



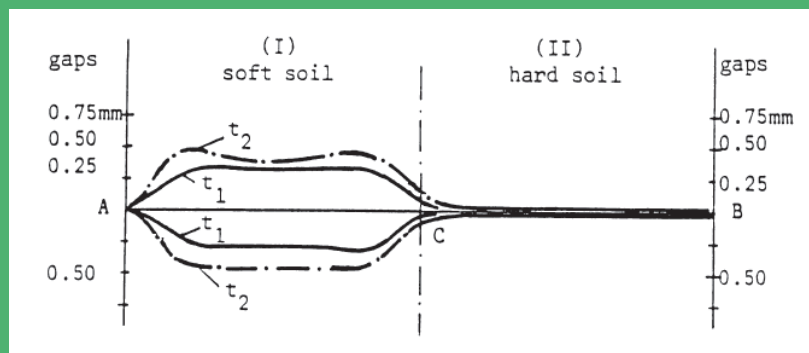
SAVEZ GRAĐEVINSKIH INŽENJERA SRBIJE
UNION OF ENGINEERS AND TECHNICIANS OF SERBIA

ZBORNİK RADOVA
MEĐUNARODNO NAUČNO-STRUČNOG SAVETOVANJA
PROCEEDINGS
INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE

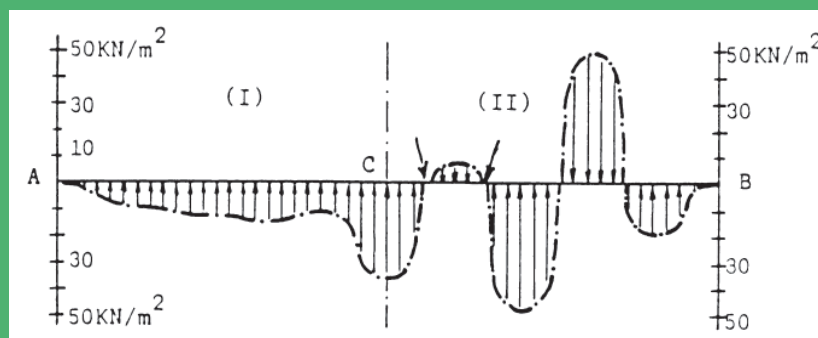
ZEMLJOTRESNO INŽENJERSTVO I
GEOTEHNIČKI ASPEKTI GRAĐEVINARSTVA

**EARTHQUAKE ENGINEERING AND
GEOTECHNICAL ASPECTS OF CIVIL ENGINEERING**

Editor: Prof. emeritus dr Radomir Folić



Gaps mean values along the pipeline at times $t_1 = 0.6$ sec and $t_2 = 2.1$ sec



Soil-pressure distribution mean values along the pipeline at the time $t_1 = 0.6$ sec

Vrnjačka Banja, 03. - 05. novembar 2021.



SAVEZ GRAĐEVINSKIH INŽENJERA SRBIJE

UNION OF ENGINEERS AND TECHNICIANS OF SERBIA

IZDAVAČ (*PUBLISHER*):

Savez građevinskih inženjera Srbije / *Union of Engineers and Technicians of Serbia*
Srbija, Beograd, Kneza Miloša 9/I, Tel/Faks: (011) 3241 656

PROGRAMSKI ODBOR (*PROGRAMME COMMITTEE*):

Prof. Emeritus Radomir FOLIĆ, Srbija - PREDSEDNIK

Prof. dr Petar ANAGNOSTI, Srbija – POTPREDSIEDNIK

Prof. dr Mirjana VUKIĆEVIĆ, Srbija - POTPREDSIEDNIK

Dr Nenad ŠUŠIĆ, Srbija

Prof. dr Heinc BRABDL, Austrija

Prof. dr Slobodan ĆORIĆ, Srbija

Predrag POPOVIĆ, PE. SAD

Akad. prof. dr Miha TOMAŽEVIĆ, Slovenija

Prof. dr Ivan VRKLJAN, Hrvatska

Prof. dr Vojkan JOVIČIĆ, Slovenija

Prof. dr Vlatko ŠEŠOV, Severna Makedonija

Prof. dr Milorad JOVANOVSKI, Severna Makedonija

Prof. dr Jovan PAPIĆ, Severna Makedonija

Dr Radan IVANOV, Bugarska

Prof. dr Stanko BRČIĆ, Srbija

Prof. dr Đorđe LADINOVIĆ, Srbija

Prof. dr Doncho PARTOV, Bugarska

Prof. dr Mustafa HRASNICA, Bosna i Hercegovina

Prof. dr Arian LAKO, Albanija

Prof. dr Josip ATALIĆ, Hrvatska

Prof. dr Adnan IBRAHIMOVIĆ, Bosna i Hercegovina

Prof. dr Tatjana ISAKOVIĆ, Slovenija

Prof. dr Asterios LIOLIOS, Grčka

Doc. dr Elefterija ZLATANOVIĆ, Srbija

EDITOR / (*Editor in Chief*): Prof. emeritus dr Radomir FOLIĆ

TEHNIČKI UREDNIK / (*Editor*): Stoja TODOROVIĆ - Saška

Svi radovi u ovom zborniku radova su recenzirani. Stavovi izneti u ovoj publikaciji ne odražavaju nužno i stavove izdavača, programskog odbora ili editora.

TIRAŽ (*Circulation*): 200

ŠTAMPA (*Printed by*): Razvojno istraživački centar grafičkog inženjerstva, Beograd

SAVEZ GRAĐEVINSKIH INŽENJERA SRBIJE

DRUŠTVO ZA ZEMLJOTRESNO INŽENJERSTVO SRBIJE
I
SRPSKO DRUŠTVO ZA MEHANIKU TLA I GEOTEHNIČKO
INŽENJERSTVO

U SARADNJI SA INŽENJERSKOM KOMOROM SRBIJE

ZBORNİK RADOVA

MEĐUNARODNO NAUČNO-STRUČNOG SAVETOVANJA

ZEMLJOTRESNO INŽENJERSTVO
I
GEOTEHNIČKI ASPEKTI GRAĐEVINARSTVA

Editor: Prof. emeritus dr Radomir Folić

Vrnjačka Banja, 03. - 05. novembar 2021.

ORGANIZATORI (*ORGANISERS*):

Savez građevinskih inženjera Srbije, Beograd
Društvo za zemljotresno inženjerstvo Srbije
Srpsko društvo za mehaniku tla i geotehničko inženjerstvo
Inženjerska komora Srbije

ORGANIZACIONI ODBOR (*ORGANIZING COMMITTEE*):

Predsednik: Miloš HRANISAVLJEVIĆ, dipl.inž.građ., Beograd - Srbija
Potpredsednik: Vladimir FILIPOVIĆ, dipl.inž.geol., Beograd - Srbija
Sekretar: Suzana VASIĆ, Beograd – Srbija

ČLANOVI: Boban ĐUROVIĆ, predsednik opštine Vrnjačka Banja
Slavica ŽIVKOVIĆ, mast.ekon., Beograd, Srbija
Dr Selimir LELOVIĆ, dipl.inž.građ., Beograd, Srbija
Dr Ksenija ĐOKOVIĆ, dipl.inž.građ., Beograd, Srbija
Dr Miloš MARJANOVIĆ, dipl.inž.građ., Beograd, Srbija
Dr Uroš ĐURIĆ, dipl.inž.geol., Beograd, Srbija
Marko PRICA, dipl.inž.geol., Beograd, Srbija

ODRŽAVANJE KONFERENCIJE SU POMOGLI (*SPONSORED BY*):

- Ministarstvo prosvete, nauke i tehnološkog razvoja Republike Srbije
- Inženjerska komora Srbije
- Institut IMS
- Novkol
- LHR
- BHL
- Ishebeck
- Rudarski institut

SADRŽAJ *CONTENTS*

UVODNA IZLAGANJA

1. Mario Uroš, Josip Atalić, Marta Šavor Novak, Marija Demšić,
Maja Baniček (Hrvatska)
BUILDING DAMAGE CAUSED BY THE ML5.5 ZAGREB
EARTHQUAKE OF MARCH 22, 2020 1
2. Vlatko Sheshov, Roberta Apostolska, Zivko Bozinovski, Marija Vitanova,
Blagojce Stojanoski, Kemal Edip, Aleksandra Bogdanovic, Radmila Salic,
Goran Jekic, Trajce Zafirov, Aleksandar Zlateski, Goran Shapragoski,
Daniel Tomic, Aleksandar Zurovski, Jovan Trajcevski (Severna Makedonija)
POST-EARTHQUAKE MISSION IN DURRES, ALBANIA 23
3. Vojkan Jovičić, Saša Galuf, Elvir Muhić (Slovenija)
GRADNJA PORTALNIH TUNELSKIH KONSTRUKCIJA UNUTAR
AKTIVNIH KLIZIŠTA 30
4. Violeta Mircevska, Miroslav Nastev, Ana Nanevska (Severna Makedonija,
Kanada)
SEISMIC SLOPE STABILITY IN TAILINGS DAM: DISCREPANCY
BETWEEN THE IMPROVED FE-NEWMARK METHOD AND MOHR
COULOMB MATERIAL MODEL 34
5. Predrag Eror (UAE)
THE PRINCIPLES OF THE TIME HISTORY NON-LINEAR DYNAMIC
ANALYSIS IN SEISMIC DESIGN OF THE PERMANENT STRUCTURES .. 61

ZEMLJOTRESNO INŽENJERSTVO

6. Žugić Željko, Dragojević Dejan, Kemal Edip, Berisavljević Dušan (Severna
Makedonija, Srbija)
MIKROSEIZMIČKA REJONIZACIJA ZA POTREBE IZGRADNJE
STAMBENO POSLOVNOG OBJEKTA U NOVOM SADU 89
7. Milovan Stanojev and Radomir Folić (Srbija)
COMPARATIVE ANALYSIS OF INTERSTORY DRIFT IN RC
BUILDING WITH SEISMIC ISOLATORS AND DISSIPATORS 102

8.	Nadja Kurtović Folić , Radomir Folić (Srbija) PROTECTION OF THE BUILT HERITAGE ENDANGERED BY EARTHQUAKES - CHARTERS AND RECOMMENDATIONS	111
9.	Žugić Željko, Dragojević Dejan, Sandra Nedeljković, Berisavljević Dušan (Srbija) SEIZMIČKO MIKROZONIRANJE U SRBIJI. BENEFITI SPROVOĐENJA GEODINAMIČKOG PRORAČUNA PRI ANALIZI JAVNIH OBJEKATA.....	124
10.	Aleksandra Radujković, Tatjana Kočetov Mišulić, Đorđe Lađinović (Srbija) NONLINEAR RESPONSE OF RC FRAMES DESIGNED FOR A TWO DUCTILITY CLASSES	130
11.	Elefterija Zlatanović, Dragan Č. Lukić, Nemanja Marinković, Zoran Bonić, Nikola Romić (Srbija) ANALYTICAL AND NUMERICAL MODELLING OF SEISMIC TUNNEL– GROUND INTERACTION.....	138
12.	Aleksandar Šotić, Dragana Velimirović, Radenko Rajić, Milivoje Filipović (Srbija) OSVRT NA PROCENU RIZIKA OD KATASTROFA ZA ZEMLJOTRESE, ODRONE I KLIZIŠTA KAO OPASNOSTI	148
13.	Srđan Kostić, Nikola Milivojević, Nebojša Vasović(Srbija) KVANTIFIKACIJA NELINEARNOSTI U DISKRETNJOJ VREMENSKOJ RASPODELI MAGNITUDA ZEMLJOTRESA U SRBIJI.....	157
14.	A. Liolios, G. Hatzigeorgiou, K. Liolios and B. Folic (Grčka, Bugarska, Srbija) SEISMIC PIPELINE-SOIL INTERACTION UNDER UNCERTAIN-BUT- BOUNDED INPUT PARAMETERS: A STOCHASTIC NUMERICAL APPROACH	166
15.	Miloš Čokić, Radomir Folić, Boris Folić (Srbija) SEISMIC RESPONSE OF RC BUILDINGS WITH DIFFERENTLY REINFORCED SHEAR WALLS	175
16.	Lidija Babić, Radomir Folić, Đorđe Lađinović (Srbija) INFLUENCE OF SPAN LENGTH ON SEISMIC BEHAVIOUR OF RC INFILLED FRAMES	191
17.	Jelena Pejović, Nina Serdar (Crna Gora) ANALIZA MOGUĆNOSTI PROJEKTOVANJA AB VISOKIH ZGRADA U SKLADU SA EVROKODOM 8 U ODNOSU NA KLASE DUKTILNOSTI	200

18. Ljubica Figun, Srđan Kostić, Nikola Milivojević, Slobodan Trajković (Republika Srpska - BiH, Srbija) PROCENA JAČINE POTRESA OD MINIRANJA U GRADSKOJ SREDINI PRIMENOM VEŠTAČKIH NEURONSKIH MREŽA.....	210
19. Slobodan Trajković, Marina Matić, Nikolinka Doneva (Srbija, Austrija, Severna Makedonija) DOPRINOS ODREĐIVANJU BEZOPASNOG RASTOJANJA PRI IZVOĐENJU MINIRANJA NA PK „SUŠICA” - ČAČAK.....	221
20. Konstantin Kazakov, Lena Mihova, Irena Spiridonova, Doncho Partov (Bugarska) SEISMIC TIME HISTORY ANALYSIS OF BURIED ARCH REINFORCED BRIDGE.....	230
21. Irena Gjorgjeska, Vlatko Sesov, Kemal Edip, Julijana Bojadjieva (Severna Makedonija) APPLICATION OF SEISMIC AND GPR METHODS FOR NEAR- SURFACE CHARACTERIZATION	241
22. Bijelić Zdravko, Bijelić Mitar, Bijelić Željka (Srbija, SAD) UPRAVLJANJE SIGURNOŠĆU PROIZVODNIH OBJEKTA POSEBNE NAMJENE REZULTAT RAZVOJNIH PROMJENA SA ASPEKTA GEOTEHNIČKE I SEIZMIČKE BEZBJEDNOSTI	252
GEOTEHNIČKI ASPEKTI GRAĐEVINARSTVA	
23. Željko Žugić, Andrija Zorić, Dragan Zlatkov (Srbija) FUNDIRANJE NOVE ZGRADE INSTITUTA BIOSENS U NOVOM SADU .	265
24. Miloš Lazović, Marija Lazović Radovanović (Srbija) ZAŠTITA TEMELJNE JAME POSLOVNOG OBJEKTA AUTOCENTAR STOJANOVIĆ.....	269
25. Zoran Bonić, Elefterija Zlatanović, Nebojša Davidović, Nikola Romić, Nemanja Marinković (Srbija) UTICAJ MEHANIČKIH KARAKTERISTIKA MATERIJALA AB TEMELJA SAMACA NA NOSIVOST TEMELJA NA PROBIJANJE	277
26. Mladen Ćosić, Nenad Šušić, Marko Prica, Nikola Božović (Srbija) SOME ASPECTS OF PILE TESTING USING DYNAMIC LOAD TEST (DLT).....	289

27. Slobodan Ćorić, Dragoslav Rakić (Srbija) SMANJENJE SLEGANJA PLITKIH TEMELJA PRIMENOM MIKROŠIPOVA.....	300
28. Mladen Ćosić, Nikola Božović, Marija Krstić (Srbija) ANALYSIS OF REDISTRIBUTION OF THE PILE SHAFT-BASE LOAD USING THE DYNAMIC LOAD TEST (DLT).....	308
29. Mladen Ćosić, Nenad Šušić, Marko Prica (Srbija) SOME ASPECTS OF PILE TESTING USING STATIC LOAD TEST (SLT) ..	317
30. Aleksandra Bogdanovic, Julijana Bojadjieva, Kemal Edip and Vlatko Sheshov (Severna Makedonija) МАТЕРИЈАЛНИ УЧИНЦИ НА СИМУЛАЦИЈУ ПРОБЛЕМА ИНТЕРАКЦИЈЕ СТРУКТУРЕ ТЈА.....	328
31. Miodrag Bujišić, Slobodan Živaljević, Zvonko Tomanović (Crna Gora) ISPITIVANJE KARAKTERISTIKA DISKONTINUITETA NA UZORCIMA MEKE STIJENSKE MASE POD DEJSTVOM KRATKOTRAJNOG OPTEREĆENJA	335
32. Dušan Berisavljević , Zoran Berisavljević, Svetlana Melentijević, Željko Žugić (Srbija, Španija) UTICAJ STRUKTURE NA MEHANIČKO PONAŠANJE LESA.....	345
33. Nemanja Marinković, Nebojša Davidović, Branimir Stanković, Elefterija Zlatanović, Zoran Bonić Romić Nikola (Srbija) COMPARATIVE ANALYSIS OF PLASTIC LIMIT OF FINE-GRAINED SOIL DETERMINED BY VARIOUS METHODS	354
34. Snežana Maraš-Dragojević (Srbija) PRIMENA NUMERIČKIH METODA I EVROKODA 7 U PROJEKTOVANJU TUNELA.....	362
35. Nikola Čađenović, Ivan Maretić (Crna Gora) IZGRADNJA TUNELA ISPOD BOKOKOTOR-SKOG ZALIVA KLASIČNOM METODOM	372
36. Marija Krstić, Nikola Božović, Stefan Mitrović (Srbija) KOMPARACIJA REZULTATA DOBIJENIH ISPITIVANJEM ŠIPOVA KOJI SU IZVEDENI RAZLIČITIM TEHNOLOGIJAMA U ISTIM GEOLOŠKIM USLOVIMA	385

37. Никола Божовић, Марија Крстић, Стефан Митровић (Србија) КОНТРОЛА РЕЗУЛТАТА ТЕСТА ИНТЕГРИТЕТА ШИПОВА- КАРАКТЕРИСТИЧНИ ПРИМЕРИ ИЗ ПРАКСЕ	394
38. Miodrag Pisarević, Nemanja Glušica, Vladimir Filipović (Srbija) GEOTEHNIČKA ISTRAŽIVANJA I STATIČKA ISPITIVANJA ZA POTREBE IZGRADNJE MOSTA PREKO REKE SAVE U SREMSKOJ RAČI.....	402
39. Ivan Vasić, Maksim Jovanović (Srbija) ZAŠTITA GRAĐEVINSKE JAME KONSTRUKCIJOM TIP „GRADITELJ NS“ ZA POTREBE IZGRADNJE OBJEKTA NA UGLU ULICA FUTOŠKE I MIKOLE KOČIŠA U NOVOM SADU	412
40. Branko Jelisavac, Lazar Jovanović, Nebojša Vasković (Srbija) KLIZIŠTE RAŽANJ NA AUTOPUTU A1 – ISTRAŽIVANJA, MONITORING I SANACIJA	420
41. Слободан Самардаковић, Мирољуб Самардаковић (Србија) ДИЈАГРАМИ ЗА ДИМЕНЗИОНИСАЊЕ ТЕМЕЉА ЕС7 ПРОЈЕКТНИМ ПРИСТУПОМ	432
42. Слободан Самардаковић, Мирољуб Самардаковић (Србија) ИЗБОР ЕС7 ПРОЈЕКТНОГ ПРИСТУПА ЗА ДИМЕНЗИОНИСАЊЕ ПЛИТКИХ ТЕМЕЉА.....	440
43. Mihajlo Lazić, Vladan Vlajković (Srbija) GEOTEHNIČKA ISTRAŽIVANJA I MERE SANACIJE KLIZIŠTA “KOLARI” NA AUTOPUTU A1	446
44. Srđan Spasojević (Srbija) PROJEKTOVANJE JEDNOSLOJNE TUNELSKЕ OBLOGE U POSEBNIM GEOTEHNIČKIM USLOVIMA.....	460
45. Zoran Berisavljević, Dušan Berisavljević, Miloš Marjanović, Jelka Krušić, Svetlana Melentijević (Srbija, Španija) PRIMENA Q-SLOPE SISTEMA ZA KLASIFIKACIJU ANIZOTROPNE STENSKE MASE.....	473
46. Petar Santrač, Nemanja Balović, Željko Bajić (Srbija) UPOREDNA ANALIZA RAČUNSKIH I IZMERENIH POMERANJA AB DIJAFRAGME	483

47. Milorad Jovanovski, Jovan Br. Papić, Igor Peševski (Severna Makedonija) OBRAZOVANJE I PROFESIONALNE KVALIFIKACIJE U EVROKODU 7: 202X	492
48. Milorad Jovanovski, Jovan Br. Papić, Igor Peševski, Teodor Dimitrievski (Severna Makedonija) PRODOR STENA U EVROKODU 7	503
49. Jovan Br. Papić, Atanas Strašeski, Kemal Edip, Radica Jovanova (Severna Makedonija) ŽIVEO AKVADUKT! DOPRINOS GEOTEHNIKE	514
50. Sanja Jocković, Mirjana Vukićević, Nikola Obradović (Srbija) PARAMETAR STANJA ZA PREDVIĐANJE PONAŠANJA TLA U NEDRENIRANIM USLOVIMA.....	525
51. Žiga Plevel, Boštjan Pulko, Stefan Kordić, Vojkan Jovičić (Slovenija) PROJEKTOVANJE ARMIRANO-BETONSKE DIJAFRAGME IZLOŽENE SEIZMIČKOM OPTEČENJU	537
52. Nikola Obradović, Mirjana Vukićević, Sanja Jocković (Srbija) EVALUACIJA METODA ZA NUMERIČKU INTEGRACIJU KONSTITUTIVNIH RELACIJA ELASTO-PLASTIČNIH MODELA ZA TLO.....	548
53. Nikola Romić, Zoran Bonić, Nebojša Davidović, Elefterija Zlatanović, Nemanja Marinković, Branimir Stanković (Srbija) POREĐENJE REZULTATA PRORAČUNA PROBIJANJA AB TEMELJA SAMACA PREMA BS 8110 I CSA A23.3-04 SA EKSPERIMENTALNO DOBIJENIM VREDNOSTIMA	558
54. Veljko Pujević, Nikola Obradović, Stefan Mitrović, Mirjana Vukićević (Srbija) U SUSRET DRUGOJ GENERACIJI EVROKODA 7	565
55. Miloš Marjanović, Danko Nikolić, Mirjana Vukićević, Dušan Nikolić (Srbija) REŠENJE FUNDIRANJA JUŽNE TRIBINE STADIONA FK "TSC" U BAČKOJ TOPOLI	573
56. Slavica Janković, Stevan Ćorluka, Miroljub Živanović, Tanja Hafner Ljubenović (Srbija) OSNOVNI PRISTUP IZDVAJANJU INŽENJERSKOGEOLOŠKIH REJONA ZA POTREBE PROJEKTOVANJE PRVE LINIJE BEOGRADSKOG METROA	581

KVANTIFIKACIJA NELINEARNOSTI U DISKRETNJOJ VREMENSKOJ RASPODELI MAGNITUDA ZEMLJOTRESA U SRBIJI

Srdan Kostić*, Nikola Milivojević**, Nebojša Vasović***

* *Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, a.d. Jaroslava Černog 80, 11226
Beograd, srdjan.kostic@jcerni.rs*

** *Institut za vodoprivredu „Jaroslav Černi“, a.d. Jaroslava Černog 80, 11226
Beograd, nikola.milivojevic@jcerni.rs*

*** *Univerzitet u Beogradu Rudarsko-geološki fakultet, Đušina 7, 11000
Beograd, nebojsa.vasovic@rgf.bg.ac.rs*

REZIME

U ovom radu analiziramo diskretnu vremensku seriju maksimalnih magnituda 763 zemljotresa zabeleženih između 1964. i 2011. godine u Srbiji primenom metode nelinearne analize vremenskih serija. Tehnikom rekonstrukcije faznog prostora određeno je minimalno kašnjenje ($\tau = 3$) i optimalna dimenzija potapanja ($m = 3$), nakon čega je rekonstruisan fazni prostor. Zatim je određen deterministički koeficijent i dokazana stacionarnost procesa. Dobijena pozitivna vrednost maksimalnog Ljapunovljevog eksponenta je pokazatelj deterministički haotičnog procesa. Na osnovu vrednosti maksimalnog Ljapunovljenog eksponenta procenjena je i maksimalna dužina vremenskog intervala tokom kojeg je moguće pouzdano predviđanje maksimalne jačine zemljotresa ($t = 3$ meseca).

KLJUČNE REČI: rekonstrukcija faznog prostora, maksimalni Ljapunovljev eksponent, deterministički kaos, predviđanje

QUANTIFICATION OF NONLINEARITY IN DISCRETE TEMPORAL EARTHQUAKE MAGNITUDE DISTRIBUTION IN SERBIA

ABSTRACT

In this paper, we analyze discrete time series of 763 maximum earthquake magnitudes, recorded between 1964 and 2011 in Serbia. By using the phase space reconstruction technique, we determined minimum embedding delay ($\tau=3$) and optimum embedding dimension ($m=3$), after which we reconstructed the phase space. Then we examined the deterministic nature of the original process, as well as the stationarity of the process. At the end, we calculated the maximal Lyapunov exponent, and obtained positive value, which is a strong indicator of a chaotic behavior. We also calculated the maximum predictable time scale, during which the prediction of maximum earthquake magnitude is possible ($t=3$ months).

KEY WORDS: phase space reconstruction, embedding delay, maximal Lyapunov exponent, deterministic chaos, prediction

UVOD

Savremeni trend seizmoloških istraživanja podrazumeva definisanje uslova prelaza sa različitim razmera izučavanja zemljotresa: sa razmere numeričkog modelovanja i laboratorijskih ispitivanja, ili čak mikroskopske i atomske razmere, na razmeru mreže raseda i jakih zemljotresa. Međutim, u većini slučajeva ovaj zadatak je gotovo nemoguće rešiti, uglavnom zbog činjenice da zemljotresi predstavljaju kompleksne endogeodinamičke pojave, pa se mehanizam njihovog nastanka ne može lako reprodukovati jednostavnim laboratorijskim ili numeričkim modelom. Glavni razlog za to je nedostatak dominantne razmere ponašanja: varijacije/oscilacije vrednosti kontrolnih parametara sistema svih veličina su značajne i da se ni na koji način ne mogu zanemariti, čak ni kada su vezane samo za male događaje (Sornette and Pisarenko, 2003).

Postoje dva osnovna svojstva seizmičnosti koja se pojavljuju u svim razmerama posmatranja – stepeni zakoni i deterministički kaos. Stepenni zakoni (Gutenbergov i Omori-Utsu zakon) predstavljaju karakteristične raspodele magnitude zabeleženih potresa. Međutim, Burridge i Knopoff (1967) su pokazali da periodi akumulacije i naglog oslobađanja potencijalne energije u njihovom fizičkom (laboratorijskom) modelu sa jednostrukim nizom blokova (i vezom samo između susednih blokova), koji se pomeraju po hrapavoj podlozi slede Gutenberg-Richterov i Omori-Utsu zakon. U pogledu determinističkog haosa, De SousaVieira (1992) je prva pokazala da dinamički sistem koji opisuje dinamiku modela Burridge-Knopoff sa dva bloka, u simetričnoj konfiguraciji, za određenu vrednost kontrolnih parametara Sistema, pokazuje deterministički haotično ponašanje. Takođe, Erickson et al. (2008) su ukazali na to da dinamički sistem koji opisuje ponašanje laboratorijskog Burridge-Knopoff-ov modela, zajedno sa odgovarajućim Diterih-Ruina zakonom trenja zavisnim od brzine i stanja, pokazuje haotičnu dinamiku. Ovo deterministički haotično ponašanje, registrovano u maloj razmeri, na numeričkim modelima i rezultatima laboratorijskih modela, takođe je registrovano za realne podatke osmatranja stvarno dogođenih zemljotresa. Tako su Beltrami i Mareschal (1993) rekonstruisali strani atraktor za vremenske serije zemljotresa zabeležene u seizmičkoj oblasti Parkfield između 1969. i 1987.g. Njihovi rezultati ukazuju na to da se analizirana serija ne može razlikovati od slučajne, i da ima strani atraktor dimenzije veće od 12. Tivari i dr. (2004) su primenili pristup nelinearnog predviđanja u rekonstruisanom faznom prostoru učestalosti zemljotresa u centralnoj himalajskoj regiji. Kao rezultat njihovog rada, uspostavljena je pozitivna korelacija između predviđenih i registrovanih podataka, što ukazuje na to da dinamiku zemljotresa u predmetnom području karakteriše mešavina stohastičkog i haotičnog ponašanja. De Santis i dr. (2010) pokazali su da se serija foršokova koja je kulminirala zemljotresom magnitude $M_v = 6,3$, 6. aprila 2009. u Akvili (Italija) razvila se kao deterministički haotičan proces, koristeći metodu zasnovanu na analizi ubrzanog oslobađanja naprezanja u vremenu i na nelinearnom pristupu u rekonstruisanom faznom prostoru.

U ovom radu analiziramo diskretnu seriju registrovanih magnituda zemljotresa, sa ciljem utvrđivanja mogućeg prisustva determinističkog haosa. Premda se često ovakve serije posmatraju kao slučajne ili stohastičke, potvrda determinističkog haosa ukazala bi na

mogućnost pouzdanog predviđanja u određenom, relativno kratkotrajnom vremenskom intervalu. U radu je primenjena tehnika analize nelinearnih vremenskih serija, kako bismo rekonstruisali fazni prostor iz diskretne vremenske serije registrovanih zemljotresa u Srbiji, u period 1964-2011.g., prema podacima kompozitnog kataloga zemljotresa ANSS u Severnoj Kaliforniji (NCEDC, 2014). Primenjeni algoritam se sastojao iz nekoliko koraka: prvo, metod međusobnog informisanja (Fraser and Swinney, 1986) korišćen je za određivanje odgovarajuće vrednosti kašnjenja potapanja[†]. Drugo, primenili smo tehniku Kennel et al. (1992) za određivanje odgovarajuće vrednosti dimenzije potapanja, a potom i deterministički test (Kantz i Schreiber, 1997) kako bismo pokazali da posmatrani sistem potiče iz determinističkog procesa. Zatim smo primenili test stacionarnosti (Schreiber, 1997), a potom u poslednjem delu izračunali maksimalni Ljapunovljev eksponentoj primenom metode koju su predložili Volf et al. (1985).

METODOLOGIJA ISTRAŽIVANJA

Prema Takensovoj teoremi o kašnjenju potapanja (Takens, 1981), fazni portreti se (re)konstruišu predstavljanjem skalarne vremenske serije $s(t)$ u vektorsku vremensku seriju $Ks(t)$ koristeći vremensko kašnjenje τ : $Ks(t) = \{k_0(t), k_1(t), \dots, k_n(t), \dots\}$, gde je $k_n(t) = s(t+n\tau)$. U slučaju analize velikog broja podataka, vremensko kašnjenje τ se u principu može izabrati gotovo proizvoljno. Međutim, kada je u pitanju ograničen niz podataka, kao što je slučaj u ovom radu, sa moguće određenom količinom šuma, mora se odabrati odgovarajuća vrednost τ tako da su k_0 i k_1 nezavisni (Fraser and Swinney, 1986). Postoje dva načina izbora odgovarajućeg kašnjenja u potapanju. Prvi pristup se zasniva na izračunavanju funkcije autokorelacije podataka, gde kašnjenje τ predstavlja vreme kada ova funkcija uzima nultu vrednost, npr. kada su k_0 i k_1 potpuno dekorelisani. Međutim, autokorelaciona funkcija meri samo linearnu zavisnost dve promenljive, pa bi bilo efikasnije ako se koristi tehniku koja meri opštu zavisnost dve promenljive, poput metode međusobnog informisanja, prema kojoj vrednost τ koja proizvodi prvi lokalni minimum međusobnih informacija je vrednost koju bi trebalo odabrati za rekonstrukciju faznog prostora. Kada je u pitanju procena odgovarajuće dimenzije potapanja, obično se primenjuje procedura kojom se identifikuje broj „lažnih najbližih suseda”[‡] (Fraser and Swinney, 1986). Međutim, za vremenske serije sa relativno malim brojem podataka, ova metoda može dati nepouzdan rezultate, pa se obično usvaja da je optimalna dimenzija potapanja jednaka broju stepeni slobode posmatranog sistema (Sitharama et al. 2002).

Nakon izračunavanja kašnjenja i dimenzije potapanja, moguće je primeniti test determinizma, kako bi se pokazalo da vremenske serije potiču iz determinističkog procesa. Metoda koju su razvili Kaplan i Glass (1992) omogućava rekonstrukciju vektorskog polja sistema direktno iz vremenske serije, i to grubom podelom faznog prostora u ćelije jednake veličine sa istom dimenzijom kao i prostor za potapanje. Svako ćeliji koju zauzima trajektorija dodeljuje se vector - ako su vremenske serije proizašle iz determinističkog

[†]embedding (engl.) – kao prevod anglosaksonskog termina korišćen je kod nas prihvaćen termin „potapanje” (embedding delay, embedding dimension)

[‡]false nearest neighbors (engl.)

sistema, a grubo razdvajanje je dovoljno fino, dobijeno vektorsko polje trebalo bi da se sastoji samo od vektora koji imaju jediničnu dužinu. Ako je sistem deterministički, prosečna dužina svih usmerenih vektora κ biće 1, dok je za potpuno slučajni sistem $\kappa \approx 0$.

Da bismo utvrdili da li je predmetna serija proizašla iz stacionarnog procesa, primenjujemo test stacionarnosti koji su prvobitno predložili Kantz i Schreiber (1997), na osnovu statistike grešaka unakrsnog predviđanja. Prema Percu (2005, 2006), maksimalni Ljapunovljev eksponent se ne može smatrati pokazateljem determinističkog haosa ukoliko analizirana vremenska serija nije rezultat stacionarnog procesa. Ova metoda se zasniva na kvalitetu predviđanja nepoznate vrednosti podataka na osnovu sličnih događaja koji su se dogodili u prošlosti, a koji se smatraju susednim, i čija je udaljenost do posmatranog događaja reda veličine rezolucije podataka i nije veća od standardnog odstupanja. Za svaku tačku podjednako velikog segmenta i koji se ne preklapa u trenutku t , predviđanja vrednosti nepoznatih podataka vrše se u segmentu j u trenutku $t+\Delta t$. Potom se procenjuje tačnost dobijenih predviđanja izračunavanjem prosečne greške predviđanja δ_{ij} , koja se ponavlja za sve kombinacije i i j . Rezultujuća velika greška predviđanja δ_{ji} jasan je pokazatelj da zahtevi stacionarnosti u ispitivanim vremenskim serijama nisu ispunjeni (Perc, 2006).

Eksponenti Ljapunova se određuju prema algoritmu koji su razvili Volf i sar. (1985), a koji se zasniva na proceni evolucije udaljenosti između dve najbliže tačke (L_0), za fiksno vreme evolucije (t_{evolve}). Ako je konačno rastojanje veće od početnog ($L_{evolve} > L_0$), atraktor je haotičan. Međutim, ako je vremenski period t_{evolve} prevelik, moguće je da dve trajektorije koje definišu L_0 prođu kroz oblast atraktora ($L_{evolve} < L_0$), što dovodi do potcenjivanja najvećeg Ljapunovljevog eksponenta. Prema Percu (2006), nakon svakog t_{evolve} menja se korak u kojem tražimo novu tačku u prostoru utapanja čija je udaljenost do početne tačke što je moguće manja, sve dok početna tačka ne dostigne kraj vremenske serije. Konačno, λ_{max} se izračunava prema jednačini:

$$\lambda_{max} = \frac{1}{M t_{evolve}} \sum_{i=0}^M \ln \frac{L_{evolve}^{(i)}}{L_0^{(i)}} \quad (1)$$

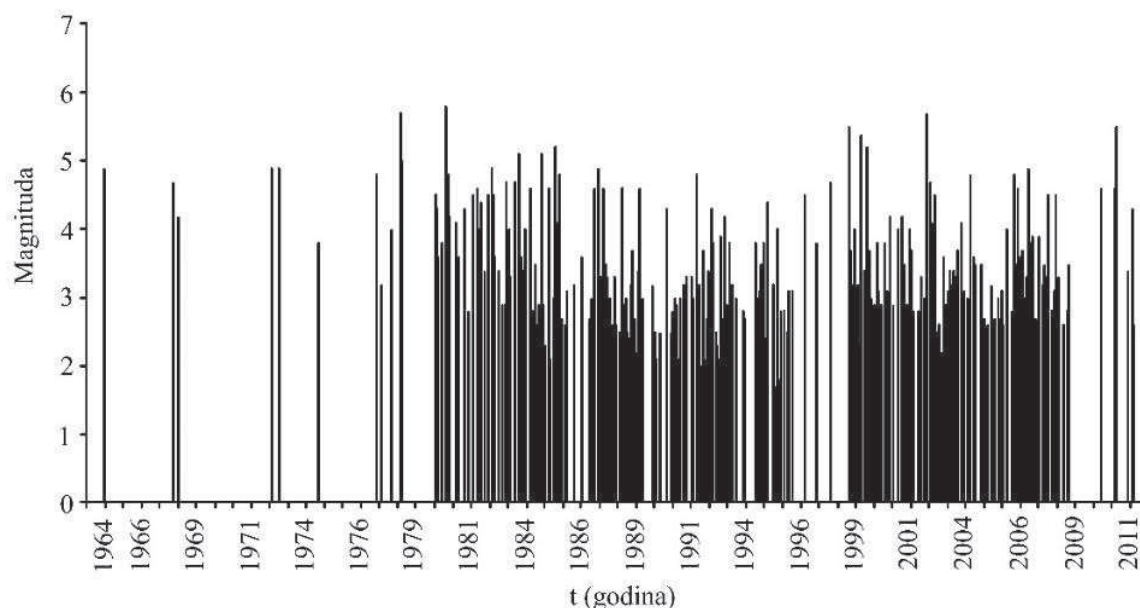
gde je M ukupan broj koraka zamene.

REZULTATI ISTRAŽIVANJA

Predmet istraživanja je diskretna vremenska serija zabeleženih zemljotresa u Srbiji u periodu 1964-2011.g., prema podacima kompozitnog kataloga zemljotresa ANSS Severne Kalifornije. Inicijalni niz podataka sastojao se od 763 zabeležena zemljotresa u rasponu magnituda 1,2 – 5,8. Za mesece bez registrovanog potresa pretpostavili smo nultu vrednost magnitude, a u slučaju više od jednog registrovanog potresa tokom meseca, odgovarajućem meseci dodeljena je najveća zabeležena vrednost magnitude. Na taj način smo dobili niz od 576 podataka (slika 1).

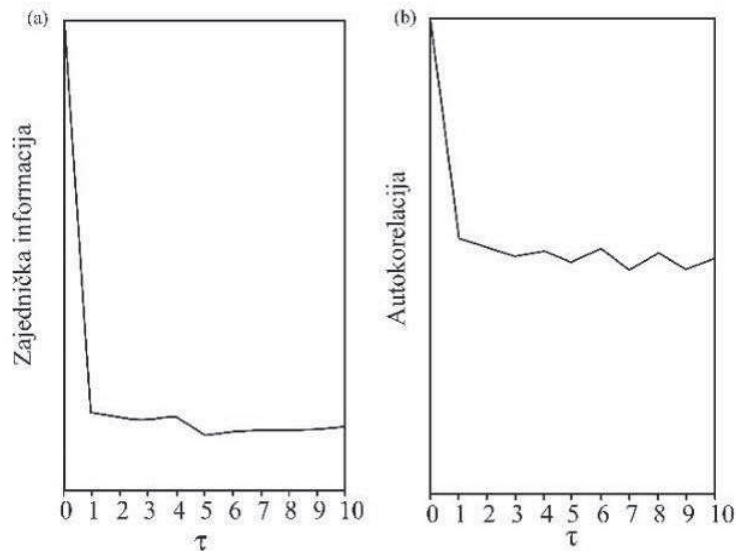
Skrećemo pažnju da iako se analiza seizmičnosti na jednom području obično sprovodi za određeni relevantni povratni period, analiza relativno kratkih vremenskih serija nije izuzetak. De Santis et al (2010) su takođe uzeli u obzir ograničen broj podataka (782 zemljotresa) i pokazali da se vremenska serija razvila kao deterministički haotičan proces.

Kašnjenje u funkciji parametra zajedničke informacije prikazano je na slici 2(a). Prema autorima metode (Fraser and Swinney, 1986), uzima se prvi minimum međusobnih informacija kao optimalno kašnjenje. Funkcija autokorelacije prikazana je na slici 2(b). Prema Percu (2005), optimalni τ je određen vremenom kada funkcija autokorelacije prvi put padne ispod nule ili opadne sa $1/e$ na asiMptotu prema horizontali. U našem slučaju, autokorelacija opada na $1/e$ pri $\tau = 1$, što se značajno razlikuje od vrednosti kašnjenja dobijene metodom međusobnih informacija ($\tau = 3$). Međutim, autokorelacija meri samo linearnu zavisnost dve promenljive, dok međusobne informacije mere njihovu opštu zavisnost. Stoga smo, sledeći prethodne rezultate, teorijske (Fraser and Swinney, 1986) i primenjene (Mohammadi i Noorzad, 2009), odabrali $\tau = 3$ kao optimalno kašnjenje ugradnje.



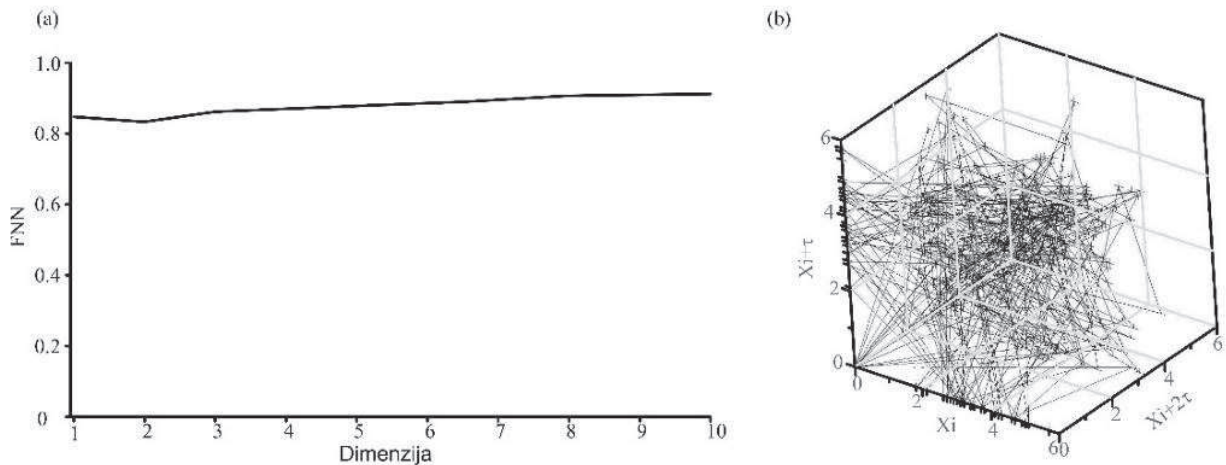
Slika 1. Vremenska serija zabeleženih zemljotresa u Srbiji za period 1964-2011.
Figure 1. Time series of the recorded earthquakes in Serbia for the period 1964-2011.

Rezultati dobijeni metodom lažno najbližeg suseda prikazani su na slici 3(a). Može se primetiti da se procentualni udeo podataka sa lažnim najbližim susedom (FNN) blago povećava kako se povećava dimenzija ugradnje. Najniža vrednost FNNa je 0,833, dobijena za dimenziju ugradnje $m = 2$, što se ne može smatrati odgovarajućom vrednošću dimenzije ugradnje, jer kriterijumi $FNN \approx 0$ nisu ispunjeni. Ovo je očekivani rezultat, s obzirom na činjenicu da su Sitharama i sar. (2002) već sugerisali da se metoda lažnog najbližeg suseda ne može primeniti u slučaju analize relativno malog skupa podataka. Prema Kodba et al. (2005), dimenzija potapanja meri stepen slobode posmatranog sistema. Dakle, budući da je u našem slučaju mehanizam nastanka zemljotresa modelovan sa tri obične diferencijalne jednačine prvog reda (brzina, kretanje i promenljiva stanja), dimenzija potapanja, korišćena u daljem proračunu, jednaka je 3, što potvrđuje činjenicu da haotičan proces često karakteriše mala dimenzija ugrađivanja (May, 1976). Izračunavši optimalno kašnjenje i dimenziju potapanja, možemo uspešno da rekonstruišemo atraktor. Za $m = 3$ i $\tau = 3$, dobijeni atraktor je predstavljen na slici 3(b).



Slika 2. Određivanje kašnjenja potapanja: (a) funkcija autokorelacije opada na $1/e$ pri $\tau = 1$; (b) međusobne informacije imaju prvi minimum pri $\tau = 3$.

Figure 2. Determining the right embedding delay: (a) autocorrelation function decreases to $1/e$ at $\tau = 1$, (b) mutual information has the first minimum at $\tau=3$.

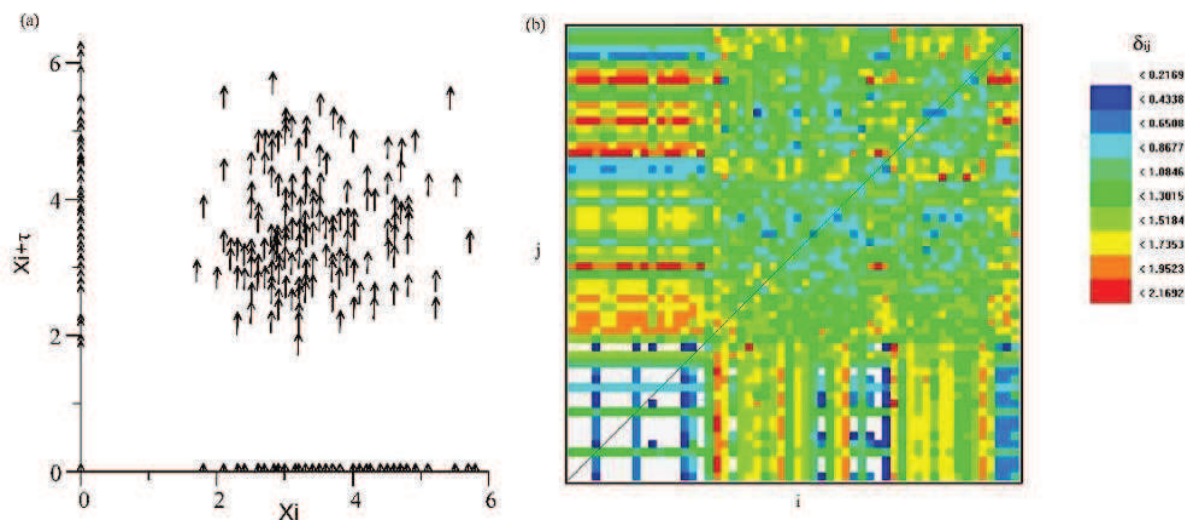


Slika 3. (a) Određivanje minimalne potrebne dimenzije potapanja. Udeo lažnih najbližih suseda blago opada pri $m = 2$, (b) Rekonstruisani fazni prostor dobijen sa optimalnim parametrima potapanja: $\tau = 3$ i $m = 3$.

Figure 3. (a) Determination of the minimal required embedding dimension. The fraction of false nearest neighbours (fnn) slightly drops at $m = 2$. (b) Reconstructed phase space obtained with the optimal embedding parameters: $\tau = 3$ and $m = 3$.

Za sprovođenje determinističkog testa, trodimenzionalni prostor za potapanje podeljen je u 74088 ćelija. Odgovarajući deterministički koeficijent aproksimiranog vektorskog polja od 303 vektora predstavljen na slici 4(a) je $\kappa = 0,80$, što znači da je prosečna dužina svih rezultujućih vektora 0,80. Kao što se može videti, svi vektori su usmereni u istom smeru, što potvrđuje uslov jedinstvenosti rešenja u faznom prostoru. Ako je sistem deterministički, prosečna dužina svih usmerenih vektora κ će biti 1, dok će za potpuno slučajni sistem $\kappa \approx 0$. Činjenica da je u predmetnom slučaju κ različito od 1 može objasniti ograničenim brojem podataka.

Rezultati testa determinizma ukazuju na tri moguća scenarija: prisutan je deterministički kaos, ali (a) greške u registrovanim podacima mogu neznatno uticati na rezultate; (b) prisutan je i stohastički doprinos dinamici; ili (c) nema determinističkog haosa. Da bismo isključili ili prihvatili jedan od moguća tri slučaja, te dodatno kvantifikovali mogući deterministički kaos pristupili smo određivanju vrednosti maksimalnog Ljapunovljevog eksponenta.



Slika 4. (a) Test determinizma. Približno vektorsko polje za prostor potapanja rekonstruisano sa $\tau = 3$ i $m = 3$. Deterministički koeficijent je $\kappa = 0,80$. (b) Test stacionarnosti. Čitava vremenska serija je podeljena na 58 segmenata koji se ne preklapaju, i od kojih svaki zauzima približno po 10 podataka. Mapa boja prikazuje prosečne greške unakrsnog predviđanja δ_{ij} u zavisnosti od različitih kombinacija segmenata.

Figure 4. (a) Determinism test. The approximated vector field for the embedding space reconstructed with $\tau = 3$ and $m = 3$. The pertaining determinism factor is $\kappa = 0.80$; (b) Stationarity test. The whole time series was partitioned into 58 non-overlapping segments each occupying 10 data points. The colour map displays average cross-prediction errors δ_{ij} in dependence on different segment combinations.

Kao rezultat primene testa stacionarnosti, prosečne greške unakrsnog predviđanja za sve moguće kombinacije i i j prikazane su na slici 4(b). Prosečna vrednost svih δ_{ij} je 1,783, dok su minimalne i maksimalne vrijednosti 0 i 2,169, redom. Kao što se može videti, δ_{ij} ostaje u osnovi oko prosečne vrednosti (zeleno) i niže (plavo i sivo), osim u nekim izolovanim slučajevima velike greške predviđanja (žuta i crvena), bez ikakvog evidentnog obrasca. Štaviše, budući da se sve greške unakrsnog predviđanja maksimalno razlikuju za faktor 2, može se sa velikom pouzdanošću odbaciti nestacionarnost u analiziranoj vremenskoj seriji.

Analiza vrednosti najvećeg Ljapunovljevog eksponenta urađena je za različite vrednosti vremena evolucije po elementu dužine, a maksimalni Ljapunovljev eksponent imao je pozitivnu vrednost za sve slučajeve, čime se potvrđuje da analizirana vremenska serija pokazuje svojstva deterministički haotičnog sistema. Na osnovu izračunatog maksimalnog Ljapunovljevog eksponenta, može se pristupiti procenti maksimalnog vremenskog intervala za koji je moguće izvršiti pouzdanu predikciju magnitude zemljotresa. Maksimalni Ljapunovljev eksponent za period od 480 meseci (40 godina) iznosi $\lambda_{max} = 0,3358$. Prema

Strogatzu (1994), kada sistem ima pozitivan Ljapunovljev eksponent, postoji vremenski interval nakon kojeg predviđanje postaje nepouzđano, što se izrađunava po formuli:

$$t_{horizon} = O\left(\frac{1}{\lambda} \ln \frac{a}{|\delta_0|}\right) \quad (2)$$

S obzirom na činjenicu da a kao mera tolerancije ima najmanju moguću vrednost zbog ogranićenog broja podataka, a minimalna početna udaljenost je takođe mala (δ_0), mogli bismo uzeti u obzir da je vrednost na levoj strani jednaćine (2) reda velićine $O(1)$. Tada jednaćina (2) postaje $t \approx 1/\lambda$, što nam daje vrednost $t = 3,03$ meseca, ili $t \approx 3$ meseca. U ovom slućaju, predvidljivost za 3 meseca znaći da je moguće proceniti maksimalnu magnitudu zemljotresa koja se mođe pojaviti u naredna 3 meseca. Nakon toga, ponašanje sistema postaje nepredvidivo. Analogne analize raspodele magnituda zemljotrsa za podrućje Irana daju slične rezultate, sa maksimalnim vremenom predviđanja reda velićine od 5 meseci (Mohammadi and Noorzad, 2009).

ZAKLJUĆAK

Rezultati istrađivanja predstavljenog u ovom radu pokazuju da se diskretna vremenska raspodela magnituda registrovanih zemljotresa u Srbiji u periodu 1964-2011.g. mođe posmatrati kao deterministićki haotićan proces. U radu je pokazano da je analizirana serija nestacionarna, sa visokom pozitivnom vrednošću deterministićkog koeficijenta (0,8) i sa pozitivnom vrednošću maksimalnog Ljapunovljevog eksponenta, na osnovu koje je i data procena maksimalnog intervala u okviru kojeg je moguće pouzđano predviđanje magnitude zemljotresa (3 meseca).

Smatramo da su rezultati izvedenih istrađivanja znaćajni u smislu da potvrđuju određenu zakonitost u raspodeli magnituda zemljotresa, pa tako ostavljaju mogućnost za formiranje predikcionih modela, koji bi se, sa određenim stepenom pouzđanosti, mogli da koriste za potrebe planiranja, projektovanja i izgardnje.

Skrećemo pađnju da je glavni izazov u toku istrađivanja bio ogranićen – relativno mali broj podataka, što je posebno uticalo na određivanje kašnjenja u potapanju, gde smo vrednost $m=3$ koja je pripisana optimalnoj dimenziji potapanja odredili na osnovu pretpostavke da je zemljotres, sa dinamićkog aspekta, sistem sa tri stepena slobode (pomeranje, brzina i promenljiva stanja). Takođe, test determinizma nije u potpunosti potvrdio jedinstvenost rešenja u faznom prostoru, s obzirom na činjenicu da je izrađunati pripadajući deterministićki faktor 0,80. S tim u vezi, smatramo da je rezultate izvedene analize potrebno dalje potvrditi analizom većeg broja podataka. Štaviše, izvedena analiza bi se mogla proširiti i na proućavanje raspodele intervala događanja zemljotresa i njihove distribucije u prostoru.

Osim posmatranja raspodele registrovanih vrednosti, lokacija i međuintervalu događanja zemljotresa, znaćajno bi bilo analizirati i vremenske serije pomeranja duđ znaćajnijih seizmogenih raseda u Srbiji. Ukoliko bi se pokazalo da takva vremenska serija predstavlja deterministićki haotićan proces, time bi se dobila direktna potvrda mogućnosti predviđanja

potresa. Štaviše, mogla bi da se uspostavi korelacija između predviđanja maksimalnog pomeranja duž raseda, vremena i lokacije potresa i njegove magnitude. U takvom sistema je realno očekivati pojavu kašnjenja, pre svega između vremena pojave maksimalnog pomeranja duž raseda i vremena registrovanja potresa, što bi uvelo dodatnu komponentu kompleksnosti u proučavani dinamički sistem.

LITERATURA:

- Beltrami, H., Mareshal, J.: Strange seismic attractor? *Pageoph.*, 141 (1993) 171-181
- Burridge, R., Knopoff, L.: Model and theoretical seismicity. *B. Seismol. Soc. Am.*, 57 (1967) 3, 341-371
- De Santis, A. Cianchini, G., Qamili, E., Frepoli, A.: The 2009 L'Aquila (Central Italy) seismic sequence as a chaotic process. *Tectonophysics* 496 (2010) 44–52
- De Sousa Vieira, M.: Self-organized criticality in a deterministic mechanical model. *Phys. Rev. A.* Vol.46, No.10 (1992) pp.6288-6293
- Erickson, B., Birnir, B. Lavallee, D.: A model for aperiodicity in earthquakes. *Nonlinear Proc. Geoph.* 15 (2008) pp.1-12
- Fraser, A., Swinney, H.: Independent coordinates for strange attractors from mutual information. *Phys. Rev. A*, Vol.33, No.2 (1986) 1134-1140
- Kantz H., Schreiber T.: *Nonlinear time series analysis.* Cambridge University Press. Cambridge 1997.
- Kaplan, D., Glass, L.: Direct test for determinism in a time series. *Phys. Rev. Lett.*, 68, (1992) 427-430
- Kennel, M. Brown, R., Abarbanel, H.: Determining embedding dimension for phase-space reconstruction using a geometrical construction. *Phys. Rev. A*, Vol. 45, No.6 (1992) 3403-3411
- Kodba, S. Perc, M., Marhl, M.: Detecting chaos from a time series. *Eur.J.Phys.*26 (2005), 205-215.
- May, R.M.: Simple mathematical models with very complicated dynamics. *Nature*, 261 (1976) 459-467.
- Mohammadi, S. , Noorzad, A. Detecting chaos in earthquake time series for seismic hazard prediction. *Proceedings of the 3rd IASME/WSEAS International Conference on Geology and Seismology* (2009) 17-20.
- NCEDC (2014), Northern California Earthquake Data Center. UC Berkeley Seismological Laboratory. Dataset. doi:10.7932/NCEDC.
- Perc, M.: Nonlinear time series analysis of the human electrocardiogram. *Eur.J.Phys.*26 (2005), 757-768.
- Perc, M.: Introducing nonlinear time series analysis in undergraduate courses, *Fizika A (Zagreb)* 15, (2006) 91-112
- Schreiber, T. Detecting and analyzing nonstationarity in a time series with nonlinear cross-predictions. *Phys.Rev.Lett.*78 (1997) 843-6.
- Sitharama I.S., Cho, E.C., Phoha, V.V.: *Foundation of wavelet networks and applications.* Chapman and Hall/CRC London 2002.
- Sornette, D.V., Pisarenko, V.F. *Fractal Plate Tectonics.* *Geophys.Res.Lett.* 30(3) (2003) 1105.
- Strogatz, S.: *Nonlinear dynamics and chaos.* Perseus books, Reading Massachusetts, 1994.
- Takens, F.: Detecting strange attractors in turbulence. In D. A. Rand and L.-S. Young (ed.). *Dynamical Systems and Turbulence, Lecture Notes in Mathematics*, 898 (1981) 366–381.
- Tiwari, R. K., Sri Kakshmi, S., Rao, K.N.N. Characterization of earthquake dynamics in northeastern India regions: a modern nonlinear forecasting approach. *Pure Appl.Geophys.* 161 (2004) 865-880.
- Wolf, A., Swift, J., Swinney, H., Vastano, J. Determining Lyapunov exponents from a time series. *Physica D* 16 (1985) 285-317.

CIP - Каталогизација у публикацији - Народна библиотека Србије,
Београд

624.042.7(082)(0.034.2)

699.841(082)(0.034.2)

550.34(082)(0.034.2)

МЕЂУНАРОДНО научно-стручно саветовање Земљотресно инжењерство
и геотехнички аспекти грађевинарства (2021 ; Врњачка Бања)

Zbornik radova Međunarodno naučno-stručnog savetovanja Zemljotresno
inženjerstvo i geotehnički aspekti građevinarstva, Vrnjackska Banja, 03. - 05.
novembar 2021. [Elektronski izvor] / [organizatori] Savez građevinskih
inženjera Srbije ... [et al.] ; editor Radomir Folić. - Beograd : Savez
građevinskih inženjera Srbije = Association of Civil Engineers of Serbia,
2021 (Beograd : Razvojno istraživački centar grafičkog inženjerstva). - 1 USB
fleš memorija ; 7 x 2 x 1 cm

Sistemska zahteva: Nisu navedeni. - Nasl. sa naslovne strane dokumenta. -
Radovi na srp. i engl. jeziku. - Tiraž 200. - Bibliografija uz svaki rad. -
Abstracts.

ISBN 978-86-88897-15-0

1. Savez građevinskih inženjera Srbije (Beograd)

a) Сеизмичке конструкције - Зборници b) Геотехничке конструкције -
Зборници c) Земљотреси - Зборници

COBISS.SR-ID 49362953