

Primljen / Received: 20.5.2013.

Ispravljen / Corrected: 25.6.2013.

Prihvaćen / Accepted: 30.7.2013.

Dostupno online / Available online: 10.9.2013.

Analiza oštećenosti zgrada stradalih tijekom potresa na istoku Turske

Autori:



Mr.sc. **Cumhuri Coşgun**, dipl.ing.građ.
Sveučilište Kültür u Istanbulu
Odjel za građevinarstvo
cumhurcosgun@gmail.com



Doc.dr.sc. **Ahmet Anil Dindar**, dipl.ing.građ.
Sveučilište Kültür u Istanbulu
Odjel za građevinarstvo
a.dindar@iku.edu.tr



Dr.sc. **Edip Seçkin**, dipl.ing.građ.
Sveučilište Kültür u Istanbulu
Odjel za građevinarstvo
e.seckin@iku.edu.tr



Prof.dr.sc. **Yusuf Hatay Önen**, dipl.ing.građ.
Sveučilište Kültür u Istanbulu
Odjel za građevinarstvo
y.onen@iku.edu.tr

Stručni rad

Cumhuri Coşgun, Ahmet Anil Dindar, Edip Seçkin, Yusuf Hatay Önen

Analiza oštećenosti zgrada stradalih tijekom potresa na istoku Turske

Od 23. listopada 2011. do danas u istočnoj Turskoj svjedočili smo brojnim podrhtavanjima tla različite jačine. Dvije takve pojave u gradovima Vanu i Ercișu odnijele su mnoge živote i uzrokovale veće materijalne štete. Više od 600.000 ljudi osjetilo je posljedice potresa u tom razdoblju. Van je jedna od najnovijih i najbrže izgrađenih pokrajina Turske, te je potrebno temeljito ispitati karakteristike građevina navedene regije u kontekstu potresa. U članku se analiziraju vrste oštećenja zgrada uslijed potresa te uzroci nastajanja oštećenja na različitim građevinama u Vanu i Ercișu.

Ključne riječi:

potresi, istočna Turska, učinci potresa na građevine, kvaliteta materijala

Professional paper

Cumhuri Coşgun, Ahmet Anil Dindar, Edip Seçkin, Yusuf Hatay Önen

Analysis of building damage caused by earthquakes in Eastern Turkey

Numerous ground motions of various intensities have been registered in Eastern Turkey since 23 October 2011. Two of them resulted in severe loss of life and great material damage in the towns of Van and Erciș. More than 600,000 people were affected by damage caused by earthquakes in that period. Van is one of the most recent and fastest developing regions of Turkey, which is why thorough investigations must be made to check seismic properties of buildings erected in this region. Types of seismic damage inflicted on buildings, and causes of damage to various buildings built in Van and Erciș, are analysed in the paper.

Key words:

earthquakes, Eastern Turkey, seismic effects on buildings, quality of materials

Fachbericht

Cumhuri Coşgun, Ahmet Anil Dindar, Edip Seçkin, Yusuf Hatay Önen

Analyse der durch Erdbeben in der Osttürkei verursachten Gebäudeschäden

Seit dem 23. Oktober 2011, bis heute, hat sich eine Reihe von Erdbeben verschiedener Stärke in der Osttürkei ereignet. Zwei dieser Vorfälle in den Städten Van und Erciș haben zahlreiche Menschenleben gefordert und bedeutende Sachschäden verursacht. Mehr als 600 000 Menschen sind in diesem Zeitraum von den Folgen der Erschütterungen betroffen worden. Van ist eines der kürzlich und schleunig ausgebauten Gebiete in der Türkei; daher ist es notwendig die Eigenschaften der Gebäude in dieser Region gründlich im Bezug auf Erdbebeneinwirkungen zu erforschen. Diese Arbeit analysiert verschiedene durch Erdbeben in Van und Erciș entstandene Gebäudeschäden und ihre möglichen Entstehungsursachen.

Schlüsselwörter:

Erdbeben, Osttürkei, Erdbebeneinwirkungen auf Gebäude, Materialsqualität

1. Uvod

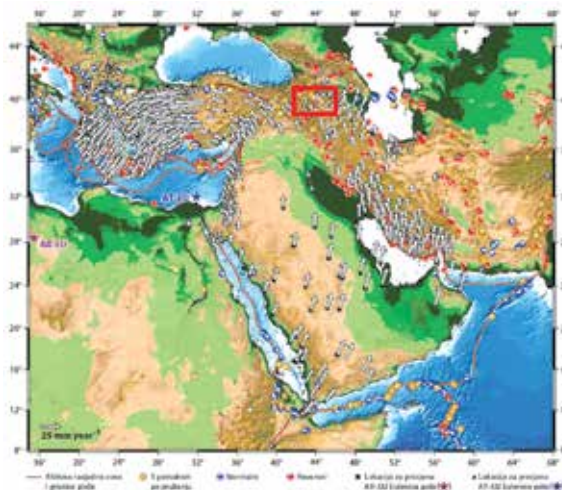
Od 22. listopada 2011. do kraja veljače 2012. u istočnoj Turskoj zabilježen je niz potresa magnitude veće od 3,0. Među značajnijim podrhtavanjima tla izdvajamo potres 23. listopada 2011. (nedjelja) u 13.41 (po istočnoeuropskom vremenu) kod sela Tabanlı na sjeveru te onaj 9. studenog 2011. (srijeda) u 21.23 (po istočnoeuropskom vremenu) kod Edremita, jugozapadno od Vana. Ti su potresi odnijeli mnoge živote i uzrokovali veću materijalnu štetu te oštetili ili srušili zgrade u gradovima Ercișu i Vanu. Podaci o tim potresima prikazani su u tablici 1.

McKenzie je 1972. iznio teoriju da se Anatolija neprestano pomiče u smjeru istok-zapad zbog pritiska Arapskog poluotoka (slika 1).

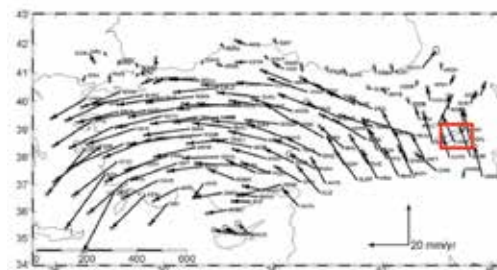
Nedavno je uz pomoć permanentnih GPS stanica dokazano da se Anatolija uistinu pomiče za 20 mm na godinu (slika 2.) [1]. Stoga diljem Anatolije nalazimo mnogo aktivnih rasjednih linija. Područje snažnog podrhtavanja tla u istočnoj Turskoj gdje su se dogodila dva velika potresa o kojima je riječ u ovom radu označeno je kvadratom unutar slike 2.

Iz tablice 2. (prema [2]) vidimo da je prvi potres (23. listopada 2011. i magnitude 7,2) prouzročio veće štete i gubitke u gradu Ercișu nego u Vanu, koji je bliži epicentru.

Zanimljivo je što je Van gotovo jednako udaljen od oba epicentra (slika 3.), no u drugom potresu manje magnitude srušilo se više građevina nego u onom prvome veće magnitude. U ovom se radu pokušava otkriti razlog tome.



Slika 1. Tektonski sastav Turske i okolnog područja [3, 4]



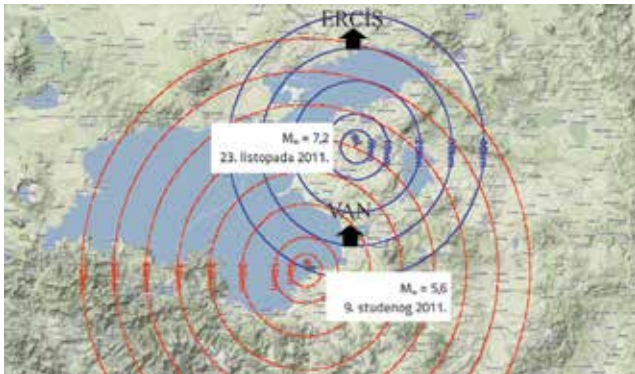
Slika 2. Vektorsko polje brzine određeno uz pomoć nacionalnih permanentnih referentnih stanica (CORS-TR) postavljenih 2009.

Tablica 1. Podaci o potresima u istočnoj Turskoj (2011.)

Potres	23. listopada 2011.		9. studenoga 2011.	
	Kandilli opservatorij i istraživački institut (KOERI)	Američki geofizički institut (USGS)	Kandilli opservatorij i istraživački institut (KOERI)	Američki geofizički institut (USGS)
Zabilježio	selo Tabanlı sjeverno od Vana	istočna Anatolija	kod Edremita, jugozapadno od Vana	istočna Anatolija
Lokacija	38,757 N	38,691 N	38,429 N	38,42 N
Zemljopisna širina	43,360 E	43,497 E	43,234 E	43,22 E
Zemljopisna dužina	5 km	16 km	5 km	5 km
Hipocentar	7,2	7,1	5,6	5,6
Magnituda (M _w)				

Tablica 2. Statistika o žrtvama i srušenim zgradama [2]

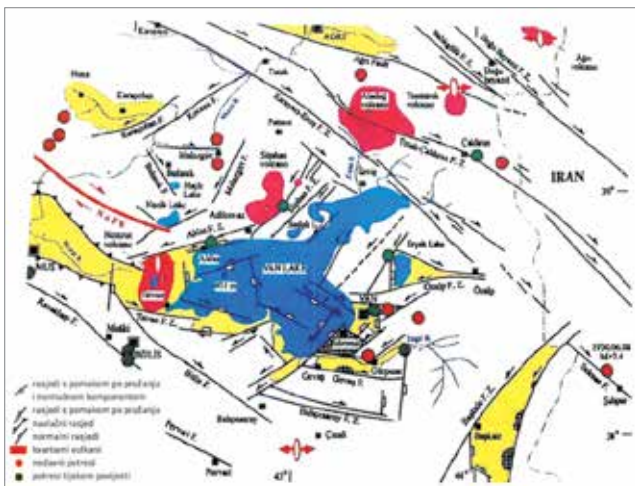
Grad	Stanovništvo (2010.)	Prvi potres (23. listopada 2011., M _w =7,2)			Drugi potres (9. studenoga 2011., M _w =5,6)		
		Poginuli	Ozlijeđeni	Srušene zgrade	Poginuli	Ozlijeđeni	Srušene zgrade
Van	540.000	100	350	10	40	N/A	18
Erciș	77.000	351	750	100	0	0	0
Seosko područje	N/A	153	201	2197	0	0	0



Slika 3. Lokacije potresa, Van i Erciș

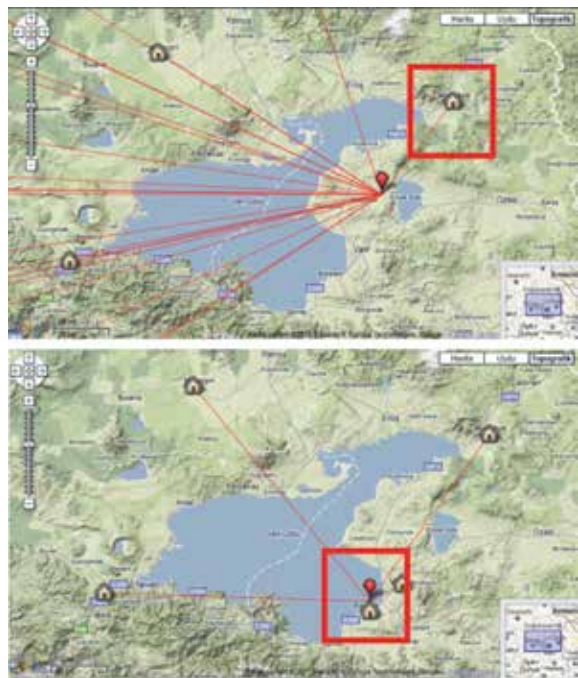
2. Ocjena zapisa snažnog podrhtavanja tla

Grad Van smješten je u seizmički vrlo aktivnom području u nastavku sjevernoanatolijske i istočnoanatolijske rasjedne linije. Rasjedi na tom području uglavnom su rasjedi s pomakom po pružanju (slika 4.).

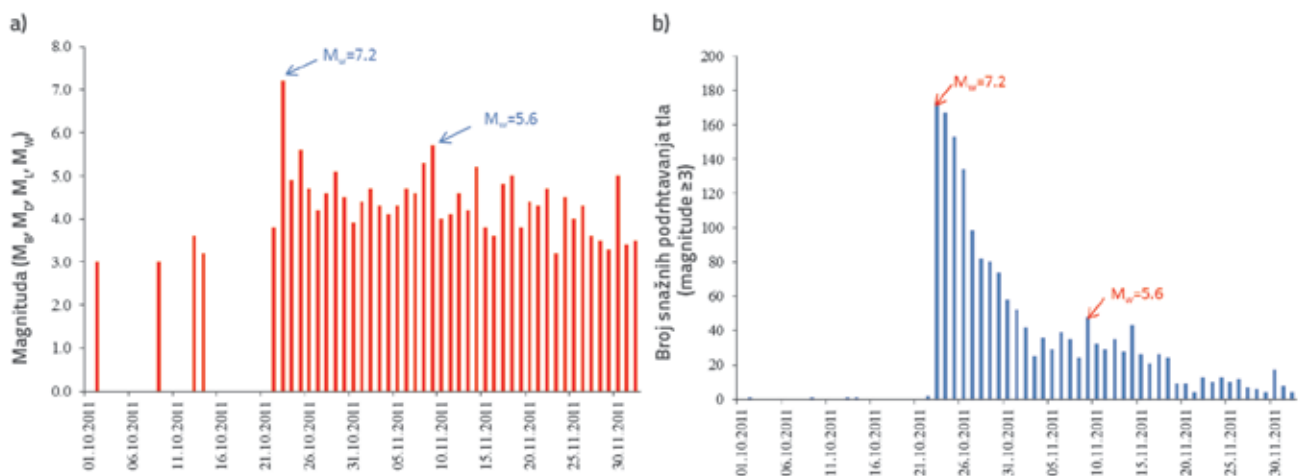


Slika 4. Aktivne rasjedne linije blizu Vana [5]

Prije prvog potresa (23. listopada 2011. i magnitude 7,2) zabilježen je manji broj podrhtavanja tla magnitude 3 ili više [6] (slika 5.a). Unutar 72 sata od prvog potresa broj se takvih podrhtavanja tla naglo povećao na 570 (slika 5.b). Sljedećih se deset dana broj podrhtavanja tla smanjio. Prije drugog potresa (9. studenog 2011. i magnitude 5,6) broj se snažnih podrhtavanja tla blago povećao. Drugi je potres pogodio područje jugozapadno od Vana i prouzročio rušenje više zgrada. Kako bi se odredilo koliko su razorni potresi bili, od Nacionalne baze digitalnih podataka o potresima zatražene su snimke valnih oblika koje su zabilježile najbliže stanice za praćenje snažnih podrhtavanja tla (slika 6.) [7].



Slika 6. Položaj stanica za praćenje snažnih podrhtavanja tla, (gore: meteorološka stanica Muradiye za prvi potres; dolje: Centar zdravlja Edremit za drugi potres)



Slika 5. Razdioba snažnih podrhtavanja tla kod Vana od 1. listopada do 2. prosinca 2011.

Tablica 3. Svojstva filtriranih valnih oblika zabilježenih u potresima

Potres	Vrijeme bilježenja opažanja (lokalno)	Ime stanice za praćenje snažnih podrhtavanja tla (koordinate)	Vrijeme bilježenja (realno trajanje)	PGA (cm/s ²) S-J, I-Z, prema gore	PGV (cm/s) S-J, I-Z, prema gore
23. listopada 2011. (M _w =7,2)	13:41:20	meteorološka stanica Muradiye (38,99011 N - 43,76302 E)	38,85 s (22,29 s komponentom titranja I-Z)	195,49 167,18 80,51	26,95 17,45 6,22
9. studenog 2011. (M _w =5,6)	21:23:33	podrum Centra zdravlja Edremit (38,41450 N - 43,26820 E)	34,58 s (17,57 s komponentom titranja S-J)	69,28 103,08 44,85	118,59 137,70 43,53

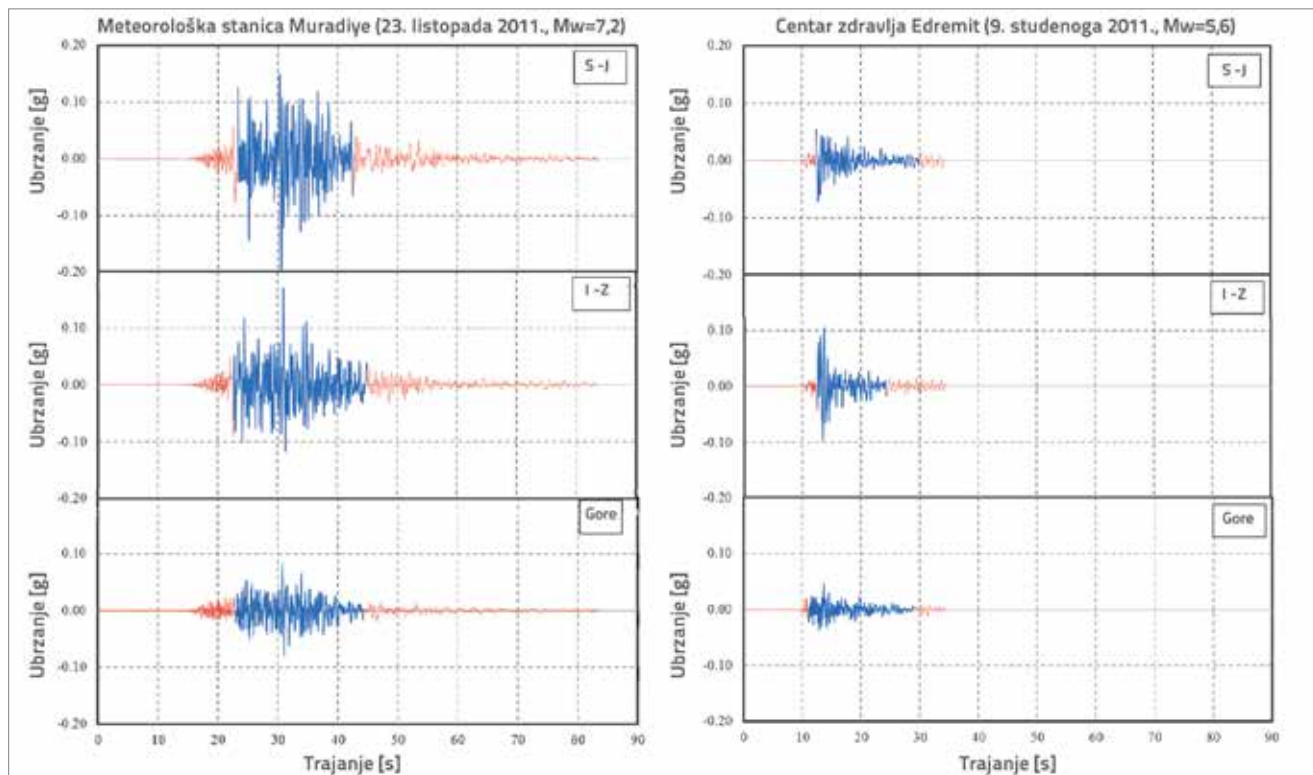
PGA - Peak Ground Acceleration (efektivno maksimalno ubrzanje tla); PGV - Peak Ground Velocity (efektivna maksimalna brzina tla)

Među zabilježenim valnim oblicima odabrana su dva neobrađena zapisa koja su podvrgnuta popravku osnovne linije te je filtriran pojas 0,1-25 Hz Butterworthovim filtrom uz pomoć programa SeismoSignal [8]. Podaci o filtriranim valnim oblicima prikazani su u tablici 3.

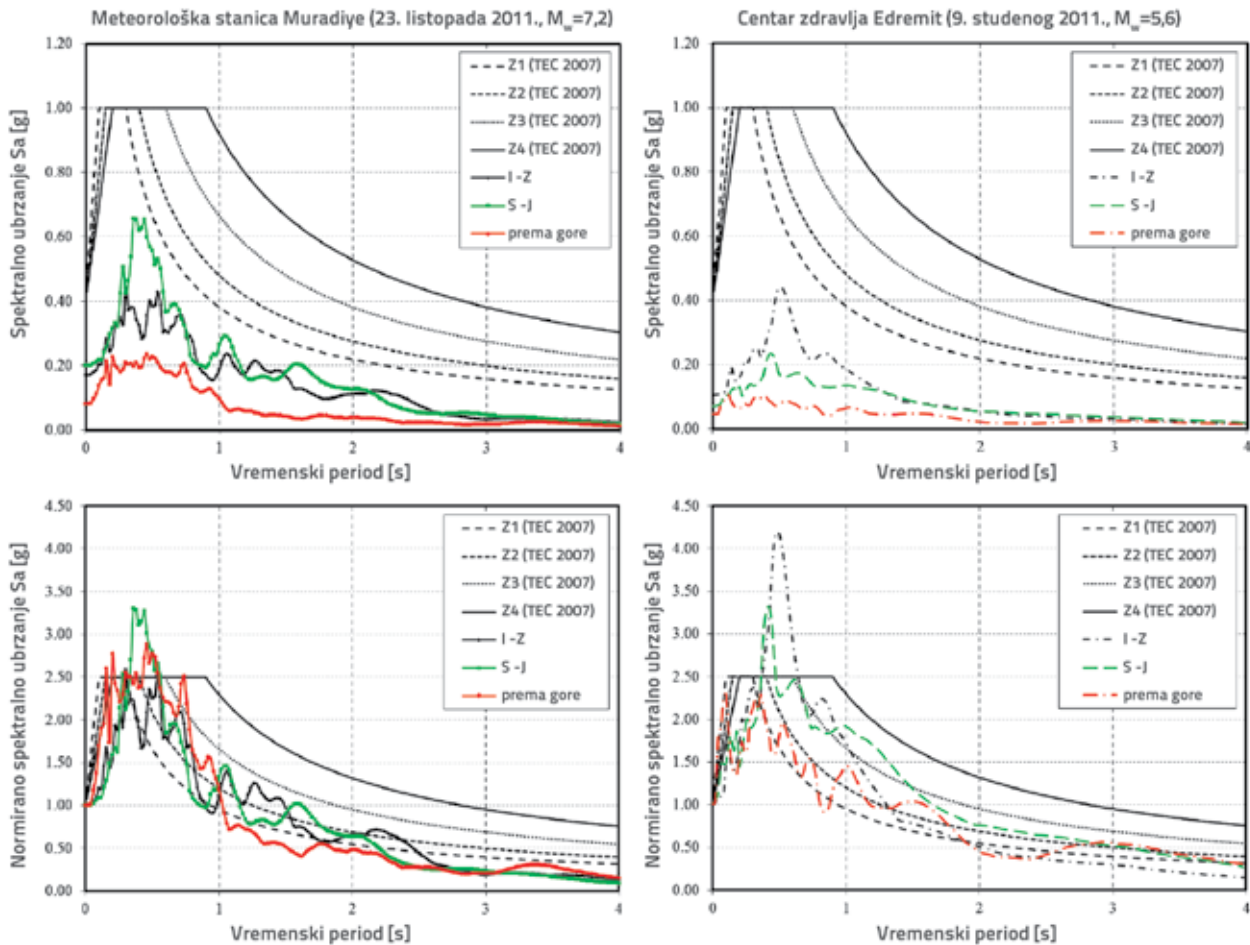
Realno trajanje oba valna oblika izračunato je uz pomoć metode koju su rabili Trifunac i Brady [9], a koja uzima u obzir segment od pet do 95 posto vrijednosti Ariasova intenziteta. Promatrane su sve tri komponente oba valna oblika i najdulje realno trajanje uzeto je kao vrijeme trajanja potresa (slika 7.). Prema valnim oblicima vidljivo je da je efektivno maksimalno ubrzanje tla (eng. Peak Ground Acceleration - PGA) tijekom zabilježenog podrhtavanja 0,20 g (195,49 cm/s²) za prvi,

odnosno 0,11 g (103,08 cm/s²) za drugi potres. Te vrijednosti i trajanje pobude nisu dovoljni da bi uzrokovali uništenje većih razmjera. Usto, spektralne vrijednosti valnog oblika znatno su manje od projektnog spektra (za 5 %, [10]), kako je prikazano na slici 8. Projektni spektri na slici 8. prikazani su u ovisnosti o vrstama tla navedenim u [10].

Pokrajina Van jedna je od seizmički najaktivnijih zona Turske. Vrijednosti normiranog spektra odgovora više su od normiranih projektnih vrijednosti navedenih u [10]. Stoga zaključujemo da je šteta i rušenje zgrada u ta dva potresa uzrokovala ponajprije slaba kvaliteta gradnje zbog lošeg projektiranja i neprikladnih konstrukcijskih materijala. Ti su konstrukcijski nedostaci uočeni tijekom terenske istrage [11].



Slika 7. Valni oblici ubrzanja u prvom i drugom potresu (tamni dijelovi valnih oblika označavaju realno trajanje)



Slika 8. Usporedba spektra odgovora zabilježenih za oba potresa s projektnim spektrom navedenim u *Turskom pravilniku o potresima* [10], (gornja crta predstavlja spektralne krivulje, a donja normirane spektralne krivulje)

3. Zabilježena šteta

Erciș je 23. listopada 2011. stradao u prvom potresu magnitude 7,2. Grad se nalazi oko 30 km sjeverno od epicentra (kako je vidljivo na slici 3.), a građevni fond grada uglavnom su armiranobetonske građevine od četiri do šest katova izgrađene prije 1997., kad je *Turski pravilnik o potresima* znatno poboljšan. Najviše je zgrada stradalo u samom središtu Ercișa, gdje su zgrade znatno starije nego u predgrađu. Usto, zbog nedostatne inspekcije većina zgrada u gradu ima više katova nego što dopuštaju općinske vlasti. Drugi potres nije odnio živote niti je prouzročio materijalne gubitke.

Za razliku od Ercișa, Van su oštetila oba potresa. Drugi je potres, onaj 9. studenog 2011., bio manje magnitude ($M_w=5,6$) i trajao kraće od prvoga (slika 7.), a epicentar mu je bio 15 km jugoistočno od grada (slika 3.). Gotovo svaka građevina u gradu pretrpjela je djelomičnu ili ozbiljniju štetu, od odvajanja pregradnih zidova do potpunog rušenja zgrade. Konstrukcijska i nekonstrukcijska oštećenja na zgradama u Vanu i Ercișu analiziraju se u nastavku rada.

3.1. Oštećenja konstrukcijskih elemenata

Konstrukcijski elementi izrađeni su tako da podnose statičke i dinamičke sile u raznim izuzetnim okolnostima poput pretjeranih gravitacijskih opterećenja ili potresa. Poželjno je da se trajna oštećenja pojave na krajevima greda, a da se ne ošteti elastičnost stupova. To sprječava potpuno urušavanje zgrada i moguće je evakuirati ljude te spasiti živote. No analizirajući oštećenja prouzročena potresima u Vanu i Ercișu ustanovljeno je da većina teško oštećenih građevina imaju a/b grede koje su čvršće od stupova, što nije u skladu s navedenim načelom gradnje. Drugim riječima, projektiranje i izgradnja građevina tog područja ne jamče prihvatljivo ponašanje konstrukcijskih elemenata, slike 10. i 11.



Slika 9. Primjeri plastičnog zakretanja na krajevima stupova u Ercișu



Slika 10. Rušenje zgrade u Ercišu zbog translacijskog pomaka čvorova nakon plastičnog zakretanja na kraju svakog stupa na katu

Pod bočnim opterećenjem, poput onoga koje se javlja tijekom potresa, spojevi greda i stupova najranjiviji su dio konstrukcijskog sustava. Detalji armature ključni su za postizanje odgovarajuće rotacije i otpornosti na posmik. Osobito je važno da se poprečna armatura, tj. uzdužne armaturene šipke stupova, proteže cijelom visinom spoja. No gotovo ni u jednoj oštećenoj zgradi nismo to primijetili (slika 11.). Kako je uzdužne armaturene šipke greda teško smjestiti na vrhove stupova, praksa je na terenu zanemarila zatezače koji bi trebali biti postavljeni na spojeve duž cijele grede. Nažalost, taj je nedostatak jedan od glavnih razloga sloma konstrukcijskih sustava iako su grede i stupovi ostali neoštećeni nakon potresa.



Slika 11. Karakterističan slom spojeva na višekatnici u Ercišu



Slika 12. Rušenje dviju zgrada u Ercišu zbog mekog kata u prizemlju

Zgrade izgrađene duž ulica poslovne su i stambene. Kako bi prizemlje bilo dovoljno prostrano, ono je obično više od katova, a u zidovima poslovnih zgrada na uličnoj strani prizemlja nema ispune da bi se poboljšala vidljivost. To na

višekatnicama uzrokuje efekt mekih katova. Zbog bočne nestabilnosti prizemlja, zgrada se translacijski pomiče do granica otpornosti stupova u prizemlju na bočne deformacije, što uzrokuje rušenje cijelog mekog kata (slika 12.).

Suvremena pravila projektiranja u skladu s protupotresnom zaštitom sprječavaju posmični slom stupova jer propisuju određeno ovijanje uzdužnih armaturnih šipki. No ako je područje posmika elastičnih elemenata skraćeno zbog konstrukcijskih razloga, konstrukcijski element izložen je snažnim posmičnim silama, a ne savijanju. Zbog toga se dijagonalne posmične napukline tijekom potresa pojavljuju uz slobodnu visinu elastičnog elementa (slika 13.). Takvo oštećenje može izazvati pojavu nepoželjnih mehanizama na stropovima.



Slika 13. Posmični slom na vrhu stupa zgrade u Vanu uzrokovan kratkim područjem posmika

Zgrade u središtu gradova Vana i Erciša izgrađene su u nizu koji se proteže duž obiju strana ulice. Nažalost, nedostatak propisa o prepustima na zgradama doveo je do praktičnog problema zbog različite visine katova (slika 14.). Stoga tijekom potresa kruti strop jedne zgrade može udariti u sredinu između stupova susjedne zgrade. Takve bočne sile kojima su stupovi izloženi mogu dovesti do tragičnog smanjenja stabilnosti stupova i rušenja cijele gornje ploče.



Slika 14. Djelomično urušavanje ploče u Ercišu zbog udara

Zbog srednje do velike gustoće zgrada u Vanu i Ercišu, mnoge je oštetilo i urušavanje susjednih zgrada (slika 15.). Loše građene zgrade ili zgrade koje nisu građene u skladu s propisima pretrpjele su velike štete tijekom potresa. Kad se

takve zgrade potpuno ili djelomično sruše, vjerojatno će pasti na susjedne zgrade koje bi inače možda i ostale neoštećene u potresu. Nažalost, to je moguće spriječiti samo učinkovitom inspekcijom tijekom gradnje i projektiranja zgrade.



Slika 15. Šteta koju je u Ercișu i Vanu prouzročilo rušenje zgrade na susjedne zgrade

Odabir konstrukcijskog sustava i elemenata ključna je odluka pri projektiranju zgrada na seizmički aktivnim područjima. Stoga inženjer projektant mora imati iskustva s projektiranjem građevina otpornih na potrese. Čak i ako uporabno opterećenje ne izaziva štetu na loše projektiranim zgradama, opterećenja tijekom potresa mogu preoptereti elemente i dovesti do katastrofe (slika 16.).



Slika 16. Šteta u Ercișu nastala zbog odabira neodgovarajućih konstrukcijskih sustava

3.2. Oštećenja nekonstrukcijskih elemenata

Zidovi ispunje nisu dio konstrukcijskog sustava namijenjen podnošenju opterećenja, no podložni su nastanku većih šteta tijekom potresa. Osnovna svrha zidova ispunje fizičko je razdvajanje prostorija na katu te zaštita unutrašnjih prostora od vanjskih utjecaja. Zbog nepovoljnih vremenskih prilika u istočnoj Turskoj vanjski zidovi ispunje dvostruki su zidovi od opeke s toplinskom izolacijom između (slika 17.). Iako je konstrukcijski sustav zgrada u Vanu ostao neoštećen tijekom prvog potresa, gotovo svaka zgrada imala je dijagonalne napukline i deformacije izvan ravnine na vanjskim zidovima jer dvostruki slojevi opeke nisu bili nikako mehanički povezani.



Slika 17. Dijagonalna oštećenja na dvostrukim zidovima ispunje u Vanu

Zbog oštih zima ili radi boljeg iskorištavanja tavanjskog prostora, krov je bitno dignut i nagnut. Stoga su zidovi ispod zabatnih krovova odgovarajuće visoki, što uzrokuje probleme sa stabilnošću izvan ravnine. I nedostatak serklaža na vrhu zabatnog zida uzrok je nedovoljne stabilnosti zgrada (slika 18.). Takvi konstrukcijski nedostaci uočeni su na gotovo svim zgradama u Vanu i Ercișu.



Slika 18. Oštećenja zabatnih zidova na zgradama

Konstrukcijski sustavi koji nose krov obično ne osiguravaju dostatnu bočnu krutost. Situacija postaje još gora kad se na krov postave spremnici s vodom (svaki oko 10 kN) i sunčane čelije jer te konstrukcije povećavaju seizmičku masu koja opterećuje konstrukcijski sustav krova. Tijekom potresa većina krovova srušila se sa zgrada ili je došlo do translacijskog pomaka (slika 19.).



Slika 19. Translacijski pomak krovova u Ercișu zbog male krutosti i dodatne seizmičke mase

4. Zidane zgrade

Bočnu krutost zidanih zgrada osiguravaju jaki zidovi od sušene opeke i stropne ploče zidanih zgrada. Ako jedan od tih elemenata nije konstrukcijski dobar, oštećenja zidanih zgrada tijekom potresa neizbježna su. Karakteristična oštećenja zidanih zgrada dijagonalne su posmične napukline i pukotine na zidovima (slika 20.).



Slika 20. Karakteristična posmična oštećenja na konstrukcijskim zidovima zidanih zgrada u Vanu

Stropne ploče zidanih zgrada obično su drvene grede ispunjene zemljanim materijalima. Što je viši sloj zemljanog materijala, to je veća i bočna sila koja djeluje na zidove i uzrokuje nastanak posmičnih pukotina. Takva su oštećenja uočena na većini starih zidanih kuća u Vanu i Ercišu. Zemljani materijal kojim je ispunjen krov katkad je deo i 40 cm (slika 21.) Zbog nedovoljne povezanosti zidova koji se dodiruju te zidova i krova i zbog nedostatka žbuke zidane zgrade od prirodnog kamena postaju nestabilne izvan ravnine (slika 22.).



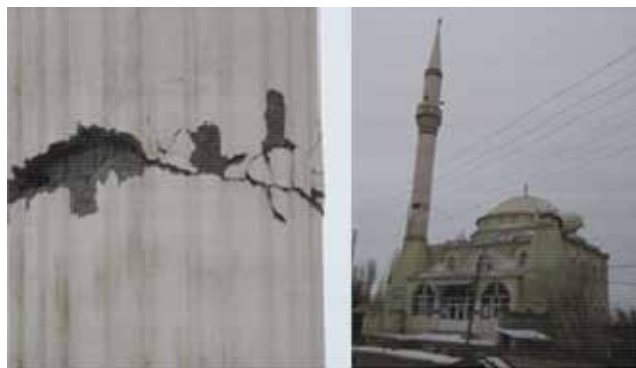
Slika 21. Pretjerana zemljana ispuna na krovu zidane zgrade



Slika 22. Urušavanje zidane zgrade u Ercišu zbog nedovoljne povezanosti zidova i krova te nedostatka žbuke

5. Minareti

Minareti se grade u blizini džamija i iznimno su izdužene konstrukcije. Grade se od kamenih blokova ili armiranog betona (a/b). Pregledom oštećenja minareta primjećeno je da su oni od kamenih blokova s neprikladnom žbukom posve izgubili krutost i stabilnost te su se urušili. S druge strane, armiranobetonski minareti oštećeni su na dijelovima gdje se mijenjaju geometrija presjeka ili svojstva materijala (slike 23. i 24.).



Slika 23. Dva minareta džamije u Ercišu: djelomično oštećeni i posve srušeni



Slika 24. Neoštećeni i oštećeni minaret džamije u Vanu

6. Kvaliteta materijala i nedostaci primjene

6.1. Kvaliteta betona

Beton rabljen pri izgradnji zgrada koje su se urušile ili oštetile bio je neprikladna betonska mješavina. Promjer agregata iz smjese ni približno ne odgovara onome propisanom turskim standardima [12] (slika 25.). Očito su agregati vađeni iz korita rijeka, ne iz kamenoloma, a cement i agregati gotovo su nevezani (slika 26.).



Slika 25. Neodgovarajući agregati u građevini od armiranog betona



Slika 26. Slaba povezanost cementa i agregata

6.2. Kvaliteta armiranja

Pregledom oštećenih ili urušenih građevina ustanovljeno je da detalji uzdužne i poprečne armature konstrukcijskih elemenata nisu u skladu s propisima. *Turski pravilnik o potresima* strogo zabranjuje uporabu običnih armaturnih šipki u svrhu uzdužnog ojačanja na seizmički aktivnim prostorima. Većina armiranobetonskih višekratnica koje su se urušile u Vanu i Ercišu imale su problem slabe prionjivosti armature (slika 27.).



Slika 27. Uporaba obične armature u obliku uzdužnih armaturnih šipki u armiranobetonskim gredama i stupovima

Ovijanje armiranobetonskih greda i stupova ključno je u slučaju izmjeničnih cikličkih deformacija jer osigurava odgovarajuću stabilnost uzdužnih armaturnih šipki izloženih djelovanju posmičnih sila. Stoga su razmaci između poprečnih armaturnih šipki duž armiranobetonskih elemenata određeni prema [10] i iznose 10-20 cm za stupove i 15 cm za grede (slika 28.). Konstrukcijski elementi većine oštećenih i urušenih zgrada nisu imali dovoljno poprečne armature. Osim toga, na krajevima šipki nije bilo kuka ili nisu bile postavljene pod kutom od 135 stupnjeva, kako je propisano pravilnikom (slika 29.).



Slika 28. Neodgovarajući razmaci poprečne armature



Slika 29. Neodgovarajući raspored kuka na krajevima poprečnih šipki za ovijanje

Zbog djelovanja snažnih posmičnih sila, u konstrukcijskim elementima s prevelikim razmacima između poprečnih šipki dolazi do izbočivanja uzdužnih šipki (slika 30.).



Slika 30. Šteta uzrokovana posmikom i izbočivanje uzdužne armature zbog neodgovarajućeg razmaka između poprečnih šipki

7. Zaključak

Na istočnom dijelu jezera Van, u blizini Vana i Ercişa, od 22. listopada 2011. dogodio se niz snažnih podrhtavanja tla različitog intenziteta. Dva su najznačajnija - prvi potres 23. listopada 2011. i $M_w=7,2$ i drugi potres 9. studenog 2011. i $M_w=5,6$. Ti su potresi izazvali velike štete u gradovima Vanu i Ercişu te u pokrajnim seoskim područjima. Iako je Erciş udaljeniji od epicentra potresa $M_w=7,2$ od Vana, u tom je gradu materijalna šteta bila veća i više se zgrada srušilo. Drugi potres $M_w=5,6$ u Vanu je uzrokovao rušenje zgrada oštećenih tijekom prvoga potresa. U ovom se radu nastoje odrediti i razgraničiti uzrci i posljedice urušavanja zgrada u istočnoj Turskoj.

Potresi uzrokuju velike ljudske i materijalne gubitke u društvima gdje se često događaju. Kako je Turska seizmički aktivno područje, ključno je neprestano imati na umu načela protupotresne zaštite pri projektiranju zgrada te neposredne reakcije društva nakon potresa. Čak i nakon potresa u Marmari 1999. i svega što smo tada naučili, moramo istaknuti nužnost razvoja društvene svijesti o nedopustivosti nepropisne gradnje u smislu protupropisnog dodavanja katova ili uklanjanja elemenata konstrukcijskog sustava. Iako je većina zgrada pretrpjela nekonstrukcijska oštećenja poput sloma dvostrukih vanjskih zidova od opeke (zidovi ispune), zgrade projektirane u skladu s *TEC-om* (1997. i 2007.) nisu pretrpjele nikakva konstrukcijska oštećenja, za razliku od zgrada građenih prije 1997. Dva velika potresa i manja podrhtavanja nakon njih nisu oštetili niti infrastrukturu (dalekovode, kanalizaciju i vodovod) niti sustav prometnica (ceste i mostove) u Vanu i Ercişu.

Na temelju analize štete nakon dva potresa u središtu stradalih gradova Vana i Ercişa, može se zaključiti sljedeće:

- kvaliteta analiziranih konstrukcijskih materijala nije u skladu s propisanim zahtjevima projektiranja,
- detalji uzdužne i poprečne armature armiranobetonskih elemenata nisu u skladu s propisima projektiranja o protupotresnoj zaštiti (*TEC* 2007.),
- na prostorima gdje je vjerojatnost potresa velika poželjna je uporaba kombiniranog nosivog sustava (posmični zid i okvir), a ne samo okvirnih struktura,
- inspekcija tijekom gradnje mora biti učinkovita; svako toleriranje kršenja propisa gradnje poput nepropisnog dodavanja katova ili izmjena konstrukcijskih elemenata može imati katastrofalne posljedice u slučaju potresa,
- podrum s posmičnim zidovima dodatno povećava krutost temelja; zgrade s podrumom nisu oštećene u potresima, za razliku od onih bez podruma,
- zgrade od sušene opeke podložne su posmičnim deformacijama ako nemaju greda; stoga na seizmički aktivnim područjima zidovi moraju imati uzdužne i poprečne serklaže te armaturu,
- vanjski zidovi ispune ne bi smjeli biti dvostruki zidovi od opeke, a ako jesu takvi, potrebno ih je mehanički povezati spojevima,
- zabati ispod visokih krovova moraju biti uokvireni serklažima jer će samo tako imati odgovarajuću stabilnost.

Zabilježeni valni oblici snažnih podrhtavanja tla nisu bili dovoljno snažni da unište dobro projektirane zgrade, no nedostaci poput lošega projektiranja i neprikladnih konstrukcijskih materijala uzrokovali su značajne ljudske i materijalne gubitke uslijed potresa u Vanu i Ercişu. Stoga smatramo da bi pravila o građevinskoj inspekciji trebalo bitno doraditi kako bi se u budućnosti izbjegle slične katastrofe.

LITERATURA

- [1] Eren, K., Uzel, T., Gulal, E., Tiryakioglu, I., Dindar, A.A., Yilmaz, H.: Tectonic Studies in Turkey Using CORS-TR Observations, European Geophysics Union (EGU) General Assembly, 3-8 April 2011, Vienna-Austria.
- [2] Reports published in www.afad.gov.tr by Republic of Turkey Prime Ministry Disaster and Emergency Management. (Accessed on December 6th, 2011)
- [3] Le Pichon, X., Kreemer, C.: The Miocene-To-Present Kinematic Evolution of the Eastern Mediterranean and Middle East and Its Implications for Dynamics, *Annual Review of Earth and Planetary Sciences*, 38, 323-351, 2010.
- [4] McKenzie, D.: Active tectonic of the Mediterranean region, *Geophysical Journal of the Royal Astrological Society*, 109-185, 1972.
- [5] Koçyigit, A.: Neotectonics and seismicity of East Anatolian. Workshop-2002 on the Geology of East Anatolian. Van, Turkey, 2002.
- [6] <http://www.emsc-csem.org/> (Accessed on December 2nd, 2011)
- [7] <http://kyh.deprem.gov.tr/ftpt.htm> (Accessed on 02.12.2011)
- [8] SeismoSignal (v4.3.0), <http://www.seissoft.com/en/SeismoSignal.aspx>
- [9] Trifunac, M.D., Brady, A.G.: A study on the duration of strong earthquake ground motion. *Bulletin of the Seismological Society of America* 65, 581-626, 1975.
- [10] Turkish Earthquake Code, 1997 and 2007
- [11] Onen, Y.H., Dindar, A.A., Coşgun, C., Seçkin, E.: 23 Ekim ve 9 Kasım 2011 Tarihli Van Depremleri Yerinde Yapılan İnceleme ve Değerlendirme Raporu, Istanbul Kultur University Site Assessment Report (In Turkish), 2012.
- [12] Design and Construction Rules for the Reinforced Concrete Structures (TS-500), Turkish Standard Institute (TSE), 2000.