

NEKE SPECIFI NOSTI GEOTEHNI KOG ZEMLJOTRESNOG INŽENJERSTVA

prof dr **Slavko Zdravkovi**

Gra evinsko-arhitektonski fakultet, Univerzitet u Nišu, Srbija

doc dr **Biljana Mladenovi** ,

Gra evinsko-arhitektonski fakultet, Univerzitet u Nišu, Srbija

Andrija Zori , student doktorskih studija

Gra evinsko-arhitektonski fakultet, Univerzitet u Nišu, Srbija

Sažetak:

U radu se definiše geotehni ko zemljotresno inženjerstvo kao specifi na oblast geotehnike veoma zna ajna u seizmi ki aktivnim podru jima. To je multidisciplinarna oblast i sa teorijskog i sa stru nog aspekta, jer pretpostavlja poznavanje raznih disciplina, a pre svega geoloških i seizmoloških. Seizmi ke sile koje se javljaju pri dejstvu zemljotresa su inercijalnog karaktera i proizvod su mase i ubrzanja tla. Vrednosti ubrzanja se višestruko razlikuju na osnovnoj steni i mekom tlu. Zapis ubrzanja se veoma razlikuje u temelju i na primer na 49-tom spratu 60-to spratnog objekta, što je zna ajno pri prora unu uticaja.

Ukazano je na nove trendove u ovoj oblasti s aspekta pristupa projektovanju objekata. Jasno su navedene mogu e posledice koje nastaju zbog nedostatka geotehni kog istraživanja s aspekta dejstva zemljotresa.

Klju ne rije i:

Geotehni ko zemljotresno inženjerstvo, ubrzanje tla, masa.

SOME SPECIFIC CHARACTERISTICS OF GEOTECHNICAL EARTHQUAKE ENGINEERING

Summary:

The paper defines the geotechnical earthquake engineering as a specific area of geotechnics very important in seismically active areas. It is a multidisciplinary field within the theoretical and professional aspects, because it assumes knowledge of various disciplines, primarily geological and seismological. Seismic forces that occur during the earthquake have inertial character and they are the product of mass and acceleration of the soil. The values of the acceleration is multiplied differ on rock and soft ground. The record of acceleration varies greatly at fundament and for the example in the 49-th floor of a 60-floor-building, which is important for the budget impact.

It points to the new trends in this field in terms of access to design objects. Clearly indicated the possible consequences that arise due to the lack of geotechnical studies in terms of earthquake.

Key words:

Geotechnical Earthquake Engineering, ground acceleration, mass.

1. UVOD

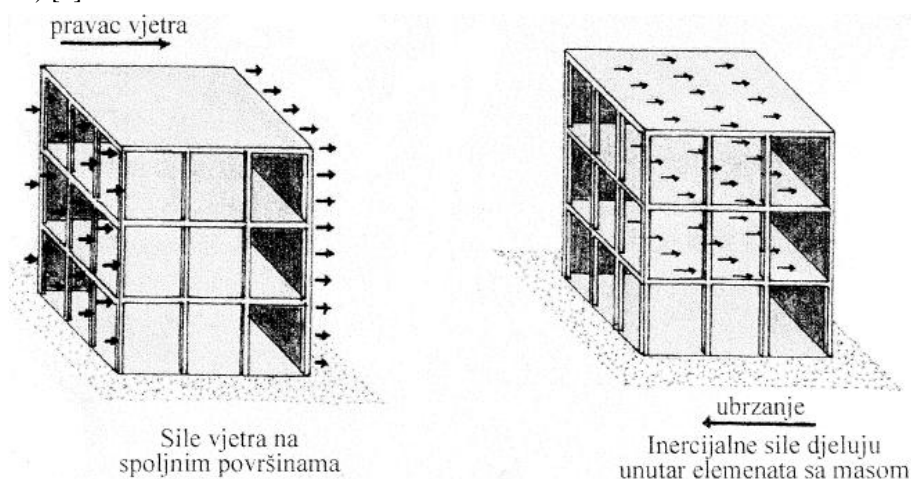
Geotehni ko zemljotresno inženjerstvo (GZI) je grana građevinske nauke koja se bavi tlo, stenama i podzemnom vodom, kao i njihovim odnosom prema projektovanju, izgradnji i eksploataciji građevinskih objekata u seizmi ki aktivnim područjima. Ono je u suštini usko povezano sa geodinamikom i inženjerskom geologijom, kao granom geologije, a njihovo zajedni ko u eš e u rešavanju (aktuelne) problematike je poželjno.

Geotehni ko zemljotresno inženjerstvo (GZI) je steklo specifi ne karakteristike po kojima se razlikuje od ostalih inženjerskih disciplina. Danas u širem smislu GZI pokriva veoma široku oblast nau nog istraživanja i rešavanja skoro svih problema vezanih za smanjenje posledica dejstva zemljotresa, kao i prakti nu primenu tih rešenja u oblastima kao što su planiranje, projektovanje, gra enje i održavanje objekata ija se otpornost na zemljotrese zahteva, uklju uju i kako konstruktivne tako i nekonstruktivne elemente i opremu s aspekta geotehni kih uslova. Ovo podrazumeva multidisciplinarnost, tj. pretpostavlja potrebu poznavanja, razumevanja i koriš enja znatnog broja razli itih podataka iz raznih disciplina, a pre svega geoloških, seizmoloških, geotehni kih, konstruktivnih, arhitektonskih, urbanisti kih i socio-ekonomskih. U oblasti GZI zastupljene su i nauka i inženjerstvo. Cilj nau nika je da razumeju teoriju vezanu za odre enu pojavu (problem), inženjeri pak moraju da reše taj problem. Odnosno, jedno je razumeti recimo stati ko i dinami ko ponašanje jednog mosta, a drugo je projektovati i izvesti taj most, prvo je nauka, a drugo je inženjerstvo.

Teorijski i prakti ni zagovornik primene geotehnike bio je Tercagi (*Karl von Terzaghi*). Njegova prva knjiga i rad "The Proceedings of the First International Conference on Soil Mechanics" (Cambridge, 1936) sadrže sami više kvalitativne informacije u pogledu tla i temelja nego celokupna tehni ka literatura do 1910. godine [3].

2. RAZLIKA IZME U SEIZMI KIH I DRUGIH UTICAJA

Sredinom XX veka, i danas u XXI veku, pored građevinske geotehnike, razvila se u stru noj praksi nova inženjerska disciplina, koja danas egzistira pod nazivom "geotehni ko zemljotresno inženjerstvo". Seizmi ke sile oblika $I_g = -m\ddot{u}_g$ su inercijalnog karaktera i proizvod su mase i ubrzanja tla. Da bi se dobila težina jednog elementa, ili ak celog objekta, potrebno je njegovu masu pomnožiti sa ubrzanjem zemljine teže $g = 9,81 \text{ m/s}^2$, dok se za dobijanje horizontalne seizmi ke sile potrebno je istu masu pomnožiti sa horizontalnim ubrzanjem koje izaziva dejstvo zemljotresa. Naime, po nailasku sekundarnih S talasa doga aju se vibracije tla neposredno ispod objekta (na nivou fundamenta), tako se horizontalna ubrzanja prenose na sam objekat generišu i inercijalne sile u njemu. Osim seizmi kog postoji i drugi tip horizontalnog optere enja – vetar, ali ovo optere enje ima druga iji karakter (Slika 1) [2].

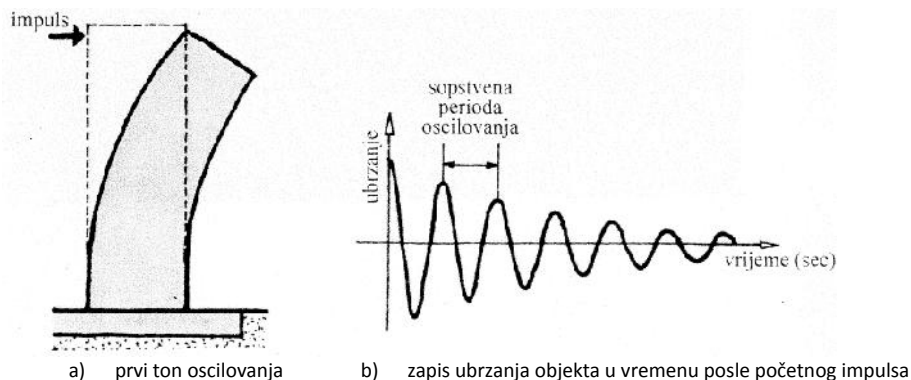


Slika 1. Upore enje izme u spoljnog optere enja vetra i unutrašnjeg optere enja seizmi kim inercijalnim silama

Sli nost izme u ovih tipova optere enja, osim pravca delovanja, je da oba imaju dinami ki karakter. Razlika je s druge strane da kod zemljotresa, za razliku od vetra, postoji alternativno dejstvo, to jest optere enje deluje napred – nazad (ili levo – desno), što sa sobom nosi specifi nosti prilikom kasnijeg prora una i dimenzionisanja. Tako e, na kraju treba navesti najve u razliku izme u ova dva dejstva, a to je da se prilikom

delovanja ja ih zemljotresa dopušta da konstrukcija napusti elasti nu i za e u plasti nu oblast, što samim tim sa sobom nosi i odre ene stepene ošte enja, za razliku od delovanja vetra gde konstrukcija mora ostati u elasti nom domenu ponašanja.

Lako se može pokazati da na elasti ni odgovor konstrukcije pri dejstvu zemljotresa najve i uticaj imaju sopstvena perioda oscilovanja i prigušenje. Sopstvena perioda oscilovanja predstavlja vreme za koje sistem (u ovom slu aju objekat) napravi jednu punu oscilaciju kada se posle po etne pobude ostavi da slobodno osciluje (Slika 2). Na istoj slici se može videti da se vremenom amplitude sistema smanjuju, dok je sopstvena perioda konstanta. Zna i, sopstvena perioda oscilovanja je karakteristika same konstrukcije i nezavisna je od spoljašnjeg optere enja.



Slika 2. Vibracije objekta pobu enog impulsnom silom

Sopstvena perioda oscilovanja direktno zavisi od mase i krutosti sistema i obrnuto je proporcionalna kružnoj frekvenciji, (Chopra, 2012):

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 2\pi \sqrt{\frac{m}{k}} \quad (1)$$

gde su kod sistema sa jednim stepenom slobode (jednoetažne zgrade):

T – sopstvena perioda oscilovanja,

– kružna frekvencija,

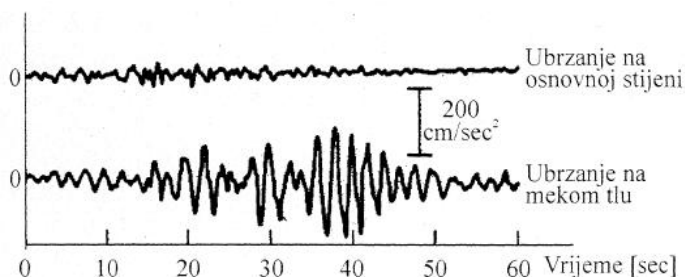
m – masa objekta,

k – krutost objekta.

Na osnovu izraza (1) vidi se da što je ve a masa ve a je perioda, dok krutost ima suprotan efekat, što je ve a krutost to je perioda oscilovanja manja. Na krutost direktan uticaj ima visina objekta i usvojeni konstruktivni sistem.

3. ZEMLJOTRESI I SEIZMI KI HAZARD

Za zna aj i uticaj lokalnih uslova tla reprezentativni i veoma ilustrativni mogu se navesti i analizirati dva zemljotresa: 1985. godine u Michoacanu (Meksiko) i 1989. godine u Loma Prieta (Kalifornija). 19. septembra 1985. Michoacan zemljotres sa magnitudom $M_s = 8.1$ nije izazvao ve u štetu u blizini svog epicentra (blizu Pacifi ke obale Meksika), ali jeste veoma veliku u 350 km udaljenom gradu u Mexico City-ju. Analize zemljotresnih zapisa snimljenih na razli itim lokacijama u Mexico City-ju pokazale su da postoji vrsta veza izme u lokalnih uslova tla i stepena ošte enja na objektima



Slika 3. Zapisi vremenske istorije ubrzanja na osnovnoj steni i mekom tlu snimljeni u Mexico City-ju 1985. godine

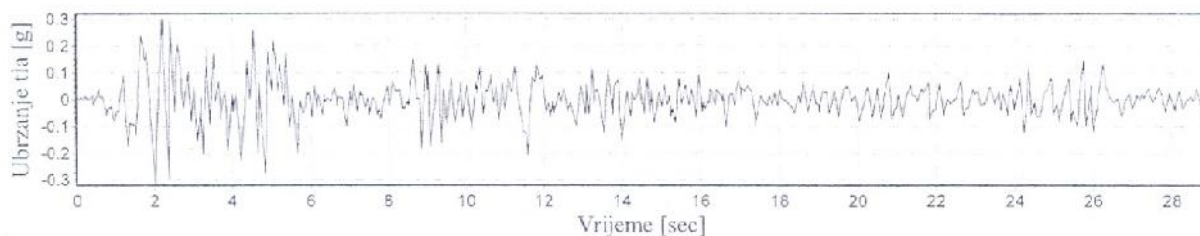
Na slici 3 prikazana su dva snimljena zapisa istorije ubrzanja tla i to na osnovnoj steni i na mekom tlu, na lokacijama približno jednako udaljenim od epicentra. Uo ljava je da su maksimalna ubrzanja na mekom tlu bila oko 5 puta ve a od maksimalnih ubrzanja na steni ije su vrednosti bile svega 0.03g do 0.04g.

Frekventni sastav vibracija tla je tako e veoma bitan podatak. U slu aju zemljotresa ija istorija ubrzanja je prikazana na slici 3, izra unato je da su predominantne periode oscilovanja tla na mekom tlu iznosile oko 2 sekunde. Ovako velike vrednosti predominantne periode oscilovanja imaju i teorijsko objašnjenje. Naime, teorijskom analizom uticaja lokalnog tla može se do i do formule za izra unavanje još jedne veoma bitne karakteristike tla, a to je osnovna sopstvena perioda oscilovanja tla koja se uobi ajeno naziva karakteristi na perioda lokacije T_s . Karakteristi na perioda lokacije T_s zavisi samo od debljine geološkog sloja lokacije H i brzine transverzalnih seizmi kih talasa v_s , i data je pomo u jednostavne formule (Kramer, 1996) [2]:

$$T_s = \frac{4H}{v_s} \quad (2)$$

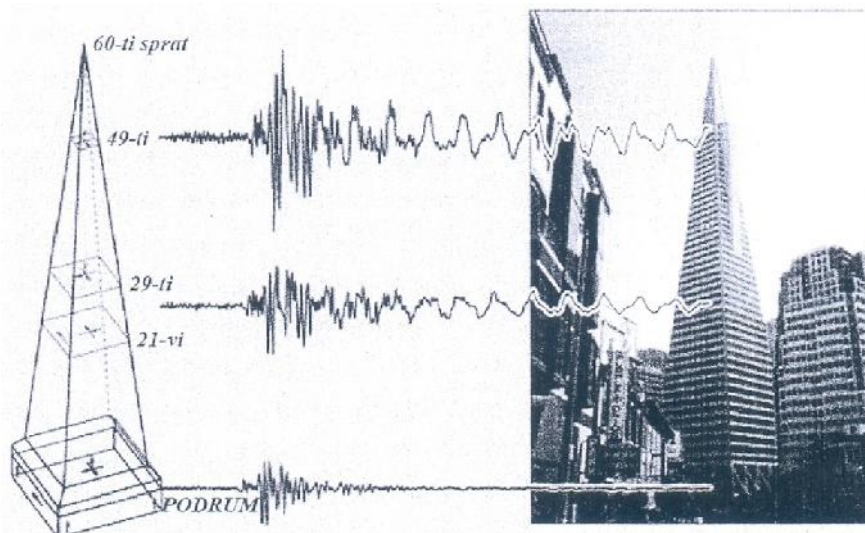
Ova perioda može biti veoma upotrebljiv indikator predominantne periode vibracije na osnovnoj steni, pri kojoj bi se mogla o ekivati najve a amplifikacija ubrzanja. S obzirom da je debljina mekog tla na mestu položaja instrumenta u Mexico City-ju, iznosila od 35 do 40m, a prose na brzina transverzalnih seizmi kih talasa svega oko 75 m/s.

Na slici 4 prikazan je akceleroگرام snimanja na lokaciji El Centro, Kalifornija tokom delovanja Imperial Valley zemljotresa 18.05.1940. godine.



Slika 4. Zapis ubrzanja zemljotresa Imperial Valley iz 1940. godine na lokaciji El Centro, Kalifornija

Danas je u svim seizmi ki aktivnim regionima u svetu postavljen veliki broj seizmi kih instrumenata i to kako van objekata tako i unutar njih (Slika 5).



Slika 5. Zgrada Transamerika u Sam Francisku. Prikazani zapisi ubrzanja su snimljeni tokom zemljotresa Loma Prieta 1989. godine na nivou podruma, dvadestdevetog i etrdesetdevetog sprata [2]

Zapisi dobijeni na instrumentima unutar objekta mogu biti višestruko korisni, jer se pomo u njih može utvrditi kako se zgrada ponašala pri dejstvu zemljotresa, a na osnovu uporedne analize predvi enog i stvarnog ponašanja, mogu se predložiti eventualna unapre enja u budu em projektovanju sli nih zgrada. Zbog toga nije neuobi ajeno da glavni projektant, obi no arhitekta, predloži i ohrabri investitora da instrumentalizuje svoji objekat. Sa zapisa na raznim spratovima prikazanih na slici 5, može se videti da je u pore enju sa vibracijama tla

(snimljenim na nivou podruma) na gornjim etažama došlo do značajnog povećanja amplituda oscilovanja kao i do povećanja dužine trajanja vibracija.

Dinamičke karakteristike (sopstvene periode i oblici oscilovanja) objekta, osim analitičkim putem koji se sprovodi na proračunskom modelu možemo dobiti i ispitivanjima na veštačkim izvedenim objektima. Postoje tri osnovna načina ispitivanja dinamičkih karakteristika konstrukcije (Aničić i ostali, 1990) [1]:

1. Pomoć u ambijentalnih vibracija. Ambijentalne vibracije su veoma slabe vibracije objekta (amplitude pomeranja iznose od 1/1000 do 1/100000mm) koje su prouzrokovane okolnim saobraćajem, dejstvom vetra ili nekim drugim uzrokom. Ako se unutar objekta i na temeljnom tlu postavljaju vrlo osetljivi instrumenti dobijaju se zapisi. Ispitivanjem analizom je moguće odrediti ne samo sopstvene periode oscilovanja i oblike oscilovanja objekta.
2. Pomoć u prinudnih vibracija. Prinudne vibracije objekta je moguće izazvati sa posebnim uređajima (generatorima) koji se sastoje od određene mase postavljene unutar objekta koja ekscentrično rotira oko vertikalne ose. Pri upotrebi ovih uređaja u konstrukciji se javljaju i do 1000 puta veće sile od sila koje nastaju pri ambijentalnim vibracijama. Frekvencije ovakvih pobudivača se menjaju sve dok ne dođu do značajnijeg povećanja pomeranja objekta. Ovo znači da su se javili rezonantni efekti, to jest da se frekvencija uređaja poklopila sa sopstvenom frekvencijom objekta [2].
3. Impulsna ispitivanja. Impulsnim opterećenjem, koje može biti udar, eksplozija ili jednostavno nagli prestanak delovanja sile kojom smo objekat izveli iz ravnotežnog položaja, izazivamo slobodne oscilacije objekta. Pomoć u instrumentata koji su postavljeni unutar objekta određuju se sopstvene periode i oblici oscilovanja.

4. NOVI TREND OVI U GEOTEHNIČKOM IZ OBLASTI ZEMLJOTRESNOM INŽENJERSTVU

Ponašanje zgrada pri dejstvu jakih i srednjih zemljotresa u skorijoj prošlosti pokazali su da aktuelni seizmički pravilnici, čiji osnovni cilj bi trebalo da bude zaštita ljudskih života pri dejstvu jakih, retkih zemljotresa najčešće ispunjavaju ovaj osnovni zadatak, ali vrlo često zgrade projektovane po njima pri dejstvu zemljotresa manjeg intenziteta doživljavaju znatna oštećenja koje je ponekad neracionalno i sanirati [5].

Takođe se ukazuje na novu metodologiju pri seizmičkom projektovanju: projektovanje bazirano na ponašanju, (engleski: *performance based design – PBD*), kao i dve tehnologije koje mogu značajno pomoći u obezbeđenju seizmičke otpornosti objekta: bazna izolacija i primena prigušivača.

U geotehničkom inženjerstvu, središte rada su prirodni materijali, kao što su, tlo i stene. Inženjerska svojstva takvih materijala su znatno kompleksnija od proizvodnih materijala, kao što je čelik, i teže ih je okarakterisati. Svojstva tla, mogu se, znatno razlikovati na različitim terenima/gradilištima, ali i na različitim lokacijama unutar istog terena/gradilišta. U tom smislu, veliki deo novca i rada usmeren je na ispitivanje i određivanje osobina materijala na terenu.

4.1. Projektovanje bazirano na ponašanju – novi pristupi pri seizmičkom projektovanju

4.1.1. „Originalni“ pristup projektovanju baziranom na ponašanju

Danas se u svetu kritički analiziraju postojeći koncepti i principi koji su ugrađeni u sadašnje seizmičke propise i traže novi načini projektovanja kojima bi se unapredila i poboljšala sigurnost objekta, (Fajfar, 1998), (Krawinkler, 1997). Kao najviše mane dosadašnje prakse projektovanja mogu se navesti sledeće dve. Kao prvo, osnovni ciljevi seizmičkog projektovanja nisu dovoljno eksplicitno i kvantitativno definisani. Kao drugo, osnovni ciljevi proračuna se baziraju na metodama koje su bile adekvatne za proračun na gravitacione uticaje. Ove metode primenjene pri seizmičkom proračunu daju ne tako dobre rezultate imajući u vidu da je suštinska razlika između gravitacionog i seizmičkog opterećenja u tome što se granična nosivost nikada (ili skoro nikada) ne dostiže pri gravitacionim uticajima, dok se pri dejstvu zemljotresa (čiji intenzitet čak može biti znatno manji od projektovanog) granična nosivost elemenata po pravilu dostiže. Dakle, i ako seizmička otpornost ne zavisi od sila koje se javljaju u pojedinim elementima već od kapaciteta deformacija, u sadašnjoj praksi projektovanja, pre svega zbog tradicije, inertnosti kao i lakoće primenjivosti, zadržan je pristup baziran na silama i odgovarajućim nosivostima. Preveliko značajno nosivosti kod seizmičkog proračuna ogleda se u činjenici da se sigurnost konstrukcije ne povećava povećanjem nosivosti cele konstrukcije i pojedinih njenih elemenata. Šta više, znatno je veći značaj same distribucije nosivosti unutar konstrukcije od njene apsolutne vrednosti, što je obuhvaćeno metodom programiranog ponašanja (Paulay i Priestle, 1992). Još jedan razlog protiv pristupa baziranom na

silama pri seizmi kom prora unu je u tome što ne postoji jasna veza između veličine nosivosti i stepena oštećenja.

Na osnovu svih ovih zapažanja može se izvesti zaključak da ako se želi ta nija procena deformacija i pomeranja prilikom seizmičkog prora una koji se bazira na silama, neophodno je znatno usložiti postojeću u proceduru prora una. Alternativa je da se istav postupak prora una i analize bazira na pomeranjima.

Nova metodologija koja se poela razvijati u Americi i Japanu, nazvana projektovanje bazirano na ponašanju, (Performance based design – *PBN*), trebalo bi da prevaziđe većinu postojećih metoda seizmičkih prora una. Ova nova projektna metodologija, koja je usvojena u nekim dokumentima (FEMA 273, 1997) i (SEAO Vision 2000, 1995) bi trebalo da obezbedi da se ponašanje objekta pri dejstvu zemljotresa može kvantitativno predvideti i proceniti sa velikim stepenom pouzdanosti, omogući avaju i na taj način da se ispune zahtevi projektanata i vlasnika.

Da bi se konstrukciji obezbedilo povoljno ponašanje pri raznim intenzitetima zemljotresa potrebno je definisati više projektnih ciljeva i razmotriti njima korespondentna grani na stanja u okviru kojih se dokazuju odgovarajuće stepeni sigurnosti. Projektni ciljevi ili drugim rečima stepeni zaštite se mogu definisati kao kombinacija nivoa oštećenja i odgovarajućeg projektnog intenziteta zemljotresa.

4.1.2. “Probabilistički” pristup projektovanju baziranom na ponašanju

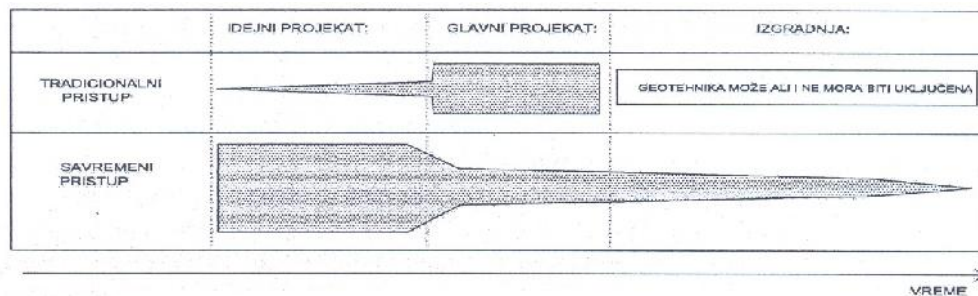
U odnosu na dosadašnje metodologije, kod *PBD* pristupa projektni ciljevi, kombinacija nivoa oštećenja i projektnog zemljotresa za razna grani na stanja, su dati eksplicitno. Pri ovome se u gore citiranim dokumentima intenziteti zemljotresa definišu probabilistički preko povratnih perioda ili, analogno, preko verovatnoće da će intenzitet datog zemljotresa biti prevaziđen u vremenu od 50 godina, dok se kontrola ponašanja konstrukcije obavlja deterministički, to jest izrađujući odgovor (u slučaju tri zemljotresa, maksimalna vrednost, a u slučaju sedam ili više zemljotresa, srednja vrednost, (Eurokod 8, 2004)) na zadate zemljotrese se upoređuje sa unapred definisanim prihvatljivim odgovorom.

Da bi se eliminisale ove navedene mane *PBD* koncepta, Pacifički istraživački centar za zemljotresno inženjerstvo (engleski: *Pacific earthquake engineering research center – PEER*) je uspostavio i sada razvija svoju metodologiju baziranu na probabilističkom formatu, koja pokušava da na konzistentan način obezbedi pouzdanu procenu seizmičkog ponašanja objekta. Pri ovome, može se reći da je jedan od glavnih ciljeva *PEER* metodologije da zahtevanu probabilističku analitičku proceduru svede na jednostavniji oblik primenljiv u inženjerskoj praksi i da bude dovoljno fleksibilna da se može primeniti u skladu sa različitim zahtevima vlasnika, to jest investitora.

5. NEKE SPECIFIKOSTI GEOTEHNIČKOG ZEMLJOTRESNOG INŽENJERSTVA

Svojstva tla mogu se, znatno razlikovati na različitim terenima/gradilištima, ali i na različitim lokacijama unutar istog terena/gradilišta. U tom smislu, veliki deo novca i rada usmeren je na ispitivanje i određivanje osobina materijala na terenu. Za razliku od građevinskih inženjera, koji o svojstvima materijala mogu saznati iz postojećih knjiga, geotehnički inženjeri sa svakog terena moraju posebno uzimati uzorke i testirati ih u laboratoriji. Da bi se takvi zadaci obavili, geotehnički inženjeri sa ostalim radnicima, veliki deo vremena provode na terenu ili u laboratoriji.

Zbog (svega) toga, se događa, da su, u mnogim slučajevima, u procesu projektovanja i izgradnje, građevinski objekata, naročito, u slučaju velikih infrastrukturnih projekata, finalni troškovi izgradnje znatno veći, od onih koji su predviđeni projektom. I ako su razlozi za ovo brojni, jedna faza procesa projektovanja i izgradnje, je (često) meta ozbiljnih preispitivanja. To su geotehnička istraživanja, koja se, ili uopšte ne izvode, ili su izvedena nedovoljna i neadekvatna, da bi se sa aspekta geotehničkog zemljotresnog inženjerstva, moglo odgovoriti, na sve te navedene probleme i specifičnosti, (slika 6). U prilog tome je činjenica da je u integralnom sistemu, kojeg čini teren i objekat, prirodna konstrukcija znatno složenija, po svom sastavu, stanju i svojstvima. Zato, na pouzdanost prognoze interakcije, daleko veći (ili bar isti), uticaj ima ta neodređenost, prirodne konstrukcije, što je upravo, i razlog da poznavanje te sredine čini suštinski osnov sigurnog i racionalnog projektovanja i izgradnje objekata.



Slika 6 Razliite koncepcije u pristupu geotehni kim istraživanjima

5.1. Mogu e posledice nedostataka geotehni kog istraživanja

U okviru namenske studije koja je sprovedena u Velikoj Britaniji pre nekoliko godina vršena je analiza troškova koji su ostvareni tokom izgradnje pojedinih objekata. Uvidom u projektnu dokumentaciju izvedenih objekata u okviru studije o geotehni kim istraživanjima zaključeno je da je pri izvo enju objekata u vrednosti 40 miliona funti, na geotehni ka istraživanja utrošeno oko 150.000 funti, što predstavlja 0.004% ukupno ugovorene sume za navedene objekte. Imaju i u vidu preporu ene vrednosti utroška sredstava za geotehni ka istraživanja koje iznose oko 1-3% (Clayton, 2005.) lako je ustanoviti potencijal za velike propuste. Daljom analizom navedene projektne dokumentacije zaključuje se da je blizu 60% izvo a a imalo teško a u realizaciji projekata uglavnom zbog nedovoljne istraženosti terena, što je uzrokovalo znatna kašnjenja, veliko poskupljenje radova i negativan imidž pojedinih kompanija u javnosti. Nažalost, ovakvih (sli nih) primera bilo je znatno više u prošlosti, a i danas se dešava, na širem (našem) prostoru, pa i u svetu [4].

Da se ovako nešto ne bi dešavalo u praksi, s obzirom na zna aj geotehnike u procesu planiranja, projektovanja i izgradnje svakog objekta, geotehni ka istraživanja treba, obavezno, da prethode svakoj fazi – nivou planiranja i projektne aktivnosti, odnosno oni ine (sastavni) deo tehni ke dokumentacije. A izvode se po programu (metodologija, vrsta i obim), u zavisnosti od projektantskih ciljeva i zadataka, složenosti problema koji treba rešiti, kategorije i ranga objekta, faze – nivoa projektovanja i dr. – uz poštovanje osnovnih principa istraživanja: postupnosti, potpunosti, ravnomernosti i ekonomi nosti.

6. ZAKLJU AK

Na osnovu svega napred izloženog može se zaključiti da geotehni ko zemljotresno inženjerstvo predstavlja novu veoma zna ajnu oblast inženjerske geologije pri projektovanju i izgradnji objekata u seizmi ki aktivnim područjima. Teorijski cilj nau nika je razumeti recimo statičko i dinami ko ponašanje jednog mosta, a inženjera praktičara je projektovati i izvesti taj most, zato je prvo nauka, a drugo je inženjerstvo. Vibracije tla doga aju se neposredno ispod objekta (na nivou fundamenta), tako se horizontalna ubrzanja prenose na sam objekat generišu i seizmi ke sile koje su inercijalnog karaktera i proizvod su mase i ubrzanja tla. Osim seizmi kih postoji i drugi tip horizontalnog optere enja – vetar, ali ovo optere enje ima sasvim druga iji karakter, mada oba imaju dinami ki karakter. Na elasti an odgovor konstrukcije pri dejstvu zemljotresa najve i uticaj imaju sopstvena perioda oscilovanja i prigušenje. Pri dejstvu ja ih zemljotresa dopušta se da konstrukcija za e i u plasti nu oblast, što za sobom nosi i odre ene stepene ošte enja. Me utim, frekventni sastav vibracije tla je veoma bitan podatak, a karakteristi na perioda lokacije zavisi od sastava tla. Uo eno je da su maksimalna ubrzanja na osnovnoj steni za vreme Michoacan (Mexico) zemljotresa (1985), gde je pokazano da postoji vrsta veza izme u lokalnih uslova tla i stepena ošte enja na objektima.

Vrednosti zapisa ubrzanja na nivou fundamenta se pove avala sa nivoom (ve i su na 49-om nego na 29-om spratu). Novi trendovi u geotehni kom zemljotresnom inženjerstvu su projektovanje bazirano na ponašanju (*performance based design – PBD*) kao i novih tehnologija koje mogu zna ajno pomo i u obezbe ivanju seizmi ke otpornosti objekta: bazna izolacija i primena prigušiva a.

Na kraju su prikazane mogu e posledice zbog nedostatka geomehane kog istraživanja na studiji sprovedenoj u Velikoj Britaniji. Pokazano je da blizu 60% izvo a a je imalo teško a u realizaciji projekata uglavnom zbog nedovoljne istraženosti terena, što je uzrokovalo znatna kašnjenja, velika poskupljenja radova i dr.

Acknowledgement: This research is supported by the Ministry of education, science and technological development of the Republic of Serbia for project cycle 2011-2016, 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.

7. REFERENCE

- [1] Aničić D., Fajfar P., Petrović B., Szavits-Nossan A., Tomažević M.: Zemljotresno inženjerstvo – visokogradnja, Građevinska knjiga, Beograd, 1990.
- [2] Janković S.: Osnove seizmičkog planiranja i projektovanja za inženjere arhitekture i građevine, Građevinski fakultet Univerziteta Crne Gore, Podgorica, AGM knjiga, Beograd, 2014.
- [3] Terzaghi K.: Teorijska mehanika tla, Naučna knjiga, Beograd, 1972.
- [4] Vujanić V.: Šta je to geotehničko inženjerstvo, a šta je to geotehnika u putnom inženjerstvu – Tumačenja i značenja njihovih pojmova, Naučno-stručni skup GEO-EXPO 2013, Jahorina, BIH, pp. 13-23.
- [5] Zdravković S., Mladenović B., Zlatković D.: Earthquake generation mechanism, Naučno-stručni skup GEO-EXPO 2013, Jahorina, BIH, pp. 300-307.