

DEFINISANJE SEIZMIČKOG DEJSTVA U SKLADU S NOVOM GENERACIJOM STANDARDA EN 1998 – OBJAŠNJENO NA METODOLOGIJI ZA PROCENU SEIZMIČKOG RIZIKA ŠKOLSKIH OBJEKATA U SRBIJI

DEFINING SEISMIC ACTIONS IN ACCORDANCE WITH THE GENERATION OF STANDARD EN 1998 – CASE STUDY: METHODOLOGY FOR SEISMIC RISK ASSESSMENT OF SCHOOL BUILDINGS IN SERBIA

Željko Žugić,
Dejan Dragojević,
Sandra Nedeljković,
Jovana Borožan

Originalni naučni rad
10.5937/IASPN25174Z

Apstrakt: Procena seizmičkog rizika školskih zgrada ključna je za obezbeđivanje sigurnosti i otpornosti obrazovnih institucija na seizmičke događaje. Ovaj rad prikazuje novu metodologiju procene seizmičkog rizika, koja pored tehničkih (strukturalnih i nestrukturalnih) uzima u obzir i komponentu društvenog rizika. Analiza obuhvata 367 objekata (od čega 213 škola) u Srbiji. Rezultati pokazuju da primenjena metodologija klasifikuje oko 70% škola u kategoriju srednjeg rizika i 27% u kategoriju visokog rizika. Sračunati nivo nedozvoljenog rizika odnosi se ne samo na neispunjenost zahteva objekta prema važećim pravilnicima i standardima za konstrukcije nego i na mnoge druge kriterijume, što zakoni i podzakonski akti prepoznaju, ali je neophodno intenzivirati njihovu primenu kako na nivou lokalnih samouprava tako i na republičkom nivou.

Ključne reči: seizmički rizik, obrazovne ustanove, procena, prioritizacija, metodologija

Abstract: Seismic risk assessment of school buildings is crucial for ensuring the safety and resilience of educational institutions. This paper presents a new methodology for seismic risk assessment, which, in addition to technical (structural and non-structural) components, also takes into account the social risk component. The study evaluates 367 buildings (of which 213 are schools) in Serbia. The results show that, according to the applied methodology, about 70% of schools are

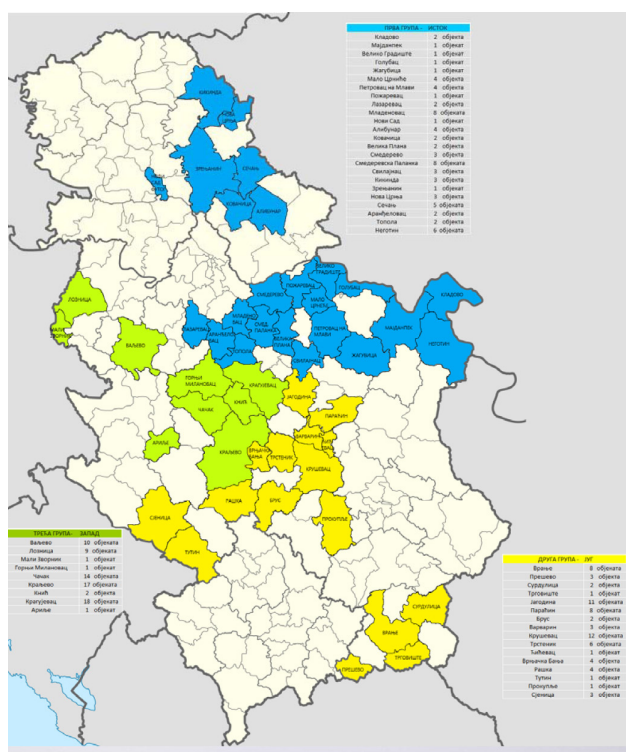
in the medium-risk category and 27% are in the high-risk category. The calculated level of impermissible risk is not only related to the non-compliance of the buildings with the building regulations and standards, but also to many other criteria, which are recognized by laws and by-laws, however, it is necessary to intensify their application both at the level of local self-governments and at the country level.

Keywords: seismic risk, educational institutions, structural assessment, prioritization, methodology

UVOD

S rastom urbanih sredina i stalnom pretnjom od zemljotresa, ranjivost škola kao ključne infrastrukture postaje posebno važna tema. Škole su ne samo mesta obrazovanja već i centri zajednice, zbog čega njihova otpornost na zemljotrese ima širi društveni značaj. Ovaj rad ima za cilj da prezentuje nov pristup analize seizmičkog rizika, kako kroz prizmu tehničkih standarda i pravilnika za gradnju tako i kroz druge veoma bitne aspekte kao što su nestrukturnalni elementi i društveni rizik.

Naime iskustva prethodnih zemljotresa su pokazala da, pored tehničkih karakteristika objekata, u materijalnim štetama i ljudskim žrtvama, podjednaku ulogu imaju i nestrukturnalni elementi (police, staklene površine, mobilijar). Što se tiče društvenog rizika, indirektnе posledice zemljotresa ogledaju se u nemogućnosti odvijanja nastavnog procesa, gde bitnu ulogu ima rasprostranjenost mreže školskih ustanova, i sposobnost najbližih objekata da preuzmu funkciju oštećenog objekta što se u stručnoj terminologiji može povesti pod izraze *resilience* i *coping capacity*.



Slika 1: Obradene lokalne samouprave
(Scaling Up Resilient Infrastructure Project 2021)

PREGLED POSTOJEĆIH METODE ZA PROCENU SEIZMIČKOG RIZIKA

Jedan od najopsežnijih dokumenata koji se bavi temom brzog vizuelnog skrininga konstrukcija u svrhu otkrivanja seizmičke ranjivosti, tj. potencijalnog seizmičkog rizika jeste FEMA 154: „Brzi vizuelni skrining zgrada za potencijalne seizmičke opasnosti: Priručnik“ i prateća publikacija FEMA 155: Prateća dokumentacija koja obihvata metodologiju za brzi vizuelni skrining zgrada [1, 2].

Prvo izdanje FEMA 154 datira iz 1988. godine [3, 4], zatim drugo izdanje iz 2002. godine [5, 6], a treće, najnovije, iz 2015. godine [1, 2]. Od prvog objavljivanja dokumenta, on se koristi kao referentni dokument u Sjedinjenim Državama, kao i u drugim zemljama širom sveta, jer pruža jednostavan, ali dovoljno detaljan i pouzdan pristup koji omogućava klasifikaciju zgrada u dve kategorije – one koje su na bazi vizuelne inspekcije seizmički bezbedne i one koje su seizmički nebezbedne, tj. one koje zahtevaju dodatna i detaljnija istraživanja. Treće izdanje je poboljšano u oblastima skrininga, načinima bodovanja, nepravilnosti objekata po visini i u planskoj osnovi, dodatnih tipova zgrada, dogradnji, susednih objekata, rekonstrukcija, opcione metodologije elektronskog bodovanja, rizika i detaljnih uputstava za pokretanje programa skrininga.

Postupak brzog vizuelnog skrininga (RVS) razvijen u ovim dokumentima zasniva se na sistemu bodovanja uključenom u obrasce za prikupljanje podataka u kojima se podaci prikupljaju vizuelnim posmatranjem konstrukcija. Postupak brzog vizuelnog skrininga zasniva se na popunjavanju obrasca, tj. zaokruživanju unapred definisanih vrednosti bodovanja za različite zgrade ili usvajanju modifikatora bodova na osnovu uočenih strukturalnih karakteristika. Moguća su dva nivoa brzog vizuelnog skrininga – nivo 1 i nivo 2, i oba su obezbeđena odgovarajućim obrascima za popunjavanje. Nivo 1 je osnovni pristup s manje konstrukcijskih podataka i sadrži unapred definisane bodove (osnovne vrednosti i modifikatore) za 17 tipova konstrukcija, koji uključuju visinu zgrade, tip tla, građevinski propis i nepravilnosti u osnovi i po visini. Nivo 2 je detaljniji, zahteva veći napor i inženjersko znanje, i uključuje detaljniju klasifikaciju zgrada. Obrazac nivoa 2 je opcioni i pruža mogućnost modifikacije bodova nivoa 1 na osnovu dodatnih podataka. Bez obzira na to da li se koristi obrazac nivoa 2 ili ne, konačni rezultat postupka je konačna ocena koja se odnosi na bezbednost konstrukcije, tj. verovatnoću kolapsa konstrukcije. Ovi dokumenti pokrivaju samo ponašanje konstrukcije, a za nekonstruktivnu procenu može se koristiti FEMA E-74 [7].

Pored priručnika FEMA, *Rapid Visual Screening* (u daljem tekstu RVS) postupak zasnovan na bodovanju razvijen je i u Kanadi, od Nacionalnog istraživačkog saveta Kanade (NRCC 1993) [8]. Metodologija se zasniva na ključnim

faktorima koji uključuju seizmičnost, uslove tla, vrstu konstrukcije, nepravilnosti konstrukcije i prisustvo nestrukturnih opasnosti. Značaj zgrade i način njene upotrebe takođe se uzimaju u obzir. Informacije za svaku zgradu se prikupljaju na standardnom obrascu za seizmički skrining, koji se koristi za dobijanje ocene za indeks seizmičkog prioriteta za svaku zgradu. Ocene se zatim koriste za rangiranje svih zgrada iz inventara za detaljnu seizmičku procenu, tj. za isključivanje onih koje zahtevaju dalje razmatranje.

Postupak za seizmičku procenu konstrukcija razvijen u Japanu, definisan u Standardu za seizmičku procenu [9], ograničen je na armirano betonske konstrukcije i zasniva se na proceni „seizmičkog indeksa“ (IS), koji predstavlja seizmičke performanse konstrukcije i seizmičkog indeksa nestrukturnih elemenata (IN), koji predstavlja seizmičke performanse nestrukturnih elemenata, kao što su spoljni zidovi.

Strukturalni seizmički indeks je definisan kao proizvod osnovnog seizmičkog indeksa zasnovanog na indeksima čvrstoće i duktilnosti, indeksa nepravilnosti i vremenskog indeksa koji procenjuje efekte oštećenja konstrukcije kao što su pukotine, ugib, starenje itd. Procena se ne može definisati kao čist RVS jer se detaljniji pristup koristi u izračunavanju parcijalnih indeksa.

Novozelandska praksa u seizmičkoj proceni konstrukcija zasniva se na najnovijem priručniku iz 2017. godine: Seizmička procena postojećih zgrada [10], koji je zamenio prethodne verzije dokumenta iz 2006. i 2016. godine. Seizmička procena može biti kvalitativna, obrađena u odeljku B priručnika i definisana kao inicijalna procedura procene (IEP).

Ovaj proces podrazumeva početnu procenu standarda postignutog za postojeću zgradu u odnosu na standard potreban za novu zgradu (procentualni standard nove zgrade, ili %NBS). Prvi korak je snimanje predmetne zgrade kako bi se prikupili relevantni podaci o njenim karakteristikama, zatim primena IEP-a na zgradu i time određivanje procentualnog standarda nove zgrade (% NBS) za tu zgradu. % NBS manji od 34 (ograničenje u zakonu zapravo je jedna trećina) ispunjava jedan od uslova da se zgrada proceni kao sklona zemljotresima prema Zakonu o izgradnji.

Iako se ovaj postupak kvalifikuje kao jednostavniji, on zahteva iskusne inženjere koji mogu da identifikuju kritične probleme koji mogu uticati na seizmičke performanse i poseduju dobro poznavanje građevinskih propisa. Detaljan pristup seizmičkoj proceni takođe je moguć, i obrađen je u odeljku C.

FEMA 154 i FEMA 155 koriste se širom sveta kao osnovni dokument za razvoj ili modifikaciju metodologije za specifične karakteristike konstrukcije, građevinsku praksu i nivoe bezbednosti koje pružaju propisi o građevinarstvu.

Korišćen je i kao studija slučaja – sa ciljem da pokrije samo određeno lokalno područje ili određeni tip objekata, kao i različite tipove zgrada. Neki primeri nacionalnih praksi zasnovanih na FEMA pristupu su Indija [11, 12], Turska [13–15], Indonezija [16], Mjanmar [17], Austrija [18], Peru [29], Filipini [30] itd.

Pored toga, postoje brojne metode koje se predlažu za poboljšanje prethodno pomenutog RVS-a, bilo tako što će ga učiniti isplativijim ili minimiziranjem subjektivne greške u procesu istraživanja. Neki autori kategorišu ove metode u dve grupe [19]: metode zasnovane na statističkim i mašinskim pristupima učenja i metode zasnovane na ekspertskim sistemima kao što su takozvane *fuzzy-based* metode. Metode zasnovane na statističkim pristupima uspostavljaju (linearnu) vezu između ulaznih parametara i seizmičkog rizika, dok metode zasnovane na mašinskom učenju i dalje imaju probleme pouzdanosti u uslovima ograničenog skupa podataka. S druge strane, *fuzzy-based* sistemi uzimaju u obzir mišljenje stručnjaka i modeliraju neodređenost kroz teoriju *fuzzy* skupova.

Neke od gore pomenutih metoda zasnovanih na statističkim pristupima razvijene su korišćenjem linearne regresije [11]. Prateći nedavni napredak u mašinskom učenju, predložen je alternativni automatizovani pristup koji automatski prikuplja slike ulica sa Gugl mapa i koristi tehnike dubokog učenja za identifikaciju i klasifikaciju zgrada s mekim spratovima sa slika [20]. Predložena metoda ima prednosti u odnosu na tradicionalne metode skringa u pogledu isplativosti, skalabilnosti i doslednosti u proceni.

Još jedno predloženo poboljšanje RVS metode jeste aplikacija za pametne telefone zasnovana na alatu za višekriterijumsko odlučivanje za procenu i određivanje prioriteta ranjivosti zgrada, u kojoj je izvršena globalna analiza osetljivosti kako bi se istražila interakcija između ulaznih parametara [21].

Drugi pristup je korišćenje veštačkih neuronskih mreža koje koriste skup podataka za „trening“ da bi predvidele seizmička oštećenja na osnovu podataka koji nisu uključeni u skup podataka za trening, i u zavisnosti od varijabilnosti skupa podataka mogu pouzdano predvideti nivo seizmičkih oštećenja [22, 23].

Metod zasnovan na *fuzzy* logici takođe se koristi [24–26] za određivanje seizmičke ranjivosti, bilo tipa 1, gde se razmatra samo nejasnoća u funkcijama pripadnosti, ili tipa 2, gde se same funkcije pripadnosti (FČ) smatraju kao *fuzzy* [26].

Smatrajući škole objektima čija seizmička ranjivost može imati značajan društveni uticaj, znatan broj RVS studija sproveden je posebno za ovu vrstu konstrukcija [27–33]. Neke studije su se fokusirale na kvalitativna istraživanja s ciljem identifikacije najranjivijih školskih zgrada među skupom podataka [27, 28], gde je razvijena odgovarajuća metodologija prilagođena lokalnim uslovima u obliku standardizovanih upitnika. Postoje i primeri direktne

primene FEMA pristupa za procenu seizmičke ranjivosti škola u Peruu [29] i na Filipinima [30], ili kombinacije razvoja krivih ranjivosti i RVS upitnika [31].

METODOLOGIJA PROCENE SEIZMIČKOG RIZIKA ŠKOLSKIH OBJEKATA

1. Konstruktivne i nekonstruktivne komponente

Procena seizmičkog rizika školskih objekata zasniva se na kombinaciji dva osnovna segmenta (Slika 2):

1a. Konstruktivni skor (strukturnalni rizik): određuje se na osnovu stepena oštećenja, seizmičke ranjivosti i potrebnih popravki nosećih elemenata konstrukcije. Ovaj pokazatelj predstavlja inženjersku procenu stabilnosti objekata i opšti utisak o njegovoj otpornosti (Slika 3, Tabela 1)

1b. Nekonstruktivni skor (nestrukturnalni rizik): definiše se prema stanju nenošećih elemenata kao što su zidovi, plafoni, pregradni paneli i instalacije (električne, vodovodne, grejne itd.). Iako ne nose teret, ovi elementi znatno utiču na bezbednost u slučaju zemljotresa.



Slika 2: Komponente tehničkog rizika
(Scaling Up Resilient Infrastructure Project 2021)



Slika 3: Komponente bodovanja konstrukcije objekta
(Scaling Up Resilient Infrastructure Project 2021)

ZAKRUŽITI INDEKS U TABELI		RANGIRANJE VREDNOSTI KVADRADNOG METRA OBJEKTA (PREMA LOKACIJI, STANJU OBJEKTA...)		
		IZNAD PROSEKA (npr. 500 EUR/m ² GRADSKA ZONA)	PROSEČNA (npr. 400 EUR/m ² VAROŠICA)	ISPOD PROSEKA (npr. 300 EUR/m ² RURALNA ZONA)
NIVO POTREBNIH POPRAVKI NA KONSTRUCIJI	NAZNATAN 0 EUR/m ²	0	0.05	0.1
	NIZAK 100 EUR/m ²	0,2	0,25	0,33
	SREDNJI 200 EUR/m ²	0,4	0,5	0,67
	VISOK 300 EUR/m ²	0,6	0,75	1,0

*Tabela 1: Način određivanja indeksa potrebnih popravki (A.2)
(Scaling Up Resilient Infrastructure Project 2021)*

Društveni skor učestvuje sa 60% u ukupnom seizmičkom skor. On se zasniva na društvenom indeksu, koji predstavlja proizvod sledećih parametara:

2a. Skor korisnika (broj učenika): škole se rangiraju prema broju učenika. Objekti s većim brojem učenika imaju veći rizik jer su izloženi većem broju ljudi.

2b. Indeks udaljenosti: škole koje se nalaze dalje od drugih imaju veći rizik, jer je u slučaju zemljotresa teže obezbediti zamensku školu za učenike.

Društveni indeks = skor korisnika $\times$ indeks udaljenosti. Zatim se dobijena vrednost normalizuje deljenjem s maksimalnim društvenim indeksom među svim analiziranim školama, čime se dobija društveni skor koji služi za poređenje i rangiranje (Slika 4).

3. Korekcija na osnovu smenskog rada

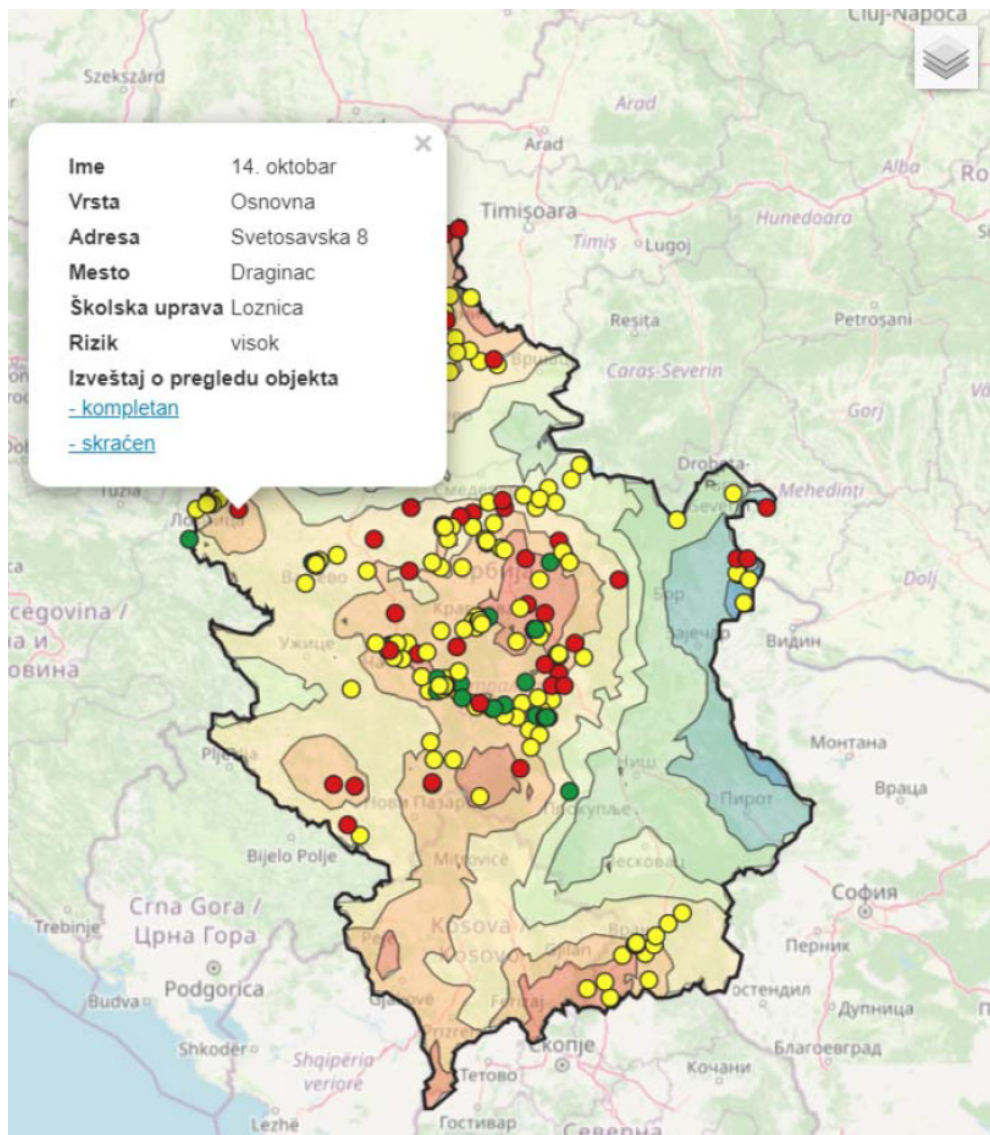
Broj smena (jedna ili dve) uključuje se kao množilac u izračunavanje društvenog skora. Škole koje rade u dve smene imaju dvostruko veću izloženost, jer su duže tokom dana u upotrebi i samim tim postoji veća verovatnoća da će se zemljotres desiti dok su učenici i druge osobe u objektu.

4. Dodatne napomene

Fiskulturne sale se evidentiraju, ali nisu uključene u izračunavanje skora, jer mogu poslužiti kao skloništa za učenike i stanovnike okoline nakon zemljotresa. Postoji mala verovatnoća da će se ove prostorije koristiti kao nastavni prostor ili zamena za učionice.

Tokom terenskih istraživanja prikupljeni su podaci o smenskom radu i broju učenika, koji su naknadno korišćeni u izračunavanju društvenog skora.

5. Klasifikacija nivoa rizika



Slika 4: Korišćenje GIS baze u cilju određivanja društvenog rizika
(Scaling Up Resilient Infrastructure Project 2021)

REZULTATI DOBIJENI U PROCENI SEIZMIČKOG RIZIKA ŠKOLSKIH OBJEKATA

Klasifikacija broja škola prema procenjenom nivou seizmičkog rizika prikazana je u tabeli 2 i slici 5a, dok tabela 3 i slika 5b prikazuju klasifikaciju ukupnog broja korisnika škola.

Uticaj konstruktivnog i nekonstruktivnog skora na seizmički rizik za škole prikazan je na slikama 6a i 6b, dok je uticaj društvenog skora prikazan na slici 7.

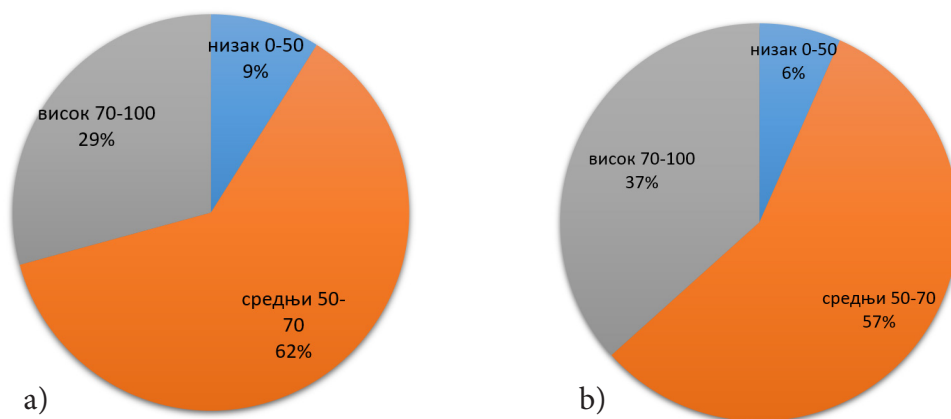
низак 0–50	19
средњи 50–70	131
висок 70–100	62

Tabela 2: Procena seizmičkog rizika – broj škola

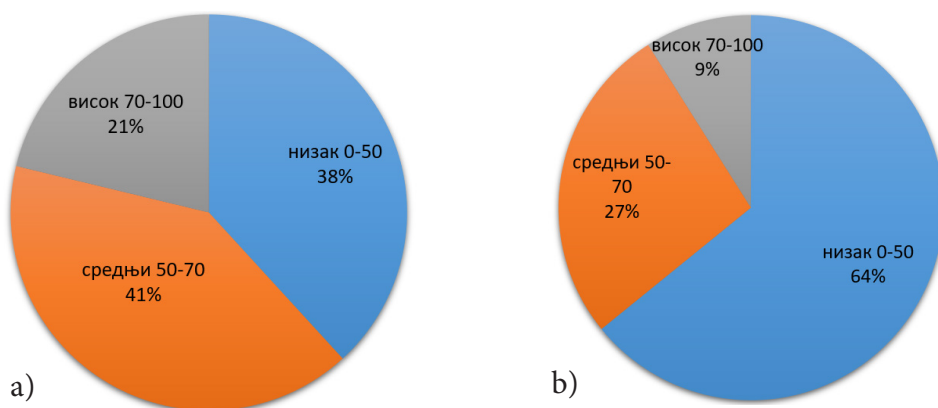
низак 0–50	6956
средњи 50–70	59536
висок 70–100	38477

Tabela 3: Procena seizmičkog rizika – broj korisnika škola

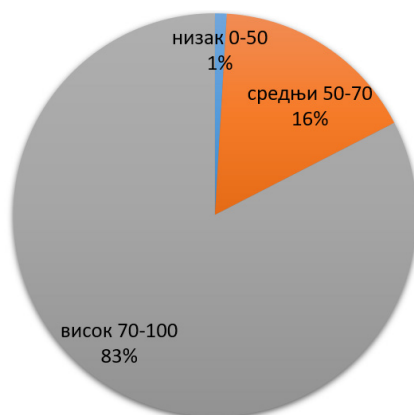
Prema ukupnom rangiranju rizika prema metodologiji definisanoj kroz projekat “Scaling Up Resilient Infrastructure” (2021), tehnički rizik utiče sa 40%, a društveni sa 60%, pre svega imajući u vidu šire i dugoročne posledice koje kolaps ili prestanak rada jednog školskog objekta može da izazove.



*Slika 5: Procena ukupnog seizmičkog rizika prema:
a) broju škola; b) broju korisnika škola*



Slika 6: Procena seizmičkog rizika prema: a) konstruktivnom skoru – % broja škola; b) nekonstruktivnom skoru – % broja škola



Slika 7: Procena seizmičkog rizika prema društvenom skoru – % broja škola

ZAKLJUČAK

Propisi u Republici Srbiji vezano za seizmičku opasnost za školske i ostale objekte jasno su definisani i zakonima i Pravilnikom o sadržini i načinu uspostavljanja i održavanja registra rizika od katastrofa (Službeni glasnik RS, broj 78 od 1. novembra 2019). Rizik ne treba svoditi samo na tehničke aspekte, jer kao što epidemije nisu samo zdravstveni problem, tako ni zemljotresi nisu samo „građevinski” problem, što zakoni i podzakonski akti prepoznaju ne deleći rizike na tehničke i netehničke.

Prezentovana metodologija predstavlja sveobuhvatan multikriterijumski pristup proceni seizmičkog rizika, koji kombinuje tehničku ranjivost (strukturalni

i nestrukturalni parametri) i društvenu izloženost (broj učenika, geografsku i infrastrukturnu izolovanost škole i vreme korišćenja).

Ovakav pristup omogućava donosiocima odluka da efikasno prioritizuju sanacije i raspodelu resursa i planiranje budžeta, s fokusom na najviše izložene i najranjivije škole.

Ova metodologija za seizmički rizik i formirana baza podataka može biti dalje razvijana u više smerova. Prvi je u smislu detaljnijeg i sveobuhvatnijeg pregleda objekata u smislu građevinskih projekata i instalacija koje mogu biti ugrožene tokom seizmičke aktivnosti.

Drugi pravac je ukrštanje postojećih podloga s podacima za druge prirodne opasnosti (poplave, klizišta...), čime bi se ostvario multi-hazard pristup, i dobili veoma vredni podaci od kojih bi korist mogli imati brojne institucije koje brinu o javnoj bezbednosti, kao i nadležna javna preduzeća.

Metodologija može biti primenjena i na druge tipove javnih objekata (zdravstveni, ustanove socijalne zaštite), odnosno gde god postoji prisustvo ugroženih grupa.

Zahvalnica

Autori su zahvalni Kancelariji za upravljanje javnim ulaganjima i Projektu za povećanje otporne infrastrukture, koji je obezbedila Vlada Japana u okviru Višedonatorskog fonda za integraciju upravljanja rizicima od katastrofa i klimatskih promena u zemljama u razvoju, GFDDR, br. granta A7621 od Svetske banke.

LITERATURA

- [1] FEMA, Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: A Handbook, Third Edition. Prepared by the Applied Technology Council for the Federal Emergency Management Agency, Washington D.C., FEMA 154 Report, 2015.
- [2] FEMA, Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: Supporting Documentation, Third Edition. Prepared by the Applied Technology Council for the Federal Emergency Management Agency: Washington, D.C., FEMA 155 Report, 2015.

- [3] FEMA, Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: A Handbook. Prepared by the Applied Technology Council for the Federal Emergency Management Agency, Washington D.C., FEMA 154 Report, 1988.
- [4] FEMA, Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: Supporting Documentation. Prepared by the Applied Technology Council for the Federal Emergency Management Agency: Washington, D.C., FEMA 155 Report, 1988.
- [5] FEMA, Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: A Handbook, Second Edition. Prepared by the Applied Technology Council for the Federal Emergency Management Agency, Washington D.C., FEMA 154 Report, 2002.
- [6] FEMA, Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: Supporting Documentation, Second Edition. Prepared by the Applied Technology Council for the Federal Emergency Management Agency: Washington, D.C., FEMA 155 Report, 2002.
- [7] FEMA, Reducing the Risks of Nonstructural Earthquake Damage – A Practical Guide, Fourth Edition, prepared by the Applied Technology Council for the Federal Emergency Management Agency: Washington, D.C., FEMA E-74 Report, 2011.
- [8] Manual for Screening of Buildings for Seismic Investigation, Rainer, J. H.; Allen, D. E.; Jablonski, A. M., National Research Council Canada (NRCC), 1993. Published by Institute for Research in Construction, Ottawa. <https://nrc-publications.canada.ca/eng/view/ft/?id=1ca5cbdb-27fd-4292-ba0f-bb3be94197af>
- [9] Standard for Seismic Evaluation of Existing Reinforced Concrete Buildings, English Version, 1st, Translated by: Building Research Institute, published by: The Japan Building Disaster Prevention Association, 2001
- [10] The Seismic Assessment of Existing Buildings, Technical Guidelines for Engineering Assessments, New Zealand Society for Earthquake Engineering, 2017, <http://www.eq-assess.org.nz/>
- [11] Jain SK, Mitra K, Kumar M, Shah M. A Proposed Rapid Visual Screening Procedure for Seismic Evaluation of RC-Frame Buildings in India. Earthquake Spectra. 2010;26(3):709-729. doi:10.1193/1.3456711
- [12] Rai, D.C. Review of Documents on Seismic Evaluation of Existing Buildings; Indian Institute of Technology Kanpur India: Kanpur, India, 2005.
- [13] Ansal, A.; Özyaydın, K.; Edinçliler, A.; Sağlam, A.; Sucuoğlu, H.; Özdemir, P. Earthquake Master Plan for Istanbul; Metropolitan Municipality of Istanbul, Planning and Construction Directorate; Geotechnical and Earthquake Investigation Department: Istanbul, Turkey, 2003.

- [14] Sucuoğlu H, Yazgan U, Yakut A. A Screening Procedure for Seismic Risk Assessment in Urban Building Stocks. *Earthquake Spectra*. 2007;23(2):441-458. <https://doi.org/10.1193/1.2720931>
- [15] Uğur Albayrak, Mehmet Canbaz, Gülçağ Albayrak, A Rapid Seismic Risk Assessment Method for Existing Building Stock in Urban Areas, *Procedia Engineering*, Volume 118, 2015, Pages 1242-1249, ISSN 1877-7058, <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2015.08.476>.
- [16] Endah Wahyuni, Pujo Aji, Firman Budi, Study of Rapid Visual Screening of Buildings for High Potential Seismic Hazard According to Indonesian Standard, The 2nd Internasional Seminar on Science and Technology (ISST) 2016, <http://dx.doi.org/10.12962/j23546026.y2017i2.2273>
- [17] Guideline for Rapid Visual Screening of Buildings For Potential Seismic Hazards, Prepared By: Expert Group from Myanmar Engineering Society, Myanmar Earthquake Committee, and Myanmar Geoscience Society in collaboration with UN-Habitat and Relief and Resettlement Department , published by UN-Habitat, 2019, https://unhabitat.org/sites/default/files/2020/01/31_guideline-for-rapid-visual-screening-of-buildings-for-potential-seismic-hazards.pdf
- [18] Achs, G., Adam, C. Rapid seismic evaluation of historic brick-masonry buildings in Vienna (Austria) based on visual screening. *Bull Earthquake Eng* 10, 1833–1856 (2012). <https://doi.org/10.1007/s10518-012-9376-5>
- [19] Harirchian E, Lahmer T. Improved Rapid Visual Earthquake Hazard Safety Evaluation of Existing Buildings Using a Type-2 Fuzzy Logic Model. *Applied Sciences*. 2020; 10(7):2375. <https://doi.org/10.3390/app10072375>
- [20] Yu, Q., Wang, C., McKenna, F. et al. Rapid visual screening of soft-story buildings from street view images using deep learning classification. *Earthq. Eng. Eng. Vib*. 19, 827–838 (2020). <https://doi.org/10.1007/s11803-020-0598-2>
- [21] Harirchian, E.; Harirchian, A. Earthquake Hazard Safety Assessment of Buildings via Smartphone App: An Introduction to the Prototype Features- 30. *Forum Bauinformatik: Von jungen Forschenden für junge Forschende: September 2018, Informatik im Bauwesen; Professur Informatik im Bauwesen; Bauhaus-Universität Weimar: Weimar, Germany, 2018; pp. 289–297.*
- [22] Morfidis, K.; Kostinakis, K. Approaches to the rapid seismic damage prediction of r/c buildings using artificial neural networks. *Eng. Struct.* 2018, 165, 120–141. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2018.03.028>
- [23] Morfidis, K.; Kostinakis, K. Seismic parameters' combinations for the optimum prediction of the damage state of R/C buildings using neural networks. *Adv. Eng. Softw.* 2017, 106, 1–16. DOI 10.1016/j.advengsoft.2017.01.001

- [24] Edy Irwansyah, Sri Hartati, and Hartono, "Three-Stage Fuzzy Rule-Based Model for Earthquake Non-Engineered Building House Damage Hazard Determination," *J. Adv. Comput. Intell. Inform.*, Vol. 21, No.7, pp. 1298-1311, 2017. <https://doi.org/10.20965/JACIII.2017.P1298>
- [25] A. Ketsap, C. Hansapinyo, N. Kronprasert, and S. Limkatanyu, "Uncertainty and Fuzzy Decisions in Earthquake Risk Evaluation of Buildings," *Eng. J.*, vol. 23, no. 5, pp. 89-105, Sep. 2019. <https://doi.org/10.4186/ej.2019.23.5.89>
- [26] Harirchian E, Lahmer T. Improved Rapid Visual Earthquake Hazard Safety Evaluation of Existing Buildings Using a Type-2 Fuzzy Logic Model. *Applied Sciences*. 2020; 10(7):2375. <https://doi.org/10.3390/app10072375>
- [27] Nassirpour, Arash, Carmine Galasso and Dina D'Ayala. "Multi-hazard physical vulnerability prioritization of school infrastructure in the Philippines." (2018). *Proceedings of the Eleventh U.S. National Conference on Earthquake Engineering (11NCEE)*. (pp. pp. 6456-6467). Earthquake Engineering Research Institute
- [28] Lang D.H., Verbicaro M.I., Singh Y., Prasad J.S.R., Diaz D.W., Gutiérrez M., Structural and non-structural seismic vulnerability assessment for schools and hospitals based on questionnaire surveys: Case studies in central America and India, *Proceedings of 9th US National and 10th Canadian Conference on Earthquake Engineering 2010, Including Papers from the 4th International Tsunami Symposium*, <http://repository.iitr.ac.in/handle/123456789/18835>
- [29] O. Cardenas, A. Farfan and G. Huaco, «Seismic Risk Assessment of Peruvian Public School Buildings Using FEMA P-154 Rapid Visual Screening,» 2020 Congreso Internacional de Innovación y Tendencias en Ingeniería (CONIITI), 2020, pp. 1-5, doi: 10.1109/CONIITI51147.2020.9240369.
- [30] S. J. C. Clemente and N. C. Concha, «Assessment of Seismic Vulnerability of Public Schools in Metro Manila within 5 Km from the West Valley Fault Line using Rapid Visual Survey (RVS),» 2020 IEEE 12th International Conference on Humanoid, Nanotechnology, Information Technology, Communication and Control, Environment, and Management (HNICEM), 2020, pp. 1-4, doi: 10.1109/HNICEM51456.2020.9400131.
- [31] Gentile, R., Galasso, C., Idris, Y., Rusydy, I., and Meilianda, E.: From rapid visual survey to multi-hazard risk prioritisation and numerical fragility of school buildings, *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 19, 1365–1386, <https://doi.org/10.5194/nhess-19-1365-2019>, 2019.

Rad broj 12, kategorija Pregledni rad

Željko Žugić,

Institut za puteve ad,

Beograd, Bulevar Peka Dapčevića 45,

zzugic@gmail.com,

ORCID: 0000-0002-0208-4450, str. 174

Dejan Dragojević,

SK inženjering,

Beograd, Kosmajskih boraca 17,

dragojevic.dejan@yahoo.com,

ORCID: 0000-0002-6551-4200, str. 174

Sandra Nedeljković,

Vlada Republike Srbije, Ministarstvo građevinarstva, saobraćaja i infrastrukture,

Beograd, Nemanjina 22–26,

sannynedeljkovic@gmail.com, str. 174

Jovana Borožan,

Bower& Octant,

Beograd, Nikolaja Gogolja 86

jovana_borozan@hotmail.com,

ORCID 0000-0002-8026-1918, str. 174