135		206	

Tablica 9. Količina potrebne armature za Model 1 u IX. potresnoj zoni

Elementi konstrukcije	HRP		EC8 – HD		EC8 -LD	
	[kN]	[%]	[kN]	[%]	[kN]	[%]
Stupovi	75,70	32	154,34	38		
Grede	167,46	68	253,77	62		
Ukupno	243,16	100	408,12	100		
Odnosi [%]	100		170			

Tablica 10. Usporedba potrebne armature za Model 1 u VIII. i IX. potresnoj zoni

Elementi konstrukcije	HRP VIII.		HRP IX.		EC8 VIII.		EC8 IX.	
	[kN]	[%]	[kN]	[%]	[kN]	[%]	[kN]	[%]
Stupovi	75,60	100	75,70	100	99,12	100	154,34	156
Grede	87,00	100	167,46	192	120,42	100	253,77	210
Ukupno	162,20	100	243,16	150	219,54	100	408,12	186
Odnosi [%]	100		150		100		186	







Tablica 11. Potrebna armatura u gredama, stupovima i zidu za VIII. potresnu zonu

Elementi konstrukcije	HRP		EC8 – HD		EC8 -LD	
	[kN]	[%]	[kN]	[%]	[kN]	[%]
Stupovi	63,00	40	83,72	47	82,45	41
Grede	65,27	42	64,97	36	88,67	45
Zidovi	28,23	18	30,10	17	27,53	14
Ukupno	156,5	100	178,80	100	198,65	100
Odnosi [%]	100		114		127	

Tablica 12. Potrebna armatura u gredama, stupovima i zidu za IX. potresnu zonu

Elementi konstrukcije	HRP		EC8 – HD		EC8 -LD	
	[kN]	[%]	[kN]	[%]	[kN]	[%]
Stupovi	63,00	30	84,00	34		
Grede	93,20	44	83,01	33		
Zidovi	56,98	26	81,82	33		
Ukupno	213,27	100	248,81	100		
Odnosi [%]	100		117			

Tablica 13. Usporedba potrebne armature Modela 2 za VIII. i IX. potresnu zonu

Elementi konstrukcije	HRP VIII.		HRP IX.		EC8 VIII.		EC8 IX.	
	[kN]	[%]	[kN]	[%]	[kN]	[%]	[kN]	[%]
Stupovi	63,00	100	63,00	100	83,72	100	84,00	100
Grede	65,27	100	93,20	143	64,97	100	83,01	128
Zidovi	28,23	100	56,98	201	30,10	100	81,82	272
Ukupno	156,50	100	213,27	136	178,80	100	248,81	139
Odnosi [%]	100		136		100		139	

Tablica 14. Potrebna armatura u gredama, stupovima i zidovima za VIII. potresnu zonu

Elementi konstrukcije	HRP		EC8 – HD		EC8 -LD	
	[kN]	[%]	[kN]	[%]	[kN]	[%]
Stupovi	25,23	12	33,60	13		
Grede	51,79	25	52,28	19		
Zidovi	128,28	63	182,03	68		
Ukupno	205,30	100	267,90	100		
Odnosi [%]	100		130			

Tablica 15. Potrebna armatura u gredama, stupovima i zidovima za IX. potresnu zonu

Elementi konstrukcije	HRP		EC8 – HD		EC8 -LD	
	[kN]	[%]	[kN]	[%]	[kN]	[%]
Stupovi	25,23	12	33,60	11		
Grede	51,79	27	52,28	18		
Zidovi	128,28	63	212,76	71		
Ukupno	205,30	100	298,63	100		
Odnosi [%]	100		145			

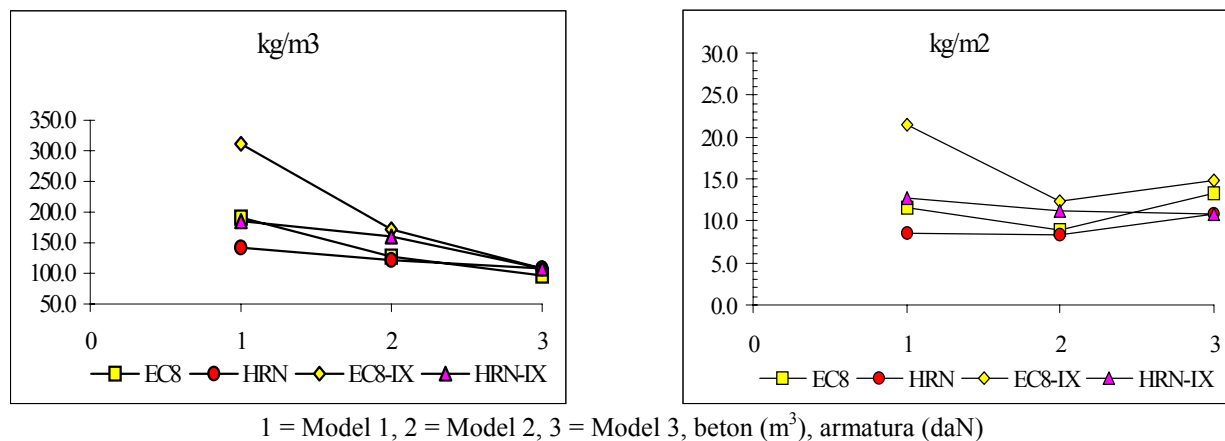
Tablica 16. Usporedba potrebne armature Modela 3 za VIII. i IX. potresnu zonu

Elementi konstrukcije	HRP VIII.		HRP IX.		EC8 VIII.		EC8 IX.	
	[kN]	[%]	[kN]	[%]	[kN]	[%]	[kN]	[%]
Stupovi	25,23	100	25,23	100	33,60	100	33,60	100
Grede	51,79	100	51,79	100	52,28	100	52,28	100
Zidovi	128,28	100	128,28	100	182,03	100	212,76	117
Ukupno	205,30	100	505,30	100	267,90	100	298,63	111
Odnosi [%]	100		100		100		111	

Ovi rezultati mogu upućivati na zaključke o povoljnom ponašanju konstrukcija sa zidovima u potresnim područjima jer im najmanja armatura bez dodatnih izračuna jamči dovoljnu nosivost.

### 5 Usporedba modela i primijenjenih propisa

Količine materijala potrebnog za izgradnju modelnih objekata za sve modele, za obje potresne zone i za oba propisa prikazani su na slici 8.



Slika 8 Ukupna potrebna količina betona i armature za Modele 1, 2 i 3 te za VIII. i IX. potresnu zonu

Ovdje su HRP i EC8 usporedivi jer se nastojalo zadržati iste dimenzije elemenata. Potrošnja betona je za EC8-Model 3 znatno veća zbog enormnih zahtjeva za najmanjom debljinom zida (kod dugih zidova). Ukupna količina potrebne armature je za EC8 veća za sve modele u obje potresne zone. Razlika između VIII. i IX. potresne zone izrazito je naglašena za okvirni sistem (M1) dok je kod drugih modela znatno manja. Potrebna količina armature po m<sup>3</sup> ugrađenog betona opada od Modela 1 prema Modelu 3 gdje obje norme i obje potresne zone imaju iste zahtjeve. Prosječna potrebna količina armature po m<sup>2</sup> tlorisne površine objekta pokazuje veću potrebnu količinu armature prema EC8 u odnosu prema HRP normama.

### 6 Zaključak

Usporedbom propisanih rješenja i konstruktivnih zadanosti HRP i EC8 propisa može se zaključiti da se radi o propisima s različitim filozofijom seizmičkog projektiranja. EC8 je kompleksniji za uporabu, zahtijeva više inženjerskog znanja i povećava potrošnju materijala. Potresne sile prema EC8 su veće za sve tipove konstrukcije nego one iz HRP, a naročito kod konstrukcija niskog duktiliteta (LD). Kod objekata visokogradnje potresne sile ovise o pretpostavljenoj željenoj duktilnosti uz zadovoljenje zahtjeva prema dimenzijama elemenata, kapacitivno dimenzioniranje i dužno posvećivanje pažnje detaljima (ovisno o odabranom projektnom nivou duktiliteta LD, MD i HD). Neki od uočenih nedostataka

europskih norma, koje su uočili i drugi istraživači su: (a) efekt slučajne torzije koji se mora uzeti u obzir bez obzira na način izračuna (statički i dinamički); (b) način izračunavanja potrebnoga kapacitivnog predimenzioniranja kod greda i stupova koji nemaju nul točku momenta na sredini raspona (visine), (c) ograničenje dimenzije šipke, da bi se spriječilo njeno izvlačenje iz čvora zbog gubitka prionjivosti, nekad postaje praktično ograničavajuće i teško izvedivo; (d) kod objekata sa zidovima,

koji su kod nas uglavnom s malim opterećenjem, konstruktivni zahtjevi su prestrogi i određuju potrebnu količinu materijala u njima; (e) ograničenje najmanje dimenzije šipke mreža u zidovima na d<sub>z</sub>≥8mm sprječava uporabu nekih uobičajenih armaturnih mreža, (f) klase duktiliteta MD i HD su slični glede ponašanja i ekonomičnosti pa je moguće da se jedna ispusti, itd. S obzirom na to da su propisi EC8 još u fazi doradivanja i uz ispravljanje nekih od uočenih nedostataka, ili uključivanjem novih spoznaja, moguće je da konačni rezultati budu drugačiji od ovdje prezentiranih.

Najnepovoljnija kombinacija djelovanja je za sva tri modela i po obje norme u VIII. i IX. potresnoj zoni potresna kombinacija. Pritom je potrebna količina armature u VIII. potresnoj zoni u vertikalnim elementima (stupovi i zidovi) uvijek bila određena propisanim najmanjim postotcima armiranja. Samo za Model 1 u IX. potresnoj zoni prema EC8-HD potrebna armatura stupova nije bila najmanja, ali opet je nisu odredile unutarnje sile nego konstruktivni zahtjevi kapacitivnog dimenzioniranja. Potrebna količina poprečne armature u HRP i EC8 je slična, a razlike u količini potrebne armature nastaju uglavnom iz razlika potrebne uzdužne armature greda, stupova i zidova.

Dimenzije elemenata određene su početnim vrijednostima i uvjetovanim najmanjim dimenzijama što se očituje povećanjem potrebne količine betona od Modela 1 do Modela 3. Shodno tome količina ugrađene armature u m<sup>3</sup>

betona opada od Modela 1 prema Modelu 3 gdje je za obje norme slična. Količina potrebne armature po m<sup>2</sup> tlorisne površine objekta je približno konstantna za pojedini propis neovisno o modelu. Značajno odstupanje nastaje samo kod Modela 1 EC8-HD za IX. potresnu zonu gdje je uzdužna armatura stupova određena principima kapacitivnog dimenzioniranja.

Dva elementa su bitna u projektiranju konstrukcija visokogradnje: stupanj sigurnosti i cijena koja se za dosegnuti stupanj mora platiti. Stupanj sigurnosti se uporabom EC8 povećava jer su u njega unesene najnovije

spoznaje istraživača, uz izmijenjeni pristup aseizmičkom projektiranju, ali se potrošnja materijala povećava 20% do 30% uz povećanje nivoa sigurnosti.

U filozofiju aseizmičkog projektiranja polako ulaze novi shvaćanja. Metode dimenzioniranja bazirane na osnovi reguliranja očekivanog ponašanja i pomaka tijekom potresa, koje je lakše povezati s nivoom oštećenja negoli sile, već polako zamjenjuju postojeće metode. Da bismo uhvatili korak s razvijenim svijetom nužno je što prije usvojiti EC8 da ne bi u našem razvoju morali preskakati po nekoliko stepenica.

#### ZAHVALA

Istraživanje je sprovedeno uz potporu Ministarstva znanosti i tehnologije Republike Hrvatske u sklopu projekta "Usporedba seizmičkog izračuna objekata prema HRP i EC8" na čemu se zahvaljujemo.

#### LITERATURA

- [1] Sigmund, V.: *Metoda dimenzioniranja okvira za seizmička djelovanja*, Zbornik radova I. kongresa Društva građevinskih konstruktora BiH, Sarajevo, 1989. str. 62.-70.
- [2] Sigmund, V.: *Ostvarivanje koncepcije okvira sa "slabim" gredama*, Zbornik radova V. kongresa Saveza društava za potresno inženjerstvo, Bled, 1990.
- [3] Sigmund, V.: *Seizmički odgovor okvirnih konstrukcija dimenzioniranih prema jugoslovenskim propisima*. Zbornik radova I. kongresa Društva građevinskih konstruktora BiH, Sarajevo, 1989. str. 128.-136.
- [4] Sigmund, V.: *Strong column-weak beam design methodology for r/c frames*, IX ECEE, Moscow, 1989.
- [5] Sigmund, V.; Herman, K.; Klečina, M.: *Method for evaluation of seismic drifts in R/C frames*, XI European Conference on Earthquake Engineering, September 6.-11., 1998.
- [6] Sigmund, V.; Guljaš, I.; Klečina-Bošnjak, M.: *Comparison of the seismic design according to HRN and EC8*, XI European Conference on Earthquake Engineering, September 6.-11., 1998
- [7] Sigmund V.; Herman, K.; Guljaš, I.: *An evaluation of the displacement controlled design procedures*, 12 World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand, 2000.
- [8] Booth, E. D.; Park, R.; Kappos, A. J.; Moehle, J. P.: *Seismic design of concrete frame structures-A comparison of EC8 with other international practice*, Seismic design into the next century, Balkema, Rotterdam, 1998. str. 481.-492.
- [9] Fajfar, P.; Fischinger, M.: *Experience in the application of EC8 to seismic analysis and design of buildings and bridges*, XI European Conference on Earthquake Engineering, September 6.-11., 1998.
- [10] Pravilnik o tehničkim normativima za izgradnju objekata visokogradnje u seizmičkim područjima, HRN 31/81
- [11] Pravilnik o tehničkim propisima za beton I armirani beton ("PBAB").
- [12] Tomičić, I.: *Betonske konstrukcije –odabrana poglavlja*, Sveučilište u Zagrebu, 1996.
- [13] ENV-Eurocode 8, *Structures in seismic regions- Part 1,2 and 3*, Brussels, 1993.
- [14] Fischinger, M.: *Eurocode v Sloveniji*, SDPI Ljubljana, 1995.