

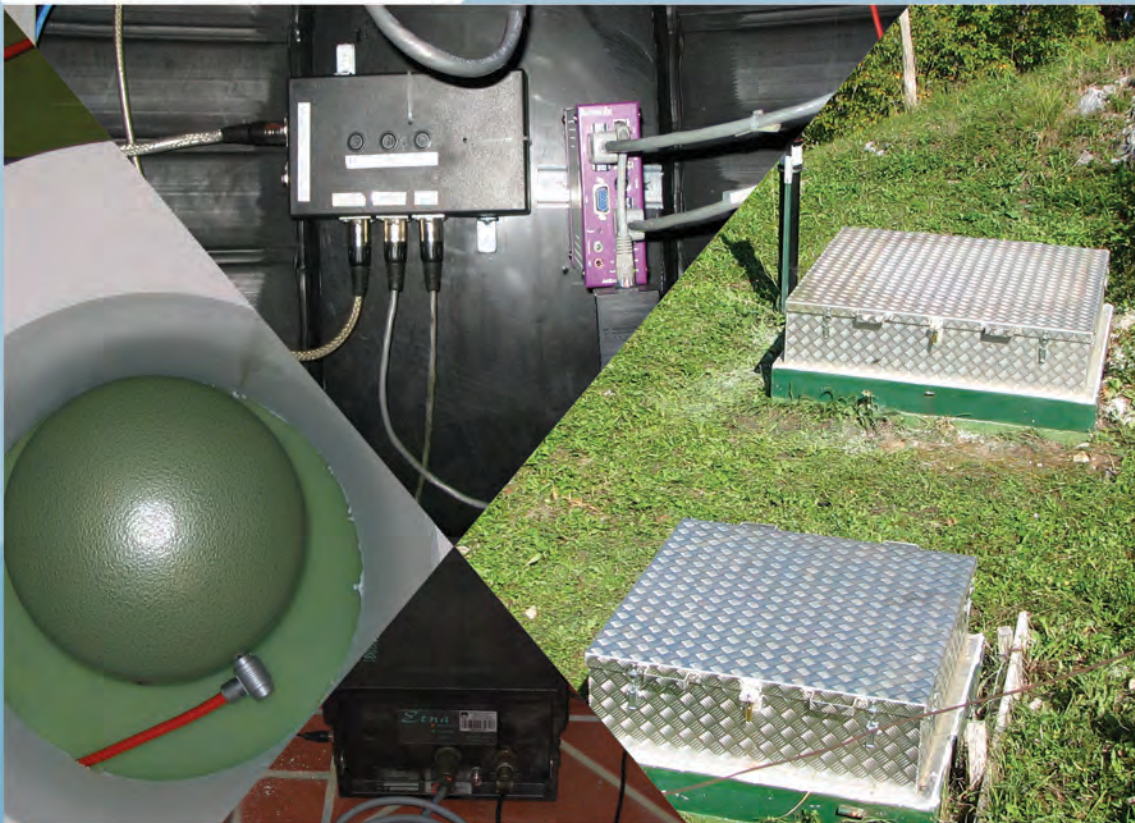


REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA OKOLJE IN PROSTOR
AGENCIJA REPUBLIKE SLOVENIJE ZA OKOLJE



Potresi v letu 2010

Earthquakes in 2010





AGENCIJA REPUBLIKE SLOVENIJE ZA OKOLJE
ENVIRONMENT AGENCY OF THE REPUBLIC OF SLOVENIA

POTRESI V LETU 2010 EARTHQUAKES IN 2010

AGENCIJA REPUBLIKE SLOVENIJE ZA OKOLJE
URAD ZA SEIZMOLOGIJO IN GEOLOGIJO

ENVIRONMENT AGENCY OF THE REPUBLIC OF SLOVENIA
SEISMOLOGY AND GEOLOGY OFFICE

Ljubljana 2011

POTRESI V LETU 2010 EARTHQUAKES IN 2010

IZDAJATELJ IN ZALOŽNIK / PUBLISHED BY

Ministrstvo za okolje in prostor / Ministry of the Environment and Spatial Planning

Agencija RS za okolje (ARSO) / Environment Agency of the Republic of Slovenia

Urad za seizmologijo in geologijo / Seismology and Geology Office

GENERALNI DIREKTOR AGENCIJE / DIRECTOR GENERAL OF AGENCY

dr. Silvo Žlebir

UREDNIK / EDITOR

dr. Andrej Gosar

GRAFIČNA PRIPRAVA / TYPESETTING

Peter Sinčič

UREDNIŠKI SVET / EDITORIAL BOARD

dr. Silvo Žlebir

dr. Andrej Gosar

mag. Ina Cecić

Matjaž Godec

mag. Tamara Jesenko

Peter Sinčič

dr. Barbara Šket Motnikar

mag. Izidor Tasič

Polona Zupančič

mag. Mladen Živčić

TISK / PRINTED BY

XXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXXX

Mednarodna standardna serijska številka:

ISSN 1318 - 4792

Naslovnica:

V letu 2010 smo nadaljevali s posodabljanjem opreme na potresnih opazovalnicah.

Glej članke: Peter Sinčič, Izidor Tasič, Mladen Živčič, Tatjana Prosen

Potresne opazovalnice v Sloveniji v letu 2010

Marko Mali, Izidor Tasič

Posodobitev potresnih opazovalnic CRNS, GCIS in JAVS

Cover Page:

In 2010 we continued to modernize equipment in seismic stations.

See: Peter Sinčič, Izidor Tasič, Mladen Živčič, Tatjana Prosen

Seismic Network in Slovenia in 2010

Marko Mali, Izidor Tasič

Modernization of Seismic Stations CRNS, GCIS and JAVS

KAZALO/CONTENTS

<i>Peter Sinčič, Izidor Tasič, Mladen Živčič, Tatjana Prosen</i> Potresne opazovalnice v Sloveniji v letu 2010 Seismic Network in Slovenia in 2010	7
<i>Tamara Jesenko, Ina Cecić, Mladen Živčič, Martina Čarman</i> Potresi v Sloveniji leta 2010 Earthquakes in Slovenia in 2010	17
<i>Izidor Tasič, Marko Mali, Luka Pančur, Peter Sinčič, Igor Pfundner, Bojan Uran, Jože Prosen</i> Delovanje potresnih opazovalnic v letu 2010 Seismic Network of the Republic of Slovenia – Operation in 2010	36
<i>Jurij Pahor</i> Učinkovitost pridobivanja podatkov iz državne mreže potresnih opazovalnic v letu 2010 Seismic Data Acquisition Efficiency for Seismic Network of The Republic of Slovenia in 2010	43
<i>Marko Mali, Izidor Tasič</i> Posodobitev potresnih opazovalnic CRNS, GCIS in JAVS Modernization of Seismic Stations CRNS, GCIS and JAVS	47
<i>Izidor Tasič</i> Ne-seizmični šum na potresni opazovalnici Ljubljana (LJU) Noise Floor at the Seismic Station Ljubljana (LJU)	53
<i>Izidor Tasič, Marko Mali, Luka Pančur</i> Temperaturna stabilnost potresne opazovalnice The Seismic Station Temperature Stability	57
<i>Marko Mali, Izidor Tasič</i> Vpliv temperaturnih sprememb na delovanje dolgoperiodnih seizmometrov Influence of Temperature Changes on Performance of Long-Period Seismometers	62
<i>Milka Ložar Stopar, Mladen Živčič</i> Žariščni mehanizmi nekaterih močnejših potresov v Sloveniji v letih 2008 in 2009 Fault Plane Solutions of Some Stronger Earthquakes in Slovenia in 2008 and 2009	71
<i>Mladen Živčič, Martina Čarman, Milka Ložar Stopar</i> Potres 15. januarja 2010 pri Postojni The Earthquake on 15 January 2010 in the Postojna Region	76
<i>Martina Čarman, Milka Ložar Stopar, Ina Cecić, Mladen Živčič</i> Niz šibkih potresov pri Naklem leta 2010 Earthquakes in the Naklo Region in 2010	87

<i>Martina Čarman, Mladen Živčić, Milka Ložar Stopar</i>	
Potresi pri Ilirski Bistrici leta 2010	
Earthquakes Near Ilirska Bistrica in 2010	97
<i>Jurij Pahor, Mladen Živčić</i>	
Analiza obiskanosti spletne strani s samodejno določenimi parametri potresov v letu 2010	
Usage of the Website with Automatic Earthquake Determinations in 2010.....	110
<i>Barbara Šket Motnikar, Polona Zupančič</i>	
Karta potresne intenzitete Slovenije	
Seismic Intensity Map of Slovenia.....	114
<i>Tamara Jesenko, Manfred Deterding</i>	
Močnejši potresi po svetu leta 2010	
World's Largest Earthquakes in 2010.....	124
<i>Ina Cecić</i>	
Evropska potresna lestvica 1998 (EMS-98)	
European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98)	135
<i>Ina Cecić, Andrej Gosar</i>	
32. generalna skupščina Evropske seizmološke komisije	
32-nd General Assembly of the European Seismological Commission	137

Peter Sinčič, Izidor Tasič, Mladen Živčić, Tatjana Prosen

POTRESNE OPAZOVALNICE V SLOVENIJI V LETU 2010 SEISMIC NETWORK IN SLOVENIA IN 2010

Povzetek

V letu 2010 je na območju Slovenije delovalo 28 digitalnih potresnih opazovalnic, povezanih v omrežje z neprekinjenim prenosom podatkov v središče za obdelavo v Ljubljani, 2 digitalni opazovalnici z neprekinjenim shranjevanjem podatkov na lokalni pomnilnik, 5 začasnih potresnih opazovalnic ter 10 opazovalnic z akcelerometri za opazovanje seizmičnosti na urbanih območjih. Na opazovalnici na Vojskem in na observatoriju na Golovcu v Ljubljani še vedno delujeta analogna seizmografa z zapisom s črnilom na papir. Na enajstih potresnih opazovalnicah smo opravili posodobitve opreme. Zaradi povečane potresne aktivnosti smo postaviličasne opazovalnice na Šmarjetni gori pri Kranju in v Postojni.

Abstract

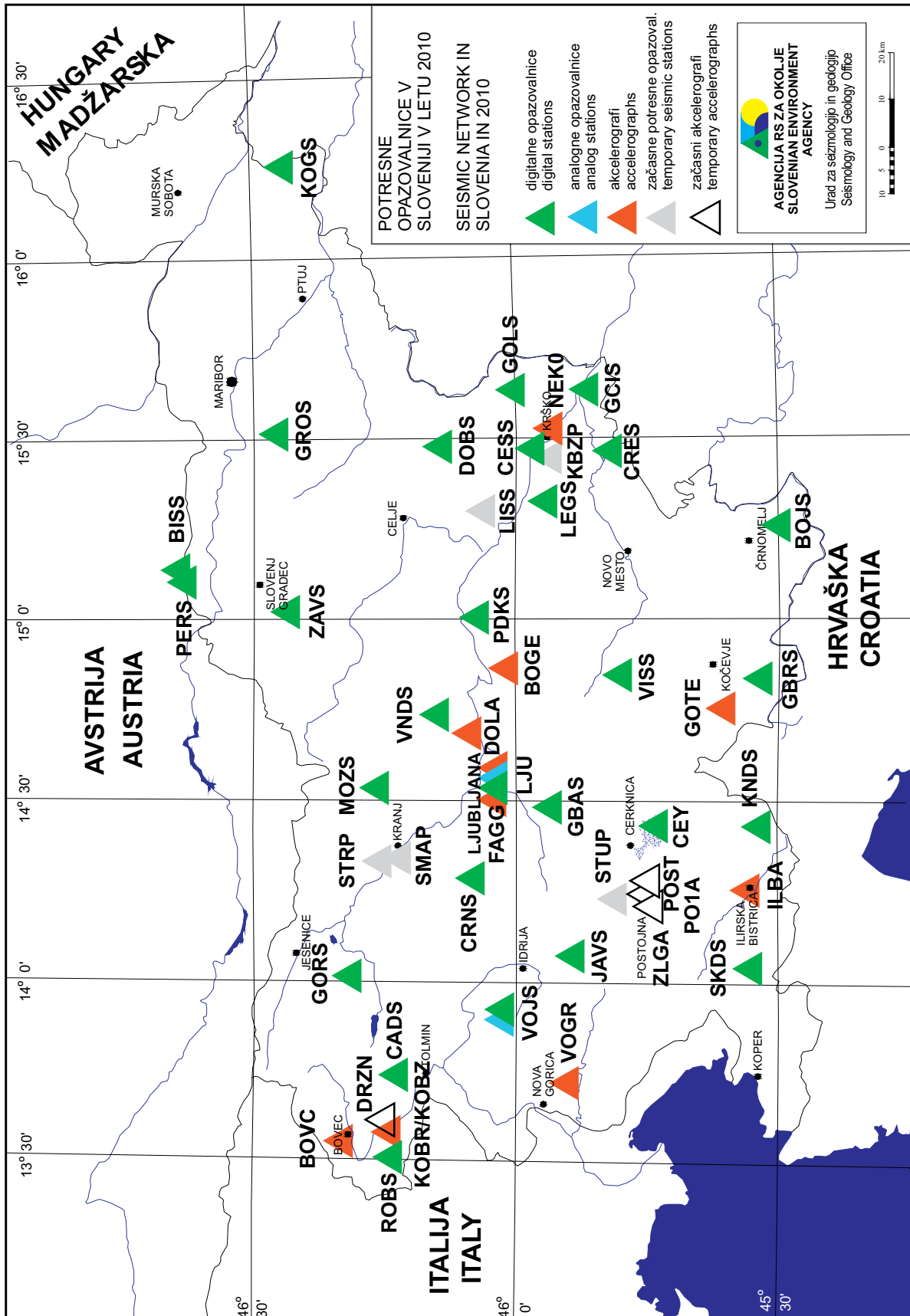
In the year 2010 there are 28 digital seismic stations incorporated in seismic network with real-time continuous data transmission to data centre in Ljubljana. Two stations with the continuous data saving on local memory, five temporary stations and ten stations with accelerometers for monitoring seismic activity on urban areas are operating as well. Analogue seismographs on VOJS and LJU seismic stations are still running. The equipment was upgraded on eleven seismic stations. Temporary seismic stations with digital seismographs or accelerographs were set up in Postojna and Kranj, due to the increase of seismic activity.

Uvod

Slovenska seizmološka služba je bila v svetovnem vrhu že ob koncu 19. stol., v 70-tih letih prejšnjega stoletja in je ponovno tudi danes. Začelo se je po ljubljanskem potresu 14. aprila 1895, ko se je Akademija znanosti na Dunaju odločila, da bo prva potresna opazovalnica v monarhiji postavljena prav v Ljubljani. Ob koncu 19. stoletja je bilo v Evropi le nekaj opazovalnic. Poleg opazovalnice v Potsdamu je bilo še nekaj opazovalnic v Italiji in Angliji (v Rusiji so vzpostavili omrežje opazovalnic leta 1902). Tako je že 18. septembra 1897 v kleti realke na Vegovi ulici v Ljubljani začela delovati prva potresna opazovalnica pod vodstvom pionirja slovenske seizmologije dr. Albina Belarja (Vidrih in Mihelič, 2010).

Leta 1958 je bil zgrajen observatorij na Golovcu nad Ljubljano in v kleti so namestili obnovljeni dvokomponentni vodoravni seizmograf Wiechert in navpični kratkoperiodni seizmograf Stuttgart z galvanometrskim optičnim regulatorjem z zapisom na fotografski papir, ki je naslednje leto začel z rednim beleženjem potresov. Oba instrumenta sta začela redno beležiti potrese junija 1958, najprej poskusno, temu pa je sledilo neprekinjeno zapisovanje potresov, kar traja še danes. Začetek izdajanja rednih seizmoloških biltenov leta 1959 je slovensko seizmologijo ponovno uvrstil med enakopravne članice svetovne seizmologije. Leta 1975 je bila zgrajena potresna opazovalnica CEY v Goričah pri Cerkniskem jezeru. Januarja 1985 je na Slovenskem začela delovati tretja potresna opazovalnica VOY, ki smo jo postavili na Vojskem nad Idrijo (Trnkoczy in Vidrih, 1986). V začetku je bila opremljena z analognim kratkoperiodnim seizmografom z navpično komponento, januarja leta 1991 pa sta bili dodani še vodoravni komponenti. Leta 1986 je bila zgrajena potresna opazovalnica VBY v Bojancih v Beli krajini, ki je bila prav tako opremljena z analognim kratkoperiodnim seizmografom z navpično komponento.

V devetdesetih letih prejšnjega stoletja se je v Sloveniji začela gradnja samostojnih avtomatskih potresnih opazovalnic. Zaradi takratnih tehničnih in tudi finančnih zmožnosti je bila edina možna rešitev za povezavo med potresnimi opazovalnicami in središčem za obdelavo podatkov klicna telefonska linija.



Slika 1: Potresne opazovalnice državne mreže RS in akceleroграфи v Sloveniji leta 2010.

Figure 1: Seismic network and accelerographs in Slovenia in 2010.

Do potresa v Zg. Posočju leta 1998 je na ozemlju Slovenije delovalo sedem opazovalnic, od tega šest opremljenih z digitalnimi seizmografi, komunikacijsko povezanimi med seboj z najetimi linijami prek komunikacijske hrbtenice državnega računalniškega omrežja, z avtomatskim prenosom podatkov in nadzorom delovanja ter nastavitvijo instrumentov z osrednjega računalnika na observatoriju na Golovcu. Sedma opazovalnica je bila opremljena z analognim seizmografom z zapisom s črnilom na papir, seizmogrami pa so se pošiljali v centralo v Ljubljani po pošti.

Po potresu v Zg. Posočju leta 1998 se je zanimanje za seizmologijo povečalo, tako je tudi vlada sprejela sklep o posodobitvi mreže potresnih opazovalnic. Potreba po zaznavanju in lociranju tudi šibkih potresov, ki sicer ne povzročajo škode, vendar veliko povedo o seizmičnih značilnostih posameznih območij, kar pomeni natančnejše poznavanje potresne dejavnosti in nevarnosti v Sloveniji, je narekovala začetek gradnje mreže 25 potresnih opazovalnic. V prvih dveh letih po sprejetju sklepa vlade o posodobitvi mreže so bili kupljeni instrumenti, določena je bila tudi večina lokacij opazovalnic, po pridobitvi potrebne dokumentacije pa se je začela gradnja potresnih opazovalnic. Sedanja državna mreža potresnih opazovalnic s 26-timi opazovalnicami in rezervnim središčem za obdelavo podatkov na Golovcu zadostuje za preliminarno obveščanje javnosti in omogoča natančno opazovanje seizmičnosti Slovenije (slika 1). Glavna naloga izboljšane mreže potresnih opazovalnic je hitro in natančno samodejno lociranje potresov, določanje potresnih parametrov, samodejno alarmiranje in obsežnejše zbiranje podatkov o potresih. Prebivalci Slovenije lahko v nekaj minutah po potresu vidijo njegove osnovne podatke na spletnih straneh Agencije RS za okolje (Vidrih in drugi, 2009).

Analogne potresne opazovalnice

Urad za seizmologijo in geologijo na dveh opazovalnicah uporablja analogne seizmografe za beleženje potresov (preglednica 1). Analogni seizmograf sestavljajo seizmometer, seizmografski ojačevalnik z ustreznimi filtri in pisar z zapisom s črnilom na navaden papir. Slabost analognih seizmografov je majhno dinamično območje (40 – 45 dB) in majhna občutljivost. Šibkih potresov zaradi majhne občutljivosti ni možno analizirati, močni potresi pa prekrmlijo inštrument in je zapis potresa zato manj uporaben. Druga, še večja pomanjkljivost analognih sistemov je, da onemogočajo digitalno obdelavo seizmičnih podatkov. Analogni seizmografi so leta 2010 delovali na potresnih opazovalnicah na observatoriju na Golovcu v Ljubljani (LJU) in na Vojskem (VOY).

Preglednica 1. Analogni potresni opazovalnici v Sloveniji.

Table 1. *Analogue seismic stations in Slovenia.*

opaz. station	ozn. code	zem. šir. latitude °N	zem. dolž. longitude °E	n. viš. elev. [m]	geološka podlaga local geology	seizmometer seismometer	pisač recorder	začetek/konec delovanja start/stop time
Ljubljana	LJU	46,0438	14,5277	396	karbonski peščenjak sandstone	kratkoperiodni Willmore MkII 3 komp./comp.	ojačevalnik SO-01 pisač/ recorder Günter-Volk (črnilo/ ink)	01. 01. 1974 še deluje/ operating
Vojsko	VOY	46,0316	13,8882	1073	zgoranjtriasni dolomit dolomite	kratkoperiodni shortperiod Willmore MkII 3 komp./comp.	ojačevalnik SO-03 pisač/ recorder VR-2 (črnilo/ ink)	28. 11. 1984/ še deluje/ operating

Digitalne potresne opazovalnice

Nova državna mreža 26 digitalnih potresnih opazovalnic je opremljena s sodobnejšo seizmološko opremo, ki je v grobem sestavljena iz seizmometra in zajemalne enote. Na potresnih opazovalnicah so nameščeni seizmometri različnih tipov (CMG-40T, CMG-3ESPC, CMG-3T in STS-2), ki omogočajo zajemanje širokega frekvenčnega območja seizmičnih signalov (odvisno od tipa seizmometra). Dinamično območje seizmičnih signalov, ki jih je možno zabeležiti, je prav tako

Preglednica 2. Digitalne potresne opazovalnice v Sloveniji v letu 2010.**Table 2.** Digital seismic stations in Slovenia in 2010.

opaz. station	ozn. code	zem. šir.	zem. dol.	n. viš. elev. [m]	geološka podlaga local geology	seizmometer seismometer	zajemalna naprava acquisition unit	začetek delovanja start time
		latitude °N	longitude °E					
Ljubljana	LJU	46,04381	14,52776	396	karbonski peščenjaki sandstone	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	RD3-1639	22. 05. 1996
						širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. STS-2 akcelerometer/ accelerometer 3-komp./ comp. EpiSensor	Q 730	30. 03. 2001
Bojanci	BOJS	45,50435	15,25178	252	kredni apnec limestone	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. STS-2 akcelerometer/ accelerometer 3-komp./ comp. EpiSensor	Q 730	17. 02. 2004
Branik nad Muto	BISS	46,64794	15,12703	490	metamorfne kamnine metamorphic rocks	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	RD3-1639	28. 08. 1996
Dobrina	DOBS	46,14942	15,46943	427	spodnjetriasni laporji marl	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	HRD24-2432	29. 09. 2006
						širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	Q 730	07. 04. 2001
Cerknica (Goričice)	CEY	45,73814	14,42214	579	apnec limestone	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	RD3-1639	14. 01. 1997
						širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-3ESPC	Q 730	30. 03. 2001
Cesta	CESS	45,97325	15,46317	372	dolomit dolomite	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	HRD24-2432	04. 09. 1997
Goliše	GOLS	46,01074	15,62451	559	masiven dolomit massive dolomite	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T BH	Q 730	26. 02. 2002
Črešnjevce	CRES	45,82598	15,45686	430	dolomit dolomite	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. STS-2	Q730	07. 03. 2002
Legarje	LEGS	45,94880	15,31771	390	sivi dolomit dolomite	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40TBH	Q 730	02. 09. 2002
Podkum	PDKS	46,06118	14,99766	702	dolomit dolomite	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40TBH	Q 730	11. 11. 2002
Robič	ROBS	46,24448	13,50941	257	apnec limestone	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	Q 730	20. 11. 2002
Pernice	PERS	46,63595	15,11666	795	blestnik schist	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-3ESPC	Q 730	11. 12. 2002
Grobnik	GROS	46,46100	15,50177	930	tonalit tonalite	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	Q 730	12. 12. 2002
Čadrg	CADS	46,22808	13,73677	752	kredni apnenci limestone	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	Q 730	10. 07. 2003
Gornji Cirknik	GCIS	45,86720	15,62750	390	dolomit dolomite	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-3ESPC	Q 730	11. 08. 2003
Višnje	VISS	45,80329	14,83929	403	siv apnec limestone	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-3ESPC	Q 730	14. 08. 2003
Javornik	JAVS	45,89342	14,06429	1121	zgornje triasni dolomit dolomite	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-3ESPC	Q 730	21. 08. 2003
Knežji dol	KNDS	45,52781	14,38058	1034	zgornje jurski apnec limestone	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	Q 730	14. 10. 2003
Kog	KOGS	46,44816	16,25034	246	glina clay	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-3ESPC akcelerometer/ accelerometer 3-komp./ comp. EpiSensor	Q 730	22. 01. 2004
Gorjuše	GORS	46,31745	13,99977	1049	ploščasti apnec z roženci platy limestone with chert	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-3ESPC akcelerometer/ accelerometer 3-komp./ comp. EpiSensor	Q 730	17. 05. 2004
Vojsko	VOJS	46,03212	13,88778	1071	zgornjetriasni dolomit dolomite	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-3ESPC	Q 730	30. 07. 2004

opaz. station	ozn. code	zem. šir.	zem. dol.	n. viš. elev. [m]	geološka podlaga local geology	seizmometer seismometer	zajemalna naprava acquisition unit	začetek delovanja start time
		latitude \circ N	longitude \circ E					
Zavodnje	ZAVS	46,43414	15,02456	749	granodiorit granodiorite	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	Q 730	07. 09. 2004
Možjanca	MOZS	46,29416	14,44322	687	ploščasti apnenec platy limestone	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-3ESPC	Q 730	07. 07. 2005
Črni Vrh	CRNS	46,08069	14,26144	706	sp.triasni sivi dolomit dolomite	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-3ESPC	Q 730	16. 12. 2005
Vrh pri Dolskem	VNDS	46,10154	14,70141	521	kremenov peščenjak quartz sandstone	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG 3ESPBH	Q 730	18. 01. 2006
Skadanščina	SKDS	45,54654	14,01279	558	ploščati apnenec platy limestone	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. STS-2 akcel./ accelerometer 3-komp./ comp. EpiSensor	Q730	12. 04. 2006
Gornja Briga	GBRS	45,53113	14,81010	611	zgorjetriasni dolomit dolomite	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	Q730	13. 04. 2007
Gorenja Brezovica	GBAS	45,93474	14,44223	507	zgorjetriasni dolomit dolomite	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-3ESPC	Q730	27. 05. 2008

odvisno od tipa seizmometra in znaša vse do 140 dB. Na petih potresnih opazovalnicah je poleg seizmometra nameščen tudi pospeškometer (namenjen je merjenju močnejših potresov), s čimer se dinamično območje potresne opazovalnice še poveča. Vsi naštetih seizmološki instrumenti nudijo izhodni signal analogne oblike, ki je sorazmeren hitrosti oziroma pospešku podlage. Za pretvorbo omenjenega signala v digitalno obliko skrbi zajemalna enota Quanterra Q730, ki je enotno nameščena na celotni novi državni mreži potresnih opazovalnic. Zajemalna enota v idealnih pogojih nudi dinamično območje vse do 142 dB, kar omogoča polno zajemanje podatkov tudi iz najboljših seizmometrov. Poleg digitalne pretvorbe zajetih podatkov pa zajemalna enota skrbi tudi za opremljanje podatkov z točnim časom ter za njihov transport v realnem času v središče za obdelavo. Bistvena značilnost novejših digitalnih potresnih opazovalnic je torej večje frekvenčno in dinamično območje zajetih seizmičnih podatkov ter možnost njihove digitalne obdelave v realnem času.

Leta 2001 smo začeli v okviru projekta posodobitve državne mreže potresnih opazovalnic s posodabljanjem starih in z gradnjo novih opazovalnic. Osnovni namen posodobitve je vzpostavitev takega državnega potresnega opazovalnega omrežja, ki omogoča za vse potrese na območju Slovenije obveščanje o osnovnih parametrih z ustrezno natančnostjo in zanesljivostjo v realnem času in temelji na samodejni obdelavi podatkov in na samodejnem posredovanju podatkov ustreznim službam. Posodobljena mreža omogoča čim natančnejše opredeljevanje osnovnih potresnih parametrov (predvsem koordinat nadžarišča, globine ter velikosti in obsega potresa) na podlagi globinskega geofizikalnega modela ozemlja Slovenije, ki ga bo mogoče izdelati na podlagi potresnih zapisov državne mreže potresnih opazovalnic. Zapisi potresov mreže potresnih opazovalnic omogočajo zanesljivejšo ocenjevanje seizmotektonskih razmer na ozemlju Slovenije in boljše državno karto potresne nevarnosti za potrebe potresno odporne gradnje.

V Ljubljani smo vzpostavili novo središče za zajem in analizo podatkov. V opazovalnice v Ljubljani, Goričicah, Dobrini in v jedrsko elektrarno v Krškem smo namestili nove digitalne seizmografe. Z gradnjo smo začeli najprej na območju Krškega, nato pa tudi drugod po Sloveniji, tako da smo leta 2002 vključili v omrežje sedem opazovalnic: Goliše (GOLS), Črešnjevce (CRES) in Legarje (LEGS) na širšem območju Krškega, Podkum (PDKS) na Dolenjskem, Grobnik (GROS) na Pohorju, Pernice (PERS) na Kobanskem in Robič (ROBS) v Zgornjem Posočju (Vidrih in drugi, 2002).

V letu 2003 so bile v mrežo potresnih opazovalnic vključene opazovalnice v Čadrgu (CADS) nad Tolminom, v Višnjah (VISS) v Suhi krajini, v Gornjem Cirkniku (GCIS) na Gorjancih, na Knežjem dolu (KNDS) v snežniškem pogorju in na Javorniku (JAVS) nad Črnim vrhom nad Idrijo. V letu 2004 smo v neposredni bližini že delujočih opazovalnic v Bojancih (VBY) in na Vojskem

(VOY) zgradili novi opazovalnici in vanje namestili novo merilno opremo. Opazovalnici sta dobili tudi novi oznaki: BOJS za Bojance in VOJS za Vojsko. Poleg posodobitve teh dveh opazovalnic so bile po istem projektu zgrajene še tri nove: na Kogu (KOGS) v vzhodnem delu Slovenskih goric, v Gorjušah (GORS) na Pokljuki in v Zavodnjah (ZAVS) nad Šaleško dolino. V letu 2005 sta bili dokončani opazovalnici na Možjanci (MOZS) in na Črnem Vrhju (CRNS) nad Polhovim Gradcem, v prvi polovici leta 2006 pa še opazovalnici Vrh pri Dolskem (VNDS) in Skadanščina (SKDS). Leta 2007 je bila v omrežje vključena opazovalnica Gornja Briga (GBRS) na Kočevskem in leta 2008 še zadnja opazovalnica Gorenja Brezovica (GBAS) ob vznožju Krima.

Na vseh opazovalnicah razen na Robiču, v Goričicah, Dobrini in Ljubljani je oprema, ki jo sestavljajo senzor, zajemalna enota, komunikacijska oprema za neprekinjen prenos podatkov v središče za obdelavo podatkov in brezprekinitveno napajanje, nameščena v dveh jaških. V seizmičnem jašku sta nameščena trikomponentni širokopasovni seizmometer in zajemalna enota. V pomožnem jašku je nameščena komunikacijska oprema za vključitev opazovalnice v državno računalniško omrežje, brezprekinitveno napajanje, ki omogoča večurno delovanje potresne opazovalnice ob izpadu omrežne napetosti, ter priključek na omrežno napetost 230 V in priključek na najeto linijo za prenos podatkov. Prenos podatkov v središče za obdelavo poteka v realnem času. V zračniku je skrita antena sprejemnika točnega časa GPS.

Na opazovalnicah Legarje, Goliše, Zavodnje (do avgusta 2008), Podkum in od avgusta 2009 tudi Vrh pri Dolskem je seizmometer nameščen v vrtino. Ker je na seizmometru na opazovalnici v Zavodnjah prišlo do okvare, smo ga nadomestili s senzorjem na prostem površju, ki je postavljen na betonskem stebričku v seizmičnem jašku. Na potresni opazovalnici Robič je vsa oprema nameščena v skalni votlini, v Ljubljani pa v kleti observatorija na Golovcu. Podatki o vseh digitalnih potresnih opazovalnicah v Sloveniji v letu 2010 so zbrani v preglednici 2.

Prenos podatkov z opazovalnic v središče za obdelavo poteka po računalniškem omrežju državne uprave RS. Odvisno od oddaljenosti opazovalnic od komunikacijskega omrežja uporabljamo pa različne vrste prenosnih poti. Za del opazovalnic uporabljamo ADSL, za drugega uporabljamo najete linije, s štirih opazovalnic pa poteka prenos podatkov po GSM omrežju.

Razvoj računalniških komunikacij je v zadnjem času omogočil tudi nastanek tako imenovanih navideznih mrež potresnih opazovalnic. Tako v Sloveniji v središču za obdelavo podatke združujemo podatke slovenske državne mreže s podatki nekaterih opazovalnic iz sosednjih držav (Avstrije, Hrvaške, Slovaške, Češke, Bosne in Hercegovine, Črne Gore, Republike Srbije, Romunije, Bolgarije, Italije in Madžarske). Posamezno opazovalnico v navidezni mreži opazovalnic in na njej nameščeno opremo vzdržuje lokalna institucija, vendar so podatki dosegljivi vsem zainteresiranim. Tudi naši podatki so na voljo vsem zainteresiranim institucijam v tujini. Prednost navideznih mrež je v tem, da so opazovalnice in oprema vzdrževane lokalno, podatki pa dostopni globalno. Uporabnikom navideznih mrež je na voljo možnost, da za določen namen od vseh ponujenih zapisov v svojo konfiguracijo vključijo le najbolj primerne (Živčič in drugi, 2005; Živčič in drugi, 2006).

V letu 2010 smo nadaljevali z zamenjavo težkih železnih pokrovov jaškov z lažjimi aluminijastimi. Z novo konstrukcijo pokrovov smo tudi dvignili nivo jaškov nad zemljišče in z boljšim tesnjenjem preprečili dostop živalim.

Poleg izboljšav objektov smo nadaljevali z leta 2008 začeto nadgradnjo seizmometrov (Tasič in Mali, 2009). Model CMG-40T je proizvajalec Güralp nadgradil v širokopasovni seizmometer CMG-3ESPC s hitrostnim odzivom v območju period od 0,2 s do 120 s. Nove seizmometre smo namestili na potresnih opazovalnicah z manjšim lokalnim nemirom v dolgovalovnem območju seizmičnih valov (preglednica 2). Leta 2009 smo seizmometre tipa CMG-40T zamenjali na opazovalnici PERS s seizmometrom tipa CMG-3 ESPC, na VNDS s seizmometrom tipa CMG-3 ESPBH in na opazovalnici CRES s seizmometrom tipa STS-2. Leta 2010 pa smo na opazovalnicah JAVS, GCIS in CRNS seizmometre tipa CMG-40T zamenjali s seizmometri tipa CMG-3 ESPC.

Nadaljevali smo z nadgradnjo brezprekinitvenega napajanja. Posodobljeni napajalni sistem je sestavljen iz dveh akumulatorjev kapacitete 90 Ah, akumulatorskega polnilnika in razsmernika. Napajanje seuzmometra je dodatno stabilizirano še z nizko-pasovnim filtrom (Mali in drugi, 2008). Nove napajalnike smo namestili na opazovalnicah BOJS, CEY, CRES, GBAS, GBRS, GROS, LEGS, PERS, SKDS in VNDS v letu 2009 in na opazovalnicah CRNS, GCIS, JAVS, KOGS, MOZS, VISS, in VOJS v letu 2010.

Na potresnih opazovalnicah GORS, JAVS, KNDS, KOGS, MOZS, PDKS, SKDS, VISS, VNDS, VOJS in ZAVS smo namestili dodatno pomnilniško enoto, ki je zasnovana na industrijskem računalniku JetBox 8100 in preprečuje izgubo podatkov v primeru daljše prekinitve komunikacijskih poti. V letu 2010 je bilo že 13 opazovalnic opremljenih s to dodatno pomnilniško enoto.

Začasne potresne opazovalnice

Že več let imamo začasno postavljene instrumente v Brezjah pri Senušah (KBZP) in v meteorološki postaji na Lisci (LISS). Čeprav instrumenti na omenjenih lokacijah delujejo že vrsto let, uporabljamo lokaciji začasno, ker le ti zaradi visoke stopnje civilizacijskega nemira nista najbolj primerni za spremljanje potresne dejavnosti. V letu 2010 smo po močnejšem potresu 15. januarja začasno postavili nekaj opazovalnic v Postojni in okolici ter zaradi potresa pri Naklem meseca marca v okolici Kranja. Začasne opazovalnice z akcelerometri so podane v preglednici 3.

Preglednica 3. Začasne potresne opazovalnice v letu 2010.

Table 3. Temporary seismic stations in 2010.

opaz. station	ozn. code	zem. šir. latitude °N	zem. dol. longitude °E	n. viš. elev. [m]	senzor sensor	zajemalna naprava acquisition unit	začetek delovanja start time	konec delovanja stop time
Brezje pri Senušah	KBZP	45,9334	15,4334	208	3-komp. širokopasovni 3-comp. broadband CMG 40T	PR-6	14. 03. 2005	konec 2010 še deluje end of 2010 operational
Lisca	LISS	46,0673	15,2906	948	3-komp. širokopasovni 3-comp. broadband CMG 40T	Q 730	07. 02. 2002	konec 2010 še deluje end of 2010 operational
Studeno	STUP	45,8216	14,1740	565	3-komp. 3-comp. LE-3D/5s akcelerometer/accelerometer 3-komp./ 3-comp. EpiSensor	PR-6	15. 1. 2010	20. 3. 2010
Strahinj	STRP	46,2830	14,3090	421	3-komp. širokopasovni 3-comp. broadband CMG 40T akcelerometer/accelerometer 3-komp./ 3-comp. EpiSensor	PR-6	16. 2. 2010	7. 4. 2010
Šmarjet. gora	SMAP	46,2429	14,3353	610	3-komp. širokopasovni 3-comp. broadband CMG 40T	PR-6	5. 3. 2010	konec 2010 še deluje end of 2010 operational

Opazovalnice za beleženje močnih potresov

V letu 2010 je v okviru mreže potresnih opazovalnic za beleženje močnih potresov skupno delovalo sedemnajst opazovalnic. Dvanajst opazovalnic je bilo opremljenih z inštrumentom Etna, ena z inštrumentom K2, štiri pa so delovale v okviru državne mreže potresnih opazovalnic RS.

Leta 2010 je vse leto delovalo osem potresnih opazovalnic, opremljenih z inštrumentom Etna, in sicer Bogenšperk, Bovec, Drežnica, FGG (Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo v Ljubljani), Gotenica, Ilirska Bistrica, Kobarid in Krško. Opazovalnica Vogršček, opremljena z inštrumentom K2, je prav tako delovala vse leto. Opazovalnice se nahajajo na istih krajih kot prejšnja leta (Prosen, 2006). Opazovalnica v Gotenici je 22. 7. 2010 namesto klasične telefonske povezave dobila povezavo GSM. V Dolskem je 1. 7. 2010 prišlo do okvare instrumenta. Opazovalnica zato do

konca leta ni delovala. V sklopu državne mreže potresnih opazovalnic so opazovalnice za močne potrese delovale še v Ljubljani, na Gorjušah, Skadanščini in Kogu. Te delujejo v neprekinjenem načinu, so del državne mreže potresnih opazovalnic in so zato vpisane v preglednico 2. Poleg stalnih opazovalnic sta v letu 2010 delovali tudi dve začasni opazovalnici. Postavljeni sta bili po nizu potresov pri Postojni v začetku leta 2010 (Živčič in drugi, 2011). Večina potresov je bila šibkih, nekaj pa zmernih, ki so jih okoliški prebivalci čutili.

Opazovalnica v Postojni (POST) v kleti Inštituta za raziskovanje krasi na Titovem trgu 2 je bila postavljena 13. 1. 2010 in odstranjena 3. 9. 2010. V času svojega delovanja je zabeležila 33 potresov.

Opazovalnica v Zalogu (ZLGA) pri Postojni je bila 19. 1. 2010 postavljena v klet garaže zasebne hiše. Odstranjena je bila 18. 3. 2010. V času svojega delovanja ni zabeležila nobenega potresa.

Podatki o času delovanja posameznih opazovalnic, njihovih oznakah, serijskih številkah in številu zabeleženih potresov so zbrani v preglednici 4.

Skupno so samostojne opazovalnice za beleženje močnih potresov, opremljene z inštrumenti Etna oz. K2, v letu 2010 zabeležile več kot 4000 dogodkov (všteti so tudi testi preverjanja delovanja inštrumentov). Te opazovalnice namreč delujejo v proženem načinu in zapisujejo le dogodke, ki imajo največje pospeške nad vnaprej določeno mejo. Število potresov, zabeleženih na posamezni samostojni opazovalnici, pa je v preglednici 4.

Preglednica 4. Samostojne opazovalnice za beleženje močnih potresov v letu 2010.

Table 4. Freestanding strong motion stations in 2010.

opaz. station	ozn. code	zem. šir. latitude	zem. dol. longitude	n. viš. elev. [m]	senzor sensor type	zajemalna naprava acquisition unit	ser. številka serial number	merilni obseg full scale range	čas delovanja operational time	št. zab. potresov No. of reg. events
		°N	°E							
Bogenšperk	BOGE	46,0237	14,8572	422	FBA-23	Etna	1245	1 g	01.01.-31.12.	3
Bovec	BOVC	46,3382	13,5543	455	FBA-23	Etna	1476	4 g	01.01.-31.12.	1
Dolsko	DOLA	46,0938	14,6781	265	FBA-23	Etna	6596	1 g	18.06.-31.12.	0
Drežnica	DRZN	46,2586	13,6126	544	EpiSensor	Etna	2134	2 g	01.01.-31.12.	7
Gotenica	GOTE	45,6095	14,7464	670	FBA-23	Etna	1246	1 g	01.01.-31.12.	5
Ilirska Bistrica	ILBA	45,5638	14,2445	404	FBA-23	Etna	810	1g	11.12.-31.12.	0
Kobarid	KOBZ	46,2450	13,5818	240	EpiSensor	Etna	2133	4 g	01.01.-31.12.	3
Krško (NEK)	NEK0	45,9391	15,5185	156	FBA-23	Etna	1334	2 g	01.01.-31.12.	1
Lju - FGG	FAGG	46,0459	14,4944	295	FBA-23	Etna	6597	1 g	11.06.-31.12.	0
Vogršček	VOGR	45,9057	13,7258	106	EpiSensor	K2	2228	1 g	01.01.-31.12.	4
Postojna	POST	45,7755	14,2128	553	FBA-23	Etna	811	1 g	13.01.-03.09.	33
Postojna1	PO1A	45,7733	14,2154	545	FBA-23	Etna	1477	4 g	15.01.-19.01.	0
Zalog	ZLGA	45,7657	14,1928	532	FBA-23	Etna	1477	4 g	19.01.-18.03.	0

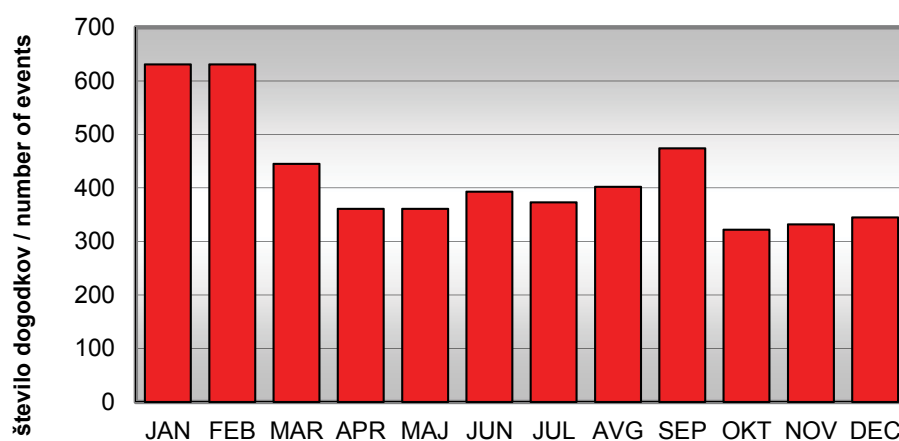
Število zabeleženih potresnih dogodkov

Vse potresne opazovalnice so v letu 2010 zabeležile 4054 potresov (sliki 2 in 3), od tega 2595 lokalnih potresov, 580 bližnjih in 879 oddaljenih (ARSO, 2010). Seizmografi so zapisali tudi 1016 umetnih potresov (preglednica 5).

Preglednica 5. Potresi v letu 2010, zabeleženi na slovenskih potresnih opazovalnicah.

Table 5. Earthquakes in 2010 recorded at Slovenian earthquake stations.

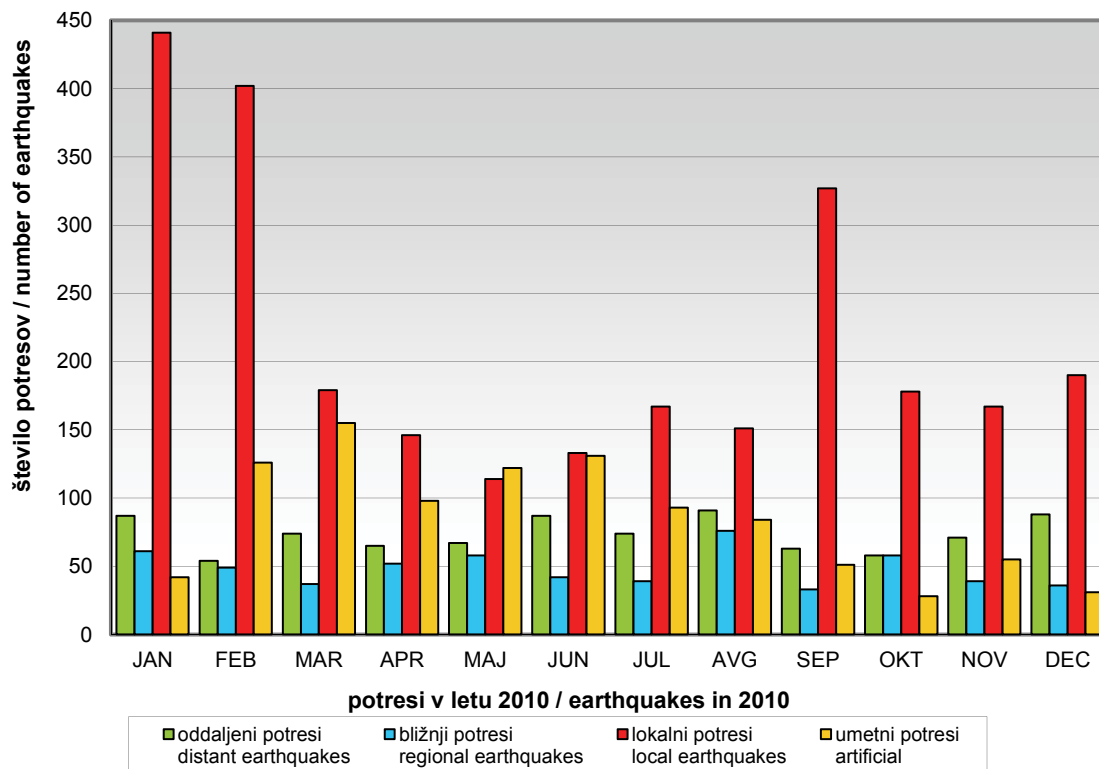
mesec	oddaljeni potresi	regionalni potresi	lokalni potresi	umetni potresi	potresi	dogodki
month	distant earthquakes	regional earthquakes	local earthquakes	artificial	earthquakes	events
januar January	87	61	441	42	589	631
februar February	54	49	402	126	505	631
marec March	74	37	179	155	290	445
april April	65	52	146	98	263	361
maj May	67	58	114	122	239	361
junij June	87	42	133	131	262	393
julij July	74	39	167	93	280	373
avgust August	91	76	151	84	318	402
september September	63	33	327	51	423	474
oktober October	58	58	178	28	294	322
november November	71	39	167	55	277	332
december December	88	36	190	31	314	345
skupaj Total	879	580	2595	1016	4054	5070
legenda Legend	Legenda: Oddaljeni potresi / Distant earthquakes $\Delta > 10^\circ$ (> 1.100 km) Regionalni potresi / Regional earthquakes $1,5^\circ < \Delta < 10^\circ$ (< 1.100 km) Lokalni potresi / Local earthquakes $\Delta \leq 1,5^\circ$ (≤ 160 km) Δ oddaljenost v kotnih stopinjah					



potresi v letu 2010 / earthquakes in 2010

Slika 2: Skupno število potresnih dogodkov po mesecih leta 2010.

Figure 2: Monthly distribution of all earthquakes in 2010.



Slika 3: Število naravnih in umetnih potresov po mesecih.

Figure 3: Monthly distribution of earthquakes and artificial events.

Literatura

- Agencija Republike Slovenije za Okolje, 2010. Baza podatkov za potrese na ozemlju Slovenije leta 2010. Arhiv ARSO, Ljubljana.
- Mali, M., Tasič, I., Pančur, L., 2008. Vpliv brezprekinitvenega napajanja na delovanje potresne opazovalnice. Potresi v letu 2007 (ur. R. Vidrih), ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 54-59.
- Prosen, T., 2006. Akcelerografi slovenske mreže potresnih opazovalnic. Potresi v letu 2004 (ur. R. Vidrih), ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 185-188.
- Tasič, I., Mali, M., 2009. Seizmometer CMG-3ESPC. Potresi v letu 2008 (ur. R. Vidrih), ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 38-42.
- Vidrih, R., Sinčič, P., Gostinčar, M., 2009. 50 let moderne seizmologije na Slovenskem. Življenje in tehnika LX, 63-65.
- Vidrih, R., Mihelič, J., A., 2010. Albin Belar, pozabljen slovenski naravoslovec. Didakta, 224 str., Radovljica.
- Trnkoczy, A., Vidrih, R., 1986. Seizmološka stanica Vojsko (VOY) u SR Sloveniji. Acta seismologica Iugoslavica 12, 17-34.
- Živčič, M., Kopal, M., Kolar, J., Pahor, J., 2005. Performance of the New Seismic Network of the Republic of Slovenia - First Results, NATO Advanced Research Workshop: Earthquake Monitoring and Seismic Hazard Mitigation in Balkan Countries, Borovetz, Bulgaria, 11-17 September 2005.
- Živčič, M., Bragato P.L., Costa, G., Horn, N., 2006. Seismic Network of the Republic of Slovenia and Transnational Seismological Networks in the South-eastern Alps, Gulf Seismic Forum 2006, Muscat, Oman, 19-22 February 2006.
- Živčič, M., Čarman, M., Ložar Stopar, M., 2011. Potres 15. januarja 2010 pri Postojni. Potresi v letu 2010 (ur. A. Gosar), ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 79-89.

Tamara Jesenko, Ina Cecić, Mladen Živčić, Martina Čarman

POTRESI V SLOVENIJI LETA 2010 EARTHQUAKES IN SLOVENIA IN 2010

Povzetek

Leta 2010 je bila potresna dejavnost v Sloveniji glede na leto 2009 povečana. Prebivalci so čutili več kot 85 potresnih sunkov, osem jih je doseglo največjo intenziteto V EMS-98. Potres z največjo magnitudo se je zgodil 15. januarja ob 14. uri 20 minut po univerzalnem koordiniranem času (UTC) oziroma ob 15. uri in 20 minut po srednjeevropskem času (SEČ) z žariščem pri Postojni. Njegova lokalna magnituda je bila ocenjena s 3,7 (ARSO, 2010-2011), največji učinki pa z intenziteto V EMS-98. Štiriindvajsetega februarja se je ob 5. uri in 21 minut po UTC (6. uri in 21 minut po SEČ) močnejše (lokalna magnituda $M_{LV}=3,2$) zatreslo pri Dragomelju, 15. septembra pa dvakrat, ob 2:21 in 2:23 po UTC (4:21 in 4:23 po srednjeevropskem poletnem času (SEPC)), z lokalno magnitudo 3,5 pri Koritnicah.

Abstract

Earthquake activity was increased in 2010 in comparison with year 2009. The inhabitants felt more than 85 earthquakes; the maximum intensity of the eight strongest earthquakes was V EMS-98. The earthquake with the largest magnitude happened on 15 January at 14:20 UTC (15:20 Central European time / CET) with hypocentre near Postojna. Its local magnitude was 3.7 (ARSO, 2010-2011) and the maximum intensity V EMS-98. On 24 February at 5:21 UTC (6:21 CET) a moderate earthquake with local magnitude 3.2 took place near Dragomelj. On 15 September the area near Koritnice was shaken twice, at 2:21 and 2:23 UTC (4:21 and 4:23 Central European Summer time / CEST). Local magnitude of both events was 3.5.

Uvod

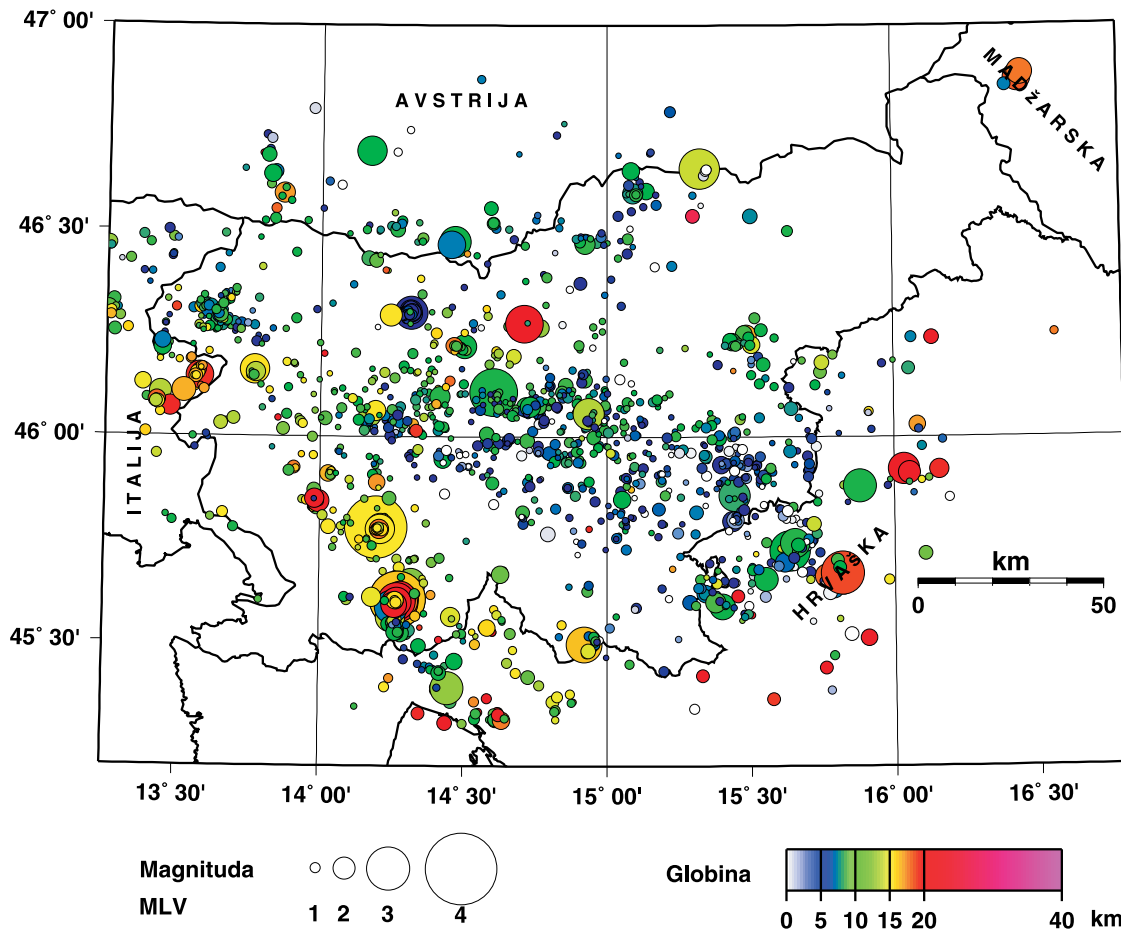
Potresna dejavnost je bila v Sloveniji leta 2010 glede na leto prej povečana (ARSO, 2010-2011).

V Sloveniji je leta 2010 dosegel največje potresne učinke potres, ki se je v bližini Postojne zgodil 15. januarja ob 14. uri 20 minut po svetovnem koordiniranem času (UTC) oziroma ob 15. uri 20 minut po srednjeevropskem času. Njegova lokalna magnituda je bila 3,7, največja intenziteta pa V EMS-98 v Postojni. Kratica EMS-98 je okrajšava za različico evropske potresne lestvice iz leta 1998 (Grünthal, 1998a, 1998b), rimska številka pred njo pa pove stopnjo intenzitete, tako lahko niz 'IV-V EMS-98' preberemo 'od četrte do pete stopnje po evropski potresni lestvici (Cecić, 2011).

Po januarskih potresih pri Postojni, na Gorjancih in v Metliki se je februarja nadaljevala povečana potresna dejavnost pri Postojni. Februarja se je začela tudi povečana dejavnost na Gorenjskem. Prebivalci so čutili tudi potres pod Krimom, dvakrat pri Tolminu, ob koncu meseca so se vrstili potresi na območjih krajev Raka, Dragomelj, Ivančna Gorica in Kostanjevica na Krki. Marca so bili trije potresi, pri Naklem, Svetem Vidu in Koritnicah. Aprila in junija ni bilo potresov, ki bi jih prebivalci čutili. Maja so tresenje tal čutili v okolici Drežniških Raven in na južnem robu Ljubljanskega barja. Julija so prebivalci Slovenije čutili tri potrese, dva pri Kostanjevici na Krki in enega pri Breznem Vrhu. Avgust je minil brez potresov, zato pa je bila septembra dejavnost zelo pestra. Treslo se je pri Ilirski Bistrici, kjer so prebivalci v enem dnevu čutili najmanj 14 potresov. Prebivalci vasi pod Krimom so šibke lokalne dogodke čutili trikrat. Oktobra se je poleg omenjenih dveh območij zatresel še Zidani Most. Novembra so prebivalci čutili potrese na Barju, pri Kamniku, Litiji, Ljubljani in na ilirskobistriškem območju. Decembra je bilo čutiti učinke potresa v zaledju Reke (Hrvaška), pri Pivki in v Dobropoljski dolini.

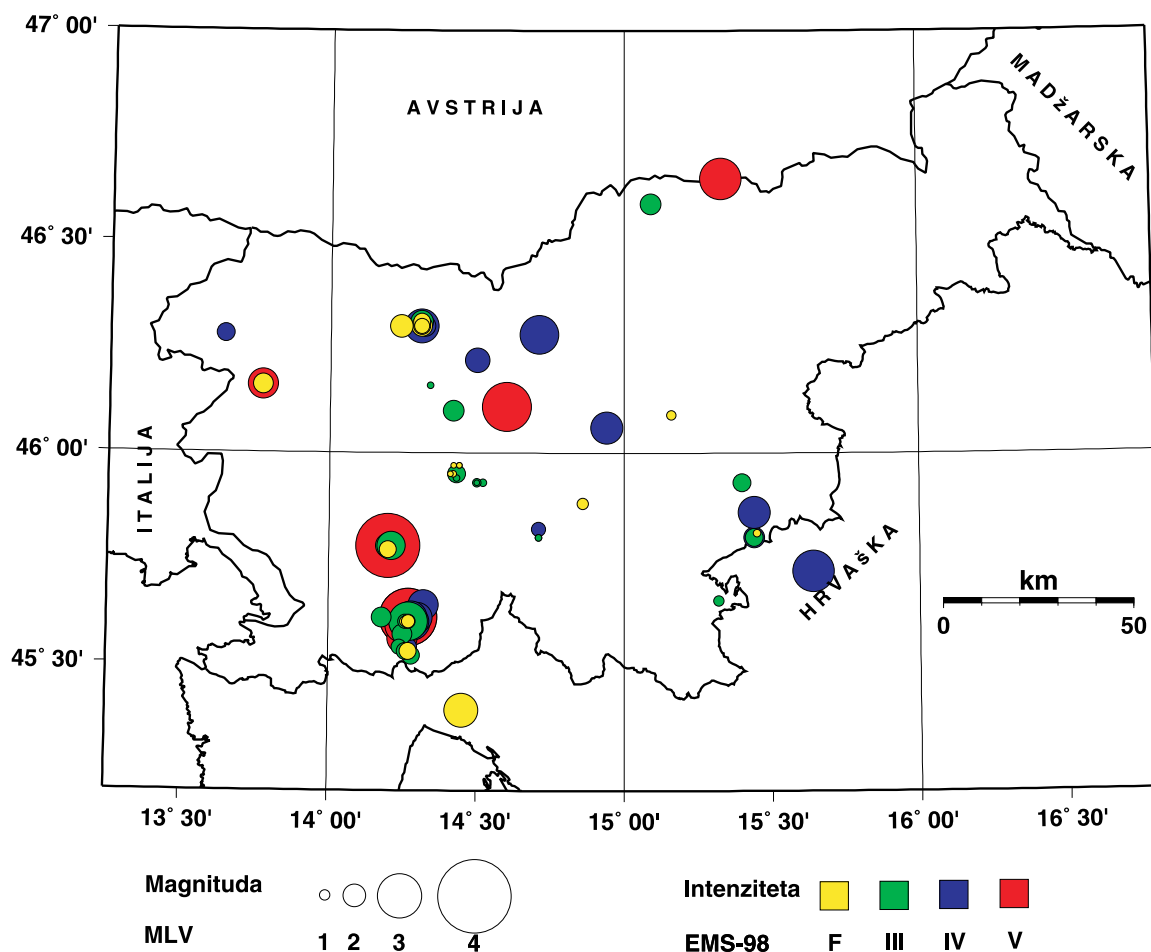
V preglednici 1 so osnovni podatki 172 lokalnih potresov z opredeljeno lokalno magnitudo večjo ali enako 1,5 ter 30 šibkejših potresov, ki so jih prebivalci Slovenije čutili. Za vsak potres posebej smo navedli datum, žariščni čas (h:m:s UTC), koordinati nadžarišča (z. šir. °N, z. dolž. °E), žariščno globino (h km), povprečno vrednost lokalne magnitude (M_{LV}), največjo intenziteto (I_{max} EMS-98), ki jo je potres dosegel v Sloveniji, število opazovalnic (nst), ki so prispevale podatke, in celotno napako (kvadratni koren srednje kvadratne napake, RMS, v sekundah) pri izračunu žariščnega časa. V stolpcu Potresno območje je za večino nadžarišč v Sloveniji ime naselja, ki je najbližje nadžarišču in je navedeno v seznamu naselij Geodetske uprave RS (RGU, 1995). Če podatki niso zadoščali za nedvoumno določitev intenzitete, smo potresu pripisali razpon mogočih vrednosti (npr. IV-V). Z besedo zvok so označeni tisti potresi, pri katerih so prebivalci Slovenije poročali le o zvoku, niso pa čutili tresenja tal. Dva dogodka, za katera smo prejeli obvestilo, da so ju čutili, sta bila tako šibka, da ju je zabeležila le ena opazovalnica. V teh primerih smo za koordinati nadžarišča vzeli koordinati kraja, od koder smo prejeli obvestilo. V preglednici je to označeno z zvezdico (*).

Za opredelitev osnovnih parametrov potresov, navedenih v preglednici 1, smo uporabili analize potresov na potresnih opazovalnicah državne mreže v Sloveniji (ARSO, 2010–2011) ter v Avstriji (ZAMG 2010–2011), na Hrvaškem (GZAM 2010–2011), v Italiji (OGS 2010) in na Madžarskem (Tóth in drugi, 2011), ki so na voljo. Žariščni čas, to je čas, ko je potres nastal, koordinati



Slika 1: Nadžarišča potresov leta 2010, ki smo jim določili žariščni čas, koordinati nadžarišča in globino žarišča. Barva simbola ponazarja žariščno globino, njegova velikost pa vrednost lokalne magnitude M_{LV} . Slika je bila narejena s programom GMT (Wessel in Smith, 1991, 1998).

Figure 1: Distribution of epicentres in 2010, whose focal times, epicentral coordinates and focal depths were calculated; coloured symbols of varying sizes give information on focal depth and local magnitude M_{LV} . Figure was prepared using GMT software (Wessel and Smith, 1991, 1998).



Slika 2: Nadžarišča potresov, ki so jih leta 2010 čutili prebivalci Slovenije. Barva simbola ponazarja največjo doseženo intenziteto v Sloveniji, njegova velikost pa vrednost lokalne magnitude M_{LV} . Slika je bila narejena s programom GMT (Wessel in Smith, 1991, 1998).

Figure 2: Epicentres of earthquakes felt in Slovenia in 2010. Size of symbols represents local magnitude and colour represents maximal intensity. Figure was prepared using GMT software (Wessel and Smith, 1991, 1998).

nadžarišča in žariščno globino smo določili iz časov prihodov vzdolžnega (P) in prečnega (S) valovanja na potresno opazovalnico. Potrese smo locirali s programom HYPOCENTER (Lienert in drugi, 1988; Lienert, 1994). Uporabili smo povprečni hitrostni model za ozemlje Slovenije, določen iz tridimenzionalnega modela za prostorsko valovanje (Michellini in drugi, 1998) in modela za površinsko valovanje (Živčić in drugi, 2000). Potresom, ki smo jim lahko določili le koordinati nadžarišča, smo za žariščno globino privzeli sedem kilometrov.

Lokalno magnitudo M_{LV} potresov smo določili iz največje hitrosti navpične komponente nihanja tal (A/T v nm/s) na slovenskih opazovalnicah, in sicer po enačbi:

$$M_{LV} = \log(A/T) + 1,52 * \log D - 3,2,$$

kjer je D oddaljenost nadžarišča v kilometrih. V preglednici 1 je podana povprečna vrednost M_{LV} vseh opazovalnic v Sloveniji. Največja intenziteta (I_{max}), ki jo je potres dosegel na ozemlju Slovenije, je opredeljena po evropski potresni lestvici (EMS-98).

Seizmografi državne mreže potresnih opazovalnic so leta 2010 zaznali 2320 potresov, ki smo jim lahko določili lokalno magnitudo in lego žarišča v Sloveniji oziroma v njeni neposredni bližini (slika 1). Velikost lokalne magnitude je ponazorjena z velikostjo kroga, medtem ko barva označuje globino potresnega žarišča. Seizmografi so zapisali tudi vsaj 1016 umetnih potresov (razstreljevanj).

Preglednica 1. Seznam potresov leta 2010, ki imajo lokalno magnitudo večjo ali enako 1,5 in smo jim lahko izračunali žariščni čas, koordinati nadžarišča (epicentra) in globino žarišča. Pri nekaterih potresih je navedena še največja intenziteta. V preglednici je tudi 30 potresov sicer manjšo lokalno magnitudo, ki pa so jih prebivalci Slovenije čutili. Z zvezdico (*) so označeni makroseizmični podatki.

Table 1. List of earthquakes with $M_{LV} \geq 1,5$ in 2010 for which the hypocentral time, co-ordinates of epicentre and focal depth were calculated; the maximum intensity of felt earthquakes is also provided. Information about 30 earthquakes with weaker magnitude, that were felt by inhabitants of Slovenia, is also included. Macroseismic data are signed with asterisk (*).

datum	čas (UTC)	z. šir.	z. dolž.	h	nst	RMS	M_{LV}	I_{max}	potresno območje
	hh:mm:ss	°N	°E	km		s		EMS 98	
date	time (UTC)	lat	lon	h	nst	RMS	M_{LV}	I_{max}	epicentral area
	hh:mm:ss	°N	°E	km		s		EMS 98	
8. 1. 2010	8:12:48,0	46,10	13,44	14	38	0,5	2,0		Sanguarzo, Italija
9. 1. 2010	19:16:58,5	45,78	14,20	18	44	0,4	2,0		Veliki Otok
10. 1. 2010	11:56:41,4	46,43	14,16	8	16	0,4	1,5		Moste
10. 1. 2010	12:27:42,3	45,77	14,20	18	32	0,3	2,0		Postojna
12. 1. 2010	22:12:50,5	45,77	14,20	17	46	0,4	2,2	IV	Postojna
13. 1. 2010	0:27:45,1	45,77	14,20	17	25	0,3	2,1	III-IV	Postojna
13. 1. 2010	0:27:53,9	45,76	14,20	17	12	0,5	2,1		Stara vas
13. 1. 2010	1:49:40,0	45,77	14,20	15	7	0,1	1,0	čutili	Postojna
13. 1. 2010	3:03:11,7	45,77	14,19	17	15	0,2	1,6		Veliki Otok
14. 1. 2010	2:13:25,5	45,76	14,21	16	32	0,4	1,6		Stara vas
15. 1. 2010	14:20:53,9	45,77	14,19	15	100	0,5	3,7	V	Veliki Otok
15. 1. 2010	14:31:10,1	45,77	14,19	16	21	0,2	1,6		Veliki Otok
15. 1. 2010	14:37:54,0	45,77	14,20	16	29	0,3	1,6		Postojna
15. 1. 2010	14:39:10,2	45,77	14,20	15	22	0,3	1,4	čutili	Postojna
15. 1. 2010	15:02:56,0	45,77	14,21	16	5	0,2	1,0	zvok	Postojna
15. 1. 2010	15:40:45,3	45,77	14,19	16	26	0,2	1,6	čutili	Veliki Otok
15. 1. 2010	15:48:55,1	45,77	14,20	15	17	0,2	1,5		Postojna
15. 1. 2010	17:28:08,6	45,77	14,20	16	43	0,4	2,0		Veliki Otok
16. 1. 2010	2:42:37,8	45,77	14,20	16	24	0,2	1,5		Veliki Otok
19. 1. 2010	9:21:27,5	46,59	13,86	17	38	0,4	1,9		Maria Gail, Avstrija
20. 1. 2010	10:59:53,3	45,77	14,19	15	13	0,2	1,6		Veliki Otok
20. 1. 2010	23:24:39,6	46,07	14,71	11	25	0,4	1,8		Zgornja Jevnica
21. 1. 2010	17:09:11,3	45,72	15,63	10	52	0,6	2,9	IV-V	Gorica Svetojanska, Hrvaška
23. 1. 2010	23:06:33,9	45,77	14,20	17	30	0,3	1,5		Postojna
24. 1. 2010	22:31:16,7	45,65	15,32	9	10	0,4	1,1	III	Metlika
26. 1. 2010	21:34:04,6	45,77	14,19	15	11	0,1	1,5		Veliki Otok
27. 1. 2010	10:46:26,8	46,59	15,13	10	11	0,2	1,6		Dravče
29. 1. 2010	5:15:00,8	45,78	14,21	18	21	0,3	1,5		Veliki Otok
29. 1. 2010	11:27:53,7	45,78	14,19	17	18	0,2	1,6		Veliki Otok
29. 1. 2010	11:43:10,2	45,77	14,19	17	18	0,3	1,6		Veliki Otok
29. 1. 2010	13:05:50,8	45,77	14,20	17	16	0,3	1,5		Postojna

datum	čas (UTC)	z. šir.	z. dolž.	h	nst	RMS	M _{LV}	I _{max}	potresno območje
	hh:mm:ss					°N		°E	
date	time (UTC)	lat	lon	h	nst	RMS	M _{LV}	I _{max}	epicentral area
	hh:mm:ss					°N		°E	
29. 1. 2010	21:04:04,0	46,24	16,13	22	8	0,3	1,5		Ivanec, Hrvaška
1. 2. 2010	11:37:33,9	45,77	14,20	17	44	0,5	2,0		Postojna
2. 2. 2010	9:41:20,1	46,22	14,50	11	49	0,4	2,1	IV	Lahovče
3. 2. 2010	14:49:20,5	45,99	14,72	12	30	0,4	1,5		Blečji Vrh
4. 2. 2010	10:28:34,9	45,77	14,20	17	28	0,2	1,8		Postojna
4. 2. 2010	10:36:23,1	45,77	14,20	17	34	0,3	1,9		Postojna
6. 2. 2010	3:20:23,3	45,77	14,20	17	20	0,2	1,6		Postojna
6. 2. 2010	9:15:42,3	45,77	14,20	17	25	0,4	1,6		Postojna
6. 2. 2010	10:03:16,2	45,76	14,20	18	13	0,2	1,6		Stara vas
10. 2. 2010	10:05:58,3	45,77	14,20	16	27	0,3	1,5		Postojna
12. 2. 2010	2:38:47,3	45,95	14,42	2	12	0,2	0,5	zvok	Preserje
12. 2. 2010	6:48:43,8	45,77	14,21	15	55	0,5	2,3	III	Postojna
14. 2. 2010	20:02:18,8	46,16	13,76	15	66	0,4	2,4	V	Ljubinj
14. 2. 2010	23:26:34,3	46,29	14,31	5	22	0,3	1,1	čutili	Spodnje Duplje
15. 2. 2010	6:16:39,1	46,30	14,31	5	44	0,4	2,0	IV	Spodnje Duplje
15. 2. 2010	11:50:22,7	46,29	14,30	5	24	0,4	1,5	III-IV	Spodnje Duplje
15. 2. 2010	14:27:37,8	46,30	14,29	5	13	0,4	0,9	III-IV	Podbrezje
15. 2. 2010	18:25:28,0	46,30	14,31	5	64	0,5	2,6	IV	Spodnje Duplje
15. 2. 2010	18:43:10,7	46,29	14,31	5	27	0,4	1,3	čutili	Spodnje Duplje
15. 2. 2010	18:44:03,6	46,29	14,31	5	20	0,4	1,1	čutili	Spodnje Duplje
15. 2. 2010	20:45:42,2	46,30	14,30	5	25	0,3	1,3	čutili	Spodnje Duplje
15. 2. 2010	20:45:58,1	46,30	14,30	5	11	0,4	1,7		Spodnje Duplje
15. 2. 2010	20:48:12,2	46,29	14,31	5	48	0,5	1,9	IV	Spodnje Duplje
15. 2. 2010	21:26:20,7	46,30	14,31	5	48	0,5	2,0	III-IV	Spodnje Duplje
16. 2. 2010	20:09:17,1	46,30	14,31	5	44	0,4	1,9	čutili	Spodnje Duplje
18. 2. 2010	14:38:06,0	46,30	14,31	5	35	0,5	1,5		Spodnje Duplje
18. 2. 2010	15:20:10,5	46,15	13,77	14	42	0,4	1,8	zvok	Bača pri Modreju
19. 2. 2010	0:48:39,7	46,30	14,30	5	39	0,4	1,6	čutili	Spodnje Duplje
19. 2. 2010	1:43:59,1	46,24	15,48	16	32	0,4	1,9		Močle
19. 2. 2010	1:52:54,4	46,25	15,47	12	15	0,3	1,6		Okrog
19. 2. 2010	10:13:22,9	46,30	14,31	5	27	0,3	1,5		Spodnje Duplje
20. 2. 2010	4:31:57,8	46,31	14,31	5	34	0,4	1,6	čutili	Zgornje Duplje
20. 2. 2010	4:43:03,6	46,30	14,30	5	33	0,4	1,5	čutili	Spodnje Duplje
20. 2. 2010	5:08:39,0	46,30	14,31	5	40	0,4	1,7		Spodnje Duplje
20. 2. 2010	8:37:11,0	46,30	14,31	5	33	0,4	1,5		Spodnje Duplje
23. 2. 2010	9:13:04,4	45,93	15,39	5	32	0,3	1,7	III-IV	Ardro pri Raki
24. 2. 2010	5:21:24,7	46,10	14,60	11	65	0,6	3,2	V	Dragomelj
24. 2. 2010	21:45:11,7	45,87	14,86	7	31	0,3	1,2	čutili	Tolčane

datum	čas (UTC)	z. šir.	z. dolž.	h	nst	RMS	M _{LV}	I _{max}	potresno območje
	hh:mm:ss	°N	°E	km		S		EMS 98	
date	time (UTC)	lat	lon	h	nst	RMS	M _{LV}	I _{max}	epicentral area
	hh:mm:ss	°N	°E	km		S		EMS 98	
28. 2. 2010	18:49:35,6	45,85	15,44	8	62	0,5	2,5	IV	Karliče
2. 3. 2010	8:33:21,7	46,29	14,24	15	42	0,5	2,0	čutili	Dobravica
6. 3. 2010	7:41:55,3	45,77	14,21	15	61	0,5	2,4		Postojna
6. 3. 2010	8:29:36,9	45,77	14,20	18	42	0,4	1,8		Postojna
9. 3. 2010	0:26:13,7	46,50	14,26	11	23	0,3	1,5		Javornik
10. 3. 2010	3:45:55,4	46,59	15,09	8	11	0,2	1,9	III-IV	Sv. Danijel
15. 3. 2010	1:29:18,6	45,88	15,88	12	23	0,4	1,8		Jablanovec, Hrvaška
15. 3. 2010	15:33:08,8	46,22	15,50	14	20	0,3	1,7		Globoko pri Šmarju
18. 3. 2010	17:07:12,4	46,05	14,18	15	34	0,4	1,6		Dolge Njive
18. 3. 2010	22:13:42,4	46,06	14,18	15	33	0,3	1,5		Dolge Njive
19. 3. 2010	5:12:53,0	45,45	14,47	10	17	0,5	1,6		Gorski Kotar, Hrvaška
27. 3. 2010	10:34:33,8	45,64	14,31	13	58	0,6	2,4	IV	Jurišče
30. 3. 2010	14:11:04,5	46,06	14,19	15	32	0,4	1,9		Lučine
31. 3. 2010	5:54:29,3	46,25	14,68	15	15	0,4	1,5		Studenca
1. 4. 2010	12:52:34,3	46,14	13,57	19	56	0,4	2,3		Clodig, Italija
1. 4. 2010	17:06:13,9	46,15	13,56	15	5	0,1	1,5		Clodig, Italija
2. 4. 2010	0:48:52,9	46,07	13,47	19	35	0,4	1,9		Golo Brdo
2. 4. 2010	7:06:34,2	46,23	15,43	11	20	0,3	1,7		Zgornje Selce
2. 4. 2010	13:22:16,9	46,23	15,43	10	15	0,3	1,5		Brezje ob Slomu
20. 4. 2010	5:10:25,2	46,00	14,58	11	27	0,3	1,5		Orle
21. 4. 2010	12:51:25,7	46,12	14,85	12	17	0,2	1,5		Klenik
27. 4. 2010	6:01:09,6	46,21	13,44	10	20	0,3	1,7		Robidišče
29. 4. 2010	11:03:48,4	46,13	14,92	9	28	0,4	1,5		Razpotje
30. 4. 2010	12:09:22,1	45,49	14,34	10	5	0,2	1,5		Fabci
10. 5. 2010	2:58:17,1	46,26	14,76	13	35	0,4	1,7		Šmiklavž
12. 5. 2010	9:01:30,4	46,28	13,64	7	31	0,5	1,7	IV	Drežniške Ravne
17. 5. 2010	14:07:43,2	46,47	14,46	11	53	0,4	2,5		Virnikov Grintovec, meja Slovenija - Avstrija
17. 5. 2010	14:08:09,0	46,46	14,45	7	17	0,3	2,3		Virnikov Grintovec, meja Slovenija - Avstrija
30. 5. 2010	5:48:10,3	46,22	13,44	7	35	0,5	1,6		Logje
31. 5. 2010	19:40:36,9	45,94	14,42	10	32	0,4	1,7	čutili	Dolenja Brezovica
1. 6. 2010	5:07:41,2	45,65	15,55	11	23	0,4	2,1		Krašić, Hrvaška
2. 6. 2010	18:04:02,4	46,08	13,42	18	29	0,6	1,7		Cividale del Friuli, Italija
2. 6. 2010	20:45:58,6	46,46	14,92	11	17	0,3	1,9		Jazbina
10. 6. 2010	8:08:34,7	45,84	13,99	15	48	0,5	2,0		Vipava
20. 6. 2010	10:25:16,3	46,19	14,67	14	32	0,5	1,5		Dupeljne
26. 6. 2010	21:15:01,9	46,12	13,37	15	36	0,4	1,6		Togliano, Italija
28. 6. 2010	13:33:50,9	46,66	15,33	1	5	0,0	1,5		Brezni Vrh
2. 7. 2010	22:59:27,0	45,79	15,43	6	34	0,5	1,9	IV-V	Črešnjevci pri Oštrcu

datum	čas (UTC)	z. šir.	z. dolž.	h	nst	RMS	M _{LV}	I _{max}	potresno območje
	hh:mm:ss	°N	°E	km		S		EMS 98	
date	time (UTC)	lat	lon	h	nst	RMS	M _{LV}	I _{max}	epicentral area
	hh:mm:ss	°N	°E	km		S		EMS 98	
2. 7. 2010	22:59:43,2	45,79	15,44	1	7	0,4	1,7	III	Črešnjevec pri Oštrcu
2. 7. 2010	23:07:52,2	45,81	15,45	3	9	0,3	0,6	čutili	Gorjanci, meja Slovenija - Hrvaška
10. 7. 2010	17:37:46,3	45,56	14,45	14	21	0,3	1,8		Snežnik
13. 7. 2010	9:13:15,9	45,61	15,34	7	23	0,4	1,7		Križevska vas
15. 7. 2010	11:26:43,5	45,53	14,58	16	25	0,4	1,6		Gerovo, Hrvaška
19. 7. 2010	14:06:41,7	45,88	14,19	16	28	0,4	1,6		Kalce
24. 7. 2010	16:46:03,5	46,65	15,32	14	54	0,5	2,9	V	Brezni Vrh
26. 7. 2010	22:20:58,8	45,58	15,40	10	31	0,4	2,2		Novaki Lipnički, Hrvaška
31. 7. 2010	5:43:43,4	46,64	15,08	10	8	0,3	1,7		Mlake
20. 8. 2010	3:14:18,9	46,86	16,44	18	25	0,4	2,3		Ivanić-Grad, Hrvaška
22. 8. 2010	12:03:16,6	45,91	14,02	16	20	0,4	1,6		Strmec
30. 8. 2010	11:38:12,3	46,22	14,46	17	26	0,3	1,6		Voglje
31. 8. 2010	11:15:13,1	45,59	15,37	12	10	0,4	1,9		Jugovac, Hrvaška
8. 9. 2010	0:42:37,1	45,66	14,62	13	20	0,4	1,7		Lazec
12. 9. 2010	6:29:05,9	45,48	14,92	15	22	0,4	1,6		Sapnik
12. 9. 2010	12:08:46,6	45,49	14,92	16	52	0,4	2,7		Sapnik
15. 9. 2010	2:21:17,7	45,60	14,27	16	88	0,5	3,5	V	Koritnice
15. 9. 2010	2:23:13,5	45,60	14,27	16	81	0,5	3,5	V	Koritnice
15. 9. 2010	2:26:33,6	45,60	14,25	16	13	0,2	1,7	IV	Šembije
15. 9. 2010	2:30:14,2	45,59	14,26	18	36	0,3	2,5	IV-V	Šembije
15. 9. 2010	2:39:50,0	45,60	14,26	15	16	0,2	1,4	III	Šembije
15. 9. 2010	2:47:03,7	45,60	14,26	15	6	0,1	1,0	IV	Šembije
15. 9. 2010	2:51:14,7	45,59	14,26	16	7	0,1	1,4	III	Šembije
15. 9. 2010	3:30:53,6	45,59	14,26	16	27	0,3	2,1	IV-V	Šembije
15. 9. 2010	4:12:18,7	45,59	14,26	16	20	0,3	1,6		Šembije
15. 9. 2010	5:37:10,0	45,57	14,26	21	6	0,3	1,5		Ilirska Bistrica
15. 9. 2010	6:12:35,1	45,59	14,28	21	74	0,5	2,8	IV	Koritnice
15. 9. 2010	6:20:27,9	45,60	14,29	19	45	0,5	2,4	IV	Koritnice
15. 9. 2010	6:21:01,8	45,59	14,29	17	31	0,5	2,4	IV	Koritnice
15. 9. 2010	6:34:40,6	45,60	14,27	18	29	0,4	1,6		Koritnice
15. 9. 2010	7:00:41,4	45,60	14,26	15	8	0,1	1,1	čutili	Šembije
15. 9. 2010	7:06:56,9	45,61	14,28	19	56	0,4	2,5	IV	Koritnice
15. 9. 2010	8:28:15,8	45,59	14,26	17	29	0,3	2,0		Šembije
15. 9. 2010	10:08:41,3	45,60	14,26	16	10	0,1	1,5		Šembije
15. 9. 2010	18:21:45,7	45,60	14,26	18	44	0,3	2,3	IV	Šembije
16. 9. 2010	7:39:59,0	45,59	14,27	18	27	0,3	1,7		Šembije
16. 9. 2010	10:28:56,6	45,59	14,26	17	28	0,3	1,8		Šembije
18. 9. 2010	2:21:46,3	45,60	14,26	16	18	0,2	1,7		Šembije

datum	čas (UTC)	z. šir.	z. dolž.	h	nst	RMS	M _{LV}	I _{max}	potresno območje
	hh:mm:ss	°N	°E	km		S		EMS 98	
date	time (UTC)	lat	lon	h	nst	RMS	M _{LV}	I _{max}	epicentral area
	hh:mm:ss	°N	°E	km		S		EMS 98	
18. 9. 2010	10:51:49,2	45,59	14,26	17	28	0,3	2,0		Šembije
18. 9. 2010	11:00:17,1	45,60	14,26	14	23	0,4	1,8		Šembije
18. 9. 2010	23:17:47,1	45,60	14,27	17	17	0,4	1,7		Šembije
19. 9. 2010	10:27:29,9	45,60	14,27	16	21	0,3	1,5		Šembije
19. 9. 2010	15:45:34,2	45,60	14,27	16	24	0,3	1,6		Šembije
19. 9. 2010	22:46:26,2	45,60	14,26	17	22	0,2	1,3		Šembije
20. 9. 2010	3:10:35,0	45,59	14,27	21	66	0,4	2,8	III-IV	Šembije
21. 9. 2010	0:19:42,7	45,93	14,52	2	10	0,4	0,6	III-IV	Iška vas
26. 9. 2010	9:01:12,2	45,93	14,50	1	7	0,3	0,8	III	Iška vas
26. 9. 2010	19:24:29,0	45,99*	14,38*		1		0,1	III	Podplešivica*
26. 9. 2010	23:09:22,4	45,94	14,43	0	7	0,2	0,5	III	Dolenja Brezovica
30. 9. 2010	21:47:22,5	46,53	15,50	7	5	0,1	1,5		Smolnik
4. 10. 2010	7:19:42,9	45,48	14,93	14	10	0,3	1,5		Slavski Laz
6. 10. 2010	19:09:30,0	45,97	14,42	3	5	0,3	0,3	II-III	Podpeč
7. 10. 2010	7:11:13,3	45,57	14,25	12	30	0,4	1,8	III-IV	Ilirska Bistrica
7. 10. 2010	20:37:16,4	45,56	14,25	14	49	0,5	2,4	V	Ilirska Bistrica
8. 10. 2010	3:21:25,1	45,57	14,25	10	14	0,3	1,5	IV	Ilirska Bistrica
8. 10. 2010	8:15:00,2	46,28	13,63	8	12	0,2	1,5		Drežniške Ravne
8. 10. 2010	10:25:04,5	45,84	15,05	10	25	0,3	1,7		Srednji Globodol
11. 10. 2010	1:06:58,8	45,58	14,25	7	61	0,5	2,6	V	Ilirska Bistrica
14. 10. 2010	11:17:35,8	46,07	14,76	9	24	0,4	1,5		Golišče
19. 10. 2010	5:12:09,9	46,09	15,16	8	14	0,2	0,9	čutili	Širje
22. 10. 2010	19:42:53,4	46,16	14,34	14	6	0,2	0,4	III-IV	Pungert
23. 10. 2010	21:30:11,5	45,54	14,24	10	30	0,5	1,5	III-IV	Koseze
25. 10. 2010	2:15:51,6	46,18	15,75	14	23	0,4	1,5		Dobovec pri Rogatcu
25. 10. 2010	11:00:08,4	45,52	14,28	11	12	0,3	1,7	III	Gornji Zemon
25. 10. 2010	19:20:40,2	45,53	14,26	9	10	0,3	1,7	IV	Dolnji Zemon
25. 10. 2010	21:37:32,7	45,69	15,61	7	13	0,2	1,8		Draganići, Hrvaška
26. 10. 2010	4:36:51,6	45,74	15,65	11	31	0,3	2,4		Braslovje, Hrvaška
26. 10. 2010	17:18:11,8	46,10	13,52	16	40	0,3	2,1		Purgessimo, Italija
27. 10. 2010	23:17:43,9	45,84	13,98	19	40	0,3	1,8		Vipava
1. 11. 2010	22:57:05,5	46,07	14,73	9	36	0,4	1,9		Zgornja Jevnica
3. 11. 2010	19:52:49,2	45,95	14,41	2	5	0,3	0,1	čutili	Kamnik pod Krimom
4. 11. 2010	16:01:01,8	46,27	14,71	20	56	0,4	2,8	IV	Podlom
5. 11. 2010	17:30:10,3	45,52	14,26	10	19	0,4	1,6	čutili	Mala Bukovica
5. 11. 2010	22:20:47,5	45,52	14,26	11	24	0,5	1,6	III	Mala Bukovica
6. 11. 2010	21:51:04,6	46,05	14,93	14	60	0,4	2,5	IV-V	Dolgo Brdo
19. 11. 2010	7:10:07,8	45,60	14,27	19	62	0,5	2,4	IV	Šembije

datum	čas (UTC)	z. šir.	z. dolž.	h	nst	RMS	M _{LV}	I _{max}	potresno območje
	hh:mm:ss	°N	°E	km		S		EMS 98	
date	time (UTC)	lat	lon	h	nst	RMS	M _{LV}	I _{max}	epicentral area
	hh:mm:ss	°N	°E	km		S		EMS 98	
19. 11. 2010	7:10:30,8	45,59	14,26	21	25	0,5	2,2		Šembije
19. 11. 2010	7:33:50,0	45,59	14,26	14	21	0,3	1,3	čutili	Šembije
23. 11. 2010	15:22:30,0	45,60	14,26	16	17	0,3	1,7		Šembije
27. 11. 2010	3:51:26,5	46,09	14,41	11	41	0,4	1,9	III-IV	Golo Brdo
3. 12. 2010	4:04:43,9	45,78	15,71	14	25	0,4	1,5		M. Rakovica, Hrvaška
9. 12. 2010	15:24:43,8	45,59	15,28	6	13	0,3	1,5		Boršt
12. 12. 2010	7:36:42,4	45,38	14,44	13	60	0,5	2,6	II-III	Rijeka, Hrvaška
13. 12. 2010	6:12:10,3	45,61	14,18	15	34	0,5	1,8	III-IV	Dolnja Bitnja
15. 12. 2010	13:47:40,1	45,81	14,70	9	34	0,5	1,4	IV	Vrh pri Poljanah
15. 12. 2010	13:57:37,7	45,80	14,71	5	13	0,4	0,5	III	Velike Poljane
16. 12. 2010	0:04:04,9	46,29	13,64	9	17	0,4	1,5		Lepena
16. 12. 2010	19:41:07,3	45,97	14,44	0	6	0,3	0,2	čutili	Jezero pri Podpeči
16. 12. 2010	19:53:44,2	45,97*	14,43*		1		0,2	čutili	Jezero pri Podpeči*
16. 12. 2010	22:31:12,8	45,80	14,71	2	8	0,4	0,5	III	Velike Poljane
18. 12. 2010	8:50:34,0	45,78	14,03	15	13	0,2	1,5		Otošče
20. 12. 2010	23:48:34,0	46,63	13,82	10	32	0,3	1,7		Obere Fellach, Avstrija
21. 12. 2010	14:47:12,1	45,76	14,79	0	9	0,2	1,5		Rapljevo
24. 12. 2010	4:51:08,1	45,42	14,41	11	14	0,3	1,5		Marčelji, Hrvaška
30. 12. 2010	8:24:00,1	45,88	15,88	11	62	0,6	2,6		Jablanovec, Hrvaška

Prebivalci različnih območij Slovenije so leta 2010 čutili več kot 85 potresnih sunkov. Natančnega števila ni bilo mogoče določiti, ker so opazovalci v svojih opisih včasih podali le opažanja, ki jih ni bilo mogoče pripisati točno določenemu dogodku, ali so navedli le število potresov, ki so jih čutili v nekem dnevu, ne pa tudi njihovega časa. Nadžarišča (epicentri) potresov so prikazana na sliki 2. Velikost kroga označuje lokalno magnitudo, barva pa največjo intenziteto potresa, ki jo je dosegel potres. Osem potresov je doseglo največjo intenziteto V EMS-98.

Podatki o nekaterih potresih, ki so jih čutili prebivalci Slovenije

V tem poglavju in na slikah od 3 do 11 so natančneje opisani in prikazani le nekateri izmed potresov, ki so jih v zadnjem letu čutili prebivalci Slovenije. Zaradi velikega števila ni bilo mogoče predstaviti učinkov vseh. Na sliki 12 so prikazane največje intenzitete, ki so jih leta 2010 v posameznih krajih čutili prebivalci Slovenije.

12. januar 2010 ob 22. uri 12 minut po UTC. Potres z žariščem v okolici Postojne je intenziteto IV EMS-98 dosegel v Postojni in Planini pri Rakeku. Z lokalno magnitudo 2,2 je bil to najmočnejši predpotres dogodka 15. januarja.

15. januar 2010 ob 14. uri 20 minut po UTC. Potres z žariščem v okolici Postojne in magnitudo 3,7 je dosegel največje učinke (V EMS-98) v Postojni (slika 3), čeprav so ga čutili prebivalci celotne jugozahodne Slovenije, do Jesenic na severu ter Velenja in Celja na severovzhodu, oziroma več kot 80 km od nadžarišča. Prebivalci Postojne, Logatca, Cerknice in nekaterih manjših krajev so poročali o posameznih lasastih razpokah v ometu starejših hiš. Glede na magnitudo je bil to leta

2010 najmočnejši potres z žariščem v Sloveniji. Potresi v okolici Postojne so podrobneje opisani v posebnem prispevku (Živčič in drugi, 2011).

21. januar 2010 ob 17. uri 9 minut po UTC. Žarišče potresa je bilo na Hrvaškem v okolici Gorice Svetojanske. Podatke za Hrvaško nam je posredoval I. Sović iz seizmološke službe v Zagrebu. Potres je imel lokalno magnitudo 2,9, v Sloveniji pa je dosegel največje učinke (IV-V EMS-98) v kraju Koritno. Prebivalci so zaradi močnega bobnenja, ki je spremljalo tresenje tal, pomislili na miniranje ali na udar strele.

2. februar 2010 ob 9. uri 41 minut po UTC. Za ta potres z lokalno magnitudo 2,1 so nas najprej poklicali uslužbenci letališča Jožeta Pučnika. Intenziteto IV EMS-98 je dosegel v Šenčurju in Spodnjem Brniku. Bil je tudi uvod v serijo šibkih potresov na Gorenjskem, ki so jih prebivalci čutili v nadaljevanju februarja.

14. februar 2010 ob 20. uri 2 minuti po UTC. Žarišče tega potresa je bilo pri Tolminu (slika 4). Najbolj so ga čutili na Volarjah, dosegel je intenziteto V EMS-98. Opazovalka iz Volarij je poročala o lasastih razpokah v ometu na posameznih starih hišah in o močnem bobnenju. Magnituda potresa je bila 2,4.

15. februar 2010 ob 6. uri 16 minut, 18. uri 25 minut in 20. uri 48 minut po UTC. Okolico Nakla, Dupelj in Golnika so ta dan in v naslednjih dnevih stresli številni potresi. Lokalne magnitude potresov ob 6:16, 18:25 in 20:48 po UTC (7:16, 19:25 in 21:48 po SEČ) so bile 2,0, 2,6 in 1,9. Največja intenziteta, IV EMS-98 je bila zabeležena v Strahinju, na Podbrezjah in Letenicah med prvim potresom, v Kranju, Zgornji Besnici, Cegelnici, Naklu, Strahinju, Spodnjih Dupljah in Golniku med drugim in v Strahinju in Spodnjih Dupljah med tretjim potresom. Gmotne škode ni bilo, številni sunki (ta dan so jih prebivalci čutili najmanj 9) so vznemirili krajane. Niz potresov je podrobneje opisan v posebnem prispevku (Čarman in drugi, 2011b).

24. februar 2010 ob 5. uri 21 minut po UTC. Potres magnitude 3,2 je imel največje učinke na majhnem območju, v krajih Dol pri Ljubljani in Dolsko (slika 5). Kot vedno, kadar se strese Ljubljana, je tresenje tal povzročilo kar nekaj preplaha, čeprav materialne škode ni bilo.

28. februar 2010 ob 18. uri 49 minut po UTC. Potres so čutili številni prebivalci v dolini Krke (slika 6). Kljub temu, da potres ni bil močan, njegova lokalna magnituda je bila 2,5, so prebivalci ponekod zapustili hiše.

27. marec 2010 ob 10. uri 34 minut po UTC. Potres magnitude 2,4 je intenziteto IV EMS-98 dosegel le v Baču. Posamezni prebivalci so ob potresu slišali še bobnenje.

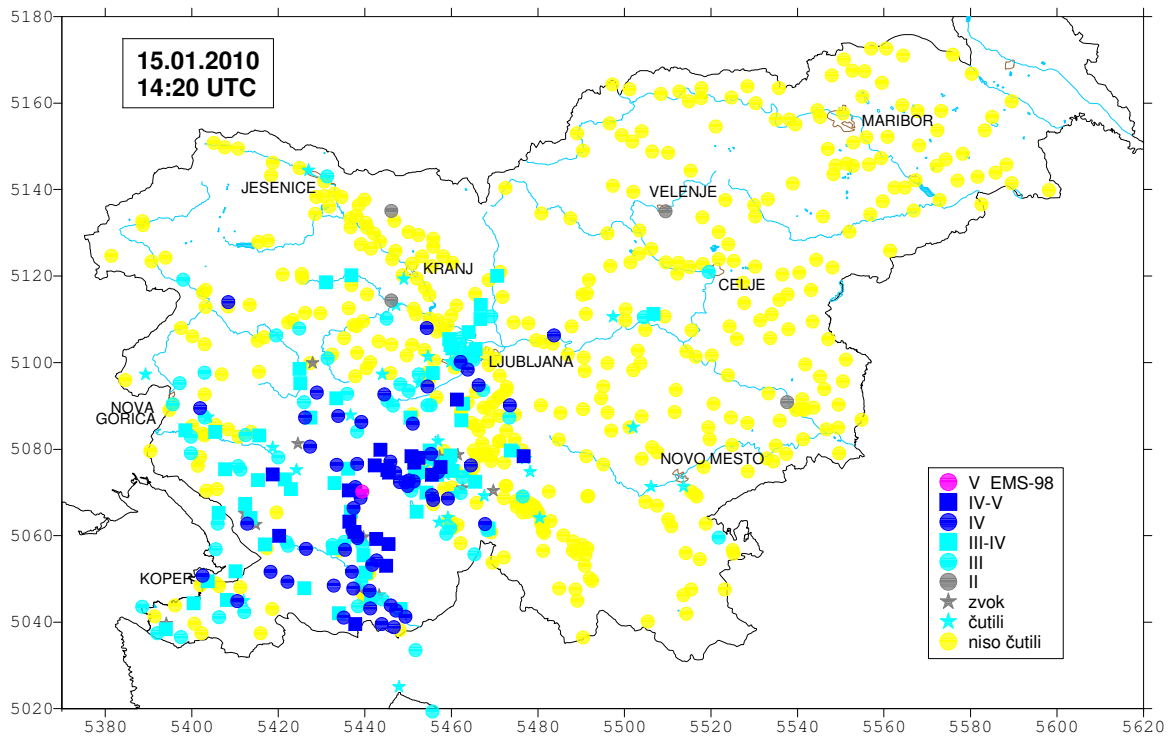
12. maj 2010 ob 9. uri 1 minuti po UTC. Ta potres z magnitudo 1,7 so čutili na mejnem območju, najmočnejše (IV EMS-98) pa v Drežnici. Spremljal ga je pok in grmenje.

2. julij 2010 ob 22. uri 59 minut po UTC. Potres magnitude 1,9 z žariščem pod Gorjanci, blizu kraja Črešnjevec pri Oštrcu, so čutili v okoliških krajih, najmočnejše (IV-V EMS-98) v Kostanjevici na Krki. Malo kasneje v isti minuti so prebivalci čutili še en šibkejši sunek (intenziteta III EMS-98, MLV = 1,7).

24. julij 2010 ob 16. uri 46 minut po UTC. Ta potres je nastal na Koroškem v okolici Breznega Vrha (slika 7). Lokalna magnituda dogodka je bila 2,9. Največjo intenziteto (V EMS-98) je dosegel v Podvelki in Muti na slovenski strani meje ter v krajih Arnfels, Oberhaag, Leutschach, Pöfing-

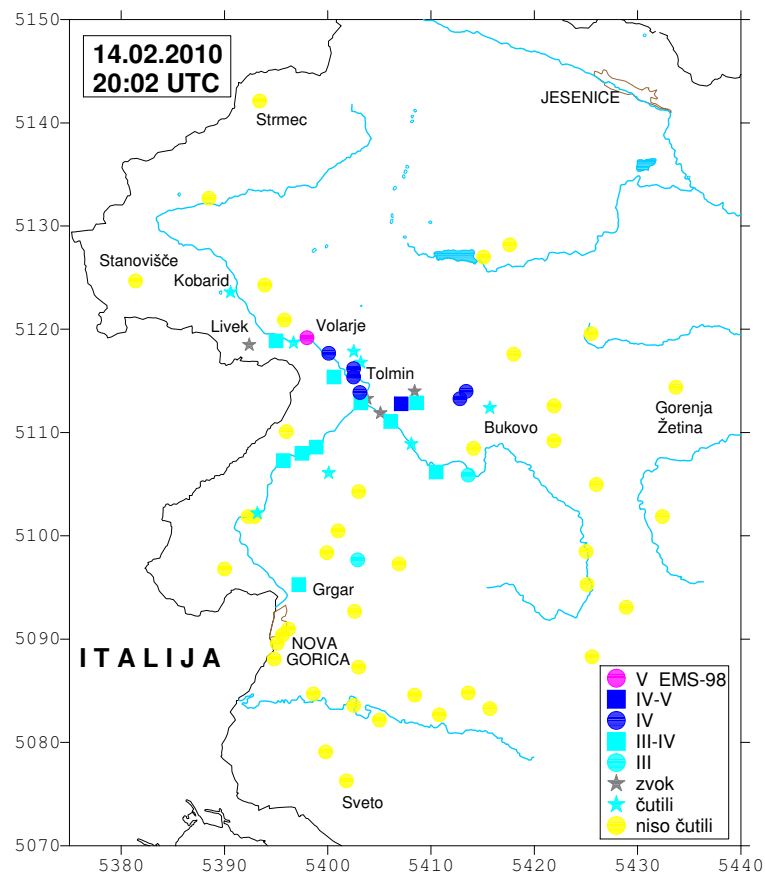
***Slike 3–11:** Prikazani so učinki nekaterih potresov, ki so jih leta 2010 čutili prebivalci Slovenije. Na kartah je uporabljena Gauss-Krügerjeva mreža oz. kilometrsko merilo, ki olajša ocenjevanje medsebojne oddaljenosti prikazanih krajev.*

***Figures 3 to 11:** The effects of some earthquakes felt by inhabitants of Slovenia in 2010 are shown. The Gauss-Krüger coordinate system is used, which facilitates the evaluation of the distance between the places shown in the maps. čutili = felt, zvok = sound, niso čutili = not felt.*



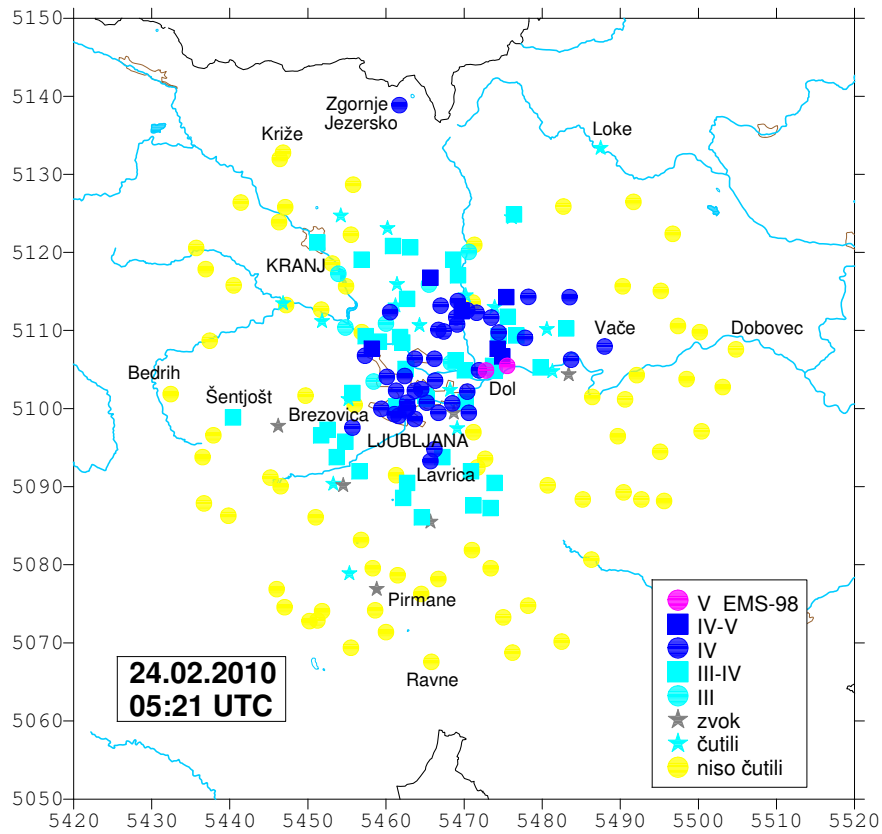
Slika 3: Intenziteta potresa 15. januarja 2010 ob 14. uri 20 minut po UTC v posameznih naseljih.

Figure 3: Intensity of earthquake on 15 January 2010 at 14:20 UTC in individual settlements.



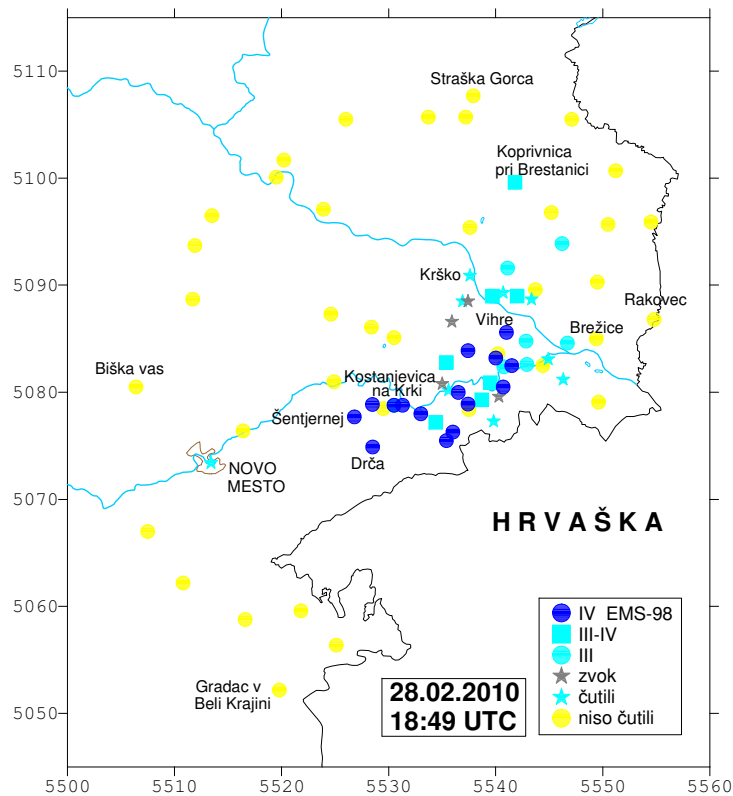
Slika 4: Intenziteta potresa 14. februarja 2010 ob 20. uri 2 minuti po UTC v posameznih naseljih.

Figure 4: Intensity of earthquake on 14 February 2010 at 20:02 UTC in individual settlements.



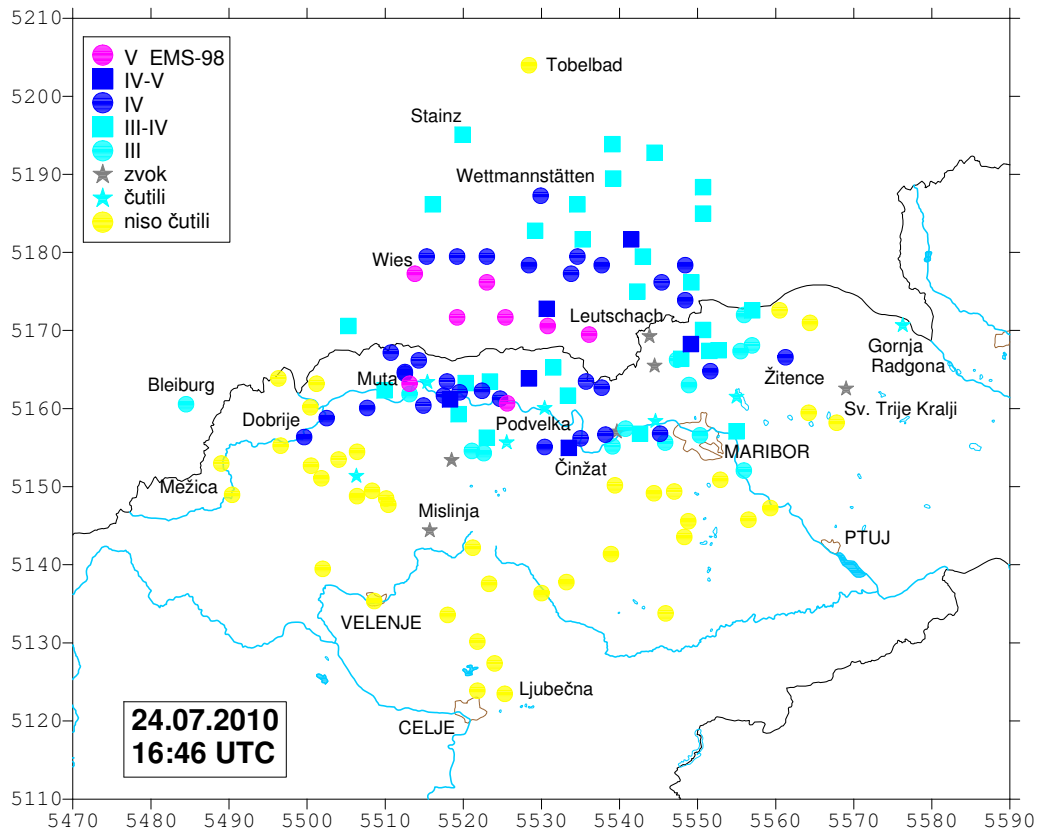
Slika 5: Intenziteta potresa 24. februarja 2010 ob 5. uri 21 minut po UTC v posameznih naseljih.

Figure 5. Intensity of earthquake on 24 February 2010 at 05:21 UTC in individual settlements.



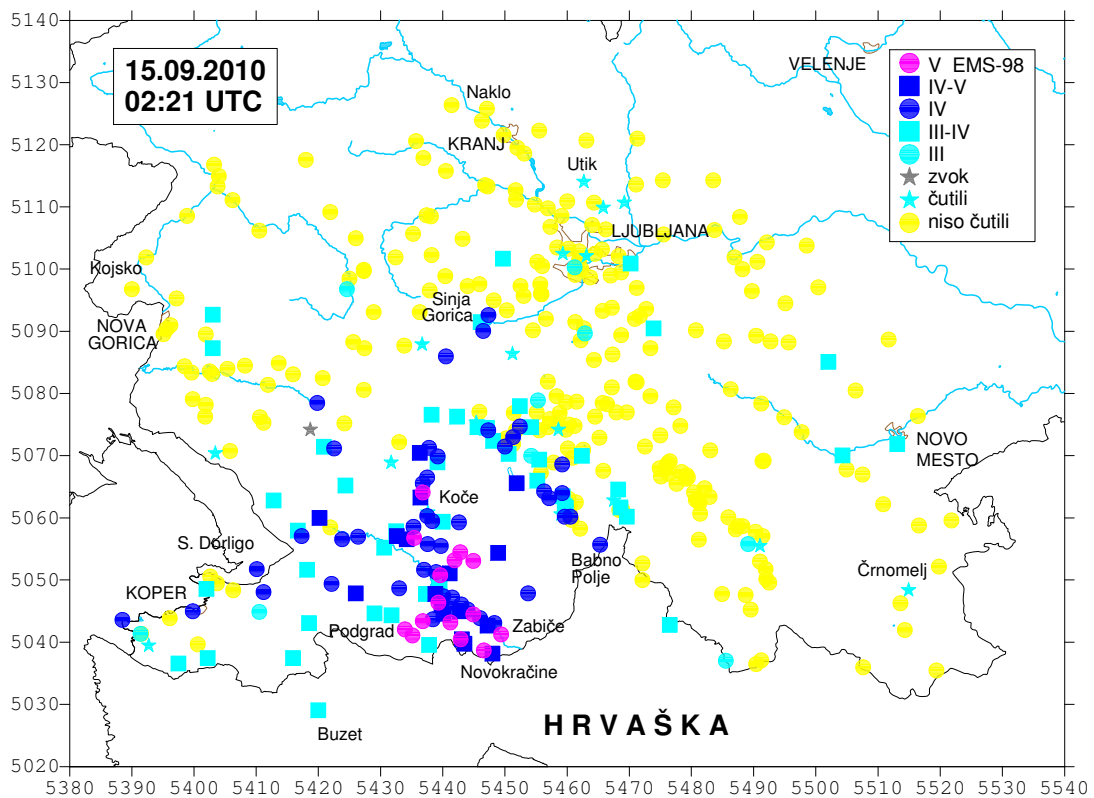
Slika 6: Intenziteta potresa 28. februarja 2010 ob 18. uri 49 minut po UTC v posameznih naseljih.

Figure 6. Intensity of earthquake on 28 February 2010 at 18:49 UTC in individual settlements.



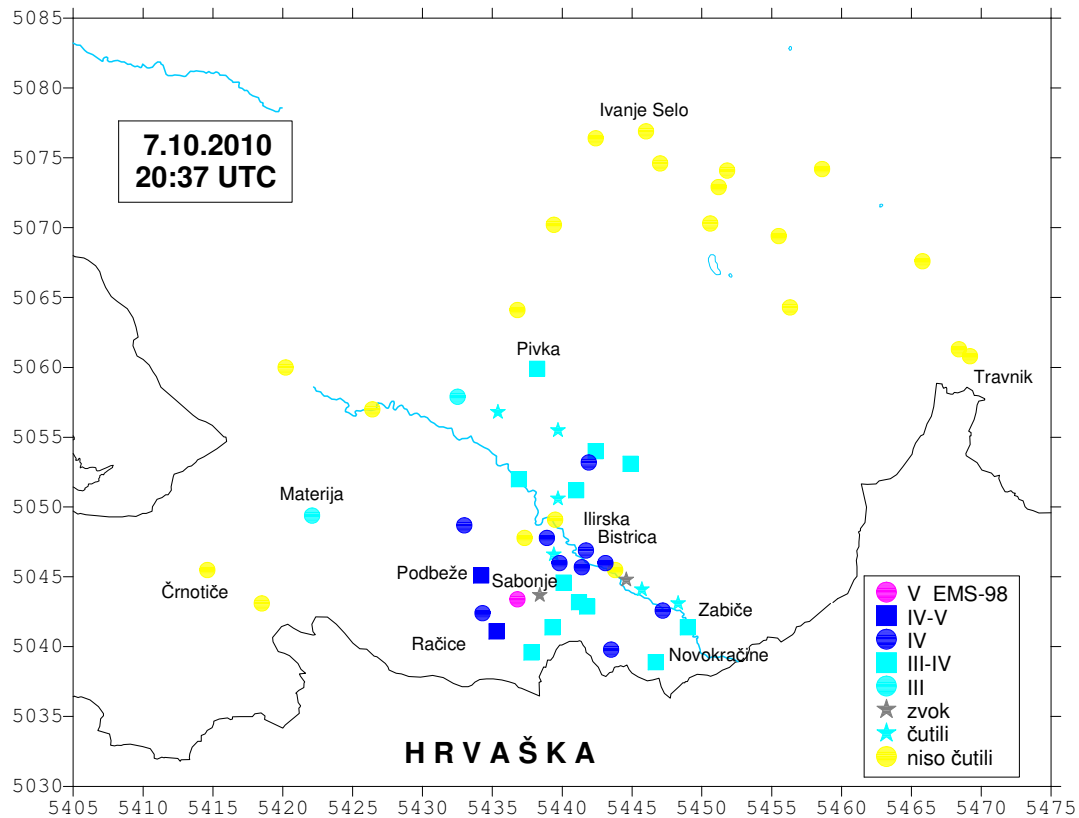
Slika 7: Intenziteta potresa 24. julija 2010 ob 16. uri 46 minut po UTC v posameznih naseljih.

Figure 7: Intensity of earthquake on 24 July 2010 at 16:46 UTC in individual settlements.



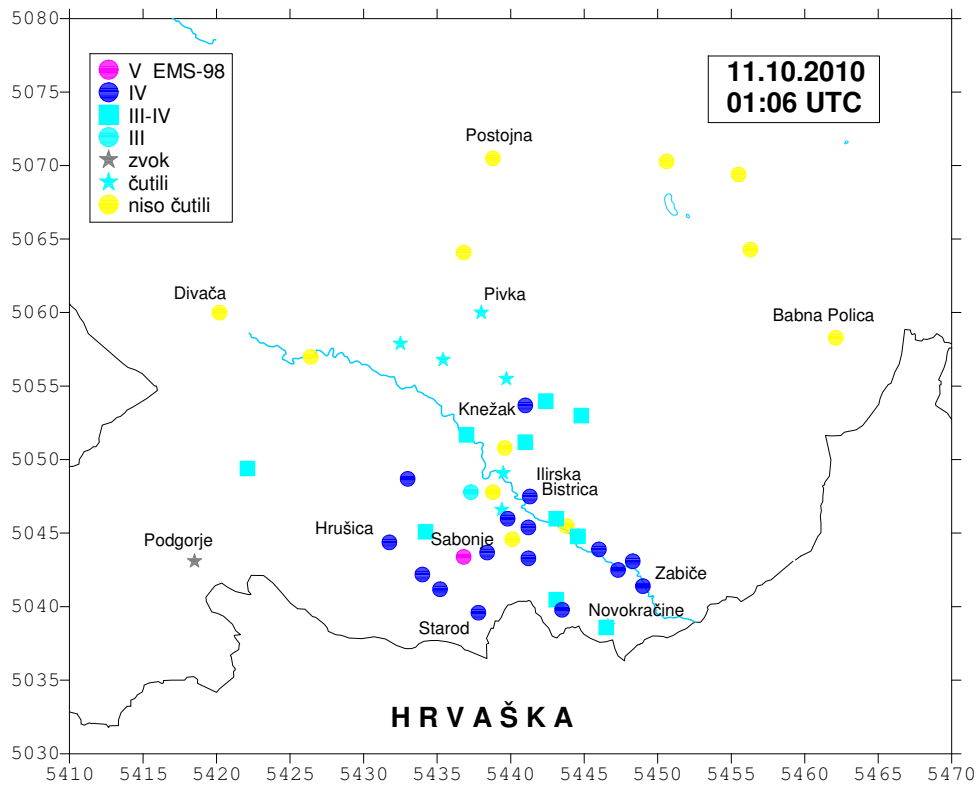
Slika 8: Intenziteta potresa 15. septembra 2010 ob 2. uri 21 minut po UTC v posameznih naseljih.

Figure 8: Intensity of earthquake on 15 September 2010 at 02:21 UTC in individual settlements.



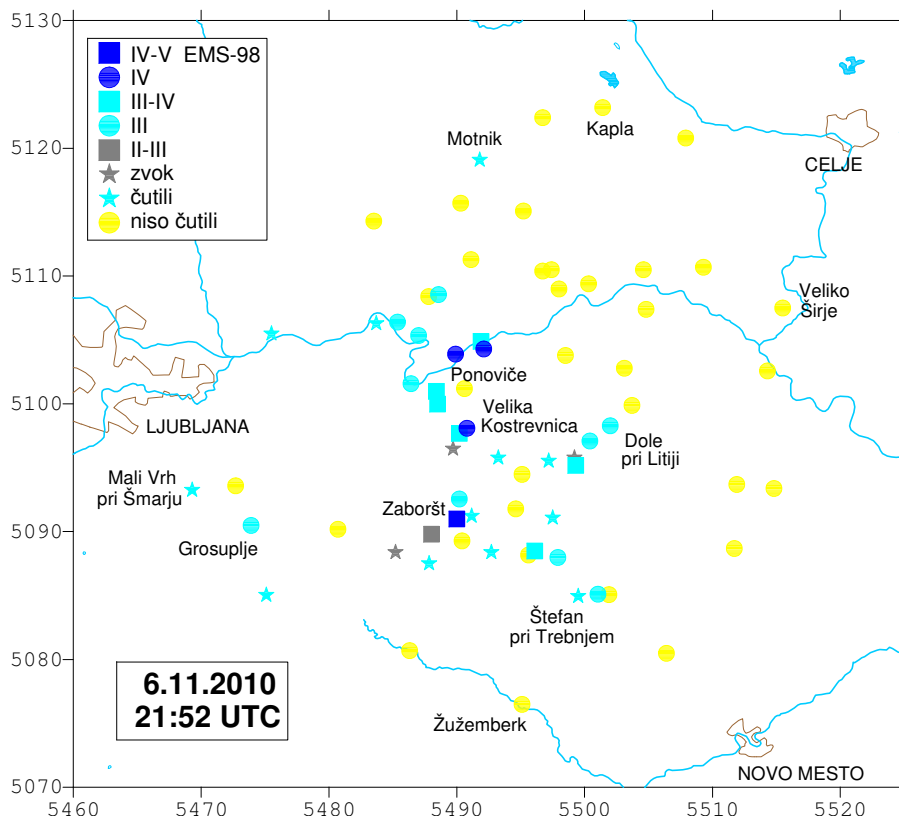
Slika 9: Intenziteta potresa 7. oktobra 2010 ob 20. uri 37 minut po UTC v posameznih naseljih.

Figure 9: Intensity of earthquake on 7 October 2010 at 20:37 UTC in individual settlements.



Slika 10: Intenziteta potresa 11. oktobra 2010 ob 1. uri 6 minut po UTC v posameznih naseljih.

Figure 10: Intensity of earthquake on 11 October 2010 at 01:06 UTC in individual settlements.



Slika 11: Intenziteta potresa 6. novembra 2010 ob 21. uri 52 minut po UTC v posameznih naseljih.

Figure 11: Intensity of earthquake on 6 November 2010 at 21:52 UTC in individual settlements.

Brunn, Wies in Eibiswald v Avstriji. Podatke za Avstrijo nam je posredovala Christiane Freudenthaler iz Centralnega meteorološkega in geodinamičnega instituta na Dunaju.

15. september 2010 ob 2. uri 21 minut, ob 2:23, 2:30 in ob 3:30 po UTC. Ta dan je območje Ilirske Bistrice streslo več potresnih sunkov. Najmočnejša sta bila prva dva (obakrat je bila magnituda 3,5 in največja intenziteta V EMS-98). Sledilo jima je več šibkejših, od katerih sta učinke IV-V EMS-98 dosegla dva (ob 2. uri 30 minut in ob 3. uri 30 minut po UTC). Njuni magnitudi sta bili 2,5 oziroma 2,1. Karto učinkov prvega potresa kaže slika 8. Intenziteto V EMS-98 je dosegel v krajih Podgrad, Račice, Dobro Polje, Dolenje, Mala Bukovica, Novokračine, Podstenje, Sabonje, Vrbica, Zabiče, Bač, Knežak, Koritnice, Šmihel in Koče. Potres so čutili celo v krajih severno od Ljubljane, na vzhod pa do Novega mesta in Črnomlja, okrog 80 km od nadžarišča. Čez približno dve minuti mu je sledil enako močen sunek. Tudi ta potresni niz je povzročil nemalo preplaha, na srečo pa gmotne škode, razen nekaj lasastih razpok, ni bilo. Zaradi velikega števila potresov v istem dnevu je bilo težko določiti intenziteto za vsak posamezni sunek, ker so opazovalci večkrat le navedli število potresov, ki so jih čutili, ne pa tudi časa. Niz potresov v okolici Ilirske Bistrice je podrobneje opisan v posebnem prispevku (Čarman in drugi, 2011a).

7. oktober 2010 ob 20. uri 37 minut po UTC. Ponovno se je zatresla okolica Ilirske Bistrice (slika 9). Magnituda tega dogodka je bila 2,4. V kraju Sabonje je bila dosežena intenziteta V EMS-98. Prebivalci so poročali o močnem kratkotrajnem bobnenju, ki je spremljalo potres.

11. oktober 2010 ob 1. uri 6 minut po UTC. Potres z magnitudo 2,6 je v Sabonjah dosegel intenziteto V EMS-98 (slika 10). Prebivalci so bili zaskrbljeni zaradi pogostega tresenja tal.

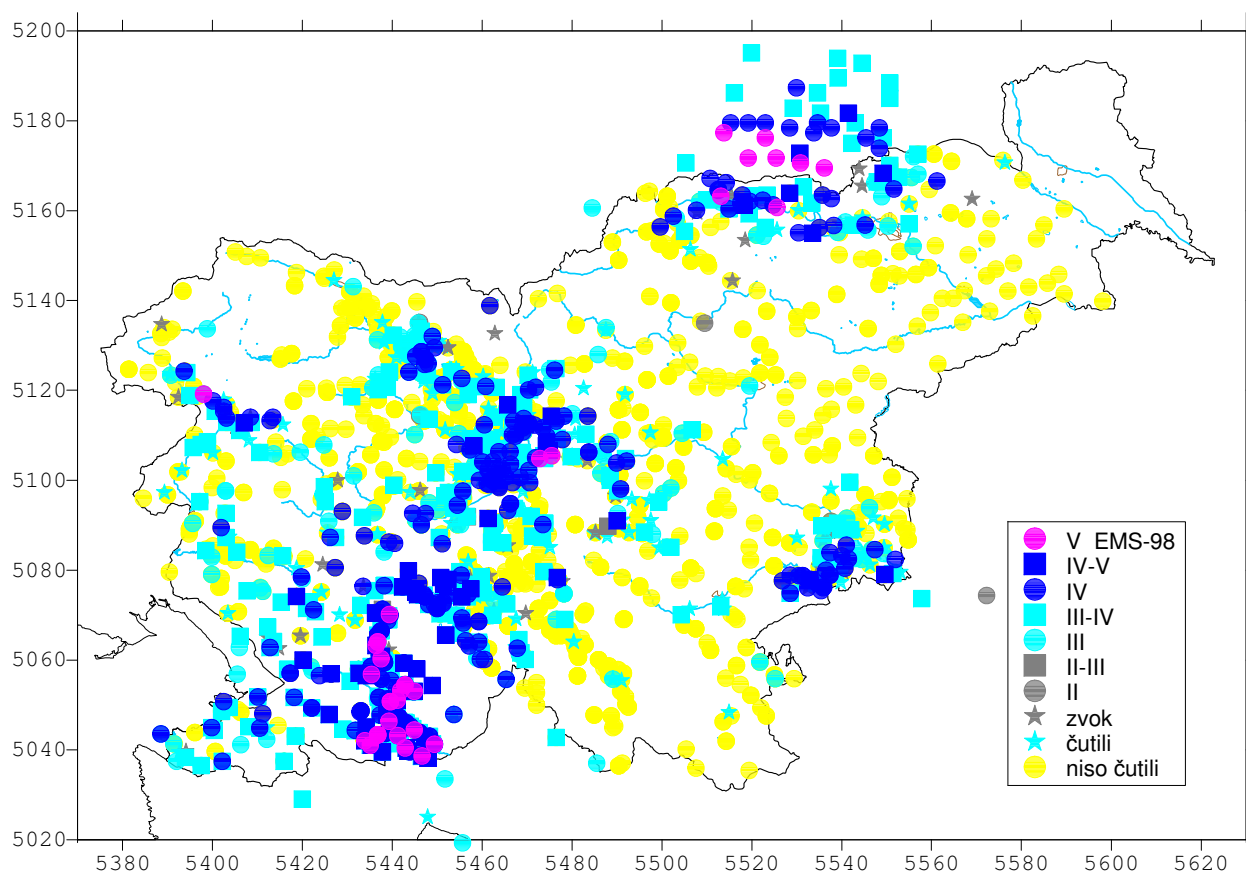
25. oktober 2010 ob 19. uri 20 minut po UTC. Še en potres z ilirskobistriškega konca. Magnituda dogodka je bila 1,7. Največjo intenziteto, IV EMS-98, je dosegel v Mali Bukovici.

4. november 2010 ob 16. uri 1 minuti po UTC. Potres z magnitudo 2,8 so čutili v krajih severno od Ljubljane. O učinkih četrte stopnje EMS-98 so poročali prebivalci Spodnjih Prapreč, Kamnika, Vrhpolja pri Kamniku in Kališa. Bobnenje ob potresu so slišali tudi v Savinjski dolini.

6. november 2010 ob 21. uri 51 minut po UTC. Ta potres so čutili v območju med Trebnjem in Litijo. Lokalna magnituda potresa je bila 2,5. Največjo intenziteto (IV-V EMS-98) je dosegel v Zaborštu (slika 11).

19. november 2010 ob 7. uri 10 minut po UTC. Potres magnitude 2,4 z žariščem pri Šembijah je dosegel intenziteto IV EMS-98 v Merečah.

15. december 2010 ob 13. uri 47 minut po UTC. Ta dogodek so čutili prebivalci Dobrepolske doline, najbolj (IV EMS-98) pa v kraju Videm. Magnituda potresa je bila 1,4.



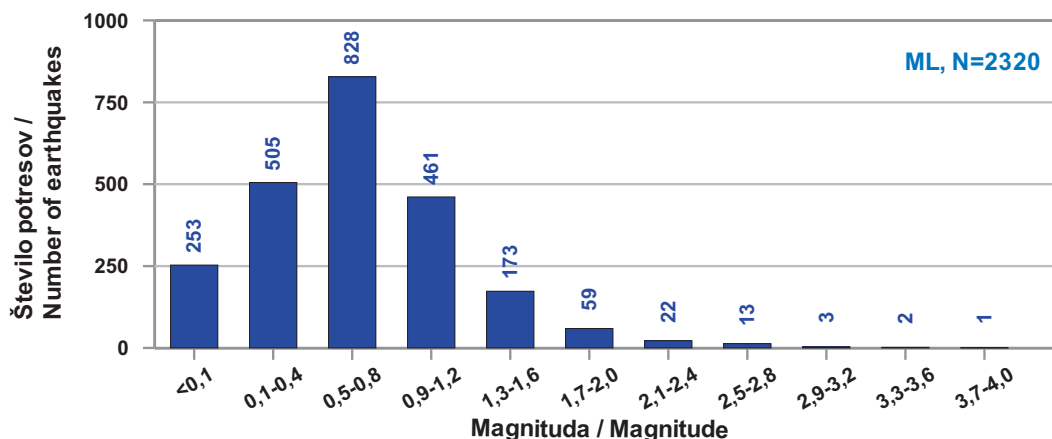
Slika 12: Združena karta intenzitet vseh potresov leta 2010 za posamezen kraj. V primeru, da so v posameznem kraju čutili več potresov, je označena največja intenziteta, ki je bila dosežena kadarkoli v tem letu.

Figure 12: Overall map of the largest intensities of all earthquakes in 2010 felt by the inhabitants of Slovenia in individual places.

Sklepne misli

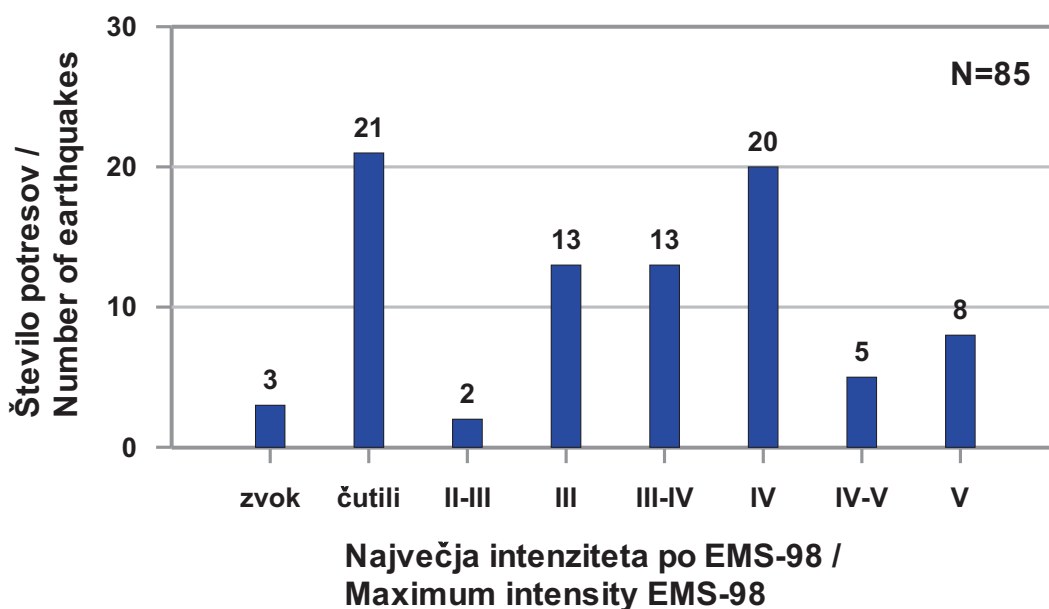
Potresna dejavnost v Sloveniji leta 2010 je bila glede na leto prej povečana. Histogram na sliki 13 kaže porazdelitev lokalnih magnitud (M_{LV}), ki smo jih določili 2320 potresom. Pri 96 odstotkih teh potresov je bila lokalna magnituda manjša od 1,6. Dvajsetim potresom ni bilo mogoče določiti lokalne magnitude.

Med potresi, za katere smo prostovoljnimi opazovalcem razposlali makroseizmične vprašalnike ali opravili terenske raziskave, je osem potresov doseglo največjo intenziteto V EMS-98, pet



Slika 13: Porazdelitev potresov v Sloveniji 2010 glede na magnitudo M_{LV} .

Figure 13: Distribution of earthquakes in Slovenia in 2010 with respect to magnitude M_{LV} .



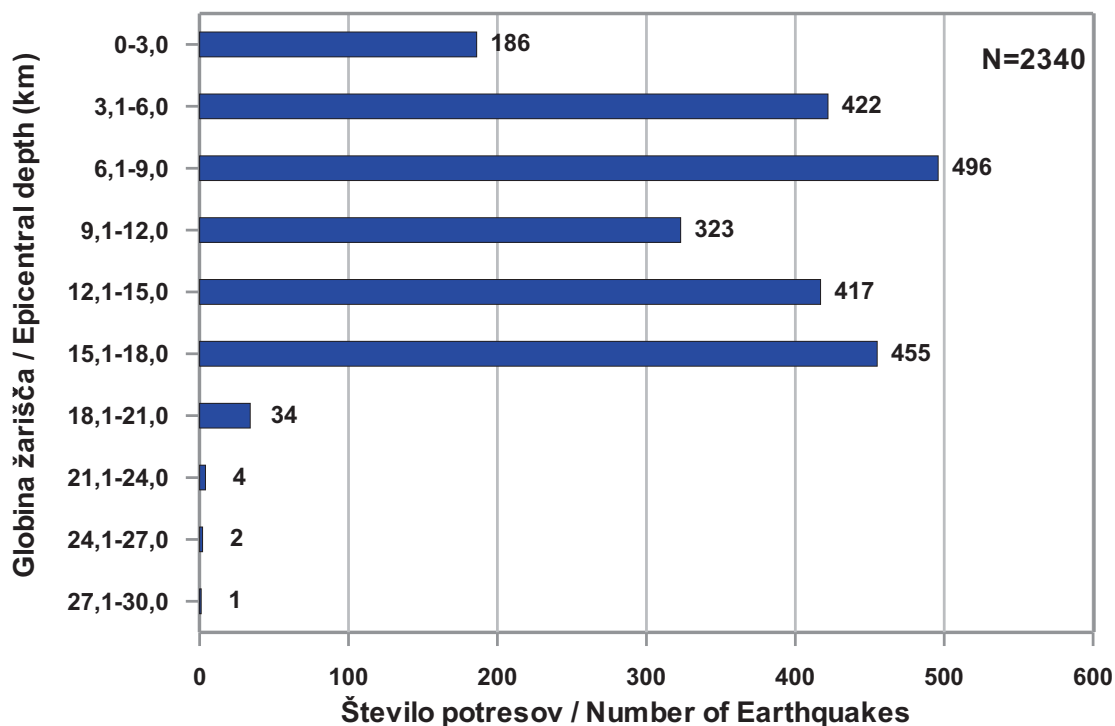
Slika 14: Porazdelitev potresov v Sloveniji leta 2010 glede na največjo intenziteto EMS-98.

Figure 14: Distribution of earthquakes in Slovenia in 2010 with respect to maximum intensity EMS-98.

IV-V EMS-98 in dvajset IV EMS-98 (slika 14). Drugi potresi (52) so imeli največjo intenziteto III-IV EMS-98 ali manjšo. Prebivalci so skupno čutili vsaj 85 potresov (sliki 2 in 12).

Porazdelitev potresov glede na globino žarišč (slika 15) kaže, da je imela večina od 2340 potresov na območju Slovenije in bližnje okolice žarišča do globine 24 km. 71 odstotkov potresov se je zgodilo na globini med 3,1 in 15 km. 455 potresov je imelo žarišče v globini med 15,1 in 18 km, 41 potresom pa smo opredelili žariščno globino večjo od 18 km. Večje število potresov na večjih globinah v primerjavi s prejšnjimi leti je zaradi številnih popotresov potresa 15. januarja pri Postojni in potresov 15. septembra pri Ilirski Bistrici. Oba potresna žarišča sta za slovenske razmere na razmeroma večji globini in sicer okoli 15 km pri Postojni in okoli 17 km pri Ilirski Bistrici. Potresu pri Postojni je sledilo več kot 400, pri Ilirski Bistrici pa več kot 200 popotresov na teh globinah.

Kot do zdaj bi bili makroseizmični podatki za potrese zelo pomanjkljivi ali celo popolnoma nedostopni, če nam pri tem delu ne bi pomagali številni prostovoljni opazovalci. Leta 2010 je z



Slika 15: Porazdelitev potresov leta 2010 glede na globino žarišča (v kilometrih).

Figure 15: Distribution of earthquakes in Slovenia in 2010 with respect to focal depth (in kilometres).

ARSO aktivno sodelovalo več kot 5000 ljudi, za kar se jim najlepše zahvaljujemo. Leta 2010 smo poslali 6587 vprašalnikov o potresih.

Tudi leta 2010 smo pri zbiranju in izmenjavi podatkov uspešno sodelovali s seizmologi iz sosednjih držav. Zahvaljujemo se jim za poslano makroseizmične podatke.

Literatura

- Agencija RS za okolje, 2010–2011. Preliminarni tedenski seizmološki bilteni za 2010. Arhiv ARSO, Ljubljana.
- Cecić, I., 2011. Evropska potresna lestvica 1998 (EMS-98). Potresi v letu 2010. Agencija Republike Slovenije za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo, 138-139, Ljubljana.
- Čarman, M., Živčić, M., Ložar Stopar, M., 2011a. Potresi pri Ilirski Bistrici leta 2010. Potresi v letu 2010, Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo, 100-112, Ljubljana.
- Čarman, M., Ložar Stopar, M., Cecić, I., Živčić, M., 2011b. Niz šibkih potresov pri Naklem leta 2010. Potresi v letu 2010, Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo, 90-99, Ljubljana.
- Grünthal, G. (ur.), 1998a. European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98). Conseil de l'Europe, Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, Volume 15, Luxembourg, 99 p.
- Grünthal, G. (ur.), 1998b. European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98). Dostopno na naslovu: http://www.gfz-potsdam.de/portal/gfz/Struktur/Departments/Department+2/sec26/resources/documents/PDF/EMS-98_Original_englisch_pdf (Uporabljeno 13. 5. 2011)
- GZAM, 2010–2011. Data reports (online). Geofizički odsjek Prirodoslovno-Matematičnog Fakulteta, Zagreb, Hrvaška. Dostopno na naslovu: <http://www.isc.ac.uk/cgi-bin/collect?Days=&yyyy=Year&mm=Mon&Reporter=ZAG> (Uporabljeno 13. 5. 2011).
- Lienert, B. R., Berg, E., in Frazer, L.N., 1988. HYPOCENTER: An earthquake location method using centered, scaled, and adaptively least squares. Bull. Seism. Soc. Am., 76, 771–783.
- Lienert, B. R., 1994. HYPOCENTER 3.2 - A Computer Program for Locating Earthquakes Locally, Regionally and Globally. Hawaii Institute of Geophysics & Planetology, Honolulu, 70 p.

- Michelini, A., Živčić, M., in Suhadolc, P., 1998. Simultaneous inversion for velocity structure and hypocenters in Slovenia. *Journal of Seismology*, 2(3), 257–265.
- OGS (Osservatorio Geofisico Sperimentale), 2010. Bolletino della Rete Sismometrica del Friuli Venezia Giulia. OGS, Centro ricerche sismologiche, Udine, computer file.
- RGU (Republiška geodetska uprava), 1995. Centroidi naselij (geografske koordinate), računalniški seznam.
- Tóth, L., Mónus, P., Zsíros, T., Bus, Z., Kiszely, M., in Czifra, T., 2011. Hungarian Earthquake Bulletin 2010. GeoRisk – MTA GGKI, Budapest, 2011.
- Wessel, P., in Smith, W. H. F., 1991. Free software helps map and display data. *Eos, Trans. Amer. Un.*, Vol. 72 (441), pp. 445–446.
- Wessel, P., in Smith, W. H. F., 1998. New, improved version of the Generic Mapping Tools released. *EOS Trans. AGU*, Vol. 79, p. 579.
- ZAMG, 2010–2011. Preliminary bulletin of regional and teleseismic events recorded with ZAMG-stations in Austria. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien.
- Živčić, M., Bondár, I., in Panza, G. F., 2000. Upper Crustal Velocity Structure in Slovenia from Rayleigh Wave Dispersion. *Pure Appl. Geophys.*, Vol. 157, 131–146.
- Živčić, M., Čarman, M., Ložar Stopar, M., 2011. Potres 15. januarja 2010 pri Postojni. Potresi v letu 2010, Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo, 79–89, Ljubljana.

**Izidor Tasič, Marko Mali, Luka Pančur, Peter Sinčič, Igor Pfundner, Bojan Uran,
Jože Prosen**

DELOVANJE POTRESNIH OPAZOVALNIC V LETU 2010 SEISMIC NETWORK OF THE REPUBLIC OF SLOVENIA – OPERATION IN 2010

Povzetek

V prispevku so podani rezultati analize delovanja državne mreže potresnih opazovalnic v letu 2010. Zanimalo nas je število prekinitev komunikacije s posamezno potresno opazovalnico (izpad) glede na njihovo trajanje, predvsem število tistih izpadov, ki so trajali več kot 2 uri, saj v takem primeru že lahko pride do izgube podatkov. Za najdaljše izpade posamezne potresne opazovalnice smo podali tudi njihove vzroke. Izračunali smo skupno trajanje izpadov posamezne potresne opazovalnice glede na določen časovni interval ter skupno trajanje izpadov posamezne potresne opazovalnice v določenem mesecu. V prispevku poleg rezultatov analize delovanja posamezne potresne opazovalnice podajamo tudi časovne intervale, znotraj katerih ni delovalo po več potresnih opazovalnic hkrati in tudi razloge za omenjeno nedelovanje. Zavedati se moramo, da je za analizo parametrov potresa bolj kritično, če v istem trenutku ne deluje več potresnih opazovalnic, kot če jih dlje časa ne deluje manjše število. Na osnovi rezultatov analize delovanja potresnih opazovalnic redno poteka tudi razvoj in izvedba posodobitev, ki prispevajo k boljšemu in zanesljivejšemu delovanju državne mreže potresnih opazovalnic.

Abstract

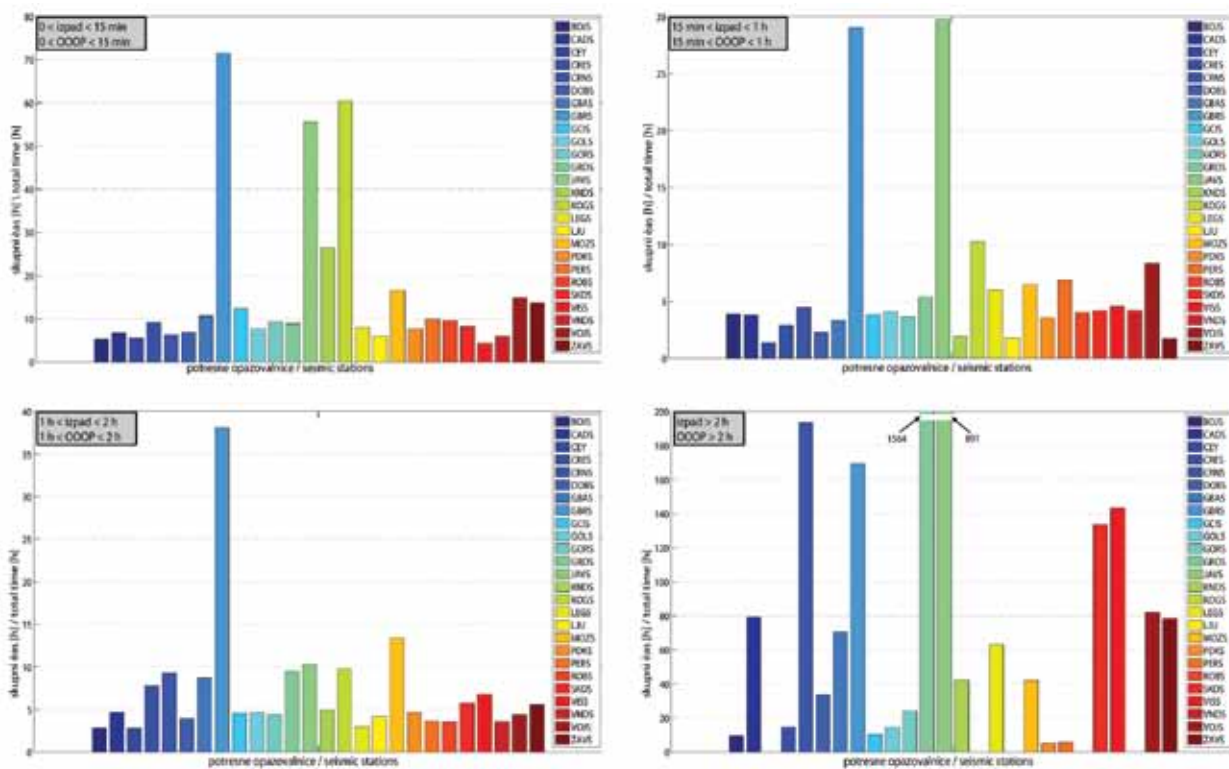
The results of analysis of operation of Seismic Network of the Republic of Slovenia (SNRS) in 2010 are presented in this article. We were especially interested in the number and lengths of out-of-operation periods (OOOP) (particularly the ones longer than two hours – possibility of the loss of seismic data) for all seismic stations. The number of fixed length OOOP for all seismic stations and the sum of OOOP in each month of operation for all seismic stations were calculated. Furthermore, the analysis of causes of the longest OOOP for particular seismic station was made. Moreover, some parameters, which illustrate the functioning of the whole seismic network, are presented. Time intervals within more seismic stations were not functioning simultaneously are calculated and presented. Every year have been made several improvements based on the results of the analysis, contributing to better and more reliable operation of SNRS.

Uvod

Posamezna potresna opazovalnica državne mreže potresnih opazovalnic (DMPO) je opremljena z zajemalno enoto Quanterra Q730 (Q730) in seizmometrom enega od naslednjih tipov: Guralp CMG 40T, Guralp CMG 3ESPC, Guralp 3T in STS-2. Enota Q730 skrbi za zajem podatkov iz seizmometra, pretvorbo le-teh v digitalno obliko in opremljanje podatkov z natančnim časom preko sistema GPS. Po pripravi podatkov zajemalna enota podatke pošlje v središče za obdelavo podatkov v Ljubljani (SOP). Izmenjava podatkov poteka v realnem času. V kolikor pride do izpada, Q730 shrani podatke v interni spomin, ki je izveden v obliki krožnega pomnilnika. Če je izpad predolg, se starejši podatki v krožnem pomnilniku nadomestijo z novimi in tako pride do izgube podatkov. Proizvajalci opreme zagotavljajo do dve uri (odvisno od kompresije podatkov) dovoljenega izpada komunikacij. V kolikor je izpad daljši, lahko pride do izgube podatkov. Q730 zabeleži v statusno log datoteko vsako spremembo v zvezi z delovanjem sistema (prekinitev oziroma vzpostavitev komunikacije, spremembe podatkov v zvezi z GPS-om ...). V primeru daljšega izpada, oziroma če pride do izpada napajanja na Q730, so omenjene statusne datoteke izgubljene. Izgubljene podatke o delovanju sistema lahko v takem primeru nadomestimo s podatki, ki jih dobimo s stalnim preverjanjem komunikacije posamezne potresne opazovalnice iz SOP.

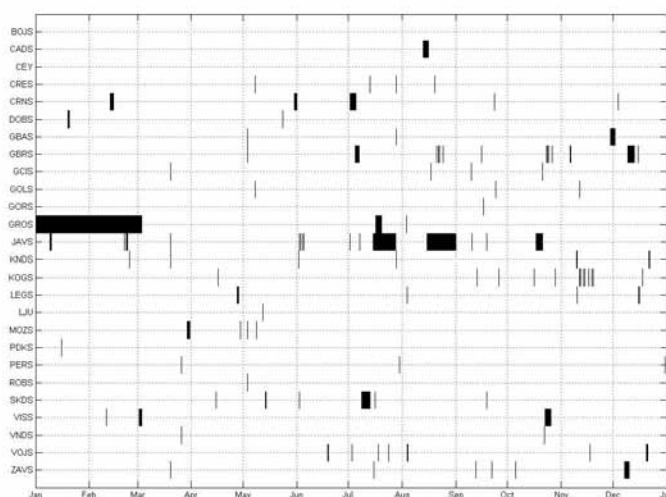
Izpadi potresnih opazovalnic

Analiza je bila narejena na osnovi podatkov iz statusnih datotek različnih izvorov (tako imenovane statusne datoteke 'log', 'ping', 'latency' in 'napetost'). Razloge oziroma informacije o daljših izpadih in resnejših okvarah smo črpali iz internih dokumentov (tako imenovana digitalna knjiga potresne opazovalnice), kamor pripravljene instrumentalist redno vpisuje vzroke in podatke o daljših izpadih v času svoje pripravljenosti. Zanimalo nas je število izpadov posamezne potresne



Slika 1: Skupno trajanje izpadov glede na trajanje izpada za vse potresne opazovalnice skupaj.

Figure 1: The total duration of OOPs according to their lengths of all seismic stations.



Slika 2: Pregled delovanja DMPO v letu 2010. Izpadi so označeni s črno barvo. Ločljivost slike omogoča, da so vidni le izpadi, daljši od treh ur.

Figure 2: An overview of out-of-operation periods for seismic network of Slovenia in the year 2010. The resolution of the picture makes possible to differentiate only out-of-operation periods which are longer than three hours.

opazovalnice glede na trajanje izpada (predvsem število tistih izpadov, ki so trajali dlje kot 2 uri, ker v takem primeru že lahko pride do izgube podatkov). Izračunali smo skupno trajanje izpadov posamezne potresne opazovalnice glede na določen časovni interval ter skupno trajanje izpadov posamezne potresne opazovalnice v določenem mesecu. V primeru, ko v določenem obdobju pride do večkratnega izpada, lahko pride do popolne izgube podatkov (programska oprema pošilja vedno iste podatke). V tem primeru pride do tako imenovanih pogojnih izpadov (izpadi, za katere velja, da je razmerje med skupnim časom izpadov in celotnim časom več kot 66 %), za katere privzamemo, da komunikacije z opazovalnico v opazovanem obdobju ni bilo.

V letu 2008 smo programsko opremo nadgradili s funkcijo, ki nam na osnovi istih podatkov izračuna tudi število in trajanje izpadov več potresnih opazovalnic sočasno. Izpade smo razde-

Preglednica 1. Skupni podatki o številu izpadov in njihovem trajanju za DMPO v letu 2010.

Table 1. An overview of the out-of-operation periods (OOOP) of particular seismic station in the year 2010.

oznaka opazovalnice	število vseh izpadov	trajanje vseh izpadov [min]	število izpadov daljših od 2h	trajanje izpadov daljših od 2h [min]
station code	number of OOOP	duration of OOOP [min]	number of OOOP > 2h	number of OOOP > 2h + conditionally [min]
BOJS	151	1228	2	568
CADS	157	5551	1	4756
CEY	143	526	0	0
CRES	229	1888	1	885
CRNS	177	12756	4	11608
DOBS	174	2901	2	2009
GBAS	256	5552	1	4247
GBRS	1726	15471	5	10161
GCIS	340	1787	3	620
GOLS	194	1813	1	885
GORS	199	2325	4	1441
GROS	209	95087	3	93811
JAVS	1354	58233	12	53500
KNDS	711	4446	4	2525
KOGS	1621	3942	0	0
LEGS	211	4735	5	3787
LJU	144	574	0	0
MOZS	375	4563	1	2514
PDKS	171	1185	2	304
PERS	247	1483	2	341
ROBS	263	931	0	0
SKDS	215	8994	3	8028
VISS	214	9521	3	8603
VNDS	136	766	0	0
VOJS	271	6512	7	4913
ZAVS	355	5876	3	4693
skupaj	10243	258646	69	220199

Preglednica 2. Pregled najdaljših izpadov za posamezno potresno opazovalnico in razlogi zanje.

Table 2. An overview and causes for OOP's for particular seismic station.

oznaka opazovalnice	nastop najdaljšega izpada	trajanje najdaljšega izpada	razlog izpada
station code	date/time of the longest OOP	duration of the longest OOP	reason
BOJS	7. 6. / 11:29:24	4h 44m 12s	napaka na komunikacijah
CADS	13. 8. / 03:46:14	3d 7h 16m 5s	okvara usmernika - izvedena menjava.
CEY	/	/	izpadov, daljših od dveh ur, ni bilo
CRES	7. 5. / 18:30:20	14h 45m 20s	napaka komunikacijske opreme – okvara regijskega usmerjevalnika
CRNS	1. 7. / 14:44:46	3d 16h 34m 30s	okvara avtomatskega FID stikala
DOBS	19. 1. / 12:28	23h 20m 28s	izpad napajanja - izpad FID stikala
GBAS	29. 11. / 09:47	2d 22h 46m 56s	okvara ADSL modema
GBRS	9. 12. / 12:23:44	3d 20h 42m 12s	okvara ADSL modema
GCIS	28. 7. / 09:06:21	4h 29m 54s	izklop napajanja zaradi izvajanja posodobitvenih del
GOLS	7. 5. / 18:30:47	14h 44m 44s	napaka na komunikacijah – napaka regijskega usmerjevalnika
GORS	16. 9. / 20:31:09	12h 17m 25s	napaka na komunikacijah
GROS	1. 1. / 00:01:00	61d 9h 48m 36s	Kraja pokrova seizmičnega jaška. Opazovalnica ne deluje. Zaradi slabega vremena in snega menjava šele 3.3.2010.
JAVS	15. 8. / 07:39:45	17d 0h 57m 16s	Problemi s komunikacijsko opremo. Menjava modema in ponoven zagon usmerjevalnika.
KNDS	21. 12. / 12:28:12	21h 29m 33s	izpad napajanja - izpad FID stikala
KOGS	/	/	izpadov, daljših od dveh ur, ni bilo
LEGS	27. 4. / 12:03:18	21h 42m 05s	napaka na komunikacijah
LJU	/	/	izpadov, daljših od dveh ur, ni bilo
MOZS	29. 3. / 12:40:38	1d 17h 54m 07s	napaka na komunikacijah
PKDS	15. 1. / 00:09:37 16. 1. / 00:09:37	2h 32m 00s 2h 32m 00s	napaka na komunikacijah
PERS	31. 12. / 01:44:04	2h 59m 42s	napaka na komunikacijah
ROBS	/	/	izpadov, daljših od dveh ur, ni bilo
SKDS	9. 7. / 11:28:47	4d 2h 28m 04s	težave z usmerjevalnikom - izvedena menjava
VISS	22. 10. 11:52:53	3d 20h 08m 25s	napaka na komunikacijah – napaka na ADSL modemu.
VNDS	/	/	izpadov, daljših od dveh ur, ni bilo
VOJS	20. 12. / 06:22:45	1d 2h 28m 12s	napaka na AKU zaščiti
ZAVS	7. 12. / 09:24:38	3d 0h 17m 46s	napaka na GSM modemu

lili glede na trajanje ter glede na število sočasno nedelujočih opazovalnic. Omenjeni podatki so pomembni predvsem zaradi odkrivanja napak, ki nimajo izvora na posamezni potresni opazovalnici, ampak v komunikacijski mreži. Na odkrite napake zato lahko opozorimo za to pristojne službe (HKOM, ASTEC, Smart Com in druge). V prispevku zato podajamo tudi rezultate omenjene analize. V rezultatih podajamo statistiko sočasnih izpadov: njihovo število, njihovo trajanje ter število sočasno nedelujočih opazovalnic.

Rezultati analize

V poglavju podajamo rezultate analize delovanja DMPO v letu 2010. Najprej podajamo skupno trajanje izpadov glede na trajanje izpada za celotno mrežo potresnih opazovalnic (slika 1). Rezultati so prikazani za štiri različne dolžine izpadov: izpadi krajši od 15 minut, izpadi dolgi med 15 in 60 minut, izpadi dolgi med eno in dve uri in izpadi, daljši od dveh ur. Na sliki 2 je pregled delovanja DMPO v letu 2010, kjer črna barva predstavlja nedelovanje oziroma izpad potresne opazovalnice. Pregled najdaljših izpadov za posamezno potresno opazovalnico in razlogi zanje so zbrani v preglednicah 1 in 2.

V nadaljevanju so podani rezultati analize, ki obravnavajo izpade, kjer istočasno ni delovalo več potresnih opazovalnic hkrati. V preglednici 3 in na sliki 3 podajamo skupno trajanje izpadov glede na število sočasno nedelujočih opazovalnic. Posamezna vrednost predstavlja skupno trajanje vseh sočasnih izpadov natanko določenega števila opazovalnic. Stolpci se med seboj izključujejo, kar pomeni, da vrednost posameznega stolpca predstavlja le vsoto istočasnih izpadov pripadajočega števila potresnih opazovalnic (primer: vrednost 20. stolpca predstavlja vsoto skupnih izpadov točno 20 potresnih opazovalnic in ne zajema sočasnih izpadov več kot dvajsetih potresnih opazovalnic). Skupno trajanje izpadov v posameznem stolpcu je sestavljeno iz več izpadov iste vrste in zato ne prikazuje kritičnih izpadov (izguba podatkov v realnem času več kot 70 % potresnih opazovalnic za več kot eno uro).

Ker je natančnost lociranja žarišča potresa in določitev njegove magnitude v realnem času neposredno odvisna od števila v analizo zajetih potresnih opazovalnic, je pregled in analiza kritičnih izpadov pomembna za zmanjševanje dogodkov, ki bi vplivali na izgubo toka podatkov. Teoretično so za določitev nadžarišča (epicentra) potresa potrebne najmanj tri opazovalnice, če želimo določiti še žariščno globino, pa so potrebne najmanj štiri potresne opazovalnice. V resnici pa imamo pri postopku lociranja potresa mnogo neznank, ki jih pri oceni parametrov potresa zmanjšamo z večjim številom potresnih opazovalnic, ki sodelujejo pri analizi. Kritični izpad, do katerega pride v trenutku potresa, predstavlja velik problem, saj je določitev potresnih parametrov v takem primeru otežena oziroma manj natančna. Pregled sočasnih izpadov je podan v preglednici 4.

Preglednica 3. Skupno trajanje izpadov, podano v minutah (črna barva) glede na število opazovalnic (rdeča barva), ki istočasno niso delovale.

Table 3. The total duration of OOOs in minutes (in black colour) with respect to the number of inoperative seismic stations (in red colour).

število opaz.	skupno trajanje izpadov	število opaz.	skupno trajanje izpadov	število opaz.	skupno trajanje izpadov	število opaz.	skupno trajanje izpadov	število opaz.	skupno trajanje izpadov
1	176350	6	119	11	13	16	9	21	19
2	33746,5	7	57	12	11,5	17	7	22	11,5
3	1213,5	8	109,5	13	9	18	4	23	7,5
4	464	9	59,5	14	18,5	19	7	24	17,5
5	171	10	9	15	15,5	20	10,5	25	59
								26	246

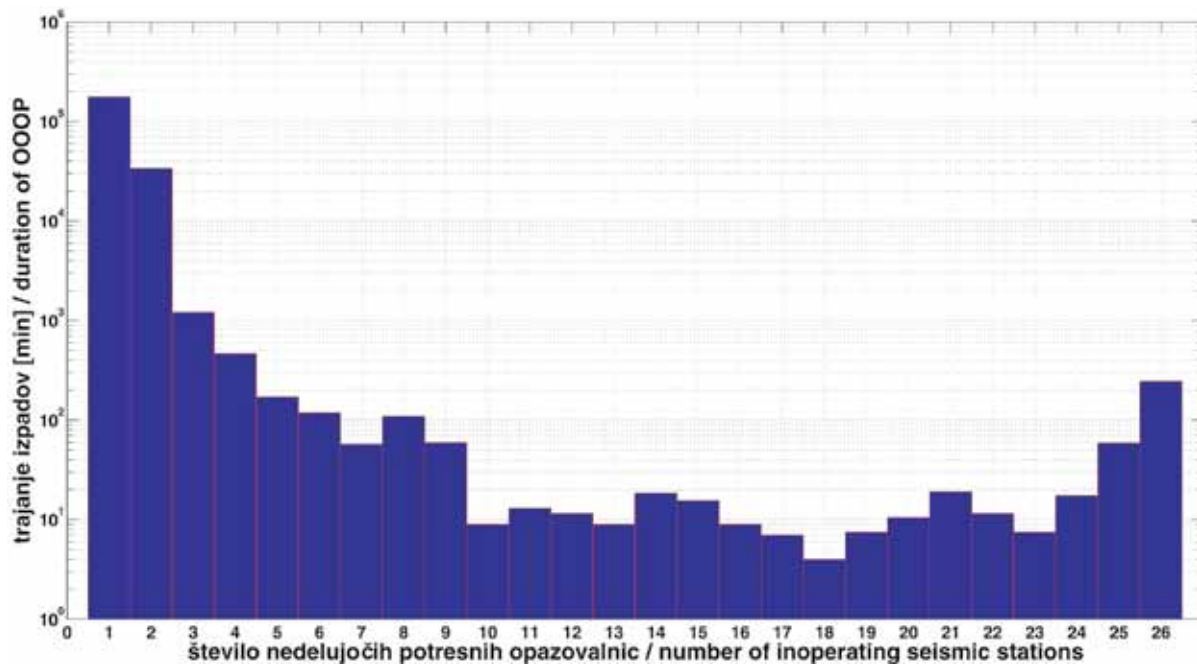
Preglednica 4. Število izpadov (interval v minutah) glede na število sočasno izpadlih potresnih opazovalnic. Vijolična barva predstavlja kritične izpade, ki onemogočijo takojšnje samodejno določitev osnovnih parametrov potresa ter pri katerih obstaja nevarnost stalne izgube zapisa potresa. Temno modra barva predstavlja kritične izpade, ki onemogočijo takojšnje samodejno določitev osnovnih parametrov potresa. Zelena barva predstavlja pogojno kritične izpade, ki glede na lokacijo potresa in lokacijo potresnih opazovalnic, ki so potrebne za samodejno analizo, lahko onemogočijo takojšnje samodejno določitev osnovnih parametrov potresa.

Table 4. An overview of simultaneous OOOOPs for Slovenian National seismic network. Violet color – Critical OOOOPs (automatic analysis of earthquake parameters is not possible; possible permanent loss of earthquake waveform data). Dark blue color – Critical OOOOPs (automatic analysis of earthquake parameters is not possible). Green color – Critical OOOOPs (automatic analysis of earthquake parameters is aggravated).

Število opaz.	dolžina trajanja izpadov						
	0 – 5 min	5 – 15 min	15 – 30 min	30 – 45 min	45 – 60 min	60 – 120 min	> 120 min
2	1735	404	68	30	14	28	56
3	351	25	5	1	0	1	0
4	111	9	1	0	1	1	0
5	67	4	0	0	0	0	0
6	24	4	1	0	0	0	0
7	11	0	1	0	0	0	0
8	12	0	1	0	0	1	0
9	19	0	1	0	0	0	0
10	4	0	0	0	0	0	0
11	7	0	0	0	0	0	0
12	6	0	0	0	0	0	0
13	3	0	0	0	0	0	0
14	6	0	0	0	0	0	0
15	7	0	0	0	0	0	0
16	3	0	0	0	0	0	0
17	2	0	0	0	0	0	0
18	1	0	0	0	0	0	0
19	2	0	0	0	0	0	0
20	4	0	0	0	0	0	0
21	6	0	0	0	0	0	0
22	3	0	0	0	0	0	0
23	1	0	0	0	0	0	0
24	7	0	0	0	0	0	0
25	30	0	0	0	0	0	0
26	45	1	1	1	0	1	0

Zaključek

V prispevku smo na kratko predstavili rezultate analize delovanja DMPO v letu 2010. Ugotovili smo, da se izpadi (prekinitev komunikacije s posamezno potresno opazovalnico) pojavljajo neprestano, pri čemer je treba poudariti, da je izpadov, daljših od dveh ur, sorazmerno malo. Medtem, ko je vzrok krajših izpadov vedno napaka na komunikacijah, pa so vzroki daljših iz-



Slika 3: Skupno trajanje izpadov več potresnih opazovalnic hkrati v letu 2010.

Figure 3: The total duration of OOOP's that occurred at several seismic stations simultaneously (year 2010).

padov raznovrstni. V grobem jih lahko delimo v tri skupine. V prvi skupini so problemi v zvezi z dobavo električne energije ter motnjami v varovalnem sistemu potresne opazovalnice (predvsem so to izpadi varovalk in okvare na enotah UPS). Za rešitev tega problema smo vse potresne opazovalnice nadgradili s tako imenovanimi avtomatskimi stikali FID, ki se ob iznihanju motnje ponovno samodejno vklopijo. V letu 2010 smo nadaljevali z izboljšavami enot UPS, kar bo pripomoglo k daljši avtonomnosti sistema in posledično k stabilnejšemu delovanju mreže potresnih opazovalnic. V drugo skupino spadajo problemi v zvezi s komunikacij. Ranljivost na tovrstne napake smo začeli zmanjševati z namestitvijo industrijskih računalnikov (JetBox) na posamezno potresno opazovalnico. Le-ti neprestano zajemajo seizmološke podatke in jih shranjujejo na lastnem disku. V primeru daljšega izpada komunikacij je tako izgubljene podatke možno naknadno prenesti. V tretjo skupino pa uvrščamo okvare na seizmološki opremi (okvare na seizmometrih in zajemalnih enotah). Hitrost odprave napak je pogosto odvisna od dejavnikov, na katere na moremo vplivati (slabe vremenske razmere, fizične napake na komunikacijskih poteh, ...). V prispevku smo naredili tudi analizo tako imenovanih kritičnih izpadov. To so izpadi več kot 70 % (oz. 18 od 26) potresnih opazovalnic hkrati za več kot eno uro. Ugotovili smo, da je bil tak izpad le eden (v letu 2009 sta bila dva tovrstna izpada; v letu 2008 je bilo tovrstnih izpadov 10), krivec pa je bil eden od upravljalcev s komunikacijami.

Literatura

<http://www.arso.gov.si/področja/potresi/podatki/>, zadnjič dostopno junij 2011

Interni arhiv sektorja za potresna opazovanja, ARSO 2011, zadnjič dostopno junij 2011

Interno poročilo: Državna mreža potresnih opazovalnic – delovanje v letu 2010, M. Mali, 2011.

Jurij Pahor

UČINKOVITOST PRIDOBIVANJA PODATKOV IZ DRŽAVNE MREŽE POTRESNIH OPAZOVALNIC V LETU 2010

SEISMIC DATA ACQUISITION EFFICIENCY FOR SEISMIC NETWORK OF THE REPUBLIC OF SLOVENIA IN 2010

Povzetek

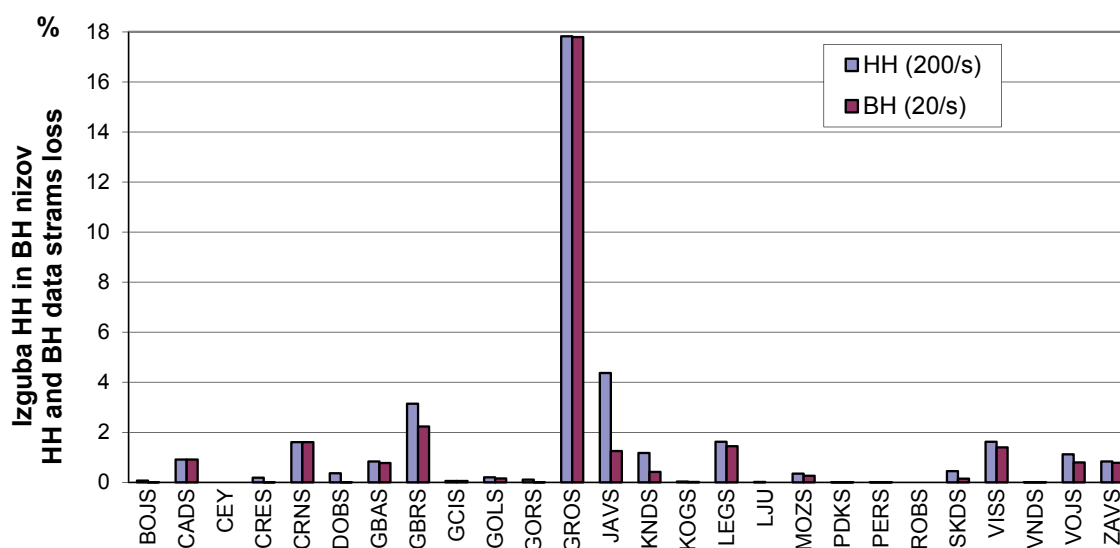
Izguba podatkov v letu 2010 s šestindvajsetih opazovalnic Državne mreže potresnih opazovalnic znaša 1,4 % za podatkovne nize s frekvenco vzorčenja 200 vzorcev v sekundi (HH) ter 1,2 % za podatkovne nize s frekvenco vzorčenja 20 vzorcev v sekundi (BH). Znatnejši izpad podatkov smo zabeležili le na opazovalnici Grobnik, s katere smo zaradi kraje pokrova jaška začasno odstranili merilno opremo.

Abstract

The seismic network of the Republic of Slovenia was operating twenty six seismic stations in 2010. The data loss was evaluated from Antelope wfdisc database table and was found to be 1.4 % for 200 sps data streams (HH) and 1.2 % for 20 sps data streams (BH). A significant data loss was accounted for station GROS, where the cover of the shaft was stolen at the end of 2009. The station GROS began to operate again in the beginning of March 2010.

Uvod

V poročilu o učinkovitosti pridobivanja podatkov so obravnavane opazovalnice Državne mreže potresnih opazovalnic (Sinčič in drugi, 2011). Povzetek količine zbranih podatkov je narejen iz tabele wfdisc, arhivske podatkovne baze sistema Antelope (Boulder Real Time Technologies, 2011) na diskovnem strežniku.



Slika 1: Izguba HH in BH podatkovnih nizov (povprečje treh komponent) po opazovalnicah v letu 2010.

Figure 1: Data loss of HH and BH data streams (three components average) for each seismic station in 2010.

Preglednica 1. Izguba podatkov za tri komponente HH in BH podatkovnih nizov po opazovalnicah, izražena v odstotku pričakovanega časa delovanja za leto 2010.

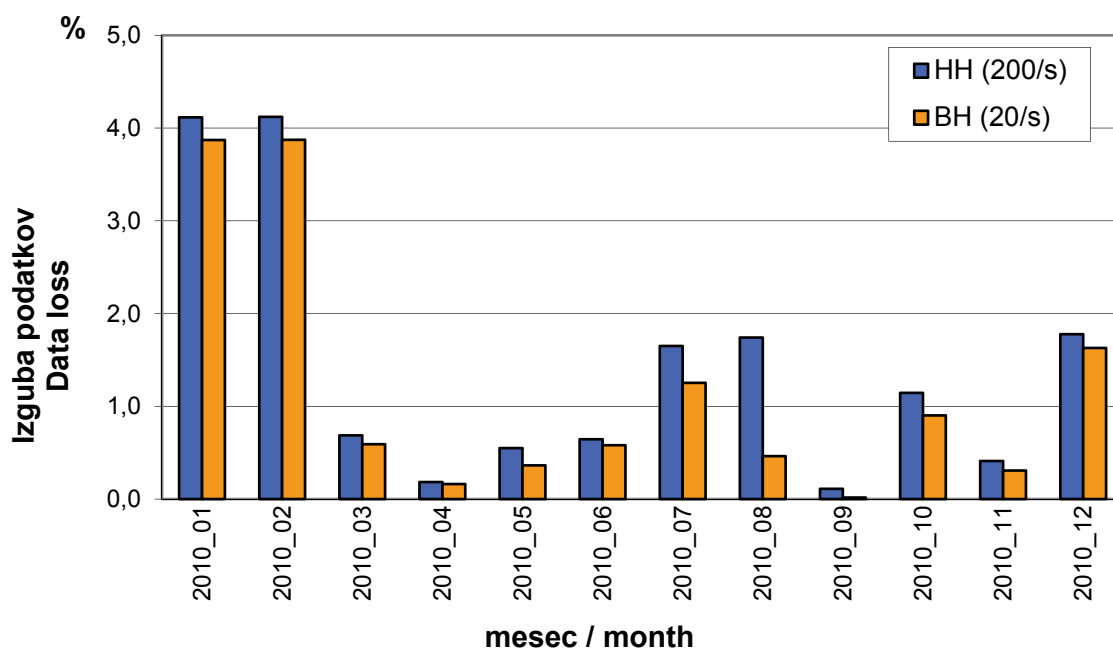
Table 1. Data loss in terms of percentage of expected operation time for three-channel HH and BH data streams for each seismic station in 2010.

%	HHE	HHN	HHZ	BHE	BHN	BHZ
BOJS	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
CADS	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9
CEY	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CRES	0,2	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0
CRNS	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6
DOBS	0,4	0,4	0,3	0,0	0,0	0,0
GBAS	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,6
GBRS	3,4	3,3	2,7	2,5	2,5	1,7
GCIS	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1	0,1
GOLS	0,2	0,2	0,2	0,2	0,2	0,1
GORS	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
GROS	17,8	17,8	17,8	17,8	17,8	17,7
JAVS	3,7	4,6	4,8	1,3	1,3	1,1
KNDS	1,5	1,6	0,4	0,4	0,4	0,4
KOGS	0,0	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
LEGS	1,6	1,6	1,6	1,5	1,5	1,3
LJU	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
MOZS	0,4	0,4	0,3	0,3	0,3	0,3
PDKS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
PERS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ROBS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SKDS	0,4	0,4	0,4	0,2	0,2	0,2
VISS	1,6	1,6	1,6	1,6	1,6	1,1
VNDS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
VOJS	1,2	1,1	1,1	0,8	0,8	0,8
ZAVS	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,7
mreža / network	1,4	1,5	1,4	1,2	1,2	1,1

Izguba podatkov v letu 2010

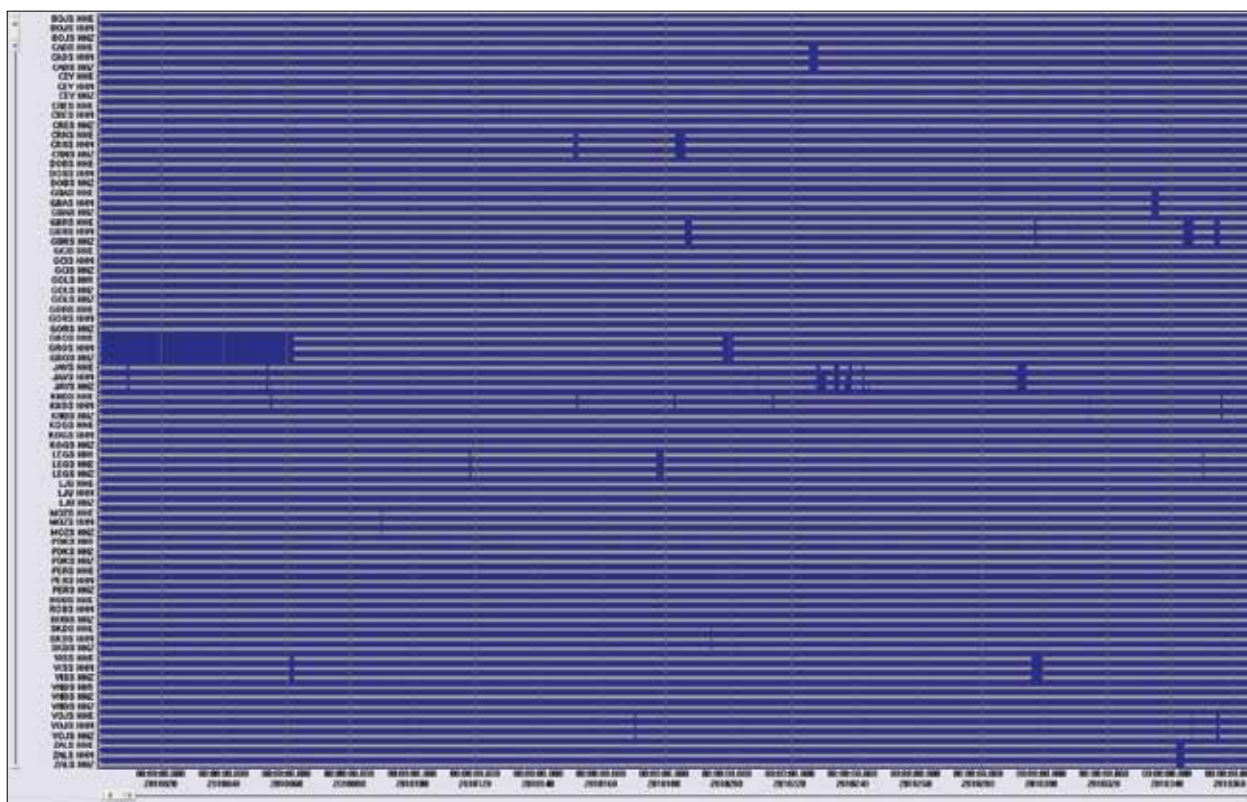
V poročilu je zajetih šestindvajset potresnih opazovalnic Državne mreže. Spremljali smo podatkovne nize s frekvenco vzorčenja 200 izmerkov v sekundi (HH) in 20 izmerkov v sekundi (BH). Odstotki izgube podatkov za posamezne opazovalnice in za celotno mrežo skupaj so izračunani iz razlike med pridobljenimi podatki ter pričakovano količino podatkov (Pahor in drugi, 2007).

V letu 2010 smo zabeležili znaten izpad seizmičnih podatkov z opazovalnice Grobnik (GROS) (preglednica 1). Tam je bil konec prejšnjega leta ukraden pokrov jaška, zaradi česar je bilo potrebno vso opremo začasno odstraniti. Delovanje opazovalnice je bilo ponovno vzpostavljeno v začetku marca.



Slika 2: Izguba HH in BH podatkovnih nizov po mesecih v letu 2010.

Figure 2: Monthly data loss of HH and BH data streams in 2010.



Slika 3: Razpoložljivost podatkov iz HH podatkovnih nizov za leto 2010. Časovna skala prikazuje dan v letu.

Figure 3: Data availability for HH data streams for permanent seismic stations in 2010. Time scale shows day of the year.

V letu 2009 smo začeli z nadgradnjo opazovalnic Državne mreže z dodatnimi moduli JetBox 8100 (Tasič in drugi, 2010), ki zajemajo podatke iz digitalizatorja Q730 ter jih sproti pošiljajo v rezervno središče na Golovcu. Seizmične podatke shranjujejo tudi lokalno na disk, od koder jih lahko pridobimo naknadno, po morebitni prekinitvi komunikacije. Na ta način smo prenesli za približno 70 dni HH podatkovnih nizov in 90 dni BH podatkovnih nizov iz osmih opazovalnic, največ iz opazovalnice JAVS. Brez tako pridobljenih seizmičnih podatkov bi bila izguba približno za 0,3 % višja.

Pri senzorjih v vrtinah se smeri vodoravnih komponent ne ujemajo s smermi sever-jug in vzhod-zahod, zato so ustrezni podatkovni nizi označeni s HH1 in HH2. V preglednici 1 so HH1 vključeni med HHE, HH2 pa med HHN podatkovne nize.

Zaključek

V letu 2010 smo zabeležili izpad 1,4 % podatkov z vzorčenjem 200 izm./sek s stalnih potresnih opazovalnic, kar je za desetinko odstotka bolje kot prejšnje leto (Pahor, 2010). Največjo izgubo smo zabeležili z opazovalnice na Grobniku (GROS). Del podatkov (0,3 %) smo pridobili naknadno iz modulov JetBox 8100, ki omogočajo hranjenje večje količine seizmičnih podatkov lokalno na opazovalnici.

Literatura

- Sinčič P., Tasič I., Živčič M., Prosen T., 2011. Potresne opazovalnice v Sloveniji v letu 2010. Potresi v letu 2010, Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo, Ljubljana.
- Boulder Real Time Technologies, inc. (online), 2011 (citirano 29.7.2011). Antelope Real Time System. Dostopno na naslovu: <http://www.brnt.com/>
- Pahor J., Živčič M., 2007. Učinkovitost zbiranja podatkov iz potresnih opazovalnic v letu 2005. Potresi v letu 2005, Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo, Ljubljana.
- Tasič I., Pančur L., Pfundner I., Mali M., 2010. Povečanje lokalnega pomnilnika za zajemalne enote Q730. Potresi v letu 2009, Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo, Ljubljana.
- Pahor J., 2010. Učinkovitost zbiranja podatkov iz potresnih opazovalnic v letu 2008. Potresi v letu 2009, Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo, Ljubljana.

Marko Mali, Izidor Tasič

POSODOBITEV POTRESNIH OPAZOVALNIC CRNS, GCIS IN JAVS MODERNIZATION OF SEISMIC STATIONS CRNS, GCIS AND JAVS

Povzetek

Kvaliteta seizmičnega signala, zabeleženega na posamezni potresni opazovalnici, je odvisna od več parametrov: od nameščene seizmološke in ostale tehnične opreme, kakovosti konstrukcije in izdelave potresne opazovalnice, geološke podlage ter vpliva naravnih in urbanih dejavnikov (veter, temperatura, človek...). S posodobitvijo potresnih opazovalnic Črni Vrh (CRNS), Gornji Cirknik (GCIS) in Javornik (JAVS) smo z izboljšavami zmanjšali skupni nivo nemira na opazovalnicah. Pozornost smo namenili predvsem zmanjšanju vpliva napačne napetosti, temperaturnih sprememb, vetra in seizmološke opreme na delovanje potresne opazovalnice. V prispevku na kratko podajamo glavne značilnosti posodobitev. Vpliv posodobitev na skupni nivo nemira posamezne potresne opazovalnice je predstavljen v obliki spektrogramov. Rezultati dokazujejo, da so omenjene posodobitve dosegle svoj cilj – izboljšati kvaliteto zabeleženih seizmičnih signalov.

Abstract

The quality of seismic signals recorded at particular seismic station depends on several parameters: seismic and other technical equipment, location and quality of construction of seismic station, geological parameters of the selected site, and environmental and human influences (wind, temperature, infrastructure...). The seismic stations Črni Vrh (CRNS), Gornji Cirknik (GCIS) and Javornik (JAVS) were modernized in the year 2010. After that the influence of power supply, temperature changes, wind and seismic equipment was minimized. The impact of modernization procedure on noise floor of particular seismic station was analytically tested and the modernization process is presented in details. Moreover, the results - the spectrograms showing the improvement of noise floor at all modernized seismic stations, are presented as well.

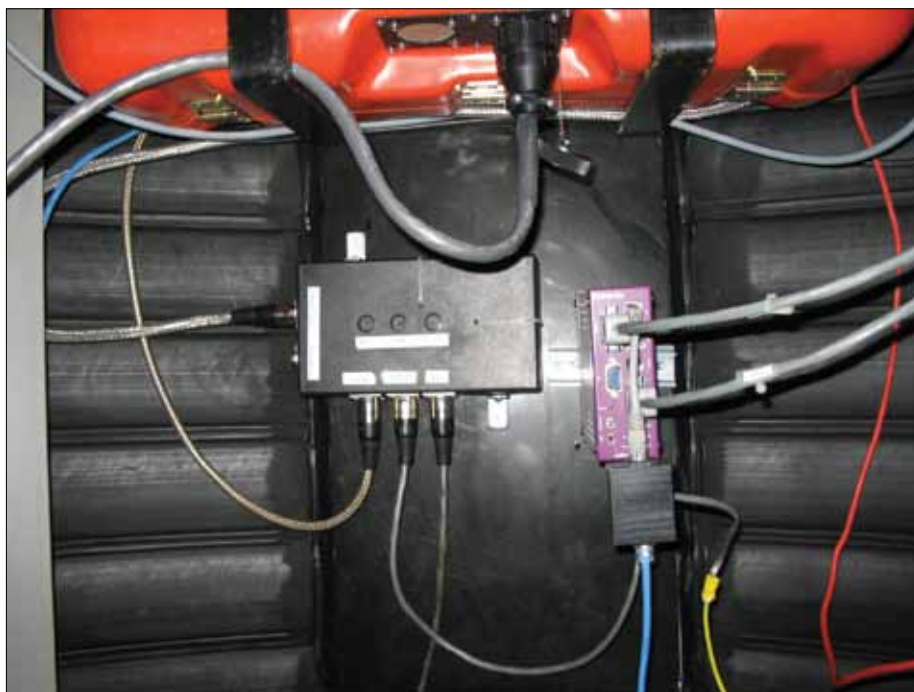
Posodobitev potresnih opazovalnic

V Sektorju za potresna opazovanja Urada za seizmologijo in geologijo izvajamo različne tehnične in seizmološke raziskave, na osnovi katerih neprestano izboljšujemo delovanje Državne mreže potresnih opazovalnic (DMPO). Kvaliteta seizmičnega signala, zabeleženega na posamezni potresni opazovalnici DMPO, je odvisna od več parametrov. Nanjo najbolj vpliva seizmološka in ostala tehnična oprema, kakovost konstrukcije in izgradnje potresne opazovalnice, geološka podlaga, ter urbani in naravni dejavniki (veter, temperatura...). Poleg omenjenega je pred izgradnjo potresne opazovalnice potrebna tudi obširna analiza seizmičnega in ostalega nemira na potencialni lokaciji. Smernice, katere je priporočljivo upoštevati pri izgradnji posamezne potresne opazovalnice oziroma pri izgradnji celotne mreže potresnih opazovalnic so natančno podane v izbrani literaturi (Trnkoczy in drugi, 2002). Na nekatere od naštetih dejavnikov po končani fazi izgradnje potresne opazovalnice ne moremo več vplivati, poskušamo pa izboljšati značilnosti zajemanja seizmičnega signala pri tistih dejavnikih, kjer je le to mogoče. Na osnovi raziskav vpliva napajalne napetosti (Mali in Tasič, 2008), temperature (Mali in Tasič, 2011) in vetra (Mali in Tasič, 2009) na skupni nemir posamezne potresne opazovalnice, smo zasnovali enoten postopek posodobitve potresnih opazovalnic.

Posodobitev je sestavljena iz naslednjih sklopov:

- Posodobitev napajalnega dela potresne opazovalnice. Napajanje seizmološke in komunikacijske opreme je izvedeno preko brezprekinitvenega napajalnega sistema (ang. Uninterruptible Power Supply - UPS), ki omogoča 24 urno avtonomno delovanje potresne opazovalnice. Na osnovi ugotovitve, da razsmernik (namenjen je napajanju komunikacijske opreme) preko elektromagnetnih motenj povečuje visoko-frekvenčni lastni šum seizmometra (Mali in Tasič, 2008), smo pripravili preklonno enoto, ki v primeru izpada električne energije napajanje ko-

munikacijske opreme avtomatsko preklopi na razsmernik. Komunikacijska oprema se zato večino časa napaja direktno preko omrežne napetosti in ne obremenjuje brezprekinitvenega napajalnega sistema oziroma razsmernika. Posodobitev na tej točki vključuje tudi menjavo vseh napajalnih vodov in namestitvev napajalne razdelilne enote (ki je namenjena razdelitvi enosmernega 12V napajanja med različne porabnike, ki se nahajajo v seizmičnem jašku – slika 1) v seizmični jašek. Napajalna razdelilna enota vsebuje tudi nizko-pasovni filter (ang. low-pass filter), ki v tokokrogu napajanja seizmometra še dodatno stabilizira enosmerno napajalno napetost. Menjava starih napajalnih vodov z oklopljenimi (ang. shielded) vodi večjega preseka preprečuje padec napetosti na samem vodu (trošenje energije na vodu) in zmanjšuje prenos elektromagnetnih motenj preko voda do seizmološke merilne opreme. Ureditev potresne opazovalnice po posodobitvi je shematsko predstavljena na sliki 2.

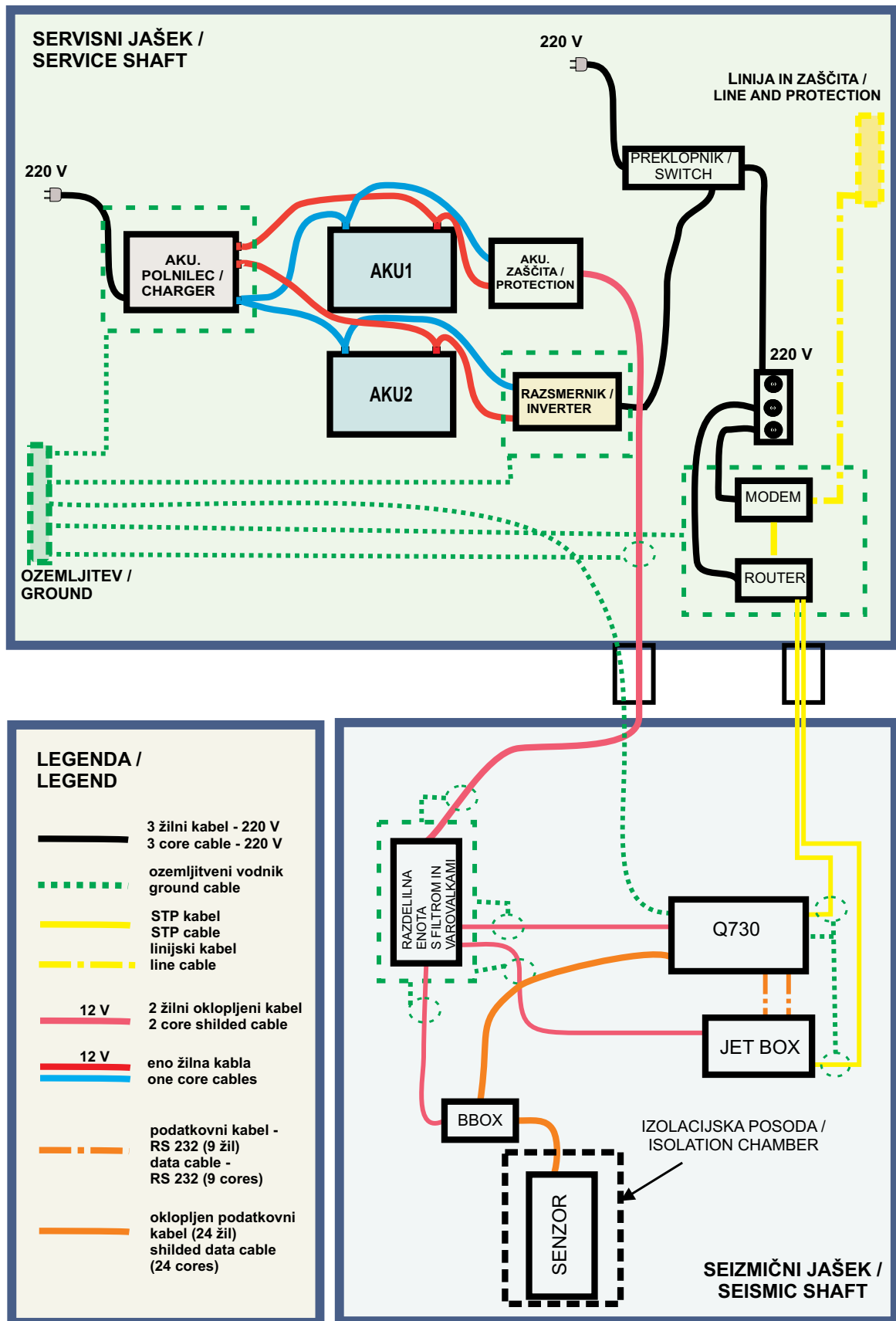


Slika 1: Napajalna razdelilna enota, ki skrbi za napajanje seizmološke opreme, je po novem nameščena v seizmičnem jašku. Na sliki so razvidni tudi novi napajalni vodi.

Figure 1: Seismic equipment power distribution unit is located in seismic shaft. New power lines are also visible on the figure.

- Izvedba dodatne temperaturne izolacije seizmometrov. Z meritvami temperature (Tasič in Mali, 2007) in obsežno analizo vpliva temperaturnih sprememb na delovanje seizmometrov (Mali in Tasič, 2011) smo ugotovili, da vsi jaški DMPO ne zagotavljajo temperaturno dovolj stabilnega okolja za delovanje dolgo-periodnih seizmometrov tipa CMG-3ESPC, CMG-3T in STS-2. Na potresnih opazovalnicah, ki so opremljene z omenjenimi tipi seizmometrov, smo zato izvedli dodatno temperaturno izolacijo seizmometra. Postopek je opisan v prispevku z naslovom Vpliv temperaturnih sprememb na delovanje dolgo-periodnih seizmometrov in je objavljen v tej publikaciji.
- Veter ima močan posredni in neposredni vpliv na visoko-frekvenčni del celotnega nemira opazovalnice (Mali in Tasič, 2009). Nadaljujemo s preučevanjem možnosti za zmanjšanje vpliva vetra.
- Menjava seizmometra. Seizmometer s svojimi značilnostmi poglavitno prispeva h kvaliteti zajetih seizmičnih signalov. Seizmometre tipa CMG-40T smo zaradi visokega lastnega nemira in nizke pasovne širine začeli nadomeščati s seizmometri tipa CMG-3ESPC, CMG-3T in STS-2.

Naštete izboljšave smo v letu 2010 izvedli na potresnih opazovalnicah Črni Vrh (CRNS), Gornji Cirknik (GCIS) in Javornik (JAVS).



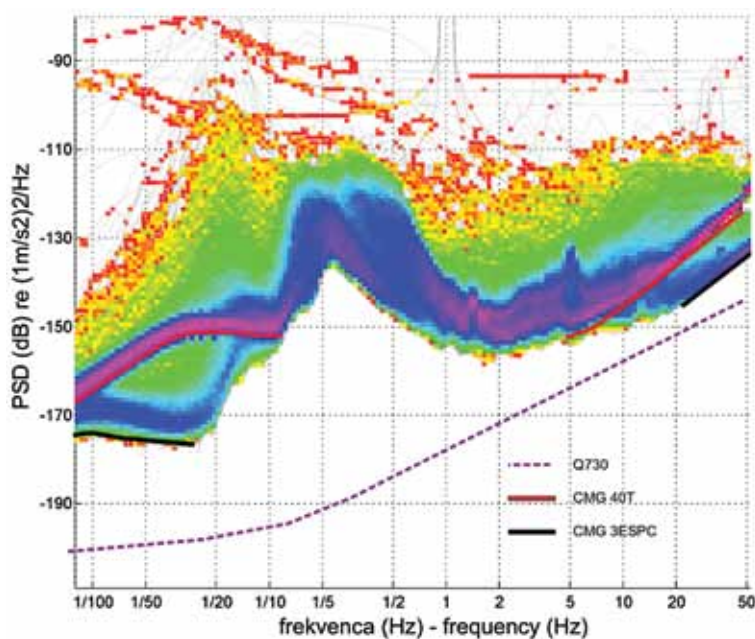
Slika 2: Shematski prikaz posodobljene potresne opazovalnice. Prikazana je seizmološka in ostala tehnična oprema ter izvedba povezav med njima.

Figure 2: Upgraded seismic station diagrams show seismic and other technical equipment.

Vpliv posodobitev

Vpliv posodobitev oziroma spremembe v nivoju celotnega zabeleženega seizmičnega nemira na posamezni potresni opazovalnici bomo prikazali z uporabo spektrograma.

Na vseh treh lokacijah (CRNS, GCIS in JAVS) smo izvedli vse opisane posodobitve, pri čemer smo seizmometer tipa CMG-40T zamenjali s seizmometrom tipa CMG-3ESPC. Na slikah 3, 4 in 5 podajamo spektrograme navpične komponente celotnega nemira posamezne potresne opazovalnice. Spektrogram je zgrajen iz enournih spektrov močnostne gostote (ang. Power Spectral Density - PSD) in obsega obdobje celotnega leta 2010. Izboljšava zaznavanja šibkih seizmičnih signalov posamezne opazovalnice je s slik jasno razvidna. Nivo zaznavanja seizmičnega nemira na posamezni potresni opazovalnici se je na visoko-frekvenčnem (izboljšava 10-15 dB), kakor tudi na nizko-frekvenčnem območju (izboljšava 20-25 dB) močno izboljšal, kar na omenjenih frekvenčnih področjih omogoča zajem šibkih seizmičnih signalov. Prekinjena vijolična črta na slikah prikazuje lastni šum zajemalne enote Q730, črna črta predstavlja lastni šum seizmometra tipa CMG-3ESPC, rdeča črta pa podaja lastni šum seizmometra tipa CMG-40T.

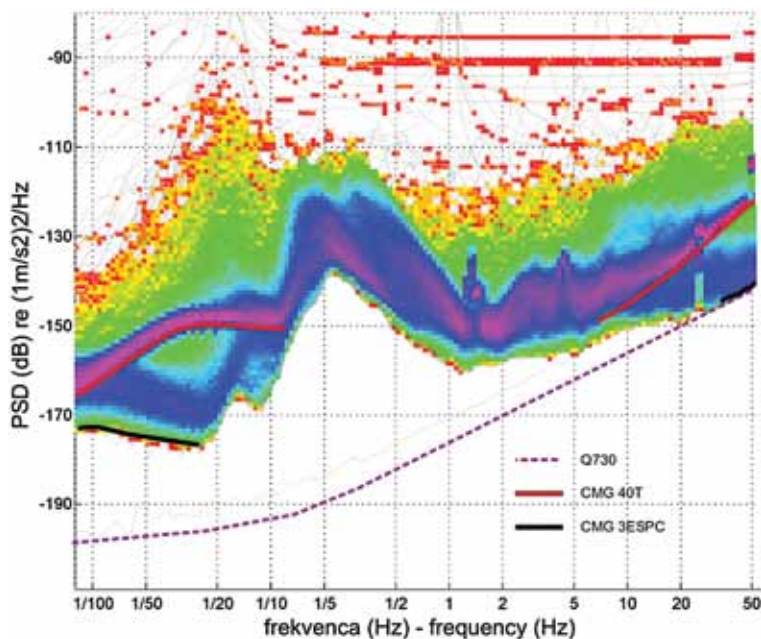


Slika 3: Spektrogram navpične komponente za potresno opazovalnico Črni Vrh (CRNS). Prekinjena vijolična črta – lastni šum zajemalne enote Q730. Črna črta – lastni šum seizmometra tipa CMG-3ESPC. Rdeča črta – lastni šum seizmometra tipa CMG-40T

Figure 3: Spectrogram of vertical component for the seismic station Črni Vrh (CRNS). Dashed violet line – Q730 instrumental-noise. Black line – CMG-3ESPC instrumental-noise. Red line – CMG-40T instrumental-noise.

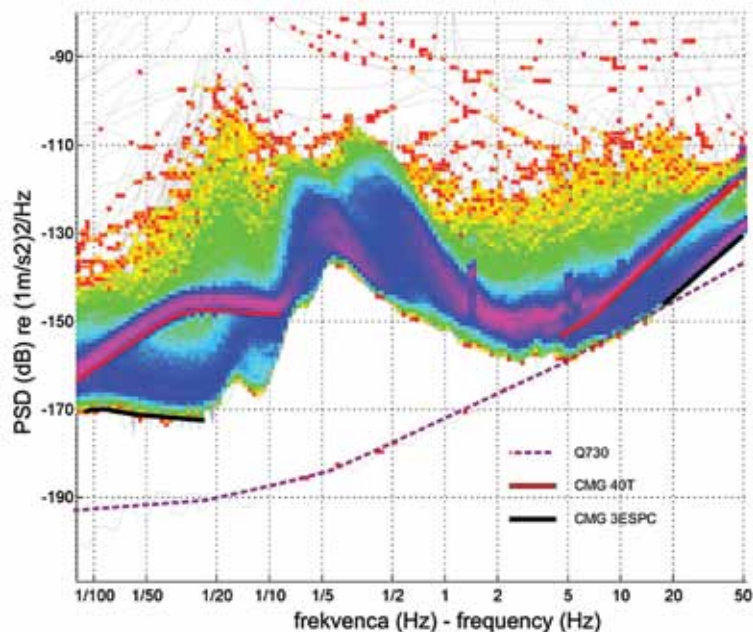
Zaključek

V prispevku smo predstavili posodobitev potresnih opazovalnic Črni Vrh (CRNS), Gornji Cirnik (GCIS) in Javornik (JAVS) v letu 2010. Izvedli smo posodobitve, ki so zmanjšale vpliv napačne napetosti in temperaturnih sprememb. Zamenjali smo tudi seizmometre. Rezultati analize vpliva posodobitev na nivo zaznavanja seizmičnega nemira na posamezni potresni opazovalnici kažejo, da je bila izvedba omenjenih posodobitev smiselna. Nivo zaznavanja seizmičnega nemira na posamezni potresni opazovalnici se je na visoko-frekvenčnem (izboljšava 10-15 dB), kakor tudi na nizko-frekvenčnem območju (izboljšava 20-25 dB) močno izboljšal, s čimer smo omogočili opazovanje občutno šibkejših seizmičnih signalov (seizmični nemir različnih virov). Cilj posodobitev je bil dosežen in s tem ustvarjena motivacija za nadaljnje raziskave v smeri dodatnih nadgradenj in izboljšav DMPO.



Slika 4: Spektrogram navpične komponente za potresno opazovalnico Gornji Cirnik (GCIS). Prekinjena vijolična črta – lastni šum zajemalne enote Q730. Črna črta – lastni šum seizmometra tipa CMG-3ESPC. Rdeča črta – lastni šum seizmometra tipa CMG-40T

Figure 4: Spectrogram of vertical component for the seismic station Gornji Cirnik (GCIS). Dashed violet line – Q730 instrumental-noise. Black line – CMG-3ESPC instrumental-noise. Red line – CMG-40T instrumental-noise.



Slika 5: Spektrogram navpične komponente celotnega nemira na potresni opazovalnici Javornik (JAVS). Prekinjena vijolična črta – lastni šum zajemalne enote Q730. Črna črta – lastni šum seizmometra tipa CMG-3ESPC. Rdeča črta – lastni šum seizmometra tipa CMG-40T

Figure 5: Spectrogram of vertical component for the seismic station Javornik (JAVS). Dashed violet line – Q730 instrumental-noise. Black line – CMG-3ESPC instrumental-noise. Red line – CMG-40T instrumental-noise.

Literatura

Mali, M., Tasič, I., 2011. Vpliv temperaturnih sprememb na delovanje dolgoperiodnih seizmometrov. Potresi v letu 2010, Agencija RS za okolje, Ljubljana.

- Mali, M., Tasič, I., 2009. Posredni in neposredni vpliv vetra na seizmični signal. Potresi v letu 2008, Agencija RS za okolje, Ljubljana, 27-34.
- Mali, M., Tasič, I., 2008. Vpliv brezprekinitvenega napajanja na delovanje potresne opazovalnice. Potresi v letu 2007, Agencija RS za okolje, Ljubljana, 54-60.
- Tasič, I., Mali, M., 2007. Stabilnost temperature v seizmičnem jašku. Potresi v letu 2007, Agencija RS za okolje, Ljubljana, 28-34.
- Trnkoczy, A., Bormann, P., Hanka, W., Holcomb, L., Nigbor, R., 2002. Site Selection, Preparation and Installation of seismic stations. In: Borman, P. (editor), New manual of seismological observatory practice. Volume 1 & 2, GeoForschungsZentrum, Potsdam.

Izidor Tasič

NE-SEIZMIČNI ŠUM NA POTRESNI OPAZOVALNICI LJUBLJANA (LJU) NOISE FLOOR AT THE SEISMIC STATION LJUBLJANA (LJU)

Povzetek

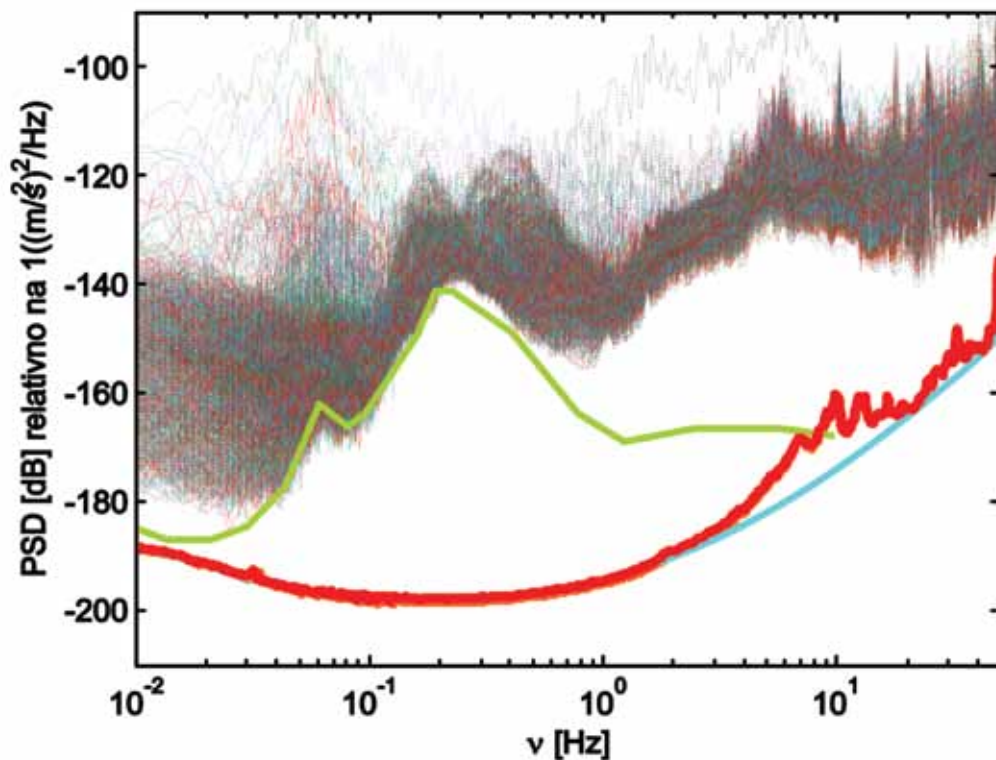
Ocenili smo »ne-seizmični« signal, ki ga beležimo na potresni opazovalnici Ljubljana, in ki lahko vpliva na meritve šibkih signalov potresnih valov.

Abstract

A noise floor, that could affect the measurements of weak signals of seismic waves recorded at the seismic station LJU, is estimated.

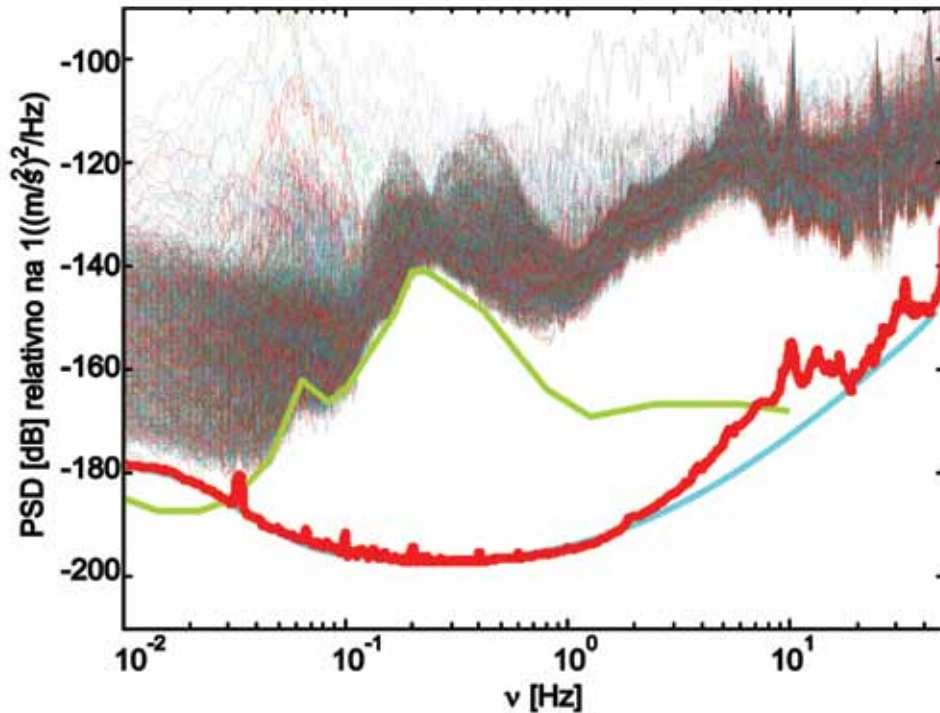
Uvod

V Ljubljani so instrumenti za beleženje potresov postavljeni v Astronomsko-geofizikalnem observatoriju na Golovcu. Instrumenti so nameščeni v kleti stavbe na za to posebej zgrajenih stebrih, v dodatno toplotno izoliranem prostoru. Potresna opazovalnica je začela delovati že leta 1958, danes beleži nihanje tal z najsodobnejšimi instrumenti. Nihanje tal zaznavamo z dvema tri-komponentima merilnikoma: bolj občutljivim seizmometrom tipa STS-2 in manj občutljivim pospeškometrom tipa EpiSensor. Njune podatke zajema in digitalizira enota Quanterra Q730.



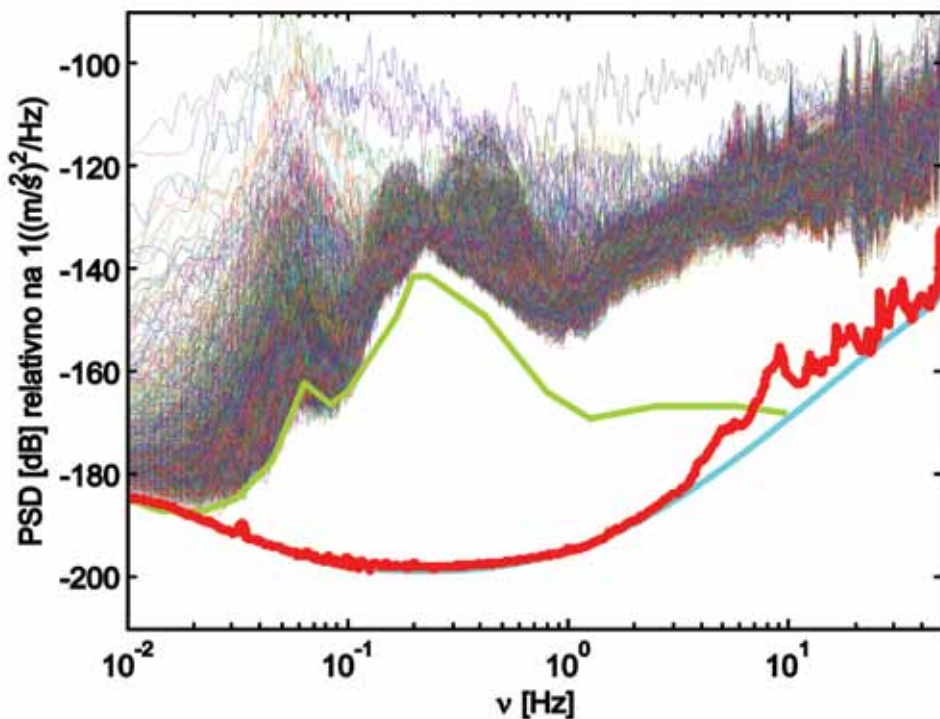
Slika 1: Spektri močnostne gostote celotnega zabeleženega signala za E-W komponento (tanke črte), »ne-seizmični« šum (odebeljena rdeča), predviden lastni šum seizmometra (odebeljena modra), ter NLNM (odebeljena zelena).

Figure 1: Power spectral densities (PSD) for the recorded signal for the E-W component (thin lines), estimated noise floor (red bold), expected seismometer's self noise (blue bold) and NLNM (green bold).



Slika 2: Spektri močnostne gostote celotnega zabeleženega signala za N-S komponento (tanke črte), »ne-seizmični« šum (odebeljena rdeča), predviden lastni šum seizmometra (odebeljena modra), ter NLNM (odebeljena zelena).

Figure 2: PSD's for the recorded signal for the N-S component (thin lines), estimated noise floor (red bold), expected seismometer's self noise (blue bold) and NLNM (green bold).



Slika 3: Spektri močnostne gostote celotnega zabeleženega signala za navpično komponento (tanke črte), »ne-seizmični« šum (odebeljena rdeča), predviden lastni šum seizmometra (odebeljena modra), ter NLNM (odebeljena zelena).

Figure 3: PSD's for the recorded signal for the vertical component (thin lines), estimated noise floor (red bold), expected seismometer's self noise (blue bold) and NLNM (green bold).

Najšibkejši seizmični signal, ki ga lahko seizmometer zazna, je omejen z njegovim lastnim šumom. Seizmometri lahko zaradi svoje konstrukcije zaznavajo tudi signale, ki imajo svoj izvor v elektromagnetnem polju ali zvoku (Pavlis in Vernon, 1994). Ti signali vplivajo na zmožnost zaznavanja šibkih potresnih valov, zato jih bomo imenovali »parazitski« signali. Take parazit-ske signale lahko analiziramo s pomočjo dveh seizmometrov istega tipa, ki stojita neposredno drug ob drugem. Postopek je podoben analizi lastnega šuma seizmometra (npr. Holcomb, 1989; Sleeman in drugi, 2006), ko v frekvenčnem prostoru s primerjavo signalov iz več seizmometrov izračunamo njihov lasni šum. Lastni šum seizmometra je podan v obliki spektra močnostne gostote (ang. Power Spectral Density - PSD) in ga primerjamo s Petersonovim globalnim modelom (Peterson, 1993) najnižjega seizmičnega nemira (ang.: New Low Noise Model, NLNM). Na seizmično slabših lokacijah vpliva na izračun lastnega šuma seizmometra tudi parazitski signal (lastni šum je navidezno večji), zato ga ne moremo več imenovati lastni šum instrumenta ampak ga bomo poimenovali »ne-seizmični« šum lokacije. Odstopanje »ne-seizmičnega« šuma lokacije od predvidenega lastnega šuma seizmometra kaže na vpliv parazitskih signalov.

Postopek in rezultati

Seizmični signal smo zajemali z dvema seizmometroma tipa STS-2, ki sta bila postavljena neposredno drug ob drugem. Uporabili smo 6-kanalno zajemalno enoto EarthData PR6-24, ki je imela občutljivost nastavljeno tako, da je bil lastni šum zajemalne enote manjši od predvidenega lastnega šuma seizmometra STS-2. Signal smo zajemali z 200 vzorci na sekundo. Meritve so potekale od začetka maja do srede julija 2011. Slike 1, 2 in 3 prikazujejo PSD seizmičnega signala za celotno obdobje za obe vodoravni komponenti (E-W in N-S) in za navpično komponento. Spektri močnostne gostote so izračunani za vsako polno uro. Na slikah so prikazani tudi »ne-seizmični« šum (odebeljena rdeča), predviden lastni šum seizmometra (odebeljena modra), ter NLNM (odebeljena zelena). Odstopanje »ne-seizmičnega« signala od predvidenega lastnega šuma seizmometra kaže na vpliv parazitskih signalov.

Zaključek

Izraz »ne-seizmični šum« je pravzaprav zavajajoč, saj je lahko izvor signala tudi seizmični, če oddaljenost obeh merilnikov med seboj ni zanemarljiva glede na oddaljenost do seizmičnega izvora. Izvor motečega šuma je lahko interakcija Astronomsko-geofizikalnega observatorija z urbanim seizmičnim nemirrom mesta Ljubljana, ki se odraza kot nov mikro seizmični izvor v neposredni bližini obeh seizmometrov in ga zasledimo že pri 3,5 Hz (slika 1 in 2). To pa ne razloži vrhov na visokih frekvencah (npr: 10,8 Hz, 15,5 Hz, 22,4 Hz, 24,8 Hz, 35,0 Hz...), ki so konstantne ne glede na uro in dan. Nekateri od teh vrhov so lahko akustičnega izvora, saj velikost sobe po svojih dimenzijah in obliki omogoča stoječe valovanje zvoka že pri frekvencah nad 30 Hz. Nekatere so lahko tudi elektromagnetnega (EM) izvora, saj obstaja v neposredni bližini kar nekaj izvorov EM valovanja (npr: transformatorska postaja v neposredni bližini observatorija). Zanimiv je tudi dolgo-periodni »ne-seizmični« šum na N-S komponenti pri periodi 29,9 sekund (nihajni čas 0.033 Hz, slika 2), čigar izvora trenutno ne poznamo. Glede na Petersonov model seizmičnega šuma (Peterson, 1993) potresna opazovalnica »LJU« popolnoma omogoča meritve šibkih seizmičnih signalov v frekvenčnem območju 0,036 Hz do 6 Hz. Izven tega območja je pri interpretaciji šibkih seizmičnih signalov potrebno upoštevati še vpliv parazitskih signalov.

Literatura

- Pavlis, G., L., Vernon, F., L., 1994. Calibration of seismometers using ground noise. Bull. Seism. Soc. Am. 84, št. 4, 1243 -1255.
- Holcomb, G., L., 1989. A direct method for calculating instrument noise levels in side-by-side seismometer evaluations. Open-file report 89-214, U. S. Geological Survey.

- Peterson, J., (1993) Observations and modeling of background seismic noise. Open-file report 93-322, U. S. Geological Survey.
- Sleeman, R., van Wettum, A., Trampert, J., 2006. Three-channel correlation analysis: A new technique to measure instrumental noise of digitizers and seismic sensors, Bull. Seism. Soc Am. 96, št. 1, 258–271.

Izidor Tasič, Marko Mali, Luka Pančur

TEMPERATURNNA STABILNOST POTRESNE OPAZOVALNICE THE SEISMIC STATION TEMPERATURE STABILITY

Povzetek

Seizmometri državne mreže potresnih opazovalnic se nahajajo v temperaturno stabilnem okolju, vendar pa nismo imeli natančne informacije o spremembah temperature v okolici seizmometrov, ki se nahajajo pokriti z izolacijsko posodo. Zato smo na potresnih opazovalnicah Gorjuše in Bojanci za obdobje, ki je bilo daljše kot eno leto, postavili temperaturni merilnik v notranjost izolacijske posode. Na potresni opazovalnici Gorjuše smo postavili še dodatni temperaturni merilnik nad izolacijsko posodo, en merilnik pa smo postavili v komunikacijski jašek. Rezultati so pokazali, da dodatna izolacijska posoda zadosti pogojem za termično stabilizacijo dolgoperiodnih seizmometrov tudi v primerih, ko je seizmični jašek odprt za nekaj ur zaradi servisiranja.

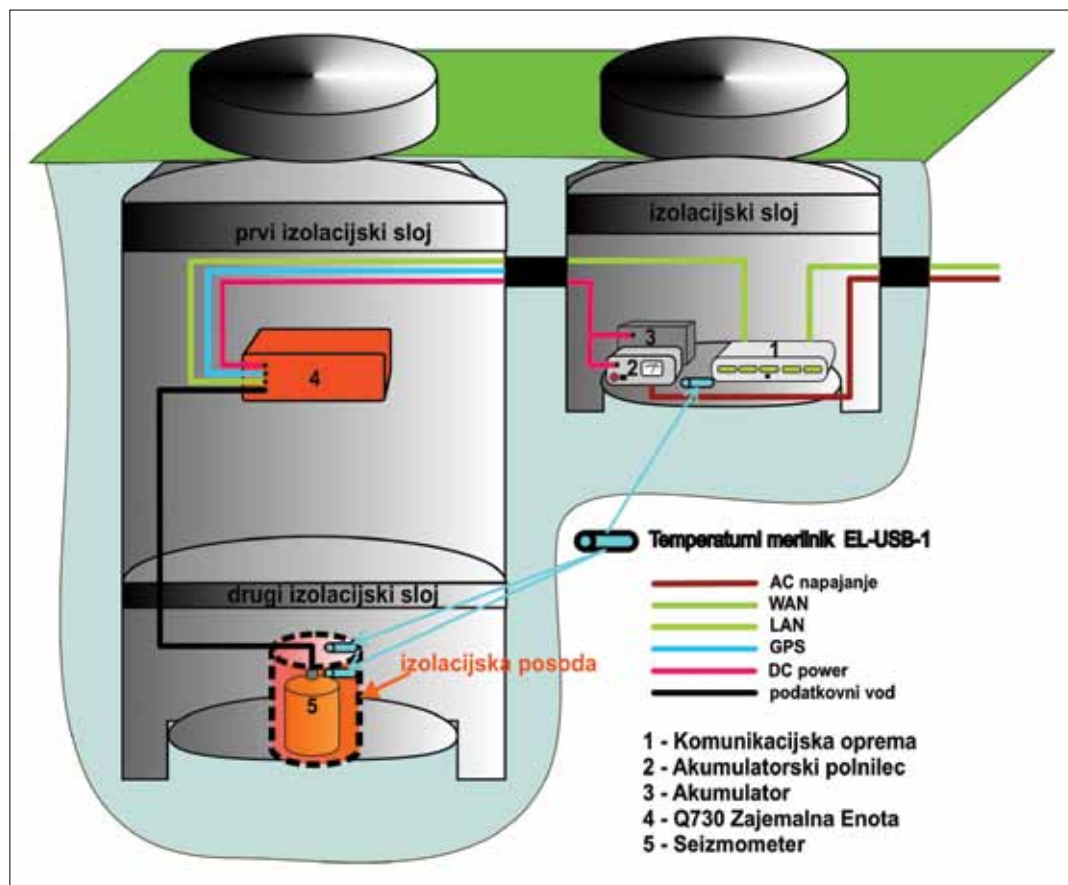
Abstract

Seismometers of the Seismic Network of the Republic of Slovenia are located in a temperature-stable environment. The detailed information about changes of temperature around seismometers that are covered with insulating container was not available. Therefore the temperature data-loggers were placed inside the insulating containers on the seismic stations Bojanci (BOJS) and Gorjuše (GORS). On the seismic station Gorjuše two additional temperature sensors were placed, one on the top of the insulating container and the other one in the auxiliary shaft. The results have shown that the additional thermal insulation container stabilizes seismometer's surrounding temperature quite well also in the case, when the seismic shaft is open for few hours because of servicing.

Uvod

Na posamezni potresni opazovalnici državne mreže potresnih opazovalnic (DMPO) so nameščeni zelo občutljivi seizmološki instrumenti, ki stalno beležijo nihanje tal. Osnovna sestavna dela teh instrumentov sta senzor za zaznavanje nihanja tal (seizmometer) in enota za digitalizacijo in obdelavo podatkov (zajemalna enota). Na občutljivost potresne opazovalnice vplivajo poleg geoloških pogojev na kraju opazovanja in tudi lastnosti seizmološke opreme in lastnosti lokacije opazovalnice, kot je recimo lokalni seizmični nemir. Med pomembnimi dejavniki, ki vplivajo predvsem na delovanje seizmometra, je tudi temperatura oziroma njena sprememba v določenem časovnem obdobju. Velika sprememba temperature v kratkem časovnem obdobju zmanjša stabilnost seizmometrov, poveča se šum (Mali in Tasič, 2011), nihanje temperature pa vpliva tudi na odklone uteži inercialnega seizmometra iz njegove ravnovesne lege (ang. offset). To posledično pomeni zmanjšanje dinamičnega območja seizmometra. Za seizmometer STS-2 je dovoljena temperaturna sprememba 1°C/dan (Hanka, brez letnice).

Skoraj vse potresne opazovalnice DMPO so zgrajene po enotnem načrtu (slika 1). Razlikujejo se predvsem glede na globino seizmičnega jaška, ki je odvisna od globine kompaktne kamenine. Ti jaški so globoki od tri do sedem metrov. Jašek je na vrhu zaprt s kovinskim, toplotno izoliranim pokrovom. Pol metra pod pokrovom je petnajst centimetrski termo-izolacijski sloj v obliki čepa. Slab meter nad stebrom za seizmometer je pohodno dno, ki je dodatno izolirano s spodnje strani s pet centimetrskim izolacijskim slojem. Zajemalna enota (Quanterra Q730) se nahaja v vmesnem prostoru, pod izolacijskim čepom in nad pohodnim dnom. Seizmometri tipa CMG-3ESPC, CMG-3T in STS-2 so še dodatno izolirani z izolacijsko posodo iz stiropora. Dimenzije izolacijske posode tako znašajo: višina = 48 cm, zunanji premer = 55 cm, notranji premer = 35 cm. Debelina sten izolacijske posode je 10 cm. Prostor med izolacijsko posodo in seizmometrom smo zapolnili z delci mehke izolacijske pene. Na ta način se prepreči pojav toplotne konvekcije. Kljub temu, da so seizmometri v DMPO že pod drugim izolacijskim slojem v temperaturno stabilnem okolju (Tasič in Mali, 2007), nismo imeli natančne informacije o spremembah temperature znotraj izolacijske posode.



Slika 1: Prikaz namestitve instrumenta za merjenje temperature na potresni opazovalnici Gorjuše (GORS).

Figure 1: Location of temperature data-loggers (EL-USB-1) on Gorjuše (GORS) seismic station.

Potek meritve

Za merjenje temperature smo uporabili merilnike EL-USB-1. Merilnik EL-USB-1 deluje v območju med -35 in $+80$ °C, z natančnostjo $0,5$ °C in točnostjo ± 1 °C. Ohišje je robustno in zaščiteno proti tujkom ter vlagi (standard IP 67). Podatke z merilnika je mogoče dobiti preko USB vmesnika, preko katerega se s pripadajočo programsko opremo merilnik tudi nastavi. Merilnik lahko shrani do 16382 temperaturnih odčitkov. Frekvenca vzorčenja je nastavljiva, vendar ne poljubno. Možnosti za vzorčenje so: 10 s, 1 min, 5 min, 30 min, 1 h, 6 h, 12 h. Da bi lahko trajala meritev vsaj eno leto, smo zato nastavili vzorčenje na 1 h. Merilnik se napaja z litijevo baterijo, katere življenjska doba je ocenjena na eno leto. Zato smo pred pričetkom meritve v merilnike vstavili nove baterije. Opisani temperaturni merilnik je manj natančen kot merilnik temperature PCE-313A, ki smo ga uporabili leta 2006 na potresni opazovalnici Možjanca (Tasič in Mali, 2007), vendar je bolj priročen ter neodvisen, saj shranjuje podatke v lokalni spomin, ima neodvisni vir napajanja z manjšo porabo ter je enostavnejši za postavitve.

Dne 14. avgusta 2009 smo na potresni opazovalnici Gorjuše (oznaka GORS) namestili tri digitalne merilnike temperature EL-USB-1. Na opazovalnici je na globini 5,2 m pod izolacijsko posodo nameščen seizmometer CMG-3ESPC (periode 120 s) s porabo 0,8 W. Dva merilnika smo postavili v seizmični jašek. Prvega smo dali na izolacijsko posodo, drugega pod pokrov izolacijske posode, na izolacijsko peno (slika 2), ki obdaja seizmometer. Tretji merilnik smo postavili na dno servisnega jaška. Merilnike smo pobrali dne 7. aprila 2011, in vsi so še delovali. Vse merilnike smo na koncu meritve postavili skupaj in preverili, da vsi kažejo enake vrednosti.

Dne 8. oktobra 2009 smo na potresni opazovalnici Bojanci (oznaka BOJS) postavili en merilnik EL-USB-1 v seizmični jašek pod pokrov izolacijske posode. Na opazovalnici je na globini 5,8 m

nameščen seizmometer STS-2 s porabo 0,6 W. Merilnik smo pobrali 26. maja 2011, vendar je merilnik prenehal delovati 31. januarja 2011.

Rezultati meritev

Cilj merjenja temperature je bil ugotoviti dnevna oziroma sezonska nihanja temperature v prostoru, kjer je postavljen seizmometer. Slika 3 kaže vrednosti temperature na potresni opazovalnici GORS na treh različnih lokacijah za čas celotne meritve (600 dni). Temperatura znotraj izolacijske posode je nekoliko višja kot temperatura izven izolacijske posode, istočasno pa se tudi za spoznanje manj spreminja. V tem obdobju smo zaradi vzdrževalnih del večkrat za krajši čas odprli en ali oba jaška. Najdaljše obdobje, ko sta bila oba jaška odprta, je bilo dne 26. maja 2010. Ta dan merilnik temperature znotraj izolacijske posode ni zaznal nobenih temperaturnih sprememb, ostala merilnika pa sta v tem obdobju zabeležila kratko povečanje temperature (slika 3). Dodatna izolacijska posoda torej onemogoča hitre temperaturne spremembe zaradi odpiranja seizmičnega jaška.

Slika 4 prikazuje podatke o temperaturi pri seizmometru (znotraj izolacijske posode) za obe lokaciji, GORS in BOJS, v istem časovnem obdobju. Iz dobljenih podatkov o temperaturi, ki so prikazani na slikah 3 in 4, lahko izluščimo naslednje ugotovitve:

- Največja temperatura ob seizmometru je bila pri obeh opazovalnicah 14,5 °C najmanjša pa 10,0 °C na Gorjušah in 9,5 °C na Bojancih (slika 4). Letno nihanje ni preseglo 5,0 °C.
- Največja mesečna sprememba temperature v seizmičnem jašku ob seizmometru, izmerjena s temperaturnim merilnikom EL-USB-1, je bila zabeležena na potresni opazovalnici BOJS febru-

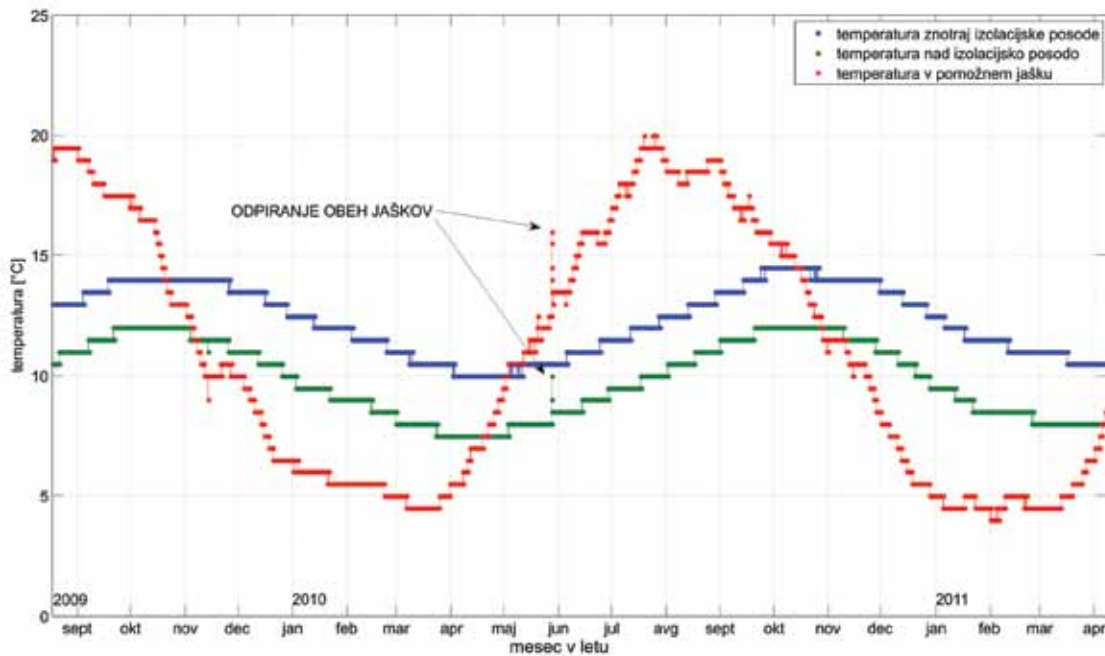


Slika 2: Temperaturno tipalo je bilo postavljeno na vrh izolacijske posode.

Figure 2: Temperature data-logger was placed on the top of the insulating container.

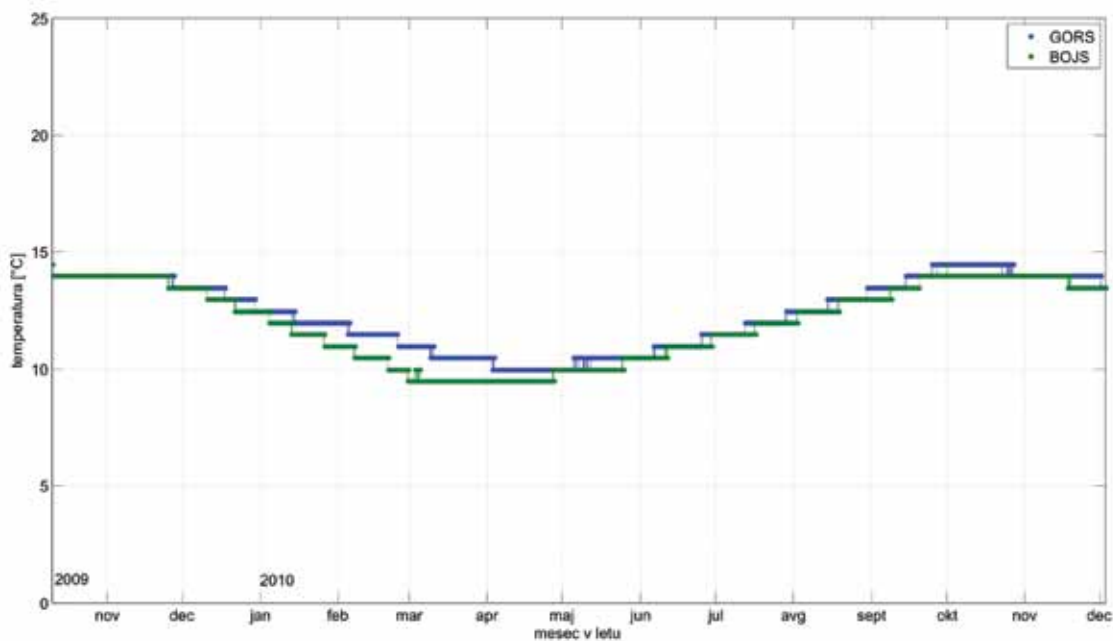
arja 2009, in ni preseгла 1,5 °C. Z linearno interpolacijo znotraj tega časovnega obdobja pride-mo do podatka, da temperaturna sprememba ni preseгла 0,05 °C na dan.

- Temperatura v jašku s komunikacijsko opremo nikoli ne preseže vrednosti 25 °C in tudi nikoli ne pade pod 0 °C, kar pomeni, da je dovolj stabilna za komunikacijsko opremo, ki optimalno deluje pri sobni temperaturi.



Slika 3: Temperatura na treh tipalih na potresni opazovalnici Gorjuše

Figure 3: Temperature from three data-loggers on Gorjuše (GORS) seismic station.



Slika 4: Primerjava nihanja temperature pri seizmometru znotraj izolacijske posode med potresnima opazovalnica Gorjuše (GORS) in Bojanci (BOJS).

Figure 4: Comparison between temperature fluctuations around seismometer in stations Gorjuše (GORS) and Bojanci (BOJS).

Zaključek

Dodatna izolacijska posoda termično stabilizira neposredno okolico seizmometra (Mali in Tasič, 2011), a istočasno tudi zmanjšuje spremembe temperature, kadar je seizmični jašek zaradi servisiranja odprt. Delovanje seizmološke opreme (npr. seizmometer STS-2) je s tega stališča v času servisiranja nemoteno.

Literatura

Hanka, W., (2004). Which Parameters influence the Very Long Period Performance of a Seismological Station. Dostopno na <http://geofon.gfz-potsdam.de/geofon/manual/welcome.html> (zadnji dostop 2011-07-07).

Mali, M., Tasič, I., 2011. Vpliv temperaturnih sprememb na delovanje dolgoperiodnih seizmometrov, Potresi v letu 2010, Ljubljana.

Tasič I., Mali M., 2007. Stabilnost temperature v seizmičnem jašku, Potresi v letu 2006, Ljubljana.

Marko Mali, Izidor Tasič

VPLIV TEMPERATURNIH SPREMEMB NA DELOVANJE DOLGOPERIODNIH SEIZMOMETROV

INFLUENCE OF TEMPERATURE CHANGES ON PERFORMANCE OF LONG-PERIOD SEISMOMETERS

Povzetek

Na Uradu za seizmologijo in geologijo izvajamo vrsto seizmoloških raziskav, katerih točnost oziroma izvedljivost je odvisna od kvalitete zajetega seizmičnega zapisa. Seizmološki merilni sistemi, še posebej seizmometri, so v potresnih opazovalnicah podvrženi različnim dejavnikom, ki lahko negativno vplivajo na njihovo delovanje in s tem odločilno prispevajo k skupnemu nivoju seizmičnega nemira potresne opazovalnice. V prispevku preučujemo vpliv temperaturnih sprememb na delovanje dolgoperiodnih seizmometrov. Eksperimentalno smo potrdili vpliv temperaturnih sprememb na delovanje dolgoperiodnih seizmometrov in pokazali, da je z dodatno temperaturno izolacijo možno omenjeni vpliv zmanjšati in s tem izboljšati delovanje seizmometrov na dolgoperiodnem območju. Na tem območju smo z dodatno temperaturno izolacijo izboljšali nivo lastnega šuma seizmometra za do 13 dB. Na treh potresnih opazovalnicah smo tako dosegli, da je lastni šum na dolgih periodah nižji od seizmičnega nemira, s čimer je bila analiza seizmičnega nemira ponovno omogočena.

Abstract

Several seismological studies are performed by Seismology and Geology Office. Quality of recorded seismic signals depends on seismic noise level of particular seismic station, as well as on quality of the seismic measurement equipment (consisting of a seismometer and a recording unit - digitizer). Measurement equipment and seismometers in particular are subjected to several factors that can lead to increase of the equipment self-noise, which can greatly contribute to total seismic noise level of seismic station. In this paper the influence of temperature on performance of long-period seismometers is presented. The main goal was to demonstrate experimentally the influence of temperature changes on the performance of long-period seismometers. Moreover, several actions have been performed in order to minimize the influence of temperature changes, and their contribution to seismometer performance is presented. Seismometer self-noise was greatly reduced (up to 13 dB in the low frequency band), which made the seismic noise studies possible again.

Uvod

Na kvaliteto delovanja seizmološke opreme vpliva mnogo dejavnikov. Eden pomembnejših med njimi je temperatura, saj hitre temperaturne spremembe negativno vplivajo na delovanje seizmološke opreme, predvsem seizmometrov, ki so na temperaturne spremembe približno 50-krat bolj občutljivi kot zajemalne enote (Uhrhammer in Karavas, 1997). Nestabilna temperatura vpliva na nizkofrekvenčni zapis seizmometra, pri čemer se lastni šum seizmometra na omenjenem frekvenčnem področju zaradi temperaturnih sprememb močno poveča.

Kljub temu, da so vzmeti, ki predstavljajo enega ključnih mehanskih sestavnih delov seizmometra v sodobnih seizmometrih, narejene iz posebnih temperaturno kompenziranih materialov, le-to še ne zagotavlja, da je seizmometer kot celota temperaturno kompenziran. Ob hitrih temperaturnih spremembah je ravnovesje med gravitacijo in silo vzmeti v seizmometru moteno (Wielandt, 2002), zato moramo seizmometru zagotoviti dobro toplotno zaščito, kar predvsem velja za sodobne dolgo-periodne seizmometre, ki imajo blizu mehanskih komponent nameščene tudi aktivne elektronske elemente. Aktivni elektronski del seizmometra v povprečju seva okoli 1-2 W toplotne moči, kar povzroča pojav toplotne konvekcije. Zaradi toplotne konvekcije prihaja do premikov zraka, na katere je mehanski del seizmometra zelo občutljiv (Wielandt, 1990).

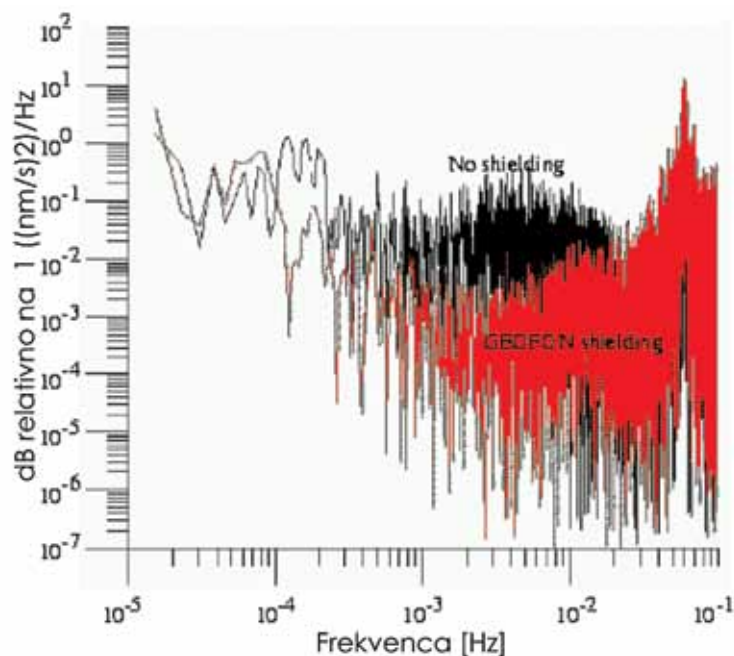
Naj kot primer podamo vpliv nihanja temperature na vzmet, ki je ena glavnih mehanskih sestavnih delov seizmometra. Konstanta klasične vzmeti se s temperaturo spreminja za 0,03 % na stopinjo temperaturne spremembe. Specialne vzmeti, ki so uporabljene v seizmometrih, imajo

temperaturno stabilnost izboljšano in znaša 0,001 % na stopinjo temperaturne spremembe. V seizmometru pa bi glede na njegovo občutljivost morali zagotoviti stabilnost konstante vzmeti reda 0,000000001 % na stopinjo temperaturne spremembe. Teoretično bi zato morali za optimalno delovanje seizmometra STS-2 na nizkofrekvenčnem področju doseči spremembe temperature, ki so pri periodi 120 s manjše od milijoninke stopinje (Wielandt, 1996). Podan kriterij bomo uporabljali pri interpretaciji vpliva temperaturnih sprememb na zelo širokopasovne seizmometre (seizmometer tipa STS-2, seizmometer tipa CMG-3T in seizmometer tipa CMG-3ESPC).

Da odvajanje toplote iz seizmometra čim bolj zmanjšamo, se mora temperaturna izolacija tesno prilegati seizmometru in sicer tako, da med ohišjem seizmometra in plastjo temperaturne izolacije ni zraka oziroma večjih zračnih žepov. To najlažje izvedemo ali z mehko plastjo izolacijskega materiala, ki ga tesno ovijemo okoli seizmometra, ali z drobnim izolacijskim materialom, ki ga posujemo okoli seizmometra. Sezonska nihanja temperature na kvaliteto zajemanja seizmičnih podatkov praviloma ne vplivajo, če le niso prevelika. Območje delovne temperature ponavadi podaja proizvajalec. Prevelika sezonska nihanja temperature lahko povzročijo odmik seizmometrove mase iz njegove ravnovesne lege, kar posledično pomeni zmanjšanje dinamičnega področja seizmometra in povečanje njegovega lastnega šuma.

Podatki o občutljivosti seizmometra na kratkotrajne temperaturne spremembe s strani proizvajalca niso podani. V literaturi zasledimo predvsem priporočila, kakšno temperaturno stabilnost je potrebno zagotoviti določeni vrsti seizmometrov. Za ustrezno delovanje akcelerometrov (v našem primeru akcelerometer tipa EpiSensor) je predlagana največja kratkotrajna sprememba temperature za ± 5 °C. Da polno izkoristimo lastnosti tipičnega trideset sekundnega seizmometra (v našem primeru seizmometra CMG-40T), so lahko kratkotrajne temperaturne spremembe (v časovnem intervalu znotraj tridesetih sekund) manjše od $\pm 0,001$ °C (Trnkoczy in drugi, 2002).

Na sliki 1 podajamo primer, kako lahko z ustrezno temperaturno izolacijo seizmometra STS-2 izboljšamo njegovo občutljivost na področju dolgih period (Hanka, 2002). Meja, pri kateri se je



Slika 1: Vpliv temperaturnih sprememb na lastni šum seizmometra STS-2. Na sliki sta podana spektra močnostne gostote (PSD) seizmičnega nemira zajetega s seizmometrom STS-2 pred (črna barva) in po (rdeča barva) izvedeni temperaturni izolaciji seizmometra (Hanka, 2002).

Figure 1: Influence of temperature changes on the performance of STS-2 seismometer. Power spectrum densities (PSD) of seismic noise recorded with STS-2 seismometer before (black line) and after (red line) thermic isolation are presented (Hanka, 2002). (frekvenca – frequency; relativno na – relatively (re))

lastni šum seizmometra opazno zmanjšal, leži pri periodi približno 30 s (frekvenca 0,033 Hz). Podoben učinek bomo skušali doseči tudi sami.

Temperaturna izolacija seizmometra ima od vseh metod, ki jih je možno izvesti ob namestitvi seizmometra, vsestransko največji prispevek k dobremu delovanju seizmometra na nizkofrekvenčnem področju, pri čemer jo je v praksi tudi najlažje in najceneje izvesti.

Izvedene metode za zmanjšanje vpliva temperaturnih sprememb

Državno mrežo potresnih opazovalnic (DMPO) sestavlja 26 sodobno opremljenih digitalnih potresnih opazovalnic, ki so opremljene z različnimi tipi seizmometrov. Seizmometer CMG-40T s frekvenčnim območjem med 1/30 Hz in 50 Hz, je najmanj občutljiv seizmometer. Za optimalno delovanje potrebuje okolje, kjer se temperatura znotraj 30 s ne sme spremeniti za več kot 0,001 °C (Trnkoczy in drugi, 2002). Merilni jaški DMPO so bili zasnovani tako, da temu pogoju tudi zadostijo. Da bi se o tem prepričali, smo na eno od potresnih opazovalnic (v merilni jašek poleg seizmometra) namestili temperaturno sondo, s katero smo merili temperaturne spremembe v obdobju enega leta. Rezultati so potrdili, da so seizmični jaški s stališča temperature za optimalno delovanje seizmometrov tipa CMG-40T primerni (Tasič in Mali, 2007).

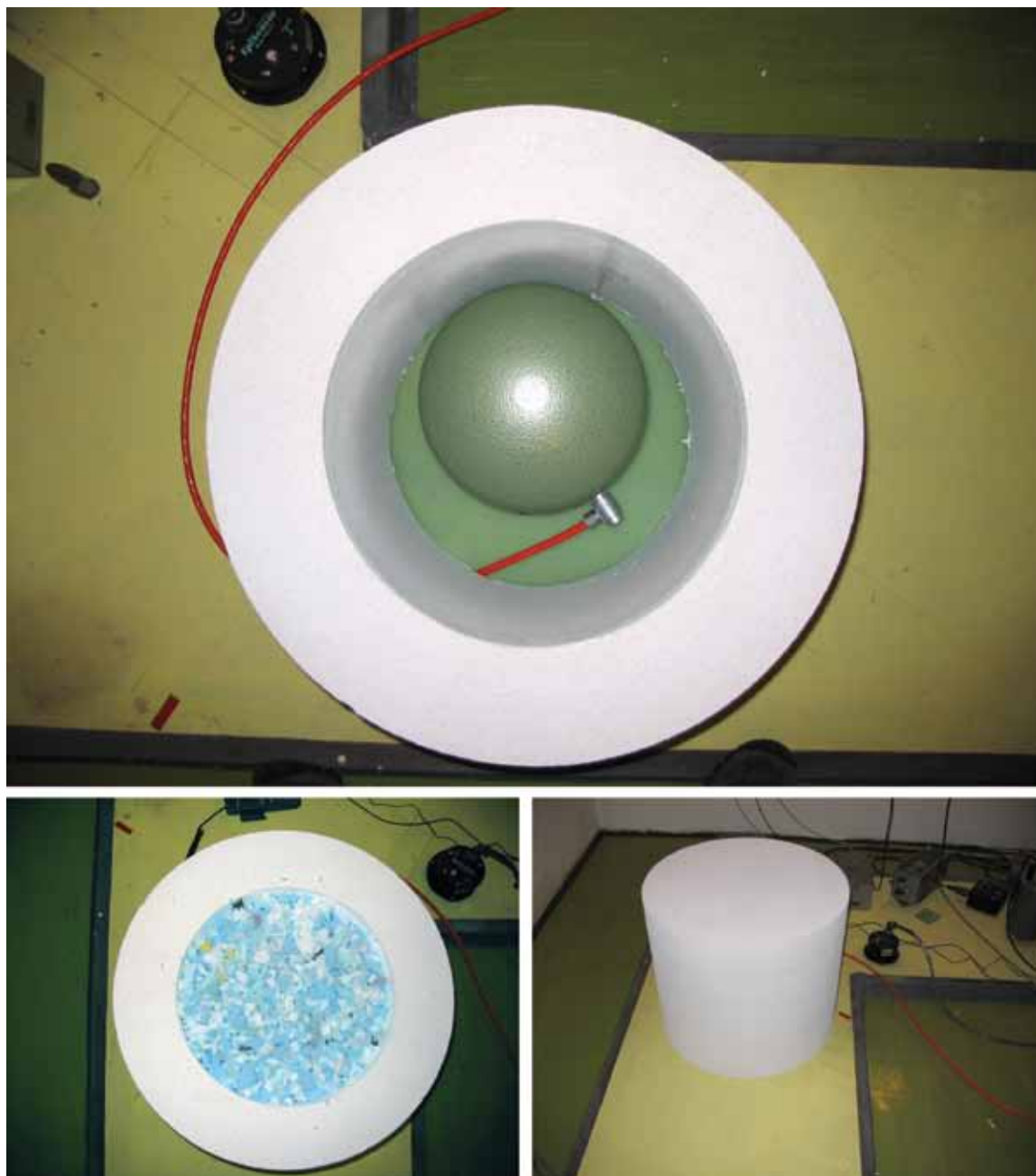
Poleg seizmometra tipa CMG-40T je DMPO opremljena tudi s seizmometri tipa STS-2, CMG-3T in CMG-3ESPC, ki so sposobni zaznavati seizmične signale do periode 120 s (CMG-3T celo do periode 360 s). Da polno izkoristimo seizmometer STS-2 (le-to je glede na njegovo ceno tudi smiselno), moramo zagotoviti, da se temperatura v okolici seizmometra znotraj časovnega intervala 120 sekund ne spremeni za več kot milijoninko stopinje C (v uvodu podan kriterij za zelo širokopasovne seizmometre). Vsi merilni jaški DMPO pa temu pogoju ne zadostijo.

Da bi s stališča temperaturne stabilnosti polno izkoristili vse tipe bolj občutljivih seizmometrov, smo naredili posebno izolacijsko posodo, ki naj bi zagotovila ustrezno temperaturno stabilnost okolja in zmanjšala toplotno konvekcijo. Na ta način z minimalnimi stroški izboljšamo delovanje omenjenih seizmoloških sistemov.

Vpliv temperaturnih sprememb na nizkofrekvenčni seizmični nemir bomo pokazali na primeru treh potresnih opazovalnic. Dve sta s stališča temperaturne stabilnosti zelo kritični (le-ti se nahajata v prostorih stavb), tretja pa je tipični predstavnik mreže potresnih opazovalnic:

- Potresna opazovalnica Ljubljana (LJU) se nahaja v kletnih prostorih observatorija na Golovcu (opremljena s seizmometrom tipa STS-2),
- potresna opazovalnica Cerknica (CEY) se nahaja v pritličnih prostorih hiše (opremljena s seizmometrom tipa CMG-3ESPC),
- potresna opazovalnica Kog (KOGS) pa predstavlja tipično potresno opazovalnico (opremljena s seizmometrom tipa CMG-3ESPC).

Na omenjenih potresnih opazovalnicah smo izvedli dodatno temperaturno izolacijo seizmometrov. Izolacijsko posodo smo zgradili glede na priporočila proizvajalcev seizmološke opreme ter glede na rezultate eksperimentov, ki so jih izvajali drugi avtorji (Trnkoczy in drugi, 2002; Wielandt, 2002; Hanka, 2002). Izolacijsko posodo smo zasnovali v obliki valjaste posode z notranjim premerom in višino, izbranimi glede na dimenzije seizmometra STS-2, kjer smo upoštevali, da je okrog seizmometra potrebno namestiti še mehak izolacijski material. Zunanji premer posode je bil izbran tako, da je bilo posodo še možno vnesti v spodnji del seizmičnega jaška. Dimenzije izolacijske posode tako znašajo: višina = 48 cm, zunanji premer = 55 cm, notranji premer = 35 cm. Debelina sten izolacijske posode je 10 cm. Kot mehak izolacijski material, s katerim smo zapolnili prostor med izolacijsko posodo in seizmometrom, smo uporabili delce izolacijske pene, ki jih lahko namestimo tako, da se tesno prilegajo ohišju seizmometra (na ta način se prepreči pojav toplotne konvekcije). Izvedba izolacije na potresni opazovalnici LJU je prikazana na sliki 2. Tudi na ostalih testnih lokacijah (CEY in KOGS) je bila temperaturna izolacija izvedena na enak način.



Slika 2: Na sliki je prikazan postopek dodatne temperaturne izolacije seizmometra STS-2. Izolacijska posoda se postavi preko seizmometra, tako da je ob straneh seizmometra še nekoliko prostora. Nato se ves prazen prostor napolni z mehkim izolacijskim materialom in posodo pokrije še s pokrovom, ki se ji tesno prilaga.

Figure 2: Procedure of thermic insulation of STS-2 seismometer is presented. At the beginning, the insulation chamber is placed over the seismometer. After that, the empty space between seismometer and insulation chamber is filled with soft insulation material. Finally the insulation cover is placed over the insulation chamber.

Po končani izvedbi temperaturne izolacije smo za analizo njenega vpliva na kvaliteto nizkofrekvenčnega zapisa seizmometra pripravili bazo podatkov. Baza vsebuje triurne zapise seizmičnega nemira (zajete ob 00:00, 08:00 in 16:00) za obdobje enega meseca pred in po izvedbi izolacije. Zapisi so bili zajeti z vzorčno frekvenco 1 Hz. Vse zapise smo ročno pregledali ter izločili tiste, ki so vsebovali nizkofrekvenčne seizmične dogodke. Na izbranih zapisih seizmičnega nemira smo nato naredili spektralno analizo, izračunali smo spektre močnostne gostote (PSD) za vsak zapis seizmičnega nemira. Določili smo tudi frekvenčno območje, kjer se spektra močnostne gostote seizmičnega nemira pred in po izvedeni temperaturni izolaciji statistično značilno razlikujeta.

Rezultati analize vpliva temperaturnih sprememb

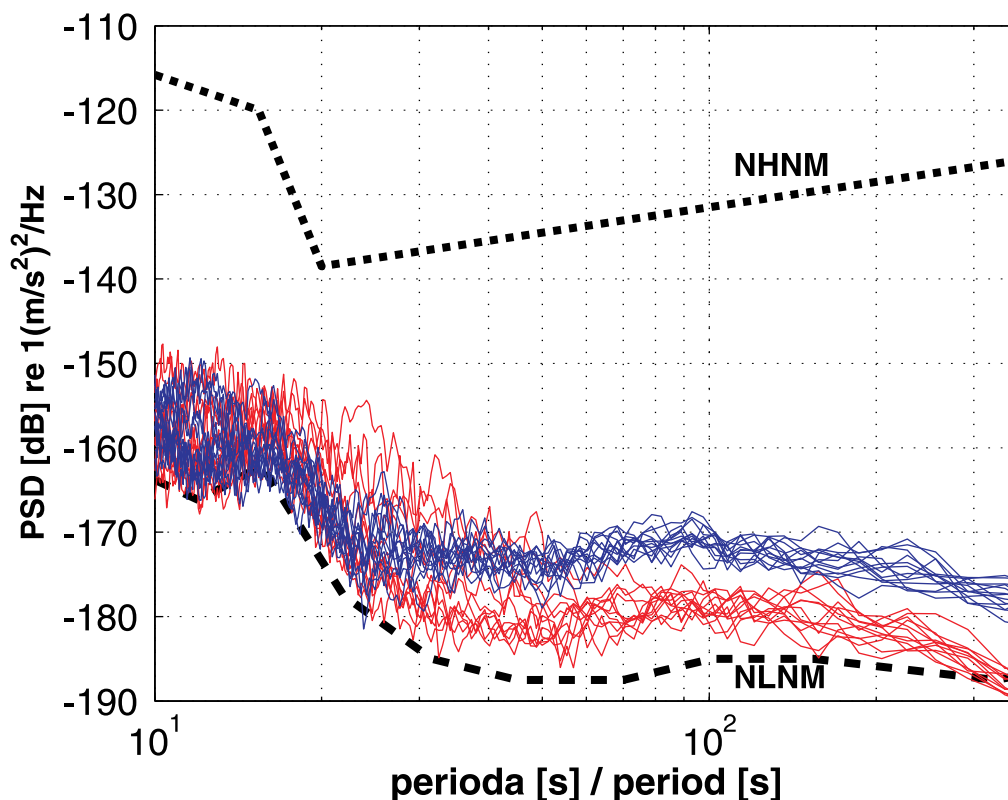
Podali bomo le rezultate za potresno opazovalnico LJU, učinki izvedenih metod pa so vidni tudi na potresnih opazovalnicah KOGS in CEY.

Rezultate podajamo za navpično (Z) in vodoravno komponento v smeri vzhod-zahod (EW - East/West). Nizkofrekvenčni nemir vodoravne komponente v smeri sever-jug (NS - North/South) je podoben nemiru vodoravne EW komponente in ga zato ne bomo podali.

Navpična komponenta

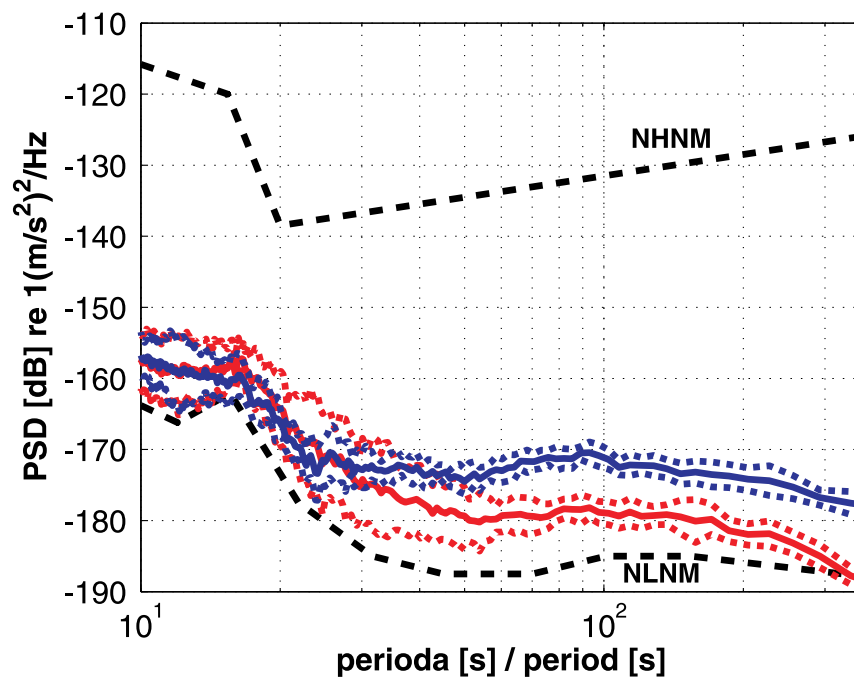
Na sliki 3 podajamo spektre močnostne gostote seizmičnega nemira pred (modra barva) in po (rdeča barva) izvedbi temperaturne izolacije. Črtkani črti podajata zgornjo (ang. New High Noise Model - NHNM) in spodnjo (ang. New Low Noise Model - NLNM) mejo referenčnega globalnega modela seizmičnega nemira (Peterson, 1933). Na sliki 4 prikazujemo srednjo vrednost (aritmetično sredino) in standardni odklon spektrov močnostne gostote seizmičnega nemira pred (modra barva) in po (rdeča barva) izvedeni izolaciji. Ker se rezultati nanašajo na seizmometer STS-2, ki lahko zaznava seizmične valove tudi do periode 360 s in več (čeprav je njegova pasovna širina omejena z mejo 120 s), bomo zanj rezultate podali do vrednosti 360 s.

Srednji vrednosti spektrov močnostne gostote pred in po izvedeni dodatni temperaturni izolaciji se statistično značilno razlikujeta na območju period večjih od 35,5 s (t-test, $p \leq 0,05$). Seizmični nemir se je na omenjenem območju zmanjšal za do največ 10 dB.



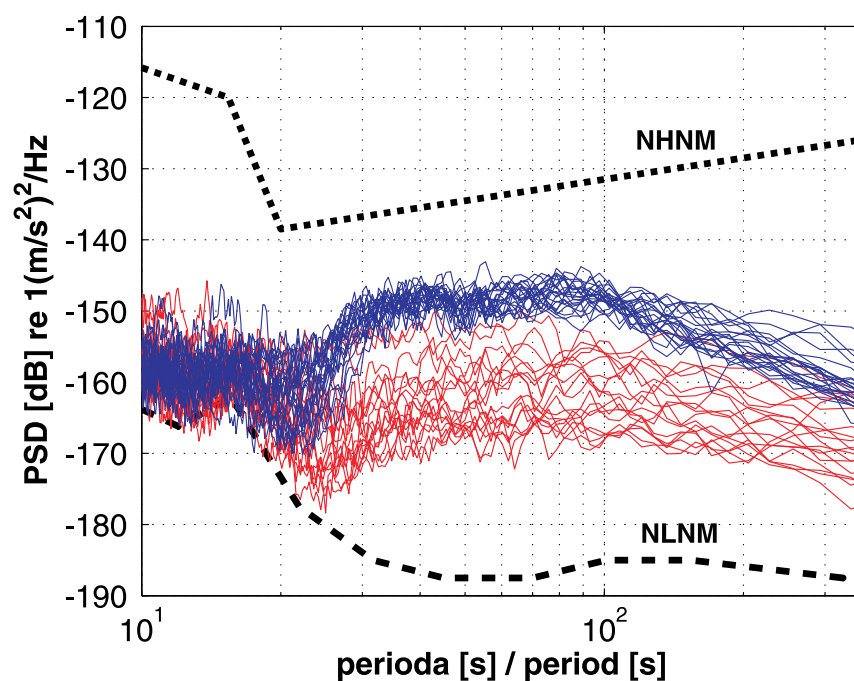
Slika 3: PSD seizmičnega nemira pred (modra barva, $n=13$) in po (rdeča barva, $n=12$) izvedeni dodatni temperaturni izolaciji na potresni opazovalnici LJU (navpična komponenta).

Figure 3: PSD of seismic noise before (blue color, $n=13$) and after (red color, $n=12$) thermic insulation. Seismic station LJU (vertical component).



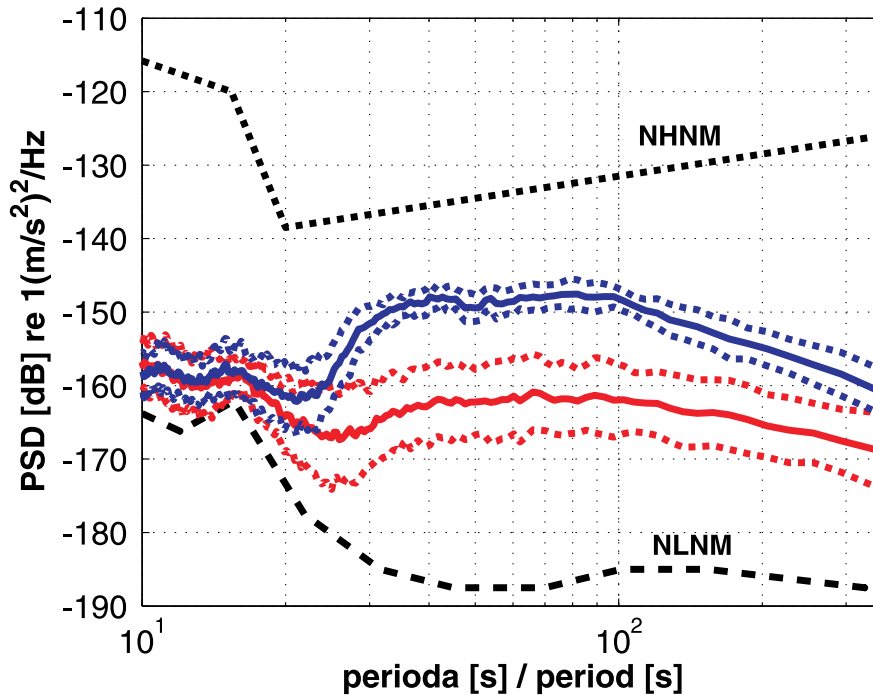
Slika 4: Povprečna vrednost in standardni odklon spektrov močnostne gostote seizmičnega nemira pred (modra barva) in po (rdeča barva) izvedeni dodatni temperaturni izolaciji na potresni opazovalnici Ljubljana (navpična komponenta).

Figure 4: Average value and standard deviation of seismic noise PSD before (blue color) and after (red color) thermal insulation. Seismic station LJU (vertical component).



Slika 5: PSD seizmičnega nemira pred (modra barva, $n=23$) in po (rdeča barva, $n=18$) izvedeni dodatni temperaturni izolaciji na potresni opazovalnici LJU (vodoravna EW komponenta).

Figure 5: PSD of seismic noise before (blue color, $n=23$) and after (red color, $n=18$) thermal insulation. Seismic station LJU (horizontal EW component).



Slika 6: Povprečna vrednost in standardni odklon spektrov močnostne gostote seizmičnega nemira pred (modra barva) in po (rdeča barva) izvedeni dodatni temperaturni izolaciji na potresni opazovalnici LJU (vodoravna EW komponenta).

Figure 6: Average value and standard deviation of seismic noise PSD before (blue color) and after (red color) thermal insulation. Seismic station LJU (horizontal EW component).

Vodoravna EW komponenta

Na sliki 5 podajamo spektre močnostne gostote seizmičnega nemira pred (modra barva) in po (rdeča barva) izvedbi temperaturne izolacije, na sliki 6 pa je prikazana srednja vrednost (aritmetična sredina) in standardni odklon vseh spektrov močnostne gostote seizmičnega nemira pred (modra barva) in po (rdeča barva) izvedeni izolaciji.

Srednji vrednosti spektrov močnostne gostote pred in po izvedeni dodatni temperaturni izolaciji se statistično značilno razlikujeta na območju period večjih od 20,9 s (t-test, $p \leq 0,05$). Pogoj o enakosti varianc za vodoravni komponenti sicer ne drži, a ker je bil rezultat neparametričnega testa (Mann-Whitney) podoben rezultatu parametričnega t-testa, smo zaradi bolj nazorne primerjave rezultatov uporabili slednjega. Seizmični nemir se je na omenjenem območju zmanjšal za do največ 13 dB.

Razprava

Statistično značilne razlike v spremembi nivoja seizmičnega nemira na vodoravni EW komponenti smo po dodatni temperaturni izolaciji dosegli na vseh treh lokacijah. Mejna perioda, pri kateri so razlike statistično značilne, se na vseh treh testnih lokacijah (LJU, CEY in KOGS) giblje okoli 20 s, kar je glede na strokovno literaturo (W. Hanka je z dodatno temperaturno izolacijo seizmometra STS-2 njegov lastni šum izboljšal od periode 30 s naprej) tudi pričakovana vrednost (Hanka, 2002). Pričakovano je tudi, da je izboljšanje občutljivosti seizmoloških sistemov večje na potresnih opazovalnicah, ki se nahajata v zgradbah (LJU – izboljšanje za 13 dB; CEY – izboljšanje za 12 dB), v primerjavi s potresno opazovalnico KOGS, ki je izvedena v obliki dveh podzemnih jaškov (izboljšanje za 7 dB).

Statistično značilne razlike v občutljivosti zaznavanja nivoja seizmičnega nemira smo z dodatno temperaturno izolacijo dosegli tudi na navpičnih komponentah zapisa seizmičnega nemira. Največja izboljšava je bila dosežena v primeru seizmometra STS-2 (lastni šum seizmometra se je zmanjšal za 10 dB), ki je bil nameščen na potresni opazovalnici LJU. Z izboljšavo smo na navpični komponenti (le-ta je pri analizi potresnih valov pomembnejša) dosegli nivo seizmičnega nemira, ki je zelo blizu tistemu, ki ga podaja globalni model šuma (NLNM). Opazno zmanjšanje lastnega šuma seizmometra na navpični komponenti (3 dB) smo dosegli tudi v primeru seizmometra CMG-3ESPC, nameščenega na lokaciji CEY, medtem ko statistično značilne razlike v nivojih seizmičnega nemira pred in po izvedeni izolaciji na lokaciji KOGS nismo zaznali. Slednje je posledica dejstva, da seizmični jašek že sam po sebi nudi zelo dobro temperaturno stabilno okolje.

Smotrnost uporabe dodatne temperaturne izolacije tudi v primeru standardno grajenih potresnih opazovalnic, ki so zgrajene v obliki dveh podzemnih jaškov, upravičuje ugotovitev, da se je seizmični nemir na vodoravni EW komponenti seizmometra CMG-3ESPC, nameščenega v seizmičnem jašku potresne opazovalnice KOGS, zmanjšal za 7 dB.

Dolžni smo podati še pojasnilo, da je seizmični nemir na vodoravni komponenti zaradi ukrivljanja podlage (ang. tilt) praviloma tudi do nekaj 10-krat večji od seizmičnega nemira na navpični komponenti. Večji raztros vrednosti seizmičnega nemira na vodoravni EW komponenti pa je tudi posledica nenehnega spreminjanja zračnega tlaka, ki preko ukrivljanja zemeljske skorje vpliva predvsem na vodoravni del zapisa seizmičnega nemira (Bormann, 2002).

Zaključek

DMPO sestavlja 26 digitalnih sodobno opremljenih potresnih opazovalnic, ki so primarno namenjene hitremu in natančnemu določanju glavnih parametrov potresa (magnituda, lokacija nadžarišča in lokacija žarišča). Na podlagi analize potresnih zapisov na Uradu za seizmologijo in geologijo izvajamo tudi vrsto drugih seizmoloških raziskav (ocenjevanje projektnega pospeška tal, določanje žariščnih mehanizmov, ugotavljanje prenosnih funkcij seizmoloških sistemov...). Točnost in v določenih primerih tudi sama izvedljivost omenjenih raziskav je primarno odvisna od kvalitete seizmičnega zapisa. Na vsaki potresni opazovalnici težimo k čim nižjemu nivoju seizmičnega nemira, ki pogojuje uporabnost potresne opazovalnice za izvajanje določenega tipa seizmoloških raziskav. Na skupni nivo nemira posamezne potresne opazovalnice vpliva vrsta umetnih in naravnih parametrov. V prispevku smo ovrednotili vpliv temperaturnih sprememb na lastni šum seizmološke opreme (predvsem seizmometra), ki lahko poveča skupni nemir na potresni opazovalnici.

Za zmanjšanje lastnega šuma seizmološke opreme smo izvedli dodatno temperaturno izolacijo seizmometra tipa STS-2 na lokaciji Ljubljana (LJU) in seizmometrov tipa CMG-3ESPC na lokacijah Cerknica (CEY) ter Kog (KOGS). Izpostavimo lahko naslednje zaključke:

- Z dodatno temperaturno izolacijo seizmometra STS-2 smo tako na navpični kakor na vodoravni komponenti dosegli značilno zmanjšanje (do 12 dB) nizkofrekvenčnega lastnega šuma. S tem smo dosegli nivo nizkofrekvenčnega seizmičnega nemira le malo nad tistim, ki ga podaja globalni model (NLNM). Poseg je omogočil, da sedaj na nizkofrekvenčnem področju ne beležimo več le lastnega šuma seizmometra, ampak seizmični nemir potresne opazovalnice.
- Z dodatno temperaturno izolacijo seizmometra CMG-3ESPC smo izboljšanje lastnega šuma dosegli predvsem na vodoravnih komponentah, s čimer smo omogočili zaznavanje seizmičnega nemira nižjih amplitud.
- Z dodatno temperaturno izolacijo bi bilo smiselno opremiti vse potresne opazovalnice DMPO, na katerih so nameščeni dolgo-periodni seizmometri.

Literatura

- Hanka, W., 2002. Which Parameters influence the Very long Period Performance of a Seismological Station. Examples from the GEOFON Network.
- Peterson, J., 1993. Observations and modeling of seismic background noise. USGS, Open-File report 93-322. U.S. Geological Survey.
- Tasič, I., Mali, M., 2007. Stabilnost temperature v seizmičnem jašku. Potresi v letu 2007, Agencija RS za okolje, Ljubljana, 28-34.
- Trnkoczy, A., Bormann, P., Hanka, W., Holcomb, L., Nigbor, R., 2002. Site Selection, Preparation and Installation of seismic stations. In: Borman, P. (editor), New manual of seismological observatory practice. Volume 1 & 2, GeoForschungsZentrum, Potsdam.
- Uhrhammer, R., A., Karavas, W., 1997. Guidelines for installing broad band seismic instrumentation. Tech. rep., Seismographic station, University of California at Berkeley.
- Wielandt, E., 1990. Very-broad-band seismometry. 1st workshop on mednet, sept. 10-14, 1990, CCSEM, ERICE, Ilcigno Galileo Galilei, Roma, 222-234.
- Wielandt, E., 1996. Wechselwirkungen (Jahrbuch aus Lehre und Forschung der Universität Stuttgart).
- Wielandt, E., 2002. Seismic Sensors and their Calibration. In: Borman, P. (editor), New manual of seismological observatory practice. Volume 1 & 2, GeoForschungsZentrum, Potsdam.

Milka Ložar Stopar, Mladen Živčić

ŽARIŠČNI MEHANIZMI NEKATERIH MOČNEJŠIH POTRESOV V SLOVENIJI V LETIH 2008 IN 2009

FAULT PLANE SOLUTIONS OF SOME STRONGER EARTHQUAKES IN SLOVENIA IN 2008 AND 2009

Povzetek

Za močnejše potrese, ki so se v letih 2008 in 2009 zgodili v Sloveniji ali v njeni bližini, smo iz seizmogramov odčitali smeri prvih premikov ob vstopu vzdolžnega (longitudinalnega) valovanja. Za pet potresov leta 2008 in trinajst leta 2009 smo zbrali zadostno število podatkov za zanesljivo opredelitev rešitve prelomne ploskve. Njihove magnitude so bile v razponu od $M_{LV}=1,6$ do $M_{LV}=3,1$. Večina teh potresov je imela premik približno vodoraven ob skoraj navpičnem prelomu dinarske ali prečno dinarske smeri.

Abstract

The first onsets of the arrivals of the longitudinal waves were picked on the seismograms of stronger earthquakes in Slovenia in 2008 and 2009. For 18 events with local magnitudes ranging from $M_{LV}=1.6$ to 3.1 there was enough data to determine the fault plane solutions. The mechanisms are mostly of the strike-slip type with the fault strike along Dinaric or cross Dinaric direction.

Uvod

Potres nastane ob prelomu v Zemljini notranjosti, ko pod vplivom tektonskih napetosti ena stran ob prelomu zdrsne. Ozemlje Slovenije je prepleteno s številnimi prelomi (Poljak, 2007).

Povezavo med geološkimi strukturami, prelomi in potresi nam omogočajo žariščni mehanizmi. Ob potresu se potresno valovanje iz potresnega žarišča razširja v vse smeri. Lastnosti tega valovanja v različnih smereh so odvisne od usmerjenosti preloma in smeri premika ob njem. Mreže potresnih opazovalnic beležijo valovanje, ki se razširja iz potresnega žarišča. Iz teh podatkov seizmologi rutinsko določamo lokacijo nadžarišča, globino žarišča in magnitudo potresa (Cecić in drugi, 2010). S skrbno analizo oblik vstopnega dela vzdolžnega in prečnega valovanja na potresnih opazovalnicah je ob zadostnem številu podatkov in njihovi ugodni legi glede na žarišče potresa možno ugotoviti smer prelomne ploskve in premika ob njej.

V prispevku je zajetih nekaj močnejših potresov v letu 2008 in 2009 z žariščem na ozemlju Slovenije ali v neposredni okolici, za katere smo iz seizmogramov zbrali zadostno število podatkov za zanesljivo opredelitev rešitve prelomne ploskve in določitev žariščnih mehanizmov (preglednica 1 in slika 1).

Podatki in postopek

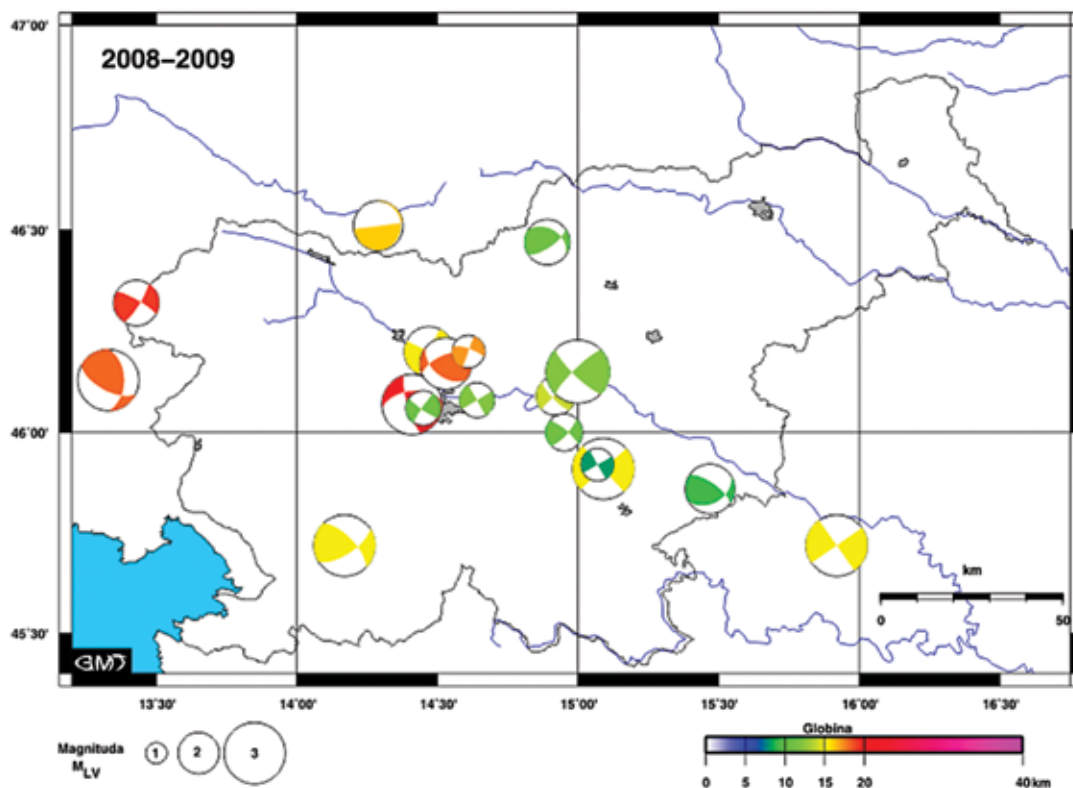
Rešitev prelomne ploskve smo poiskali ob predpostavki, da vir potresnega valovanja lahko predstavimo kot dvojni par sil (npr. Aki in Richards, 2002). Uporabili smo smer nihanja tal ob prihodu vzdolžnega valovanja na potresno opazovalnico. To odčitamo na navpični komponenti kot kompresijo (zgostitev) ali dilatacijo (razredčitev) tal pod potresno opazovalnico. Ob poznavanju strukture Zemljine skorje in hitrosti razširjanja potresnega valovanja v posameznih plasteh lahko opredelimo koordinate in globino žarišča ter izračunamo smer, v kateri je potresno valovanje zapustilo žariščno območje (Lienert in drugi, 1988; Lienert, 1994). V ta namen smo uporabili povprečni hitrostni model za ozemlje Slovenije, opredeljen iz tridimenzionalnega modela za prostorsko valovanje (Michellini in drugi, 1998) in modela za površinsko valovanje (Živčić in drugi, 2000).

datum	čas (UTC)	širina [N]	dolžina [E]	globina km	M _{LV}	ravnina 1			ravnina 2			P		T		Np	Nnp
						smer	naklon	premik	smer	naklon	premik	smer	naklon	smer	naklon		
date	time (UTC)	lat.	long.	depth	M _{LV}	nodal plane 1			nodal plane 2			P		T		Np	Nnp
dd.mm	hh:mm	°N	°E	km		strike	dip	rake	strike	dip	rake	strike	dip	strike	dip		
5. 3. 2008	19:41	45,73	15,92	16	3,0	55	90	0	325	90	-180	10	0	100	0	25	0
19. 4. 2008	1:49	46,15	15,00	11	3,1	226	80	12	134	78	170	360	1	90	16	34	0
25. 6. 2008	14:09	45,90	15,09	15	3,0	48	90	0	318	90	180	3	0	93	0	31	0
21. 10. 2008	8:12	45,72	14,17	15	3,0	57	66	26	316	66	154	6	0	276	34	20	0
8. 12. 2008	0:36	46,20	14,61	17	1,6	19	90	15	289	75	-180	153	11	245	11	16	0
3. 1. 2009	18:54	46,19	14,47	16	2,4	25	90	0	295	90	-180	340	0	70	0	22	0
23. 1. 2009	03:27	46,07	14,41	22	2,9	164	77	142	264	53	16	219	15	117	36	27	0
6. 2. 2009	02:18	45,86	15,47	8	2,4	59	42	31	301	70	128	8	16	257	50	20	0
23. 4. 2009	01:17	46,09	14,92	14	1,9	227	85	14	136	76	175	1	6	92	13	25	0
21. 5. 2009	08:21	46,47	14,89	10	2,2	56	70	53	302	41	149	172	17	284	51	25	0
22. 5. 2009	14:14	45,92	15,07	8	1,6	60	90	0	330	90	-180	15	0	105	0	19	0
22. 7. 2009	12:37	46,06	14,45	11	1,7	215	84	8	124	82	174	349	1	80	10	11	0
28. 7. 2009	23:10	46,08	14,64	12	1,7	60	90	0	330	90	-180	15	0	105	0	17	0
1. 8. 2009	03:04	46,17	14,53	19	2,5	247	62	49	129	48	141	5	8	106	53	23	0
1. 8. 2009	21:31	46,00	14,95	12	1,8	43	76	14	310	76	166	356	0	266	20	21	1
30. 8. 2009	19:55	46,52	14,29	16	2,4	352	10	0	262	90	100	342	44	182	44	18	0
15. 11. 2009	12:46	46,32	13,42	20	2,2	32	79	11	300	79	169	346	0	256	16	12	0
21. 12. 2009	05:37	46,13	13,33	19	3,0	118	62	49	360	48	140	236	8	337	53	30	1

Preglednica 1. Močnejši potresi leta 2008 in 2009 z žariščem na ozemlju Slovenije ali v njeni neposredni okolici ter njihovi parametri žariščnih mehanizmov. Smer je merjena od severa proti vzhodu, tako da je prelomna ploskev nagnjena v desno. Naklon je merjen od vodoravne ravnine in premik v prelomni ploskvi od smeri preloma (Aki in Richards, 2002). P je os največje in T os najmanjše napetosti. Np je število uporabljenih podatkov o smeri prvih premikov in Nnp število podatkov, ki niso v soglasju z rešitvijo.

Table 1. Fault plane parameters of stronger earthquakes in 2008 and 2009 with epicentres in Slovenia or its immediate vicinity. Strike is the azimuth of the horizontal direction taken so that the plane dips to the right (Aki's convention, Aki in Richards, 2002) measured from the North through the East so that fault dips to the right of strike (Aki's convention, Aki in Richards, 2002), dip of the fault is measured from the horizontal and rake is the angle of slip, measured in the fault plane from the strike. P is maximum and T minimum pressure axis. Np is number of stations used and Nnp is number of data inconsistent with the given solution.

Pri izračunu in določitvi prelomnih ploskev (Ložar in Živčič, 2007) smo si pomagali s programom Focmec (Snokle in drugi, 1984), ki poda množico položajev vrzelnih ravnin, katere ustrezajo odčitanim prvim premikom. V stereografski projekciji program z različnimi simboli izriše dilatacije in kompresije. V našem primeru dilatacijo predstavlja kvadrantek in kompresijo krogec. Dobimo množico rešitev paroma pravokotnih ploskev, ki ločita področja dilatacij in kompresij. Redkokdaj se zgodi, da so področja idealno ločena. Razlogi za to so lahko v nenatančnosti lokacije nadžarišča, žariščne globine ali nezadostnem poznavanju hitrostne strukture med žariščem in opazovalnico. Praviloma uporabljamo lateralno izotropen enodimenzionalen hitrostni model v katerem so hitrosti potresnega valovanja v vseh smereh dane plasti enake. V naravi se hitrosti spreminjajo tudi v vodoravni smeri in ni nujno, da žarek potuje po najkrajši poti, ker je ta lahko različna od najhitrejše poti. Prav tako ni nujno povsem pravilna predpostavka, da je proces v žarišču potresa čisti zmik. Nenazadnje obstaja tudi možnost, da je instrument na potresni opazovalnici postavljen z napačno polariteto. Zaradi tega je precej tvegana uporaba v biltenih objavljenih podatkov, ker jih ni mogoče preveriti. Za zanesljivo rešitev je nujno, da so na voljo celotni seiz-



Slika 1. Lokacije močnejših potresov z njihovi žariščnimi mehanizmi na ozemlju Slovenije in bližnje okolice v letih 2008 in 2009. Obarvani kvadranti so kompresijski, barva predstavlja žariščno globino, velikost pa vrednost lokalne magnitude M_{LV} .

Figure 1. Locations and fault plane solutions of the selected earthquakes with epicentres in Slovenia or its immediate vicinity in 2008 and 2009. Colored quadrants are compressional. Color gives information on focal depth and size scales with local magnitude M_{LV} .

mogrami. Vse zapise potresov smo še enkrat skrbno pregledali in odčitali smeri prvih premikov vzdolžnega valovanja. K podatkom državne mreže potresnih opazovalnic Republike Slovenije smo dodali še dostopne podatke iz sosednjih držav, ki smo jih ravno tako odčitali sami.

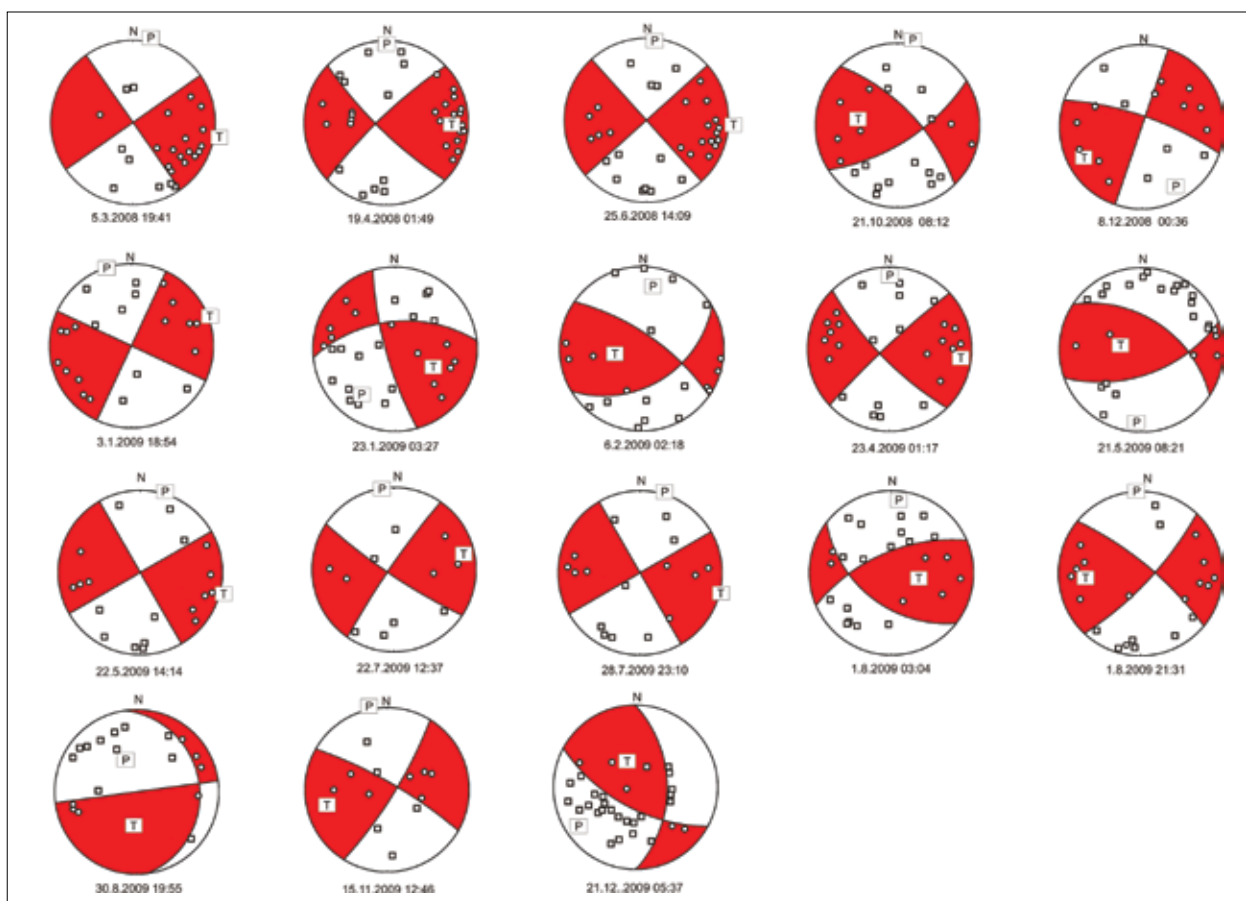
Kot končno rešitev smo izbrali tisto, ki je imela najbolj vodoravno položeno os največje napetosti. V prejšnjih raziskavah je bilo namreč ugotovljeno, da je os največje napetosti na področju

Slovenije usmerjena približno vodoravno (Poljak in drugi, 2000). Nekoliko bolj nagnjena je le v skrajnem vzhodnem delu.

Geografska porazdelitev za pet močnejših potresov v letu 2008 in trinajst leta 2009 je razvidna iz slike 1. Rešitve možnih prelomnih ploskev so na sliki 2. Podana je projekcija na spodnjo poloblo. Posamezne opazovalnice so predstavljene s simboli glede na smer prvega premika ob prihodu vzdolžnega valovanja. Kompresijski kvadranti so označeni z rdečo barvo, medtem ko so dilatacijski kvadranti brezbarvni. Označeni sta tudi smeri največje (P) in najmanjše (T) napetosti, kot sta določeni iz rešitve prelomne ploskve.

Sklepi

Poznavanje procesa v žarišču potresa poda neposredno informacijo o načinu in smeri deformacij v zemeljski skorji v žariščnem območju. Večina potresov nastane zaradi nenadnega strižnega zmika ob prelomu v zemeljski skorji. Če potres lahko pripišemo nekemu prelomu, s tem dokazujemo njegovo aktivnost. Poznavanje aktivnosti posameznega preloma je zelo pomembno zaradi ocenjevanja potresne nevarnosti. Natančnost lokacij žarišča le redko zadošča, da bi lahko potres nedvomno pripisali nekemu prelomu. Opredelitev prelomne ploskve nam pomaga, da lahko v žariščnem območju upoštevamo samo prelome določenega značaja in usmerjenosti. Večina po-



Slika 2: Žariščni mehanizmi za osemnajst močnejših potresov na ozemlju Slovenije in bližnje okolice v letih 2008 in 2009. Kvadrantki predstavljajo opazovalnice, ki so kot prvi prihod zabeležile dilatacijo, krogi opazovalnice, ki so zabeležile kompresijo. Označeni sta smeri največje (P) in najmanjše (T) napetosti. Podana je projekcija na spodnjo poloblo.

Figure 2: Fault plane solutions of the selected earthquakes in Slovenia or its immediate vicinity in 2008 and 2009. Squares denote stations with dilatations as the first onset and circles stations with compression, P and T are maximum and minimum stress axes. Lower hemisphere projection.

tresov leta 2008 in 2009 z žarišči v Sloveniji, za katere smo opredelili rešitev prelomne ploskve, je nastalo na prelomih dinarske ali prečno dinarske smeri s skoraj vodoravnim premikom.

Iz preglednice 1 je razvidno, da je bil najšibkejši potres, za katerega smo še lahko zbrali zadostno število zapisov, magnitude $M_{LV}=1,6$. Najmanjše število uporabljenih podatkov o smeri prvih premikov je bilo enajst, medtem ko smo pri enem od potresov lahko uporabili prve premike odčitane na 34 opazovalnicah. Za večino potresov je bilo uporabljenih nad 20 podatkov o vstopih. To je bilo mogoče le zaradi nove mreže potresnih opazovalnic, ki je postopoma začela delovati med letoma 2002 in 2009, in uspešnega sodelovanja s seizmološkimi službami drugih držav.

Zahvala

Zapise potresov na opazovalnicah v Avstriji in v pokrajini Furlanija-Juljska krajina v Italiji smo pridobili v okviru Mednarodnega sporazuma o izmenjavi seizmoloških podatkov v »realnem času« na področju Alpe-Jadran. Pri nekaterih potresih ob meji smo uporabili tudi zapise Hrvaške seizmološke službe. Slike smo izdelali s programom GMT (Wessel in Smith, 1991, 1998).

Literatura

- Aki, K. in Richards, P. G., 2002. Quantitative Seismology, University Sausalito Books, Sausalito CA, 700 str.
- Cecić, I., Jesenko, T., Živčič, M. in Čarman, M. 2010, Potresi v Sloveniji leta 2009, Potresi v letu 2009, Agencija Republike Slovenije za okolje, 49-64, Ljubljana
- Lienert, B.R., Berg, E. in Frazer, L.N., 1988, HYPOCENTER: An earthquake location method using centered, scaled, and adaptively least squares. Bull. Seism. Soc. Am., 76, 771-783.
- Lienert, B.R., 1994, HYPOCENTER 3.2 - A Computer Program for Locating Earthquakes Locally, Regionally and Globally, Hawaii Institute of Geophysics & Planetology, Honolulu, 70 str.
- Ložar Stopar, M. in Živčič, M., 2007, Žariščni mehanizmi nekaterih močnejših potresov v Sloveniji v letu 2005, Potresi v letu 2005, Agencija Republike Slovenije za okolje, 57-62, Ljubljana
- Michelini, A., Živčič, M. in Suhadolc, P. (1998), Simultaneous inversion for velocity structure and hypocenters in Slovenia, Journal of Seismology, 2(3), 257-265.
- Poljak M., Živčič M., Zupančič P., 2000. The Seismotectonic Characteristics of Slovenia. Pure appl. Geophys., vol. 157, 37-55
- Poljak M., 2007. Strukturno-tektonska karta Slovenije 1:250000, Geološki zavod Slovenije, Ljubljana
- Snoke, J.A., Munsey, J.W., Teague, A.G. in 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, No. 3, p. 15.
- Wessel, P. in Smith, W.H.F., 1991. Free software helps map and display data, Eos, Trans. Amer. Un., Vol. 72(441), pp. 445-446.
- Wessel, P. in Smith, W.H.F., 1998. New, improved version of the Generic Mapping Tools released, EOS Trans. AGU, Vol. 79, p. 579
- Živčič, M., Bondár, I. in Panza, G.F., 2000. Upper Crustal Velocity Structure in Slovenia from Rayleigh Wave Dispersion. Pure Appl. Geophys., Vol. 157, 131-146.

Mladen Živčić, Martina Čarman, Milka Ložar Stopar

POTRES 15. JANUARJA 2010 PRI POSTOJNI

THE EARTHQUAKE ON 15 JANUARY 2010 IN THE POSTOJNA REGION

Povzetek

15. januarja 2010 ob 14:20 UTC se je v bližini Postojne zgodil potres lokalne magnitude $M_{LV}=3,7$. Iz zapisov na opazovalnicah Državne mreže potresnih opazovalnic RS in zapisov prenosnih opazovalnic, začasno postavljenih na tem področju, smo v letu 2010 na Uradu za seizmologijo in geologijo locirali 405 potresov v bližini Postojne, tako pred kot po glavnem potresu. Žariščna mehanizma dveh najmočnejših potresov kažeta na skoraj navpičen bodisi desnozmichen prelom v smeri jug-jugovzhod bodisi levozmichen prelom v smeri zahod-jugozahod. Čeprav se je gruča potresov po ponovnem lociranju z relativno metodo časovnih prehitkov oz. zaostankov pri hkratnem določanju žarišč prostorsko strnila, pa prostorska porazdelitev potresov ne omogoča določitve položaja prelomne ploskve. Iz spektrov prečnega valovanja na najbližjih opazovalnicah smo s krožnim modelom potresnega izvora ocenili, da je velikost ploskve potresnega izvora nekaj sto metrov. Prenosne potresne opazovalnice, postavljene pred in po glavnem potresu v neposredno bližino nadžarišča, pa so to ploskev umestile na globino med 14,4 km in 16,1 km.

Abstract

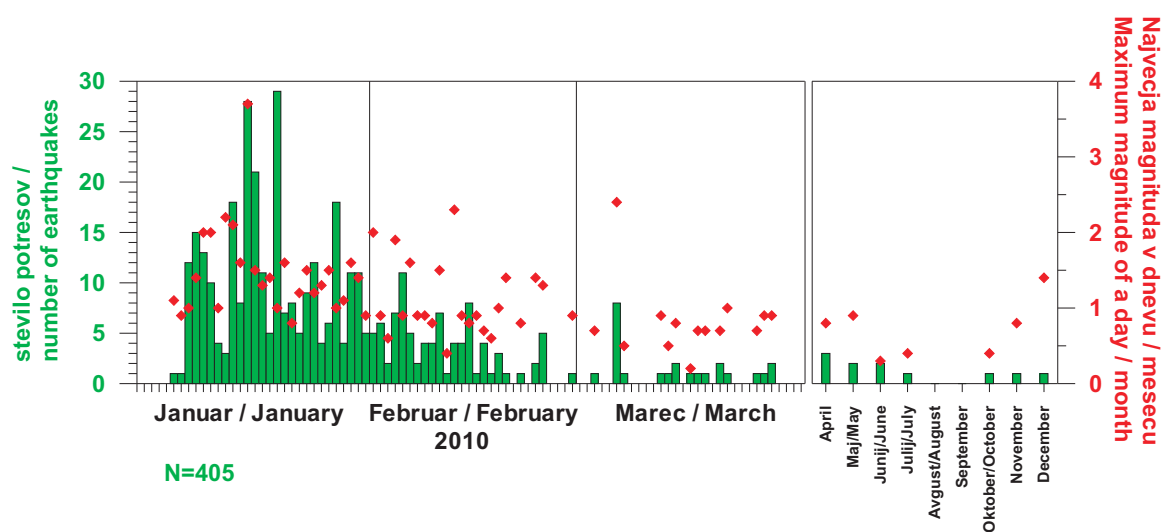
The strongest event in 2010 with $M_{LV}=3.7$ took place on 15 January 2010 at 14:20 UTC near Postojna. 405 earthquakes, which occurred before and after the main earthquake, were analysed from records of Seismic network of the RS and three portable stations temporarily set in the vicinity of Postojna. Two fault plane solutions obtained from the first motion data for the main earthquake and its strongest aftershock give almost vertical fault of either S-SE direction with dextral strike slip mechanism or W-SW direction with sinistral strike slip mechanism. Earthquake hypocentres were relocated using HypoDD algorithm (Waldhauser in Ellsworth, 2000; Waldhauser, 2001). Although the cluster of 169 earthquakes condensed after relocation, the spatial distribution of earthquakes does not allow determining the situation of the fault plane. The size of the fault plane, estimated from spectra of transverse waves for the nearest stations using circular model of seismic source, is a few hundred metres. Data from portable seismic stations, set before and after the main earthquake in the immediate vicinity of the epicentres, placed the fault plane at the depth between 14.4 km and 16.1 km.

Uvod

V Sloveniji se je najmočnejši potres v letu 2010 zgodil 15. januarja ob 14:20 UTC pri Postojni z lokalno magnitudo $M_{LV}=3,7$. V zadnjih petih letih, odkar delujejo vse opazovalnice Državne mreže potresnih opazovalnic RS (DMPO RS; Sinčić in drugi, 2011), smo na tem področju običajno zabeležili le nekaj potresov letno. V zadnjih dveh dneh decembra 2009 in v prvi polovici januarja 2010 pa so naprave na potresnih opazovalnicah zaznale nekaj deset potresov. Najmočnejše med njimi z magnitudo 2,1 in 2,2, so prebivalci čutili. V času teh potresov je bila najbližje njihovim lokacijam opazovalnica na Javorniku (JAVS), na oddaljenosti 16 km. Ker je za zanesljivo določanje žariščne globine izredno pomembno imeti zapise opazovalnice čim bližje nadžarišču, je 13. januarja Urad za seizmologijo in geologijo ARSO v kletne prostore Inštituta za raziskave krasa (IRK ZRC SAZU) v središču Postojne postavil prenosno opazovalnico za beleženje močnih potresov in ji dodelil oznako POST. Glavni potres, ki se je zgodil dva dni po postavitvi instrumenta, je bil tako zabeležen tudi s tem inštrumentom, nameščenim le manj kot 1 kilometer od nadžarišča. Temu potresu je sledilo veliko število šibkejših popotresov. Do konca leta 2010 je ta opazovalnica zabeležila 18 potresov v bližini Postojne. Na dan glavnega potresa smo v gasilskem domu v Postojni namestili še eno prenosno potresno opazovalnico za beleženje močnih potresov, a smo jo že 19. januarja prestavili na bolj ugodno lokacijo v zasebno hišo v Zalogu. Ne v gasilskem domu v Postojni ne v Zalogu nismo v bližini Postojne zabeležili nobenega potresa. Tako smo 18. marca instrument v Zalogu odstranili. 20. januarja je v prostorih zasebne kmetije v Studenem začela delovati prenosna potresna opazovalnica STUP, ki je delovala do 20. marca in zabeležila 177 potresov z

žariščem pri Postojni. Seizmologi z Dipartimento di geoscienze z Univerze v Trstu so 27. januarja v sodelovanju z Uradom za seizmologijo in geologijo ter z IRK ZRC SAZU ter ob privolitvi upravljalca Postojnske jame Turizma Kras d.d. v Postojnski jami, v predelu imenovanem Velika gora, postavili prenosno potresno opazovalnico in ji dodelili kodo VGPJ. Ta opazovalnica je delovala do 12. februarja 2011 in v tem času zabeležila 79 potresov z žariščem pri Postojni.

Najmočnejši popotres magnitude $M_{LV} = 2,4$ se je zgodil 6. marca, 50 dni po glavnem potresu, ob 07:41 UTC. Potresna aktivnost se je postopoma umirjala vse do meseca maja. Iz zapisov na opazovalnicah DMPO RS in zapisov prenosnih opazovalnic, začasno postavljenih na tem področju, smo na Uradu za seizmologijo in geologijo locirali 405 potresov. Časovna porazdelitev lociranih potresov, ki so se leta 2010 zgodili v bližini Postojne, je prikazana na sliki 1. Označena je tudi največja lokalna magnituda izbranega dne oz. meseca.



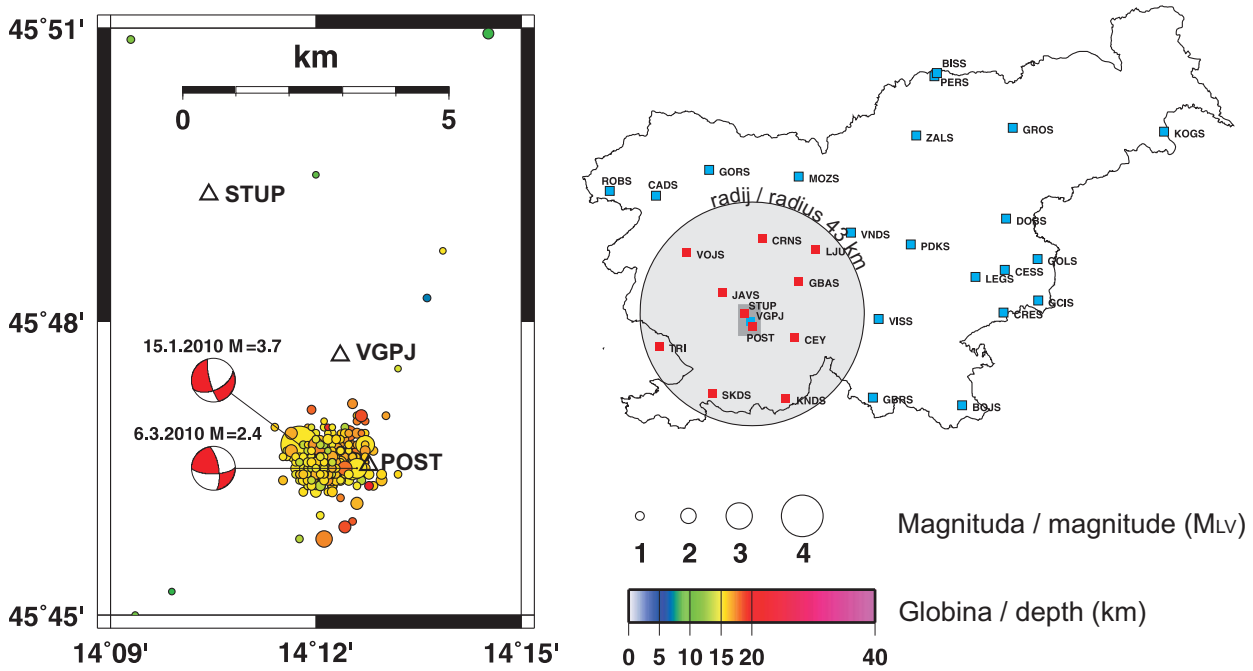
Slika 1: Leva os: Časovna porazdelitev 405 lociranih potresov. Desna os: Največja lokalna magnituda v dnevu oz. mesecu (rdeče pike).

Figure 1: Left axis: Time distribution of 405 located earthquakes. Right axis: Maximum magnitude of an earthquake in a day/month (red dots).

Potresom smo sproti določali osnovne parametre. Pri rutinski obdelavi potresov na Uradu za seizmologijo in geologijo uporabljamo program Hypocenter 3.2 (Lienert, 1994). Ta program na podlagi odčitanih časov vstopa vzdolžnih oz. longitudinalnih (P) in prečnih oz. transverzalnih (S) potresnih valov, podatkov o hitrostih valovanja na različnih globinah (enodimenzionalni hitrostni model) in podatkov o lokacijah opazovalnic numerično reši kinematične enačbe in tako določi čas in kraj nastanka posameznega potresa ter njegovo magnitudo. Točnost, ki jo praviloma dosežemo, je nekaj kilometrov za lego žarišča, nekaj desetink sekunde za čas nastanka potresa in nekaj desetink za magnitudo.

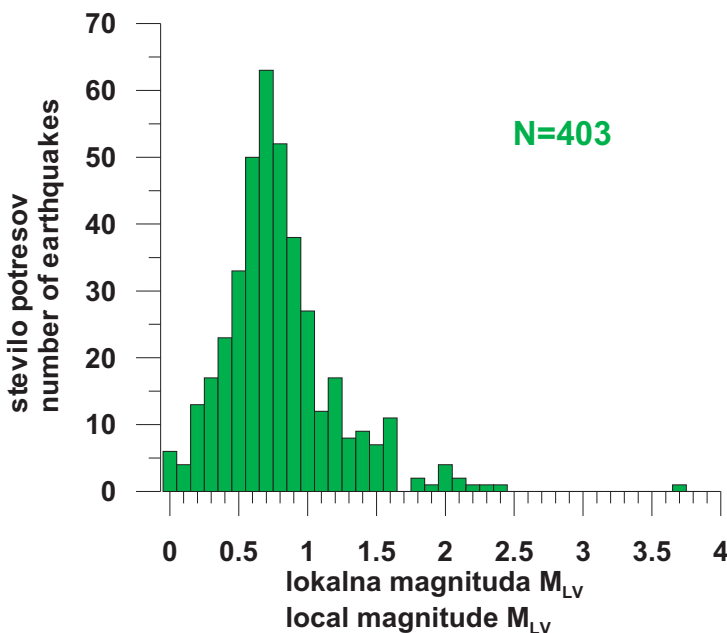
Po rutinski obdelavi seizmoloških podatkov smo na območju $45,75-45,85^{\circ}$ SZŠ in $14,15-14,25^{\circ}$ VZD uspeli locirati 405 potresov iz leta 2010 (ARSO, 2010). Nadžarišča potresov so raztresena na področju premera 3 kilometre, večina žarišč se nahaja na globinah med 13 in 19 kilometrov (slika 2). Histogram na sliki 3 prikazuje porazdelitev lokalnih magnitud (M_{LV}). Dvema dogodkoma ni bilo mogoče določiti magnitude.

Dosežena točnost osnovnih potresnih parametrov in čas, ki ga potrebujemo za njihov izračun, zadostujeta za potrebe obveščanja in ukrepanja po potresu in za statistično obdelavo potresne dejavnosti. Vendar pa postopek ne zadošča za prepoznavanje aktivnih prelomnih struktur, saj z uporabo poenostavljenega hitrostnega modela Zemljine skorje, nezanesljivosti pri odčitavanju vstopnih časov P in S valov ter, pri šibkejših potresih, majhnega števila potresnih opazovalnic, ki so potres zabeležile, dobimo preveč razpršeno sliko potresne dejavnosti.



Slika 2: Levo: Karta rutinsko določenih nadžarišč potresov v bližini Postojne leta 2010 (ARSO, 2010). Desno zgoraj: Potresne opazovalnice državne mreže v RS in opazovalnica v Trstu, TRI. Obravnavano območje, prikazano na levi, je označeno s pravokotnikom temno sive barve, svetlo siv krog zajema opazovalnice, katerih podatke smo uporabili pri relokaciji potresov.

Figure 2: Left: Earthquake epicentres recorded in Postojna region in 2010 (ARSO, 2010). Top right: Seismic network in Slovenia together with seismic station in Trieste, TRI. The discussed area on the left is inside the coloured dark gray rectangular. The station inside the light gray circle were used in the relocation of earthquakes.



Slika 3: Porazdelitev potresov v bližini Postojne leta 2010 glede na lokalno magnitudo.

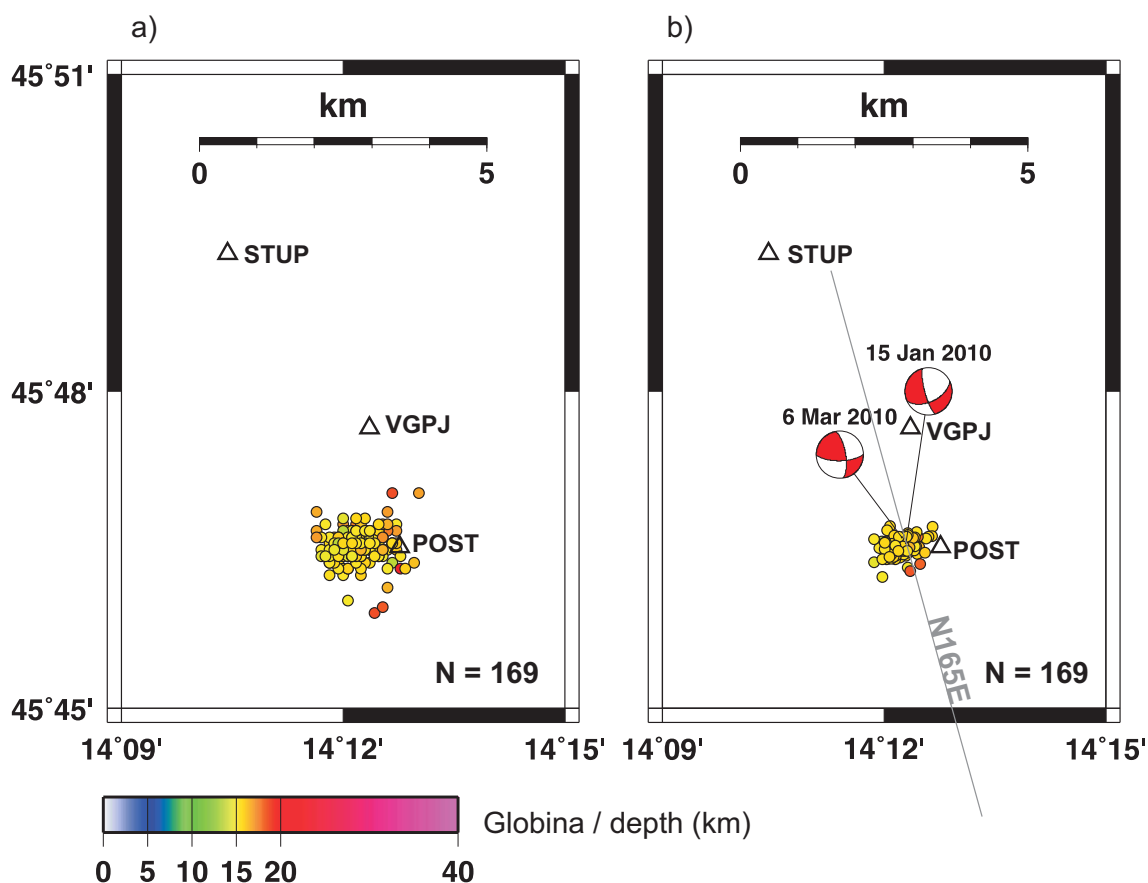
Figure 3: Distribution of local magnitude for earthquakes near Postojna in 2010.

Relokacija potresov

Z relativno metodo časovnih prehitkov oz. zaostankov pri določanju žarišč (Double-Difference Hypocenter determination – HypoDD, Waldhauser in Ellsworth, 2000; Waldhauser, 2001) smo poskusili lokacije potresov v bližini Postojne, izračunane z rutinskim postopkom, izboljšati. Metoda je uporabna za gručo potresov na prostorsko omejenem območju, ki je majhno v primerjavi z

oddaljenostjo opazovalnic od potresov in na katerem so spremembe hitrosti majhne v primerjavi s spremembami hitrosti na poti potresnih valov. Osnovna ideja te metode je, da potresni valovi potresov, ki so nastali na relativno majhnem območju, potujejo do izbrane oddaljene opazovalnice po poteh zelo blizu skupaj, razen v neposredni bližini žarišč, in tako prepotujejo iste geološke strukture. Tako na večjem delu poti, razen v neposredni bližini žarišč, rutinski izračun z uporabo poenostavljenega modela Zemljine notranjosti k času potovanja potresnih valov prinese isto absolutno napako. Zaradi tega lahko časovno razliko (prehitke ali zaostanke) v času potovanja P oz. S potresnih valov dveh bližnjih potresov na izbrano opazovalnico z veliko gotovostjo pripišemo krajevnemu razmiku žarišč. Z zaporednim spreminjanjem lege žarišč minimiziramo vse prehitke oz. zaostanke med pari bližnjih potresov na vsaki opazovalnici posebej. S takšnim sočasnim relociranjem gruče potresov posredno upoštevamo hitrostne razlike v Zemljini notranjosti in posledično točneje določimo krajevne koordinate.

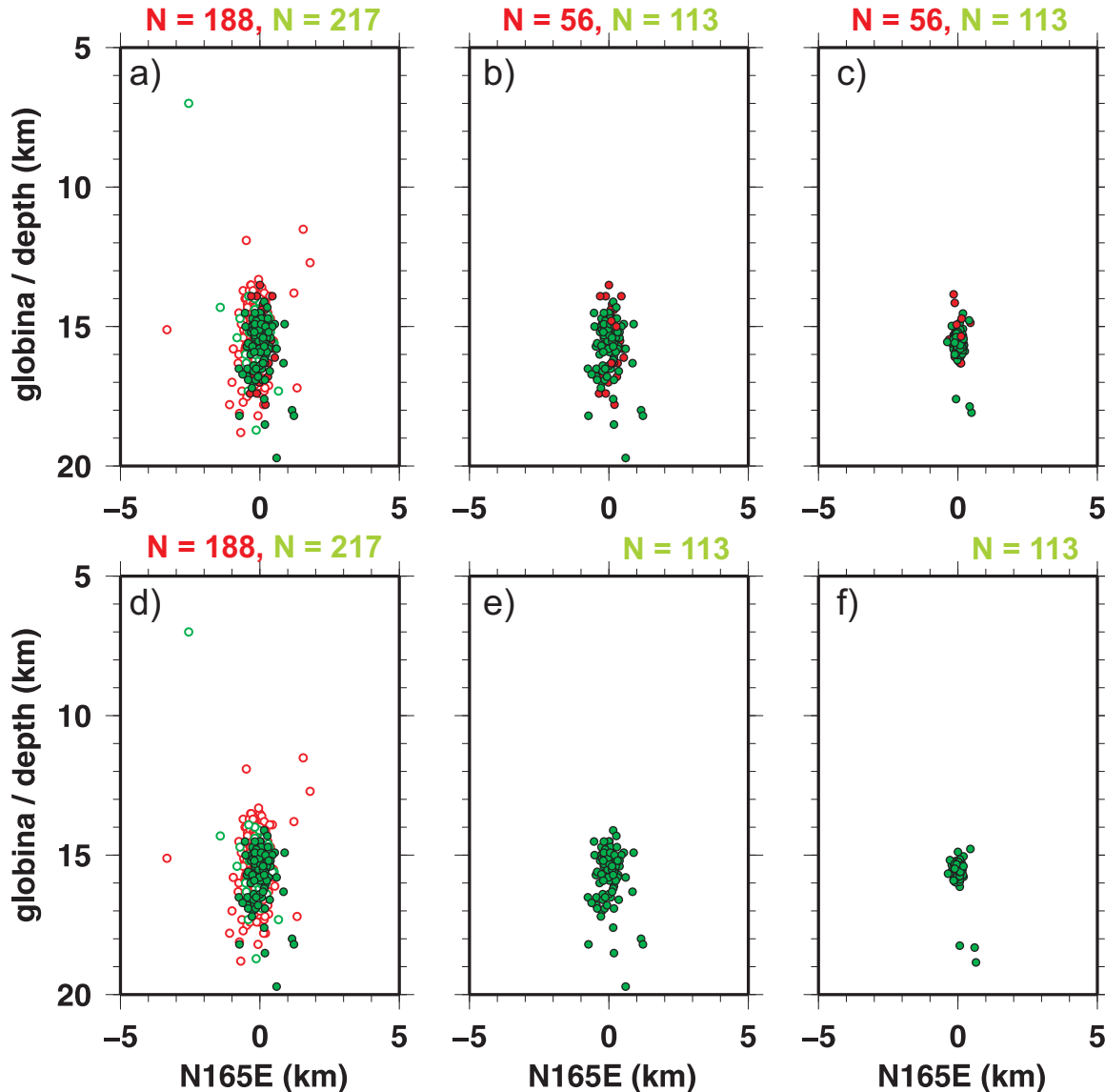
Pri relocaciji smo upoštevali le odčitane vstopne čase opazovalnic, oddaljenih od središča skupine potresov največ 43 km. Ker je bila opazovalnica VGPJ nameščena v Postojnski jami in ni imela urejenega GPS signala, čas zabeleženih vstopov ni točen in jih pri relocaciji ne moremo



Slika 4: 169 potresov (a) po lociranju vsakega posameznega dogodka s programom Hypocenter (Lienert, 1994), in (b) po sočasnem relociranju dogodkov z uporabo relativne metode časovnih prehitkov oz. zaostankov pri določanju žarišč (Double-Difference Hypocenter determination – HypoDD, Waldhauser in Ellsworth, 2000; Waldhauser, 2001) za niz potresov blizu Postojne, ki so se zgodili leta 2010. Na sliki (b) sta prikazana tudi žariščna mehanizma najmočnejšega potresa in popotresa ter smer globinskega prereza na sliki 5. Barva ponazarja žariščno globino.

Figure 4: Distribution of 169 (a) routinely located earthquakes (circles) using Hypocenter (Lienert, 1994), and (b) relocated earthquakes using Double-Difference Hypocenter determination algorithm (Waldhauser in Ellsworth, 2000; Waldhauser, 2001) for earthquakes near Postojna in 2010. Panel (b) shows also focal mechanisms of the strongest earthquake and aftershock. The direction of the cross sections on Figure 5 is marked. The colour of the symbols corresponds to the focal depth.

upoštevati. Tako je pri relokaciji sodelovalo enajst bližnjih opazovalnic (rdeče označene opazovalnice na sliki 2). Za vsako opazovalnico posebej smo pred relokacijo izrisali porazdelitev razlike med vstopnih časov med prihodom prečnih in vzdolžnih potresnih valov (podobno kot za STUP, VGPJ in POST na sliki 6). V primeru, da je razlika vstopnih časov P in S valovanja močno odstopala od povprečja na izbrani opazovalnici, odčitane vstopa prečnega valovanja nismo



Slika 5: Globinski prerezi vzdolž daljice N165E označene na sliki 4. Z zeleno barvo so označeni potresi zabeleženi na POST in/ali STUP, ostali pa z rdečo barvo. Prazen krogec označuje potres, ki ni uporabljen pri relokaciji, medtem ko so potresi označeni s polnim krogcem uporabljeni. Slika (a) prikazuje 405 potresov, ki smo jih zabeležili in rutinsko locirali v letu 2010 v bližini Postojne. Na sliki (b) so ponovno izrisane rutinsko določene lege 169 potresov, ki so sodelovali pri relokaciji, medtem ko so na sliki (c) izrisane lege istih 169 potresov po relokaciji. Slike (d), (e) in (f) so izrisane po isti analogiji, le da smo tu samostojno locirali le 113 potresov, ki so bili zabeleženi bodisi na opazovalnici POST bodisi na STUP.

Figure 5: Cross sections along the segment N165E marked on Figure 4. Earthquakes recorded on stations POST and/or STUP are marked green, others are red. Relocated earthquakes are marked with full circle, otherwise the circle is empty. Figure (a) shows 405 earthquakes recorded and routinely located in 2010 near Postojna. Figure (b) shows the set of 169 routinely located earthquakes used in relocation, but before relocation process and Figure (c) after relocation process. Figures (d), (e), and (f) follow the same analogy, but only 113 earthquakes recorded on POST and/or STUP are relocated.

upoštevali. Prav tako nismo upoštevali odčitkov vstopa prečnih valov, če vstopa vzdolžnih valov nismo imeli. V nadaljevanju smo parom bližnjih potresov poiskali vsaj 10 časovnih prehitkov oz. zaostankov ustreznih vstopnih časov. Prehitke oz. zaostanke vstopnih časov smo s programom HypoDD minimizirali in tako dobili izboljšane medsebojne lege 169 potresov (slika 4), 113 med njimi je bilo zabeleženih na opazovalnicah STUP in/ali POST.

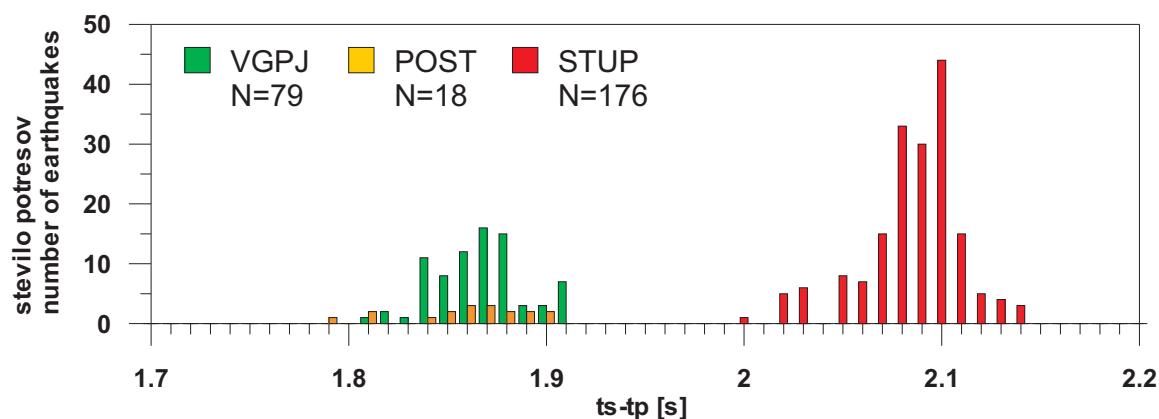
Globinske prereze smo na podlagi žariščnega mehanizma izrisali na navpično ravnino, ki je od severa zasukana 165° v smeri urnega kazalca (daljica N165E na sliki 4). Slika 5a prikazuje lege vseh potresov, ki smo jih zabeležili na tem območju v letu 2010. S polnimi krogi so označeni potresi, ki smo jih kasneje relocirali. Zeleno obarvani potresi so bili zabeleženi na opazovalnici POST in/ali STUP, medtem ko rdeče obarvani niso bili. Na sliki 5b so ponovno izrisane lege potresov, ki so sodelovali pri relokaciji, na sliki 5c pa isti potresi po relokaciji. Po analogiji so predstavljeni tudi potresi na spodnjih treh slikah (5d, 5e, 5f), le da smo tu samostojno relocirali samo 113 potresov, ki sta jih zabeležili opazovalnici STUP in/ali POST.

Potresi so se po relokaciji prostorsko strnili. Iz lege potresnih žarišč lahko ocenimo, da so se ti zgodili na območju velikem $1,5 \text{ km} \times 1,0 \text{ km}$ ter v razponu 2 km globine. Tri potrese smo locirali nekoliko globlje.

Določanje žariščne globine

Metoda HypoDD je relativna metoda, kar pomeni, da lahko z njo določamo relativen položaj potresnih žarišč znotraj obravnavane gruče, ne pa točne umeščenosti gruče v prostor. Ta je odvisna predvsem od števila in prostorske razporeditve potresnih opazovalnic in od poznavanja hitrosti, s katerimi potresno valovanje potuje na poti med žariščem in opazovalnico. Zapisi žarišču najbližjih opazovalnic so odločilni za določanje globine žarišča. V primeru, da se opazovalnica nahaja praktično nad žariščem, lahko celotno oddaljenost žarišča od opazovalnice pripišemo žariščni globini. Za tako opredeljevanje globine smo uporabili zapise treh najbližjih opazovalnic (POST, VGPJ, STUP) in hitrosti potovanja potresnega valovanja, ocenjene iz tridimenzionalnega tomografskega modela hitrosti vzdolžnega valovanja v Sloveniji (Michellini in drugi, 1998).

Iz slike 6 je razvidno, da so časovne razlike ($t_s - t_p$) med prihodom vzdolžnega (P) in prečnega (S) valovanja v zelo ozkem razponu. Tako so na opazovalnici POST te večinoma med 1,81 in 1,90 sekund, na opazovalnici VGPJ med 1,84 in 1,91 sekund in na opazovalnici STUP med 2,03 in 2,12 sekund. Ob upoštevanju hitrostnega modela in predpostavki, da sta vzdolžno in prečno valova-



Slika 6: Porazdelitev časovnih razlik ($t_s - t_p$) med prihodom vzdolžnega (P) in prečnega (S) valovanja za 79 potresov odčitanih na opazovalnici VGPJ, 18 potresov odčitanih na POST in 176 potresov odčitanih na STUP.

Figure 6: Distribution of time differences ($t_s - t_p$) between the arrivals of transversal (S) and longitudinal (P) seismic waves for 79 earthquakes read on seismic station VGPJ, 18 earthquakes on POST and 176 earthquakes on STUP.

nje potovala po isti poti, lahko določimo razpon globin, ki ustreza odčitnemu razponu vstopnih časov. Ta je za opazovalnico POST med 14,4 in 15,2 kilometrov, za opazovalnico VPGJ med 14,6 in 15,1 kilometrov in za nekoliko bolj oddaljeno opazovalnico STUP med 15,3 in 16,1 kilometrov. Te globine se povsem skladajo z globinami, opredeljenimi z relokacijskim postopkom. Le velikost gruče potresov ne bi smela presegati prostornine krogle s premerom približno pol kilometra.

Velikost potresnega izvora, oziroma velikost ploskve, na kateri je ob potresu prišlo do pretrga, smo ocenili iz zapisov najmočnejšega potresa na najbližjih opazovalnicah. Uporabili smo krožni model potresnega izvora (Brune, 1970) in po postopku, opisanem v članku Andrews (1986), iz spektrov prečnega valovanja na opazovalnicah POST, ILBA, CEY, JAVS in SKDS dobili povprečen polmer potresnega izvora približno 250 metrov.

Žariščni mehanizmi

V obravnavanem obdobju je imel najmočnejši potres v bližini Postojne lokalno magnitudo $M_{LV}=3,7$. Zaradi ugodne razporeditve opazovalnic, ki so zabeležile ta potres, smo lahko določili žariščni mehanizem tudi potresu z lokalno magnitudo $M_{LV}=2,4$. Iz odčitanih smeri prvih premikov ob vstopu vzdolžnega valovanja na potresno opazovalnico smo s programom Focmec (Snoke in drugi, 1984) določili položaj dveh možnih prelomnih ploskev. Za močnejši potres smo poleg slovenskih imeli na voljo tudi seizmogramne bližnjih hrvaških, italijanskih in avstrijskih opazovalnic. Tako smo smer vstopa valovanja lahko odčitali na zapisih petintridesetih opazovalnic. Pri popotresu magnitude $M_{LV}=2,4$ smo smer vstopa valovanja odčitali na zapisih triindvajsetih opazovalnic, medtem ko ostalim šibkejšim potresom nismo uspeli nedvoumno opredeliti smer prvega vstopa valovanja na zadostnem številu opazovalnic. Močnejši potres so zabeležile opazovalnice do oddaljenosti 1100 kilometrov, šibkejšega do 300 kilometrov. Parametri žariščnih mehanizmov potresov 15. januarja 2010 ob 14:20 UTC in 6. marca ob 07:41 UTC so v preglednici 1.

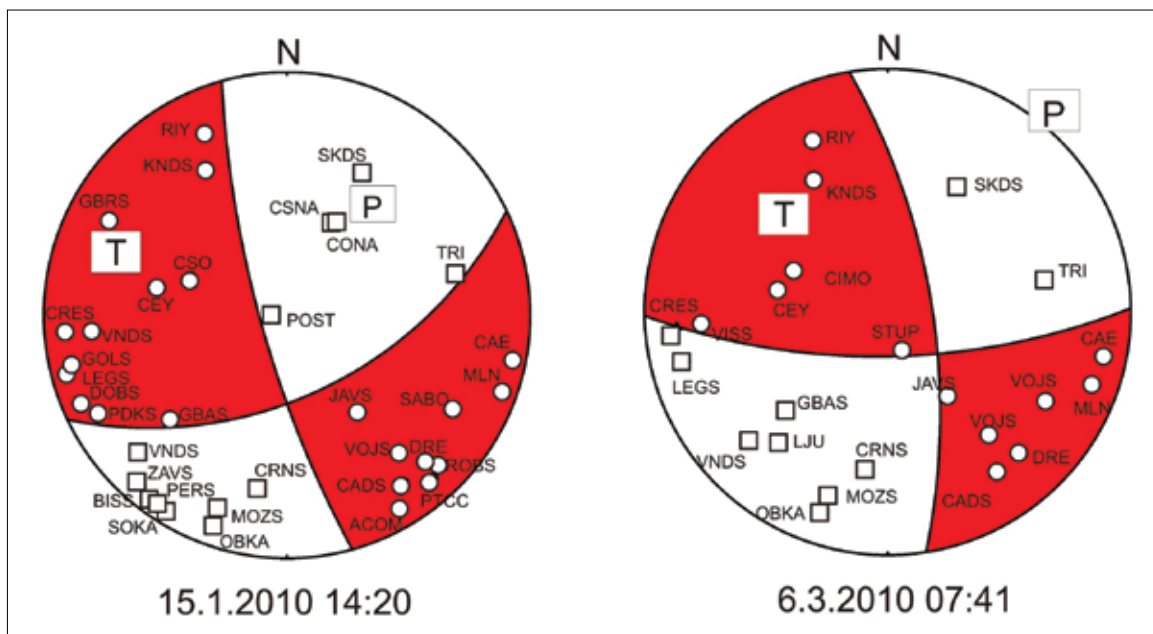
Žariščni mehanizem glavnega potresa, določen iz smeri prvih premikov, je skoraj identičen rezultatom, ki so jih na Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale - Centro Ricerche Sismologiche dobili z inverzijo tenzorja seizmičnega navora (OGS - CRS, 2010). Po njihovih izračunih je bila navorna magnituda potresa $M_w=3,5$.

Žariščni mehanizem glavnega potresa kaže na zmični prelom, usmerjenost katerega je ali v smeri jug-jugovzhod ali zahod-jugozahod. V obeh primerih je prelomna ploskev skoraj navpična.

Preglednica 1. Potresa 15. 1. 2010 ob 14:20 UTC in 6. 3. 2010 ob 07:41 UTC ter parametri njunega žariščnega mehanizma. Smer je merjena od severa proti vzhodu, tako da je prelomna ploskev nagnjena v desno, naklon je merjen od vodoravne ravnine, premik je merjen v prelomni ploskvi od smeri preloma (Aki in Richards, 2002). P je os največje in T os najmanjše napetosti. N je število uporabljenih podatkov o smeri prvih premikov.

Table 1. Focal mechanisms for 15 January 2010 at 14:20 UTC and 6 March 2010 at 07:41 UTC earthquake. Strike is the azimuth of the horizontal direction taken so that the plane dips to the right, measured from the North through East (Aki's convention), dip of the fault is measured from the horizontal and rake is the angle of slip, measured in the plane of the fault from the strike direction to the slip vector. P is maximum and T minimum pressure axis. N is number of P -wave first motion polarities used.

Datum	čas (UTC)	širina	dolžina	globina	MLV	ravnina 1			ravnina 2			P		T		N
dd.mm.yyyy	hh:mm	°N	°E	km		smer	naklon	premik	smer	naklon	premik	smer	naklon	smer	naklon	
date	time (UTC)	lat.	lon.	depth	MLV	nodal plane 1			nodal plane 2			P		T		N
dd.mm.yyyy	hh:mm	°N	°E	km		strike	dip	rake	strike	dip	rake	strike	dip	strike	dip	
15. 1. 2010	14:20	45,78	14,20	15	3,7	65	53	-16	165	77	-142	32	36	290	16	35
6. 3. 2010	07:41	45,78	14,21	20	2,4	89	69	22	351	70	157	40	0	310	30	23



Slika 7: Žariščna mehanizma potresov 15. 1. 2010 ob 14:20 UTC in 6. 3. 2010 ob 07:41 UTC

Figure 7: Focal mechanisms for the events on 15 January 2010 at 14:20 UTC and 6 March 2010 at 07:41 UTC

V prvem primeru bi bil prelom desnozmični, v drugem levozmični. Popotresi se posebej v času neposredno po glavnem potresu dogajajo predvsem znotraj dela prelomne ploskve, ki je bila aktivna ob glavnem potresu. Tako bi načeloma lahko iz prostorske porazdelitve popotresov sklepali, katera izmed dveh ploskev v rešitvi žariščnega mehanizma je prelomna. A ker je velikost v glavnem potresu pretrganega območja le nekaj sto metrov in so zato žarišča potresov strnjena na zelo majhnem prostoru, usmerjenosti prelomne ploskve nismo uspeli določiti. Žariščni mehanizem najmočnejšega popotresa je precej podoben mehanizmu glavnega potresa (slika 7).

Popotresi

Porazdelitev popotresov po magnitudi pogosto sledi Gutenberg-Richterjevemu zakonu, po katerem število popotresov z magnitudo manjšo ali enako izbrani magnitudi (kumulativno število potresov) pada z magnitudo po logaritemsko linearni relaciji (Gutenberg in Richter, 1944):

$$\text{Log } N = a + bM,$$

kjer je N število potresov z magnitudo manjšo ali enako magnitudi M . Na sliki 8 vidimo, da kumulativno število lociranih potresov (na logaritemski skali) enakomerno narašča z manjšanjem magnitude vse do magnitude okoli 0,6. Sklepamo lahko, da vseh potresov z magnitudo manjšo od 0,6 nismo zabeležili.

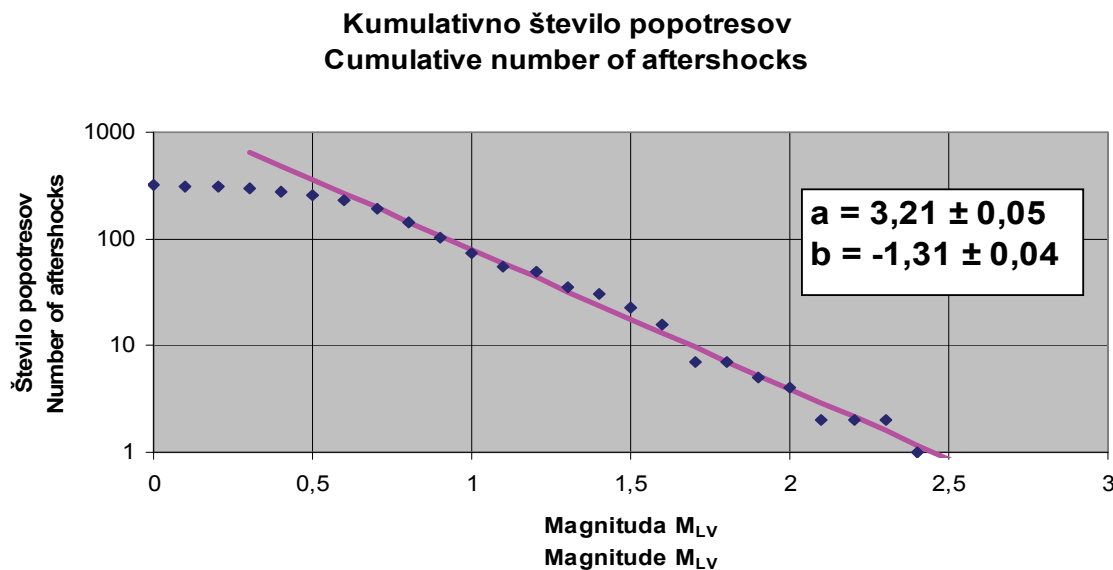
Z linearno regresijo smo določili parametre a in b v Gutenberg-Richterjevi relaciji. Izračunana vrednost parametra a je enaka $3,21 \pm 0,05$ in parametra b je enaka $-1,31 \pm 0,04$. Za isto množico podatkov dobimo z metodo največje verjetnosti (Aki, 1965) vrednost b enako $-1,26$.

Znano je, da močnejšemu potresu pogosto sledijo številni manjši potresi in da se njihova pogostnost sčasoma manjša in vrne na povprečno aktivnost, kot je bila pred močnim potresom. Časovno pojemanje popotresov lahko opišemo s prilagojenim Omorijevim zakonom (Utsu, 1992). Tako smo v nadaljevanju popotresom z lokalno magnitudo večjo ali enako 0,6, za katere verjamemo, da so vsi zabeleženi, z metodo Utsu in Ogata (1997) opredelili parametre v prilagojeni Omorijevi porazdelitvi:

$$n(t) = \frac{k}{(c+t)^p},$$

kjer je $n(t)$ število popotresov normirano na en dan v času t po glavnem potresu. Pri analizi smo zajeli 228 potresov z magnitudo $M_{LV} \geq 0,6$ v obdobju 120 dni po glavnem potresu. Z modeliranjem smo ocenili koeficient k na $20,93 \pm 2,81$, koeficient c na $0,0459 \pm 0,0374$ in koeficient p na $0,772 \pm 0,045$.

Prileganje modelirane zakonitosti časovnega pojemanja števila popotresov dejanskemu pojemanju števila zabeleženih popotresov je razvidno iz slike 9.

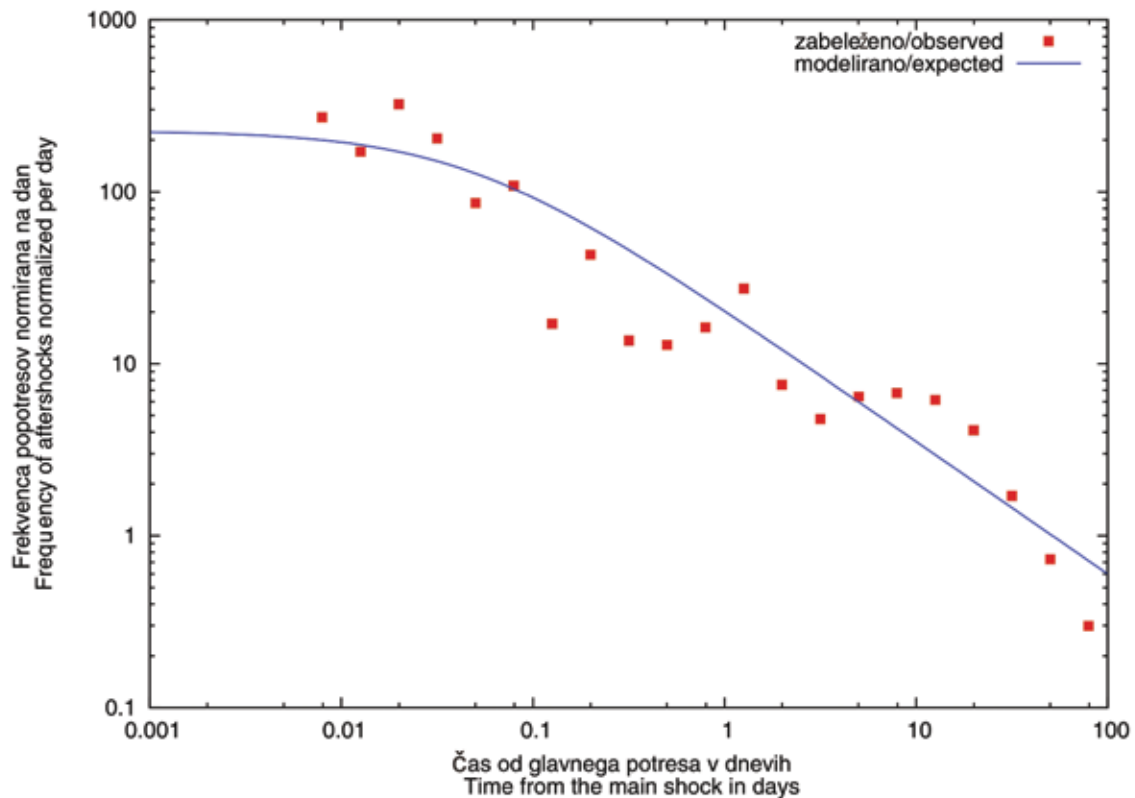


Slika 8: Kumulativno število popotresov po glavnem potresu 15. januarja ob 14:20 UTC, zabeleženih v bližini Postojne do konca leta 2010 (modre pike) in roza premica, ki opisuje Gutenberg-Richterjevo relacijo.

Figure 8: Cumulative number of earthquakes recorded near Postojna after the earthquake on 15 January at 14:20 UTC till the end of 2010 (blue dots); the pink curve describes the Gutenberg-Richter relationship.

Zaključek

V letu 2010 se je najmočnejši potres v Sloveniji zgodil 15. januarja 2010 pri Postojni z magnitudo $M_{LV}=3,7$. Pred tem, že v zadnjih dveh dneh leta 2009 in nato v prvi polovici januarja 2010, se je na istem območju zgodilo večje število šibkejših potresov. Ker so najmočnejše med njimi, z magnitudo 2,1 in 2,2, prebivalci čutili, so delavci Urada za seizmologijo in geologijo v neposredno bližino nadžarišč, v Postojno, postavili prenosno potresno opazovalnico. Ta pravočasni odziv na nekoliko povečano potresno aktivnost je omogočil, da smo glavni potres 15. januarja ob 14:20 UTC zabeležili v neposredni bližini. Na osnovi zapisov te opazovalnice, kot tudi treh, ki smo jih po glavnem potresu postavili v bližini žarišč ter zapisov opazovalnic DMPO RS, smo z metodo HypoDD opredelili relativne položaje 169 žariščem znotraj gruče potresov. Ob upoštevanju relokiranih nadžariščnih oddaljenosti od opazovalnice ter razlik v času prihoda prečnega in vzdolžnega valovanja na bližnje opazovalnice (VGPI, STUP, in POST) smo določili, da so bila žarišča vseh proučevanih potresov na globinah med 14,4 in 16,1 km. Ta razpon globin je nekoliko manjši kot je razpon globin določen z relokacijo in nekoliko večji kot je iz spektrov najbližjih opazovalnic opredeljena velikost pretrga ob glavnem potresu. Iz zapisov opazovalnic na ozemlju Slovenije in sosednjih državah smo z metodo smeri prvega premika od prihodu vzdolžnega valovanja na opazovalnico določili tudi žariščni mehanizem glavnega potresa in najmočnejšega popotresa. Mehanizma sta podobna in v obeh primerih kažeta na zmični prelom, usmerjenost katerega je



Slika 9: Časovno pojevanje števila popotresov po glavnem potresu magnitude večje ali enake 0,6 normirano na en dan (rdeči kvadrati) in pojevanje števila popotresov po Omorijevem zakonu (modra črta).

Figure 9: The temporal decrease of aftershock rates after the main shock for earthquakes with magnitude equal or greater than 0.6 (red squares) and the expected decrease after Omori's law (blue curve).

ali v smeri jug-jugovzhod ali zahod-jugozahod. V obeh primerih je prelomna ploskev skoraj navpična. V prvem primeru bi prelom bil desnozmični, v drugem levozmični. Običajno se prelomno ploskev določi na podlagi prostorske porazdelitve popotresov. Žal so v tem primeru popotresi omejeni na zelo majhno področje, zato ločljivost metode HypoDD ni zadostna za določanje prostorske porazdelitve popotresov.

Slike 2, 4, 5 in 7 so bile narejene s programom GMT (Wessel in Smith, 1991; 1998).

Literatura

- Agencija Republike Slovenije za Okolje, 2010. Baza podatkov za potrese na ozemlju Slovenije leta 2010. Arhiv ARSO, Ljubljana.
- Aki, K., 1965. Maximum likelihood estimate of b in the formula $\log N = a - bM$ and its confidence limits, Bull. Earthq. Res. Inst., Univ. Tokyo, 43, 237-239.
- Aki, K. in Richards, P. G., 2002. Quantitative Seismology. University Sausalito Books, Sausalito CA, 700 str.
- Andrews, D.J., 1986. Objective determination of source parameters and similarity of earthquakes of different size. V: S. Das, J. Boutwright and C.H. Scholz, Eds. Earthquake Source Mechanics, Geophysical Monograph 37, Maurice Ewing Volume 6, 259-268.
- Brune, J.N., 1970. Tectonic stress and the spectra of seismic shear waves from earthquakes. J. Geophys. Res., 75, 4997-5009.
- Gutenberg, B. in C. F. Richter, 1944. Frequency of earthquakes in California. Bull. Seism. Soc. Am. 34, 185-188.

- Jesenko, T., Cecić, I., Živčič, M., Čarman, M., 2011. Potresi v Sloveniji leta 2010. V A. Gosar, ur.: Potresi v letu 2010. Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana.
- Lienert, B. R., 1994. HYPOCENTER 3.2 – A Computer program for locating Earthquakes Locally, Regionally and Globally. Hawaii Institute of the Geophysics and Planetology, Honolulu, 70 str.
- Michellini, A., Živčič, M., Suhadolc, P., 1998. Simultaneous inversion for velocity structure and hypocenters in Slovenia. *Journal of Seismology*, 2(3), 257-265.
- OGS – CRS (Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale - Centro Ricerche Sismologiche), 2010. http://rts.crs.inogs.it/uploads/events/22242/mt/mt_rev.jpg. Uporabljeno 5.8.2011.
- Sinčič, P., Tasič, I., Živčič, M., Prosen, T., 2011. Potresne opazovalnice v Sloveniji v letu 2010. V A. Gosar, ur.: Potresi v letu 2010. Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana.
- Snoke, J.A., Munsey, J.W., Teague, A.G., 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, No. 3, 15 str.
- Utsu, T., 1992. On the nature of three Alaskan aftershock sequences of 1957 and 1958. *Bull. Seis. Soc. Am.* 52(2), 279-297.
- Utsu, T. and Y. Ogata, 1997. Statistical analysis of seismicity. V: Healey, J.h., V.I. Keilis-Borok and W.H.K. Lee, Algorithms for earthquake statistics and prediction. IASPEI software library, Vol. 6, 13-94.
- Waldhauser, F., 2001. HypoDD – A Programme to Compute Double-Difference Hypocenter Locations. U. S. Geol. Surv. Open File Rep. 01-113, 25 str.
- Waldhauser, F., Ellsworth, W. L., 2000. A double-difference earthquake location algorithm: Method and application to the northern Hayward fault. *Bull. Seism. Soc. Am.* 90, 1353-1368.
- Wessel, P., Smith, W.H.F., 1991. Free software helps map and display data. *EOS, Trans. AGU.*, Vol. 72 (441), 445-446 str.
- Wessel, P., Smith, W.H.F., 1998. New, improved version of the Generic Mapping Tools released. *EOS, Trans. AGU*, Vol. 79, 579 str.

Martina Čarman, Milka Ložar Stopar, Ina Cević, Mladen Živčić

NIZ ŠIBKIH POTRESOV PRI NAKLEM LETA 2010 EARTHQUAKES IN THE NAKLO REGION IN 2010

Povzetek

V preteklosti smo v okolici Nakla zabeležili le kakšen potres letno, februarja 2010 pa se je na tem območju v štirinajstih dneh zgodilo skoraj 200 šibkih do zmernih potresov. Ti so precej vznemirili prebivalce, saj je bila medijska pozornost v tem času še vedno usmerjena k posledicam potresa 12. januarja 2010 na Haitiju, ki je zahteval ogromno živiljenj. Potresna aktivnost in s tem tudi vznemirjenje prebivalcev sta se po 23. februarju umirila.

Potresi niso bili močni, a so kljub temu zanimivi, saj smo iz zapisov potresne opazovalnice za močne potrese v Strahinju, oddaljene od nadžarišč potresov približno 2 kilometra, lahko prvič zanesljivo določili žariščne globine potresov v tem območju, in sicer med 5,1 in 5,4 kilometrov. Tako določene žariščne globine smo primerjali z globinami, ki jih seizmologi dobimo pri vsakodnevnih obdelavi vsakega potresa posebej s programom Hypocenter 3.2, kot tudi z rezultati ponovnega hkratnega relociranja potresov z relativno metodo časovnih prebitkov oz. zaostankov. Ugotovili smo, da so žariščne globine in njihov razpon določen iz zapisov opazovalnice v Strahinju bistveno manjši od rezultatov določenih z rutinsko obdelavo in manjši tudi od rezultatov določenih z relocacijo potresnih žarišč. To potrjuje pomembnost potresne opazovalnice nameščene neposredno v nadžariščnem območju.

Žariščni mehanizem najmočnejšega potresa, določen iz smeri prvih premikov ob prihodu vzdolžnega valovanja na potresno opazovalnico, podaja narivni značaj potresa bodisi proti jugovzhodu s prelomno ploskvijo smeri približno vzhod-zahod bodisi proti jugozahodu s prelomno ploskvijo smeri severozahod-jugovzhod. Na podlagi prostorske razporeditve relociranih potresov ni mogoče sklepati, katera od obeh ploskev je prelomna.

Uvod

V preteklosti v okolici Nakla nismo zabeležili večjih potresov. Tudi v zadnjih letih, ko seizmičnost spremljamo s sodobnimi napravami Državne mreže potresnih opazovalnic RS (DMPO RS), beležimo letno v povprečju le kakšen potres. Konec januarja in februarja 2010 pa so se tla na tem področju večkrat zatresla. Potresi so bili šibki, z magnitudami do 1,3. 15. februarja 2010 so se tla dvakrat močneje zatresla. Prvič zjutraj ob 7. uri in 16 minut z magnitudo 2,1 ter drugič zvečer ob 19. uri in 25 minut z magnitudo 2,6 (Jesenko in drugi, 2011). Potresoma je v naslednjih urah sledilo veliko število šibkih potresov, zato smo naslednji dan v zasebni hiši v Strahinju, od nadžarišč potresov oddaljenem le 1 do 2 km, začasno postavili prenosno opazovalnico za močne potrese (Sinčič in drugi, 2011) in ji dodelili oznako STRP. Ta je prvi potres zabeležila 16. februarja ob 20. uri in

Abstract

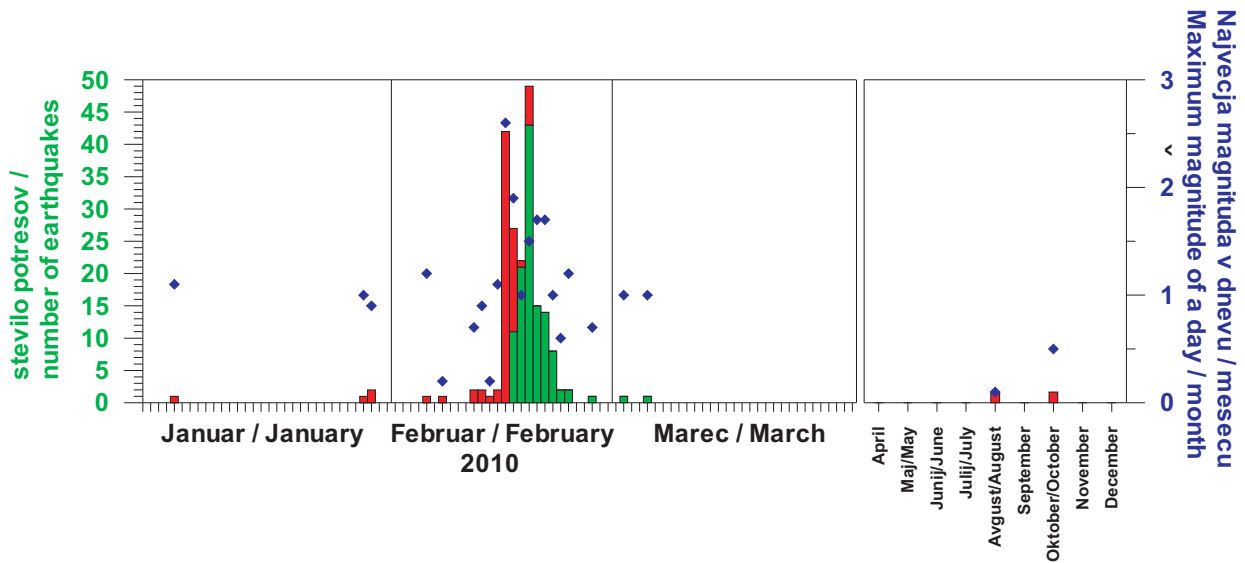
In the past, just a few earthquakes have been recorded annually in the vicinity of Naklo, but in February 2010 almost 200 weak to moderate earthquakes were located in this area. The inhabitants were quite disturbed as the media attention at this time was still focused on the consequences of the Haiti earthquake on 12 January 2010, which caused a lot of victims. Both seismic activity and the excitement of people in Naklo area have settled down after 23 February.

The earthquakes were not strong, but they're nevertheless interesting, because records of temporary seismic station in Strahinj (approx. 2 km away from the epicentres) allowed us to reliably determine focal depths of earthquakes for the first time in that area. The depths were between 5.1 and 5.4 kilometers. Subsequently, the comparison with focal depths obtained by the seismologists in the routine daily processing of each earthquake separately, using the program Hypocenter 3.2, as well as with the results of the simultaneous relocation of earthquakes using HypoDD algorithm was performed. It turned out that the focal depths, as well as depth range determined from the records of the temporary station in Strahinj, are considerably lower than the results provided by routine analysis and lower also than the results of the relocation process. This confirms the importance of having a seismic station located in the epicentral area.

The fault plane solution of the strongest earthquake is of the reverse type with the plane striking either towards the southeast along E-W direction or towards southwest along NW-SE direction.

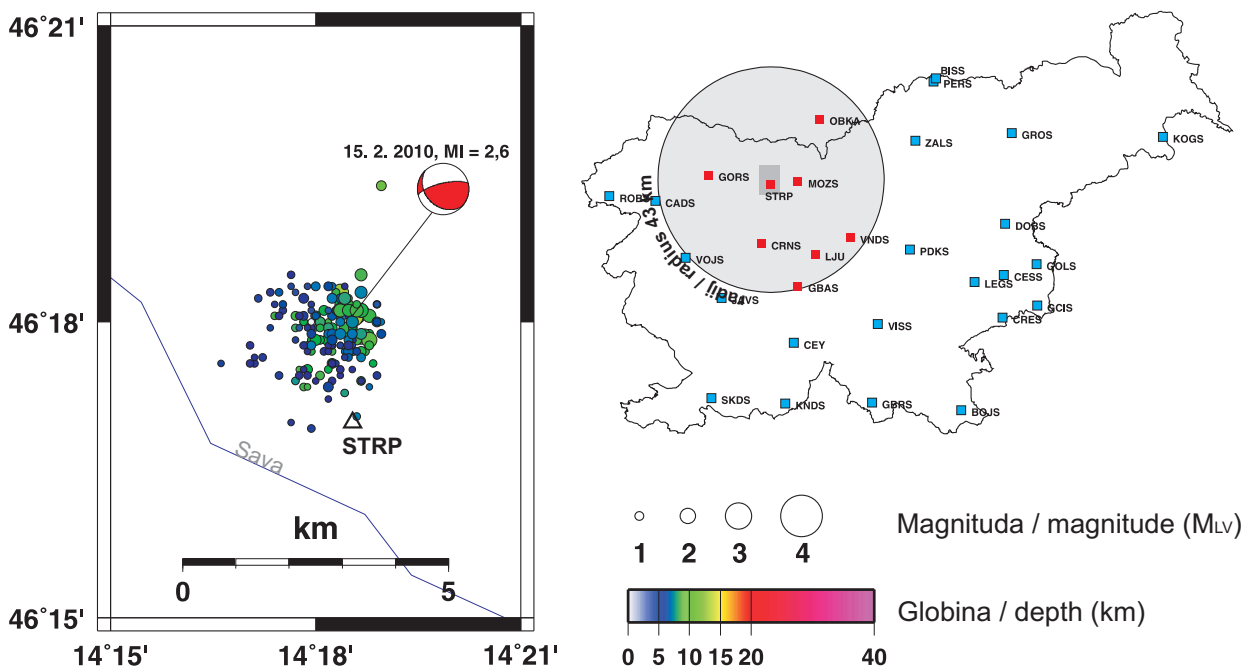
However, the spatial distribution of relocated earthquakes does not reveal which plane is the fault one.

33 minut. Opazovalnica je delovala 51 dni, do 7. aprila 2010, in zabeležila 120 potresov od skupno 199 potresov te gruče. Potresna aktivnost se je po 23. februarju povsem umirila (slika 1).



Slika 1: Leva os: Časovna porazdelitev 199 lociranih potresov. Z zeleno barvo so označeni potresi, zabeleženi na opazovalnici STRP, z rdečo pa ostali. Desna os: Največja lokalna magnituda v dnevu oz. mesecu (modre pike).

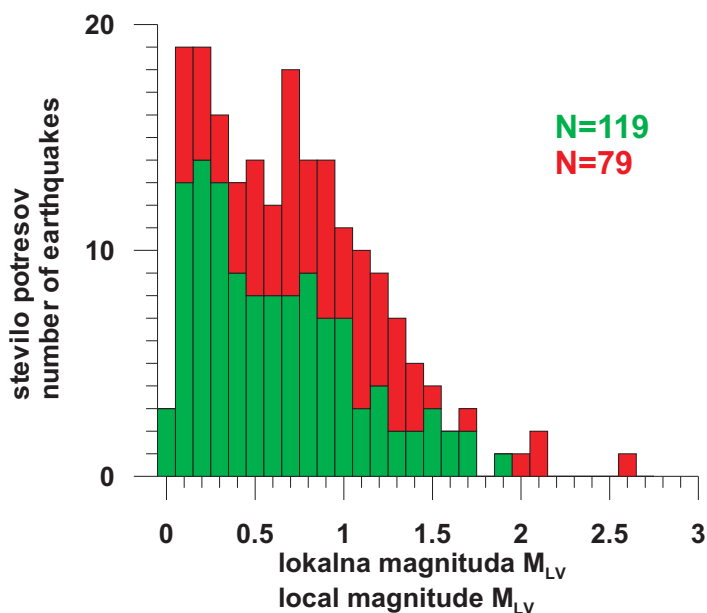
Figure 1: Left axis: Time distribution of located earthquakes. The earthquakes recorded on station STRP are marked green, others are red. Right axis: Maximum magnitude of a day/month (blue dots).



Slika 2: Levo: Karta rutinsko določenih nadžarišč potresov v bližini Nakla leta 2010 (ARSO, 2010). Desno zgoraj: Potresne opazovalnice državne mreže v RS in avstrijska opazovalnica OBKA. Obravnavano območje, prikazano na levi, je označeno s pravokotnikom temno sive barve, svetlo siv krog zajema opazovalnice, katerih podatke smo uporabili pri relokaciji potresov.

Figure 2: Left: Earthquake epicentres recorded in 2010 in Naklo region (ARSO, 2010). Top right: Seismic network in Slovenia together with Austrian station OBKA. The discussed area on the left is inside the coloured dark gray rectangular. The station inside the light gray circle were used in the relocation of earthquakes.

Potresom smo sprti določali osnovne parametre. Pri rutinski obdelavi potresov na Uradu za seizmologijo in geologijo uporabljamo program Hypocenter 3.2 (Lienert, 1994). Ta program na podlagi odčitanih časov vstopa vzdolžnih oz. longitudinalnih (P) in prečnih oz. transverzalnih (S) potresnih valov, podatkov o hitrostih valovanja na različnih globinah (enodimenzionalni hitrostni model) in podatkov o lokacijah opazovalnic numerično reši kinematične enačbe in tako določi čas in kraj nastanka posameznega potresa ter njegovo magnitudo. Točnost, ki jo praviloma dosežemo, je nekaj kilometrov za lego žarišča, nekaj desetink sekunde za čas nastanka potresa in nekaj desetink za magnitudo.



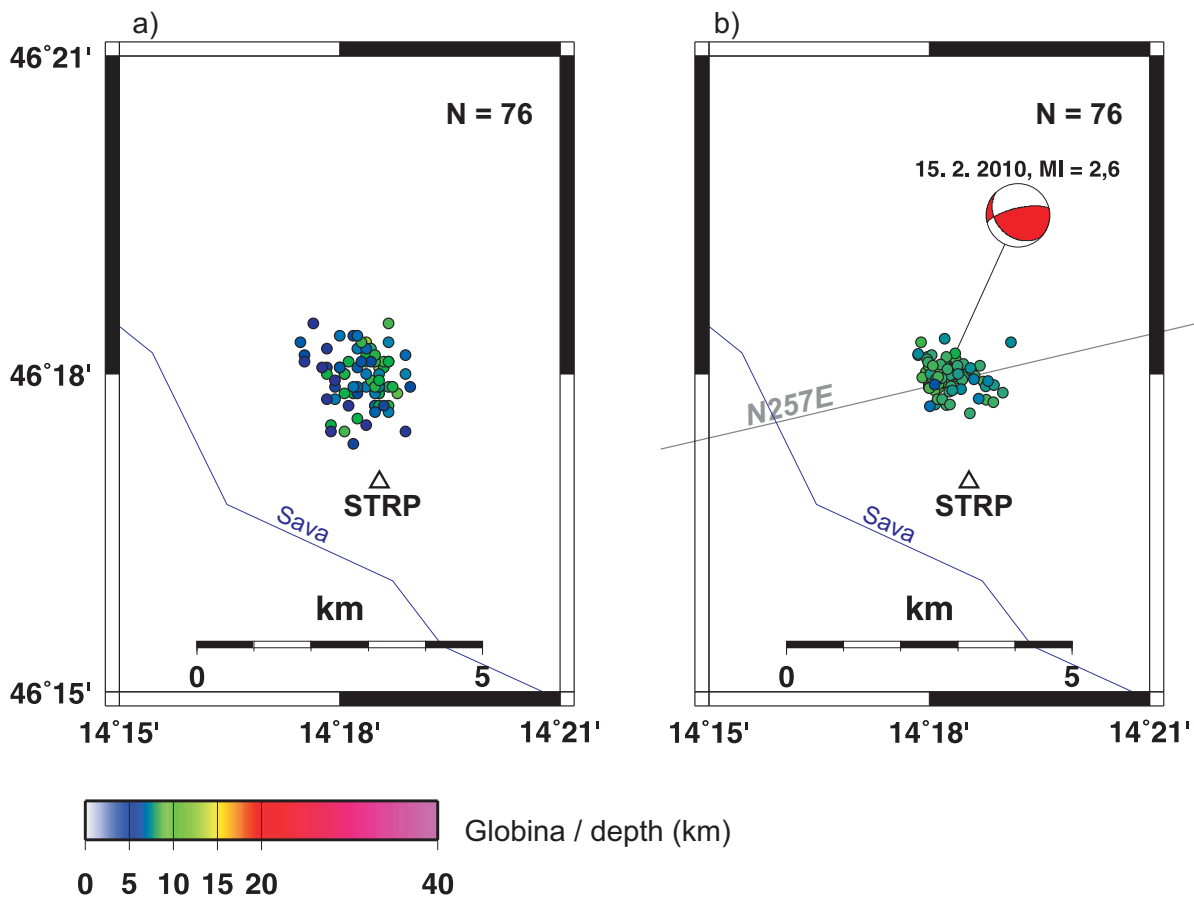
Slika 3: Porazdelitev potresov v bližini Nakla leta 2010 glede na lokalno magnitudo. Z zeleno barvo so označeni potresi, zabeleženi na opazovalnici STRP, ostali potresi pa so označeni z rdečo barvo.

Figure 3: Distribution of local magnitude for earthquakes near Naklo in 2010. The earthquakes recorded on station STRP are marked green, others are red.

Dosežena točnost osnovnih potresnih parametrov in čas, ki ga potrebujemo za njihov izračun, zadostujeta za potrebe obveščanja in ukrepanja po potresu in za statistično obdelavo potresne dejavnosti. Vendar pa postopek ne zadošča za prepoznavanje aktivnih prelomnih struktur, saj z uporabo poenostavljenega hitrostnega modela Zemljine skorje, nezanesljivosti pri odčitavanju vstopnih časov P in S valov ter, pri šibkejših potresih, majhnega števila potresnih opazovalnic, ki so potres zabeležile, dobimo preveč razpršeno sliko potresne dejavnosti.

Relokacija potresov

Z relativno metodo časovnih prehitkov oz. zaostankov pri določanju žarišč (Double-Difference Hypocenter determination - HypoDD; Waldhauser in Ellsworth, 2000; Waldhauser, 2001) smo poskusili lokacije potresov pri Naklem, izračunane z rutinskim postopkom, izboljšati. Metoda je uporabna za gručo potresov na prostorsko omejenem območju, ki je majhno v primerjavi z oddaljenostjo opazovalnic od potresov in na katerem so spremembe hitrosti majhne v primerjavi s spremembami hitrosti na poti potresnih valov. Osnovna ideja te metode je, da potresni valovi potresov, ki so nastali na relativno majhnem območju, potujejo do izbrane oddaljene opazovalnice po poteh zelo blizu skupaj, razen v neposredni bližini žarišč, in tako prepotujejo iste geološke strukture. Tako na večjem delu poti, razen v neposredni bližini žarišč, rutinski izračun z uporabo poenostavljenega modela Zemljine notranjosti k času potovanja potresnih valov prinese isto absolutno napako. Zaradi tega lahko časovno razliko (prehitek ali zaostanek) v času potovanja P oz. S potresnih valov dveh bližnjih potresov na izbrano opazovalnico z veliko gotovostjo pripišemo krajevnemu razmiku žarišč. Z zaporednim spreminjanjem lege žarišč minimiziramo vse prehitke oz. zaostanke med pari bližnjih potresov na vsaki opazovalnici posebej. S takšnim sočasnim relociranjem gruča potresov posredno upoštevamo hitrostne razlike v Zemljini notranjosti in posledično točneje določimo koordinate žarišč.



Slika 4: 76 potresov (a) po lociranju vsakega posameznega dogodka s programom Hypocenter (Lienert, 1994), in (b) po sočasnem relociranju dogodkov z uporabo relativne metode časovnih prehitkov oz. zaostankov pri določanju žarišč (Double-Difference Hypocenter determination – HypoDD; Waldhauser in Ellsworth, 2000; Waldhauser, 2001) za niz potresov blizu Nakla, ki so se zgodili leta 2010. Na sliki (b) sta prikazana tudi žariščni mehanizem najmočnejšega potresa in smer globinskega prereza na sliki 5. Barva ponazarja žariščno globino.

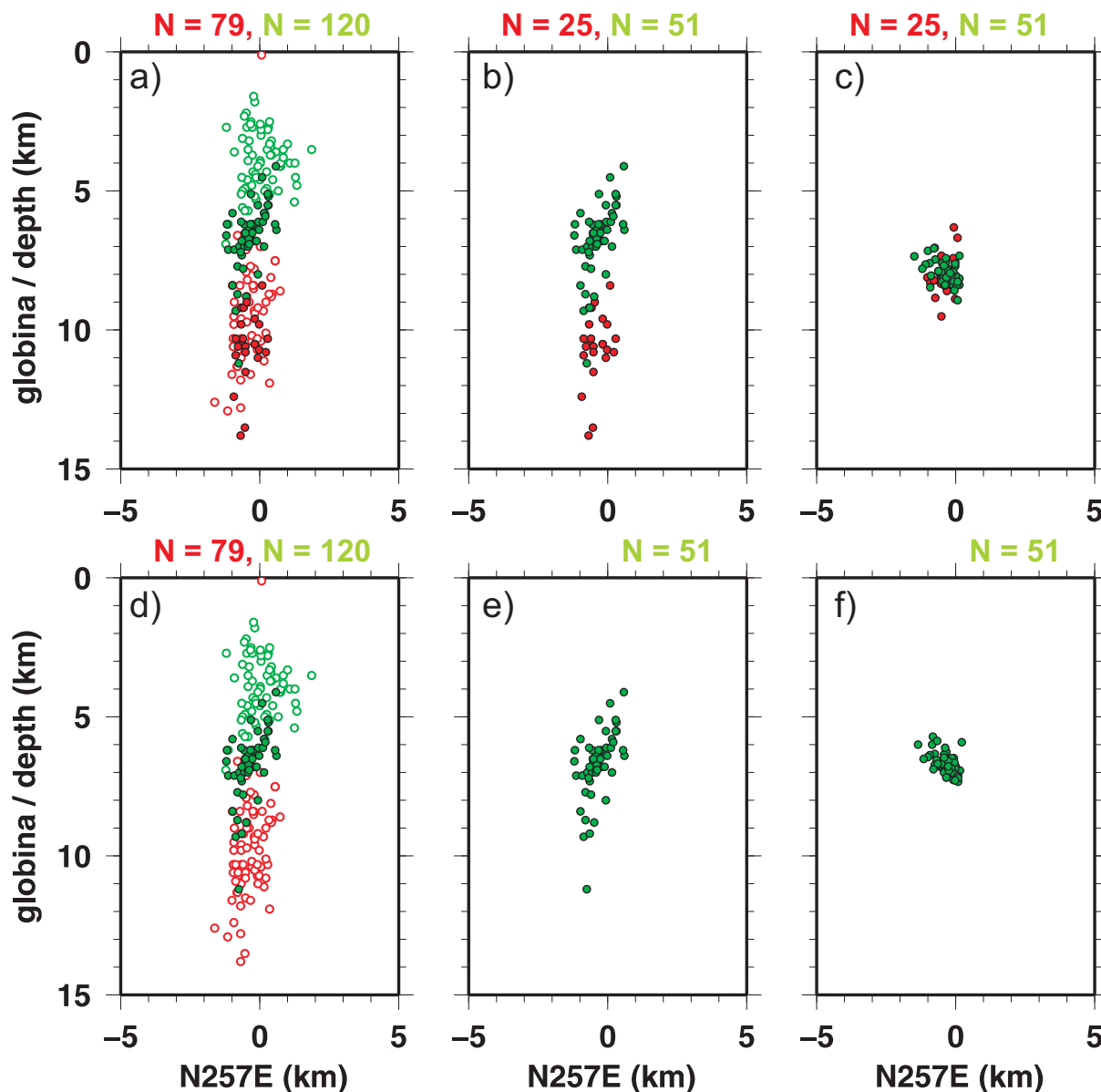
Figure 4: Distribution of 76 (a) routinely located earthquakes (circles) using Hypocenter (Lienert, 1994), and (b) relocated earthquakes using Double-Difference Hypocenter determination algorithm (Waldhauser in Ellsworth, 2000; Waldhauser, 2001) for earthquakes near Naklo in 2010. Panel (b) shows also focal mechanism of the strongest earthquake. The direction of the cross sections on Figure 5 is marked. The colour of the symbols corresponds to the focal depth.

Pri relocaciji smo upoštevali le odčitane vstopne čase na opazovalnicah, oddaljenih od središča skupine potresov največ 43 km. Tako je bilo pri relocaciji uporabljenih osem bližnjih opazovalnic (rdeči kvadrati na sliki 2). Za vsako opazovalnico posebej smo pred relocacijo izrisali porazdelitev razlike vstopnih časov med prihodom prečnega in vzdolžnega potresnega valovanja (za opazovalnico STRP na sliki 6). V primeru, da je razlika vstopnih časov močno odstopala od povprečja, odčitane vstopa prečnega valovanja nismo upoštevali. Prav tako nismo upoštevali odčitkov vstopa prečnih valov, če vstopa vzdolžnih valov nismo imeli. V nadaljevanju smo parom bližnjih potresov poiskali vsaj 10 časovnih prehitkov oz. zaostankov ustreznih vstopnih časov. Prehitke oz. zaostanke vstopnih časov smo s programom HypoDD minimizirali in tako dobili izboljšane medsebojne lege 76 potresov (slika 4), 51 med njimi je bilo zabeleženih na opazovalnici STRP.

Globinske prereze smo na podlagi žariščnega mehanizma izrisali na navpično ravnino, ki je od severa zasukana 257° v smeri urnega kazalca (daljica N257E na sliki 4). Slika 5a prikazuje lege vseh potresov, ki smo jih zabeležili na tem območju v letu 2010. S polnimi krogi so označeni potresi, ki smo jih kasneje relocirali. Zeleno obarvani potresi so bili zabeleženi na opazovalnici STRP, medtem ko rdeče obarvani niso bili. Na sliki 5b so ponovno izrisane lege potresov, ki so

sodelovali pri relokaciji, na sliki 5c pa isti potresi po relokaciji. Po analogiji so predstavljeni tudi potresi na spodnjih treh slikah (5d, 5e, 5f), le da smo tu samostojno relocirali samo 51 potresov, ki jih je zabeležila opazovalnica STRP.

Potresi so se po relokaciji prostorsko strnili. Iz lege potresnih žarišč lahko ocenimo, da so se ti zgodili na območju velikem 1,5 km x 2,0 km ter v razponu 2 km globine.

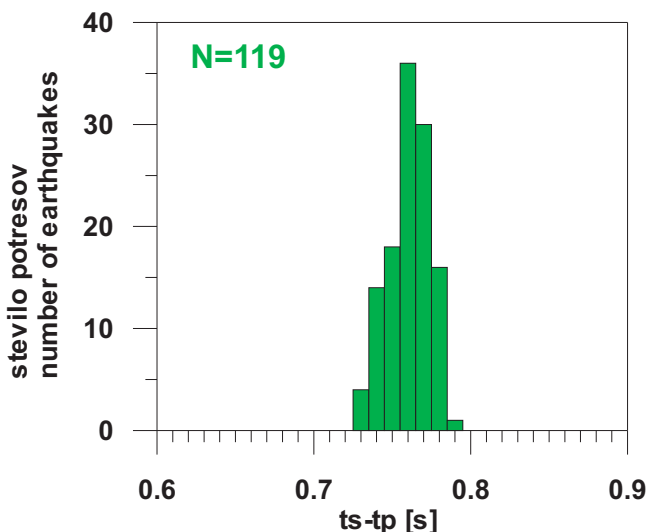


Slika 5: Globinski prerezi vzdolž daljice N257E, označene na sliki 4. Z zeleno barvo so označeni potresi zabeleženi na STRP, ostali pa z rdečo barvo. Prazen krogec označuje potres, ki ni uporabljen pri relokaciji, medtem ko so potresi, označeni s polnim krogcem, uporabljeni. Slika (a) prikazuje 199 potresov, ki so jih zabeležili in rutinsko locirali v letu 2010 v bližini Nakla. Na sliki (b) so ponovno izrisane rutinsko določene lege 76 potresov, ki so sodelovali pri relokaciji, medtem ko so na sliki (c) izrisane lege istih 76 potresov po relokaciji. Slike (d), (e) in (f) so izrisane po analogiji, le da smo tu samostojno locirali le 51 potresov, ki so bili zabeleženi na opazovalnici STRP.

Figure 5: Cross sections along the segment N257E marked on Figure 4. The earthquakes recorded on station STRP are marked green, others are red. Relocated earthquakes are marked with full circle, otherwise the circle is empty. Figure (a) shows 199 earthquakes recorded and routinely located in 2010 near Naklo. Figure (b) shows the set of 76 routinely located earthquakes used in relocation, but before the relocation process and Figure (c) after the relocation process. Figures (d), (e), and (f) follow the same analogy, but only 51 earthquakes recorded on STRP are relocated.

Določanje žariščne globine

Za zanesljivo določanje žariščne globine iz vstopnih časov prihoda potresnega valovanja na potresne opazovalnice je odločilnega pomena oddaljenost najbližje opazovalnice od nadžarišča potresa. Prečno in vzdolžno valovanje istočasno zapustita žarišče potresa, a prečno valovanje potuje počasneje kot vzdolžno, zato pridejo valovi do opazovalnice v določenem časovnem razmiku. Časovna razlika v prihodu je sorazmerna z oddaljenostjo žarišča od opazovalnice. Najboljši rezultat v določanju žariščne globine dosežemo, če se opazovalnica nahaja v samem nadžarišču. Zapisi opazovalnice v Strahinju (STRP), oddaljene le okoli 2 km od nadžarišč potresov, so izjemno dragoceni, saj z njimi lahko točneje ocenimo globine žarišč potresov. Časovne razlike v prihodu valovanj so za opazovalnico STRP v zelo majhnem razponu, za večino med 0,74 in 0,78 s (slika 6). Hitrosti potresnega valovanja smo ocenili iz tomografskega modela ozemlja Slovenije (Michelini in drugi, 1998) in z njimi preračunali časovno razliko v oddaljenost. Ob upoštevanju, da je opazovalnica STRP okoli 2 km oddaljena od nadžarišča, dobimo žariščne globine v razponu med 5,1 in 5,4 km. Pri rutinski analizi in rutinski izdelavi seizmoloških biltenov uporabljamo enodimenzionalen povprečen hitrostni model za Slovenijo in vse razpoložljive zapise. Tako opredeljene žariščne globine potresov, zabeleženih na STRP, so v bistveno večjem razponu (slika 7a), čeprav je povprečna vrednost primerljiva. Če pri rutinski obdelavi ne uporabimo začasne opazovalnice STRP, so vsa opredeljena žarišča bistveno globlja (slika 7b) in se gibljejo med 5 in 15 km. Primerjava ponazarja pomembnost bližnjih opazovalnic pri natančnem določanju osnovnih potresnih parametrov



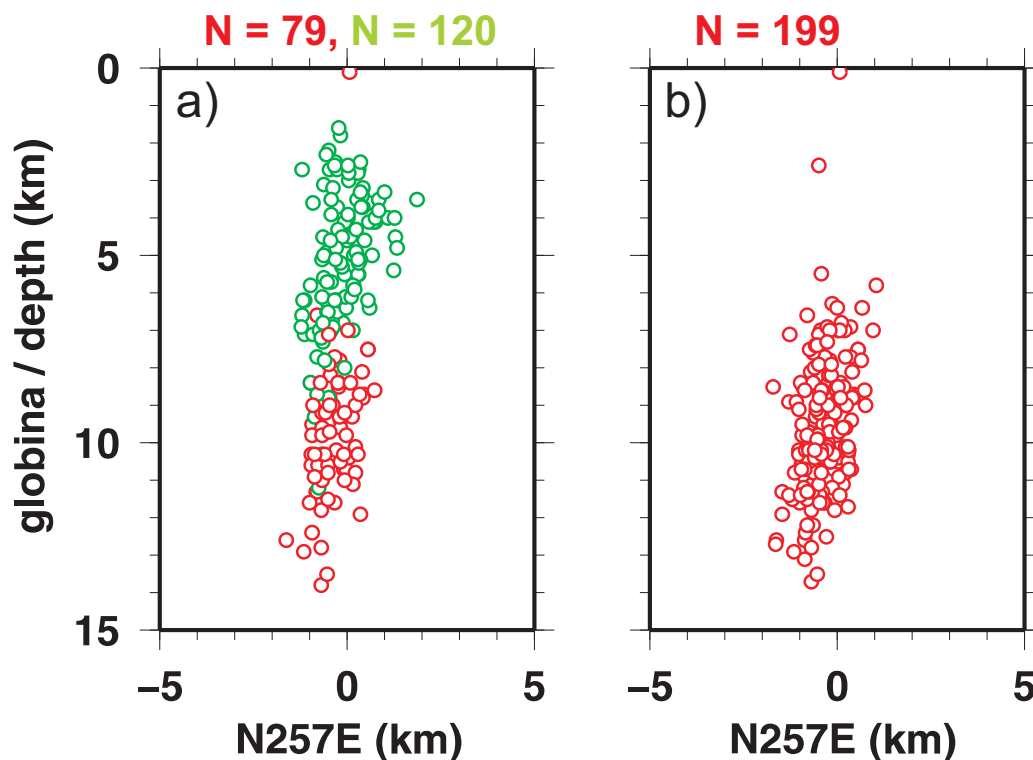
Slika 6: Porazdelitev časovnih razlik (t_s-t_p) med prihodoma vzdolžnega (P) in prečnega (S) valovanja za 119 potresov odčitanih na opazovalnici STRP.

Figure 6: Distribution of time differences (t_s-t_p) between the arrivals of transversal (S) and longitudinal (P) seismic waves for 119 earthquakes read on seismic station STRP, in seconds.

Metoda HypoDD je relativna metoda, kar pomeni, da lahko z njo določimo točnejšo lego med žarišči potresov znotraj obravnavane gruče, ne pa točne umeščenosti gruče v prostor. Žarišča, katerih globine so po rutinski obdelavi potresov nihale med 2 in 14 km, se po hkratnem relociranju dogodkov nahajajo na globinah med 7,0 in 9,0 km (slika 5c), medtem ko se pri relocaciji samo tistih dogodkov, ki so zabeleženi na STRP, globine nahajajo med 5,5 in 7,5 km (slika 5f). Žarišča relociranih potresov, zabeleženih na opazovalnici STRP, so še vedno približno 1,2 km globlje kot smo jih ocenili s pomočjo vstopnih časov prihoda potresnega valovanja na opazovalnico STRP, zato je potrebno vse z relocacijskim postopkom izračunane globine zmanjšati za to vrednost.

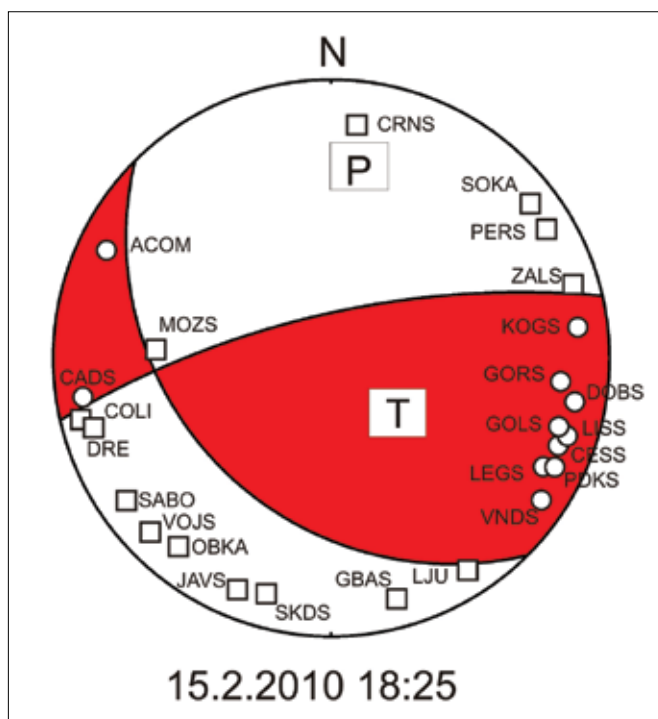
Žariščni mehanizem

V obravnavanem obdobju je najmočnejši potres v bližini Nakla imel lokalno magnitudo le $M_{LV}=2,6$. Ker pa je lega žarišča glede na razporeditev opazovalnic, ki so zabeležile ta potres, zelo ugodna, smo tudi tako šibkemu potresu lahko določili žariščni mehanizem. Iz odčitanih smeri prvih premikov ob vstopu vzdolžnega valovanja na potresno opazovalnico smo s programom



Slika 7: 199 potresov po lociranju vsakega posameznega dogodka s programom Hypocenter (Lienert, 1994). 120 med njimi je bilo zabeleženih na opazovalnici STRP, ostalih 79 pa ne. Navpični prerez vzdolž daljice N257E na sliki 4 (a) prikazuje lege dogodkov, kjer smo pri lociranju upoštevali vstopne čase, odčitane na opazovalnici STRP, medtem ko jih v primeru (b) nismo upoštevali.

Figure 7: 199 earthquakes located with Hypocenter computer code (Lienert, 1994). 120 among them were recorded on station STRP. Vertical cross section (a) along segment N257E (marked on Figure 4) shows the earthquakes, for which the arrivals on station STRP were considered, whereas on panel (b) the arrivals on station STRP were not taken into the account.



Slika 8: Žariščni mehanizem potresa 15. 2. 2010 ob 18:25 UTC.

Figure 8: Focal mechanism for the event on 15 February 2010 at 18:25 UTC.

Focmec (Snoke in drugi, 1984) določili lego dveh možnih prelomnih ploskev. Na voljo smo imeli odčitke petindvajsetih opazovalnic, na ostalih pa so bili vstopi šibkejši in niso omogočili nedvoumne opredelitve smeri prvega vstopa na zadostnem številu opazovalnic. Parametri žariščnega mehanizma za potres 15. februarja 2010 ob 18. uri in 25 minut UTC so v preglednici 1.

Žariščni mehanizem najmočnejšega potresa, določen iz smeri prvih premikov ob prihodu vzdolžnega valovanja na potresno opazovalnico, je prikazan na sliki 8 in kaže na narivanje bodisi proti jugovzhodu s smerjo preloma približno vzhod–zahod bodisi proti jugozahodu s prelomom usmerjenim severozahod–jugovzhod. Iz prostorske razporeditve žarišč ni možno sklepati, katera od obeh možnih ploskev je prelomna.

Preglednica 1. Potres 15. 2. 2010 ob 18:25 UTC in parametri žariščnega mehanizma. Smer je merjena od severa proti vzhodu, tako da je prelomna ploskev nagnjena v desno, naklon je merjen od vodoravne ravnine, premik je merjen v prelomni ploskvi od smeri preloma (Aki in Richards, 2002). P je os največje in T os najmanjše napetosti. N je število uporabljenih podatkov o smeri prvih premikov.

Table 1. Focal mechanism for 15 February 2010, 18.25 UTC earthquake. Strike is the azimuth of the horizontal direction taken so that the plane dips to the right, measured from the North through East (Aki's convention), dip of the fault is measured from the horizontal and rake is the angle of slip, measured in the plane of the fault from the strike direction to the slip vector. P is maximum and T minimum pressure axis. N is number of P-wave first motion polarities used.

datum	čas (UTC)	širina	dolžina	globina	MLV	ravnina 1			ravnina 2			P		T		N
dd.mm.llll	hh:mm	°N	°E	km		smer	naklon	premik	smer	naklon	premik	smer	naklon	smer	naklon	
date	time (UTC)	lat.	lon.	depth	MLV	nodal plane 1			nodal plane 2			P		T		N
dd.mm.yyyy	hh:mm	°N	°E	km		strike	dip	rake	strike	dip	rake	strike	dip	strike	dip	
15.2.2010	18:25	46,30	14,31	5	2,6	257	72	64	135	31	143	7	23	134	55	25

Makroseizmični podatki

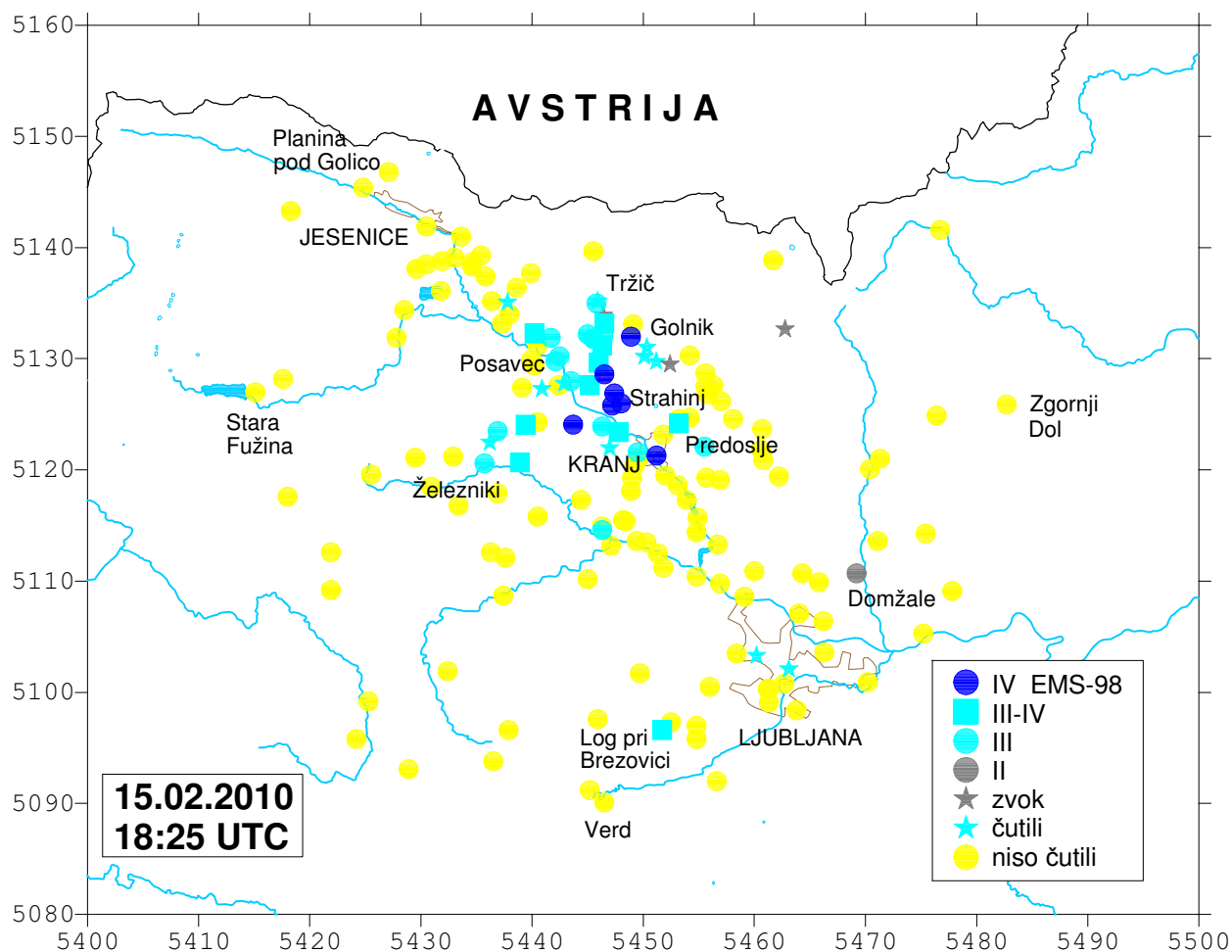
Prebivalci so med 14. in 19. februarjem 2010 čutili najmanj 15 potresov. Prvič 14. februarja ob 23. uri in 26 minut UTC oziroma po lokalnem času 15. februarja 26 minut po polnoči so nas na tresenje tal opozorili posamezniki iz vasi Strahinj. 15. februarja so v širšem območju Nakla prebivalci čutili še najmanj devet zmernih potresov. Tresenje se je nadaljevalo v naslednjih dneh, toda vse redkeje in manj intenzivno. Zadnji dogodek, za katerega vemo, da so ga prebivalci čutili, je bil 2. marca ob 8. uri in 33 minut UTC.

54 prebivalcev nam je po elektronski pošti poslalo izpolnjene spletne vprašalnike o učinkih potresov 15. februarja, za celoten niz dogodkov pri Naklem pa smo dobili 61 izpolnjenih spletnih vprašalnikov. Na naslove stalnih opazovalcev smo skupno poslali 437 vprašalnikov, vrnjenih smo prejeli 318 (73%).

Potresi pri Naklem so bili glede največje dosežene intenzitete zmerni oziroma šibki. Najmočnejši so dosegli učinke IV. stopnje po EMS-98 lestvici (Cecić, 2011; Grünthal, 1998). Potrese so prebivalci čutili večinoma v neposredni okolici nadžarišča, le najmočnejšega, 15. februarja ob 18:25 UTC, so čutili do 25 kilometrov oddaljene Ljubljane.

Kljub temu se je med prebivalci pojavil strah pred možnim močnim potresom, saj je bila istočasno medijska pozornost usmerjena v posledice potresa na Haitiju, ki se je zgodil 12. januarja in je zahteval zelo veliko človeških življenj. Več tednov so bili potresi in njegove posledice medijsko izpostavljeni, zato je ljudi začelo skrbeti, da se kaj podobnega ne zgodi tudi v njihovi bližini. Ko se je 27. februarja zgodil še potres v Čilu, je ta še dodatno vznemiril že tako zaskrbljene ljudi.

Na prošnjo našega dolgoletnega prostovoljnega opazovalca g. Markiča je Urad za seizmologijo in geologijo 4. marca v Dupljah pripravil predavanje o potresih, ki ga je predstavila Ina Cecić.



Slika 9: Intenzitete potresa 15. 2. 2010 ob 18:25 UTC v posameznih naseljih. Uporabljena je Gauss-Krügerjeva mreža oz. kilometrsko merilo, ki olajša ocenjevanje medsebojne oddaljenosti prikazanih krajev.

Figure 9: Intensities for the event on 15 February 2010 at 18:25 UTC. The Gauss-Krüger coordinate system is used, which facilitates evaluation of the distance between the places shown in the maps. zvok = sound, čutili = felt, niso čutili = not felt.

Občani so imeli priložnost izvedeti, kako potresi nastanejo, kako jih merimo, kakšna je bila potresna zgodovina območja, na katerem živijo, kot tudi, kako je treba v primeru potresa pravilno ukrepati. Potresi v tem delu Slovenije niso pogosti, le nekateri občani so se spomnili tistega pod Storžičem, ki je 16. julija 1977 tudi v njihovih krajih naredil nekaj manjše gmotne škode. V marčevski številki revije Glas občine Naklo je bil objavljen članek »Ni vzrokov za strah« (Kunšič, 2010), ki je poročal o predavanju in povzel glavne teme, ki so bile predstavljene. Oboje je pomirilo ljudi, ki jih je pogosto tresenje zbegalo, še bolj pa je k pomiritvi prispevalo prenehanje potresne aktivnosti na tem območju.

Zaključek

Februarja 2010 so se v bližini Nakla zvrstili številni šibki potresi. Skoraj dvesto smo jih uspeli locirati z zapisi opazovalnic DMPO RS in zapisi prenosne opazovalnice za beleženje močnih potresov, ki smo jo postavili takoj po najmočnejšem potresu v nizu v Strahinju, oddaljenem približno 2 km od nadžarišč potresov. Najmočnejši potres je imel magnitudo 2,6 in se je zgodil 15. februarja 2010 ob 18. uri in 25 minut UTC. Bližnja okolica Nakla v preteklosti ni doživela večjih potresov, zato so številni potresi prebivalce prestrašili, kar je nenavadno za potrese, katerih učinki niso presegli četrte stopnje EMS-98.

Potresni niz pri Naklem je zanimiv, ker smo imeli v neposredni bližini žarišč postavljeno potresno opazovalnico v Strahinju in smo tako lahko prvič zanesljivo določili globine žarišč v tem področju. Iz zapisov te začasne opazovalnice smo ocenili, da je razpon žariščnih globin med 5,1 in 5,4 kilometrov, kar je bistveno manj od globin določenih z rutinsko obdelavo in od razpona globin določenega z relokacijo potresnih žarišč. S tem je potrjena pomembnost in vrednost potresne opazovalnice nameščene neposredno v nadžariščnem območju.

Žariščni mehanizem najmočnejšega potresa, določen iz smeri prvih premikov ob prihodu vzdolžnega valovanja na potresno opazovalnico, kaže na narivanje bodisi proti jugovzhodu s smerjo preloma približno vzhod-zahod bodisi proti jugozahodu s smerjo preloma severozahod-jugovzhod. Ker so potresna žarišča relociranih potresov strnjena na zelo majhnem področju, ločljivost metode HypoDD ne zadošča, da bi iz prostorske porazdelitve potresov sklepali, katera od obeh ploskev je prelomna.

Slike 2, 4, 5, 7 in 8 so bile narejene s programom GMT (Wessel in Smith, 1991; 1998).

Literatura

- Agencija Republike Slovenije za Okolje (ARSO), 2010. Baza podatkov za potrese na ozemlju Slovenije leta 2010. Arhiv ARSO, Ljubljana.
- Aki, K. in Richards, P. G., 2002. Quantitative Seismology. University Sausalito Books, Sausalito CA, 700 str.
- Cecić, I., 2011. Evropska potresna lestvica 1998 (EMS-98). V A. Gosar, ur.: Potresi v letu 2010. Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana.
- Grünthal, G., urednik. (1998). European Macroseismic Scale 1998. Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Seismologie, 15, Conseil de l'Europe, Luxembourg.
- Jesenko, T., Cecić, I., Živčič, M., Čarman, M., 2011. Potresi v Sloveniji leta 2010. V A. Gosar, ur.: Potresi v letu 2010. Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana.
- Kunšič, M., 2010. Ni vzrokov za strah. Glas občine Naklo, št. 61-16.
- Lienert, B. R., 1994. HYPOCENTER 3.2 - A Computer program for locating Earthquakes Locally, Regionally and Globally. Hawaii Institute of the Geophysics and Planetology, Honolulu, 70 pp.
- Michellini, A., Živčič, M., Suhadolc, P., 1998. Simultaneous inversion for velocity structure and hypocenters in Slovenia. Journal of Seismology, 2(3), 257-265.
- Sinčič, P., Tasič, I., Živčič, M., Prosen, T., 2011. Potresne opazovalnice v Sloveniji v letu 2010. V A. Gosar, ur.: Potresi v letu 2010. Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana.
- Snoke, J.A., Munsey, J.W., Teague, A.G., 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, No. 3, 15 str.
- Waldhauser, F., 2001. HypoDD - A Programme to Compute Double-Difference Hypocenter Locations. U. S. Geol. Surv. Open File Rep. 01-113, 25 str.
- Waldhauser, F., Ellsworth, W. L., 2000. A double-difference earthquake location algorithm: Method and application to the northern Hayward fault. Bull. Seism. Soc. Am. 90, 1353-1368.
- Wessel, P., Smith, W.H.F., 1991. Free software helps map and display data. EOS, Trans. AGU., Vol. 72 (441), 445-446 str.
- Wessel, P., Smith, W.H.F., 1998. New, improved version of the Generic Mapping Tools released. EOS, Trans. AGU, Vol. 79, 579 str

Martina Čarman, Mladen Živčić, Milka Ložar Stopar

POTRESI PRI ILIRSKI BISTRICI LETA 2010 EARTHQUAKES NEAR ILIRSKA BISTRICA IN 2010

Povzetek

Podrobna analiza potresov, ki so se leta 2010 zgodili na ilirskobistriškem, je pokazala, da so potresi nastali predvsem na štirih območjih, in sicer je 24 potresov nastalo pod naseljem Ilirska Bistrica, 23 potresov 5 kilometrov jugovzhodno od naselja, 202 potresov približno 4 kilometre severovzhodno od naselja, 16 potresov pa se je zgodilo 10 kilometrov severovzhodno od naselja. Prostorska porazdelitev žarišč kot tudi žariščni mehanizmi posameznih območij ne ustrezajo enemu samemu prelomu.

S pomočjo zapisov potresne opazovalnice za močne potrese v Ilirski Bistrici smo lahko zanesljivo določili žariščne globine bližnjih potresov. Gruča potresov pod naseljem Ilirska Bistrica je nastala na globini med 9,0 in 9,2 kilometrov, potresi vzhodno in jugovzhodno od naselja na globini med 6,6 in 9,2 kilometrov, medtem ko so bili potresi 4 kilometre severovzhodno od naselja precej globlji, in sicer na globini med 16,9 in 17,4 kilometrov.

Žariščne mehanizme, določene iz smeri prvih premikov ob prihodu vzdolžnega valovanja na potresno opazovalnico, smo uspeli določiti petim močnejšim potresom, in sicer trem potresom oddaljenim 4 kilometre severovzhodno od Ilirske Bistrice, enemu potresu oddaljenemu 10 kilometrov severovzhodno od Ilirske Bistrice ter enemu potresu z žariščem 1 kilometer vzhodno od naselja. Mehanizmi razkrivajo, da potresi teh območij nimajo istega značaja. Gruči potresov bliže mestu nastajata ob skoraj navpični prelomni ploskvi dinarske oz. prečno dinarske smeri s pretežno vodoravnim premikom, medtem ko žariščni mehanizem bolj oddaljene gručice potresov kaže na narivanje bodisi proti jugu ob prelomu s smerjo vzhod-zahod in z desnozmerno komponento bodisi na narivanje proti severovzhodu ob prelomu s smerjo severozahod-jugovzhod in z manjšo levozmerno komponento.

Uvod

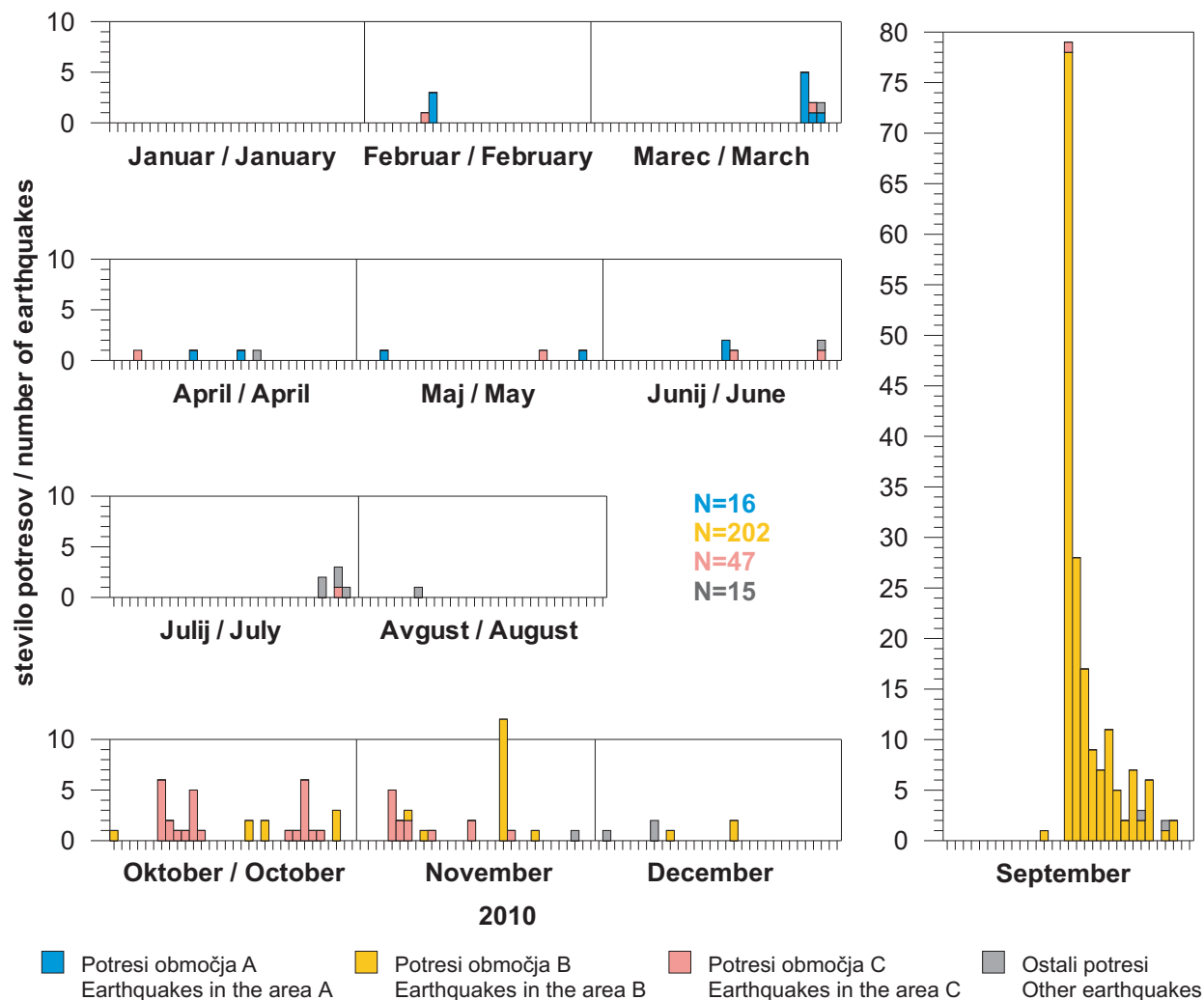
Območje Ilirske Bistrice sodi med seizmično bolj dejavna območja v Sloveniji. Letno z napravami Državne mreže potresnih opazovalnic RS (DMPO RS) (Sinčič in drugi, 2011) na tem območju zabeležimo povprečno nekaj deset potresov. Tudi v letu 2010 je bila potresna aktivnost vse do septembra povprečna (slika 1). 15. septembra ob 02:21 UTC in ob 02:23 UTC pa sta se v manj kot dveh minutah nenadoma zgodila dva potresa magnitude $M_{LV}=3,5$. Sledilo jima je večje število popotresov, nekatere med njimi so ljudje čutili (Jesenko in drugi, 2011). Žarišča potresov so bila približno 4 kilometre severovzhodno od Ilirske Bistrice. Že konec septembra je pogostost potresov zopet dosegla povprečne vrednosti. Potresna aktivnost se je ponovno povečala še 7. oktobra, a tokrat pod območjem mesta in 25. oktobra približno 5 km jugovzhodno od mesta. Za nekaj ur se je 19. novembra spet aktiviralo tudi območje, v katerem sta nastala najmočnejša potresa 15. septembra.

Abstract

Detailed analysis of the earthquakes that have occurred in year 2010 in the Ilirska Bistrica region has revealed that the earthquakes were generated in four areas; 24 earthquakes occurred near the town of Ilirska Bistrica, 23 occurred 5 km to the Southeast, 202 earthquakes had epicenters approximately 4 km Northeast of the town, 16 earthquakes have happened 10 km Northeast of the town. The spatial distribution of hypocentres as well as focal mechanisms of individual earthquakes do not correspond to a single fault plane.

Using seismic records of the strong motion station ILBA in Ilirska Bistrica we reliably determined focal depths of the nearby earthquakes. Cluster of earthquakes below Ilirska Bistrica happened at depths between 9.0 and 9.2 kilometers, earthquake to the East and Southeast happened at depths between 6.6 and 9.2 km while the earthquakes 4 kilometers NE of the town, were much deeper, and occurred at depths between 16.9 and 17.4 kilometers.

Focal mechanisms from the direction of the first arrivals of longitudinal waves on the seismic station were determined for five earthquakes: three earthquakes 4 km NE, one one kilometer to the East and one earthquake 10 km away from town in NE direction. The mechanisms show that earthquakes were not of the same type. Earthquakes closer to the town were generated at almost vertical plane of the Dinaric or transverse Dinaric direction with predominantly vertical movement along the fault, while the mechanism of more distant earthquake is of the reverse type with the fault plane either striking approximately E-W direction and thrusting towards South, or striking NW-SE direction and thrusting towards NE.



Slika 1: Časovna porazdelitev lociranih potresov. Z modro barvo so označeni potresi, zabeleženi na območju A, z rumeno na območju B in z roza na območju C. Ostali potresi na sliki 1 so označeni s sivo barvo. Zemljepisna lega območij A, B in C je razvidna iz slike 2.

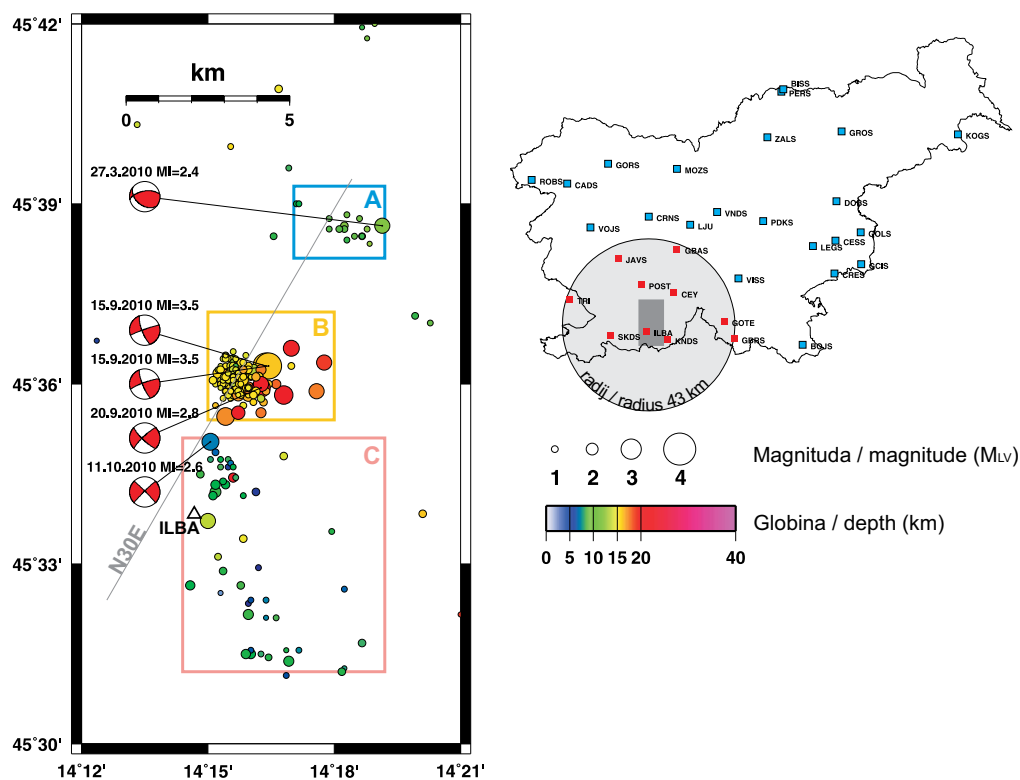
Figure 1: Time distribution of located earthquakes. Earthquakes in the area A are marked blue, earthquakes in the area B are marked yellow, earthquakes in the area C are marked pink, others are marked gray. Geographical position of the areas A, B and C is given on Figure 2.

V nadaljnji analizi smo ločeno obravnavali območje s številnimi popotresi, ki so neposredno sledili glavnima potresoma 15. septembra. Na sliki 2 je podana lega rutinsko določenih nadžarišč, na podlagi katere smo potrese severno od najštevilčnejše gruče (označene z rumeno črko B na sliki 2) zajeli v območje A in nekoliko bolj raztresene potrese južno od te gruče v območje C. Območje A je bilo seizmično aktivno predvsem prvo polovico leta 2010 (slika 1). Najmočnejši potres se je tu zgodil 27. marca ob 10:34 UTC in je dosegel magnitudo 2,4. Julija in avgusta so tla mirovala. 15. septembra pa sta se na območju B zgodila dva potresa z magnitudo 3,5, in sicer prvi ob 02:21 UTC in drugi ob 02:23 UTC. Tema potresoma je v naslednjih urah in dneh sledilo veliko število šibkih potresov. Oktobra je večina potresov nastala še južneje, in sicer na območju C. Najmočnejši potres se je na območju C zgodil 11. oktobra ob 01:06 UTC z magnitudo 2,6. V območju C deluje potresna opazovalnica za močne potrese (akcelerograf) ILBA. Ta je zabeležila 14 potresov območja B in 12 potresov območja C. Ker je opazovalnica od nadžarišč potresov območij B in C oddaljena le okoli 5 kilometrov, lahko z njenimi zapisi natančneje opredelimo globine potresov.

Potresom smo sprti določali osnovne parametre. Pri rutinski obdelavi potresov na Uradu za seizmologijo in geologijo uporabljamo program Hypocenter 3.2 (Lienert, 1994). Ta program na podlagi odčitanih časov vstopa vzdolžnih oz. longitudinalnih (P) in prečnih oz. transverzalnih (S) potresnih valov, podatkov o hitrostih valovanja na različnih globinah (enodimenzionalni hitrostni model) in podatkov o lokacijah opazovalnic numerično reši kinematične enačbe in tako določi čas in kraj nastanka posameznega potresa ter njegovo magnitudo. Točnost, ki jo praviloma dosežemo, je nekaj kilometrov za lego žarišča, nekaj desetink sekunde za čas nastanka potresa in nekaj desetink za magnitudo.

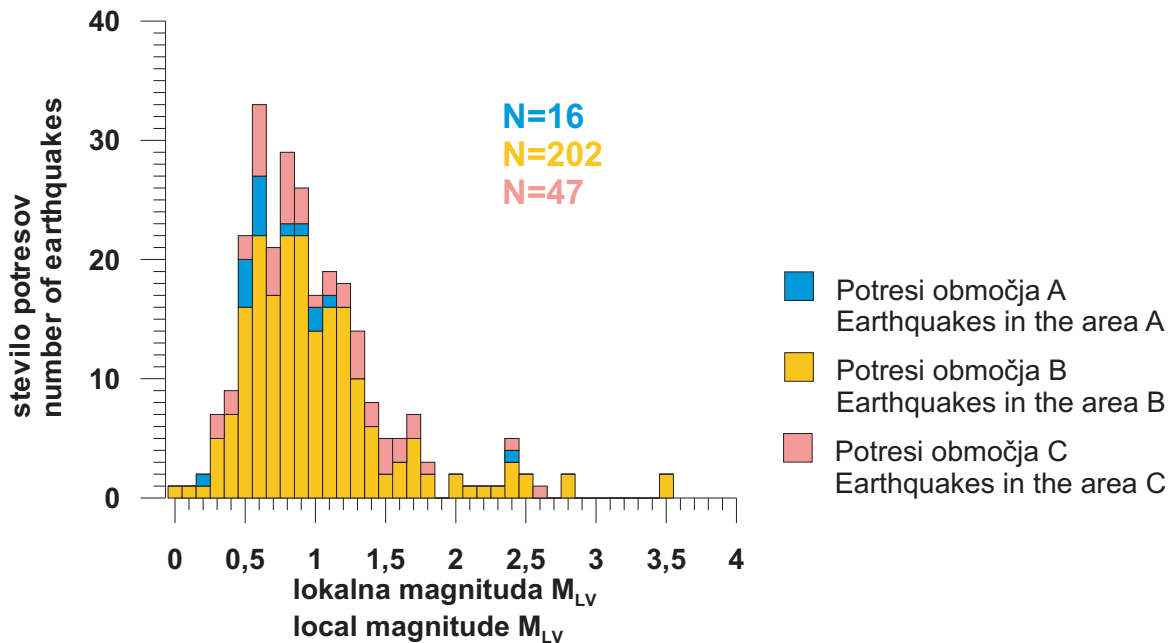
Po rutinski obdelavi seizmoloških podatkov smo na območju 45,50-45,70 °SZŠ in 14,20-14,35 °VZD uspeli locirati 280 potresov iz leta 2010. Na sliki 2 lahko vidimo, da se je večina potresov zgodila znotraj treh manjših območij, ki smo jih posebej poimenovali in dodatno raziskali. Od skupno 265 potresov se jih je 16 zgodilo na območju A, 202 na območju B in 47 na območju C (ARSO, 2010; slika 2). Potresi niso preseglji lokalne magnitude 3,5 (slika 3). Enemu potresu ni bilo mogoče določiti magnitudo.

Dosežena točnost osnovnih potresnih parametrov in čas, ki ga potrebujemo za njihov izračun, zadostujeta za potrebe obveščanja in ukrepanja po potresu in za statistično obdelavo potresne dejavnosti. Vendar pa postopek ne zadošča za prepoznavanje aktivnih prelomnih struktur, saj z uporabo poenostavljenega hitrostnega modela Zemljine skorje, nezanesljivosti pri odčitavanju vstopnih časov P in S valov ter, pri šibkejših potresih, majhnega števila potresnih opazovalnic, ki so potres zabeležile, dobimo preveč razpršeno sliko potresne dejavnosti.



Slika 2: Levo: Karta rutinsko določenih nadžarišč potresov v bližini Ilirske Bistrice leta 2010 (ARSO, 2010). Prikazana je smer globinskega prereza na sliki 6. Desno zgoraj: Potresne opazovalnice državne mreže v RS in opazovalnica v Trstu, TRI. Obravnavano območje, prikazano na levi, je označeno s pravokotnikom temno sive barve, svetlo siv krog zajema opazovalnice, katerih podatke smo uporabili pri relokaciji potresov.

Figure 2: Left: Earthquake epicenters recorded in 2010 in Ilirski Bistrica region (ARSO, 2010). The direction of cross section on Figure 6 is marked. Top right: Seismic network in Slovenia together with seismic station in Trieste, TRI. The discussed area on the left is inside the coloured dark gray rectangular. The station inside the light gray circle were used in the relocation of earthquakes.



Slika 3: Porazdelitev potresov v bližini Ilirske Bistrice leta 2010 glede na lokalno magnitudo. Z modro barvo so označeni potresi zabeleženi na območju A, z rumeno na območju B in z roza na območju C.

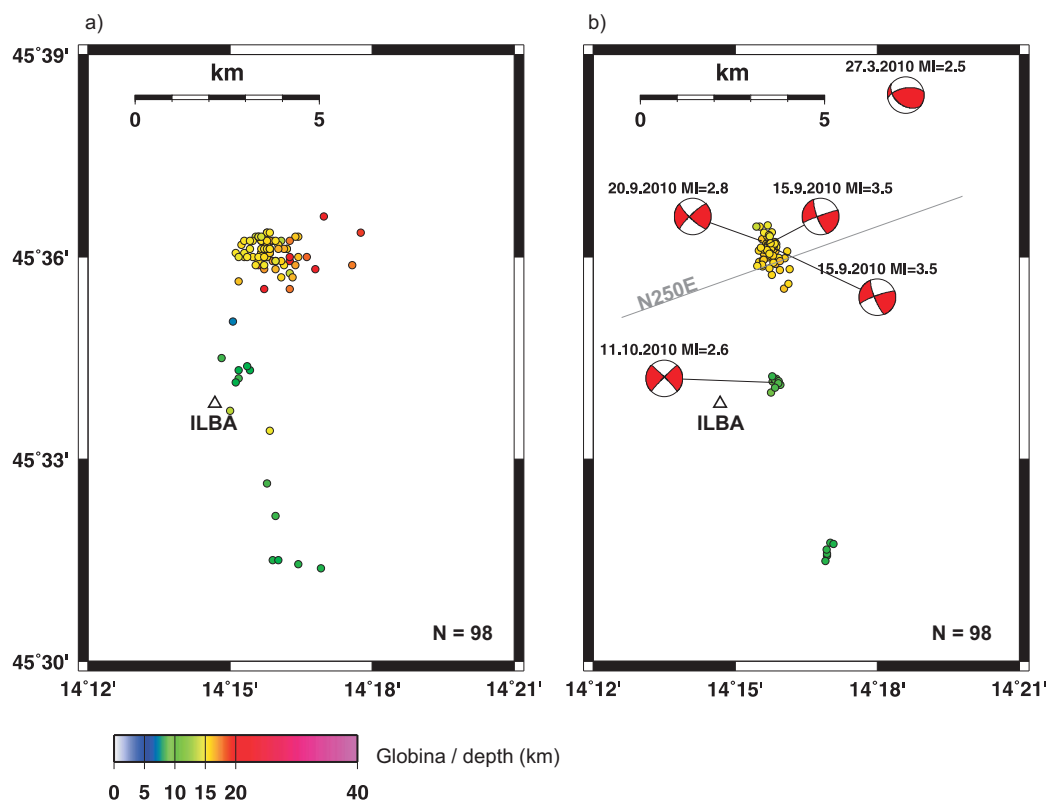
Figure 3: Distribution of local magnitude for earthquakes near Ilirska Bistrica in 2010. Earthquakes recorded in the area A are marked blue, earthquakes in the area B are marked yellow, and earthquakes in the area C are marked pink.

Relokacija potresov

Z relativno metodo časovnih prehitkov oz. zaostankov pri določanju žarišč (Double-Difference Hypocenter determination – HypoDD, Waldhauser in Ellsworth, 2000; Waldhauser, 2001) smo poskusili lokacije potresov v bližini Ilirske Bistrice, izračunane z rutinskim postopkom, izboljšati. Metoda je uporabna za gručo potresov na prostorsko omejenem območju, ki je majhno v primerjavi z oddaljenostjo opazovalnic od potresov in na katerem so spremembe hitrosti majhne v primerjavi s spremembami hitrosti na poti potresnih valov. Osnovna ideja te metode je, da potresni valovi potresov, ki so nastali na relativno majhnem območju, potujejo do izbrane oddaljene opazovalnice po poteh zelo blizu skupaj, razen v neposredni bližini žarišč, in tako prepotujejo iste geološke strukture. Tako na večjem delu poti, razen v neposredni bližini žarišč, rutinski izračun z uporabo poenostavljenega modela Zemljine notranjosti k času potovanja potresnih valov prinese isto absolutno napako. Zaradi tega lahko časovno razliko (prehitek ali zaostanek) v času potovanja P oz. S potresnih valov dveh bližnjih potresov na izbrano opazovalnico z veliko gotovostjo pripišemo krajevni razmiku žarišč. Z zaporednim spreminjanjem lege žarišč minimiziramo vse prehitke oz. zaostanke med pari bližnjih potresov na vsaki opazovalnici posebej. S takšnim sočasnim relociranjem gruč potresov posredno upoštevamo hitrostne razlike v Zemljini notranjosti in posledično točneje določimo koordinate žarišč.

Določanje žariščne globine

Slika 6 prikazuje globinske prereze vzdolž vseh treh območij A, B in C (prerez vzdolž daljice N30E na sliki 2). Žarišča, katerih globine so bile po rutinski obdelavi potresov med 13,8 in 21,2 km za potrese območja B, se po hkratnem relociranju dogodkov nahajajo na globinah med 14,0 in 16,4 km. Potresi območja C, ki so pred relocacijo imeli globine med 7,0 in 14,7 km, so se prostorsko strnili v dve gruči, v prvi so potresi na globinah med 10,9 in 11,3 km, medtem ko so globine potresov v drugi gruči med 11,3 in 12,7 km. Rezultati lokacij so za potrese območja A pokazali, da so nastali na globinah med 10,1 in 13,3 km.

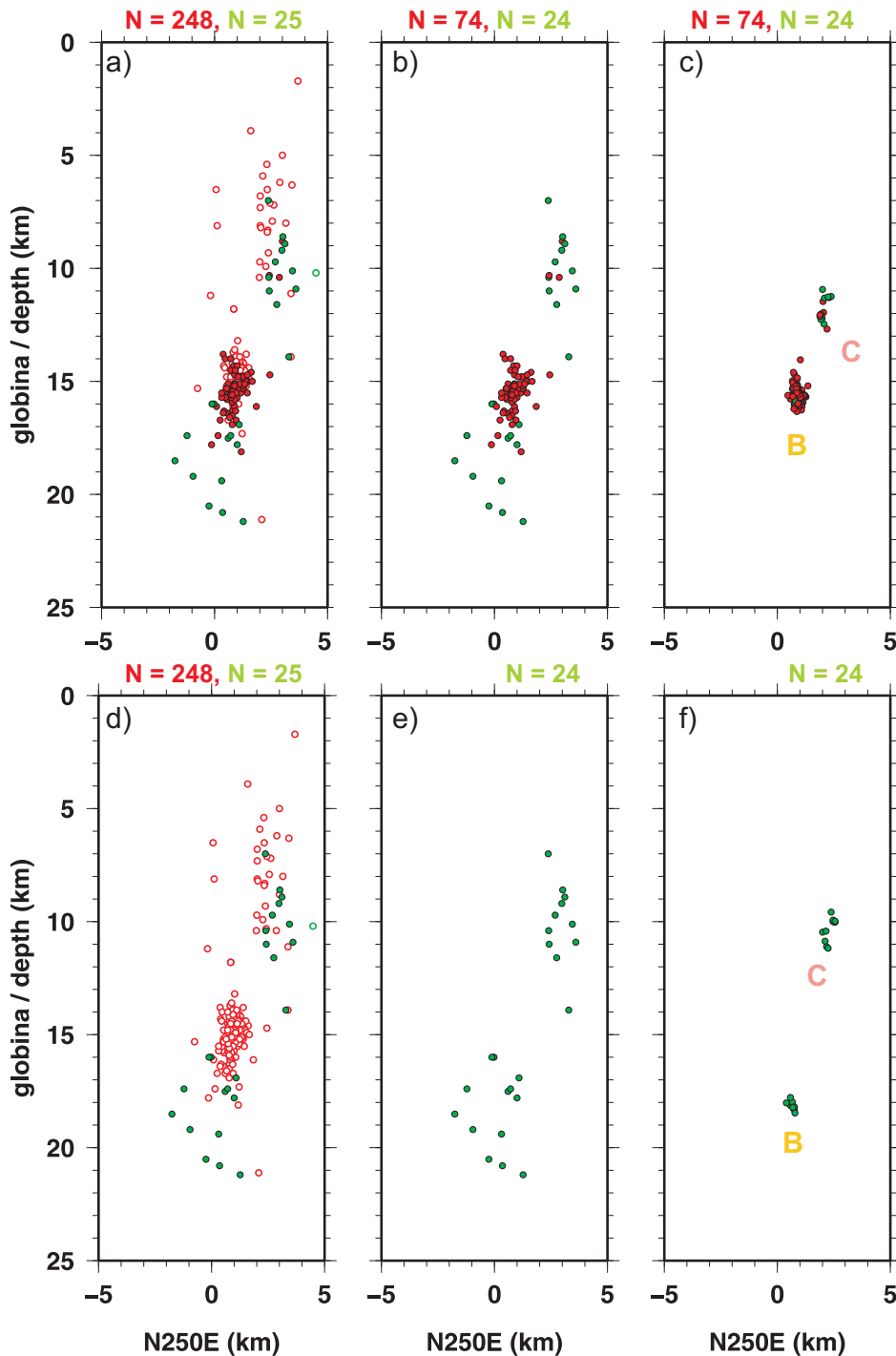


Slika 4: 98 potresov (a) po lociranju vsakega posameznega dogodka s programom Hypocenter (Lienert, 1994), in (b) po sočasnem relociranju dogodkov z uporabo relativne metode časovnih prehitkov oz. zaostankov pri določanju žarišč (Double-Difference Hypocenter determination – HypoDD, Waldhauser in Ellsworth, 2000; Waldhauser, 2001) za niz potresov blizu Ilirske Bistrice, ki so se zgodili leta 2010. Na sliki (b) so prikazani tudi žariščni mehanizmi najmočnejših potresov in smer globinskega prereza na sliki 5. Barva ponazarja žariščno globino.

Figure 4: Distribution of 98 (a) routinely located earthquakes (circles) using Hypocenter (Lienert, 1994), and (b) relocated earthquakes using Double-Difference Hypocenter determination algorithm (Waldhauser in Ellsworth, 2000; Waldhauser, 2001) for earthquakes near Ilirski Bistrica, year 2010. Panel (b) shows also focal mechanisms of strongest earthquakes. The direction of the cross sections on Figure 5 is marked. The colour of the symbols corresponds to the focal depth.

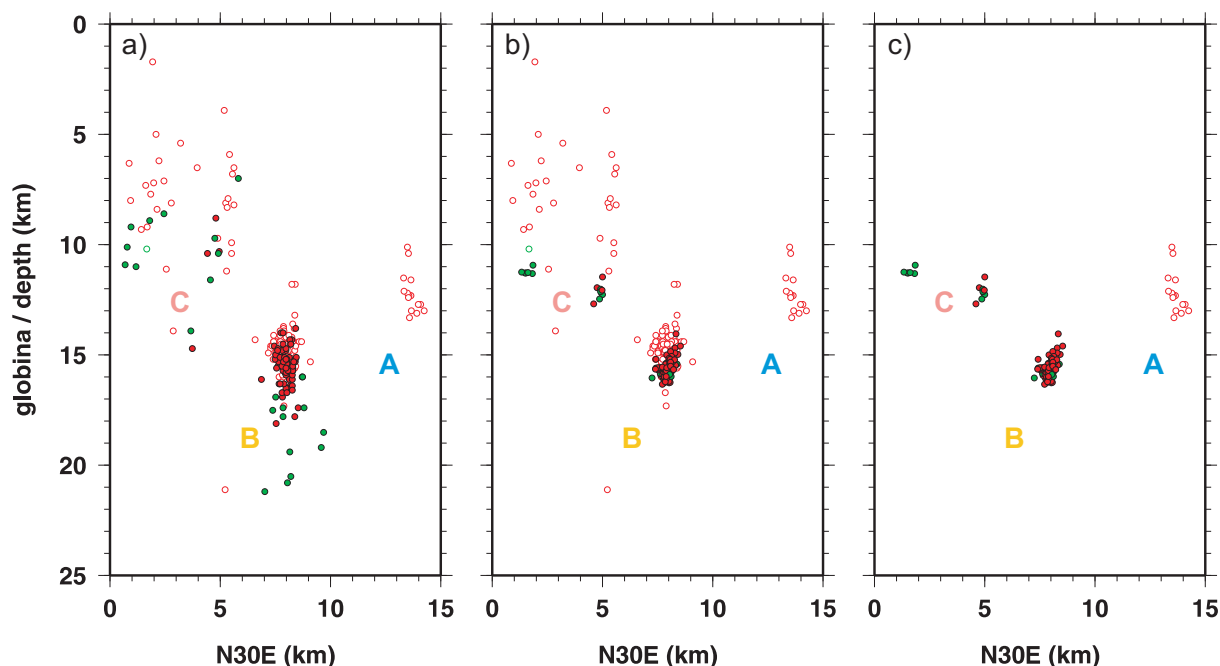
Metoda HypoDD je relativna metoda, kar pomeni, da lahko z njo določamo relativen položaj potresnih žarišč znotraj obravnavane gruč, ne pa točne umeščenosti gruč v prostor. Ta je odvisna predvsem od števila in prostorske razporeditve potresnih opazovalnic in od poznavanja hitrosti, s katerimi potresno valovanje potuje na poti med žariščem in opazovalnico. Zapisi žarišču najbližjih opazovalnic so odločilni za določanje globine žarišča. V primeru, da se opazovalnica nahaja praktično nad žariščem lahko celotno oddaljenost žarišča od opazovalnice pripišemo žariščni globini. Za tako opredeljevanje globine smo uporabili zapise najbližje opazovalnice ILBA in hitrosti potovanja potresnega valovanja ocenjene iz tridimenzionalnega tomografskega modela hitrosti vzdolžnega valovanja v Sloveniji (Michellini in drugi, 1998).

15. septembra, v času nastanka potresov magnitude $M_{LV}=3,5$, je v občinski stavbi v Ilirski Bistrici delovala opazovalnica ILBA za beleženje močnih potresov, ki je dostopna prek telefonske povezave. Takoj po obeh potresih oz. natančneje kakšno uro zatem smo izkoristili možnost nastavljanja parametrov prek telefonske povezave in povečali občutljivost opazovalnice na trikratno vrednost. S tem smo omogočili beleženje tudi nekoliko šibkejših potresov. Opazovalnica je zabeležila oba najmočnejša potresa 15. septembra in 24 potresov, ki so sledili.



Slika 5: Globinski prerezi vzdolž daljice N250E označene na sliki 4. Z zeleno barvo so označeni potresi, zabeleženi na ILBA, ostali pa z rdečo barvo. Prazen krogec označuje potres, ki ni uporabljen pri relokaciji, medtem ko so potresi označeni s polnim krogecem, uporabljeni. Slika (a) prikazuje 248 potresov, ki smo jih zabeležili in locirali v letu 2010 na območjih B in C (na sliki 2). Na sliki (b) so ponovno izrisane rutinsko določene lege 98 potresov, ki smo jih uporabili pri relokaciji, medtem ko so na sliki (c) izrisane lege istih 98 potresov po relokaciji. Slike (d), (e) in (f) so izrisane po analogiji, le da smo tu samostojno locirali le 24 potresov, ki so bili zabeleženi na opazovalnici ILBA.

Figure 5: Cross sections along the segment N250E marked on Figure 4. Earthquakes recorded on station ILBA are marked green, others are red. Relocated earthquakes are marked with full circle, otherwise the circle is empty. Figure (a) shows 248 earthquakes recorded and routinely located in 2010 near Ilirska Bistrica (area B and C on figure 2). Figure (b) shows the set of 98 routinely located earthquakes used in relocation, but before relocation process and Figure (c) after relocation process. Figures (d), (e), and (f) follow the same analogy, but only 24 earthquakes recorded on ILBA are relocated.



Slika 6: Globinski prerezi območij A, B in C vzdolž daljice N30E, označene na sliki 2. Z zeleno barvo so označeni potresi zabeleženi na ILBA, ostali pa z rdečo barvo. Prazen krogec označuje potres, ki ni uporabljen pri relokaciji, medte, ko so potresi, označeni s polnim krogecem, uporabljeni. Slika (a) prikazuje potrese, ki smo jih zabeležili in rutinsko locirali v bližini Ilirske Bistrice. Na sliki (b) so izrisane lege 98 relociranih potresov skupaj z rutinsko določenimi legami ostalih potresov, medtem ko so na sliki (c) izrisane samo lege 98 relociranih potresov za območji B in C, za območje A pa smo izrisali rutinsko določene lege potresov.

Figure 6: Cross sections of areas A, B, and C along the segment N30E marked on figure 2. Earthquakes recorded on station ILBA are marked green, others are red. Relocated earthquakes are marked with full circle, otherwise the circle is empty. Panel (a) shows earthquakes recorded and routinely located in 2010 near Ilirska Bistrica. Panel (b) shows the set of 98 relocated earthquakes together with routinely located other earthquakes, and panel (c) shows only 98 relocated earthquakes from areas B and C together with routinely located earthquakes from area A.

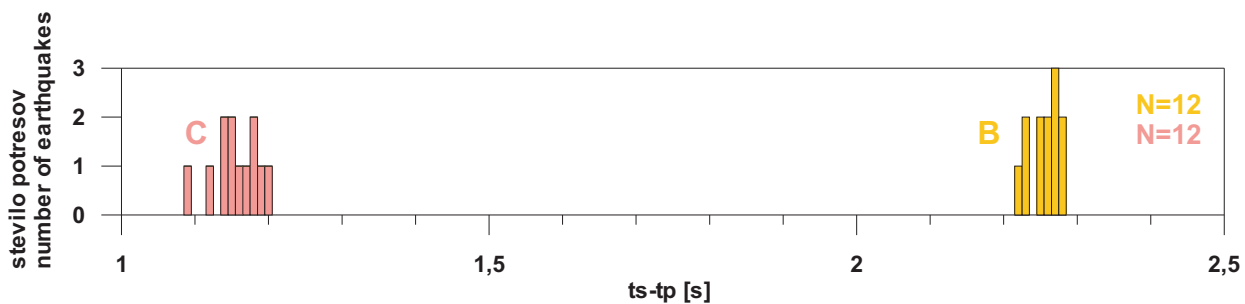
S skrbno analizo vstopnih časov smo ugotovili, da so časovne razlike ($t_s - t_p$) med prihodom vzdolžnega (P) in prečnega (S) valovanja skoraj konstantne tako za žarišča 4 km severovzhodno od Ilirske Bistrice (območje B), kot tudi za žarišča v bližini Ilirske Bistrice (območje C). Slika 7 kaže histogram časovnih razlik odčitanih na opazovalnici ILBA za obe območji. Porazdelitev hitrosti potresnega valovanja pod opazovalnico smo ocenili iz rezultatov tomografije za območje Slovenije (Michellini in drugi, 1998) in tako določili oddaljenost žarišč od opazovalnice. Časovne razlike ($t_s - t_p$) 12-ih potresov v območju B, približno 4 kilometre severovzhodno od opazovalnice, so v razponu med 2,22 in 2,28 sekund. To ustreza žariščnim globinam med 16,9 in 17,4 km. Časovne razlike ($t_s - t_p$) 5-ih potresov območja C, približno kilometer vzhodno od opazovalnice ILBA, so v razponu med 1,17 in 1,20 sekund, kar ustreza globinam žarišč med 9,0 in 9,2 kilometrov, 7 potresov 5 km jugovzhodno od opazovalnice ima časovne razlike v razponu 1,09 do 1,16 sekund kar ustreza globinam žarišč med 6,6 in 7,3 km. Sklepamo lahko, da so relocirane globine žarišč, izračunane s HypoDD metodo, v območju B skladne z zapisi potresne opazovalnice ILBA, medtem ko so v območju C približno 3 km večje od globin opredeljenih iz zapisov potresne opazovalnice ILBA.

Žariščni mehanizmi

V obravnavanem obdobju smo žariščni mehanizem določili najmočnejšemu potresu območja A, ki se je zgodil 27. marca 2010 ob 10:34 UTC z magnitudo 2,4. Iz odčitanih smeri prvih premikov

ob vstopu vzdolžnega valovanja na potresno opazovalnico smo s programom Focmec (Snoke in drugi, 1984) določili položaj dveh možnih prelomnih ploskev. Uporabili smo odčitke vstopov potresnega valovanja na šestnajstih opazovalnicah. Žariščni mehanizem kaže na transpresiven značaj preloma s smerjo vzhod-zahod z narivanjem proti jugu in z desnozmično komponento premika, oziroma nariv smeri severozahod-jugovzhod s premikom proti severovzhodu in manjšo levozmično komponento. Smeri narivanja na podlagi prostorske razporeditve žarišč ni mogoče določiti (slika 2 in prereza na sliki 6).

V območju B smo žariščni mehanizem določili dvema najmočnejšima potresoma z lokalno magnitudo $M_{LV}=3,5$, kot tudi popotresu z lokalno magnitudo $M_{LV}=2,8$. Pri prvem potresu smo imeli na voljo odčitane vstopne vzdolžnega valovanja na petintridesetih opazovalnicah. Drugemu potresu, čeprav je bila magnituda enaka prvemu, smo opredelili vstopne le na dvaindvajsetih opazovalnicah, saj se tla v dveh minutah po prvem potresu še niso uspela umiriti, ko je do potresne opazovalnice prišlo že valovanje drugega potresa. Zapisi drugega potresa, predvsem pa vstopi vzdolžnega potresnega valovanja so zato manj jasni. Popotresu je bilo možno določiti vstopne na



Slika 7: Porazdelitev časovnih razlik ($ts-tp$) med prihodom vzdolžnega (P) in prečnega (S) valovanja za 12 potresov območja B (rumena) in 12 potresov območja C (roza) odčitanih na opazovalnici ILBA. Za lego območij B in C glej sliko 2.

Figure 7: Distribution of time differences ($ts-tp$) between the arrivals of transversal (S) and longitudinal (P) seismic waves for 12 earthquakes of area B (yellow) and 12 earthquakes of area C (pink) recorded on station ILBA. See Figure 2 for locations of the areas B and C.

triindvajsetih opazovalnicah. Pri ostalih potresih so vstopi šibkejši in ne omogočajo nedvoumne opredelitve smeri prvega vstopa, zato žariščnih mehanizmov nismo določili. Vsi trije žariščni mehanizmi potresov območja B imajo zelo podoben značaj, ki kaže na vodoravni premik ob skoraj navpičnem prelomu. Ravnina 2 iz preglednice 1 ima približno dinarsko smer (severozahod-jugovzhod), ki ustreza smeri večine znanih prelomov na tem področju. Tudi desnozmični vodoravni premik je skladen s pričakovanimi premiki ob prelomih dinarske smeri. Žariščni mehanizmi območja B se precej razlikujejo od mehanizma za potres na območju A.

Tudi v območju C smo žariščni mehanizem določili najmočnejšemu potresu z magnitudo $M_{LV}=2,6$. Na voljo smo imeli odčitane vstopne vzdolžnega valovanja na sedemnajstih opazovalnicah. Mehanizem je zelo podoben mehanizmoma potresov v območju B.

Parametri žariščnih mehanizmov vseh petih potresov so zbrani v preglednici 1.

Žariščna mehanizma dveh najmočnejših potresov na območju B so z inverzijo tenzorja seizmičnega momenta določili tudi na Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale, OGS v Trstu (INOGS, 2010) in na Earth & Atmospheric Sciences Saint Louis University v ZDA (EAS SLU, 2010a, 2010b). Njihove rešitve podane v preglednici 2 so zelo podobne našim rešitvam podanim v preglednici 1.

Popotresi

Potresoma 15. septembra 2010 so sledili številni šibkejši popotresi, vendar je njihova pogostost s časom hitro pojemala. Skupaj smo jih zabeležili 226.

V območju B, v katerem sta se zgodila dva najmočnejša potresa 15. septembra, smo zabeležili 176 popotresov. Tla so se že konec meseca umirila. Potresom tega območja smo opredelili parametre Gutenberg-Richterjeve relacije po kateri število popotresov z magnitudo manjšo ali enako izbrani magnitudi (kumulativno število potresov) pada z magnitudo po logaritemsko linearni relaciji (Gutenberg in Richter, 1944):

$$\text{Log } N = a + bM,$$

kjer je N število potresov z magnitudo manjšo ali enako magnitudi M . Kumulativno število popotresov na območju B je predstavljeno na sliki 9. Sklepamo lahko, da nismo zabeležili vseh potresov z lokalnimi magnitudami manjšimi od 0,5. Nadaljnjo analizo smo zato omejili na potrese s to ali večjo magnitudo.

Preglednica 1. Parametri žariščnih mehanizmov petih močnejših potresov. Smer je merjena od severa proti vzhodu, tako da je prelomna ploskev nagnjena v desno, naklon je merjen od vodoravne ravnine, premik je merjen v prelomni ploskvi od smeri preloma (Aki in Richards, 2002). P je os največje in T os najmanjše napetosti. N je število uporabljenih podatkov o smeri prvih premikov.

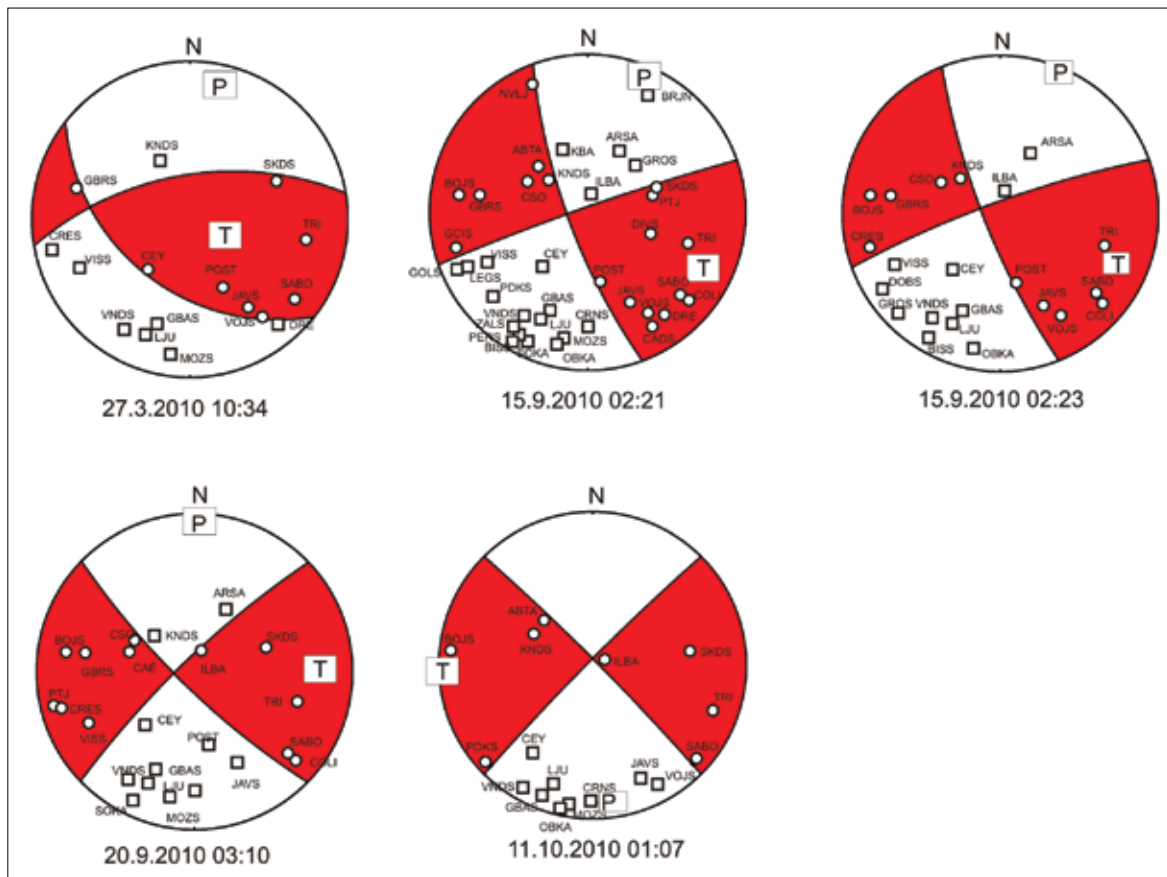
Table 1. Focal mechanisms of five stronger events. Strike is the azimuth of the horizontal direction taken so that the plane dips to the right, measured from the North through East (Aki's convention), dip of the fault is measured from the horizontal and rake is the angle of slip, measured in the plane of the fault from the strike direction to the slip vector. P is maximum and T minimum pressure axis. N is number of P -wave first motion polarities used.

datum	čas (UTC)	širina	dolžina	globina	MLV	ravnina 1			ravnina 2			P		T		N
dd.mm.yyyy	hh:mm	°N	°E	km		smer	naklon	premik	smer	naklon	premik	smer	naklon	smer	naklon	
date	time (UTC)	lat.	lon.	depth	MLV	nodal plane 1			nodal plane 2			P		T		N
dd.mm.yyyy	hh:mm	°N	°E	km		strike	dip	rake	strike	dip	rake	strike	dip	strike	dip	
27. 3. 2010	10:34	45,64	14,32	13	2,4	260	59	60	128	42	130	11	9	119	63	16
15. 9. 2010	02:21	45,61	14,27	16	3,5	250	86	15	158	75	176	24	8	115	13	38
15. 9. 2010	02:23	45,61	14,28	16	3,5	250	81	12	158	78	171	24	2	114	15	22
20. 9. 2010	03:10	45,60	14,27	16	2,8	226	80	12	134	78	170	360	1	90	16	23
11.10.2010	01:07	45,57	14,26	9	2,6	225	86	-4	315	86	-176	180	6	90	0	17

Preglednica 2. Parametri žariščnih mehanizmov določeni z inverzijo tenzorja seizmičnega momenta za potresa 15. 9. 2010 ob 02:21 UTC in 02:23 UTC na INOGS, OGS v Trstu (INOGS, 2010) ter EAS SLU v ZDA (EAS SLU, 2010a, 2010b).

Table 2. Parameters of focal mechanisms for earthquakes on 15 September 2010 at 02:21 UTC and at 02:23 UTC determined by inversion of seismic moment tensor at INOGS, OGS in Trieste (INOGS, 2010) and at SLU EAS in U.S. (EAS SLU, 2010a, 2010b).

datum	čas (UTC)	autor	širina	dolžina	globina	Mw	ravnina 1			ravnina 2			N
dd.mm.yyyy	hh:mm		°N	°E	km		smer	naklon	premik	smer	naklon	premik	
date	time (UTC)	author	lat.	lon.	depth	Mw	nodal plane 1			nodal plane 2			N
dd.mm.yyyy	hh:mm		°N	°E	km		strike	dip	rake	strike	dip	rake	
15. 9. 2010	02:21	CRS INOGS	45,61	14,25	8	3,6	256	72	17	161	74	161	5
15. 9. 2010	02:23	CRS INOGS	45,61	14,25	8	3,5	256	77	24	160	67	166	5
15. 9. 2010	02:21	EAS SLU	45,62	14,26	27	3,88	250	70	-5	342	85	-160	21
15. 9. 2010	02:23	EAS SLU	45,62	14,26	25	3,70	250	80	15	157	75	170	16



Slika 8: Žariščni mehanizmi petih potresov. Krogi predstavljajo opazovalnice, ki so kot prvi prihod zabeležile kompresijo, kvadrantki pa opazovalnice, ki so zabeležile dilatacijo.

Figure 8: Focal mechanisms for five stronger earthquakes. Circles denote stations with compression as the first onset and squares stations with dilatations.

Popotresi so s časom hitro pojemali in že decembra je bilo število potresov v območju B primerljivo nekajletnemu povprečju.

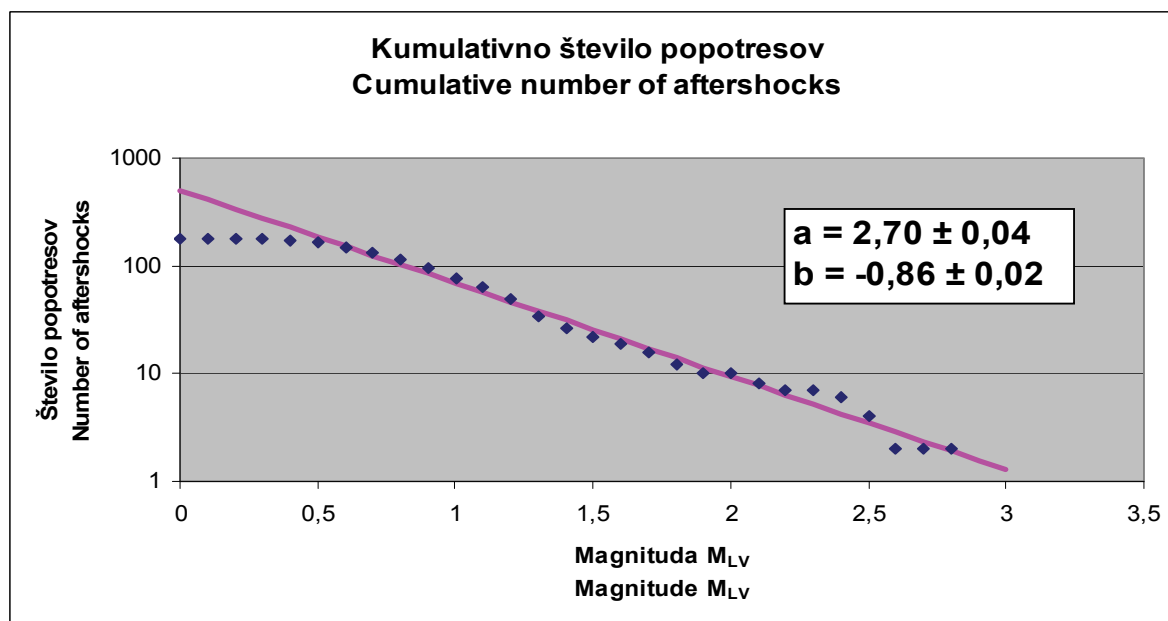
Popotresom z lokalno magnitudo večjo ali enako 0,5, za katere lahko sklepamo, da so vsi zabeleženi, smo z metodo Utsu (1992) ter Utsu in Ogata (1997) opredelili parametre v prilagojeni Omorijevi porazdelitvi:

$$n(t) = \frac{k}{(c+t)^p},$$

kjer je $n(t)$ število popotresov normirano na en dan v času t po glavnem potresu. Pri analizi smo zajeli 163 potresov območja B z magnitudo $M_{LV} \geq 0,5$ v obdobju 13 dni po glavnem potresu. Z modeliranjem smo ocenili koeficient k na $28,09 \pm 3,07$, koeficient c na $0,0325 \pm 0,0231$ in koeficient p na $0,886 \pm 0,078$. Prileganje modelirane zakonitosti pojemanja števila popotresov s časom dejanskega števila zabeleženih popotresov je razvidno iz slike 10.

Zaključek

Potresna aktivnost področja A (slika 2) se je izrazila le občasno s potresi v prvi polovici leta 2010, področji B in C pa sta bili potresno aktivni krajša obdobja. V področju B, približno 4 km severovzhodno od Ilirske Bistrice, se je aktivnost začela nenadoma z dvema močnejšima septembrskima potresoma in nadaljevala s številnimi popotresi, ki pa so v dveh tednih skoraj povsem



Slika 9: Kumulativno število popotresov po dvojnem potresu 15. septembra ob 02:21 UTC in 02:23 UTC do konca septembra 2010 zabeleženih na območju B (modre pike) in premica (roza črta), ki opisuje Gutenberg-Richterjevo relacijo.

Figure 9: Cumulative number of aftershocks recorded in the area B, starting after two earthquakes on 15 January at 14:20 UTC and 14:23 UTC, and lasting till the end of September 2010 (blue dots); the line (pink) describes the Gutenberg-Richter relationship.

pojenjali. V območju C, ki se nahaja praktično pod samim mestom, se je večina potresov zvrstila v šestih dneh. Z relokacijo potresov z metodo časovnih prehitkov oz. zaostankov smo ugotovili, da se večina žarišč nahaja strnjeno v manjših gručah. Velikost gruč določena iz rezultatov relokacij je nekoliko večja kot velikost, ki jo dobimo iz razlik časov prihodov prečnega (S) in vzdolžnega (P) valovanja na opazovalnico ILBA. Za gručo potresov severovzhodno od Ilirske Bistrice je opredeljena globina žarišč skladna z zapisi na opazovalnici ILBA, medtem ko so bila žarišča vzhodno in jugovzhodno od mesta na približno 3 km manjših globinah od tistih, določenih z relokacijo.

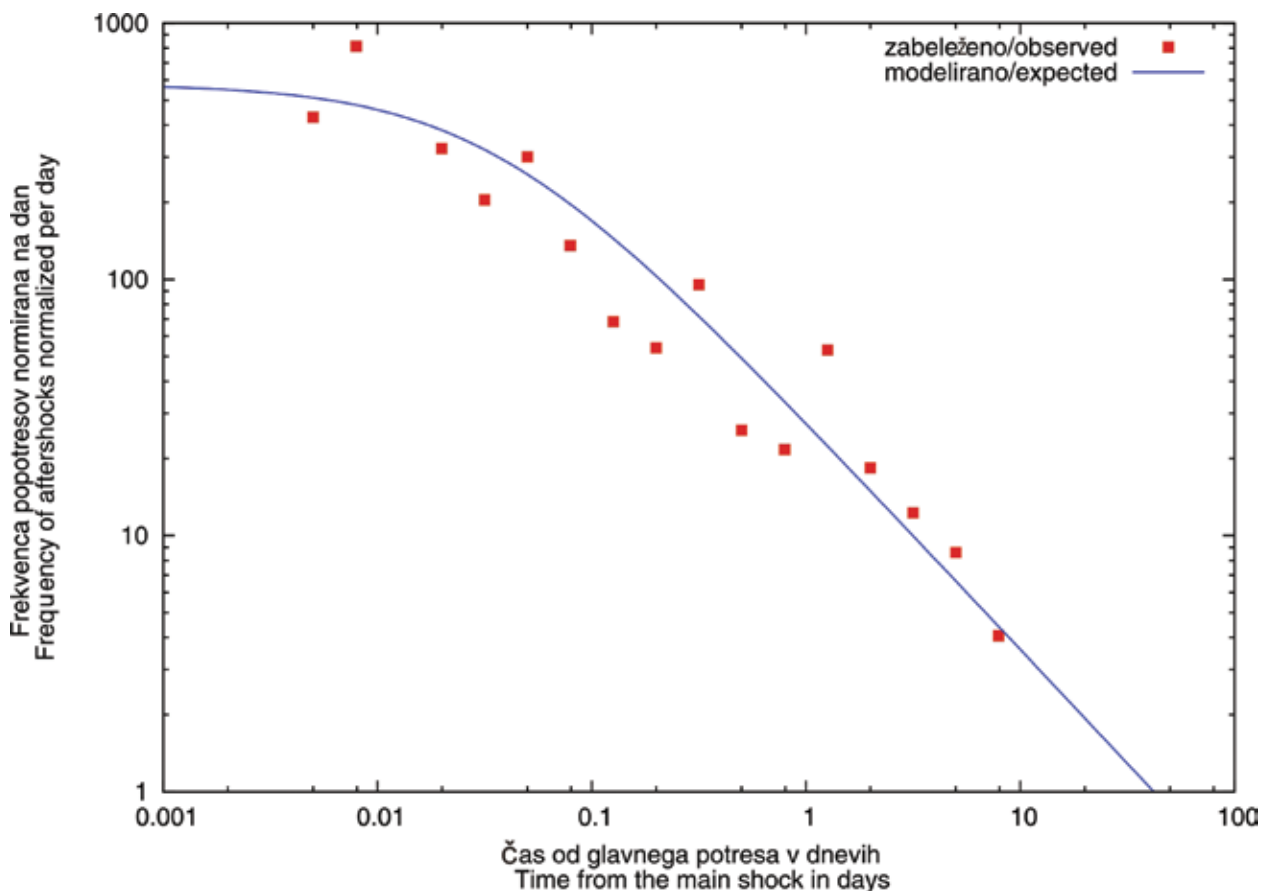
Iz prostorske porazdelitve žarišč potresov je razvidno, da aktivnosti v treh obravnavanih območjih ni mogoče pripisati enemu samemu prelomu. Tudi značaj prelomov ni enak. V področju B se potresi dogajajo ob skoraj navpičnem prelomu, pri čemer prihaja do skoraj vodoravnih premikov ob prelomni ploskvi. V območju A žariščni mehanizem nakazuje, da gre za nariv v smeri približno vzhod-zahod. Mehanizem potresa v območju C je zelo podoben mehanizmu potresov v območju B.

Rešitve prelomnih ploskev, ki smo jih za dva najmočnejša potresa dobili iz smeri prvih premikov ob vstopu vzdolžnega potresnega valovanja na potresno opazovalnico, so skoraj identične rešitvam, dobljenim z inverzijo seizmičnega momenta na CRS OGS in EAS SLU.

Slike 2, 4, 5, 6 in 8 so bile narejene s programom GMT (Wessel in Smith, 1991; 1998).

Literatura

- Agencija Republike Slovenije za Okolje, 2010. Baza podatkov za potrese na ozemlju Slovenije leta 2010. Arhiv ARSO, Ljubljana.
- Aki, K. in Richards, P. G., 2002. Quantitative Seismology. University Sausalito Books, Sausalito CA, 700 str.
- EAS SLU, 2010a. http://www.eas.slu.edu/Earthquake_Center.old/MECH.EU/20100915022117/index.html. Uporabljeno 8. 8. 2011.



Slika 10: Časovno pojevanje števila popotresov magnitude večje ali enake 0,5 normirano na en dan (rdeči kvadrati) po dveh najmočnejših potresih in pojevanje števila popotresov po Omorijevem zakonu (modra črta).

Figure 10: The temporal decrease of aftershock rates after the two main shocks for earthquakes equal or greater than 0.5 (red squares) and the expected decrease after Omori's law (blue curve).

EAS SLU, 2010b. http://www.eas.slu.edu/Earthquake_Center.old/MECH.EU/20100915022313/index.html. Uporabljeno 8. 8. 2011.

Gutenberg, B. in C. F. Richter, 1944. Frequency of earthquakes in California. Bull. Seism. Soc. Am. 34, 185-188.

INOGS, 2010. http://rts.crs.inogs.it/it/project/3_tensore-momento.html. Uporabljeno 8.8.2011.

Jesenko, T., Cecić, I., Živčić, M., Čarman, M., 2011. Potresi v Sloveniji leta 2010. V A. Gosar, ur.: Potresi v letu 2010. Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana.

Lienert, B. R., 1994. HYPOCENTER 3.2 - A Computer program for locating Earthquakes Locally, Regionally and Globally. Hawaii Institute of the Geophysics and Planetology, Honolulu, 70 str.

Michellini, A., Živčić, M., Suhadolc, P., 1998. Simultaneous inversion for velocity structure and hypocenters in Slovenia. Journal of Seismology, 2(3), 257-265.

Sinčič, P., Tasič, I., Živčić, M., Prosen, T., 2011. Potresne opazovalnice v Sloveniji v letu 2010. V A. Gosar, ur.: Potresi v letu 2010. Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana.

Snoke, J.A., Munsey, J.W., Teague, A.G., 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, No. 3, 15 str.

Utsu, T., 1992. On the nature of three Alaskan aftershock sequences of 1957 and 1958. Bull. Seis. Soc. Am. 52(2), 279-297.

Utsu, T., Ogata, Y., 1997. Statistical analysis of seismicity. V: Healey, J.h., V.I. Keilis-Borok and W.H.K. Lee, Algorithms for earthquake statistics and prediction. IASPEI software library, Vol. 6, 13-94.

-
- Waldhauser, F., 2001. HypoDD – A Progame to Compute Double-Difference Hypocenter Locations. U. S. Geol. Surv. Open File Rep. 01-113, 25 str.
- Waldhauser, F., Ellsworth, W. L., 2000. A double-difference earthquake location algorithm: Method and application to the northern Hayward fault. *Bull. Seism. Soc. Am.* 90, 1353-1368.
- Wessel, P., Smith, W.H.F., 1991. Free software helps map and display data. *EOS, Trans. AGU.*, Vol. 72 (441), 445-446 str.
- Wessel, P., Smith, W.H.F., 1998. New, improved version of the Generic Mapping Tools released. *EOS, Trans. AGU*, Vol. 79, 579 str.

Jurij Pahor, Mladen Živčić

ANALIZA OBISKANOSTI SPLETNE STRANI S SAMODEJNO
DOLOČENIMI PARAMETRI POTRESOV V LETU 2010
USAGE OF THE WEBSITE WITH AUTOMATIC EARTHQUAKE
DETERMINATIONS IN 2010

Povzetek

Na spletni strani s samodejno določenimi parametri potresov je informacija o zadnjem potresu vidna že nekaj minut po potresu. Pregled obiska te strani se hrani v arhivskih datotekah. Največ prometa v letu 2010 smo zabeležili po potresu 15. 1. 2010 pri Postojni z magnitudo 3,7, ko je bilo v prvi uri po potresu 1513 ogledov, v prvih 24 urah pa 3234 ogledov, obakrat šteto iz različnih računalnikov v ustreznih intervalih. Ugotovili smo, da obstaja korelacija med številom ogledov v prvi uri po potresu in največjo intenziteto (I_{max}). Obisk spletne strani se po potresih z intenziteto manj kot IV EMS-98 in magnitudo 2 giblje okrog 40 ogledov v prvi uri, nato pa začne naraščati. To ne velja za popotrese in za nočne potrese. Po najmočnejšem potresu v letu 2010 smo videli, da je število ogledov na minuto največje že pet minut po potresu in nato po eni uri pade na vrednost, ki se v nadaljnjih urah le počasi zmanjšuje.

Abstract

We have evaluated the usage of the ARSO web site with automatic earthquake determinations in 2010 from webserver logs. The greatest surge in web site requests was recorded after the earthquake near Postojna with magnitude 3.7 on 15.1.2010 at 14:20, which was the strongest event in Slovenia in that year. It amounted to 1513 requests from distinct IP numbers within first hour and 3234 requests in first 24 hours. The request rate per minute peaked in 5th minute after the earthquake with more than 70/min and dropped in the first hour to values around 10/min. It then steadily decreased over next few hours. We found significant correlation between maximum intensity (I_{max} EMS-98) and the number of web site views within the first hour for earthquakes that are main shocks and occurred during day hours. The relation shows a moderate request rate around -40/hour for events with intensities up to IV EMS-98 and magnitude 2, after which the interest begins to increase. In the periods with no earthquakes the web traffic for the site in question was found to be around 5/hour, which is partially due to various automated search and indexing web engines.

Uvod

Sistem za zajemanje in obdelavo podatkov Antelope (Boulder Real Time Technologies, 2011) neprekinjeno analizira podatke iz potresnih opazovalnic ter v primeru potresa (naravnega ali umetnega) določi osnovne parametre. Ta informacija je že nekaj minut po dogodku samodejno objavljena v obliki tabele na spletni strani »<http://www.arso.gov.si/potresi/obvestila> o potresih/aip/«. Na Uradu za seizmologijo in geologijo spremljamo obiskanost te spletne strani, kar lahko pripomore k oceni, v kolikšni meri so ljudje čutili določen potres. Postopek za spremljanje števila ogledov spletne strani poteka samodejno in v primeru preseženega praga (trenutno je nastavljen na 50 ogledov v uri) obvesti pripravljenega seizmologa po elektronski pošti.

Zgodovino obiskov hranimo v arhivski datoteki, iz katere preberemo čas ogleda ter IP številko računalnika obiskovalca. Pri analizi nismo izločali ogledov t.i. spletnih pajkov, ki samodejno pregledujejo in indeksirajo spletne strani. Promet v obdobjih brez potresov med aprilom in septembrom je znašal povprečno 120 dostopov na dan, torej 5 dostopov na uro. Promet, ki ga ustvarjajo spletni pajki, je v tem okviru.

Pregled obiskanosti spletne strani v letu 2010

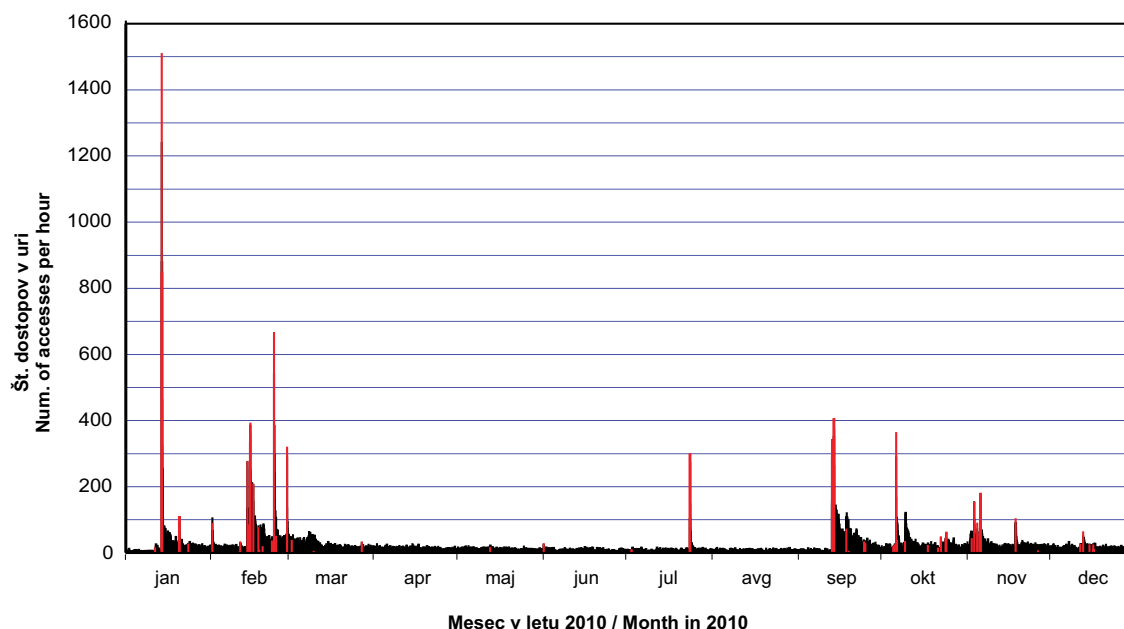
Obiskanost spletne strani s samodejno določenimi parametri potresov prikazujemo tako, da preštujemo število ogledov z računalnikov z različnimi IP številkami v vsaki polni uri (slika 1, črno). Pri tem upoštevamo samo ogleda tabele s parametri potresov, ne pa tudi njenih podstrani, saj nas zanima le, koliko različnih ljudi je poiskalo informacije o potresu na spletu. Na isti sliki je prikazano tudi število ogledov v obdobju ene ure po potresu za tiste potrese, ki so jih čutili prebivalci Slovenije (rdeče). Takih dogodkov je bilo 85 (Jesenko in drugi, 2011).

Vidimo, da je pri potresih, ki so jih prebivalci čutili, število ogledov v prvi uri naraslo na nekaj sto. Največ ogledov v prvi uri (1513) je sledilo potresu pri Postojni (Živčič in drugi, 2011), 15. 1. 2010 ob 14:20 UTC z magnitudo 3,7. Popotresu, ki je nastopil uro in dvajset minut kasneje, je sledilo 848 ogledov spletne strani, vendar je to posledica povečanega zanimanja ljudi zaradi glavnega potresa, saj je bila magnituda slednjega le 1,6. Temu potresu je sledilo večdnevno povečanje ogledov v dnevem času. Naslednje povečanje ogledov je dosegla vrsta potresov pri Naklem (Čarman in drugi, 2011), ki se je začela 14. 2. 2011 in kakšen teden povzročala precej razburjenja med prebivalci Gorenjske. V septembru in oktobru je povečanje zanimanja povzročila vrsta potresov v bližini Ilirske Bistrice (Čarman in drugi, 2011), ki se je začela z dvema nočnima potresoma magnitude 3,5 pri Koritnicah, ki sta nastala v razmiku dveh minut.

Vsa povečanja dostopov ustrezajo potresom, ki so jih prebivalci čutili in smo jim lahko določili intenziteto. V nekaterih primerih, ko je bil potres ponoči, je največji obisk spletne strani sledil šele nekaj ur kasneje. Najbolj očitno je to pri potresih 20. 9. ob 03:10 ter 11. 10. ob 01:06, kjer smo zabeležili dokaj enakomerno povečanje števila obiskov med 5. in 14. uro. Vsi časi so podani v UTC.

Odvisnost med številom ogledov v prvi uri po potresu in največjo intenziteto

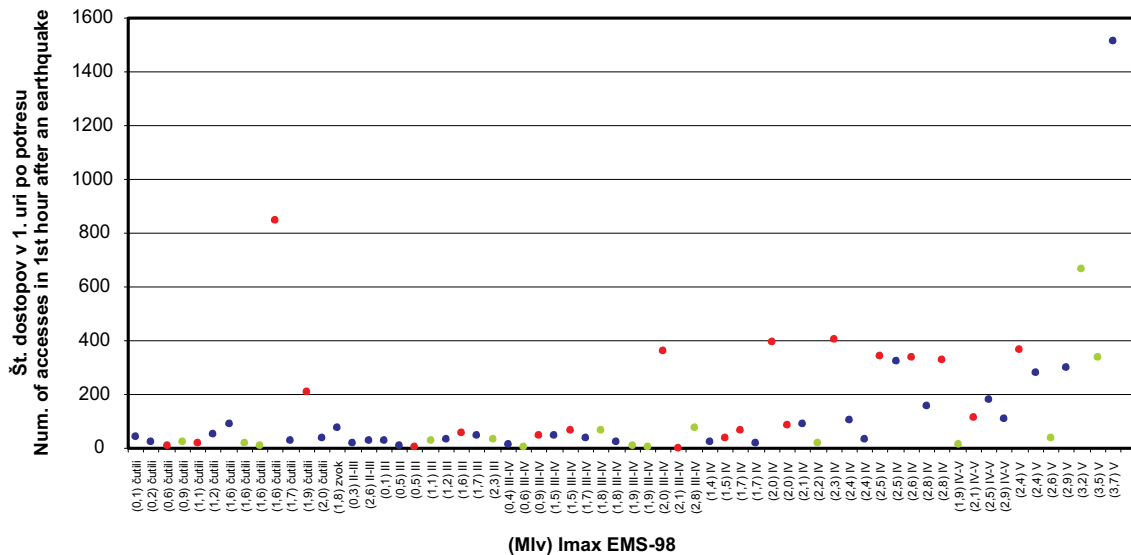
Intenziteta se določi iz učinkov potresa na ljudi, stavbe in okolje (Cecić, 2011), zato pričakujemo, da obstaja odvisnost med največjo intenziteto in številom ogledov spletne strani v prvi uri po potresu. Potrese smo uredili po največji intenziteti, znotraj tega pa še po magnitudi potresa



Slika 1: Število ogledov v enournih intervalih v letu 2010 (črno). Za potrese z opredeljeno intenziteto je podano število ogledov v prvi uri po potresu (rdeče).

Figure 1: Number of requests of web site with automatic earthquake locations per hour in 2010 (black). Number of requests in the first hour after a felt earthquake (red).

(slika 2). Točk na grafu je manj kot 85, ker smo upoštevali le glavne potrese in popotrese, ki so se zgodili več kot uro za prejšnjim potresom. Ko izvezemo rdeče točke, ki ustrezajo popotresom, ki so se zgodili manj kot 24 ur po glavnemu potresu, vidimo, da izdatnejši obisk spletne strani praviloma ustreza večjim intenzitetam. Iz grafa razberemo (modre točke), da obisk začne naraščati pri največji intenziteti IV, vendar je pogojen tudi s časom potresa, saj točke z majhnim številom ogledov v prvi uri po potresu pri intenzitetah IV do V ustrezajo nočnim potresom (slika 2, zelene točke). Prav tako opazimo, da število ogledov v prvi uri ni odvisno od magnitude. To smo tudi pričakovali, saj je obisk spletne strani odvisen od tega, kako močno so prebivalci potres čutili, to pa podaja ravno intenziteta.



Slika 2: Odvisnost števila ogledov v prvi uri po potresu in največje intenzitete (I_{max}). Prikaz je urejen naraščajoče po I_{max} in M_{LV} (v oklepajih). Z rdečimi točkami so označeni ogledi popotresov, ki so sledili glavnemu potresu v manj kot 24 urah. Z zelenimi točkami so označeni potresi, ki so se zgodili med 22. in 7. uro.

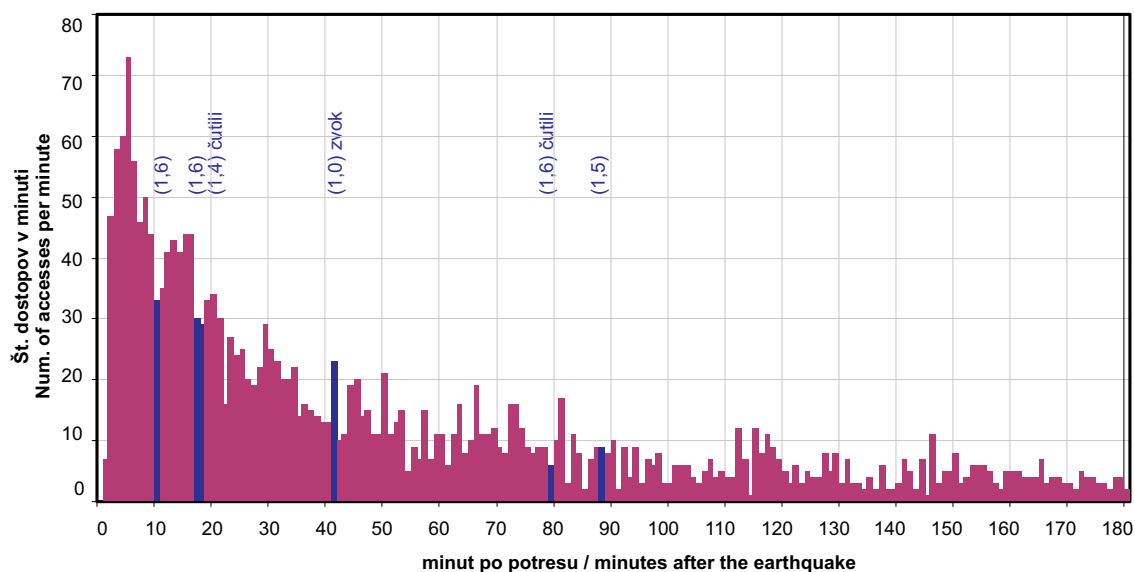
Figure 2: Relation between the number of web site requests in the first hour after an earthquake and maximum intensity (I_{max} EMS-98). Earthquakes are sorted by I_{max} and by local magnitude M_{LV} (in parentheses). Aftershocks that occurred less than 24 hours after main event are printed in red. Events that happened between 22 and 7 hours are printed in green.

Časovni potek obiska spletne strani po potresu

Poglejmo si še, kako se je gibalo zanimanje za samodejno določene parametre najmočnejšega potresa v letu 2010, torej potresa, ki se je zgodil 15. 1. pri Postojni z magnitudo 3,7 in največjo intenziteto V po EMS-98. Na sliki 3 je prikazano število ogledov spletne strani na minuto za obdobje treh ur po potresu. V triurnem obdobju je od morebitnih večkratnih dostopov iz istega računalnika upoštevan le prvi. Število ogledov je takoj po potresu strmo naraslo in doseglo vrh v 5. minuti (preko 70 ogledov), nato pa se je po približno eni uri ustalilo na vrednosti okrog 5 dostopov na minuto, kar je še vedno visoko nad običajnim obiskom (5 v uri). Nekaj lokalnih porastov lahko pripišemo popotresnim sunkom, ki so se zgodili v časovnih intervalih, ki so na grafu označeni temneje. V isti barvi so izpisane tudi magnitude in največje intenzitete teh popotresov.

Zaključek

Obisk spletne strani s samodejno določenimi parametri potresov se po potresih poveča iz normalne aktivnosti okrog 5 na več sto ogledov na uro. Znatno povečanje obiskanosti smo zabeležili za potrese z največjo intenziteto IV ali več ter magnitudo 2,0 ali več. Ugotovili smo, da je številom ogledov v prvi uri po potresu odvisno od največje intenzitete, od magnitude pa ni. Pri najmočnej-



Slika 3: Število ogledov v minutnih intervalih za obdobje treh ur po potresu 15. 1. 2010 pri Postojni. Pri temnejših vrednostih so se zgodili popotresi z magnitudo in intenziteto, ki je izpisana nad grafom.

Figure 3: Number of requests per minute in three hour period after the earthquake near Postojna on 15.1.2010 with magnitude 3.7 and maximum intensity V EMS-98. Five aftershocks that happened in this period are denoted in dark colour, along with according local magnitudes (in parentheses) and intensities.

šem potresu v letu 2010 smo največ ogledov zabeležili v prvi uri po potresu, nato je zanimanje v naslednjih nekaj urah počasi upadalo. Podobno obnašanje smo opazili tudi pri drugih potresih.

Literatura

- Boulder Real Time Technologies, inc. (online), 2011 (citirano 29. 7. 2011). Antelope Real Time System. Dostopno na naslovu: <http://www.brtd.com/>
- Jesenko T., Cecić I., Živčič M., Čarman M., 2011. Potresi v Sloveniji leta 2010. Potresi v letu 2010, Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo, Ljubljana.
- Čarman M., Živčič M., Ložar Stopar M., 2011. Potresi pri Postojni leta 2010. Potresi v letu 2010, Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo, Ljubljana.
- Čarman M., Živčič M., Ložar Stopar M., Cecić I., 2011. Potresi pri Naklem leta 2010. Potresi v letu 2010, Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo, Ljubljana.
- Čarman M., Živčič M., Ložar Stopar M., 2011. Potresi na Ilirsko-Bistriškem leta 2010. Potresi v letu 2010, Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo, Ljubljana.
- Cecić I., 2011. EMS-98 (kratka verzija – slovenski prevod). Potresi v letu 2010, Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo, Ljubljana.
- Agencija Republike Slovenije za okolje, spletna stran s samodejno določenimi parametri zadnjih potresov, 2011 (citirano 29. 7. 2011).
- Dostopno na naslovu: [http://www.arso.gov.si/potresi/obvestila o potresih/aip/](http://www.arso.gov.si/potresi/obvestila%20o%20potresih/aip/)

Barbara Šket Motnikar, Polona Zupančič

KARTA POTRESNE INTENZITETE SLOVENIJE SEISMIC INTENSITY MAP OF SLOVENIA

Povzetek

Z verjetnostnim postopkom prostorskega glajenja potresne dejavnosti je izdelana nova karta potresne nevarnosti – karta potresne intenzitete. Namenjena je za potrebe civilne zaščite pri načrtovanju ukrepov ob potresih, ne sme pa se uporabljati za projektiranje. Karta potresne intenzitete vsebuje območja stopnje VI, VII in VIII EMS. Pas največje potresne nevarnosti (intenziteta VIII EMS) poteka po osrednjem delu Slovenije od severozahoda proti jugu in jugovzhodu države in pokriva več kot polovico ozemlja. Tu živi dobra polovica prebivalcev Slovenije. Z oddaljevanjem od tega pasu se potresna nevarnost zmanjša na VII EMS, na skrajnem severovzhodnem in jugozahodnem delu pa je ocenjena na VI EMS. Karta je narejena za povratno dobo 475 let, kar ustreza 90-odstotni verjetnosti, da vrednosti na karti v 50 letih ne bodo presežene. Pri izračunu so upoštevana povprečna dejanska tla dane stopnje intenzitete.

Abstract

A new seismic hazard map of Slovenia in terms of EMS intensity is calculated using spatially smoothed seismicity approach. It takes into account the average soil characteristics in each area of intensity degree. The map is prepared for the usage in the system of civil protection and shall not be used for design purpose. The intensity values on the Slovenian map ranges from VI to VIII EMS. The largest value (VIII EMS) is ascribed to better part of Slovenian territory in the wide central area from NW to S and SE. Approximately 54 % of inhabitants live in that area. The intensity map is calculated for the return period of 475 years, meaning that probability of values not being exceeded in 50 years is 0.9.

Uvod

Učinki potresa na ljudi, objekte in naravo so odvisni od velikosti potresa, oddaljenosti do žarišča potresa, žariščnega mehanizma, geoloških, geomehanskih in topografskih lastnosti in od širjenja potresnih valov. Učinke količinsko ovrednotimo z intenzitetno lestvico. Od leta 1995 v Sloveniji uporabljamo evropsko potresno lestvico EMS (Grünthal, 1998). Kratek opis posameznih stopenj lestvice je podan v prispevku (Cecić, 2011). Navadno so največji učinki potresa v nadžariščnem območju (nadžariščna intenziteta I_0), z oddaljenostjo pa učinki pojemajo. Intenziteto potresa (I) tako ocenimo glede na opazovano lokacijo; enemu potresu lahko določimo več intenzitet (I), a samo eno magnitudo (M), ki meri velikost potresa.

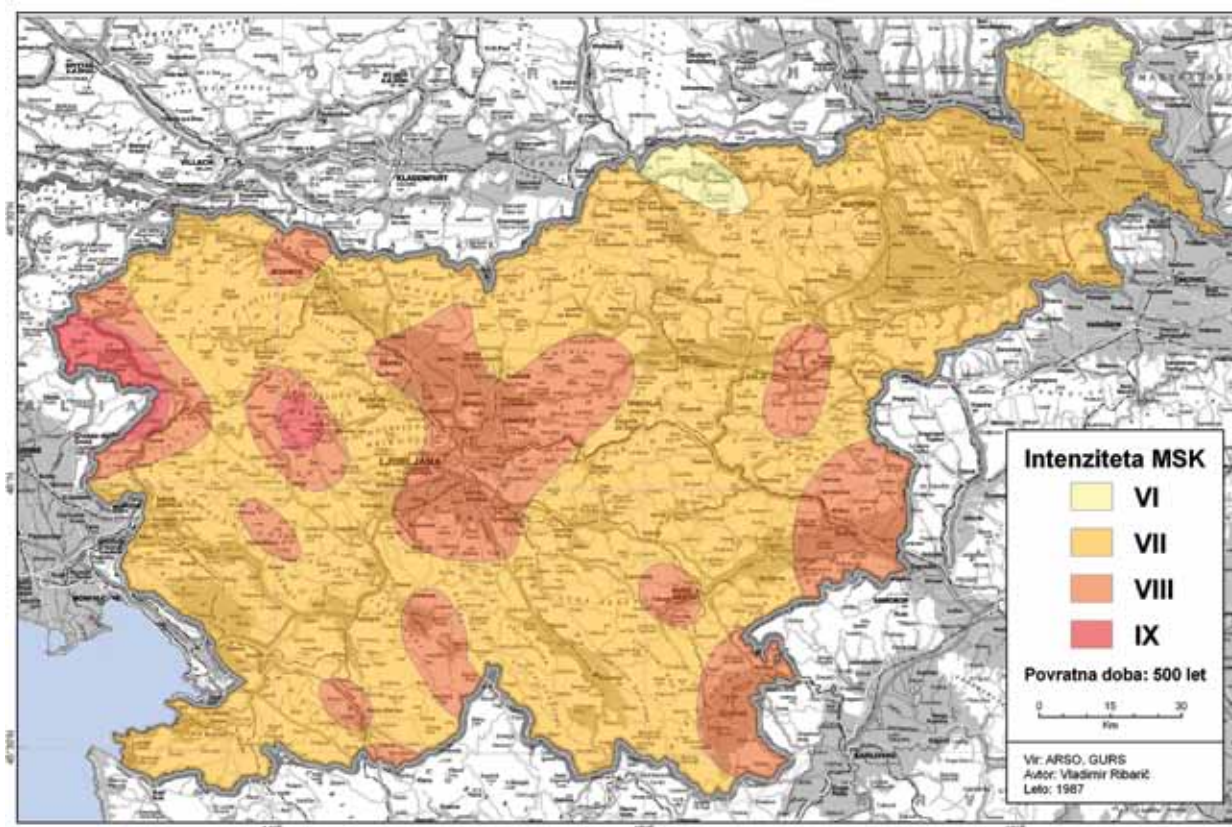
Dosedanja karta potresne intenzitete Slovenije za povratno dobo 500 let (slika 1) (Ribarič, 1987) je bila do leta 2008 del veljavnih predpisov o potresno odporni gradnji – Pravilnik (z dopolnitvami) o tehničnih normativih za graditev objektov visoke gradnje na seizmičnih območjih (UL SFRJ št. 31/1981, 49/1982, 52/1990). Narejena je bila po dopoljnjeni metodi ekstremnih vrednosti ob upoštevanju avtorjevih bogatih strokovnih izkušenj in seizmotektonskih značilnosti ozemlja.

S Pravilnikom o mehanski odpornosti in stabilnosti objektov (Uradni list RS, št. 101/2005) je leta 2008 Slovenija uradno sprejela evropski standard za potresno odporno gradnjo Evrokod 8 oziroma EC8 (SIST EN-1998-1:2005), po katerem moramo za projektiranje uporabljati karto referenčnih vrednosti maksimalnega pospeška tal na tleh tipa A. Pripravljen je tudi Nacionalni dodatek (SIST EN 1998-1:2005/oA101:2005), ki za projektiranje določa karto Potresna nevarnost Slovenije - Projektni pospešek tal (slika 2) (Lapajne in drugi, 2001).

Za potrebe civilne zaščite in za širšo javnost je namesto projektnega pospeška bolj uporabna karta potresne intenzitete, saj prikazuje stopnjo pričakovanih potresnih učinkov na ljudi in objek-

te. Neposredno, že v definiciji posamezne stopnje intenzitete, je določen statistični delež ogroženih objektov posameznega tipa gradnje.

V prispevku je predstavljena sodobna intenzitetna karta, ki je narejena po isti metodologiji kot uradna karta projektnega pospeška tal – s postopkom prostorskega glajenja potresne dejavnosti (Lapajne in drugi, 2003). Verjetno je bil ta postopek prvič uporabljen za izračun karte intenzitete. Tako kot karta projektnega pospeška tal je tudi karta potresne intenzitete izračunana za povratno dobo 475 let, kar ustreza 90-odstotni verjetnosti, da vrednosti na karti v 50 letih ne bodo presežene. Za razliko od projektnega pospeška, ki je opredeljen na trdnih tleh, pa karta intenzitete upošteva povprečne značilnosti tal znotraj območja posamezne stopnje intenzitete. Na intenziteto vplivajo tudi značilnosti lokalne geološke podlage, kar pa na državni karti potresne nevarnosti ni upoštevano. Te učinke je potrebno preučevati posebej, največkrat na ravni posamezne občine (potresna mikrorajonizacija).



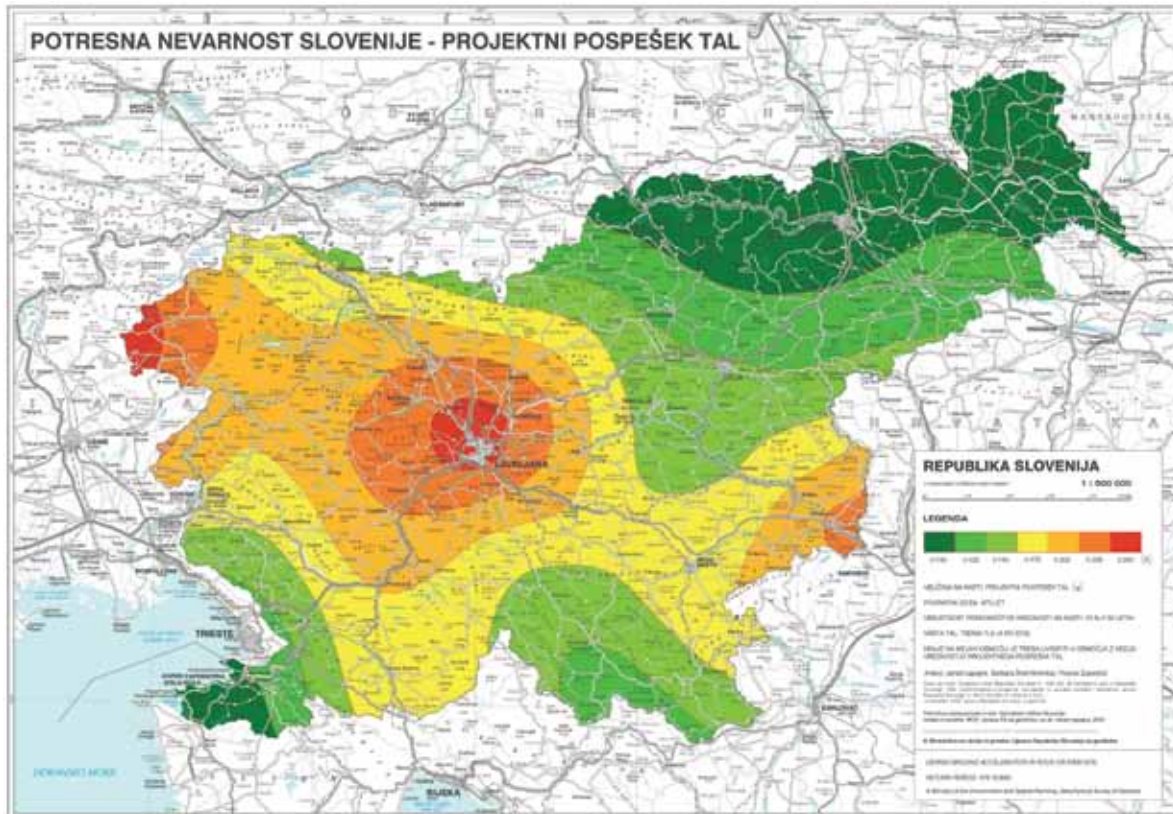
Slika 1: Dosedanja karta potresne intenzitete za povratno dobo 500 let.

Figure 1: Previous seismic intensity map for return period 500 years.

Vhodni podatki in parametri

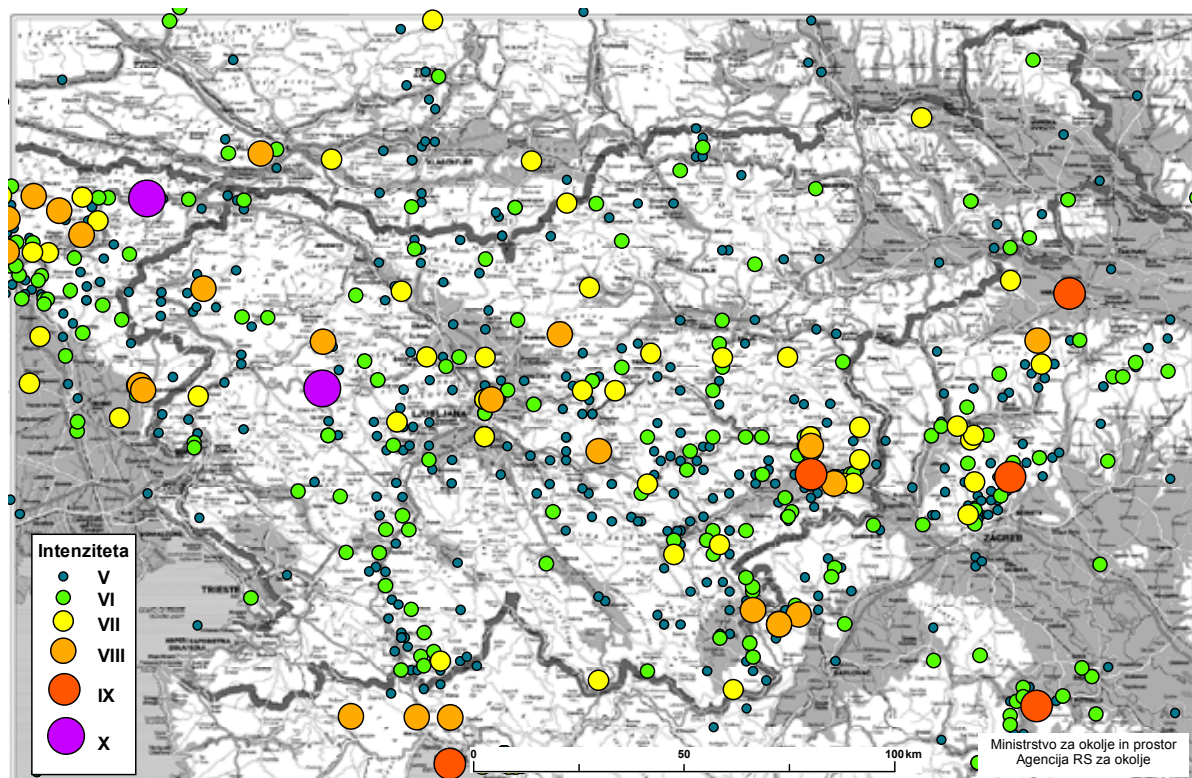
Katalog potresov

Vir seizmoloških podatkov je poenoten katalog potresov Slovenije in sosednjih dežel, ki je bil zadnjič dopolnjen leta 2010 (Živčič, interna dokumentacija). Katalog zajema obdobje 1201-2010 in površino dobrih 100.000 km². Skrajne meje tega območja so slabih 100 km od meja Slovenije. Opredelitve intenzitetnih stopenj so se skozi zgodovino spreminjale (Lapajne, 2007). V Evropi so prevladale 12 stopenjske intenzitetne lestvice: MCS (Mercalli-Cancani-Siebergova lestvica; od leta 1923), MSK (Medvedev-Sponheuer-Karnikova lestvica; od leta 1964) in EMS (evropska makroseizmična lestvica; od leta 1992 dalje). Delno so bile različne intenzitetne lestvice poenotene že v Ribaričevem katalogu (Ribarič, 1994), sicer pa so razlike med intenzitetnimi stopnjami na teh lestvicah manjše, kot je nezanesljivost določitve stopnje intenzitete pri zgodovinskih potresih.



Slika 2: Uradna karta potresne nevarnosti Slovenije – projektni pospešek tal.

Figure 2: Official seismic hazard map of Slovenia – design ground acceleration map.



Slika 3: Potresi (brez popotresov) z nadžariščno intenziteto V EMS ali več.

Figure 3: Earthquakes (without aftershocks) with epicentral intensity V EMS or larger.

Zato so v katalogu vrednosti vseh intenzitetnih lestvic obravnavane enotno, in sicer kot danes veljavna lestvica EMS (Grünthal, 1998; Cecić, 2011).

V katalogu potresov nekatere vrednosti nadžariščne intenzitete niso celoštevilске. Vmesna vrednost (na primer VI-VII) pomeni, da ima intenziteta vse značilnosti spodnje (VI) in tudi nekatere značilnosti zgornje stopnje (VII), ki pa je zaradi premajhnega števila podatkov ne moremo potrditi. Vmesne vrednosti intenzitete so bile zato pred izračunom zaokrožene: polovico vseh vrednosti navzgor in polovico navzdol. Za izločanje popotresov so bili uporabljeni enak postopek in parametri časovno prostorskega okna kot pri izračunu karte projektnega pospeška tal. Vseh potresov v katalogu je 4921. Po izločitvi popotresov jih ostane 2402, od tega jih ima 1046 nadžariščno intenziteto V EMS ali več (slika 3).

Celovitost podkatalogov

Čim starejši so dogodki v katalogu, tem večja je verjetnost, da so njihovi opisi manj zanesljivi in so zato parametri podani z manjšo natančnostjo, šibkejši potresi pa morda sploh niso zabeleženi. Za oceno potresne nevarnosti po verjetnostnem postopku pa je potreben celovit (kompleten) podkatalog, to je del kataloga, v katerem so zabeleženi vsi potresi z nadžariščno intenziteto I_0 nad izbrano spodnjo mejo. Katalog je bil zato razdeljen na pet časovnih obdobj (za pet različnih spodnjih vrednosti intenzitete), ki predstavljajo pet celovitih podkatalogov. Pri izračunu so bili upoštevani vsi potresi, ki spadajo vsaj v en celovit podkatalog:

- M1: leto ≥ 1945 , $I_0 \geq V$ EMS
- M2: leto ≥ 1895 , $I_0 \geq VI$ EMS
- M3: leto ≥ 1800 , $I_0 \geq VII$ EMS
- M4: leto ≥ 1500 , $I_0 \geq VIII$ EMS
- M5: leto ≥ 1200 , $I_0 \geq IX$ EMS

Določitev vrednosti parametra b

Običajno predpostavimo, da število potresov pada z magnitudo po logaritemsko linearni relaciji (Gutenberg in Richter, 1944) ali po posplošeni dvojno odsekani eksponentni relaciji (Cornell in Vanmarcke, 1969). Nadžariščna intenziteta je približno linearno povezana z magnitudo (npr. Živčić, 1992), zato lahko tudi zanjo predpostavimo dvojno odsekano eksponentno povezavo s številom potresov. Za ocenjevanje parametra b , ki določa razmerje med številom velikih in majhnih potresov, smo tako kot pri ocenjevanju projektnega pospeška tal uporabili metodo največjega verjetja (Weichert, 1980) in lasten računalniški program. Upoštevali smo vse potrese v podkatalogu M1 na območju približno 40 km okrog Slovenije, za zgornjo mejo pa smo izbrali enotno intenziteto X EMS. Izračunana vrednost b je enaka 0,54.

Model pojemanja intenzitete

Model pojemanja intenzitete pove, kako se učinki potresa manjšajo z razdaljo v odvisnosti od nadžariščne intenzitete in globine žarišča. Model pojemanja je eden izmed vhodnih podatkov, ki imajo največji vpliv na končne rezultate. Intenziteta na dani lokaciji je (med drugim) odvisna od globine potresa: plitvi potresi imajo na nadžariščnem območju večje učinke, a prizadenejo manjše območje kot globlji potresi. Potresi v Sloveniji imajo večinoma globine do 20 km, povprečna globina pa je okrog 10 km. Med posameznimi območji Slovenije smo sicer opazili razlike v povprečni globini, vendar le te niso statistično značilne, upoštevati pa moramo tudi veliko nenatančnost pri določitvi globine zgodovinskih potresov. Za določitev modela pojemanja intenzitete smo zato za celotno ozemlje Slovenije privzeli enotno globino 10 km.

Model pojemanja za območje Slovenije smo določili na podlagi obstoječih kart izoseist 17 potresov iz obdobja 1897-2004: šest iz osrednje Slovenije, tri iz jugozahodne, šest iz vzhodne in dva

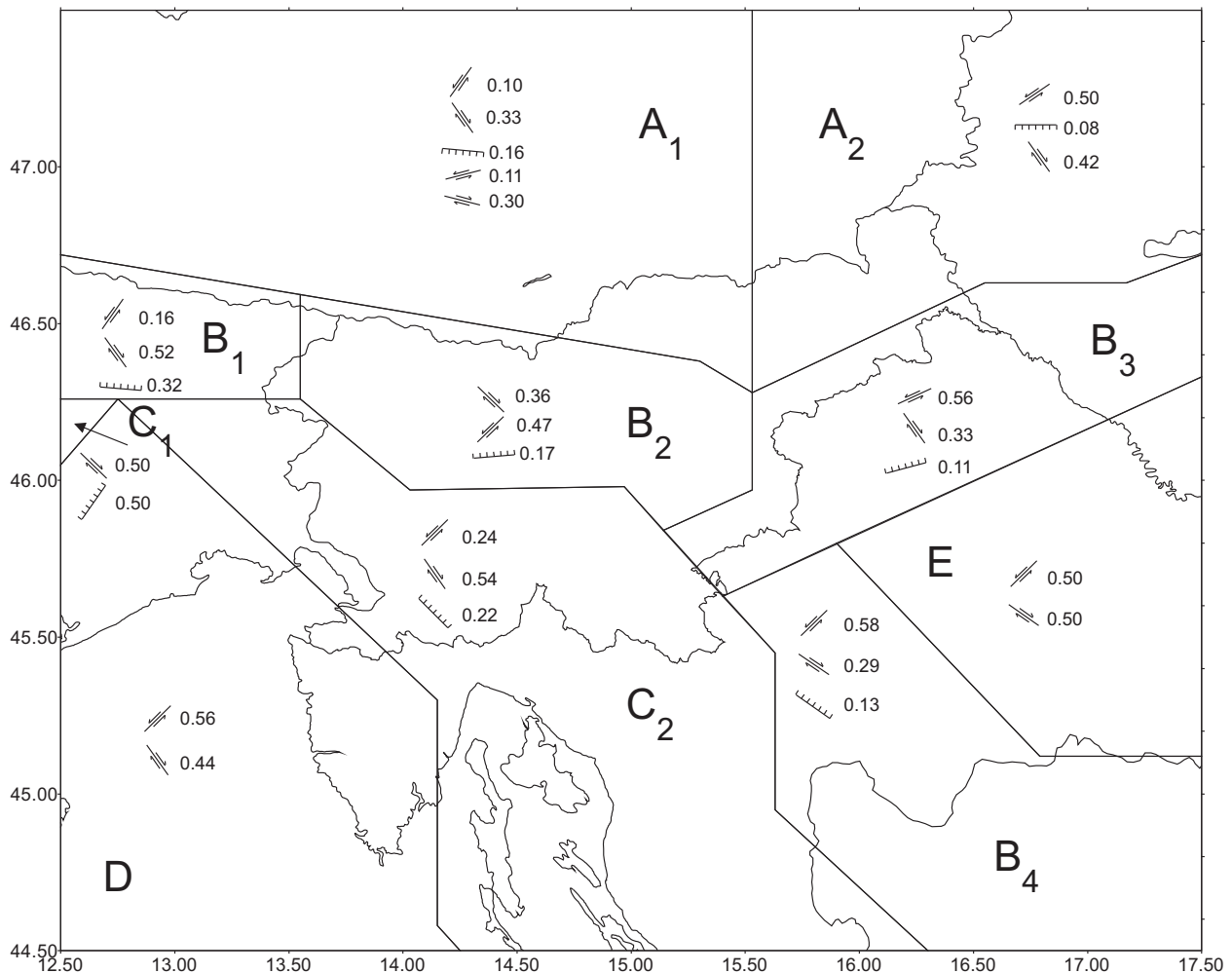
iz Posočja. Za vse potrese so podani povprečni intenzitetni polmeri, nadžariščna intenziteta pa je med VI in VIII. Preiskusili smo tri uveljavljene oblike enačbe modela pojemanja intenzitete (na primer Sponheuer, 1960): Koevesligethy-jev model in dva regresijska modela.

Izkazalo se je, da je Koevesligethyjev model zelo občutljiv, saj se z vsakim dodanim potresom edini parameter modela zelo spreminja, prav tako pa so zelo velike razlike tudi v različnih smereh (azimutih). Tega modela zato nismo uporabili za ocenjevanje potresne nevarnosti, koeficiente drugih dveh modelov pa smo določili z regresijsko metodo. Zaradi manjše standardne napake smo za končni model pojemanja intenzitete na območju Slovenije izbrali model, ki intenziteto I na dani lokaciji povezuje z nadžariščno intenziteto I_0 in žariščno razdaljo R :

$$I_0 - I = 4,15 \log R - 0,0063 R - 4,09; \text{ st. napaka: } 0,537; \text{ koeficient pojasnitvenosti: } 82 \%$$

Izdelava karte potresne intenzitete

Postopek ocenjevanja potresne intenzitete je enak postopku izračuna projektnega pospeška tal in je izpeljan iz izpopolnjenega Franklovega postopka glajenja potresne dejavnosti (Frankel, 1995; Lapajne in drugi, 2003). Obravnavano območje je razdeljeno na mrežo celic, velikih 10 km



Slika 4: Poenostavljen seizmotektonski model Slovenije (Poljak in drugi, 2000).

Figure 4: Simplified seismotectonic model of Slovenia (Poljak et al., 2000).

x 10 km, v katerih preštejemo pretekle potrese nad spodnjo mejo magnitude. Število potresov v posamezni celici nato zgladimo z dvostopenjskim postopkom. Ustrezne enačbe glajenja so bile že večkrat objavljene (na primer Lapajne in drugi, 2003). Prva stopnja je krožno Gaussovo glajenje, s čimer upoštevamo napako lokacije nadžarišč. Polmer krožnega glajenja je enak 30 km, kar približno ustreza ocenjeni napaki lokacije v katalogu potresov Slovenije za obdobje zadnjih 300 let. Na drugi stopnji opravimo eliptično glajenje, pri čemer so osi elipse v smeri prevladujočih prelomov. Smeri prelomov so določene v poenostavljen seizmotektonskem modelu Slovenije (Poljak in drugi, 2000), ki smo ga uporabili tudi za ocenjevanje projektnega pospeška tal. Polmer eliptičnega glajenja je enak največji dolžini pretrga, ki ga izračunamo iz največje možne intenzitete, ki lahko nastane na posameznem območju (slika 4). Ocene največje intenzitete so določene subjektivno (Mladen Živčič, 2010, osebni pogovor) in sicer: VIII EMS (na območjih A2, D, E), IX EMS (A1, B2, B3, B4, C2) ali X EMS (B1, C1). Dolžino pretrga smo približno ocenili z uveljavljenimi relacijami (Wells in Coppersmith, 1994), ki pa smo jih predhodno priredili za intenziteto.

Letno verjetnost prekoračitve dane intenzitete izračunamo po standardnem Cornellovem (1968) postopku. Za izdelavo karte potresne intenzitete smo uporabili lasten računalniški program OHAZ, ki je bil nadgrajen za potrebe intenzitete (Zabukovec, 2000; Šket Motnikar in drugi, 2007).

Intenziteto smo izračunali v središču vsake celice mreže, vrednosti izven teh točk pa so določene z interpolacijo. Vse vrednosti so zaokrožene na najbližje celo število, ki ustreza celoštevilskim stopnjam potresne intenzitete po lestvici EMS. Karta potresne intenzitete vsebuje območja stopnje VI, VII in VIII EMS (slika 5). Pas največje potresne nevarnosti (intenziteta VIII EMS) poteka po osrednjem delu Slovenije od severozahoda proti jugu in jugovzhodu države. Z oddaljevanjem od tega pasu se potresna nevarnost zmanjša na VII EMS, na skrajnem severovzhodnem in jugovzhodnem delu pa je ocenjena na VI EMS.

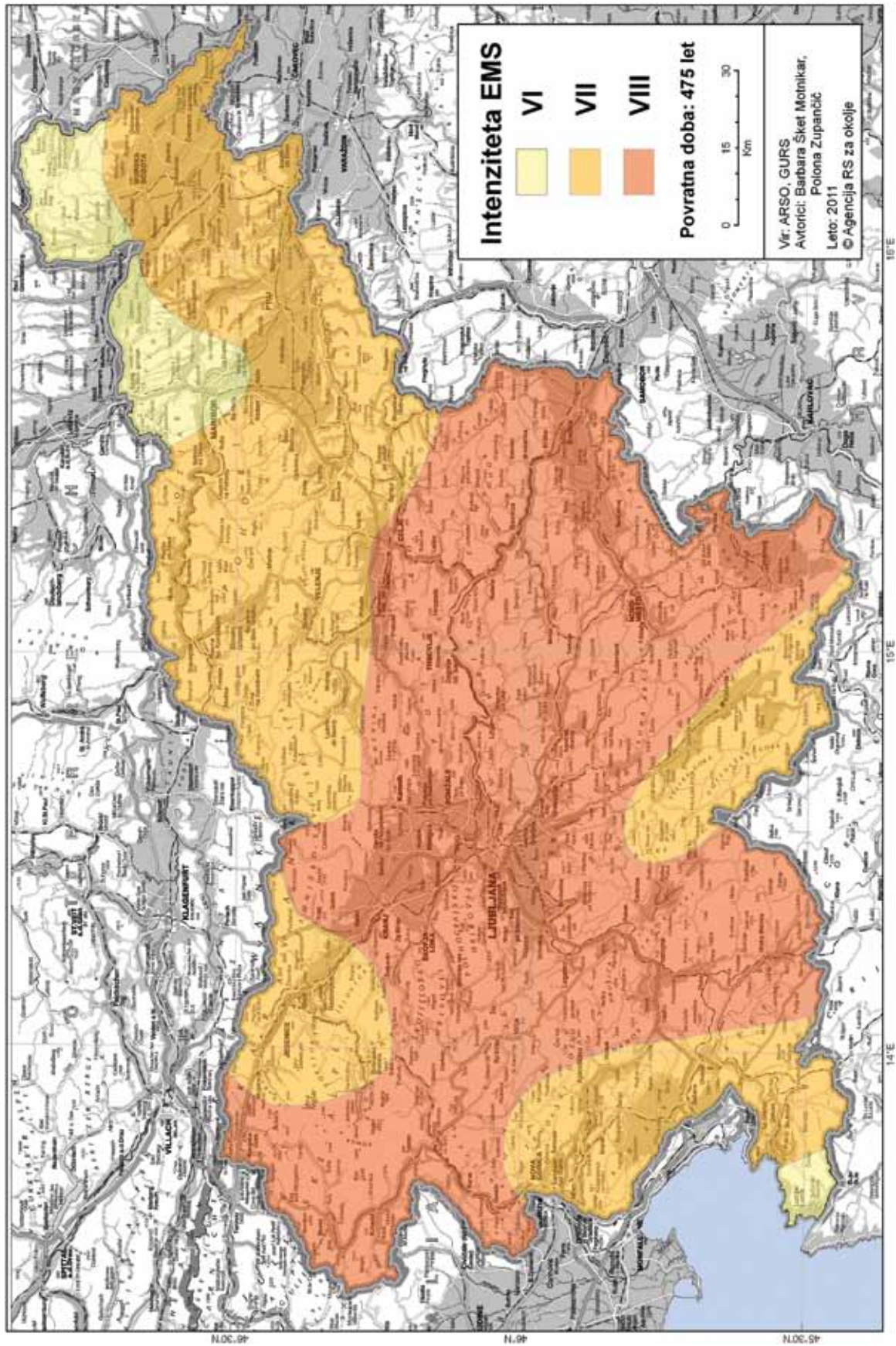
Statistična analiza

Poudarjamo, da so vrednosti na karti izračunane po verjetnostnem postopku in podane za povratno dobo 475 let. Pomen tega razložimo na primeru Ljubljane, ki ima na karti ocenjeno intenziteto VIII EMS. Povratna doba 475 let je povprečen čas med dvema potresoma, ki v Ljubljani povzročita potresne učinke VIII EMS. Z 90-odstotno verjetnostjo pričakujemo, da stopnja VIII EMS v Ljubljani v 50 letih ne bo presežena. Z 10-odstotno verjetnostjo pa so učinki lahko večji. Zato ne moremo trditi, da v 50 letih (ali še toliko bolj v daljšem obdobju) ne bo potresa, ki bi v Ljubljani povzročil intenziteto IX EMS. Po drugi strani pa ne moremo z gotovostjo pričakovati intenzitete VIII EMS v dani povratni dobi. Verjetnost, da se bo v 475 letih zgodil potres z učinki VIII EMS, je namreč „le“ 63-odstotna.

Dobra polovica ozemlja Slovenije leži na območju, kjer so na karti potresne intenzitete učinki ocenjeni z VIII EMS. V tem območju ležijo tudi najbolj naseljena mesta: Ljubljana in Kranj s širšo okolico, Celje, Novo mesto (slika 6). Na tem območju ima po podatkih Centralnega registra prebivalstva marca 2011 stalni naslov okrog 53 % prebivalcev Slovenije. Na območju VII EMS je 41 % površine in 36 % prebivalcev, na območju VI EMS pa 5 % površine oziroma 11 % prebivalcev (preglednica 1). Med 211 občinami jih 102 vsaj delno sega v območje VIII EMS, 95 občin ima največjo intenziteto VII, 14 občin pa leži v območju intenzitete VI.

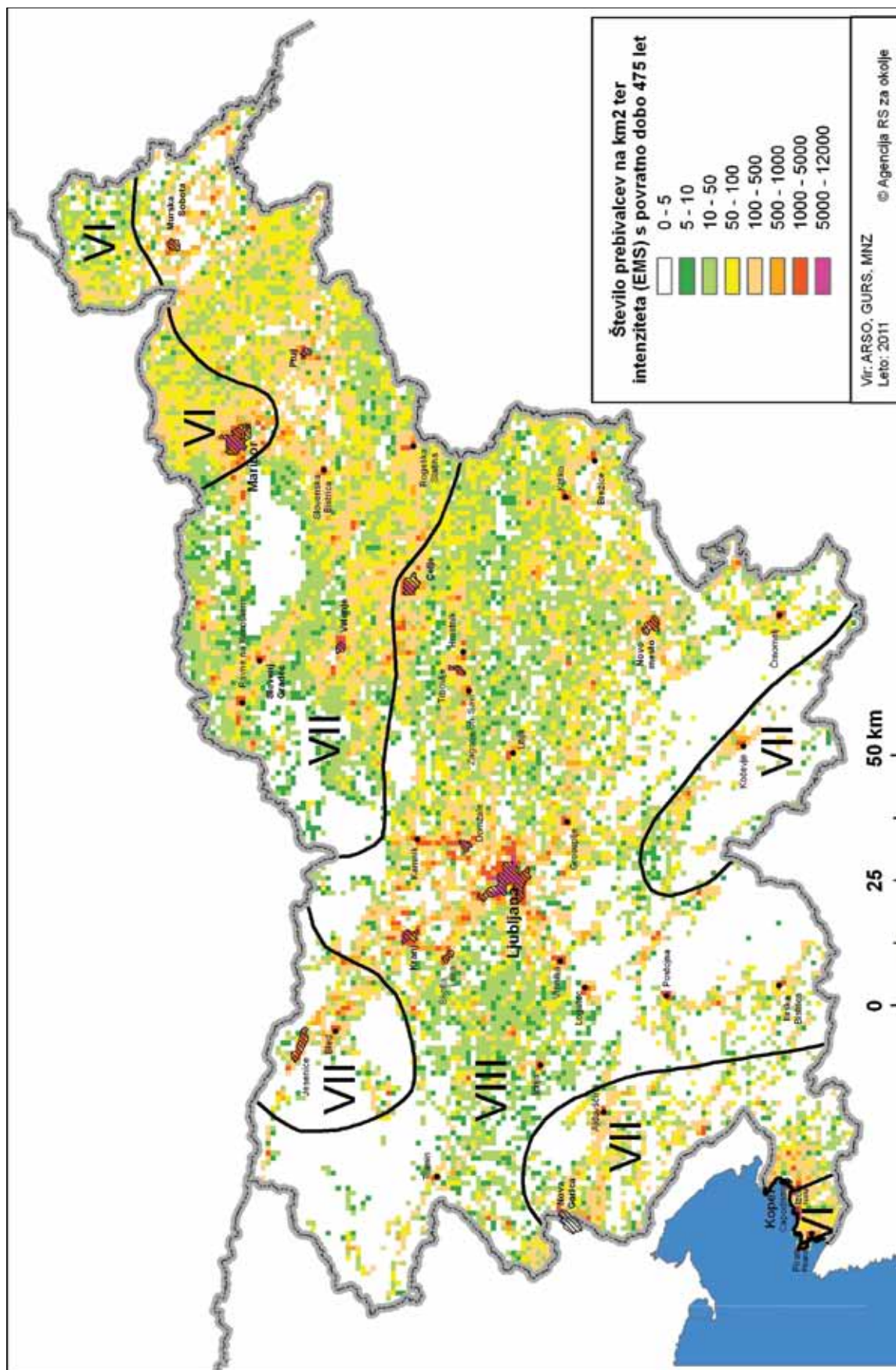
Sklep

Karta potresne intenzitete je nova informacija širši javnosti in predvsem službam civilne zaščite pri načrtovanju ukrepov za zmanjševanje škode ob potresih. Ne sme pa se uporabljati za projektiranje. Zaradi primerljivosti s karto projektnega pospeška tal smo uporabili postopek prostorskega glajenja potresne dejavnosti (Lapajne in drugi, 2003) in ga prilagodili izračunu intenzitete. Prav tako smo smiselno uporabili iste vrednosti vhodnih parametrov kot za karto projektnega pospeška tal. Za izračun je bil uporabljen računalniški program OHAZ, ki ga je bilo treba dopol-



Slika 5: Nova karta potresne intenzitete za povratno dobo 475 let.

Figure 5: New seismic intensity map for return period of 475 years.



Slika 6: Število prebivalcev na km² in ocenjena potresna intenziteta za povratno dobo 475 let.

Figure 6: Number of inhabitants per km² and seismic intensity values for return period of 475 years.

Preglednica 1. Delež površine in prebivalstva po posameznih stopnjah intenzitete EMS.

Table 1. Area size and number of inhabitants in different intensity zones.

Potresno območje Intensity (EMS)	Površina Area		Stalni prebivalci Permanent inhabitants 2010		Začasni prebivalci Temporary inhabitants 2010	
	km ²	%		%		%
VIII	10.900	53,8	1.083.606	53,13	74.940	57,24
VII	8.295	40,9	733.306	35,95	37.725	28,82
VI	1.077	5,3	221.743	10,87	18.183	13,89
ni podatka no data			966	0,05	67	0,05
skupaj total	20.272	100,00	2.039.621	100,00	130.915	100,00

ni zaradi posebne oblike modela pojemanja intenzitete (Šket Motnikar in drugi, 2007). Verjetno smo s tem prvi uporabili postopek prostorskega glajenja potresne dejavnosti za intenziteto. Tako kot karta projektnega pospeška tal je tudi karta potresne intenzitete izračunana za povratno dobo 475 let, kar ustreza 90-odstotni verjetnosti, da vrednosti na karti v 50 letih ne bodo presežene. Pri izračunu so upoštevana povprečna dejanska tla dane stopnje intenzitete. Na območju z intenziteto VIII EMS leži dobra polovica površine in živi več kot polovica prebivalstva Slovenije.

Literatura

- Cecić, I., 2011. Evropska potresna lestvica – kratka verzija, Potresi v letu 2010, ARSO, Ljubljana.
- Cornell, C. A., 1968. Engineering seismic risk analysis, Bull. Seism. Soc. Am. 58, 1583–1606.
- Cornell, C.A. in E. H. Vanmarcke, 1969. The major influences on seismic risk, Proceedings of the Fourth World Conference on Earthquake Engineering, Santiago, Chile, A-1, 69-93.
- Frankel, A., 1995. Mapping seismic hazard in the Central and Eastern United States, Seismological Research Letters, Vol. 66, No. 4, 8-21.
- Grünthal, G. (ur.), 1998. European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98). Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie 15, Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, Luxembourg, 99 str., in pripadajoča spletna stran:
http://www.gfz-potsdam.de/portal/gfz/Struktur/Departments/Department+2/sec26/resources/documents/PDF/EMS-98_Original_englisch_pdf?binary=true&status=300&language=de
 (uporabljena 20. 5. 2011)
- Gutenberg, B. in C. F. Richter, 1944. Frequency of earthquakes in California, Bull. Seism. Soc. Am. 34, 185-188.
- Lapajne, J., Šket Motnikar, B., Zupančič, P., 2001. Nova karta potresne nevarnosti – projektni pospešek tal namesto intenzitete. Gradbeni vestnik 50, 140-149.
- Lapajne, J.K., Šket Motnikar, B., Zupančič, P., 2003. PSHA methodology for distributed seismicity, Bull. Seism. Soc. Am., Vol. 93, No. 6, 2502-2515.
- Lapajne, J., 2007. Intenziteta potresa in makroseizmična lestvica. Ujma 21, 130-132.
- Poljak M., Zupančič P., Lapajne, J. K., Šket Motnikar B., 2000. Seismotectonic input for spatially smoothed seismicity approach, Proceedings of Workshop Seismicity modelling in seismic hazard mapping, Poljče, 117-124.
- Uradni list SFRJ, št. 31/1981, Pravilnik o tehničnih normativih za graditev objektov visoke gradnje na seizmičnih območjih, 844-855.
- Uradni list SFRJ, št. 49/1982, Pravilnik o spremembi pravilnika o tehničnih normativih za graditev objektov visoke gradnje na seizmičnih območjih, 1249-1251.

- Uradni list SFRJ, št. 52/1990, Pravilnik o spremembah in dopolnitvah pravilnika o tehničnih normativih za graditev objektov visoke gradnje na seizmičnih območjih, 1729.
- Ribarič, V., 1994. Seizmičnost Slovenije - Katalog potresov, Dodatek 2, Seizmološki zavod SR Slovenije, Ljubljana, 91 str.
- Ribarič, V., 1987. Seizmološka karta za področje SR Slovenije, Seizmološki zavod SR Slovenije, Ljubljana.
- SIST EN 1998-1:2005 - Evrokod 8 - Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij - 1. del: Splošna pravila, potresni vplivi in pravila za stavbe, slovenski standard, Slovenski inštitut za standardizacijo, Ljubljana, 2005 - Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, angl. standard, I.
- SIST EN 1998-1:2005/oA101:2005 - Evrokod 8 - Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij - 1. del: Splošna pravila, potresni vplivi in pravila za stavbe - Nacionalni dodatek, Slovenski inštitut za standardizacijo, Ljubljana.
- Sponheuer, W., 1960. Methoden zur Herdtiefenbestimmung in der Makroseismik. Freiburger Forschungshefte, C 88, Geophysik, Akademie Verlag, Berlin, 120 str.
- Šket Motnikar, B., Zupančič, P., Kuka, N., Zabukovec, B., 2007. OHAZ version 6.0, Computer Program for Seismic Hazard Calculation, User's Manual, ARSO, ISA, Ljubljana.
- Uradni list RS, št. 101/2005, Pravilnik o mehanski odpornosti in stabilnosti objektov.
- Weichert, D. H., 1980, Estimation of the earthquake recurrence parameters for unequal observation periods for different magnitudes, Bull. Seism. Soc. Am. 70, 1337-1346.
- Wells, D. L. in Coppersmith, K. J., 1994. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement, Bull. Seism. Soc. Am. 84, št. 4, 974-1002.
- Zabukovec B., 2000. OHAZ - A computer program for spatially smoothed seismicity approach, Proceedings of Workshop Seismicity modeling in seismic hazard mapping, Poljče, 135-140.
- Živčič, M., 1992, Katalog potresov, Dodatek k: Inštitut za konstrukcije, potresno inženirstvo in računalništvo, Verjetnostna ocena potresne nevarnosti na lokaciji Nuklearne elektrarne Krško, Revizija 1, Končno poročilo, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo, Univerza v Ljubljani, 1994.
- Živčič, M., 2010. Katalog potresov, interna dokumentacija, ARSO.

Tamara Jesenko, Manfred Deterding

MOČNEJŠI POTRESI PO SVETU LETA 2010 WORLD'S LARGEST EARTHQUAKES IN 2010

Povzetek

Leta 2010 je bilo po svetu 83 potresov, ki so dosegli ali presegli magnitudo 6,5 oziroma so povzročili večjo materialno škodo ali zahtevali človeška življenja. En potres je imel navorno magnitudo (M_w) večjo od 8,0, enaindvajset pa med 7,0 in 7,9. Vsaj 19 potresov je leta 2010 zahtevalo človeška življenja, skupno vsaj 226.729 žrtev. Potres z največ smrtnimi žrtvami je nastal 12. januarja na Haitiju. Umrlo je več kot 222.000 ljudi. Največ energije se je sprostito pri potresu 27. februarja v morju blizu obale regije Bio-Bio v Čilu. Imel je navorno magnitudo 8,8 in je zahteval 577 človeških življenj. Najgloblji potres, z žariščem na globini 641 kilometrov in z navorno magnitudo 7,4, se je 23. julija zgodil v zalivu Moro na Filipinih.

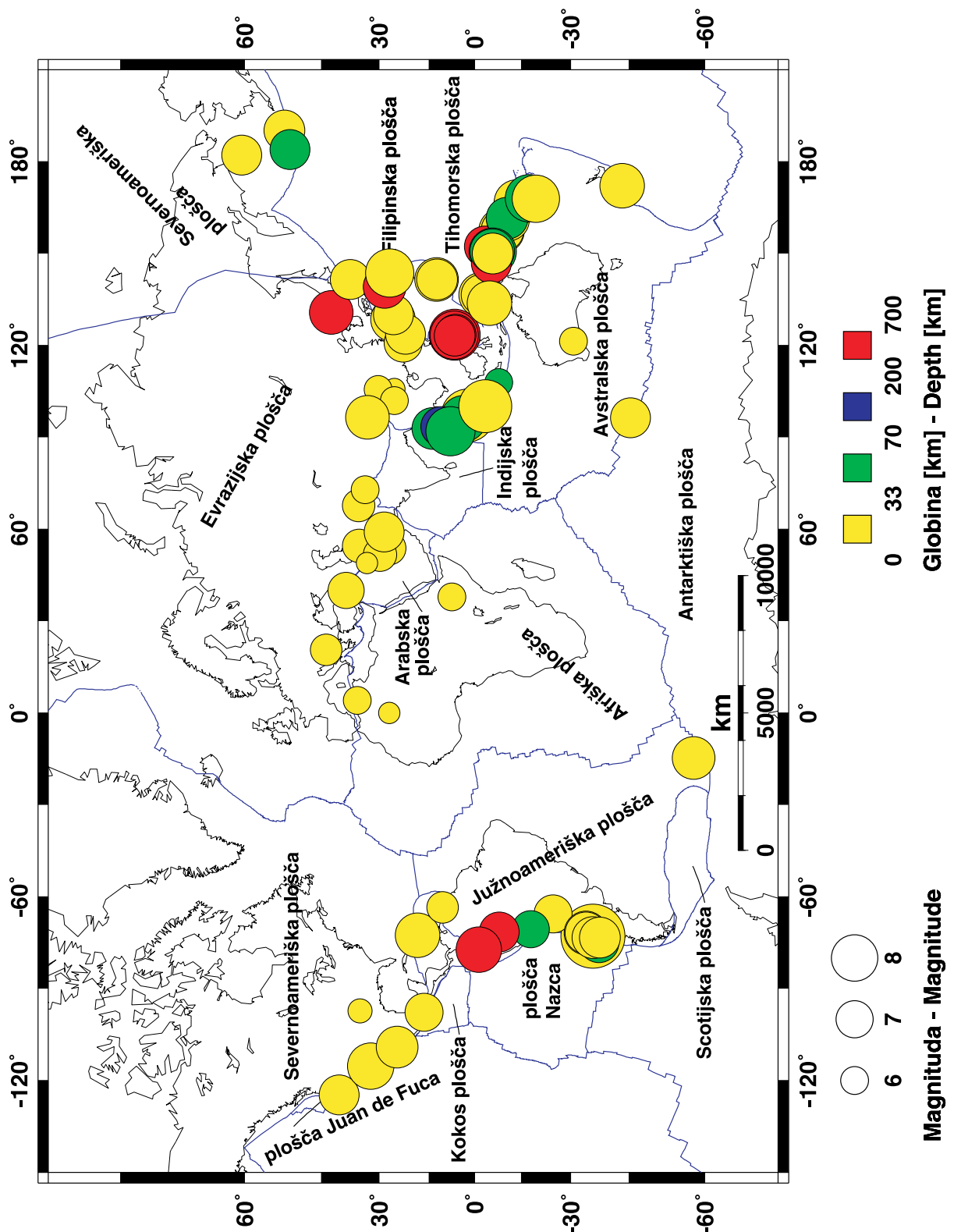
Abstract

There were 83 earthquakes in the world in the year 2010 that either reached the magnitude of 6.5 or larger, caused major damage to buildings and other structures, or even claimed human lives. In the case of one earthquake the moment magnitude (M_w) was larger than 8.0 and in twentyone between 7,0 and 7,9. In 2010 there were at least 19 earthquakes that claimed human lives; in total there were at least 226,729 victims. The most devastating earthquake in 2010 happened on 12 January on Haiti, where more than 222 thousand people were killed. The 27 February earthquake offshore Bio-Bio region, Chile, ranks first in terms of released energy, with a moment magnitude of 8.8; it claimed 577 human lives. The deepest earthquake happened on 23 July in the Moro Gulf, Philippines, with a hypocentre 641 km below the surface and the moment magnitude of 7.4.

Potresi in tektonika plošč

Zemljina trdna lupina, debela približno 100 kilometrov, se imenuje litosfera in je sestavljena iz več večjih in manjših tektonskih plošč (slika 1). Najpomembnejše plošče so Tihomorska, Severnoameriška, Južnoameriška, Evrazijska, Afriška, Avstralska in Antarktična. Za svetovno potresno dejavnost so pomembne tudi številne manjše plošče. Tektonske plošče se zaradi konvekcijskih tokov v astenosferi, viskozni plasti pod litosfero, nenehno počasi premikajo. Med seboj se lahko razmikajo (razmične ali divergentne meje), primikajo (primične ali konvergentne meje) ali drsijo druga ob drugi (zmične ali transformne meje plošč). Razmikanje tektonskih plošč je lahko oceansko (vdiranje magme iz astenosfere skozi razpoko med ploščama, pri čemer se iztisnjena magma strjuje v novo oceansko skorjo in nastanejo oceanski grebeni) ali celinsko (tektonsko ugrezanje ob nastajanju razsežnega tektonskega jarka ali razpoke v celinski plošči, ki končno postane meja plošč). Pri primikanju plošč se podriva oceanska plošča pod drugo oceansko ali celinsko ploščo, lahko pa trčita celinski plošči, kar povzroči dviganje skorje in nastanek gorovij. Prelom, kjer plošči drsita druga ob drugi, imenujemo transformni prelom (Lapajne, 2008).

Posledica gibanja celinskih in oceanskih plošč oziroma tektonika litosferskih plošč so burni geološki pojavi, kot so vulkani in potresi, ki nastajajo predvsem na stikih plošč. Slika 1 kaže povezanost tektonike plošč s potresno dejavnostjo, saj je večina močnejših potresov nastala na stikih tektonskih plošč. Narisani so le tisti, ki so leta 2010 dosegli ali presegli navorno magnitudo 6,5, in tisti šibkejši, ki so povzročili večjo materialno škodo ali zahtevali človeška življenja. Če bi narisali nadžarišča oziroma epicentre vseh potresov, bi še bolje videli, da potresi nastajajo predvsem na mejah med posameznimi ploščami. Prav porazdelitev potresov je razkrila potek mej ali stikov med ploščami.



Slika 1: Porazdelitev najmočnejših potresov leta 2010 na Zemlji, njihove globine in magnitudo; velikost krogov kaže potresno magnitudo, barva pa žariščno globino. Označene so tudi glavne tektonske plošče.

Figure 1: Distribution of the most powerful earthquakes in 2010, their depths and magnitudes. The size of the circle indicates the magnitude and the colour designates the focal depth. Main tectonic plates are also shown.

Pregled najmočnejših potresov

V Preglednici 1 so podatki o najmočnejših potresih leta 2010 (NEIC, 2010a; ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 2010). Naštetni so le tisti, ki so dosegli ali presegle navorno magnitudo 6,5, in tisti, ki so povzročili večjo materialno škodo ali zahtevali človeška življenja. Vrednosti za m_b in M_s so srednje vrednosti, določene iz podatkov potresnih opazovalnic, ki so potres zapisale. Prostorskovalovna magnituda m_b (angl. body wave magnitude) je določena na podlagi največjega odklona

Preglednica 1. Seznam potresov leta 2010, katerih magnituda je bila enaka ali večja od 6,5; dodani so potresi, katerih magnituda je bila sicer manjša, vendar so povzročili večjo materialno škodo, ranjene ali smrtne žrtve.

Table 1. List of the earthquakes in 2010 with magnitudes 6.5 and larger. Earthquakes with magnitudes below 6.5, which caused significant material damage, injuries or victims, are also included.

datum	čas (UTC)	koordinati		magnituda			globina	število žrtev	območje
	ura:min	širina	dolžina	m_b	M_s	M_w	km		
date	time (UTC)	coordinates		magnitude			depth	number of victims	area
	hh:min	lat	lon	m_b	M_s	M_w	km		
3. 1.	21:48	8,74 J	157,48 V	6,0	6,4	6,6	26		Salomonovi otoki
3. 1.	22:36	8,79 J	157,35 V	6,4	7,1	7,1	25		Salomonovi otoki
5. 1.	4:55	58,17 J	14,70 Z	6,2	6,5	6,8	10		vzhodno od otočja South Sandwich
5. 1.	12:15	9,02 J	157,55 V	6,2	6,7	6,8	15		Salomonovi otoki
10. 1.	0:25	7,91 J	107,88 V	5,1			65	1	Java, Indonezija
10. 1.	0:27	40,65 S	124,70 Z	6,5	6,3	6,5	29		ob obali Severne Kalifornije
12. 1.	21:53	18,45 S	72,54 Z	6,8	7,3	7,0	13	222570	Haiti
15. 1.	18:00	10,42 S	63,49 Z	5,4	5,2	5,5	8		Sucre, Venezuela
17. 1.	9:37	25,56 S	105,80 V	4,4			27	8	Guidžov, Kitajska
30. 1.	21:36	30,27 S	105,67 V	5,1	4,7		10	1	vzhodni Sečuan, Kitajska
18. 2.	1:13	42,59 S	130,70 V	6,3		6,9	578		meja Kitajska – Rusija – Severna Koreja
25. 2.	4:56	25,56 S	101,93 V	5,2			10		Junan, Kitajska
26. 2.	20:31	25,93 S	128,42 V	6,7	7,0	7,0	25		Rjukju, Japonska
27. 2.	6:34	36,12 J	72,90 Z	7,2	8,5	8,8	23	577	ob obali regije Bio-Bio, Čile
27. 2.	8:01	37,75 J	75,05 Z	6,9			38		ob obali regije Bio-Bio, Čile
27. 2.	15:45	24,87 J	65,60 Z	6,3			10	2	Salta, Argentina
4. 3.	0:18	22,92 S	120,79 V	6,2	6,2	6,3	21		Tajvan
4. 3.	14:02	13,57 J	167,23 V	6,0		6,5	176		Vanuatu
5. 3.	11:47	36,66 J	73,37 Z	6,1	6,7	6,6	18		ob obali regije Bio-Bio, Čile
5. 3.	16:07	3,76 J	100,99 V	6,0	6,6	6,8	26		Kepulauan Mentawai, Indonezija
8. 3.	2:32	38,87 S	39,99 V	5,9	6,0	6,1	12	51	vzhodna Turčija
11. 3.	14:39	34,29 J	71,89 Z	6,7	7,0	6,9	11		Libertador O'Higgins, Čile
11. 3.	14:55	34,32 J	71,80 Z	6,5		6,7	18		Libertador O'Higgins, Čile
14. 3.	8:08	37,75 S	141,59 V	6,3	6,4	6,5	32		blizu vzhodne obale Honšuja, Japonska
16. 3.	2:21	36,22 J	73,26 Z	6,0	6,7	6,7	18		ob obali regije Bio-Bio, Čile

datum	čas (UTC)	koordinati		magnituda			globina	število žrtev	območje
	ura:min	širina	dolžina	m_b	M_s	M_w	km		
date	time (UTC)	coordinates		magnitude			depth	number of victims	area
	hh:min	lat	lon	m_b	M_s	M_w	km		
20. 3.	14:00	3,36 J	152,24 V	6,0		6,6	415		New Ireland, Papua Nova Gvineja
30. 3.	16:54	13,67 S	92,83 V	6,5	6,3	6,7	34		Andamansko otočje
4. 4.	22:40	32,29 S	115,28 Z	6,4	7,3	7,2	4	2	Baja California, Mehika
6. 4.	22:15	2,38 S	97,05 V	7,0	7,9	7,8	31		severna Sumatra, Indonezija
11. 4.	9:40	10,88 J	161,12 V	6,6	7,0	6,8	21		Salomonovi otoki
13. 4.	23:49	33,16 S	96,55 V	6,5	7,0	6,9	17	2968	južni Činghai, Kitajska
18. 4.	20:28	35,63 S	67,66 V	5,7	5,4	5,6	13	11	osrednji Afganistan
20. 4.	0:17	30,79 J	121,41 V	5,2			0		zahodna Avstralija
26. 4.	2:59	22,18 S	123,63 V	6,2	6,3	6,5	15		jugovzhodno od Tajvana
30. 4.	23:11	60,47 S	177,88 Z	6,0	6,7	6,5	14		Beringovo morje
5. 5.	16:29	4,05 J	101,09 V	5,9	6,6	6,6	27		južna Sumatra, Indonezija
6. 5.	2:42	18,06 J	70,55 Z	6,7	5,9	6,2	37		blizu obale Tarapace, Čile
9. 5.	5:59	3,75 S	96,02 V	6,6	7,3	7,2	45		severna Sumatra, Indonezija
14. 5.	12:29	35,90 S	4,12 V	5,2			10	2	severna Alžirija
24. 5.	16:18	8,08 J	71,55 Z	6,0		6,5	583		Acre, Brazilija
26. 5.	8:53	25,77 S	129,94 V	6,2	6,2	6,5	10		jugovzhodno od otočja Rjukju, Japonska
27. 5.	17:14	13,69 J	166,64 V	6,2	7,1	7,1	31		Vanuatu
31. 5.	19:51	11,13 S	93,47 V	6,1		6,5	112		Andamansko otočje
12. 6.	19:26	7,88 S	91,94 V	7,0	7,5	7,5	35		Nikobarsko otočje
16. 6.	3:16	2,17 J	136,54 V	6,7	7,1	7,0	18	17	blizu severne obale Papue, Indonezija
16. 6.	3:58	2,33 J	136,48 V	6,2		6,6	11		blizu severne obale Papue, Indonezija
26. 6.	5:30	10,63 J	161,45 V	6,4	6,8	6,7	35		Salomonovi otoki
30. 6.	7:22	16,39 S	97,78 Z	5,9	6,0	6,3	20	1	Oaxaca, Mehika
14. 7.	8:32	38,01 J	73,31 Z	5,9	6,5	6,6	22		Bio-Bio, Čile
18. 7.	5:56	52,87 S	169,85 Z	6,3	6,7	6,6	14		otočje Fox, Aleuti, Aljaska
18. 7.	13:04	5,97 J	150,43 V	6,3	7,1	6,9	28		New Britain, Papua Nova Gvineja
18. 7.	13:34	5,93 J	150,59 V	6,1	7,3	7,3	35		New Britain, Papua Nova Gvineja
20. 7.	19:38	27,02 S	53,86 V	5,6		5,8	10	1	južni Iran
23. 7.	22:08	6,72 S	123,41 V	6,3		7,3	607		zaliv Moro, Mindanao, Filipini
23. 7.	22:51	6,49 S	123,47 V	6,9		7,6	586		zaliv Moro, Mindanao, Filipini
23. 7.	23:15	6,78 S	123,26 V	6,8		7,4	641		zaliv Moro, Mindanao, Filipini
24. 7.	5:35	6,22 S	123,51 V	5,9		6,6	553		zaliv Moro, Mindanao, Filipini
29. 7.	7:31	6,51 S	123,25 V	6,1		6,6	627		zaliv Moro, Mindanao, Filipini
4. 8.	7:15	5,51 J	146,83 V			6,5	221		vzhodni del Nove Gvineje, Papua Nova Gvineja
4. 8.	22:01	5,77 J	150,78 V	6,1	6,6	7,0	44		New Britain, Papua Nova Gvineja

datum	čas (UTC)	koordinati		magnituda			globina	število žrtev	območje
	ura:min	širina	dolžina	m_b	M_s	M_w	km		
date	time (UTC)	coordinates		magnitude			depth	number of victims	area
	hh:min	lat	lon	m_b	M_s	M_w	km		
10. 8.	5:23	17,56 J	168,03 V	6,4	7,3	7,3	35		Vanuatu
12. 8.	11:54	1,28 J	77,31 Z	6,4		7,1	204		Ekvador
13. 8.	21:19	12,48 S	141,48 V	6,5	6,9	6,9	10		Mariansko otočje
14. 8.	23:01	12,24 S	141,45 V	6,1	6,3	6,6	13		Mariansko otočje
27. 8.	19:23	35,49 S	54,47 V	5,6	5,5	5,7	7	3	severni Iran
29. 8.	0:53	27,19 S	103,00 V	4,9			35		območje Sečuan-Junan-Guidžov, Kitajska
3. 9.	11:16	51,72 S	175,99 Z	6,1	6,2	6,5	58		otočje Adreanof, Aleuti
3. 9.	16:35	43,53 J	172,12 V	6,4	7,3	7,0	5		Južni otok, Nova Zelandija
27. 9.	11:22	29,64 S	51,63 V	5,9	5,6	5,8	10	1	južni Iran
29. 9.	17:11	4,92 J	133,78 V	6,7	6,8	7,0	12		blizu južne obale Papue, Indonezija
10. 10.	21:44	33,87 S	72,89 V	5,2			33	1	Pakistan
13. 10.	14:06	35,19 S	97,32 Z	4,3		4,4	13		Oklahoma, ZDA
21. 10.	17:53	24,66 S	109,15 Z	6,2	6,8	6,7	10		Kalifornijski zaliv
25. 10.	14:42	3,48 J	100,09 V	6,5	7,3	7,8	20	503	Kepulauan Mentawai, Indonezija
3. 11.	0:56	43,80 S	20,59 V	5,2	5,3	5,5	1	2	Srbija
6. 11.	3:52	33,37 S	48,94 V	4,9			5		zahodni Iran
10. 11.	4:05	45,46 J	96,39 V	6,0	6,5	6,5	10		Jugovzhodnoindijski hrbet
30. 11.	3:24	28,36 S	139,15 V	5,9		6,8	487		otočje Bonin, Japonska
2. 12.	3:12	5,99 J	149,96 V	5,9	6,7	6,6	33		New Britain, Papua Nova Gvineja
19. 12.	12:14	7,52 S	37,84 V	5,1			10		Etiopija
20. 12.	18:41	28,49 S	59,12 V			6,5	11	7	jugovzhodni Iran
21. 12.	17:19	26,88 S	143,70 V	7,0	7,5	7,4	14		otočje Bonin, Japonska
25. 12.	13:16	19,73 J	167,90 V			7,3	12		Vanuatu

na zapisu navpične komponente telesnega valovanja v prvih 20 sekundah po prihodu vzdolžnega telesnega valovanja. Površinskovalovna magnituda M_s (angl. surface wave magnitude) je določena na podlagi navpične komponente dolgoperodnega površinskega valovanja. To se razvije pri potresih, katerih žarišče ni bilo globlje kakor približno 50 kilometrov. Magnitudi m_b in M_s imata zaradi zasičenosti pri velikih potresih omejeno uporabo. M_w je navorna magnituda, ki velja tudi za najmočnejše potrese in je določena s potresnim navorom. Globina potresov je izražena v kilometrih. V stolpcu Število žrtev je navedeno skupno število žrtev in pogrešanih za posamezni potres. Preglednica se konča z imenom širšega nadžariščnega območja potresa. Svet je namreč za statistične potrebe razdeljen na 729 Flinn-Engdahlovih geometrijskih območij (Flinn-Engdahl regions, 2010).

Po številu potresov, ki so dosegli ali presegli magnitudo 6,5 oziroma so povzročili večjo materialno škodo ali zahtevali človeška življenja, leto 2010 ni izstopalo. Takih je bilo 83, povprečje za obdobje 2001–2010 pa je 80 potresov na leto. En potres je imel navorno magnitudo (M_w) večjo od 8,0, enaindvajset pa med 7,0 in 7,9. Po statistiki, ki temelji na meritvah od leta 1900 naprej, se v povprečju vsako leto zgodi en potres z magnitudo enako ali večjo kot 8,0 in 15 takih, ki imajo

magnitudo med 7,0 in 7,9 (NEIC, 2011a). Število žrtev, ki so jih leta 2010 zahtevali potresi, je bilo precejšnje, in sicer skupno več kot 226.000. Že v začetku leta so svetovno javnost pretresle posledice potresa, ki je 12. januarja prizadel Port-au-Prince na Haitiju. Zahteval je najmanj 222.570 življenj in za seboj pustil opustošenje. Prizadetemu prebivalstvu niso prizanesli niti izbruhi nalezljivih bolezni in druge naravne ujme. Najmočnejši potres leta 2010 je nastal 27. februarja v morju blizu obale Čila. Imel je navorno magnitudo 8,8. Zaradi globokega žarišča, večje oddaljenosti od gosto poseljenega območja in razmeroma dobre potresno odporne gradnje je bilo žrtev potresa razmeroma malo, in sicer 577. Veliko življenj sta zahtevala tudi potresa 13. aprila na Kitajskem in 25. oktobra v Indoneziji. Pri slednjem, ki je nastal 20 kilometrov pod morskim dnem na stiku med ploščo Sunda in Avstralsko ploščo, je večina škode nastala kot posledica cunamija, ki ga je potres sprožil in katerega največja višina valov je bila sedem metrov. Najgloblji potres z žariščem na globini 641 kilometrov in z navorno magnitudo 7,4 se je 23. julija zgodil v zalivu Moro na Filipinih.

V nadaljevanju sta natančneje opisana najmočnejši potres leta 2010 in potres, ki je zahteval največ žrtev.

Čilski potres

To je bil najmočnejši potres na svetu leta 2010, njegova navorna magnituda pa je bila kar 8,8. To pomeni, da je bil šesti najmočnejši potres po letu 1900, ko so začeli s seizmografijo sistematično opazovati potresno dejavnost (NEIC, 2011b). Zgodil se je 27. februarja ob 6:34 po svetovnem času (UTC) oziroma ob 3:34 minut po lokalnem času. Točka, v kateri se je sevanje energije potresnega valovanja začelo, imenovana tudi žarišče potresa, je bila 35 kilometrov pod morskim dnem blizu



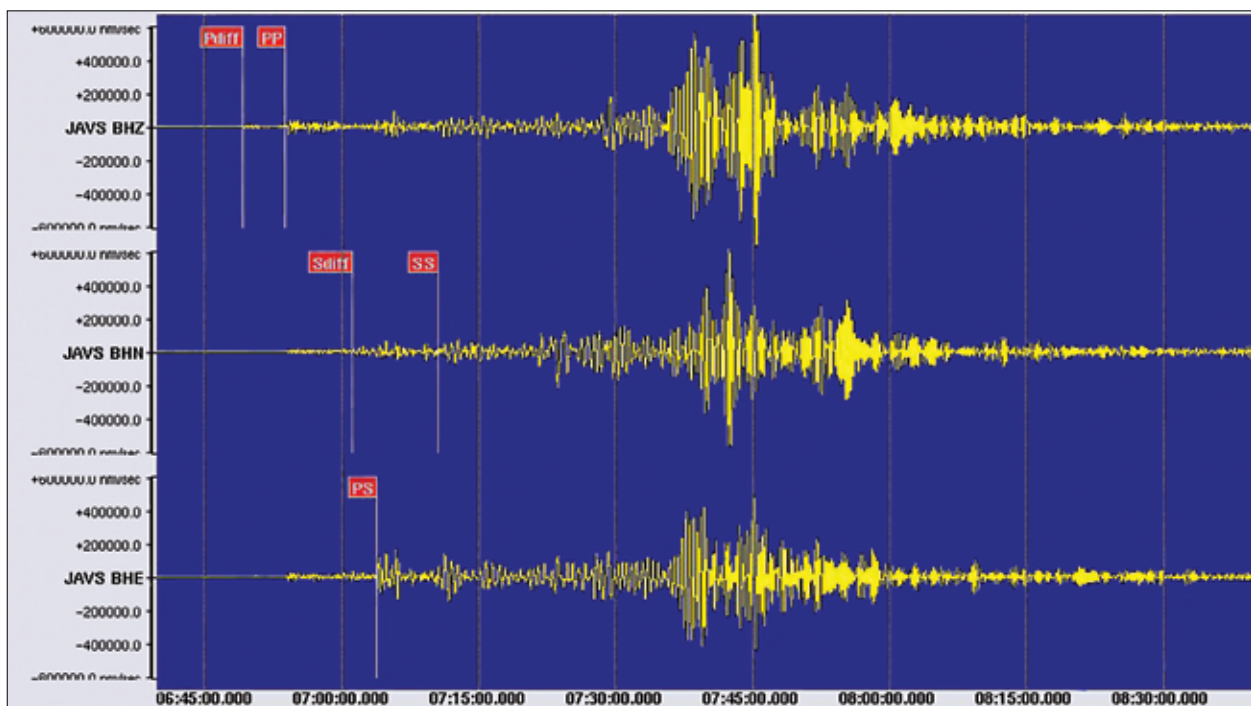
Slika 2: Poškodovano poslopje O'Higgins Tower v Concepcionu v Čilu (vir: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Torre_O%C2%B4Higgins_conce.jpg)

Figure 2: Damaged Tower O'Higgins, Concepcion, Chile. (source: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Torre_O%C2%B4Higgins_conce.jpg)



Slika 3: Autocesta Vespucio Norte v Čilu po potresu 27. februarja 2010 (vir: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Vespucio_Norte_Highway_after_2010_earthquake.jpg)

Figure 3: Vespucio Norte Highway in Chile after 27 February 2010 earthquake. (source: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Vespucio_Norte_Highway_after_2010_earthquake.jpg)



Slika 4: Trikomponentni zapis potresa 27. februarja 2010 v Čilu na potresni opazovalnici JAVS državne mreže potresnih opazovalnic. Označene so faze Pdiff, PP, Sdiff, SS in PS. Prikazan je zapis dveh ur.

Figure 4: Three-component seismogram of the earthquake on 27 February 2010 in Chile, as recorded on JAVS station. Pdiff, PP, Sdiff, SS and PS phase are marked. The figure shows two hours long record.

obale regije Bio-Bio v Čilu, šest kilometrov zahodno od vasi Chovellén, 105 kilometrov severno od drugega največjega čilskega mesta Concepcion in 335 kilometrov jugozahodno od prestolnice Santiago. Potres je nastal na stiku, kjer se plošča Nazca podriva pod Južnoameriško ploščo s hitrostjo 70 mm na leto. V potresu se je vzporedno z obalo aktiviral 500 kilometrov dolg (vzdolž preloma) in 100 kilometrov širok (v smeri potapljanja plošče) del preloma oziroma žariščno območje. Glavnemu potresu je sledilo več tisoč popotresov. V prvih dveh mesecih, do 26. aprila 2010, so se zgodili vsaj 304 popotresi z navorno magnitudo enako ali večjo kot 5,0 (NEIC, 2010b).

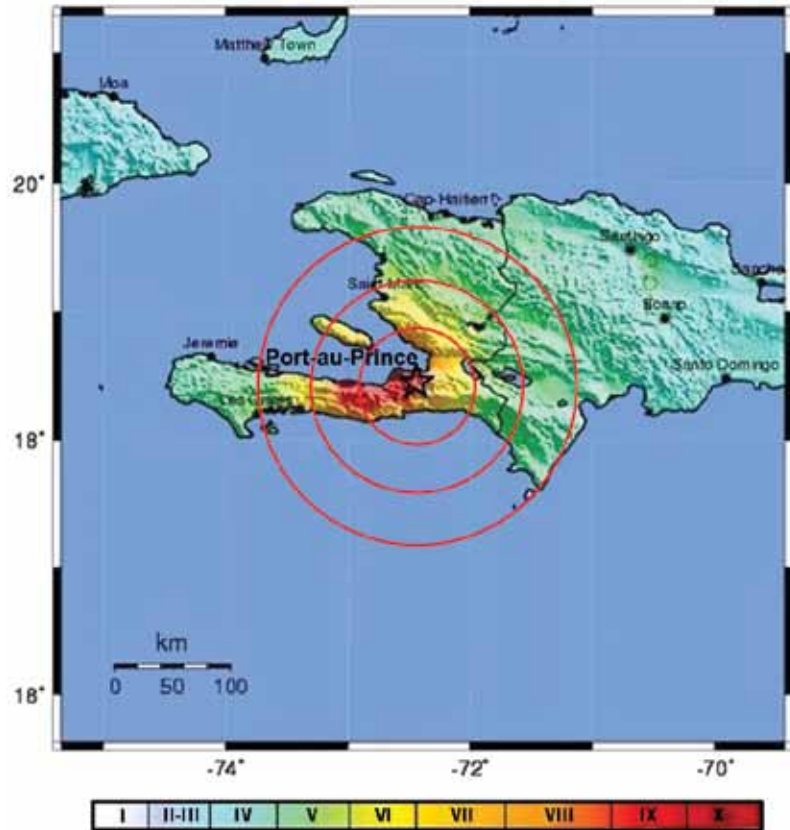
Potres so močno čutili v šestih čilskih regijah, in sicer Araucania, Bio-Bio, Maule, O'Higgins, Region Metropolitana ter Valparaiso, kjer živi 80 odstotkov čilskega prebivalstva. Pol ure po potresu je cunami zadel čilsko obalo in povzročil največ škode v mestu Constitucion. Največjo višino valov 2,61 metra so izmerili pri mestu Valparaiso, 1,81 metra pri Talcahuanu, 1,61 metra pri Coquimbu, 1,44 metra pri Corralu in 1,18 metra pri Arici. Na drugih merilnih mestih v Čilu popotresni valovi niso dosegli metra višine. Potres in cunamiji so zahtevali vsaj 521 človeških življenj, 56 je pogrešanih, približno 12.000 pa je bilo ranjenih. 800.000 ljudi je ostalo brez domov. Poškodovanih ali uničenih je bilo vsaj 370.000 domov (slika 2), 4013 šol, 79 bolnišnic, 4200 plovil in veliko cestnih povezav (slika 3). Potres so čutili tudi v Argentini, Boliviji, Braziliji, Peruju in Urugvaju, cunamije pa so opazili na obalah Ameriške Samoe, Kanade, Cookovega otočja, atola Johnston, Ekvadorja, Francoske Polinezije, Japonske, Severnih Marijskih otokov, atola Midway, Mehike, Nove Zelandije, Papue Nove Gvineje, Peruja, Filipinov, Samoe in ZDA, in sicer Aljaske, Kalifornije, Havajev, Oregona in Washingtona (NEIC, 2010b).

Potresni valovi so od izvora potresa do slovenskih potresnih opazovalnic (Sinčič in drugi, 2010) potovali približno 15 minut, na opazovalnici na Javorniku (JAVS) so jih seizmografi zaznali ob 6:48:55 po UTC (slika 5). Žarišče potresa je bilo od slovenskih potresnih opazovalnic oddaljeno približno 113 stopinj ($1^\circ \approx 111$ km). Videz zapisa potresa na posamezni opazovalnici je odvisen od oddaljenosti žarišča potresa od opazovalnice, njegove globine, magnitude in mehanizma. Na opazovalnico, ki je od žarišča potresa oddaljena med 100 in 144° , pride najprej del vzdolžnega valovanja, ki se je uklonil oziroma difraktiral okoli ukrivljene meje med jedrom in plaščem (Pdiff), in ne več direktno vzdolžno valovanje (P), saj je opazovalnica v tako imenovani senci jedra. Faza Pdiff je navadno opazna le pri močnejših potresih. Prav tako na tem območju ni več direktnega prečnega valovanja (S), temveč tisto, ki se je uklonilo okoli jedra (Sdiff). Izrazite faze tega razreda (100 – 144°) so večkratni odboji vzdolžnega (P) in prečnega (S) valovanja na površju Zemlje (PP, PPP, PS, SP, SS, SSS ...) (Deterding in Jesenko, 2005). Nekaj teh faz je označenih na seizmogramu na sliki 4.

Haitijski potres

Potres, ki je leta 2010 zahteval največ človeških življenj, je nastal 12. januarja 2010 ob 21:53 po svetovnem času (UTC) oziroma ob 16:53 po lokalnem času in je imel navorno magnitudo 7,0. Nastal je na stiku med Karibsko in Severnoameriško ploščo. Ti drsita druga ob drugi, Karibska plošča drsi proti vzhodu glede na Severnoameriško s povprečno hitrostjo 20 mm na leto. Žarišče potresa je bilo na globini 13 kilometrov, le 25 kilometrov zahodno-jugozahodno od haitijske prestolnice Port-au-Prince (slika 5). Potresu je sledilo več popotresnih sunkov. Najmočnejši, z navorno magnitudo 6,0, se je zgodil sedem minut po glavnem potresu v globini deset kilometrov. Dodatno uničenje je povzročil tudi popotres z magnitudo 5,9, ki se je zgodil 20. januarja ob 11:03 po UTC oziroma ob 6:03 po lokalnem času. Njegovo žarišče je bilo oddaljeno 55 kilometrov od prestolnice Port-au-Prince v smeri zahod-jugozahod. (NEIC, 2010c).

Zaradi majhne globine in oddaljenosti od gosto naseljenega glavnega mesta je potres za seboj pustil opustošenje, od katerega si bo ta najrevnejša država na zahodni zemeljski polobli kljub mednarodni pomoči težko opomogla. V potresu je umrlo več kot 222.000 ljudi, 300.000 je bilo ranjenih. 1,3 milijona ljudi je ostalo brez domov. Uničenih je bilo 97.294 in poškodovanih 188.383 zgradb (slika 6). Predpisov, ki bi urejali potresno odporno gradnjo, na Haitiju nimajo. Uničena ali poškodovana je bila tudi večina infrastrukture, potrebne za ukrepanje ob takih dogodkih,



Slika 5: Lokacija potresa na Haitiju

(vir: http://neic.usgs.gov/neis/eq_depot/2010/eq_100112_rja6/neic_rja6_1.html)

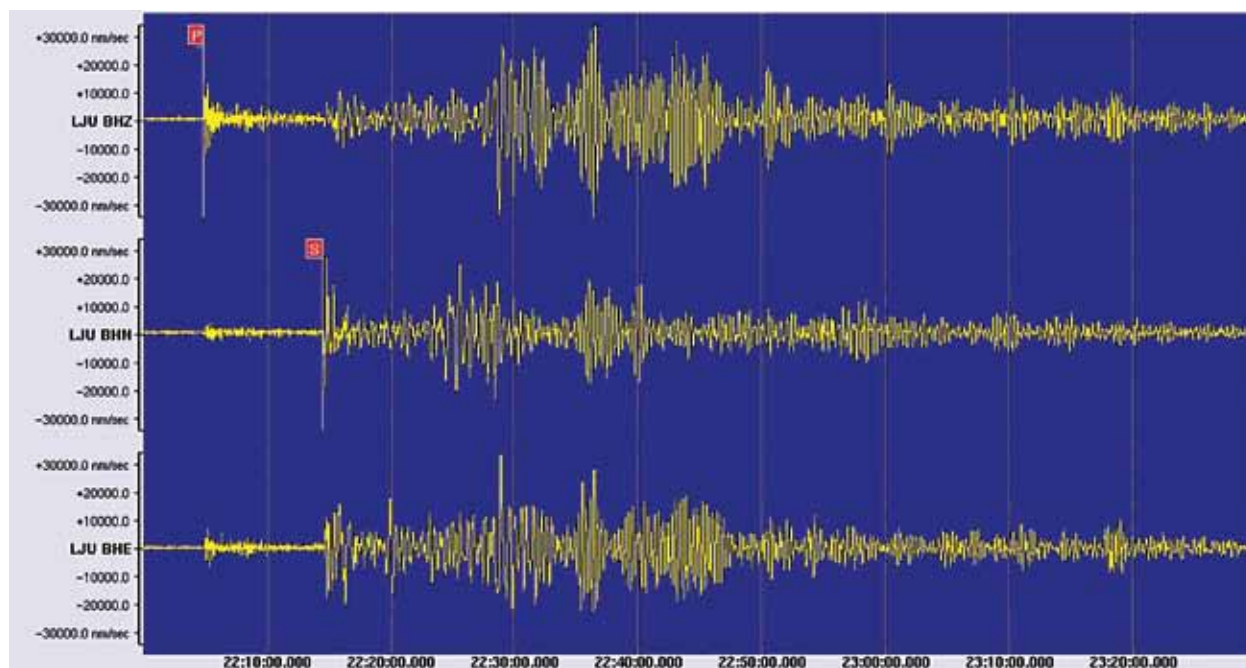
Figure 5: Location of Haiti earthquake.

(source: http://neic.usgs.gov/neis/eq_depot/2010/eq_100112_rja6/neic_rja6_1.html)



Slika 6: Porušena ulica v Port-au-Princu v glavnem mestu Haitija (vir: <http://edition.cnn.com/interactive/2010/01/world/gallery.large.haiti-1/index.4.html>)

Figure 6: The rubble-filled streets of Port-au-Prince, Haiti. (source: <http://edition.cnn.com/interactive/2010/01/world/gallery.large.haiti-1/index.4.html>)



Slika 7: Trikomponentni zapis potresa 12. januarja 2010 na Haitiju na potresni opazovalnici LJU državne mreže potresnih opazovalnic. Označeni sta fazi P in S. Prikazan je zapis ure in pol.

Figure 7: Three-component seismogram of the earthquake on 12 January 2010 on Haiti, as recorded on LJU station. P and S phase are marked. The figure shows one hour and a half long record.

vključno z vsemi bolnišnicami v Port-au-Princu, s transportnimi povezavami po morju, zraku ter kopnem in s komunikacijskimi povezavami. Vlada ni bila kos ekstremnim razmeram, počasna oskrba z osnovnimi dobrinami pa je med ljudmi izzvala nasilje in ropanje. Prizadetemu prebivalstvu niso prizanesli niti izbruhi nalezljivih bolezni in druge naravne ujme.

Potres so čutili tudi v Dominikanski republiki, na Kubi, Jamajki, otokih Turks in Caicos, Bahamih, v Venezueli, Portoriku, Kolumbiji, na Ameriških Deviških otokih in Floridi ter ZDA. Nekaj žrtev na Haitiju je zahteval tudi cunami, ki ga je sprožil potres. Cunamije so zaznali tudi v Dominikanski republiki in na Ameriških Deviških otokih (NEIC, 2010c).

Potresni valovi so od žarišča do slovenskih potresnih opazovalnic potovali dobrih 11 minut, na opazovalnici na Golovcu pri Ljubljani (LJU) so jih seizmografi zaznali ob 22:04:51 po UTC (slika 7). Žarišče potresa je bilo od slovenskih potresnih opazovalnic oddaljeno približno 75° oziroma 8325 kilometrov. Pri potresih, katerih oddaljenost od opazovalnice je v območju med 28 in 100°, lahko na seizmogramu identificiramo valove P in S, ki so v tem primeru potovali skozi spodnji del Zemljinega plašča (Deterding in Jesenko, 2005). Vstopa faze P in S sta označena tudi na seizmogramu na sliki 8.

Viri in literatura

- ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 2010. Preliminarni seizmološki bilten, 2010. Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo, Ljubljana.
- Deterding, M. in Jesenko, T., 2005. Najmočnejši in najgloblja potresa v svetu v letu 2003, Potresi v letu 2003 (ur. R. Vidrih), Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo, Ljubljana, 123–132.
- Lapajne, J., 2008, Nekateri tektonski, seizmotektonski in seizmološki termini – 1. del, Ujma 22, 316–323, ISSN 0353-085X.

- Flinn-Engdahl regions. Wikipedia The Free Encyclopedia [online]. (Posodobljeno 8. 12. 2010). Dostopno na naslovu: http://en.wikipedia.org/wiki/Flinn-Engdahl_regions (Uporabljeno 4. 4. 2011).
- NEIC, 2010a. Significant Earthquakes of the World 2010. US Department of the Interior. Geological Survey, National Earthquake Information Center. (Posodobljeno 7. 3. 2011). http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/significant/sig_2010.php (Uporabljeno 4. 4. 2011).
- NEIC, 2010b. Magnitude 8.8 – Offshore Bio-Bio, Chile February 27, 2010. US Department of the Interior. Geological Survey, National Earthquake Information Center. <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqinthenews/2010/us2010tfan/>. (Uporabljeno 6. 4. 2011).
- NEIC, 2010c. Magnitude 7.0 – Haiti Region January 12, 2010. US Department of the Interior. Geological Survey, National Earthquake Information Center. <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqinthenews/2010/us2010rja6/>. (Uporabljeno 7. 4. 2011).
- NEIC, 2011a. Earthquake Facts and Statistics. US Department of the Interior. Geological Survey, National Earthquake Information Center. (Posodobljeno 6. 4. 2011). <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/year/eqstats.php>. (Uporabljeno 7. 4. 2011).
- NEIC, 2011b. Largest Earthquakes of the World since 1900. US Department of the Interior. Geological Survey, National Earthquake Information Center. (Posodobljeno 15. 3. 2011). http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/world/10_largest_world.php (Uporabljeno 6. 4. 2011).
- Sinčič, P., Tasič, I., Živčič, M., Prosen, T., 2010. Potresne opazovalnice v Sloveniji v letu 2009. Potresi v letu 2009, Agencija RS za okolje Urad za seizmologijo in geologijo, Ljubljana, 9–19.

Ina Cekić

EVROPSKA POTRESNA LESTVICA 1998 (EMS-98) EUROPEAN MACROSEISMIC SCALE 1998 (EMS-98)

Leta 1988 je Evropska seizmološka komisija sklenila, da je prišel čas za temeljito revizijo intenzitetnih lestvic, ki so bile takrat v uporabi v Evropi. Dela se je lotila velika mednarodna delovna skupina pod vodstvom Gottfrieda Grünthala iz Nemčije. Prva verzija besedila nove lestvice je bila objavljena leta 1993, po testiranju in reviziji je temu sledila končna verzija iz leta 1998 (Grünthal, 1998). Čeprav je bila narejena na podlagi starejše lestvice MSK, ki so jo uporabljali v številnih evropskih državah, je nova lestvica zaradi svoje drugačne zasnove dobila tudi novo ime: Evropska potresna lestvica 1998, ali z okrajšavo EMS-98.

Nova lestvica je doživela izredno dober odziv in jo uporabljajo v številnih evropskih in nekaterih zunajevropskih državah. Kljub svojem imenu je EMS-98 dokaj enostavno prilagoditi za uporabo v naseljenih območjih kjerkoli na svetu. Je zahtevno, toda močno in sodobno orodje za vrednotenje potresnih učinkov.

Celotno besedilo vsebuje opis posameznih stopenj lestvice in obsežna navodila za uporabo. V prilogi predstavljamo slovenski prevod skrajšanega besedila lestvice. Besede, ki se v lestvici uporabljajo, so jasno definirane, pojmi pa velikostno določeni, zato je lestvica zelo pregledna.

Za potrebe ocenjevanja potresnih učinkov so le-ti razdeljeni v dvanajst stopenj. Učinki so razdeljeni v tri skupine: učinki na ljudi, učinki na predmete in naravo, in poškodbe na stavbah. Same stavbe so glede na tip gradnje in potresno ranljivost razdeljene v več ranljivostnih kategorij. Poškodovanost posamezne stavbe se oceni z eno izmed pet različnih stopenj. Avtorji lestvice so primere tipov gradnje in stopenj poškodovanosti ilustrirali z nizom fotografij, posnetih ob terenskem delu po močnih potresih.

Skrajšano besedilo daje zelo poenostavljen in posplošen pregled lestvice. Lahko se ga uporablja za izobraževanje. Opozarjamo, da za določanje intenzitet skrajšano besedilo EMS-98 nikakor ne zadostuje.

Celotno besedilo EMS-98 v angleščini je dostopno na svetovnem spletu na naslovu:

http://www.gfz-potsdam.de/portal/gfz/Struktur/Departments/Department+2/sec26/resources/documents/PDF/EMS-98_Original_englisch_pdf;jsessionid=39F12AF61EB2D1EDEA50B2A79FDD405B?binary=true&status=300&language=en

Literatura

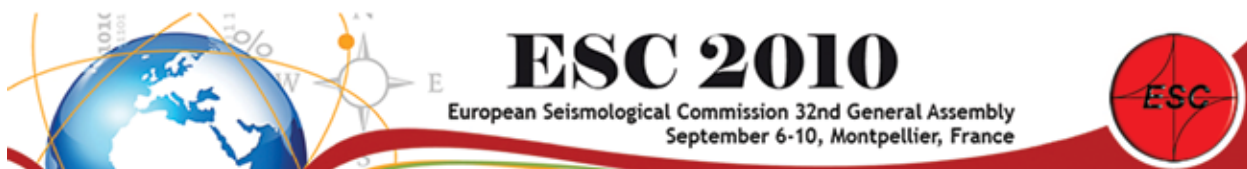
Grünthal, G., urednik. (1998). European Macroseismic Scale 1998. Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Seismologie, 15, Conseil de l'Europe, Luxembourg.

EMS-98 – kratka verzija

EMS-98 intenziteta	Naziv	Značilni učinki (povzeto)
I	Nezaznaven	Ljudje ga ne zaznajo.
II	Komaj zaznaven	V hišah ga čutijo redki posamezniki v mirovanju.
III	Šibek	V zaprtih prostorih ga čutijo posamezniki. Mirujoči čutijo zibanje ali rahlo tresenje.
IV	Zmeren	V zaprtih prostorih ga čutijo mnogi, na prostem pa redki posamezniki. Posamezniki se zbudijo. Okna in vrata zaropotajo, posode zažvenketajo.
V	Močan	V zaprtih prostorih ga čuti večina, na prostem pa posamezniki. Mnogi se zbudijo. Posamezniki se prestrašijo. Ljudje čutijo tresenje celotne stavbe. Viseči predmeti vidno zanihajo. Majhni predmeti se premaknejo. Vrata in okna loputajo.
VI	Z manjšimi poškodbami	Mnogi ljudje se prestrašijo in zbežijo na prosto. Nekateri predmeti padejo na tla. Mnoge stavbe utrpijo manjše nekonstrukcijske poškodbe (lasaste razpoke, odpadanje manjših kosov ometa).
VII	Z zmernimi poškodbami	Večina ljudi se prestraši in zbeži na prosto. Stabilno pohištvo se premakne iz svoje lege in številni predmeti padejo s polic. Mnoge dobro grajene navadne stavbe so zmerno poškodovane: majhne razpoke v stenah, odpadanje ometa, odpadanje delov dimnikov; na starejših stavbah se lahko pojavijo velike razpoke v stenah in se porušijo predelne stene.
VIII	Z močnimi poškodbami	Mnogi ljudje s težavo lovijo ravnotežje. Pojavijo se velike razpoke na stenah mnogih stavb. Pri posameznih dobro grajenih navadnih stavbah se porušijo stene, slabo grajene stavbe se lahko porušijo.
IX	Rušilen	Splošna panika. Mnogi slabo grajeni objekti se porušijo. Tudi dobro grajene navadne stavbe so zelo močno poškodovane: porušitve sten in delne porušitve stavb.
X	Zelo rušilen	Mnogo navadnih dobro zgrajenih stavb se poruši.
XI	Uničujoč	Večina navadnih dobro zgrajenih stavb se poruši, uničene so celo nekatere stavbe z dobro potresno odporno konstrukcijo.
XII	Popolnoma uničujoč	Skoraj vse stavbe so uničene.

Barvna legenda:

zelena	ni učinkov
rumena	intenziteta se določa na podlagi učinkov na ljudi in predmete
rdeča	intenziteta se določa na podlagi učinkov na stavbe (poškodbe), ljudi in predmete



Ina Cević, Andrej Gosar

32. GENERALNA SKUPŠČINA EVROPSKE SEIZMOLOŠKE KOMISIJE 32-ND GENERAL ASSEMBLY OF THE EUROPEAN SEISMOLOGICAL COMMISSION

MONTPELLIER, FRANCIJA, 5.-10. SEPTEMBER 2010

Evropska seizmološka komisija (ESC) organizira generalno skupščino vsaki dve leti. Leta 2010 je bila generalna skupščina od 5. do 10. septembra v Montpellieru (Francija). Lokalna organizatorja sta bila Evropsko-sredozemski seizmološki center (EMSC) in Univerza v Montpellieru. Od 13. do 17. septembra je bila v prostorih oddelka Geoznanosti na Univerzi II organizirana še šola za mlade seizmologe z glavno temo Urbana seizmologija. Iz Urada za seizmologijo in geologijo ARSO sva se skupščine udeležila Ina Cević, ki je tudi pomožna tajnica ESC in Andrej Gosar, tudi predstavnik Slovenije v ESC.

Generalna skupščina ESC je edina seizmološka konferenca, ki vsaki dve leti zbere evropske seizmologe kot tudi številne strokovnjake iz drugih celin. Tokrat je bilo več kot 700 udeležencev, ki so v 45 sekcijah predstavili 934 predavanj, 558 posterjev in 32 ključnih predavanj. Šole za mlade seizmologe se je udeležilo 19 udeležencev iz 17-ih držav. Na skupščini smo imeli priložnost spoznati nove dosežke v seizmologiji in se udeležiti številnih zanimivih predavanj, sestankov in delavnic. Novost tokratne konference je bila, da so vsa ključna predavanja snemali in so dostopna na spletni strani skupščine (www.esc-web.org). Na skupščini so se predstavljali tudi proizvajalci seizmološke opreme iz vsega sveta.

I. Cević je na konferenci vodila dve strokovni sekciji in sestanek delovne skupine.

Vodenje sekcij:

- SD2 Collecting the macroseismic data after damaging events using European macroseismic scale: a decade of field experience; A. Tertulliani, I. Cević, M.S. Barbano
- SD10 Internet macroseismology; R.M.W. Musson, R. Bossu, I. Cević

Sestanek delovne skupine:

- 4-07 Macroscopic field work practices

Kot pomožna tajnica ESC je I. Cević vodila zapisnike na številnih sejah delovnih teles ESC, pripravila materiale, predstavitve, organizacijo volitev, resolucij in ostalih aktivnosti generalne skupščine. Na seji sveta ESC je bila ponovno izvoljena za pomožno tajnico ESC z mandatom 2010-2012. Med njene dolžnosti sodi urejanje administracije za minulo skupščino, vzdrževanje spletne strani in organizacija konference 2012, ki bo v Moskvi in Obninsku v Rusiji.

Oba predstavnika iz Slovenije sva se udeležila seje sveta ESC, ki je sprejel nekaj pomembnih resolucij in odločitev. Evropsko seizmološko komisijo bo v tem dvoletnem obdobju prvič v zgodovini vodila predsednica, Steinnun Jakobsdottir z Islandije. Podpredsednik je Alexey Zavyalov iz Rusije, ki je obenem lokalni organizator naslednjega srečanja. Odločeno je bilo, da bo konferenca leta 2014 organizirana v sodelovanju ESC in Evropskega združenja za potresno inženirsko

(EAEE) kot skupna konferenca seizmologov in potresnih inženirjev. Za izvedbo sta kandidirala Dunaj in Istanbul. Slednji je dobil na volitvah večinsko podporo.

I. Cecić se je kot delegat ARSO udeležila tudi skupščine Evropsko-sredozemskega seizmološkega centra (EMSC). A. Gosar se je udeležil več sestankov, na katerih smo se dogovorili za skupno prijavo mednarodnega projekta na temo potresne nevarnosti in ranljivosti objektov v obmejnem območju med Furlanijo in zahodno Slovenijo na prihodnjem razpisu za čezmejno sodelovanje med Slovenijo in Italijo. Dogovoril se je tudi za sodelovanje pri raziskavah Zemljine skorje na območju Slovenije z metodo sprejemnikove funkcije (angl. receiver functions). Imel je več razgovorov tudi s proizvajalci seizmološke opreme, s katerimi sodelujemo pri modernizaciji in vzdrževanju državne mreže potresnih opazovalnic.

Na šoli za mlade seizmologe je imela I. Cecić uvodno predavanje o zgodovini in pomenu ESC, reševala pa je tudi številne organizacijske zaplete, ki jih zaradi pomanjkljivega dela lokalnih organizatorjev ni manjkalo.

Predstavitve sodelavcev Urada za seizmologijo in geologijo ARSO na skupščini

- Comparative analysis of the effects described in web and classical earthquake questionnaires; Cecić, I.
- Fake and overestimated earthquakes in the Balkans; Albin, P., Cecić, I., Glavcheva, R.
- Guidelines for collecting the macroseismic data in field using EMS – the first outline; Cecić, I.
- Microtremor HVSR study of site effects in the Ilirska Bistrica town area (S Slovenia); Gosar, A., Martinec, M.
- The usage of Antelope for acquiring and exchanging data in South-Eastern Alps: present configuration and future perspectives; Bragato, P., Costa, G., Horn, N., Pahor, J., Pesaresi, D., Lenhardt, W., Živčić, M.