

Posledice zemljotresa u Albaniji od 26.11.2019. godine na objekte i infrastrukturu

Svetlana Nikolić-Brzev
Marko Marinković
Ivan Milićević
Nikola Blagojević
Brisid Isufi



Srpsko Udruženje za Zemljotresno Inženjerstvo
Serbian Association for Earthquake Engineering

**Posledice zemljotresa u Albaniji
od 26.11.2019. godine
na objekte i infrastrukturu**

Svetlana Nikolić-Brzev

Marko Marinković

Ivan Milićević

Nikola Blagojević

Brisid Isufi

Beograd, 2020. god.

Svetlana Nikolić-Brzev, Marko Marinković, Ivan Milićević, Nikola Blagojević, Brisid Isufi

Posledice zemljotresa u Albaniji od 26.11.2019. godine na objekte i infrastrukturu

Recenzenti

Vanja Alendar, dipl.inž.građ., potpredsednik SUZI
Tehnički direktor/Partner, DNEC d.o.o., Beograd

Drago Ostojić, dipl.inž.građ., član SUZI
Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, u penziji

Docent dr Branko Milosavljević, dipl.inž.građ., član Upravnog Odbora SUZI
Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu

Izdavači

Srpsko udruženje za zemljotresno inženjerstvo (SUZI-SAEЕ)
Akademska misao, Beograd

Naslovna strana

Grafički dizajn: Milica Petrović, mast.inž.arh.
Fotografije: dr Svetlana Nikolić-Brzev, dipl.inž.građ.

Štampa

Akademska misao, Beograd

Tiraž

100 primeraka

ISBN 978-86-7466-843-6

Napomena

Ova publikacija predstavlja opažanja i komentare pojedinih autora a ne Srpskog udruženja za zemljotresno inženjerstvo (SUZI-SAEЕ).

Autorska prava

Materijal sadržan u ovoj publikaciji podleže autorskim pravima. SUZI-SAEЕ dozvoljava reprodukciju materijala radi širenja znanja, pod uslovom da se izvor citira na odgovarajući način.

Sva pitanja u vezi ove publikacije treba uputiti Srpskom udruženju za zemljotresno inženjerstvo (SUZI-SAEЕ) na email adresu suzi.sae@gmail.com.

© 2020 Srpsko udruženje za zemljotresno inženjerstvo (SUZI-SAEЕ)

Bulevar kralja Aleksandra 73 (c/o Građevinski fakultet)

11000 Beograd, Srbija

Web sajt: <https://suzi-sae.rs/>

Sadržaj

Predgovor.....	i
SUZI tim u Albaniji.....	ii
Zahvalnica.....	iii
1 Uvod	1
2 Seizmološki aspekti zemljotresa	4
2.1 Seizmički hazard za Albaniju	4
2.2 Mehanizam zemljotresa od 26.11.2019.....	5
2.3 Zapisi ubrzanja zemljotresa i spektri odgovora.....	8
3 Građevinska praksa i tehnički propisi	12
3.1 Građevinski propisi	12
3.2 Građevinska praksa i tehnologija građenja zgrada.....	16
4 Ponašanje armiranobetonskih konstrukcija zgrada.....	21
4.1 Ponašanje zgrada sa AB ramovskim konstrukcijama i zidanom ispunom. 21	
4.1.1 Analiza AB ramovskih konstrukcija prema KTP-N.2-89 i Evrokodu 8 ...	21
4.1.2 Tipovi i uzroci oštećenja zgrada sa AB ramovskim konstrukcijama	23
4.1.3 Uticaj neregularnosti fleksibilnih ramovskih konstrukcija zgrada manje i srednje visine	23
4.1.4 Neadekvatni detalji armiranja elemenata AB ramova	27
4.1.5 Sudaranje konstrukcija i oštećenja AB stubova usled interakcije sa zidanom ispunom	29
4.1.6 Ponašanje AB ramovskih konstrukcija novijih i viših zgrada sa oštećenom zidanom ispunom	30
4.2 Ponašanje zidane ispune u zgradama sa AB ramovskim konstrukcijama 31	
4.2.1 Analiza zidane ispune u AB ramovskim konstrukcijama prema KTP-N.2-89 i Evrokodu 8	32
4.2.2 Tipovi i uzroci oštećenja zidane ispune	32
4.3 Prefabrikovane AB konstrukcije zgrada.....	39
5 Ponašanje zidanih konstrukcija stambenih zgrada i objekata od istorijskog i duhovnog značaja	44
5.1 Uzroci oštećenja zidanih konstrukcija zgrada usled dejstva zemljotresa ..	44
5.2 Stambene zgrade	45
5.2.1 Opšti komentari u vezi ponašanja stambenih zgrada	45
5.2.2 Niske porodične zgrade	46
5.2.3 Zgrade srednje spratnosti	48
5.2.4 Oštećenja nekonstruktivnih elemenata zidanih zgrada.....	53
5.3 Objekti od istorijskog značaja.....	54
5.4 Objekti od duhovnog značaja.....	55
6 Ponašanje sistema infrastrukture	58
6.1 Transportna infrastruktura.....	58
6.2 Telekomunikaciona mreža	58
6.3 Elektroenergetski sistem.....	59
6.4 Sistem za vodosnabdevanje i kanalizacija	59
7 Oporavak i funkcionalnost nakon zemljotresa.....	61
7.1 Privremeni smeštaj nakon zemljotresa.....	61
7.2 Inspekcija zgrada.....	61

7.3	<i>Funkcionalnost zgrada</i>	64
7.4	<i>Baze podataka o oštećenim objektima</i>	68
7.5	<i>Procena gubitaka i cene obnove nakon zemljotresa</i>	69
8	Zaključci i preporuke	72
9	Literatura	77

Predgovor

Pred Vama je publikacija kojom se otvara novo poglavlje u radu Srpskog udruženja za zemljotresno inženjerstvo (SUZI). Za posetu postradalim područjima u Albaniji, trebalo je: da se uopšte dogodi zemljotres, da SUZI shvati i odluči da treba ići kao i da, zahvaljujući Vašim članarinama SUZI bude u stanju da samostalno finansira ekspediciju. Obilazak je bio kratak, ali je obim informacija u ovoj publikaciji impresivan, zahvaljujući izuzetnom zalaganju članova tima, a i ostvarenoj saradnji sa albanskim kolegama čija pomoć je bila od neprocenjivog značaja za uspeh posete. Osim toga, članovi tima su imali prilike da sarađuju i sa kolegama iz Grčke, Velika Britanije, Nepala, Bugarske, i SAD, koji su posetili postradala područja, i sa kojima zajedno pripremaju izveštaj za Earthquake Engineering Research Institute (EERI), u kome SUZI učestvuje kao partner.

Zemljotres ovakve magnitude (6.4) i posledica ne očekuje se na teritoriji Srbije, ali su prikupljena iskustva značajna i za našu praksu, sa stanovišta projektovanja, izvođenja i održavanja kao i pripreme društva kako da hitno reaguje, i potom obnovi život na postradalom području. Utisak je da pri toj jačini zemljotresa ipak nije trebalo, niti smelo da dođe do kolapsa objekata i ljudskih žrtava, da su poštovani propisi? S druge strane, puno je primera da su konstrukcije objekata dobro podnele zemljotres, ali su štete na nekonstruktivnim delovima objekata prevelike, što je teret za vlasnike i zajednicu.

Dosadašnji koncept propisa, da treba sprečiti kolaps objekata i ljudske žrtve, bez obzira da li će objekat nakon zemljotresa uz sanaciju biti upotrebljiv, više nije dovoljan, nije društveno prihvatljiv. Dolazi vreme da struka sa investitorima i zajednicom dogovara koji je nivo eventualne štete prihvatljiv, da se procene rizici i nađe optimalan balans između troškova građenja i troškova eventualne sanacije jednog dana. Ovo treba imati u vidu u toku čitanja ove publikacije.

Ovo je do sada najdetaljnija publikacija SUZI, i prva u seriji publikacija na teme od značaja za teoriju i praksu zemljotresnog inženjerstva. Nadamo se da će buduće publikacije da doprinesu podizanju nivoa svesti i znanja iz oblasti projektovanja i izvođenja konstrukcija za dejstvo zemljotresa, seizmičkog hazarda i rizika, kao i ostalih tema od značaja za članove SUZI i ostale koji su zainteresovani za ovu problematiku.



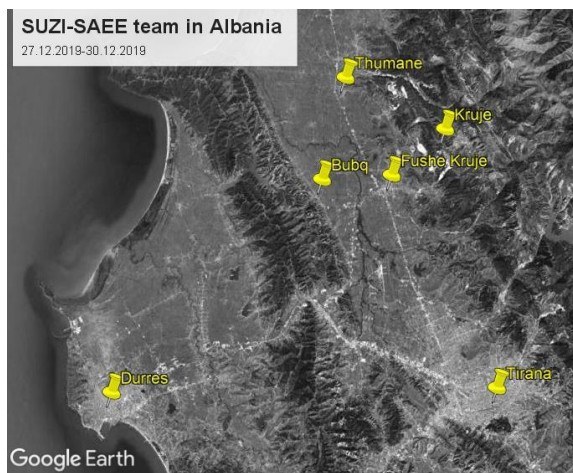
Vanja Alendar, dipl.inž.građ., CEng
Potpredsednik SUZI
Tehnički direktor/Partner
DNEC d.o.o.
Beograd, Srbija

SUZI tim u Albaniji

Organizacija posete

Nakon zemljotresa u Albaniji od 26.11.2019. Upravni Odbor SUZI odlučio je da uputi četvoročlani tim u posetu područjima pogođenim ovim zemljotresom. Ova trodnevna poseta je imala sledeći itinerer:

- 27.12.2019. Beograd - Tirana
- 28.12.2019. Drač (Durrës)
- 29.12.2019. Tumanë (Thumanë), Kruja (Krujë), Fuše-Kruja (Fushë-Krujë), i Bubq (Bubq)
- 30.12.2019. Tirana - Beograd



Mapa Albanije prikazuje program posete SUZI tima

Članovi tima iz Republike Srbije

Prof. dr Svetlana Nikolić-Brzev, dipl.inž.građ.
predsednica SUZI
Univerzitet Britanske Kolumbije, Kanada

dr Marko Marinković, mast.inž.građ.
mladi član SUZI
Građevinski fakultet u Beogradu

Ivan Milićević, mast.inž.građ.
član Upravnog Odbora SUZI
Građevinski fakultet u Beogradu

Nikola Blagojević, mast.inž.građ.
mladi član SUZI
Doktorant, Švajcarski Federalni Institut za
Tehnologiju (ETH) Cirihi, Švajcarska



Članovi SUZI tima iz Republike Srbije (slevo na desno): Nikola Blagojević, Svetlana Nikolić-Brzev, Marko Marinković i Ivan Milićević

Članovi tima iz Albanije

Prof. dr Markel Baballëku, Politehnički
Univerzitet u Tirani (UPT), Tirana, Albanija

dr Brisid Isufi, Univerzitet NOVA, Lisabon,
Portugalija

Zahvalnica

Autori ove publikacije se zahvaljuju Srpskom udruženju za zemljotresno inženjerstvo koje im je omogućilo da posete zemljotresnom pogođena područja u Albaniji i steknu dragoceno iskustvo u vezi oštećenja građevinskih objekata i drugih posledica zemljotresa. Članovi tima iz Republike Srbije se posebno zahvaljuju kolegama iz Albanije, dr Brisidu Isufiju i prof. dr Markelu Baballëku, na saradnji u toku a i posle posete Albaniji. Njihovo znanje i iskustvo su značajno doprineli kvalitetu posete a i ove publikacije. Autori se zahvaljuju i prof. dr Meriti Guri, Ildi Rusi i Nikolli Vesho, sa POLIS Univerziteta u Tirani na saradnji posle posete Albaniji. Chiara McKenney, SAD, Andrew Charleson, Novi Zeland, i Anton Andonov, Bugarska su podelili sa članovima SUZI tima dragocene informacije na osnovu njihovih poseta Albaniji neposredno posle zemljotresa. Članovi tima se zahvaljuju i recenzentima ovog izveštaja Vanji Alendaru, potpredsedniku SUZI; prof. dr Branku Milosavljeviću, članu Upravnog Odbora SUZI, i Dragi Ostojiću, članu SUZI.

Izvori fotografija

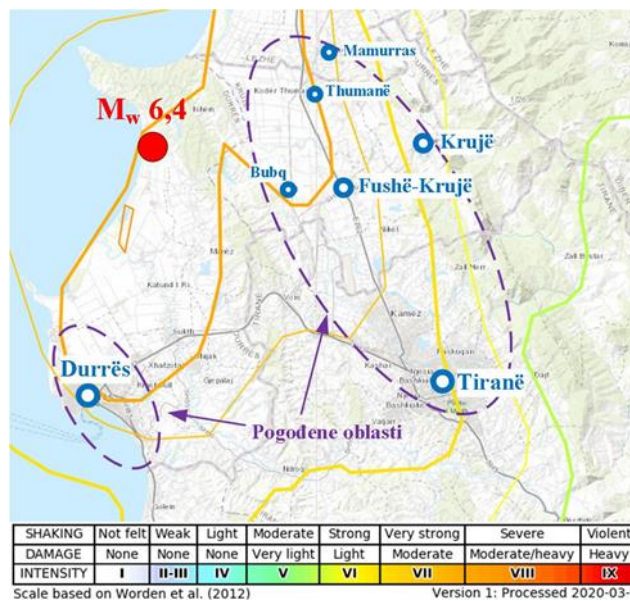
Članovi SUZI tima su autori većine fotografija u ovoj publikaciji. Sledeće kolegice i kolege su odobrili korišćenje njihovih fotografija u ovoj publikaciji: Markel Baballëku (Slike 3-9 b) i 4-28), Andrew Charleson (Slika 3-11 b) i 5-12), Nikolla Vesho (Slika 4-8 f), Merita Guri (Slike 4-29 i 4-30) i Chiara McKenney (Slike 4-2, 7-1, 7-4 i 7-6). Pored toga, E. Lekkas, S. Mavroulis, D. Papa, i P. Carydis su se takođe složili da koristimo fotografije iz njihove publikacije „The November 26, 2019 Mw 6.4 Durrës (Albania) earthquake“, Newsletter of Environmental, Disaster and Crises Management Strategies (Slike 3-11 c), 4-6, 4-8 d), 4-19, i 4-20).

1 Uvod

Svetlana Nikolić-Brzev¹ i Nikola Blagojević²

Zemljotres magnitude (M) 6,4 pogodio je Albaniju 26.11.2019. u 3:54 ujutru. Epicentar se nalazio u Jadranskom moru, na 16 km udaljenosti od grada Mamurras, 21,5 km od grada Drača (*Durrës*), i 30 km od glavnog grada Tirane (crveni krug, Slika 1-1). Ovaj zemljotres je prouzrokovao smrt 51 osobe a približno 3.000 osoba je bilo povređeno. Posledice, u vidu materijalne štete, su se najviše osetile u Draču (ljubičasta elipsa na slici), kao i u području Tiranske depresije koja se prostire od Tirane do mesta Laç (ljubičasta elipsa na slici). U području Tiranske depresije najviše su bili pogođeni mesto Tumanë (Thumanë), kao i gradovi Kruja (Krujë) i Fuše-Kruja (Fushë-Krujë).

Albanija je jedna od zemalja sa najvećim seizmičkim hazardom u Evropi, jer se ne samo nalazi na granici između Evroazijske i Jadranske tektonske ploče, nego i u zoni kolizije ove dve ploče sa Afričkom pločom. Zapadni deo Albanije, koji je najviše pogođen ovim zemljotresom, poznat je po seizmičkoj aktivnosti. Sedam zemljotresa magnitude veće od 6,0 dogodilo se u poslednjih 100 godina na manje od 150 km udaljenosti od epicentra ovog zemljotresa, uključujući i crnogorski zemljotres od 15.4.1979. godine (M 6,9), čiji je epicentar bio udaljen 70 km od epicentra ovog zemljotresa. Važno je napomenuti seizmičku aktivnost u ovom području neposredno pre a i posle ovog zemljotresa. Približno dva meseca ranije, Albaniju je 21.9.2019. pogodio zemljotres magnitude 5.6 sa epicentrom u okolini Drača, koji je izazvao oštećenja objekata u Draču i Tirani. Osim toga, u toku prvih 10 sati posle zemljotresa od 26.11.2019. dogodilo se 31 naknadnih potresa (aftershocks), od kojih je tri imalo magnitudu veću od 5, a u toku sledeće nedelje dogodilo se još preko 500 manjih potresa.



Slika 1-1: Epicentar albanskog zemljotresa od 26.11.2019. označen crvenim krugom i najjače pogođene oblasti označene ljubičastom elipsom (USGS, 2019)

Ovim zemljotresom pogođeno je 11 (od ukupno 61) opština u Albaniji, međutim 62% od ukupnih materijalnih gubitaka usled zemljotresa su zabeleženi u Tirani i Draču. Dan nakon zemljotresa na najvišem državnom nivou formiran je Komitet za vanredno stanje, a zatim je uvedeno i vanredno stanje u 3 najviše pogođene opštine u zemlji. Albanska vlada i nevladine organizacije organizovale su spasavanje stanovnika iz oštećenih objekata, obezbeđivanje privremenog smeštaja i dostavljanje hrane pogođenom stanovništvu (Slika 1-2). Procenjuje

¹ Predsednica, Srpsko udruženje za zemljotresno inženjerstvo (SUZI-SAAE) i profesor, Univerzitet Britanske Kolumbije (UBC), Vankuver, Kanada

² Doktorant, Švajcarski Federalni Institut za Tehnologiju (ETH), Ciri, Švajcarska

se da je 9.2% domaćinstava u 11 opština iseljeno iz svojih domova zbog zemljotresa, dok je privremeni smeštaj bio potreban za oko 17.000 stanovnika (UNDP, WB i EU, 2020).

U akciji spasavanja učestvovalo je 7.600 Albanaca i više od 800 spasilaca iz 20 zemalja, uključujući i Srbiju. Organizovano je i raščišćavanje ruševina u veoma kratkom vremenskom roku nakon zemljotresa - 46 zgrada koje su pretrpele značajna oštećenja je srušeno u roku od dve nedelje posle zemljotresa (World Bank, 2019). Odmah posle zemljotresa počela je i inspekcija objekata radi procene oštećenja. U inspekciji su učestvovali albanski inženjeri, ali i ekipe Ujedinjenih Nacija. Tako je UNDP tim za 10 dana sproveo inspekciju 3.100 stambenih jedinica korišćenjem elektronskog formulara. Tim Svetske Banke je isto sproveo inspekciju zgrada u pogođenom području radi procene gubitaka (World Bank, 2019).



Slika 1-2: Spasavanje stanovnika iz ruševine zgrade posle zemljotresa od 26.11.2019. (UNDP, 2019)

Zemljotres je izazvao značajna oštećenja objekata u okolini epicentra, uključujući i višespratne stambene zgrade, škole, bolnice i hotele. Oštećeno je više od 95.000 stambenih jedinica, što iznosi 18% od ukupnog broja stambenih jedinica u 11 pogođenih opština Albanije. Od toga je 11.490 stambenih jedinica pretrpelo ozbiljna oštećenja ili kolaps, dok je dodatnih 83.745 stambenih jedinica pretrpelo lakša oštećenja pa je moguća sanacija.

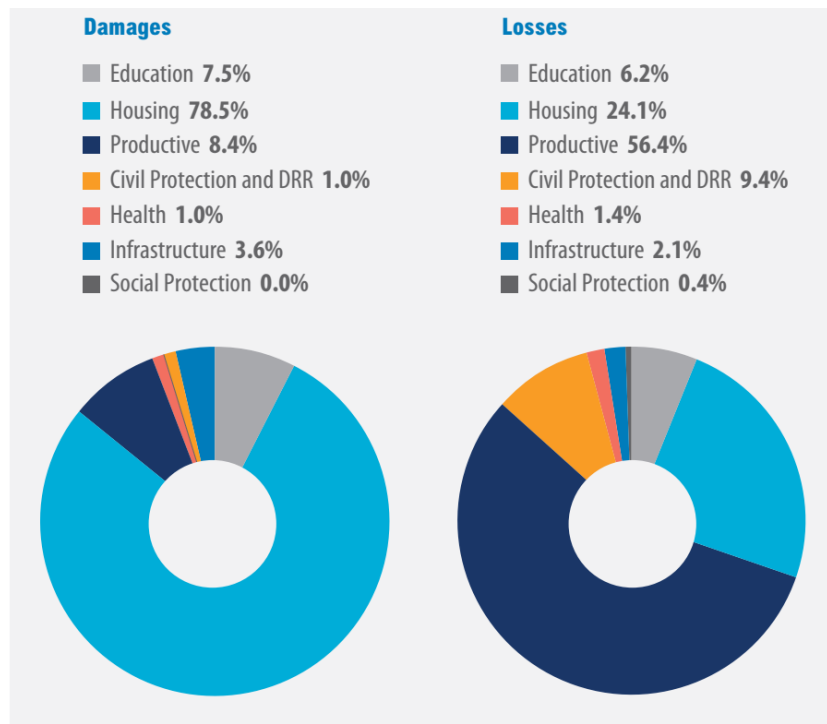
Tehnologije građenja zgrada u Albaniji i Srbiji imaju dosta sličnosti. Pre 1990. za stambenu gradnju koristila se nearmirana zidarija ili prefabrikovani AB krupnopanelni sistem gradnje. Novije zgrade srednje i više spratnosti su uglavnom monolitne armiranobetonske (AB) konstrukcije. Većina zgrada koje su pretrpele oštećenja su AB ramovske konstrukcije sa fasadnim i pregradnim zidovima od zidarije. U većini AB zgrada srednje spratnosti (oko 10 etaža) zidovi ispune su pretrpeli oštećenja dok je AB konstrukcija ostala neoštećena. Nekoliko zgrada ovog tipa je pretrpelo ozbiljna oštećenja ili kolaps – najčešće zbog problema sa neregulansom konfiguracijom i/ili geotehničkih problema kao što su uticaj mekog tla i likvefakcija. Starije zgrade sa zidovima od nearmirane zidarije i monolitnim AB međuspratnim konstrukcijama (3 do 5 etaža) nisu pretrpele značajna oštećenja, međutim došlo je do rušenja nekoliko nearmiranih zidanih zgrada sa prefabrikovanim AB ošupljenim tavanicama. Neke zgrade sa prefabrikovanim AB krupnopanelnim sistemom gradnje su pretrpele lakša oštećenja. Ovaj zemljotres je potvrdio značajan uticaj mekog tla na amplifikaciju dejstva zemljotresa, jer su se objekti sa najozbiljnijim oštećenjima nalazili u područjima sa mekim tlom.

U toku zemljotresa nije došlo do značajnih oštećenja infrastrukture, međutim došlo je do nestanka struje koji je u većini mesta trajao manje od jednog dana. Pored toga, neposredno nakon zemljotresa došlo je do preopterećenja telekomunikacione mreže usled velikog broj poziva hitnim službama. Škole su bile zatvorene prvih nedelju dana posle zemljotresa. Dve nedelje nakon zemljotresa evakuisano je 39 škola jer nisu bile bezbedne, tako da je 21.000 učenika (7% učenika u 11 pogođenih opština) moralo da pohađa nastavu u alternativnim školama (McKenney, 2019a; UNDP, WB i EU, 2020). Nekoliko bolnica je pretrpelo oštećenja usled zemljotresa. Jedan od ulaza u bolnicu u Draču je posle zemljotresa bio zatvoren zbog oštećenja, međutim uprkos tome bolnica je nastavila sa radom (McKenney,

2019). Bolnička oprema, nameštaj i zalihe nisu pretrpele značajna oštećenja (UNDP, WB i EU, 2020).

Procenjeni materijalni gubici (direktni i indirektni) usled ovog zemljotresa iznose 985,1 miliona evra, odnosno 7,5% bruto domaćeg proizvoda (BDP-a) Albanije za 2018. godinu. Od toga, direktni gubici (*damages*), odnosno gubici uzrokovani fizičkim oštećenjima objekata su procenjeni na 843,9 miliona evra, dok su indirektni gubici (*losses*), tj. gubici koji su posredno uzrokovani zemljotresom, npr. prestanak proizvodnje ili očekivani pad prihoda od turizma, procenjeni na 141,2 miliona evra (UNDP, WB i EU, 2020). Gubici su podeljeni u 8 sektora (Slika 1-3). Može se videti da je stambeni sektor pretrpeo najveće direktne gubitke (78,5%), koji se procenjuju na 662,3 miliona evra. Sektor proizvodnje je pretrpeo više od polovine indirektnih gubitaka. Očekuje se da će turizam da pretrpi indirektni gubitak od oko 73 miliona evra usled smanjenog obima turističkih aktivnosti u sledeće tri godine.

Nakon zemljotresa od 26.11.2019. rukovodstvo Srpskog udruženja za zemljotresno inženjerstvo (SUZI) je odlučilo da formira četvoročlani tim radi posete Albaniji u periodu od 27.12. do 30.12.2019. Članovi tima su autori ove publikacije, koja je podeljena na 8 poglavlja koja sadrže opažanja u vezi ponašanja zgrada i infrastrukture u epicentralnom području zemljotresa. Sadržaj publikacije je relevantan za stručnjake iz oblasti zemljotresnog inženjerstva, uključujući inženjere i arhitekte iz prakse, kao i profesore i studente građevine, arhitekture, geofizike, itd.



Slika 1-3: Procentualno učešće direktnih gubitaka (*damages*) i indirektnih gubitaka (*losses*) po sektorima usled zemljotresa od 26.11.2019. (UNDP, WB i EU, 2020)

2 Seizmološki aspekti zemljotresa

Marko Marinković¹ i Svetlana Nikolić-Brzev²

2.1 Seizmički hazard za Albaniju

U 3:54 ujutru dana 26.11.2019. razorni zemljotres magnitude (M) 6,4 pogodio je Albaniju. Ovo je bio najjači zemljotres u Albaniji u proteklih 40 godina, sa epicentrom na 16 km udaljenosti od grada Mamurrasa i 30 km od glavnog grada Tirane (Slika 2-1). Albanija je jedna od zemalja sa najvećim seizmičkim hazardom u Evropi, jer se nalazi na granici između Evroazijske i Jadranske tektonske ploče, kao i u zoni kolizije ove dve ploče sa Afričkom pločom. Zapadni deo Albanije je naročito podložan dejstvu zemljotresa, kao što pokazuje katalog dogođenih zemljotresa u Albaniji i regionu u periodu 1964-2000 (Sulstarova i ost., 2003). Sedam zemljotresa magnitude veće od 6,0 dogodilo se u poslednjih 100 godina u okrugu od 150 km od epicentra zemljotresa od 26.11.2019. godine. Epicentar crnogorskog zemljotresa od 15.4.1979. godine (M 6,9) se nalazio na 70 km udaljenosti (u pravcu sever-severoistok) od epicentra ovog zemljotresa. Treba napomenuti da je grad Drač, na 21,5 km udaljenosti od epicentra, bio najviše pogođen ovim zemljotresom, a i u prošlosti je nekoliko puta bio skoro totalno razrušen usled dejstva zemljotresa.



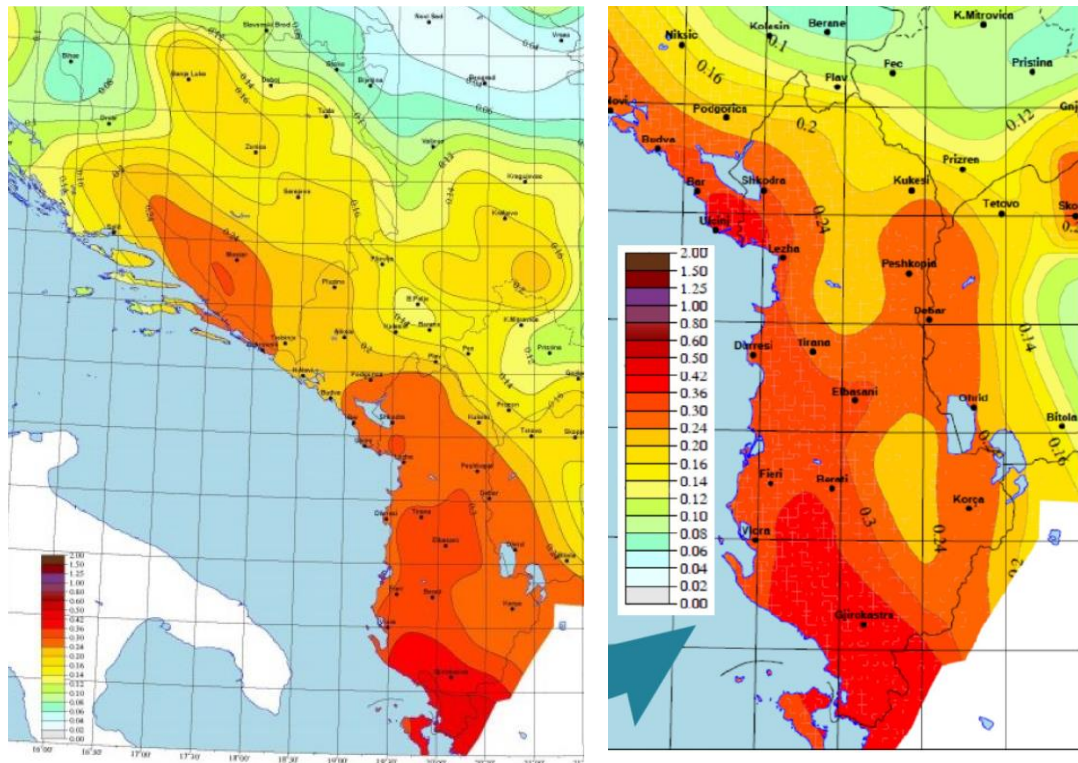
Slika 2-1: Regionalna mapa koja pokazuje epicentar albanskog zemljotresa od 26.11.2019. označen crvenom zvezdom (EMSC-CSEM, 2019a)

Slika 2-2 pokazuje probabilističku mapu seizmičkog hazarda za Albaniju koja je razvijena za potrebe projekta BSHAP sa ciljem harmonizacije seizmičkog hazarda na području Balkana (Gülerce i ost., 2017). Može se zaključiti da je teritorija Albanije podložna

¹ Docent, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, Srbija

² Predsednica, Srpsko udruženje za zemljotresno inženjerstvo (SUZI-SAE) i profesor, Univerzitet Britanske Kolumbije (UBC), Vankuver, Kanada

dejstvima jakih zemljotresa i da su očekivana maksimalna ubrzanja tla u rasponu od 0.3 do 0.4g. Prema BSHAP projektu nivo seizmičkog hazarda za Albaniju je značajno veći nego za Srbiju, gde su očekivane maksimalne vrednosti ubrzanja tla od 0.24g.

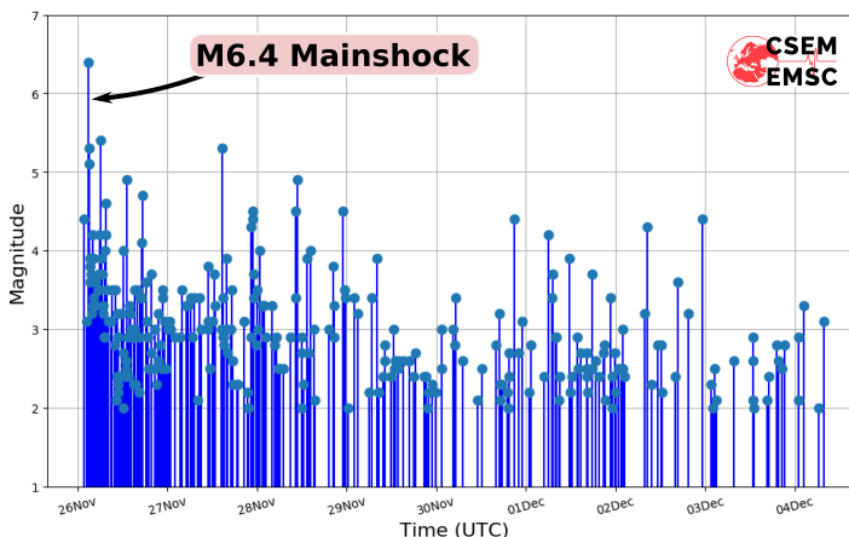


Slika 2-2: Mapa seizmičkog hazarda za Albaniju i Zapadni Balkan; maksimalna ubrzanja tla (%g) za zemljotres sa povratnim periodom od 475 godina (Gülerce i ost., 2017)

2.2 Mehanizam zemljotresa od 26.11.2019.

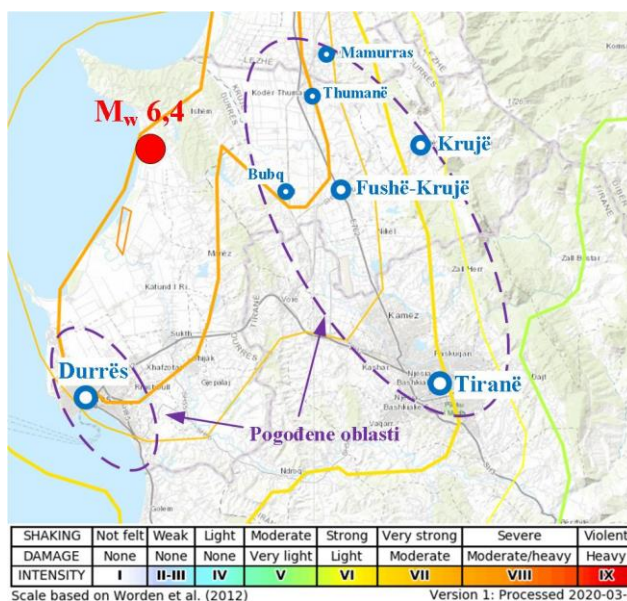
Zemljotres od 26.11.2019. dogodio se u oblasti pojasa Spoljašnji Albanidi (External Albanides). Ovaj pojas se na severu graniči sa Dinaridima koji se pružaju uz obalu Jadranskog mora na teritoriji Crne Gore i Hrvatske. Do zemljotresa je došlo usled oslobađanja energije duž reversnog raseda (*reverse fault*) u pravcu jugozapad-severoistok. Interesantno je da dubina žarišta ovog zemljotresa varira prema različitim izveštajima - od 10 km prema evropskim seizmolozima (EMSC-CSEM, 2019) do 38 km prema albanskim izvorima (Duni i Theodoulidis, 2019). Detaljnije informacije u vezi seizmološkog aspekta ovog zemljotresa mogu se pronaći u drugim publikacijama (Duni i Theodoulidis, 2019; Lekkas i ost., 2019; Caporali i ost., 2020).

Važno je istaći seizmičku aktivnost u ovom području pre i posle zemljotresa od 26.11.2019. Približno 2 meseca ranije (21.9.2019.) Albaniju je pogodio zemljotres magnitude 5.6 sa epicentrom u okolini Drača, koji je izazvao oštećenja objekata u Draču i Tirani (Lekkas i ost. 2019a). Dogodio se i veliki broj naknadnih potresa (*aftershocks*) posle ovog zemljotresa – preko 500 (Slika 2-3). Samo u toku prvih 10 sati posle zemljotresa dogodilo se 31 naknadnih zemljotresa, od kojih je tri imalo magnitudu veću od 5. Ovi potresi su izazvali rušenje nekoliko objekata koji su bili prethodno oštećeni, a izazvali su i dodatna oštećenja drugih prethodno oštećenih objekata. Takođe, objekti koji su pretrpeli umerena oštećenja usled zemljotresa od septembra 2019. su pretrpeli značajna oštećenja kako konstruktivnih tako i nekonstruktivnih elemenata usled zemljotresa od 26.11.2019.



Slika 2-3: Broj i magnitude naknadnih zemljotresa u periodu od nedelju dana posle zemljotresa od 26.11.2019. (EMSC-CSEM, 2019)

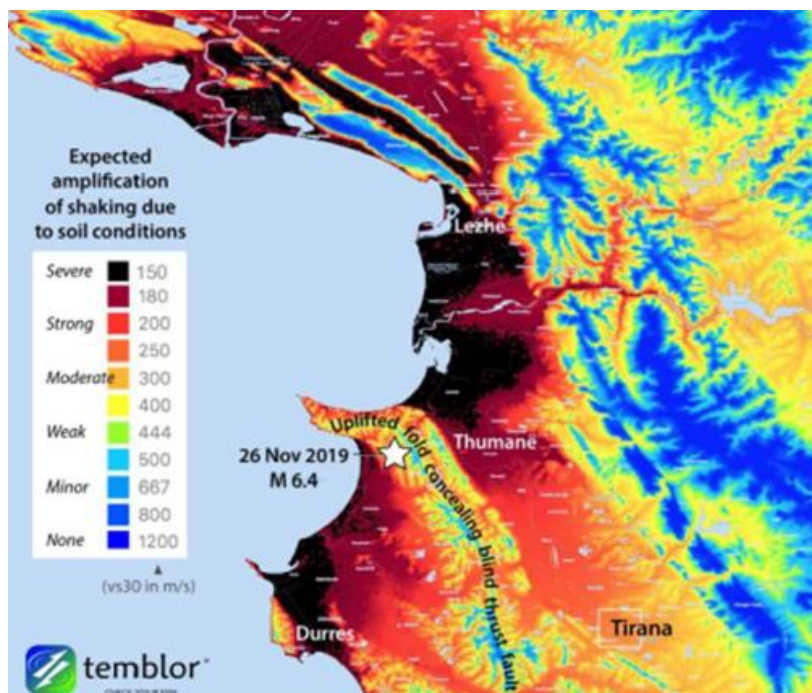
Regije sa najvećim oštećenjima se prostiru u pravcu severozapad-jugoistok i poklapaju sa položajem raseda. Jedna je područje Drača (manja ljubičasta elipsa) a druga je Tiranska depresija koja se prostire od Tirane do mesta Laç (velika ljubičasta elipsa) (Slika 2-4). Ove regije obuhvataju područja sa mekim tlom, kao što su naslage gline, močvarnih depozita i peska.



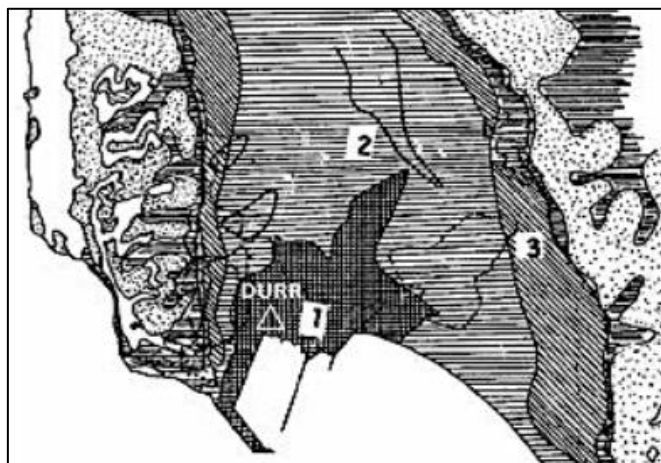
Slika 2-4: Epicentar zemljotresa od 26.11.2019. (crveni krug) i najjače pogođene oblasti označene ljubičastim elipsama (USGS, 2019)

Slika 2-5 prikazuje mapu vrsta tla u području pogođenim ovim zemljotresom. Klasifikacija je izvršena na osnovu srednje vrednosti brzine propagacije S talasa u gornjih 30 m profila tla V_{s30} . Ova mapa ukazuje na to da je do najvećih oštećenja došlo u zonama gde su vrednosti V_{s30} manje od 250 m/s jer je došlo do amplifikacije oscilacija u uslovima mekog i nekonsolidovanog tla (Stein i Sevilgen, 2019). Može se videti da se zone sa najvećom amplifikacijom nalaze u okolini grada Drača i severno od mesta Tumane. I pre ovog zemljotresa bilo je poznato da je područje priobalnog grada Drača podložno likvefakciji zbog vrste tla – u pitanju je kombinacija močvarnog terena, gline, peska i treseta. Region Drača je podeljen na 3 zone u zavisnosti od nivoa likvefakcije (Slika 2-6) (Duni i Theodoulidis, 2019). Studije posle ovog zemljotresa su potvrdile značajan uticaj vrste tla na ponašanje objekata u toku zemljotresa, naročito u Draču i delovima Tirane (npr. opština Kombinat). Detaljne

informacije o geologiji terena i efektima mekog tla na amplifikaciju intenziteta zemljotresa u pogođenim područjima, kao i o uticajima likvefakcije tla na konstrukcije koje su bile izložene dejstvu ovog zemljotresa mogu se naći u Lekkas i ost. (2019).



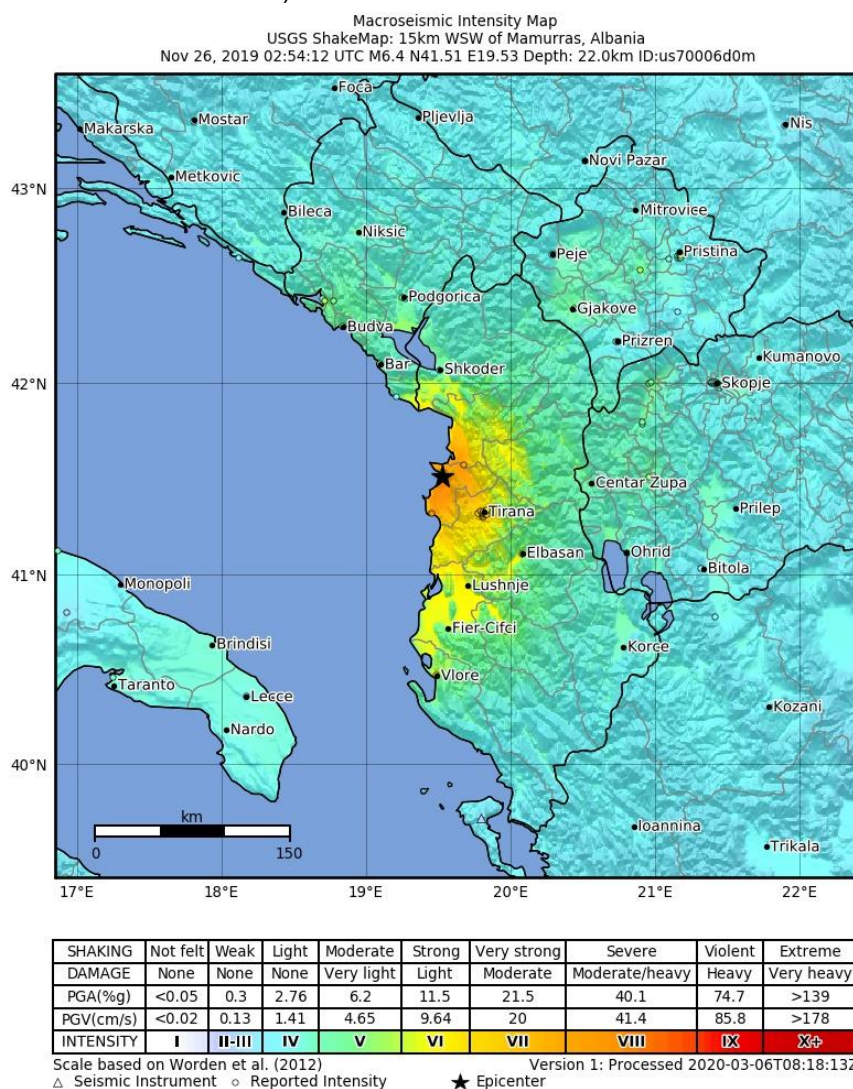
Slika 2-5: Amplifikacija dejstva zemljotresa od 26.11.2019. u zonama mekog tla – podela na osnovu V_{s30} (Stein i Sevilgen, 2019)



Slika 2-6: Mapa tla u Draču pokazuje zone podložne likvefakciji: 1- veoma podložno; 2- umereno podložno, i 3-nije podložno (Duni i Theodoulidis, 2019)

Analiza intenziteta zemljotresa korisna je zbog mogućnosti poređenja dogođenog zemljotresa sa projektnim zemljotresom koji je u skladu sa propisima za određeno područje. Analiza intenziteta zemljotresa prema EMS-98 skali (Grünthal, 1998) ukazuje na maksimalni intenzitet zemljotresa VIII u epicentralnom području (World Bank, 2019). Slične intenzitete pokazuje i mapa intenziteta prema modifikovanoj Merkalijevoj skali (MMI), koja pokazuje i procenjena maksimalna ubrzanja tla za ovaj zemljotres (USGS, 2019) (Slika 2-7). Može se videti da je za epicentralnu oblast ovog zemljotresa procenjeno maksimalno ubrzanje tla (PGA) od 0.4g. Ova vrednost je značajno veća od vrednosti dobijene na osnovu zapisa

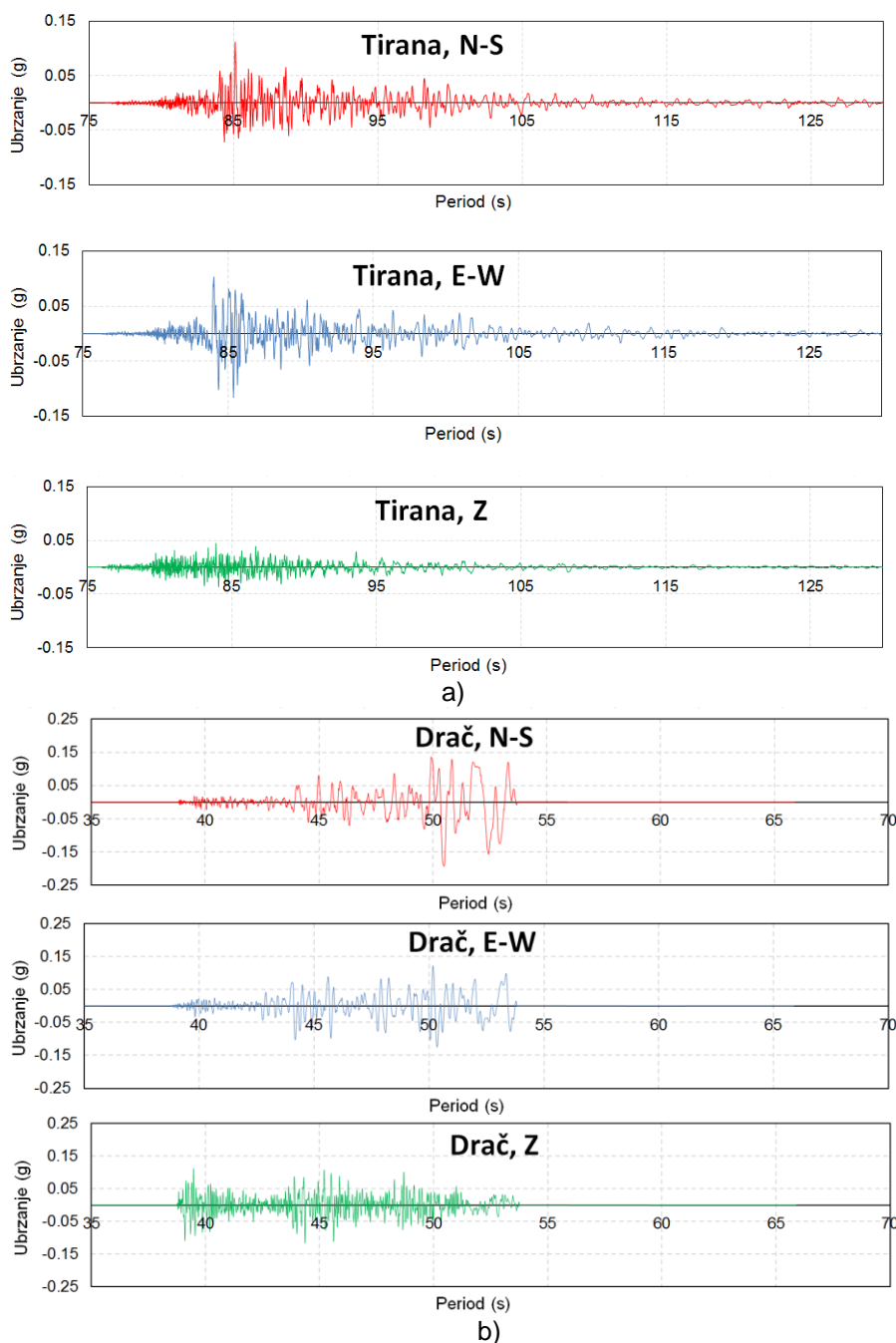
zemljotresa, ali je u skladu sa jednim od modela atenuacije zemljotresa koji se koristi u Albaniji (Duni i Theodoulidis 2019).



Slika 2-7: Mapa intenziteta zemljotresa prema modifikovanoj Merkalijevoj skali (MMI) i maksimalna ubrzanja tla za zemljotres od 26.11.2019. (USGS, 2019)

2.3 Zapisi ubrzanja zemljotresa i spektri odgovora

Seizmološke stanice u Albaniji, organizovane u mrežu *Albanian Strong Motion Network* (ASMN), zabeležile su akcelerograme, tj. zapise ubrzanja tla u toku zemljotresa na 7 lokacija u epicentralnoj oblasti ovog zemljotresa. Za svaku stanicu postoji vertikalni (Z) i dva horizontalna zapisa: sever-jug (N-S) i istok-zapad (E-W). Slika 2-8 prikazuje zapise ubrzanja za stanice DURR (u Draču) i TIR1 (u Tirani) koje su se nalazile najbliže epicentru. Maksimalno ubrzanje tla zabeleženo na stanici u Tirani (TIR1) je 0,12 g a u Draču (DURR) je 0,2 g. Treba naglasiti da su najveća ubrzanja zabeležena u Draču. Nažalost, zapis iz Drača je u trajanju od samo 15 sekundi jer je došlo do nestanka struje u toku zemljotresa. Zanimljivo je da je prema zapisu iz Tirane zemljotres trajao oko 40 s, što je skoro 4 puta duže od zemljotresa koji je pogodio Tiranu 21.9.2019. Maksimalna ubrzanja tla zabeležena u Tirani i Draču ne prevazilaze projektna ubrzanja prema važećim albanskim propisima.



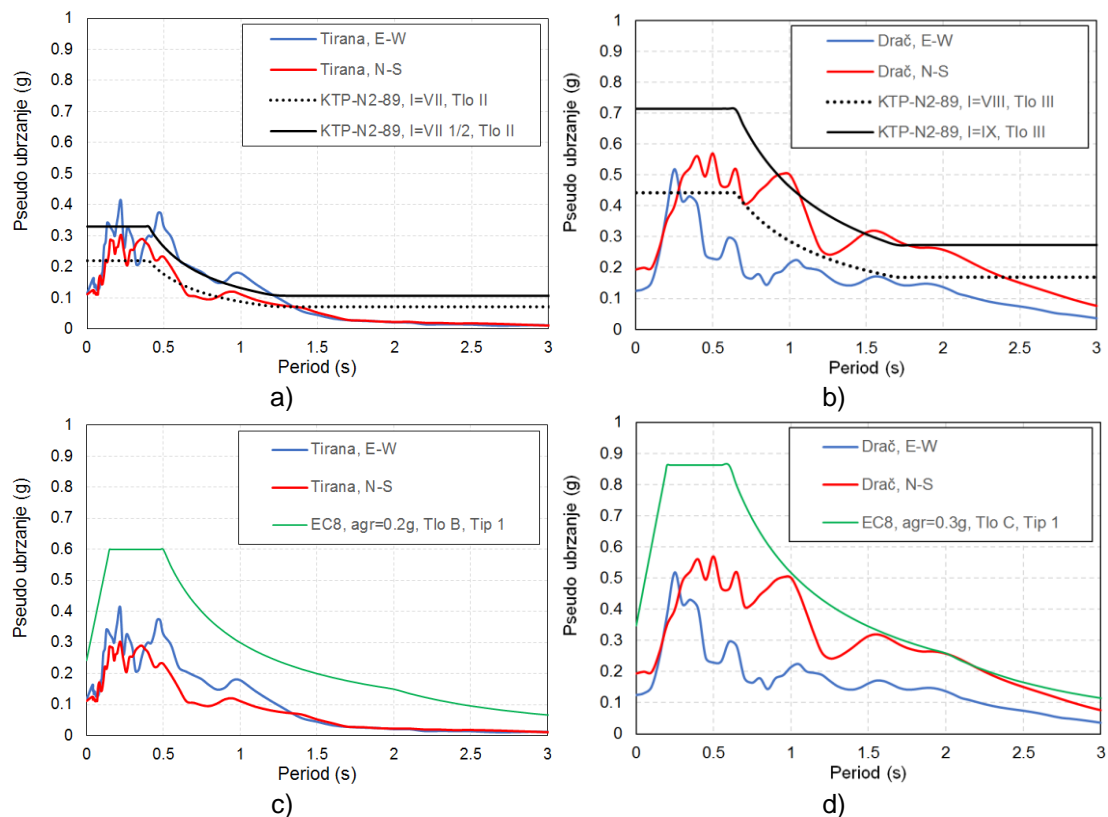
Slika 2-8: Zapisi ubrzanja zemljotresa: a) u Tirani (stanica TIR1 - udaljenost od epicentra > 30 km, $V_{s30}=312$ m/s) i b) u Draču (stanica DURR - udaljenost od epicentra 15 km, $V_{s30}=202$ m/s) (IGEWE, 2019)

Spektri odgovora razvijeni na osnovu zapisa ubrzanja zemljotresa predstavljaju dragoceno oruđe za razumevanje karakteristika određenog zemljotresa i njegovog dejstva na građevinske objekte. Slika 2-9 prikazuje elastične spektre odgovora koji su dobijeni obradom zapisa ubrzanja iz stanica u Tirani i Draču. Ovi spektre su upoređeni sa elastičnim projektnim spektrima formiranim prema Evrokodu 8 (EN 1998-1:2005) i albanskom propisu (KTP-N.2-89). Može se zaključiti da je dogođeni zemljotres bio na nivou elastičnog projektnog spektra prema albanskom propisu iz 1989. godine – ali taj propis je važio samo za objekte koji su izgrađeni posle 1990. Važno je napomenuti da elastični projektni spektre prikazani na Slici 2-9 ne uzimaju u obzir faktor ponašanja, koji ima različite vrednosti za AB ramovske i noseće zidane konstrukcije. Ukoliko bi se uzeo u obzir faktor ponašanja, vrednosti spektralnih ubrzanja za projektne spektre bi bile manje od onih za elastične spektre odgovora prikazane na Slici 2-9. Na osnovu toga bi se moglo zaključiti da je dogođeni zemljotres bio iznad nivoa projektnog spektra prema albanskom propisu iz 1989. godine.

Elastični projektni spektri korisni su za procenu pomeranja konstrukcija određenih dinamičkih karakteristika (perioda oscilovanja), pa se na osnovu poređenja elastičnih spektara prikazanih na Slici 2-9 očekuje se da su se konstrukcije projektovane prema albanskom propisu KTP-N.2-89 ponašale elastično u toku ovog zemljotresa (ovo važi za lokacije stanica u kojima su registrovani zapisi zemljotresa).

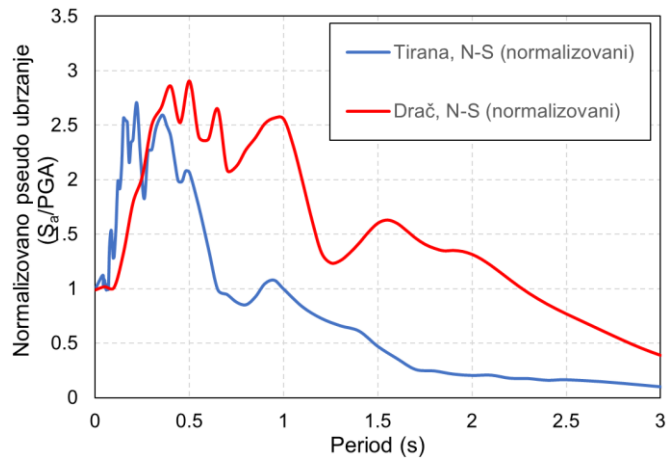
U Tirani su najviše bili ugroženi objekti niže i srednje spratnosti (do 5 spratova), dok su u Draču (zbog uticaja amplifikacije usled mekog tla) dominantno bili ugroženi objekti sa više od 5 spratova za koje su karakteristični veći periodi oscilovanja. Treba napomenuti da je u delu Tirane koji se zove Kombinat oštećeno daleko više objekata u poređenju sa ostalim delovima grada, što se može objasniti uticajem mekog tla. Nažalost ne postoji zapis zemljotresa iz Tirane koji odgovara uslovima mekog tla – zapis iz stanice TIR1 odgovara čvrstom tlu. Slika 2-9 a) ukazuje da su spektralna ubrzanja za Tiranu na nivou elastičnog projektnog spektra prema KTP-N.2-89 za seizmički intenzitet VII $\frac{1}{2}$, međutim prevazilaze nivo projektnog spektra za intenzitet VII. Treba napomenuti da su projektni spektri razvijeni za tlo tipa II prema KTP-N.2-89, što odgovara tlu tipa C prema Evrokodu 8 (EN 1998-1:2005).

Slika 2-9 b) pokazuje da su spektralna ubrzanja za Drač približno jednaka nivou elastičnog projektnog spektra prema KTP-N.2-89 za seizmički intenzitet IX. Treba napomenuti da su projektni spektri prema KTP-N.2-89 razvijeni za tlo tipa III, što odgovara tlu tipa D prema Evrokodu 8 (EN 1998-1:2005). Stanica DURR u Draču nalazila se u uslovima mekog tla (močvarno, glina, pesak) u zoni podložnoj likvefakciji (zona 1, Slika 2-6), tako da spektar odgovora potvrđuje bitan efekat amplifikacije usled uticaja mekog tla. Može se uočiti široki plato u domenu predominantnih perioda zemljotresa, što objašnjava značajan uticaj zemljotresa na objekte srednje i više spratnosti, sa periodima oscilovanja u rasponu od 0,5 do 1,0 s. Slika 2-10 ilustruje razliku u spektrima odgovora za stanice koje su se nalazile na čvrstom i mekom tlu (TIR1 i DURR). U pitanju su normalizovani elastični spektri odgovora za pravac sever-jug (N-S), jer su spektralne vrednosti podeljene sa odgovarajućom vrednosti maksimalnog ubrzanja tla (PGA). Može se primetiti da spektralna ubrzanja na čvrstom tlu opadaju za sisteme čiji su periodi oscilovanja veći od 0.4 s (slučaj Tirane), dok su spektralna ubrzanja na mekom tlu visoka sve do perioda od oko 1.0 s (slučaj Drača).



Slika 2-9: Elastični spektri odgovora za Tiranu (stanica TIR1) (dijagrami a i c) i Drač (stanica DURR) (dijagrami b i d) (IGEWE, 2019)

Slike 2-9 c) i d) pokazuju elastične projektne spektre odgovora prema Evrokodu 8 za Tiranu i Drač, koji značajno prevazilaze spektralna ubrzanja prema zapisima zemljotresa za stanice u Tirani i Draču. Za formiranje spektara prema Evrokodu 8 korišćena su ubrzanja na osnovnoj steni koja su predložena u novim hazardnim mapama. Treba naglasiti da Evrokod 8 (EN 1998-1:2005) još uvek nije važeći propis za aseizmičko projektovanje u Albaniji, međutim primenjuje se za projektovanje značajnih objekata kao što su mostovi i visoke zgrade.



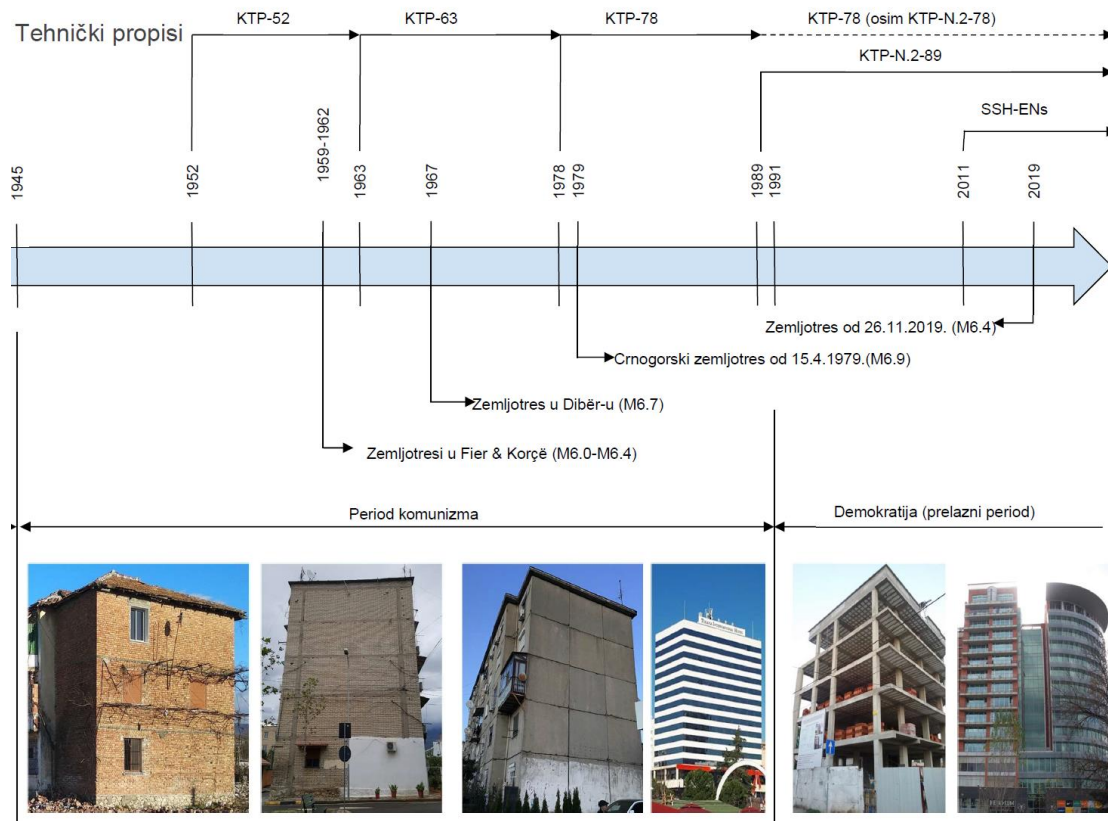
Slika 2-10: Normalizovani elastični spektri odgovora za Tiranu i Drač koji odgovaraju zapisima ubrzanja u pravcu sever-jug (N-S) (IGEWE, 2019)

3 Građevinska praksa i tehnički propisi

Svetlana Nikolić-Brzev¹, Brisid Isufi², i Marko Marinković³

3.1 Građevinski propisi

Razvoj tehničkih propisa, stepen njihove primene u praksi i tehnologije gradnje zgrada u Albaniji su povezani sa političkim i ekonomskim razvojem te zemlje tokom različitih vremenskih perioda. Slika 5-1 prikazuje hronologiju razvoja tehničkih propisa, značajnih zemljotresa i tehnologije gradnje zgrada karakterističnih za razne vremenske periode.



Slika 3-1: Hronologija razvoja tehničkih propisa, značajnih zemljotresa i tehnologije gradnje zgrada u Albaniji

Pre kraja Drugog svetskog rata stanovništvo Albanije je uglavnom naseljavalo seoska područja i živelo u niskim porodičnim zgradama od zidarije. U periodu komunizma (1945-1991) došlo je do ekspanzije građevinarstva pa su bili potrebni tehnički propisi za projektovanje građevinskih objekata, uključujući i aseizmičko projektovanje. Prvo izdanje albanskih tehničkih propisa objavljeno je 1952. godine, a drugo 1963. godine, nakon niza jakih zemljotresa koji su pogodili jugoistočni i jugozapadni deo zemlje. Treće izdanje propisa koje je objavljeno 1978. godine (KTP-78) je bilo značajno izmenjeno, i sadržalo je odredbe koje se odnose na projektovanje konstrukcija za dejstvo zemljotresa, ali i za prijem gravitacionog opterećenja. Poslednja revizija ovih propisa objavljena je 1989. godine i sadržala je samo odredbe koje se odnose na aseizmičko projektovanje građevinskih objekata, KTP-N.2-89 (Akademia e Shkencave, 1989). U vreme zemljotresa od 26.12.2019. godine na snazi je bio propis KTP-78 koji se odnosio na materijale, opterećenja, kombinacije

¹ Predsednica, Srpsko udruženje za zemljotresno inženjerstvo (SUZI-SAE) i profesor, Univerzitet Britanske Kolumbije (UBC), Vankuver, Kanada

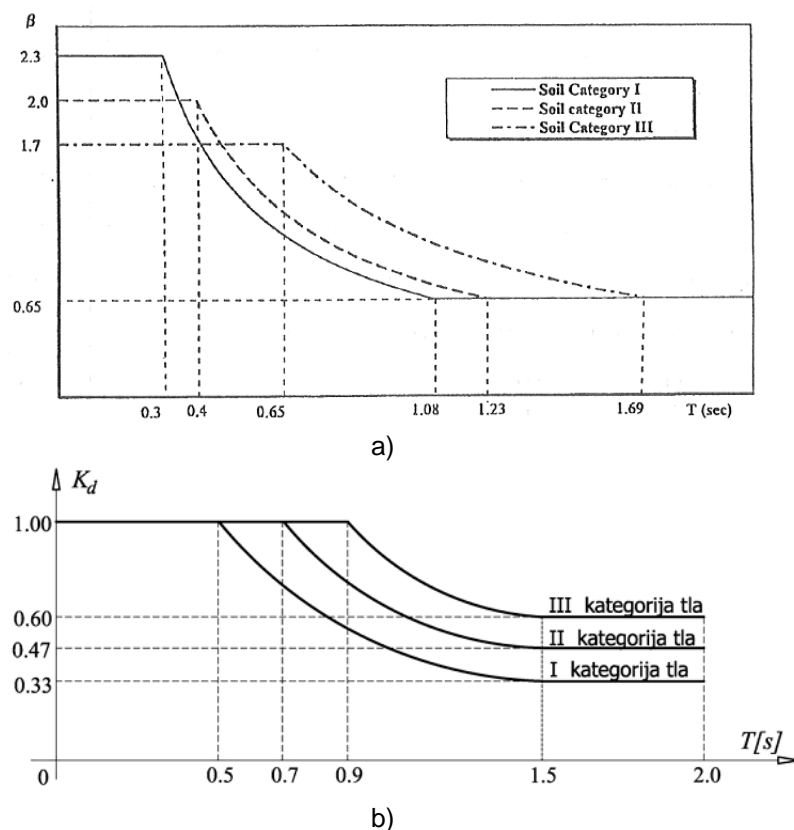
² Post-doktorant, Građevinski fakultet, Universidade NOVA de Lisboa, Lisabon, Portugalija

³ Docent, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, Srbija

dejtava itd., kao i propis KTP-N.2-89 koji sadrži odredbe u vezi aseizmičkog projektovanja konstrukcija.

Albanski tehnički propisi za aseizmičko projektovanje su se isključivo odnosili na tehnologije gradnje koje su se primenjivale u praksi u periodu kada su ti propisi bili na snazi. Važno je napomenuti da su pre 1990. godine u zgradarstvu preovlađivale zidane konstrukcije (Novikova i ost., 2015). To se može zaključiti iz tehničkog propisa objavljenog 1978. godine (KTP-78), koji se uglavnom odnosi na zidane konstrukcije. Međutim, tehnički propis iz 1989. godine (KTP-N.2-89) sadrži i posebne odredbe za armiranobetonske (AB) konstrukcije zgrada, kao što su AB ramovi sa zidanom ispunom i odredbe u vezi detalja armature AB konstrukcija, koje zavise od seizmičkog intenziteta na određenoj lokaciji. Kao što se može očekivati, stroža pravila se primenjuju u slučaju objekata projektovanih u zoni sa većim seizmičkim intenzitetom (više detalja se nalazi u Poglavlju 4 ovog izveštaja).

Za vreme komunističkog perioda došlo je i do razvoja odredbi propisa vezanih za metode seizmičke analize (Slika 3-2). Prema tehničkom propisu iz 1978. godine, KTP-N.2-78 (Ministria e Ndërtimit, 1978), projektni spektar odgovora nije eksplicitno uzimao u obzir faktor ponašanja (Jednačina 2), za razliku od potonjih propisa. Albanija je bila podeljena na područja seizmičkog intenziteta VI do VIII, pri čemu su Drač i jugozapadni deo Albanije bili u zoni najvećeg seizmičkog intenziteta (VIII). U ranijim verzijama propisa seizmičko dejstvo je bilo predstavljeno kao ekvivalentno statičko opterećenje, a poprečne seizmičke sile su određene kao fiksni procenat mase konstrukcije. Za razliku od prethodnih verzija tehničkih propisa, propis iz 1989. godine (KTP-N.2-89) propisuje modalnu analizu kao standardni metod seizmičke analize konstrukcija, dok je nelinearna dinamička analiza takođe dozvoljena kao komplementarna analiza za specijalne konstrukcije. Propisan je i faktor ponašanja koji ima različite vrednosti u zavisnosti od sistema za prijem seizmičkih dejstava, kao što su AB ramovske konstrukcije, zidane konstrukcije sa nosećim zidovima, itd.



Slika 3-2: Dinamički koeficijent: a) β (KTP-N.2-89) i b) K_d (YU-81).

Ostali koeficijenti za određivanje seizmičkog dejstva su drugačije definisani u KTP-N.2-89 nego u jugoslovenskom propisu iz 1981. godine (YU 81) (PTN, 1981). Na primer, vrednost dinamičkog koeficijenta zavisi od fundamentalnog perioda oscilovanja konstrukcije i vrste tla. Prema jugoslovenskom tehničkom propisu iz 1981. godine (PTN, 1981) dinamički koeficijent K_d ima najveću vrednost 1,0, dok prema KTP-N.2-89 (Akademia e Shkencave,

1989) koeficijent β ima najveću vrednost u rasponu od 1.7 do 2.3. Poređenje ova dva propisa je ilustrovano na Slici 3-2 i u Tabeli 3-1.

Tabela 3-1. Poređenje dinamičkog koeficijenta iz albanskih propisa iz 1989. godine (KTP 89) i jugoslovenskih seizmičkih propisa iz 1981. godine (YU 81)

Kategorija tla	KTP 89	YU 81	Granične vrednosti (KTP 89)	Granične vrednosti (YU 81)
I	$\frac{0.7}{T}$	$\frac{0.5}{T}$	$0.65 < \beta < 2.3$	$0.33 < k_d < 1.0$
II	$\frac{0.8}{T}$	$\frac{0.7}{T}$	$0.65 < \beta < 2.0$	$0.47 < k_d < 1.0$
III	$\frac{1.1}{T}$	$\frac{0.9}{T}$	$0.65 < \beta < 1.7$	$0.6 < k_d < 1.0$

Neke odredbe propisa KTP-N.2-89 su naprednije i kompleksnije u poređenju sa sličnim odredbama tadašnjeg jugoslovenskog propisa za aseizmičko projektovanje (PTN, 1981). Na primer, prema KTP-N.2-89 kombinacija seizmičkih dejstava $S_{eq,x}$ kod neregularnih konstrukcija treba da se odredi uzimajući u obzir sva tri pravca seizmičkog dejstava, tj. horizontalne pravce x i y, kao i vertikalni pravac z, kao što se može videti iz jednačine (1):

$$\begin{aligned} Seq &= Seq,x + \lambda Seq,y + \lambda Seq,z \\ Seq &= \lambda Seq,x + Seq,y + \lambda Seq,z \\ Seq &= \lambda Seq,x + \lambda Seq,y + Seq,z \end{aligned} \quad (1)$$

pri tome se vrednosti za $S_{eq,x}$, $S_{eq,y}$, i $S_{eq,z}$ dobijaju kao rezultat analize konstrukcije podvrgnute dejstvu seizmičke pobude koja deluje u tri različita pravca (x, y i z), a λ je koeficijent koji odražava uticaj neregularnosti konstrukcije ($\lambda = 0$ za regularne konstrukcije i 0.3 za ostale slučajeve). Takođe, raspodela seizmičke sile po visini konstrukcije vrši se uzimanjem u obzir viših tonova oscilovanja i njihove kombinacije (a ne samo prvog tona). Pored toga, pri određivanju poprečnih pomeranja konstrukcije usled dejstva seizmičkih sila uzima se u obzir i faktor ponašanja. Iako je propis KTP-N.2-89 napredan, uzimajući u obzir da je objavljen 1989. godine, uočeno je i nekoliko nedostataka u poređenju sa modernim propisima za aseizmičko projektovanje, npr. nepostojanje eksplicitnog kriterijuma za ograničenje oštećenja i graničnog stanja upotrebljivosti, kao i nepotpuna pravila za obezbeđivanje duktilnosti AB konstrukcija.

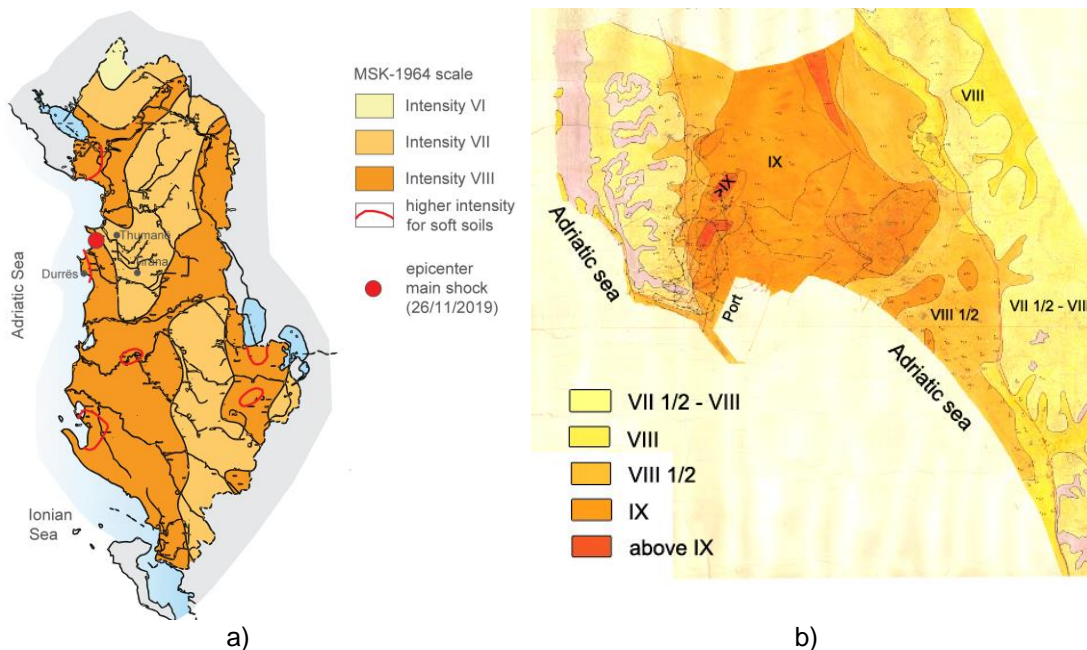
$$S_a = k_E \cdot k_r \cdot \psi \cdot \beta \cdot g \quad (2)$$

Prema albanskom propisu KTP-N.2-89 projektna vrednost spektralnog ubrzanja se određuje kao proizvod datih koeficijenata i ubrzanja gravitacije g (Jednačina 2). Koeficijenti su slični koeficijentima iz jugoslovenskih propisa iz 1981. godine (YU 81) (PTN, 1981), ali imaju druge vrednosti, kao što je prethodno objašnjeno u vezi dinamičkog koeficijenta β . Vrednosti koeficijenta seizmičnosti, k_E , prikazane u Tabeli 3-2 su veće od vrednosti koeficijenta K_s (YU 81) za isti seizmički intenzitet. Vrednosti koeficijenta kategorije objekta, k_r , su u rasponu od 0 do 4, i takođe su veće u poređenju sa vrednostima koeficijenta K_o iz jugoslovenskih propisa (YU 81). Međutim, koeficijent konstrukcije ψ , koji predstavlja recipročnu vrednost faktora redukcije/ponašanja, ima manje vrednosti od koeficijenta K_p iz jugoslovenskih propisa (YU 81).

Tabela 3-2. Koeficijent seizmičnosti k_E

Kategorija tla	Seizmički intenzitet (MSK-64)		
	VII	VIII	IX
I	0,08	0,16	0,27
II	0,11	0,22	0,36
III	0,14	0,26	0,42

Pored odredbi u vezi aseizmičkog projektovanja i metoda za analizu konstrukcija, projektni nivo seizmičkog intenziteta se isto menjao kroz vreme. Crnogorski zemljotres iz aprila 1979. godine (M 6,9) je pogodio i severozapadni deo Albanije. Ovaj zemljotres je prouzrokovao reviziju mape seizmičkog intenziteta za Albaniju i povećanje nivoa seizmičkog intenziteta, posebno na severu zemlje. Slika 3-3 a) prikazuje zvaničnu seizmičku mapu Albanije koja pokazuje zone seizmičkog intenziteta VI do VIII prema MSK-64 skali. Ova mapa nije formalno revidirana više od 30 godina, mada je u toku poslednjih 20 godina sprovedeno nekoliko studija procene seizmičkog intenziteta za Albaniju (kao što je pomenuto u Poglavlju 2 ove publikacije). Propis KTP-N.2-89 dozvoljava da se parametri seizmičkog intenziteta usvoje na osnovu mapa seizmičke mikrojejonizacije, međutim takve mape su razvijene samo za najveće albanske gradove. Prema ovim mapama seizmički intenzitet dostiže VIII u nekim delovima Tirane i IX u nekim delovima Drača. Mapa seizmičke mikrojejonizacije za Drač je prikazana na Slici 3-3 b).



Slika 3-3: Mape seizmičkog hazarda: a) mapa za Albaniju prema KTP-N.2-89, razmera 1:500000 (QSAS, 1979) i b) mapa seizmičke mikrojejonizacije za Drač (Kociu i ost., 1985).

U Albaniji je tokom 1990-ih godina došlo do velikih političkih i ekonomskih promena koje su uticale i na građevinsku praksu. U to vreme Albanija se okrenula ka susednim zemljama i ta iskustva su počela da utiču na građevinsku praksu. U tom periodu tranzicije koji je sledio nakon pada komunizma učestala je i neformalna gradnja (Potsiou i Augustinius, 2010), što je povezano sa nedostatkom odgovarajuće dokumentacije i ograničene kontrole kvaliteta projektovanja i izvođenja radova. Prema mišljenju lokalnih stručnjaka, propis KTP-N.2-89 u albanskoj inženjerskoj praksi je u tom periodu bio primenjivan sporadično (iako je primena bila obavezna), čak je nivo primene propisa nepoznat i za period 2001-2012.

Počev od 1990-ih godina, inženjeri-konstrukteri u Albaniji su počeli da primenjuju i inostrane tehničke propise za projektovanje i izvođenje novih objekata na dobrovoljnoj osnovi. Američki propisi su počeli da se primenjuju od 1995. godine a Evrokodovi od 2005. godine. Delovi 0-3 Evrokoda su 2011. godine usvojeni kao Nacionalni standard (Luka, 2018), a posle toga su usvojeni i ostali delovi Evrokoda. Status "Nacionalni standard" omogućava dobrovoljnu primenu Evrokodova (u dogovoru sa investitorom), međutim KTP-N.2-89 je još uvek važeći propis za aseizmičko projektovanje novih objekata u Albaniji.

3.2 Građevinska praksa i tehnologija građenja zgrada

Svrha ovog odeljka je da predstavi osnovne karakteristike tipologije zgrada u Albaniji, i hronološki a i u pogledu tehnologija gradnje, dok će detalji konstrukcija i relevantne odredbe propisa biti predstavljeni u Poglavljima 4 i 5. Kao što je ranije pomenuto, pre završetka Drugog svetskog rata stanovništvo Albanije je uglavnom živelo u seoskim naseljima pa se građevinski fond uglavnom sastojao od zgrada niže spratnosti, najčešće sa jednom ili dve etaže. U tom periodu zidarija je bila prevlađujuća tehnologija gradnje, a koristila se puna opeka (cigle) niske čvrstoće i blokovi od nepečene gline. U periodu komunizma (1945-1990) počeo je uspon građevinarstva i izvođenje većih projekata u okviru javnog sektora. U mnogim slučajevima, izgradnja škola, bolnica i stambenih zgrada sprovedena je na osnovu tipskih projekata (EERI, 2019). U urbanim sredinama su se uglavnom gradile višeporodične stambene zgrade niže i srednje spratnosti (najčešće 3-5 etaža). Zidarija je i dalje bila vodeća tehnologija gradnje, ali je izgradnja AB konstrukcija započela 1960-ih godina, pre svega primenom prefabrikovanih AB krupnopanelnih sistema za izgradnju višeporodičnih stambenih objekata srednje spratnosti (4 do 6 etaža). Prefabrikovani AB elementi su se proizvodili u državnim pogonima, pa su zatim transportovani do gradilišta radi montaže konstrukcije. Građevinski materijali su bili promenljivog kvaliteta, u zavisnosti od ekonomske situacije. Objekte su obično izvodili kvalifikovani građevinski radnici, ali su u nekim slučajevima angažovani i ostali građani na volonterskoj osnovi, što je dovelo do lošeg kvaliteta izvođenja radova.

U periodu od 1991. do 2000. godine došlo je do tranzicije od komunizma ka demokratskom sistemu, a samim tim i do decentralizacije građevinske prakse (Luka, 2018). Projektovanje objekata se odvijalo u privatnim građevinskim firmama, a došlo je i do promene u tehnologiji građenja. Započela je šira primena AB konstrukcija livenih na licu mesta za izgradnju svih vrsta zgrada, od niskih porodičnih zgrada do višespratnica. Sa druge strane, prekinuta je primena tehnologije prefabrikovane gradnje zbog gašenja državnih pogona za proizvodnju prefabrikovanih elemenata. Većina AB zgrada je građena u konstrukcijskom sistemu stub-ploča sa pregradnim zidovima (ispunom) od ošupljenih glinenih blokova. U ovom periodu kvalitet građevinskih objekata bio je promenljiv i često neadekvatan na svim nivoima: projektovanje, građevinski materijali i izvođenje građevinskih radova. U tom periodu praktikovala se neformalna gradnja i u gradovima i u selima (Potsiou i Augustinius, 2010).



a)



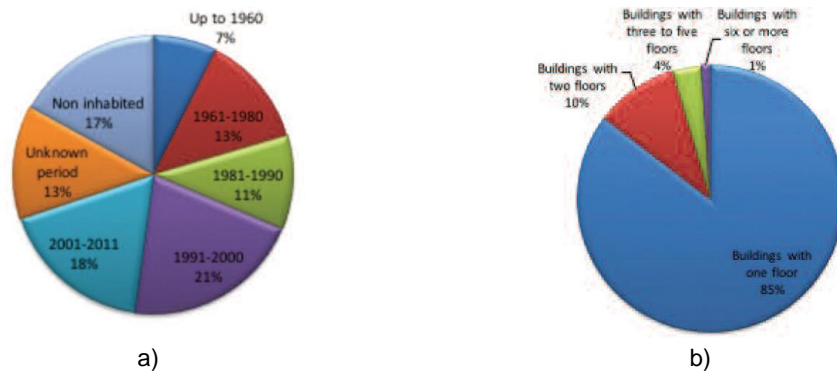
b)

Slika 3-4: Primeri nadogradnje objekata zgrada: a) vertikalna nadogradnja petospratne nearmirane zidane zgrade (poslednji sprat) i b) horizontalna nadogradnja postojeće nearmirane zidane zgrade primenom zidarije sa serklažima

Primitili smo u toku posete i nekoliko slučajeva vertikalne nadogradnje (Slika 3-4 a), a i horizontalna nadogradnja je takođe bila veoma uobičajena (Slika 3-4 b). U nekim

slučajevima konstrukcijski sistem za nadograđeni deo je drugačiji od postojeće konstrukcije, pa ima različite dinamičke karakteristike i ponašanje pod dejstvom zemljotresa. Na primer, nove AB konstrukcije su u nekim slučajevima izgrađene na vrhu postojećih zidanih zgrada, pretpostavljamo bez građevinske dozvole i primene propisa. Zgrade sa nadogradnjom su pretrpele različita oštećenja usled ovog zemljotresa, od pukotina u malteru do ozbiljnih konstrukcijskih oštećenja. Kvalitet projektovanja i izvođenja građevinskih radova u Albaniji je u toku poslednjih godina postepeno podignut na viši nivo.

Pregled građevinskog fonda Albanije na osnovu popisa stanovništva iz 2011. godine (Novikova i ost., 2015) pokazuje da je samo mali deo postojećih zgrada (oko 7%) izgrađen pre 1960. godine. Značajan deo građevinskog fonda (24%) je izgrađen u periodu 1960-1990., međutim većina zgrada je izgrađena posle 1990. (više od 40%, Slika 3-5 a). Uprkos građevinskom procvatu u periodu posle 1990. godine i široko rasprostranjenoj izgradnji višespratnih zgrada, većina zgrada u Albaniji (95%) su niže spratnosti (sa jednom ili dve etaže), uglavnom zidane konstrukcije (Slika 3-5 b). Iako je udeo višespratnih zgrada veoma nizak (5% od ukupnog građevinskog fonda), procenjuje se da je 2/3 stanovništva pogođenog zemljotresom iz novembra 2019. godine živelo u višespratnim stambenim zgradama, jer je zemljotres pogodio dva najveća grada u zemlji (Tiranu i Drač), a i nekoliko manjih gradova kao što su Kruja i Fuše-Kruja.



Slika 3-5: Građevinski fond zgrada Albanije: a) istorijski presek i b) klasifikacija na osnovu spratnosti (izvor: Novikova i ost., 2015)

Pregled tipologije zgrada u Albaniji u periodu 1960-danas predstavljen je u Tabeli 3-3. Iz tabele se može videti da među zgradama niže i srednje spratnosti u pogledu tehnologije gradnje preovlađuju zidane i AB konstrukcije. U nastavku ovog poglavlja nalazi se kratak opis tipologija zidanih i AB konstrukcija zgrada.

Tabela 3-3. Tipologije zgrada u Albaniji (1960-danas).

Visina zgrade	Period	
	1960.-1990.	Posle 1990.
Niska	Nearmirana zidarija Zidarija sa serklažima	AB ramovske konstrukcije sa zidanom ispunom
Srednja	Nearmirana zidarija Zidarija sa serklažima Hibridni sistem: zidarija sa serklažima + AB ramovska konstrukcija Prefabrikovani AB krupnopanelni sistemi	AB ramovske konstrukcije sa zidanom ispunom
Visoka	Hotel Tirana International (15-spratna zgrada sa AB zidovima)	AB ramovske konstrukcije sa zidanom ispunom

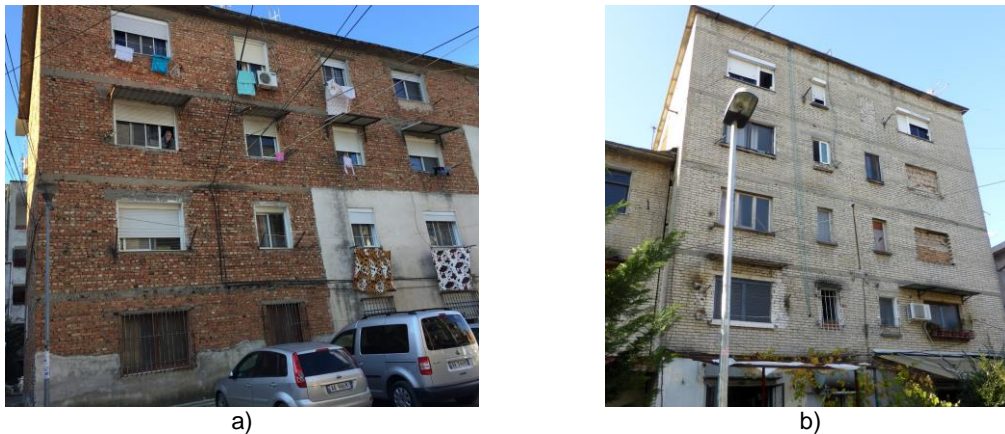
Zidarija se uglavnom primenjivala za gradnju porodičnih stambenih zgrada i u seoskim i u gradskim sredinama (Slika 3-6). Pre 1990-ih godina zidovi su najčešće građeni korišćenjem pune glinene ili silikatne opeke. Jednospratne zidane zgrade imaju laki plafon i drvenu krovnu konstrukciju. Zgrade sa dve do tri etaže imaju drvene tavanice, dok novije zgrade imaju međuspratne konstrukcije u vidu monolitnih AB ploča, polumontažnih međuspratnih konstrukcija sistema "Fert", prefabrikovanih AB ošupljenih tavanica ili

prefabrikovanih AB sitnorebrastih tavanica. Zbog klimatskih uslova, većina niskih zgrada ima kose krovove sa drvenom krovnom konstrukcijom pokrivenom glinenim crepovima.

Zidarija je široko korišćena za izgradnju višeporodičnih stambenih zgrada u periodu od 1960. do 1990. godine (Slika 3-7). Zidovi od nearmirane zidarije su korišćeni za izgradnju zgrada do tri ili četiri etaže, dok je zidarija sa serklažima korišćena za izgradnju zgrada više spratnosti (5 etaža). Debljina zidova je zavisila od visine zgrade: deblji zidovi (38 cm) su korišćeni za prvu i drugu etažu a tanji zidovi (25 cm) za više etaže. Ove zgrade su imale monolitne AB međuspratne konstrukcije ili prefabrikovane AB ošupljene ploče. Krovovi su bili kosi (drvena rešetkasta konstrukcija sa glinenim crepom, obično na starijim zgradama) ili ravni (uglavnom u novijim zgradama).



Slika 3-6: Niske zidane zgrade: a) urbane zgrade u nizu (Tirana) i b) seoska zgrada od nearmirane zidarije (Tumane)



Slika 3-7: Zidane konstrukcije višeporodičnih stambenih zgrada: a) zgrada sa 4 etaže od nearmirane zidarije sa punom opekom i AB tavanicama u Draču, i b) zgrada sa 5 etaža od nearmirane zidarije (silikatna opeka) u Tirani

Crnogorski zemljotres iz 1979. godine potvrdio je zadovoljavajuće ponašanje zidarije sa serklažima, pa je tako u Albaniji ova tehnologija gradnje počela da se primenjuje za zgrade niže i srednje spratnosti. Slika 3-4 b) prikazuje zidanu zgradu sa horizontalnim i vertikalnim serklažima u Tirani (Kombinat), koja je deo horizontalne nadogradnje. Zidane konstrukcije sa serklažima imaju vertikalne AB serklaže u uglovima zgrade i na spoju zidova, ali takvi serklaži ne postoje na ivicama prozora i vrata. Horizontalni AB serklaži izvode se na nivoima sprata i integrisani su sa međuspratnim AB pločama livenim na licu mesta. U periodu od 1980.-1990. godine ošupljeni glineni blokovi su korišćeni za gradnju nosećih zidova.

U nekim slučajevima, zgrade kombinovane namene, npr. sa garažom ili prodavnicom u prizemlju i stambenim jedinicama na višim spratovima, imaju hibridni konstrukcijski sistem. U ovakvim zgradama postoje AB ramovi u prizemlju i zidarija sa serklažima na višim spratovima. Treba pomenuti da je primena hibridnog sistema dozvoljena na osnovu albanskog seizmičkog propisa iz 1989. godine KTP-N.2-89 (Akademia e Shkencave, 1989), koji propisuje određene zahteve u vezi AB ramovskih konstrukcija koje su deo hibridnog sistema. Slika 3-8 a) prikazuje ulicu u Shkëmbi i Kavajës (južni deo Drača) gde se nalazi više zgrada kombinovane namene, sa prodavnicama u prizemlju i stambenim prostorom na

gornjim spratovima. Slika 3-8 b) prikazuje unutrašnjost zgrade sa hibridnim konstrukcijskim sistemom - može se videti AB stub u prizemlju koji je u sastavu AB ramovske konstrukcije.



Slika 3-8: Zgrade sa hibridnim konstrukcijskim sistemom: a) fasada zgrade koja pokazuje otvoreno prizemlje (metalna vrata umesto zidova), i b) unutrašnjost zgrade na nivou prizemlja - vidi se AB stub (fotografije: Google)

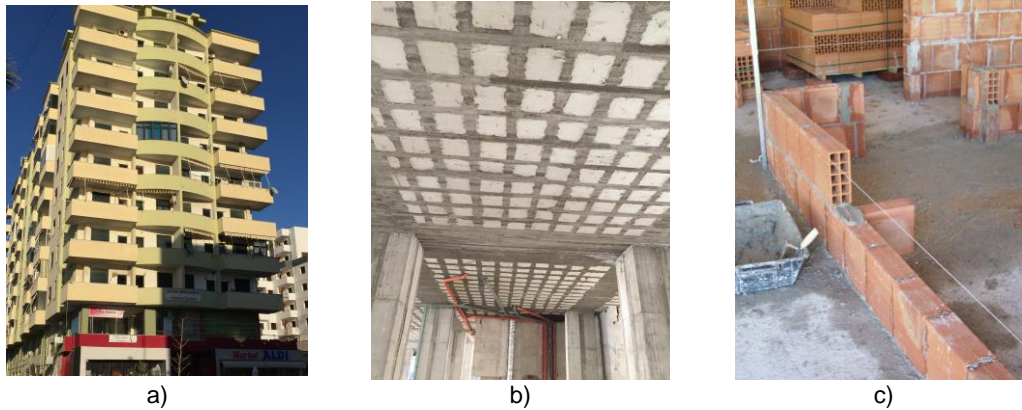
U Albaniji je 1960-ih godina počela šira primena AB tehnologije za izgradnju zgrada srednje visine (5 ili 6 etaža). Preovlađujuće tipologije zgrada su prefabrikovane AB krupnopanelne zgrade (period 1960.-1990.), a zatim i zgrade sa AB ramovima livenim na licu mesta i zidanom ispunom (posle 1990. godine). Posle Drugog Svetskog Rata u Albaniji, kao i u drugim zemljama istočne Evrope sa socijalističkim ili komunističkim režimom, primenjivana je prefabrikovana tehnologija gradnje radi zadovoljenja potreba za masovnom izgradnjom stambenih zgrada, naročito u gradovima. U Albaniji se uglavnom primenjivao krupnopanelni sistem gradnje, u kome su osnovni elementi konstrukcije prefabrikovani AB paneli (zidovi i ploče) povezani putem zavarenih spojeva koji su izvedeni na licu mesta. Tehnologija prefabrikovane gradnje koja je korišćena u Albaniji je potekla iz Kine. Zgrade ovog tipa mogu se naći u gradovima kao što su Tirana i Drač, a u mnogim slučajevima su u lošem stanju zbog neadekvatnog održavanja. Slika 3-9 a) prikazuje dve zgrade u Draču: tipičnu zgradu sa krupnopanelnim sistemom gradnje (levo), kao i modernu zgradu sa AB ramovima izgrađenu nakon 1990. godine (desno). Slika 3-9 b) pokazuje dobro očuvanu i renoviranu zgradu ovog tipa u mestu Vore blizu Tirane. U Albaniji se u istom periodu (1960.-1990.) primenjivao i sistem gradnje prefabrikovanih AB ramova, uglavnom za izgradnju javnih objekata (obrazovnih ustanova).



Slika 3-9: Prefabrikovane AB zgrade srednje visine: a) tipična zgrada sa krupnopanelnim sistemom gradnje (levo) i susedna 8-spratna moderna zgrada sa AB ramovskom konstrukcijom (desno), Drač i b) renovirana zgrada sa krupnopanelnim sistemom gradnje, Vore

Posle pada komunizma u Albaniji 1991. godine počela je primena AB konstrukcija livenih na licu mesta za izgradnju svih vrsta zgrada, počev od niskih zgrada za porodično stanovanje pa do visokih stambenih zgrada u gradskim sredinama. Zgrade srednje visine obično imaju 5-12 etaža. Mnoge zgrade ovog tipa imaju kombinovanu namenu, tako da postoji otvoreno prizemlje koje se koristi za prodavnice ili garaže, dok se stambeni prostor nalazi na gornjim spratovima. Slika 3-10 a) prikazuje primer zgrade sa AB ramovskom

konstrukcijom i spoljašnjim i unutrašnjim zidnim panelima (ispunom). Tipičan AB ram se sastoji od stubova i širokih plitkih greda koje su deo kasetirane AB tavanice sa ispunom od stiropora ili zidanih elemenata (Slika 3-10 b). AB zidovi se obično koriste u novijim konstrukcijama, međutim mnoge zgrade koje smo posetili uopšte nisu imale AB zidove, osim u sklopu liftovskog jezgra (u nekim slučajevima). Zidana ispuna je građena korišćenjem ošupljenih glinenih blokova sa horizontalno postavljenim šupljinama (Slika 3-10 c), i koristi se za pregradne zidove kao i za fasadu.



Slika 3-10: Zgrade srednje spratnosti sa AB ramovskom konstrukcijom i zidanom ispunom: a) tipična zgrada u Draču; b) međuspratna AB konstrukcija sa plitkim gredama i ispunom od stiropora, i c) izgradnja zida korišćenjem ošupljenih glinenih blokova sa horizontalnim šupljinama

Posle 1990. godine počela je primena AB konstrukcija i za izgradnju zgrada niže spratnosti. Obično se radi o zgradama sa 2-4 etaže, koje se koriste za stanovanje, ili restorane, manje hotele itd. (Slika 3-11 a). U mnogim slučajevima u pitanju je neformalna gradnja, što znači da su zgrade su projektovane i izgrađene bez konsultacija sa kvalifikovanim građevinskim inženjerima i arhitektima, i ne zadovoljavaju zahteve građevinskih propisa. Stubovi su obično male veličine a grede su plitke. Međuspratna konstrukcija je polumontažna tavanica sistema "Fert" (Slika 3-11 c) ili AB ploče livene na licu mesta. U većini slučajeva najpre se izlije kompletna AB ramovska konstrukcija (stubovi i međuspratne konstrukcije), a zatim zidana ispuna (Slika 3-11 b). Međutim, u nekim slučajevima prvo se izgrade zidovi ispune do nivoa sprata, a zatim se izlije AB međuspratna konstrukcija (na vrhu zidova). Ove zgrade mogu da imaju ravne ili kose krovove, u zavisnosti od klimatskih uslova.



Slika 3-11: Niske zgrade sa AB ramovskom konstrukcijom i zidanom ispunom: a) zgrada u Draču; b) tipična građevina u izgradnji, i c) polumontažna međuspratna konstrukcija sistema "Fert"

4 Ponašanje armiranobetonskih konstrukcija zgrada

Ivan Milićević¹, Marko Marinković², Svetlana Nikolić-Brzev³

U periodu između 1960. i 1990. godine u Albaniji se uglavnom primenjivala prefabrikovana tehnologija gradnje AB konstrukcija zgrada. Početkom 1990-ih godina počela je izgradnja zgrada sa monolitnim AB ramovskim konstrukcijama i zidanom ispunom. Kao što je navedeno u Odeljku 3.2, 40% zgrada u Albaniji izgrađeno je u periodu posle 1990. godine, a ovaj konstruktivni sistem bio je dominantan u izgradnji svih zgrada, od niskih porodičnih zgrada do višespratnica. Na osnovu pregleda oštećenih objekata usled zemljotresa koji se dogodio 26.11.2019., ustanovljeno je da je najveći broj zgrada koje su doživele kolaps ili značajna oštećenja imao konstruktivni sistem koji se sastojao od monolitnih AB ramova. U ovom poglavlju predstavljena su zapažanja i zaključci članova SUZI tima koji je posetio Albaniju nakon ovog zemljotresa o glavnim razlozima rušenja i oštećenja zgrada sa monolitnim AB ramovskim sistemom i prefabrikovanim AB sistemom gradnje.

4.1 Ponašanje zgrada sa AB ramovskim konstrukcijama i zidanom ispunom

Ovaj konstruktivni sistem postao je dominantan u građevinskoj praksi nakon usvajanja albanskog aseizmičkog propisa KTP-N.2-89 (Akademia e Shkencave, 1989). Kao što je navedeno u Odeljku 3.2, međuspratne tavanice obično su kasetirane AB ploče kod kojih se za oplatu koriste šuplji glineni blokovi ili ploče od stiropora. Zbog ovakvog tipa međuspratne tavanice, stubovi u unutrašnjosti objekata su uglavnom povezani širokim „plitkim“ gredama (eng. *shallow beams*) a fasadni stubovi dubljim gredama (u pojedinim slučajevima). Visina „plitkih“ greda jednaka je ukupnoj debljini međuspratne tavanice (oko 30 cm, što je minimalna visina greda prema propisu KTP-N.2-89) a širina je veća ili jednaka odgovarajućoj dimenziji stuba. S obzirom da su ove zgrade najčešće izvedene bez AB zidova ili sa relativno malim brojem AB zidova, čak i u slučaju višespratnih zgrada od preko 10 spratova), sistem za prijem seizmičkog dejstva predstavljaju fleksibilni AB ramovi.

4.1.1 Analiza AB ramovskih konstrukcija prema KTP-N.2-89 i Evrokodu 8

Poslednja verzija albanskog aseizmičkog propisa iz 1989. godine, KTP-N.2-89 (Akademia e Shkencave, 1989), bila je prilično napredna u trenutku objavljivanja jer je definisala jasan koncept tradicionalnog načina prihvatanja seizmičkog dejstva, koji dopušta kontrolisana i ograničena oštećenja konstrukcije. Obezbeđenje zahtevanog kapaciteta pomeranja se postiže putem adekvatnog armiranja AB elemenata, a zahteva se i regularnost konstrukcije u osnovi i po visini. Iako u ovom propisu postoje određeni nedostaci sa aspekta savremenog aseizmičkog projektovanja, mnogi zahtevi su slični onima iz Evrokoda 8 (EN 1998-1:2005).

Prema propisu KTP-N.2-89 (Akademia e Shkencave, 1989), analiza i proračun konstrukcija zasnivaju se na redukciji seizmičkog opterećenja koje deluje na sistem sa elastičnim ponašanjem, pri čemu faktor redukcije zavisi od tipa (duktilnosti) konstruktivnog sistema. Za AB ramove sa zidanom ispunom koja ne učestvuje u prijemu horizontalnih sila, kao što se obično usvaja u praksi, vrednost faktora redukcije iznosi 2,63-4,0, u zavisnosti od fleksibilnosti stubova. Ovaj propis dozvoljava da se sa faktorom redukcije 3,33 zidana ispuna uzme u obzir pri analizi AB ramova i da prihvata seizmičke sile, ali se ovaj koncept retko primenjuje u praksi. Pretpostavljena duktilnost AB ramova obezbeđuje se ispunjavanjem relativno strogih zahteva za armiranje AB stubova i greda, koji se odnose na progušćenje uzengija u kritičnim oblastima i na mestima nastavljanja armature, minimalne prečnike uzengija, maksimalne razmaka pridržanih i nepridržanih vertikalnih šipki u stubovima, dužine preklapanja, itd. Ovi zahtevi su definisani u funkciji seizmičkog intenziteta na razmatranoj lokaciji i strožiji su u slučaju objekata koji se nalaze u zoni višeg seizmičkog intenziteta. Takođe, propis zahteva da se analiziraju stvarna pomeranja konstrukcije tokom zemljotresa, prema principu „jednakih pomeranja“.

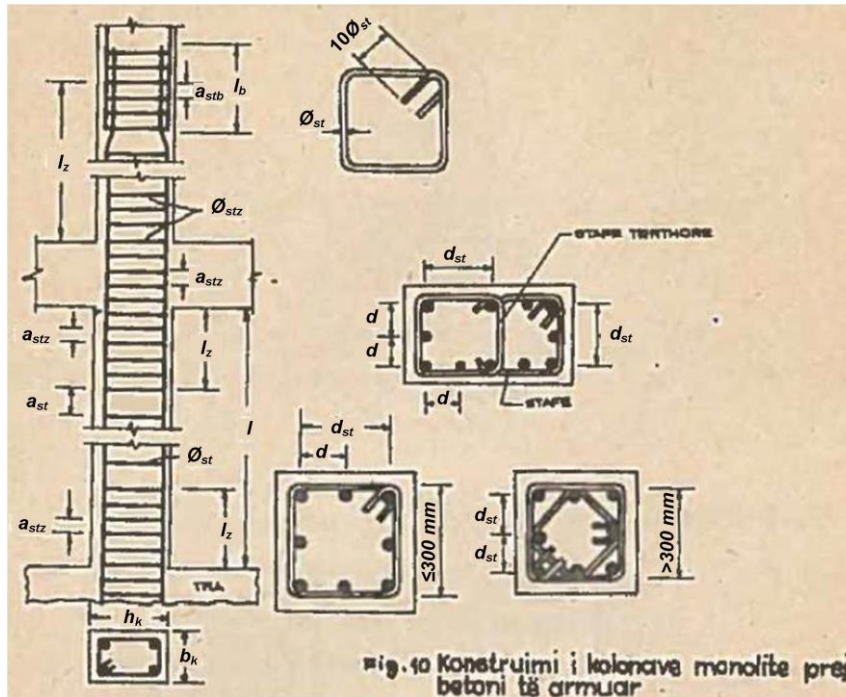
¹ Mast. inž. građ., asistent, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, Srbija

² Docent, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, Srbija

³ Predsednica, Srpsko udruženje za zemljotresno inženjerstvo (SUZI-SAEE) i profesor, Univerzitet Britanske Kolumbije (UBC), Vankuver, Kanada

Na Slici 4-1 prikazani su najvažniji zahtevi za armiranje stubova AB ramovskih konstrukcija prema albanskom propisu KTP-N.2-89, a poređenje ovih zahteva sa odgovarajućim zahtevima iz Evrokoda 8 (EN 1998-1:2005) i Evrokoda 2 (EN 1992-1-1:2004) dato je u Tabeli 4-1. Na osnovu ovog poređenja, može se zaključiti da su geometrijski uslovi dati u ovim propisima veoma slični.

Važno je istaći da, za razliku od KTP-N.2-89, Evrokod 8 dodatno zahteva i proračunski dokaz obezbeđenog nivoa utezanja stuba u uklještenju koji, pri visokim nivoima aksijalne sile pritiska, obično rezultuje većom količinom uzengija od one koja se dobija na osnovu zadovoljenja geometrijskih uslova. Vulinović i ost. (2019) prikazali su kako količina i raspored uzengija utiču na efikasnost utezanja AB stubova prema Evrokodu 8.



Slika 4-1: Armiranje AB stubova prema KTP-N.2-89 (Akademia e Shkencave, 1989)

Tabela 4-1. Zahtevi za armiranje AB stubova prema KTP-N.2-89 (Akademia e Shkencave, 1989) i Evrokodovima (EN 1998-1:2005, EN 1992-1-1:2004)

Oznaka (videti Sliku 4-1)	KTP-N.2-89		Evrokod 8, Evrokod 2
	Seizmički intenzitet (MSK-64): VI do VIII	Seizmički intenzitet (MSK-64): veći od VIII	Klasa duktilnosti DCM
Faktor redukcije seizmičke sile	2,63-4,00	2,63-4,00	3,9 ($3,0 \cdot \alpha_u / \alpha_1$)
Min b_k	250 mm	250 mm	200 mm
Dužina kritične oblasti l_x	$\max(h_k; l/6; 450 \text{ mm})$	$\max(h_k; l/6; 450 \text{ mm})$	$\max(h_k; l/6; 450 \text{ mm})$
Max d_{st}	300 mm	200 mm	200 mm
Max d	$\min(b_k/2, 300 \text{ mm})$	$\min(b_k/2, 200 \text{ mm})$	EC2: 150 mm
Max a_{st}	$\min(b_k, 12\emptyset, 300 \text{ mm})$	$\min(b_k, 10\emptyset, 200 \text{ mm})$	EC2: $\min(b_k, 20\emptyset, 400 \text{ mm})$
Max a_{stz}	$\min(b_k/2, 10\emptyset, 150 \text{ mm})$	$\min(b_k/2, 8\emptyset, 100 \text{ mm})$	EC8: $\min(\approx b_k/2, 8\emptyset, 175 \text{ mm})$
Min \emptyset_{st}	6 mm	8 mm	6 mm
Min \emptyset_{stz}	6 mm	8 mm	6 mm
Max h_k/b_k	3,0	2,0	4,0
Dužina kuke uzengije (ugao)	$10\emptyset_{st} (135^\circ)$	$10\emptyset_{st} (135^\circ)$	$10\emptyset_{st} (135^\circ)$

Za neregularne sisteme u osnovi i/ili po visini, KTP-N.2-89 zahteva primenu tačnije metode proračuna, koja uzima u obzir doprinos viših tonova oscilovanja putem multimodalne analize. Međutim, propis ne zahteva uvećanje seizmičkog opterećenja u slučaju neregularnih konstrukcija. Takođe, propis nalaže da je potrebno ograničiti stvarna pomeranja konstrukcije tokom zemljotresa (princip „jednakih pomeranja“) zbog održanja funkcionalnosti objekta pri dejstvu zemljotresa. Međutim, nisu propisana eksplicitna ograničenja pomeranja, čime je omogućeno usvajanje manjih dimenzija konstruktivnih AB elemenata (stubova i greda) pri projektovanju, a samim tim i fleksibilnijih konstrukcija. Autori ove publikacije smatraju da je upravo prevelika fleksibilnost AB ramovskih konstrukcija jedan od glavnih uzroka oštećenja velikog broja ovakvih zgrada u zemljotresu od 26.11.2019.

4.1.2 Tipovi i uzroci oštećenja zgrada sa AB ramovskim konstrukcijama

Kao što je ranije istaknuto, konstruktivni sistem najvećeg broja zgrada koje su doživele kolaps ili značajna oštećenja u ovom zemljotresu bio je sistem monolitnih AB ramova. Iako je fleksibilni AB ramovski sistem imao više konstrukcijskih nedostataka, mnogi objekti u Draču, koji su pretrpeli velika oštećenja tokom zemljotresa od 26.11.2019. godine, nisu bili oštećeni nakon zemljotresa slabijeg intenziteta koji su se dogodili samo dva meseca ranije (Lekkas i ost., 2019). Glavni razlog velikih oštećenja ovih objekata u zemljotresu od 26.11.2019. bila su visoka spektralna ubrzanja za fleksibilne konstrukcije, približno jednaka elastičnim spektralnim ubrzanjima prema KTP-N.2-89 (Akademia e Shkencave, 1989), što je prikazano na Slici 2-9, pa su konstrukcijski nedostaci AB ramovskih sistema došli do izražaja. Za ovaj zemljotres, dominantni periodi oscilovanja bili su oko 1,0 sekunde, sa maksimalnim ubrzanjem tla od 0,196g i maksimalnim spektralnim ubrzanjem iznad 0,5g. Imajući u vidu da se praktično radi o „projektnom zemljotresu“, važno je istaći da je većina objekata sa ovim konstruktivnim sistemom ispunila osnovni zahtev seizmičke sigurnosti koji podrazumeva da se objekat ne sruši.

Zbog fleksibilnosti AB ramovskih konstrukcija zgrada u Albaniji, zidana ispuna imala značajan uticaj na njihovo ponašanje tokom ovog zemljotresa. Zidana ispuna, korišćena za pregradne zidove i fasadu, i najčešće je formirana od blokova sa šupljinama koje su horizontalno orijentisane, što nije uobičajena praksa u drugim zemljama (npr. u Srbiji). Raspored zidane ispune po visini i u osnovi zgrade zavisi od namene i položaja objekta u odnosu na druge objekte. Česti su slučajevi zgrada sa „otvorenim“ prizemljem i prvim spratom, kod kojih ispuna postoji samo na višim etažama. U drugim slučajevima, zidana ispuna je raspoređena neravnomerno u osnovi zgrade koja na jednoj ili dve strane ima susedne objekte.

Važno je naglasiti da je uticaj zidane ispune na ponašanje ovih zgrada zavisi od relativnog odnosa krutosti i nosivosti elemenata AB ramovskih konstrukcija u odnosu na zidanu ispunu, pa su primećeni i različiti vidovi oštećenja kod zgrada različitih visina. Kod zgrada manje i srednje visine, u najvećem broju slučajeva zidana ispuna je potpuno promenila ciljano ponašanje konstrukcija i doprinela značajnim oštećenjima ili kolapsu. Većina ovih zgrada izgrađena je u periodu 1990.-2010. godine. Visoke zgrade sa AB ramovima su takođe imale velika međuspratna pomeranja, ali i veću nosivost i krutost što je dovelo do značajnih oštećenja zidane ispune, dok konstruktivni elementi nisu pretrpeli značajna oštećenja.

Iako svaki od uočenih konstrukcijskih nedostataka zgrada u Albaniji potencijalno ugrožava ciljano, duktilno ponašanje AB ramovskih konstrukcija tokom zemljotresa, pri pregledu oštećenih zgrada uočeno je dva ili više nedostataka, a najzastupljeniji nedostaci i uzroci oštećenja bili su:

- Neregularnost po visini i/ili u osnovi fleksibilnog osnovnog nosećeg sistema za prijem seizmičkog opterećenja, najčešće usled uticaja zidane ispune ili stepeništa,
- Neadekvatno oblikovanje detalja za lokalnu duktilnost elemenata AB ramova,
- Interakcija AB ramova i zidane ispune, i
- Nedovoljna širina seizmičkih dilatacija.

4.1.3 Uticaj neregularnosti fleksibilnih ramovskih konstrukcija zgrada manje i srednje visine

Uzrok neregularnosti konstrukcija zgrada u području pogođenom zemljotresom od 26.11.2019. je u najvećem broju slučajeva interakcija izrazito fleksibilnih AB ramovskih sistema sa zidanom ispunom ili stepeništima. Najčešći tipovi uočenih neregularnosti su bili

„fleksibilni“ („meki“) prizemni spratovi (eng. „*soft storey*“), nepredviđena skraćena visine stubova (eng. „*short column effect*“), kao i nesimetričan raspored krutosti u osnovi koji je izazvao nepovoljne torzione efekte pri dejstvu zemljotresa.

Primeri srušenih zgrada sa „fleksibilnim spratom“ u Albaniji nakon ovog zemljotresa prikazani su na Slikama 4-2 i 4-3. Pojava „fleksibilnog sprata“ posledica je velike razlike u krutostima pojedinih spratova, obično prizemnih spratova koji su fleksibilniji u odnosu na ostale spratove. Ovakvo ponašanje je tipično za fleksibilne AB ramovske sisteme za prijem seizmičkog opterećenja koji su česti u Albaniji. U ovom slučaju, pojava fleksibilnog sprata (vertikalne neregularnosti) prouzrokovana je neravnomerno raspoređenom zidanom ispunom u zgradama, koje su imale otvoreni prostor na prizemnim spratovima (garaže, poslovni prostor, prodavnice, restorani i sl.), dok je na ostalim spratovima postojala zidana ispuna (obično stambene jedinice). Zbog prisustva zidane ispune i povećane krutosti konstrukcija na višim spratovima, uticaji u AB stubovima na „otvorenim“ prizemnim spratovima bili su značajno uvećani, što je najverovatnije i rezultovalo oštećenjima i kolapsom konstrukcija. Ove konstrukcije su bile potpuno demolirane pre naše posete. Treba napomenuti i da je Hotel Ljubljana (Slika 4-2 a) imao tri nadograđena sprata! Drugi razlog velikih oštećenja stubova su manje dimenzije stubova u odnosu na grede uobičajenih visina (eng. „*weak column-strong beam*“), kao što je prikazano na Slikama 4-7 a) i 4-7 e).



a)



b)

Slika 4-2: Primeri kolapsa zgrada u Draču (Durrës) sa „fleksibilnim spratom“

Na Slici 4-3 prikazana je četvorospratna privatna kuća u mestu Tumanë (Thumanë) koja je doživela kolaps usled efekta „fleksibilnog“ prizemlja. Za ovu lokaciju propis KTP-N.2-89 (Akademia e Shkencave, 1989) propisuje seizmički intenzitet VII, koji je u poređenju sa intenzitetom na ostalim pogođenim područjima dosta niži. Kuća je imala potpuno otvoreno prizemlje koje je korišćeno kao garaža a gornji spratovi su korišćeni za stanovanje i imali su zidanu ispunu od šupljih glinenih blokova. Konstrukcija je imala 3x4 pravougaona stuba koji su bili postavljeni u pravilnom rasporedu u osnovi i koji su bili kontinualni od temelja do vrha konstrukcije. Pored ovih stubova, postojali su i kružni stubovi koji su pridržavali spoljašnja stepeništa i balkon na prvom spratu. Preseci pravougaonih stubova imali su širinu 250-300 mm i visinu 400 mm. Na osnovu vizuelnog pregleda (ali i ograničenog pristupa), pretpostavljamo da su u pravcu sever-jug postojale samo fasadne grede, dok su u pravcu istok-zapad grede postojale u svim ramovima. Pored toga, izgleda i da je većina stubova bila orijentisana tako da im je visina preseka bila u pravcu sever-jug, pa su stubovi bili podvrgnuti većim pomeranjima u upravnom, slabijem pravcu. Ovo je dovelo do kolapsa prizemlja usled pojave „fleksibilnog sprata“ dok na gornjim etažama nije došlo do značajnih oštećenja. Prema rečima meštana, koji su prisustvovali izgradnji, međuspratne tavanice su betonirane nakon zidanja ispune, kako bi se obezbedila veća „robusnost“ konstrukcije. Prema dobijenim informacijama ova zgrada najverovatnije nije bila projektovana od strane inženjera već je izvedena prema preporukama građevinskih radnika. Nakon pregleda srušenog objekta, ustanovljeno je da stubovi, grede i njihove veze nisu bili adekvatno armirani sa aspekta aseizmičkog projektovanja. Pravougaoni stubovi su imali 3 ili 4 vertikalne šipke prečnika 16 mm na svakoj dužoj strani. Uočeno je da su stubovi imali uzengije prečnika 8 mm na razmaku od 200 mm u kritičnim oblastima sa kukom pod 90° (Slika 4-3 c). Takođe, podužna armatura greda nije bila adekvatno usidrena (bez kuka) dok su u čvorovima greda-stub uzengije potpuno izostavljene (Slika 4-3 b). Na osnovu vizuelne inspekcije ove zgrade može se

zaključiti da detalji armature u ovoj zgradi uglavnom nisu bili u skladu sa važećim albanskim propisom.



Slika 4-3: Kolaps privatne kuće u mestu Tumanë (Thumanë) sa „fleksibilnim spratom“: a) istočna strana; b) jugozapadna strana; c) južna strana; d) severna strana

Na Slici 4-4 prikazana je četvorospratna zgrada koja je pretrpela značajna oštećenja na nivou dve najniže etaže ali nije došlo do kolapsa. Zbog većih relativnih pomeranja na donjim etažama, karakterističnih za ramovske konstrukcije, došlo je do oštećenja zida od pune opeke. Iako su stubovi na prvom spratu pretrpeli oštećenja u zoni ispod veze sa „plitkim“ gredama ali nije došlo do loma, primetili smo da su na mestu oštećenih stubova bili postavljeni podupirači radi sprečavanja eventualne pojave „fleksibilnog sprata“.



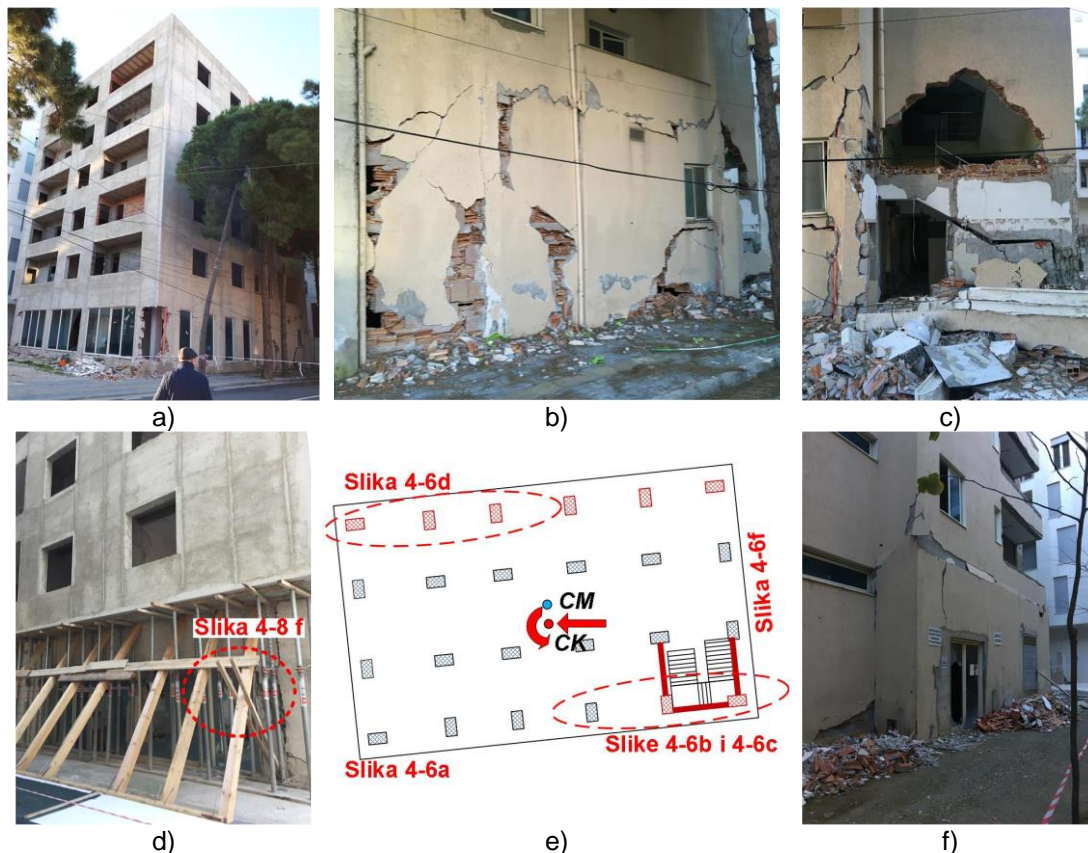
Slika 4-4: Oštećenja četvorospratne zgrade u blizini sela Bubq (Bubq): a) jugoistočna strana i b) istočna strana

„Efekat skraćenog stuba“ najčešće nastaje u slučajevima oslanjanja delova stepeništa (obično međupodesta) na stubove ili postavljanja parcijalne zidane ispune do određene visine stuba zbog otvora (npr. prozora). Zbog sprečenog pomeranja na mestu oslanjanja stepeništa ili postavljene zidane ispune, dolazi do skraćenja visine stuba, povećane lokalne krutosti i uticaja u stubu (najčešće smičućih sila), za koje stub nije dimenzionisan. Oštećenja dve zgrade usled ovog efekta prikazana su na Slici 4-5 a) i Slici 4-5 b), respektivno.



Slika 4-5: Primeri oštećenja AB zgrada usled „efekta skraćenog stuba“: a) uticaj oslanjanja stepeništa na stubove i b) uticaj parcijalne zidane ispune po visini stuba

Na Slikama 4-6 i 4-7 prikazana su značajna oštećenja i kolaps fleksibilnih konstrukcija usled torzionih efekata pri dejstvu zemljotresa prouzrokovanih uticajima zidane ispune i stepeništa, koji se pri aseizmickom projektovanju često zanemaruju.

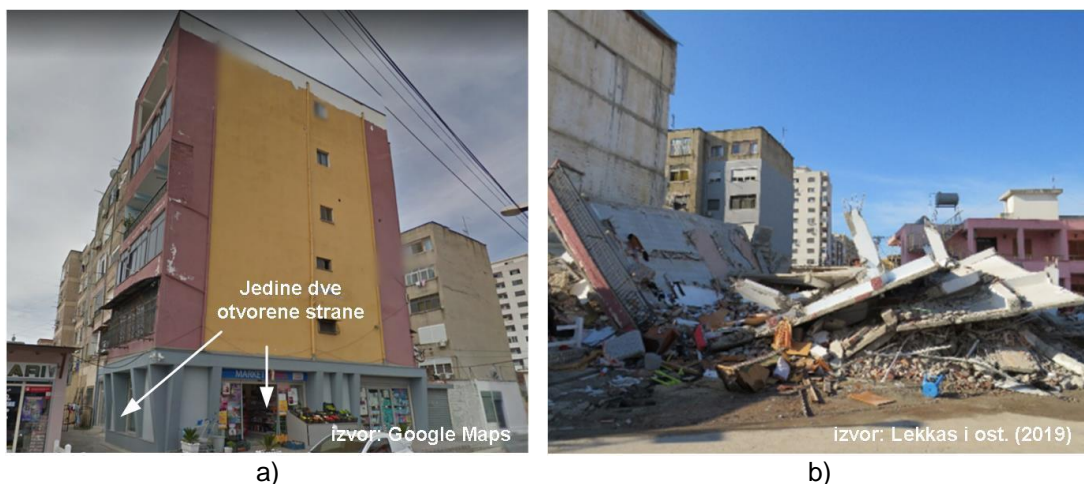


Slika 4-6: Oštećenja zgrade na obali Drača usled pomeranja centra krutosti konstrukcije i pojave torzionih efekata – uticaj oslanjanja stepeništa na stubove i zidane ispune

Na Slici 4-6 prikazana su oštećenja objekta sa AB ramovskom konstrukcijom, koji ima 6 nadzemnih etaža i otvoren prostor u prizemlju. Raspored stubova u osnovi je pravilan, na

razmaku od 3,5-4,2 m (Slika 4-6 e). Međutim, može se uočiti da je orijentacija stubova u podužnim, fasadnim ramovima takva da je manja dimenzija preseka u pravcu podužnih ramova, što smanjuje krutost podužnih ramova ali i torzionu krutost čitave konstrukcije. Ekscentricni položaj stepeništa u osnovi zgrade, kao i efekat skraćenog stuba na mestu oslanjanja međupodesta stepeništa (Slika 4-6 c) su prouzrokovali ekscentrični položaj centra krutosti CK u odnosu na centar mase CM i pojave torzionih uticaja. Usled uvećanih napreznja u podužnom ramu koji najudaljeniji od centra krutosti, javila su se značajna oštećenja AB stubova (oštećenja jednog od tih stubova prikazana su na Slici 4-8 f). Podupiranje te strane obezbeđeno je radi sprečavanja eventualnog kolapsa prizemlja. Efektu torzije je najverovatnije doprinela i zidana ispuna na fasadi, čija su oštećenja primećena u blizini stepeništa u nivou prizemlja, kao što se vidi na Slikama 4-6 b, c, i f.

Slika 4-7 prikazuje kolaps zgrade koja je u prizemlju imala dve susedne otvorene strane dok je na ostalim stranama postojala zidana ispuna. Ruševine su raščišćene pre posete SUZI tima a veruje se da je kolaps konstrukcije došlo pre svega zbog torzionih efekata izazvanih značajnim povećanjem krutosti na zazidanim stranama i ekscentričnim položajem centra krutosti u odnosu na centar mase.

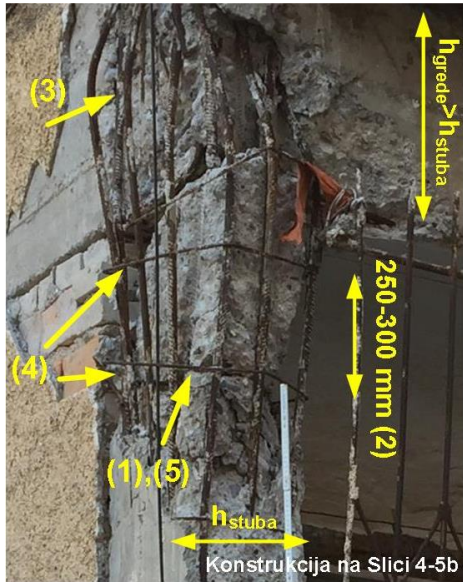


Slika 4-7: Kolaps zgrade u Draču usled pomeranja centra krutosti konstrukcije i pojave torzionih efekata – uticaj zidane ispune: a) pre zemljotresa i b) posle zemljotresa

4.1.4 Neadekvatni detalji armiranja elemenata AB ramova

Kod najvećeg broja zgrada oštećenih ili srušenih usled ovog zemljotresa uočeno je nekoliko tipičnih grešaka pri oblikovanju detalja za lokalnu duktilnost elemenata AB ramova – stubova i greda. Primeri navedenih grešaka prikazani su na Slici 4-8. Autori veruju da su najčešće greške u načinu armiranja bile sledeće:

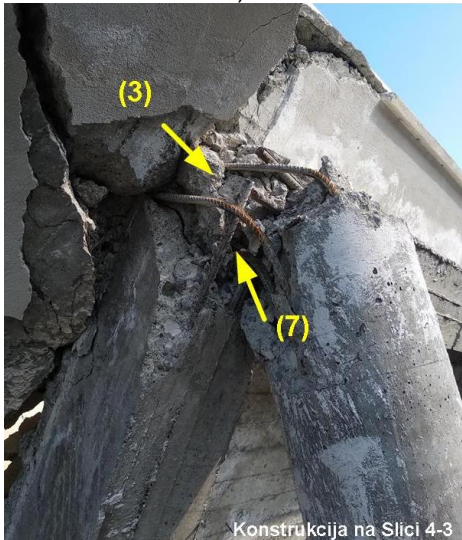
- (1) Ugrađena je samo jedna spoljašnja uzengija u stubovima, dok prema propisu KTP-N.2-89 moraju da postoje bar 2 uzengije kod stubova širine veće od 30 cm, kao što je prikazano na Slici 4-1;
- (2) Veliki razmak uzengija u „kritičnim“ oblastima i/ili van „kritičnih“ oblasti; prema propisu KTP-N.2-89, za IX zonu (Drač) rastojanje uzengija na krajevima stubova treba da bude manje od polovine širine stuba, 8 prečnika vertikalne armature ili 100 mm dok na krajevima greda treba da bude manje od širine grede, četvrtine visine ili 150 mm;
- (3) Nedovoljna količina ili potpuno odsustvo uzengija u čvorovima greda-stub; propis KTP-N.2-89 zahteva da se uzengije u „kritičnim“ oblastima propuste kroz čvor kao što je prikazano na Slici 4-1),
- (4) Neusidrene uzengije sa kukama pod 90° , nedovoljne dužine; prema KTP-N.2-89, zahtevaju se kuke pod 135° , sa pravim delom kuke minimalne dužine od 10 prečnika uzengije;
- (5) Uzengije u stubovima su često prečnika 6 mm, dok KTP-N.2-89 propisuje minimalni prečnik od 8 mm kod stubova u zoni intenziteta IX;
- (6) Nedovoljna dužina preklapanja pri nastavljanju armature (često 100% preklopljene armature na jednom mestu), i
- (7) Nedovoljno usidrena podužna armatura greda (bez kuka).



a)



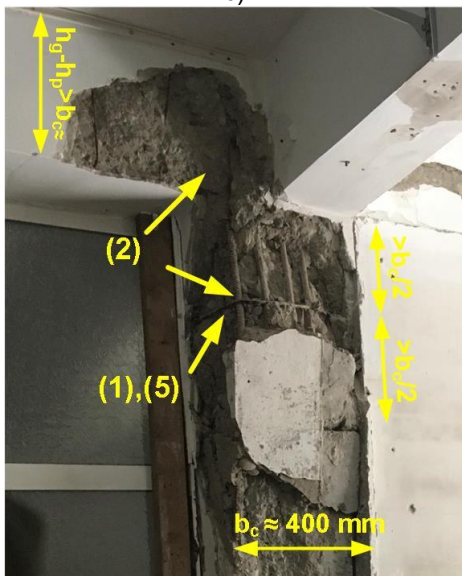
b)



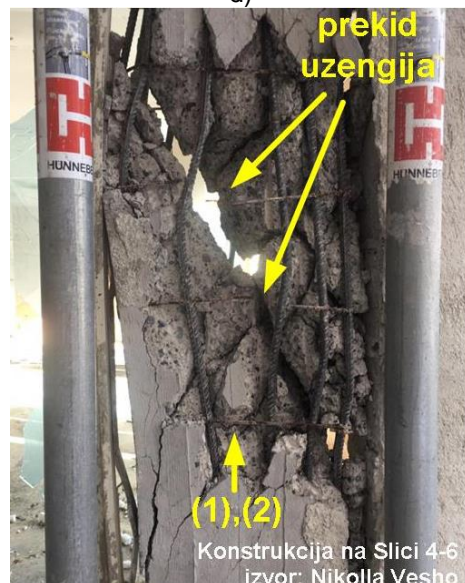
c)



d)



e)



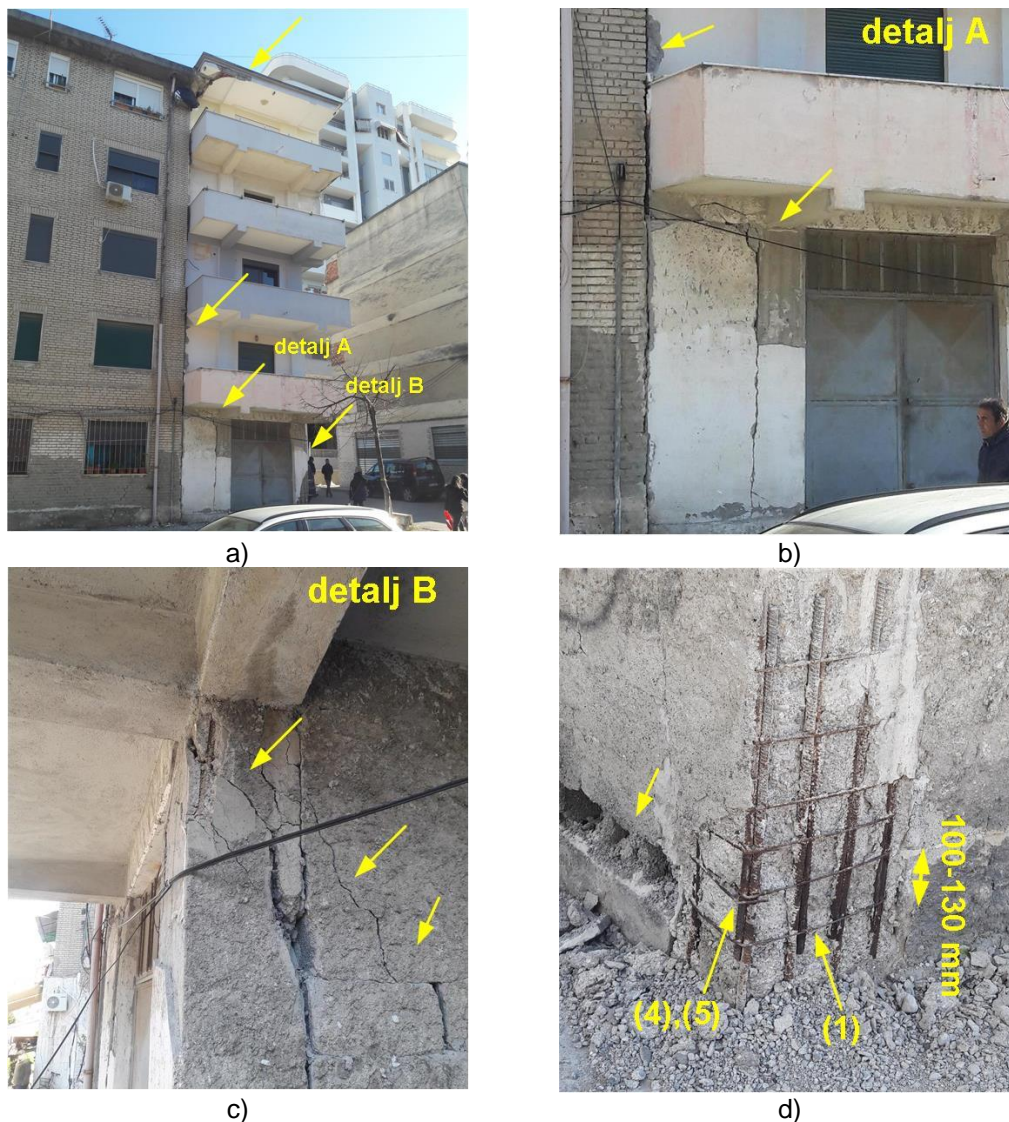
f)

Slika 4-8: Primeri neadekvatno oblikovanih detalja armiranja AB elemenata

Slične greške u načinu armiranja AB ramova za prijem seizmičkih sila primećene su i u drugim zemljotresima, kao što je zemljotres u Nepal u 2015. godine (magnituda 7,7), gde je u mnogim slučajevima došlo do loma AB stubova usled smicanja, pa su zidovi ispunje preuzeli ulogu nosećih zidova za prijem uticaja gravitacionog i seizmičkog opterećenja (Brzev i ost., 2017).

4.1.5 Sudaranje konstrukcija i oštećenja AB stubova usled interakcije sa zidanom ispunom

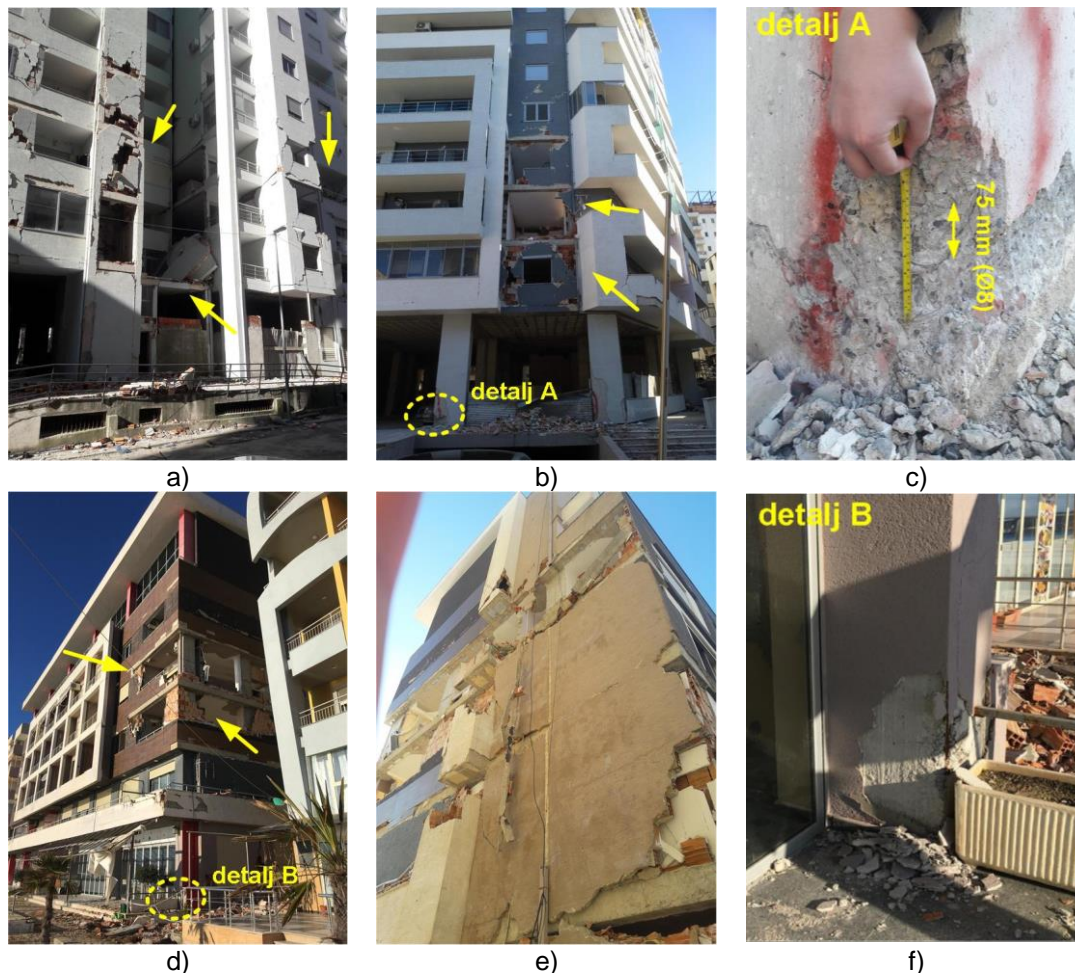
Kod nekoliko zgrada došlo je do sudaranja usled ovog zemljotresa, uglavnom zbog nedovoljne širine ili nepostojanja seizmičkih dilatacija, kao i moguće razlike u nivou međuspratnih konstrukcija. Međutim, na mestima sudaranja nisu uočena veća oštećenja zgrada. Na Slici 4-9 prikazana je petospratna zgrada na kojoj su oštećenja na više etaža nastala usled sudaranja sa susednom zgradom i koja je imala trajne (zaostale) deformacije nakon zemljotresa. Zgrada je i na nivou prizemlja imala zidanu ispunu od betonskih blokova na svim stranama. Usled interakcije rama sa zidanom ispunom, došlo je do oštećenja stubova na njihovim krajevima. Na Slici 4-9 c) prikazane su prsline usled smicanja u zidanoj ispunu koje su propagirale kroz AB stub. Ovaj mehanizam ponašanja je detaljno objašnjen u Odeljku 4.2 Iako su stubovi ove konstrukcije imali nekoliko grešaka u načinu armiranja za lokalnu duktilnost (videti Odeljak 4.1.4 i Sliku 4-9 d), autori veruju da je ravnomerno raspoređena zidana ispunja u osnovi prizemlja sprečila značajnija oštećenja AB stubova i potencijalnu pojavu „fleksibilnog sprata“.



Slika 4-9: Oštećenja petospratne AB zgrade usled: a), b) sudaranja konstrukcije, i c), d) interakcije AB rama sa zidanom ispunom od betonskih blokova

4.1.6 Ponašanje AB ramovskih konstrukcija novijih i viših zgrada sa oštećenom zidanom ispunom

Većina objekata koji su pretrpeli značajna oštećenja ili kolaps tokom zemljotresa u Albaniji 26. novembra 2019., izgrađena je u periodu 1990-2010. godine. Iako su i objekti izgrađeni posle 2010. godine pretrpeli oštećenja usled ovog zemljotresa, nivo i obim tih oštećenja na konstruktivnim elementima ovih objekata bili su relativno mali. Najveća oštećenja pretrpela je zidana ispunna. Iako su ove (uglavnom visoke) zgrade imale fleksibilne AB ramovske konstrukcije, autori veruju da su, zbog velikih dimenzija AB elemenata, AB ramovi imali znatno veću relativna krutost i nosivost u odnosu na zidanu ispunu. Zbog toga je usled velikih relativnih pomeranja donjih spratova došlo do značajnih oštećenja samo zidane ispunne. Mala oštećenja AB elemenata su najverovatnije i rezultat adekvatnog oblikovanja detalja armiranja za lokalnu duktilnost. Na Slici 4-10 prikazana su oštećenja novijih zgrada u Draču (Durrës), koje su izgrađene posle 2010. godine. U oba slučaja, značajna oštećenja pretrpela je zidana ispunna na nižim spratovima, koja se često nalazila van ravni AB ramova, npr. na mestima erkera (Slike 4-10 a, d, e). Prema (Lekkas i ost., 2019), ovakva oštećenja karakteristična su za visoka sopstvena ubrzanja tavanica koja se javljaju usled vertikalnih oscilacija, dominantnih u epicentralnim područjima. Na Slikama 4-10 c) i 4-10 f) mogu se uočiti manja oštećenja AB stubova sa gusto raspoređenim uzengijama. U slučaju stuba na Slici 4-10 c) uzengije su bile prečnika 8 mm na rastojanju od 75 mm, što je manje od zahtevanog prema propisu KTP-N.2-89 (videti Tabelu 4-1).



Slika 4-10: Primeri oštećenja novijih višespratnih zgrada sa AB ramovskim konstrukcijama u Draču (Durrës): a)-c) dvanaestospratna zgrada u centru, d)-f) šestospratna zgrada na obali

Nekonstruktivna oštećenja trospratne kuće sa AB ramovskim sistemom koji je formiran od stubova i „plitkih“ greda u predgrađu Tirane (Tiranë) prikazana su na Slici 4-11. Osnova prvog tipskog sprata prikazana je na Slici 4-11 a). Na nivou prizemlja bio je restoran pa je unutrašnjost bila potpuno otvorena dok su fasadni zidovi imali velike otvore. Gornji spratovi su

služili za stanovanje i imali su zidanu ispunu. Aneks je dodat naknadno, bio je odvojen od zgrade putem seizmičkih dilatacija, i u trenutku zemljotresa je imao je samo jedan sprat, iako je ostavljena mogućnost za izgradnju dodatnih spratova – može se uočiti armatura stubova na Slici 4-11 b). Stubovi glavnog objekta bili su kvadratni, 400x400 mm, dok su grede bile širine 600 mm i visine 300 mm. Prema planovima armature iz projekta, zaključeno je da su stubovi i grede armirani na način kojim se obezbeđuje njihova lokalna duktilnost (npr. sve vertikalne šipke u stubovima su prihvaćene uzengijama prečnika 8 mm, na razmaku 100 mm u „kritičnim oblastima“ i na mestima čvorova greda-stub). Na mestima seizmičkih dilatacija između glavnog objekta i aneksa, stubovi su udvojeni. Zidana ispunja je bila neravnomerno raspoređena po visini, pa su uočena veća oštećenja zidane ispune u prizemlju (Slika 4-11 b), dok na AB stubovima nije bilo značajnih oštećenja, osim manjih prslina na mestima (nedovoljno širokih) seizmičkih dilatacija (Slika 4-11 c).



Slika 4-11: Nekonstruktivna oštećenja trospratne kuće na periferiji Tirane (Tiranë): a) Osnova prvog sprata; b) oštećenja zgrade, i c) oštećenja zidane ispune

4.2 Ponašanje zidane ispune u zgradama sa AB ramovskim konstrukcijama

Zidana ispunja je jako zastupljen „nekonstruktivni element“ u AB konstrukcijama u Albaniji. U toku posete primetili smo da u Draču veliki broj AB zgrada srednje i više spratnosti izgrađenih posle 1990. ima zidove ispune. Razlozi za široku primenu ove tehnologije su: brza gradnja, dostupnost materijala, građevinska praksa sklona upotrebi glinenih blokova sa šuplinama, odlične termoizolacione karakteristike blokova, kao i dobra otpornost na požar. Primenom zidane ispune za unutrašnje i spoljašnje zidove zahtevi moderne, transparentne arhitekture i velika fleksibilnost u pogledu iskorišćenosti prostora izvršno su ispunjeni.

Iako mnoge studije (Kappos i Ellul, 2000; Kose, 2009; Ricci i ost., 2011; Asteris i ost., 2015; Butenweg i ost., 2016a) pokazuju da zidana ispunja nije nekonstruktivni element, jer svojom krutošću doprinosi promeni dinamičkih karakteristika AB konstrukcije i aktivno učestvuje u prihvatanju seizmičkih sila. Nažalost, uobičajena je praksa da se njen doprinos zanemari u tokom projektovanja, tako da gotovo svaki zemljotres srednjeg ili višeg intenziteta izazove oštećenja zidane ispune u zgradama sa AB ramovskim konstrukcijama. To je potvrđeno izveštajima o šteti (Braga i ost. 2011; Manfredi i ost. 2014; De Luca i ost. 2014) posle mnogih zemljotresa, npr. Izmit, Turska (1999); Bhuj, Indija (2001); Boumerdes, Alžir (2003); i Gorkha, Nepal (2015). U većini slučajeva AB zgrade nisu pretrpele značajna konstruktivna oštećenja, ali je ispunja oštećena ili je doživela potpuni kolaps. Isto je bio slučaj i u ovom zemljotresu. Ono što je tokom posete pogođenim područjima najviše upalo u oči jesu oštećene zgrade koje nemaju značajno oštećenu AB konstrukciju, ali su često bile nenasele. Razlog su visok stepen nekonstruktivnih oštećenja, pre svega ispune i pregradnih zidova. Slika 4-12 a) prikazuje tipična oštećenja koja smo uočili u toku obilaska ovakvih zgrada - došlo je do oštećenja zidova ispune dok je AB konstrukcija ostala neoštećena.

4.2.1 Analiza zidane ispune u AB ramovskim konstrukcijama prema KTP-N.2-89 i Evrokodu 8

Kao što je navedeno u Odeljku 4.1.1, albanski propis iz 1989. godine – KTP-N.2-89 (Akademia e Shkencave, 1989), je bio moderan i napredan a to pokazuje i činjenica da je uticaj ispune prepoznat i u doduše maloj meri uključen u propise. Prvenstveno, razdvojeni su slučajevi kada ispuna učestvuje u prihvatanju seizmičkih sila i kada to nije slučaj. To je slično kao što je u Evrokodu 8 (EN 1998-1:2005) ispuna podeljena na onu koja je kruto vezana za okolni ram i ispuna koja je odvojena od rama i smatra se nenosećim elementom. Albanski propis daje formule za proračun perioda oscilovanja za oba slučaja ramovskih konstrukcija, uzimajući u obzir efekat ispune. Ovo čak ne postoji ni u trenutnoj verziji Evrokoda 8 (EN 1998-1:2005).

Takođe, uticaj ispune je prepoznat i uzet u obzir pri određivanju ukupne seizmičke sile preko koeficijenta konstrukcije (ψ), što je recipročna vrednost faktora redukcije. Navedeni koeficijent ima različite vrednosti u zavisnosti od toga da li ispuna učestvuje u prijemu seizmičkih sila ili ne, dajući veću silu za slučaj aktivirane ispune. Pored toga, KTP-N.2-89 (Akademia e Shkencave, 1989) se bavi i proračunom nekonstruktivnih elemenata, među kojima i zidane ispune, na dejstvo seizmičke sile upravno na ravan zida, dajući koeficijent kategorije objekta za proračun te seizmičke sile. Slično je definisano i u Evrokodu 8 (EN 1998-1:2005) preko faktora ponašanja za unutrašnje i spoljašnje zidove ispune.

Pored ovih smernica ne postoje dalja uputstva za proračun zidane ispune u albanskim propisima a ni trenutna verzija Evrokoda 8 (EN 1998-1:2005) nije na zadovoljavajući način dala uputstva za proračun zidane ispune. S obzirom na neophodnost adekvatnog proračuna AB ramovskih konstrukcija sa zidanom ispunom u procesu projektovanja, ostaje nada da će nova generacija Evrokodova sadržati jasne smernice u tom pravcu i da će biti prihvaćeni u inženjerskoj praksi u Albaniji a i kod nas.

4.2.2 Tipovi i uzroci oštećenja zidane ispune

Oštećenja AB konstrukcija sa ispunom su bila dominantna u Draču (Slika 4-12), ali su pored toga uočena i u mestu Fuše-Kruja (Fushë-Krujë) (Slika 4-13a), Kruja (Krujë) (Slika 4-13b) i Bubć (Bubq) (Slika 4-4). Bitno je istaći uticaj ispune na globalno ponašanje cele konstrukcije. Zidana ispuna svojom krutošću dovodi do pojave „fleksibilnog“ sprata ukoliko se nalazi na višim spratovima a ne postoji u prizemlju. I to jeste čest slučaj zbog želje da se u prizemlju napravi slobodan prostor za lokale ili garaže. Ovo nažalost često dovodi do kolapsa konstrukcije (Slike 4-2 i 4-3), koji je zabeležen i u mnogim prethodnim zemljotresima. Kod zidane ispune sa otvorima celom dužinom zida odnosno u slučajevima kada je zidana ispuna u kontaktu sa stubom samo ne jednom delu njegove visine, javlja se „efekat skraćenog stuba“ (eng. „short column effect“). U ovim slučajevima deformacija stuba celom njegovom visinom je sprečena zbog kontakta sa krutom ispunom, što dovodi do povećanja sile smicanja i „slobodnom“ delu stuba i često je to uzrok loma samog stuba (Slika 4-5). Takođe, jasan pokazatelj neophodnosti uzimanja u obzir zidane ispune u procesu projektovanja je promena rasporeda krutosti u osnovi zgrade, do koje dolazi usled neregularnog rasporeda ispune, i koja izaziva nepovoljne torzione efekte pri dejstvu zemljotresa. Ovi efekti torzije su doveli do karakterističnog oštećenja zidova ispune u perifernim AB ramovima zgrada usled ovog zemljotresa (Slika 4-14a). Bitno je voditi računa o regularnom rasporedu ispune, što nije uvek moguće zbog arhitektonskih ali i funkcionalnih zahteva. Međutim, često ni to nije dovoljno jer se može desiti da u toku zemljotresa dođe do oštećenja zidova ispune i samim tim smanjenja njihove krutosti a to dovodi do povećanja torzionih efekata. Ovi efekti ispune na AB konstruktivne elemente su detaljnije opisani u Odeljku 4.1.3. Slika 4-14 b) pokazuje oštećenje ispune usled vertikalnih oscilacija tavanice na prepustima.

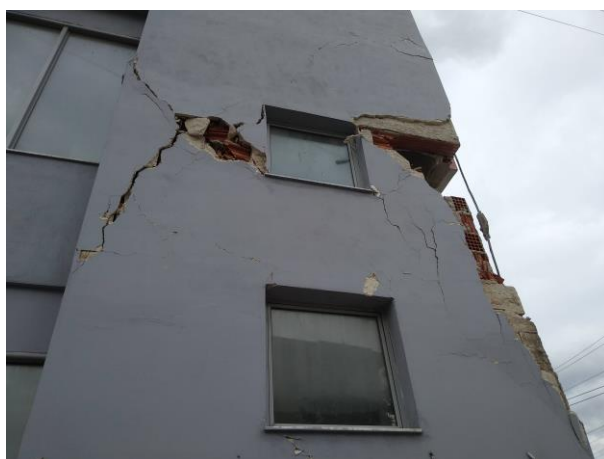


a)



b)

Slika 4-12: Oštećenja zidane ispune kod zgrada sa AB ramovskim sistemom u Draču (Durrës)



a)



b)

Slika 4-13: Primeri oštećenja zidane ispune zgrada sa AB ramovskim konstrukcijama: a) Fuše-Kruja (Fushë-Krujë) i b) Kruja (Krujë)



a)



b)

Slika 4-14: Oštećenja zidane ispune na periferiji objekata u Draču (Durrës)

Značajan nivo oštećenja zidane ispune može se pripisati velikoj fleksibilnosti AB ramovske konstrukcije, koja svojom deformacijom izaziva oštećenje ispune u njenoj ravni (Butenweg i ost., 2016b). Ovaj vid oštećenja se može manifestovati u vidu dijagonalnih pukotina, najčešće u obliku slova „X“ (Slike 4-13 a) i 4-15) ili oštećenja uglova zida ispune (Slika 4-13b). Još dva karakteristična tipa oštećenja ispune u ravni, koja su zabeležena i u ovom zemljotresu, jesu horizontalno klizanje po malterskoj spojnici ili oštećenje centralnog dela zida usled izbočavanja (Slika 4-16). Treba napomenuti da je u toku obilaska oštećenih konstrukcija uočen značajan broj zidova ispune u kojima su blokovi bili postavljeni tako da su šupljine orijentisane horizontalno (pogledati Odeljak 3.2), i moguće je da je to dovelo do povećanja nivoa oštećenja, ali su potrebna detaljnija istraživanja kako bi se ovo ispitalo.



Slika 4-15: Dijagonalne pukotine u zidanoj ispuni



Slika 4-16: Lom zidane ispune izbočavanjem u sredini

Pored oštećenja ispune usled dejstva zemljotresa u ravni zida, zabeležen je značajan broj slučajeva oštećenja ispune usled dejstva zemljotresa upravno na ravan zida. Usled ubrzanja koja se javljaju na nivou svake tavanice, na zid ispune pored deformacija rama deluje i inercijalna sila koja je proizvod ubrzanja i mase zida (Butenweg i ost., 2018a). Usled ovog opterećenja može doći do loma zida van ravni ili čak i do njegovog potpunog ispadanja iz AB rama (Slika 4-17). Čest tip loma van ravni jeste nagnjanje zida kao krutog tela, što se javlja zbog gubitka kontakta između ispune i zida (Slika 4-18). Naime, ispuna se tradicionalno izvodi tako što malter zapuni spojnici na kontaktu ispune i rama. Međutim, taj malter biva oštećen pri deformacijama rama u ravni i time se gubi veza rama i ispune, čime zid ispune postane ranjiv na dejstvo opterećenja van ravni (Butenweg i ost., 2018b).

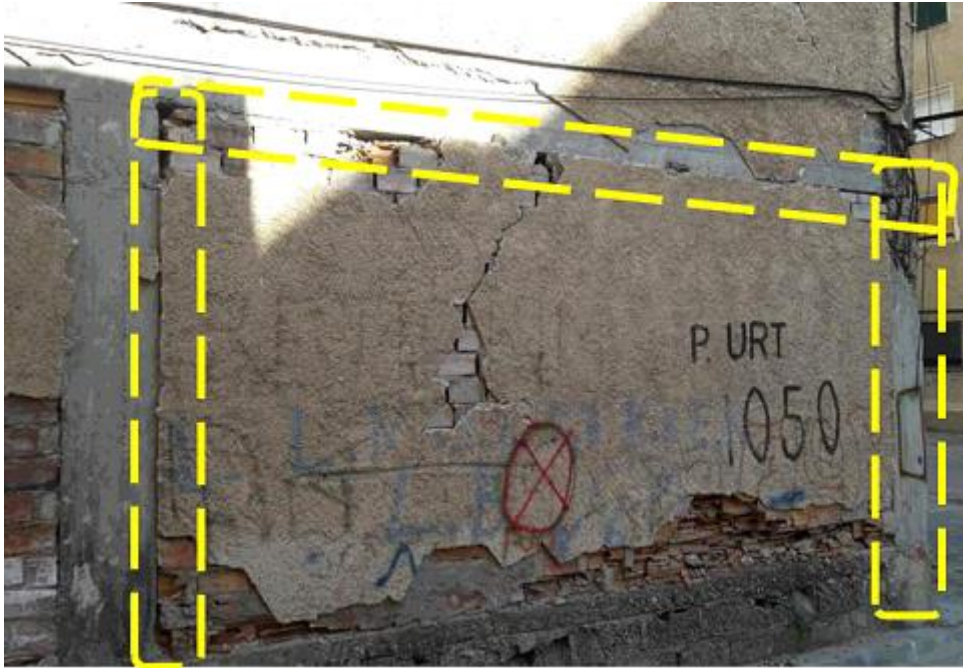


a)



b)

Slika 4-17: Lom i ispadanje zida van ravni na zgradama u Draču (Durrës)



Slika 4-18: Gubitak veze rama i ispune i naginjanje zida van ravni na zgradi u Draču (Durrës)

Oštećenja ispune na nižim spratovima su uočena u prethodnim zemljotresima u svetu, pa i u ovom zemljotresu. Ova oštećenja su često praćena ispadanjem delova ili celog zida ispune van ravni. Na velikom broju zgrada koje smo obišli smo primetili oštećenja ispune van ravni na nižim spratovima, dok su zidovi ispune na višim spratovima ostali netaknuti. Ovakvo oštećenje ispune van ravni na donjim spratovima zgrada nije očekivano jer je poznato da se maksimalna horizontalna ubrzanja povećavaju na visim etažama usled amplifikacije. Iz pojednostavljene perspektive, očekuje se veći nivo oštećenja usled deformacije rama na nižim spratovima zgrade (u ravni zida), ali veća oštećenja usled opterećenja van ravni na višim nivoima. Ovo se može objasniti činjenicom da su za vreme zemljotresa zidovi ispune izloženi istovremeno opterećenju u ravni i upravno na ravan zida. Takva kombinacija opterećenja dovodi do velikog nivoa oštećenja zidane ispune koji je zabeležen nakon zemljotresa od 26.11.2019. (Slike 4-19, 4-20, 4-21). Pored loma ispune na perifernim ramovima, isti efekat je zabeležen i unutar objekata (Slike 4-22 i 4-23). Ovakav tip ponašanja se može objasniti oštećenjem ispune usled deformacije rama, što dovodi do značajne ranjivosti ispune na opterećenje upravno na ravan zida i njegov lom. Ovo se može jasno videti na Slici 4-23, koja pokazuje da je zid najpre oštećen usled dejstva u ravni i nakon toga su oštećeni delovi ispali van ravni. Pored toga, do loma ispune usled ove kombinacije dejstva često dolazi zbog deformacije rama koja dovodi do gubitka kontakta između rama i ispune, tako da ispuna nije više povezana sa ramom, pa je i mala sila van ravni dovoljna da dovede do njenog kompletnog kolapsa i ispadanja van ravni. Suština ranjivosti zidane ispune na dejstvo opterećenja upravno na ravan zida je baš u gubitku kontakta sa ramom na jednom kraju zida i smanjenjem kontaktne površine na drugom kraju zida, što se može jasno videti na Slici 4-24. Pri opterećenju ispune u ravni, kontaktna površina između rama i ispune (označena crvenom bojom) je svedena na uglove u kojima se formira pritiskuta dijagonala, dok se u suprotnim uglovima javlja odvajanje rama od ispune. Kada se još pojavi i opterećenje van ravni, dolazi do dodatnog smanjenja te kontaktne zone usled savijanja zida. Na kraju, ispuna ima kontakt sa ramom na jako malom delu preko smanjene površine koja nije dovoljna da prenese sve uticaje i delovi zida van kontaktne zone ispadaju van ravni. Dodatno, usled opterećenja u ravni malter na spoju između rama i ispune biva oštećen a samim tim i kontaktna površina između rama i ispune.

Treba istaći da ispadanje ispune van ravni potencijalno može da ugrozi živote prolaznika (Slika 4-19), pa je zbog toga neophodno je uzeti u obzir interakciju opterećenja u ravni i upravno na ravan zida. Nažalost, samo nekoliko istraživanja (Butenweg i ost., 2019; Kadysiewski i Mosalam, 2009; Yuen i ost., 2016) je sprovedeno na ovu temu kombinovanog dejstva opterećenja, ali je u poslednje 3-4 godine primetan rast interesovanja za ove efekte.



Slika 4-19: Oštećenje i ispadanje zida van ravni na zgradi u priobalnoj zoni Drača (Durrës)



Slika 4-20: Oštećenje i ispadanje ispune van ravni na zgradi u Draču (Durrës)



Slika 4-21: Oštećenje i ispadanje ispune van ravni na zgradi u Draču (Durrës)



a)

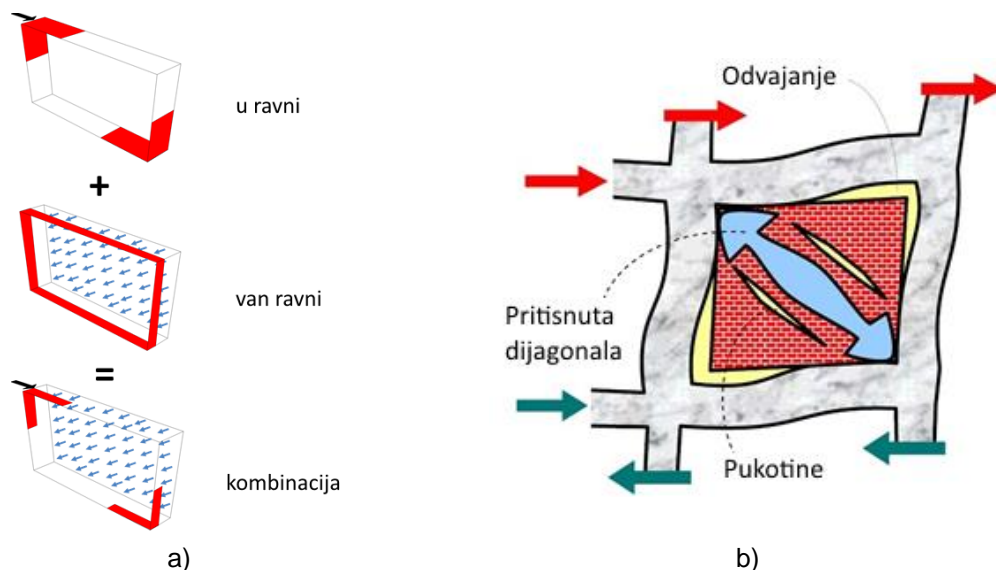


b)

Slika 4-22: Oštećenje i ispadanje ispune van ravni unutar zgrade u Draču (Durrës)



Slika 4-23: Oštećenje i ispadanje ispune van ravni unutar zgrade u Draču (Durrës)



Slika 4-24: a) Ponašanje zidane ispune pri kombinovanom dejstvu opterećenja u ravni i upravno na ravan zida (Butenweg i ost., 2019) i b) formiranje pritisnute dijagonale i odvajanje rama od ispune usled opterećenja u ravni (Murty i ost., 2012)

4.3 Prefabrikovane AB konstrukcije zgrada

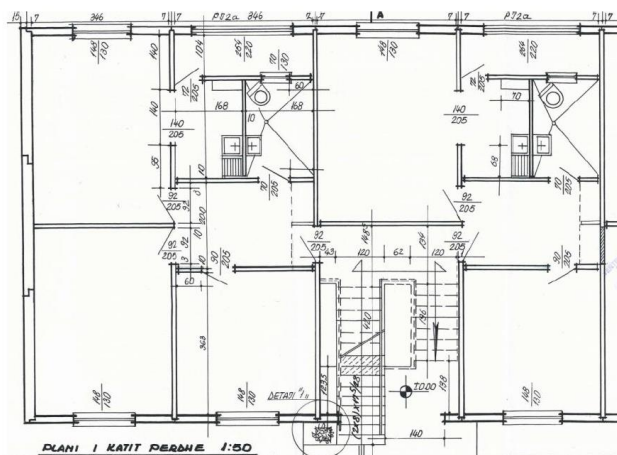
Značajan broj prefabrikovanih AB zgrada je bio izložen dejstvu ovog zemljotresa, pre svega zgrade izgrađene primenom krupnopanelnog sistema gradnje, kao što je objašnjeno u Poglavlju 3. Tehnologija građenja krupnopanelnih prefabrikovanih zgrada je značajna i za Srbiju i ostale zemlje u regionu, jer je ova tehnologija bila široko primenjivana u stambenoj gradnji u vreme SFRJ. Većina prefabrikovanih sistema građenja koji su primenjivani u tom periodu (a bilo ih je više od 15) bila je zasnovana na primeni AB panela (Vuković, 2007). Razvoj sistema prefabrikovane gradnje u SFRJ započeo je 1957. godine (Sistem IMS), a tehnologija prefabrikovane gradnje je bila u širokoj primeni do početka 1990-tih godina. Danas postoji značajan fond ovakvih zgrada u većim gradovima u Srbiji, uključujući i

Beograd. Nekoliko stambenih blokova na Novom Beogradu (npr. blokovi 61-64) izgrađeno je primenom krupnopanelnog sistema gradnje “Rad-Balancy” (Mecanov, 2016) (Slika 4-25). Saznali smo od albanskih kolega da su i prefabrikovane AB ramovske konstrukcije zgrada pretrpele oštećenja u epicentralnom području ovog zemljotresa, ali nemamo dovoljno informacija u vezi ponašanja tih objekata.



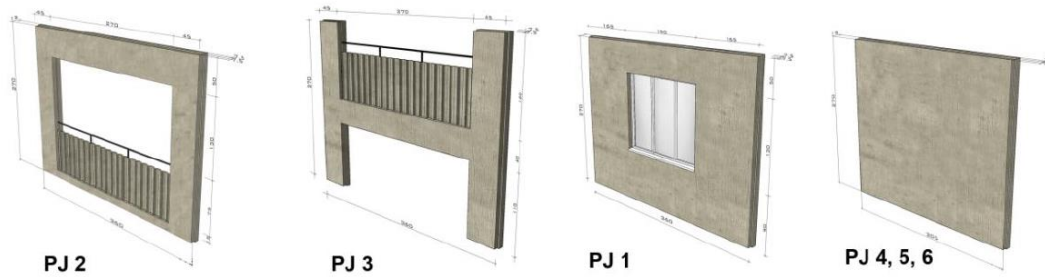
Slika 4-25: Krupnopanelne AB zgrade u sistemu “Rad-Balancy”, Blok 63, Novi Beograd

Krupnopanelni sistem se u Albaniji koristi za izgradnju stambenih zgrada srednje visine, koje su najčešće u obliku lamela pravougaone osnove, približne dužine 50 m i širine 11 m. Dispozicija tipične zgrade ovog tipa prikazana je na Slici 4-26. Razmak između susednih zidova je u rasponu od 3,6 do 4,8 m. Vertikalni paneli su noseći zidovi sa visinom jednakom spratnoj visini (2,8 m). Tipovi zidnih panela (sa i bez otvora) su prikazani na Slici 4-27. Fasadni AB paneli su armirani sa dve armaturne mreže i imaju debljinu 22 cm, dok je debljina unutrašnjih panela 14 cm (Islami, 2016). Horizontalni AB paneli sačinjavaju međuspratnu konstrukciju i projektovani su kao AB ploče sa dva sloja armature. Dimenzije horizontalnih panela su jednake veličini sobe. Crteži koji dokumentuju dispozicije tipskih zgrada i detalje panela su dostupni u arhivi (AQTN, 1983). Tehnologija prefabrikovane gradnje koja je korišćena u Albaniji potiče iz Kine. Tipiski projekti zgrada su izrađeni u Građevinskom Institutu prema albanskim tehničkim propisima iz 1963. godine, ali nije poznato koji su bili kriterijumi za aseizmičko projektovanje ovih zgrada (Guri, Luka, i Brzev, 2020).

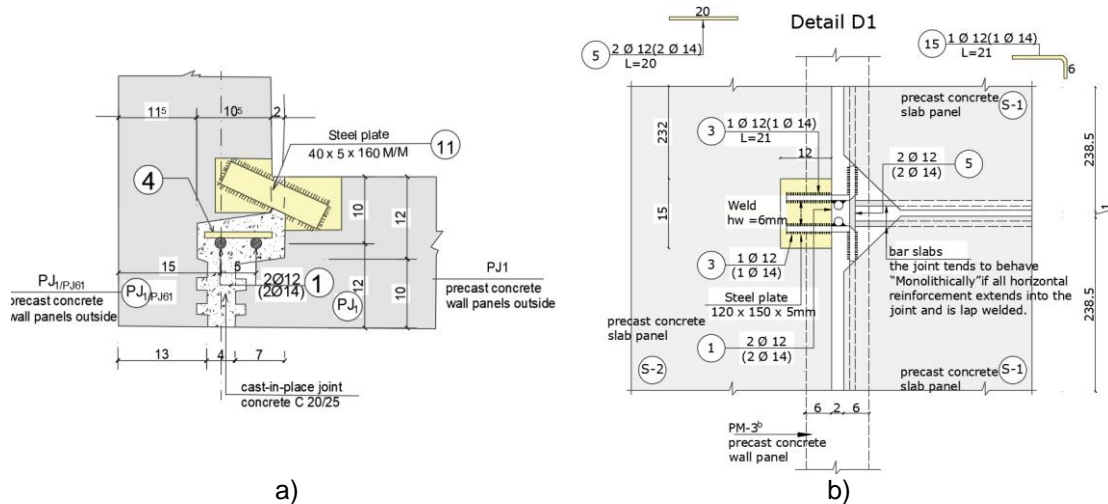


Slika 4-26: Parcijalna osnova tipične krupnopanelne zgrade iz Albanije (Islami i Veizaj, 2014)

Veze između vertikalnih panela ostvarene su zavarivanjem horizontalnih metalnih pločica koje su postavljene na određenim mestima u okviru spratne visine (Slika 4-28 a). Vertikalne ivice panela su nazubljene kako bi mogle da preuzmu sile smicanja duž vertikalnog spoja panela. Veza između horizontalnih panela (tavanica) i vertikalnih zidnih panela je ostvarena putem zavarivanja (Slika 4-28 b).



Slika 4-27: Tipovi prefabrikovanih zidnih panela (Islami i Veizaj, 2014)



Slika 4-28: Veze između prefabrikovanih panela: a) veze između vertikalnih panela (horizontalni presek) i b) veza između horizontalnih panela (Guri, 2020a)

Mnoge zgrade ovog tipa bile su u lošem stanju i pre zemljotresa, pre svega usled propadanja betona (pukotina i otpadanja zaštitnog sloja), kao i korozije armaturnih šipki (nije poznato da li je došlo i do korozije zavarenih veza). U nekim slučajevima zidni paneli su bili oštećeni, uklonjeni ili zamenjeni zidovima od zidarije u toku renoviranja stambenih jedinica (Slika 4-29). Primećena je i vlaga u fasadnim zidovima u predelu spojeva panela usled kiše.

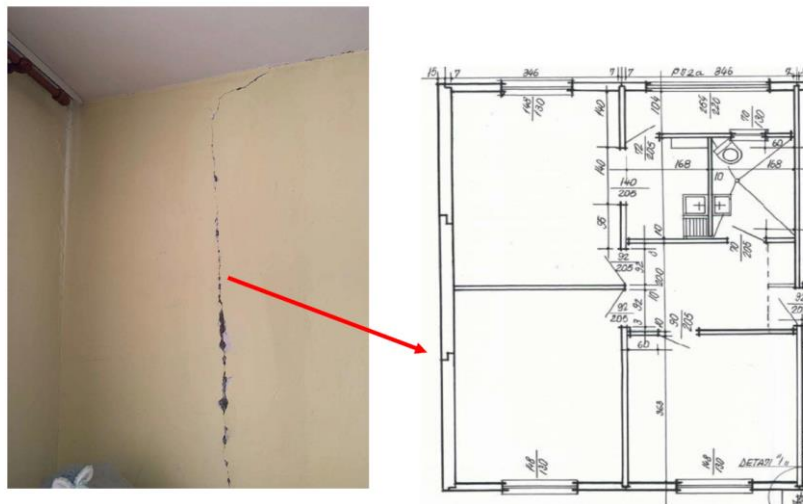


Slika 4-29: Stanje krupnopanelnih zgrada u Albaniji: a) propadanje fasadnih elemenata; b) ispunjavanje prostora zidarijom (renoviranje) i c) propadanje betona i korozija armature na nivou prizemlja

Krupnopanelne zgrade su bile izložene zemljotresu od 26.11.2019. na dve lokacije: Tirana (naselje Kombinat) i Drač (Durrës). Zgrade na obe lokacije su bile veoma slične i u pogledu visine i dispozicije. Najveći broj ovih zgrada nije pretrpeo značajna konstruktivna oštećenja, tako da su sve zgrade ovog tipa bile naseljene posle zemljotresa. Oštećenja nisu bila vidljiva spolja na fasadi zgrada već samo u unutrašnjosti. Slika 4-30 pokazuje pukotine u betonu na mestima veza između horizontalnih i vertikalnih panela. Slika 4-31 pokazuje pukotine na spoju između zidnih panela u ravni zida. Koliko nam je poznato, nisu izvršena ispitivanja kako bi se utvrdilo da li je u toku zemljotresa došlo do oštećenja zavarenih veza.



Slika 4-30: Oštećenja krupnopanelnih zgrada na spojevima između horizontalnih i vertikalnih panela, Tirana (Kombinat)



Slika 4-31: Oštećenja krupnopanelnih zgrada na spojevima između vertikalnih fasadnih panela, Tirana (Kombinat)

Važno je naglasiti da su na lokacijama gde su se nalazile zgrade sa krupnopanelnim sistemom gradnje i druge vrste objekata pretrpele značajna oštećenja, što ukazuje na viši intenzitet zemljotresa. Tako je npr. u Tirani (naselje Kombinat) nekoliko zgrada sa AB ramovima i zidanom ispunom pretrpelo ozbiljna oštećenja pa su bile srušene. Ovo se može objasniti amplifikacijom ubrzanja usled uticaja mekog tla na ovoj lokaciji. Parametri seizmičkog hazarda za ovaj deo grada su propisani albanskim aseizmičkim propisom KTP-N.2-89, tako da je intenzitet zemljotresa za Kombinat VII 1/2 ili VIII, dok je u ostalim delovima Tirane propisan intenzitet VII. U Draču, gde su se isto nalazile prefabrikovane AB zgrade, došlo je do ozbiljnih oštećenja AB zgrada sa ramovskom konstrukcijom (kao što je opisano ranije u ovom poglavlju), ali se te lokacije ne nalaze u blizini krupnopanelnih zgrada. Projektni intenzitet zemljotresa u delu grada gde su se nalazile krupnopanelne zgrade je VIII, što je niže od nekih drugih lokacija u Draču gde je intenzitet IX. Informacije u vezi zabeleženih

ubrzanja tla u toku zemljotresa, kao i spektara odgovora u Tirani i Draču, se nalaze u Poglavlju 2.

Može se zaključiti da su prefabrikovane AB zgrade sa krupnopanelnim sistemom gradnje ili pretrpele minimalna oštećenja usled ovog zemljotresa ili nisu uopšte bile oštećene. Ovakvo ponašanje prefabrikovanih AB konstrukcija zgrada u toku zemljotresa od 26.11.2019. ukazuje da su ove konstrukcije robusne, odnosno da imaju značajan kapacitet nosivosti za prijem seizmičkih dejstava. Oštećenja su primećena samo na spojevima između panela, što ukazuje na nizak intenzitet zemljotresa, ali i na mogući mehanizam loma ovakvih konstrukcija. Naime, izgleda da veze između panela imaju manju nosivost na smicanje u poređenju sa zidnim panelima. Zbog toga bi u slučaju zemljotresa većeg intenziteta moglo da dođe do dalje degradacije/loma u predelu spojeva/veza, što bi dovelo do mehanizma loma usled smicanja na nivou spojeva. Uopštene diskusije na temu nelinearnog ponašanja i mehanizma loma ovakvih konstrukcija usled dejstva zemljotresa nalaze se u drugim publikacijama, npr. FIB (2008) i UNIDO (1983).

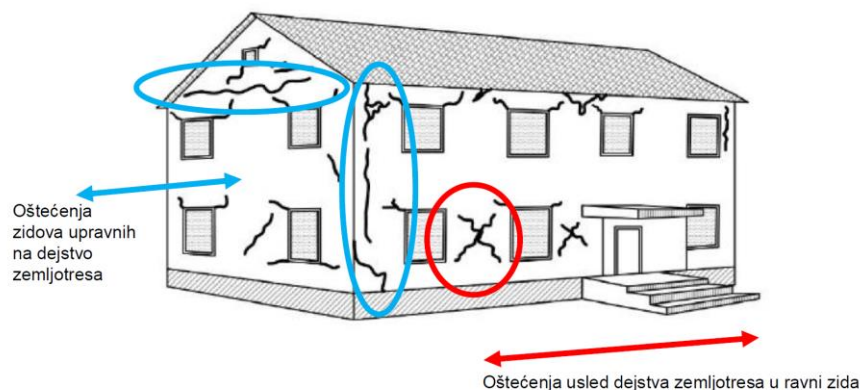
5 Ponašanje zidanih konstrukcija stambenih zgrada i objekata od istorijskog i duhovnog značaja

Svetlana Nikolić-Brzev¹

U Albaniji, kao i u Srbiji, zidarija je tradicionalna tehnologija gradnje za porodične stambene zgrade niže spratnosti (1 do 3 etaže), međutim u periodu od 1960. do 1990. ova tehnologija se primenjivala i za izgradnju višeporodičnih stambenih zgrada (uglavnom 3 do 5 etaža). U ovom poglavlju predstavljena su zapažanja članova SUZI tima u vezi uzroka oštećenja i rušenja zidanih konstrukcija zgrada i objekata od istorijskog i duhovnog značaja usled zemljotresa od 26.11.2019. Zidane konstrukcije zgrada u Albaniji su projektovane prema istim tehničkim propisima kao i AB konstrukcije zgrada. Zbog široke primene zidanih objekata u Albaniji tehnički propisi izdati pre 1989. godine (tj. pre propisa KTP-N.2-89) su se uglavnom bavili zidanim konstrukcijama (npr. propis KTP-78), i odnosili su se na minimalne zahteve u vezi dimenzija konstruktivnih elemenata i karakteristika materijala. Bila je dozvoljena gradnja nearmiranih zidanih zgrada visine do pet etaža. Gradnja zidanih zgrada za višeporodično stanovanje se u većini slučajeva zasnivala na tipskim projektima.

5.1 Uzroci oštećenja zidanih konstrukcija zgrada usled dejstva zemljotresa

Zidane konstrukcije imaju zadovoljavajuću nosivost na pritisak usled dejstva gravitacionog opterećenja, međutim zidarija ima veoma nisku otpornost na zatezanje, tako da u zidovima izloženim dejstvu zemljotresa dolazi do razvoja prslina kada se prekorači čvrstoća na zatezanje. Slika 5-1 prikazuje tipična oštećenja nearmiranih zidanih konstrukcija usled dejstva zemljotresa u ravni zida i upravno na ravan zida. Oštećenja usled zemljotresne pobude u ravni zida, pre svega karakteristične dijagonalne ("X") pukotine nastale usled prekoračenja čvrstoće na zatezanje, označene su crvenom bojom na slici. Pored toga, postoje i tipična oštećenja usled dejstva zemljotresa upravno na ravan zida koja su označena plavom bojom na slici. Karakteristične su vertikalne pukotine na spoju između podužnih i poprečnih zidova, naročito kod konstrukcija sa fleksibilnim tavanicama ili u slučajevima kada zidovi nisu adekvatno povezani sa tavanicama. Horizontalne pukotine na vrhu i/ili na sredini visine zida su isto posledica dejstva zemljotresa upravno na ravan zida.



Slika 5-1: Tipična oštećenja zidanih zgrada (zasnovano na Grünthal 1998)

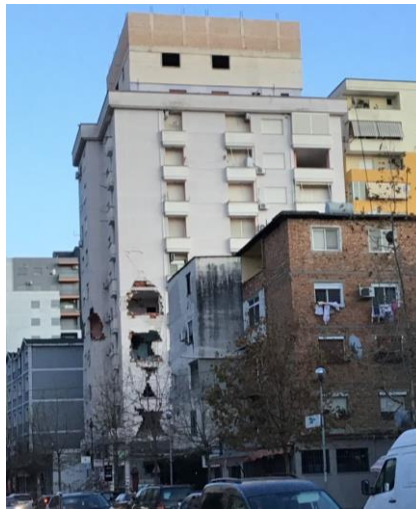
Jedan od uzroka oštećenja zidanih zgrada u Albaniji je nizak kvalitet materijala i izvođenja ovih zgrada. Ovo je prouzrokovalo relativno nisku nosivost zidova, koja pre svega zavisi od mehaničkih karakteristika zidarije, čvrstoće na pritisak i smicanje, kao i dimenzija zida.

¹ Predsednica, Srpsko udruženje za zemljotresno inženjerstvo (SUZI-SAE) i profesor, Univerzitet Britanske Kolumbije (UBC), Vankuver, Kanada

5.2 Stambene zgrade

5.2.1 Opšti komentari u vezi ponašanja stambenih zgrada

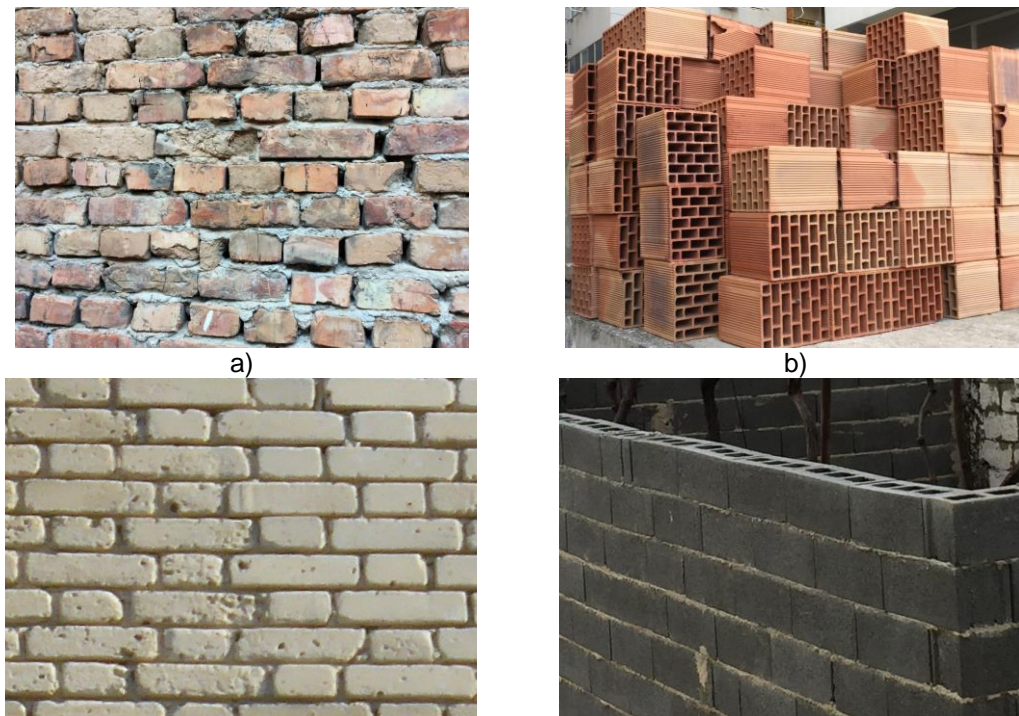
Na osnovu posete nekoliko pogođenih gradova i sela članovi SUZI tima zaključili su da zidane konstrukcije zgrada nisu pretrpele ozbiljna oštećenja usled ovog zemljotresa, međutim ovo opažanje nije zasnovano na zvaničnim statističkim podacima (koji nisu dostupni). Slika 5-2 prikazuje neoštećene zidane zgrade srednje visine u Draču (Durrës), dok se u pozadini nalazi AB višespratnica koja je pretrpela oštećenja zidova ispune u ovom zemljotresu.



Slika 5-2: Neoštećena zgrada od nearmirane zidarije (napred) i moderna AB zgrada sa oštećenom zidanom ispunom (pozadina) u Draču (Durrës)

Pri izgradnji zidanih objekata u Albaniji korišćeni su različiti materijali, kao što su puna opeka od pečene gline, ošupljeni glineni blokovi, silikatna opeka, kao i šuplji betonski blokovi (Slika 5-3). Treba napomenuti da je pre 1990. godine uglavnom korišćena puna opeka od pečene gline, a u nekim slučajevima i silikatna opeka (tipične dimenzije 250 mm x 120 mm x 65 mm). Primena ošupljenih glinenih blokova započela je posle 1990. godine. Blokovi prikazani na slici imaju dužinu od 250 mm, a ošupljena površina ima dimenzije 190 x 250 mm. Ovakvi blokovi se najčešće koriste za gradnju ispune u AB konstrukcijama zgrada, osim u retkim slučajevima kada su u pitanju zidane zgrade niže spratnosti. Šuplji betonski blokovi nisu široko primenjivani za izgradnju zidanih zgrada, međutim prema izveštaju Svetske Banke (World Bank, 2019) većina zgrada sa zidovima od šupljih betonskih blokova su pretrpele ozbiljna oštećenja i/ili kolaps, najverovatnije zbog lošeg kvaliteta (čvrstoće) šupljih blokova.

Mehaničke karakteristike materijala zidanih konstrukcija (opeka, malter) značajno utiču na nosivost konstrukcijskih elemenata usled kombinovanog dejstva gravitacionog i seizmičkog opterećenja. Prema informacijama iz albanskih izvora prosečna marka opeke je M-75 (čvrstoća na pritisak 7.5 MPa), dok marka maltera varira od M-15 do M-25 (čvrstoća na pritisak 1.5 do 2.5 MPa) (Bilgin i Korini, 2012; Guri, 2019). Na osnovu ovih karakteristika može se smatrati da je u pitanju zidarija niske čvrstoće. Fasade na najvećem broju zidanih zgrada u Albaniji nemaju malter, što je svakako uticalo na ubrzano propadanje konstrukcije usled atmosferskih uticaja. Kao što je pomenuto u Poglavlju 3, u nekim slučajevima je kvalitet izvođenja radova bio prilično loš (Slika 5-3 a).



Slika 5-3: Tipovi zidarije koji se primenjuju u Albaniji: a) puna opeka od pečene gline (cigle); b) ošupljeni glineni blokovi; c) silikatna opeka, i d) šuplji betonski blokovi

Primitili smo i da su često korišćeni različiti tipovi opeke u istoj zgradi, najverovatnije zbog renoviranja i nadogradnje ovih zgrada tokom vremena. Slika 5-4 prikazuje zidanu zgradu sa 5 etaža, koja je izgrađena korišćenjem pune opeke od pečene gline, ali je na četvrtoj etaži fasadni zid renoviran korišćenjem silikatne opeke, dok su parapeti u okviru zastakljenih balkona su izgrađeni korišćenjem ošupljenih glinenih blokova.



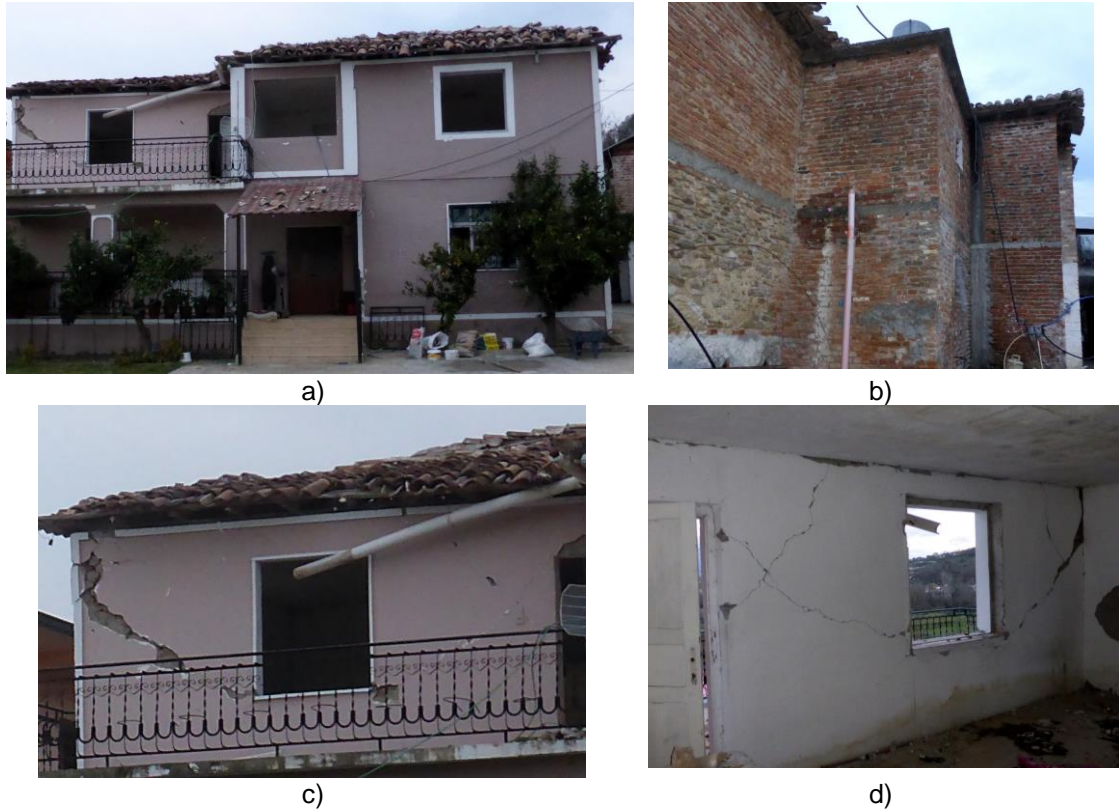
Slika 5-4: Korišćenje različitih zidanih elemenata u istoj zgradi

5.2.2 Niske porodične zgrade

Niske porodične zgrade sa zidovima od nearmirane zidarije uglavnom su pretrpele manja oštećenja u epicentralnom području ovog zemljotresa. Slika 5-5 prikazuje prednju fasadu jednospratne zidane zgrade u selu Bubč (Bubq), u kome je nekoliko niskih zgrada sa AB ramovima pretrpelo značajna oštećenja. Zgrada je od nearmirane zidarije (puna opeka), ali se može primetiti i zid od kamena u prizemlju - pretpostavljamo da je to najstariji deo zgrade koja je bila nadograđivana tokom vremena.

Međuspratna konstrukcija u ovoj zgradi je od armiranog betona (Slika 5-5 b), dok je krovna konstrukcija od drveta sa crepnim pokrivačem. Ova zgrada se nalazila na uzvišenju, a

susedna novija zgrada iste visine i približno istih dimenzija nije pretrpela oštećenja (pretpostavlja se da je u pitanju AB ramovska konstrukcija sa zidanom ispunom). Ova zgrada je pretrpela oštećenja, pre svega na nivou druge etaže (Slika 5-5 c i d). Primećene su dijagonalne pukotine između otvora, koje su karakteristične za dejstvo zemljotresa u ravni zida. Stepene i lokacija oštećenja se mogu objasniti uticajem fleksibilne krovne konstrukcije, kao i nedostatkom horizontalnog serklaža na nivou krova. Dijagonalna pukotina na uglu zgrade je povezana sa vertikalnom pukotinom na spoju između poprečnog i podužnog zida, što ukazuje na dejstvo zemljotresa upravno na ravan zida. Primetili smo i da je došlo do značajnog oštećenja krovnog pokrivača na ovoj, a i na susednoj zgradi.



Slika 5-5: Porodična zgrada od nearmirane zidarije u selu Bubć: a) prednja fasada (omalterisana); b) zadnja fasada; c) oštećenje zida na prvom spratu (pogled spolja) i d) oštećenja istog zida (pogled iznutra)

Pored ove zgrade nalazila se još jedna jednospratna zgrada od nearmirane zidarije i sa drvenom krovnom konstrukcije (Slika 5-6). Može se videti da je poprečni zid pretrpeo oštećenja usled dejstva zemljotresa upravno na ravan zida. Ova oštećenja su u vidu vertikalnih pukotina na oba kraja zida, pri čemu je pukotina na desnoj strani veća i proteže se celom visinom zida na nivou prvog sprata. Može se primetiti odsustvo horizontalnog serklaža na nivou krova, koji je kritičan za održanje integriteta zgrade u toku zemljotresa. Ovaj tip oštećenja može da dovede do rušenja pojedinih zidova a zatim i delimičnog ili potpunog kolapsa cele konstrukcije.

Nearmirana zidana zgrada od šupljih betonskih blokova oštećena je u mestu Tumanë (Thumanë), gde smo primetili oštećenje nekoliko niskih zidanih zgrada, a četiri zidane zgrade srednje visine su se srušile. Slika 5-7 prikazuje oštećenu zgradu, koja je imala AB ploču kao krovnu konstrukciju. Zidovi u ovoj zgradi su pretrpeli ozbiljna oštećenja i u pravcu dejstva zemljotresa (crvena boja na slici) i upravno na dejstvo zemljotresa (plava boja). Dijagonalne pukotine usled dejstva zemljotresa u ravni zida su formirane duž spojnica između blokova (tzv. stepenaste pukotine), i karakteristične su za nearmiranu zidariju sa betonskim blokovima. U zidu koji je bio izložen zemljotresu upravno na svoju ravan primećena je horizontalna pukotina na spoju između zida i krovne ploče. Uzrok značajnih oštećenja ove zgrade je niska čvrstoća zidarije (maltera i betonskih blokova) na smicanje, a naravno i odsustvo armature. Iskustva iz zemalja u kojima se koristi nearmirana zidarija sa šupljim

betonskim blokovima niske čvrstoće (npr. Haiti) su pokazala veoma loše ponašanje ovakvih konstrukcija, uključujući i kolaps, usled dejstva zemljotresa. Treba naglasiti da se armirana zidarija sa šupljim betonskim blokovima primenjuje u zemljama sa visokim seizmičkim hazardom, kao što su SAD, Novi Zeland i Kanada, u kojima su ovakve konstrukcije pokazale dobro ponašanje usled dejstva zemljotresa. Eksperimentalna ispitivanja zidova od armirane zidarije pod dejstvom simuliranog seizmičkog opterećenja ukazala su na veliki duktilitet ovih konstrukcija (Robazza i ost., 2018). Velika razlika u ponašanju između ovakvih konstrukcija u različitim zemljama se može objasniti razlikom u kvalitetu/čvrstoći betonskih blokova, kao i prisustvu ili odsustvu horizontalne i vertikalne armature.

Pretpostavljamo da su neke niske zidane zgrade bile izgrađene sa horizontalnim i vertikalnim serklažima (vidi Sliku 3-4 b), međutim takve zgrade nisu pretrpele oštećenja. Fasade niskih zidanih zgrada su uglavnom bile prekrivene malterom, pa je teško prepoznati zidane zgrade sa serklažima od nearmirane zidarije.



Slika 5-6: Oštećenja nearmirane zidane zgrade sa fleksibilnim drvenim krovom usled dejstva zemljotresa upravnog na ravan zida, selo Bubć



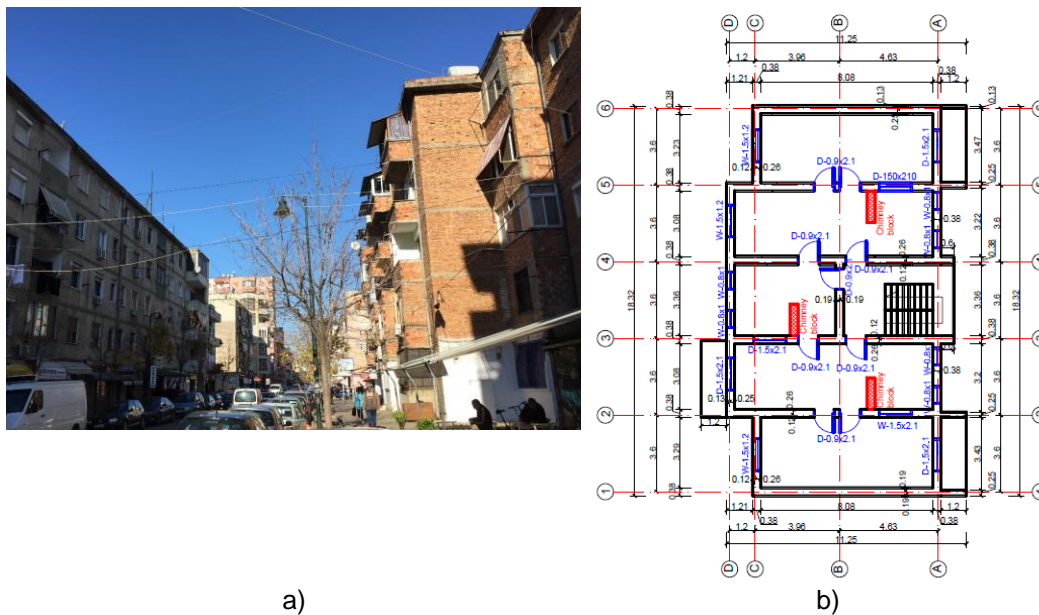
Slika 5-7: Prizemna zidana zgrada od betonskih blokova u mestu Tumane – oštećenja u ravni zida (crveno) i upravno na ravan zida (plavo)

5.2.3 Zgrade srednje spratnosti

U periodu od 1960. do 1990. godine zidane zgrade srednje spratnosti su se koristile za višeporodično stanovanje, uključujući i nearmiranu zidariju, zidariju sa serklažima, kao i

hibridni sistem. Važno je napomenuti da su ovakve zgrade izvođene prema tipskim projektima, tako da su identične zgrade ovog tipa postojale u različitim gradovima ili na različitim lokalitetima u istom gradu. Zidane konstrukcije su projektovane prema albanskim propisima iz 1978. ili 1989. godine. Zgrade sa 3 i 4 etaže su građene korišćenjem nearmirane zidarije. Slika 5-8 a) prikazuje tipične nearmirane zidane zgrade u centru Drača koje nisu pretrpele oštećenja usled zemljotresa, a Slika 5-8 b) prikazuje arhitektonski plan ovakve zgrade. Može se videti da su zidovi u poprečnom pravcu prilično ravnomerno raspoređeni na razmaku od 3.6 m, dok u podružnom pravcu postoje uglavnom spoljašnji (fasadni) zidovi. Za gradnju zidova najčešće se koristila puna glinena opeka (cigle), a debljina zidova je 38 cm na nivou prizemlja i prvog sprata i 25 cm na nivou viših spratova. Međuspratne konstrukcije i krovne konstrukcije su ili AB ploče livene na licu mesta ili ošupljene prefabrikovane AB ploče.

Nearmirane zidane zgrade sa AB međuspratnim konstrukcijama livenim na licu mesta ili nisu bile oštećene ili su pretrpele lakša oštećenja u toku zemljotresa. Ovo se može objasniti prisustvom krutih tavanica i simetričnom dispozicijom osnove zgrade. Slika 5-9 prikazuje lakše oštećenje zgrade ovog tipa. Mogu se primetiti dijagonalne pukotine usled dejstva zemljotresa u ravni zida, uglavnom na nivou donje tri etaže.



Slika 5-8: Višeporodične zidane zgrade u Draču: a) tipična ulica u centru grada i b) tipski plan nearmirane zidane zgrade 72/1 (Bilgin i Korini, 2012)

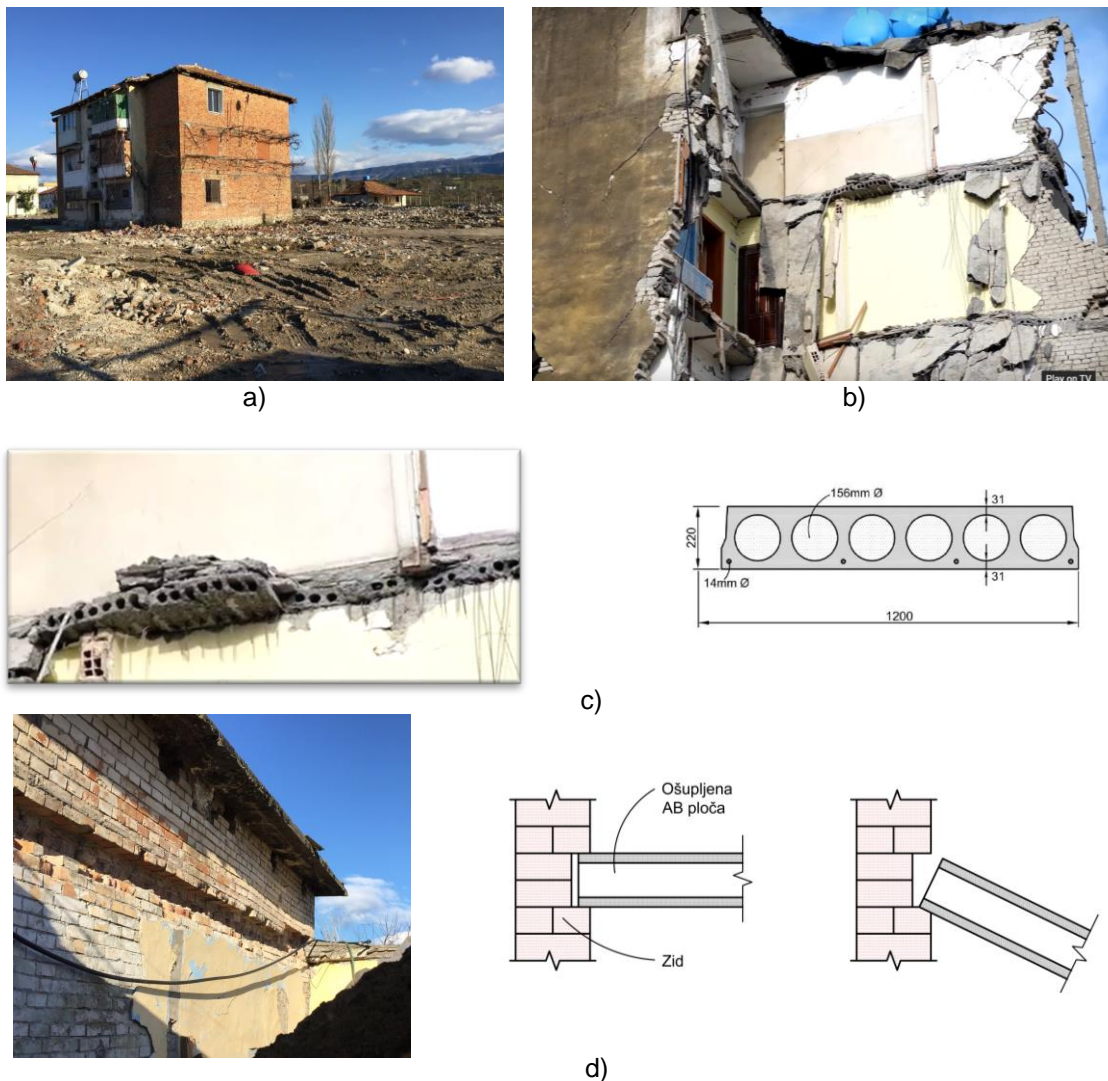


Slika 5-9: Oštećenje nearmirane zidane zgrade sa 5 etaža, Fuše Kruja

U mestu Tumane (Thumanë) je došlo do rušenja četiri zgrade sa pet etaža od nearmirane zidarije sa ošupljenim prefabrikovanim AB tavanicama, koje su prouzrokovale 24 ljudske žrtve. Važno je napomenuti da su se u neposrednoj blizini nalazile zgrade od nearmirane zidarije (puna glinena opeka) sa monolitnim AB tavanicama koje nisu pretrpele nikakva konstruktivna oštećenja (Slika 5-10 a), kao i AB rezervoar za vodu koji je ostao neoštećen. Verujemo da su kolaps ovih zgrada prouzrokovale slobodno oslonjene tavanice, kao i odsustvo integriteta prefabrikovanih AB elemenata zbog odsustva sloja betona livenog na licu mesta posle montaže tavanice, kao i AB grede na obodu tavanice (Slika 5-10 b i c). Ove tavanice su najverovatnije projektovane prema albanskom propisu iz 1978. godine, koji nije sadržao detaljne odredbe u vezi postizanja integriteta tavanice. Nije se pominjao zahtev za izlivanjem sloja betona posle montaže tavanice. Propis iz 1989. godine preporučuje izlivanje sloja betona („topinga“) debljine 40 mm koji treba da se armira šipkama prečnika 4 mm na razmaku od 20 cm, međutim ovo nije bilo obavezno. Osim toga, propis iz 1978. godine nije eksplicitno zahtevao minimalnu dužinu oslanjanja ovakve tavanice, dok propis iz 1989. godine propisuje minimalnu dužinu oslanjanja od 8 cm za unutrašnje zidove i 10 cm za spoljašnje zidove. Propis iz 1978. godine je sadržao odredbu u vezi monolitne AB grede po obodu tavanice, ali nisu postojale preporuke u vezi dimenzija i detalja armature za takve grede. Važno je naglasiti da oba propisa napominju da su krupnopanelne AB tavanice bolje rešenje od ošupljenih AB tavanica. Nije poznato da li su ove zgrade bile projektovane prema albanskim propisima koji su bili na snazi u vreme njihove izgradnje, međutim na osnovu informacija iz albanskih medija izgleda da su ove zgrade bile u lošem stanju i pre zemljotresa pa su stanari bili zabrinuti za njihovu sigurnost (Reporter, 2019).

Osim toga, izgleda da je silikatna opeka koja je korišćena za izgradnju zidova bila lošeg kvaliteta, što je doprinelo niskoj čvrstoći zidarije. Članovi SUZI tima nisu imali priliku da posete ove zgrade jer su ruševine bile uklonjene pre naše posete. Međutim, u neposrednoj blizini ovih zgrada nalazila se prizemna zgrada sa prefabrikovanom AB krovnom konstrukcijom koja se takođe srušila u toku zemljotresa ali nije bila uklonjena, tako da je bilo moguće videti detalj veze tavanica-zid (Slika 5-10 d – levo). Na osnovu izveštaja drugih timova koji su posetili Albaniju posle zemljotresa (EEFIT, 2020), može se zaključiti da su ovakve zgrade pretrpele značajna oštećenja i u drugim gradovima u epicentralnoj oblasti ovog zemljotresa (Slika 5-10 d).

Zidarija sa horizontalnim i vertikalnim AB serklažima primenjivala se u Albaniji za gradnju zgrada više spratnosti (5 etaža) u Albaniji. Ova tehnologija gradnje poznata je pod nazivom *kompleksni sistem*, i zvanično je uvedena u građevinsku praksu kroz amandman propisa KTP-78 koji je izdat 1982. godine, a zatim i kroz odredbe tehničkog propisa iz 1989. godine (KTP-N.2-89). Slika 5-11 prikazuje tipski plan zgrade ovog tipa, a vertikalni serklaži su označeni plavom bojom. Vertikalni serklaži propisani su na preseku poprečnih i produžnih zidova na maksimalnom razmaku od 8 m, međutim ovaj propis ne zahteva serklaže na ivicama vrata i prozora. Minimalna dimenzija poprečnog preseka serklaža je 25 cm, mada u praksi dimenzija serklaža može da bude i veća - u zavisnosti od debljine zidova. Detalji armiranja su isto propisani, npr. uzengije minimalnog prečnika 6 mm na razmaku od 25 cm (sidrenje kuka pod uglom od 90 stepeni). Zahtevi u pogledu podužne armature zavise od seizmičkog intenziteta: potrebne su 4 šipke prečnika 12 mm u zoni intenziteta VII i 4 šipke prečnika 14 mm u zonama intenziteta VIII i IX. Minimalna marka betona je 150 (15 MPa čvrstoća na pritisak). Studije na temu zidarije sa serklažima pokazuju da je za gradnju korišćena zidarija boljeg kvaliteta u poređenju sa nearmiranom zidarijom, jer je čvrstoća opeke na pritisak 15-20 MPa a čvrstoća cementnog maltera na pritisak 10 MPa (Bilgin i Huta, 2018).

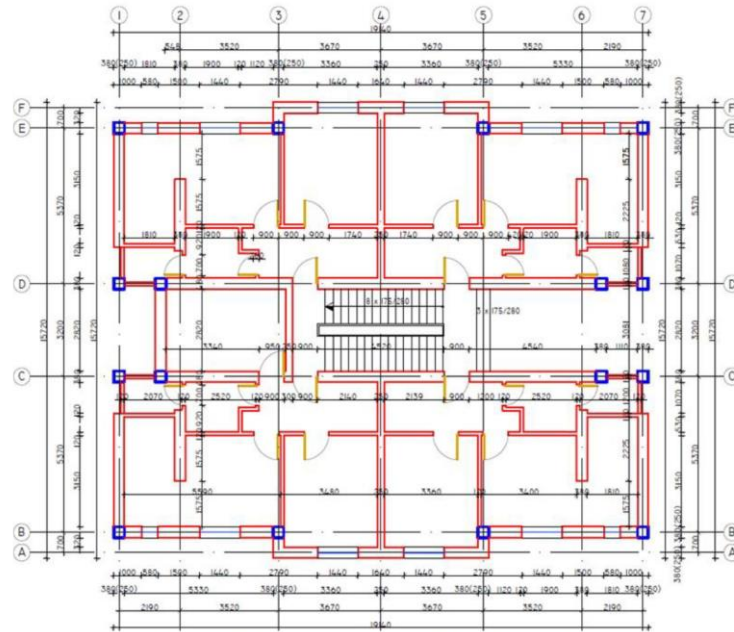


Slika 5-10: Rušenje zidanih zgrada u mestu Thumanë (Thumanë): a) niska zidana zgrada sa tri etaže u pozadini raščišćenog placa srušene nearmirane zidane zgrade sa pet etaža; b) delimični kolaps zgrade pre raščišćavanja¹; c) detalji ošupljenih prefabrikovanih AB tavanica, i d) detalj veze tavanica-zid.

Zgrade ovog tipa nisu pretrpele značajna oštećenja usled zemljotresa od 26.11.2019. Primećena su oštećenja jedne zgrade ovog tipa sa 3 etaže u Draču, i to usled dejstva zemljotresa upravno na ravan zida (Slika 5-12). Može se videti da su se horizontalne pukotine pojavile na nivou poslednje etaže, a postoje i dijagonalne i vertikalne pukotine na desnom kraju zgrade (Slika 5-12 a). Pretpostavlja se da su vertikalni serklaži postojali samo u uglovima zgrade (na spoju podužnih i poprečnih zidova), što se može videti na fasadi zgrade koja nije omalterisana (Slika 5-12 b). Verujemo da je odsustvo vertikalnog serklaža na sredini raspona doprinelo umanjenu otpornosti ovog zida na dejstvo zemljotresa upravno na ravan zida.

Dobro ponašanje zidanih konstrukcija sa horizontalnim i vertikalnim serklažima u toku zemljotresa je potvrđeno u raznim zemljotresima, npr. zemljotres u Čileu iz 2010. godine (magnituda 8.8) (Astroza i ost., 2012). Ova tipologija zidanih konstrukcija se široko primenjuje za stambenu gradnju u Čileu još od 1930-ih godina i veruje se da je značajno doprinela relativno malim ljudskim gubicima uprkos mnogobrojnih snažnih zemljotresa u ovoj zemlji.

¹ Izvor: TV7 Albania (<https://www.youtube.com/watch?v=2RXiG1KHC7k>)



Slika 5-11: Tipski plan zidane zgrade sa AB serklažima (Bilgin i Huta, 2018)



a)



b)

Slika 5-12: Oštećenje zidane zgrade sa AB serklažima usled opterećenja upravno na ravan zida, Drač: a) pukotine na prednjoj fasadi i b) zadnja fasada koja pokazuje lokacije vertikalnih serklaža

Posle 1990. godine u Albaniji je bila popularna izgradnja zidanih zgrada srednje spratnosti (npr. 5 etaža) kombinovane namene, npr. komercijalna namena u prizemlju (radnje, restorani) i stambena namena na višim spratovima. Ovakve zgrade su imale tzv. hibridni konstruktivni sistem, koji se sastoji od AB ramova u prizemlju i zidarije sa serklažima na gornjim spratovima, kao što je opisano u trećem poglavlju (vidi Sliku 3-8). Albanski tehnički propis iz 1989. godine dozvoljava primenu hibridnog sistema u zonama seizmičkog intenziteta VII i VIII, ali postoje restrikcije u vezi projektovanja AB ramova u prizemlju. Propisano je da AB ramovi ne mogu da pokriju više od 40% površine na nivou prizemlja, ali zbog toga bi trebalo da budu projektovani za dejstvo povećanih naprezanja usled dejstva zemljotresa, pri čemu je povećanje proporcionalno odnosu površine pokrivena AB ramovima i cele osnove zgrade na nivou prizemlja. Ovaj propis zahteva i kontinuitet AB stubova po visini zgrade, tako da se ovi stubovi na višim spratovima pretvaraju u vertikalne AB serklaže.

Neke zgrade ovog tipa su pretrpele ozbiljna oštećenja usled zemljotresa od 26.11.2019., a posetili smo i jednu takvu zgradu u južnom delu Drača koja se srušila (Shkëmbi i Kavajës), Slika 5-13. Ta zgrada je imala pet etaža i otvoreno prizemlje koje se najverovatnije koristilo kao garažni prostor. Pretpostavlja se da je ova zgrada bila izgrađena 1990-ih godina. Došlo je do rušenja zgrade na nivou prizemlja, dok su ostale četiri etaže ostale praktično neoštećene. Na osnovu inspekcije zgrade mogli smo da primetimo da su uzengije bile prečnika 8 mm na razmaku od 25 cm i usidrene kukama od 90 stepeni, a stub je bio armiran sa 4 šipke podužne armature prečnika 16 mm. Primetili smo i da je armatura u jednom stubu bila nepotpuna (nedostajale su armaturene šipke), što ukazuje na loš kvalitet gradnje. Verujemo da je uzrok rušenja ove zgrade bilo fleksibilno prizemlje, slično kao i kod zgrada sa AB ramovskim sistemom i zidanom ispunom. U toku zemljotresa došlo je do velikih naprezanja na nivou prizemlja, koje stubovi nisu mogli da prime zbog nedovoljne nosivosti i odsustva detalja armiranja koji omogućavaju duktilno ponašanje, npr. gušće raspoređene uzengije sa kukama od 135 stepeni. Zbog toga je došlo je do krtoq loma ovih stubova usled sila smicanja, što je na kraju izazvalo kolaps čitave zgrade. Treba napomenuti da su problemi u vezi ponašanja zgrada sa hibridnim konstrukcijskim sistemom poznati i u drugim zemljama. Ovaj sistem se primenjivao i u Kini, i došlo je do rušenja takvih zgrada 2008. godine usled zemljotresa u Wenchuanu (M_w 7.9) (Su i ost., 2011).



Slika 5-13: Srušena zgrada sa hibridnim konstrukcijskim sistemom: detalji AB konstrukcije u prizemlju (naselje Shkëmbi i Kavajës na jugu Drača)

5.2.4 Oštećenja nekonstruktivnih elemenata zidanih zgrada

Primetili smo da su neke zidane zgrade pretrpele i oštećenja nekonstruktivnih elemenata usled ovog zemljotresa. Slika 5-14 prikazuje niske zidane zgrade u mestu Tumanë (Thumanë) koje nisu pretrpele značajna konstruktivna oštećenja usled zemljotresa, ali primećeno je rušenje dimnjaka (zelena boja) i krovnog pokrivača (crepa), što je označeno crvenom bojom na slici. Ovakva oštećenja su primećena i kod drugih zgrada u epicentralnoj oblasti, pogotovu u manjim mestima. Primećena su i oštećenja nekonstruktivnih elemenata zgrada srednje visine, npr. u Tirani (naselje Kombinat). Slika 5-15 prikazuje zidanu zgradu sa 5 etaža koja je pretrpela konstruktivna oštećenja i nije bila naseljena u vreme naše posete. Primetili smo oštećenja parapeta na vrhu te zgrade (crvena boja). Parapet nije bio ukrućen i ponašao se kao vertikalna konzola. Pod dejstvom zemljotresa došlo je do delimičnog rušenja parapeta u blizini ulaza, što je predstavljalo opasnost od povrede za stanare te zgrade (zelena boja na slici). Primetili smo slična oštećenja i na susednim zgradama u istom naselju.



Slika 5-14: Oštećenja nekonstruktivnih elemenata niskih zidanih zgrada

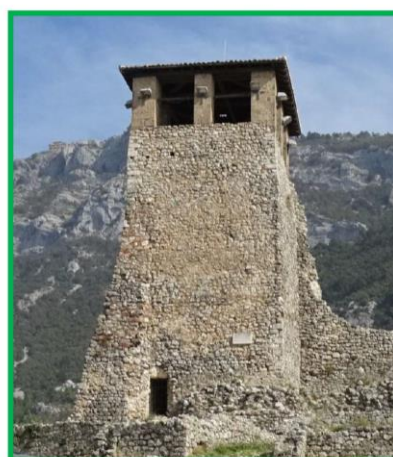


Slika 5-15: Oštećenja parapeta zidane zgrade sa 5 etaža u Tirani

5.3 Objekti od istorijskog značaja

Nekoliko značajnih spomenika kulture od nacionalnog značaja za Albaniju je oštećeno usled ovog zemljotresa. Prema izveštajima internacionalnih organizacija, pet objekata muzeja je oštećeno i zbog toga zatvoreno za publiku, a procenjeno je i da su 23 spomenika kulture pod visokim rizikom i dodatnih 30 spomenika pod srednjim rizikom od kolapsa (UNDP, WB i EU, 2020). Drugi timovi su posle zemljotresa posetili nekoliko spomenika kulture u gradovima Drač (Durrës), Prezë, i Kruja i opisali oštećenja ovih objekata (EEFIT, 2020). Imali smo priliku da posetimo tvrđavu u istorijskom gradiću Kruja, rodnom mestu albanskog junaka Skenderbega (Slika 5-16). Tvrđava je sagrađena u petnaestom veku na vrhu planine Kruja, na nadmorskoj visini od 600 m (Bashkia Krujë, 2016). Deo kamene konstrukcije tvrđave, kao i toranj koji se nalazi unutar tvrđave (obeležen crvenim krugom na slici) pretrpeli su oštećenja usled ovog zemljotresa. Toranj je visine 16 m i služio je kao osmatračnica za potrebe odbrane

od neprijatelja – sa tornja se pruža pogled na ceo region. Usled zemljotresa je došlo do oštećenja tornja u gornjem delu, uglavnom u obliku pukotina i ispadanja kamena. Ova vrsta oštećenja tipična je za kamenu zidariju od neobrađenog kamena, kod koje unutrašnja i spoljašnja površina zida nisu povezane jer se u sredini nalazi ispuna od blata i sitnog kamenja. Crveno uokvirena slika prikazuje oštećenja tornja posle zemljotresa od 26.11.2019. a zeleno uokvirena slika prikazuje toranj pre zemljotresa. Nije poznato da li je ovaj toranj bio oštećen usled prethodnih zemljotresa u Albaniji.



Slika 5-16: Istorijska tvrđava i toranj-osmatračnica u gradu Kruja

5.4 Objekti od duhovnog značaja

Nekoliko objekata od duhovnog značaja je oštećeno usled ovog zemljotresa. Posetili smo džamiju u mestu Tumanë (Thumanë), koja se nalazila na jednom brežuljku (najviša tačka u mestu), i sastojala se od glavne zgrade i minareta na zapadnoj strani objekta (Slika 5-17). Spoljašnji noseći zidovi su bili od nearmirane zidarije sa ošupljenim glinenim blokovima debljine od približno 20 cm i povezani malterom niske čvrstoće. Primitili smo loš kvalitet zidarije, i u pogledu materijala a i kvaliteta gradnje (Slika 5-18). U unutrašnjosti su se nalazila četiri AB stuba koji podržavaju monolitnu AB krovnu konstrukciju: kupolu i ploču. Zidovi i stubovi su bili visoki oko 5 m, a osnova džamije je bila kvadratnog oblika dužine/širine približno 15 m.



Slika 5-17: Spoljašnjost džamije u mestu Tumanë (Thumanë): oštećenja istočnog zida i minareta na zapadnoj strani džamije

Zemljotres je izazvao oštećenja zidova koja nisu bila značajna, ali su vidljiva jer je došlo do odvajanja maltera od zida. Interesantno je da je istočni zid bio oštećen u donjem delu, što ukazuje na dejstvo zemljotresa u ravni zida (Slika 5-17). Međutim, severni zid džamije je oštećen u gornjem delu, što se može objasniti dejstvom zemljotresa upravim na ravan zida (Slika 5-18). Uglavnom je došlo do odvajanja maltera od zida a ne do ozbiljnijih oštećenja, koja bi se mogla očekivati uzimajući u obzir visinu zidova (5 m). Primetili smo i oštećenja minareta u obliku horizontalne pukotine na visini od oko 3 m iznad zemlje (crvena strelica i zeleno uokviren detalj, Slika 5-17). Došlo je i do odvajanja minareta od glavne zgrade na nivou iznad pukotine, što ukazuje na poprečna pomeranja minareta i značajne napone savijanja usled dejstva zemljotresa. Slika 5-17 (dole) prikazuje ulaz u džamiju (uokviren žutom bojom) - vidi se crveni „X“ znak koji ukazuje da je džamija pod visokim rizikom i da će najverovatnije biti rekonstruisana.



Slika 5-18: Unutrašnjost džamije u mestu Tumanë (Thumanë): oštećenja severnog zida (gornja slika) i istočnog zida (označen crvenom zvezdom na gornjoj slici a detalji su uokvireni crveno bojom)

6 Ponašanje sistema infrastrukture

Nikola Blagojević¹

Savremeni svakodnevni život nije moguć bez resursa i usluga koje pružaju infrastrukturni sistemi, kao što su električna energija, pijaća voda, internet ili administrativne usluge. Zemljotres može da izazove oštećenja fizičkih elemenata ovih sistema, pa zbog toga potrebe korisnika ne mogu da budu zadovoljene u istoj meri kao pre zemljotresa. To dalje dovodi do gubitaka koji mogu da budu novčani (npr. nemogućnost proizvodnje usled nedostatka električne energije), društveni (npr. nemogućnost obrazovanja usled oštećenja škola) ili ljudski (npr. nemogućnost zbrinjavanja povređenih osoba nakon zemljotresa usled oštećenja na transportnoj infrastrukturi).

Infrastrukturni sistemi u Albaniji nisu značajno pogođeni zemljotresom od 26.11.2019. Finansijski gubici u sektoru infrastrukture se procenjuju na manje od 4% vrednosti ukupnih gubitaka (UNDP, WB i EU, 2020), a oštećenja infrastrukturnih sistema nisu uticala na odlaganje sanacije i obnove oštećenih objekata.

6.1 Transportna infrastruktura

Značajna oštećenja drumske saobraćajne mreže usled ovog zemljotresa nisu primećena (McKenney, 2019; UNDP, WB i EU, 2020). Međutim, zemljotres je izazvao odron na putu u blizini grada Lješ (Lezhë) usled koga je poginula jedna osoba (EERI, 2019). Slika 6-1 prikazuje nadvožnjak u blizini Drača (*Durrës*) koji je pretrpeo manja oštećenja na sekundarnim elementima, međutim ta oštećenja nisu uticala na njegovu funkcionalnost (UNDP, WB i EU, 2020).



Slika 6-1: Oštećenja nadvožnjaka u blizini Drača (*Durrës*) (UNDP, WB, i EU, 2020)

6.2 Telekomunikaciona mreža

Neposredno nakon zemljotresa došlo je do skoka u opterećenju telekomunikacione mreže, usled poziva hitnim službama kao i poziva zabrinutih građana. Kada je mobilna mreža bila preopterećena, ljudi su komunicirali putem interneta (npr. aplikacije WhatsApp). Funkcionisanje telekomunikacione mreže nakon zemljotresa je bilo ključno za koordinaciju spašavanja i oporavka i informisanje stanovništva.

¹ Doktorant, Švajcarski Federalni Institut za Tehnologiju (ETH), Ciri, Švajcarska

Primećena su manja fizička oštećenja elemenata telekomunikacione mreže (npr. kablova i opreme). Nekoliko značajno oštećenih zgrada u Draču, koje su kasnije srušene, su imale predajnike na krovovima (UNDP, WB i EU, 2020).

6.3 Elektroenergetski sistem

Proizvodnja električne energije u Albaniji se skoro u celini odvija u hidroenergetskim postrojenjima koja se nalaze na severu zemlje. Zbog relativno velike udaljenosti od epicentra, ta postrojenja nisu pretrpela značajna oštećenja, tako da proizvodnja električne energije nije bila ugrožena. Međutim, došlo je nestanka struje u preko 90.000 domaćinstava, uglavnom u Draču (*Durrës*) (UNDP, WB i EU, 2020). Uzrok su oštećenja distributivnog sistema, na primer oštećeni stubovi za prenos električne energije, prevrtanje transformatora i oštećenja zidanih objekata koji pripadaju električnoj mreži (Slika 6-2) (EERI, 2019; UNDP, WB i EU, 2020). U mestu Tumanë (*Thumanë*), gde je nestanak električne energije prouzrokovan prevrtanjem transformatora, snabdevanje električnom energijom je ponovo uspostavljeno za manje od jednog dana. U izveštaju od 27.11.2019., jedan dan nakon zemljotresa, navodi se da u Draču (*Durrës*) nisu primećeni problemi vezani za snabdevanje električnom energijom (McKenney, 2019).



Slika 6-2: Prsline na podstanici distributivnog sistema u Draču (*Durrës*)

6.4 Sistem za vodosnabdevanje i kanalizacija

Prekid u snabdevanju pijaćom vodom i sanitarnim uslugama u većim gradovima nije primećen (EERI, 2019; Red Cross, 2019). Međutim, snabdevanje pijaćom vodom je bilo otežano u selima u okolini Drača (*Durrës*) (EERI, 2019). Kontrola kvaliteta pijaće vode je pokazala da nije došlo do pada kvaliteta nakon zemljotresa (UNDP, WB i EU, 2020). Zbog čestih prekidu u snabdevanju vodom pre zemljotresa, mnoga domaćinstva imaju rezervoare sa vodom koji se često nalaze na krovu objekta (Slika 6-3). Ovi rezervoari mogu da budu opasni u slučaju zemljotresa zbog mogućeg pada sa krova ili propadanja kroz krov. U mestu Tumanë (*Thumanë*) rezervoar za vodu je propao kroz krov i upao u dnevnu sobu, dok su stanari pokušavali da pobegnu iz objekta tokom zemljotresa (DW, 2019). Rezervoari za vodu nisu nužno opasni, ukoliko su ugrađeni na adekvatan način. Dobro ugrađeni rezervoari mogu da budu veoma korisni u slučaju zemljotresa i sličnih katastrofa, jer omogućavaju kontinualno snabdevanje vodom u slučaju oštećenja sistema za snabdevanje vodom.



Slika 6-3: Rezervoari za vodu na krovovima zgrada u gradu Kruja (Krujë)

7 Oporavak i funkcionalnost nakon zemljotresa

Nikola Blagojević¹

7.1 Privremeni smeštaj nakon zemljotresa

U operacijama spasavanja učestvovalo je 7.600 osoba iz Albanije i oko 850 osoba iz drugih zemalja (UNDP, WB i EU, 2020), uključujući i tim od 13 članova iz Srbije (N1, 2019). Iz oštećenih objekata spaseno je 48 ljudi (UNDP, WB i EU, 2020). Akcije spasavanja su završene tri dana nakon zemljotresa, 29.11.2019. (Alam i ost., 2019; World Bank, 2019).

Oko 17.000 osoba je bilo smešteno u privremeni smeštaj (UNDP, WB i EU, 2020), kao što su šatori (Slika 7-1), hoteli, socijalni centri, sportske hale i slični objekti. Kasnije, većina stanovnika koji su boravili u šatorima su preseljeni u hotele ili u privatni smeštaj. U mestu Tumane (*Thumanë*), saznali smo da su šatori i potrebne zalihe dostavljene oko 12 sati nakon zemljotresa.

Procenjuje se da je oko 9,2% domaćinstava u pogođenim oblastima moralo da se iseli iz svojih domova. Do kraja decembra 2019., oko mesec dana nakon zemljotresa, dve trećine iseljenih stanovnika se vratilo u svoje domove (UNDP, WB i EU, 2020).



Slika 7-1: Privremeni smeštaj na stadionu Niko Dovano, Drač (Durrës)

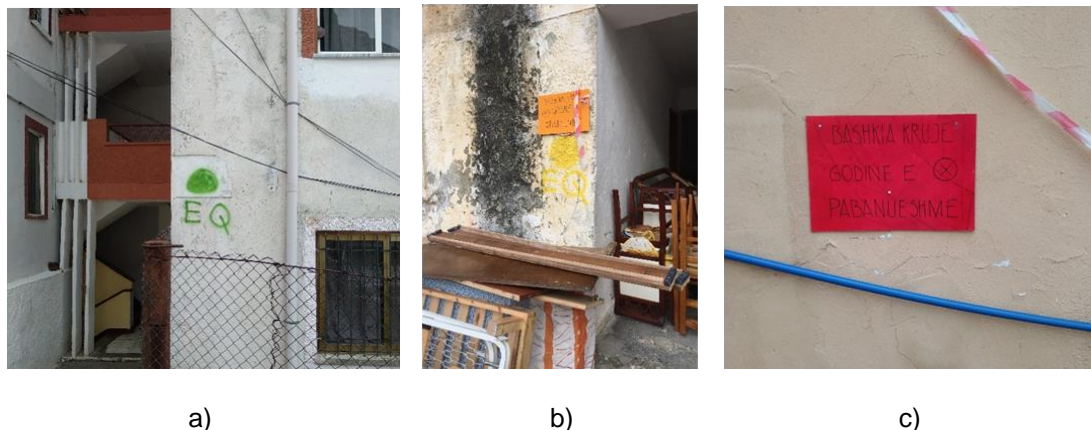
Planovi za ponašanje u slučaju zemljotresa (*contingency plans*) su aktivirani ali su se pokazali kao zastareli i nisu bili dobro sprovedeni, što je dovelo do panike i zbunjenosti među pogođenim stanovništvom (RedCross, 2019)

7.2 Inspekcija zgrada

Ubrzo nakon zemljotresa izvršena je inspekcija zgrada. Pored inženjera iz Albanije, inženjerski timovi iz Grčke, Italije, Francuske i Švajcarske su pomagali lokalnim inženjerima (Alam i ost., 2019). Procenjuje se da je u inspekciji objekata učestvovalo preko 500 inženjera, od kojih je oko 100 došlo iz stranih zemalja (World Bank, 2019). Inspekcija objekata je započeta odmah nakon zemljotresa (26.11.2019). Nakon inspekcije, zgrade su dobile zelenu, žutu ili crvenu oznaku (Slika 7-2). Zelena oznaka je dodeljena objektima koji su bezbedni, žuta oznaka označava objekte koji treba da budu detaljnije pregledani, a crvena oznaka je dodeljena nebezbednim objektima. Tokom naše posete, mesec dana nakon zemljotresa, primetili smo crvene oznake na nekoliko objekata u Draču (*Durrës*) i Fuše-Kruja (*Fushë-Krujë*), ali nismo primetili radove na sanaciji tih objekata. Tabela 7-1 prikazuje ukupan broj pregledanih objekata u epicentralnoj oblasti do 10.12.2019 (dve nedelje nakon zemljotresa) (World Bank, 2019). Od pregledanih objekata polovina su procenjeni kao bezbedni, dok je 40% zahtevalo detaljniju inspekciju, a preostalih 10% objekata je potrebno srušiti zbog nepopravljivih oštećenja. Slični podaci u vezi drugih pogođenih oblasti mogu se naći u

¹Doktorant, Švajcarski Federalni Institut za Tehnologiju (ETH), Ciri, Švajcarska;

izveštaju Svetske Banke (World Bank, 2019). Približno 14.000 objekata je pregledano u svim pogođenim oblastima (World Bank, 2019) do 11.12.2019.



Slika 7-2: Oznake kao rezultati inspekcije objekata sa različitim stepenima oštećenja: a) zelena; b) žuta, i c) crvena.

Tabela 7-1: Statistički podaci o seizmičkoj sigurnosti objekata (10.12.2019.) u epicentralnoj oblasti (World Bank, 2019) u apsolutnim i relativnim vrednostima (procentualno)

	Durres M.	Kruja M.	Shijak M.	COMBINED
Inspected	2112	2499	1670	6281
Safe	1368	1533	346	3247
Uninhabitable	651	921	900	2472
Demolition	93	45	424	562
Demolished	34	12	0	46
Safe	64.8%	61.3%	20.7%	51.7%
Uninhabitable	30.8%	36.9%	53.9%	39.4%
Demolition	4.4%	1.8%	25.4%	8.9%

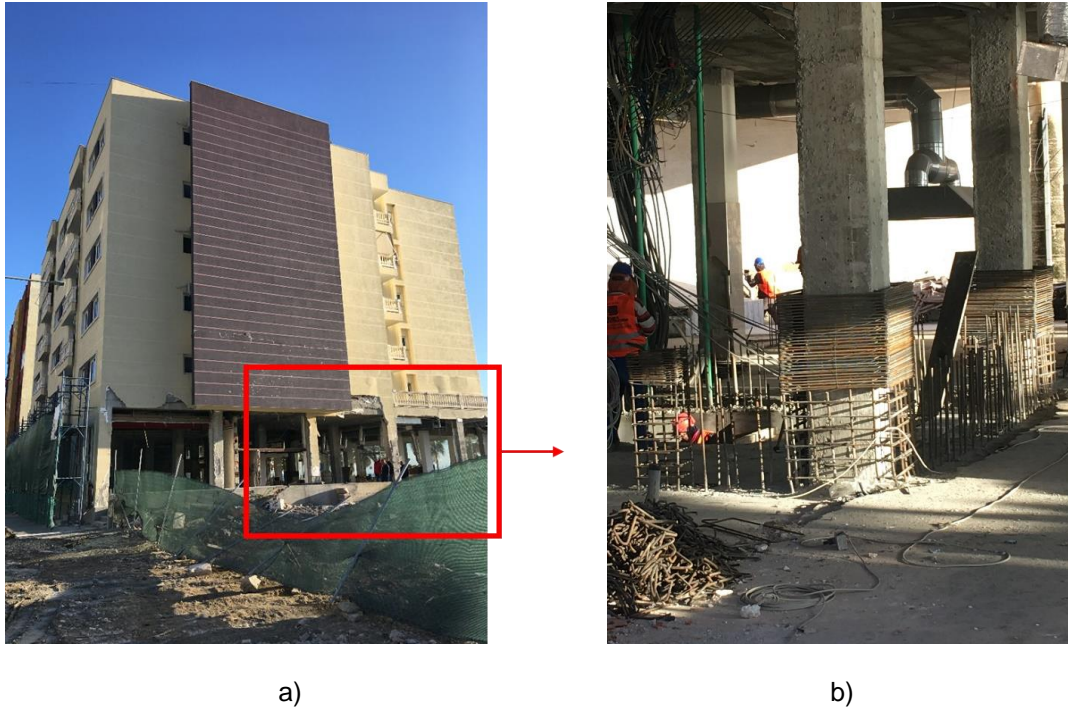
Tabela 7-2 prikazuje analizu oštećenih objekata u Tirani. Objekti su klasifikovani prema periodu izgradnje, broju spratova i tipu konstrukcije. Podaci su zasnovani na inspekciji oštećenih objekata, gde su prioritet imali objekti sa većim oštećenjima. S obzirom da veliki broj objekata koji nisu imali oštećenja nisu pregledani, podaci dati u tabeli ne odražavaju status za ceo inventar objekata, već samo za pregledan uzorak. Na osnovu podataka sakupljenih tokom inspekcije, prefabrikovani AB objekti su imali najmanje oštećenja, odnosno 86,2% objekata ovog tipa je bilo sigurno nakon zemljotresa, dok su zidani objekti od betonskih blokova imali najviše oštećenja, tj. 81,8% ovih objekata je moralo da bude evakuisano. Uzroci oštećenja objekata građenih od betonskih blokova navedeni su u Poglavlju 5. Takođe, može se zaključiti da veliki broj AB objekata u Tirani (71,7%) nije pretrpeo oštećenja, za razliku od Drača, gde su većina značajno oštećenih objekata koje smo posetili bile AB konstrukcije. Treba naglasiti da je većina AB konstrukcija pretrpela značajna oštećenja pre svega zidane ispune, odnosno nekonstruktivnih elemenata, kao što je opisano u Poglavlju 4. Međutim otvoreno pitanje je kako su se pri klasifikaciji oštećenja tretirala oštećenja zidane ispune, s obzirom da su u pitanju nekonstruktivna oštećenja. Autori izveštaja nisu imali pristup metodologiji za klasifikaciju oštećenja.

Nakon početne inspekcije, čiji je cilj bio procena seizmičke sigurnosti objekata, inženjeri iz Albanije i drugih zemalja (npr. Izrael, Japan) su detaljnije pregledali zgrade i klasifikovali oštećenja, međutim metodologije za kategorizaciju oštećenja nisu bili usaglašene. Zbog nekompatibilnosti korišćenih metodologija, klasifikacija oštećenih zgrada je morala da bude ponovljena.

Tabela 7-2: Analiza oštećenih objekata u Tirani u zavisnosti od perioda izgradnje, broja spratova i tipa konstrukcije (World Bank, 2019).

Building Characteristics	Green (Safe)	Yellow (Review)	Red (Evacuate)
pre-1992	56.3%	23.6%	20.0%
post-1991	71.6%	15.3%	13.1%
Unclassified	47.0%	16.6%	36.5%
1-2 floors	29.8%	22.2%	48.0%
3-5 floors	60.6%	23.4%	16.1%
6+ floors	78.0%	14.0%	8.1%
Unclassified	66.3%	12.5%	21.2%
Adobe walls	17.4%	17.4%	65.2%
Brick Masonry	56.1%	20.9%	23.0%
Concrete Block Masonry	9.1%	9.1%	81.8%
Prefabricated	86.2%	10.3%	3.4%
Reinforced Concrete	71.7%	16.0%	12.3%
Structural Masonry	62.8%	21.8%	15.4%
Unclassified	4.0%	36.0%	60.0%
TOTAL	60.6%	19.2%	20.2%

U roku od mesec dana posle zemljotresa uklonjeno je više od 40 značajno oštećenih objekata. Prema poslednjim izveštajima, u Draču je uklonjeno 34 objekta, u mestu Tumanë (*Thumanë*) 10 objekata, i u selu Bubç (*Bubq*) 2 objekta (World Bank, 2019). Primetili smo u toku posete da su se nekoliko objekata sanirali ili ojačavali. Slika 7-3 predstavlja ojačanje objekta sa 5 spratova i prizemljem koji se nalazi u priobalnom delu Drača. Ovaj objekat je imao AB ramovsku konstrukciju sa zidanom ispunom (Slika 7-3 a). Iako nismo primetili da je ovaj objekat imao konstrukcijska oštećenja u prizemlju, susedni objekat slične spratnosti je pretrpeo značajna oštećenja na nižim spratovima (McKenney, 2019), pa je bio srušen i uklonjen. U trenutku naše posete, ruševine susednog objekta su već bile raščišćene, dok su se u prikazanom objektu izvodili radovi na ojačanju stubova, dodavanjem AB obloge (plašta), i postavljanjem podužnih armaturnih šipki i uzengija, najverovatnije sa ciljem povezivanja stubova i formiranja AB zidova. U Albaniji u vreme naše posete nije postojao propis koji reguliše sanaciju i ojačanje objekata nakon zemljotresa.



Slika 7-3: Izvođenje ojačanja vertikalnih elemenata objekta u Draču (Durrës): a) objekat i b) armatura za seizmičko ojačanje stubova u prizemlju

7.3 Funkcionalnost zgrada

Elementi vertikalne komunikacije, stepeništa i liftovi, omogućavaju evakuaciju ljudi, pa je zbog toga veoma važno da ovi elementi budu funkcionalni tokom i nakon zemljotresa kako bi se sprečili gubici ljudskih života. U nekoliko objekata stepeništa su bila neprohodna usled odvajanja zidane ispune od AB ramova u blizini stepeništa (Slika 7-4) (McKenney, 2019). Ova vrsta oštećenja karakteristična je za AB ramovske konstrukcije sa zidanom ispunom, u kojima se zidana ispuna u blizini stepeništa odvojila od rama, pre svega zbog prevelikih deformacija fleksibilnog AB rama, a i usled slabe veze između ispune i rama, kao što je objašnjeno u Odeljku 4.2.



Slika 7-4: Oštećena zidana ispuna je blokirala stepenište

U nekoliko oštećenih objekata koje smo posetili u gradovima Drač (Durrës) i Fuše-Kruja (Fushë-Krujë) liftovi su radili uprkos oštećenja na zidanoj ispuni u blizini lifta. Slika 7-5 prikazuje unutrašnjost dva novija AB objekta veće spratnosti (preko pet spratova), u kojima su liftovi funkcionisali iako su objekti pretrpeli nekonstruktivna oštećenja. Pretpostavljamo da su ove zgrade imale AB liftovska jezgra, što bi objasnilo neznatna konstruktivna oštećenja usled ovog zemljotresa.



Slika 7-5: Primeri funkcionalnih liftova u oštećenim objektima: a) zgrada u Draču (Durrës) i b) zgrada u Fuše-Kruja (Fushë-Krujë)

Nekonstruktivna oštećenja objekata, uglavnom zidane ispune, dovela su do prekida rada poslovnih objekata koji su se najčešće nalazili u prizemlju zgrada (Slika 7-6). Procena gubitaka usled prestanka proizvodnje i poslovanja izazvanih zemljotresom se procenjuje na 5,46 miliona EUR (UNDP, WB i EU, 2020). Poslovanje u zgradama koje nisu bile oštećene je nastavljeno dan nakon zemljotresa (McKenney, 2019).



Slika 7-6: Prekid poslovanja usled nekonstruktivnih oštećenja u Draču (Durrës)

Gubitak ili oštećenje privatne imovine, kao i gubitak zaposlenja, imaju ozbiljne finansijske posledice po stanovništvo u područjima pogođenim ovim zemljotresom. Procenjuje se da je posle ovog zemljotresa oko 10.000 stanovnika privremeno izgubilo posao u Draču i okolini (World Bank, 2019). Većina pogođenih porodica ne može samostalno da se finansijski oporavi, bez državne pomoći (Red Cross, 2019). Pogotovu su bile ugrožene porodice u

kojima je prihod svih članova zavisio od istog porodičnog posla koji se obavljao u jednom od objekata oštećenih usled zemljotresa.

U mnogim objektima primećena su oštećenja samo na donjim spratovima, dok su gornji spratovi ostali skoro neoštećeni (Charleson, Vesho i Marku, 2020). Primer za to je „fleksibilna zgrada“ u Draču (*Durrës*) (Slika 4-10 a i b). Iako su oštećenja ispuke u toj zgradi bila značajna na nižim spratovima, primetili smo u toku posete da su viši spratovi zgrade, gde su oštećenja ispuke manja, bili naseljeni, dok su stanari na nižim spratovima čistili svoje stanove i uklanjali ostatke srušene ispuke. Zbog oštećenih instalacija stanari nisu imali pristup električnoj energiji. Kako je električna energija potrebna za rad mašina i alata, stanari susednih zgrada su im preko balkona dodavali kablove kako bi mogli da koriste struju iz susedne zgrade. Procena stanara je bila da im je potrebno oko nedelju dana da očiste stan, pre početka popravke. Međutim, stanari sa kojima smo mi razgovarali nisu planirali da počnu popravke dok ne saznaju da li će dobiti državnu pomoć. Stepenište je bilo u upotrebi, uprkos značajnim oštećenjima (Slika 7-7).



Slika 7-7: Oštećeno stepenište u „fleksibilnoj zgradi“ u Draču (*Durrës*)

Usled loma ispuke, instalacije u „fleksibilnoj zgradi“ u Draču (*Durrës*) su bile oštećene. Razlika između instalacija koje su se nalazile na prvom spratu daleko od ispuke i instalacija u blizini ispuke se vidi na slici 7-8. Usled oštećenja instalacija, stanari na višim spratovima nisu imali pristup vodovodu, kanalizaciji i električnoj energiji.



a)

b)

Slika 7-8: Primeri instalacija: a) daleko od ispuke i b) blizu ispuke, „fleksibilna zgrada“ u Draču (*Durrës*)

Škole u ugroženom području su bile zatvorene prvih nedelju dana nakon zemljotresa (UNDP, WB i EU, 2020). U toku dve nedelje nakon zemljotresa, 39 škola je bilo evakuisano jer nisu bile bezbedne (McKenney, 2019a). Procenjuje se da 21.000 učenika, odnosno 7% učenika u 11 pogođenih opština nije moglo da pohađa nastavu zbog oštećenja na školama, ali je organizovan prevoz ovih učenika do najbližih funkcionalnih škola (UNDP, WB i EU, 2020). Obrazovni objekti uključuju vrtiće, predškolske ustanove, osnovne i srednje škole. Procenjuje se da je 76 objekata ovog tipa potpuno oštećeno i moraće da bude srušeno, 75 je delimično oštećeno (30% do 50% površine ne može da se koristi), a dodatnih 170 objekata je pretrpelo manja oštećenja (manje od 10% površine nije funkcionalno). Slika 7-9 prikazuje oštećenu školu u Draču. Na osnovu vrste oštećenja, pretpostavljamo da je u pitanju zidani objekat.



a)

b)

Slika 7-9: Škola u Draču (*Durrës*) oštećena tokom zemljotresa: a) objekat i b) oštećeni zid

Vatrogasna stanica u Draču (*Durrës*) je bila seizmički ojačana pre zemljotresa, povećanjem poprečnog preseka i armature stubova (Slika 7-10). Ovaj objekat nije bio oštećen usled ovog zemljotresa.



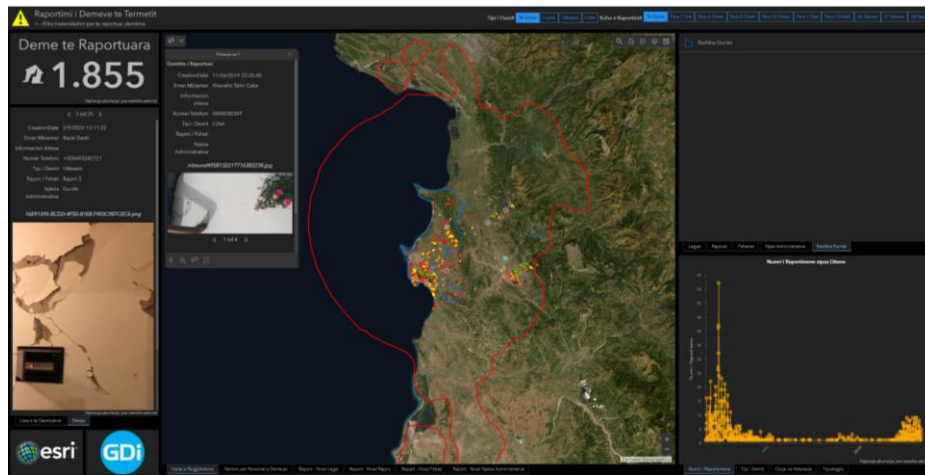
a)

b)

Slika 7-10: Vatrogasna stanica u Draču koja je seizmički ojačana pre zemljotresa: a) spolja i b) iznutra

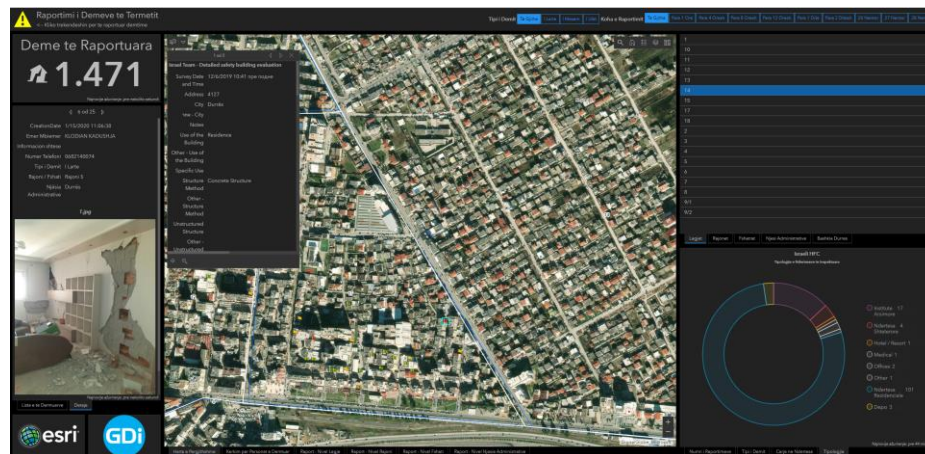
7.4 Baze podataka o oštećenim objektima

Centralizovane baze podataka u GIS formatu i aplikacije koje su korišćene za brzo prikupljanje podataka su znatno olakšale klasifikaciju oštećenih objekata (ESRI, 2019). Dve GIS baze podataka koje sadrže informacije u vezi oštećenja objekata su napravljene nakon zemljotresa (Slike 7-11 i 7-12). GIS programi, kao što je ArcGIS, sadrže alate za statističku analizu podataka, pa je statistička analiza oštećenih zgrada bila dostupna ubrzo posle zemljotresa (Slika 7-13 b). Obe baze podataka su dostupne preko interneta (GDI, 2019; GDI, 2019a). Inženjerski timovi i stanari su unosili informacije u vezi oštećenja objekata u bazu podataka. Osim podataka o lokaciji oštećenih zgrada, informacije koje su unosili stanari su: datum i vreme unetih informacija; ime stanara koji je sakupio informacije; fotografije oštećenja; dodatne informacije i komentari. Pored unosa informacija, stanari su imali i mogućnost da postavljaju pitanja u vezi seizmičke sigurnosti objekata i traže pomoć nadležnih institucija.

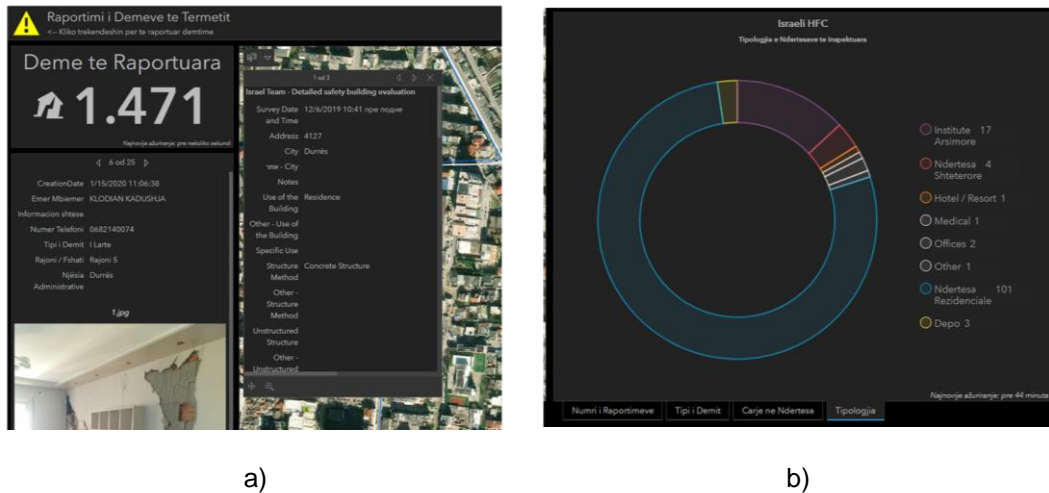


Slika 7-11: GIS baza podataka o oštećenim objektima, primer Drača (Durrës) (GDI, 2019)

Informacije koje su uneli inženjerski timovi su opširnije i uključuju podatke kao što su: namena zgrade (npr. stambena, poslovna); tip konstrukcije (npr. armiranobetonski ramovi sa zidanom ispunom, zidana konstrukcija); broj spratova iznad i ispod zemlje; oštećenja tla u okolini objekta; informacije o primećenim oštećenjima konstruktivnih i nekonstruktivnih elemenata, kao i preporuke za sanaciju objekta (Slika 7-13a). Međutim, informacije o objektima su ponekad nepotpune (Slika 7-13 a). Slika 7-13 b) prikazuje rezultate statističke analize pregledanih objekata po nameni, gde su objekti podeljeni na stambene, zdravstvene, poslovne, turističke, obrazovne i administrativne zgrade. Za oblast prikazanu na Slici 7-12, stambeni objekti čine većinu pregledanih objekata (obeleženi plavom bojom).



Slika 7-12: Podaci o oštećenom objektu u GIS bazi (GDI, 2019)



Slika 7-13: GIS baza: a) nepotpuni podaci o objektu i b) statistička analiza podataka u GIS bazi na osnovu namene objekta (GDI, 2019)

7.5 Procena gubitaka i cene obnove nakon zemljotresa

Zvanična procena gubitaka prouzrokovanih zemljotresom je objavljena dva meseca nakon zemljotresa, 5.2.2020. (UNDP, WB i EU, 2020). Ukupni gubici su procenjeni na 985,07 miliona evra, odnosno 7,5% bruto domaćeg proizvoda (BDP-a) Albanije u 2018. godini. Procenjuje se da će usled zemljotresa rast BDP biti smanjen sa 2,9% procenjenih pre zemljotresa na 2,4% za 2019-tu godinu i sa 3,5% na 3,2% za 2020-tu godinu. Gubici su podeljeni u dve kategorije: direktni gubici (*damages*) i indirektni gubici (*losses*). Direktni gubici se odnose na cenu popravke i rekonstrukcije oštećenih objekata. Indirektni gubici podrazumevaju gubitke usled promena u ekonomiji, kao što su pad proizvodnje i primanja, kao i bilo koji drugi neočekivani troškovi posredno prouzrokovani zemljotresom. Od ukupnih 985 miliona evra, direktni gubici iznose 844 miliona evra, dok su indirektni gubici 141 miliona evra. Gubici su podeljeni u 8 sektora (Tabela 7-3). Oko 70% direktnih gubitaka pripada sektoru stanovanja (*housing sector*), odnosno 662 miliona evra. Polovina indirektnih gubitaka pripada sektoru delatnosti (*productive sector*), tačnije sektoru turizma gde se očekuje gubitak od oko 70 miliona evra. Pored podela na sektore, gubici su podeljeni i po opštinama. Gubici u Tirani (*Tirana*) i Draču (*Durrës*) iznose 62% ukupnih gubitaka, po 31% u svakom od dva najveća grada.

Ukupna cena obnove pogođenih oblasti se procenjuje na 1,08 milijardi evra. Od toga 51,5% je potrebno do kraja 2020. godine, 46% tokom 2021. i 2022. i preostalih 2,5% u 2023-oj i 2024-toj godini. Na donatorskoj konferenciji održanoj 17.2.2020., prikupljeno je 1,15 milijardi evra, što prevazilazi procenjenu potrebnu sumu od 1,08 milijardi evra (EWB, 2020).

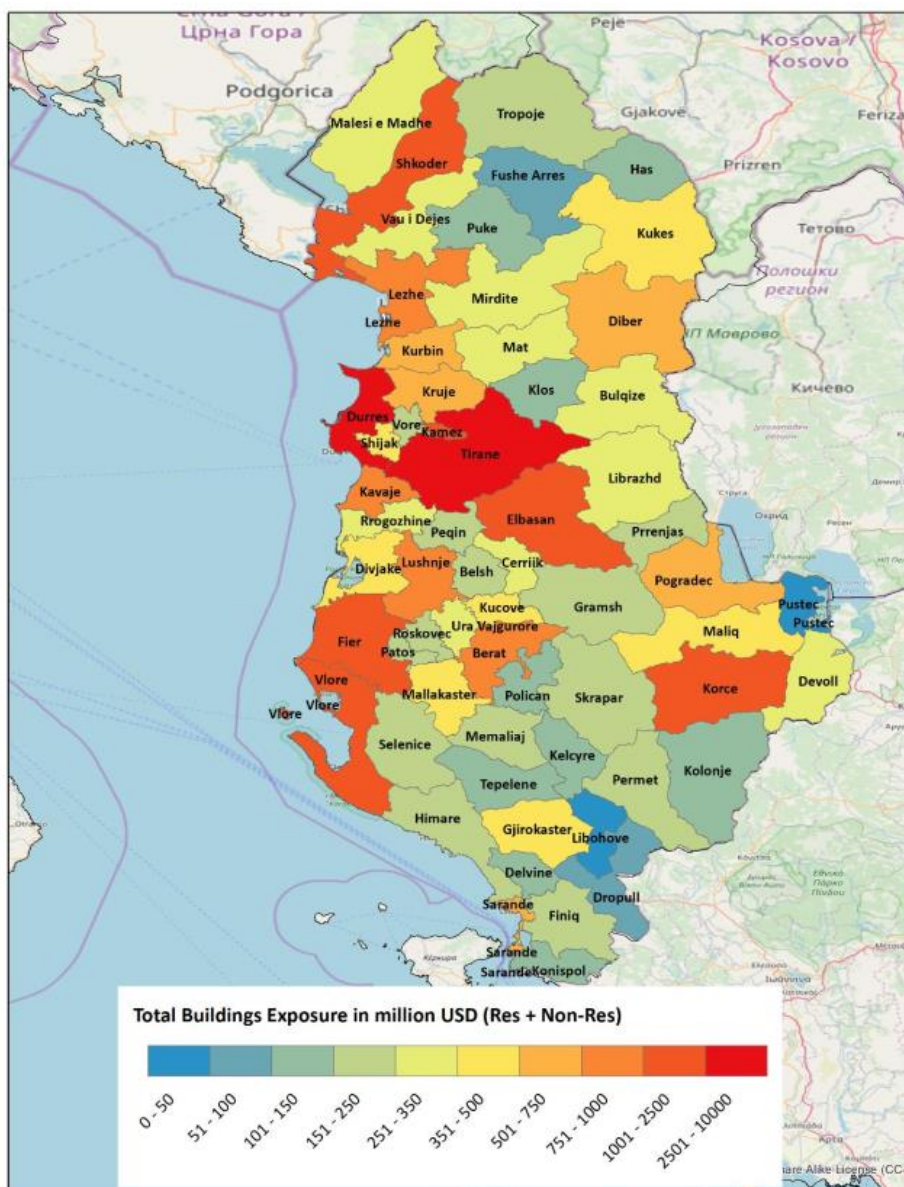
Svetska Banka je objavila procenu direktnih gubitaka usled zemljotresa (World Bank, 2019). Procene UNDP-a i Svetske Banke u vezi direktnih gubitaka su vrlo slične. Međutim, u izveštaju Svetske banke data je i procena Ukupne Izložene Vrednosti (*Total Exposure Value*) po okruzima (Slika 7-14). Na Slici 7-14 može se videti da je najveća izložena vrednost u Tirani (*Tirana*) i Draču (*Durrës*). Direktni gubici po sektorima su predstavljeni kao procenat ukupne izložene vrednosti (Tabela 7-4).

Tabela 7-3: Gubici podeljeni po sektorima (UNDP, WB i EU, 2020)

Sectors	Sub-sectors	Damages	Losses	Total
In million EUR				
Education		63.59	8.76	72.35
Housing		662.30	34.00	696.30
Productive		70.82	79.66	150.48
	Business and Employment	47.48	5.47	52.95
	Tourism	16.71	73.53	90.24
	Cultural Heritage	5.31	0.44	5.75
	Agriculture	1.32	0.22	1.54
Infrastructure		30.41	3.01	33.42
	Community Infrastructure	6.06	0.16	6.22
	Roads	4.83	0.43	5.26
	Water and Sanitation	0.35	0.00	0.35
	Communication	0.92	0.16	1.08
	Public Buildings	10.07	2.26	12.33
	Energy	8.18	0.00	8.18
Social Protection		-	0.62	0.62
Civil Protection and DRR		8.75	13.22	21.97
Total		843.89	141.18	985.07

Tabela 7-4: Direktni gubici po sektorima i okruzima u odnosu na ukupnu izloženu vrednost (World Bank, 2019)

Affected Zones (Municipalities)	Residential	Infrastructure	Education	Health	Commercial / Public	Industrial	TOTAL
Epicentral Area (Durrës, Krujë, Shijak, Vorë)	13.3%	1.5%	15.6%	12.7%	11.2%	10.4%	9.5%
Tirana and Kamëz	3.9%	0.2%	3.8%	2.5%	2.3%	2.1%	2.5%
North of Durrës (Lezhë, Kurbin, Mirditë)	4.1%	0.2%	3.1%	2.0%	1.8%	1.6%	2.5%
South of Durrës (Kavajë, Peqin, Rrogozhinë)	4.5%	0.1%	1.6%	1.6%	1.6%	1.4%	2.6%
Rest of Albania	0.4%	0.0%	0.1%	0.1%	0.1%	0.1%	0.2%
TOTAL	3.2%	0.3%	2.9%	2.4%	2.2%	2.0%	2.1%



Slika 7-14: Ukupna izložena vrednost (exposure) za zgrade po albanskim opštinama (World Bank, 2019)

8 Zaključci i preporuke

Svetlana Nikolić-Brzev¹, Ivan Milićević², Nikola Blagojević³ i Marko Marinković⁴

U ranim jutarnjim satima 26. novembra 2019. godine Albaniju je pogodio snažan zemljotres magnitude 6,4 sa epicentrom u zapadnom delu zemlje, na 30 km udaljenosti od glavnog grada Tirane. Ovo je bio najjači zemljotres u Albaniji u poslednjih 40 godina, koji je prouzrokovao smrt 51 osobe, kao i značajne ekonomske gubitke. Najveći deo populacije u epicentralnoj oblasti je ugrožen zbog oštećenja stambenih zgrada, kao i gubitka zaposlenja ili umanjenog prihoda. Ukupni materijalni gubici su procenjeni na oko milijardu evra (oko 8 % BDP-a Albanije za 2018. godinu), a najveće gubitke je pretrpeo stambeni sektor (približno 80% od ukupnih gubitaka). Građevinski fond zgrada u Albaniji se sastoji od zidanih i armiranobetonskih (AB) ramovskih konstrukcija i veoma je sličan fondu zgrada u Srbiji. U Albaniji postoji i značajan broj prefabrikovanih AB zgrada izgrađenih primenom krupnopanelnog sistema, a značajan fond ovakvih zgrada postoji i u većim gradovima u Srbiji. Ubrzanja tla u epicentralnoj oblasti ovog zemljotresa (u rasponu 0,1 do 0,2 g) su na nivou projektnih ubrzanja tla za Srbiju prema Evrokodu 8 (SRPS EN 1998-1/NA: 2018). Zapisi ubrzanja tla iz stanica u Tirani i Draču ukazuju da su spektralna ubrzanja bila iznad nivoa projektnog spektra prema važećem albanskom propisu iz 1989. godine (KTP-N.2-89).

Posledice ovog zemljotresa, kao što su tipovi i stepen oštećenja građevinskih objekata, kao i aktivnosti posle zemljotresa, npr. procenjivanje štete i pripreme za obnovu, su od značaja za stručnu javnost u Srbiji. U ovom poglavlju istaknuti su najvažniji zaključci (**Z**) članova SUZI tima koji je posetio zemljotresom pogođenu oblast, kao i preporuke (**P**) od značaja za građevinsku praksu u Albaniji i Srbiji.

Armiranobetonske ramovske konstrukcije zgrada

Zgrade niže i srednje spratnosti sa AB ramovskim konstruktivnim sistemom pretrpele su najveća oštećenja usled ovog zemljotresa. Ove konstrukcije su prilično fleksibilne jer se često izvode sa malim brojem AB zidova ili bez zidova, dok su ramovi formirani od stubova i, najčešće, „plitkih“ greda. Ove zgrade su u toku zemljotresa bile izložene relativno visokim spektralnim ubrzanjima koja su na nivou projektnih za fleksibilne sisteme prema albanskim propisima (predominantni period oko 1,0 s). AB ramovski sistemi su prilično zastupljeni u Srbiji, pre svega kod stambeno-poslovnih zgrada niže i srednje visine koje često imaju otvoreno prizemlje i prvi sprat, pa su iskustva iz ovog zemljotresa u vezi ponašanja ovakvih konstrukcija relevantna za domaću inženjersku praksu.

Z: Zbog velike fleksibilnosti AB ramovskih sistema sa „plitkim“ gredama, niže zgrade su bile osetljive na promenu krutosti pod uticajem zidane ispune i stepeništa, dok su više zgrade pretrpele samo oštećenja zidane ispune i to na nižim spratovima.

P: Ograničenje fleksibilnosti odnosno relativnih spratnih pomeranja je glavno rešenje problema. Ovaj problem se može eliminisati postavljanjem dovoljnog broja AB zidova ili povećanjem dimenzija stubova i greda, čime se smanjuje fleksibilnost čitave konstrukcije. U pojedinim slučajevima, ovaj koncept je primenjen kod ojačanja postojećih konstrukcija zgrada koje u ovom zemljotresu nisu pretrpele značajna oštećenja. Albanski propis, iako zahteva analizu „stvarnih“ pomeranja usled zemljotresa, nema jasno definisana ograničenja međuspratnih pomeranja, što je sigurno doprinelo usvajanju prilično fleksibilnih ramovskih konstrukcija sa „plitkim gredama“, osetljivih na promene krutosti. Domaći aseizmički propis YU 81 (PTN, 1981) ograničava pomeranje vrha konstrukcije usled projektnog (redukovano) seizmičkog opterećenja u slučaju primene pojednostavljene analize, što ograničava i fleksibilnost čitave konstrukcije, ali eksplicitna ograničenja relativnih međuspratnih pomeranja propisuje samo za složenije analize. Evrokod 8 (EN 1998-1:2005) sprečava usvajanje fleksibilnih konstrukcija na osnovu sledeća dva zahteva: (1) ograničenje relativnih

¹ Predsednica, Srpsko udruženje za zemljotresno inženjerstvo (SUZI-SAEE) i profesor, Univerzitet Britanske Kolumbije (UBC), Vankuver, Kanada

² Mast. inž. građ., asistent, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, Srbija

³ Doktorant, Švajcarski Federalni Institut za Tehnologiju (ETH), Ciri, Švajcarska

⁴ Docent, Građevinski fakultet Univerziteta u Beogradu, Beograd, Srbija

međuspratnih pomeranja za „češće“ zemljotrese od projektog, i (2) kontrola osetljivosti AB ramovskih sistema na efekte drugog reda pri dejstvu projektog zemljotresa. Pri visokim ubrzanjima tla, usvajanje dispozicija sa većim brojem AB zidova obično je rešenje ovog problema. Iako nema informacija o značajnim oštećenjima „plitkih“ greda u ovom zemljotresu, u takvim dispozicijama bi AB ramove sa „plitkim“ gredama bilo moguće klasifikovati i kao tzv. „sekundarne seizmičke elemente“ prema Evrokodu 8 (Milićević i Ignjatović, 2017), po analogiji sa ramovima koje čine stubovi i ploče koje se direktno oslanjaju na stubove.

Z: Usled neregularnosti AB ramovskih konstrukcija došlo je do efekata „fleksibilnog sprata“, „skraćenog stuba“ i/ili torzije cele konstrukcije. Ovakve neregularnosti su uglavnom bile prouzrokovane uticajem zidane ispune i stepeništa, koji se često zanemaruju u praksi. U pojedinim slučajevima, orijentacija stubova u fasadnim ramovima je uticala na smanjenu torzionu krutost konstrukcije, dok su u nekim slučajevima dimenzije stubova bile manje od dimenzija greda uobičajenih visina, zbog čega je došlo do oštećenja na krajevima stubova usled mehanizma „slab stub-jaka greda“ (eng. „*weak column-strong beam*“).

P: Pri projektovanju AB ramovskih konstrukcija sa malim brojem AB zidova treba, pre svega, ograničiti pomeranja konstrukcije i obratiti pažnju na mogućnost pojave „fleksibilnog prizemlja/sprata“. Domaći aseizmički propis YU 81 (PTN, 1981) zahteva (dvostruko) uvećanje seizmičkog opterećenja za sisteme sa „fleksibilnim spratom“ (naglom redukcijom krutosti osnovnog sistema) u odnosu na regularne sisteme. Kod regularnih ramovskih sistema domaći propis zahteva da zidana ispuna bude izvedena tako da ne menja (uvećava) krutost osnovnog nosećeg sistema, što onemogućava i pojavu „fleksibilnog sprata“ usled interakcije AB rama sa zidanom ispunom. U drugom slučaju, zahtev je moguće ispuniti odgovarajućim konstruktivnim merama, čemu treba posvetiti posebnu pažnju. Za razliku od domaćih propisa, Evrokod 8 (EN 1998-1:2005) praktično zabranjuje pojavu „fleksibilnog sprata“, a zahteva i eksplicitnu kontrolu neregularnosti u osnovi i po visini zgrade, uz odgovarajuće uvećanje seizmičkog opterećenja za neregularne konstrukcije u osnovi/po visini. Evrokod 8 prepoznaje i da AB ramovske konstrukcije mogu biti neregularne zbog interakcije sa neravnomerno raspoređenom zidanom ispunom u osnovi/po visini zgrade, pa zahteva adekvatno uvećanje uticaja u elementima noseće konstrukcije i u takvim slučajevima.

Z: Loše konstruisani i/ili izvedeni detalji armiranja AB stubova, greda i čvorova greda-stub su doprineli velikim oštećenjima i kolapsu konstrukcija, u najvećem broju slučajeva.

P: Adekvatno oblikovani detalji armiranja AB stubova, greda i čvorova greda-stub su ključni za pouzdano, duktilno ponašanje AB ramovskih konstrukcija tokom zemljotresa, što je jedna od najvažnijih lekcija iz ovog zemljotresa. Na ovom principu je zasnovan i albanski propis KTP-N.2-89 (Akademia e Shkencave, 1989) a razlog oštećenja AB elemenata je uglavnom bio armiranje koje nije u skladu sa propisom. Osnovni principi oblikovanja detalja za lokalnu duktilnost obuhvaćeni su i domaćim propisom YU 81 (PTN, 1981) a implementacija Evrokoda 8 (EN 1998-1:2005) u domaćoj inženjskoj praksi, koja će početi krajem 2020., će podrazumevati i proračunski dokaz obezbeđene duktilnosti AB elemenata sa ciljem obezbeđenja globalne duktilnosti konstrukcije.

Z: Oštećenja zidane ispune u AB ramovskim konstrukcijama bila su izuzetno rasprostranjena, naročito na nižim spratovima usled velikih relativnih međuspratnih pomeranja. Zidovi ispune su u toku zemljotresa bili izloženi kombinaciji opterećenja u ravni i upravno na ravan zida, što je dovelo do oštećenja i drastičnog smanjenja nosivosti ispune na opterećenje van ravni, kao i gubitka kontakta između ispune i rama, što je u nekim slučajevima prouzrokovalo potpuni kolaps i ispadanje ispune van ravni.

P: Poboljšanje ponašanja zidane ispune pri dejstvu zemljotresa može se postići: (i) adekvatnim projektovanjem AB ramova uzimajući u obzir uticaj ispune, kao i (ii) modifikovanjem same ispune. Prvi pristup sastoji se u tome da se pri projektovanju ostvari regularnost zidane ispune u osnovi i po visini zgrade, kao i da se ograniči fleksibilnost AB ramovskih konstrukcija odnosno horizontalne deformacije rama kao i zidane ispune. Osim

toga, pri projektovanju zidane ispune neophodno je uzeti u obzir dejstvo opterećenja u ravni i upravno na ravan zida. Drugi pristup je primenjen u nekim propisima za aseizmičko projektovanje, među kojima je i Evrokod 8 (EN 1998-1:2005) koji propisuje sledeća tri načina za poboljšanje zidane ispune:

- a) Ojačanje ispune radi povećanja njene nosivosti, što se može postići primenom armaturnih mreža od žice koje se usidre u zid ili postavljanjem zatega u malterskim spojnicaama koje su fiksirane za stub, i/ili primenom vertikalnih i horizontalnih AB serklaža. Na ovaj način ispuna učestvuje u prihvatanju seizmičke sile, međutim Evrokod 8 (EN 1998-1:2005) ne daje preporuke za projektovanje ispune, pa zbog toga ovaj pristup nije doživeo širu primenu u praksi.
- b) Povećanje duktilnosti zidova ispune podelom zida na više horizontalnih ravni čime se omogućava relativno klizanje na spojevima između tih ravni bez značajnih oštećenja blokova. Pored složenosti primene kliznih površina u malterskim spojnicaama, nije rešeno pitanje stabilnosti zida na opterećenja van ravni ispune pa ni ove mere nisu primenjene u praksi.
- c) Izolovanje ispune od rama, koje se postiže ostavljanjem dovoljnog prostora između rama i ispune kako bi se kompenzovala deformacija rama i izbegla interakcija rama i ispune. Ovo rešenje pojednostavljuje modeliranje konstrukcije, jer ispuna ne utiče na dinamičke karakteristike sistema. Pored toga, ispuna ne mora da se proračunava kao konstruktivni element jer ne učestvuje u prijemu seizmičkih sila. Međutim, veza između rama i ispune treba da spreči ispadanje zida van ravni a u isto vreme i da omogući deformaciju rama bez aktivacije ispune, što je teško rešiti u praksi, pa se zbog toga ovo rešenje retko i primenjuje u praksi. U toku poslednjih nekoliko godina razvijena su rešenja koja bi mogla da eliminišu navedene probleme (Morandi i ost., 2018; Marinković, 2018; Marinković i Butenweg, 2019; Marinković i Butenweg, 2020), međutim potreban je njihov dalji razvoj u pravcu uspešne primene u inženjerskoj praksi.

Prefabrikovane AB konstrukcije zgrada

Z: Većina zgrada ovog tipa nije pretrpela značajna konstruktivna oštećenja. Oštećenja, u vidu pukotina u malteru, primećena su u nekim zgradama na spojevima između panela, ali nije došlo do oštećenja samih panela. Zgrade fundirane na mekom tlu su pretrpele značajnija oštećenja u poređenju sa sličnim ili istim zgradama fundiranim na čvrstom tlu.

P: Iako postoji značajan broj prefabrikovanih AB zgrada sa krupnopanelnim sistemom gradnje u Albaniji, ne postoje informacije u vezi aseizmičkog projektovanja ovih konstrukcija. Potrebno je razviti preporuke za seizmičku evaluaciju i ojačanje postojećih zgrada ovog tipa u slučaju dejstva budućih zemljotresa – ovo važi i za Albaniju i za Srbiju.

Zidane konstrukcije zgrada

Z: Zidane zgrade su se generalno dobro ponašale u toku zemljotresa, međutim ovaj zemljotres je ukazao na izuzetnu ranjivost slobodno oslonjenih ošupljenih prefabrikovanih AB tavanica, koje su izazvale ozbiljna oštećenja pa i kolaps nearmiranih zidanih zgrada srednje spratnosti.

P: Potrebno je razviti preporuke za procenu seizmičke otpornosti postojećih zidanih zgrada, pogotovo višeporodičnih zgrada od nearmirane zidarije kakvih ima puno u urbanim sredinama kao što su Beograd, Novi Sad, Niš, itd. Takođe je potrebno razviti preporuke i katalog rešenja za seizmičko ojačanje ovakvih zgrada posle zemljotresa.

Z: Zgrade sa hibridnim konstruktivnim sistemom, koji se sastoji od AB ramova u prizemlju i zidarije sa serklažima na višim spratovima, su pretrpele značajna oštećenja ili kolaps usled ovog zemljotresa pre svega zbog efekta fleksibilnog sprata (prizemlja).

P: U Albaniji je potrebno razviti preporuke za seizmičko ojačanje zgrada sa hibridnim konstruktivnim sistemom, koje se pre svega odnose na ukrućenje ramova u prizemlju. U Srbiji

je potrebno obratiti pažnju pri projektovanju zidanih zgrada sa serklažima visine 3 ili 4 etaže, pogotovo kada su u pitanju zgrade kombinovane namene koje imaju otvoreno prizemlje. U takvim zgradama ne postoji uvek kontinuitet zidova po visini, pogotovo na nivou prizemlja, što može da dovede do ozbiljnih oštećenja usled zemljotresa ukoliko se ova neregularnost ne uzme u obzir pri projektovanju.

Sistemi infrastrukture

Z: Nisu primećena značajnija oštećenja infrastrukturnih sistema, međutim primetili smo da nekonstruktivna oštećenja mogu da oštete instalacije objekta. Jedna od mogućih posledica je da korisnici objekta nemaju pristup kritičnim infrastrukturnim sistemima.

P: Potrebno je obratiti pažnju na moguća oštećenja instalacija usled konstruktivnih ili nekonstruktivnih oštećenja objekata. Pored sigurnosti objekta, treba obratiti pažnju i na njegovu funkcionalnost, koja je ugrožena kada korisnici objekta nemaju pristup osnovnim infrastrukturnim uslugama kao što su voda za piće ili električna energija. To je posebno važno kod objekata kao što su bolnice ili škole, čija je funkcionalnost veoma važna za zajednicu.

Z: Usled velikog skoka u broju poziva hitnim službama i poziva zabrinutih građana došlo je do preopterećenja telekomunikacionog sistema neposredno nakon zemljotresa.

P: Potrebno je obezbediti funkcionalnost telekomunikacione mreže neposredno nakon zemljotresa, kao što su nezavisni sistemi za komunikaciju u vanrednim situacijama i/ili internet servis za komunikaciju sa službama (hitna pomoć, vatrogasna služba, itd.).

Z: Ovaj zemljotres je prouzrokovao oštećenja distributivnog sistema elektroenergetske mreže. Usled toga je oko 90.000 domaćinstava ostalo bez struje neposredno nakon zemljotresa, mada je nestanak struje trajao manje od jednog dana.

P: Potrebno je sprečiti preturanje opreme koja je osetljiva na ubrzanja tokom zemljotresa, jer to može da dovede do gubitka električne energije. Prevrtanje električne opreme (npr. transformatora) može da parališe funkcionalnost nekoliko infrastrukturnih sistema.

Oporavak i funkcionalnost nakon zemljotresa

Z: U akcijama spasavanja učestvovalo je oko 8.500 ljudi, spaseno je 48 osoba i akcije spasavanja su trajale tri dana nakon zemljotresa. Privremeni smeštaj je bio potreban za oko 17.000 ljudi.

P: Ovaj zemljotres je potvrdio značaj postojanja strategije za postupanje u slučaju zemljotresa na državnom i lokalnom nivou, kao i efikasno informisanje javnosti o ponašanju tokom i nakon zemljotresa, što je od značaja za Srbiju. Isto tako, neophodno je da postoje propisi u vezi sanacije i seizmičkog ojačanja zgrada usled dejstva zemljotresa, koji su zasnovani na savremenoj metodologiji koja definiše principe saniranja objekata nakon zemljotresa.

Z: Inspekcija oštećenih objekata je počela odmah posle zemljotresa. Prema dostupnim podacima, u toku dve nedelje izvršena je inspekcija oko 14.000 objekata, a učestvovalo je više od 500 inženjera.

P: Veoma je važno da se pre zemljotresa razvije i usvoji metodologija za inspekciju oštećenih zgrada i da se izvrši obuka inženjera koji bi trebalo da izvrše inspekciju.

Z: Postoji mogućnost da metodologija klasifikacije objekata nije bila dosledno primenjivana na svim lokacijama. Pored toga, postoji mogućnost da oštećenja zidova ispune, odnosno nekonstruktivnih elemenata, nisu adekvatno uzeta u obzir pri proceni stepena oštećenja.

P: Prilikom razvoja metodologije za klasifikaciju oštećenja posle zemljotresa važno je uzeti u obzir uticaj nekonstruktivnih elemenata, na primer zidova ispune, na nivo oštećenja objekata. Veoma je vazno i da se takva metodologija dosledno primenjuje na svim lokacijama.

Z: Usled oštećenja zidane ispune u blizini stepeništa, prohodnost stepeništa je bila smanjena i evakuacija je bila otežana.

P: Potrebno je obratiti pažnju na moguća oštećenja liftova i stepeništa tokom projektovanja i izvođenja, jer oštećenja elemenata vertikalne komunikacije u objektima mogu da izazovu gubitak ljudskih života. Pored toga, treba obratiti pažnju na izvođenje nekonstruktivnih elemenata zgrada, npr. zidanih parapeta na krovovima objekata i dimnjaka, čiji lom može da ugrozi ljudske živote.

Z: Baze podataka u GIS formatu su znatno povećale efikasnost inspekcije i klasifikacije oštećenih zgrada.

P: Baza podataka o oštećenim objektima nakon zemljotresa može da ubrza inspekciju objekata i oporavak zajednica. GIS baze podataka su se dobro pokazale u Albaniji, pa se preporučuje razvoj takvih baza i u Srbiji.

9 Literatura

- Aliaj, S. i ost. (2004). Probabilistic seismic hazard maps for Albania. Proceedings, of the 13th World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, Canada, Paper No. 2469.
- Asteris, P. G., Repapis, C. C., Tsaris, A. K., Di Trapani, F. i Cavaleri, L. (2015). Parameters affecting the fundamental period of infilled RC frame structures. *Earthquakes and Structures*, 9(5): 999-1028.
- Astroza, M., Moroni, O., Brzev, S., i Tanner, J. (2012). Seismic performance of engineered masonry buildings in the 2010 Maule earthquake. *Earthquake Spectra*, 28(S1): S385-S406.
- Baballeku, M. (2020). Lična komunikacija. Tirana, Albanija.
- Bashkia Krujë (2016). City of Krujë - Tourist Guide. Dostupno na: <http://kruja.gov.al/evente/>, Poslednji put pristupljeno 1.6.2020.
- Bilgin, H. i Korini, O. (2012). Seismic capacity evaluation of unreinforced masonry residential buildings in Albania. *Nat. Hazards Earth Syst. Sci.*, 12: 3753–3764.
- Bilgin, H. i Huta, E. (2018). Earthquake performance assessment of low and mid rise buildings: Emphasis on URM buildings in Albania. *Earthquakes and Structures*, 14 (6), DOI:<https://doi.org/10.12989/eas.2018.14.6.000>
- Braga, F., Manfredi, V., Masi, A., Salvatori, A. i Vona, M. (2011). Performance of non-structural elements in RC buildings during the L'Aquila, 2009 earthquake. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 9(1): 307-324.
- Brzev, S., Pandey, B., Maharjan, D.K., i Ventura, C. (2017). Seismic vulnerability assessment of low-rise reinforced concrete buildings affected by the 2015 Gorkha, Nepal earthquake. *Earthquake Spectra*, 33 (S1): S275-S298.
- Butenweg, C., Kubalski, T., Marinković, M., Pfetzing, T., Ismail, M., i Fehling, E. (2016a). Ausfachungen aus Ziegelmauerwerk. *Mauerwerk Kalender 2016: Baustoffe Sanierung Eurocode - Praxis*, 41: 563-575.
- Butenweg, C., Marinković, M., Kubalski, T., i Klinkel, S. (2016b). Stahlbetonrahmen mit Ausfachungen aus Mauerwerk unter horizontalen Belastungen. *Mauerwerk*, 20(4): 305-312.
- Butenweg, C. i Marinković, M. (2018a). Erdbebensicherer Anschluss von Ausfachungsmauerwerk in Stahlbetonrahmentragwerken mit Entkopplungselementen. *Bauingenieur*, 93(9): 333-341.
- Butenweg, C., Marinković, M., Fehling, E., i Pfetzing, T. (2018b). Stahlbetonrahmentragwerke mit Ausfachungen aus Mauerwerk unter kombinierten seismischen Belastungen in und senkrecht zur Wandebene, *Bauingenieur*, Band 93, Erdbebeningenieurwesen.
- Butenweg, C., Marinković, M., i Salatić, R. (2019). Experimental results of reinforced concrete frames with masonry infills under combined quasi-static in-plane and out-of-plane seismic loading. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 17(6): 3397-3422.
- Caporali, A. i ost. (2020). The November 2019 seismic sequence in Albania: geodetic constraints and fault interaction. *Remote Sensing*, 12: 846, doi:10.3390/rs12050846
- Charleson, A.W., Vesho, N., i Marku, A. (2020). Structural engineering observations from the 26 November 2019 Mw 6.4 Albanian earthquake, Proceedings of the NZSEE Annual Conference 2020, Wellington, NZ.
- De Luca, F., Verderame, G.M., Gómez-Martínez, F., i Pérez-García, A. (2014). The structural role played by masonry infills on RC building performances after the 2011 Lorca, Spain, earthquake. *Bull Earthq Eng*, 12(5):1999–2026.
- Duni, L. i Theodoulidis, N. (2019). Short note on the November 26, 2019, Durres (Albania) M6.4 earthquake: strong ground motion with emphasis in Durres city. *Institute of Engineering Seismology and Earthquake Engineering (ITSAK)*, Tirana, Albania.
- DW (2019). Albania earthquake: Tears, prayers in village near epicenter. Dostupno na: <https://www.dw.com/en/albania-earthquake-tears-prayers-in-village-near-epicenter/a-51442555>, Poslednji put pristupljeno 1.6.2020.
- EEFIT (2020). EEFIT Mission Albania 2019, Prezentacija, Earthquake Engineering Field Investigation Team, The Institution of Structural Engineers, UK.
- EERI (2019). Phase 1 response to M6.4 Albania earthquake November 26, 2019. Virtual Earthquake Reconnaissance Team (VERT), Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, CA, USA. Dostupno na:

[http://learningfromearthquakes.org/images/earthquakes/2019_Albania_Earthquake/VERT_Phase_1 - Albania EQ 2019.pdf](http://learningfromearthquakes.org/images/earthquakes/2019_Albania_Earthquake/VERT_Phase_1_-_Albania_EQ_2019.pdf), Poslednji put pristupljeno 1.6.2020.

EMSC-CSEM (2019). M 6.4 - ALBANIA - 2019-11-26 02:54:11 UTC: Earthquake Details. European-Mediterranean Seismological Centre. Dostupno na: <https://www.emsc-csem.org/Earthquake/262/M6-4-ALBANIA-on-November-26th-2019-at-02-54-UTC>, Poslednji put pristupljeno 1.6.2020.

EMSC-CSEM (2019a). M 6.4 - ALBANIA - 2019-11-26 02:54:11 UTC. European-Mediterranean Seismological Centre. Dostupno na: <https://static3.emsc.eu/Images/EVID/80/807/807751/807751.regional.jpg>, Poslednji put pristupljeno 1.6.2020.

EN 1992-1-1:2004 (2004). Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-1 : General rules and rules for buildings, Comité Européen de Normalisation, Bruxelles, Belgium.

EN 1998-1:2005 (2005). Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance – Part 1: General rules, seismic action and rules for buildings, Comité Européen de Normalisation, Bruxelles, Belgium.

ESRI (2019). Real-Time GIS Apps Quicken Response to Earthquake in Albania. Dostupno na: <https://www.esri.com/about/newsroom/arcnews/real-time-gis-apps-quicken-response-to-earthquake-in-albania/>, Poslednji put pristupljeno 1.6.2020.

EWB (2020). 1.15 billion euros to Albania after the earthquake. Dostupno na: <https://europeanwesternbalkans.com/2020/02/17/1-15-billion-euros-to-albania-after-the-earthquake/>, Poslednji put pristupljeno 1.6.2020.

FIB (2008). *Structural Connections for Precast Concrete Buildings*. Buletin 43, International Federation for Structural Concrete (fib), Lausanne, Switzerland.

GDI (2019). Earthquake damage database 1. Dostupno na: <https://gdi-online.maps.arcgis.com/apps/opsdashboard/index.html#/1cac80e89b524f0e932a302425f25602>, Poslednji put pristupljeno 1.6.2020.

GDI (2019a). Earthquake damage database 2. Dostupno na: <http://gdi-online.maps.arcgis.com/apps/opsdashboard/index.html#/62c8416ce4c54ec7b21163df5d250214>, Poslednji put pristupljeno 1.6.2020.

Grünthal, G. (ed.) (1998). *European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98)*. Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, Luxembourg, p. 98.

Gülerce, Z. i ost. (2017). Seismic hazard maps for the Western Balkan. *Inženjerstvo okoliša*, 4 (1): 7-17.

Guri, M., Luka, D., i Brzev, S. (2020). Seismic issues in prefabricated reinforced buildings affected by the 26 November 2019 earthquake. International Symposium on Durres Earthquake and Eurocodes, Tirana, Albanija (prihvaćen rad).

Guri, M. (2020a). Lična komunikacija. Tirana, Albanija.

Guri, M. (2019). Classification and valuation of the methodology of structures damages. Proceedings of the International Symposium: Today's Challenges of Construction Industry and Resilience to Natural Hazards, Polis University, Tirana, Albania.

IGEWE (2019). Strong Motion Records Durresi earthquake 26 November 2019. Institute of GeoSciences, Energy, Water and Environment, Tirana, Albania. Dostupno na: https://geo.edu.al/durres/Durresi_earthquake_26_November_2019_Main_shock.xls, Poslednji put pristupljeno 1.6.2020.

Islami, G. (2016). Përmirësimi i performancës energjetike në banesat me panele të parapërgatitura në Tiranë (Poboljšanje energetske efikasnosti krupnpanelnih stambenih zgrada u Tirani), Doktorska disertacija, Politehnicki Univerzitet u Tirani, Albanija, p. 120.

Islami, G. i Veizaj, D. (2014). Comfort conditions and energy consumption in prefabricated houses in Tirana. Proceedings of the 2nd ICAUD International Conference in Architecture and Urban Design, Tirana, Albanija, paper No. 321.

Kadysiewski, S. i Mosalam, K.M. (2009). *Modeling of unreinforced masonry infill walls considering inplane and out-of-plane interaction*. Pacific Earthquake Engineering Research Center, PEER Report 2008/102, University of California, Berkley, USA.

Kappos, A. J. i Ellul, F. (2000). Seismic design and performance assessment of masonry infilled RC frames. Proceedings of the 12th World Conference on Earthquake Engineering, Auckland, New Zealand, paper No. 989.

Koçiu, S. i ost. (1985). *Seismic microzonation of Durresi town*. Internal report, IGEWE, Tirana, Albanija (na albanskom).

Kose, M.M. (2009). Parameters affecting the fundamental period of RC buildings with infill walls. *Engineering Structures*, 31: 93-102.

- Lekkas, E., Mavroulis, S., Filis, C., i Carydis, P. (2019a). The September 21, 2019 Mw 5.6 Durrës (Albania) earthquake. *Newsletter of Environmental, Disaster and Crises Management Strategies*, No. 13, ISSN 2653-9454. Dostupno na: https://edcm.edu.gr/images/docs/newsletters/Newsletter_13_2019_Albania_EQ.pdf. Poslednji put pristupljeno 1.6.2020.
- Lekkas, E., Mavroulis, S., Papa, D., Carydis, P. (2019). The November 26, 2019 Mw 6.4 Durrës (Albania) earthquake. *Newsletter of Environmental, Disaster and Crises Management Strategies*, No. 15, ISSN 2653-9454. Dostupno na: https://edcm.edu.gr/images/docs/newsletters/Newsletter_15_2019_Albania_EQ.pdf. Poslednji put pristupljeno 1.6.2020.
- Luka, R. (2018). Present status of Eurocodes in Albania, the way forward for the Eurocodes implementation in the Balkans. Dostupno na: https://eurocodes.jrc.ec.europa.eu/doc/2018_10_WS_Balkan/presentations/1_Country_Report_Albania.pdf, Poslednji put pristupljeno 1.6.2020.
- Manfredi, G., Prota, A., Verderame, G.M., De Luca, F. i Ricci, P. (2014). 2012 Emilia earthquake, Italy: reinforced concrete buildings response. *Bull Earthq Eng*, 12(5):2275–2298.
- Marinković, M. (2018). *Inovativni sistem za seizmički otpornu zidanu ispunu u armiranobetonskim ramovskim konstrukcijama*. Doktorska disertacija, Univerzitet u Beogradu, Građevinski fakultet.
- Marinković, M. i Butenweg, C. (2019). Innovative decoupling system for the seismic protection of masonry infill walls in reinforced concrete frames. *Engineering Structures*, 197: 109435.
- Marinković, M. i Butenweg, C. (2020). Earthquake-proof system for masonry infills in RC frame structures. *International Journal of Masonry Research and Innovation*, 5(2): 185-208.
- Milićević, I. i Ignjatović, I. (2017). Analiza primene sekundarnih seizmičkih elemenata u proračunu prema Evrokodu 8. *Građevinski materijali i konstrukcije*, 60 (3):15-29.
- McKenney, C. (2019). Reconnaissance Observation Report: Albania M6.4 Earthquake on November 26, 2019. Dostupno na: http://learningfromearthquakes.org/images/earthquakes/2019_Albania_Earthquake/Albania_EQ_Report_-_Chiara_McKenney.pdf. Poslednji put pristupljeno 1.6.2020.
- McKenney, C. (2019a). Albania EQ Coordinantion Call Meeting 10 December 2019. Earthquake Engineering Research Institute, Oakland, CA, USA (lična komunikacija).
- Mecanov, D. (2016). Uticaj sistema prefabrikovane gradnje na arhitekturu Beograda. *Nasleđe*, Zavod za zastitu spomenika kulture grada Beograda, XVII: 97-124.
- Ministria e Ndërtimit (1978). *Kushtet Teknike të Projektimit për Ndërtimet në Zona Sizmike*, KTP 2-78. Tirana, Albanija.
- Morandi, P., Milanesi, R.R., i Magenes, G. (2018) Innovative solution for seismic-resistant masonry infills with sliding joints: in-plane experimental performance. *Eng Struct*, 176:719–733.
- Murty, C. V. R., Goswami, R., Vijayanarayanan, A. R., i Mehta, V. (2012). *Earthquake Behaviour of Buildings*. Gujarat State Disaster Management Authority, Gandhinagar, Indija.
- N1 (2019). Tlo u Albaniji ne prestaje da podrhtava, broj žrtava se povećao na 40. Dostupno na: <http://rs.n1info.com/Region/a547638/Zemljotres-u-Albaniji-tlo-ne-prestaje-da-podrhava.html>, Poslednji put pristupljeno 1.6.2020.
- Novikova, A. i ost. (2015). *The typology of the residential building stock in Albania and the modelling of its low-carbon transformation*. Project SLED, Regional Environmental Center for Central and Eastern Europe, Austria. Dostupno na: http://sled.rec.org/documents/SLED_Albania_BUILDING_ENG.pdf, Poslednji put pristupljeno 1.6.2020.
- Potsiou, C.A. i Augustinius, C. (2010). *Informal Urban Development in Europe: Experiences From Albania and Greece (Summary Version)*. United Nations Human Settlements Programme (UN-HABITAT), Kenya. Dostupno na: <https://gltn.net/download/informal-urban-development-in-europe-experiences-from-albania-and-greece-summary-eng-2010/#>, Poslednji put pristupljeno 1.6.2020.
- PTN (1981). *Pravilnik o tehničkim normativima za izgradnju objekata visokogradnje u seizmičkim područjima*, Službeni list SFRJ br. 31/81.
- QSAS (1979). *Harta e Rajonizimit Sizmik të RPS të Shqipërisë, Qendra Sizmologjike e Akademisë së Shkencave*, Tirana, Albanija (Seizmološki centar Akademije Nauka, mapa seizmičke zonacije za Albaniju).

Red Cross (2019). Emergency appeal Albania : earthquake disaster and the Red Cross Red Crescent response to date, Novembar 2019. Dostupno na:

<https://reliefweb.int/report/albania/emergency-appeal-albania-earthquake-n-mdral008>,

Poslednji put pristupljeno 1.6.2020.

Reporter (2019). Mort dhe mosbesim: Thumana vajton viktimat e 'tragjedisë së paralajmëruar', Reporter. com, 28.11.2019. Dostupno na: <https://www.reporter.al/mort-dhe-mosbesim-thumana-vajton-viktimat-e-tragjedise-se-paralajmeruar/>, Poslednji put pristupljeno 1.6.2020.

Ricci, P., Verderame, G. M. i Manfredi, G. (2011). Analytical investigation of elastic period of infilled RC MRF buildings. *Engineering Structures*, 33: 308-319.

Robazza, B.R., Brzev, S., Yang, T.Y., Elwood, K.J., Anderson, D.L., i McEwen, W. (2018). Seismic behaviour of slender reinforced masonry shear walls under in-plane loading: an experimental investigation. *Journal of Structural Engineering*, ASCE, 144(3): 04018008.

Shqiptarja.com (2019). INVESTIGIMI/ Historiku i 10 pallateve të mallkuara që u shembën dhe zonë nën rrënoja banorët në Durrës dhe Thumanë, November 29, 2019. Dostupno na: <https://shqiptarja.com/lajm/historiku-i-pallateve-qe-u-shemben-dhe-zune-nen-rrenoja-banoret-ne-durres-dhe-thumane>, Poslednji put pristupljeno 1.6.2020.

SRPS EN 1998-1/NA: 2018 (2018). *Evrokod 8: Proračun seizmički otpornih konstrukcija — Deo 1: Opšta pravila, seizmička dejstva i pravila za zgrade*. Institut za Standardizaciju Srbije, Beograd, Srbija.

Stein, R. i Sevilgen, V. (2019). Albania earthquake strikes highest-hazard zone in the Balkans, devastating nearby towns. Temblor, USA. Dostupno na:

<https://temblor.net/earthquake-insights/albania-earthquake-strikes-highest-hazard-zone-in-the-balkans-devastating-nearby-towns-10153/>, Poslednji put pristupljeno 1.6.2020.

Su, R.K.L., Lee, Y.Y., Lee, C.L., i Ho, J.C.M. (2011). Typical collapse modes of confined masonry buildings under strong earthquake loads. *The Open Construction and Building Technology Journal*, 5(M2): 50-60.

Sulstarova, E. i ost. (2003). The Albanian earthquakes catalogue for historical and instrumental data with magnitude $M \geq 4.5$, Internal Report for the NATO Project *Seismotectonic and Seismic Hazard Assessment in Albania (1999-2002)*, Seismological Institute, Tirana, Albania.

UNDP (2019). UNDP assists Albania in the aftermath of the earthquake. Dostupno na: <https://www.youtube.com/watch?v=Wh48YH27q8o>, Poslednji put pristupljeno 1.6.2020.

UNDP, WB & EU (2020). *Post-Disaster Needs Assessment – Albania*. United Nations Development Program, World Bank, and European Union. Dostupno na:

<https://reliefweb.int/report/albania/release-post-disaster-needs-assessment-albania-recovery>, Poslednji put pristupljeno 1.6.2020.

USGS (2019). M 6.4 – 15 km WSW of Mamurras, Albania, U.S. Geological Survey, USA. Dostupno na:

<https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us70006d0m/executive>, Poslednji put pristupljeno 1.6.2020.

UNIDO (1983). *Design and Construction of Prefabricated Reinforced Concrete Frame and Shear-Wall Buildings*. Building Construction Under Seismic Conditions in the Balkan Region. Volume 2. UNDP/UNIDO Project RER/79/015, Beč, Austrija.

Vuković, S. (2007). Stanje i pravci razvoja industrijalizacije građenja. *Izgradnja*, 11–12: 557-567.

Vulinović, M., Milićević, I., Ignjatović, I. (2019). Obezbeđenje lokalne duktilnosti armiranobetonskih elemenata prema Evrokodu 8 koeficijent utezanja. *Građevinski materijali i konstrukcije*, 62 (3): 3-17.

World Bank (2019). *M 6.4 Albania Earthquake Global Rapid Post Disaster Damage Estimation (GRADE) Report*. GPURL D-RAS Team, Dostupno na:

https://www.humanitarianresponse.info/sites/www.humanitarianresponse.info/files/assessments/2019-12-16_grade_alb_eq_nov2019_final.pdf, Poslednji put pristupljeno 1.6.2020.

Yuen, T.Y., Kuang, J.S., i Ali, B.S.M. (2016). Assessing the effect of bi-directional loading on nonlinear static and dynamic behaviour of masonry-infilled frames with openings. *Bull Earthq Eng*, 14(6):1721–1755.

CIP - Каталогизација у публикацији
Народна библиотека Србије, Београд

624.131.552
550.34(496.5)"2019"

**POSLEDICE zemljotresa u Albaniji od 26.11. 2019.
godine na objekte i infrastrukturu** / Svetlana Nikolić-Brzev
... [et al.]. - Beograd : Srpsko udruženje za zemljotresno
inženjerstvo (SUZI-SAEE) : Akademska misao, 2020 (Beograd :
Akademska misao). - IV, 83 str. : ilustr. ; 30 cm

Na vrhu nasl. str.: Serbian Association for Earthquake
Engineering. - Tiraž 100. - Str. I: Predgovor / Vanja Alendar. -
Bibliografija: str. 77-80.

ISBN 978-86-7466-843-6 (AM)

1. Николић-Брзев, Светлана, 1959- [аутор]
а) Земљотресно инжењерство б) Земљотреси -- Албанија --
2019 -- Последице

COBISS.SR-ID 18526985

