

Primljen / Received: 4.6.2018.

Ispravljen / Corrected: 14.10.2018.

Prihvaćen / Accepted: 20.2.2019.

Dostupno online / Available online: 10.7.2019.

Primjena interakcijske metode MVP u ocjeni seizmičke oštetljivosti AB zgrada

Autori:



Doc.dr.sc. **Barış Erdil**, dipl.ing.građ.
Sveučilište Van Yuzuncu Yil, Turska
Građevinski fakultet
bariserdil@yyu.edu.tr



Mr.sc. **Harun Ceylan**, dipl.ing.građ.
Državna uprava za obrazovanje, Turska
Odjel za graditeljstvo i nekretnine
h.ceylan56@hotmail.com

Prethodno priopćenje

Barış Erdil, Harun Ceylan

Primjena interakcijske metode MVP u ocjeni seizmičke oštetljivosti AB zgrada

U svijetu se za ocjenjivanje seizmičke oštetljivosti često koriste preliminarne metode jer njihova provedba oduzima znatno manje vremena od detaljnih postupaka. U ovom se radu za ocjenjivanje seizmičkog ponašanja AB građevina predlaže novi postupak nazvan metoda MVP (moment (M), poprečno (V) i uzdužno opterećenje (P)). Za provedbu postupka potrebni su konstrukcijski i arhitektonski parametri, a analizira se interakcija kapaciteta nosivosti za moment, poprečno i uzdužno opterećenje te zahtjeve. Za svaki su kapacitet nosivosti i zahtjev predložene jednostavne jednadžbe za izračunavanje vrijednosti ponašanja građevine. Predloženi je postupak provjeren na 192 zgrade, a razina točnosti kreće se od 86,5 do 89,1 %.

Ključne riječi:

AB zgrade, seizmička oštetljivost, ocjena oštetljivosti, MVP metoda, kapacitet nosivosti

Research paper

Barış Erdil, Harun Ceylan

MVP interaction based seismic vulnerability assessment of RC buildings

Consuming less time as compared to detailed evaluation techniques, preliminary seismic vulnerability assessments are widely utilized worldwide. In this paper, a new procedure called MVP Method (moment (M), shear (V) and axial (P)), is proposed to evaluate seismic performance of RC buildings. The procedure needs structural and architectural parameters and considers the interaction of moment, shear, and axial load capacities and demands. Simple equations are proposed for each capacity and demand so as to calculate the building performance score. The proposed procedure was verified on 192 buildings, and the success rate ranged from 86.5 to 89.1 %.

Key words:

RC buildings, seismic vulnerability, vulnerability assessment, MVP method, bearing capacity

Vorherige Mitteilung

Barış Erdil, Harun Ceylan

Anwendung der MVP-Interaktionsmethode bei der Beurteilung der Erdbebenschäden von Stahlbetongebäuden

In der Welt werden häufig vorläufige Methoden verwendet, um seismische Schäden zu bewerten, da deren Implementierung viel weniger Zeit in Anspruch nimmt als detaillierte Verfahren. In dieser Arbeit wird zur Beurteilung des seismischen Verhaltens der Stahlbetonkonstruktion ein neues Verfahren vorgeschlagen, das MVP-Verfahren (Moment (M), Quer- (V) und Längslast (P)). Zur Durchführung des Prozesses werden strukturelle und architektonische Parameter benötigt und das Zusammenspiel der Tragfähigkeit für Moment-, Quer- und Längslasten der Anforderungen analysiert. Für jede Tragfähigkeit und Anforderung werden einfache Gleichungen zur Berechnung des Wertes des Verhaltens eines Gebäudes vorgeschlagen. Das vorgeschlagene Verfahren wird an 192 Gebäuden überprüft, und die Genauigkeit liegt zwischen 86,5 und 89,1 %.

Schlüsselwörter:

Stahlbetongebäude, Erdbebenschäden, Schadensbewertung, MVP-Methode, Tragfähigkeit

1. Uvod

Potres magnitude $M_w = 7,4$, uzrokovan lomom u sjevernoanatolijskom rasjedu, pogodio je 17. kolovoza 1999. godine pokrajinu Kocaeli smještenu na sjeverozapadu Turske. Otprilike tri mjeseca kasnije, tj. 12. studenog 1999., potres magnitude $M_w = 7,2$ zadesio je pokrajinu Duzce koja se nalazi u istoj regiji. 3. veljače 2002. godine zabilježen je potres magnitude $M_w = 6,2$ u mjestu Sultandagi smještenom u blizini grada Afyona na zapadu Turske. Nešto više od godinu dana kasnije, tj. 1. svibnja 2003. potresom magnitude $M_w = 6,4$ pogođen je i grad Bingol na istoku Turske. Grad Van, također smješten na istoku Turske, pogođen je 23. listopada 2011. potresom magnitude $M_w = 7,0$, a samo sedamnaest dana kasnije, tj. 9 studenog 2011., u istoj je regiji zabilježen još jedan potres magnitude $M_w = 5,6$. Nekoliko potresa slabijeg i srednje jakog intenziteta zabilježeno je i u drugim područjima Turske [1]. U tim je potresima srušeno ili veliko oštećeno tisuće zgrada, a živote je izgubilo nekoliko tisuća ljudi. Osim toga, ekonomska je šteta samo za potres u Kocaeliju iznosila otprilike 16 milijardi američkih dolara [2]. Velika oštećenja i rušenja zgrada uglavnom se događaju zbog loše kvalitete betona, nedovoljne količine i lošeg rasporeda armature, lošeg izvođenja, nepoštivanja propisa itd. [3-7]. Čak i kada građevine pretrpe manja ili srednje velika oštećenja, to ne znači da su dovoljno otporne i da će sigurno izdržati neki budući potres. Stoga se treba odrediti seizmička otpornost takvih građevina kako bi se spriječile ljudske žrtve i materijalni gubici.

Seizmička otpornost AB građevina ovisi o nekoliko parametara kao što su: broj etaža, težina građevine, namjena građevine, čvrstoća betona, kvaliteta armature, riješenosti detalja, uvjeti tla, arhitektonske karakteristike itd. Svaki od tih parametara može biti odlučujući u slučaju potresa. Međutim, važnost pojedinačnih parametara obično se određuje pomoću težinskih koeficijenata. Težinskim se koeficijentom definira razina seizmičke učinkovitosti građevina.

Za određivanje seizmičke učinkovitosti AB građevina primjenjuju se tri pristupa. Prvi je poznat pod nazivom istraživanje na terenu (ili istraživanje u hodu). U okviru tog postupka određuju se osnovna vizualna svojstva građevine, a svakom se konstrukcijskom parametru pripisuju unaprijed određene vrijednosti [8-11]. Kombiniranjem tih vrijednosti izračunava se konačna učinkovitost građevine. Dobivena se vrijednost zatim uspoređuje s graničnom vrijednošću kako bi se odredile najugroženije građevine. Drugi pristup poznat je pod nazivom "preliminarna ocjena seizmičke oštetljivosti" ili kao "ocjena razine 2". U okviru tog pristupa provode se osnovni proračuni kako bi se odredile karakteristike nosivosti zgrade, uvjeti tla, čvrstoća betona, vizualna kvaliteta i nepravilnosti [8, 12-18]. Osim toga, iako se svi postupci iz ove skupine mogu primijeniti za ocjenjivanje građevina koje nisu otporne na seizmička djelovanja, neki od njih mogu poslužiti i za ocjenjivanje seizmičke učinkovitosti pojedinačnih građevina primjenom jednostavnih jednadžbi. Vrijeme potrebno za provedbu postupka znatno je duže u usporedbi s postupcima koji se koriste u uličnom

istraživanju. Iako se pojedini postupci temelje na odnosima kapaciteta i zahtjeva [12, 13, 16-18], u nekima se primjenjuju konstrukcijski parametri tj. zadaju se unaprijed određene vrijednosti [8, 14, 15]. Osim toga, i broj parametara bitno varira, i to od četiri parametra [12] pa do čak 25 parametara [15]. U zadnjem se pristupu primjenjuju detaljni postupci u kojima se provodi pojedinačno ocjenjivanje svakog značajnog nosivog elementa. U tim je postupcima potrebna detaljna analiza konstrukcije, bilo linearna ili nelinearna, a koristi se i veći broj parametara u odnosu na drugi pristup [19-21]. Parametri su kvalitetniji jer se postupci temelje na nosivosti i pomaku pojedinačnih elemenata. Kako provedba ovog pristupa dugo traje, on nije praktičan u slučajevima kada se u kratko vrijeme treba analizirati velik broj građevina.

Preliminarno ocjenjivanje seizmičke oštetljivosti često se primjenjuje u praksi jer se može provesti brže od složenijih seizmičkih postupaka. Kao što je već navedeno, u današnje se vrijeme koristi nekoliko metoda, a svaka od njih ima neke prednosti i nedostatke. Na primjer, pogodnost metode koju predlažu Tezcan i dr. [15] jest u broju parametara, a nedostatak su joj unaprijed određeni rezultati gdje jedna vrijednost postaje dominantna. Isto tako, metoda koju predlažu Hassan i Sozen [12] povoljna je i praktički primjenjiva zbog omjera površina stupova i zidova. Međutim, metoda postaje manje prikladna kada na ponašanje bitno utječu nepravilnosti i kvaliteta betona. Uzimajući u obzir prednosti i nedostatke postojećih postupaka, u radu se predlaže novi postupak nazvan MVP (moment (M), poprečno (V) i uzdužno opterećenje (P)), a isti koristi se za analizu seizmičkog ponašanja AB građevina. U postupku se koriste konstrukcijski i arhitektonski parametri, a u obzir se uzima interakcija kapaciteta nosivosti za moment, poprečnog i uzdužnog opterećenja, te zahtjevi bazirani na podacima s ranijih potresa. Za svaki kapacitet nosivosti i zahtjev predlažu se jednostavne jednadžbe radi pojednostavljenja problema.

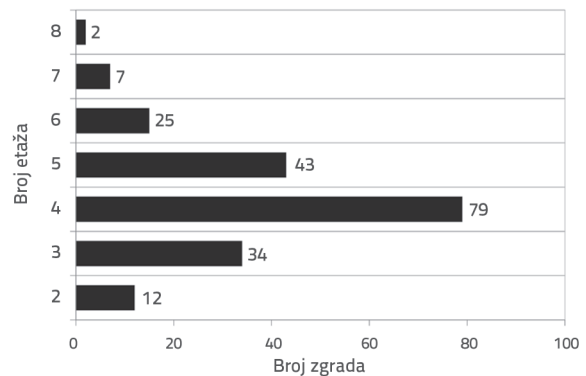
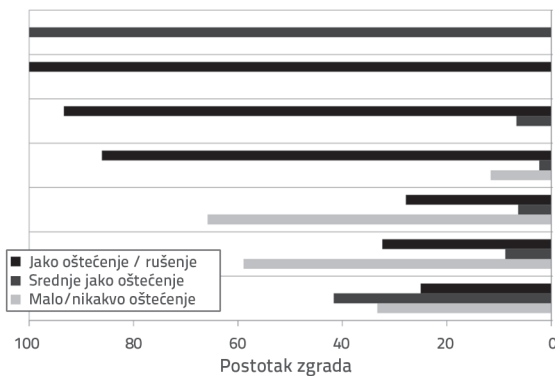
2. Svojstva analiziranih građevina

U ovom se radu analizira ponašanje 192 zgrade različitih konstrukcijskih karakteristika, koje su smještene u tri različita grada u Turskoj. 114 zgrada nalazi se u Vanu, a 32 u Ercisu nedaleko od Vana (neke zgrade preuzete su iz rada [22]). 22 zgrade nalaze se u Bingolu, a 18 ih je u Afyon-u [23]. Svaka od tih građevina pretrpjela je potres srednjeg ili jakog intenziteta. Seizmička otpornost armiranobetonskih građevina ovisi o nekoliko konstrukcijskih i arhitektonskih parametara kao što su broj etaža (ili visina građevine), čvrstoća betona, površina etaže, broj vertikalnih nosivih elemenata, zidne ispune, meke/slabe etaže, torzija, veliki prepusti, količina uzdužne i poprečne armature itd. Ovdje će se otkriti utjecaji nekih od tih parametara na stupanj oštećenosti analiziranih zgrada.

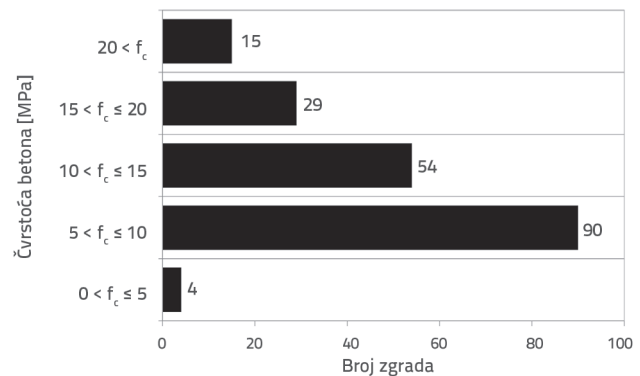
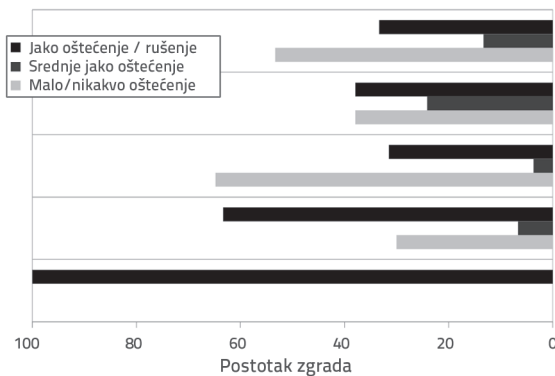
Uočeno je da broj etaža (tj. visina zgrade) utječe na seizmičko ponašanje građevina [8]. Na slici 1. prikazan je odnos između broja etaža i stupnja oštećenosti 192 građevine analizirane u ovom radu. Kao što se može uočiti, broj etaža varira od 2 do 8,

a većina građevina ima 3, 4 i 5 etaža. Također se može uočiti da nema vidljive veze između broja etaža i stupnja oštećenosti u zoni između druge i četvrte etaže. Međutim, stupanj oštećenosti raste kada zgrade imaju više od četiri etaže. To se podudara sa zaključcima Sucuoglu i Yazgana [8] koji navode, nakon analize 477 zgrada oštećenih u potresu koji je 1999. godine zadesio mjesto Duzce u Turskoj, da se razina oštećenosti povećava s porastom broja etaža. Ta se pojava pripisuje neodgovarajućem seizmičkom kapacitetu građevina. Odnos između čvrstoće betona (f_c) i stupnja oštećenosti prikazan je na slici 2. U nekoliko izvještaja objavljenih nakon srednje jakih i jakih potresa navodi se da kvaliteta betona ugrađenog u AB

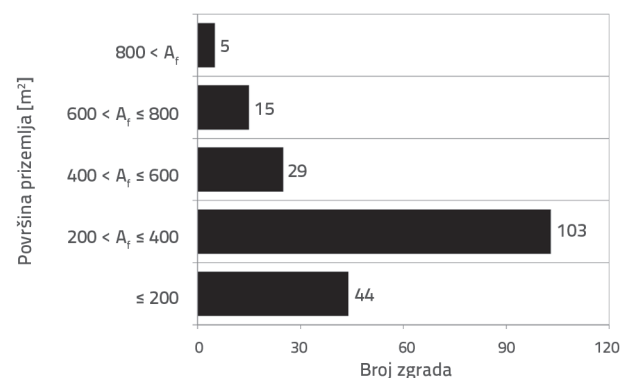
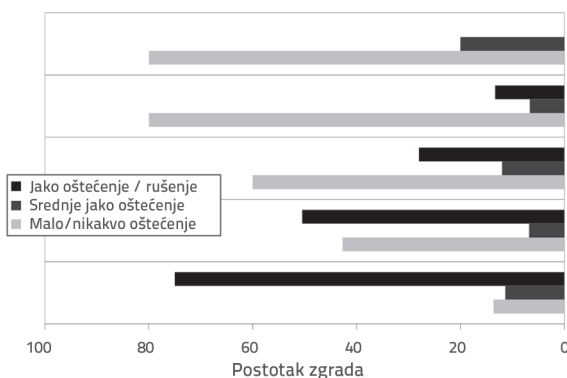
zgrade nije adekvatna [5, 7, 22]. Na istoj se slici može vidjeti da je kod samo 15 zgrada (~7,8 %) čvrstoća betona veća od 20 MPa, što je najniža granica zadana u TEC2007 [21]. Kod većine zgrada (67 %), kvaliteta betona niža je od 10 MPa, što znači da je čvrstoća betona kod tih zgrada manja od najniže projektirane čvrstoće izračunane dijeljenjem karakteristične čvrstoće s 1,5, kako se to nalaže propisima o projektiranju seizmički otpornih građevina. Na primjer, prema TEC1997 [24] i TEC2007 [21], minimalna karakteristična čvrstoća betona iznosi 20 MPa, a projektirana čvrstoća je 13,3 MPa ($20/1,5 = 13,3$ MPa). Iz prikaza stanja oštećenosti može se vidjeti da se postotak srušenih građevina, tj. građevina s velikim oštećenjima smanjuje



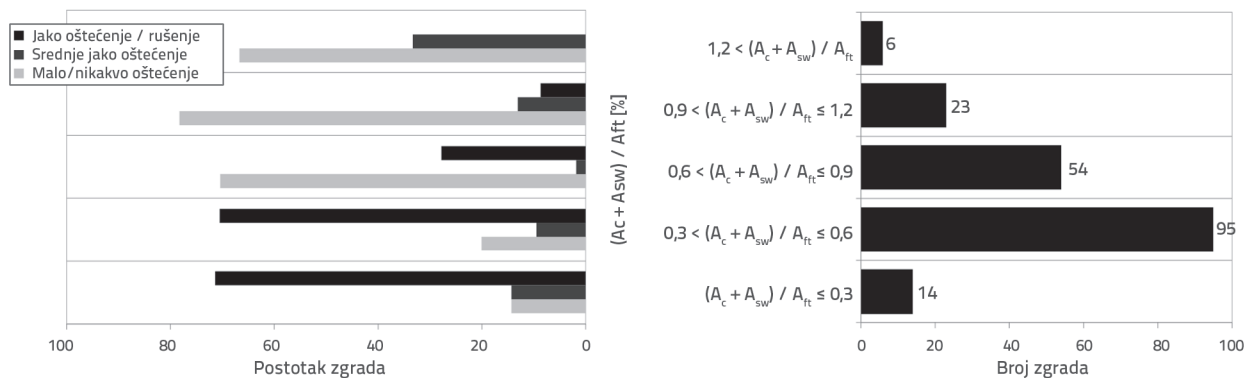
Slika 1. Odnos između broja etaža i stupnja oštećenosti



Slika 2. Odnos između čvrstoće betona i razine oštećenosti



Slika 3. Odnos između površine prizemlja i razine oštećenja



Slika 4. Odnos između koeficijenta ukupnih vertikalnih nosivih elemenata i razine oštećenosti

s povećanjem čvrstoće betona. Iako se stupanj oštećenosti smanjuje s povećanjem čvrstoće betona, utvrđeno je da su i kod građevina s čvrstoćom betona većom od 20 MPa ipak zabilježeni slučajevi rušenja, jakog oštećenja i srednjeg oštećenja. Stoga se iz slike može zaključiti da kvaliteta betona nije jedini faktor koji utječe na stupanj oštećenosti građevina.

Odnos između razine oštećenosti i površine prizemlja prikazan je na slici 3. Na toj se slici može vidjeti da je kod većine analiziranih zgrada površina prizemlja manja od 400 m². Prema razini oštećenosti prikazanoj na lijevoj strani slike, razina oštećenosti zgrada smanjuje se s povećanjem površine prizemlja. Dok je 75 % građevina s površinom prizemlja manjom od 200 m² bilo srušeno ili veliko oštećeno, taj postotak iznosi samo 13 % kod građevina s površinom prizemlja između 600 m² i 800 m². Stoga se iz slike može zaključiti da je površina prizemlja važan parametar za određivanje seizmičke otpornosti zgrada. Međutim, kako je izravno povezana s površinom svih nosivih elemenata i s brojem etaža, površina prizemlja ne bi se smjela analizirati zasebno.

Na slici 4. prikazan je omjer između koeficijenta ukupnih vertikalnih nosivih elemenata $(A_c + A_{sw}) / A_{ft}$ (gdje su A_c i A_{sw} ukupna površina stupova i površina posmičnih zidova na prizemlju dok je ukupna podna površina) i razine oštećenosti. Omjer $(A_c + A_{sw}) / A_{ft}$ za 14 zgrada (7,3 % zgrada) jednak je ili niži od 0,3 %, a za 109 zgrada jednak je ili niži od 0,6 % (56,8 % zgrada). Omjer ukupnih vertikalnih nosivih elemenata ima važnu ulogu u smanjenju razine oštećenosti zgrada. Drugim riječima, oštećenost zgrada smanjuje se s povećanjem omjera ukupnih vertikalnih nosivih elemenata. Očito je da je 70,6 % zgrada s omjerom $(A_c + A_{sw}) / A_{ft}$ nižim od 0,6 % bilo srušeno ili su pak pretrpjele velika oštećenja. S druge strane, ova se vrijednost smanjuje na 6,9 % za zgrade s omjerom $(A_c + A_{sw}) / A_{ft}$ većim od 0,9 %. Međutim, kako je uočeno da zgrade s visokim omjerom $(A_c + A_{sw}) / A_{ft}$ ipak popuštaju tijekom potresa, može se zaključiti da se omjer $(A_c + A_{sw}) / A_{ft}$ ne može prihvatiti kao jedini indikator razine oštećenosti.

Uz navedene parametre, tablica 1. prikazuje kako na razinu oštećenosti djeluju određeni arhitektonski parametri kao što su mekana/slaba etaža, kratak stup, i veliki prepust. Od 86 zgrada kod kojih je zabilježena pojava meke/slabe etaže, 57 % je bilo srušeno ili su pak pretrpjele velika oštećenja. Međutim,

to ipak ne znači da su građevine pogođene mekom/slalom etažom izrazito oštetljive, jer je 43 % od njih pretrpjelo tek manja do srednje jaka oštećenja. Utjecaj velikog prepusta može se usporediti s utjecajem meke/slabe etaže jer je pod takvim utjecajem 62 % građevina ili srušeno ili su pretrpjele velika oštećenja. Međutim, što se tiče kratkog stupa, možemo uočiti da ta pojava nije izravno vezana s oštećenjima jer je 55 % građevina s tom pojavom pretrpjelo tek manja ili nikakva oštećenja.

Tablica 1. Odnos između arhitektonskih parametara i razine oštećenosti

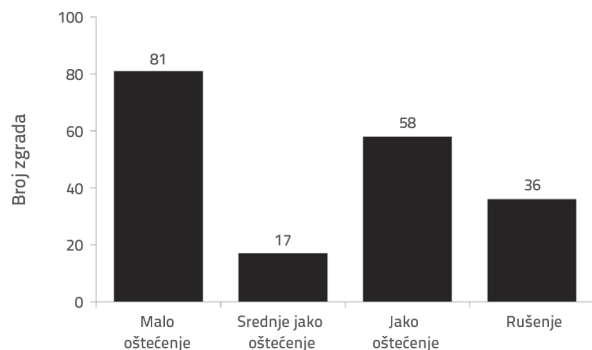
Razina oštećenosti	Meka/slaba etaža	Kratak stup	Veliki prepust
Mala/nikakva šteta	26 (30,2 %)	26 (55,3 %)	17 (25,0 %)
Srednje velika šteta	11 (12,8 %)	10 (21,3 %)	9 (13,2 %)
Jako velika šteta	25 (29,1 %)	7 (14,9 %)	19 (28,0 %)
Rušenje	24 (27,9 %)	4 (8,5 %)	23 (33,8 %)
Ukupno	86	47	68

Kod nekih od analiziranih zgrada zabilježeni su nedostaci u pogledu uzdužne armature. Prema dostupnim podacima, kod 32 % velikih oštećenih i srušenih zgrada omjer uzdužne armature iznosio je manje od 1 % (tj. manje od minimuma propisanog za stupove). Također je uočeno da je kod 71,4 % zgrada razmak između šipki poprečne armature iznosio više od 100 mm (tj. više od maksimalno propisanih razmaka).

S obzirom na takva zapažanja i analize, može se zaključiti da, iako na seizmičku učinkovitost zgrada utječe kvaliteta betona, broj etaža, površina prizemlja, omjer ukupnih vertikalnih nosivih elemenata i ostali konstrukcijski i arhitektonski parametri, pojedinačni utjecaji tih parametara ipak se ne mogu smatrati mjerodavnima jer se ponašanje zgrada i razine njihove oštećenosti mogu odrediti tek na osnovi kombinacije svih utjecaja. Stoga, umjesto primjene samo jednog parametra za ocjenu seizmičke oštetljivosti zgrada, ta se oštetljivost treba analizirati na osnovi nekoliko prikladno vrednovanih utjecajnih parametara.

Što se tiče opće razine oštećenosti, od ukupno 192 zgrade 81 je pretrpjela mala ili nikakva oštećenja, 17 zgrada pretrpjelo je

srednje jaka oštećenja, dok je 58 zgrada veliko oštećeno, a 36 je u potpunosti srušeno. Od svih analiziranih zgrada, 98 zgrada (s nikakvim, malim ili srednjim oštećenjima, tj. 51 % od ukupnog broja zgrada) može se koristiti nakon odgovarajućeg popravka ili pojačanja, dok se 94 zgrade (koje su potpuno srušene ili su pretrpjele velika oštećenja, a čine 49 % od ukupnog broja zgrada) ne mogu koristiti ni za koju namjenu (slika 5.). Kako se svojstva zgrada bitno ne razlikuju od grada do grada, može se reći da te 192 zgrade predstavljaju reprezentativni uzorak koji dobro ocrtava sadašnju kvalitetu zgrada u Turskoj.



Slika 5. Razina oštećenosti zgrada

3. Metoda MVP

Preliminarno ocjenjivanje seizmičke oštećljivosti trebalo bi biti pouzdano a ipak jednostavno za primjenu, pri čemu se podrazumijeva da bi se ono trebalo moći provesti brže od detaljnijih postupaka. Metoda MVP koja predstavljena u ovom radu služi za ocjenjivanje seizmičke oštećljivosti zgrada, a pritom se primjenjuju podaci o njihovom kapacitetu nosivosti, tj. momentu (M), poprečnom (V) i uzdužnom opterećenju (P), koji se zatim uspoređuju sa zahtjevima izračunatima pomoću jednostavnih jednadžbi. U jednadžbi se razmatra međudjelovanje momenta, poprečnog i uzdužnog opterećenja. Izračunana vrijednost MVP_i (gdje i predstavlja smjer potresa: x ili y) uspoređuje se s unaprijed određenom graničnom vrijednošću kako bi se iskazala seizmička oštećljivost zgrada. Ako je rezultat viši od granične vrijednosti, tada se smatra da će zgrada pretrpjeti manja ili nikakva oštećenja, tj. srednje jaka oštećenja u najgorem mogućem scenariju. Drugim riječima, smatra se da zgrada ulazi u područje niske oštećljivosti. Ako je izračunani rezultat niži od granične vrijednosti, smatra se da se zgrada nalazi u području visoke oštećljivosti te da će vjerojatno pretrpjeti jaka oštećenja ili će se potpuno srušiti.

$$MVP_i = \frac{A}{\alpha\beta} \frac{M_{ri}}{M_{di}} + \frac{B}{\gamma\varphi} \frac{V_{ri}}{V_{di}} + C \frac{P_r}{P_d} \geq BP \quad (1)$$

U izrazu (1) vrijednosti A , B i C označavaju težinske koeficijente koji će se odrediti u nastavku ovog rada. α označava indeks velikog prepusta, β označava indeks mekane etaže, γ je indeks kratkog stupa, φ je indeks torzije, M_{ri} označava kapacitet nosivosti zgrade za moment, M_{di} je moment prevrtanja zbog seizmičkog opterećenja, V_{ri} je otpornost zgrade na poprečnu silu, V_{di} je poprečna sila zbog seizmičkog opterećenja, P_r je otpornost zgrade na uzdužnu silu, dok je P_d vanjsko uzdužno opterećenje. Iako se u ovom radu smatra da je prizemlje najkritičnija etaža, izraz se može koristiti i za druge etaže. Svaki dio jednadžbe zasebno se prikazuje i razmatra kako bi se omogućilo potpuno razumijevanje prikazanog koncepta.

3.1. Kapacitet nosivosti za moment i zahtjev

Kapacitet nosivosti AB zgrade za moment ovisan o smjeru potresa, M_{ri} može se izračunati pomoću izraza (2).

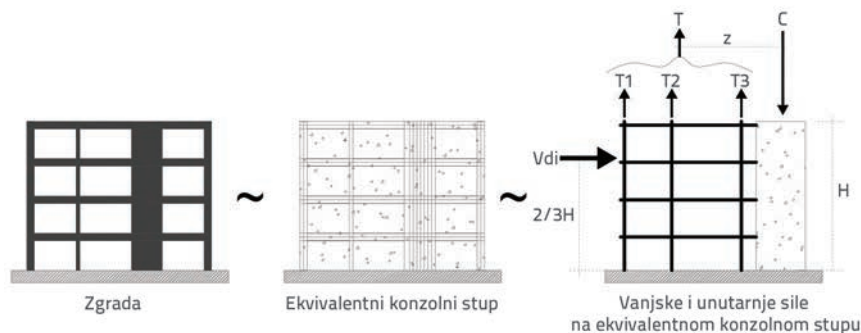
$$M_{ri} = f_y \frac{L_i}{5} \sum \rho (A_c + A_{sw}) \quad [\text{kNm}] \quad (2)$$

U ovom izrazu ρ predstavlja koeficijent armiranja na uzdužnu armaturu za stupove. Nema li podataka o uzdužnoj armaturi, može se usvojiti vrijednost od 0.008 ako je građevina izvedena prije stupanja na snagu sadašnjeg zakona (u Turskoj je to TEC1997 [24]), tj. 0,01 ako je građevina izvedena nakon usvajanja nove regulative. f_y označava graničnu čvrstoću uzdužne armature (ako nema podataka, može se koristiti 220 MPa za građevine izvedene u Turskoj prije 1997, tj. 420 MPa za novije građevine), je tlocrt građevine u skladu sa smjerom potresa, a i je smjer potresa (x ili y).

U izradi jednadžbe (2) pretpostavljeno je da se zgrada može predstaviti konzolnim stupom točkasto opterećenim na $2/3$ njegove visine (slika 6.). U zgradi se stupovi i posmični zidovi smatraju uzdužnim pojačanjem, kao i kod jednostavnog konzolnog stupa. Prema slici 6., ukupna vlačna sila T iznosi

$$T = T_1 + T_2 + T_3 = \sum T_i = \sum A_{si} f_{si} \quad (3)$$

gdje je $T_i = A_{si} f_{si}$ ukupna vlačna sila (slika 6.), z_i je krak sile, A_{si} je površina uzdužne armature, a f_{si} je naprezanje u čeliku.



Slika 6. Pretpostavka ekvivalentnog konzolnog stupa za tipičnu zgradu

U konzolnoj zgradi, ukupna vlačna sila, T , iznosi

$$T = \frac{\rho(A_c + A_{sw})f_y}{n_1} \quad (4)$$

gdje je $\rho(A_c + A_{sw})$ ukupna uzdužna armatura vertikalnih nosivih elemenata na etaži (slično kao i A_{si} u konzolnom stupu), a n_1 je faktor koji se koristi za mijenjanje jednadžbe da bi se u obzir uzela samo pojačanja u vlačnoj zoni. Ovdje su A_c i A_{sw} ukupna površina stupova, tj. posmičnih zidova na etaži.

Kapacitet nosivosti za moment konzolne građevine može se izračunati vrlo jednostavno, kao što je to prikazano u izrazu (5). Krak sile, z , iznosi n_2L_i , gdje je L_i tlocrtna dimenzija paralelna sa smjerom potresa, a n_2 je faktor modifikacije za određivanje kraka sile za:

$$M = Tz \quad (5)$$

S obzirom na to da kapacitet nosivosti za moment može biti netočan ako se koristi ukupni koeficijent armiranja te ako se ukupna tlocrtna dimenzija (L) koristi u kraku sile, prikladna vrijednost kapaciteta nosivosti za moment može se dobiti primjenom faktora izmjene, kako je to prikazano u izrazu (6):

$$M = Tz = \frac{\rho(A_c + A_{sw})f_y}{n_1} n_2L_i = \rho(A_c + A_{sw})f_y \frac{n_2}{n_1} L_i \quad (6)$$

Krak sile savojnog elementa s nekoliko slojeva uzdužne armature iznosi otprilike 0,8h [27], a utjecaj uzdužne armature u točki udaljenoj od težišta veći je od istog utjecaja u blizini središta. Uzimajući u obzir ovu informaciju, smatra se da vrijednost n_2 iznosi 0,8. Osim toga, dužina zgrade paralelno sa smjerom potresa podijeljena je na četiri jednaka dijela kako bi se dobile četiri zone u tlocrtu etaže te se pretpostavlja, prema spomenutoj informaciji, da se uzdužna armatura udaljena od težišta nalazi na daljem kraju na vlačnoj strani. Prema tim pretpostavkama, dobiven je izraz $n_2/n_1 = 0,8/4 = 1/5$ kojim se mijenja kako ukupni koeficijent armiranja tako i krak sile. I, konačno, dobiva se vrijednost kao u izrazu (2), gdje se u obzir uzima čvrstoća i koeficijent uzdužnog armiranja, površina vertikalnih nosivih elemenata te tlocrtna dimenzija usklađena sa smjerom potresa. Prilikom izrade M_{rr} u obzir se ne uzima utjecaj uzdužnog opterećenja jer se faktor uzdužnog opterećenja tretira zasebno u izrazu (1).

Vrijednost M_{dr} tj. vanjski moment uzrokovan seizmičkim opterećenjem koje je usklađeno sa smjerom potresa, može se izračunati pomoću jednadžbe 7. U toj se jednadžbi podrazumijeva da ukupna poprečna sila djeluje na $2/3H$ zgrade, gdje je H ukupna visina zgrade mjerena od razine tla (podrumske etaže nisu uključene). V_{di} je poprečna sila izračunana za razmatrani smjer (izraz je prikazan u sljedećim poglavljima ovog rada).

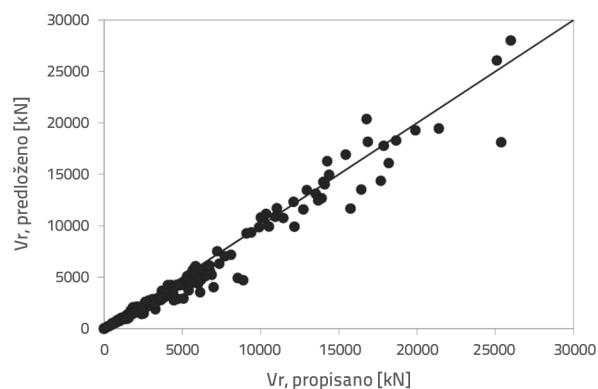
$$M_{di} = \frac{2}{3} HV_{di} \quad [\text{kN}] \quad (7)$$

3.2. Kapacitet nosivosti za poprečnu silu i zahtjev za poprečnu silu

Vrijednost V_{rr} tj. kapacitet nosivosti zgrade za poprečnu silu koji je usklađen sa smjerom potresa, može se izračunati na način prikazan u izrazu (8).

$$V_{ri} = 1.4f_{ctk} \left(\frac{100}{s} \right)^{0.7} \sum (A_{ci} + A_{swi}) \quad [\text{kN}] \quad (8)$$

U toj jednadžbi i označava smjer potresa, f_{ctk} je vlačna čvrstoća betona koja se može izračunati iz gdje je $0.35\sqrt{f_{ck}}$ karakteristična tlačna čvrstoća betona (u MPa), s je razmak (u mm) poprečne armature (posmična armatura) u zoni učvršćenja, A_{ci} je površina stupa, a A_{swi} je površina posmičnog zida ovisna o smjeru koji se razmatra. U jednadžbi se razmatraju isključivo vertikalni AB elementi kao što su stupovi i posmični zidovi. Osim toga, u toj se jednadžbi u obzir uzima doprinos kako betona tako i armature. Zidovi ispuše se ne uzimaju u obzir jer je njihov doprinos nosivosti vrlo malen (ako ih usporedimo s AB elementima). Iako se i u V_{ri} i u $V_{r,code}$ kao ulazni parametri koriste beton, poprečna armatura, te površina elemenata, predloženom se jednadžbom pojednostavljuje postupak spajanjem dviju zasebnih jednadžbi za stupove (izraz 9) i posmične zidove (izraz 10) koje se predlažu u TEC2007 [21] i TS500 [25].



Slika 7. Usporedba predloženog kapaciteta nosivosti na poprečnu silu i kapaciteta nosivosti na poprečnu silu izračunanog prema TEC2007

Slika 7. prikazuje usporedbu poprečne sile izračunane prema izrazu (8) i prema izrazima (9) i (10). Može se uočiti da razlika nije značajna, što znači da su rezultati iskazani u jednadžbi 8 logični.

$$V_{r,code}(\text{column}) = 0.65f_{ctk}b_wd + \frac{A_{sw}f_yd}{s} \quad (9)$$

$$V_{r,code}(\text{shear wall}) = A_{sw} (0.65f_{ctk} + \rho_{sw}f_y) \quad (10)$$

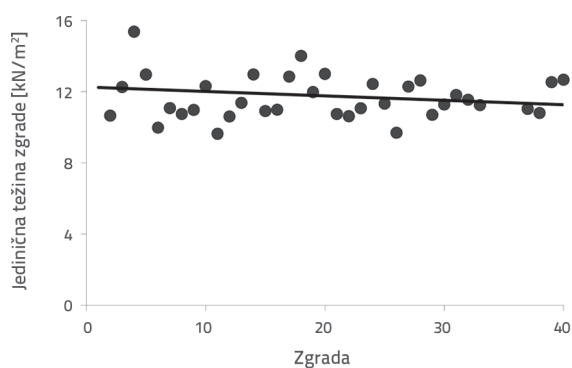
U izrazima (9) i (10) b_w je kraća dimenzija stupa, d je efektivna dubina presjeka, A_{stw} je površina poprečne armature stupa, a ρ_{sw} je koeficijent armiranja na poprečnu armaturu u posmičnom zidu. Kako se stupovi i posmični zidovi smatraju jakim kada je njihova duža strana usklađena sa smjerom potresa, zanemaruje se njihov kapacitet u poprečnom smjeru. Drugim riječima, kada se izračunava površina pravokutnog stupa, najprije se određuje njegova duža strana, a nakon toga se izračunava odgovarajuća površina. Na primjer, ako pretpostavimo da je duža strana stupa usklađena s potresom u smjeru x , tada se izračunava površina stupa (A_{cx} , $A_{cy} = 0$). Ako to nije slučaj, zanemaruje se doprinos tog stupa, te se uzima u obzir u suprotnom smjeru ($A_{cx} = 0$, A_{cy}). Ako je poprečni presjek stupa kvadratičan, treba se razmotriti površina tog stupa u oba smjera (A_{cx} i A_{cy}). Ta se pretpostavka smije koristiti samo za izračunavanje A_{cr} . Ista definicija vrijedi i za posmične zidove.

Poprečna sila uzrokovana seizmičkom opterećenjem usklađenim sa smjerom potresa (V_d) može se definirati pomoću izraza (11).

$$V_d = \frac{S_a \sum W}{R} \quad (11)$$

Ovim izrazom se pretpostavlja da svaka etaža zgrade teži 12 kN/m² (prosječna vrijednost za 40 zgrada kako je naznačeno na slici 8.) te da $\sum W$ iznosi $\sum 12A_{floor}$ gdje je A_{floor} tlocrtna površina razmatrane etaže, S_a je spektralna akceleracija (za koju je usvojena vrijednost 1), a R je faktor smanjenja ukupne poprečne sile koji se koristi u proračunu na poprečnu silu, a iznosi 2 prema TEC2007 [21]. Na temelju tih pretpostavki može se izvesti pojednostavljeni izraz poprečne sile kako slijedi:

$$V_d = 6 \sum A_{floor} \quad [\text{kN}] \quad (12)$$



Slika 8. Jedinična težina zgrade

3.3. Kapacitet nosivosti i zahtjev uzdužne sile

Kapacitet nosivosti za uzdužnu silu elemenata koji preuzimaju vertikalna opterećenja može se izračunati prema izrazu (13).

$$P_r = f_{ck} \sum (A_c + A_{sw}) \quad \text{kN} \quad (13)$$

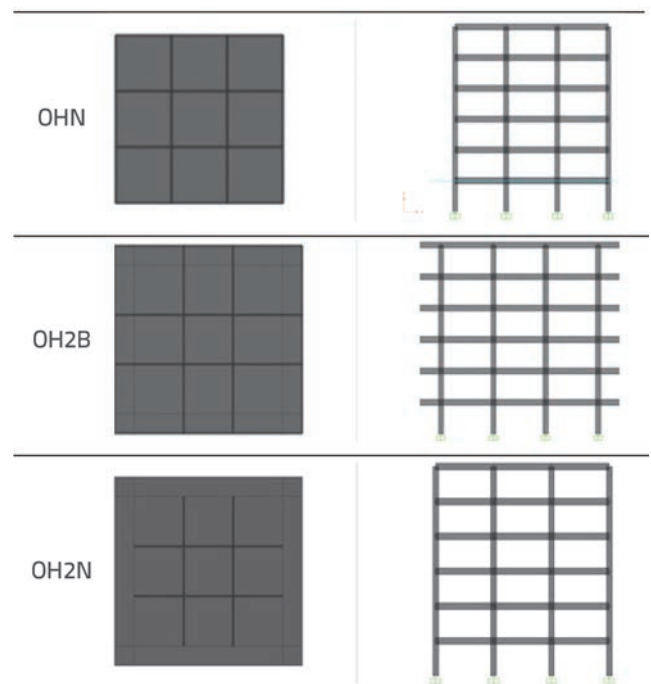
U ovom izrazu vrijednost A_c označava ukupnu površinu stupa, dok je vrijednost A_{sw} ukupna površina posmičnog zida za analiziranu etažu. U izrazu se razmatra doprinos betona samo radi pojednostavljenja problema. Zahtijevano uzdužno opterećenje može se odrediti pomoću izraza (14):

$$P_d = 12 \sum A_{floor} \quad [\text{kN}] \quad (14)$$

U izrazu se pretpostavlja da svaka etaža zgrade teži 12 kN/m². Vrijednost $\sum A_{floor}$ je ukupna površina etaže iznad promatrane.

3.4. Indeks velikog prepusta " α "

Budući da veliki prepust povećava moment u obodnim stupovima, njegov se utjecaj treba uzeti u obzir u globalnoj analizi. Tri zgrade sličnih svojstava modelirane su kako bi se objasnio stupanj povećanja momenata (slika 9.). Prva zgrada (OHN) nema prepusta i koristi se kao referentni model. Druga ima dvometarske prepuste, a nose ih konzolne grede (OH2B). Zadnji model ima isti broj prepusta ali nema konzolnih greda (OH2N). Prepusti su odabrani radi postizanja maksimalnog utjecaja. Nakon linearne statičke analize, ustanovljeno je da prosječna promjena momenta u obodnim stupovima iznosi 1,36 za OH2B, tj. 1,33 za OH2N. Stoga je usvojena vrijednost $\alpha = 1,4$ za slučaj kada prepusti postoje, tj. $\alpha = 1,0$ kada prepusti ne postoje.

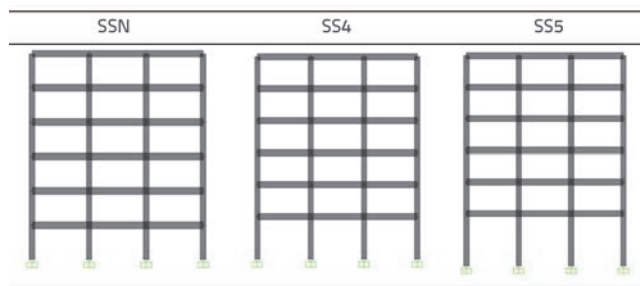


Slika 9. Modeli za određivanje indeksa velikog prepusta

3.5. Indeks meke etaže " β "

Analizirane su dodatne tri zgrade kako bi se odredila promjena momenta zbog formiranja mekih etaža. Prva zgrada nije imala

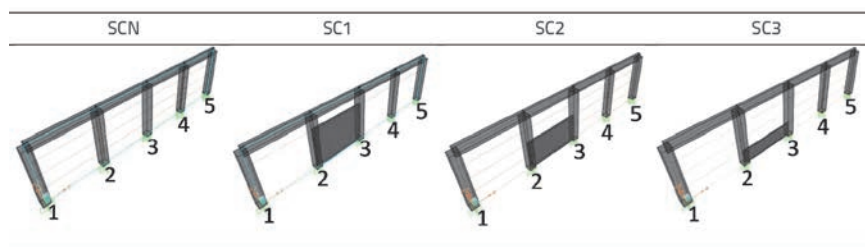
meku etažu (SSN), tj. visina svih etaža iznosila je 3 m. Druga je zgrada imala meku etažu: visina prizemlja iznosila je 4 m (SS4), a visina ostalih etaža bila je 3 m. Kod zadnje zgrade, visina prizemlja iznosila je 5 m (SS5), a visina ostalih etaža bila je 3 m (slika 10.). Nakon analize svih zgrada, utvrđeno je da prosječno povećanje momenta iznosi 20 % za model SS4, tj. 40 % za model SS5, što potvrđuje da moment raste s povećanjem visine mekih etaža. Stoga, uzimajući u obzir prosječne promjene, odlučeno je da se usvoji vrijednost $\beta = 1,0$ kada u zgradi nema meke etaže, tj. vrijednost $\beta = 1,4$ kada je meka etaža prisutna.



Slika 10. Modeli za određivanje indeksa mekih etaža

3.6. Indeks kratkog stupa "γ"

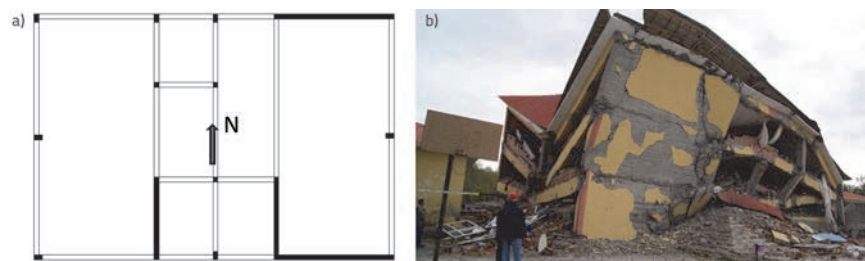
Četiri jednostavna okvira modelirana su kako bi se odredio utjecaj kratkog stupa na poprečnu silu stupa (slika 11.). Okvir



Slika 11. Modeli za određivanje indeksa kratkog stupa

Tablica 2. Promjena poprečnih sila stupova zbog pojave kratkog stupa

	Poprečna sila stupova [kN]				Promjena poprečnih sila stupova		
	SCN	SC1	SC2	SC3	SC1/SCN	SC2/SCN	SC3/SCN
Stup 2	36,66	55,92	48,34	44,26	1,53	1,32	1,21
Stup 3	33,93	48,49	44,71	41,31	1,43	1,32	1,22
Prosječna promjena poprečnih sila stupova					1,48	1,32	1,21



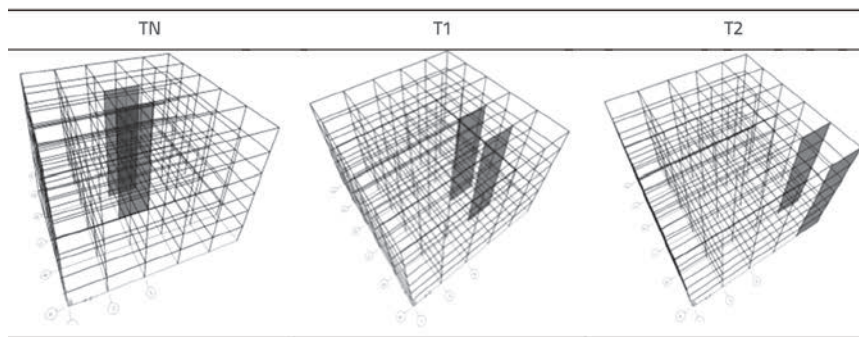
Slika 12. a) Tlocrt školske zgrade u selu Gedikbulak; b) Srušena školska zgrada

SCN nije imao kratak stup i usvojen je kao referentni model. Kratki stupovi SC1, SC2 i SC3 visoki su 1 m, 2 m i 3 m. Visina susjednih stupova iznosi 4 m. Konstantna bočna sila nanosena je u ravninskom smjeru na gornjem lijevom kraju, a analiziran je svaki okvir. Stupovi 2 i 3 zahvaćeni su pojavom kratkih stupova. Kao što je prikazano u tablici 2., maksimalna razlika u poprečnoj sili stupova doseže vrijednost od 1,53, s tim da prosječna poprečna sila stupova iznosi otprilike 1,3. Kako bi se povećao rezultat oštetljivosti, odlučeno je da se vrijednost 1,4 koristi kod pojave kratkog stupa, tj. 1,0 kada ne dolazi do pojave kratkog stupa.

3.7. Indeks torzije "φ"

Torzija se smatra jednim od najnepovoljnijih utjecaja na konstrukciju jer najprije djeluje na uglovne stupove a zatim na obodne stupove. Torzija uzrokuje porast poprečnih sila u stupovima. Ako uglovni i obodni stupovi nisu dimenzionirani za dodatne poprečne sile, može se očekivati njihovo oštećenje. Drastičan primjer te pojave zabilježen je nakon potresa koji je zadesio mjesto Van 23. listopada 2011. U selu Gedikbulak nalazila se troetažna školska zgrada čiji je tlocrt prikazan na slici 12. Zgrada je imala goleme asimetrično postavljene posmične zidove. Stupovi u jugozapadnim i sjeverozapadnim kutovima bili su relativno mali i nisu mogli izdržati dodatne poprečne sile. Zgrada se srušila pod utjecajem bočnih seizmičkih sila a uslijed torzijskog djelovanja, kao što je prikazano na slici 12.b.

U metodi MVP usvojena je pretpostavka da torzija dovodi do porasta ukupne poprečne sile. Kako bi se omogućilo razumijevanje stupnja torzije koja se javlja u konstrukciji, izvedene su tri jednostavne konstrukcije (slika 13.). Na toj slici TN predstavlja simetričnu zgradu kod koje ne dolazi do torzije. T1 je zgrada kod koje je razina torzije niska, jer su posmični zidovi smješteni blizu središta. Kod zgrade T2 javlja se značajna torzija, jer su posmični zidovi smješteni u uglovima. Za te tri konstrukcije provedena je linearna elastična analiza nakon čega su zabilježene promjene poprečnih sila u stupovima. Dobiveni rezultati prikazani su u tablici 3. Tu možemo vidjeti da poprečne sile rastu za 1,67 puta kod uglovnih stupova u slučaju niže razine torzije tj. za 2 puta u slučaju jače torzije. Što se tiče ukupne poprečne sile, ta poprečna sila je za 1,29 puta veća kod niže torzije, tj. za 1,77 puta veća kod viših vrijednosti torzije. Što se tiče poprečnih sila svih stupova, rezultati ukupne poprečne sile su podjednaki. Stoga se na



Slika 13. Modeli za određivanje indeksa torzije

temelju rezultata iz tablice 3. može zaključiti da poprečne sile u stupovima rastu za otprilike 1,43 puta kod srednje jake torzije, te za približno 1,9 puta kod jake torzije. Uzimajući sve to u obzir, usvojeno je da indeks torzije iznosi 1,0 kada nema torzije, 1,4 kada se radi o srednje jakoj torziji, te 1,9 kod jakog torzijskog djelovanja.

Tablica 3. Promjena poprečnih sila u stupovima zbog utjecaja torzije

Poprečne sile	T1/TN	T2/TN
Poprečne sile samo na kutnim stupovima	1,67	2,01
Ukupna poprečna sila	1,29	1,77
Poprečne sile u svim stupovima	1,31	1,81
Prosječna promjena poprečnih sila	1,42	1,86

3.8. Rezultat metode MVP

Nakon izračunavanja omjera momenta, poprečne i uzdužne sile, određuje se rezultat MVP, a za to se koristi interakcijska jednadžba (1). U toj jednadžbi vrijednosti A, B i C su težinski faktori. Kako su poprečna sila i momenti dominantne sile u projektiranju armiranobetonskih stupova i posmičnih zidova, a ti su elementi obično predimenzionirani u odnosu na uzdužno opterećenje, jasno je da težinski faktori za moment, poprečno i uzdužno opterećenje ne bi trebali biti jednaki.

Kako se za izračunavanje otpornosti na uzdužnu silu koriste površina stupova i poprečne sile, zanemaruje se smjer potresa u odnosu na jaku ili slabu os tih elemenata, tj. pretpostavlja se da svi stupovi reaguju na osne sile. Zbog toga se za smanjenje utjecaja odnosa udužne nosivosti/opterećenja treba koristiti relativno nizak koeficijent. Ako se za C usvoji vrijednost 0,5, to znači da se polovica stupova analizira u bilo kojem smjeru potresa. Kako bi se omogućila primjena faktora za predimenzioniranje (koristi se vrijednost tri a ne dva kao npr. u TEC2018 [26], s tim da se uglavnom koristi 2,5), odlučeno je da se vrijednost 0,5 podijeli s 2,5 te se tako dobiva vrijednost C = 0,2. Što se tiče težinskog faktora (B) za omjer otpornosti na poprečnu silu i sile, koristi se isti koeficijent jer se u odgovarajućim propisima (TEC2007 i TEC2018) u projektiranju poprečne sile zahtijeva koeficijent smanjenja

seizmičkog opterećenja koji iznosi 2. Stoga se u propisima ne spominju nikakve značajne promjene glede otpornosti na moment i primijenjenih momenata, pa tako težinski faktor A i dalje ostaje 1. Dakle, težinski faktori za A, B i C pojedinačno iznose 1, 2 i 0,2. Konačan oblik MVP_i prikazan je u izrazu (15):

$$MVP_i = \frac{1}{\alpha\beta} \frac{M_{ri}}{M_{di}} + \frac{2}{\gamma\varphi} \frac{V_{ri}}{V_{di}} + 0,2 \frac{P_r}{P_d} \quad (15)$$

4. Postupak ocjenjivanja i rezultati

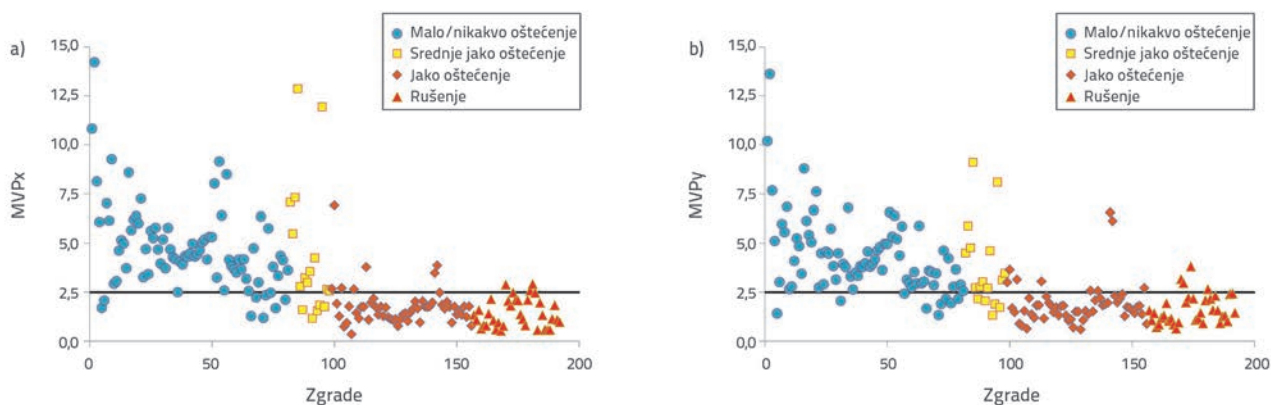
Određene se analize u ovom radu ipak trebaju razjasniti. Prilikom definiranja interakcijske jednadžbe MVP. Kako se može primijeniti metoda MVP za ocjenjivanje seizmičke oštetljivosti zgrada? Može li se rezultat MVP izračunan samo za jedan smjer (MVP_x ili MVP_y) primijeniti za ocjenjivanje seizmičke oštetljivosti AB zgrada? Ako je odgovor potvrđen, koja je granična vrijednost? Kad bi se primjenjivala kombinacija rezultata $MVP(MVP_x + MVP_y)$, kako bi se definirala konačna ocjena?

Da se dobije odgovor na sva ta pitanja, provedeno je nekoliko analiza na osnovi podataka o 192 analizirane građevine, a u nastavku se iskazuju ključni parametri i dobiveni rezultati. Treba naglasiti da se u ovom istraživanju zgrade dijele prema oštetljivosti u dvije skupine: "zgrade niske oštetljivosti - LV" i "zgrade visoke oštetljivosti - HV". Neoštećene, te malo i srednje oštećene zgrade, pripadaju u skupinu LV jer se mogu koristiti nakon seizmičkog udara. Iako kod srednje oštećenih zgrada bilježimo određena oštećenja konstrukcije, njih nije potrebno rušiti jer se nakon odgovarajućeg pojačanja mogu ponovo koristiti. Drugim riječima, zgrada se ubraja u skupinu LV ako se nakon potresa može koristiti uz pojačanje ili bez pojačanja. U svim ostalim slučajevima, zgrade ulaze u kategoriju HV, tj. u kategoriju zgrada kod kojih se u slučaju potresa očekuju velika oštećenja ili čak potpuno popuštanje građevine. Iako se brojke navedene u nastavku odnose na svaku razinu oštećenosti zasebno kako bi se uočila razlika između zgrada, u ovom se tekstu zgrade s manjim oštećenjima, zgrade bez oštećenja te zgrade sa srednjom razinom oštećenosti, svrstavaju u skupinu LV, a u skupinu HV zgrade s velikim oštećenjima i zgrade kod kojih u slučaju potresa dolazi do rušenja.

4.1. Metoda MVP 1

Uzimajući u obzir navedenu analizu, izračunani su rezultati MVP za svaki smjer, izrazi (16) i (17). Dobiveni rezultati shematski su prikazani na slici 14.

$$MVP_x = \frac{1}{\alpha\beta} \frac{M_{rx}}{M_{dx}} + \frac{2}{\gamma\varphi} \frac{V_{rx}}{V_{dx}} + 0,2 \frac{P_r}{P_d} \quad (16)$$



Slika 14. Prikaz dobivenih rezultata: a) MVP_x; b) MVP_y

$$MVP_y = \frac{1}{\alpha\beta} \frac{M_{ry}}{M_{dy}} + \frac{2}{\gamma\varphi} \frac{V_{ry}}{V_{dy}} + 0.2 \frac{P_r}{P_d} \quad (17)$$

Na slici 14. najteži je zadatak odrediti graničnu vrijednost kako bi se omogućila jasna podjela zgrada u skupine LV i HV. Iz MVP jednadžbi možemo zaključiti da minimalan rezultat treba biti 3 za zgrade koje udovoljavaju zahtjevima propisa, tj. kod kojih su kapaciteti nosivosti u skladu s projektiranim silama i kod kojih nema nikakvih nepravilnosti. Taj rezultat donekle definira granicu sigurnosti ljudskih života za pomake tla s 10-postotnom vjerojatnošću prekoračenja u pedeset godina. Međutim, terenskim je promatranjima utvrđeno da se neke nepravilnosti (ne sve nepravilnosti istovremeno) mogu kompenzirati djelovanjem nosivih elemenata, te da se i u takvim slučajevima može postići razina ponašanja na kojoj ne dolazi do ugrožavanja ljudskih života. Stoga je odlučeno da se minimalni rezultat smanji na 2,4, tj. da se u obzir uzmu dvije istovremene nepravilnosti. U početku je taj rezultat odabran kao granična vrijednost te je korišten za vrednovanje svih analiziranih zgrada (tj. za 192 zgrade). Ustanovljeno je da je ispravno ocijenjeno 166 zgrada (86,5 %) u smjeru x, tj. 163 (84,9 % u smjeru y. Poznato je da na stopu točnosti procjene utječe granična vrijednost. Ako se definira da granična vrijednost iznosi 2,6, tada se broj točnih procjena smanjuje na 165 (85,9 %) u smjeru x, ali se u smjeru y povećava na 166 (86,5 %). Kako bi se pojednostavnio problem te odredila lako zapamtljiva vrijednost, za oba je smjera za ocjenu seizmičke učinkovitosti zgrada odabrana granična vrijednost od 2,5. Ustanovljeno je da primjena te granične vrijednosti omogućuje točno procjenjivanje seizmičke oštetljivosti za 168 zgrada (87,5 %) u smjeru x. Za istu graničnu vrijednost, točna procjena u smjeru x je smanjena na 165 zgrada (85,9 %) Ta se vrijednost naravno može promijeniti ako se koriste dodatni podaci. Međutim, ustanovljeno je da se za zgrade analizirane u ovom radu seizmička oštetljivost može predvidjeti pouzdano - na bazi granične vrijednosti - i to za prilično velik broj zgrada. Zasebna ocjena za svaki smjer potresa nije baš logična jer se zgrade obično projektiraju tako da je jedan smjer jači od drugog. Drugim riječima, ako se procjena obavi tako da se u obzir uzme

samo jaki smjer zgrade, tada zgrada može upasti u područje LV, iako bi možda bila u području HV kada se uzme u obzir slabiji smjer. Stoga se za određivanje pouzdane seizmičke učinkovitosti zgrade preporučuje primjena dolje prikazane interakcije MVP_x i MVP_y. U ovom slučaju s graničnom vrijednošću 2,5 može se koristiti tablica 4. za dodjelu vrijednosti "1" ako je rezultat MVP_i manji od 2,5. U drugim je slučajevima rezultat jednak nuli. Za konačno ocjenjivanje, ako obje vrijednosti, MVP_x i MVP_y iznose "0", tada je konačan rezultat također "0". U svim ostalim slučajevima, konačan rezultat je "1". Nula ("0") predstavlja LV a "1" predstavlja HV. U tablici 4., vrijednosti S_x i S_y predstavljaju rezultat u smjeru x tj. y. FS označava konačan rezultat koji se dobiva na osnovi interakcije S_x i S_y. Primjenom ovog postupka, točna je procjena dobivena za 166 zgrada ili 86,5 % (tablica 5.). Iako je broj točno procijenjenih zgrada manji od broja dobivenog prilikom ocjenjivanja u smjeru x s graničnom vrijednošću 2,5, preporučuje se kombinirani postupak jer se tako istovremeno uzimaju u obzir oba smjera.

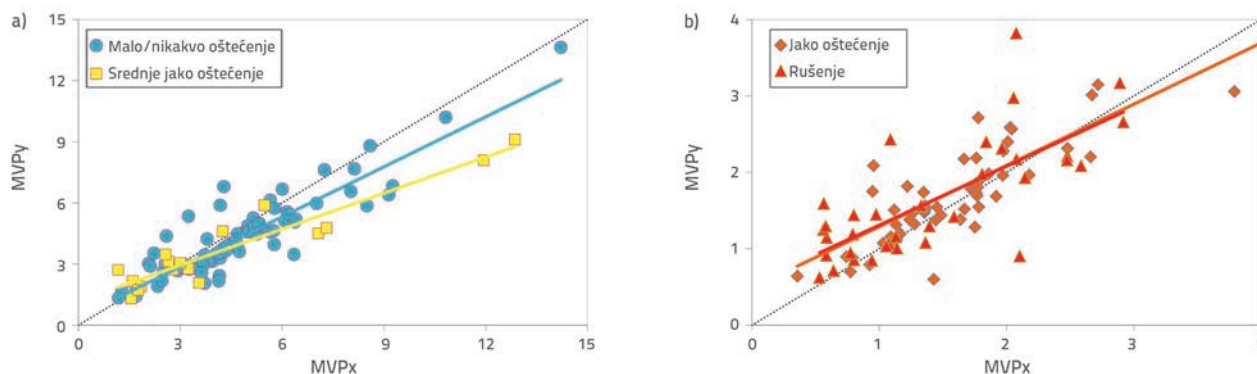
Tablica 4. Ocjena na bazi pojedinačnih vrijednosti MVP

MVP _x	S _x	MVP _y	S _y	FS
≥ 2,5	0	≥ 2,5	0	0
< 2,5	1	≥ 2,5	0	1
≥ 2,5	0	< 2,5	1	1
< 2,5	1	< 2,5	1	1

Tablica 5. Ocjene za zgrade obrađene u ovom radu

Ocjena samo za MVP _x	Ocjena samo za MVP _y	Ocjena za tablicu 4
87,5 % (168 zgrada)	85,9 % (165 zgrada)	86,5 % (166 zgrada)

Zgrade se obično projektiraju tako da se osigura velika čvrstoća i krutost samo u jednom smjeru. Drugim riječima, otpornost u oba smjera nije jednaka zbog rasporeda nosivih elemenata. Kako otpornost građevina nije ista u suprotnim smjerovima, njihov rezultat MVP će se razlikovati jer se metoda zasniva na kapacitetima. Ova se razlika vidi na slici 15., i to zasebno za LV tj. HV zgrade. Može se uočiti da su rezultati MVP izračunani u uzdužnom smjeru x - duži smjer



Slika 15. Usporedba rezultata MVP u suprotnim smjerovima: a) Rezultati za slučaj manjeg oštećenja, bez oštećenja i srednjeg oštećenja (LV); b) Rezultati za slučaj jakog oštećenja i rušenja (HV)

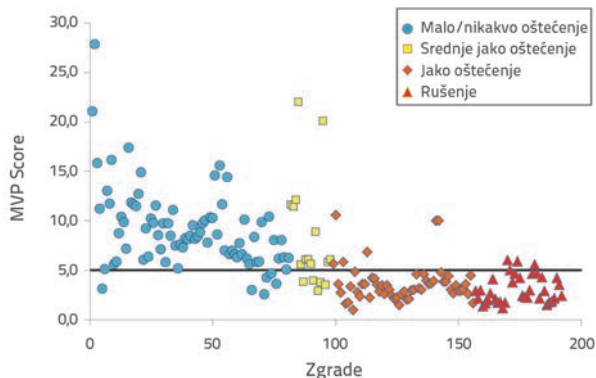
zgrade – općenito viši od rezultata u smjeru y. Razlika je velika kod LV zgrada. Što se tiče HV zgrada, izgleda da je kod njih kapacitet veći u kraćem smjeru, ali razlika nije toliko značajna.

4.2. Metoda MVP 2

Ako se zbog određenih razloga ne namjerava primijeniti prije opisani postupak, može se koristiti alternativni, tj. metoda MVP 2. Prema toj se metodi rezultati MVP izračunani za svaki smjer zbrajaju na način prikazan u izrazu (18), te se nakon toga određuje konačna vrijednost MVP.

$$MVP = MVP_x + MVP_y \quad (18)$$

Kako se vrijednosti MVP_x i MVP_y koriste za određivanje rezultata MVP, usvojeno je da granična vrijednost iznosi "5", što znači da je zgrada u području LV ako je MVP veći od "5", tj. da će zgrada pretrpjeti mala/nikakva ili umjerena oštećenja. U drugim se slučajevima zgrada nalazi u području HV pa se mogu očekivati ozbiljna oštećenja. Kao što se vidi iz slike 15., vrijednosti MVP izračunane za suprotne smjerove mogu se uvelike razlikovati, tj. neka od njih može biti suviše niska a neka suviše visoka, ali njihov zbroj može biti veći od 5. Kako se kod metode MVP 2 obrađuje samo zbroj, konačan rezultat MVP je značajan pa zato, ako je veći od 5, smatra se da građevina ulazi u područje LV.



Slika 16. Rezultati metode MVP

Rezultati svih zgrada analiziranih u ovom radu pokazuju da su za većinu zgrada razine seizmičke oštetljivosti uspješno predviđene (slika 16.). 84 od 94 ozbiljno oštećenih ili srušenih zgrada dobile su ocjenu HV, pa je stopa uspješnosti ocjenjivanja 89,4 %. Isto tako, 87 od 98 malo, nimalo ili srednje oštećenih zgrada dobile su ocjenu LV, pa je stopa uspješnosti ocjenjivanja 88,8 %. Ukupno je točna procjena obavljena za 171 zgradu, pa je stopa uspješnosti ocjenjivanja 89,1 %, što je bolji rezultat ako se usporedi s metodom MVP 1.

5. Rasprava

Seizmička učinkovitost armiranobetonske zgrade može ovisiti o nekoliko parametara kao što su broj etaža, težina zgrade, čvrstoća betona, vrsta i raspored armature, uvjeti tla, arhitektonski parametri itd. Svaki pojedini parametar može u nekim slučajevima imati bitan utjecaj na zgradu ali, općenito uzevši, oni su u međusobnom djelovanju koja se definira pomoću težinskih koeficijenata. Težinski koeficijenti definiraju razinu seizmičke učinkovitosti zgrada.

Danas nam je na raspolaganju nekoliko preliminarnih postupaka za seizmičko ocjenjivanje AB zgrada. Neki od njih su Sucuoglu i Yazgan Level 2 [8], metoda koju predlažu Hassan i Sozen [12], Yakutova metoda [13], metoda koju predlažu Özcebe i dr. [14], metoda koju nude Tezcan i dr. (poznata i kao metoda P25) [15], Otanijeva metoda [16] te japanska norma za seizmičku ocjenu postojećih armiranobetonskih zgrada (JBDPA) [17]. Ti se postupci temelje na ukupno 38 parametara koji su prikazani u tablici 6. Brojke koje se navode u zagradama označavaju količinu (broj primjena) određenog parametra u raznim metodama. Na primjer, čvrstoća betona koristi se u šest različitih metoda. U svim se metodama koriste samo površina stupa i površina posmičnog zida. Nakon tih parametara po brojnosti primjene slijedi slaba etaža i broj etaža, a oni se koriste u svim metodama osim one koju predlažu Hassan i Sozen [12]. Čvrstoća betona i diskontinuitet (bilo ploče ili okvira) koriste se u šest metoda. Iz tablice 6. vidimo da se parametri razlikuju ovisno o odabranoj metodi. Na primjer, Hassan and Sozen [12] koriste samo četiri parametra, a to su ukupna podna površina, površina stupa,

površina posmičnog zida i površina obodnog zida. S druge strane, Tezcan i dr. [15] koriste čak 25 parametara: zona potresa, broj etaža, težina građevine, tlocrtne dimenzije građevine, čvrstoća

betona, faktor tla, temelji, faktor krutosti, torzija, kratki stup, slaba etaža, veliki prepust, diskontinuitet, sudaranja, topografski uvjeti, visina etaže, površina stupa, površina posmičnog zida,

Tablica 6. Parametri koji se koriste u preliminarnim metodama

Parametri	Hassan i Sözen [12]	Otani [16]	JBDPA [17]	Sucuoğlu i Yazgan L2 [8]	Özcebe i dr. [14]	Yakut [13]	Tezcan i dr. [15]	Metoda MVP
Podrum (1)			√					
Površina stupova (8)	√	√	√	√	√	√	√	√
Čvrstoća betona (6)		√	√	√		√	√	√
Godina gradnje (1)			√					
Korozija (1)							√	
Diskontinuitet (6)		√	√	√	√	√	√	
Duktilnost (1)		√						
Zona izjednačenja (5)		√	√	√		√	√	
Temelji (1)							√	
Informacije o mreži (1)					√			
Površina prizemlja (1)					√			
Veliki prepust (5)				√	√	√	√	√
Visina zgrade (2)							√	√
Površina zidne ispune (5)				√	√	√	√	
Utjecaj raspodjele opterećenja (1)							√	
Polukat (1)							√	
Broj etaža (7)		√	√	√	√	√	√	√
Period zgrade. (1)		√						
Tlocrtne dimenzije zgrade (2)							√	√
Sudaranja (2)				√			√	
Kvaliteta građenja (2)			√			√		
Koeficijent armiranja (1)								√
Čvrstoća armature (1)								√
Površina posmičnog zida (8)		√	√	√	√	√	√	√
Kratak stup (5)			√	√		√	√	√
Faktor tla (3)		√	√				√	
Faktor krutosti (4)		√	√		√		√	
Visina etaže (2)					√		√	
Kriteriji jakog stupa (1)							√	
Vremenski ovisno defr. (1)			√					
Topografija (2)			√	√				
Torzija (4)		√				√	√	√
Ukupna površina etaže (6)		√		√	√	√		√
Razmak poprečne armature (2)							√	√
Namjena (2)			√			√		
Razina podzemne vode (1)							√	
Slaba etaža (7)		√	√	√	√	√	√	√
Težina zgrade (4)		√				√	√	√
Broj parametara	4	14	16	13	12	15	25	15

površina zidne ispune, polukat, učinak raspodjele opterećenja, korozija, kriteriji jakog stupa, visina zgrade, razmak spona i razina podzemne vode. Sljedeće se metode nalaze negdje u sredini između spomenutih ekstrema: Özcebe i dr. [14] koriste 12 parametara, Sucuoğlu i Yazgan [8] koriste 13 parametara, Otani [16] uzima u obzir 14 parametara, Yakut [13] koristi 14 parametara, dok se u normi JBDPA [17] koristi 16 parametara. I, na kraju, u predloženoj metodi MVP koristi se 15 parametara. Ocjena je provedena za 192 zgrade a pritom su korištene netom spomenute metode i metode predložene u ovom radu. Nakon toga je slijedila usporedba rezultata. U tablici 7. prikazana je metoda koju predlažu Hassan i Sozen [12]. Kako se ta metoda bazira na samo četiri parametra, može se reći da je najekonomičnija u pogledu vremena potrebnog za analizu. Međutim, broj parametara nije jedini faktor koji se treba uzeti u obzir. Interakcija parametara i lokacija zgrade također je značajna za definiranje seizmičke učinkovitosti zgrada. Hassan i Sozen [12] razvili su učinkovit sustav interakcije spomenutih četiriju parametara te su na toj osnovi postigli uspješnost predviđanja seizmičkog ponašanja zgrada od 67,2 % (tablica 7.). Ustvari, točnost ocjene iznosila je 80,6 % za LV zgrade a za HV zgrade iznosila je samo 53,2 %. Tako nizak postotak postignut za HV zgrade može se objasniti činjenicom da se u metodi ne uzima u obzir kvaliteta betona. Kako većina zgrada analiziranih u tom radu ima veliku površinu stupova i posmičnih zidova, postignuti su viši rezultati, što je dovelo do krive procjene.

Tezcan i dr. [15] koriste 25 parametara a, osim toga, u metodi se zahtijeva provedba nekoliko koraka za ocjenjivanje seizmičke učinkovitosti zgrade. Nakon izračunavanja ključnih faktora te postizanja konačnog rezultata za 192 zgrade, ustanovljeno je da postotak točnosti procjene iznosi 75,5 % (tablica 7.). Točnost predviđanja iznosila je 79,8 % za HV zgrade, tj. 71,4 % za LV zgrade. Međutim, metoda ipak ima jedan nedostatak: autori sami trebaju zadati neke rezultate. Ako su takvi unaprijed zadani rezultati blizu ili ispod graničnog rezultata, oni mogu postati dominantni te dovesti do krive procjene.

Što se tiče metode koja se predlaže u normi JBDPA [17], utvrđeno je da točnost predviđanja iznosi 100 % za HV zgrade, ali samo 29,6 % za LV zgrade. To znači da konačna točnost predviđanja iznosi 64,1 %. Odličan rezultat procjene za HV zgrade objašnjava

se visokom graničnom vrijednošću za zgrade koje se razmatraju u ovom radu. Kako je metoda sadržana u normi JBDPA [17] razvijena za zgrade izgrađene u Japanu, granična vrijednost turskih zgrada postaje visoka zbog razlika u postupcima projektiranja i izvođenja. Smanjivanjem granične vrijednosti na 0,6, ukupna točnost se povećava i iznosi 81 %.

Otani [16] koristi postupak sličan onom iz norme JBDPA, tj. baziran na graničnoj vrijednosti, ali postiže točnost procjene od samo 63 %. Yakut [13] primjenjuje metodu baziranu na poprečnoj sili, ali je ona osjetljiva na propisane vrijednosti ukupne poprečne sile (V_{code}) u kojoj se koristi faktor smanjenja seizmičkog opterećenja. Kriva procjena faktora smanjenja dovodi i do krive procjene seizmičke učinkovitosti. Tom je metodom postignuta točnost procjene od 63,5 %. Pristupom "Level 2" koji predlažu Sucuoğlu i Yazgan [8], postignuta je točnost predviđanja od samo 52,1 %. Najgori su rezultati postignuti pomoću metode koju predlažu Özcebe i dr. [14]. U toj se metodi koriste svojstva slična onima iz metode "Level 2" autora Sucuoğlu-a i Yazgan-a [8]. Na temelju metode koju predlažu Özcebe i dr. [14] može se zaključiti da se statistički alati trebaju dodatno analizirati kako bi se postigli bolji rezultati.

Usporedbom gore opisanih preliminarnih metoda i predloženih metoda MVP utemeljenih na parametrima kapaciteta i zahtjeva, može se zaključiti da su metode MVP ipak uspješnije (tablica 7.). Ukupna točnost procjene metodom MVP 1 iznosi 86,5 %, tj. točnost procjene iznosi 91,5 % za HV zgrade i 81,6 % za LV zgrade. Kako se u toj metodi traži posebna analiza zgrade za svaki osnovni smjer, rezultati se razlikuju od rezultata prema metodi MVP 2 u kojoj se analizira zbroj rezultata MVP u osnovnim smjerovima. Kod zbrajanja rezultata MVP, uspješnost predviđanja raste na čak 89,1 %, tj. točno je predviđeno ponašanje 171 od ukupno 192 zgrade. Točnost u predviđanju ponašanja veća je u odnosu na ostale preliminarne metode. U predloženoj metodi MVP ne koristi se faktor tla, što može dovesti do određenih pogrešaka, ali čini se da je postotak pogreške nizak jer je seizmička učinkovitost većine zgrada ocijenjena točno.

Postoci točne procjene prikazani u tablici 7. baziraju se na pretpostavkama o oštećljivosti koje su analizirane u prethodnim dijelovima ovog rada. Očito je, dakle, da se točnost mijenja

Tablica 7. Usporedba preliminarnih metoda

	Broj parametara	Točnost procjene, ukupno [%]	Točnost procjene za HV zgrade [%]	Točnost procjene za LV zgrade [%]
Metoda MVP 2	15	89,1	89,4	88,8
Metoda MVP 1	15	86,5	91,5	81,6
Tezcan i dr. (2011.)	25	75,5	79,8	71,4
Hassan u Sozen (1997.)	4	67,2	53,2	80,6
JBDPA (2001.)	16	64,1	100,0	29,6
Yakut (2004.)	15	63,5	91,5	36,7
Otani (2000.)	14	63,0	97,9	29,6
Sucuoğlu i Yazgan L2 (2003.)	13	52,1	21,3	81,6
Özcebe i dr. (2003.)	12	41,7	9,6	72,4

ovisno o klasifikaciji. Kako su predložene metode MVP razvijene na osnovi podataka prikupljenih na 192 zgrade s opisanim svojstvima, te metode možda neće biti valjane za sve AB zgrade. Stoga se primjena metode MVP preporučuje samo kod AB zgrada s najviše 8 etaža.

6. Zaključak

Interakcijska metoda MVP za ocjenu seizmičke oštetljivosti AB zgrada razvijena je i ispitana na temelju podataka prikupljenih sa 192 zgrade koje se nalaze u tri grada u Turskoj. Analizirane zgrade odlikuju se različitim svojstvima kao što su broj etaža, čvrstoća betona, površina etaže, površina stupova i posmičnih zidova itd. U predloženim metodama MVP koristi se kapacitet nosivosti za moment, poprečno i uzdužno opterećenje te zahtijevani moment, poprečno i uzdužno opterećenje. Također se analiziraju i neka arhitektonska i konstrukcijska svojstva kao što su meka etaža, veliki preput, kratak stup i torzija. Prilikom razvijanja metoda MVP pretpostavljeno je da se sve zgrade nalaze u zoni visoke seizmičnosti, kako bi se pojednostavnio problem. Ta pretpostavka, isto kao i činjenica da nisu razmatrani uvjeti tla, može se smatrati nedostatkom metoda MVP. Međutim, s obzirom na visoku razinu točnosti predviđanja, može se ustvrditi da je taj nedostatak prilično malo utjecao na ostvarene rezultate. U svakom slučaju, ovaj se zaključak treba provjeriti ponovnim ispitivanjem metoda s nekom drugom bazom podataka.

Poznato je da složeni izraz s mnogo parametara može ponekad uzrokovati pogreške u proračunu. Takva se pogreška može smatrati previdom jer čitatelj nije svjestan te pogreške, a i ona nije nastala namjerno. Stoga su u predloženim metodama MVP razvijeni pojednostavljeni kapaciteti i zahtjevi s namjerom da se smanji mogućnost takvoga previda. Iako definicije koje se ovdje daju čitatelju nisu novost, predloženi način organizacije i interakcije može se smatrati prilično inovativnim.

Kod primjene metode MVP, najprije treba odabrati jedan od dva moguća pristupa. Prema prvom pristupu (metoda MVP 1) čitatelj može jednostavno izračunati seizmičku učinkovitost zgrada uzimajući u obzir svaki osnovni smjer, a zatim se rezultati MVP uspoređuju s graničnom vrijednošću "2,5" te se pripisuje rezultat (0 ako je rezultat MVP veći od 2,5 ili 1 ako je manji od 2,5). Ako je za bilo koji smjer dobiven rezultat 1, tada

je konačan rezultat "1", što znači da će se zgrada ponašati kao HV (visokooštetljiva građevina) u slučaju potresa. U drugim slučajevima, zgrada dobiva konačan rezultat "0" te se označava kao LV (niskooštetljiva građevina). Ovim je pristupom ustanovljeno da je predviđanje ponašanja bilo točno kod 86,5 % zgrada.

U drugom pristupu (koji je definiran kao metoda MVP 2), rezultat MVP izračunani za svaki osnovni smjer zbrajaju se, te se izračunava konačan rezultat MVP. Nakon toga se ocjena seizmičke učinkovitosti zgrade još jednom provjerava uspoređivanjem konačnog rezultata MVP s graničnom vrijednošću "5". Primjenom te metode dobiva se još točnija ocjena ponašanja zgrada. Drugim riječima, točno je ocijenjena 171 zgrada (89,1 %).

Kako su preliminarne metode prikazane u literaturi uglavnom razvijene na temelju baze podataka jedne države, one baš i ne moraju biti prikladne za druge države. To se očito vidi kod metoda predloženih u [16, 17]. Kako je u tim metodama korištena japanska baza podataka, granična vrijednost (osnovni rezultat) bila je prevelika za tursku bazu podataka. Smanjivanjem osnovnog rezultata, ustanovljeno je da se te metode mogu primijeniti i na tursku bazu podataka. Međutim, ipak su potrebna dodatna ispitivanja kako bi se definirala logična i reprezentativna granična vrijednost.

Osim japanskih metoda, korišteno je i pet drugih metoda za preliminarno ocjenjivanje na osnovi turske baze podataka. To je napravljeno kako bi se usporedila djelotvornost i uspješnost predloženih metoda MVP. Ustanovljeno je da su metode MVP uspješnije od drugih metoda. Bliska točnost ocjenjivanja (75,5 %) ostvarena je primjenom metode koju predlažu Tezcan i dr. [15] ali je u toj metodi korišteno čak 25 različitih parametara.

Svaka preliminarna metoda ima određene nedostatke, a oni dobivaju na značenju kada se koriste drugačije baze podataka. Kako bi se ublažio taj problem, u izradi metoda MVP korištene su tri različite baze podataka radi povećanja točnosti predviđanja seizmičke učinkovitosti AB zgrada. S obzirom na to da je za bazu podataka korištenu u ovom radu postignuta visoka razina točnosti, u konačnici se može zaključiti da se predložene MVP metode mogu primijenjivati za ocjenjivanje seizmičke oštetljivosti AB zgrada i to na osnovi jednostavnih proračuna. Preporučuje se njihova primjena za AB zgrade s najviše 8 etaža.

LITERATURA

- [1] KOERI: Boğaziçi University, Kandilli Observatory and Earthquake Research Institute, Regional Earthquake-Tsunami Monitoring Center, <<http://www.koeri.boun.edu.tr/sismo/2/earthquake-catalog/>> (Oct. 23, 2017).
- [2] Erdik, M.: Report on 1999 Kocaeli and Duzce (Turkey) Earthquakes, Structural control for civil and infrastructure engineering, World Scientific, pp. 149-186, 2001, https://doi.org/10.1142/9789812811707_0018
- [3] Saatcioglu, M., Mitchell, D., Tinawi, R., Gardner, N.J., Gillies, A.G., Ghobarah, A., Anderson, D.L., Lau, D.: The August 17, 1999, Kocaeli (Turkey) earthquake damage to structures, Canadian Journal of Civil Engineering, 28 (2001) 4, pp. 715-737, <https://doi.org/10.1139/cjce-28-4-715>
- [4] Sengel, H. S., Dogan, M.: Failure of buildings during Sultandagi Earthquake, Engineering Failure Analysis, 35 (2013), pp. 1-15, <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2012.09.011>

- [5] Özcebe, G., Ramirez, J., Wasti, S.T., Yakut, A.: 1 May 2003 Bingöl earthquake engineering report, TUBITAK, NSF. (<http://www.seru.metu.edu.tr/archives.html>), 2003.
- [6] Akansel, V., Ameri, G., Askan, A., Caner, A., Erdil, B., Kale, Ö., Okuyucu, D.: The 23 October 2011 Mw=7.0 Van (Eastern Turkey) Earthquake: Interpretations of Recorded Strong Ground Motions and Post-Earthquake Conditions of Nearby Structures, *Earthquake Spectra*, 30 (2014) 2, pp. 657-682, <https://doi.org/10.1193/012912EQS020M>
- [7] Bayraktar, A., Altunisik, A., Türker, T., Karadeniz, H., Erdogdu, S., Angin, Z., Özsahin, T.: Structural Performance Evaluation of 90 RC Buildings Collapsed during the 2011 Van, Turkey, Earthquakes, *J. Perform. Constr. Facil.*, 2014, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CF.1943-5509.0000524](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000524)
- [8] Sucuoglu, H., Yazgan, U.: Simple survey procedures for seismic risk assessment in urban building stocks, In: Wasti ST, Özcebe G, editors. *Seismic assessment and rehabilitation of existing buildings, earth and environmental sciences*, London: Kluwer Academic Publishers, 29 (2003), pp. 97-118, https://doi.org/10.1007/978-94-010-0021-5_7
- [9] Ministry of Environment and Urbanization (MEU): The Urban Renewal Law for Regions under Disaster Risk, Law No: 6306, *Official Gazette*, 28309, 52 (2012) (in Turkish)
- [10] FEMA (Federal Emergency Management Agency): *Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards - A Handbook*, FEMA-154, Washington DC, 2002.
- [11] Rainer, J.H., Allen, D.E., Jablonski, A.M.: *Manual for Screening of Buildings for Seismic Investigation*, National Research Council of Canada., 1993.
- [12] Hassan, A, Sozen, M.A.F.: Seismic Vulnerability Assessment of Low-Rise Buildings in Regions with Infrequent Earthquakes, *ACI Structural Journal*, 94 (1997) 1, pp. 31-39, <https://doi.org/10.14359/458>
- [13] Yakut, A.: Preliminary Seismic Performance Assessment Procedure for Existing RC Buildings, *Engineering Structures*, 26 (2004), pp. 1447-1461, <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2004.05.011>
- [14] Özcebe, G., Yucemen, M.S., Aydogan, V., Yakut, A.: Preliminary Seismic Vulnerability Assessment of Existing Reinforced Concrete Buildings in Turkey - Part I: Statistical Model Based on Structural Characteristics, NATO Workshop, May, İzmir, Turkey, 2003, https://doi.org/10.1007/978-94-010-0021-5_3
- [15] Tezcan, S.S., Bal, I.E., Gulay, F.G.: P25 Scoring Method For The Collapse Vulnerability Assessment Of R/C Buildings, *Journal of The Chinese Institute of Engineers*, 34 (2011) 6, pp. 769-781, <https://doi.org/10.1080/02533839.2011.591548>
- [16] Otani, S.: Seismic Vulnerability Assessment Methods For Buildings In Japan, *Earthquake, Engineering and Engineering Seismology*, 2 (2000) 2, pp. 47-56.
- [17] The Japan Building Disaster Prevention Association: Standard for Seismic Evaluation of Existing Reinforced Concrete Buildings, JBDPA, 2001.
- [18] ASCE (American Society of Civil Engineers): *Handbook for the Seismic Evaluation of Buildings-A Prestandard*, Prepared for the Federal Emergency Management Agency, FEMA-310, Washington, D.C., 1998.
- [19] ASCE (American Society of Civil Engineers): *Prestandard and commentary for the seismic rehabilitation of buildings*, FEMA-356. Washington D.C., 2000.
- [20] CEN. Eurocode 8 - Design of Structures for Earthquake Resistance, Part -1.: European Standard prEN 1998-1. Draft no. 4. Brussels: European Committee for Standardization; December 2001.
- [21] TEC2007 (Turkish Earthquake Resistant Code): *Specification for Buildings to be Built in Seismic Zones*, Turkish Ministry of Public Works and Settlement, Ankara, Turkey, 2007.
- [22] Erdil, B.: Why RC Buildings Failed in the 2011 Van, Turkey, Earthquakes: Construction versus Design Practices, *Journal of Performance of Constructed Facilities*, 31 (2016) 3, pp. 04016110, [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CF.1943-5509.0000980](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CF.1943-5509.0000980)
- [23] SERU (Structural Engineering Research Unit): *Archival Material from Afyon and Bingöl Earthquake Database*, Middle East Technical University, Ankara, Turkey. <<http://www.seru.metu.edu.tr/archives.html>> (August 23, 2017).
- [24] TEC1997 (Turkish Earthquake Resistant Code): *Specification for Structures to be Built in Disaster Areas*, Turkish Ministry of Public Works and Settlement, Ankara, Turkey, 1997.
- [25] Turkish Standards Institute: *TS-500 Building Code Requirements for Reinforced Concrete*. Ankara, Turkey, 2000 (in Turkish).
- [26] TEC2018 (Turkish Earthquake Resistant Code): *Deprem Etkisi Altında Binaların Tasarımı İçin Esaslar (Specifications for Buildings to be Designed under Seismic Effect)*, Turkish Ministry of Public Works and Settlement, Ankara, Turkey, 2018.
- [27] Ersoy, U., Özcebe, G., Tankut, T.: *Reinforced concrete*, Middle East Technical University Press, Ankara, Turkey, 2010.