

UDK 624.131.55

## ZNAČAJ GEOTEHNIČKOG ZEMLJOTRESNOG INŽENJERSTVA PRI IZGRADNJI GRAĐEVINSKIH OBJEKATA

Slavko Zdravković<sup>1</sup>, Predrag Petronijević<sup>2</sup>, Andrija Zorić<sup>3</sup>

**Rezime:** U radu se na jasan način ukazuje da je značaj geotehničkog zemljotresnog inženjerstva pri izgradnji građevinskih objekata od izuzetnog značaja zato što su oni sudbinski vezani za tlo. Inženjersko-seizmološka i seizmotektonska istraživanja potrebno je izvršiti na široj lokaciji objekta, jer različitost geotehničkih uslova tla ima veliki značaj na parametre zemljotresa koji su od bitnog značaja za ponašanje objekta. Od potencijalno izdvojenih sredstava za geotehnička istraživanja, najčešće se samo nekoliko procenata tih sredstava angažuje, pa preko 60% izvođača ima povećane izdatke i poteškoće u realizaciji projekta.

**Ključne reči:** tlo, objekat, izvođač, geotehnička istraživanja.

## IMPORTANCE OF GEOTECHNICAL EARTHQUAKE ENGINEERING AT THE CONSTRUCTION OF BUILDINGS

**Abstract:** This paper in a clear way indicates importance of geotechnical earthquake engineering in the construction of buildings because they are fatefully linked to the ground. Engineering-seismic and seismo-tectonic studies should be made on the general location of the object, because the diversity of soil geotechnical conditions is of great importance to the parameters of the earthquake that are essential to the behavior of the object. From the potentially allocated funds for geotechnical investigations, usually only a few percent of these funds engage, and over 60% of contractors has increased costs and difficulties in implementing the project.

**Keywords:** soil, building, contractor, geotechnical investigations.

---

1 Prof. dr Slavko Zdravković, Akademik Srpske Kraljevske akademije inovacionih nauka – SKAIN, Ekspert bivšeg Saveznog ministarstva za nauku, tehnologiju i razvoj u oblasti: 1221 građevinsko inženjerstvo, aseizmičko građevinarstvo, stabilnost mostova, slavko.zdravkovic@gaf.ni.ac.rs, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu

2 mr Predrag Petronijević, asistent, predrag.petronijevic@gaf.ni.ac.rs, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu

3 master inž. Andrija Zorić, PhD student, azoric90@gmail.com, Građevinsko-arhitektonski fakultet Univerziteta u Nišu

## 1. UVOD

Namenska geotehnička istraživanja i ispitivanja terena sastoje se iz inženjerskogeološkog kartiranja terena, istražnog bušenja, laboratorijskih ispitivanja uzoraka stenske mase i geoelektričnog sondiranja terena i slično u zavisnosti za izgradnju kog građevinskog objekta se vrše istraživanja.

S' obzirom da smo sudbinski vezani za tlo to su uticaji, posebno kod zemljotresnog inženjerstva, od posebnog značaja pri izgradnji građevinskih objekata jer dolazi do dinamičkog ponašanja tla čije karakteristike treba odrediti. Budući da za predmetnu lokaciju ne postoje potrebni podaci na osnovu kojih bi se definisao seizmički rizik i seizmički parametri potrebno je da se izvrše posebna seizmička i seizmotektonska istraživanja šireg regiona i inženjersko-seizmološka istraživanja na lokaciji objekta. Projektni seizmički parametri definišu se uglavnom probabilističkom analizom na osnovu raspoloživih podataka koji se baziraju na prethodni period. Za nivo prihvatljivog seizmičkog hazarda mogu se izvršiti dopunska terenska istraživanja na osnovu kojih bi se mogao definisati i pouzdaniji stepen sigurnosti.

Različitoš geotehničkih uslova tla ima veliki značaj na magnitudu i intenzitet zemljotresa [2]. Pošto su građevinski objekti sudbinski vezani za tlo to njihovo ponašanje pri dinamičkom dejstvu u mnogome zavisi od karakteristika tla na kome je objekat fundiran, pa se i osnovni dinamički parametri razlikuju u zavisnosti od vrste tla. Najbolje je objekte fundirati na čvrstom tlu i steni, a najgore na mekom tlu sa visokim nivoom podzemne vode [3].

## 2. GEOTEHNIČKI PROBLEMI ZEMLJOTRESNOG INŽENJERSTVA

Lokalni uslovi imaju veliki značaj u seizmičkom projektovanju i nezaobilazno se uzimaju u obzir pri definisanju projektnog zemljotresa (zemljotres na koji treba proračunati konstrukciju, a koji ima karakteristike inteziteta, frekventnog sastava i trajanja koji odgovaraju datoj lokaciji). Nosivost temeljnog tla na dinamičko opterećenje do sada nije proučavano u meri da se mogu formulisati jednostavne preporuke za projektovanje. Većina vrsta tla, osim onih koja su podložna likvifikaciji ili nekoj drugoj formi nestabilnosti, ima pri brzom nanošenju opterećenja, kakvo je seizmičko, jednaku ili veću čvrstoću od one pri statičkim uslovima. Obično se dopušteno opterećenje povećava za 50% u odnosu na statičko.

Tokom vremena objekti stare kao građevinske konstrukcije, pa je potreban i prikaz geotehničkog aspekta revitalizacije sa izborom određenih konstruktivnih mera za saniranje i pojačavanje temelja zgrade. Najveći deo graditeljskog nasleđa čine stambeni objekti jer je rešavanje pitanja stanovanja uvek bilo primarno za najveći broj žitelja. Znatno broj tih objekata su stare stambene građevine, dosta zapuštene i oronule.

U okviru konstruktivno-tehničkih aspekata geotehnički problemi po prirodi zahtevaju hitnu analizu stanja u podlozi i stanja temelja kako bi se na siguran način moglo preći dalje na analizu konstrukcija. Sagledavanje kompletne geotehničke problematike može se podeliti u više faza od kojih je najznačajnija predlog mera sanacije temelja i podloge. Zgrade se kao i ostali građevinski objekti grade na predviđenim lokacijama koje mogu biti sa veoma različitim geotehničkim uslovima fundiranja, često vrlo nepovoljnim, što može izazvati oštećenja u samoj temeljnoj konstrukciji, ali i u zidovima, gredama, stubovima i slično. Oštećenja se mogu javiti i na instalacijama vodovoda i kanalizacije [6], što ukazuje na veća oštećenja temelja i samog objekta, pa je potrebna hitna intervencija. Oštećenja zgrada nastaju najčešće usled promena u tlu i neadekvatnog načina fundiranja, što za posledicu ima ravnomerna i neravnomerna sleganja. Ujednačeno sleganje, čak i kada je znatno, ne izaziva štetne posledice na samom objektu, ali oštećuje sve vrste instalacija koje su povezane sa objektom (Maksimović, 1995) [4]. Neravnomerna sleganja su posebno nepovoljna i opasna jer mogu dovesti i do rušenja objekta.

Uzroci sleganja mogu biti različiti, ali su to najčešće: fundiranje u slabo nosivim slojevima, voda u tlu, promene hidrogeoloških uslova, povećanje spoljašnjeg opterećenja (dogradnja, nadgradnja), seizmička i druga dinamička opterećenja, kao i agresivno delovanje na materijal temelja, naizmenično bubrenje i sušenje tla, uticaj mraza i drugo (Bonić i sar., 2011) (Folić, 2007). Problemi nastaju pri iskupu dubokih temeljnih jama neposredno uz postojeće objekte, usled velike razlike u opterećenju koje susedni objekti prenose na tlo, superponiranje uticaja više bliskih temelja, neadekvatne ili nesolidne temeljne konstrukcije i nepouzdanosti ili neutvrđenih karakteristika tla sa aspekta zemljotresnog inženjerstva.

## 3. CILJ GEOTEHNIČKIH ISTRAŽIVANJA

Geotehnička svojstva terena, posebno sa aspekta zemljotresnog inženjerstva, kako u finansijskom tako i

u tehničkom smislu su najveće nepoznanice pri projektovanju i izgradnji značajnih građevinskih objekata. Cilj geotehničkih istraživanja je da se primenom potrebnih vrsta terenskih i laboratorijskih ispitivanja i istraživanja sagleda geotehnički aspekt projektovanja i izgradnje. Međutim, može se reći, gotovo po pravilu, vrsta i obim geotehničkih istražnih radova, najčešće, ne zavise od stvarnih potreba inženjera-geotehničara, već od "dobre volje" investitora i njegove percepcije potencijalnog rizika. Naime u koliko se inženjeri geotehnike sami ne izbore da se njihov doprinos u projektu prepozna, projekt menadžeri to neće učiniti i svaki projekat će imati ozbiljne nedostatke [1 | str. 100].

U skladu sa važećom zakonskom i tehničkom regulativom, geotehnička istraživanja su integralni deo planskih i projektnih aktivnosti. Pri tome, svakom nivou planiranja i projektovanja prethode odgovarajuće geotehničke studije, detaljna istraživanja ili osmatranja. Istražni prostor predstavlja deo geološke sredine u bližoj ili daljoj okolini objekta koji je predmet istraživanja. Njega pre svega određuje vid i intenzitet interakcije terena i objekta posebno u zemljotresnom inženjerstvu u području interakcije planiranja odgovarajućih ispitivanja i istraživanja. Tako, na primer, kada se analizira dinamička interakcija puta i geološke sredine i to onaj njen deo koji se svodi na moguć uticaj zemljotresa na stabilnost trupa puta-nasip i kosine i objekta na njemu, istražni prostor predstavljaju one geotehničke jedinice u kojima se nalaze potencijalna žarišta zemljotresa, koji mogu biti opasni za put i njegove objekte. Za taj prostor se sprovode geološke, seizmološke i neotektonske analize koje omogućavaju pravilnu procenu hazarda i rizika od zemljotresa za planirane objekte [5]. U svakom području interakcije sprovode se istraživanja koja će omogućiti uspešnu prognozu i kontrolu tog tipa interakcije, ukoliko se područja poklapaju teži se izboru optimalnog broja i vrste istražnih radova koje će omogućiti rešenje svih zadataka i postizanje svih ciljeva zbog kojih se istraživanja izvode.

Uvidom u projektnu dokumentaciju izvedenih objekata u okviru studije o geotehničkim istraživanjima u Velikoj Britaniji, zaključeno je da je utrošeno 0,004% od ukupne ugovorene sume. Imajući u vidu preporučene vrednosti utroška sredstava za geotehnička istraživanja koja iznose 1-3% (Clayton, 2005) [1] lako je ustanoviti potencijal za velike propuste (250-750 puta manja suma). Daljom analizom navedene projektne dokumentacije zaključuje se da je blizu 60% izvođača imalo teškoća u realizaciji projekta uglavnom zbog nedovoljne

istraženosti terena što je uzrokovalo znatna kašnjenja, veliko poskupljenje radova i negativan imidž pojedinih kompanija u javnosti. Zato, preporučuje se da nadležna strukovna udruženja pokrenu postupak za donošenje obavezujućih uputstava za izvođenje optimalnih vrsta i obima geotehničkih istraživanja u odnosu na nivo projektovanja, jer "Za geološka istraživanja će neko platiti, bilo da su ona izvedena ili ne".

#### 4. GEOTEHNIČKO INŽENJERSTVO

Geotehničko inženjerstvo je grana građevine, koja se bavi tlom, stenama i podzemnim vodama, kao i njihovim odnosom prema projektovanju, izgradnji i eksploataciji građevinskih objekata (R. I. Hardy, 1995) [1 | str. 510]. Skoro svi građevinski i drugi objekti su izgrađeni na i u (terenu) tlu, i stoga zahtevaju adekvatno rešavanje geotehničkih problema, odnosno uslova građenja. U daljem će biti navedena neka opšta pitanja koja geotehnika obuhvata: Da li tlo ili stena ispod objekta bezbedno podupiru predloženi projekat? Kakvi uslovi podzemnih voda trenutno postoje, kako bi mogli da se promene u budućnosti i kakav uticaj oni imaju na projekat? Kakav će biti uticaj planiranog iskopa, zasecanja ili nasipanja? Kako stabilizovati nagibe kosina ukoliko sada ili u budućnosti budu nestabilni? Koje vrste temelja su neophodne kako bi poduprle planirane objekte i na koji način bi trebalo da ih projektujemo? Ukoliko projekat zahteva potporne zidove, koja bi vrsta bila najbolja i kako bi trebalo da ih projektujemo? Kako će mesto gradnje reagovati na potencijalne zemljotrese? Da li je teren zagađen hemijskim i biološkim materijalima i da li oni predstavljaju opasnost po zdravlje ili bezbednost, ako predstavljaju kako to rešiti? [1 | str. 509-518]

Ukoliko su sva postavljena pitanja u neposrednoj vezi sa dejstvom zemljotresa onda je u pitanju geotehničko zemljotresno inženjerstvo što ova pitanja čini još kompleksnijim i nepouzdanijim odgovorima koji su u bliskoj vezi sa seizmičkim hazardom i seizmičkim rizikom tj. sa prognozama. Na današnjem stupnju naučnih saznanja o zemljotresima nemoguće ih je predvideti, gde će se, kada će se dogoditi i kakve će posledice izazvati.

Da bi se uradila dobra analiza u izradi geotehničke osnove za projektovanje inženjeri geotehnike rade kao deo tima, koji takođe, obuhvata druge specijalizovane stručnjake, kao što su geolozi, konstruktivci, arhitekta i ostali. Mnogi aspekti u projektu se mogu rešiti samo zajedničkim naporima, tako da konačni projekti odražavaju kombinovano stručno znanje mnogih

stručnih pojedinaca. Šta je to geotehničko inženjerstvo a šta je geotehnika, to su samo srodne naučne oblasti, koje ih čine različito postavljeni, odnosno prikazuju ih po njihovom sadržaju i rasporedu.

Geotehnika je multidisciplinarna oblast jer je nastala i razvija se u prostoru između prirodnih geoloških nauka, s jedne strane, i tehničkih nauka (građevinarstva, rudarstva), urbanizma i dr., s druge strane. Ono se dakle, s pravom može smatrati delom primenjene geologije, a isto tako i delom rudarske i građevinske tehnike (P. Lokin, V. Vujanić). U geotehničkim istraživanjima geologija je neosporno njihova osnova, tehničke nauke njihova nadgradnja, jer je objekat veštačka konstrukcija, a teren kao prirodna konstrukcija. Inženjersko-geološka istraživanja, predstavljaju integralno proučavanje sastava, svojstva i dinamike onog dela zemljine kore dokle dosežu uticaji i posledice čovekove delatnosti.

## 5. ZAKLJUČAK

Na osnovu svega izloženog može se zaključiti da je pri izgradnji građevinskih objekata geotehničko zemljotresno inženjerstvo od posebnog značaja. Različitost geotehničkih uslova ima veliki značaj na magnitudu i intezitet zemljotresa, pa je zato najbolje objekte fundirati na čvrstom tlu i steni. Nosivost temeljnog tla na dinamičko opterećenje i ako do sada nije proučena u dovoljnoj meri, ipak se mogu formulisati značajne mere za projektovanje. U okviru konstruktivno-tehničkih aspekata geotehnički problemi po prirodi zahtevaju hitnu analizu stanja u podlozi i temelju radi preduzimanja mera sanacije. Oštećenja objekata nastaju najčešće usled promena u tlu, usled neadekvatnog načina fundiranja, što za posledicu ima sleganje što dovodi do opasnih posledica, čak i do rušenja objekta. Zato je cilj geotehničkih istraživanja, sa aspekta zemljotresnog inženjerstva, vrlo značajan. Međutim, može se reći, da gotovo po pravilu ovi radovi najčešće ne zavise od stvarnih potreba inženjera, već od “dobre volje“ investitora i njegove percepcije potencijalnog rizika. Ali samo geološke, seizmološke i neotektonske analize omogućuju pravilnu procenu hazarda i rizika od zemljotresa za planirane objekte. Istraživanja u Velikoj Britaniji pokazuju da zbog više stotina manje sume od potencijalne, izdvojene za geotehnička istraživanja, zaključuje se da je blizu 60% izvođača imalo povećane izdatke u realizaciji projekta i zato “Za geološka istraživanja će neko platiti, bilo da su ona izvedena ili ne“, a ona iznose od 1-3% od ukupne cene objekta.

## ZAHVALNOST

This research is supported by the Ministry of education, science and technological development of the Republic of Serbia for project cycle 2011-2014, within the framework of the project TR36016 “Experimental and theoretical investigation of frames and plates with semi-rigid connections from the view of the second order theory and stability analysis” of the research organization The faculty of civil engineering and architecture of University of Nis, and innovation project named “Seismo-Safe 2G3-Goseb Building System” (Project IF ID 476) financed by Innovation Fund of the Republic of Serbia, which is conducted in 2014. in “Projektinzenjering Tim” d.o.o. in Nis, Serbia.

## LITERATURA

- [1] Geotehnički aspekti građevinarstva, Četvrto naučno-stručno savetovanje, Zlatibor, Savez građevinskih inženjera Srbije (SGIS), ISBN 978-86-88897-00-6; COBISS.SR-ID 186991628, Zlatibor, 2011.,
- [2] Zdravković, S., Mladenović, B., Keković, M.: Uticaj različitosti geotehničkih uslova tla na magnitudu i intezitet zemljotresa, Geotehnički aspekti građevinarstva, UDK:624.15:550.34, ISBN 978-86-88897-07-5, COBISS.SR-ID 218635788, str. 453-458, 2015.,
- [3] Prolović, V., Zdravković, S., Mijalković, M., Bonić, Z., Turnić, D.: Seismic action of earthquake on bedrock, XXVI Congres and international symposium of researching and application of contemporary achievements in civil engineering in the field of materials and structures, Vrnjačka Banja, 2014., 624(082) 69(082) 66.7/9(082) ISBN 978-86-87615-05-2, pp. 321-328,
- [4] Predrag Petronijević, Verka Prolović, Slavko Zdravković: Poor foundations as a cause of collapse of the lattice mast on vrtop peak, Fifth international conference geotechnics in Civil Engineering, conference proceeding, Sokobanja, 2013, pp. 125-132,
- [5] Zdravković, S., Mladenović, B., Turnić, D.: Seismic Risk and Hazard in structure designing in seismic areas, Four international conference geotechnics in civil engineering, conference proceeding, UDK: 624.042.7, COBISS.SR-ID 186991628, Zlatibor, 2011, pp. 467-474.
- [6] Vučinić, M., Vučinić, M.: Prilog projektovanju vodovodnih sistema u seizmičkim područjima, Geotehnički aspekti građevinarstva, Šesto naučno-stručno međunarodno savetovanje, UDK: 624.131.552:628.14, ISBN 978-86-88897-07-5, COBISS.SR-ID 218635788, Vršac, 2015, str. 459-468.