

SEIZMIČKA POUZDANOST INFRASTRUKTURNIH OBJEKATA

Nazim Manić¹
Dragan Lukić²
Aleksandar Prokić³

UDK: 624.042.7 : 711.7

DOI: 10.14415/zbornikGFS22.004

Rezime: *Stepen sigurnosti objekata infrastrukture može se utvrditi na osnovu oštećenja usled dejstva dosadašnjih zemljotresa. Ova analiza je veoma složena i kompleksna, a koristi se pri projektovanju novih objekata u cilju smanjenja negativnih posledica zemljotresa.*

Infrastruktura (saobraćajna, komunalna i transportna) je osnov funkcionisanja svih vidova privrede, i u opšte, organizacije života ljudi bilo da se radi o gradskim ili ruralnim sredinama.

U ovom radu prikazano je dejstvo zemljotresa i oštećenja usled tih dejstava za razne tipove infrastrukture, a što može poslužiti za ocenu njihove pouzdanosti. Pored toga, ova početna analiza može poslužiti za izradu baze podataka za pojedina područja što bi projektantima budućih objekata dalo određene smernice i sa ovog aspekta.

Gljučne reči: *Seizmička pouzdanost, saobraćajna infrastruktura, zemljotres, komunalna infrastruktura.*

1. UVOD

Infrastruktura predstavlja skup transportnih i komunalnih sistema, a služi za komunikaciju, distribuciju i transport. Danas infrastruktura predstavlja osnovu za život i rad ljudi u civilizovanom društvu. Analiza oštećenja infrastrukture u slučaju zemljotresa veoma je važna sa aspekta funkcionalnosti tih objekata, kao i uticaja na funkcionalnost drugih objekata.

Zemljotresi su jedna od prirodnih katastrofa koje se dešavaju na Zemljinoj površini, zbog čega su još od iskona bili predmet pažnje ljudi. Podatke o zemljotresima nalazimo u zapisima starim više hiljada godina. Nasuprot rasprostranjenom uverenju da su to retke pojave, oni se dešavaju vrlo često, ali njihov najveći broj je slabog intenziteta i javlja se na relativno malim površinama kopnenih površina ili okeanskog dna. Intenzivnije proučavanje zemljotresa počinje tek u 19. i 20. veku.

Ne postoji način da se spreči pojava zemljotresa i ne postoji mogućnost da se zemljotres

¹ Mr Nazim Manić, dipl.građ.inž., Državni Univerzitet Novi Pazar, E-mail: nazimmanic@hotmail.com

² Prof. dr Dragan Lukić, dipl. građ. inž., Univerzitet u Novom Sadu, Građevinski fakultet Subotica, E-mail: drlukic.lukic@gmail.com

³ Prof. dr Aleksandar Prokić, dipl.građ.inž. Univerzitet u Novom Sadu, Građevinski fakultet Subotica, E-mail: aprokic@EUnet.rs

sa velikom pouzdanošću predvidi u smislu lokacije, veličine zemljotresa i vremena nastanka. Jedina mogućnost da se smanje oštećenja usled dejstva zemljotresa su odgovarajuće planiranje izgradnje i mere pri izgradnji. U pogledu ljudskih i ekonomskih gubitaka seizmičko pomeranje tla je najznačajniji faktor koji doprinosi rušilačkom dejstvu zemljotresa. Pomeranje tla i dinamička dejstva doprinose gubicima ne samo kroz oštećenja izazvana *direktno* na objektima, već i *indirektno* kroz aktiviranje sekundarnih efekata kao što su:

–*Pojava površinskih pukotina duž raseda* koji nastaju kao mehanički diskontinuiteti stenske mase, po kojima se dogodilo kretanje izazvano dejstvom zemljotresa. Ove pukotine mogu biti različitih širina, dubina i dužina. One mogu dostići dužine i do nekoliko km a širina i dubina do nekoliko metara. Objekti izgrađeni na rasedima i u njihovoj neposrednoj blizini su podložni najvećim oštećenjima i takve lokacije je potrebno izbegavati za izgradnju. Ovo je od posebnog značaja za delimično ukopane objekte kao i za podzemne infrastrukturne objekte.

–*Sleganje i izdizanje zemljišta* je pojava koja se obično javlja sa pojavom rasedanja. Deformacije mogu biti lokalne, kada utiču na usku zonu u blizini raseda i one mogu dovesti do deformacije objekta. Takođe, razlikuju se i regionalne deformacije (na većim površinama) gde su one od posebnog značaja za infrastrukturu koja se nalazi duž obala, gde usled velikih sleganja zemljišta može doći do promene nivoa vode i do velikih potapanja površina (stotina kvadratnih kilometara). Primer je zemljotres na Aljaski 1964. kada je došlo do sleganja dokova luka, puteva, železnica, a što je za posledicu imalo potapanje tih objekata.

–*Pojava klizišta, lavina, odrona* nastalih usled dejstva zemljotresa za posledicu ima velika oštećenja infrastrukture u blizini tih područja. U planinskim područjima zemljotres može dovesti do pokretanja lavina snega, koje takođe mogu izazvati velike probleme na infrastrukturi.

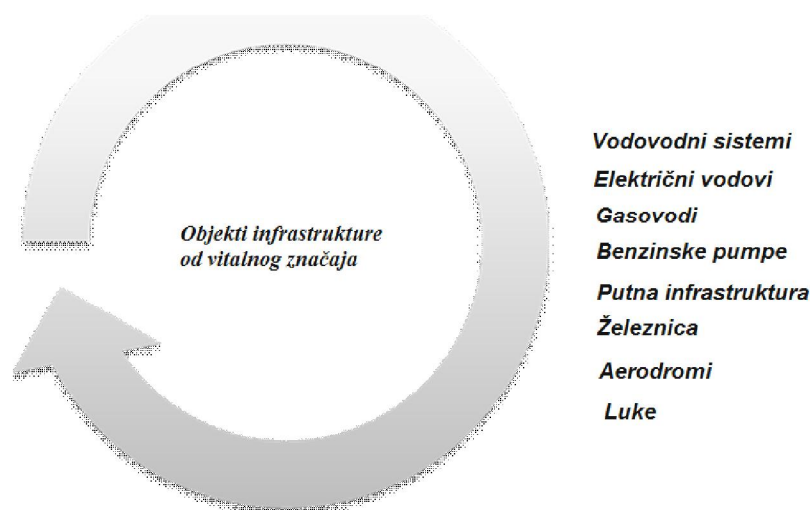
–*Likvefakcija tla* je pojava promene mehaničkih osobina tla usled dejstva zemljotresa, pri čemu ono gubi čvrstoću i postaje tečno. Likvefakcija nastaje usled smanjenja smičućeg napona između čestica tla. Ovo smanjenje može biti izazvano vertikalnim kretanjem podzemne vode, što je karakteristično kod pojava živog peska ili povećanog pritiska izazvanog potresima tla (zemljotres). Konstrukcije postavljene na takvom tlu se sležu, naginju ili se ruše. Velike deformacije zemljišta ispod površine zemljišta dovode do prekida komunalne infrastrukture a time linije usluga (vodovod, kanalizacija, gas, električna energija i dr.). Pri tome, nije retka i pojava požara u starijim objektima.

–*Pojava cunamija* je izazvana dejstvom dugih talasa usled naglog vertikalnog pomeranja velikog područja morskog dna tokom zemljotresa. U dubokim vodama talasi su neprimetni. Na površinskim delovima oko ostrva ili obala dolazi do naglog izdizanja visine talasa čak i do 30 m i brzine do 50 km/h, sa ogromnom rušilačkom snagom.

2. OSETLJIVOST INFRASTRUKTURE

Osetljivost se definiše kao stepen oštećenja infrastrukture usled dejstva zemljotresa. Za infrastrukturne sisteme treba uočiti razliku između osetljivosti sistema i osetljivosti pojedinih delova tog infrastrukturnog sistema. Infrastruktura sa minimalnim oštećenjima usled dejstva zemljotresa je preduslov za efikasno funkcionisanje infrastrukturnih sistema posle zemljotresa, kao i brzu sanaciju oštećenih delova. U zemljama u razvoju

(kakva je i naša), najčešće, vladine organizacije i industrija su koncentrisane u najgušće naseljene oblasti. Velika oštećenja infrastrukturnih sistema u takvim oblastima bi imala velikog uticaja na celu državu. Imajući to u vidu, izgrađena infrastruktura otporna na nepogode, posebno zemljotres, je važno pitanje ukupnog održivog razvoja. Sledeći tipovi infrastrukture su od vitalnog značaja za normalizaciju funkcionisanja života u zemljotresom pogođenom području posle njegovog dejstva (Slika 1).



Slika1. Vitalni infrastrukturni objekti
Figure1. Vital infrastructural facilities

Pri tome, treba naglasiti, da infrastrukturni sistemi nemaju istu važnost, pa je za sanaciju oštećenja potrebno napraviti prioritete, koji se menjaju od države do države. Tokom i posle zemljotresa ne treba svaki javni servis da funkcioniše u istom obimu kao u normalno vreme. Nadležni organi za infrastrukturu moraju definisati usluge koje treba obezbediti za što efikasniju sanaciju posledica zemljotresa. Ovaj, takozvani, redukovani režim varira od slučaja do slučaja, a vezan je za intezitet i posledice zemljotresa. Imajući to u vidu, sistem mora biti na tom nivou da obezbedi režim, koji je neophodan da bi se brzo uspostavio iole normalan šivot i rad ljudi. Zbog toga pri projektovanju sistema snabdevanja, kao što su električni vodovi, vodovodi, gasovodi, a koji prolaze kroz široke oblasti sa različitim geološkim i topografskim uslovima, potrebno ih je podeliti na više manjih funkcionalnih celina. Ovo poboljšava rad i u normalnim uslovima funkcionisanja sistema.

3. SAOBRAĆAJNA INFRASTRUKTURA

Osnovni cilj prilikom projektovanja i izgradnje infrastrukture je da bude bezbedna i pouzdana i u vreme zemljotresa. U slučaju zemljotresa saobraćajna infrastruktura može imati sledeća oštećenja:

- Oštećenja nastala na objektima putnih saobraćajnica
- Oštećenja nastala na objektima železničkih saobraćajnica

- Oštećenja nastala na objektima aerodroma i
- Oštećenja nastala na objektima luka i pristaništa.

Ova oštećenja mogu dovesti do ozbiljnih poremećaja u funkcionisanju saobraćajnica pa i do totalnog kolapsa, tj. njihovog zatvaranja. Uzroci problema u funkcionisanju saobraćajne infrastrukture mogu biti direktni i indirektni:

Direktni uzroci

- Oštećenja donjeg i gornjeg stroja saobraćajnica,
- Oštećenja mostova
- Oštećenja potpornih zidova
- Oštećenje tunela

Indirektni uzroci

- Prekid saobraćajnica izazvan rušenjem objekata u neposrednoj blizini
- Eksplozije gasovoda i pucanje vodovoda, pojava požara
- Zatvaranje saobraćajnica od strana nadležnih organa iz bezbedonosnih razloga i dr.

Navedene moguće probleme na saobraćajnicama posle zemljotresa u što kraćem roku prevazići i ako je potrebno preći na redukovani način funkcionisanja saobraćaja. U tom cilju je potrebno:

- Odrediti alternativne pravce za saobraćajnice koje nisu upotrebljive
- Kontrolisati saobraćaj radi sprečavanja učešća u saobraćaju nepotrebnih vozila (redukcija)
- Za prevoz službenih lica do radnih mesta koristiti najbrži mogući prevoz
- Posle evidentiranja i procene oštećenja na saobraćajnicama, treba nacrtati kartu saobraćajnica. Na karti treba odrediti prioritete hitnih sanacija
- Benzinske pumpe treba da rade samo za hitne slučajeve
- Prema vrsti i nameni vozila treba ograničiti ulaz u zemljotresom pogođeno područje.
- Kako bi se smanjila gužva u saobraćaju treba koristiti javni prevoz, ovo posebno u gradskim sredinama
- Uspostaviti koordinaciju između svih vrsta saobraćaja.

4. SEIZMIČKA POUZDANOST SAOBRAĆAJNE INFRASTRUKTURE

Saobraćajnica se može shvatiti kao linijski tehničko tehnološki objekat niskogradnje koji je u tesnoj interakciji sa terenom. Pojam veka eksploatacije objekta ne vezuje se samo za objekat, već se vezuje i za teren. Sastavni delovi saobraćajnice su brojni objekti: mostovi; vijadukti; tuneli, nasipi i drugi objekti. Prostor zauzet saobraćajnicom, praktično ima trajni karakter, a teren koji je zastupljen na prostoru zauzetom saobraćajnicom se definiše pri njenoj izgradnji. No kasnije, u njenoj eksploataciji, on je izložen promenama, zbog uticaja inženjersko geoloških procesa koji dovode do različitog tipa inženjersko geoloških pojava. Otuda, kada se govori o zemljotresnoj ugroženosti saobraćajnice potrebno je uvažiti i zemljotresnu ugroženost terena u kome se grade saobraćajnice.

Specifičnost saobraćajnice se posebno ogleda u saobraćajnoj bezbednosti pri kretanju vozila u brzini. U brdsko planinskim terenima pojava odronjavanja i osipanja komada stenske mase, različitih veličina, i njihov pad na vozilo u pokretu, predstavlja ogromnu

opasnost pri velikim brzinama. Imajući to u vidu, ugroženost saobraćajnice je potrebno razmatrati i sa ovog aspekta.

Treba istaći, da se u prostoru zauzetom saobraćajnicom sve više grade drugi linijski objekti infrastrukture (cevovodi, energetske kablovi i drugi razni vodovi). Imajući to u vidu, nameće se potreba procene zemljotresne ugroženosti terena odnosno kategorizacija prostora koji je zauzet saobraćajnicom, jer višenamenska funkcija povećava značaj tog prostora. Potrebno je ukazati da se na teritoriji Srbije u poslednjih nekoliko decenija javlja povećan broj klizišta i odrona, a posle obilnih padavina. Pojava klizišta i odrona povećava ugroženost terena i saobraćajnica i bez dejstva zemljotresa.

Ukoliko bi se dogodio jak zemljotres u vreme navedene ugroženosti terena (zbog aktiviranja navedenih pojava) odvijanje saobraćaja bilo bi dovedeno u kritičnu fazu, a što je bio slučaj u Srbiji 2005. i 2006. godine.

Kada je reč o saobraćajnicama u gradovima, duž njih se često, po pravilu, provodi i podzemna komunalna infrastruktura koja često utiče na efekte dreniranja padinskih, i podzemnih voda. Promena hidrogeoloških uslova, menja i inženjersko geološke uslove izgradnje postojećih objekata, a samim tim, i geotehničke uslove njihovog fundiranja.

Najosetljiviji deo saobraćajnica su nasipi.

Nasipi koji su stabilni pod dejstvom statičkih sila, pod dejstvom seizmičkih sila mogu izgubiti svoju stabilnost. Stabilnosti kosina, pod dejstvom jednih ili drugih sila, se mora analizirati zajedno sa osobinama tla. Pod statičkim opterećenjem u tlu postoji određeni porni pritisak vode. Tokom dejstva zemljotresa, dolazi do određene promene pornog pritiska vode usled dodatnog pornog pritiska od dejstva dinamičkog opterećenja. Ova vrednost linearno se povećava kao odnos cikličnih smičućih napona i statičkih smičućih napona, a povezana je s povratnim periodom zemljotresa.

U toku dejstva zemljotresa, u zavisnosti od amplitude, smanjuje se krutost tla. Da bi se korektno izvršilo modeliranje smanjenja smičućih napona posle cikličnih opterećenja tokom zemljotresa, fiktivni ugao unutrašnjeg trenja posle zemljotresa može se izračunati na osnovu ugla unutrašnjeg trenja pre zemljotresa, magnitude zemljotresa i rastojanja kosine od raseda. ([10], [11]).

5. PUTNE SAOBRAĆAJNICE

U prethodnom poglavlju prikazan je uticaj zemljotresa na nasip saobraćajnice, a posledice uticaja na puteve prikazane su na slici 2. Uticaj seizmičkog dejstva na usek saobraćajnica može se razmatrati sa aspekta uticaja na podtlo i sa aspekta uticaja na kosine useka.

Na podtlo saobraćajnice dominantan uticaj bi bio u podužnom pravcu, tj. kada se pravci rasprostiranja talasa i saobraćajnice poklapaju (ili sa malim uglom odstupanja). U tom slučaju može doći do pojave deformacija u posteljici koje se prenose na gornji stroj saobraćajnice. Imajući u vidu napred navedeno, projektantima budućih saobraćajnica, posebno autoputeva, pored standardnog projektnog zadatka treba dati i ocenu osetljivosti donjeg stroja na seizmička dejstva.

Ovo je od vitalnog uticaja na funkcionisanje putne mreže posle dejstva zemljotresa i obezbeđenje redukovano saobraćaja za normalizaciju života ljudi. Pored analize donjeg stroja, posebna pažnja treba da bude posvećena putnim objektima: mostovima, vijaduktima, potpornim zidovima, tunelima i dr. (o čemu će biti reči u okviru sledećih poglavlja).



Slika 2. Primer oštećenja puteva
Figure 2. Examples of damage to roads



Slika 3. Primer oštećenja željeznica
Figure 3. Examples of damage to railway

6. ŽELEZNICKE SAOBRAĆAJNICE

Železnički sistem je posebno osjetljiv na seizmička dejstva i imajući u vidu sve njegove specifičnosti može se reći da je osjetljiviji od sistema drumskih saobraćajnica. Istraživanja oštećenja tokom dosadašnjih zemljotresa, pokazala su sledeća primarna oštećenja: oštećenja železničkih mostova, oštećenja nasipa, vertikalna i horizontalna deformacija gornjeg stroja, oštećenja tunela, strukturna oštećenja železničkih objekata (na stanicama), oštećenja voznih sredstava (prevrtanja vagona i lokomotiva), oštećenja telekomunikacionih uređaja. Posebno treba istaći posledice oštećenja kod prevoza opasnih materija. Posledice ovakvih oštećenja su veoma teške za otklanjanje.

Veliki deo železničke infrastrukture je urađen pre bilo kakve analize o uticaju zemljotresa na ovu vrstu objekata. Međutim, sa pojavom brzih željeznica i enormnim povećanjem broja korisnika ovog sistema posebna pažnja se posvećuje ovom problemu počev od samih istraživanja za potrebe projektovanja pa sve do eksploatacije.

Može se s pravom konstatovati da se stepen razvijenosti jedne zemlje može odrediti prema stepenu razvoja železničke infrastrukture, pa osjetljivost ovog sistema na seizmička dejstva, kao i njegove posledice, treba da budu stalna tema istraživanja.

7. OBJEKTI NA SAOBRAĆAJNICAMA – TUNELI

Projektovanje podzemnih objekata sa aspekta seizmičkih uticaja jedinstveno je iz više razloga. Za većinu podzemnih objekata inercija okolne sredine je veća u odnosu na inerciju same konstrukcije. Dosadašnje iskustvo pokazalo je da je odgovor podzemne konstrukcije uslovljen odgovorom okolnog tla, a ne inercijalnim svojstvima same konstrukcije [12]. Akcenat je na deformaciji tla i na njegovoj interakciji sa konstrukcijom, što čini osnovnu razliku u odnosu na nadzemne objekte, kod kojih je fokus usredsređen na efekte inercije same konstrukcije. Interakcija koja postoji između podzemnih objekata i okolne sredine u kojoj se javljaju seizmička delovanja je znatno složenija od one koja se javlja kod nadzemnih objekata, gde samo temelji dolaze u interakciju sa okolnom sredinom, pa se preko temelja vibracije u tlu prenose kao pobuda na nadzemni deo konstrukcije. Kod podzemnih objekata interakcija sa okolnom

sredinom manifestuje se po celoj spoljnoj konturi konstrukcije, a oblik interakcije zavisi u velikoj meri od odabranog postupka izvođenja, tj. načina iskopa i formiranja podgradne konstrukcije. Sanacija oštećenja tunelskih konstrukcija usled zemljotresa je veoma složena i dugotrajna. Posebno, treba istaći osetljivost portalnih delova dubokih tunela kao i konstrukcija plitko položenih tunela.



Slika 4. Primer oštećenja tunela



Slika 5. Primer oštećenja mostova

Figure 4. Examples of damage to the tunnel Figure 5. Examples of damage to bridges

8. OBJEKTI NA SAOBRAĆAJNICAMA - MOSTOVI

Oštećenje mostova i vijadukata je uzrok prekida mnogih saobraćajnica, i njihava brza i efikasna sanacija je od veoma bitnog uticaja na normalizaciju života u zemljotresom pogođenom području. Poseban problem pri sanaciji je pristup ovim objektima.

Gubitak funkcije mostova i vijadukata u saobraćajnom sistemu ozbiljno ometa napore da se efikasno normalizuje život posle zemljotresa. Imajući to u vidu, potrebni su stalni pregledi mostova jer i veoma mala oštećenja pri normalnom funkcionisanju mogu biti uzrok velikih oštećenja pri dejstvu zemljotresa.

Takođe, veoma je česta pojava da most, koji je sastavni deo saobraćajnice, nije samo u funkciji saobraćaja, već se preko njega provodi vodna, energetska i druga komunalna infrastruktura, pa se postavlja pitanje kategorizacije tako opremljenog mosta. Višenamensko korišćenje mosta zahteva proveru deformacija, pri projektovanju, za svu infrastrukturu koja je previđena na mostu, a posebno deformacije usled dejstva zemljotresa.

9. OBJEKTI AERODROMA

Vazdušni saobraćaj je danas u ekspanziji u svetu, a zbog svojih prednosti, posebno prekooceanskog transporta. Aerodromi sa velikim brojem objekata u svom sastavu i velikih površina (poletno sletne staze, rulne staze i stajanke) su veoma osetljivi na dejstva zemljotresa, a posebno: terminali, poletno sletne staze, radari, transport goriva i tečnosti.

Pored toga, i drugi aerodromski objekti mogu pretrpeti oštećenja, kao na primer kontrolni toranj koji je od vitalnog značaja za funkcionisanje aerodroma neposredno posle zemljotresa. Takođe, aerodromi zahtevaju velike saobraćajne površine (poletno sletnih i rulnih staza) i zbog toga se grade u širokim dolinama reka, pa su sklони

potapanju ovih površina usled dejstva zemljotresa, što pri projektovanju treba imati u vidu.



Slika 6. Oštećenja i potapanja aerodromskih površina
Figure 6. Damage and flooding airport area



*Slika 7. - Oštećenje luke Kobe
posle zemljotresa*
*Figure 7. - Damage to the port after the
Kobe earthquake*

10. LUKE I PRISTANIŠTA

Šteta nastala usled likvefakcije tla koja je prouzrokovana dejstvom zemljotresa (1994), u jednoj od najvećih kontejnerskih luka u Japanu (Kobe), privukla je svetsku pažnju, posebno na indirektno posledice koje je zemljotres prouzrokovao u svetskoj trgovini i ekonomiji.

Da bi se smanjila oštećenja luka i pristaništa mora se sprovesti niz složenih istraživanja o uticaju zemljotresa na ove objekte. Najčešća oštećenja u dosadašnjim zemljotresima konstatovana su: na skladišnim prostorima, na rezervoarima goriva, na transportnim sredstvima (cevovodi, dizalice, transporter, transportne trake i dr.), oštećenja na objektima, oštećenja na mostovima i dr.

Pri otklanjanju posledica zemljotresa, posebnu pažnju treba usmeriti na otklanjanje posledica prosipanja otrovnih materija štetnih po životnu sredinu, imajući u vidu vodene površine gde može doći i do većih ekoloških posledica. U poslednje vreme sve veća pažnja se posvećuje izučavanju pojave cunamija usled zemljotresa i njegov uticaj na objekte u priobalju.

11. KOMUNALNA INFRASTRUKTURA

Komunalna infrastruktura je osnov za funkcionisanje naseljenih mesta (gradova i ruralnih sredina). Normalizacija života posle dejstva zemljotresa isključivo zavisi od funkcionisanja komunalnih sistema. Kao posledice zemljotresa javljaju se ne samo oštećenja objekata već i pojave zaraznih bolesti i epidemija, a što je vezano za funkcionisanje komunalnih sistema vodovoda i kanalizacije, zatim pojave požara vezano za objekte transporta energenata (gasovodi, naftovodi) i objekte elektrifikacije. Uticaj oštećenja komunalne infrastrukture na saobraćajnice ima direktno i indirektno dejstvo. Direktno oštećenje saobraćajnice je posledica oštećenja infrastrukture u trupu saobraćajnice. Indirektno oštećenje saobraćajnica je od pojava koje izazivaju oštećenja

komunalne infrastrukture (rušenje objekata kao posledice sleganja tla prouzrokovano pucanjem vodovoda, pojava klizišta i odrona nastalih usled oštećenja vodovoda, kanalizacije i dr.)

12. SEIZMIČKA POUZDANOST KOMUNALNE INFRASTRUKTURE

U ovom radu navodi se komunalna infrastruktura čije oštećenje prouzrokuje najveće posledice, kako na saobraćajnice, tako na stanovništvo i objekte. Pri tome se navodi da se pri projektovanju infrastrukture mora uzeti i aspekt pouzdanosti usled dejstva zemljotresa.

Vodovod i kanalizacija

Voda predstavlja jedan od osnovnih resursa potrebnih za život. Vodovodi, pogotovo u urbanim sredinama predstavljaju neizostavan sastavni deo saobraćajnica, jer se polažu u trup saobraćajnice. Voda koja dođe u gradsku strukturu (vodovodnim sistemom ili padavinama) mora se efikasno odvesti iz nje, a što se rešava izgradnjom kanalizacionih sistema. Pri velikim deformacijama tla usled zemljotresa može doći do oštećenja vodovodnih i kanalizacionih sistema. Ovo neminovno dovodi do oštećenja saobraćajnice, oštećenje objekata, a može dovesti i do nekih drugih pojava kao što su epidemije. Treba naglasiti da su to sistemi koji se pružaju preko velikih površina i havarija na jednom mestu može uticati na veliki deo te mreže. Imajući to u vidu mora se pri projektovanju ovakvih tipova infrastrukture posebna pažnja posvetiti osetljivosti sistema na dejstvo zemljotresa, preduzeti mere, još u toku planiranja i projektovanja, kojima bi se umanjila šteta usled njihovih oštećenja, gde je od posebnog značaja uvesti *mrežnu podeljenost* tj. sistem podeliti na više nezavisnih segmenata.



*Slika 8.-Oštećenje cevi pri zemljotresu
9 Februar 1971 San Fernando*

*Figure 8.-Damage to the pipes of the earth.
9 February 1971 San Fernando*



*Slika 11.-Oštećenje gasovoda pri
dejstvu zemljotresa*

*Figure 11.-Damage to the pipeline
under earthquake*

Transportni sistemi za tečna goriva i gasove

Energenti su od velikog značaja kao u svakodnevnom životu tako i u uslovima velikih katastrofa jer od njih u velikoj meri zavisi efikasnost normalizacije života i oporavka od posledica zemljotresa. Goriva su često smeštena u podzemnim rezevoarima, a kod aerodroma se nizom podzemnih cevi transportuju do mesta tankovanja u avione.

Pri velikim zemljotresima, kada dođe do velikih deformacija tla dolazi i do oštećenja podzemnih cevovoda kao linijskih objekata, gde veliki problem može biti zapaljivost i eksplozija cevovoda i rezervoara.

Oštećenje gasovoda, pogotovo u zimskom periodu, kada se gas koristi za grejanje ostavlja veoma teške posledice na stanovništvo.

Takođe, i benzinske pumpe locirane pored prometnih saobraćajnica usled oštećenja od zemljotresa mogu dovesti do eksplozije i prekida saobraćaja na saobraćajnici kao i do drugih težih posledica (gubitak ljudskih života i velike materijalne štete). pri havarijama i eksplozijama bi moglo doći do zakrčenja puteva snabdevanja zemljotresom pogođenog područja.

Pri planiranju i projektovanju ove vrste objekata posebnu pažnju je potrebno posvetiti njihovoj osetljivosti usled dejstva zemljotresa.

Elektro mreža

Električna energija je danas jedan od najviše korišćenih vidova energije. Oštećenjem ovih sistema u toku zemljotresa moglo bi paralisati rad mnogih drugih službi u radu pri normalizaciji posle zemljotresa (rad bolnica, uređaja i postrojenja posebno u zimskim uslovima kod sistema grejanja, rad postrojenja vodovoda i kanalizacije i dr.).

Na sistemu železničkih pruga, koje su uglavnom elektrificirane dovelo bi do prekida saobraćaja, a oštećenja na električnim instalacijama koje prate putnu infrastrukturu bi mogle dovesti do velikih požara i eksplozija.

13. UTICAJ ZEMLJOTRESA NA INFRASTRUKTURU U SRBIJI

Srbija se nalazi u zoni umerene seizmičke aktivnosti – najjači zemljotresi mogu biti od 5 do 6 stepena Rihterove skale odnosno do 8 stepeni Merkalijske skale.

Prostor umerene seizmičke aktivnosti ne podrazumeva rušilačke zemljotrese tako da se planerskim i projektantskim merama oštećenja objekata i infrastrukture mogu svesti na najmanju meru.

I pored toga što Srbija ne spada u trusna područja, svakih 10 godina u proseku se dešavaju jači zemljotresi, do šest stepeni Rihterove skale. Međutim objekti infrastrukture u Srbiji su starije gradnje, pre nego što su usvojeni seizmički propisi. Takvih objekata ima najviše u centralnoj Srbiji koja je najtrusnije područje.

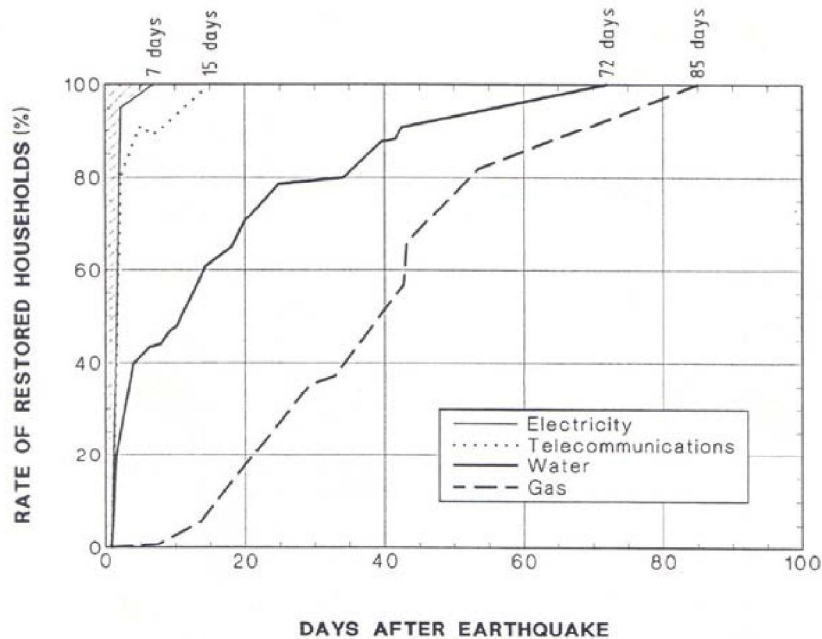
U ruralnim predelima ima 60% takvih objekata, dok je u gradovima oko 40%.

Poslednji u nizu zemljotresa zahvatio je Kraljevo i okolinu i prouzrokovao ogromne štete na infrastrukturi i objektima. Ovo je posledica građenja objekata ne uvažavajući u dovoljnoj meri štetna dejstva zemljotresa.

Postoje urađene analize i prognoze zemljotresa na području Srbije i okruženja tako da se pri projektovanju može uzeti u obzir i snaga dejstva zemljotresa i odgovarajućim merama sprečiti ili umanjiti njihovo oštećenje.

Snaga dejstva zemljotresa smanjuje sa povećanjem rastojanja od epicentra zemljotresa i njegovo dejstvo zavisi od karakteristika tla.

Za objekte kod kojih je došlo do oštećenja, vreme sanacije i rehabilitacije može se odrediti na osnovu analize koja je prikazana na slici 12. [9]



Slika 12.- Vreme rehabilitacije pojedinih infrastrukturnih objekata posle zemljotresa
 Figure 12.- During rehabilitation of certain infrastructure after the earthquake

14. ZAKLJUČAK

Projektovanje infrastrukture otporne na seizmička dejstva kao i planiranje svih mera koje treba preduzeti za efikasno otklanjanje posledica zemljotresa je veoma složen zadatak. To zahteva vreme, znanje i velika materijalna ulaganja, ali je neophodno kako bi se izbegle velike katastrofe i gubici ljudskih života. Zato se ovom problemu mora posvetiti velika pažnja, pogotovo danas, u vreme sve učestalijih zemljotresa. Osiguranje celokupne infrastrukture na dejstvo zemljotresa često nije moguće. Zbog toga se moraju sagledati aktivnosti za efikasno otklanjanje posledica njegovog dejstva:

- Pažljivo definisanje redukovanoog režima rada sistema
- Procena značaja svih komponenti sistema za održavanje redukovanoog režima
- Procena opasnosti uzimajući u obzir lokalne uslove
- Procena osetljivosti važnih komponenti infrastrukture

LITERATURA

- [1] Nedeljković, S. i Popović, M.: Neki aspekti primene evrokod-a EC-8 pri projektovanju savremenih saobraćajnica, Tehnički institut Bijeljina, **2012**.
- [2] Jost, A., Vulnerability of Infrastructure, Studer engineering, CH 8038 Zürich, Switzerland, **2000**.
- [3] Consortium of Universities for Research in Earthquake Engineering, Protecting Infrastructure from Earthquakes, California, **2010**.

- [4] Central U.S. Earthquake Consortium, earthquake vulnerability of transportation systems in the central United States, **2000**.
- [5] Brunsdon, D., Critical Infrastructure and Earthquakes: Understanding the Essential Elements of Disaster Management, , National Lifelines Co-ordinator, Wellington, New Zealand, **2003**.
- [6] Manić, N., „Procena putne infrastrukture posle zemljotresa“, VII Naučno-stručni skup, Savez građevinskih inženjera Srbije, Zlatibor, 9-12 maj **2011**.
- [7] The Causes and Consequences Of Earthquakes Connor R Sullivan, Scientific article
- [8] The Earthquake's Impacts on Buildings and Infrastructure Noel Evans BE(Civil), MBA, MIPENZ, CPEng Relationship Manager, Opus Napier
- [9] Selcuk, A.,S. i Yuceman., M., S., „Seizmička pouzdanost mreže žile kućavice“, Tubitak, Ankara, **1998**.
- [10] Olgun, M., i dr., *Faktori koji utiču na stabilnost kosina tokom dejstva zemljotresa*, J. Fac.Eng.Arch. Selcuk Univ., v.24, n.2, Turska, **2009**.
- [11] Manić, N., Primena metoda višekriterijumske optimizacije kod projektovanja nasipa saobraćajnica, Doktorska disertacija **2013** (predata disertacija)
- [12] Zlatanović, E., Lukić, D., Prokić, A.: *Fizički modeli tunelskih objekata u eksperimentalnim istraživanjima - I deo: Tehnike modeliranja iskopa tunelskih objekata*, Časopis Građevinski Materijali i konstrukcije **55** br.1 str. 33- 46, **2012**.

NAPOMENA:

Istraživanja, prezentovana u ovom radu, sprovedena su uz podršku Ministarstva prosvete i nauke Republike Srbije u okviru naučno-istraživačkog projekta TP 36043 i u okviru izrade doktorske disertacije M. Manića.

SEISMIC RELIABILITY INFRASTRUCTURE

Summary: *The degree of security infrastructure can be, as appropriate, determine on the basis of damage due to the effects of previous earthquakes. This analysis is very complicated and complex, and can be used for the design of new buildings in an attempt to reduce the negative consequences of the earthquake. Infrastructure (traffic, utilities and transportation) is the basis for the functioning of all aspects of the economy and the organization of people's lives whether it be the city or rural areas.*

In this paper, the effects of the earthquake and the damage due to the effects of the earthquake of various types of infrastructure, which relevant can be used to assess their reliability. In addition, this initial analysis can be used to create a database for specific areas which would give the designers of future facilities and some guidance in this regard.

Keywords: *Seismic reliability, traffic infrastructure, utility infrastructure, earthquake.*