

ANALIZA POPOTRESNEGA NIZA POTRESA 3. OKTOBRA 1996 PRI ŽALCU

Analysis of the Aftershock Sequence Relative to the 3 October 1996 Earthquake near Žalec

Andrej Gosar*, Ina Cecić**,
David Dolenc***, Mladen Živčić****

UDK 550.34(497.4 Žalec)“1996”

Povzetek

Drugi najmočnejši potres leta 1996 na ozemlju Slovenije je bil 3. oktobra ob 22. uri in 41 minut po svetovnem času pri Žalcu. Imel je lokalno magnitudo 3,5 in največjo intenziteto pete stopnje EMS. Potres je na nekaterih hišah povzročil manjše poškodbe, predvsem v obliki lasastih razpok in odpadlega ometa. Glavnemu potresu je sledilo okoli 300 popotresnih sunkov, ki so trajali do konca leta 1996. Ljudje so čutili najmanj 25 močnejših popotresov. S statistično analizo popotresnega niza, zapisanega na opazovalnici v Bistriškem jarku, ki leži 45 km severno od nadžarišnega območja, in na začasni opazovalnici pri Sv. Jedrti, 3 km severno od Žalca, smo opredelili parametre Omorijevega zakona za gostoto pojavljanja popotresov in parametre Gutenberg-Richterjeve odvisnosti pogostosti potresov od magnitude. Opredeljene vrednosti za obe opazovalnici se dobro ujemajo med seboj in s podatki iz literature.

Abstract

The second strongest earthquake in Slovenia in 1996 was recorded on 3 October at 22:41 UTC near Žalec. Its local magnitude was 3.5 and had a maximum intensity of V EMS. The earthquake caused some light damage in the form of hair-line cracks and loss of tiny pieces of plaster from some houses. The main earthquake was followed by approx. three hundred aftershocks, which continued until the end of the year. At least 25 stronger aftershocks were felt in the Žalec region. A statistical analysis of the aftershock sequence, as recorded by the BISS station situated 45 km north of the epicentral area, and by the temporary station installed at Sv. Jedrt 3 km north of Žalec, shows similar values of parameters of Omori's power law for the rate of aftershock occurrences and Gutenberg-Richter's magnitude-frequency relation, which were in accordance with values known from literature.

Tretjega oktobra ob 22. uri 41 minut po svetovnem času (oz. 4. oktobra ob 0. uri 41 minut po srednjeevropskem poletnem času) je Žalec in okolico stresel drugi najmočnejši potres na ozemlju Slovenije leta 1996. Njegova lokalna magnituda ($M_{L,V}$) je bila 3,5, intenziteto pete stopnje EMS (Grünthal, 1993) pa je dosegel v 17 krajih (slika 1). Potres je na nadžariščnem območju povzročil manjšo gmotno škodo. Na posameznih hišah v Šeščah pri Preboldu in Studencah so odpadli kosi ometa ali nastale lasaste razpoke. Potres so čutili tudi v Ljubljani in Mariboru (Gosar in sod., 1997). Glavnemu potresu je sledilo več sto popotresov (slika 2 kaže zapise nekaterih), od katerih so jih ljudje čutili najmanj 25 (Cecić in sod., 1997), zadnjega 11. januarja 1997. Najmočnejši popotres je imel lokalno magnitudo 3,3, več potresov pa je doseglo ali preseгло intenziteto četrte stopnje EMS. Večino potresov je spremljalo bobnenje, ki je povečevalo preplah med prebivalci.

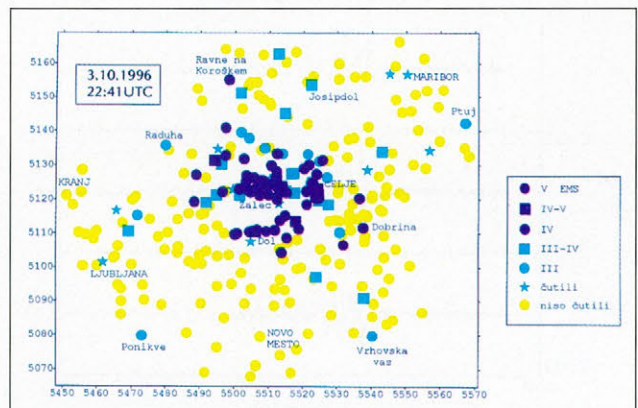
Podatki, zapisani na najbližji potresni opazovalnici državne mreže BISS in na začasni opazovalnici pri Sv. Jedrti, so omogočili poglobljeno statistično analizo. Tokrat smo namreč prvič v Sloveniji zapisali tako obsežen niz popotresov s sodobno digitalno seizmološko opremo.

Glavni potres

Položaj nadžarišča po opredelitvi iz seizmičnih zapisov je bil $46,24^{\circ}\text{N}$, $15,11^{\circ}\text{E}$ in globina žarišča 6 km. S primerjavo položaja nadžarišč popotresov, določenih iz podatkov oddaljenih opazovalnic in iz zapisa pri Sv. Jedrti, smo ugotovili razliko 4 km. Če predpostavimo enako razliko tudi pri glavnem potresu, so najbolj verjetne koordinate nadžarišča $46,24^{\circ}\text{N}$, $15,16^{\circ}\text{E}$. Za lokalno magnitudo smo vzeli srednjo vrednost 3,5 iz zapisov navpične komponente na treh digitalnih opazovalnicah državne mreže. Za izračun položaja prelomne ploskve in smer premika smo uporabili metodo Snokeja in sod. (1984), ki temelji na prvem premiku in razmerju med amplitudo vala P in SH. Možni sta dve

rešitvi: navpična ploskev smeri severozahod - jugovzhod, ob kateri je prišlo do desnega znika in pogrezanja severovzhodnega krila, ali ploskev smeri severovzhod - jugozahod, nagnjena 40° proti severozahodu, ob kateri je prišlo do levega znika.

Na prizadeto območje je URSG poslala več kot 1200 vprašalnikov, na katerih so opazovalci sporočali učinke potresov, prejeli pa smo 910 odgovorov (71 %). Glavni potres je imel učinke pete stopnje EMS v Dolu pri Hrastniku, Planini pri Sevnici, Zgornji Rečici, Dobriši vasi, Petrovčah, Grižah, Pongracu, Gomilskem, Šentrupertu, Žalcu, Gotovljah, Studencu, Podlogu, Šempetru v Savinjski dolini, Dolenji vasi, Preboldu in Šeščah (slika 1). V nekaterih krajih je povzročil manjšo gmotno škodo, predvsem lasaste razpoke in odpadanje drobnih kosov ometa. Zaradi tresenja



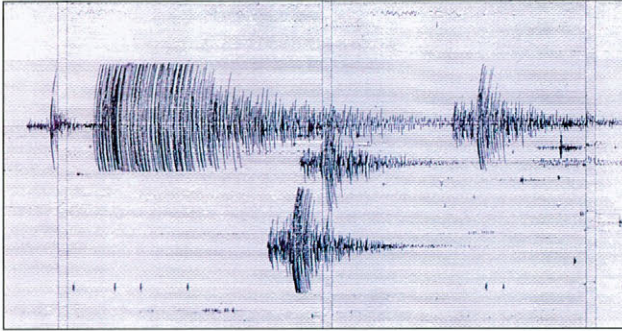
Slika 1. Intenzitete potresa 3. oktobra 1996 ob 22. uri 41 minut UTC

Figure 1. Observed intensities of the earthquake that occurred on 3 October 1996 at 22:41 UTC

* dr., Ministrstvo za okolje in prostor, Uprava Republike Slovenije za geofiziko, Pot na Golovec 25, Ljubljana

** *** Ministrstvo za okolje in prostor, Uprava Republike Slovenije za geofiziko, Pot na Golovec 25, Ljubljana

**** mag., Ministrstvo za okolje in prostor, Uprava Republike Slovenije za geofiziko, Pot na Golovec 25, Ljubljana



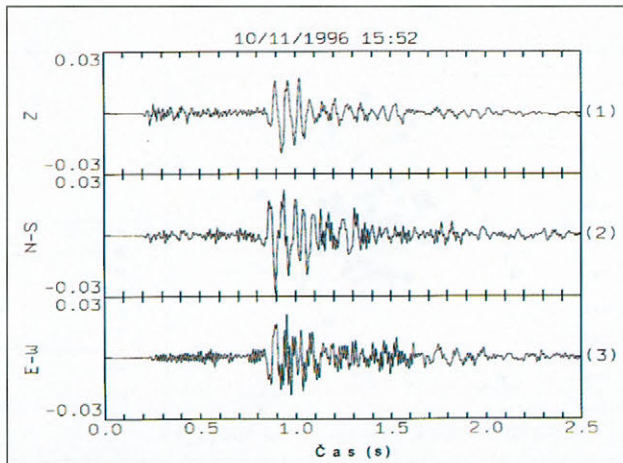
Slika 2. Analogni zapis navpične komponente na opazovalnici BISS za glavni potres pri Žalcu in nekaj popotresov

Figure 2. Analogue record (vertical component) of the main shock and a few aftershocks at the BISS station

so se ponekod prižigale senzorske luči in vkapljali avtomobilski alarmi. Nekateri prebivalci Šempetra so poročali, da se je ob bobnenju zasvetilo. Poročali so tudi o nenavadnem obnašanju živali tik pred potresom: psi so divje lajali in zavijali ali pa bili prestrašeni in tihi, kanarčki in papagaji so se zaletavali v kletke, živali v hlevih pa so bile zelo nemirne. Izoseiste, ki omejujejo območja, na katerih je potres dosegel ali presegel enake učinke, so približno krožne oblike. Povprečni polmer izoseiste za stopnjo V EMS je približno 4 km, za IV EMS 20 km in za III EMS približno 55 km. Globina žarišča, ocenjena iz makroseizmičnih podatkov, je 8 km.

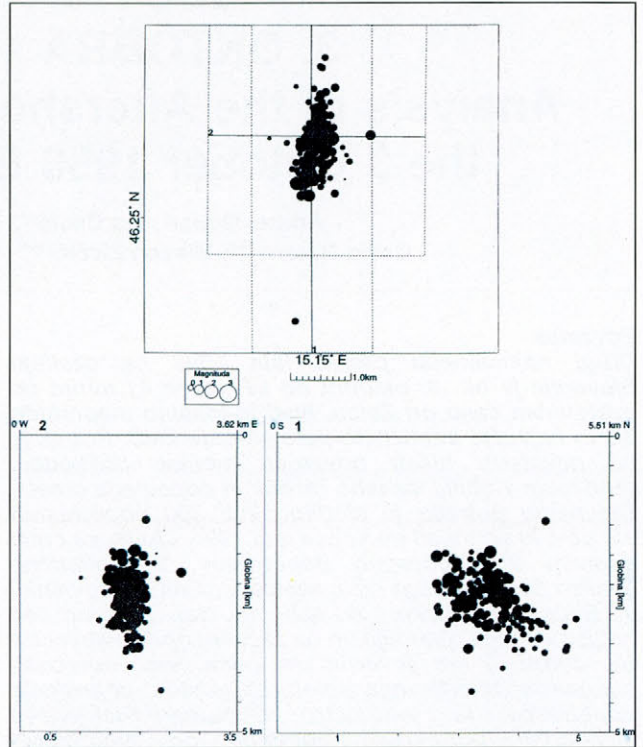
Zapisi popotresnih sunkov

Potresna opazovalnica BISS v Braniku nad Muto (Bistriški jarek) je bila najbližja (45 km severno) opazovalnica državne mreže. Opremljena je s trikomponentnim širokopasovnim digitalnim seizmografom in kratko-periodnim (navpična komponenta) analognim seizmografom. Digitalni seizmograf je z osrednjim računalnikom v Ljubljani povezan s klicno telefonsko linijo. Analogni sistem je do 11. januarja 1997 zapisal 158 popotresov (slika 2). Digitalni proženi sistem je v tem času zapisal 29 močnejših potresov. 12 od teh je bilo na analognem sistemu prekrmljenih. Preostale dogodke smo uporabili za kalibracijo razmerja med logaritmom amplitude na



Slika 3. Digitalni zapis popotresa na začasni opazovalnici pri Sv. Jedrti

Figure 3. Digital record of an aftershock recorded at the Sv. Jedrt temporary station



Slika 4. Karta nadžarišč (a) in dva profila (b, c) prek žariščnega območja za popotrese, zapisane na začasni opazovalnici pri Sv. Jedrti

Figure 4. Map of epicenters (a) and two cross-sections (b, c) across the hypocentral area for aftershocks recorded at the Sv. Jedrt temporary station

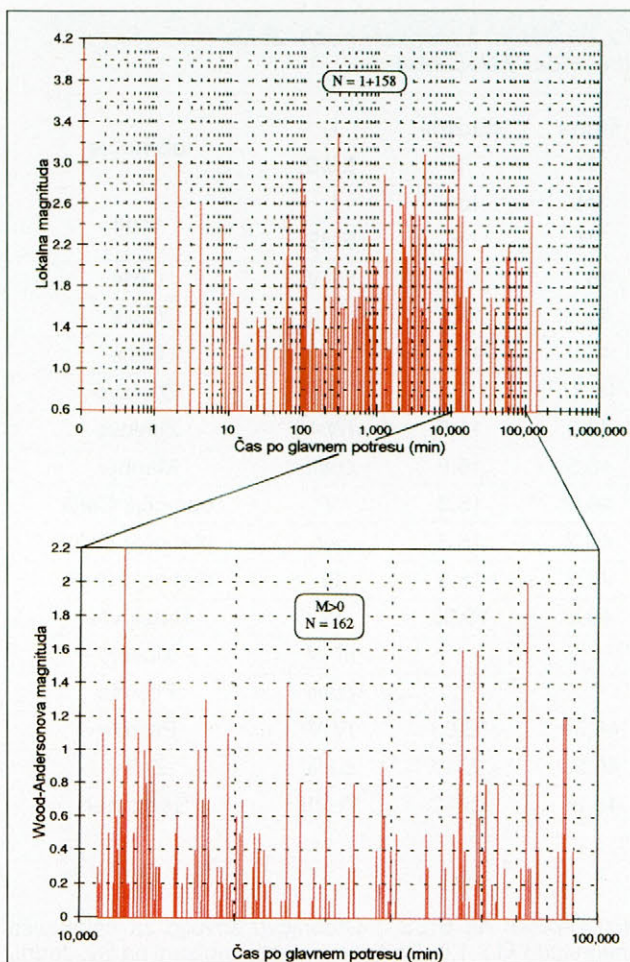
analognem zapisu in lokalno magnitudo, opredeljeno iz digitalnih zapisov.

Dan po glavnem potresu smo postavili prenosni trikomponentni seizmograf na že prej pripravljeno lokacijo v Dobrini (DOBS), 27 km vzhodno od Žalca. 11. oktobra pa smo ga prestavili bliže potresnemu območju v lovsko kočo Rinka pri Sv. Jedrti (3 km severno od Žalca), kjer je v prožilnem načinu obratoval do 5. decembra. V tem času je zapisal 222 popotresnih sunkov, ki smo jim lahko opredelili vstopni čas longitudinalnega (Pg) in transverzalnega (Sg) valovanja ter lokalno magnitudo numerično simuliranega Wood-Andersonovega seizmografa (M_{WA}). Pri 203 dogodkih je razmerje signala potresa in šuma (primer zapisa je na sliki 3) omogočalo opredeliti tudi smer prihoda in vpadni kot valovanja. M_{WA} popotresov so bile med -1,0 in 2,2.

Preglednica 1. Izračunani parametri Omorijevega eksponentnega zakona

Table 1. Estimated parameters of Omori's power law

opazovalnica station	spodnja meja M lower bound M	K	c	p	A/ C
BISS	M > 1,0	45,3	1,25	1,23	236
BISS	M > 1,5	12,0	0,79	1,03	360
Sv. Jedrt	M > 0,0	145 9,3	-29,90	1,50	853



Slika 5. Časovni vrsti popotresov, zapisani na opazovalnicah BISS (a) in Sv. Jedrt (b)
Figure 5. Time series of aftershocks recorded at the BISS (a) and Sv. Jedrt (b) stations

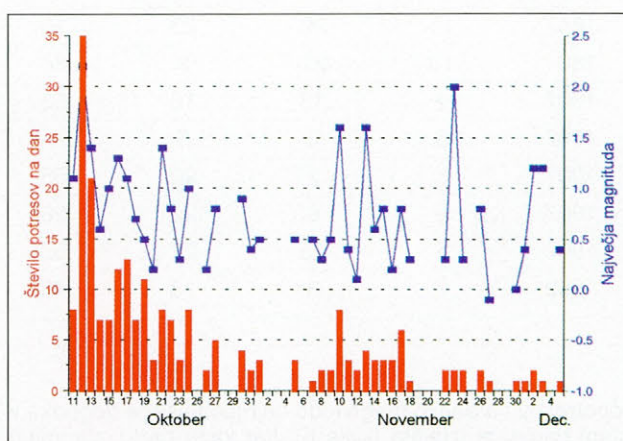
Prostorska porazdelitev popotresov

Pri lociranju potresov, zapisanih pri Sv. Jedrti, smo uporabili vodoravno plastovit hitrostni model. Glede na to, da je vrtna T-1/90 pri Žalcu, 2700 m južno od Sv. Jedrti, dosegla kredni apnenec v globini 940 m ter keratofir v globini 1320 m, smo sklepali, da pri ugotovljenih vpadnih kotih (med 15° in 60° , povprečno 34°) valovni žarki ne zapustijo predterciarnih kamnin, ki so v podlagi in na obrobju celjske udorine. Povprečna razlika med časom vstopa faze Sg in Pg je bila 0,69 s, kar da oddaljenost žarišča 3,7 km. Prostorska porazdelitev žarišč popotresov je vidna iz karte in dveh

profilov (slika 4). Vsa nadžarišča so med 1,5 in 3,5 km južno od opazovalnice (območje Gotovelj in Žalca) na območju, velikem 2 x 1 km, globina žarišč pa je med 1,8 in 4 km. Na profilu jug - sever jih lahko pogojno razdelimo v dve skupini okoli dveh premic, ki vpadata za 60° proti severu. Na profilu zahod - vzhod pa je vidna subvertikalna porazdelitev s strmim vpadom proti vzhodu. Pri analizi podatkov nismo odkrili kakšnega sistematičnega premikanja žarišč s časom.

Časovna porazdelitev popotresov

Diagrama odvisnosti magnitude od logaritma časa po glavnem potresu sta na sliki 5. V času, ko je opazovalnica pri Sv. Jedrti zapisala 162 potresov z $M_{WA} > 0,0$, je na BISS zapisala le 22 potresov z $M_{LV} \geq 1,2$. M_{LV} opredeljena iz zapisov na BISS (1,9), je v povprečju za 0,6 večja od M_{WA} , opredeljene iz zapisov na Sv. Jedrti. Najšibkejši potresi, zapisani na BISS, so imeli $M_{LV} = 0,8$.



Slika 6. Število potresov na dan in največja dnevna magnitude po podatkih, zapisanih pri Sv. Jedrti
Figure 6. Number of aftershocks per day and daily maximum magnitude acc. to the data recorded at Sv. Jedrt

Popotresni sunki so časovno razporejeni zelo neenakomerno. V prvih 24 urah je opazovalnica BISS zapisala popotres povprečno vsakih 15 minut, pri čemer je bil najkrajši interval le 10 sekund, najdaljši pa 3,8 ur. Pozneje so se intervali hitro povečevali in po štirih dneh je bilo že obdobje 36 ur brez popotresa. Od skupno 158 zapisanih se je 96 dogodkov ali 61 % zgodilo v prvih 24 urah, 141 ali 89 % pa v prvih 13 dnevih. Pri tem nizu ni vidne povezave med številom popotresov na dan in največjo dnevno magnitudo. Začasna opazovalnica pri Sv. Jedrti je osmi dan po glavnem potresu (12. oktober, prvi polni dan obratovanja) zapisala 35 potresov, deveti dan 21, pozneje pa je bilo na dan tri do 13 popotresov (slika 6). Prvi dan brez popotresa je bil 25. oktober. Korelacija med številom

Preglednica 2. Izračunani parametri Gutenberg-Richterjevega razmerja med magnitudo in frekvenco
Table 2. Estimated parameters for Gutenberg-Richter's magnitude-frequency relation

opazovalnica station	metoda najmanjših kvadratov least squares fit		metoda največje zanesljivosti maximum likelihood method	
	a	b	stand. odklon stand. deviation	b
BISS	3,104	0,857	0,4782	0,869
Sv. Jedrt	2,336	1,004	0,1304	1,041

Preglednica 3. Parametri nekaterih zgodovinskih potresov z žarišči na širšem območju Žalca
Table 3. Parameters of some historical earthquakes from the wider Žalec area

leto	mesec	dan	ura	min	širina	dolžina	I_0	območje
year	month	day	hour	min	lat	lon	I_0	area
			UTC	UTC	°N	°E	EMS	
			UTC	UTC	°N	°E	EMS	
1843	9	15	0	30	46,2	15,3	III-IV	Celje
1843	9	25	5	0	46,2	15,3	III-IV	Celje
1846	3	27	22	30	46,2	15,3	III	Celje
1846	3	27	22	55	46,37	15,51	IV-V	Zbelovo
1846	3	27	23	5	46,3	15,5	<(IV-V)	Zbelovo
1846	3	28	4	0	46,5	15,6	čutili	Maribor
1847	11	29	21	15	46,2	15,3	V	območje Celja
1847	11	29	23	15	46,2	15,3	>V	območje Celja
1881	10	27	3	30	46,2	15,3	III	območje Celja
1907	4	13	16	58	46,3	15,05	IV	Braslovče
1907	5	2	5				III-IV	Mozirje
1907	5	2	22	55			čutili	Polzela
1907	5	6	20	28	46,30	15,03	IV-V	Polzela
1907	5	15	22	55	46,25	15,17	čutili	Žalec
1982	7	3	13	42	46,26	15,12	VI-VII	Šempeter

popotresov na dan in magnitudo najmočnejšega dogodka v istem dnevu je izrazita (slika 6), kar kaže na to, da imajo nekateri močnejši popotresi svoje lastne nize popotresov.

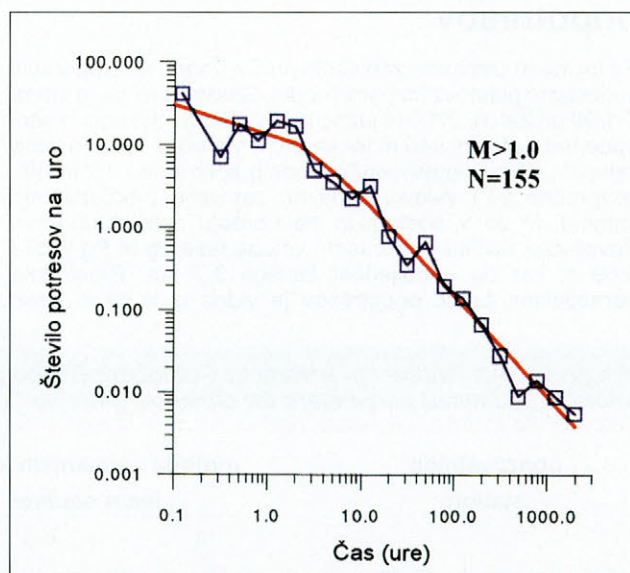
Omorijev eksponencialni zakon

Gostoto pojavljanja popotresov, močnejših od določene magnitude, opisuje dopolnjen Omorijev eksponencialni zakon $n(t) = K/(t+c)^p$, kjer so $n(t)$ - število popotresov v časovni enoti t (ura, dan, mesec) in K , c , p - parametri (Utsu, 1962). K je odvisen od spodnje meje magnitude in celotnega števila popotresov, medtem ko za p in c velja, da sta odvisna le od njihove časovne porazdelitve. Za oceno p se je uporabljala predvsem določitev na bilogaritmskem diagramu $n(t)$, na katerem se krivulja v limiti velikih časov približuje premici, katere strmina poda oceno za p . Ogata (1983) pa je predlagal metodo največje zanesljivosti, ki temelji na časovni vrsti in ne na $n(t)$. Uporabili smo jo tudi v naši študiji, in sicer s pomočjo programa AFTERSHK (Reasenberga, 1990).

Pri izračunu parametrov Omorijevega zakona je zelo pomembna pravilna izbira najmanjše magnitude, ki mora biti enaka ali večja od meje popolnosti podatkov, kar pomeni, da so v časovni vrsti zajeti vsi popotresi, močnejši od določene magnitude. Ta pogoj testiramo z Gutenberg-Richterjevo zvezo, ki jo obravnavamo v naslednjem poglavju. Pri nizu, zapisanem na Sv. Jedrti, mu ni bilo težko zadostiti, bolj problematičen pa je bil zaradi manjšega vzorca pri nizu, zapisanem na opazovalnici BISS, zaradi česar smo opravili izračun z dvema spodnjima mejama.

Parametri modificiranega Omorijevega zakona so v preglednici 1. Mera za oceno prilaganja krivulje vhodnim podatkom je parameter AIC (Akaike Information Criterion), pri katerem pomeni nižja vrednost boljše prilaganje (Ogata, 1983). Slika 7 kaže diagram čas - pogostost popotresov za

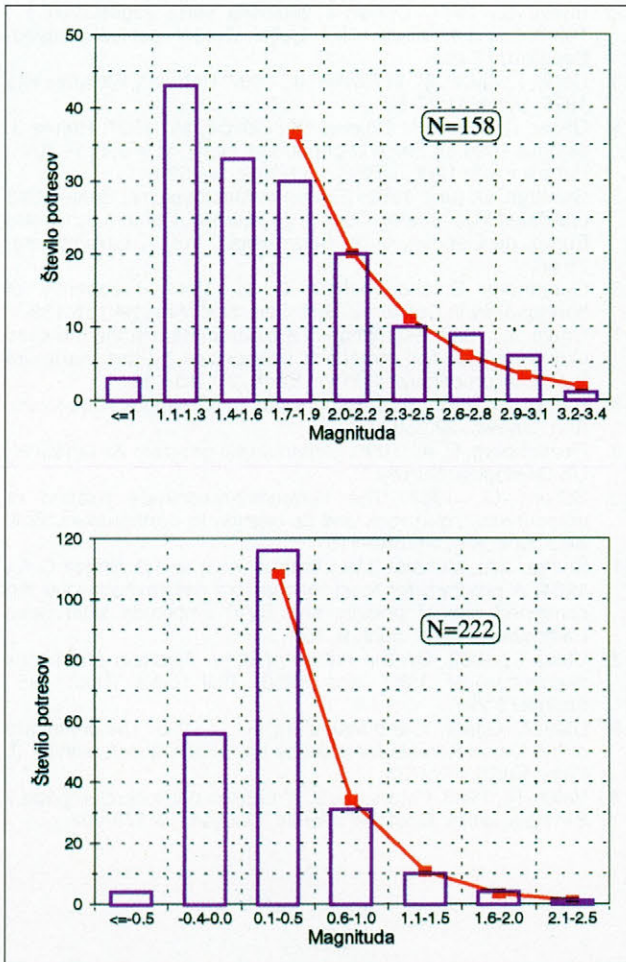
niz, zapisan na BISS z Omorijevo krivuljo za najmanjšo magnitudo $M > 1,0$. Pri časovni vrsti, zapisani na Sv. Jedrti, smo za spodnjo mejo magnitude vzeli vrednost 0,0. Kljub temu, da je ta niz popolnejši glede magnitud in da je večji tudi celotni vzorec, je parameter AIC slabši kot pri BISS, kar je verjetno posledica dodatnih popotresnih nizov nekaterih močnejših popotresov, lahko pa tudi krajšega časovnega okna. Izračunani parametri se ujemajo z vrednostmi iz literature (Utsu in sod., 1995).



Slika 7. Pogostost popotresov in Omorijeva krivulja za podatke iz BISS; spodnja meja magnitude je 1,0
Figure 7. Frequency of aftershocks and Omori's power law for BISS data. The lower bound magnitude is 1.0

Razmerje med magnitudo in pogostostjo potresov

Ena osnovnih statističnih zakonitosti v seizmologiji je Gutenberg-Richterjeva enačba (Gutenberg in Richter, 1944), ki opisuje pogostost pojavljanja popotresov določene magnitude $\log N = a - bM$, kjer so N - število popotresov med M in $M + dM$, M - magnituda, a , b - parametra, ki ju določamo. Gutenberg-Richterjeva zveza velja za večino potresnih nizov, tudi za zelo šibke potrese z magnitudo med 0,0 in -1,0 (Utsu, 1962) in celo pri nastanku mikrorazpok v vzorcih kamnin pri laboratorijskih poskusih (Scholtz, 1968). Parameter b je povezan s tektonskimi pogoji in fizikalnimi lastnostmi kamnin Zemljine skorje, v katerih je potres nastal in ima vrednost okoli 0,9 (Utsu, 1962), parameter a pa je odvisen od števila dogodkov v vzorcu. Navadno opredeljujemo a in b z metodo najmanjših kvadratov, vendar dajejo nekateri (npr. Aki, 1965) prednost metodi največje zanesljivosti. Po tej metodi izračunamo b po enačbi $b = 0,4343 / (M_p - M)$, kjer sta M_p - povprečna magnituda v vzorcu, M - najmanjša upoštevana magnituda, zmanjšana za 0,05.



Slika 8. Pogostost popotresov v odvisnosti od magnitude za podatke, zapisane na BISS (a), in pri Sv. Jedrti (b) z izpeljano Gutenberg-Richterjevo krivuljo

Figure 8. Magnitude-frequency relation for sequences recorded at the BISS (a) and Sv. Jedrti (b) stations using the derived Gutenberg-Richter's function

V naši študiji smo uporabili obe metodi, opredeljeni parametri pa so zbrani v preglednici 2. Pri analizi serije, zapisane na BISS, smo opravili večje število testov za

določitev spodnje meje magnitude in ustreznega magnitudnega intervala. Najboljši rezultat smo dosegli pri upoštevanju magnitud nad 1,6 (76 popotresov od 158 analiziranih) in pri intervalu 0,3 (slika 8a). Prvi interval (1,7 - 2,0) sicer verjetno ni popoln, ker pa bi bil vzorec sicer premajhen, smo ga vseeno upoštevali. Ujemanje vrednosti parametra b , izračunanega po obeh metodah, je dobro. Pri nizu, zapisanem pri Sv. Jedrti, smo določili magnitudni interval 0,5 in spodnjo mejo pri $M = 0,0$ (162 popotresov od 222 zapisanih), ki je na histogramu jasno vidna (slika 8b). Opredeljeni parametri za obe potresni opazovalnici se dobro ujemajo med seboj in z vrednostmi iz literature (Ranalli, 1969).

Makroseizmični učinki popotresne serije

Ljudje so čutili najmanj 25 močnejših popotresnih sunkov. Zaradi njihovega velikega števila pa pogosto ni bilo možno natančno določiti, na kateri potres v dnevu se opisi učinkov, ki so jih posredovali opazovalci, nanašajo. Zaradi tega smo za nekaj dni po glavnem potresu izdelali karte skupnih dnevnih učinkov, pri čemer smo učinke vseh sunkov v tem dnevu pripisali enemu samemu potresu. Dodaten preplah je povzročalo močno bobnenje, ki je redno spremljalo tresenje tal. Prebivalci so ga opisovali kot detonacijo nekje v globini ali pa kot močno, precej dolgo hrumenje velikega tovornjaka. Nekateri so zvok primerjali z zdrsom snega s strehe ali pa z valjenjem skal. Pri potresu se del sproščene energije razširja tudi v zraku, kar zaznamo kot zvok, če so frekvence v slišnem območju. Začasna opazovalnica pri Sv. Jedrti je zapisala celo frekvence, višje od 200 Hz, kar je dovolj nad spodnjo mejo slišnega območja, ki je med 16 in 20 000 Hz.

Prvi dan po glavnem potresu so prebivalci čutili najmanj pet popotresov. Med 5. in 12. oktobrom so čutili najmanj 12 sunkov, zadnji močnejši pa je bil 12. oktobra ob 9. uri 29 minut UTC. Največjo intenziteto (IV EMS) je dosegel v Dobriši vasi, Žalcu in Šempetru, kjer so nekateri celo zapustili domove. Potres 16. oktobra ob 2. uri 16 minut UTC so čutili posamezniki v Šempetru. Šibkejši potres je bil 23. decembra ob 21. uri 52 minut UTC. Občutili so ga posamezniki v Migojnicah pri Grižah, kjer je bila intenziteta III-IV EMS. Le nekaj ur pozneje (24. decembra ob 0. uri 8 minut UTC) mu je sledil še en sunek, ki je v Šeščah dosegel četrto stopnjo EMS. Zadnja potresa v tem nizu, ki so ju ljudje čutili, sta bila 11. januarja 1997 ob 22. uri 10 minut UTC in 22. uri 11 minut UTC. Prvi potres je v Šeščah dosegel učinke IV EMS, minuto pozneje so drugega le kot bobnenje zaznali v Preboldu, Gotovljah in Bregu.

Tektonska zgradba ozemlja

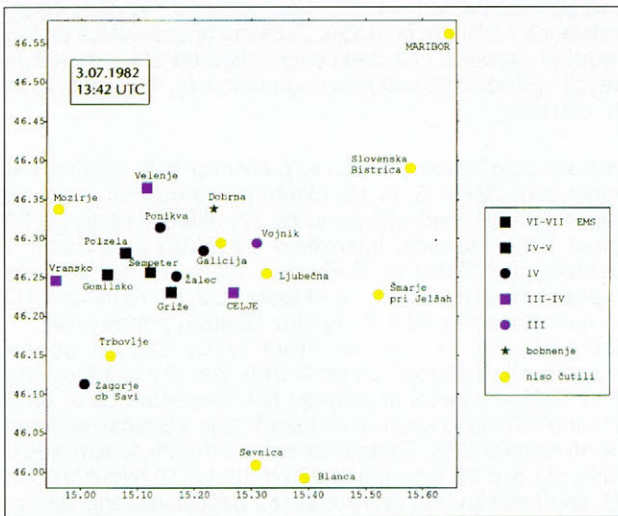
Žariščno območje pripada celjski udorini, ki je nastala na prehodu iz pliocena v pleistocen kot večja tektonska gruda, ki je glede na hitro se dvigajoče obrobje zaostala in se delno celo pogreznila. Udorina je razpotegnjena v smeri vzhod - zahod in je več kot 27 km dolga in 5 km široka. Dno se na jugu strmo spušča ob celjskem prelomu, na severu pa položno tone v globino, ki je največja na južnem obrobju, in sicer med 800 in 1400 m. Udorina je zapolnjena z oligocensko morskno glino (sivico) ter nekaj deset metrov debelim pokrovom pliocenske in pleistocenske gline. V podlagi so kredni in triasni apnenci ter srednje triasni keratofir in diabaz ter njuni tufi, ki izdajajo na obrobju. Udorino sekajo številni prelomi, ki so ugotovljeni severno in južno od nje, v mehkih terciarnih plasteh pa niso vidni. Povezava prelomov prek udorine je težavna, še posebej, ker se nekateri viličasto cepijo. Prelomi dinarske (NW - SE) in prečnodinarske (NE - SW) smeri so nastali verjetno v pliocenu in so bili močno aktivni tudi še v pleistocenu. Ob

njih so v tem času nastali nekaj sto metrov dolgi vodoravni premiki. Starejši so prelomi smeri E - W, ki imajo svojo zasnovo že v triasu, vendar so bili aktivni tudi še v terciarju (Buser, 1977).

Glede na prostorsko porazdelitev popotresov (slika 4) in potek prelomov lahko potresni niz najbolj verjetno pripišemo žalskemu prelomu, ki ima dinarsko smer. Geološko je prelom dokazan na Ponikvanski planoti, kjer odreže oligocenske in triasne plasti. Proti jugu se nadaljuje skozi celjsko udorino mimo Žalca na njen južni rob, od koder ga lahko opazujemo vse do Bohorja. V bližini žalskega preloma je še več vzporednih prelomov. Glede na nezanesljivost poteka prelomov v Celjski kotlini je možno, da je potresna aktivnost povezana tudi s kakšnim od teh vzporednih prelomov. Dokaj zanesljivo pa lahko glede na oddaljenost žarišč od opazovalnice pri Sv. Jeditri trdimo, da ni povezana s celjskim prelomom, ki poteka ob južnem obrobju udorine. Na dinarsko smer preloma kaže tudi izračun prelomne ploskve za glavni potres iz seizmoloških podatkov.

Dosedanji potresi na območju Savinjske doline

Raziskali smo 15 starejših potresov, za katere se domneva, da so imeli žarišča na območju Celjske kotline. Za večino se je izkazalo, da so podatki v dostopnih zgodovinskih virih zelo skopi. Parametri obdelanih potresov so v preglednici 3.



Slika 9. Intenzitete potresa 3. julija 1982 ob 13. uri 42 minut UTC

Figure 9. Observed intensities of the earthquake that occurred on 3 July 1982 at 13:42 UTC

Pri zgodovinskih potresih gre pripomniti, da so lege nadžarišč določene le iz makroseizmičnih podatkov.

Zadnji potres, ki je v Savinjski dolini povzročil gmotno škodo, je bil 3. julija 1982 ob 13. uri 42 minut UTC in je imel lokalno magnitudo 3,5. Koordinate nadžarišča so bile 46,24°N in 15,23°E, globina žarišča pa 4 km. Tudi ta potres je spremljalo bobnenje. Dosegel je šesto stopnjo MCS v Šempetru in Dobrteši vasi, z oddaljenostjo od nadžarišča pa se je intenziteta hitro zmanjševala, kar kaže na plitvo žarišče. Na številnih hišah v Šempetru so bili poškodovani dimniki, razpokal je omet, ponekod pa tudi odpadel (Vidrih, 1983). Pri ponovnem ovrednotenju zbranih podatkov smo določili intenziteto VI-VII EMS (slika 9). Prebivalci Šempetra so čutili okoli 15 popotresnih sunkov. Čeprav je za potres 3. julija 1982 in popotrese na voljo veliko manj instrumentalnih podatkov, lahko sklepamo, da je bil niz potresov zelo podoben temu iz leta 1996.

Literatura

1. Aki, K., 1965. Maximum likelihood estimate of b in the formula $\log N = a - bM$ and its confidence limits. Bulletin of the Earthquake Research Institute, 43:237-238.
2. Buser, S., 1977. Osnovna geološka karta Jugoslavije 1 : 100.000 s tolmačem - list Celje. Zvezni geološki zavod, Beograd, 72 pp.
3. Ceci, I., Živčić, M. in Ravnik, J., 1997. Potresi v Sloveniji leta 1996. Ujma, 11:27-33.
4. Gosar, A., Ceci, I., Dolenc, D. in Živčić, M., 1997. Potres 3. oktobra 1996 pri Žalcu in popotresni sunki. V: Vidrih, R. (Ur.), Potresi v letu 1996, URSG, Ljubljana, pp. 51-61.
5. Grünthal, G. (ur.), 1993. European Macroseismic Scale 1992 (up-dated MSK-scale). Conseil de l'Europe, Cahiers du Centre Europ. de Géodyn. et de Séismologie, Vol. 7, Luxembourg, 79 pp.
6. Gutenberg, B and Richter, C. F., 1944. Frequency of earthquakes in California. Bull. Seis. Soc. Am., 34:185-188.
7. Ogata, Y., 1983. Estimation of the parameters in the modified Omori formula for aftershock frequencies by the maximum likelihood procedure. J. Phys. Earth, 31:115-124.
8. Ranalli, G., 1969. A statistical study of aftershock sequences. Ann. Geofis., 22:359-397.
9. Reasenber, P. A., 1990. Računalniški program AFTERSHK. US Geological Survey.
10. Scholz, C., 1968. The frequency-magnitude relation of micro-fracturing in rock and its relation to earthquakes. Bull. Seis. Soc. Am., 48:399-415.
11. Snoke, J.A., Munsey, J.W., Teague, A.G. and Bollinger, G.A., 1984. A program for focal mechanism determination by the combined use of polarity and SV-P amplitude ratio data, Earthquake Notes, 55/3, p. 15.
12. Utsu, T., 1962. On the nature of three Alaskan aftershock sequences of 1957 and 1958. Bull. Seis. Soc. Am., 52(2):279-297.
13. Utsu, T., Ogata, Y. and Matsu'ura, R. S., 1995. The centenary of the Omori formula for a decay law of aftershock activity. J. Phys. Earth., 43:1-33.
14. Vidrih, R., 1983. Potres dne 3. 7. 1982 na področju Šempetra v Savinjski dolini. Geološki zbornik, Ljubljana, 4:173-204.