

SPECIFIČNOSTI GEOTEHNIČKOG ZEMLJOTRESNOG INŽENJERSTVA U ZAVISNOSTI OD SEIZMIČKOG HAZARDA I SEIZMIČKOG RIZIKA

UDK: 699.841

550.34

Nemanja Rančić¹, Dragan Zlatkov², Slavko Zdravković³

Rezime: U radu se definiše geotehničko zemljotresno inženjerstvo kao specifična oblast geotehnike, veoma značajna u seizmički aktivnim područjima. To je multidisciplinarna oblast i sa teorijskog i sa stručnog aspekta, jer predstavlja poznavanje raznih disciplina, a pre svega geoloških i seizmoloških. Definisanje i određivanje hazarda i rizika pri projektovanju objekata u seizmičkim područjima zahteva poznavanje i analiziranje većeg broja faktora. Seizmički hazard definiše verovatnoću nastajanja zemljotresa, odnosno izražava prognozu nivoa budućih zemljotresa i samim tim doprinosi smanjenju seizmičkog rizika. Rezultat seizmičkog rizika vezan je za posledice prouzrokovane zemljotresom: tehničke, ekonomske, socijalne, društveno-ekonomske i dr., što je u vezi zaštite u odnosu na nivo prihvatljivog rizika.

Ključne reči: geotehničko zemljotresno inženjerstvo, hazard, rizik.

Abstract: The paper defines geotechnical earthquake engineering as a specific field of geotechnics, very significant in seismically active areas. It is a multidisciplinary field, both from a theoretical and professional point of view, because it represents knowledge of various disciplines, especially geological and seismological. Defining and determining hazards and risks when designing objects in seismic areas requires knowledge and analysis of a number of factors. Seismic hazard defines the likelihood of an earthquake, that is expresses a forecast of the level of future earthquakes and thus contributes to the reduction of seismic risk. The result of seismic risk is related to the consequences caused by the earthquake: theoretical, economic, social, socio-economic, etc., which is related to protection relative to level of acceptable risk.

Key words: Geotechnical earthquake engineering, hazard, risk.

¹ Nemanja Rančić, mast. inž. građ., student doktorskih studija, Građevinsko-arhitektonskog fakulteta Univerziteta u Nišu, Ul. Al. Medvedeva 14, e-mail: nemanja.rancic@hotmail.com

² Dragan Zlatkov, docent dr dipl. inž. građ., Građevinsko-arhitektonskog fakulteta Univerziteta u Nišu, Ul. Al. Medvedeva 14, e-mail: dragan.zlatkov@gaf.ni.ac.rs

³ Slavko Zdravković, prof. dr inž. ekspert bivšeg Saveznog ministarstva za nauku, tehnologiju i razvoj u oblasti: 1221 građevinsko inženjerstvo, aseizmičko građevinarstvo, stabilnost mostova (rešenje br.:exp 2/0-09-001/94-9). Redovni član Srpske kraljevske akademije inovacionih nauka – SKAIN, Građevinsko-arhitektonskog fakulteta Univerziteta u Nišu, Ul. Al. Medvedeva 14, e-mail: slavko.zdravkovic@gaf.ni.ac.rs

1. UVOD

Geotehničko zemljotresno inženjerstvo (GZI) je steklo specifične karakteristike po kojima se razlikuje od ostalih inženjerskih disciplina. Danas u širem smislu geotehničko zemljotresno inženjerstvo pokriva veoma široku oblast naučnog istraživanja i rešavanja skoro svih problema vezanih za smanjenje posledica dejstva zemljotresa, kao i praktičnu primenu tih rešenja u oblasti kao što su: planiranje, projektovanje, građenje i održavanje objekata čija se otpornost na zemljotres zahteva, uključujući kako konstruktivne tako i nekonstruktivne elemente i opremu sa aspekta geotehničkih uslova. Ovo podrazumeva multidisciplinarnost, tj. predstavlja potrebu poznavanja, razumevanja i korišćenja znatnog broja različitih podataka iz raznih disciplina, a pre svega geoloških, seizmoloških, geotehničkih, konstruktivnih, arhitektonskih, urbanističkih i socio-ekonomskih. U oblasti geotehničkog zemljotresnog inženjerstva zastupljene su i nauka i inženjerstvo. Cilj naučnika je da razumeju teoriju vezanu za određenu pojavu (problem), inženjeri pak moraju da reše taj problem. Odnosno, jedno je razumeti statičko i dinamičko ponašanje jednog mosta, drugo je projektovati i izvesti taj most, prvo je nauka, a drugo je inženjerstvo.

2. ZEMLJOTRESI KAO PRIRODNI FENOMENI

Pod zemljotresom se podrazumevaju pojave naglog oscilovanja, kolebanja, talasanja i uopšte sva kretanja i pomeranja površine Zemljine kore ili njenih unutrašnjih delova, odnosno vodenog pokrivača, koji su izazvani pokretima u dubokim pokretnim delovima u samoj Zemljinoj kori, ili ređe na samoj njenoj površini, kao posledica narušavanja ravnoteže sila koje u tim prostorima deluju. Zemljotresi se događaju na Zemlji još od njenog postanka, od pre nekih 4,54 milijarde godina. Ova pojava će trajati toliko dugo dok se ne iscrpi sva energija kojom je Zemlja započela razvoj. Težina svih zbivanja u razvoju Zemlje kao planete je ipak njeno potpuno očvršćavanje. Ako se uzme u obzir činjenica da je za protekle 4,54 milijarde godina očvrstelo tek nešto oko 1% Zemljine mase u vidu čvrste površine kore, proizilazi da nema nikakvih izgleda da se dočeka vreme kad će Zemlja potpuno očvrstnuti i kada će prestati potresanje njene površine. Veoma su važna istraživanja uzroka ovih potresanja i mogućnosti da se njihove štetne posledice što više izbegnu. Ovo ni u kom slučaju nije lak zadatak jer su zemljotresi stalni pratioci razvoja Zemlje.

Zemljotresno inženjerstvo, u savremenim uslovima, predstavlja naučnu multidisciplinarnu oblast posvećenu istraživanjima s ciljem obezbeđenja prihvatljivog nivoa seizmičke sigurnosti objekta [8].

Zemljotresi se povezuju sa katastrofama i na njih se gleda kao na najdestruktniju prirodnu silu, jer nijedan prirodni fenomen ne izaziva i ne stvara tako masovan psihološki šok zato što je najveći broj poginulih u odnosu na sve druge hazarde koji se u prirodi dešavaju, a i materijalne štete su velike. Zemljotresno inženjerstvo i inženjerska seizmologija uključuju mnoge druge naučne oblasti i discipline. Osim prirodno-matematičkog i tehničkog aspekta, izučavanje zemljotresa i zaštita od njih zadire i u mnoga pitanja socijalnog i ekonomskog karaktera. To je složen multidisciplinarni posao koji zahteva kolektivan rad, kao i međunarodnu saradnju, kako bi se sačuvalo ono što je nadragocenije – ljudski život koji je neponovljiv i nemeđljiv.

Zemljotres nameće projektantima uopšte, a posebno arhitekti i konstrukteru, više raznih projektnih preduslova i kriterijuma inače nesvojsvenih za standardno projektovanje. Neki od ovih zahteva i kriterijuma su od fundamentalnog značaja i uticaja i već pri samom određivanju forme i oblika konstrukcije. Otuda je suštinski važno da se ovim, kao i drugim osnovnim aspektima pouzdanog seizmičkog rizika – posveti odgovarajuća pažnja pravovremeno, dakle, već na nivou idejnog projekta tj. posebno kod aseizmičkog projektovanja zgrada.

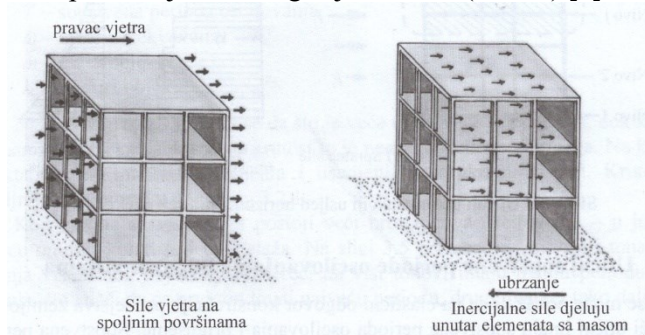
Osnovno načelo kojem treba težiti prilikom projektovanja temelja konstrukcija je da temelji leže na istoj dubini. Takođe, fundiranje objekta na tlu različitih karakteristika treba izbegavati, a ako to nije moguće, objekat treba razdvojiti na pojedinačne nezavisne celine prema uslovima tla. Važno je poštovati i načelo da temeljna konstrukcija treba da bude povezana u jednu celinu. Zato je fundiranje na temeljnoj ploči najpovoljnije rešenje. Smatra se povoljnim fundiranje pomoću temeljnih traka ispod nosećih zidova koji su raspoređeni u oba pravca. Temeljne trake raspoređene u oba pravca daju povoljnu horizontalnu krutost temeljnoj konstrukciji.

U slučaju da su temeljne trake postavljene ispod nosećih zidova koji su raspoređeni pretežno samo u jednom pravcu, neophodno je dodatno povezivanje trakastih temelja. To se postiže postavljanjem armirano-betonskih greda upravno na pravac temeljnih traka, a u visini gornje površine temelja. Razmak ovih greda treba da bude oko 6.0m, a minimalne dimenzije 30/30cm.

Krute konstrukcije treba fundirati na mekom tlu, i obrnuto, fleksibilne konstrukcije treba fundirati na tvrdom tlu.

3. SPECIFIČNOST GEOTEHNIČKOG ZEMLJOTRESNOG INŽENJERSTVA

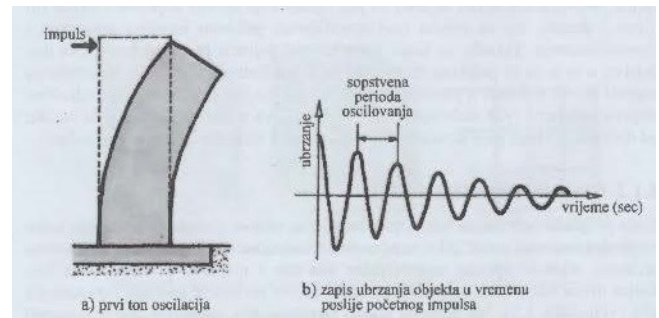
Sredinom XX, a i danas u XXI veku, pored građevinske geotehnike razvila se u stručnoj praksi nova inženjerska disciplina, koja danas egzistira pod nazivom „Geotehničko zemljotresno inženjerstvo”. Seizmičke sile oblika $I_g = -m\ddot{u}g$ su inercijalnog karaktera i proizvod su mase i ubrzanja tla. Da bi se dobila pak težina jednog elementa, ili čak celog objekta, potrebno je njegovu masu pomnožiti sa ubrzanjem zemljine teže $g = 9.81 \frac{m}{s^2}$, dok se za dobijanje horizontalne seizmičke sile potrebno je istu masu pomnožiti sa horizontalnim ubrzanjem koje izaziva dejstvo zemljotresa. Naime, po nailasku sekundarnih S-talasa događaju se vibracije tla neposredno ispod objekta (na nivou fundamenta), tako da se horizontalna ubrzanja prenose na sam objekat generišući inercijalne sile u njima. Osim seizmičkog, postoji i drugi tip horizontalnog opterećenja-vetar, ali ovo opterećenje ima drugačiji karakter (slika 1) [2].



Slika 1 – Upoređenje između spoljnog opterećenja vetra i unutrašnjeg opterećenja seizmičkim silama [6]

Najveću razliku između zemljotresa i vetra, tj. ova dejstva, a to je da se prilikom delovanja jačih zemljotresa dopušta da konstrukcija napusti elastično i zađe u plastičnu oblast, što samim tim sa sobom nosi i određene stepene oštećenja, za razliku od delovanja vetra gde konstrukcija mora ostati u elastičnom domenu ponašanja. Lako se može pokazati da na elastični odgovor konstrukcije, pri dejstvu zemljotresa, najveći uticaj imaju sopstvena perioda oscilovanja i prigušenja. Sopstvena perioda oscilovanja predstavlja vreme za koje sistem (u ovom

slučaju objekat) napravi jednu punu oscilaciju (slika 2).



Slika 2 – Vibracije objekta pobuđenog impulsnom silom [6]

Na istoj slici se može videti da se vremenom amplitude sistema smanjuju, dok je sopstvena perioda konstanta. Znači, sopstvena perioda oscilovanja je karakteristika same konstrukcije i nezavisna je od spoljašnjeg opterećenja. 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
- ω - kružna frekvencija
- m – masa objekta
- k – krutost objekta

Na osnovu izraza (1) vidi se da što je veća masa-veća je i perioda, dok krutost ima suprotan efekat, što je veća krutost to je perioda oscilovanja manja.

4. SEIZMIČKI HAZARD I RIZIK

Formulisanje i određivanje hazarda i rizika pri projektovanju i izgradnji objekata u seizmičkim područjima ili posmatrane lokacije, zahteva poznavanje i analiziranje više faktora (model posmatranog područja, nivo prihvatljivog rizika, itd.). Za analizu rizika moguće je definisati više matematičkih modela u zavisnosti od toga šta želimo da analiziramo. Često se u svakodnevnoj inženjerskoj praksi, ponekad i u stručnoj literaturi, poistovećuju pojmovi seizmičkog rizika i seizmičkog hazarda, iako ovi termini imaju sasvim različito značenje u

definisaju dejstva zemljotresa kao prirodnog fenomena i njihovi se rezultati razlikuju u kvalitativnom smislu.

U vezi sa tim usvojene su sledeće definicije:

Hazard (prirodni) označava verovatnoću pojave zemljotresa ili nekog drugog potencijalnog rušilačkog prirodnog fenomena, a u okviru specifičnog vremenskog perioda na određenom području.

Vulnerabilitet označava stepen gubitka nanesenom datom elementu rizika ili skupu takvih elemenata, zbog pojave prirodnog fenomena date magnitude, a izražava se u skali od nule (bez štete) do 1 (totalni gubitak).

Elementi rizika označavaju stanovništvo, zgrade i druge građevinske objekte, ekonomske aktivnosti, suprastrukturu, infrastrukturu i druge elemente izložene riziku na datom području.

Specifični rizik označava očekivani stepen gubitaka izazvan pojavom određenog prirodnog fenomena i predstavlja funkciju zavisnu od hazarda i vulnerabiliteta.

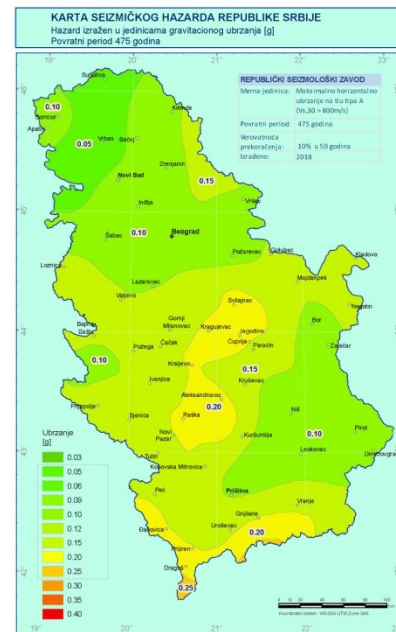
Rizik označava očekivani broj izgubljenih života, povređenih osoba, oštećenja i gubitka imovine, poremećaja privredne aktivnosti usled određenog prirodnog fenomena i sl., te prema tome predstavlja specifičnost rizika i elemenata izloženih riziku.

5. OSNOVNI PRINCIPI PRORAČUNA SEIZMIČKOG HAZARDA I RIZIKA

Iz definicije seizmičkog hazarda jasno je da se za proračun ne mogu koristiti determinističke metode, već metode matematičke statistike i teorije verovatnoće, a definisan je sa tri elementa:

- veličinom parametra oscilovanja tla
- povratnom periodom
- verovatnoćom realizacije takvog događaja.

Ovi elementi mogu se posmatrati i odvojeno, koji najčešće izražavaju seizmički parametar u okviru određenog povratnog perioda sa definisanom verovatnoćom. Rezultat proračuna je kvantitativni pokazatelj seizmičnosti izražen u više faza kao što su:



Slika 3 – Karta seizmičkog hazarda

- Korišćenjem svih dostupnih istorijskih podataka o seizmičnosti posmatranog područja;
- Određivanje žarišnih zona koje imaju značajan uticaj na seizmički hazard definisanog relacijom (Richter, Gutenberg, 1940)

$$\log N = a - bM \quad (2)$$

Gde je:

N – broj potresa magnitude M za određeni broj godina

a, b – konstante relacije koje karakterišu datu žarišnu zonu

- Definisanje regionalne zakonitosti sa promenom epicentralnog rastojanja
- Izbor metode proračuna
- Izrada karte seizmičkog hazarda po izabranom parametru, najčešćeg maksimalnog horizontalnog ubrzanja oscilovanja tla.

Nacrt pravilnika [2] uvodi projektni zemljotres tip „Z1” koji može da se dogodi jednom u 100 ili 200 g., u zavisnosti od objekata sa verovatnoćom pojave od 70%. Projektni zemljotres, tip zemljotresa „Z2” može se dogoditi jednom u 1000 g. sa verovatnoćom pojave od 70%. Kod nastanka zemljotresa „Z1” objekat mora ostati bez konstruktivnih ili sa malim nekonstruktivnim oštećenjima, dok kod „Z2” mogu se pojaviti konstruktivna i nekonstruktivna oštećenja, ali funkcionalnost objekta mora ostati očuvana.

Dešavanja zemljotresa u toku vremena se obično opisuje Poisson-ovim statičkim modelom. U skladu sa Poisson-ovim modelom, verovatnoća da će se slučajna promenljiva (zemljotres određene jačine) javiti n puta u vremenskom intervalu t , iznosi:

$$P[N = n] = \frac{(\lambda t)^n \cdot e^{-\lambda t}}{n!} \quad (3)$$

gde je:

λ – prosečna učestalost pojavljivanja zemljotresa $P[N \geq 1]$ u periodu vremena t je jednaka razlici verovatnoće sigurnog događaja (da će se zemljotres ili javiti ili ne) koja iznosi 1 i verovatnoća da se zemljotres uopšte neće javiti:

$$1 - P[N = 0] = 1 - e^{-\lambda t} \quad (4)$$

Za konkretni slučaj (6) izraz glasi:

$$(1 - p)^n = 1 - e^{-\lambda t} \quad (5)$$

$$L = \frac{1}{p} = \frac{1}{0.00210} = 475 \text{ godina} \quad (6)$$

Inače, za različite vrednosti eksploacionog perioda objekta i nivoa prihvatljivog seizmičkog rizika dobijaju se odgovarajući iznosi povratnog perioda.

6. ZAKLJUČAK

Za skoro pet milijardi godina zemljina kora je očvrsla oko 1% tako da se njeno potpuno očvršćavanje ne može predvideti, pa se mora voditi računa sa daljom pojavom zemljotresa, koje je nemoguće predvideti ni prema vremenu nastajanja, ni prema mestu nastajanja, ni kolike će štete iz toga proisteći. Zato treba računati na njihovo događanje u skoroj i daljoj budućnosti, pa je prihvatljiv seizmički rizik moguć adekvatnom aseizmičkom gradnjom, u meri u kojoj je to moguće u zavisnosti od ekonomske mogućnosti zemlje [4]. Zemljotresni izvori se identifikuju na osnovu istorijske arhivske građe. Ovi podaci datiraju unazad nekoliko stotina godina u većim evropskim državama i na Balkanu, zatim u Japanu i na srednjem istoku oko dve hiljade godina, u Kini više od tri hiljade godina.

Sasvim je evidentno da danas postoji mali broj država koje poseduju takve finansijske i tehničke resurse da u celosti mogu ispuniti sve zahteve koji proističu iz navedenih ciljeva i potreba. Zbog toga se pred svakom državom, sa teritorijom izloženom

visokom stepenu seizmičkog hazarda i rizika, kakva je i naša država, nameće krupan izazov da se pronađe pravi skup akcija za upravljanje seizmičkim rizikom, putem jedne integralne strategije, konzistentne sa njenim razvojnim aspiracijama i raspoloživim resursima. Uravnoteženje sadašnjih akcija prema budućoj ugroženosti od seizmičkog rizika, predstavlja srž kontrole efekta i posledica zemljotresa, sa definicijom prihvatljivog nivoa seizmičkog rizika i sprovođenja potrebnih mera za smanjenje gubitaka. Osnovni zadatak je koordinacija naučno-istraživačkog rada sa područja zemljotresnog inženjerstva i geotehničkog zemljotresnog inženjerstva, odnosno utvrđivanje seizmičkog hazarda i smanjenje seizmičkog rizika, uz njegovu realizaciju preko institucija kvalifikovanih za noseće aktivnosti u vezi sa realizacijom zadatka i odgovarajućim specifičnim programima i projektima (prema EC8 i dr.) i međunarodne saradnje i harmonizacije relevantne regulative.

7. LITERATURA

- [1] Zdravković S., Kostadinov B.: Elementi metoda za analizu seizmičkog rizika, Međunarodna konferencija–Preventivni inženjering i informacione tehnologije–PIIT 94, FZNR, Niš, 1994., str. 63.-1;63-4
- [2] Zdravković S., Turnić D., Zlatkov D.: Risk and Hazard of Technological Systems, 6th International Conference on Risk and Safety Engineering, Kopaonik, 2011., str. 139-145.
- [3] Petrović M.: Seizmički hazard kao jedan od elemenata seizmičkog rizika sa proračunom za teritoriju Srbije, Izgradnja 8/87, Beograd, str. 24-29. Karta Republičkog seizmološkog zavoda Srbije, 2018
- [4] Zdravković S.: Značaj i uloga seizmičkog rizika pri zaštiti objekta od dejstva zemljotresa, XII naučni skup–Čovek i radna sredina, Međunarodna konferencija–Preventivni inženjering i informacione tehnologije – PIIT, FZNR, Niš, 1996., str. 49-1;49-4
- [5] Terzaghi K.: Teorijska mehanika tla, Naučna knjiga, Beograd, 1972.
- [6] Janković S.: Osnove seizmičkog planiranja i projektovanja za inženjere arhitekture i građevine, Građevinski fakultet, Univerzitet Crne Gore, Podgorica i AGM, Beograd, 2014.
- [7] Aničić D., Fajfar P., Petrović B., Tomažević M. Popović B.: Zemljotresno inženjerstvo: visokogradnja, Građevinska knjiga, Beograd, 1990.