

Primljen / Received: 11.2.2015.

Ispravljen / Corrected: 6.9.2016.

Prihvaćen / Accepted: 24.10.2016.

Dostupno online / Available online: 10.8.2017.

Procjena gubitka i ocjena potresnog rizika u istočnoj Turskoj

Autori:



Doc.dr.sc. **Ercan Işık**, dipl.ing.građ.
Sveučilište Bitlis Eren, Turska
Fakultet inženjerstva i arhitekture
Odjel za građevinarstvo
ercanbitliseren@gmail.com



Doc.dr.sc. **Mustafa Kutanis**, dipl.ing.građ.
Turska
kutanis@gmail.com



Doc.dr.sc. **İhsan Engin Bal**, dipl.ing.građ.
Tehničko sveučilište u Istanbulu, Turska
Institut za potres i sprječavanje katastrofa
iebal@itu.edu.tr

Pregledni rad

Ercan Işık, Mustafa Kutanis, İhsan Engin Bal

Procjena gubitka i ocjena potresnog rizika u istočnoj Turskoj

Potresni rizik urbanog građevnog fonda u Turskoj dobiva na sve većoj važnosti zbog vrlo visoke potresne opasnosti kombinirane s vjerojatno oštećenim i gusto naseljenim građevnim fondom. U radu je prikazano istraživanje usmjereno na istočni dio Turske gdje su seizmički izvori kao i stupanj potresne opasnosti drugačiji. Rezultati istraživanja pokazuju da je potresna sigurnost civilnih građevina i u ovim dijelovima znatno ugrožena te da su očekivani gubici visoki i na razini "ne prihvatljivosti". U radu je dana i procjena ekonomskih gubitaka i smrtnosti, ako se ostvari neki od očekivanih potresnih scenarija.

Ključne riječi:

urbano područje, potresni rizik, potresni scenarij, procjena gubitka

Subject review

Ercan Işık, Mustafa Kutanis, İhsan Engin Bal

Loss Estimation and seismic risk assessment in Eastern Turkey

The seismic risk to urban building stock in Turkey is gaining in importance due to very high seismic hazard combined with its vulnerable and densely populated building stock. The research oriented on the eastern part of Turkey, where seismic sources and the level of seismic hazard are different, is presented in the paper. The results of the research show that the seismic safety of civil buildings is highly compromised even in this part of the country, and that expected losses are high and attain the level of "non-tolerable" losses. Economic losses and fatalities are also estimated in the paper, in case of realization of some of the expected scenarios.

Key words:

urban area, earthquake risk, earthquake scenario, loss estimation

Übersichtsarbeit

Ercan Işık, Mustafa Kutanis, İhsan Engin Bal

Einschätzung des Verlustes und Beurteilung des Erdbebenrisikos in der Osttürkei

Das Erdbebenrisiko des städtischen Baufonds in der Türkei gewinnt wegen der sehr hohen Erdbebengefahr kombiniert mit den wahrscheinlich beschädigten und dem dicht besiedelten Baufond zunehmend an Bedeutung. In der Abhandlung wird eine Untersuchung angeführt, die auf den östlichen Teil der Türkei ausgerichtet ist, in dem die seismischen Quellen sowie der Grad der Erdbebengefahr anders sind. Die Ergebnisse der Untersuchung zeigen, dass die Erdbebensicherheit der zivilen Gebäude auch in diesen Teilen erheblich beeinträchtigt ist, und dass die erwarteten Verluste hoch und auf dem Niveau von "nicht akzeptabel" sind. In der Abhandlung wurde auch eine Einschätzung der wirtschaftlichen Verluste und der Sterberate angegeben, sollten einige der erwarteten Erdbebenszenarien eintreten.

Schlüsselwörter:

Stadtgebiet, Erdbebenrisiko, Erdbebenszenario, Einschätzung des Verlustes

1. Uvod

Unatoč katastrofalnim potresima u istočnoj Turskoj, većina istraživanja procjene gubitaka i ocjene potresnog rizika usmjerava se na sjeverozapadni dio zbog povećane koncentracije stanovništva [1-6]. Ta činjenica ne bi trebala odvratiti pažnju od isticanja vrlo visokih ekonomskih i životnih rizika rjeđe naseljenih regija u zemlji. Posljednji su potresi iz 2011. godine [7, 8] u gradu Vanu, koji je u susjedstvu grada Bitlisa, pokazali još jednom da je urbani građevni fond pod ozbiljnim potresnim rizikom koji prijete društvu. Prilično česti potresi srednje i veće magnitude koji pogađaju regiju daju korisne uvide u naslijeđenu vjerojatnost oštećenja građevnog fonda regije. Ovaj rad je pokušaj da se istraže povijesno značajni potresi velikih magnituda u području sliva jezera Van, zajedno s dva nedavna potresa u Tabanlı ($M_w = 7,2$) i Edremit ($M_w = 5,6$), posebno za područje Bitlisa koji je relativno mali grad sa 67.000 stanovnika.

Potresni rizik građevnog fonda sve više privlači pažnju akademske zajednice kao i upravnih tijela zbog sve veće urbanizacije i koncentracije stanovništva u područjima sklonim i osjetljivim na potrese. Turska je, naročito nakon 1999. godine, poznata kao jedna od najsklonijih regija potresima na svijetu. To je donekle istina ako se uzme u obzir da većini zemlje prijete potresi. Česti potresi srednje i visoke magnitude pogađaju ne samo zapadne dijelove već i ostatak zemlje. Ovaj rad nastoji upozoriti na dramatične ishode u slučaju da regiju pogodi potres visoke magnitude, sličan onima koji su se dogodili u prošlosti. Treba istaknuti da je potres iz 2011. godine odnio 641 ljudski život u gradu Vanu i okolici.

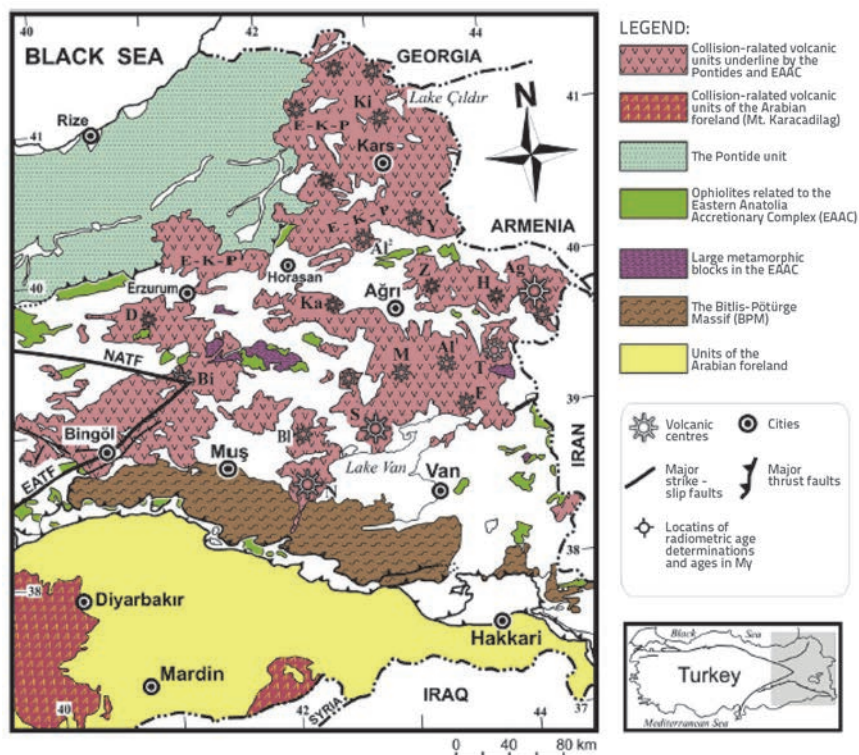
Lokacija grada Vana, kao i grada Bitlisa koji je na suprotnoj strani jezera Van, podložna je destruktivnim potresima. U ovom radu je istraživani ukupan potresni rizik urbanog građevnog fonda. Kod izračuna očekivanih gubitaka uzete su u obzir samo građevine od armiranog betona te je korišten scenarij potresa koji je temeljen na ponavljanju prošlih potresnih događaja. Kako bi procijenili gubitke, primijenjen je relativno izravan pristup gdje je napravljeno šest različitih potresnih scenarija i time provedeno šest determinističkih procjena gubitaka. Potresni scenariji su definirani pomoću postojećih zapisa potresa u regiji. Ideja je, u osnovi, dobiti uvid u stupanj moguće oštećenosti grada Bitlisa koji je kao primjer odabran da predstavlja istočni dio Turske, pod vrlo vjerojatnim i realističnim scenarijima podrhtavanja tla. Rezultati su iskazani u pogledu smrtnosti i ekonomskih gubitaka. Srednji

omjer štete (eng. *mean damage ratio* - MDR), omogućava jednostavnu naznaku izravnih ekonomskih gubitaka za svaki pojedini potresni scenarij. Taj omjer se određuje na način da se podijele troškovi potrebni za popravke izravne štete na građevinama (konstrukcijski ili nekonstrukcijski popravci ili ojačanja) s troškovima potrebnim da se te građevine ponovno izgrade. MDR se izražava kao jedan broj na ljestvici te daje naznaku o stupnju štete.

2. Seizmičnost grada Bitlisa

Grad Bitlis je smješten u slivu jezera Van, u trusnoj zoni Bitlisa (eng. *Bitlis Thrust Zone*) koja je utonula u tektonski bazen [9]. Sliv jezera Van je nastao prije otprilike sto tisuća godina kada je lava vulkana Nemrut blokirala izlivanje vode prema slivu Muş [10]. Geološka karta sliva jezera Van je prikazana na slici 1.

Glavno tektonsko slijeganje istočne Anatolije se uglavnom odvija kolizijom arapske ploče, koja se giba uglavnom prema sjeveru, s anatolijskom pločom duž deformacijske zone poznate pod imenom Bitlis trusna zona (slika 2.). Povijesni izvori govore o slivu jezera Van kao seizmički aktivnoj regiji. Značajni potresi u Bitlisu i okolici koji su se dogodili prije 20. stoljeća sažeti su u tablici 1. Prema turskoj karti potresnih područja, grad Bitlis je smješten u seizmičkoj zoni prvog stupnja, što uvjetuje primjenu vrijednosti vršnog ubrzanja tla u iznosu od 0,40 g prilikom definiranja projektnog spektra, uz 475-godišnji povratni period.



Slika 1. Geološka karta regije jezera Van. N – vulkan Nemrut, S – vulkan Süphan u neposrednoj blizini jezera. EATF – istočni anatolijski rasjed; NATF – sjeverni anatolijski rasjed [11]



Slika 2. Tektonska karta Turske s glavnim sadržajima [12]

Tablica 1. Značajni potresi koji su pogodili Bitlis i njegovu okolicu prije 20. stoljeća

Godina	Lokacija	Mw	I (MMS)	Godina	Lokacija	M	I
461.	Malazgirt		X	1646.	Van i okolica		VII
1012.	Malazgirt		VII	1647.	Van - Muş - Bitlis		IX
1101.	Bitlis/Van		VI	1648.	Van i okolica	6,7	VIII
1110.	Bitlis/Van		VIII	1670.	Hizan - Siirt	6,6	
1111.	Bitlis/Van		IX	1682.	Bitlis		
1208.	Bitlis/Van/Muş	6,5		1696.	Çaldıran - Bitlis	6,8	X
1245.	Bitlis/Van/Muş		VIII	1701.	Van i okolica		VIII
1246.	Lake Van		VIII	1704.	Van		VII
1275.	Bitlis/Van		VII	1705.	Bitlis	6,7	IX-X
1276.	Bitlis/Van		VIII	1715.	Van - Erziş	6,6	VIII
1282.	Bitlis/Van		VII	1869.	Bitlis i okolica		VII
1345.	Malazgirt		VIII	1871.	Van - Elaziğ	5,5	VII
1363.	Muş		IX	1881.	Van i okolica	7,3	IX
1415.	Lake Van		V	1884.	Bitlis - Pervari	6,9	
1439.	Nemrut		VI	1891.	Elaziğ-Bitlis	5,5	VIII
1441.	Nemrut		VIII	1892.	Elaziğ-Muş		VII
1582.	Bitlis		VIII				

3. Građevni fond korišten pri procjeni gubitaka

Kako bi se odredila polja gibanja tla te dala procjena gubitaka za njih, provincijsko središte Bitlisa je podijeljeno u 12 regija (slika 3.). Svaka regija predstavlja podupravu (tur. *mahalle*). Iako je razlučivost ulaznih podataka važan faktor prilikom procjene gubitaka [14], smatra se da je podjela na poduprave zadovoljavajuća prilikom određivanja medijana vrijednosti procjene gubitaka. Poduprave ili čak postkodovi (postkodovi su općenito manje geografske jedinice

od poduprave u turskom sustavu administracije) ne predstavljaju dovoljnu razinu razlučivosti prema Balu i dr., 2010. [14], ako se traži i nesigurnost unutar svake proračunske jedinice. U ovom istraživanju odabrane su poduprave zato što su uvjeti tla u svih 12 poduprava kao i distribucija građevina prilično homogeni. Nadalje, predstavljeni rezultati su na razini medijan vrijednosti, nesigurnosti u proračunima su razmatrane za svaki stupanj, ali nisu prikazane te se stoga primjena poduprava kao razlučivosti proračuna može opravdati.

Prilikom definiranja građevnog fonda primijenjen je cenzus iz 2000. godine [15]. Prema tome, 86 % građevina smještenih u provincijskom središtu, koji je odabran kao osnova za izračun gubitaka, izgrađeno je od armiranog betona, 13 % od nearmiranog ziđa i 1 % je označeno kao "ostalo". U provedenom istraživanju razmatrane su samo građevine napravljene od armiranog betona. Iako se pomoću DBELA metode mogu procijeniti očekivani gubici kod građevina izvedenih od nearmiranog ziđa, vizualnim pregledom je utvrđeno da je većina zidanih konstrukcija izvedena od nepravilnog kamenog ziđa koje DBELA ne pokriva i samim time se ne može primijeniti za procjenu gubitaka ovog tipa konstrukcija. Unatoč ovom pojednostavnjenju, ne bi se trebale očekivati velike promjene u procjeni rizika, budući da armiranobetonske građevine predstavljaju 83 % građevnog fonda. Ipak, radi jednostavnosti, promatrane su samo armiranobetonske konstrukcije.



Slika 3. 12 poduprava provincijskog središta Bitlisa, korištenih pri procjeni gubitaka

Budući da sadašnje stanje ne odgovara cenzusu iz 2000. godine, proveden je vizualni pregled ulica kao i pregled općinskih arhiva kako bi se odredio broj i vrsta građevina u 12 poduprava. Zabilježen je broj armiranobetonskih građevina u svakoj ulici, broj katova i godina izgradnje te konstrukcijski sustav tih građevina (npr. okvirni sustav, okvir s ispunom, dvojni sustav i ostalo). Terenski i općinski podaci kombinirani su s cenzusom iz 2000. godine te je definiran set podataka koji će se provesti metodom DBELA.

Procjena gubitaka zbog štete je napravljena za 5.186 građevina (od 2010. do danas) u ukupno dvanaest ulica, pod okolnostima šest različitih potresnih scenarija. Podaci o građevinama izgrađenim nakon konsenzusa iz 2000. godine dobiveni su iz općinskih arhiva. Pri svakom razmatranju utjecaja nekog od potresnih scenarija, napravljeno je 100 polja podrhtavanja tla s prostornom korelacijom *intra-event* nesigurnosti, i definiran je građevni fond za svaku podupravu. Polja gibanja tla oblikovana su u geometrijskom središtu svake poduprave, pri čemu je pretpostavljeno da se cjelokupni građevni fond nalazi u istoj točki. Taj je pristup već istraživani i Bal i dr. [14] ga smatraju prilično preciznim.

Općinski dokumenti pokazuju da je približno 15 % postojećih armiranobetonskih zgrada u Bitlisi do 2010. godine izvedeno prema seizmičkoj normi iz 1998. godine ili poslije, što znači da su one projektirane prema zahtijevanom kapacitetu nosivosti te da zadovoljavaju oblikovne uvjete osiguranja zahtijevane duktilnosti. Te su građevine klasificirane kao "dobre" u DBELA-i, što znači da su u skladu s normom. Dio tih građevina (od 2 od 15 %) smatrane su dvojnim sustavom (armiranobetonski okvir+vertikalni zid) te da su također u skladu s seizmičkom normom iz 1998. Vizualni pregledi na približno 8 % od ukupnih građevina pokazali su da 5 % građevina izvedenih prije seizmičke norme (građevine prije 1998. godine) imaju dvojni nosivi sustav. Ukratko, 80 % postojećih armiranobetonskih građevina nije u

skladu s relevantnom seizmičkom normom i nema nosive zidove (označene su kao slabi-okvir-normalno i slabi-okvir-ugrađeno u DEBLA-i), 5 % armiranobetonskih građevina ima nosive zidove (slabi-dvojni-normalno i slabi-dvojni-ugrađeno u DEBLA-i), 13 % je kompatibilno sa seizmičkom normom i bez nosivih zidova (dobro-okvir-normalno i dobro-okvir-ugrađeno u DEBLA-i) te 2 % u skladu sa seizmičkom normom i s nosivim zidovima (dobro-dvojni-normalno i dobro-dvojni-ugrađeno u DEBLA-i). Takva DEBLA klasifikacija je važna jer se odnosi perioda i visine kao i izračun kapaciteta pomaka konstrukcije razlikuju od kategorije do kategorije [15]. Postotak zgrada s dvojnim sustavom ili sa seizmičkom normom kompatibilnim nosivim sustavom, može se pronaći samo za centar grada (nije odvojeno zabilježeno za svaku općinsku podupravu). Stoga se smatra da je raspodjela građevina izvedenih u skladu sa seizmičkom normom ili dvojnim nosivim sustavom jednolika po gradu.

Razlika između "slabo" i "dobro" u DBELA-i je uspostavljena na način da se razlikuju građevine koje nisu i koje jesu izvedene u skladu s relevantnom seizmičkom normom. Treba istaknuti da ovaj način klasifikacije konstrukcija ne definira zajedno očekivanu razinu štete za pojedinu kategoriju građevina; ono jednostavno označava kvalitetu projektiranja i izvedbe konstrukcije kao i sukladnost s relevantnom seizmičkom normom. "Normalno" i "upušteno" su dvije riječi koje označavaju vrstu grede u armiranobetonskim građevinama, gdje termin "normalno" definira gredu visine 40-60 cm ubetoniranu u ploču uobičajene debljine od 10-15 cm. Termin "upuštena" definira gredu ubetoniranu u ploču punom visinom, uobičajena visina grede i ploče je 30-37 cm. "Dvojni" sustav definira armiranobetonsku konstrukciju s vertikalnim zidovima, dok "okvir" definira armiranobetonski okvir bez vertikalnih zidova. Daljnje pojedinosti oko navedenih klasifikacija mogu se pronaći u Bal i dr. [16]. Broj građevina za svaku podupravu dan je u tablici 2. Potrebno je istaknuti da postotak konstrukcija s "normalnom"

Tablica 2. Broj armiranobetonskih građevina u 12 poduprava, korištenih pri procjeni gubitaka

Poduprava	Ukupan broj AB građevina	Okvir - u skladu s normom (GFN i GFE)	Dvojni sustav - u skladu s normom (GDN i GDE)	Okvir - nije u skladu s normom (PFN i PFE)	Dvojni sustav - nije u skladu s normom (GDN i GDE)
Hersan	504	66	10	403	25
Saray	313	41	6	250	16
8 Agustos	742	96	15	594	37
Inonu	353	46	7	282	18
Devrim	219	28	4	175	11
Mustakbaba	460	60	9	368	23
Zeydan	272	35	5	218	14
Yukselis	358	47	7	286	18
Tas	456	59	9	365	23
Ataturk	488	63	10	391	24
Gazibey	467	61	9	374	23
Husrevpasa	554	72	11	443	28

PFN: Poor-Frame-Normal (slabi-okvir-normalno), PFE: Poor-Frame-Embedded (slabi-okvir-ugrađeno), GDN: Good-Dual-Normal (slabi-dvojni-normalno), GDE: Good-Dual-Embedded (slabi-dvojni-ugrađeno), GFN: Good-Frame-Normal (dobro-okvir-normalno), GFE: Good-Frame-Embedded (dobro-okvir-ugrađeno)

Tablica 3. Udio u postotcima armiranobetonskih građevina u Bitlisu ovisno o datumu izgradnje [16, 19]

Poduprava	Period	Prije 1970.	1971.–1980.	1981.–1990.	1991.–2000.	2001.–2010.
Hersan		3 %	11 %	35 %	36 %	15 %
Saray		18 %	23 %	12 %	32 %	15 %
Sekiz Agustos		11 %	22 %	33 %	19 %	15 %
Inonu		17 %	28 %	16 %	24 %	15 %
Devrim		20 %	32 %	22 %	11 %	15 %
Mustakbaba		12 %	25 %	35 %	13 %	15 %
Zeydan		14 %	31 %	22 %	18 %	15 %
Yukselis		10 %	22 %	38 %	15 %	15 %
Tas		15 %	21 %	29 %	20 %	15 %
Ataturk		13 %	22 %	24 %	26 %	15 %
Gazibey		10 %	24 %	31 %	20 %	15 %
Husrevpasa		3 %	5 %	39 %	38 %	15 %
Srednja vrijednost		11 %	21 %	30 %	23 %	15 %

Tablica 4. Postotak broja katova za armiranobetonske građevine za svaku podupravu

Poduprava	Broj katova	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Hersan		41 %	23 %	12 %	10 %	5 %	5 %	3 %	1 %	0 %
Saray		35 %	32 %	11 %	8 %	4 %	6 %	2 %	2 %	0 %
8 Agustos		31 %	19 %	15 %	13 %	10 %	4 %	5 %	2 %	1 %
Inonu		27 %	17 %	14 %	12 %	11 %	9 %	5 %	3 %	2 %
Devrim		21 %	18 %	16 %	9 %	12 %	10 %	7 %	4 %	3 %
Mustakbaba		37 %	23 %	18 %	9 %	7 %	3 %	2 %	1 %	0 %
Zeydan		36 %	21 %	17 %	9 %	8 %	4 %	2 %	2 %	1 %
Yukselis		33 %	25 %	13 %	12 %	7 %	5 %	4 %	1 %	0 %
Tas		29 %	17 %	14 %	11 %	9 %	7 %	6 %	4 %	3 %
Ataturk		26 %	16 %	15 %	12 %	9 %	8 %	5 %	5 %	4 %
Gazibey		23 %	20 %	14 %	15 %	12 %	10 %	3 %	2 %	1 %
Husrevpasa		18 %	17 %	11 %	13 %	14 %	8 %	8 %	6 %	5 %
Srednja vrijednost		30 %	20 %	14 %	11 %	9 %	6 %	4 %	3 %	2 %

i "upuštenom" gredom nije poznat, pri čemu su korišteni podaci iz regije Marmara [16] i istočne Turske [17]. Prema navedenom, za oko 25 % građevina se pretpostavlja da su izvedene s upuštenim gredama.

U tablici 3. su prikazani datumi izvedbe armiranobetonskih građevina za svaku geografsku jedinicu Bitlisa. Godina izvedbe, ili jednostavno period izvedbe, važan je za DBELA kalkulacije jer se kvaliteta armaturnog čelika mijenjala s vremenom [16], što primarno utječe na vrijednosti pomaka pri proračunu graničnih stanja. Kako je spomenuto, ukupan broj građevina izgrađenih

između 2001. i 2010. godine se smatra cijelim brojem za cijeli grad te je ravnomjerno raspoređen po svim podupravama. To je razlog zašto postotak građevina kod svih poduprava u stupcu 2001.-2010. u tablici 3. iznosi 15 %.

Drugi važan parametar za izračun gubitaka prema DBELA metodi je broj katova. On definira pretpostavljeni oblik pomak konstrukcije kao i kapacitet pomaka pri popuštanju i graničnom stanju konstrukcije. Korištenjem dostupnih izvora [16, 18], broj katova za sve armiranobetonske građevine u Bitlisu je prikazan u tablici 4.

4. Procjena gubitaka uslijed djelovanja potresa

Termin **procjena gubitaka** definira pristup na temelju kojeg se izvodi procjena ukupne količine i prostorne distribucije konstrukcijskih, financijskih i socijalnih gubitaka, bilo u slučaju nakon potresa (npr. primjenom ostvarenog scenarija potresa), ili probabilističkim pristupom primjenom postojećih zapisa potresa zabilježenih u dotičnoj regiji. Raspoložive metode procjene gubitaka mogu biti u potpunosti empirijske, temeljene na krivuljama vjerojatnosti oštećenja ili analitičke. Primjena analitičkih metoda zahtijeva visoki sadržaj i razlučivost podataka kako bi se adekvatno opisao odgovor građevnog fonda u razmatranju. Detaljnije o primjeni analitičkih metoda može se pronaći u [19]. Metode procjene gubitaka mogu izraziti izravne ekonomske i socijalne gubitke. Neizravni gubici su gubici prouzročeni kolateralnim štetama te prekidom gospodarskih aktivnosti koje je teško dovesti u korelaciju sa složenim posljedicama potresnog događaja. Izračun neizravnih gubitaka zahtijeva jasniji uvid u ekonomske učinke potresa, koji se mogu očitovati kroz duže razdoblje [15].

Procjena gubitaka nastalih tijekom djelovanja potresa zahtijeva predviđanje o broju konstrukcija pojedine klase koje pripadaju određenom razredu oštećenja za određeni potresni zahtjev (eng. *seismic demand*).

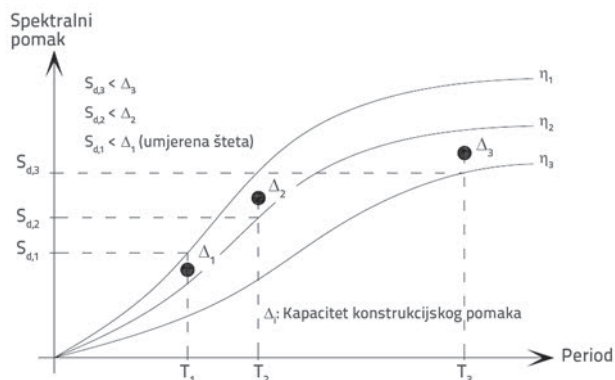
Ta predviđanja trebaju se provoditi primjenom metoda koje se temelje na točnom i djelotvornom proračunu. Karte rizika ili oštećenja mogu se izraditi na državnoj razini nakon nekog aktivirajućeg događaja, što se razlikuje od načina na koji se izrađuju karte kao što su to npr. karte opasnosti.

Potresno djelovanje treba biti opisano parametrima kojima je ostvarena dobra korelacija s oštećenjem i kojima je uzet u obzir odnos između frekventnog sastava potresa i osnovnog perioda vibriranja konstrukcije; kao što su nedavno predloženi pristupi temeljeni na spektru pomaka (eng. *displacement response spectra*) [15, 21].

U ovom istraživanju je primijenjena analitička metoda procjene gubitaka, koja je prethodno korištena i za područje Istanbula [3, 15 i 21]. Metoda se temelji na principima mehanike konstrukcija, a potresni odziv konstrukcije se primjenjuje pri procjeni potresnih mogućih oštećenja pojedinih klasa konstrukcija. U ovom se proračunu osnovni period vibracija svake građevine unutar nasumične stanovništva određuje pomoću pojednostavnjene jednadžbe ovisno o visini i tipu građevine, a kapacitet pomaka pri različitim graničnim stanjima određuje se primjenom jednadžbi koje su u funkciji nasumično simuliranih geometrijskih i materijalnih karakteristika. Kapacitet pomaka svake građevine se tada uspoređuje sa zahtijevanim pomakom dobivenim na temelju jako prigušenog (eng. *over-damped*) spektra pomaka, primjenom osnovnog perioda vibracije. Na taj se način može procijeniti udio konstrukcija koje se nalaze unutar diskretnog razreda oštećenja (slika 4.).

Na primjeru iz slike 4., do prekoračenja kapaciteta dolazi samo u prvom graničnom stanju, pa se stoga građevina ubraja u drugo stanje oštećenja. Prema primijenjenoj klasifikaciji

postoje četiri razine štete (razina bez oštećenja ili neznatnog oštećenja, zatim umjereno, značajno i potpuno oštećenje) kako su to definirali Crowley i dr. [21]. Opis primijenjene metodologije, prikazane korak po korak, može se pronaći kod Bala i dr. [15].



Slika 4. Usporedba između kapaciteta pomaka i zahtjeva za promatrana granična stanja [15]

DBELA metoda se temelji na procjeni pomaka pri popuštanju i graničnom stanju ekvivalentnog elastičnog, jako prigušenog sustava. Pomak pri popuštanju i graničnom stanju pojedinog tipa konstrukcije se određuje na temelju konstrukcijskih parametara (npr. visina presjeka stupa, deformacija armature pri popuštanju i slomu, duljina grede itd.). Nakon toga se uspoređuje kapacitet pomaka pri popuštanju i graničnom stanju sa zahtijevanim pomakom.

Priestley i Kowalsky [22] su dokazali kako zakrivljenost armiranobetonskog presjeka pri pojavi popuštanja, ϕ_{cr} , ne ovisi o čvrstoći, a time ni o sadržaju armature, već isključivo o deformaciji armaturnog čelika i geometriji poprečnog presjeka:

$$\phi_y = 2.14 \frac{\varepsilon_y}{h_c} \quad \text{za stupove} \quad (1)$$

$$\phi_y = 1.7 \frac{\varepsilon_y}{h_b} \quad \text{za zgrade} \quad (2)$$

gdje je

h_b - visina grede

h_c - visina stupa

ε_y - deformacija armaturnog čelika pri pojavi popuštanja.

Prednost ovog pristupa se očituje u izravnom određivanju kapaciteta pomaka armiranobetonskih konstrukcija poznavanjem samo materijalnih i geometrijskih svojstava, bez potrebe za poznavanjem čvrstoća. Ovo je od primarne važnosti za provedbu ocjene, a posebno za analize procjene gubitaka, budući da je teško dobiti pouzdane statističke podatke za pojedine parametre (npr. čvrstoća betona, sadržaj armaturnog čelika u stupovima i gredama) koji opisuju nosivost konstrukcija izloženih potresu.

Prijelaz sa zakrivljenosti na tangentnu rotaciju pri popuštanju, θ_{cr} , ostvaruje se integriranjem krivulje zakrivljenosti pri pojavi

popuštanja po visini stupa, kako je to prikazano izrazima (1), (2) i (3). Nakon integracije, θ_{ty} se množi empirijskim faktorom (1,35 u ovom primjeru), prema Priestley [23], kako bi se uračunao doprinos posmičnih deformacija i deformacije čvora.

$$\theta_y = \varphi_y \frac{h_s}{2} = 2.14 \frac{\varepsilon_y}{h_c} \frac{h_s}{2} = 1.07 \varepsilon_y \frac{h_s}{h_c} \quad (3)$$

$$\theta_y = 1.35 \theta_{ty} = 1.44 \varepsilon_y \frac{h_s}{h_c} \quad (4)$$

Tehnikom moment-površina dolazimo do pomaka vrha stupa pri pojavi popuštanja, Δ_y :

$$\Delta_y = \theta_y \frac{2}{3} h_s = 0.96 \varepsilon_y \frac{h_s^2}{h_c} \quad (5)$$

Plastičnu zakrivljenost, ϕ_p , određujemo kao razliku vrijednosti zakrivljenosti pri graničnom stanju, ϕ_{ls} , i zakrivljenosti pri pojavi popuštanja, kako je to prikazano izrazom (6):

$$\phi_p = \phi_{ls} - \varphi_y = \left(\varepsilon_{c(LS)} + \varepsilon_{s(LS)} \right) \frac{1}{h_c} - 2.14 \frac{\varepsilon_y}{h_c} = \left(\varepsilon_{c(LS)} + \varepsilon_{s(LS)} - 2.14 \varepsilon_y \right) / h_c \quad (6)$$

Zakrivljenost pri graničnom stanju se aproksimira zbrojem deformacija betona i armaturnog čelika sa suprotnih rubova poprečnog presjeka, $\varepsilon_{c(LS)}$ i $\varepsilon_{s(LS)}$, podijeljenom s ukupnom visinom presjeka. Plastična zakrivljenost se množi s duljinom plastičnog zgloba, l_p , pretpostavljenom u iznosu polovine visine presjeka, prema Paulay i Priestley [24], pri čemu se plastična rotacija određuje kao:

$$\theta_p = \phi_p l_p = \phi_p 0.5 h_c = \left(\varepsilon_{c(LS)} + \varepsilon_{s(LS)} - 2.14 \varepsilon_y \right) 0.5 h_c \quad (7)$$

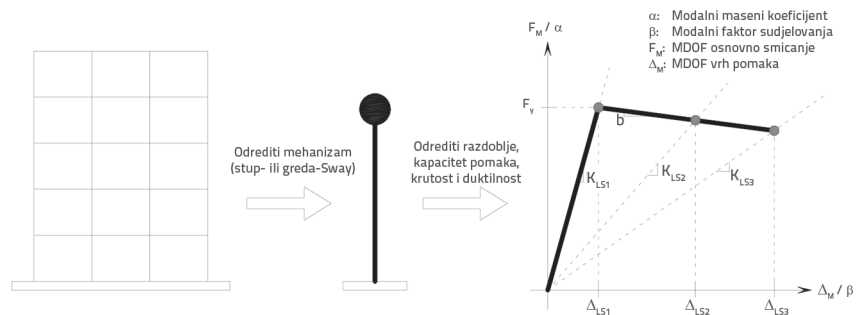
Duljina plastičnog zgloba ne predstavlja ukupni sadržaj plastičnosti elementa, ali se smatra reprezentativnom duljinom u matematičkom smislu. Postoji više razmatranja duljine plastičnih zglobova koje predlaže Priestley i dr. [25]. Plastični pomak vrha konzole se određuje množenjem plastične rotacije i ukupne visine stupova:

$$\Delta_p = \theta_p h_s = \left(\varepsilon_{c(LS)} + \varepsilon_{s(LS)} - 2.14 \varepsilon_y \right) 0.5 h_s \quad (8)$$

Ukupni pomak pri graničnom stanju je prikazan izrazom (9), a dobiven je zbrajanjem pomaka pri popuštanju, iz izraza (5), s plastičnim pomakom:

$$\Delta_{LS} = \Delta_y + \Delta_p = 0.96 \varepsilon_y \frac{h_s^2}{h_c} + \left(\varepsilon_{c(LS)} + \varepsilon_{s(LS)} - 2.14 \varepsilon_y \right) 0.5 h_s \quad (9)$$

Isti principi mogu se primijeniti pri određivanju kapaciteta pomaka konstrukcija. Međutim, ovdje određujemo kapacitet konstrukcije, suprotno od kapaciteta pojedinih elemenata. Zahtijevani pomak konstrukcije se predviđa na temelju spektralnog pomaka, koji



Slika 5. Prikaz prijelaza iz MDOF u SDOF za svaku građevinu i granična stanja pripadajućeg SDOF sustava

daje odziv SDOF sustava za određeni zapis potresa. Kako bi se usporedio zahtijevani pomak s kapacitetom, potrebno je prijeći sa sustava s više stupnjeva slobode (MDOF) na sustav s jednim stupnjem slobode (SDOF), kao što je prikazano na slikama 4. i 5. Do sada je objašnjena procjena kapaciteta generiranih građevina, koja predstavlja konstrukcijska svojstva građevnog fonda. Za generiranje građevina koje će biti ispitivane unutar analize procjene gubitaka primijenjena je Monte Carlo simulacija. Da bi se to napravilo, korišteni su podaci o građevnom fondu [16-18], a statistička svojstva tih podataka (npr. vrsta distribucije koju podaci slijede, medijan, standardna devijacija itd.) korištena su kako bi se generirala nasumična svojstva građevina. Ta su svojstva tada primijenjena pri određivanju kapaciteta pomaka. Kao što je spomenuto, potresni zahtjev je određen na temelju šest determinističkih scenarija potresa. Korišteni potresni scenariji predstavljaju stvarne događaje koji iz prošlosti. Prema tome, prvi potresni scenarij predstavlja potres Malazgrt magnitude 6,2 koji se dogodio 1903. godine na udaljenosti 87 km od Bitlis-a. Drugi potresni scenarij predstavlja potres koji se dogodio 1915. godine na udaljenosti 57 km od grada, magnitude 5,7. Treći potresni scenarij predstavlja potres koji se dogodio 1966. godine na udaljenosti 99 km, magnitude 6,0. Četvrti potresni scenarij predstavlja potres iz 1705. godine, magnitude 6,7. Peti potresni scenarij predstavlja Bitlis-Nemrut potres koji se dogodio 3. svibnja 1881. godine, magnitude 6,7. Šesti potresni scenarij predstavlja nedavni Van potres magnitude 7,2. Gradsko središte Bitlisa, kao osnova procjene gubitaka, ima tip tla B prema NEHRP klasifikaciji tla [26]. Spektar za svaku od poduprava je definiran na temelju analitičkih izraza prema Akkaru i Bommeru [27], ovisno o prigušenju sustava. Korišteni GMPE (eng. *Ground Motion Prediction Equations*) izrazi nisu ažurirani, ali izravno definiraju spektar pomaka. Izrazi koji definiraju spektar ubrzanja su ažurirani, i također mogu biti primijenjeni, a dobiveni spektar ubrzanja može se prevesti u spektar pomaka. Primjena spektralnog pomaka je točnija u smislu pripadajućih nesigurnosti, a primjena spektra ubrzanja i pretpostavka da je nesigurnost spektra ubrzanja jednaka onom spektru pomaka bila bi pogrešna [28]. Pri definiranju spektra pomaka korištena je nesigurnost unutar događaja, za svaku simulaciju. Simulirano je 100 polja gibanja tla, gdje je varijabilnost unutar svakog događaja uzeta u obzir preko prostorne korelacije [29] raznih

geografskih jedinica. Treba imati na umu da su dostupni modeli prostorne korelacije kalibrirani samo za zaostala ubrzanja, a ne za zaostale pomake. No, autori su bili suočeni s odabirom između primjene spektra pomaka i primjene točnih nesigurnosti i korištenja spektra ubrzanja i primjene kalibriranih modela prostorne korelacije. Autori su odabrali drugu opciju, korištenje spektra ubrzanja, budući da se obje opcije nisu mogle primijeniti istovremeno.

Slijedeći navedene korake, napravljena je korelacijska matrica koja uzima u obzir udaljenosti između središta geografskih jedinica (npr. poduprava). Na kraju, generirana je matrica utjecaja preko korelacijske matrice i *Latin hypercube* metode, gdje je epsilon procijenjen kod svake simulacije za svaku geografsku jedinicu.

Šteta je određena primjenom odnosa srednje štete (eng. *mean-damage-ratio* - MDR), indikatora koji povezuje razne vrijednosti štete u jedan parametar. MDR je pogodan parametar koji je zapravo težinski prosjek odnosa troškova popravka i/ili ojačanja (ili zamjene, za srušene građevine) građevina prema troškovima njihove ponovne izgradnje. Na temelju stvarnih podataka iz

cijele Turske, Bal i dr. [17] sugerira MRD od 16 % za neznatno oštećene, 31 % za umjereno oštećene, 105 % za prilično oštećene te 104 % za srušene građevine. Napominje se da su u radu [17] navedene karakteristike građevina sjeverozapadne Turske, ali su MDR podaci tog izvješća prikupljeni i iz ostalih dijelova zemlje. Ovi su odnosi pomnoženi s postocima oštećenih građevina po podupravama i težinskim prosjekom izračunanim za svaku podupravu. Skupni MDR je određen za cijelu regiju (uzimajući u obzir sve klase građevina) tj. definiran za svaki od 100 simuliranih polja gibanja tla i za svaku razinu prostorne razlučivosti, nakon čega je određen srednji skupni MDR. Nakon toga se MDR može pomnožiti s prosječnim troškovima rekonstrukcije i predstaviti kao ukupni izravni gubitak. Vrijednost MDR-a se određuje pomoću jednadžbe 10:

$$\text{MDR} = \text{SSR}_{L_{Sij}} C_{L_{Sij}} \quad (10)$$

gdje je $R_{L_{Sij}}$ je odnos broja građevina s brojem građevina klase "i" i graničnog stanja "j", a $C_{L_{Sij}}$ je odnos troškova popravka i/ili ojačanja građevina klase "i" koje su dosegile štetu graničnog

Tablica 5. Distribucija ozljeda za određenu klasu građevina, prema Spence [28]

Vrsta građevine	Šteta	Stanje potpune štete [%]					
		U_1	I_1	I_2	I_3	I_4	I_5
Zidana (1 etaža)		23,6	50,0	12,0	8,0	0,4	6,0
Zidana (2-3 etaže)		16,5	50,0	15,0	10,0	0,5	8,0
Zidana (≥ 4 etaže)		9,4	50,0	18,0	12,0	0,6	10,0
Armiranobetonska (1 etaža)		32,9	30,0	19,0	3,0	0,2	15,0
Armiranobetonska (2-3 etaže)		20,8	30,0	23,0	4,0	0,2	22,0
Armiranobetonska (≥ 4 etaže)		9,7	30,0	27,0	5,0	0,3	28,0

U_1 = neozlijeđeni; I_1 = neznatne ozljede; I_2 = umjerene ozljede; I_3 = ozbiljne ozljede; I_4 = kritične ozljede; I_5 = smrtni slučajevi

Tablica 6. Distribucija štete (broj građevina) prema scenariju potresa # 1 ($M_w = 6,7$, $R = 87$ km)

Poduprava	Šteta	Stanje potpune štete [%]					Ukupno
		Urušeno	Značajno oštećeno	Umjereno oštećeno	Neznatno oštećeno	Bez štete	
Hersan		0	0	2	2	500	504
Saray		0	0	2	2	309	313
8 Agustos		0	0	2	2	738	742
Inonu		0	0	2	2	349	353
Devrim		0	0	2	2	215	219
Mustakbaba		0	0	2	3	455	460
Zeydan		0	0	1	1	270	272
Yukselis		1	1	2	1	353	358
Tas		0	1	1	1	453	456
Ataturk		0	1	1	2	484	488
Gazibey		0	1	2	2	462	467
Husrevpasa		0	0	1	3	550	554
Ukupno		1	4	20	23	5138	5186
Postotak		0,02 %	0,08 %	0,39 %	0,44 %	99,07 %	100,00 %

stanja "j". Na primjer, odnos R_{LSij} se može interpretirati kao "odnos građevina s armiranobetonskim okvirom, izgrađenih između 1979. i 1990. godine s 3 do 5 katova, koje su dosegnule štetu pri граниčnom stanju 1 u analizi". Važno je imati na umu da ovaj odnos predstavlja odnos ukupnog broja građevina u fondu, a zbroj R odnosa bi trebao biti 1. C_{LSij} je odnos troškova vraćanja građevine u izvorno stanje i troškova ponovne izgradnje te iste građevine.

Broj smrtnih slučajeva je određen pomoću modela koje je predložio Spence [28], a detalji su dani u tablici 5. Očekivani odnosi ozljeda su uprosječeni uzimajući u obzir klasu građevina i njihovu distribuciju u svakoj podupravi. Broj smrtnih slučajeva je

određen za pojavu potresa tijekom noći i dana (oko 67 % je više stanovništva u građevinama tijekom noći). Grad ima ukupno 67.000 stanovnika, raspodijeljenih u 12 poduprava. Na temelju statističkih podataka iz [16], određeno je da se približno 4,33 osobe nalaze na svakom katu građevine.

Rezultati prikazani u smislu distribucije štete dani su u tablicama 6. do 11. Treba napomenuti da postoji velika varijabilnost prikazanih rezultata, kao posljedica simulacije nekoliko polja gibanja tla. Također je važno napomenuti da prikazani rezultati predstavljaju medijan vrijednosti, te da im je pridružena velika nesigurnost. Iznimna šteta odgovara stanju štete gdje se konstrukcija ne može popraviti. Umjerena šteta znači da

Tablica 7. Distribucija štete (broj građevina) prema scenariju potresa # 2 ($M_w = 5,7$, $R = 58$ km)

Poduprava \ Šteta	Urušeno	Značajno oštećeno	Umjereno oštećeno	Neznatno oštećeno	Bez štete	Ukupno
Hersan	0	0	1	3	500	504
Saray	0	0	1	2	310	313
8 Agustos	0	0	1	2	739	742
Inonu	0	0	2	1	350	353
Devrim	0	0	2	2	215	219
Mustakbaba	0	0	2	3	455	460
Zeydan	0	0	2	3	267	272
Yukselis	0	0	2	2	354	358
Tas	1	1	1	2	451	456
Ataturk	0	0	2	2	484	488
Gazibey	0	0	1	2	464	467
Husrevpasa	0	0	2	3	549	554
Ukupno	1	1	19	27	5138	5186
Postotak	0,02 %	0,02 %	0,37 %	0,52 %	99,07 %	100,00 %

Tablica 8. Distribucija štete (broj građevina) prema scenariju potresa # 3 ($M_w = 6,0$, $R = 99$ km)

Poduprava \ Šteta	Urušeno	Značajno oštećeno	Umjereno oštećeno	Neznatno oštećeno	Bez štete	Ukupno
Hersan	1	1	1	4	497	504
Saray	0	0	1	3	309	313
8 Agustos	0	0	1	6	735	742
Inonu	0	1	2	4	346	353
Devrim	1	1	2	4	211	219
Mustakbaba	0	1	2	4	453	460
Zeydan	0	1	2	4	265	272
Yukselis	1	1	1	4	351	358
Tas	1	1	1	5	448	456
Ataturk	1	1	2	5	479	488
Gazibey	1	1	1	4	460	467
Husrevpasa	0	1	2	6	545	554
Ukupno	6	10	18	53	5099	5186
Postotak	0,12 %	0,19 %	0,35 %	1,02 %	98,32 %	100,00 %

Tablica 9. Distribucija štete (broj građevina) prema scenariju potresa # 4 ($M_w = 6,7$, $R = 2$ km)

Poduprava \ Šteta	Urušeno	Značajno oštećeno	Umjereno oštećeno	Neznatno oštećeno	Bez štete	Ukupno
Hersan	31	22	62	79	310	504
Saray	20	15	43	50	185	313
8 Agustos	54	39	106	121	422	742
Inonu	30	22	57	59	185	353
Devrim	22	14	39	38	106	219
Mustakbaba	32	23	61	74	270	460
Zeydan	21	14	38	46	153	272
Yukselis	25	18	52	59	204	358
Tas	37	27	72	76	244	456
Ataturk	38	28	78	81	263	488
Gazibey	34	26	75	81	251	467
Husrevpasa	29	28	85	103	309	554
Ukupno	373	276	768	867	2902	5186
Postotak	7,19 %	5,32 %	14,81 %	16,72 %	55,96 %	100,00 %

Tablica 10. Distribucija štete (broj građevina) prema scenariju potresa # 5 ($M_w = 6,6$, $R = 15$ km)

Poduprava \ Šteta	Urušeno	Značajno oštećeno	Umjereno oštećeno	Neznatno oštećeno	Bez štete	Ukupno
Hersan	17	17	53	76	341	504
Saray	12	11	35	50	205	313
8 Agustos	27	30	96	119	470	742
Inonu	14	13	46	60	220	353
Devrim	10	10	31	39	129	219
Mustakbaba	14	16	50	73	307	460
Zeydan	8	10	30	42	182	272
Yukselis	9	11	36	56	246	358
Tas	15	15	55	76	295	456
Ataturk	15	15	55	80	323	488
Gazibey	13	14	54	76	310	467
Husrevpasa	12	15	53	87	387	554
Ukupno	166	177	594	834	3415	5186
Postotak	3,20 %	3,41 %	11,45 %	16,08 %	65,85 %	100,00 %

konstrukcija nema više nosivost kao prije potresa, ali se može popraviti i ponovo koristiti. Neznatna šteta pokazuje da nema značajne štete na glavnom nosivom sustavu te da je šteta uglavnom koncentrirana na sekundarnim elementima poput zidova ispune.

U tablici 12. prikazani su ukupni MDR odnosi kao i očekivana smrtnost. Ukupna izgrađena površina stambenih građevina u Bitlisi pokriva oko 2,1 milijuna m^2 . Troškovi rekonstrukcije su preuzeti od turskog Ministarstva okoliša i urbanizacije za 2015. godinu u visini od 650 TL/ m^2 ili 200 €/ m^2 . Troškovi rekonstrukcije su procijenjeni na približno 414 milijuna eura za sve stambene građevine Bitlisa.

Na osnovi procjena gubitaka je ustanovljeno da se niti jedna građevina neće urušiti osim pri potresnom scenariju 4 i 5. Ta su dva potresna scenarija gdje se potresi pojavljuju vrlo blizu gradskom središtu. Ako bi se ti scenariji ostvarili, u ovom radu je izračunano da bi se od 4,3 do 9,6% postojećih armiranobetonskih građevina urušilo, od 4 do 7% imalo značajnu štetu, od 15 do 20% pretrpjelo bi umjerenu štetu, a od 21 do 22% imalo bi neznatno oštećenje (tablica 12.).

U ovom istraživanju potresni scenarij 6 predstavlja Van potres iz 2011. godine. Ukupno su 3 osobe poginule u Bitlisi tijekom tog potresa, a 4 do 6 građevina je značajno oštećeno (tj. blizu urušavanja). Čini se da ovdje provedene procjene precjenjuju

Tablica 11. Distribucija štete (broj građevina) prema scenariju potresa # 6 ($M_w = 7,2$, $R = 95$ km)

Poduprava	Šteta	Urušeno	Značajno oštećeno	Umjereno oštećeno	Neznatno oštećeno	Bez štete	Ukupno
Hersan		0	1	3	4	496	504
Saray		0	1	3	2	307	313
8 Agustos		0	1	3	7	731	742
Inonu		0	1	3	4	345	353
Devrim		0	1	3	4	211	219
Mustakbaba		1	1	1	4	453	460
Zeydan		0	1	3	3	265	272
Yukselis		0	1	3	3	351	358
Tas		0	1	1	5	449	456
Ataturk		0	1	3	7	477	488
Gazibey		0	0	1	6	460	467
Husrevpasa		1	1	2	6	544	554
Ukupno		2	11	21	55	5089	5186
Postotak		0,05 %	0,21 %	0,54 %	1,06 %	98,13 %	100,00 %

Tablica 12. Rezultati procjene gubitaka za Bitlis, prema MDR i smrtnosti za 6 potresnih scenarija

Scenarij	M_w	R [km]	Gubitak života (dnevni događaj)	Gubitak života (noćni događaj)	MDR – srednja vrijednost [%]	MDR - CoV [%]	Izravni ekonomski gubici [m€]
1	6,7	87	4	5	0,3	82	1,2
2	5,7	58	4	5	0,2	66	0,8
3	6,0	99	24	33	0,6	88	2,5
4	6,7	2	1519	1985	20,3	91	84,0
5	6,6	15	676	880	13,0	78	53,8
6	7,2	95	5	7	0,4	41	1,8

CoV – koeficijent varijacije (eng. coefficient of variation)

stvarne vrijednosti jer daju veće gubitke od stvarnih šteta i gubitaka života. Međutim, nedostatak zapisa potresa s promatranog područja onemogućava autore da zaključče jesu li ti precijenjeni rezultati uzrokovani metodom ili nesigurnostima vezanim uz podrhtavanje tla koje se odvijalo u tom području.

5. Zaključak

U ovom je radu prikazana pojednostavnjena metodologija, temeljena na DBELA pristupu, za procjenu gubitaka uslijed djelovanja potresa za pokrajinu Bitlis. Postupak se temelji na probabilističkom pristupu koji dopušta razmatranje materijalnih i geometrijskih nesigurnosti unutar promatrane tipologije građevina, kao i varijabilnost jednadžbi za predviđanje gibanja tla.

U provedenom istraživanju razmatrane su samo građevine izvedene od armiranog betona, koje čine 86 % od ukupnog broja građevnog fonda. Primijenjena metoda predviđa raspodjelu štete i smrtnosti za Bitlis za šest različitih potresnih scenarija, definiranih na temelju postojećih zapisa potresa. Procijenjeni

su gubici u slučaju da se ponove stari potresni scenariji. Ustanovljeno je da dva od šest determinističkih potresnih scenarija uzrokuju značajnu štetu, gdje bi 3,2 do 7,2 % postojećih armiranobetonskih građevina pretrpjelo potpuno ili djelomično urušavanje. Ako se uzme u obzir odnos urušavanja od 6 % u Sakarya tijekom Golcuk potresa iz 1999. godine, što je najviši odnos za taj događaj, interval od 3,2 do 7,2 % pokazuje da bi ostvarivanje potresnih scenarija 4 i 5 bilo jednako katastrofalno za Bitlis kao i Golcuk potres iz 1999. godine.

Naročito je zanimljiva procjena smrtnosti. U Ercis potresu iz 2011. godine bila su 604 smrtna slučaja u Vanu, uz napomenu da Ercis ima 172.000 stanovnika te da je susjedna uprava Bitlisa. Scenarij 4, s magnitudom od M_w 6,7 i epicentrom u središtu grada, upućuje na ukupan broj smrtnih slučajeva od 1.519 osoba ako se potres dogodi tijekom dana te 1.985 smrtnih slučajeva ako se dogodi noću.

Također je prikazan i odnos srednje vrijednosti štete (MDR). Na primjer, za očekivane potrese magnituda 7,4 i 7,6 u obalnom predjelu Istambula, Adlar, dobiveni su odnosi MDR u iznosu od 16 i 18 % za cijeli grad. Za najrazornije potresne scenarije, odnos

MDR za Bitlis za scenarij 4 iznosi 20,3 %, a za scenarij 5 13,0 %. Uz primijenjeni pristup je povezano nekoliko nesigurnosti. Prva razina nesigurnosti dolazi iz jednadžbi za predviđanje gibanja tla, a uzeta je u obzir kroz primjenu vanjske varijabilnosti te varijabilnosti unutar događaja zajedno sa shemom prostorne korelacije pri izradi polja gibanja tla. Viša razina ukupne nesigurnosti ipak dolazi iz podataka s terena koji opisuju karakteristike građevnog fonda i njihove razlučivosti. Svi parametri korišteni za definiranje građevnog fonda primjenom Monte Carlo simulacije imaju koeficijente varijacije (eng.

coefficient of variation – CoV) u rasponu od 25 do 50 %. Kada se sve te nesigurnosti koje se odnose na građevni fond uključe u jednadžbe za procjenu gubitaka, ukupni MDR rezultati imaju CoV u rasponu od 41 do 91 %. S obzirom na sve to, predstavljeni pristup i dobiveni rezultati mogu biti korisni kao alat za hitnu procjenu gubitaka nakon potresa, ali zbog pripadajuće razine nesigurnosti još uvijek nije primjeren za izračun portfelja osiguranja. Smanjenje razine nesigurnost ostvarilo bi se definiranjem karakteristika tla po podupravama i povećanjem razlučivosti podataka.

LITERATURA

- [1] Bommer, J.J., Spence, R., Erdik, M., Tabuchi, S., Aydinoglu, N., Booth, E., Del Re, D., Peterken, O.: Development of an earthquake loss model for Turkish catastrophe insurance, *Journal of Seismology*, 6 (2002) 3, pp. 431-446.
- [2] Strasser, F.O., Bommer, J.J., Şeşetyan, K., Erdik, M., Çağnan, Z., Irizarry, J., Goula, X., Lucantoni, A., Sabetta, F., Bal, İ. E., Crowley, H., Lindholm, C.: A Comparative Study of European Earthquake Loss Estimation Tools for a Scenario in İstanbul, *Journal of Earthquake Engineering*, 12 (2008) S2, pp. 246-256.
- [3] Bal, İ.E., Crowley, H., Pinho, R.: Displacement-Based Earthquake Loss Assessment for an Earthquake Scenario in İstanbul, *Journal of Earthquake Engineering*, 12 (2008)1, pp. 12-22.
- [4] Erdik, M., Aydinoglu, N., Fahjan, F., Sesetyan, K., Demircioglu, M., Siyahi, B., Durukal, E., Ozbey, C., Biro, Y., Akman, H., Yuzugullu, O.: Earthquake risk assessment for İstanbul metropolitan area, *Earthquake Engineering and Engineering Vibration*, 2 (2003) 1, pp.1-23., <https://doi.org/10.1007/BF02857534>
- [5] Erdik, M., Durukal, E.: Earthquake risk and its mitigation in İstanbul”, *Natural Hazards*, 44 (2008) 2, pp.181-197.
- [6] Ansal, A., Akici, A., Cultrera, G., Erdik, M., Pessina, V., Tönük G., Ameri, G.: Loss estimation in İstanbul based on deterministic earthquake scenarios of the Marmara Sea region (Turkey), *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 29 (2009) 4, pp. 699-709.
- [7] Erdik, M., Kamer, Y., Demircioğlu, M., Şeşetyan, K. 23 October 2011 Van (Turkey) earthquake, *Natural Hazards*, 64 (2012) 1, pp. 651-665.
- [8] Taskin, B., Sezen, A., Tugsal, U.M., Erken, A.: The aftermath of 2011 Van earthquakes: evaluation of strong motion, geotechnical and structural issues, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 11 (2012) 1, pp. 285-312.
- [9] Özkaymak, Ç., Sağlam, A., Köse, O.: Van Gölü Doğusu Aktif Tektonik Özellikleri ATAG-7 Aktif Tektonik Araştırma Grubu 7. Toplantısı Bildiri Özleri, Yüzcüncü Yıl Üniversitesi Jeoloji Mühendisliği Bölümü, 22-23 (2003), 01-03 Ekim 2003
- [10] Barka, A., Saroglu, F.: The tectonic relationship of the rise in water levels of Lake Van, Symposium for the reasons, effects, and solutions regarding the rise in the water level of Lake Van. Van Yüzcüncü Yıl University Printing Office, Lake Van, Turkey, 1995.
- [11] Litt, T., Krastel, S., Sturm, M., Kipfer, R., Örgen, S., Heumann, G., Franz, S.O., Ülgen U.B., Niessen F.: Paleovan, International Continental Scientific Drilling Program (ICDP): Site Survey Results and Perspectives, *Quaternary Science Reviews*, 28 (2009), pp. 1555–1567, <https://doi.org/10.1016/j.quascirev.2009.03.002>
- [12] Bozkurt, E.: Neotectonics of Turkey –a Synthesis, *Geodinamica Acta (Paris)*, 14 (2001), pp. 3-30, <https://doi.org/10.1080/0985311.2001.11432432>
- [13] Işık, E., Aydın, M.C., Bakış, A., Özlük, M.H.: The Faults Near Bitlis and Seismicity of the Region, Bitlis Eren University, *BEU Journal of Science*, 1 (2012) 2, pp. 153-169,
- [14] Bal, İ.E., Bommer, J.J., Stafford, P.J., Crowley, H., Pinho, R.: The influence of geographical resolution of urban exposure data in an earthquake loss model for İstanbul. *Earthquake Spectra*, 26 (2010) 3, pp. 619-634.
- [15] Bal, İ.E., Crowley, H., Pinho, R.: Displacement-based earthquake loss assessment: Method development and application to Turkish building stock, ROSE Research Report 2010/02, IUSS Press, Pavia, Italy, 2010.
- [16] TÜİK "Bina Sayımı", Türkiye İstatistik Kurumu, 2000.
- [17] Bal, İ. E., Crowley, H., Pinho, R., Gulay, G.: Detailed Assessment of Structural Characteristics of Turkish RC Building Stock in Northern Marmara Region for Loss Assessment Models, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 28 (2008) 10-11, pp. 914-932.
- [18] Bal, İ. E., Gulay, F.G., Gorgulu, O., Baysal, T.: Adana Bölgesindeki B/A Yapı Stoğu Karakteristiklerinin Hasar Kayıp Tahmin Modelleri Açısından İncelenmesi , İTÜ, İstanbul, 2007.
- [19] Calvi, M., Pinho, R., Magenes, G., Bommer, J., Restrepo-Vélez, L., Crowley, H.: Development of Seismic Vulnerability Assessment Methodologies over the past 30 years, *ISET Journal of Earthquake Technology*, 43 (2006) 3, pp. 75-104.
- [20] İzah Raporu "Bitlis (Merkez) Revizyon+İlave Uygulama İmar Planı İzah Raporu" Ankara 2007.
- [21] Crowley, H., Pinho, R., Bommer, J.J.: A probabilistic displacement-based vulnerability assessment procedure for earthquake loss estimation, *Bulletin of Earthquake Engineering*, 2.2 (2004), pp. 173-219, <https://doi.org/10.1007/s10518-004-2290-8>
- [22] Priestley M. J. N., Kowalsky, M. J.: Aspects of drift and ductility capacity of rectangular cantilever structural walls, *Bulletin of NZNSEE*, 31 (1998) 2, pp. 73-85.
- [23] Priestley, M.J.N.: Myths and fallacies in earthquake engineering, IUSS Press, Pavia, Italy, 2003.
- [24] Paulay, T. Priestley, M.J.N.: Seismic design of reinforced concrete and masonry buildings, 1992, <https://doi.org/10.1002/9780470172841>
- [25] Priestley, M.J.N., Calvi, G.M. Kowalsky, M.J.: Displacement-based seismic design of structures, IUSS Press, Pavia, Italy, 2007.
- [26] NEHRP"Recommended provisions for seismic regulations for new buildings and other structures, Report FEMA-303, Building Seismic Safety Council, Federal Emergency Management Agency, Washington DC, 1997.
- [27] Akkar, S., Bommer, J.J.: Prediction of elastic displacement response spectra in Europe and the Middle East, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 36 (2007), pp. 1275-1301, <https://doi.org/10.1002/eqe.679>
- [28] Spence, R.: Earthquake disaster scenario prediction and loss modelling for urban areas, LessLoss Final Reports, IUSS Press, Pavia, Italy, 2007.
- [29] Jayaram, N., Baker, J.W.: Correlation model for spatially distributed ground-motion intensities, *Earthquake Eng. Struct. Dyn.*, 38(2009), pp. 1687–1708.