

Procjena amplifikacije seizmičke pobude za slučaj potresa u Albaniji 26. studenoga 2019.

Adrian Kadiri¹, doc. dr. sc. Mario Bačić²

¹Doktorand, adriankadiri6@gmail.com

²Sveučilište u Zagrebu, Građevinski fakultet, mario.bacic@grad.unizg.hr

Sažetak

Na oštećenja nastala na nekoj lokaciji, osim intenziteta potresa i udaljenosti od epicentra potresa, utječu i parametri lokalnog tla. Zbog velike razlike u impedanciji između osnovne stijene i mekog površinskog sloja, dolazi do pojave amplifikacije seizmičke pobude. U ovom radu analizirana je veličina amplifikacije temeljnog tla za slučaj potresa koji je 26. studenoga 2019. zadesio Albaniju. Analiza je provedena ekvivalentno-linearnom metodom koristeći program DEEPSOIL. Za potrebe analize, nelinearnost tla je obuhvaćena empirijskim krivuljama redukcija G/G_0 - γ i D - γ .

Ključne riječi: amplifikacija potresne pobude, dinamički parametri tla, DEEPSOIL, ekvivalentnolinearna analiza, prigušenje tla

Estimation of ground motion amplification for the case of Albania earthquake 26th November 2019

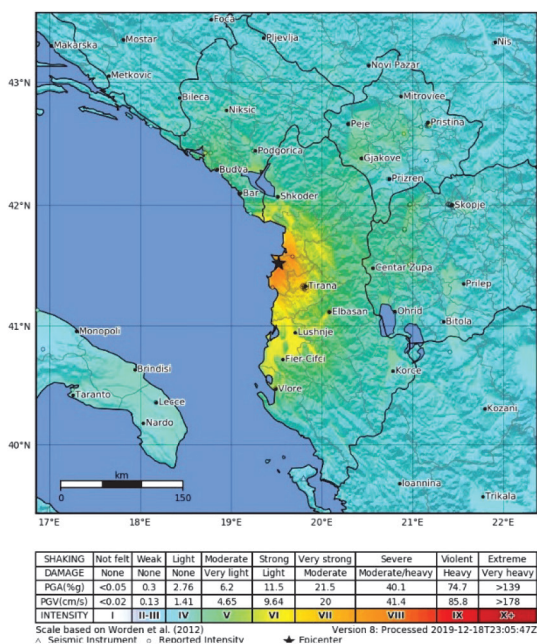
Abstract

In addition to earthquake intensity and distance from the epicentre, the damage caused at a particular location is also affected by local soil parameters. The amplification of seismic excitation occurs due to large difference in impedance between the bedrock and soft surface layers. In this paper, the amplification magnitude is analysed for the earthquake that struck Albania on 26 November 2019. The analysis is based on the equivalent-linear method using the DEEPSOIL software. For the analysis purposes, soil nonlinearity is described using the empirical reduction curves G/G_0 - γ and D - γ .

Key words: amplification of ground motion, dynamic soil parameters, DEEPSOIL, equivalent-linear analysis, soil damping

1 Uvod

Utjecaj potresa na stabilnost zgrada ovisi ne samo o intenzitetu potresa i udaljenosti od epicentra, već i o mnogim drugim faktorima kao što su: geološka građa i lokalni uvjeti tla, prirodni period vibracije građevina, itd. Seizmičke stanice mjere seizmičke pobude (ubrzanje, brzinu itd.) na površini tla. Međutim, seizmičke vibracije mogu znatno promijeniti svoja svojstva putujući iz većih dubina prema površini. U slučaju mekih površinskih sedimenata, dolazi do amplifikacije seizmičke pobude. Jugoistočna Europa je 2019. i 2020. godine pogođena nizom uzastopnih potresa, među kojima je i potres koji je 26. studenoga 2019. zadesio Albaniju. Potres magnitude $M_w=6,4$ s epicentrom 22 km od grada Drača i dubine 22 km, dogodio se kao posljedica potiska u blizini konvergentne granice ploča Afrike i Euroazije. Rješenja za fokusne mehanizme upućuju na obrnuto klizanje na plitkom ili strmom rasjedu. Obrtanje rasjeda sjeverozapad-jugoistok u skladu je s tektonikom regije. Na mjestu ovog događaja afrička ploča konvergira s euroazijskom pločom brzinom 73 mm/god [1]. U navedenom potresu smrtno je stradala 51 osoba, a znatno je oštećeno 2365 zgrada na potezu Drač - Tirana.



Slika 1. Karta Albanije koja pokazuje mjesta i intenzitete potresa 26. studenoga 2019. [1]

U radu je primijenjena ekvivalentnolinearna metoda za procjenu veličine amplifikacije seizmičke pobude navedenog potresa, za područje centra grada Tirane, glavnog grada Albanije.

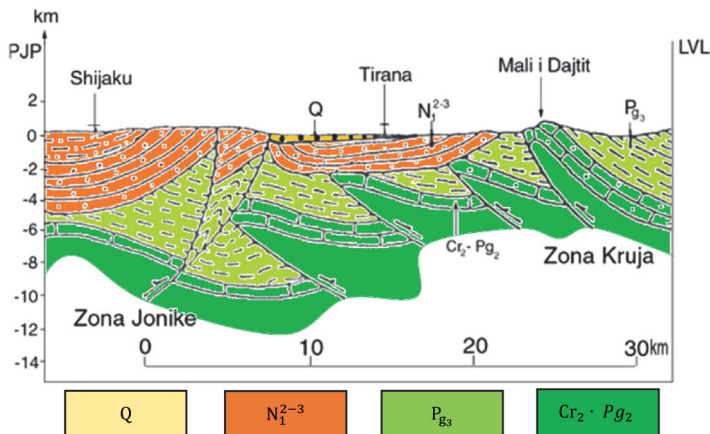
2 Geološka građa grada Tirane

Grad Tirana nalazi se u periadriatskoj depresiji, desno na najjužnijem ravničarskom dijelu tiranske sinklasne molase. Tiranska sinklina, dugačka oko 80 km i široka 10 - 12 km, predstavlja asimetričnu sinklinu s jakim spuštanjem do preokrenutog zapadnog boka i lagano uranjanjem istočnog boka. Nalazi se na naslagama molase srednjeg, gornjeg miocenskog doba, a dijelom pliocenske molase u najsjevernijem dijelu.

Miocenski molas se postavlja transgresivno i s neskladnošću na karbonatno-flišne strukture jonske zone i zone grada Kruje. Samo na istočnom boku sinčrinske linije Tirane uočeno je transgresivno i neskladno postavljanje miocenske molase preko oligocenskog fliša zone Kruje.

Serravalski sedimenti, debljine oko 600 m, predstavljeni su litotamnijskim i organogenim vapnencima u donjem dijelu geološkog presjeka, koji prelaze prema gore u gline i pješčenjake. Tortonski sedimenti karakterizirani su glinama koje prelaze prema gore u gline-pješčenjake, debljine 100 - 2000 m.

Kvartarni sedimenti predstavljeni su šljuncima isprepletenim glinovitim i pjeskovitim slojevima. U gradu Tirani, debljine su oko 15 - 20 m, a prema sjeveru do približno 200 m u blizini rijeke Mati [2].

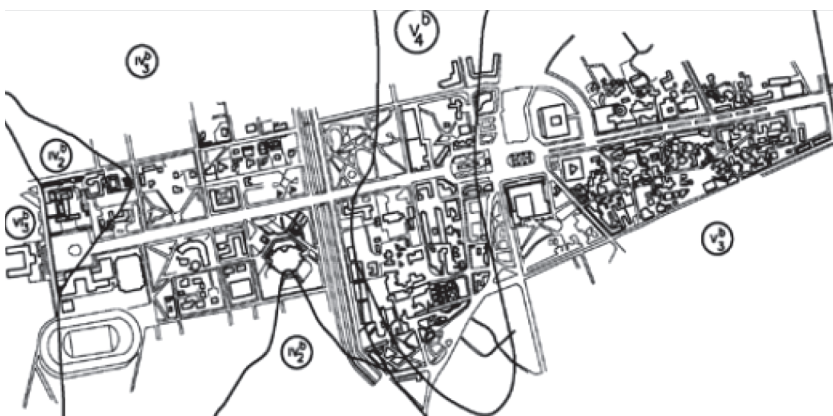


Slika 2. Geološki presjek planine Shijak-Dajti [2], Q – kvartarni sedimenti predstavljeni uglavnom krupnim šljuncima u kombinaciji sa slojevima gline i pijeska, N_1^{2-3} – neogenski depoziti, uglavnom litotanijski i organogeni vapnenci, kombinacija pješčenjaka i alevrolite gline, Pg_2 – uglavnom fliš zone Kruje, Cr_2-Pg_2 - vapnenac

S inženjersko-geološkog aspekta, središte grada Tirane karakteriziraju četiri zone, od kojih III i V zona pripadaju drugoj terasi rijeke Tirane, zona IV pripada prvoj terasi,

dok VI zona pripada stijenama gornje miocenske molase. Za potrebe analize razmotrit će se zona V. U inženjersku geološku zonu V uključena je druga terasa rijeke Tirane, koja slijedi duž središta grada Tirane od željezničke stanice do rijeke Lane. Ova se zona također dijeli na dvije podzone [3, 4]:

- podzona V^a s pjeskovitom podlogom,
- podzona V^b s glinovito-prahovitim podlogom.



Slika 3. Područje središta Tirane i položaj geotehničkih modela tog dijela grada [3, 4]

3 Lokalni uvjeti tla

Za središte Tirane je razvijeno nekoliko geotehničkih modela (slika 3). Za potrebe analize koristit će se geotehnički model V₄^b, čiji su parametri predočeni u tablici 1.

Tablica 1. Parametri tla geotehničkog modela V₄^b [3, 4]

Sloj tla	Debljina sloja [m]	ρ [T/m ³]	IP [%]	V_s [m/s]	G_0 [MPa]	E_0 [MPa]
1	2	1,47	15	190	53,07	141,17
2	2	1,67	15	290	140,45	373,60
3	4	1,83	15	430	338,36	900,04
4	13	1,93		500	482,50	1283,45
5		2,15		800	1376	3302,4
Naziv sloja: 1, nasip, 2, anorganski prah i dobrograđuirani pijesak, 3, mješavina praha sa šljunkom i pijeskom, 4, šljunak, 5, stijenska podloga						

Dinamički parametri tla potrebni za analizu seizmičke pobude ekvivalentnolinearnom metodom jesu modul posmika pri malim deformacijama (G_0) i funkcije redukcije $G/G_0 - \gamma$ te $D - \gamma$, koje opisuju odnos modula posmika i posmične deformacije, odnosno odnos prigušenja i posmične deformacije.

Modul posmika pri malim deformacijama (G_0) određen je izrazom:

$$G_0 = V_s^2 \cdot \rho \quad (1)$$

gdje su:

V_s - brzina širenja posmičnih valova

ρ - gustoća tla.

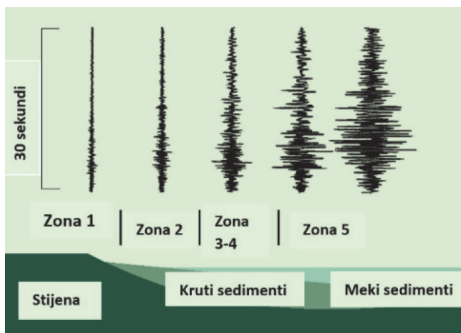
Youngov modul elastičnosti E se računa koristeći modul posmika G iz jednadžbe (1):

$$E = 2 \cdot G \cdot (1 + \nu) \quad (2)$$

S obzirom na to da za promatranu lokaciju nisu poznate vrijednosti Poissonovog koeficijenta za slojeve tla, da bi se provela analiza trebale su vrijednosti od $\nu = 0,33$ za svaki sloj tla, osim za stijenu čija je vrijednost $\nu = 0,20$ [5]. Za procjenu krivulja redukcije $G/G_0 - \gamma$ te $D - \gamma$, program DEEPSOIL nudi empirijske aproksimacije tih funkcija na temelju koeficijenta plastičnosti (IP) i efektivnog vertikalnog naprezanja (σ_v') te su one korištene u analizama [6, 7].

4 Amplifikacija seizmičke pobude

Parametri temeljnog tla, osim intenziteta potresa vrlo su bitni kada je u pitanju stabilnost neke konstrukcije pri djelovanju potresa. Primjer amplifikacije seizmičke pobude od osnovne stijene do površine terena prikazan je na slici 4. [8].



Slika 4. Primjer utjecaja lokalnih uvjeta tla na amplifikaciju seizmičke pobude od osnovne stijene do površine terena [8]

Amplifikacija seizmičke pobude je posljedica razlike u impedanciji između mekog površinskog sloja i osnovne stijene, zbog zarobljavanja seizmičke energije. Impe-

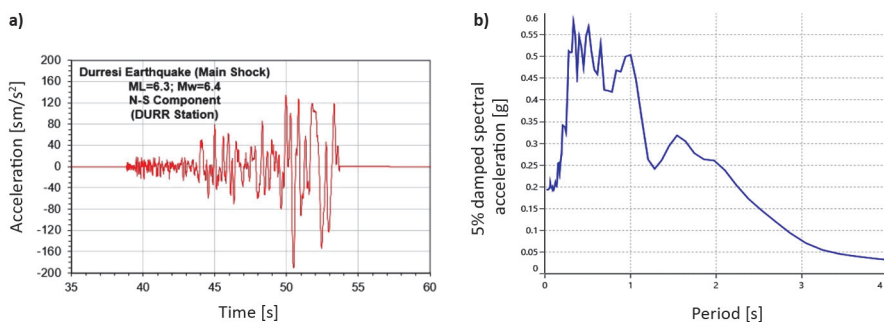
dancija tla je otpor titranju čestice tla [9] i definira se kao umnožak gustoće tla i brzine širenja transverzalnih valova.

$$A_0 = C = \frac{v_{\text{tem.stijene}} \cdot \rho_{\text{tem.stijene}}}{v_{\text{površine}} \cdot \rho_{\text{površine}}} \quad (3)$$

Amplituda vibracije tla za vrijeme potresa može se povećati ili smanjiti ovisno o geološkoj strukturi tla (debljina sedimenta, dubina od osnovne stijene, razina podzemne vode, itd) kroz koju seizmički valovi putuju. Na amplifikaciju seizmičke pobude utječe i prigušenje amplitude valova uzrokovano neelastičnošću i heterogenošću sustava [9].

5 Ulazna seizmička pobuda

Ubrzanja tla uslijed seizmičke pobude 26. studenoga 2019., izmjerena su na površini terena. Zapisi potresa pokazuju vrijednost maksimalnog ubrzanja površine tla od 0,19g (slika 5.a), dok je izračunano maksimalno spektralno ubrzanje od 0,558g za horizontalnu komponentu istok-zapad, 0,579g za horizontalnu komponentu sjever-jug (slika 5.b) i 0,462g za vertikalnu komponentu. Budući da je najveće ubrzanje iz horizontalne komponente sjever-jug, ona će se i koristiti u ovoj analizi. Pri tome je važno naglasiti da je od strane autora objavljenih akceleroograma zabilježenih na površini terena pretpostavljeno prigušenje tla od 5 %, koja se često koristi u literaturi za određivanje elastičnih spektara odziva [10].



Slika 5. Akceleroگرام zabilježen na površini terena: a) izračunani elastični spektar odziva potresa 2019 god. u Albaniji (S-J komponenta) za 5 % prigušenja; b) [11]

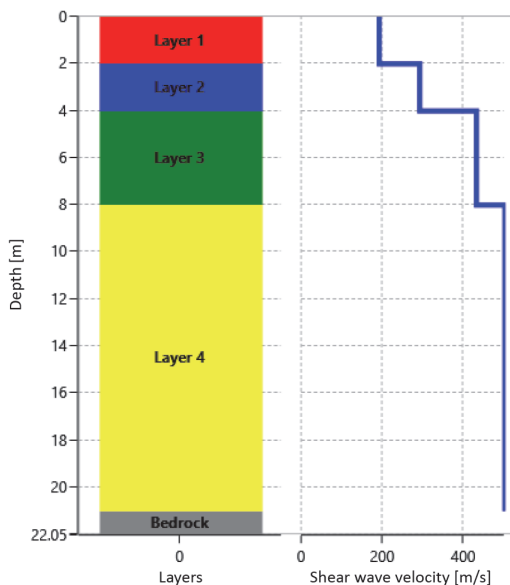
Prije početka analize izvedena je dekonvolucija seizmičke pobude s površina terena (vrha modela) na dno modela (osnovnu stijenu). Dekonvolucija je proces koji procjenjuje seizmičku pobudu na dubini profila tla, koji se zatim može koristiti kao ulazna seizmička pobuda. U ovom radu se dekonvolucijom nastojala odrediti seizmička po-

buda na razini osnovne stijene. Dekonvolucija je proces kojim se dobiva "izvorna" seizmička pobuda (na razini osnovne stijene) iz one zabilježene na površini terena. Takva seizmička pobuda dobivena na razini osnovne stijene može se koristiti u računalnim programima u kojima se ulazna seizmička pobuda može zadati samo na dno numeričkog modela. U programu DEEPSOIL, ulazna seizmička pobuda može se zadati na vrh bilo kojeg sloja tla [12]. Dobivena seizmička pobuda na razini osnovne stijene nakon dekonvolucije, služiti će inverzno kao pokazatelj amplifikacije seizmičke pobude.

6 Modeliranje problema

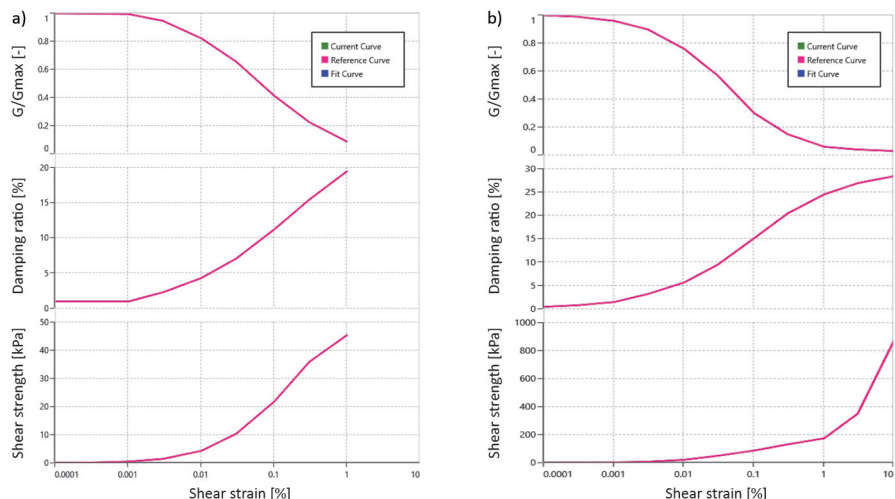
Analiza amplifikacije seizmičke pobude provedena je 1-D ekvivalentnolinearnom metodom. Nelinearnost tla opisana je pretpostavljenim krivuljama $G/G_0 - \gamma$ te $D - \gamma$. Korišten je program DEEPSOIL v.7.0. DEEPSOIL je program za jednodimenzionalnu analizu seizmičke pobude koji može izvesti: 1-D nelinearnu vremensku analizu s generiranjem pornog tlaka i bez njega, 1-D ekvivalentnolinearnu frekvencijsku analizu uključujući konvoluciju i dekonvoluciju seizmičke pobude i 1-D linearne vremenske i frekvencijske analize [12]. Prije početka analize, u programu DEEPSOIL moguća je i obrada (filtriranje) ulaznih seizmičkih pobuda. Također, DEEPSOIL programom osnovna stijena se može modelirati kao kruti ili elastični poluprostor.

Pošto je ulazni zapis potresa izmjeren na površini terena [11], izvedena je dekonvolucija seizmičke pobude. Dobivenu seizmičku pobudu nakon procesa dekonvolucije, program automatski zadaje na razini osnovne stijene. Osnovna stijena modelirana je kao kruti poluprostor.



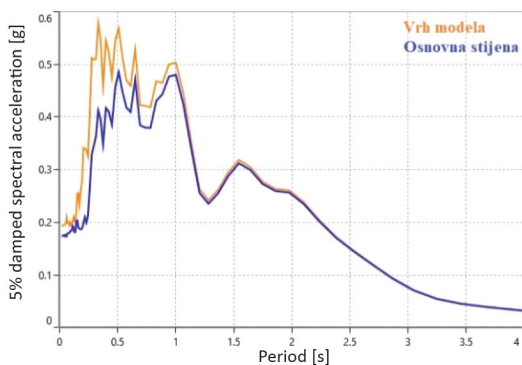
Slika 6. Prikaz 1-D modela tla s profilom brzina poprečnih valova

Korištene su empirijske krivulje $G/G_0 - \gamma$ i $D - \gamma$ iz literature. Za prvi sloj tla, krivulje omjera $G/G_0 - \gamma$ i $D - \gamma$ određene su prema Vučetiću i Dobryu [6] za glinu, u odnosu na indeks plastičnosti (15 %). Za ostala tri sloja, krivulje su određene prema Seedu i Idrisu [7] za pijesak. Korištenje tih krivulja za ostala tri sloja tla moglo bi do neke mjere opisati prigušivanje tih sloja, jer su tri donja slojeva tla mješavina sitnozrnih i krupozrnih tala.



Slika 7. Krivulje redukcije modula posmika i omjera prigušivanja: a) prvi sloj [6], b) ostala tri sloja tla [7]

Na slici 8. prikazani su elastični spektri odziva vrha modela (površine terena) i dna modela (osnovne stijene). Može se uočiti da se odzivi površine terena i osnovne stijene ne poklapaju. Stoga se može zaključiti da je seizmička pobuda amplificirana nakon putovanja s osnovne stijene do površine terena. Također, vidljivo je da amplifikacija pobude nije ista duž svih vremenskih koraka. Vrijednost vršnog spektralnog ubrzanja iz ulaznog zapisa potresa iznosi 0,580g (5,689 m/s²), a na razini osnovne stijene nakon dekonvolucije iznosi 0,485g (4,757 m/s²), što znači da je faktor amplifikacije vršnih spektralnih ubrzanja 1,196. Međutim, omjer amplifikacije nije isti za svaki period spektralnog odziva. Za period od 0,01 do 0,2 s, vrijednost omjera amplifikacije iznosi otprilike 1,10. Nakon perioda od 1 s, amplifikacija je gotovo zanemariva. Ta amplifikacija seizmičke pobude pripisuje se mekim slojevima tla iznad osnovne stijene. Vidi se da je spektar odziva površine terena malo pomaknut prema duljim periodima u odnosu na spektar odziva osnovne stijene.



Slika 8. Prikaz spektra odziva na vrhu i na dnu modela za 5 % prigušivanja

U tablici 2. prikazane su vrijednosti vršnih spektralnih ubrzanja na vrhu svakog sloja tla i omjeri amplifikacija u odnosu na osnovnu stijenu.

Tablica 2. Vrijednosti ubrzanja i omjeri amplifikacija svakog sloja

Dubina [m]	Vršno ubrzanje [g]	Omjer amplifikacije
0	0,580	1,196
2	0,565	1,165
4	0,560	1,154
8	0,548	1,130

7 Zaključak

U ovom radu provedena je numerička analiza amplifikacije seizmičke pobude za jedan tipičan geotehnički profil u gradu Tirani, koristeći zapis potresa iz potresa 26. studenoga 2019. u Albaniji. Analiza se temelji na ekvivalentnolinearnoj metodi, koja se pokazala jednostavna i praktična za preliminarnu procjenu amplifikacije seizmičke pobude, iako ta metoda ne uzima u obzir stvarno nelinearno ponašanje tla. Ekvivalentnolinearna metoda koristi linearna svojstva tla, za razliku od nelinearne metode koja često zahtijeva veći broj parametara tla (dulje vrijeme i veće troškove ispitivanja) koji opisuju nelinearno ponašanje tla u vremenu, što ju čine skupljom i nepraktičnom za preliminarne procjene amplifikacije seizmičkih pobuda. Pošto je ulazni zapis potresa izmjeran na površini terena [9], provedena je dekonvolucija seizmičke pobude.

Iz rezultata ovog istraživanja mogu se izvući sljedeći zaključci:

- Zbog razlike u impedanciji između osnovne stijene i površine terena, meki površinski sedimenti zarobljavaju seizmičku energiju i dolazi do pojave amplifikacije seizmičke pobude;

- Vrijednost omjera amplifikacije seizmičke pobude uglavnom je veća za početne vrijednosti perioda (slika 8). Spektar odziva površine terena je malo pomaknut prema duljim periodima u odnosu na osnovnu stijenu;
- Osim parametara tla, na amplifikaciju seizmičke pobude utječe i duljina putovanja seizmičkog vala od osnovne stijene do površine terena kroz tlo (tablica 2), što odgovara drugim dobivenim rezultatima iz literature [13]. Zbog toga za slučaj većih debljina slojeva tla iznad osnovne stijene, možemo očekivati i veće omjere amplifikacija seizmičkih pobuda;
- Prije planiranja izgradnje stambenih zgrada na mekim tlima (primjerice u gradu Tirani), potrebno je procijeniti veličinu amplifikacije uslijed potresnog djelovanja.

Literatura

- [1] M 6.4 - 15km WSW of Mamurras, Albania, <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us70006d0m/executive>
- [2] Aliaj, Sh.: Active Fault Zones in Albania. Abstrakt, General Assembly of European Seismological Commission, Lisbon, Portugal, September, 2000.
- [3] Koçiu, S., Sh. Aliaj, A. Pitarka, V. Peçi, N. Konomi, H. Dakoli, K. Prifti, A. Koçiu, J. Kero, V. Shehu, K. Goga, N. Goro, L. Kume, L. Kapllani, P. Papadhopulli, R. Eftimi, M. Kondo and N. Puka.: Microzonation of Tirana City, Technical report, Archive of Institute of Geosciences, (in Albanian), Tirana, 1988.
- [4] Konomi, N., H. Dakoli, K. Prifti, A. Koçiu, J. Kero, V. Shehu, K. Goga, N. Goro, L. Kume, L. Kapllani, P. Papadhopulli, R. Eftimi, M. Kondo and N. Puka.: Engineering geological zonation of Tirana City, Technical report, Archive of Faculty of Geology and Mine, (in Albanian), Tirana, 1988.
- [5] Bowles, J. E.,: Foundation Analysis and Design. Illinois: The McGraw-Hill Companies, Inc., 1996.
- [6] Vucetic, M. and Dobry, R.: Effect of Soil Plasticity on Cyclic Response, Journal of Geotechnical Engineering (1991), 117, 89-107.
- [7] Seed, H. Bolton, and I. M. Idriss.: Soil Moduli and Damping Factors for Dynamic Response Analysis, Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley, Report No. UCB/EERC-70/10, p. 48, December 1970.
- [8] Seville, E. and Metcalfe, J.,: Developing Hazard Risk Assessment Framework for the New Zealand State Highway Network. Land Transport New Zealand (2005), Report no. 276. pp. 80.

- [9] Aki, K., Richards, P.G.: Quantitative Seismology. University Science Book, California, 2009.
- [10] Rezaeian, S., Bozorgnia, Y., Idriss, I. M., Abrahamson, N., Campbell, K., & Silva, W.: Damping Scaling Factors for Elastic Response Spectra for Shallow Crustal Earthquakes in Active Tectonic Regions: "Average" Horizontal Component, Earthquake Spectra (2014) 30(2), 939–963.
- [11] Durresi Main Shock, www.geo.edu.al
- [12] Hashash, Y.M.A., Musgrove, M.I., Harmon, J.A., Okan, I., Xing, G., Groholski, D.R., Phillips, C.A., and Park, D. (2020) "DEEPSOIL 7.0, User Manual". Urbana, IL, Board of Trustees of University of Illinois at Urbana-Champaign.
- [13] Duni, Ll., Bozo, L., Kuka, N., and Begu, E.: An Upgrade of the Microzonation Study of the Centre of Tirana City, International Conferences on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics (2010) 3.