

Srpsko udruženje za zemljotresno inženjerstvo (SUZI) je nacionalno nevladino neprofitno tehničko udruženje čiji članovi su zainteresovani inženjeri, geolozi, seismolozi, arhitekte, urbanisti, i predstavnici ostalih struka koje zemljotresi dotiču i koji se bave uzrocima i posledicama zemljotresa. Osnovni cilj SUZI je da doprinese podizanju nivoa svesti, znanja, i praktične primene zemljotresnog inženjerstva u Republici Srbiji.



Oštećene betonske i zidane zgrade u Nepalu usled Gorkha zemljotresa 2015-e godine (Fotografije: S. Brzev)

# **SUZI**

# **Elektronski**

# **Glasnik**

**GODINA 1, BROJ 1 JUN 2018**

## **Uvod**

Cilj elektronskog glasnika je da obaveštava članove SUZI o značajnim informacijama u oblasti zemljotresnog inženjerstva, kao što su izveštaji u vezi značajnih zemljotresa u zemlji i svetu, primena zemljotresnog inženjerstva u praksi, najnovije publikacije, razvoj i primeni propisa, i sve ostale informacije koje mogu da interesuju članove SUZI. Ovaj inauguralni broj daje pregled odabranih tema od značaja za budući rad SUZI. Nadamo se da će glasnik da sluzi kao forum za predstavljanje aktuelnih tema iz oblasti zemljotresnog inženjerstva, koje će se detaljnije obradjavati putem predavanja, okruglih stolova, radionica, kratkih kurseva, i ostalih aktivnosti SUZI.

## **Seizmika: šta nas čeka**

**VANJA ALENDAR**

Pa, čeka nas sve ono što nismo uradili unazad skoro četrdeset godina.

***Propisi, Pravilnici, Uputstva....***

Prvi propisi u ovoj oblasti doneti su 1964. godine, posle Skopskog zemljotresa 1963. godine. Važeći propisi /1/ doneti su 1981. godine, baš davno. Dobar pokušaj da se propisi unaprede datira iz 1986. godine

/2/. Iako nikada nije zvanično usvojen, ovaj 'nacrt' je ipak povremeno korišćen u praksi.

Dogodjeni zemljotresi na Kopaoniku, Mionici i Kraljevu inicirali su izradu, na primer, uputstava /3/ i pravilnika /4/ koji treba da pomognu pri proceni šteta i sanaciji/revitalizaciji objekata i infrastrukture pogodjenih zemljotresom. Kako da se struka i društvena zajednica pripreme za buduće zemljotresne, i kako da reaguju nakon zemljotresa i dalje je otvorena, nedovršena oblast, u kojoj 'Srpsko udruženje za zemljotresno inženjerstvo' - SUZI može i treba da da svoj doprinos. Srbija nije ugrožena zemljotresima kao Kalifornija, na primer, ali ni naša ekomska snaga nije merljiva sa snagom Kalifornije, tako da su nama štete od 'naših' zemljotresa, na žalost sasvim dovoljne da se teško i dugo oporavljam.

Prateći akciju Evropske ekomske zajednice (danasa EU) na uvodjenju uskladjenih propisa – Evrokodova, Gradjevinski fakultet u Beogradu, 1997. godine objavljuje prvi nezvanični prevod 'Evrokoda 8 – Projektovanje i gradjenje seizmički otpornih konstrukcija' /5/. Akcija je propraćena člancima, simpozijumima, savetovanjima tako da se stručna javnost polako, ali neobavezno u narednih dvadeset godina (!) ipak upoznavala sa onim što nas čeka u ovoj oblasti. Evrokodovi su u medjuvremenu uvedeni i u nastavu na fakultetima, ponegde su čak potpuno potisnuli trenutno važeće propise. Negde 2012. godine 'Institut za standardizaciju Srbije' – ISS, kao referentna ustanova pokreće definitivnu pripremu za uvodjenje Srpske verzije Evrokoda 8. Posao se neočekivano odužio, ali krajem maja 2018. planira se usvajanje finalnog dokumenta. To ne znači i brzo uvodjenje u praksu, predstoji izrada neophodnih Pravilnika. U odnosu na sadašnje propise, Evrokodovi za seizmiku donose daleko bolje razumevanje ponašanja konstrukcija pri zemljotresu, ali i veća 'seizmička opterećenja' kao i generalno zahtevnije, i skuplje detalje konstrukcija. Pojedini članovi SUZI su ujedno i članovi Komisije ISS za uvodjenje Evrokoda 8, ali učešće SUZI na uvodjenju Evrokodova ne treba da se završi na tome.

Važan deo Evrokoda 8 je 'Nacionalni prilog', kojim se definišu parametri specifični za svaku pojedinačnu zemlju. Najvažniji prilog su svakako Karte seizmičkog hazarda – 'ubrzanja na tlu tipa A sa odredjenim

povratnim periodom', obično 475 godina. Republički seismološki zavod (RSZ) je uradio potrebne karte /6/, koje skoro već pet godina stoje na njihovom sajtu, ali posao još nije završen. Bez obzira što karte još uvek nisu zvanične, kao i Evrokod uostalom, neki od važnih objekata projektovani su prema ovim podacima i Evrokodu 8. Generalno, seizmički hazard u Srbiji je prema ovim kartama smanjen, tako da intenzitet zemljotresa u Beogradu, na primer sada odgovara zoni VII, a ne zoni VIII kako je to prema važećim kartama. Ima mišljenja da je ovaj predlog realan, ali isto tako i da je seizmički hazard na teritoriji Srbije potcenjen. Pitanje hazarda izgleda da je i dalje otvoreno, i SUZI treba da pomogne da se u stručnoj javnosti postigne konsenzus po ovom važnom pitanju.

Osim 'ubrzanja na tlu tipa A', na dejstvo zemljotresa na objekte bitno utiču i karakteristike lokalnog tla. Prema Evrokodu 8, 'najlošija' tla tipa S1 i S2 zahtevaju dodatna ispitivanja, dok se u slučaju tla tipa S2 mora razmotriti i mogućnost pojave likvefakcije. Prema kartama 'Geološkog informacionog sistema Srbije – GeolISS' /7/, priobalje Save i Dunava u zoni Beograda karakterišu upravo tla tipa S2! Ako ništa drugo, lokacija 'Beograda na vodi' kao i značajan deo Novog Beograda uz Savu, na primer su potencijalno osetljivi na likvefakciju, što zahteva ozbiljnije analize u odnosu na danas uobičajene. Multidisciplinarnost SUZI mogla bi da nadje svoje mesto i u ovoj oblasti.

## **Edukacija**

Iako je Evrokod 8 daleko transparentniji u odnosu na važeće propise, zemljotresno inženjerstvo se ipak ne uči iz propisa. Iskustvo sa sadašnjim propisima je da nemali broj inženjera ne razume šta radi kada je u pitanju 'seizmičko opterećenje', a pogotovo pomeranja pri zemljotresu. A razumevanje suštine je preduslov dobrog rešenja, bar u nestandardnim slučajevima. Utisak je i da mogućnosti današnjih softvera u ovoj oblasti prevazilaze nivo obrazovanja i znanja većine inženjera, ne samo kod nas, već i i u svetu. To, naravno ne može da spreči njihovu primenu, već kad su tu, uključujući sve više i nelinearne statičke ili dinamičke analize metodom konačnih elemenata. Ako je cilj obezbediti da se objekti ne sruše i ubiju ljudi, bar u našim uslovima hazarda trebalo bi da je osigurano već striktnom

primenom propisa, 'razumeli – ne razumeli šta radimo'. Međutim, po kriterijumu moguće greške, nerazumevanja, objekti mogu da imaju problem pre svega zbog loše koncepcije/dispozicije, zbog loših detalja, zbog lošeg izvodjenja pa tek onda zbog loše 'statičke analize'. Deo potrebnog obrazovanja mogu i moraju da obezbede fakulteti u okviru redovne nastave, ali veći deo se ipak stiče kroz praksi i naknadno obrazovanje. Članci na kongresima i časopisima su korisni, ali ne mogu da zamene permanentno stručno obrazovanje, i to je oblast u kojoj SUZI namerava da da svoj doprinos.

### ***Inicijativa***

Stvari se neće poboljšati same od sebe, neko mora da uloži trud, i da istraje. A teme su:

- Ocena seizmičkog hazarda u Srbiji, o čemu je nešto već rečeno;
- Ocena seizmičkog rizika u Srbiji. Jesu novi objekti nekako u prvom planu, ali problem Srbije su postojeći individualni objekti, gradjeni kojekako. Tragično je i nedopustivo da dvoje ljudi u Kraljevu pogine 2010. jer im se tavanica srušila na glavu! Struka i država treba, koliko mogu, da nešto urade da unapred spreče žrtve i neprihvatljive štete. Iskustva iz dogodjenih zemljotresa su dovoljna da se pripreme hitna i obavezna rešenja za obezbeđenje krutih tavanica, sprečavanje pada dimnjaka i njihov prolov kroz tavanice, razbacivanje crepova itd. A ako se već nešto desi, da znaju kako da postupe nakon zemljotresa. Da bi država znala šta je eventualno ubuduće čeka, treba srediti katalog postojećeg stanja objekata i infrastrukture, kvantifikovati njihovu povredljivost i troškove obnove, definisati procedure za ocenu stepena oštećenja, kao i praćenje i kontrolu realizacije pomoći postradalima;
- Edukacija struke, državne uprave i pojedinaca. Izraditi standarde za seismološka istraživanja terena. Izraditi standard sa katalogom zapisa referentnih zemljotresa za dinamičke analize korak po korak, kad već polako ulaze u praksu. Polako ali neminovno nelinarne analize postaju dostupne i racionalne. Za očekivati je da u budućnosti postanu standard u svakodnevnoj praksi, pa se treba polako priremati za nove procedure.

- Cilj naših važećih propisa, kao i Evrokoda 8 je da se objekti ne sruše i ne ugroze ljude. Taj 'minimalni cilj' se naravno podrazumeva, ali već duže vreme u svetu je trend da se sa korisnikom unapred dogovara šta će desiti sa njegovom imovinom u slučaju zemljotresa: hoće li moći odmah da nastavi korišćenje, ili, kolika i kakva će biti popravljava oštećenja ili će pak objekat biti neupotrebljiv – 'performance based design'. Pa neka korisnik odluči koliko sredstava želi da uloži već na početku, da smanji eventualne buduće troškove popravki. Za očekivati je da sledeća generacija Evrokodova, koja se najavljuje za 2020. godinu uključi i ovaj koncept. S druge strane, može konstrukcija da prodje bez značajnih oštećenja, ali da skupocena oprema u objektu bude uništена, neupotrebljiva; da se pokidaju gasne instalacije i požar devastira objekat; da se u muzejima polupaju eksponati iz Sumerskog doba.... Sve to zahteva da se projektanti i investitori ubuduće dogovaraju šta žele i mogu da naprave.

U svemu navedenom, i ne-navedenom, SUZI treba da nadje svoje mesto, da bude od koristi struci, državi i pojedincima. Nije to lako, ali i svemir je, kažu nastao iz jedne mrvice, pa je danas velik i lep.

### ***Literatura***

- /1/ Pravilnik o tehničkim normativima za izgradnju objekata visokogradnje u seizmičkim područjima, 'Službeni list SFRJ'. Br 31/81, 49/82, 29/83, 21/88 i 52/90;
- /2/ Pravilnik o tehničkim normativima za projektovanje i proračun inženjerskih objekata u seizmičkim područjima, Nacrt, 'Statistički zavod Srbije', 1986.
- /3/ Uputstvo o jedinstvenoj metodologiji za procenu šteta od elementarnih nepogoda, Sl. list SFRJ 27/87.
- /4/ Pravilnik o tehničkim normativima za sanaciju, ojačanje i rekonstrukciju objekata visokogradnje oštećenih zemljotresom i za rekonstrukciju i revitalizaciju objekata visokogradnje, Sl. list SFRJ 52/85.
- /5/ Evrokod 8 – Projektovanje i gradjenje seizmički otpornih konstrukcija, Gradjevinski fakultet

Univerziteta u Beogradu, 1997, Editor prof.dr Radomir Folić

/6/ Republički seismološki zavod, Karta seizmičkog hazarda Srbije, autor Slavica Radovanović,  
[http://www.seismo.gov.rs/Seizmicnost/Karte\\_hazard\\_a.htm](http://www.seismo.gov.rs/Seizmicnost/Karte_hazard_a.htm)

/7/ Geološki informacioni sistem srbije – GeolSS,  
<http://geoliss.mre.gov.rs/karte/seizmika300.html>

## Seizmička aktivnost i seizmički hazard na prostoru Srbije

SLAVICA RADOVANOVIC

### Uvod

Zemljotresi su glavna prirodna opasnost koja dovodi do gubitaka života i ekonomskih gubitaka usled oštećenja na objektima. Prete velikom delu teritorije Srbije, a već su, u više navrata tokom poslednjih 125 godina, rušilački zemljotresi pogodili centralne i južne delove. Za ljudе koji žive u ovim područjima poznavanje i kvantifikacija seizmičkog hazarda nije od akademskog već od životnog značaja jer predstavlja osnovu za smanjenje seizmičkog rizika.

Analiza seizmičnosti je presudna u pripremi podataka za definisanje opasnosti od zemljotresa i obuhvata korelaciju prostorne distribucije dogođenih zemljotresa, frekvencije njihovog događanja, definisanje modela ponovljivosti zemljotresa u žarišnim zonama, fokalnih mehanizama, tipa i orientacije seizmotektonskog napona sa utvrđenim geotektonskim jedinicama, rupturama i aktivnim rasedima. Ova analiza područja obuhvata integraciju velikog broja različitih skupova podataka o geološkim, tektonskim, seismološkim i geofizičkim karakteristikama mogućih izvora zemljotresa. Rezultati integracije predstavljeni su na seismološkim kartama (epicentara, mehanizama zemljotresa, orientacije i karaktera regionalnog seizmotektonskog napona, žarišnih zona) i sve zajedno predstavljaju osnovu za definisanje seizmičkog hazarda.

### Geodinamički okvir

Sadašnji oblik i distribucija seizmičnosti na prostoru Srbije odražavaju njegovu evoluciju u Neogenu i Kvartaru u kontekstu generalnog sučeljavanja-kolizije Afričke i Evroazijske ploče uz otvaranje i zatvaranje Panonskog basena. Razvoj subduksionih i kolizionih procesa bitno je kontrolisao i kontroliše fragmentaciju, deformaciju i pomeranja Zemljine kore u regionu. Složenost ovih procesa ogleda se i u kompleksnosti tektonskih karakteristika našeg prostora i visokoj seizmičnosti regiona Balkana. Rotacijom Jadranske mikro-ploče u smeru suprotnom od smera kre-tanja kazaljke na časovniku koja dostiže 5mm godišnje , i njenim kretanjem ka sever-severoistoku vrši se pritisak na prostor Dinarida. Konvergencija Afričke i Evroazijske ploče se prenosi i u unutrašnji deo kontinenta, pa su karakteristike kompresije uslovljene kretanjem Jadranske mikroploče dokumentovane na granici Dinarida u Panonskom basenu /1/, i Unutrašnjim Dinaridima u Srbiji /2/, /3/. Istraživanja u istočnoj Srbiji pokazuju da lokalno polje napona ima značajni uticaj na recentnu tektoniku: transpresiona tektonika je verovatno uslovljena i položajem rigidne Mezijske platforme, a transtenzionalni tektonski režim vezan je za početak uticaja ekstenzije u Panonskom Basenu /4/.

Potvrde predloženih modela savremenog kretanja litosfere dolaze iz analize rezultata regionalnih GPS merenja kretanja Zemljine kore u poslednjih 25 godina, koja su sve brojnija. Savremeno publikovane analize sve češće, ali ipak nedovoljno, uključuju i podatke ovih merenja koja se na prostoru Srbije odvijaju na ne malom broju lokacija.



Slika 1.

Sledstveno prikazanim opštim odlikama, najintenzivnije deformacije Zemljine kore su u zoni kontakta tektonskih ploča što uključuje i najvišu seizmičnost. Nivo seizmičke aktivnosti, koji se ogleda, kako u frekvenciji zemljotresa tako i u njihovoј jačini, generalno opada udaljavanjem od ovih granica. Tome treba dodati i uslov da je karakter recentnog tektonskog napona i deformacija određen interakcijom opisane dinamike regionalnih geotektonskih ploča i mikroploča i lokalnih elastičnih sila povezanih sa razlikom gravitacione potencijalne energije i heterogenostima u litosferi.

Srbija se nalazi u centralnom prostoru Balkana i svi pobrojani geotektonski oblici konvergencije Afričke i Evroazijske ploče imaju direktni ili indirektni uticaj na aktivnu tektoniku na njenom prostoru a samim tim i na seizmičnost.

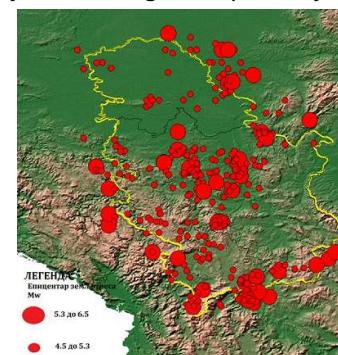
Publikovani rezultati su u velikoj meri međusobno saglasni u modeliranju kretanja kore u regionu /5./, /6/. Vrednosti horizontalnih komponenti kretanja u evroazijskom referentnom sistemu dostižu vrednosti prikazane na slici 1. Na osnovu podataka 31-og GPS mernog mesta u Srbiji, na prostoru Panonskog basena horizontalna kretanja za period od poslednjih 25 godina su bila do 1 mm/godišnje, u centralnim delovima od Kulje do Kopaonika ~ 2 mm/god a južnije do granice sa Makedonijom i 3 mm/god. Pravac kretanja je ka JI. Brzina kretanja narasta na 4-6 mm/god na ostrvima južno od Halkidikija. Uz definisanje vektora brzina horizontalnih kretanja definisane su i apsolutne brzine vertikalnog kretanja. Od generalnog trenda spuštanja terena, odstupa pojas južnog oboda Zapadne Morave (Čačak, Ivanjica, Kruševac) sa izdizanjem od ~ 2mm/god koji se preko Knjaževca pruža dalje u Bugarsku.

Nedvosmisleno je da je celokupna geološka istorija našeg prostora obeležena i događanjima brojnih zemljotresa, ali samo one dogodenе u poslednjih nekoliko hiljada godina možemo da rekonstruišemo posebnim geološkim istraživanjima. Zemljotresi prostora Srbije, su tektonskog porekla pa je njihov raspored tesno vezan sa tektonskom izdeljenošću prostora. Regionalne geotektonске (i u okviru njih manje tektonske) strukture na ovom prostoru, po svom postanku pripadaju različitim generacijama. Za sagledavanje seismogenih

karakteristika, međutim bitne su najmlađe – neotektonske i savremeno aktivne strukture.

### **Seizmička aktivnost**

Katalozi istorijskog perioda teže da predstave seizmičnost prostora što je moguće tačnije i sveobuhvatnije, ali zemljotrese ovog perioda, zbog oskudnih hronoloških zabeležaka na osnovu kojih su locirani, odlikuju mala tačnost položaja epicentra. Pri tome je intenzitet zemljotresa određen na osnovu malog broja i nedovoljno preciznih opisa posledica zemljotresa, a dubina hipocentra najčešće nije ni definisana. Ovi zemljotresi samo doprinose sagledavanju postojanja seizmičke aktivnosti u konkretnom prostoru. Svojim položajem epicentra doprinose izdvajaju žarišnih zona i kvalitativnom definisanju njihovih energetskih potencijala.



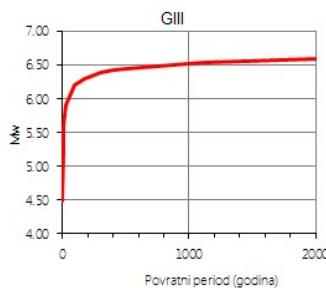
**Slika 2.**

Katalozi ovog sadržaja dominantni su za period pre osnivanja seismološke službe u Srbiji. Veliki broj jakih i za hazard pojedinih velikih gradova ključnih zemljotresa dogodio se u istorijskom periodu (tabela 1).

Od 1893. godine na prostoru Srbije dogodila su se 27 zemljotresa magnitude M>5 . Aktivnost je započela 1893.godine zemljotresom kod Svilajnca da bi se poslednji snažan zemljotres dogodio kod Kraljeva 2010.godine. Kako se jaki zemljotresi nisu događali po čitavoj prostoru ravnomerno, to je prema magnitudama zemljotresa Srbija seizmički nisko do umereno aktivna teritorija. (Slika2) Drugi parametar na osnovu koga se može centri opasnosti od zemljotresa je maksimalna magnituda. Kako je u Srbiji nedovoljno istražena

Година	MW	ТАБЕЛА 1
1436	5.7	Приштина
1521	5.6	Обреновац
1535	6	Врање
1662	5.8	Лешница
1739	5.7	Јагодина
1740	5.2	Фрушка Гора
1893	5.7	Свилајница
1921	5.5	Витомир
1922	5.7	Лазаревац
1927	5.8	Рудник
1980	5.9	Капланци
1998	5.5	Миленије
2010	5.5	Краљево

sezmička aktivnost raseda, u najvećoj meri zbog male tačnosti lociranja zemljotresa sve do 2000. godine, to je vrednost maksimalne magnitude moguće odrediti samo statističkim metodama. U uslovima nepotpunog kataloga adekvatna je primena III Gumbelove raspodele koja se temelji na poznavanju godišnjih maksimuma. Raspodela definisana za zemljotrese sa slike 2 ukazuje da je asimtotska vrednost kojoj magnituda Mw teži za ovaj prostor Mw=6.9. Povratni periodi zemljotresa prikazani su na slici 3, pa je tako za period od 2000 godina očekivana maksimalna magnituda Mw=6.5. Ova vrednost maksimalne magnitude odgovara geodinamici Zemljine kore na prostoru Srbije. Najverovatnija maksimalna godišnja magnituda zemljotresa po modelu III Gumbelove raspodele je Mw=4.1.



Slika 3.

## Sezmički hazard

Sezmički hazard se često definiše kao prirodna pojava (kao što je pomeranje tla, rasedanje ili likvefakcija tla) prouzrokovana zemljotresom. Termin „sezmički hazard“ u inženjerskoj praksi može da se odnosi naročito na jaka pomeranja tla prouzrokovana zemljotresima koja mogu da utiču na projektovane građevine, tako da se analiza sezmičkog hazarda često odnosi na procenu kretanja tla uzrokovanih zemljotresima koji imaju određenu verovatnoću pojave tokom definisanog vremenskog perioda.

U savremenoj seismološkoj praksi se primenjuju dva glavna pristupa za procenu sezmičkog hazarda – **deterministički i probabilistički**. Deterministički pristup je zasnovan na maksimalno mogućem sezmičkom dejstvu koje se definiše i zasniva na poznavanju geometrije i aktivnosti raseda. U regionima kao što je Srbija gde se pojava jakih zemljotresa u prošlosti ne može direktno pripisati aktivnosti pojedinih raseda u Zemljinoj kori, primena ove metode je ograničena na slučajeve inženjerskih struktura. Seizmologija se u značajnoj meri oslanja na

lokacije, magnitude i frekvenciju istorijske sezmičnosti za izradu procene sezmičkog hazarda. U **probabilističkom** pristupu, sezmički hazard se procenjuje u smislu verovatnoće prevazilaženja parametara kretanja tla – makroseizmičkog intenziteta, maksimalnog ubrzanja tla u unapred definisanom vremenskom periodu. Za primenu metode PSHA neophodno je poznavanje kompletног, deklasterizovanog kataloga zemljotresa sa unificiranim magnitudama, izdvojenim seizmotektonskim zonama sa definisanom ponovljivošću zemljotresa u njima. Predikcioni modeli kretanja tla treba da daju odgovor o amplitudama i frekvencijama kretanja tla izazvanih dejstvom zemljotresa na nekoj lokaciji. Konačni efekat zemljotresa na lokaciji će u velikoj meri biti uslovljen geotehničkih osobina lokalnog tla.

Na teritoriji Srbije nivo sezmičkog hazarda je u najvećoj meri određen pojavom lokalnih umerenih i jakih zemljotresa. U centralnoj Srbiji je lociran najveći broj jakih zemljotresa prikazan u tabeli 1 te je tako tu i najviši hazard. Efekti zemljotresa su najveći, zbog uticaja lokalnog tla, u dolinama reka i na strmim padinama planina. U zapadnoj Srbiji hazard kontrolišu lokalni zemljotresi Krupnja, Bajine Bašte i Sjenice sa magnitudama ~ 5. Za Južni deo Panonskog basena postoje samo istorijski podaci o jakim zemljotresima koji su ograničene tačnosti, a i inače sezmička aktivnost u Panonskom basenu je vrlo niska (slika 1). To znači da se jaki zemljotresi javljaju sa dugim povratnim periodima što otežava pouzdano definisanje hazarda. Za prostor istočne Srbije značajni su jaki zemljotresi Vranče. Slična je situacija i sa prostorom jugoistočne Srbije, gde nema jakih lokalnih zemljotresa. Hazard na ovom prostoru ima uzroke u katastrofalnim zemljotresima Bugarske i jakim Makedonije.

Ključni problem u definisanju sezmičkog hazarda na prostoru Srbije je nedovoljna proučenost aktivnosti raseda koja je od naročitog značaja za definisanje opasnosti za naše najveće gradove Beograd, Niš i Novi Sad.

## Literatura

/1/ Bada G., Horvath F., Dovenyi P., Szafian P., Windhoffer G., Cloetingh S. 2007. Present-day stress

field and tectonic inversion in the Pannonian Basin.  
Global and Planetary Change 58: 165 – 180

/2/ Pavlović R., Radovanović S., Glavatović B. 1995. Jaki zemljotresi Kopaonika magnitude  $M \geq 4.2$  II Fokalni mehanizmi zemljotresa Savetovanje "Geologija i metalogenija Kopaonika", 19 – 22. jun 1995. 243 – 256

/3/ Marović M., Đoković I., Pešić L., Radovanović S., Toljić M., Gerzina N. 2002. Neotectonics and seismicity of the southern margin of the Pannonian Basin in Serbia. EGU Stephan Mueller Special Publication Series 3: 277 – 295

/4/ Mladenović A., Trivić B., Antić M., Cvetković V., Pavlović R., Radovanović S., Fuegenschuh B. (2014). The recent fault kinematics in the westernmost part of the Getic nappe system (Eastern Serbia): Evidence from fault slip and focal mechanism data. GEOLOGICA CARPATHICA 2014 65 (2):pp147-161

/5/ Pérouse, E., N. Chamot-Rooke, A. Rabaute, P. Briole, F. Jouanne, I. Georgiev, and D. Dimitrov (2012), Bridging onshore and offshore present-day kinematics of central and eastern Mediterranean: Implications for crustal dynamics and mantle flow, Geochim. Geophys. Geosyst., 13, Q09013,

/6/ Metois M, N. D'Agostino , A. Avallone, N. Chamot-Rooke, A. Rabaute, L. Duni, N. Kuka, R. Koci, and I. Georgiev. Insights on Continental Collisional Processes from GPS Data : Dynamics of the Peri-Adriatic Belts, 2015 · Journal of Geophysical Research: Solid Earth

## Obnova posle zemljotresa: mogućnosti i izazovi

**JELENA PANTELIĆ I**

**BOGDAN SRDANOVIĆ**

Zemljotresi i druge prirodne nepogode, kao što su poplave, požari ili uragani, vrlo često ostavljaju za sobom pravu pustoš ne samo u fizičkom smislu, već na izvestan način značajnije, u životima ljudi prinudjenih da se suoče sa nepogodama i njihovim dugotrajnim posledicama. Velike katastrofe sa stotinama mrtvih i

hiljadama beskućnika, i uništenim proizvodnim kapacitetima su u stanju da zaustave i često unazade razvoj pogodjenih područja do te mere da su nekada potrebne decenije da bi se život vratio u normalni tok. Otuda je dubina značaja za pravovremeno planiranje obnove posle takvih katastrofa izuzetna. Ovaj sažeti pregled proceduralnih elemenata procesa obnove se koncentriše na uopšteni opis tri glavne faze, nekada medjusobno i preklapljene, koje su uočene na istraživanjima medjunarodnih obnova posle prirodnih katastrofa, posebno zemljotresa. Mada se ovde govorи uglavnom o aktivnostima u procesu obnove posle prirodnih nepogoda, ne treba zaboraviti da se najbolji rezultati postižu ako se priprema i planiranje za ove aktivnosti organizuju što ranije ili neposredno posle katastrofe. Aspekti procesa koji ponekad mogu biti mnogo značajniji za uspeh obnove i koji obuhvataju načine na koje se ove aktivnosti organizuju i sprovode, metode odlučivanja o prioritetima i prirodi aktivnosti nisu obuhvaćeni ovim pregledom.

Tri uopštene faze kroz koje prolaze sve krizne aktivnosti uključuju pre svega pružanje prve humanitarne pomoći u spasavanju i zbrinjavanju žrtava, rekonstrukcije fizičke strukture i obnovu društvenih i ekonomskih kapaciteta. Važno je napomenuti da različiti istraživači ove oblasti razvijaju specifične nomenklature ovog procesa. Postoji, međutim, opšteprihvaćeni konsensus o tri široke substantivne faze: one jesu hronološke, ali su ponekad i paralelne ili se i preklapaju u zavisnosti od karakeristika -- ne samo prirodne nepogode/zemljotresa, već i društvenih, političkih i ekonomskih okolnosti date situacije. Faze je moguće definisati po ciljevima i aktivnostima koje vode ostvarivanu tih ciljeva. Ono što ih pak čini posebnim je to što svaka od njih ima specifičan cilj i što zahteva specifične materijalne i organizacione uslove za uspešno ostvarivanje tog cilja.

Svest o izloženosti i ranjivosti jednog područja zemljotresima ili klizištima, na primer, može na mnogo načina da pomogne da se posledice takvih katastrofa umanje. Adekvatna urbanistička, gradjevinska i arhitektonska rešenja su dokazala svoju efikasnost u smanjivanju broja žrtava i materijalne štete u mnogim nesrećama širom sveta. Međutim činjenica je da se i pored svih priprema u nekim slučajevima ozbiljne posledice zemljotresa ne mogu potpuno eliminisati.

Posledice zavise od mnogih faktora kao sto su čisto seizmičke karakteristike zemljotresa, vrsta zemljišta i njegovog ponašanja u zemljotresu odredjenih karakteristika, naseljenost pogodjenih područja, kao i kvalitet izgradnje, ili prethodnog održavanja fizičke strukture.

U prvim trenucima posle svakog zemljotresa ili slične katastrofe, kritični i najvažniji cilj je pretraga ruševina i spasavanje preživelih žrtava kao i zbrinjavanje nastrandalih. U prvoj fazi je izuzetno važno što pre pronaći sve preživele, jer se sa svakim proteklim satom smanjuje verovatnoća preživljavanja zatrpanih žrtava. Aktivnosti u ovom periodu izmedju ostalih, uključuju prvu pomoć, pronalazak i spasavanje preživelih, pružanje osnovnih zdravstvenih usluga i privremeno zbrinjavanje nastrandalih. Veliki broj povredjenih, što nije neuobičajeno u zemljotresima, zahteva brzu i efikasnu zdravstvenu službu, naročito za traumatske povrede, uključujući i različite oblike infekcija. Pružanje psihološke pomoći preživelima koji fizički nisu povredjeni, je od esencijalnog značaja, naročito za one koji su proveli duže vremenske periode izolovani od svojih članova porodica ili su prežивeli druge vrste stresa. Budući da su i bolnice i zdravstvene ustanove uopšte često takodje onesposobljene potrebno je organizovati prostor za trijažu, službu za evakuaciju najteže povredjenih, hitnu pomoć i smeštaj žrtava. U mnogim slučajevima su i transportni sistemi ostećeni, pa je organizacija dostave opreme i zaliha jedan od najvažnijih ciljeva u periodu neposredno posle zemljotresa. Osim tretmana za povredjene u ovoj inicijalnoj fazi potrebno je obezbediti i osnovne uslove za bezbedan život nastrandalih koji ne zahtevaju hitne zdravstvene usluge. Vrlo su česti slučajevi da loš smeštaj, nedostatak vode za piće i sanitарне potrebe, neadekvatno skladištenje kvarljive hrane i druge robe prouzrokuju sekundarne zdravstvene probleme koji mogu da opterete ionako prepregnuti zdravstveni sistem. Budući da velikim katastrofama pomoć stiže sa raznih strana, koordinacija raznih sistema je od kritične važnosti za efikasnost i uspeh aktivnosti u prvom periodu: izbeći preopterećenje transportnih sistema, komunikacije, opterećenje skladištenja, ili dupliranje zadataka koje pomaže izbegavanju neadekvatnom korišćenju materijalnih sredstava, usporavanju pomoći i otežanju pružanja pomoći ljudima koji su izgubili svoje domove. Dragoceno

medjunarodno iskustvo stečeno tokom dugotrajnih i skupih društvenih promašaja takodje ukazuje da potrebno je početi sa rekonstrukcijom stalnih domova (kuća, stanova) sto je pre moguće, i tako izbeći skupa privremena i seizmički nesigurna stambena rešenja.

U narednoj fazi obnove postradalog područja pažnja se obično prebacuje sa privremenih i hitnih, na trajna tj. dugoročna rešenja. U ovoj fazi najvažniji ciljevi su rekonstrukcija ostećenih kritičnih objekata i infrastrukture i uspostavljanje redovnog snabdevanja električnom strujom i gorivom, kao i normalizacija saobraćaja i drugih oblika komunikacija. Najobimniji i najteži zadatak u ovoj fazi je nastavak rekonstrukcije stambenih kapaciteta – ukoliko je taj započet u prethodnom periodu kao sto je gore naznačeno kao preferentni cilj. Na vrhu prioriteta rekonstrukcije svih objekata se nalazi smanjivanje rizika od budućih zemljotresa što sa sobom u mnogim društвимa donosi mnoge promene u urbanističkoj i gradjevinskoj praksi, ali i u mnogim drugim aspektima ekonomskog i društvenog života. Iako se poremećeni životi postradalih postepeno stabilizuju u ovom periodu, oni su još daleko od normalnog. Rekonstrukcija ostećenih i izgradnja novih stambenih objekata su jedan od najvažnijih ciljeva u ovoj fazi, ali i jedan od najozbiljnijih problema sa kojim se društvo suočava u procesu obnove. Tehnički i urbanistički prioriteti vezani za smanjivanje rizika zajedno sa novim tehnološkim rešenjima vrlo često dolaze u konflikt sa potrebama i željama postradalih. Rekonstrukcija stambenih naselja nikada nije samo urbanistički ili gradjevinski problem zato što je u stanju da trajno poremeti ekonomski, socijalni i kulturni opstanak zajednica nastrandalih u zemljotresu. Da bi rešenja bila dugotrajna i zaista prihvaćena od strane postradalih potrebna je prava participacija svih ugroženih u procesu planiranja.

Rehabilitacija ekonomskog života, ili srž treće faze obnove, je usko povezana i često se odvija paralelno sa rekonstrukcijom fizičke strukture. Ciljevi ove faze su mnogo sveobuhvatniji i osim rehabilitacije ekonomskog života, tiču se i planova za razvoj i reintegraciju postradalog područja u produktivni život ostatka zemlje. Medjunarodna iskustva stečena u procesu obnova posle zemljotresa su neiscrpan izvor ideja o načinu za unapredjenje službi za hitne intervencije, otpornosti i održivosti kritične

infrastrukture i društvenih sistema i drugih službi za organizaciju i vodjenje obnove. Ovo je takođe prilika, istina vremenski i novčano zahtevna ali isplativa, da se u sve razvojne planove uključe i aspekti smanjivanja rizika i pripravnosti za eventualne buduće zemljotrese i/ili druge povezane prirodne nedaće. Sve relevantne oblasti društvenog razvoja moraju da učestvuju u planiranju ovih kompleksnih planova. Dugoročno, ovakvi koraci su od velike društvene koristi, jer unapred grade fizičku strukturu otpornu na zemljotrese.

Ovaj uopšteni pregled obnova posle zemljotresa je relevantan za slobodno se može reći sve seizmičke oblasti/države zainteresovane za smanjivanje broja žrtava, povredjenih, kao i oštećenja i/ili rušenja stambenih i privrednih objekata, i kritične infrastrukture. Kako za Meksiko, Indiju ili Jermeniju, ovi kriterijumi obnove (i pripreme) su od značaja i za Srbiju. Mada kod nas zemljotresi nisu tako česta i drastična pojava kao recimo u Japanu, oni zbog različitih okolnosti dovode i do smrtnih slučajeva, povreda, oštećenja objekata. Upravo zbog relativno smanjenog rizika u odnosu na druge gore-pomenute zemlje, konsistentna ulaganja u nepričuvanu primenu gradjevinskih propisa, obrazovanje mladih stručnjaka i negovanje zajedničkih moralnih vrednosti različitih struka koje doprinose sigurnosti fizičke strukture društva u dinamičnom razvoju, nemaju alternativu ishitrenim rešenjima ili brzoj gradnji nauštrb sigurnosti.

## Procena seizmičke sigurnosti i seizmičko ojačanje postojećih zgrada

### **SVETLANA NIKOLIĆ-BRZEV**

Seizmička sigurnost postojećih zgrada, pogotovu starijih betonskih i nearmiranih zidanih objekata, je tema od velikog značaja za svaku zemlju sa seizmičkim hazardom, jer su takve zgrade pretrpele značajna oštećenja u prošlim zemljotresima u svetu i prouzrokovale puno ljudskih žrtava. Postoji nekoliko razloga za seizmičku povredljivost postojećih betonskih zgrada, kao sto su loš kvalitet gradjenja i

mogućnost da u fazi projektovanja ili izvodjenja nisu bili predviđeni konstruktivni detalji neophodni za duktilno ponašanje zgrade u toku zemljotresa. Pored toga, neki od betonskih konstruktivnih sistema, npr. betonski okviri sa zidanom ispunom, su prouzrokovali značajne ljudske i materijalne gubitke u mnogim zemljotresima /1/.

Zemljotresno inženjerstvo je relativno mlada disciplina koja se razvija putem istraživanja i primene u praksi, a i na osnovu posmatranja i analize zgrada oštećenih u prošlim zemljotresima. U tom procesu se menjaju i seizmički propisi, tako da većina starijih postojećih objekata ne zadovoljava zahteve savremenih propisa (to vazi za većinu zemalja u svetu). Što se tiče nearmiranih zidanih zgrada, uzroci seizmičke povredljivosti i oštećenja u zemljotresima leže u prirodi nearmirane zidarije kao tehnologije gradjenja koja je po svojoj prirodi povredljiva na dejstvo zemljotresa, zbog toga što je zatezna čvrstoća zidarije zanemarljivo mala. To uglavnom nije problem kada je zgrada izložena gravitacionim opterećenjima pa cak i bočnim opterećenjima usled vetra. Međutim, naponi zatezanja u zidovima zidanih zgrada lako prekorače zateznu čvrstoću usled dejstva i manjih zemljotresa i dolazi do otvaranja pukotina. Osim toga, starije zidane zgrade su uglavnom teške zbog zidova veće debljine, koji nažalost nisu medjusobno povezani pa usled toga dolazi do rušenja pojedinačnih zidova, pogotovo u slučaju zgrada sa drvenim tavanicama. Zemljotres u Kraljevu 2010-e godine je potvrdio seizmičku povredljivost nearminarnih zidanih zgrada usled zemljotresa niskog intenziteta.

U zemljama sa značajnim seizmičkim rizikom i relativno čestim zemljotresima, npr. SAD, inicijative za ojačanje nearmiranih zidanih zgrada pokrenute su 1930-tih godina posle zemljotresa u Santa Barbari u Kaliforniji. Skole od nearmirane zidarije su pretrpele značajna oštećenja u tom zemljotresu, pa je lokalna vlast donela odluku da se zabrani upotreba nearmirane zidarije za izgradnju škola u Kaliforniji. Nekoliko godina kasnije (1939-e godine), doneta je odluka da se postojeće zgrade škola od nearmirane zidarije u Kaliforniji ojačaju za dejstvo zemljotresa. U Los Andjelesu (Kalifornija) je 1949-e godine lokalna vlast donela zakon za obavezno seizmičko ojačanje parapeta kao nekonstruktivnih elemenata zgrada. Američki zakonodavci su još tada shvatili da je važno

postaviti prioritete kada je u pitanju seizmičko ojačanje zgrada, i sprečiti oštećenja onih elemenata koji mogu da izazovu najveću opasnost u pogledu sigurnosti građana. Kao rezultat ovakvih dugogodišnjih aktivnosti na polju zaštite postojećih objekata od zemljotresa, materijalna šteta u zgradama koje su bile seizmički ojačane je bila zanemarajuća i posle relativno jakih kalifornijskih zemljotresa kao što je Norridge zemljotres (1994, magnituda 6.7) /2/.

Trenutno u svetu postoji više propisa za procenu seizmičke sigurnosti i ojačanje postojećih zgrada u više zemalja i regionala. U zemljama Evropske Zajednice se proteklih 20 godina primenjuje Evrokod 8, koji se odnosi na seizmičko projektovanje novih zgrada (deo 1), kao i za procenu seizmičke sigurnosti postojećih zgrada (deo 3) /3/. Propisi za procenu seizmičke sigurnosti i ojačanje postojećih zgrada su u SAD prvi put izdati 2006-e godine, a važeća verzija tih propisa je izdata 2014-e godine (ASCE/SEI 41-13)/4/. Američki propisi su zasnovani na publikaciji FEMA 356 koju je 2000-e godine izdala američka Nacionalna agencija za upravljanje kriznim situacijama (FEMA) /5/. I evropski i američki seizmički propisi za postojeće zgrade se zasnivaju na konceptu ciljanog seizmičkog ponašanja (performance-based seismic design).

Evropski propisi /3/ identifikuju različita granična stanja (limit states) za postojeću konstrukciju, kao sto su ograničena oštećenja (Damage Limitation - DL), značajna oštećenja (Significant Damage - SD), i granica rušenja (Near Collapse - NC). Sigurnost postojeće konstrukcije za svako od ovih graničnih stanja treba da se verifikuje za različite nivo (intenzitet) zemljotresa. Na primer, DL granično stanje se proverava za zemljotres sa relativno malim povratnim periodom (225 godina), sto odgovara verovatnoći prekoračenja od 20% u toku 50 godina, za razliku od CP graničnog stanja koje se verifikuje za zemljotres sa povratnim periodom od 2,475 godina, što odgovara odgovarajućoj verovatnoći prekoračenja od 2% u toku 50 godina.

Ovakav koncept za procenu seizmičke sigurnosti postojećih zgrada se može racionalno primeniti u praksi uz pomoć nelinearne statičke analize (pushover analysis). Pokazalo se da elastična analiza (statička i dinamička) imaju ograničenja zbog toga što je procena seizmičke sigurnosti zasnovana na uporedjenju

unutrašnjih seizmičkih sila u konstruktivnim elementima sa kapacitetom tih elemenata za dejstva, kao što su smicanje ili savijanje. Takav pristup (force-based approach ili strength-based approach) u prošlosti bio prihvacen u internacionalnim propisima kao osnovni pristup za seizmičko projektovanje novih zgrada, ali ne omogućava realističnu procenu graničnih stanja kod postojećih zgrada (DL, SD, ili NC) u smislu deformacija i stepena oštećenja. Postoji više izazova u vezi primene evropskih seizmičkih propisa za postojeće zgrade, kao što su nedovoljno poznavanje koncepta i primene nelinearne seizmičke analize, nedostatak komentara propisa koji objašnjava racionalnu osnovu za pojedine zahteve, kao i nedovoljna tehnička literatura na srpskom jeziku. Na sreću, postoji literatura na engleskom jeziku /6/.

Pitanje je u kojim situacijama treba ojačavati postojeće zgrade na dejstvo zemljotresa, i do koje mera. U većini zemalja seizmičko ojačanje postojećih zgrada koje nisu oštećene posle zemljotresa nije obavezno, već je pitanje dobrovoljne odluke vlasnika zgrade, koji u većini slučajeva snosi troškove projektovanja i izvodjenja ojačanja. U mnogim zemljama seizmički propisi nalažu da je seizmičko ojačanje postojeće zgrade neophodno ili u slučaju kada se zgrada nadogradjuje ili renovira, i usled toga se povećava tezina za vise od 10 %, ili se planiraju značajne promene u konstruktivnim elementima sistema za prijem seizmičkih sila. U svetu se primenjuju različiti kriterijumi za ojačanje. U nekim zemljama se ne očekuje da ojačana zgrada ima istu seizmičku sigurnost kao nove zgrade, i propisi nalažu specifična očekivanja u pogledu ponašanja (npr. Evrokod 8, deo 3 kao što je pomenuto ranije u ovom članku). U nekim zemljama, npr. Indija /7/, seizmički propisi predlažu umanjenje nivoa seizmičkog opterećenja za postojeće zgrade u zavisnosti od njihove starosti i preostalog korisnog veka.

Kada se donosi odluka o ojačanju postojeće zgrade, cena koštanja ojačanja se upoređuje sa cenom rekonstrukcije (zamene) objekta. Smatra se da treba razmotriti rekonstrukciju kao alternativu za ojačanje kada cena seizmičkog ojačanja prelazi 50% od cene rekonstrukcije. Pored cene, u procesu donošenja odluke u vezi seizmičkog ojačanja se uzima u obzir i stepen seizmičke povredljivosti, istorijska vrednost zgrade, trenutna namena zgrade (npr. škola, bolnica,

itd.), starost, lokacija (da li se zgrada nalazi u okviru gusto naseljenog gradskog jezgra ili izdvojena npr. u seoskoj sredini), itd.

Postoji značajan broj propisa i preporuka koje daju smernice za seizmičko ojačanje zgrada i specifične pristupe i tehnike ojačanja u zavisnosti od materijala (zidarija, beton, čelik) i konstruktivnog sistema. UNIDO /8/ je objavio jednu od prvih publikacija na ovu temu, koja je bila zasnovana na iskustvima balkanskih zemalja, uključujući i bivšu SFRJ, posle zemljotresa koji su pogodili ovaj region 1970-tih godina. U SAD, gde postoji duga istorija primene seizmičkog ojačanja u praksi, FEMA je objavila nekoliko publikacija na tu temu, a najaktuelnija je FEMA 547 /9/. Sadašnji Evrokod 8 (deo 3) /3/ sadrži informativne anekse na temu seizmičkog ojačanja betonskih, čeličnih, i zidanih zgrada, koji sadrže principe projektovanja različitih tehniki ojačanja.

Mnoge tehnike seizmičkog ojačanja su proučene putem eksperimentalnih istraživanja i na taj način se potvrdila njihova efikasnost, uključujući i značajna ispitivanja tehnika ojačanja zidanih zgrada u susednim zemljama na teritoriji bivše SFRJ, kao sto su Slovenija /10/ i Makedonija, gde su istraživači iz IZIIS-a izveli nekoliko eksperimentalnih istraživanja iz ove oblasti u poslednjih 30 godina. Jednako značajna su iskustva stečena putem zemljotresa (npr. novozelandski zemljotres iz 2011-e godine), koja ukazuju i na efektne tehnike ojačanja i na one koje se nisu pokazale uspešnim /11/.

Iako Srbija po nivou seizmičkog hazarda ne može da se uporedi sa SAD i evropskim zemljama u regionu (kao sto su npr. Grčka ili Italija), neophodno je da se vodi računa o seizmičkoj sigurnosti postojećih zgrada. Treba da postoji svest o tome medju stanovništvom u trusnim područjima, a neophodno je i da postoje informacije o osnovnim merama seizmičkog ojačanja koje su predstavljene na način koji je razumljiv za osobe koje nemaju tehničko obrazovanje. SUZI uz pomoć svojih članova može da pomogne u pripremi informacija i materijala za ovu svrhu. Pored toga, postoji potreba i da se inženjerski kadrovi u Srbiji obuče i za procenu sigurnosti i projektovanje seizmičkog ojačanja zgrada i pre i posle zemljotresa.

## Literatura

- /1/ Murty, C.V.R, Brzev, S., Faison, H., Comartin,C.D., and Irfanoglu,A. (2006). At Risk: The Seismic Performance of Reinforced Concrete Frame Buildings with Masonry Infills. World Housing Encyclopedia, Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, California, U.S.A., Publication WHE-2006-03, 70 pp. ([www.world-housing.net/tutorials/reinforced-concrete-tutorials](http://www.world-housing.net/tutorials/reinforced-concrete-tutorials)).
- /2/ NIST (1997). Development of Procedures to Enhance the Performance of Rehabilitated URM Buildings, Building and Fire Research Laboratory, National Institute of Standards and Technology, Report NIST GCR 97-724-1, Gaithersburg, Maryland, USA ([www.nist.gov/publications/appendices-development-procedures-enhance-performance-rehabilitated-urm-buildings](http://www.nist.gov/publications/appendices-development-procedures-enhance-performance-rehabilitated-urm-buildings)).
- /3/ EN 1998-3:2005 (2005). Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 3: Assessment and retrofitting of buildings and bridges. European Committee for Standardization, Brussels, Belgium.
- /4/ ASCE/SEI (2014). Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Buildings. ASCE standard ASCE/SEI 41-13, American Society of Civil Engineers, Reston, VA, USA.
- /5/ FEMA (2000). Prestandard and Commentary for the Seismic Rehabilitation of Buildings (FEMA 356). Washington D.C., USA ([www.fema.gov/media-library-data/20130726-1444-20490-5925/fema\\_356.pdf](http://www.fema.gov/media-library-data/20130726-1444-20490-5925/fema_356.pdf)).
- /6/ Fardis, M. (2009). Seismic Design, Assessment and Retrofitting of Concrete Buildings: Based on EN-Eurocode 8, Springer, Dordrecht, Germany.
- /7/ BIS (2013). IS 15988:2013 Indian Standard Seismic Evaluation and Strengthening of Existing Reinforced Concrete Buildings — Guidelines. Bureau of Indian Standards, New Delhi, India (<https://archive.org/details/gov.in.is.15988.2013>).
- /8/ UNIDO (1983). Building Construction Under Seismic Conditions in the Balkan Region: Repair and Strengthening of Reinforced Concrete, Stone and Brick Masonry Buildings, Vol.5, First Edition, United Nations Industrial Development Programme, Vienna, 231 pp.

- /9/ FEMA (2006). Techniques for the Seismic Rehabilitation of Existing Buildings (FEMA 547). Federal Emergency Management Agency, Washington D.C., USA. ([www.fema.gov/media-library-data/20130726-1554-20490-7382/fema547.pdf](http://www.fema.gov/media-library-data/20130726-1554-20490-7382/fema547.pdf))
- /10/ Tomažević, M. (1999). Earthquake-Resistant Design of Masonry Buildings, Imperial College Press, London, U.K.
- /11/ Ingham, J. And Griffith, M. (2011). The Performance of Earthquake Strengthened URM Buildings in the Christchurch CBD in the 22 February 2011 Earthquake, Addendum Report to the Royal Commission of Inquiry, New Zealand (<http://canterbury.royalcommission.govt.nz/documents-by-key/20111026.569>).

## **Seizmički proračun građevinskih objekata u Srbiji - Stanje i praksa**

**RATKO SALATIĆ**

Teritorija Republike Srbije se nalazi u seizmički aktivnom području. To je činjenica, iako nije toliko društveno aktuelna, pa se zaboravlja na nivou svakodnevnih aktivnosti. Činjenica je, na sreću, što su se na našem području relativno retko javljala seizmička dejstva usled zemljotresa, koji su značajnog intenziteta. Mali je broj ljudi koji su živi svedoci dogodenih zemljotresa sa katastrofalnim posledicama u Skoplju, Banja Luci, Crnoj Gori... Skoro na svim nivoima društva ne postoji svest o mogućem jakom zemljotresnom događaju, koji bi značajno poremetio svakodnevnicu. Pretpostavlja se da o tome brine neko drugi, država, kompetentni i stručni ljudi društveno priznati da obezbede da uticaj zemljotresa nema značajne posledice. Da li je to tako ...

Detaljnijom analizom stanja i prakse u projektovanju i izvođenju građevinskih objekata može se utvrditi da stanje, kao i praksa, nisu zadovoljavajući, a kritički strože ocenjujući može se reći da teži zabrinjavajućem. Smatram, da je bolje da budemo u stanju i povećane opreznosti, nego da neki zemljotresni događaj nepobitno utvrdi pravo stanje.

Jer, kako je naš čuveni akademik profesor Đorđe Lazarević rekao "zemljotres je najbolji građevinski inspektor". On za veoma kratko vreme proveri stanje velikog broja naših građevina. Nakon jačeg zemljotresa jednostavno je dati ocenu da li je neki objekat dobro isprojektovan i dobro izведен, odnosno za svako oštećenje ili rušenje može se jednostavno ustanoviti ko nije ispunio svoj zadatak prema pravilima struke.

Duštvena svest o značaju zemljotresa naglo se probudila nakon razornog zemljotresa u Skoplju 1963. godine. Značaj dogodenog zemljotresa u Skoplju je i širi, jer je nakon tog događaja prvi put uvedena tehnička regulativa koja se bavi seizmičkim proračunom. Aktuelnost zemljotresnog inženjerstva kako u stručnoj javnosti tako i u stanovništvu i administraciji postepeno je opadala sve do zemljotresa u Banja Luci (1969) i Crnoj Gori (1979). Zemljotresi na Kopaoniku, Mionici i Kraljevu nisu bili dovoljni da se u Srbiji zemljotresima posveti neophodna pažnja u svim segmentima društva.

Burna sociološko politička dešavanja u Srbiji poslednje skoro tri decenije su direktno uticala na građevinski sektor. Osvrnućemo se samo deo koji je direktno vezan za seizmički proračun. Na stanje su pre svega uticale sankcije, ekonomski kriza, slabljenje državnih institucija, nedosledno uvođenje Bolonjske deklaracije... U tom periodu javila se pojava masovnog nadziranja, kao ekonomski odgovor na krizu i gradnju novih stambenih jedinica. Nadziranje, kao zaraza, podržana raznoraznim investitorima je paradigma šta su sve građevinski inženjeri „prugutali“. Interesantno je koliko je veliki broj diplomiranih građevinskih inženjera direktno uključen svojim potpisom u nestručne i nelegalne radnje. Očigledno nepoštujući samo dva člana važećeg pravilnika, sa nekoliko jasnih i jednostavnih odredbi koje se odnose na nadziranje, napravljene su brojne rizične konstrukcije nadogradnje. Projektanti su se uporno upinjali da kombinuju proračun težine novodograđenih etaža, kako bi bio manji od 10% postojećeg objekta. Nakon toga zaključuje se da nije potrebna provera na seizmičko opterećenje, odnosno jasnije rečeno nema potrebe za ojačanjima. Ili još jasnije, dobija se manja vrednost investicionih ulaganja, projektanti su zaboravljajući struku podlegli zahtevima investitora.



**Primer nadzidivanja pred kraj XX veka (Beograd)**

Nakon dugotrajnog zatišja u investicijama u građevinskom sektoru, dolazi mali bum od 2003. do 2007. godine i još jedan od 2012. do 2018. (još traje) kada se značajno povećala gradnja objekata. Jasno se uočavaju dve vrste investitora: veliki i mali. Mali investitori, koji konstantno hodaju po ivici svog "cash flow-a", štede na svakoj uzengiji, projektante tretiraju kao običnog zanatliju angažovanog na dnevnicu, koji skoro bezuslovno treba da ispunji njihove zahteve. Čast našim kolegama, izuzecima, koji su imali snage da se izbore sa raznoraznim pritiscima, ali bilo ih je veoma malo. Komentari se pre svega odnose na izgradnju glavnog građevinskog fonda, a ne na pojedinačne značajne konstrukcije.

Druga vrsta investitora je veoma zahtevna prema inženjerskoj struci, angažovani su ozbiljniji projektantski timovi, rokovi za projektovanje su krajnje nerealni, prepusta se ceo proračun softverskim paketima kako bi se ispunio taj zahtev. I sve to se završava bez posledica, ako je u pitanju standardna regularna konstrukcija i naravno ako nije bilo značajnog podrhtavanja tla. Loša praksa je dokazala da u velikom broju slučajeva i nema neke potrebe za posebnim seizmičkim proračunom za niže i manje objekte. Da to baš nije tako pokazao je zemljotres u Mionici. Srušili su se ili su bili značajno oštećeni mali porodični objekti. Problem je što je među njima bilo i previše objekata koji su izgrađeni desetinu godina pre zemljotresa. Mionički građevinski inspektor je ustanovio alarmantan nedostatak poprečne armature i neregularno nastavljanje armature, nedovoljne

zaštitne slojeve. Ako je to olakšavajuća okolnost za struku, veliki broj oštećenih objekata je bio nelegalan, bez učešća inženjerske struke. Međutim, sigurno se može reći da zanatlije nisu savladale praksu izvođenja, čak ni prizemnih objekata u seizmički aktivnim područjima. A država je solidarno nadoknadila štetu svima, nekima više ili previše, a nekima pomalo.

Važeći aktuelan Pravilnik o tehničkim normativima za izgradnju objekata visokogradnje u seizmičkim područjima (1981) je star i prevaziđen. Načelne odredbe, ne osporavajući njihovu tačnost, su nedorečene i nepogodne za primenu u inženjerskoj praksi. Projektanti su imali problema pri primeni opštih principa, jer nisu date procedure i kriterijumi za proveru definisanih načela. Posledica je da se seizmički proračun veoma često radi "pro forma" da bi tehnička dokumentacija bila kompletan. Primenuju se računarski programi koji "odrade" kompletan proračun, a problem "crne kutije" postaje evidentan. Kombinuju se pravilnici, a tehničkim kontrolama je najjednostavnije da budu potpuno formalne. Projektanti se ne snalaze. Propisi se parcijalno primenuju, što je veliki problem u suštinskom poznavanju seizmičkog proračuna i ponašanja konstrukcija pri dejstvu zemljotresa. Pored svega navedenog, ne bi smela da se zaboravi ni izrada mikroseizmičkih rejonizacija, koja se neretko, izrađuje bez ikakvih geofizičkih istraživanja. Na taj način se u potpunosti obesmišljava izrada tako važnog elaborata za seizmički proračun.

Već duži niz godina očekuju se novi propisi, tj. primena Evrokoda 8 (EC8). Previše dugo smo na pragu EC8, čekaju nas desetine knjiga sa velikim brojem odredbi. Ostaje zadatak kako to da savladamo i prilagodimo našoj konkretnoj praksi. Dva su bitna aspekta pri zvaničnom uvođenju Evrokoda 8 kao važećeg pravilnika: prihvatanje suštine (ciljeva) odredaba normativa i praktična primena u proračunima.

Iako ne postoji egzaktan pregled situacije stanja u Srbiji u projektovanju i izvođenju aseizmičkih objekata, utisak je da postoji dosta prostora za napredovanje i poboljšanje. Pored toga nephodno je brinuti o nivou svesti u stanovništvu, administraciji, medijima i dr. Jer zemljotres je pojava koja dotiče celo društvo, a ne pojedinično neke segmente. U takvim

okolnostima Srpsko udruženje za zemljotresno inženjerstvo ima svoju misiju. Sada je pravi (još ne zakasneli) trenutak da počnemo sa podizanjem svesti o zemljotresnim događajima, definisanjem seizmičkog hazarda u Srbiji, metodologijama za procenu seizmičke otpornosti, metodologijama za povećanje seizmičke otpornosti postojećih objekata, implementaciju novih tehničkih propisa, itd.

## Trendovi u zemljotresnom inženjerstvu

### **Božidar Stojadinović**

Zemljotresno inženjerstvo je počelo kada su posle zemljotresa u Mesini 1908-e godine, u Tokiju 1923-e godine i u Long Beach-u 1933-e godine inženjeri počeli da projektuju konstrukcije za prijem bočnog opterećenja, zadatog kao procenat tezine konstrukcije. Vrednosti od 10% tezine se pojavljuju u propisima iz 1930-tih godina. Od tada do danas, zemljotresno inženjerstvo, koje podrazumeva razumevanje pobude izazvane pomeranjem tla, dinamiku tako opterećenih konstrukcija, metode za proračun uticaja, postavljanja kriterijuma za procenu i projektovanje sistema, elemenata i detalja konstrukcija otpornih na zemljotrese, se razvijalo velikom brzinom. Danas, to je možda najdinamičnija grana gradjevinske struke fokusirana na konstrukcije, ne samo zbog izuzetnih gradjevina (vrlo visokih zgrada, mostova velike važnosti i nuklearnih elektrana u seizmički najaktivnijim delovima zemljine kugle) nego i zbog upotrebe najnovijih naučnih saznanja iz seismologije, geologije, teorije verovatnoće, mehanike, numeričkog modeliranja, nauke o materijalima, i na kraju, ali možda najvažnije, gradjevinske nauke posvećene razvoju novih konstrukcija i konstruktivnih elemenata, i načina njihovog projektovanja. Naglasio bih tri pravca:

**1. Seizmičko projektovanje konstrukcija prema ciljanim ponašanjima** (performance-based seismic design). Moderno zemljotresno inženjerstvo prelazi iz domena projektovanja protiv rušenja konstrukcija na projektovanje konstrukcija sposobnih da zadovolje nekoliko ciljnih ponašanja u isto vreme ili u nizu. Tipični primeri su projektni zadaci gde se pored

sprečavanja pada konstrukcije inženjer trudi da umanji štetu i skrati vreme popravki, ne samo za zemljotrese projektnog nivoa, nego i za manje zemljotrese koji mogu da pogode konstrukciju nekoliko puta tokom njenog veka trajanja. Ovakav metod projektovanja je direktna posledica poboljšanja projektovanja i izgradnje konstrukcija tokom 1970-tih i 1980-tih: rušenje modernih (i poštено izgradjenih) zgrada je veoma retko. Ali, projektovanje protiv rušenja, karakterisano razvojem ciljanih plastičnih mehanizama i disipacijom energije zemljotresa u elementima konstrukcije, dovodi do velikih oštećenja, dugotrajnih i skupih popravki, i sve većih ekonomskih gubitaka. Smanjenje ekonomskih gubitaka, uz istovremeno sprečavanje ljudskih žrtava, je osnovna ideja-vodilja modernog zemljotresnog inženjerstva.

Seizmičko projektovanje prema ciljanim ponašanjima zahteva razvoj novih i modifikaciju starih metoda za procenu opasnosti od zemljotresa, analize konstrukcija i projektnih rešenja. Možda najvažnija promena jeste prelaz sa determinističkog na probabilistički pristup projektovanju. Primer projektnog zadatka je: ostvariti da cena popravki zgrade u datom seizmičkom okruženju bude manja od 100 Evra po kvadratnom metru sa verovatnoćom manjom od 10% u bilo kom 50-godisnjem periodu i sa pouzdanošću od 90%. Da bi inženjeri mogli da projektuju prema ovakvim projektnim zadacima, značajni pomaci su napravljeni u tri oblasti. Prvo, probabilistička procena opasnosti od zemljotresa je značajno poboljšana, i sto se tiče tačnosti, i sto se tiče mera intenziteta potencijalnih zemljotresa. Baza podataka za Evropu je razvijena u okviru projekta SHARE i nalazi se na EFEHR portalu <http://www.efehr.org/en/home/>. Drugo, metode i programi za numeričko modeliranje i analizu nelinearnog dinamičkog odgovora konstrukcija su unapredjene toliko da omogućuju brze i tačne nelinearne analize odgovora za stotine zemljotresnih zapisa i statističku obradu rezultata. Na primer, inkrementalna dinamička analiza ([https://en.wikipedia.org/wiki/Incremental\\_dynamic\\_analysis](https://en.wikipedia.org/wiki/Incremental_dynamic_analysis)) je danas jedna od najviše upotrebljivanih metoda, a OpenSees je jedan od najboljih programa za modeliranje i nelinearnu dinamičku analizu konstrukcija (<http://opensees.berkeley.edu/index.php>). Treće, procena cene i trajanja popravki je omogućena

produženjem koncepta krive povredljivosti i proračunom uslovnih verovatnoća za ove vazne parametre. Pogledajte rezultate projekta FEMA P-58 na <https://www.fema.gov/media-library/assets/documents/90380>. Dobra uputstva za projektovanje da bi se ostvarila ciljana ponašanja su, u poslednjih nekoliko godina, razvijena za visoke zgrade: <http://peer.berkeley.edu/tbi/>.

**2. Razvoj konstrukcija otpornih na zemljotresna oštećenja** (damage-tolerant structures). Konstrukcija koje može da pretrpi bilo koji zemljotres bez oštećenja je cilj svakog projekta. Tehnologije koje to omogućavaju, kao seizmička izolacija korišćenjem gumenih ili kliznih ležišta, i kontrola disipacije energije zemljotresa raznim absorberima strateški postavljenim u konstrukciju, su se pokazale kao vrlo uspešne i dostigle su upotrebnu zrelost. I pored toga, potraga za još boljim konstruktivnim rešenjima i dalje traje! Istraživanja upotrebljivosti novih materijala (naročito onih baziranih na ugljeniku zbog velike otpornosti), i kombinacije novih i starih materijala (npr. kompoziti drveta i betona, koji imaju malu tezinu i veliku duktilnost) ukazuju na velike potencijale. Ubrzanje gradnje korišćenjem prefabrikovanih konstruktivnih elemenata dovelo je do intenzivne primerne prednapregnutih konstruktivnih sistema za seizmički otporne konstrukcije (ne samo za betonske, već i za čelične i drvene) i prave renesanse u razvoju konstrukcija koje nisu vezane za svoje temelje već mogu da se odignu i klate tokom zemljotresa.

**3. Bolje razumevanje ponašanja postojećih konstrukcija.** Gledajući naselje kao skup konstrukcija daje potpuno drugačiju sliku o stanju zemljotresnog rizika nego pogled projektanta na planove jedne nove konstrukcije. Izgradjeni inventar jednog naselja sadrži zgrade iz nekoliko era projektovanja, sa raznim nedostacima, zgrade koje su dogradjivane i renovirane, kao i zgrade koje uopšte nisu projektovane na zemljotrese. Takvih zgrada ima mnogo vise (obično vise od 80%) nego modernih zgrada koje zadovoljavaju najstrožije standarde. To, na žalost, znaci da nivo zemljotresnog rizika za jedno naselje mnogo vise zavisi od ponašanja postojećih konstrukcija nego od bilo kog drugog faktora. Dakle, nije nikakvo čudo sto je veliki deo modernog zemljotresnog inženjerstva usmeren na razumevanje ponašanja postojećih konstrukcija, pogotovo

nearmiranih zidanih zgrada od cigle i kamena, jer takve zgrade u Evropi i Srbiji predstavljaju najveći deo inventara. Podaci o ponašanju takvih zgrada tokom zemljotresa se kombinuju sa podacima dobijenim sa instrumentiranim zgradama i odgovorima dobijenim iz laboratorijskih testova i numeričkih analiza da bi se sto tačnije izračunale uslovne verovatnoće određenih tipova ponašanja (krive povredljivosti) i procenila mogućnost da postojeće zgrade izdrže nove zemljotrese. Rad na postojećim zgradama se tu ne završava: razvoj metoda za poboljšanje seizmičkog ponašanja postojećih konstrukcija će ostati vrlo važan deo zemljotresnog inženjerstva jer će promena strukture inventara konstrukcija sa stanovišta zemljotresnog rizika trajati decenijama, ako ne i vekovima.

Veliki napredak je ostvaren brzim transferom dobrih rezultata naučnih istraživanja u praksu. Moderni zemljotresni propisi (ASCE 7-16 za nove zgrade i ASCE 41-17 za postojeće zgrade) su razvijeni iz serije pred-propisa kao sto su FEMA P-1050 (<https://www.fema.gov/media-library/assets/documents/107646>) za nove konstrukcije. U Evropi, razvoj Evrokoda 8 je značajno sporiji. Na sreću, nove verzije svih Evrokodova se očekuju posle 2020-e godine.

Ovaj kratak prilog nije sveobuhvatan prikaz stanja u zemljotresnom inženjerstvu. Mnogo toga interesantnog i važnog ćemo videti ove godine na 16-oj konferenciji Evropskog udruženja za zemljotresno inženjerstvo (16th ECEE) koja će se održati u Solunu od 18 do 22. juna ([www.16ecee.org](http://www.16ecee.org)) i 11-oj Američkoj nacionalnoj konferenciji o zemljotresnom inženjerstvu koja će se održati u Los Angeles-u od 24 do 29 juna ([https://11ncee.org/](http://11ncee.org/)), kao i na 17-oj svetskoj konferenciji o zemljotresnom inženjerstvu (17th WCEE) u Japanu 2020-e godine. Ovaj prilog je poziv na diskusiju. Zemljotresno inženjerstvo je vazno za Srbiju, ali je još važnije za mlade inženjere koji će raditi svuda u svetu. Zbog toga vas pozivamo da učestvujete na seminarima i predavanjima koje SUZI planira da organizuje u budućnosti, kao i da nam pošaljete vaša pitanja i mišljenja na temu zemljotresnog inženjerstva.

# Informacije o konačnom nacrtu nove verzije standarda Evrokod 8-1: Proračun seizmički otpornih konstrukcija —Deo 1: Opšta pravila, seizmička dejstva i pravila za zgrade

TATJANA ISAKOVIĆ

U toku je izrada nove generacije Evrokodova, uključujući i Evrokod 8. Rad je podeljen u nekoliko faza vezanih za izmene različitih delova Evrokoda. U toku posljednje tri godine rad na Evrokodu 8 je bio usmeren na sledeća dva dela:

1) Evrokod 8-1: Proračun seizmički otpornih konstrukcija — Deo 1: Opšta pravila, seizmička dejstva i pravila za zgrade, i

2) Evrokod 8-3: Proračun seizmički otpornih konstrukcija — Deo 3: Procena seizmičke sigurnosti i seizmička ojačanja zgrada i mostova.

Nove verzije ovih standarda su izradili posebni projektni timovi. Prilikom izmena su uzeti u obzir kritični komentari i sugestije iz različitih zemalja EU. U nastavku su prikazane neke od najvažnijih promena Evrokoda 8-1:

**1)** Pošto je Evrokod 8-1 prilično obiman, biće izmenjen u dve faze. Prva faza, koja je nedavno završena, posvećena je izmenama poglavlja koja regulišu osnove projektovanja, procenu seizmičkih dejstava, modeliranje i analizu konstrukcija. Nedavno je započeo rad projektni tim koji će pripremiti nacrt drugog dela Evrokoda 8-1 koji se odnosi na projektovanje konstrukcija iz određenih materijala.

**2)** Struktura predloženog Evrokoda 8-1 je značajno izmenjena u poređenju sa sadašnjom verzijom. Prvih šest poglavlja se odnose na razne vrste konstrukcija (ne samo na zgrade). Prva tri poglavlja predstavljaju uvodni deo (navедено je područje primene standarda, reference na druge standarde, pojmovi, definicije i

simboli). Četvrto poglavlje je posvećeno opštim principima projektovanja (vezano za sve vrste konstrukcija). Zahtevi koji se odnose na vrstu tla i seizmička dejstva definisani su u petom poglavlju. Novo šesto poglavlje reguliše modeliranje, analizu i verifikaciju raznih vrsta novih i postojećih objekata (zgrade, mostovi, i druge vrste objekata). Tako su osnove modeliranja i analize jedinstvene za sve vrste konstrukcija. Specifični zahtevi koji se odnose na određene vrste novih i postojećih konstrukcija biće predstavljeni u relevantnim delovima Evrokoda 8 (npr. novi Evrokod 8-3 reguliše modeliranje i analizu postojećih zgrada i mostova). Sedmo poglavlje je posvećeno osnovnim zahtevima, kriterijumima za usaglašenost, modeliranju, analizi, verifikaciji graničnih stanja za nove zgrade, kao i analizi nekonstruktivnih elemenata u novim zgradama. Osmo poglavlje je posvećeno novim seizmički izolovanim zgradama, a deveto poglavlje zgradama sa sistemima za disipaciju energije.

**3)** Pripremljeno je nekoliko novih (većinom informativnih) priloga. Ovi prilozi se odnose na različite aspekte modeliranja seizmičkog dejstva, analizu specifičnih tipova zgrada, kao i na druge teme, uključujući i pojednostavljenu proveru ponašanja konstrukcije koristeći probabilistički pristup, kao i novu proceduru za procenu seizmičkih dejstava na nekonstruktivne elemente pomoću etažnih spektara ubrzanja.

**4)** Nova verzija standarda definiše četiri granična stanja: stanje na granici rušenja NC, stanje značajnih oštećenja SD, stanje ograničenih oštećenja DL, i potpuno operativno stanje OP. Verifikacija za granično stanje SD je obavezna za nove zgrade. Izbor drugih graničnih stanja koje treba proveriti u određenoj zemlji za svaku vrstu konstrukcija, biće definisan u Nacionalnim aneksima ili drugim delovima Evrokoda 8. Na primer, prema konačnom nacrtu novog Evrokoda 8-3, verifikacija za granično stanje NC je obavezna za postojeće objekte i mostove.

**5)** Menja se klasifikacija konstrukcija u odnosu na njihov kapacitet deformacije i kumulativni kapacitet disipacije energije. Umesto klase DCL, DCM i DCH, uvođe se klase DC1, DC2 i DC3 (sa izmenjenim definicijama).

**6)** Uvedene su tzv. klase posledica na način koji je propisan u EN 1990-2003-B3.1, uzimajući u obzir osnovu svrhu (funkciju) i značaj objekta.

**7)** Postavljena su sledeća četiri indikatora za definisanje seizmičnosti određenog regiona: veoma niska, niska, umerena i visoka seizmičnost.

**8)** U poređenju sa sadašnjom verzijom standarda, promenjena je i kategorizacija tla, čime je omogućen ujednačeniji prelaz između različitih tipova tla.

**9)** Elastični spektar ubrzanja je definisan na potpuno novim osnovama. Zasnovan je na:

a)  $S_{a,\text{ref}}$  - referentnom maksimalnom spektralnom ubrzanju, u području elastičnog spektra horizontalnog ubrzanja, gde su ubrzanja konstantna. Pri tom je elastični spektar horizontalnog ubrzanja definisan za tlo tipa A, za povratni period  $T_{\text{ref}}$  i 5% prigušenja. Vrednosti  $S_{a,\text{ref}}$  se u svakoj zemlji određuju u Nacionalnom dodatku ili od strane nadležnih organa.

b)  $S_{\beta,\text{ref}}$  - referentnom spektralnom ubrzanju za period vibracija  $T_{\beta} = 1$  s u elastičnom spektru horizontalnih ubrzanja na tlu tipa A, za povratni period  $T_{\text{ref}}$  i 5% prigušenja.

Treba napomenuti da se u sadašnjoj verziji Evrokoda 8-1 koristi PGA (maksimalno ubrzanje tla) kao ključni parametar za definisanje nivoa seizmičkog hazarda.

**10)** Povratni period zemljotresa i faktori performanse (performance factors) koji se koriste za definisanje seizmičkog dejstva kod novih zgrada su određeni u zavisnosti od klase posledica i vrste graničnog stanja koje se verifikuje.

**11)** Efekti seizmičkog dejstva mogu da se procene pomoću dva opšta pristupa: pristup zasnovan na kontroli nosivosti (force-based) ili pristup zasnovan na kontroli pomeranja (displacement-based). Prvi pristup se sastoji od linearne analize, koja uz pomoć faktora ponašanja može samo implicitno i približno da uzime u obzir faktor rezerve čvrstoće (overstrength factor) i nelinearni odgovor konstrukcije. Pristup zasnovan na kontroli pomeranja omogućava da se nelinearni odgovor konstrukcije uzime eksplisitno u obzir.

**12)** Faktor ponašanja je definisan kao

$$q = q_R \times q_S \times q_D$$

gde je

$q_R$  - komponenta faktora ponašanja koja uzima u obzir rezervu čvrstoće zbog preraspodele efekata seizmičkih dejstava u statički neodređenim konstrukcijama (redundant structures);

$q_S$  - komponenta faktora ponašanja koja uzima u obzir rezervu čvrstoće zbog svih drugih uzroka;

$q_D$  - komponenta faktora ponašanja koja uzima u obzir kapacitet deformacija i kapacitet disipacije energije.

**13)** Nekoliko važnih promena se odnosi na nelinearnu statičku analizu (*pushover based analysis*), koja se primenjuje za verifikaciju novih konstrukcija, kao i za procenu seizmičke otpornosti postojećih konstrukcija. Prema konačnom nacrtu novog Evrokoda 8-3 nelinearna statička analiza je osnovna metoda za procenu seizmičke otpornosti postojećih konstrukcija. Promene koje se odnose na nelinearnu statičku analizu su sledeće:

a) Uveden je poseban postupak s kojim se uzimaju u obzir uticaji viših tonova oscilovanja i uticaj torzionih pomeranja kod novih i postojećih konstrukcija.

b) Prilikom nelinearne statičke analize sistema sa više stepeni slobode pomeranja (MDOF) nije više obavezno korišćenje dva ili više načina vertikalne raspodele horizontalnih sila. Vertikalna raspodela horizontalnih sila može da se definiše uzimajući u obzir samo osnovni ton oscilovanja.

c) Pored elastoplastične idealizacije krive kapaciteta (*pushover curve*), dozvoljena je i bilinearna idealizacija u svim slučajevima gde se u krivi kapaciteta pojavljuje značajno ukrućenje nakon tečenja, npr. kod mostova gde je onemogućeno pomeranje gornje konstrukcije iznad oporaca (u poprečnom smeru).

d) Prilikom nelinearne statičke analize se obično uzima u obzir seizmičko dejstvo samo u jednom pravcu konstrukcije. Kada seizmičko dejstvo u drugom pravcu može značajno da utiče na vrednost ciljnog pomeranja, to pomeranje treba da se koriguje putem odgovarajućeg korekcijskog faktora.

e) Za zidane konstrukcije je dozvoljena verifikacija:

a) na globalnom nivou, odnosno na nivou cele

konstrukcije (global term) i b) na lokalnom nivou, odnosno nivou pojedinačnih konstruktivnih elemenata (local term).

**14)** Opšte preporuke za verifikaciju graničnih stanja NC, DL, OP se nalaze u Poglavlju 6.

**15)** Umesto incidentnog ekscentriteta uveden je minimalni ekscentritet, koji treba uzeti u obzir i u savršeno simetričnim zgradama.

**16)** U nekim slučajevima je izmenjena oblast primene različitih metoda analize, npr. metode ekvivalentnih horizontalnih sila u slučaju novih zgrada.

## Autori priloga

**Vanja Alendar,**  
dipl.inž.gradj.

Tehnički direktor/Partner  
DNEC d.o.o.  
Novi Beograd, Srbija  
E-mail: [vanja.alendar@dnec.com](mailto:vanja.alendar@dnec.com)



**Profesor Dr. Božidar  
Stojadinović, dipl.inž.gradj.**

Šef katedre za dinamiku konstrukcija i zemljotresno inženjerstvo  
ETH Zürich  
Cirih, Švajcarska  
E-mail: [stojadinovic@ibk.baug.ethz.ch](mailto:stojadinovic@ibk.baug.ethz.ch)



**Mr Slavica Radovanović,  
seizmolog**

Direktor/Suvlasnik  
SEISMO SR doo  
Beograd, Srbija  
E-mail: [s.radovanovic@seismosr.com](mailto:s.radovanovic@seismosr.com)



**Profesor Dr. Svetlana  
Nikolić-Brzev,  
dipl.inž.gradj., P.Eng.**

Konsultant za zemljotresno inženjerstvo, Beograd, Srbija  
E-mail: [svetlana.brzev@gmail.com](mailto:svetlana.brzev@gmail.com)



**Vanredni Profesor  
Dr. Ratko Salatić,  
dipl.inž.gradj.**

Katedra za tehničku mehaniku i teoriju konstrukcija, Građevinski fakultet, Univerzitet u Beogradu  
Beograd, Srbija  
E-mail: [ratko.salatic@gmail.com](mailto:ratko.salatic@gmail.com)



**Profesor Dr. Tatjana  
Isaković, dipl.inž.gradj.**

Katedra za konstrukcije in potresno inženirstvo, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani  
Ljubljana, Slovenija  
E-mail: [tatjana.isakovic@fgg.uni-lj.si](mailto:tatjana.isakovic@fgg.uni-lj.si)



**Mr Jelena  
Pantelić,  
urbanista**

Direktor  
APSCCO  
Washington D.C.  
SAD  
E-mail: [jpantelic@apscoco.com](mailto:jpantelic@apscoco.com)



**Mr Bogdan Srdanović,  
urbanista**

Predsednik  
APSCCO  
Washington D.C.  
SAD  
E-mail: [bsrdanovic@apscoco.com](mailto:bsrdanovic@apscoco.com)



## **SUZI Novosti**

### **Održana prva redovna skupština SUZI**

Prva redovna skupština SUZI održana je 25-og maja 2018-e godine na Gradjevinskom fakultetu u Beogradu. U toku skupštine predstavljen je program SUZI, usvojene su promene statuta i druge značajne odluke u vezi rukovodjenja ovog novoosnovanog Udruženja.

Na skupštini su izabrani Članovi Upravnog odbora SUZI: dr Svetlana Nikolić-Brzev, dipl.građ.inž., Beograd (predsednik SUZI); Vanja Alendar, Beograd, dipl.građ.inž. (potpredsednik SUZI); dr Božidar Stojadinović, dipl.građ.inž., Ciriš, Švajcarska (član); dr Radojko Obradović, dipl.građ.inž., Beograd (član); dr Predrag Blagojević, dipl.građ.inž., Niš (član); dr Vladimir Perić, dipl.građ.inž., Beograd (član); dr Branko Milosavljević, dipl.građ.inž., Beograd (član); mr Dejan Dragojević, dipl.građ.inž., Beograd (član), i Ivan Milićević, mast.inž.građ., Beograd (član).

Izabrani su i članovi Nadzornog odbora: dr Ivan Ignjatović, dipl.građ.inž., Beograd (predsednik); dr Borko Bulajić, dipl.građ.inž., Novi Sad (član), i mr Jelena Pantelić, urbanista, Washington, SAD (član). Generalni sekretar SUZI je Prof. dr Ratko Salatić, dipl.građ.inž., Beograd, a blagajnik je Nikola Blagojević, dipl.građ.inž., Beograd.

#### **Učesnici prve redovne skupštine SUZI**

#### **Nastupajući dogadjaji:**

**13-15 jun, 2018**

Zemljotresno inženjerstvo i inženjerska seismologija, Šesto naučno-stručno savetovanje, Kraljevo

Email: [sgisrbije@mts.rs](mailto:sgisrbije@mts.rs)

**15 jun, 2018 14:00 –15:30**

Predavanje "Poboljšanje zemljotresne otpornosti zgrada: priča o lokalnim rešenjima", Prof. Sudhir Jain, Indija, Svečana sala Gradjevinskog Fakulteta, Bulevar Kralja Aleksandra 73, Beograd

**18-21 jun, 2018**

Šesnaesta evropska konferencija iz zemljotresnog inženjerstva, Solun, Grčka ([www.16ecee.org](http://www.16ecee.org))

#### **SUZI Kontakt:**

**E-mail:** [suzi.saee@gmail.com](mailto:suzi.saee@gmail.com)

Srpsko udruženje za zemljotresno inženjerstvo

Gradjevinski fakultet

Bulevar Kralja Aleksandra 73

11000 Beograd, Srbija