

Društvo građevinskih konstruktora Srbije - 16. KONGRES

28-30. 09. 2022.
ARANĐELOVAC



ZBORNİK RADOVA SA NACIONALNOG KONGRESA

U SARADNJI SA



Република Србија
Министарство
просвете, науке и
технолошког развоја



Инжњерска
комора
Србије

POKROVITELJ

PLATINASTI SPONZORI



ZLATNI SPONZORI



Anita Šešum¹, Veljko Koković², Ivan Milićević³

PROCENA PONAŠANJA AB KONSTRUKCIJE ŠKOLE IZGRAĐENE PRE DONOŠENJA PROPISA ZA SEIZMIČKO PROJEKTOVANJE

Rezime:

U radu je prikazana seizmička analiza i procena stanja tipske armiranobetonske ramovske konstrukcije škole, koja je izgrađena na teritoriji Republike Srbije. Konstrukcija objekta je projektovana u periodu pre usvajanja seizmičkih propisa u Republici Srbiji 1964. godine. Cilj ovog rada je da se proceni da li ovakvi objekti mogu da ispune zahteve savremenih aseizmičkih propisa, u pogledu kapaciteta pomeranja pri dejstvu zemljotresa. Konstrukcija tipskog objekta analizirana je primenom nelinearne statičke („pushover“) analize u skladu sa odredbama Evrokoda 8. Rezultati analize su pokazali da konstrukcija može da izdrži pomeranja pri zemljotresu sa ubrzanjem tla od 0.1g bez rušenja. Međutim, pri ovom ubrzanju konstrukcija bi došla u granično stanje značajnog oštećenja (SD), zbog čega bi po definiciji eventualna sanacija objekta bila neekonomična.

Ključne reči: seizmička procena stanja, postojeći objekti, pushover analiza, Evrokod 8-3

SEISMIC ASSESSMENT OF AN RC SCHOOL BUILDING CONSTRUCTED BEFORE SEISMIC DESIGN CODES

Summary:

In this paper, the seismic analysis and evaluation of the existing RC frame structure of the school building are conducted. The analyzed frame structure is typical for school buildings in the Republic of Serbia, designed before the first seismic design regulations in 1964. The aim of this paper is to provide a seismic assessment of this type of building for lateral loads according to modern seismic design codes. The typical RC frame structure is analyzed via pushover analysis according to Eurocode 8. The results indicated that school structure would not collapse under PGA of 0,1g. However, the Limit State of Significant Damage (SD) was achieved, which means that the structure is likely to be uneconomic to repair.

Key words: seismic assessment, existing buildings, pushover analysis, Eurocode 8-3

¹ Master inž. građevinarstva, anitatesum@gmail.com

² Diplomirani građevinski inženjer, docent, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, veljko@imk.grf.bg.ac.rs

³ Master inž. građevinarstva, asistent, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, ivanm@imk.grf.bg.ac.rs

1. UVOD

U zemljama koje se nalaze u seizmički aktivnim područjima, seizmička otpornost objekta je regulisana odgovarajućim tehničkim propisima. U Srbiji je 2019. godine usvojen Pravilnik za građevinske konstrukcije kojim su definisani standardi za projektovanje, izvođenje i održavanje građevinskih konstrukcija zasnovan na evropskim normama, koji je zamenio pravilnike iz 80-ih godina prošlog veka. Uprkos naporima uložnim u poboljšanje propisa za projektovanje novih objekata i samim tim njihovog prihvatljivog seizmičkog odgovora, zemljotresna oštećenja u urbanizovanim sredinama nisu smanjena na prihvatljiv nivo. Posledica nedavno dogođenih zemljotresa nižeg intenziteta (Mionica 1999., Kraljevo 2010.) su velika oštećenja objekata i shodno tome neprihvatljivo visoki troškovi rehabilitacije i ojačanja. Prateći razvoj propisa za projektovanje seizmički otpornih konstrukcija, sa sigurnošću se može reći jedino za objekte izgrađene poslednjih nekoliko decenija da će imati zadovoljavajući odgovor u slučaju zemljotresa. Međutim, oni čine samo manji deo ukupnog fonda postojećih objekata - većinu čine objekti sagrađeni pre modernih, aseizmičkih propisa. Štaviše, ovoj grupi seizmički osetljivih objekata pripada i većina javnih objekata kao što su spomenici kulture, državne ustanove, bolnice, škole, vrtići i slični objekti, što značajno uvećava seizmičku ugroženost u gradovima.

Prvi propisi kojima se zahteva proračun konstrukcija na seizmičko opterećenje su uvedeni u upotrebu 1964. godine nakon zemljotresa u Skoplju, dok su prvi propisi koji konzistentno regulišu pitanje aseizmičkog projektovanja uvedeni 1981. godine. Do jasnog kvalitativnog napretka u Evropi dolazi tek 1994. godine objavljivanjem standarda sa savremenim konceptom projektovanja konstrukcija [1]. Međutim, s obzirom da se ovi propisi odnose isključivo na projektovanje novih konstrukcija i da kao takvi ne daju jasan odgovor na pitanje seizmičke ugroženosti postojećih objekata, deceniju kasnije je u evropsku praksu uvedena nova generacija seizmičkih odredbi [2,3], koja je Srbiji uvedena u upotrebu tek 2019. godine.

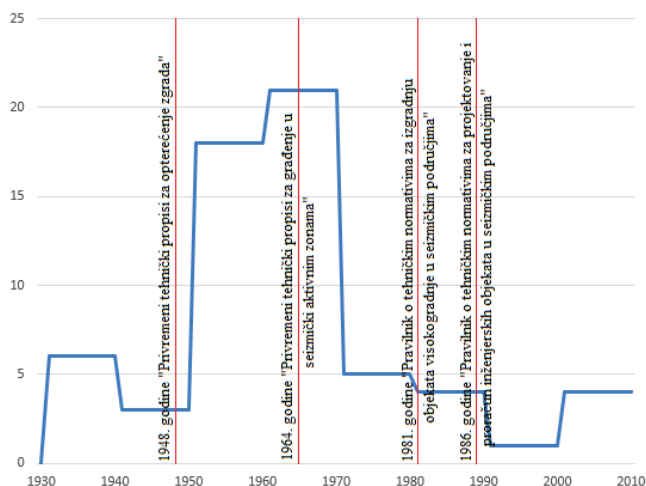
Uvođenjem sofisticiranih i zahtevnih postupka proračuna, za inženjere u praksi ovaj pionirski standard predstavlja novi pogled na odgovor konstrukcije. Umesto jednostavnog linearnog proračuna zasnovanog na ekvivalentnom seizmičkom opterećenju koji se koristi pri projektovanju novih objekata, referentna metoda za procenu ponašanja postaje komplikovana nelinearna analiza zasnovana na očekivanom pomeranju pri zemljotresu. Razlog promene osnovnog koncepta je što linearne procedure mogu biti vrlo konzervativne, odnosno, mogu dovesti do pogrešnih zaključaka o seizmičkom odgovoru objekta i neophodnosti izuzetno skupih ojačanja. Međutim, ovaj standard još uvijek nije široko prihvaćen – pored zahtevnih i dugotrajnih analiza, široku upotrebu je ograničila i činjenica da propisi nisu obavezujući i da se seizmička procena i eventualno ojačanje postojećeg objekata vrše samo na inicijativu vlasnika.

Jedna takva inicijativa je pokrenuta u saradnji Građevinskog fakulteta u Beogradu i Tehničkog fakulteta u Beču, koja je za cilj imala predlaganje procedure procene seizmičkog odgovora i postupka ojačanja za najugroženiju grupu javnih zgrada, sa posebnom pažnjom usmerenom na zgrade izgrađene krajem 19. i početkom 20. veka. Inicijativa je obuhvatala formiranje baze podataka, formiranje reprezentativnih grupa sličnih konstruktivnih karakteristika i godine izgradnje, kao i podelu na podgrupe u zavisnosti od kvalitativno procenjene seizmičke ugroženosti. Kvantitativna procena je izvršena za konstruktivne tipologije kvalitativno ocenjene kao najugroženije. U ovom radu je prikazana procena ponašanja tipične konstrukcije škole izgrađene pre stupanja na snagu seizmičkih propisa. Analizirani konstruktivni sistem je monolitna, armiranobetska dvospratna ramovska konstrukcija.

2. GRAĐEVINSKI FOND ŠKOLA U SRBIJI

Formiranje baze podataka je obuhvatalo sakupljanje arhivske dokumentacije postojećih škola u Beogradu, što je ocenjeno kao reprezentativan uzorak svih škola u Srbiji. Baza podataka sadrži lokacijske podatke objekta, podatke o materijalu od koga je škola izgrađena (opeka, armirani beton), godini izgradnje, spratnosti, konstruktivnom sistemu za prenošenje gravitacionog i seizmičkog opterećenja (zidovi, ramovi). Takođe, baza podataka sadrži i dostupnu grafičku i numeričku dokumentaciju neophodne za tačniju procenu odgovora pri seizmičkom opterećenju.

Na području Beograda, najveći broj škola je izgrađen u periodu 1950. do 1970. godine, dok su na snazi bili propisi iz 1948. godine „Privremeni tehnički propisi za opterećenje zgrada“ i propisi iz 1964. godine „Privremeni tehnički propisi za građenje u seizmički aktivnim zonama“ (videti sliku 1).



Slika 1 - Broj izgrađenih škola od 1930. do 2010. godine

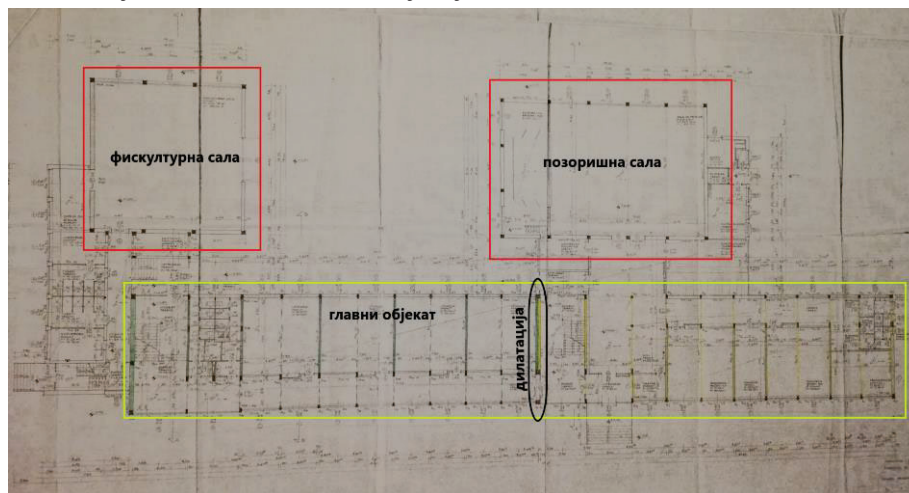
Analizom podataka, kao i dispozicije škola, uočene su određene sličnosti u pogledu konstruktivnog sistema. U periodu 50-tih i 60-tih godina prošlog veka izgrađen je najveći broj objekata, većinom u tada postojećem gradskom jezgri, što odgovara periodu obnove nakon Drugog svetskog rata i početku industrijalizacije i masovnije migracije u gradove. Konstruktivni sistem najvećeg broja škola izgrađenih u ovom periodu je monolitna ramovska konstrukcija. Sa druge strane, period 70-ih i 80-ih godina karakteriše izgradnja prefabrikovanih armirano-betonskih konstrukcija škola u novoizgrađenim stambenim naseljima. Po pravilu, zidane konstrukcije škola su izgrađene u periodu pre Drugog svetskog rata.

Na osnovu analize prikupljene dokumentacije, može se reći da je uobičajena konstrukcija škole sračunata isključivo na dejstvo gravitacionog opterećenja. U pojedinim projektima ostalih objekata u bazi analizirano je i dejstvo vetra, ali nijedan od dostupnih projekata ne sadrži proračun na seizmička dejstva, čak ni projekti za objekte koji su izgrađeni početkom 70-ih godina. Noseći sistem za prihvatanje gravitacionog i horizontalnog opterećenja od vetra pretežno čine AB ramovi sastavljeni od kruto vezanih stubova i greda. U pojedinim projektima su za prijem horizontalnog opterećenja usvojeni zidani zabatni zidovi. Osnove su pretežno pravougaonog oblika sa dilatacijama u slučaju veće dužine objekta. Spratna visina se pretežno

kreće od 3.5 m do 4.0 m i broj spratova zgrade nije veći od tri. Tipovi međuspratnih konstrukcija su pretežno sitnorebrasta ili puna AB ploča.

3. SEIZMIČKA OCENA STANJA RAZMATRANE KONSTRUKCIJE ŠKOLE

Procena seizmičkog ponašanja izvršena je na tipičnoj monolitnoj AB konstrukciji škole, karakteristične za period 60-ih godina, koja je prikazana na slici 2. Objekat se sastoji iz tri dela, glavnog objekta sa učionicama i aneksima, fiskulturne i pozorišne sale. Objekat je površine oko 1150 m², spratnosti Po+Pr+2, pri čemu je spratna visina 4 m. Konstruktivni sistem je skeletni, sa dva raspona u poprečnom pravcu, 3.15 m i 8.05 m. U podužnom pravcu, AB stubovi su na rastojanju 3.90 m. Međuspratne konstrukcije su sitnorebraste AB tavanice, livene na licu mesta, koje su oslonjene AB grede poprečnih ramova. Na delu sanitarnih prostorija međuspratna konstrukcija je izvedena kao puna AB ploča. Stubovi su dimenzija 30/50 cm na prizemlju i 20/40 cm na poslednjem spratu, dok su dimenzije greda variraju između 20/55 cm i 35/55 cm. Temelji objekta su od armiranog betona. U projektu je definisana upotreba betona B110, B160, B220 i B300, u zavisnosti od konstruktivnog elementa, i armaturnog čelika Č37 (glatka armatura). Pregradni zidovi su od ošupljene opeke 7 cm ili 2x7 cm, čij doprinos krutosti i nosivosti u bočnoj stabilnosti AB konstrukcije nije razmatrana u analizi.



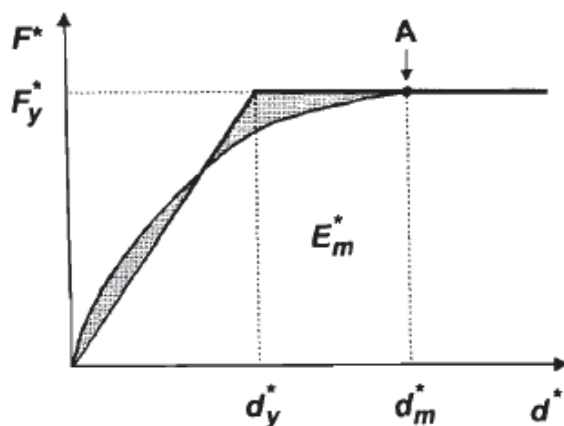
Slika 2 – Osnova karakterističnog objekta škole izgrađene 1960-ih godina

3.1. SEIZMIČKA OCENA STANJA KONSTRUKCIJE ŠKOLE PREMA EVROKODU

Procena seizmičkog odgovora konstrukcije škole je izvršena prema odredbama propisa Evrokoda 8-1 [2] i Evrokoda 8-3 [3]. S obzirom da je pri analizi bio dostupan izvorni statički proračun i dimenzionisanje armature elemenata rama, ali ne i izvođački planovi armature, analiza je sprovedena za nivo znanja KL2 prema [3].

Za analizu je izabrana nelinearna statička („pushover“) metoda. Na ovaj način je statičkim inkrementalnim nanošenjem bočnog opterećenja ocenjen odgovor konstrukcije pri pomeranju izazvanom zemljotresom, odnosno, upotrebom jednostavne i brze metode proračuna su ocenjena oštećenja konstruktivnih elemenata i procenjeni odgovor pri zemljotresu i sigurnost konstrukcije

koja nije projektovana prema seizmičkim propisima. Kako se statički proračun konstrukcije sprovodi na nelinearnom modelu pod dejstvom gravitacionog i monotono rastućeg horizontalnog opterećenja, statičkom analizom je omogućeno sagledavanje konstruktivnih oštećenja, formiranja plastičnih zglobova i krajnje, određivanje mehanizma loma konstrukcije pri dejstvu zemljotresa.



Slika 3 - Određivanje idealizovane elastične-idealno plastične veze sila-pomeranje (A- formiranje plastičnog mehanizma), prema [2]

Rezultat nelinearne statičke analize pri delovanju horizontalnog opterećenja je kriva kapaciteta konstrukcije, koja predstavlja zavisnost između smičuće sile u osnovi zgrade i ciljanog pomeranja kontrolnog čvora. Za kontrolni čvor se uobičajeno usvaja tačka na najvišoj etaži konstrukcije, dok se ciljano pomeranje definiše kao seizmički zahtev određen iz elastičnog spektra odgovara, jednak pomeranju ekvivalentnog sistema sa jednim stepenom slobode kretanja. Početak analize obuhvata inkrementalno nanošenje horizontalnog opterećenje na nelinearnom modelu konstrukcije sve dok se ne „iscrpi“ kapacitet nosivosti, a za rezultat se dobija „pushover“ kriva sistema sa više stepeni slobode. „N2“ metodom, definisanom u nastavku, neophodno je sistem sa više stepeni slobode kretanja transformisati u sistem sa jednim stepenom slobode kako bi se odredilo ciljano pomeranje. Tako određena vrednost se potom prevodi nazad na sistem sa više stepeni slobode. Za transformaciju veličina dobijenih iz analize sistema sa više stepeni slobode (MDOF) na sistem sa jednim stepenom slobode (SDOF) i obrnuto, koristi se faktor transformacije Γ :

$$\Gamma = \frac{\sum m_i \Phi_i}{\sum m_i \Phi_i^2}$$

gde je Φ_i normalizovana pomeranja

Transformisanjem sistema sa više stepeni slobode (MDOF) na sistem sa jednim stepenom slobode (SDOF) potrebno je odrediti idealizovanu elastičnu-idealno plastičnu vezu sila-pomeranje. Sila F_y^* , koja ujedno predstavlja i graničnu nosivost idealizovanog sistema, jednaka je smičućoj sili u osnovi pri formiranju plastičnog mehanizma. Početna krutost idealizovanog sistema je definisana tako da su površine ispod stvarne i idealizovane krive sila-pomeranje jednake (videti sliku 3).

Pomeranje na granici plastičnosti idealizovanog SDOF sistema d_y^* je dato izrazom:

$$d_y^* = 2(d_m^* - E_m^*/F_y^*)$$

gde je E_m^* energija deformacije potrebna za formiranje plastičnog mehanizma. Period T^* idealizovanog ekvivalentnog SDOF sistema je određen kao:

$$T^* = 2\pi \cdot \sqrt{\frac{m^* \cdot d_{y^*}}{F_{y^*}}}$$

a kontrolno pomeranje SDOF konstrukcije sa periodom T^* je određeno kao:

$$d_{et}^* = S_e(T^*) \cdot \left(\frac{T^*}{2\pi}\right)^2$$

gde je $S_e(T^*)$ ubrzanje dobijeno iz elastičnog spektra odgovora za period T^* .

Za određivanje ciljanog pomeranja d_t^* , konstrukcija sa kraćim periodima oscilovanja i konstrukcija sa srednjim i dugačkim periodima, potrebno je koristiti različite izraze. Granica između kratkih i srednjih perioda vibracija je T_c .

a) $T^* < T_c$ (oblast kratkih perioda)

ako je $F_{y^*}/m^* \geq S_e(T^*)$, odgovor je elastičan i prema tome je:

$$d_t^* = d_{et}^*$$

ako je $F_{y^*}/m^* < S_e(T^*)$, odgovor je nelinearan i:

$$d_t^* = \frac{d_{et}^*}{q_u} \cdot \left(1 + (q_u - 1) \frac{T_c}{T^*}\right) \geq d_{et}^*$$

gde je q_u odnos ubrzanja konstrukcije sa neograničenim elastičnim ponašanjem $S_e(T^*)$ i ubrzanja konstrukcije sa neograničenom nosivošću F_{y^*}/m^* :

$$q_u = \frac{S_e(T^*) \cdot m^*}{F_{y^*}}$$

b) $T^* \geq T_c$ (oblast srednjih i dugih perioda)

$$d_t^* = d_{et}^*$$

pri čemu d_t^* ne treba da prelazi vrednost $3d_{et}^*$.

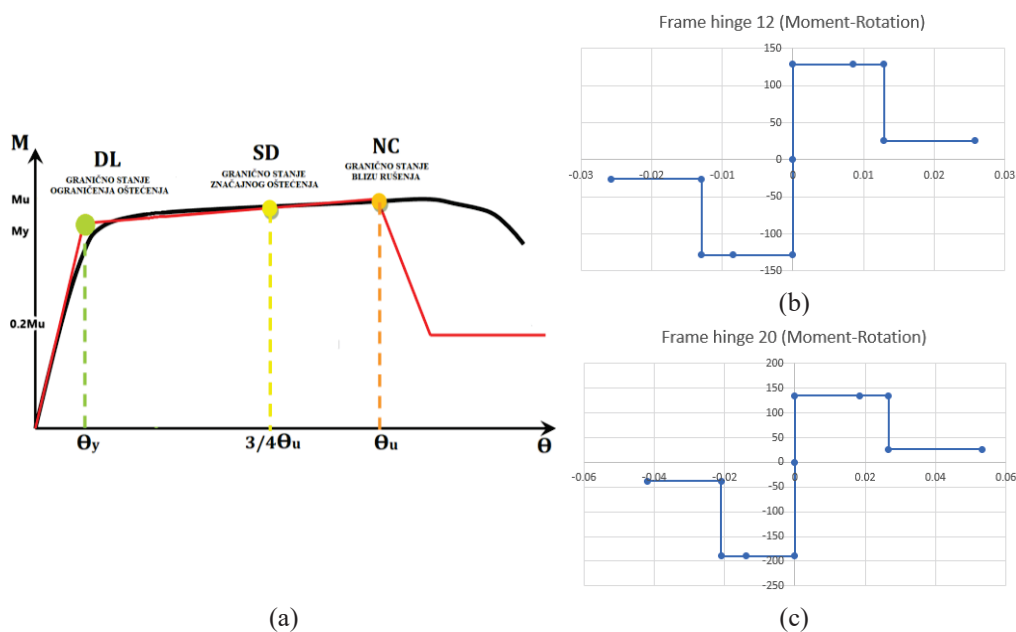
Kontrolno (ciljno) pomeranje MDOF sistema d_t , kao što je već rečeno, dobija se transformacijom ciljanog pomeranja ekvivalentnog SDOF sistema pomoću faktora transformacije Γ . Kontrolno pomeranje odgovara kontrolnom čvoru.

$$d_t = \Gamma \cdot d_t^*$$

Metoda nelinearne statičke analize daje adekvatne rezultate ukoliko je konstrukcija simetrična, torziona kruta i ukoliko je uticaj viših tonova na oscilovanje konstrukcije relativno mali. U slučaju da uslovi nisu zadovoljeni, predlaže se, ali i ne zahteva, primena multimodalne „pushover“ analize. Za zgrade koje zadovoljavaju kriterijume regularnosti i kriterijume date u EN 1998-1 [2], analiza se može sprovesti pojednostavljeno, proračunom na ravanskim modelima, po jedan za svaki glavni horizontalni pravac. Pri tome je potrebno primeniti najmanje dve vertikalne raspodele bočnih opterećenja: uniformnu i modalnu. Takođe, krivu kapaciteta konstrukcije („pushover“ krivu) neophodno je odrediti za kontrolna pomeranja u rasponu 0 do vrednosti koja iznosi 150% ciljnog pomeranja.

3.2. ODREĐIVANJE KAPACITETA ELEMENATA KONSTRUKCIJE

Kapacitet deformacije greda, stubova i zidova proverava se prema Evrokoda 8-3 [3], a definisan je u funkciji „obrtnja tetive“ (chord rotation) θ , tj. ugla između tangente na osu grede na kraju gde se formirao plastični zglob i tetive koja spaja taj kraj sa krajem smičućeg raspona (shear span $L_v = M/V$, tj. prevojnou tačkom (point of contraflexure). Obrtnje tetive je takođe jednako srazmeri otklona elementa, tj. odstupanju kraja smičućeg raspona od pravca tangente na osu elementa na mestu plastičnog zgloba, podeljenog sa smičućim rasponom L_v . Osnovni konstrukcijski zahtev se odnosi se na stepen oštećenja, definisan preko tri granična stanja (Limit states – LS) koja su prikazana na slici 4(a): (1) stanje „blizu rušenja“ (Near Collapse - NC), (2) stanje „značajnog oštećenja“ (Significant Damage - SD), i (3) „ograničenje oštećenja“ (Damage Limitation - DL). Na slici 4(b) i 4(c) prikazani su dijagrami moment-plastična rotacija karakterističnog stuba i grede, respektivno.



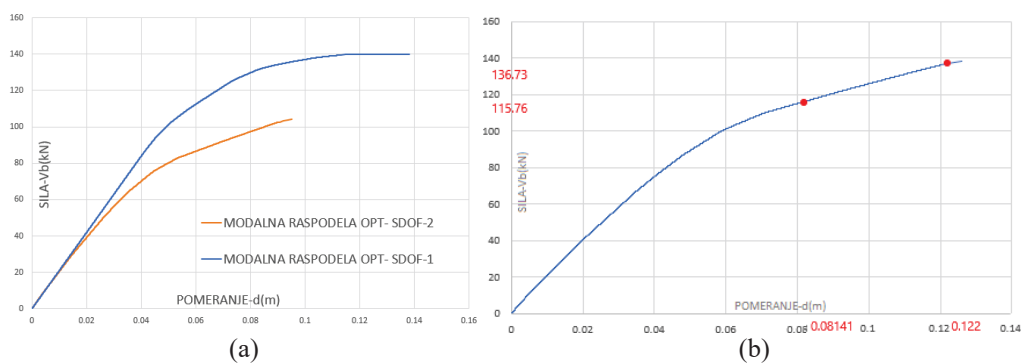
Slika 4 - Dijagram moment nosivosti-kapacitet rotacije: (a) definicija graničnih stanja, (b) dijagram karakterističnog stuba, (c) dijagram karakteristične grede

3.3. PROCENA SEIZMIČKOG KAPACITETA KONSTRUKCIJE

Ocena seizmičke otpornosti konstrukcije izvršena je korišćenjem programskog paketa SAP2000, a s obzirom da su kriterijumi regularnosti zadovoljeni, analiza je sprovedena na ravanskim modelima. Pri proceni zahteva i kapaciteta elemenata korišćene su srednje vrednosti svojstava materijala podeljene sa usvojenim faktorom pouzdanosti 1.2, dok su za krte mehanize loma uvedeni dodatni faktori sigurnosti za materijale ($\gamma_c = 1.2$ za beton, $\gamma_s = 1.0$ za čelik). Krutost na savijanje je redukovana je kako bi se u obzir uzeli efekti prslina. Krutost je usvojena kao srednja vrednost veličine $M_y L_v / 3\theta_y$ na oba kraja elementa. Za smičući raspon u krajnjem preseku L_v usvojena polovina dužine elementa. Čvorovi su modelirani na osnovu realnog odnosa krutosti

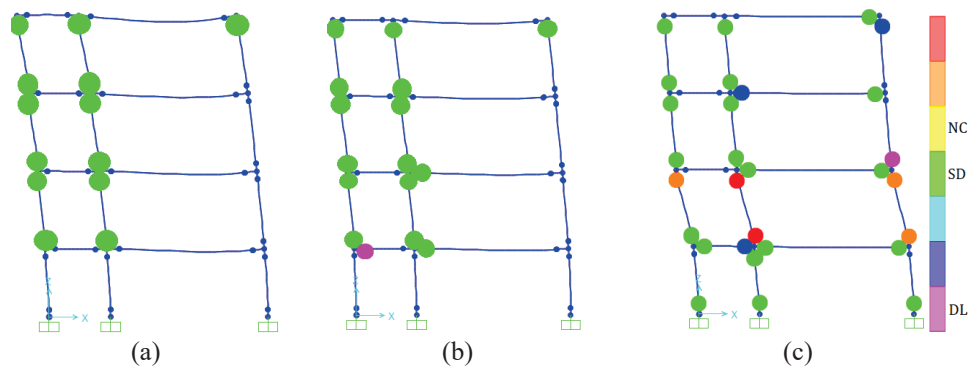
elementa koji se susstiču u njemu, a preporuke za određivanje vrednosti ovog faktora su preuzete iz propisa ASCE 41-13 [4].

Na slici 5 prikazano je ponašanje karakterističnog poprečnog rama. Sa obzirom da poprečni ram nije simetričan, proračun je sproveden za oba smera delovanja horizontalnog opterećenja. Na slici 5(a) prikazane su krive kapaciteta konstrukcije za modalnu raspodelu opterećenja po visini objekta. Kriva 1 dobijena je dejstvo opterećenja u smeru sa leva na desno dok je kriva 2 dobijena za dejstvo opterećenja sa desna na levo. Za dalju analizu kao merodavnu je usvojeno delovanje horizontalnog opterećenja u smeru sa desna na levo (kriva 2), s obzirom da konstrukcija ima manji kapacitet pomeranja vrha u tom smeru. Na slici 5(b) izvršeno je poređenje ciljnog pomeranja konstrukcije sa kapacitetom pomeranja vrha konstrukcije. Može se videti da konstrukcija može da izdrži ciljno pomeranje, kao i pomeranje koje je 50% veće od ciljnog pomeranja.



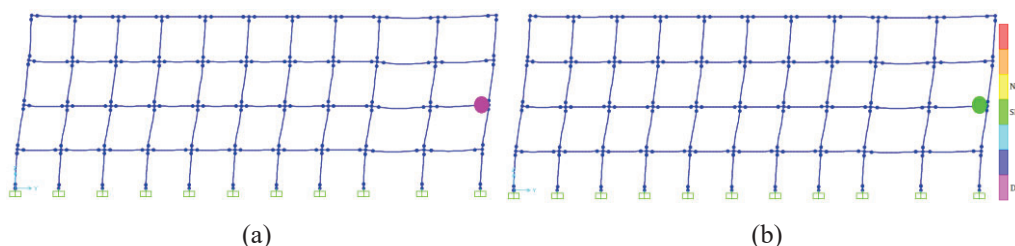
Slika 5 – Rezultati analize poprečnog rama: (a) „Pushover“ kriva SDOF sistema za smer delovanja opterećenja na desno-1 i na levo-2, (b) ciljno pomeranje MDOF sistema za krivu 2

Na osnovu rezultata prikazanih na slici 6 može se zaključiti da bi pri dejstvu zemljotresa došlo do plastifikacije u stubovima, a ne u gredama, što je prema opšte usvojenim kriterijumima poželjan mehanizam disipacije energije. Za dejstvo projektnog zemljotresa ubrzanja 0,1g pouzdano se može zaključiti da ne bi došlo do kolapsa konstrukcije, ali bi oštećenja uglavnom bila zabeležena na stubovima, što sanaciju konstrukcije čini konstruktivno zahtevnom i skupom.



Slika 6 - Deformisani oblik poprečnog rama: (a) pri ostvarenom ciljanom pomeranju, (b) pri pomeranju koje odgovara 150% ciljanog pomeranja, (c) pri dostizanju mehanizma

U podužnom pravcu, procena i verifikacija seizmičkog kapaciteta je sprovedena je na identičan način. Za razliku od poprečnog pravca, ramovi u podužnom pravcu imaju značajno veći kapacitet nosivosti i deformacije. Kao što se vidi na slici 7, samo jedna greda na drugoj etaži dostiže granično stanje ograničenog oštećenja i granično stanje značajnog oštećenja pre dostizanja ciljnog pomeranja. Globalno posmatrano, odgovor konstrukcije za dejstvo projektnog zemljotresa bi praktično bio u linearno elastičnom području.



Slika 7 - Deformisani oblik podužnog rama: (a) pri ostvarenom ciljanom pomeranju, (b) pri pomeranju koje odgovara 150% ciljnog pomeranja

Velika razlika u obimu i nivou oštećenja elemenata podužnih i poprečnih ramova razmatrane konstrukcije pri dejstvu zemljotresa prevashodno je posledica usvojenih dimenzija greda i njihove uloge u prenošenju gravitacionog opterećenja. Kao što je ranije istaknuto, sitnorebraste međuspratne tavanice prenose gravitaciono opterećenje u podužnom pravcu odnosno na poprečne ramove, usled čega se u gredama i stubovima poprečnih ramova javljaju momenti velikog inteziteta i značajna plastifikacija pri relativno malom ciljnom pomeranju odnosno ubrzanju tla. S druge strane, od gravitacionih opterećenja na podužne ramove deluje sopstvena težina i težina fasade što izaziva male momente savijanja u elementima i praktično elastično ponašanje pri dejstvu razmatranog zemljotresa.

4. ZAKLJUČCI I DISKUSIJA

U radu je izvršena ocena stanja konstrukcije škole koja predstavlja reprezentativan primer ovakvih objekata u Republici Srbiji. Prema podacima iz dostupne dokumentacije, konstrukcija objekta je projektovana samo za dejstvo gravitacionog opterećenja i opterećenja od vetra, što važi i za konstrukcije ostalih škola koje su izgrađene u periodu od 1950. do 1970. godine u formiranoj bazi podataka.

Seizmička ocena stanja tipske konstrukcije izvršena je primenom nelinearne statičke analize sprovedene prema odredbama Evrokoda 8, za karakterističan poprečni i podužni ram. Dodatno, zbog nesimetrije, poprečni ram je analiziran za oba smera seizmičkog dejstva. Uprkos tome što konstrukcija nije projektovana za dejstvo zemljotresa, analizom je utvrđeno da konstrukcija ima dovoljan kapacitet pomeranja da izdrži projektni zemljotres sa ubrzanjem 0.1g, koje je definisano u Evrokodu 8 za područje Beograda. Međutim, rezultati analize su pokazali da bi pri ovom ubrzanju tla konstrukcija došla u granično stanje značajnog oštećenja (SD), zbog čega bi eventualna sanacija konstrukcije bila neekonomična. Rezultati su takođe pokazali da nivo i obim oštećenja elemenata konstrukcije pri razmatranom ubrzanju je rezerva nosivosti koju elementi imaju u odnosu na uticaje od gravitacionog opterećenja.

Prema Evrokodu 8 zgrade su klasifikovane u 4 klase značaja, u zavisnosti od posledica rušenja na ljudske živote, od njihovog značaja za javnu sigurnost i zaštitu ljudi u periodu neposredno posle zemljotresa, kao i od socijalnih i ekonomskih posledica rušenja. Budući da su škole klasifikovane u treću klasu značaja kao i da ubrzanja tla iznose između 0,1g i 0,2g na velikom delu teritorije Republike Srbije, neophodno je izvršiti detaljnije analize konstrukcije čime bi se jasno utvrdila njihova seizmička sigurnost.

LITERATURA

- [1] ENV 1998-1-1: "Eurocode 8: Design provisions for earthquake resistance of structures - Part 1-1: General rules - Seismic actions and general requirements for structures", European Committee for Standardization (CEN); Brussels, Belgium, 1994.
- [2] Eurocode 8: "Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings", European Committee for Standardization (CEN); Brussels, Belgium, 2004.
- [3] EN 1998-3:2005 (Eurocode 8-3): "Design of structures for earthquake resistance - Part 3: Assessment and retrofitting of buildings," European Committee for Standardization (CEN); Brussels, Belgium, 2005.
- [4] ASCE/SEI 41-13: Seismic evaluation and retrofit of existing buildings. American Society of Civil Engineers, Reston, VA, 2014.