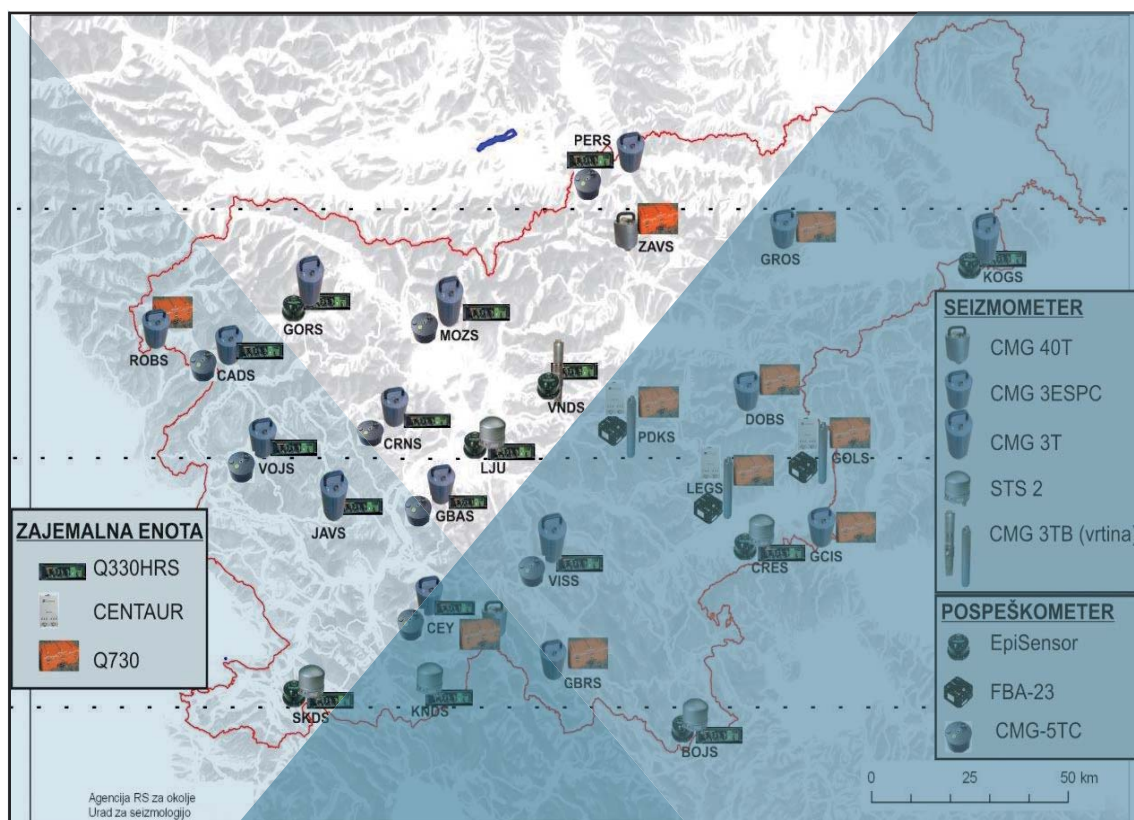


Potresi v letu 2016

Earthquakes in 2016



Izdajatelj

Ministrstvo za okolje in prostor
Agencija RS za okolje
Vojkova 1b, Ljubljana
Spletni naslov: www.arso.gov.si
e-naslov: gp.arso@gov.si

Urednik

dr. Andrej Gosar

Grafična priprava

Peter Sinčič

Uredniški svet

dr. Andrej Gosar
Ina Cecič
dr. Martina Čarman
Matjaž Godec
mag. Tamara Jesenko
Peter Sinčič
dr. Barbara Šket Motnikar
mag. Izidor Tasič
Polona Zupančič
mag. Mladen Živčič

Naslovnica:

Državna mreža potresnih opazovalnic. Prikazana je razporeditev različnih tipov seizmometrov, pospeškometrov in zajemalnih enot po posameznih potresnih opazovalnicah.

Cover Page:

Seismic network of the Republic of Slovenia (the seismometer, accelerometer and digitizer types and their locations)

Mednarodna standardna serijska številka:

ISSN 1318 - 4792

Kazalo / Contents

Peter Sinčič, Izidor Tasič, Mladen Živčič

Potresne opazovalnice v Sloveniji v letu 2016

Seismic Network of the Republic of Slovenia in 20165

Tamara Jesenko, Barbara Šket Motnikar, Ina Cecič, Mladen Živčič, Polona Zupančič, Anita Jerše

Potresi v Sloveniji leta 2016

Earthquakes in Slovenia in 2016.....14

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

Delovanje državne mreže potresnih opazovalnic v letu 2016

Seismic Stations Operation in Slovenia in 2016.....35

Jurij Pahor

Učinkovitost pridobivanja podatkov iz Državne mreže potresnih opazovalnic v letu 2016

Seismic Data Acquisition Efficiency for Seismic Network of The Republic of Slovenia

in 201644

Izidor Tasič, Marko Mali

Posodobitev državne mreže potresnih opazovalnic s pospeškometri

Upgrading the Seismic Network of the Republic of Slovenia with Accelerometers48

Tamara Jesenko, Mladen Živčič

Nekateri rezultati prenove državne mreže potresnih opazovalnic

Some Results of Modernization of the National Seismic Network53

Milka Ložar Stopar, Mladen Živčič

Žariščni mehanizmi močnejših potresov v Sloveniji v letu 2016

Fault Plane Solutions of Earthquakes in Slovenia in 2016.....69

Igor Pfundner

Časovna omejitev delovanja programske opreme in težave s točnim časom pri Quanterri Q730

Software Operation Time Limit and Accurate Time Problems by Quanterra Q730.....74

Jurij Pahor, Polona Zupančič

Preboj zvočnega zidu dveh letal na zapisih državne mreže potresnih opazovalnic

The Sonic Boom of Two Aircraft Recorded by the Seismic Network of the Republic of

Slovenia.....78

Tamara Jesenko

Najmočnejši potresi po svetu leta 2016

The World's Largest Earthquakes in 201687

Potresne opazovalnice v Sloveniji v letu 2016

Seismic Network of the Republic of Slovenia in 2016

Povzetek

V letu 2016 je na območju Slovenije delovalo 29 digitalnih potresnih opazovalnic z neprekinjenim prenosom podatkov v središče za obdelavo v Ljubljani, 6 digitalnih opazovalnic z neprekinjenim beleženjem podatkov na lokalni pomnilniški medij ter 12 opazovalnic, opremljenih z akcelerografi, za opazovanje seizmičnosti na urbanih območjih. Slednje beležijo in prenašajo v središče za obdelavo v Ljubljani samo zapise seizmičnih dogodkov, pri katerih pospeški presežejo prag proženja. Različne posodobitve opreme smo izvedli na dvajsetih opazovalnicah.

Abstract

In the year 2016 there were 29 digital seismic stations incorporated in Seismic Network of the Republic of Slovenia (SNRS) with real-time continuous data transmission to the data centre in Ljubljana, 6 digital stations with continuous recording of data on local media, and 12 stations equipped with accelerographs to monitor seismicity in urban areas. The latter record and transmit only triggered events to the data centre in Ljubljana. Update of equipment was carried out at twenty seismic stations.

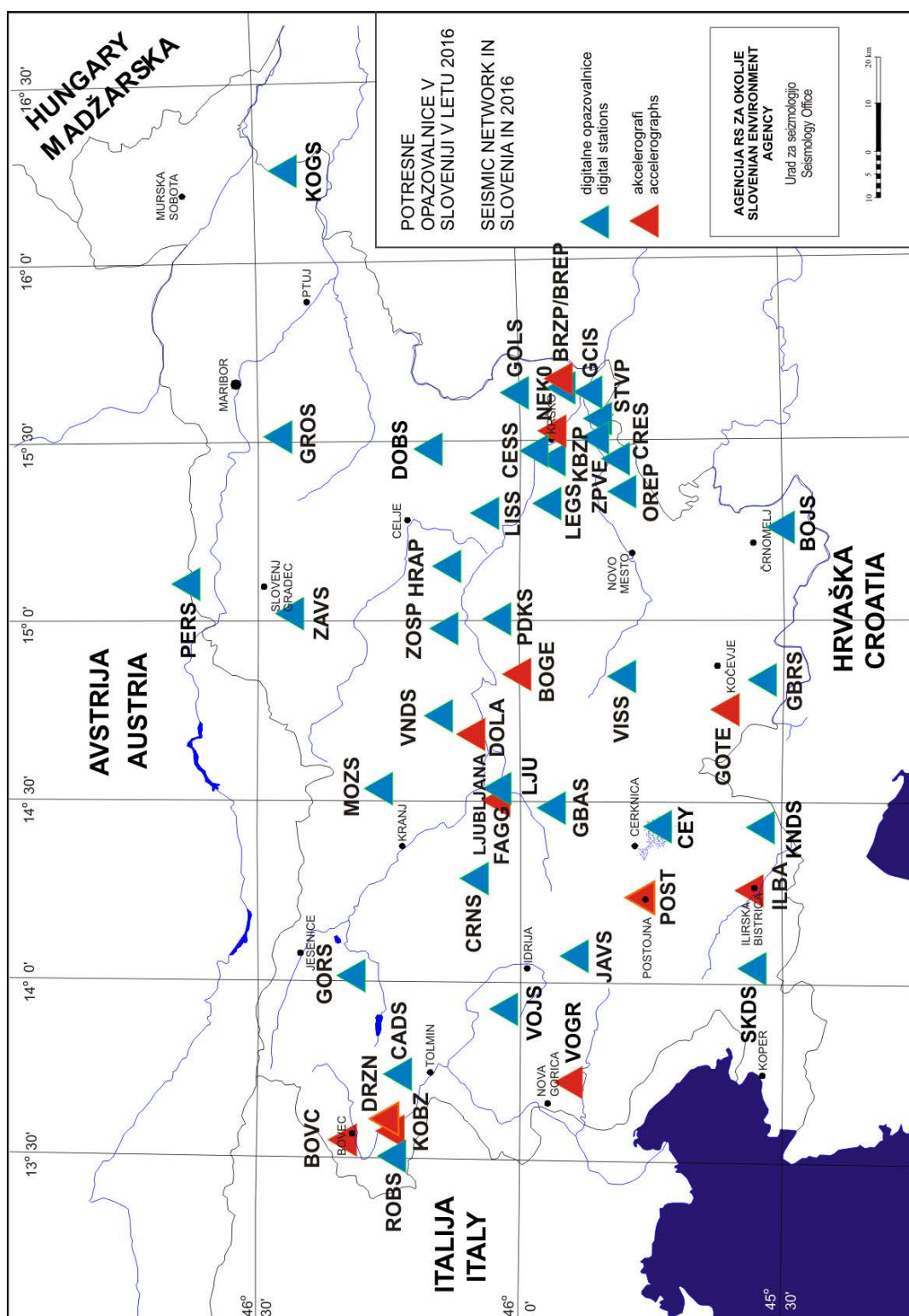
Digitalne potresne opazovalnice

V letu 2016 je v Sloveniji delovalo 35 digitalnih potresnih opazovalnic (preglednica 1, slika 1). Na opazovalnicah na Stojanskem Vrhju (STVP), v Brežicah (BRZP, BREP), v Orehovcu (OREP), Hrastniku (HRAP) in v Zagorju ob Savi (ZOSP), ki so bile zaradi povečane seizmične aktivnosti na posameznem območju postavljene začasno, so se podatki shranjevali na lokalni pomnilniški medij. Z ostalih opazovalnic se podatki samodejno neprekinjeno prenašajo v središče za obdelavo podatkov (SOP) in rezervno središče na observatoriju na Golovcu v Ljubljani.

Tudi v tem letu smo izvedli nekaj večjih posodobitev seizmološke opreme. Na opazovalnicah CADS, CEY, CRNS, GBAS, PERS in VOJS smo zajemalno enoto Q730 zamenjali z novo Q330HRS (Tasič in sod., 2016), na opazovalnicah GOLS in PDKS pa z zajemalno enoto Centaur. Na opazovalnicah CADS, CRNS, GBAS, GOLS, MOZS, PERS, VISS in VOJS smo dodatno namestili akcelerometer (slika 2).

Nadaljevali smo z zamenjavo obstoječega tipa komunikacije s SHDSL tehnologijo prenosa po dveh paricah, zaradi katere je prišlo do menjave modema in usmerjevalnika na opazovalnicah CEY, CRES, GCIS, GOLS, GROS, KBZP, PERS in VOJS. Na opazovalnicah DOBS, GBRS, GORS, KOGS in ROBS je bil modem zamenjan že leta 2015, zato je bil zamenjan le usmerjevalnik.

Po potresu, ki se je zgodil 9. aprila 2016 pri Brežicah z magnitudo $M_{LV}=3,4$, smo začasno postavili instrumente v Brežicah (BREP in BRZP). Kasneje, po najmočnejšem popotresu z magnitudo $M_{LV}=2,5$, smo začasno postavili instrumente še v Orehovcu (OREP). Z namenom bolj natančne opredelitve lokacij potresov v Zasavju je ARSO na tem območju začasno postavila dve prenosni potresni opazovalnici, eno v Hrastniku (HRAP) in drugo v Zagorju ob Savi (ZOSP) (Živčič in sod, 2018).



Slika 1: Potresne opazovalnice Urada za seizmologijo leta 2016
Figure 1: Seismic network of the Republic of Slovenia in 2016.

Preglednica 1: Digitalne potresne opazovalnice v Sloveniji v letu 2016

* - opazovalnica je delovala že prejšnje leto

** - delovanje opazovalnice se nadaljuje v prihodnjem letu

Table 1: Digital seismic stations in Slovenia in 2016.

* - started to operate before 2016

** - the operation continues in 2016

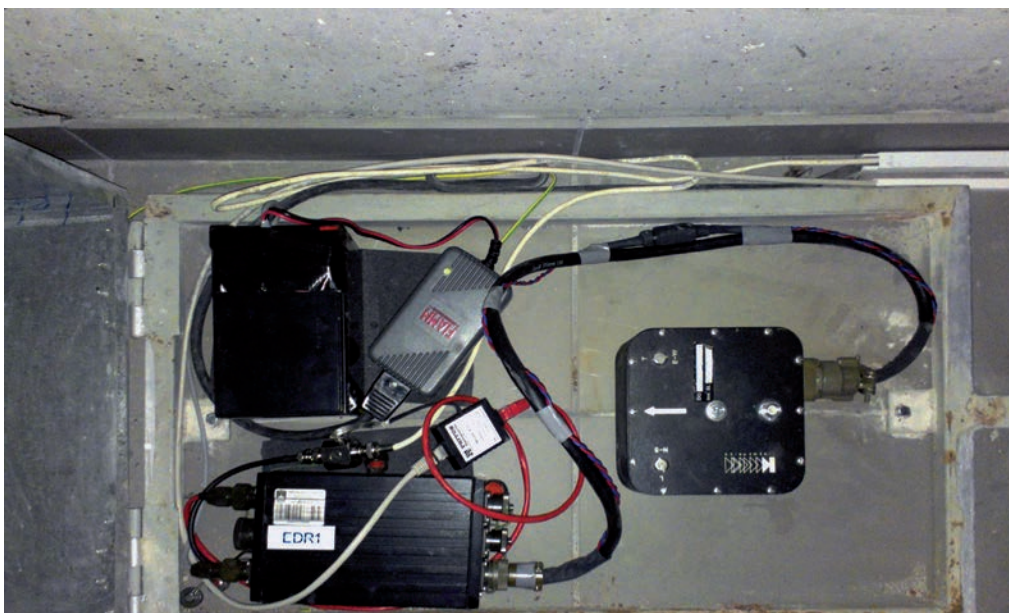
opaz. station	ozn. code	zem. šir.		n. viš. elev. [m]	geološka podlaga local geology	seizmometer/ ser. št. seismometer/sn	zajemalna naprava/ser. št. acquisition unit/sn	čas delovanja operational time	
		latitude °N	longit. °E					od/from	do/to
Bojanci 1986	BOJS	45,5043	15,2518	252	kredni apnenec limestone	STS-2/10417	Q330HR/5655	*	**
						EpiSensor/1723			
Brezje pri Senušah 1990	KBZP	45,9405	15,4390	208	glina clay	CMG-40T/T4B09	CMG-DM24S3/A2533	*	**
Brežice 2016	BRZP	45,9106	15,6086	154		Le-3D-5s/0768	PR6-24/4653	11. 4. 2016	11. 5. 2016
Brežice 2016	BREP	45,9078	15,5916	161		Le-3D-5s/0768	PR6-24/4653	11. 5. 2016	30. 11. 2016
Cerknica (Goričice) 1975	CEY	45,7381	14,4221	579	apnenec limestone	CMG-3ESP/T36903	Q730/2000102	*	12. 2. 2016
						CMG-3ESP/T34238		12. 2. 2016	25. 2. 2016
						CMG-40T/T4B19		7. 7. 2016	20. 10. 2016
								25. 2. 2016	7. 7. 2016
								20. 10. 2016	**
								Centaur/101	*
	FBA 23/32168	*	20. 10. 2016						
	CMG-3ESP/T36903	Q330HR/6104	20. 10. 2016	**					
Cesta 1996	CESS	45,9733	15,4632	372	dolomit dolomite	CMG-40T/T4B18	HRD24-2432/172	*	**
Čadrg 2003	CADS	46,228	13,7368	700	kredni apnenec limestone	CMG-3ESP/T36897	Q730/2000097	*	22. 6. 2016
							Q330HR/5797	22. 6. 2016	**
						CMG-T5/T5HL7	16. 6. 2016	11. 8. 2016	
		CMG-T5/T5JD6	11. 8. 2016	**					
Črešnjevce 2002	CRES	45,826	15,4569	430	dolomit dolomite	STS-2/90733	Q330HR/5797	*	**
						EpiSensor/782			
Črni Vrh 2005	CRNS	46,0807	14,2614	712	sp.triasni sivi dolomit dolomite	CMG-3ESP/T36081	Q730/2000099	*	7. 6. 2016
							Q330HR/6105	7. 6. 2016	**
						CMG-T5/T5HL6	7. 6. 2016	6. 7. 2016	
		CMG-T5/T5JD4	6. 7. 2016	**					
Dobrina 1996	DOBS	46,1494	15,4694	427	spodnjetriasni laporji marl	CMG-3ESP/T35605	Q730/981201	*	24. 8. 2016
							Q730/2000101	24. 8. 2016	**
Gorenja Brezovica 2008	GBAS	45,9348	14,4434	538	zgornjetriasni dolomit dolomite	CMG-3ESP/T35448	Q730/2000104	*	7. 9. 2016
							Q330HR/6100	7. 9. 2016	**
		CMG-5T/T5HL9							
Gornja Briga 2007	GBRS	45,5311	14,8101	610	zgornjetriasni dolomit dolomite	CMG-3ESP/T35448	Q730/2000105	*	**
Gornji Cirknik 2003	GCIS	45,8672	15,6275	390	dolomit dolomite	CMG-3ESP/T34749	Q730/2000109	*	**
Goliše 2002	GOLS	46,0107	15,6245	559	masiven dolomit massive dolomite	CMG-40TBH/T4B26	Q730/2000100	*	**
							FBA23/32206	Centaur/101	8. 12. 2016

opaz. station	ozn. code	zem. šir.	zem. dol.	n. viš. elev. [m]	geološka podlaga local geology	seizmometer/ ser. št. seismometer/sn	zajemalna naprava/ser. št. acquisition unit/sn	čas delovanja operational time	
		latitude °N	longit. °E	od/from				do/to	
Gorjuše 2004	GORS	46,3174	13,9999	1048	ploščasti apnenec z roženci platy limestone with chert	CMG-3T/T36604	Q330HR/5657	*	**
						EpiSensor/785			
Grobnik 2002	GROS	46,4610	15,5017	930	tonalit tonalite	CMG-3ESP/T335604	Q730/2000113	*	**
Javornik 2003	JAVS	45,8934	14,0643	1100	zgornje triasni dolomit dolomite	CMG-3T/T37725	Q330HR/5881		
Knežji dol 2003	KNDS	45,5279	14,3806	1024	zgornje jurski apnenec limestone	STS-2/120925	Q330HR/5798	*	**
Kog 2004	KOGS	46,4481	16,2503	245	glina clay	CMG-3T/T37085	Q330HR/5653	*	**
						EpiSensor/784			
Legarje 2002	LEGS	45,9488	15,3177	390	sivi dolomit dolomite	CMG-40TB/T4B29	Q730/2000107	*	**
						FBA-23/32168	Centaur/105		
Lisca 2002	LISS	46,0673	15,2906	948	masiven dolomit massive dolomite	CMG-40T/T4B06	EDR-209/6786	*	**
Ljubljana 1958	LJU	46,0438	14,5278	396	karbonski peščenjaki sandstone	STS-2/40316	Q330HR/5656	*	**
						EpiSensor/783			
Možjanca 2005	MOZS	46,2941	14,4433	660	ploščasti apnenec platy limestone	CMG 3T/T37540	Q330HR/5654	*	**
						CMG-5T/T5HL5		2. 8. 2016	
Orehovec 2016	OREP	45,8308	15,4215	210		Le-3D-5s/0059	PR6-24/4976	26. 9. 2016	7. 10. 2016
Pernice 2002	PERS	46,636	15,1167	795	blestnik schist	CMG-3ESP/T35616	Q730/2000110	*	19. 7. 2016
						CMG-5T/T5JD5	Q330HR/6102	19. 7. 2016	**
Podkum 2002	PDKS	46,0612	14,9977	679	dolomit dolomite	CMG-40TBH/T4B28	Q730/2000110	*	**
						FBA-23/003349	Taurus/003349	*	12. 10. 2016
							Centaur/198	12. 10. 2016	**
Robič 2002	ROBS	46,2445	13,5094	257	apnenec limestone	CMG-3ESP/T34746	Q730/2000106	*	**
Skadanščina 2006	SKDS	45,5464	14,0143	552	ploščati apneneci platy limestone	STS-2/T10416	Q330HR/5658	*	**
						EpiSensor/786			
Stojanski vrh 2015	STVP	45,8564	15,5350	276	dolomit dolomite	Le-3D-5s/768	PR6-24/4953	*	14. 1. 2016
Višnje 2003	VISS	45,8033	14,8393	399	siv apnenec limestone	CMG 3T/T37529	Q330HR/5879	*	**
						CMG 5T/T5HL8		16. 6. 2016	14. 12. 2016
						CMG 5T/T5HL7		14. 12. 2016	**
Vojsko 2004	VOJS	46,0322	13,8877	1072	zgornjetriasni dolomit dolomite	CMG-3ESP/T35617	Q730/2000112	*	20. 1. 2016
						CMG-3ESP/T3S67		20. 1. 2016	15. 9. 2016
						CMG 5T/T5V48	Q330HR/6103	15. 9. 2016	**
Vrh pri Dolskem 2006	VNDS	46,1016	14,7014	531	kremenov peščenjak quartz sandstone	CMG-3TBH/T35126	Q330HR/5880	*	**
						EpiSensor/1722			
Zagorje 2016	ZOSP	46,1387	14,9893	250		Le-3D-5s/0768	PR6-24/4653	1. 12. 2016	**
Zavodnje 2005	ZALS	46,4342	15,0246	749	granodiorit granodiorite	CMG 40T/T4B11	Q730/2000114	*	**



Slika 2: Namestitev akcelerometra CMG-5T v seizmičnem jašku na opazovalnici CADs. (foto: I. Tasič)

Figure 2: Installation of the accelerometer CMG-5T in seismic shaft on CADs seismic station. (Photo: I. Tasič).



Slika 3: Postavitev akcelerometra FBA-23 in zajemalne naprave EDR-209 v kleti občinske stavbe v Ilirski Bistrici. (foto: I. Tasič)

Figure 3: Accelerometer FBA-23 and acquisition unit EDR-209 in the cellar of municipal building in Ilirska Bistrica (Photo: I. Tasič)

Opazovalnice za beleženje močnega gibanja tal

V letu 2016 smo na osmih potresnih opazovalnicah državne mreže namestili še akcelerometer, tako da je bilo konec leta 2016 18 opazovalnic opremljenih z akcelerometrom in seizmometrom (preglednica 1). Na začasni opazovalnici BRZE je bil postavljen akcelerometer. Za merjenje pospeškov tal v urbanih območjih imamo 10 lokacij opremljenih s pospeškometri/akcelerografi (BOGE, BOVC, DOLA, DRZN, GOTE, ILBA, KOBR, NEK0, FAGG in VOGR; slika 3). Prenos podatkov z opazovalnice ILBA poteka neprekinjeno preko komunikacijskega omrežja državnih organov, z ostalih dopolnilnih opazovalnic pa preko klicne povezave (linija ali GSM). Slednji instrumenti delujejo v prožilnem načinu in beležijo le dogodke, ki imajo pospeške tal večje od nastavljenega praga proženja. Podatki o času delovanja posameznih opazovalnic v urbanih območjih, njihovih oznakah, lokacijah in serijskih številkah so navedeni v preglednici 2.

Preglednica 2: Podatki o opazovalnicah za beleženje močnega gibanja tal, ki so v Sloveniji delovale v letu 2016.

Table 2: Free-standing strong motion seismic stations operating in Slovenia in 2016.

vse leto = entire year.

opaz. station	ozn. code	zem. šir. latitude	zem. dol. longitude	nad. viš. elev. [m]	senzor sensor type	zajemalna naprava acquisition unit	ser. številka serial number	merilni obseg full scale range	čas delovanja operational time
		°N	°E						
Bogenšperk	BOGE	46,0237	14,8572	422	FBA-23	Etna	1245	1 g	vse leto
Bovec	BOVC	46,3382	13,5543	455	FBA-23	Etna	1476	4 g	do 10. 2. 2016
						Etna	811	1 g	od 10. 2. 2016 dalje
Brežice	BRZE	45,9078	15,5916	161	FBA-23	Etna	6596	2 g	od 12. 4. do 11. 5. 2016
Dolsko	DOLA	46,0938	14,6781	265	FBA-23	Etna	810	1 g	vse leto
Drežnica	DRZN	46,2586	13,6126	544	EpiSensor	Etna	2134	2 g	vse leto
Gotenica	GOTE	45,6095	14,7464	670	FBA-23	Etna	1246	1 g	vse leto
Ilirska Bistrica	ILBA	45,5638	14,2446	404	FBA-23	EDR 209	6142	0,25 g	vse leto
Kobarid	KOBR	46,2474	13,5786	234	EpiSensor	Etna	2133	2 g	vse leto
Krško (NEK)	NEK0	45,9391	15,5185	156	FBA-23	Etna	1334	2 g	vse leto
Ljubljana - FGG	FAGG	46,0459	14,4944	295	FBA-23	Etna	6597	2 g	vse leto
Vogršček	VOGR	45,9057	13,7259	106	EpiSensor	K2	2228	2 g	vse leto
Župeča vas	ZPVE	45,8841	15,5263	154	EpiSensor	Etna	1477	4 g	do 14. 1. 2016

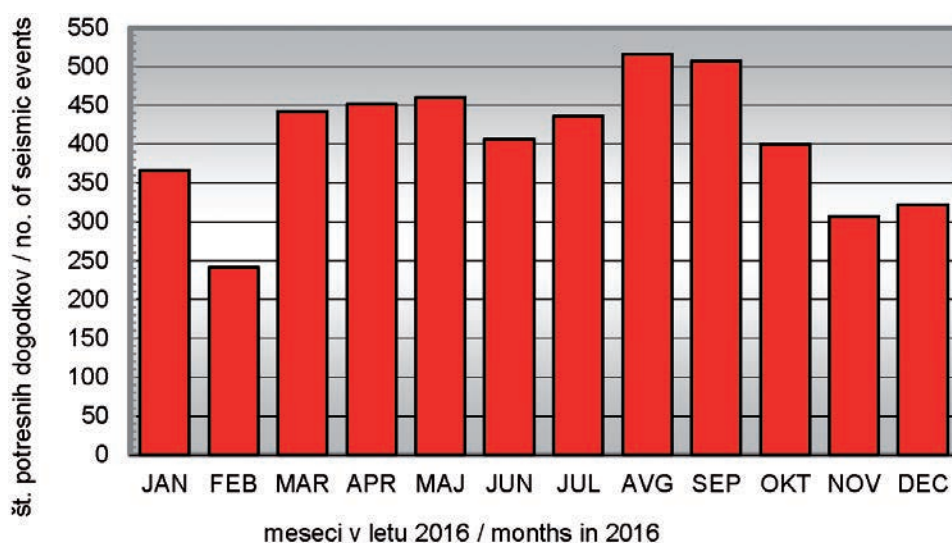
Število zabeleženih potresnih dogodkov

Slovenske potresne opazovalnice so leta 2016 zabeležile 4855 potresnih dogodkov, od tega 2130 lokalnih potresov, 410 bližnjih in 652 oddaljenih (ARSO, 2016). Seizmografi so zapisali tudi 1659 umetnih potresov (preglednica 3, sliki 4 in 5). Potresni dogodek je namreč lahko naravnega ali umetnega izvora.

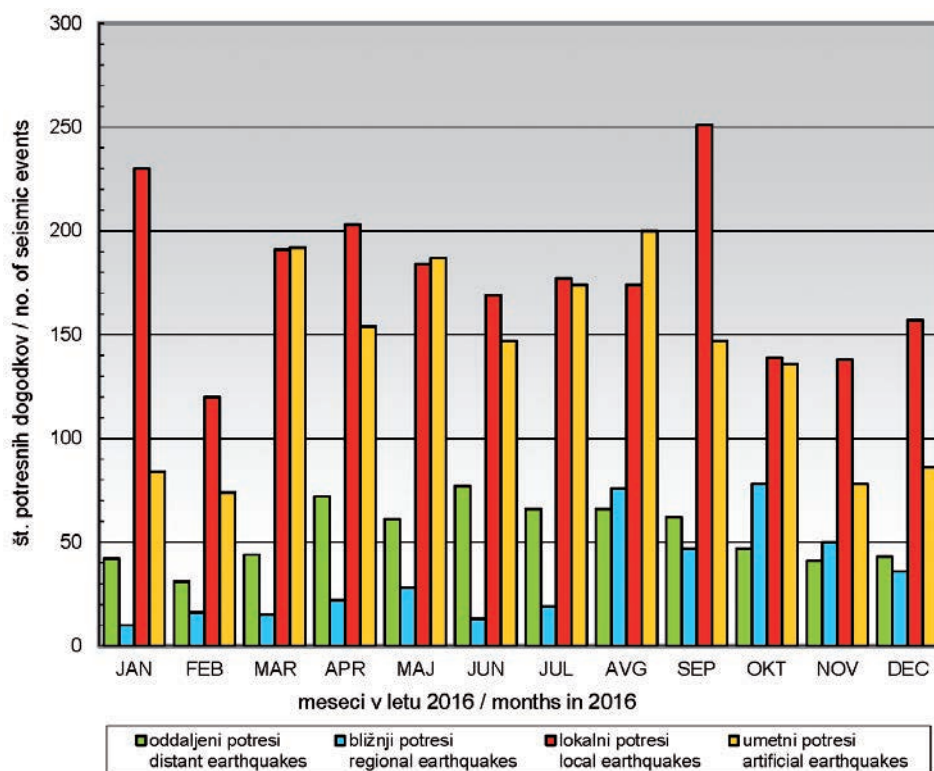
Preglednica 3: Potresi v letu 2016, zabeleženi na slovenskih potresnih opazovalnicah.

Table 3: Earthquakes in 2016 recorded at Slovenian seismic network.

mesec	oddaljeni potresi	bližnji potresi	lokalni potresi	umetni potresi	dogodki
month	distant earthquakes	regional earthquakes	local earthquakes	artificial	events
januar January	42	10	230	84	366
februar February	31	16	119	74	241
marec March	44	15	191	192	442
april April	72	22	203	154	451
maj May	61	28	184	187	460
junij June	77	13	169	147	406
julij July	66	19	176	174	436
avgust August	66	76	174	200	516
september September	62	47	251	147	507
oktober October	47	78	138	136	400
november November	41	50	138	78	307
december December	43	36	157	86	322
skupaj Total	652	410	2130	1659	4855
legenda Legend	<p>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)</p> <p>Δ - oddaljenost od Ljubljane v kotnih stopinjah: 1° predstavlja približno 111,1 km v smeri sever - jug in 77km v smeri vzhod- zahod Δ - distance from Ljubljana, in degrees: 1° is approx. 111,1 km in N-S direction, and 77 km in E-W direction</p>				



Slika 4: Število potresnih dogodkov po mesecih v letu 2016
Figure 4: Monthly distribution of seismic events in 2016.



Slika 5: Število naravnih (oddaljenih, bližnjih in lokalnih posebej) in umetnih potresov po mesecih v letu 2016
Figure 5: Monthly distribution of earthquakes (distant, regional, local) and artificial events in 2016.

Literatura

- Agencija Republike Slovenije za okolje, 2016. Baza podatkov za potrese na ozemlju Slovenije leta 2016. Arhiv ARSO, Ljubljana.
- Tasič, I., Mali, M., Pfundner, I., Pančur, L., 2016. Zajemalna enota Quanterra Q330HRS; preliminarni test šestih enot. Potresi v letu 2014 (ur. A. Gosar), ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 50–54.
- Živčič, M., Čarman, M., Jesenko, T., 2018. Poročilo. Potresna dejavnost v Zasavju v obdobju od 1. decembra 2016 do 24. oktobra 2017, ARSO, Urad za seizmologijo, 8 str.

Potresi v Sloveniji leta 2016

Earthquakes in Slovenia in 2016

Povzetek

Leta 2016 je državna mreža potresnih opazovalnic zabeležila 2130 potresov v Sloveniji ali bližnji okolici, prebivalci so jih čutili vsaj 118. 22 potresov je imelo lokalno magnitudo večjo ali enako 2,0. Najmočnejši potres leta 2016 z lokalno magnitudo 3,4 se je zgodil 9. aprila ob 13.02 po univerzalnem koordiniranem času (UTC) pri Brežicah. Največja intenziteta potresa je bila V EMS-98. Posamezni prebivalci Slovenije, predvsem v višjih nadstropjih, so čutili tudi pet potresov, ki so se zgodili v srednji Italiji.

Abstract

In 2016 the Seismic Network of the Republic of Slovenia recorded 2130 local earthquakes, at least 118 of which were felt by the inhabitants. There were 22 earthquakes with a local magnitude equal to or higher than 2.0. The strongest earthquake in Slovenia in 2016, happened on 9 April at 13:02 UTC near Brežice. Its local magnitude was 3.4, and the maximum intensity V EMS-98 was observed in two localities. Some of the inhabitants of Slovenia felt five regional earthquakes with epicentres in Central Italy in August and October 2016.

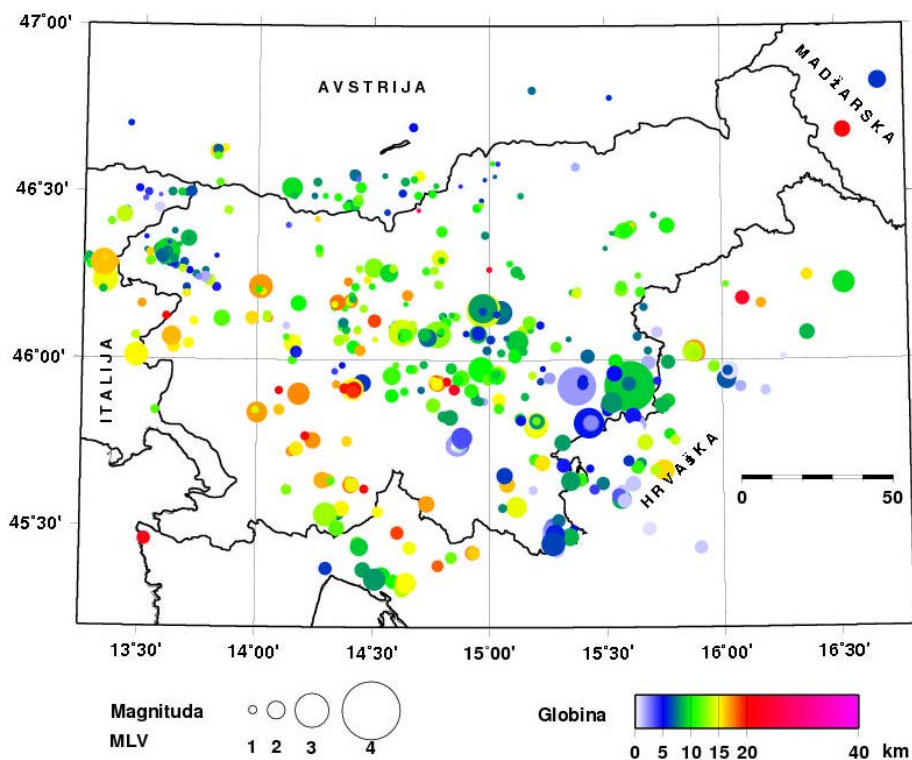
Uvod

Državno mrežo potresnih opazovalnic je leta 2016 sestavljalo 26 digitalnih opazovalnic z neprekinjenim prenosom podatkov v podatkovno središče na Agenciji Republike Slovenije za okolje (ARSO) in rezervno podatkovno središče na observatoriju na Golovcu, oboje v Ljubljani (Sinčič in drugi, 2018). Poleg tega so se v stvarnem času zbirali tudi podatki tujih potresnih opazovalnic. Predvsem opazovalnice sosednjih držav (Avstrija, Hrvaška, Italija, Madžarska) omogočajo natančnejši izračun lokacije potresa. Še posebej to velja za potrese, katerih nadžarišča so blizu slovenske državne meje.

Potresna dejavnost v Sloveniji leta 2016

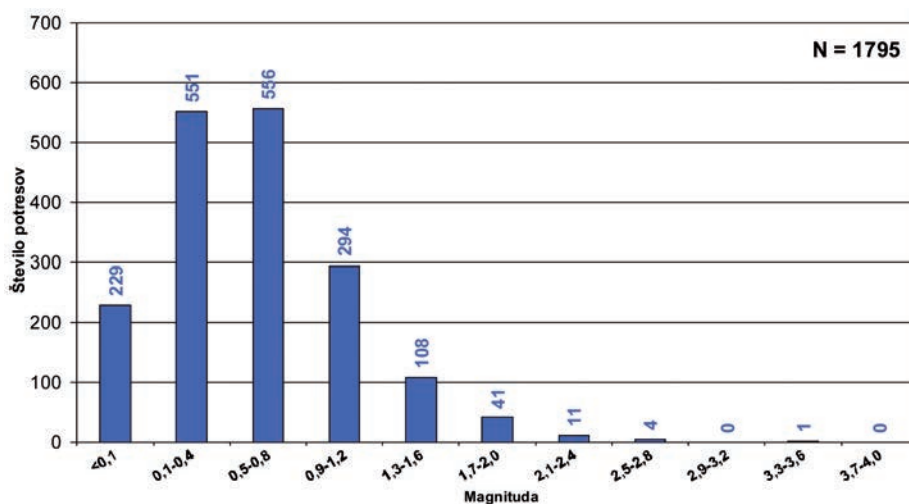
Potresne opazovalnice državne mreže so leta 2016 zabeležile 2130 lokalnih potresov z žariščem v Sloveniji ali njeni bližnji okolici. Za lokalne potrese štejemo tiste, ki so nastali v Sloveniji ali njeni bližnji okolici (do 50 km od najbližjega slovenskega obmejnega kraja). Za 1798 lokalnih potresov smo zbrali dovolj podatkov, torej zapise z vsaj treh opazovalnic, da smo lahko izračunali lokacijo žarišča. Za 1795 izmed njih, ki so prikazani na sliki 1, smo lahko določili tudi magnitudo. 22 potresov je imelo lokalno magnitudo večjo ali enako 2,0, od tega eden večjo od 3,0. Po podatkih za obdobje 1997–2015, potem ko iz kataloga odstranimo pred- in popotrese, se v Sloveniji vsako leto v povprečju zgodi 24 potresov z lokalno magnitudo večjo ali enako 2,0 in trije potresi z lokalno magnitudo večjo ali enako 3,0 (ARSO, 2017). Histogram na sliki 2 kaže porazdelitev lokalne magnitude (M_{LV}), 97 odstotkov vseh potresov leta 2016 je imelo lokalno magnitudo manjšo od 1,7.

Porazdelitev globine žarišč potresov (slika 3) kaže, da so imeli leta 2016 vsi potresi na območju Slovenije in bližnje okolice (1798) žarišča do globine 30 km. 36 odstotkov potresov je imelo žariščno globino enako ali manjšo od 6 km, 54 odstotkov potresov se je zgodilo na globini med 6,1 in 15 km, 9 odstotkov potresov je imelo žarišče v globini med 15,1 in 21 km, 5 potresom (0,3 %) pa smo določili žariščno globino, ki je večja od 21 km.



Slika 1: Nadžarišča potresov leta 2016, ki smo jim določili žariščni čas, koordinati nadžarišča in globino žarišča. Barva simbola ponazarja žariščno globino, njegova velikost pa vrednost lokalne magnitude M_{LV} .

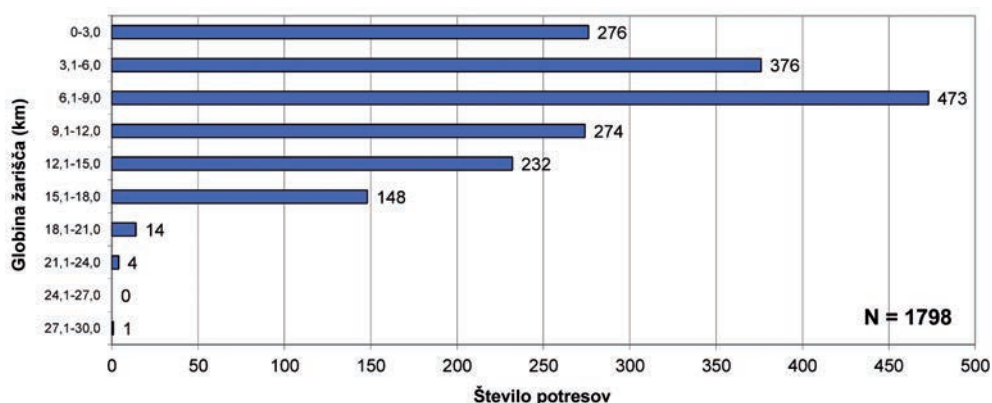
Figure 1: Distribution of earthquake epicenters in 2016, with calculated hypocentral time, epicentral coordinates and focal depth; coloured symbols of varying sizes denote focal depth and local magnitude M_{LV} . Magnituda = magnitude; globina = depth.



Slika 2: Porazdelitev magnitude (M_{LV}) potresov v Sloveniji leta 2016

Figure 2: Distribution of earthquakes in Slovenia in 2016 with respect to M_{LV} magnitude. Magnituda = magnitude; število potresov = number of earthquakes.

Najmočnejši potres leta 2016 v Sloveniji se je zgodil 9. aprila ob 13.02 po UTC (Coordinated Universal Time) ali po 15.02 SEPČ (srednjeevropski poletni čas) v bližini Brežic. Imel je lokalno magnitudo 3,4 in največjo intenziteto V EMS-98. S kratico EMS-98 označujemo evropsko potresno lestvico (Grünthal, 1998). Potres je v nadžariščnem območju povzročil zelo majhne poškodbe na posameznih stavbah (predvsem lasaste razpoke v ometu in zidovih ter odpadanje manjših kosov ometa). Ob močnem tresenju in bobne-



Slika 3: Porazdelitev globine žarišča potresov v Sloveniji leta 2016 (v kilometrih)

Figure 3: Distribution of earthquakes in Slovenia in 2016 with respect to focal depth (in kilometres). Število potresov = number of earthquakes; globina žarišča = focal depth.

nju so se prebivalci prestrašili, sploh zaradi svežega spomina na potres 1. novembra 2015 (Šket in drugi, 2016), ki je na Gorjancih v bližini Brežic povzročil precej škode. Po potresu sta bili v bližini nadžarišča začasno postavljeni dve prenosni potresni opazovalnici. Začasne potresne opazovalnice, postavljene v bližini nadžarišča, nam omogočajo natančnejši izračun osnovnih parametrov popotresov ali potresnega niza, kot sta lokacija žarišča in globina potresa.

V preglednici 1 so osnovni podatki za 99 lokalnih potresov z izračunano lokalno magnitudo, večjo ali enako 1,5, od katerih so jih prebivalci Slovenije čutili 46. Poleg teh je navedenih še 71 šibkejših potresov, ki so jih prebivalci Slovenije čutili in smo jim lahko izračunali lokacijo nadžarišča. Za vsak potres so navedeni datum (leto, mesec, dan), žariščni čas po UTC (ura, minuta, sekunda), koordinati nadžarišča (zemljepisna širina °N, zemljepisna dolžina °E), globina žarišča (km), lokalna magnituda (M_{LV}) in največja intenziteta (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 potresov v Sloveniji podano ime naselja, ki je najbližje nadžarišču in je navedeno v seznamu naselij Geodetske uprave RS (RGU, 1995), za preostala (nadžarišče je več kot 5 km oddaljeno od najbližjega naselja iz omenjenega seznama ali pa je izven slovenskih meja) smo topnim poiskali s pomočjo storitev Google Zemljevidi/Google Earth. Če podatki niso zadoščali za nedvoumno določitev intenzitete, smo potresu pripisali razpon mogočih vrednosti (npr. IV–V).

Za določitev osnovnih parametrov potresov, navedenih v preglednici 1, smo uporabili analize potresov, zapisanih na potresnih opazovalnicah državne mreže v Sloveniji (ARSO, 2016–2017), Avstriji (ZAMG, 2016–2017), na Hrvaškem (GEOF-PMF, 2016–2017), v Italiji (OGS, 2016) in na Madžarskem (Tóth in drugi, 2017). Žariščni čas (čas nastanka potresa), koordinati nadžarišča in žariščno globino smo določili iz časa 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

Preglednica 1: Seznam potresov leta 2016, ki imajo lokalno magnitudo M_{LV} večjo ali enako 1,5 in smo jim lahko izračunali žariščni čas, koordinati nadžarišča (epicentra) ter globino žarišča. Pri potresih, ki so jih ljudje čutili, je navedena še največja intenziteta. V preglednici je tudi 71 potresov s sicer manjšo lokalno magnitudo, vendar so jih prebivalci Slovenije čutili in smo jim tudi lahko določili osnovne parametre.

Table 1: List of earthquakes with $M_{LV} \geq 1,5$ in 2016, for which the hypocentral time, coordinates of the epicentre and the focal depth were calculated; the maximum intensity of earthquakes that felt by inhabitants is also provided. Information is also included on 71 earthquakes of a lower magnitude, felt by the inhabitants of Slovenia, for which the hypocentral time, coordinates of the epicentre and the focal depth are calculated.

h = focal depth; nst = number of stations used; RMS = the root mean square of time residuals.

datum			čas (UTC)			z. šir.	z. dolž.	h	nst	RMS	M_{LV}	I_{max}	potresno območje
leto	mesec	dan	h	m	s	°N	°E	km		s		EMS 98	
date			time (UTC)			lat	lon	h	nst	RMS	M_{LV}	I_{max}	epicentral area
year	month	day	h	min	s	°N	°E	km		s		EMS 98	
2016	1	6	14	47	34,8	46,18	14,40	17	41	0,4	1,7		Mavčiče
2016	1	9	6	2	53,9	45,87	15,53	6	33	0,4	1,2	III	Gorenja Pirošica
2016	1	12	3	10	9,7	46,36	13,70	9	32	0,2	1,6		Soča
2016	1	14	8	33	25,8	45,84	14,00	17	41	0,3	1,8		Gradišče pri Vipavi
2016	1	21	21	22	4,8	45,53	14,35	8	16	0,7	1,0	čutili	Kuteževo
2016	1	21	21	28	25,1	45,55	14,34	9	8	0,2	0,9	čutili	Kuteževo
2016	1	21	21	46	3,1	45,54	14,35	8	30	0,5	1,3	III	Kuteževo
2016	1	22	18	23	38,8	46,01	15,42	7	36	0,4	1,3	III	Selce nad Blanco
2016	1	25	20	17	29,3	45,97	14,96	10	67	0,5	2,4	IV	Kržišče pri Čatežu
2016	1	26	17	7	4,6	45,90	15,49	5	5	0,2	0,4	III	Veliko Mraševo
2016	1	26	19	32	13,6	45,94	14,99	12	39	0,7	1,5		Gorenji Podboršt pri V. Loki
2016	1	29	17	17	27,3	46,32	13,58	8	40	0,3	1,5		Kal - Koritnica
2016	2	1	12	30	55,5	46,15	15,04	7	7	0,1	0,7	III	Trbovlje
2016	2	4	3	18	10,2	45,69	15,65	8	33	0,5	1,7		Donja Reka, Hrvaška
2016	2	9	13	11	58,1	45,93	14,45	6	39	0,5	1,6	IV	Gorenja Brezovica

datum			čas (UTC)			z. šir.	z. dolž.	h	nst	RMS	M_{LV}	I_{max}	potresno območje
leto	mesec	dan	h	m	s	°N	°E	km		s		EMS 98	
date			time (UTC)			lat	lon	h	nst	RMS	M_{LV}	I_{max}	epicentral area
year	month	day	h	min	s	°N	°E	km		s		EMS 98	
2016	2	11	4	10	17,6	45,63	15,61	1	32	0,5	1,5		Izimje, Hrvaška
2016	2	11	15	11	30,9	46,32	13,59	8	37	0,3	1,8		Čezsoča
2016	2	13	22	40	17,3	45,74	14,84	1	15	0,3	0,9	III	Vrbovec
2016	2	14	6	28	51,1	45,99	15,68	2	26	0,5	1,4	IV	Vitna vas
2016	2	19	17	55	46,8	45,86	15,50	4	21	0,3	1,0	III	Pristava ob Krki, meja Slovenija-Hrvaška
2016	2	20	4	26	4,1	45,75	15,31	8	46	0,4	1,7	III-IV	Jugorje
2016	2	27	23	39	18	45,79	15,21	9	26	0,3	1,2	III-IV	Šentjošt
2016	3	1	23	49	1,6	45,76	14,24	17	38	0,3	1,5		Stara vas
2016	3	4	19	36	14,9	45,37	14,46	8	19	0,5	1,5	III	Ilovik, Hrvaška
2016	3	5	18	7	10,2	45,74	14,84	2	15	0,3	1,2	III	Vrbovec
2016	3	9	17	41	30,2	46,07	14,75	5	41	0,5	1,6		Mala Štanga
2016	3	11	4	2	48,5	45,95	14,88	11	47	0,4	1,9	III-IV	Grm
2016	3	13	22	49	9,4	46,14	15,05	7	25	0,3	1,2	IV	Trbovlje
2016	3	16	0	8	10,5	45,75	14,86	2	63	0,5	2,0	IV	Polom
2016	3	20	13	19	4,6	45,75	14,86	4	21	0,3	1,1	čutili	Seč
2016	3	20	14	36	55,8	45,77	14,87	2	19	0,2	1,4	čutili	Pleš
2016	3	22	2	12	1,9	45,92	15,37	2	71	0,5	2,7	IV-V	Vrh pri Površju
2016	3	22	4	51	59,1	45,70	15,19	11	34	0,5	1,5	III	Brezova Reber
2016	3	27	17	51	16,4	45,58	15,56	8	51	0,4	1,9		Konjkovsko, Hrvaška
2016	3	29	17	54	26,5	45,90	15,50	7	6	0,1	0,8	II	Črešnjsice pri Cerkljah
2016	4	3	1	13	8,8	46,28	14,50	13	62	0,4	1,9	III-IV	Stiška vas

datum			čas (UTC)			z. šir.	z. dolž.	h	nst	RMS	M_{LV}	I_{max}	potresno območje
leto	mesec	dan	h	m	s	°N	°E	km		s		EMS 98	
date			time (UTC)			lat	lon	h	nst	RMS	M_{LV}	I_{max}	epicentral area
year	month	day	h	min	s	°N	°E	km		s		EMS 98	
2016	4	4	9	17	52	46,22	14,01	17	70	0,4	2,2	IV	Petrovo Brdo
2016	4	7	1	29	57	45,85	15,51	6	34	0,4	1,1	IV	Hrastek
2016	4	7	1	33	44,2	45,85	15,50	5	3	0	0,1	čutili	Hrastek
2016	4	7	1	38	33,5	45,85	15,50	6	4	0	0,3	čutili	Hrastek
2016	4	7	1	40	51	45,85	15,51	4	4	0,1	<0,1	čutili	Hrastek
2016	4	7	3	56	53,4	45,86	15,51	3	8	0,1	0,8	III	Šutna
2016	4	7	4	55	6,2	45,85	15,50	4	17	0,3	1,1	III	Hrastek
2016	4	7	15	48	15,2	45,54	14,28	11	27	0,4	1,5		Gornji Zemon
2016	4	7	20	28	18,3	45,63	15,17	6	5	0,2	0,4	zvok	Starihov Vrh
2016	4	7	20	28	38,4	45,64	15,19	9	16	0,3	0,7	III	Lipovec
2016	4	8	5	26	35,5	45,86	15,51	4	6	0,2	0,7	III	Hrastek
2016	4	9	13	2	33,1	45,92	15,60	8	81	0,5	3,4	V	Cundrovec
2016	4	9	16	18	41,6	45,91	14,41	15	66	0,4	2,2		Zabočevo
2016	4	12	14	39	9,8	46,04	14,15	10	22	0,5	1,5		Račeva
2016	4	15	3	7	51	46,05	14,15	15	49	0,4	1,5	III-IV	Račeva
2016	4	20	23	45	43	45,56	15,11	14	59	0,5	1,8	IV	Miklarji
2016	4	25	20	11	3,4	45,71	15,35	10	5	0,1	0,7	III	Badovinci, Hrvaška
2016	4	26	1	8	36,6	45,86	15,54	7	32	0,3	1,0	III-IV	Gorenja Pirošica
2016	4	26	3	14	58,7	46,21	14,01	11	22	0,3	1,0	III	Petrovo Brdo
2016	4	27	10	37	50,5	45,87	15,53	8	10	0,3	1,0	III	Dolenja Pirošica
2016	4	30	0	40	19,8	45,66	15,33	9	4	0,2	0,4	III	Metlika

datum			čas (UTC)			z. šir.	z. dolž.	h	nst	RMS	M_{LV}	I_{max}	potresno območje
leto	mesec	dan	h	m	s	°N	°E	km		s		EMS 98	
date			time (UTC)			lat	lon	h	nst	RMS	M_{LV}	I_{max}	epicentral area
year	month	day	h	min	s	°N	°E	km		s		EMS 98	
2016	4	30	3	13	18,3	45,88	15,76	9	52	0,5	1,5		Brdovec, Hrvaška
2016	5	1	21	58	35,3	45,87	15,55	6	27	0,4	1,0	III	Gorenja Pirošica
2015	5	2	19	17	25,5	46,15	15,05	7	18	0,4	0,6	III-IV	Trbovlje
2015	5	2	19	53	35,1	46,15	15,06	6	11	0,3	0,5	čutili	Trbovlje
2016	5	4	9	29	15,4	45,54	14,30	13	47	0,5	2,0		Jablanica
2016	5	15	12	59	58,2	45,62	15,19	12	10	0,4	0,8	III	Vinji Vrh pri Semiču
2016	5	21	1	30	24	46,11	14,81	11	43	0,5	1,3	III	Mala sela
2016	5	23	0	10	37,6	46,08	14,78	13	80	0,5	2,6	IV-V	Golišče
2016	5	24	0	26	20,5	45,64	14,28	17	52	0,4	1,6		Bač
2016	5	25	3	7	24,3	46,01	13,48	15	51	0,4	1,7		Neblo, meja Slovenija - Italija
2016	5	25	8	18	48,5	45,47	15,34	5	19	0,4	1,2	čutili	Balkovci
2016	5	26	20	20	16,6	46,21	15,57	13	43	0,5	1,7		Koretno
2016	6	4	16	56	3,3	45,91	14,41	15	44	0,6	1,5		Zabočevo
2016	6	4	19	27	51,2	45,91	14,41	15	52	0,7	1,5		Zabočevo
2016	6	5	14	10	40,7	45,77	14,88	4	58	0,4	1,9	IV-V	Pleš
2016	6	7	18	10	37,2	45,80	15,19	8	69	0,4	2,4	V	Novo mesto
2016	6	7	18	11	12,6	45,81	15,19	6	11	0,4	1,5	III	Smolejeva vas
2016	6	7	18	43	6,2	45,80	15,19	8	59	0,5	2,1	V	Novo mesto
2016	6	7	19	56	44,9	45,81	15,19	3	6	0,3	0,5	III-IV	Smolenja vas
2016	6	8	5	41	8,9	45,81	15,19	7	9	0,2	0,5	III-IV	Smolenja vas
2016	6	8	13	5	5,1	45,81	15,19	0	35	0,5	1,4	IV	Smolenja vas

datum			čas (UTC)			z. šir.	z. dolž.	h	nst	RMS	M _{LV}	I _{max}	potresno območje
leto	mesec	dan	h	m	s	°N	°E	km		s		EMS 98	
date			time (UTC)			lat	lon	h	nst	RMS	M _{LV}	I _{max}	epicentral area
year	month	day	h	min	s	°N	°E	km		s		EMS 98	
2016	6	9	0	17	16,4	45,82	15,20	8	55	0,5	1,5	IV	Smolenja vas
2016	6	12	17	58	26,2	45,80	15,19	7	17	0,5	0,7	III	Smolenja vas
2016	6	13	13	39	13,1	46,51	14,15	9	57	0,5	1,8		Matschach (Mače), Avstrija
2016	6	15	0	9	20,3	46,07	13,63	16	60	0,3	1,8		Anhovo
2016	6	21	19	41	10,4	45,88	15,21	4	17	0,4	0,8	III	Roje pri Trebelnem
2016	6	24	9	44	52,6	46,31	13,61	8	42	0,4	1,9		Kal - Koritnica
2016	7	1	7	16	6,6	45,87	15,52	8	61	0,4	2,0	IV-V	Bušeča vas
2016	7	3	21	40	56,8	46,15	15,04	7	16	0,3	0,6	III-IV	Trbovlje
2016	7	7	21	18	6,4	45,93	15,60	7	46	0,4	1,7	IV	Cundrovec
2016	7	7	21	49	4,4	46,22	15,57	12	31	0,5	1,6		Stranje
2016	7	9	12	0	35,2	46,00	15,54	10	35	0,4	1,6		Ravne pri Zdolah
2016	7	10	2	43	1,3	45,61	15,19	1	9	0,2	0,7	III	Gornja Paka
2016	7	13	7	30	10,9	45,90	14,18	17	51	0,5	2,2	III-IV	Kalce
2016	7	14	6	56	9,2	45,93	15,60	4	19	0,4	1,0	III	Trebež
2016	7	18	5	16	41,7	46,26	14,57	9	32	0,5	1,6		Sidraž
2016	7	22	5	59	59	45,95	15,26	2	14	0,4	0,9	III	Telče
2016	7	26	8	1	33,4	45,47	15,27	2	40	0,6	1,5	III-IV	Vinica, meja Slovenija - Hrvaška
2016	7	29	7	37	54,9	45,93	14,78	18	44	0,5	1,7	III	Spodnja Draga
2016	7	29	14	48	48,7	45,93	14,77	17	47	0,6	1,8		Zavrtače
2016	7	29	21	41	48,4	45,87	14,72	2	37	0,5	1,7	III	Zdenska vas
2016	7	30	11	24	37,2	45,96	15,04	14	48	0,5	1,8		Migolska Gora

datum			čas (UTC)			z. šir.	z. dolž.	h	nst	RMS	M_{LV}	I_{max}	potresno območje
leto	mesec	dan	h	m	s	°N	°E	km		s		EMS 98	
date			time (UTC)			lat	lon	h	nst	RMS	M_{LV}	I_{max}	epicentral area
year	month	day	h	min	s	°N	°E	km		s		EMS 98	
2016	8	7	11	34	32,7	46,02	15,87	13	32	0,4	1,5		Gubaševo, Hrvaška
2016	8	8	2	42	43,6	45,63	14,41	18	54	0,4	1,7		Snežnik
2016	8	8	5	59	1,7	46,02	15,89	12	21	0,5	1,5		Pavlovec Zabočki, Hrvaška
2016	8	8	6	27	31,5	46,03	15,88	17	50	0,5	2,0		Jakuševac Zabočki, Hrvaška
2016	8	11	23	9	3,3	46,02	15,87	14	45	0,6	1,7		Gubaševo, Hrvaška
2016	8	13	21	48	17,7	45,57	14,73	17	53	0,5	1,7		Belica
2016	8	14	9	23	20,2	46,09	14,67	13	25	0,3	1,5		Kleče pri Dolu
2016	8	17	17	19	17,8	45,63	14,41	15	36	0,5	1,6		Snežnik
2016	8	19	15	35	40,7	46,06	14,25	13	16	0,3	0,9	III	Dolenja vas pri Polh. Gradcu
2016	8	21	1	47	6,2	45,64	15,35	8	56	0,4	1,9	IV-V	Radoviči, meja Slovenija-Hrvaška
2016	8	22	2	51	50,9	46,13	15,02	6	37	0,4	1,7		Ravenska vas
2016	8	22	2	51	52,9	46,14	15,05	7	21	0,4	1,9	IV-V	Trbovlje
2016	8	22	3	10	30	46,14	15,02	5	7	0,2	0,8	čutili	Trbovlje
2016	8	24	8	40	8,1	46,23	13,34	15	58	0,4	2,1		Taipana (Tipána), Italija
2016	8	30	14	20	2,9	45,73	14,17	16	32	0,4	1,5		Prestranek
2016	9	8	17	33	40,2	46,15	14,98	8	63	0,5	2,4	V	Zavine
2016	9	8	17	34	52,9	46,16	14,97	8	55	0,5	2,1	IV-V	Zavine
2016	9	9	10	25	16,9	46,40	15,61	11	17	0,6	1,6		Klopce
2016	9	12	23	10	40,1	45,95	15,03	1	54	0,5	1,7	III-IV	Ševnica
2016	9	12	23	14	22,1	45,96	15,03	11	41	0,5	1,1	III	Migolska Gora
2016	9	16	10	28	10,2	45,96	15,53	5	52	0,5	1,6	III-IV	Pleterje

datum			čas (UTC)			z. šir.	z. dolž.	h	nst	RMS	M_{LV}	I_{max}	potresno območje
leto	mesec	dan	h	m	s	°N	°E	km		s		EMS 98	
date			time (UTC)			lat	lon	h	nst	RMS	M_{LV}	I_{max}	epicentral area
year	month	day	h	min	s	°N	°E	km		s		EMS 98	
2016	9	16	16	15	26,4	46,08	14,62	14	62	0,5	2,6	V	Beričevo
2016	9	22	20	0	31	45,81	15,43	4	48	0,5	1,5	IV	Orehovec
2016	9	22	21	31	35,9	45,82	15,43	3	46	0,4	1,4	III-IV	Orehovec
2016	9	25	21	0	9	45,81	15,44	1	10	0,3	0,3	zvok	Orehovec
2016	9	25	21	14	19,9	45,81	15,42	2	77	0,5	2,5	IV-V	Orehovec
2016	9	25	22	27	57,3	45,81	15,43	3	39	0,5	1,2	III-IV	Orehovec
2016	9	26	3	30	21,1	45,82	15,45	1	21	0,3	1,0	čutili	Črešnjevce pri Oštrcu
2016	9	26	3	38	0,8	45,82	15,46	2	6	0,2	0,9	zvok	Oštrc
2016	9	26	3	41	5,3	45,81	15,45	2	7	0,2	0,6	čutili	Črešnjevce pri Oštrcu
2016	9	26	4	44	35,7	45,81	15,44	2	5	0,1	1,0	čutili	Orehovec
2016	9	27	2	44	33,5	46,39	15,58	11	40	0,3	1,9	III	Slovenska Bistrica
2016	9	27	3	18	33,7	46,39	15,59	10	30	0,5	1,7		Slovenska Bistrica
2016	9	27	14	32	37,2	45,82	15,43	2	18	0,3	1,1	III	Orehovec
2016	9	27	15	8	22,8	45,80	15,44	0	4	0,1	1,1	III	Črešnjevce pri Oštrcu
2016	9	27	18	8	5,9	46,08	14,63	11	36	0,4	1,3	III	Videm
2016	10	3	21	22	59,4	46,07	14,73	7	58	0,5	1,8	III-IV	Zgornja Jevnica
2016	10	6	4	21	42,6	46,30	14,79	9	34	0,4	1,5	IV	Lenart pri Gornjem Gradu
2016	10	9	8	29	53,4	45,82	15,43	2	30	0,4	1,5		Orehovec
2016	10	10	11	43	41,2	45,95	14,59	11	51	0,5	1,9	IV	Pijava Gorica
2016	10	16	19	21	34,8	46,12	13,85	11	23	0,3	1,2	zvok	Pečine
2016	10	16	23	16	7,2	46,15	15,06	7	32	0,4	0,9	IV	Trbovlje

datum			čas (UTC)			z. šir.	z. dolž.	h	nst	RMS	M_{LV}	I_{max}	potresno območje
leto	mesec	dan	h	m	s	°N	°E	km		s		EMS 98	
date			time (UTC)			lat	lon	h	nst	RMS	M_{LV}	I_{max}	epicentral area
year	month	day	h	min	s	°N	°E	km		s		EMS 98	
2016	10	16	23	22	53,4	46,14	15,06	8	19	0,3	0,7	III-IV	Trbovlje
2016	10	21	7	42	3	46,12	13,85	12	33	0,3	1,6		Pečine
2016	10	24	19	4	30	46,01	15,11	9	43	0,4	1,5		Svinjsko
2016	10	24	22	25	22,3	46,32	13,61	9	71	0,4	2,0	IV	Kal - Koritnica
2016	11	8	8	54	43,2	46,38	14,79	11	15	0,3	1,4	III	Konjski vrh
2016	11	9	21	37	3	46,25	15,14	9	9	0,2	0,6	III	Spodnje Roje
2016	11	12	4	38	18,7	46,05	15,12	9	43	0,4	1,9	III-IV	Počakovo
2016	11	13	9	14	30,9	46,08	14,95	1	47	0,5	1,9	III	Tepe
2016	11	13	12	0	42,2	46,08	14,95	6	28	0,3	1,6		Tepe
2016	11	16	17	15	9,1	45,82	15,14	15	26	0,4	1,2	III	Prečna
2016	11	16	21	49	31	45,91	14,93	11	39	0,5	1,5	III-IV	Babna Gora
2016	11	19	22	2	12,4	46,40	15,77	9	29	0,5	1,4	IV	Strnišče
2016	11	20	19	0	53,4	46,58	15,37	2	8	0,2	1,6		Rdeči Breg
2016	11	25	14	36	53,5	46,31	13,59	7	17	0,2	1,6	III	Čezsoča
2016	11	25	14	38	29,1	46,31	13,59	7	16	0,2	1,6		Čezsoča
2016	11	27	0	33	16,2	45,75	15,68	16	38	0,5	1,6		Kotari, Hrvaška
2016	11	29	17	42	4	46,32	13,61	7	17	0,2	1,3	III	Kal - Koritnica
2016	12	5	16	58	49	46,08	14,72	9	38	0,3	1,5		Zgornja Jevnica
2016	12	8	23	41	21,2	46,26	15,12	9	20	0,4	1,0	III-IV	Spodnje Grušovlje
2016	12	19	18	22	45	46,17	14,35	18	41	0,4	1,7		Trata
2016	12	22	3	43	43	45,58	15,54	8	38	0,5	2,0		Draganić, Hrvaška

datum			čas (UTC)			z. šir.	z. dolž.	h	nst	RMS	M_{LV}	I_{max}	potresno območje
leto	mesec	dan	h	m	s	°N	°E	km		s		EMS 98	
date			time (UTC)			lat	lon	h	nst	RMS	M_{LV}	I_{max}	epicentral area
year	month	day	h	min	s	°N	°E	km		s		EMS 98	
2016	12	22	8	43	53,3	46,28	13,34	17	61	0,3	2,3	čutili	Monteaperta (Viškorša), Italija
2016	12	22	14	53	22,9	46,17	15,05	3	4	0,1	0,2	III	Gabrsko
2016	12	24	12	7	58,5	46,43	13,42	14	33	0,2	1,5		Chiusoforte (Kluže), Italija
2016	12	24	18	28	44,9	45,48	15,28	6	26	0,4	1,8	III-IV	Podklanec
2016	12	25	5	31	21,1	45,71	15,22	9	8	0,4	0,7	III	Sela pri Jugorju
2016	12	26	11	16	9,9	46,14	15,04	2	9	0,3	0,5	III	Trbovlje
2016	12	26	19	12	18,4	46,13	15,12	1	3	0,2	0,2	čutili	Trbovlje
2016	12	27	17	55	36,3	45,44	15,28	6	58	0,4	2,2	IV	Bosanci, Hrvaška

(Živčič in drugi, 2000). Potresom, ki smo jim lahko določili le koordinate nadžarišča, smo za žariščno globino privzeli sedem kilometrov (Poljak in drugi, 2000). Lokalno magnitudo M_{LV} potresov smo določili iz največje hitrosti navpične komponente nihanja tal na slovenskih opazovalnicah in oddaljenosti nadžarišča do potresne opazovalnice. V preglednici 1 je navedena povprečna vrednost M_{LV} za opazovalnice v Sloveniji. Največja intenziteta (I_{max}), ki jo je potres dosegel na ozemlju Slovenije, je ocenjena po evropski potresni lestvici (EMS-98).

Prebivalci Slovenije so čutili še en zelo šibek potres, ki pa je bil zabeležen le na eni opazovalnici in mu zato nismo mogli določiti osnovnih parametrov (žariščni čas, koordinati nadžarišča itn.). Naveden je v preglednici 2.

Preglednica 2: Potres, ki so ga čutili posamezni prebivalci nadžariščnega območja, nismo pa mogli oceniti njegovih parametrov

Table 2: One earthquake, felt by observers, for which the parameters could not be estimated.

datum			čas (UTC)		M_{LV}	I_{max}	potresno območje
leto	mesec	dan	h	min		EMS-98	
date			time (UTC)			I_{max}	epicentral area
year	month	day	h	min		EMS-98	
2016	8	23	12	15	0,5	III	Trbovlje

V preglednici 3 so navedeni bolj oddaljeni (regionalni) potresi, ki so jih čutili tudi v Sloveniji. Niz močnih potresov je leta 2016 prizadel osrednji del Italije (Jesenko, 2017). Začel se je 24. avgusta ob 1.36 po UTC (3.36 SEPČ) s potresom magnitude 6,2 in se nadaljeval tudi v leto 2017. Pet najmočnejših potresov (dva avgusta in tri oktobra) so čutili tudi posamezniki v Sloveniji, predvsem v višjih nadstropjih zgradb, njihova intenziteta pa v Sloveniji ni preseгла IV EMS-98.

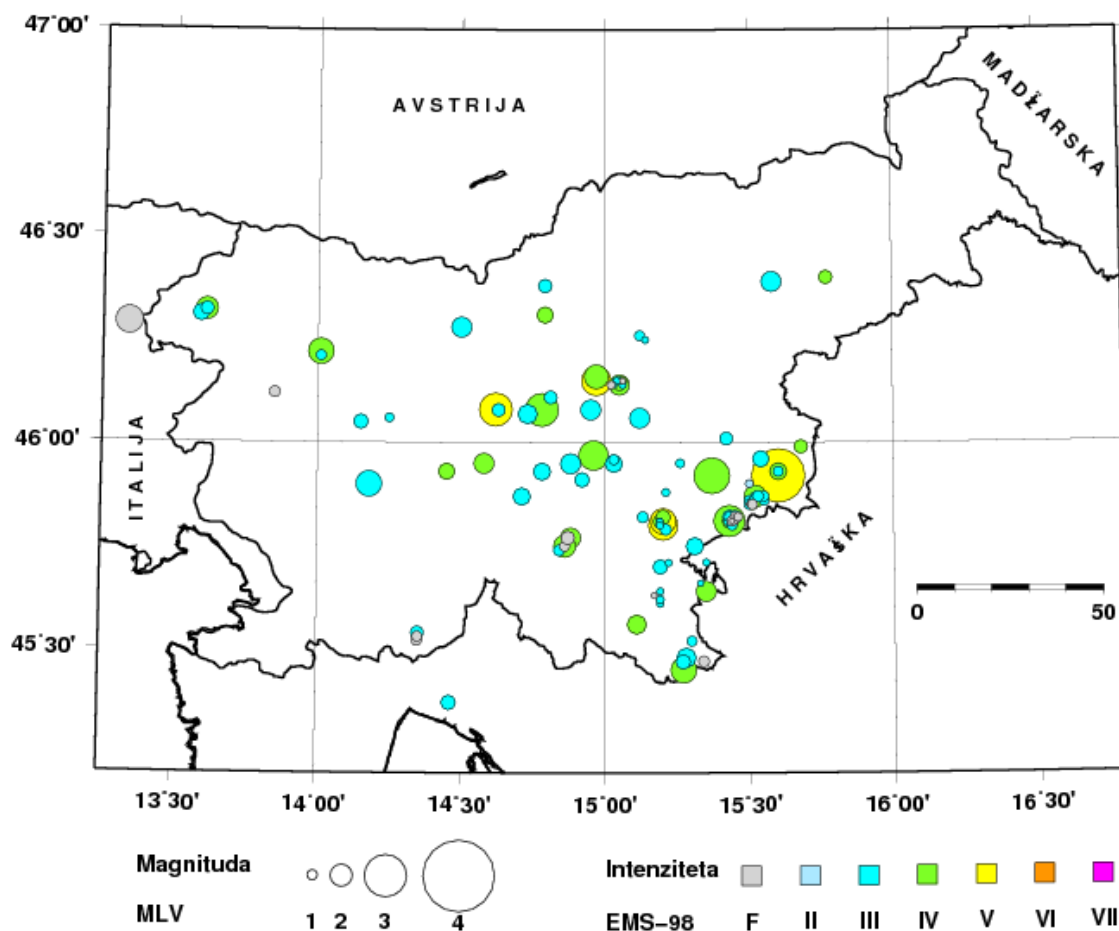
Preglednica 3: Seznam bližnjih (regionalnih) potresov, ki so jih čutili prebivalci Slovenije leta 2016

Table 3: List of regional earthquakes that were felt by the inhabitants of Slovenia in 2016.

datum	čas (UTC)	intenziteta	potresno območje
	h.min	EMS-98	
date	time (UTC)	intensity	epicentral area
	h.min	EMS-98	
24. 8. 2016	1.36	IV	Accumoli, Italija
24. 8. 2016	2.33	čutili	Norcia, Italija
26. 10. 2016	17.10	III	Sellano, Italija
26. 10. 2016	19.17	IV	Visso, Italija
30. 10. 2016	6.40	IV	Norcia, Italija

Podatki o nekaterih močnejših potresih, ki so jih čutili prebivalci Slovenije

Leta 2016 so prebivalci v Sloveniji čutili vsaj 123 potresov, 118 lokalnih in pet regionalnih. Nadžarišča teh potresov so prikazana na sliki 4. Velikost kroga označuje lokalno magnitudo, barva pa največjo doseženo intenziteto potresa v Sloveniji.



Slika 4: Nadžarišča potresov, ki so jih leta 2016 čutili prebivalci Slovenije. Barva simbola ponazarja največjo doseženo intenziteto v Sloveniji, njegova velikost pa vrednost lokalne magnitude M_{LV} .

Figure 4: Epicentres of earthquakes felt in Slovenia in 2016. The size of the symbols represents local magnitude, while the colour represents maximum intensity in Slovenia.

Magnituda = magnitude; intenziteta = intensity.

V nadaljevanju so opisani štirje glavni potresi in en popotres, ki so dosegli učinke V EMS-98. Za vsakega izmed teh potresov je prikazana karta intenzitete po naseljih (slike 5–8) z vrisanim instrumentalno določenim nadžariščem. Intenziteta potresa v posameznem naselju je ocenjena na podlagi vprašalnikov o učinkih potresa. Vprašalnike po potresu pošljemo prostovoljnim poročevalcem ali pa jih občani sami izpolnijo na spletni strani ARSO (<http://www.arso.gov.si/potresi/vprašalnik>) in evropske seizmološke organizacije EMSC (<http://www.emsc-csem.org>). Na sliki 9 so prikazana vsa naselja, od koder smo dobili podatke, da so ljudje čutili učinke katerega izmed teh 123 potresov. Barva in oznaka na sliki opredeljujeta največjo intenziteto, doseženo v posameznem naselju leta 2016. V nadaljevanju so vse navedene magnitude lokalne (M_{LV}).

9. april 2016 ob 13.02 po UTC (sliki 5a in 5b). Najmočnejši potres leta 2016 v Sloveniji je imel magnitudo 3,4. Nadžarišče potresa je bilo v bližini Brežic, globina žarišča pa je bila 9 km. Intenziteto po naseljih smo ocenili na podlagi 649 izpolnjenih vprašalnikov o učinkih potresa (247 papirnih in 402 elektronska). Največjo intenziteto potresa, V EMS-98, smo ocenili v Brežicah in Malem Vrhu, kjer so prebivalci poleg razpok v ometu in zidovih navedli močno tresenje in bobnenje, padanje knjig, prestrašenost, žvenket steklenine in premik pohištva. Kot je značilno za nadžariščno območje, so čutili predvsem navpične sunke: »Najprej je bilo slišati zvok – udami pok, kot bi bomba padla, potem pa se je začelo vse tresti, šklepetati in majati. Pri čemer pa se ni vse majalo sem ter tja kot po navadi pri potresih, ampak je npr. viseča luč v kuhinji poskakovala gor in dol.« Po poročanju prebivalcev so zelo majhne poškodbe na stavbah (lasaste razpoke v ometu, odpadanje manjših kosov ometa) nastale v oddaljenosti do 10 km od nadžarišča, učinke IV EMS-98 pa so navedli v območju okrog 25 km od nadžarišča, severno pa tudi do 40 km. Potres so zaznali v večini vzhodnega dela Slovenije, posamezniki tudi v osrednji Sloveniji, najdlje (123 km) pa poročevalec iz Idrije.

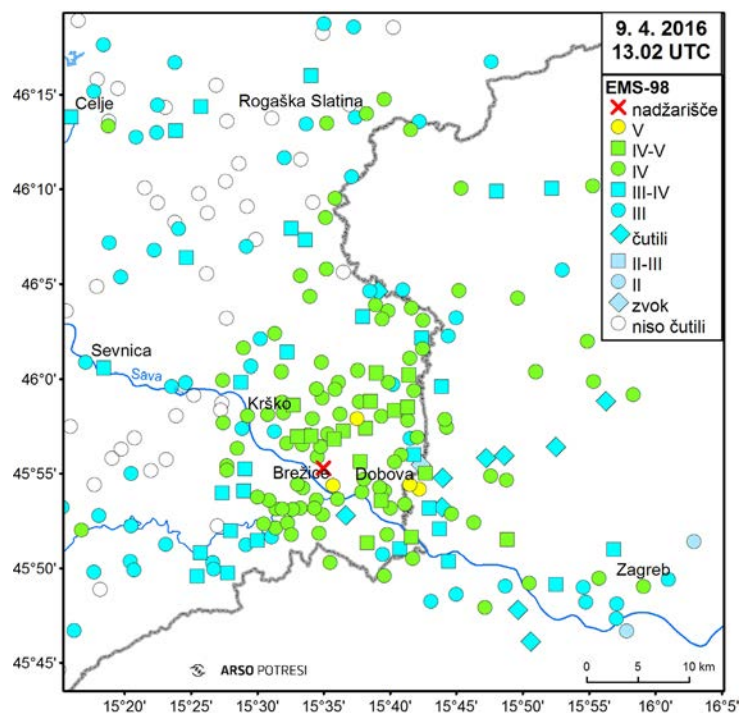
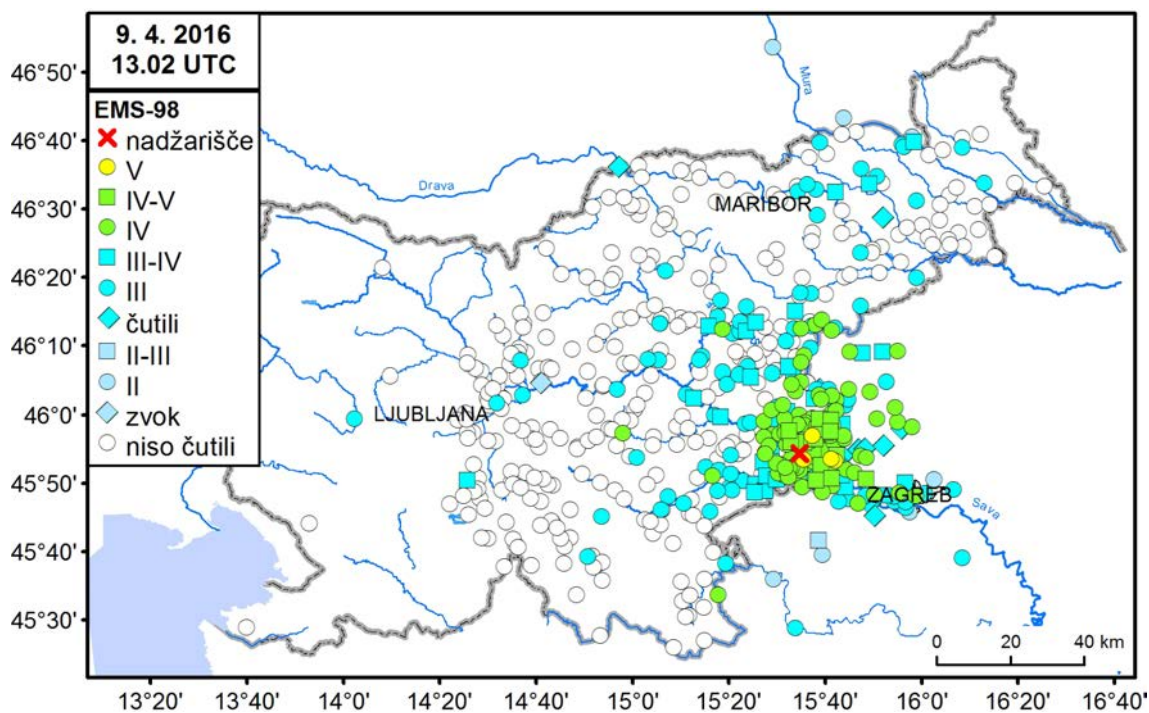
Po podatkih hrvaških seizmologov (posredoval GEOF-PMF, Geofizički odsjek Prirodoslovno-matematičnog fakulteta iz Zagreba) je bila na hrvaški strani meje največja intenziteta V MSK (intenzitetna lestvica Medvedev-Sponheuer-Karnik; Medvedev in drugi, 1964) dosežena v naseljih Vukovo Selo in Sv. Križ Harmica. Za laično razumevanje lahko privzamemo, da se intenziteti, opredeljeni po lestvicah MSK in EMS-98, ne razlikujeta bistveno (Musson in drugi, 2009). Potres so čutili na severovzhodu do Krapine, na vzhodu do Zagreba z okolico, na jugu pa do naselja Jastrebarsko. V Avstriji so ga čutili v treh naseljih južno od Gradca (podatke je poslal ZAMG, Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik iz Dunaja).

7. junij 2016 ob 18.10 po UTC (slika 6) in ob 18.43 po UTC. Junija so se tla večkrat zatresla v bližini Novega mesta. Najmočnejša sta bila potresa 7. junija zvečer. Čutili so ju prebivalci Otočca ob Krki, Novega mesta, Kostanjevice na Krki, Šmarjeških Toplic, Mirne Peči, Uršnih sel, Stopič, Šentjerneja, Brusnic, Žužemberka in številnih okoliških krajev. Občani so poročali o močnem puku, podobnem udaru strele. Prvi potres se je zgodil ob 20. uri in 10 minut po lokalnem času. Največje učinke (V EMS-98) je imel na Otočcu, približno 4 km od nadžarišča. Tamkajšnji prebivalci so čutili zelo močno tresenje tal, ki ga je spremljal zelo močen in glasen zvok, podoben eksploziji ali miniranju.

Dobre pol ure pozneje, ob 20. uri 43 minut po lokalnem času, je sledil popotres, ki so ga najmočnejše (V EMS-98) čutili v Mali Cikavi. Tresenje tal in žvenket šip sta bila tako močna, da so številni prebivalci zbežali na prosto.

8. september 2016 ob 17.33 po UTC (slika 7). V poznih popoldanskih urah 8. septembra 2016 so prebivalci Zagorja ob Savi in okoliških krajev čutili dva potresa. Prvi, ob 19. uri in 33 minut po lokalnem času, je bil močnejši in je v vasi Vine dosegel intenziteto V EMS-98. Potres je zelo prestrašil prebivalce, ki so čutili, da so se jim zamajala tla pod nogami. Stresle so se cele hiše, majhni nestabilni predmeti so se premaknili ali prevrnili. Minuto za tem je sledil še nekoliko šibkejši popotres, ki so ga najmočnejše (IV–V EMS-98) čutili v naseljih Ravenska vas, Vine in Zagorje ob Savi.

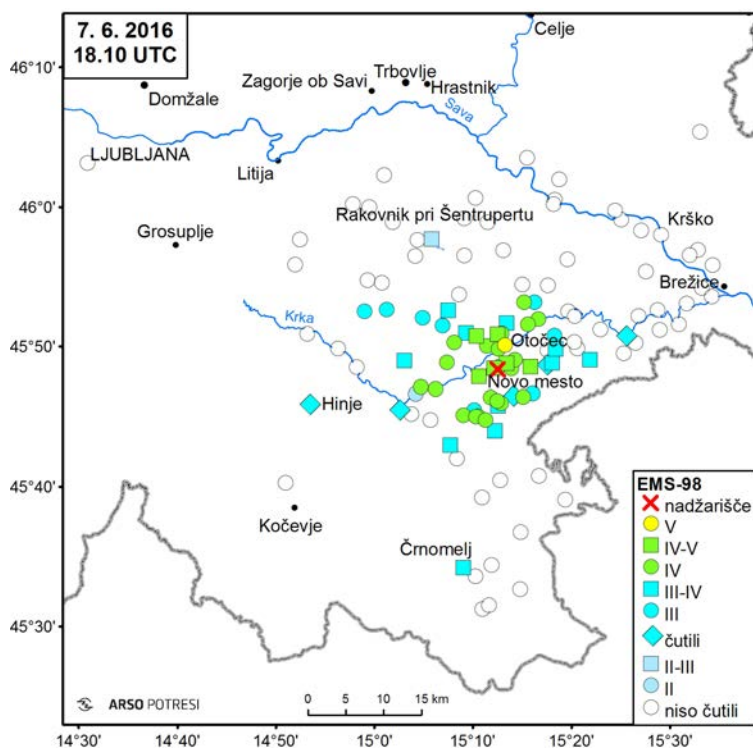
16. september 2016 ob 16.15 po UTC (slika 8). Potres 16. septembra ob 16.15 po lokalnem času je najmočnejše učinke (V EMS-98) dosegel v kraju Rodica, približno 8 km severno od nadžarišča. Tam je bilo tresenje tal močno, premikali ali prevračali so se manjši nestabilni predmeti, močno so nihala vrata in predmeti na steni. Potres so čutili prebivalci vzhodno od Ljubljane, v Domžalah, Trzinu, Škofljici, Komendi, Dobu, Dolu pri Ljubljani, Šmartnem pri Litiji, Radomljah, Kresnicah, Mengšu, Vodicach, Moravčah in številnih okoliških naseljih, pa tudi v nekaterih delih Ljubljane. Posamezniki so zapustili stanovanja. Potres ni povzročil gmotne škode, le nekaj preplaha.



Slika 5: Intenziteta potresa magnitude 3,4 pri Brežicah 9. aprila 2016 ob 13.02 po UTC v posameznih naseljih a) celotno območje, kjer so potres čutili; b) širše nadžariščno območje

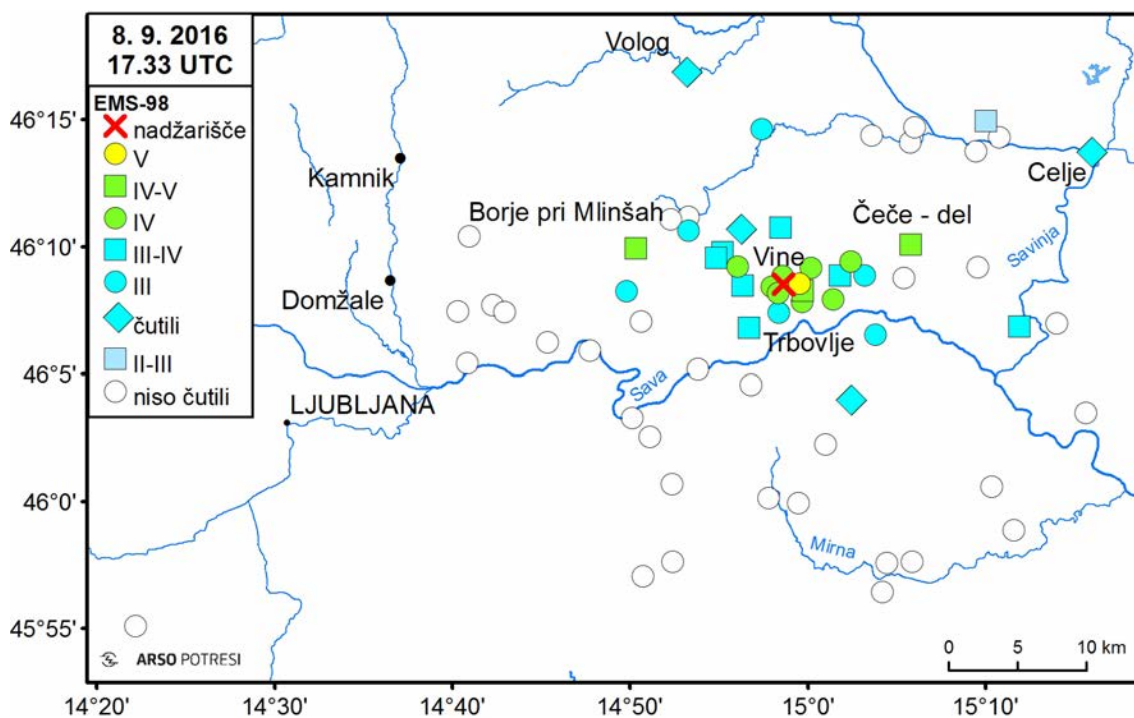
Figure 5: Intensity of the earthquake near Brežice ($M_{LV}=3,4$) on 9 April 2016 at 13:02 UTC in individual settlements; a) felt area; b) wider epicentral area.

Nadžarišče = epicentre; čutili = felt; niso čutili = not felt, zvok = sound.



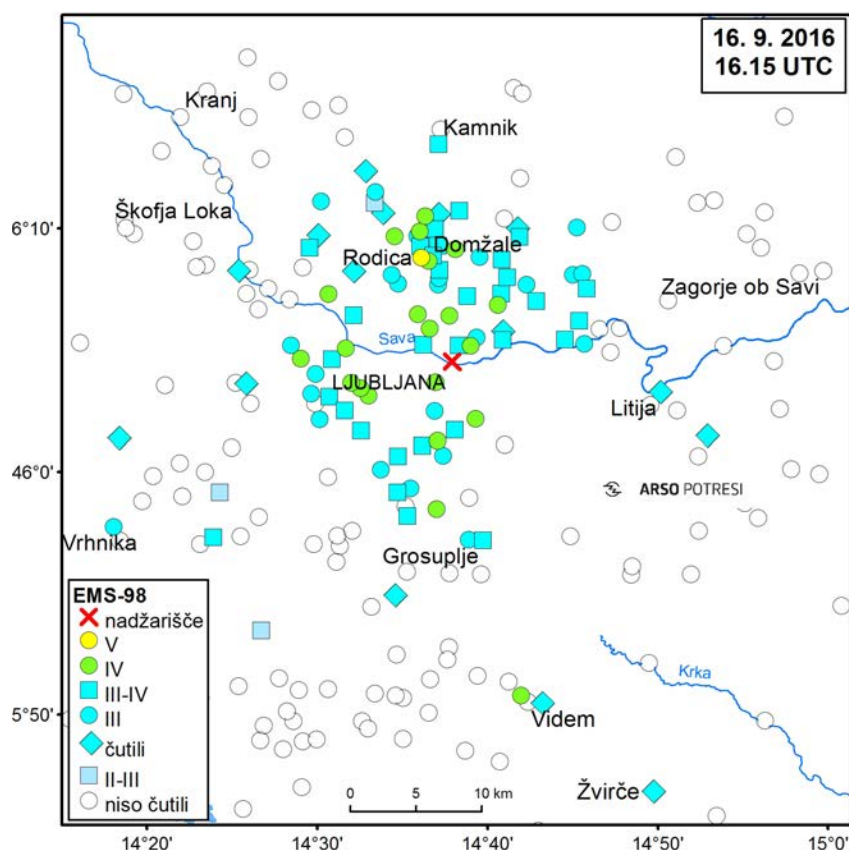
Slika 6: Intenziteta potresa magnitude 2,4 pri Novem mestu 7. junija 2016 ob 18.10 po UTC v posameznih naseljih

Figure 6: Intensity of the earthquake near Novo mesto ($M_{LV}=2,4$) on 7 June 2016 at 18:10 UTC in individual settlements. Nadžarišče = epicentre; čutili = felt; niso čutili = not felt.



Slika 7: Intenziteta potresa magnitude 2,4 pri Zagorju ob Savi 8. septembra 2016 ob 17.33 po UTC v posameznih naseljih

Figure 7: Intensity of the earthquake near Zagorje ob Savi ($M_{LV}=2,4$) on 8 September 2016 at 17:33 UTC in individual settlements. Nadžarišče = epicentre; čutili = felt; niso čutili = not felt



Slika 8: Intenziteta potresa magnitude 2,6 pri Dolu 16. septembra 2016 ob 16.15 po UTC v posameznih naseljih

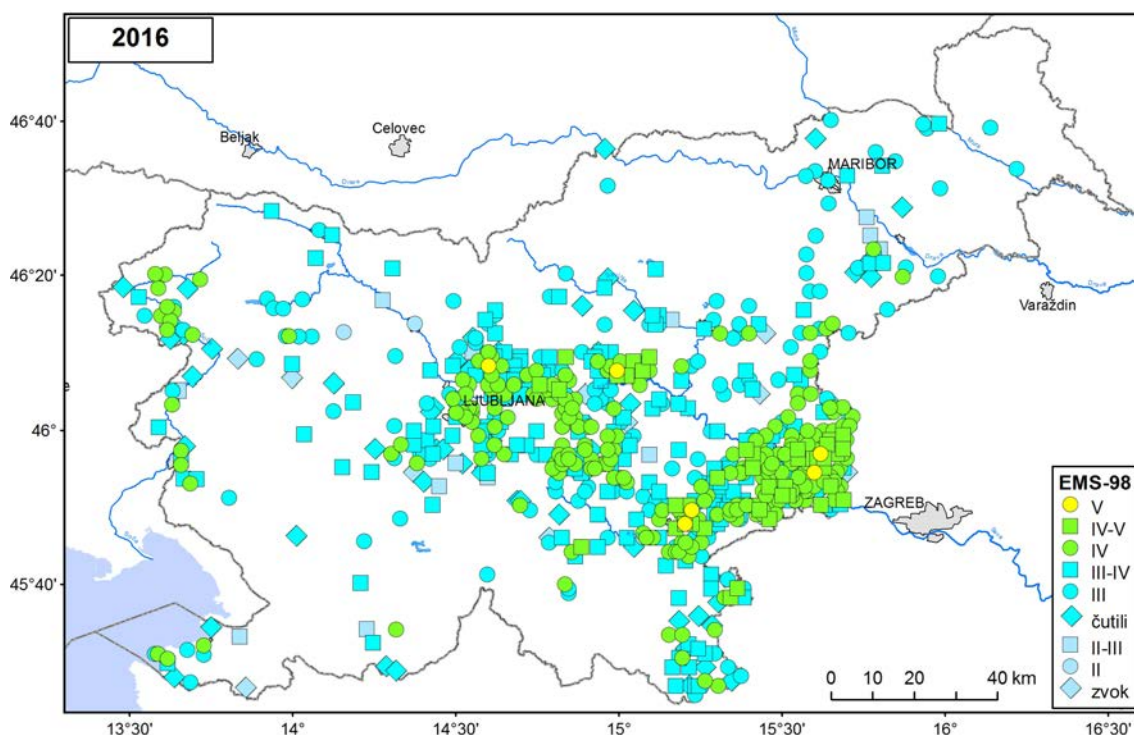
Figure 8: Intensity of the earthquake near Dol ($M_{LV}=2,6$) on 16 September 2016 at 16:15 UTC in individual settlements. Nadžarišče = epicentre; čutili = felt; niso čutili = not felt

Sklepne misli

Leta 2016 smo v Sloveniji ali njeni bližnji okolici zabeležili 2130 potresov. 21 potresov je imelo lokalno magnitudo med 2,0 in 2,9, eden pa večjo ali enako 3,0. Večina potresov (97 %) je imela lokalno magnitudo manjšo od 1,7. Vsi potresi na območju Slovenije in bližnje okolice so imeli žarišče do globine 30 km.

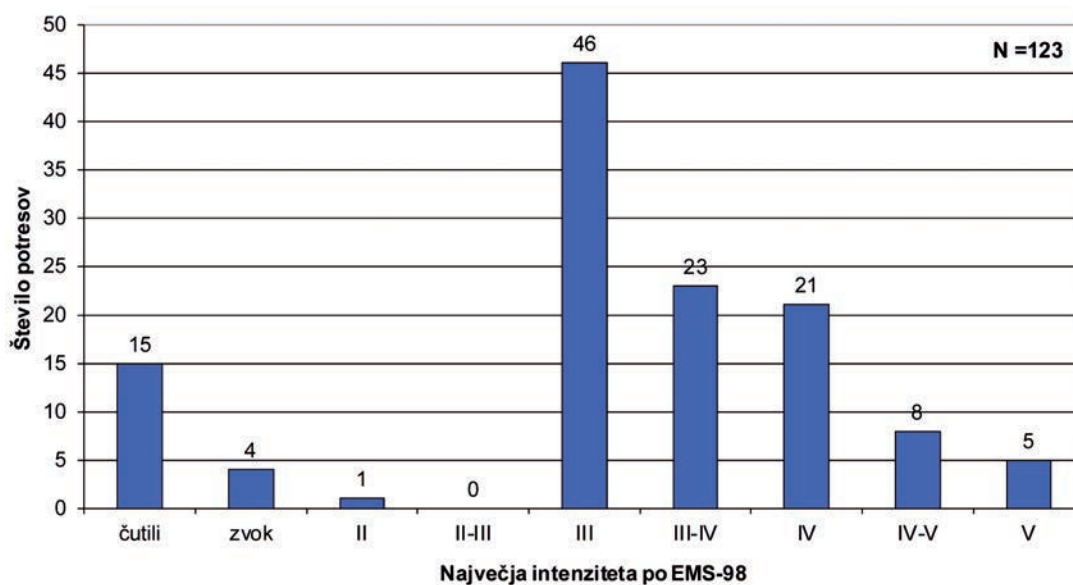
V Sloveniji so leta 2016 prebivalci čutili vsaj 123 potresov (sliki 4 in 10). Pet potresov je doseglo intenziteto V EMS-98, osem IV–V EMS-98, 21 potresov intenziteto IV EMS-98, 23 potresov III–IV EMS-98, 46 potresov III EMS-98, en potres pa intenziteto II EMS-98. Za preostale potrese (19) nam opazovalci niso poslali dovolj informacij o učinkih, zato jim ni bilo mogoče določiti intenzitete po evropski potresni lestvici. Intenziteta je v tem primeru opisana z oznako čutili (15 potresov) oziroma zvok (4 potresi), če opazovalci tresenja niso čutili, ampak so le slišali bobnenje (slika 10).

Makroseizmični podatki za potrese bi bili zelo pomanjkljivi ali celo nedostopni, če nam ne bi pomagali številni prostovoljni poročevalci (3069 registriranih poročevalcev izpolnjuje papirne vprašalnike, 1525 pa spletne vprašalnike), za kar se jim najlepše zahvaljujemo. Prostovoljnimi opazovalci smo leta 2016 poslali 7047 makroseizmičnih vprašalnikov za 35 potresov (3092 papirnih in 3955 elektronskih vprašalnikov). Poročevalci so izpolnili 2001 papirni vprašalnik, kar je 65 odstotkov poslanih. Deleža vrnjenih spletnih



Slika 9: Največja intenziteta potresa izmed vseh, ki so se zgodili leta 2016, ocenjena v posameznih naseljih v Sloveniji

Figure 9: Overall map of the maximum intensity in individual settlements in Slovenia of all the earthquakes in 2016 felt by the inhabitants of Slovenia. Čutili = felt; niso čutili = not felt, zvok = sound.



Slika 10: Porazdelitev največje intenzitete (EMS-98) potresov v Sloveniji leta 2016

Figure 10: Distribution of the earthquakes in Slovenia in 2016 with respect to maximum EMS-98 intensity. Največja intenziteta po EMS-98 = maximum EMS-98 intensity; število potresov = number of earthquakes.

vprašalnikov ne poznamo, saj na spletnih vprašalnikih osebni podatki niso obvezni. Skupaj (zaprošenih ali poslanih na lastno pobudo) smo prejeli 4969 izpolnjenih spletnih vprašalnikov, med katerimi je bilo:

- 3014 poročil, da so zaznali potres,
- 1810 poročil, da niso zaznali potresa,
- 145 prebivalcev je čutilo nekaj drugega (rudniški dogodek, preboj zvočnega zidu letala, promet, veter itn.).

Po letu 2013 dobivamo občutno več poročil, da so prebivalci čutili potres. To lahko pripišemo uvedbi spletne različice vprašalnika, in ne povečani potresni dejavnosti.

Tudi leta 2016 smo pri zbiranju in izmenjavi podatkov sodelovali s seizmologi iz sosednjih držav (Italije, Avstrije in Hrvaške). Zahvaljujemo se jim za poslane oziroma na spletu objavljene makroseizmične podatke.

Viri in literatura

- ARSO, 2016–2017. Preliminarni tedenski seizmološki bilteni za 2016. Arhiv Agencije RS za okolje, Ljubljana.
- ARSO, 2017. Letni seizmološki bilteni, 1997–2015. Arhiv Agencije RS za okolje, Ljubljana.
- Grünthal, G. (ur.), 1998. European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98). Conseil de l'Europe, Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, Volume 15, Luxembourg.
- GEOF-PMF, 2016–2017. Data reports (online). Geofizički odsjek Prirodoslovno-Matematičnog Fakulteta, Zagreb, Hrvaška. Spletni naslov: <http://www.isc.ac.uk/cgi-bin/collect?Days=&yymm=Year&mm=Mon&Reporter=ZAG> (uporabljeno 2. 4. 2017).
- Jesenko, T., 2017. Najmočnejši potresi po svetu leta 2016. Potresi v letu 2016. Agencija RS za okolje, Ljubljana.
- Lienert, B. R., Berg, E., 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.
- Medvedev, S., Sponheuer, W. and Karnik, V. 1964, Neue seismische Skala Intensity scale of earthquakes, 7. Tagung der Europäischen Seismologischen Kommission vom 24.9. bis 30.9.1962. In: Jena, Veröff. Institut für Bodendynamik und Erdbebenforschung in Jena, Deutsche Akademie der Wissenschaften zu Berlin, 77, 69-76.
- Michellini, A., Živčič, M., Suhadolc, P., 1998. Simultaneous inversion for velocity structure and hypocenters in Slovenia. *Journal of Seismology*, 2 (3), 257–265.
- Musson, R. M. W., Grünthal, G., Stucchi, M., 2009. The comparison of macroseismic intensity scales. *Journal of Seismology*, Springer Verlag, 14 (2), str. 413–428.
- OGS (Osservatorio Geofisico Sperimentale), 2016. Bolletino della Rete Sismometrica del Friuli Venezia Giulia. OGS, Centro ricerche sismologiche, Udine, computer file. Spletni naslov: <http://www.crs.inogs.it/bollettino/RSFVG/2015/RSFVG-2016.it.html>.
- Poljak, M., Živčič, M., Zupančič, P., 2000. The Seismotectonic Characteristics of Slovenia. *Pure appl. Geophys.*, vol. 1, 57, 37–55.
- RGU (Republiška geodetska uprava), 1995. Centroidi naselij (geografske koordinate), računalniški seznam.
- Sinčič, P., Tasič, I., Živčič, M., 2018. Potresne opazovalnice v Sloveniji v letu 2016. Potresi v letu 2016. Agencija RS za okolje, Ljubljana.

- Šket Motnikar, B., Godec, M., Zupančič, P., Cecić, I., 2016. Učinki potresa 1. novembra 2015 na Gorjancih. Potresi v letu 2015. Agencija RS za okolje, Ljubljana.
- Tóth, L., Mónus, P., Kiszely, M., 2017. Hungarian Earthquake Bulletin 2016. GeoRisk, Budapest. Spletni naslov: http://www.georisk.hu/Bulletin/HEB_2016.pdf.
- ZAMG, 2016–2017. Preliminary bulletin of regional and teleseismic events recorded with ZAMG-stations in Austria. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien.
- Živčić, M., Bondár, I., Panza, G. F., 2000. Upper Crustal Velocity Structure in Slovenia from Rayleigh Wave Dispersion. Pure Appl. Geophys., Vol. 157, 131–146.

Delovanje državne mreže potresnih opazovalnic v letu 2016

Seismic Stations Operation in Slovenia in 2016

Povzetek

Podani so rezultati analize delovanja Državne mreže potresnih opazovalnic (DMPO) v letu 2016. Strnjeno so povzeti vsi pomembnejši dogodki in posodobitve, ki so vplivali na delovanje DMPO in predstavljeni glavni parametri, ki opisujejo zanesljivost njenega delovanja. Podajamo število prekinitev komunikacije za posamezno potresno opazovalnico (izpad) glede na njihovo trajanje. Za najdaljši izpad na posamezni potresni opazovalnici smo opisali tudi njihov vzrok. Podajamo tudi časovne intervale, znotraj katerih ni delovalo po več potresnih opazovalnic hkrati ter razloge za omenjeno nedelovanje. Na osnovi rezultatov analize redno poteka tudi razvoj in izvedba posodobitev, ki prispevajo k boljšemu in zanesljivejšemu delovanju DMPO.

Abstract

The results of analysis for operation of Seismic Network of the Republic of Slovenia (SNRS) in 2016 are presented in this article. The main upgrades and events that have influenced the operating quality of SNRS are also presented, along with parameters describing its reliability. The number and duration of out-of-operation periods (OOOP) for all seismic stations were evaluated. The analysis of causes of the longest OOOP for particular seismic station was made. Time intervals, when more seismic stations were out of service simultaneously, are identified. Based on the results of the analysis, improvements are constantly implemented, contributing to better and more reliable operation of SNRS.

Uvod

Državno mrežo potresnih opazovalnic (DMPO) sestavlja 26 sodobno opremljenih digitalnih opazovalnic (slika 1). Posamezna potresna opazovalnica je opremljena z zajemalno enoto, sodobnim dolgo-periodnim seizmometrom ter nekatere tudi z dodatnim pospeškomerom (glej sliko 1). Z dodatnimi pospeškometri smo povečali dinamično območje potresnih opazovalnic, kar omogoča beleženje večjih amplitud nihanja tal pri močnejših potresih. Poleg seizmološke merilne opreme se na opazovalnicah nahaja še vrsta druge podporne opreme, ki jo lahko v grobem razdelimo v štiri sklope: komunikacijska oprema, oprema za zagotavljanje neprekinjene oskrbe z električno energijo, oprema za dodaten nadzor delovanja zajemalnih enot ter oprema za nadzor okoljskih parametrov in delovanja GSM modemov. Glavna naloga Sektorja za potresna opazovanja (sektor deluje v sklopu Urada za seizmologijo) je neprestano spremljanje delovanja celotne opreme na DMPO in zagotavljanje optimalne kakovosti seizmoloških podatkov ter v največjem možnem obsegu preprečevanje njihove izgube. V ta namen na DMPO neprestano izvajamo različne analize, na osnovi katerih neprestano izboljšujemo njeno delovanje.

Vsi posegi na DMPO ter rezultati obsežne analize vseh pomembnih parametrov, ki vplivajo na kakovost delovanja DMPO, so podani v internem poročilu Sektorja za potresna opazovanja (SPO, 2016). Le to obravnava naslednje parametre, ki opisujejo kakovost delovanja DMPO:

- Podroben opis vseh del in posodobitev, ki so bile izvedene na posamezni potresni opazovalnici.
- Število izpadov komunikacije posamezne potresne opazovalnice glede na trajanje izpada. Za daljše izpade (več kot 2 uri), ki niso bili posledica napake na komunikacijah, podajamo tudi njihove vzroke.

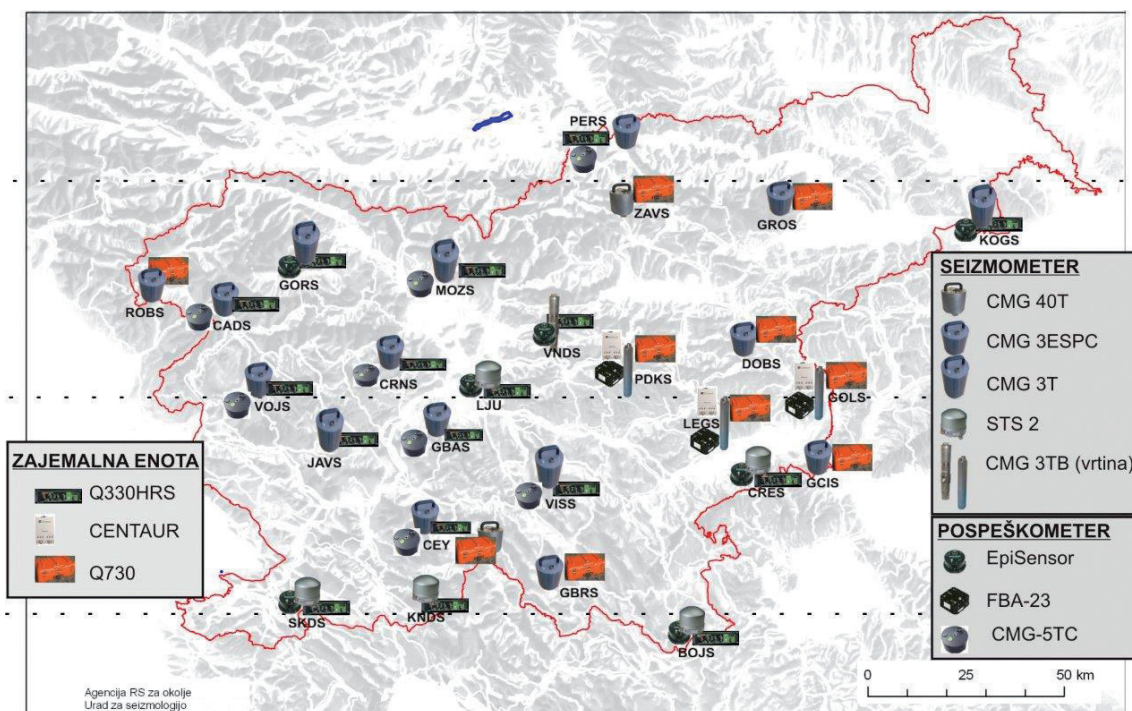
- Skupno trajanje izpadov posamezne potresne opazovalnice glede na določen časovni interval ter skupno trajanje izpadov posamezne potresne opazovalnice v določenem mesecu. Rezultati za posamezno opazovalnico so podani v obliki tabel in grafov.
- Podroben opis izpadov, ki so povzročili izgubo podatkov.
- Število avtomatskih nastavitvev mirovne lege seizmometra (za opazovalnice opremljene s tipom seizmometra, ki to funkcijo omogoča).
- Število avtomatskih ponovnih zagonov (reset) GSM modemov (opazovalnice: KNDS, JAVS, GCIS in ZAVS).
- Analiza nivoja celotnega seizmičnega nemira (predstavlja kombinacijo naravnih in umetnih seizmičnih izvorov) na posamezni potresni opazovalnici.
- Časovni potek mirovne lege in napajalne napetosti na posamezni potresni opazovalnici.
- Časovni potek vrednosti temperature ob seizmometru.
- Analiza vdorov vode v jaške potresnih opazovalnic. Podajamo število vdorov vode in datume omenjenih dogodkov.

V tem prispevku podajamo le pomembnejše točke iz internega poročila (SPO, 2016). Glavne posodobitve, ki smo jih v letu 2016 izvedli na DMPO, pa so naslednje:

- Menjava zajemalnih enot tipa Q730 z novejšimi tipa Q330HRS. Menjavo smo izvedli na potresnih opazovalnicah: CADS, CEY, CRNS, GBAS, PERS in VOJS.
- Namestitev pospeškometra tipa CMG-5TC na potresne opazovalnice CADS, CRNS, GBAS, PERS in VOJS. Nova zajemalna enota tipa Q330HRS omogoča zajem šestih kanalov, zato smo na omenjenih potresnih opazovalnicah poleg že nameščenega seizmometra namestili še pospeškometer. S tem smo močno povečali dinamično območje potresne opazovalnice ter razširili mrežo potresnih opazovalnic, ki omogočajo beleženje večjih pospeškov. Namestitev pospeškometra tipa FBA-23 na potresno opazovalnico GOLS.
- Na potresnih opazovalnicah LJU in CEY smo enote JetBox (zunanji pomnilniki seizmoloških signalov) nadomestili z enotami Raspberry Pi. Enoti služita kot nadomestek enote JetBox. Enota Raspberry Pi je v primerjavi z JetBox-om več kot 10x cenejša in enostavneje dobavljiva. Na njej je prav tako naložen paket Seiscomp, ki v realnem času zajema, shranjuje in pošilja seizmološke podatke
- Posodobitev napajalnih sistemov (Mali in sod., 2008). Celotna DMPO je bila v letu 2016 opremljena z napajalnim sistemom, ki nudi več kot 24 urno avtonomijo (24–48 ur). V letu 2016 smo omenjene sisteme le vzdrževali in kontrolirali. Na nekaterih potresnih opazovalnicah smo izvedli menjavo akumulatorjev, akumulatorskih polnilcev in akumulatorskih zaščit ter izvedli ločeno napajanje za JetBox sistem.
- Posodobitev komunikacijske opreme na potresnih opazovalnicah KNDS, GCIS in ZAVS. Na omenjene lokacije smo namestili zmogljivejšo komunikacijsko opremo, ki pa še vedno deluje na osnovi GSM omrežja.
- Namestitev nadzornih sistemov. V letu 2013 smo zaradi vdora vode v večje število potresnih opazovalnic razvili aplikacijo (Mali, 2014), ki omogoča detekcijo vdora vode v obeh jaških potresne opazovalnice ter istočasno spremlja temperaturo ob seizmometru (znotraj izolacijske posode). Ob koncu leta 2016 je bilo z nadzornim sistemom opremljenih 21 potresnih opazovalnic.

Delovanje DMPO v letu 2016

V letu 2016 je bila celotna DMPO opremljena z dodatnimi zunanjimi pomnilniškimi enotami, ki jih imenujemo JetBox. S tem smo rešili problem trajne izgube podatkov v primeru izpada komunikacij daljšega od dveh ur (Tasič in sod., 2010). Do trajne izgube seizmičnih podatkov lahko pride še zaradi daljše prekinitve



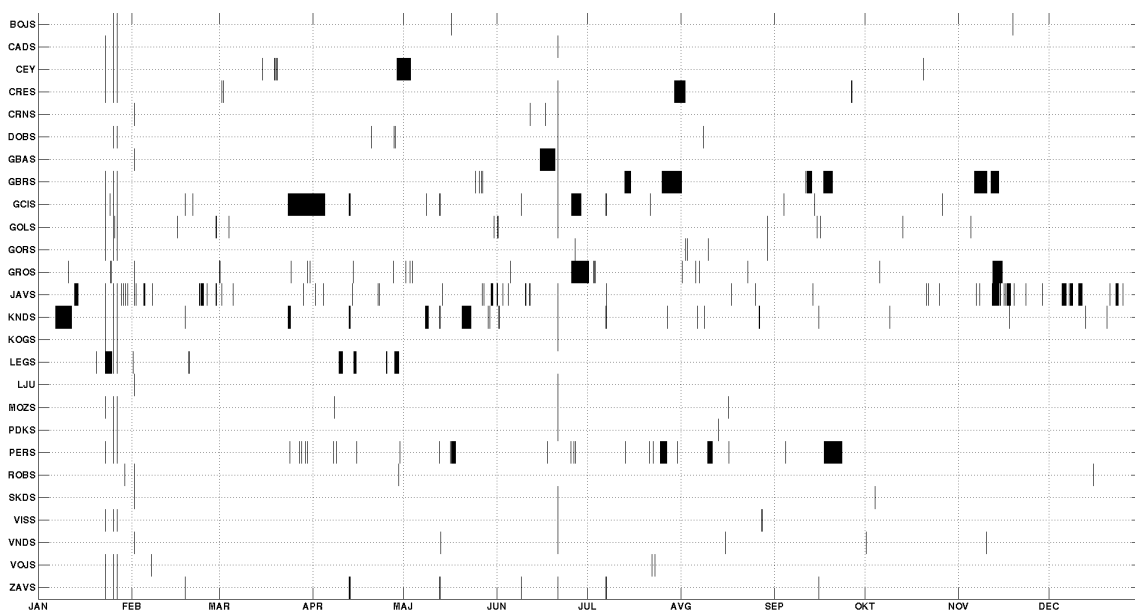
Slika 1: Državna mreža potresnih opazovalnic. Prikazana je razporeditev različnih tipov seizmometrov, pospeškometrov in zajemalnih enot po posameznih potresnih opazovalnicah.

Figure 1: Seismic Network of the Republic of Slovenia (the seismometer, accelerometer and digitizer types and their locations)

oskrbe potresne opazovalnice z električno energijo (zaradi nadgraditve napajalnih sistemov mora biti le-ta daljša od 24 ur) ali zaradi okvare seizmološke merilne opreme. V letu 2016 smo na treh potresnih opazovalnicah (GCIS, KNDS, ZAVS), kjer komunikacija poteka preko GSM modema, posodobili strojno opremo. Na četrti opazovalnici (JAVS) pa ostaja nameščen sistem za avtomatski ponovni zagon GSM modema (Mali in sod., 2013). V letu 2016 je bilo 21 potresnih opazovalnic opremljenih z nadzornim sistemom (Mali, 2014). Sistem omogoča nadzor temperature ob seizmometru in v obeh jaških preverja potencialni vdor vode ter v primeru odstopanja parametrov od mejnih vrednosti o tem obvesti dežurnega tehnika.

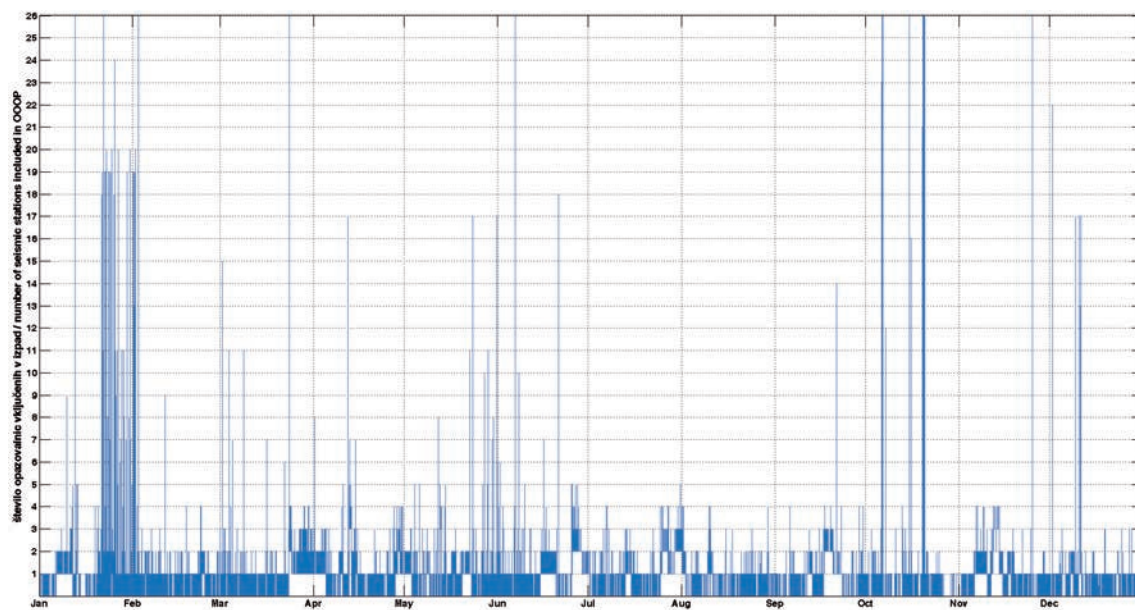
Na slikah 2a in 2b podajamo pregled delovanja DMPO v letu 2016, kjer črna oziroma modra barva predstavljata nedelovanje oziroma izpad potresne opazovalnice. Pregled vseh izpadov ter opis najdaljših izpadov za posamezno potresno opazovalnico so podani v preglednicah 1 in 2. Treba se je zavedati, da večina daljših izpadov, ki so posledica izpada na komunikacijskih poteh, ne predstavlja več trajne izgube podatkov, ampak le nezmožnost analize morebitnega seizmičnega dogodka v realnem času.

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. Skupno trajanje izpadov v posameznem stolpcu sestavlja več izpadov iste vrste in zato ne prikazuje kritičnih izpadov (izguba podatkov v realnem času iz več kot 70 % potresnih opazovalnic za več kot eno uro). Postopek avtomatskega lociranja potresa vsebuje ocenjevanje številnih neznanck, zato potrebuje podatke čim večjega števila potresnih opazovalnic. Če v trenutku potresa pride do izpada večjega števila potresnih opazovalnic, je določitev potresnih parametrov otežena oziroma manj natančna. Pregled sočasnih izpadov je podan v preglednici 3.



Slika 2a: Pregled delovanja DMPO v letu 2016. Izpadi so označeni s črno barvo. Ločljivost slike omogoča, da so vidni le izpadi, daljši od treh ur.

Figure 2a: An overview of out-of-operation periods (black lines) for Seismic Network of the Republic of Slovenia in the year 2016. The resolution allows us to distinguish only out-of-operation periods longer than three hours.



Slika 2b: Pregled delovanja DMPO v letu 2016. Izpadi so označeni z modro barvo. Ločljivost slike omogoča, da so vidni le izpadi, daljši od ene ure.

Figure 2b: An overview of out-of-operation periods (blue lines) for Seismic Network of the Republic of Slovenia in the year 2016. The resolution allows us to distinguish only out-of-operation periods longer than one hour.

Preglednica 1: Skupni podatki o številu izpadov in njihovem trajanju za DMPO v letu 2016.

Table 1: An overview of the out-of-operation periods (OOOP) for Seismic Network of the Republic of Slovenia in the year 2016.

oznaka opazovalnice	število vseh izpadov	skupno trajanje vseh izpadov	število izpadov daljših od 2h
station code	number of OOOP	total duration of OOOP	number of OOOP > 2h
BOJS	118	5h 8m	0
CADS	120	6h 7m	0
CEY	521	5d 18h 46m	2
CRES	311	4d 18h 50m	4
CRNS	271	16h 24m	0
DOBS	167	20h 20m	3
GBAS	335	5d 23h 12m	1
GBRS	604	22d 3h 1m	8
GCIS	1660	18d 10h 2m	5
GOLS	752	1d 22h 8m	2
GORS	245	20h 4m	1
GROS	1834	13d 2h 15m	4
JAVS	5769	19d 12h 16m	15
KNDS	920	13d 22h 32m	10
KOGS	132	4h 48m	0
LEGS	1660	7d 18h 29m	18
LJU	182	9h 33m	1
MOZS	171	5h 46m	0
PDKS	193	17h 4m	2
PERS	2270	14d 21h 50m	15
ROBS	183	14h 18m	2
SKDS	195	8h 30m	0
VISS	233	8h 37m	0
VNDS	307	1d 0h 19m	2
VOJS	159	11h 18m	1
ZAVS	419	2d 7h 42m	3
skupaj	19731		99

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

Table 2: An overview and causes for the longest OOP's for each station of the Seismic Network of the Republic of Slovenia in the year 2016.

oznaka opazovalnice	nastop najdaljšega izpada	trajanje najdaljšega izpada	vzrok najdaljšega izpada
station code	date/time of the longest OOP	duration of the longest OOP	cause for the longest OOP
BOJS	18. 11. / 22.59	1h 26m	izpad na komunikacijah
CADS	22. 6. / 10.18	1h 29m	izpad na komunikacijah
CEY	28. 4. / 18.44	4d 16h 29m	udar strele – izpad FID stikala
CRES	29. 7. / 16.20	3d 19h 7m	daljši izpad na komunikacijah
CRNS	7. 6. / 8.22	1h 27m	izpad na komunikacijah
DOBS	27. 4. / 19.31	5h 25m	izpad na komunikacijah
GBAS	15. 6. / 4.50	5d 4h 15m	napaka na komunikacijskem kablu, ki vodi do opazovalnice
GBRS	25. 7. / 12.41	6d 16h 45m	udar strele – izpad komunikacije in okvara na komunikacijski opremi
GCIS	23. 3. / 18.54	12d 4h 42m	napaka na komunikacijah – bazna postaja
GOLS	4. 11. / 23.20	3h 52m	izpad na komunikacijah
GORS	2. 8. / 23.52	7h 12m	izpad na komunikacijah
GROS	25. 6. / 16.42	5d 21h 3m	napaka na komunikacijskih vodih
JAVS	12. 11. / 9.18	23h 50m	izpad na komunikacijah
KNDS	6. 1. / 15.48	5d 10h 20m	težave z GSM komunikacijo – napaka na bazni postaji.
KOGS	29. 9. / 9.40	15m	izpad na komunikacijah
LEGS	24. 8. / 1.33	1d 10h 11m	izpad na komunikacijah
LJU	22. 8. / 10.18	2h 19m	izpad na komunikacijah
MOZS	8. 4. / 2.00	59m	izpad na komunikacijah
PDKS	13. 8. / 5.14	3h 21m	izpad na komunikacijah
PERS	17. 9. / 9:53	5d 22h 54m	napaka na komunikacijskih vodih
ROBS	15. 12. / 13.26	4h 53m	izpad na komunikacijah
SKDS	5. 10. / 7.52	24m	izpad na komunikacijah
VISS	25. 6. / 12.02	15m	izpad na komunikacijah
VNDS	10. 11. / 1.17	5h 43m	izpad na komunikacijah
VOJS	7. 2. / 12.52	2h 44m	izpad na komunikacijah
ZAVS	12. 4. / 19.50	17h 1m	izpad na komunikacijah

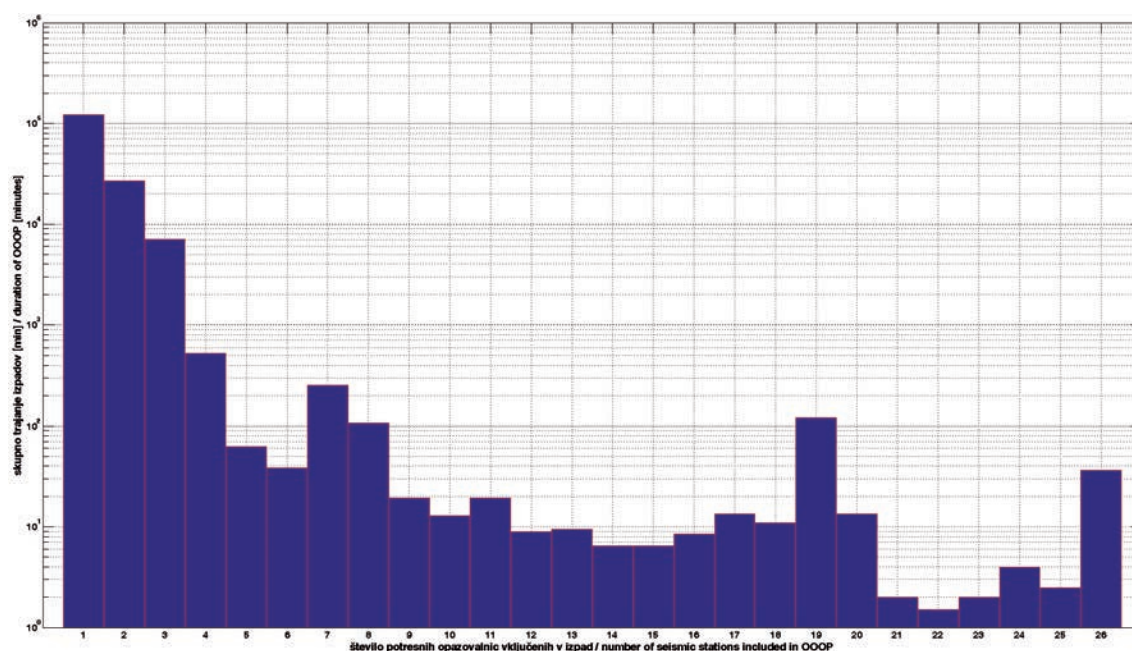
Preglednica 3: Število izpadov po dolžini in številu sočasno izpadlih potresnih opazovalnic.

Table 3: An overview of simultaneous OOP's for Seismic Network of the Republic of Slovenia.

Število opaz./ no. of stations	dolžina trajanja izpadov / length of downtime						
	0–5 min	5–15 min	15–30 min	30–45 min	45–60 min	60–120 min	> 120 min
2	3238	363	87	38	15	27	42
3	642	85	12	11	8	5	10
4	148	10	4	2	0	0	0
5	21	2	0	0	0	0	0
6	13	0	0	0	0	0	0
7	85	11	0	0	0	0	0
8	36	5	0	0	0	0	0
9	5	0	0	0	0	0	0
10	3	0	0	0	0	0	0
11	9	0	0	0	0	0	0
12	1	0	0	0	0	0	0
13	1	0	0	0	0	0	0
14	1	0	0	0	0	0	0
15	2	0	0	0	0	0	0
16	1	0	0	0	0	0	0
17	3	0	0	0	0	0	0
18	1	0	0	0	0	0	0
19	39	5	0	0	0	0	0
20	8	0	0	0	0	0	0
21	1	0	0	0	0	0	0
22	1	0	0	0	0	0	0
23	1	0	0	0	0	0	0
24	2	0	0	0	0	0	0
25	1	0	0	0	0	0	0
26	19	0	0	0	0	0	0

Zaključek

Predstavili smo najpomembnejše posodobitve, ki smo jih v letu 2016 izvedli na DMPO in glavne rezultate analize delovanja DMPO v letu 2016. Ugotovili smo, da se izpadi (prekinitev v komunikaciji s posamezno potresno opazovalnico) pojavljajo neprestano. Medtem, ko je vzrok krajših izpadov vedno manjša napaka na komunikacijah, pa so vzroki daljših izpadov raznovrstni. V grobem jih lahko delimo v tri skupine. V prvi skupini so problemi v zvezi z dobavo električne energije. V drugo skupino sodijo izpadi, ki so povezani s komunikacijsko potjo in opremo. V tretjo skupino pa uvrščamo okvare na seizmološki opremi (okvare na seizmometrih in zajemalnih



Slika 3: Skupno trajanje izpadov več potresnih opazovalnic hkrati (leto 2016).

Figure 3: The total duration of OOP's that occurred at several seismic stations simultaneously (year 2016).

enotah). S podpornimi sistemi, ki jih neprestano razvijamo in dopolnjujemo ter z rednimi posodobitvami in testiranji seizmološke merilne opreme, zmanjšujemo število in dolžino izpadov zaradi vseh naštetih razlogov. Največjo pozornost seveda namenjamo preprečevanju okvar na seizmološki merilni opremi.

Podali smo tudi analizo izpadov več potresnih opazovalnic hkrati. Posebno pozornost smo namenili predvsem tako imenovanim kritičnim izpadom, pri katerih več kot 75 % potresnih opazovalnic oziroma 20 ali več potresnih opazovalnic izpade za več kot 5 minut. Ugotovili smo, da v letu 2016 tovrstnih izpadov ni bilo.

Podani rezultati so nam v veliko pomoč tudi pri nadaljnjem delu. Na osnovi rezultatov vsakoletno izluščimo najpogostejše napake, ki povzročijo posamezen izpad oziroma so vzrok za slabšo kvaliteto zajetih seizmičnih signalov. S pomočjo teh spoznanj neprestano izboljšujemo opremo in postopke na mreži potresnih opazovalnic in tako izboljšujemo njeno delovanje ter preprečujemo morebitno škodo.

Literatura

- Mali, M., 2014. Nadzorni sistem za kontrolo nivoja vode in stabilnosti temperature, Potresi v letu 2013, Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo, Ljubljana.
- Mali, M., Tasič, I., Pančur, L., 2013. Nadgradnja kontrole modemske komunikacije – Arduino Uno, Potresi v letu 2012, Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo, Ljubljana.
- Mali, M., Tasič, I., 2011. Vpliv temperaturnih sprememb na delovanje dolgoperiodnih seizmometrov, Potresi v letu 2010, Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo, Ljubljana.

- Mali, M., Tasič, I., Pančur, L., 2008. Vpliv brezprekinitvenega napajanja na delovanje potresne opazovalnice. Potresi v letu 2007, 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.
- Tasič, I., Mali, M., Pančur L., 2011. Temperaturna stabilnost potresne opazovalnice, Potresi v letu 2010, Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo, Ljubljana.
- SPO, 2016. Državna mreža potresnih opazovalnic, delovanje v letu 2016, interno poročilo, Ljubljana.

Jurij Pahor

Učinkovitost pridobivanja podatkov iz Državne mreže potresnih opazovalnic v letu 2016

Seismic Data Acquisition Efficiency for Seismic Network of The Republic of Slovenia in 2016

Povzetek

Izguba podatkov iz šestindvajsetih opazovalnic Državne mreže potresnih opazovalnic je v letu 2016 znašala 0,3 % za podatkovne nize s frekvenco vzorčenja 200 vzorcev v sekundi (HH) ter 0,3 % za podatkovne nize s frekvenco vzorčenja 20 vzorcev v sekundi (BH).

Abstract

Seismic Network of the Republic of Slovenia (SNRS) consists of twenty six seismic stations. The data loss in 2016 was 0.3 % for 200 sps data streams (HH) and 0.3 % for 20 sps data streams (BH). Three stations experienced overall data loss of approx. 2 % and another three of approx. 1 %; the rest had nearly 100 % data return.

Uvod

V poročilu o učinkovitosti pridobivanja podatkov so obravnavane opazovalnice Državne mreže potresnih opazovalnic (Sinčič in sod., 2017). Povzetek količine zbranih podatkov je narejen na osnovi wfdisc tabele arhivske podatkovne baze sistema Antelope (Boulder Real Time Technologies, 2016) za podatkovne nize s frekvenco vzorčenja 200 vzorcev v sekundi (200/s, HH) in 20 vzorcev v sekundi (20/s, BH). Izguba podatkov za posamezno opazovalnico in za celotno mrežo skupaj je podana kot odstotek in je definirana z razliko med pričakovano količino podatkov ter pridobljeno količino podatkov (Pahor in Živčič, 2007).

Izguba podatkov v letu 2016

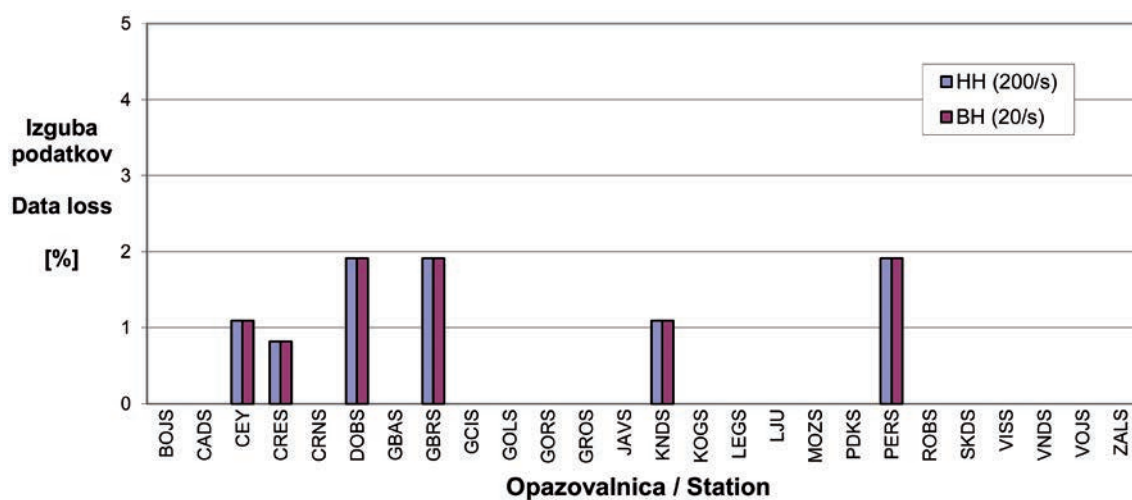
V poročilu je zajetih šestindvajset potresnih opazovalnic Državne mreže potresnih opazovalnic (DMPO). Delovanje mreže je bilo v letu 2016 najbolj stabilno, od kar je bila mreža postavljena, saj znaša izguba podatkov za oba niza le 0,3 %. Pred analizo popolnosti arhiva je bil del podatkov naknadno prenesen iz JetBox enot, ki služijo kot rezervni arhiv na opazovalnicah. Delovanje potresnih opazovalnic in povzetek težav pri komunikacijah v letu 2016 so podrobneje opisani v članku (Tasič in sod., 2017).

Preglednica 1 ter histogram na sliki 1 prikazujeta izgube podatkov za posamezne opazovalnice DMPO. Histogram na sliki 2 prikazuje porazdelitev izgube podatkov po mesecih v letu 2016. Slika 3 pa prikazuje razpoložljivost HH podatkovnih nizov v arhivski bazi.

Preglednica 1: Izguba podatkov v letu 2016 za tri komponente HH in BH podatkovnih nizov po opazovalnicah, izražena v odstotku pričakovanega časa delovanja. Pri senzorjih v vrčinah horizontalne komponente praviloma niso orientirane v smeri S in V, zato so označene z 1 in 2.

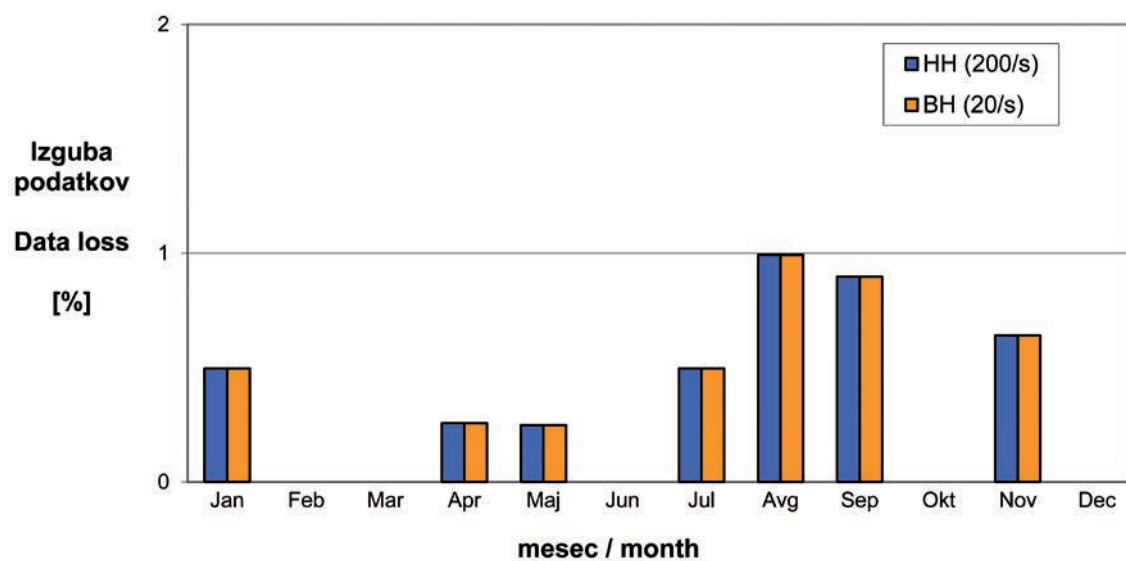
Table 1: Data loss represented as percentage of expected operation time for three-channel HH and BH data streams for each seismic station in 2016. Borehole sensors are oriented randomly, the channel names are denoted by 1 and 2.

%	HH[E1]	HH[N2]	HHZ	BH[E1]	BH[N2]	BHZ
BOJS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CADS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
CEY	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
CRES	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
CRNS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
DOBS	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9
GBAS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
GBRS	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9
GCIS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
GOLS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
GORS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
GROS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
JAVS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
KNDS	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1
KOGS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
LEGS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
LJU	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
MOZS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
PDKS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
PERS	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9	1,9
ROBS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
SKDS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
VISS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
VNDS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
VOJS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ZALS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
mreža / network	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3	0,3



Slika 1: Letna izguba HH in BH podatkovnih nizov (povprečje treh komponent) po opazovalnicah v letu 2016.

Figure 1: Data loss of HH and BH data streams (three components average) for each SNRS seismic station in 2016.

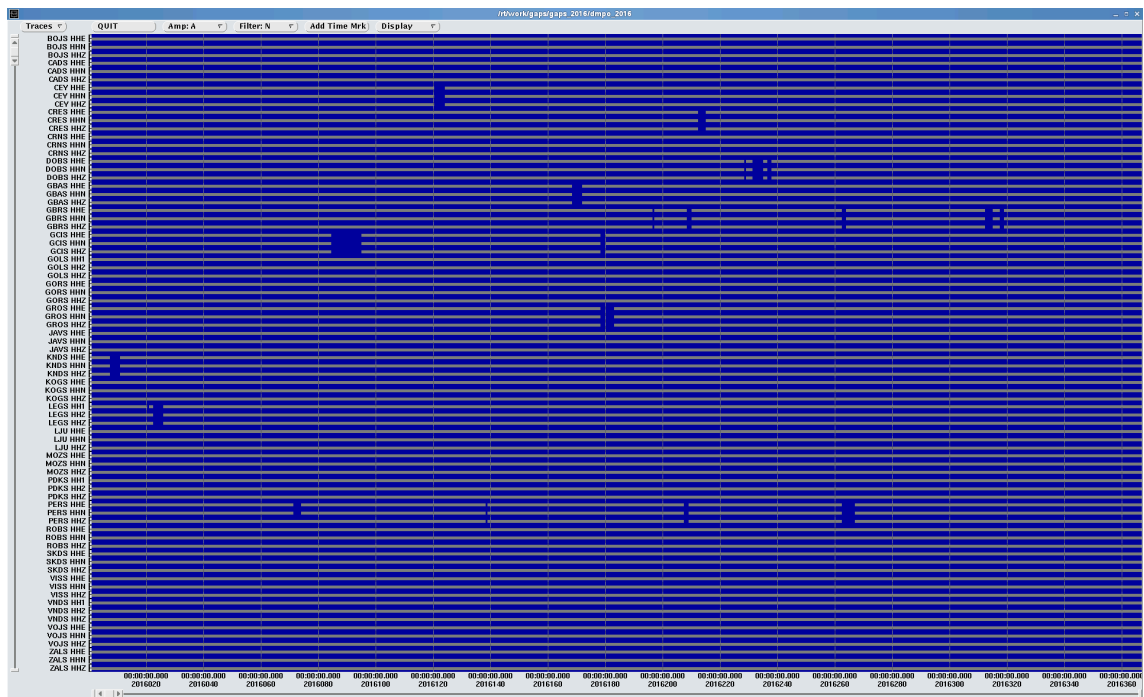


Slika 2: Izguba HH in BH podatkovnih nizov po mesecih v letu 2016.

Figure 2: Monthly data loss of HH and BH data streams in 2016.

Zaključek

Delovanje mreže potresnih opazovalnic v letu 2016 je bilo najbolj stabilno, od kar je mreža pričela delovati, saj je bila izguba po naknadnem prenosu podatkov iz rezervnih enot na opazovalnicah le 0,3 %.



Slika 3: Razpoložljivost podatkov iz HHZ podatkovnih nizov za leto 2016. Časovna skala prikazuje dan v letu.

Figure 3: Data availability of HHZ data streams for SNRS seismic stations in 2016. Time scale represents a day of the year.

Literatura

- Boulder Real Time Technologies, inc. (online), 2016 (citirano 20. 12. 2017). Antelope Real Time System. Dostopno na naslovu: <http://www.brtt.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.
- Sinčič, P., Tasič, I., Živčič, M., 2017. Potresne opazovalnice v Sloveniji v letu 2016. Potresi v letu 2016, Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo, Ljubljana.

Posodobitev državne mreže potresnih opazovalnic s pospeškometri

Upgrading the Seismic Network of the Republic of Slovenia with Accelerometers

Povzetek

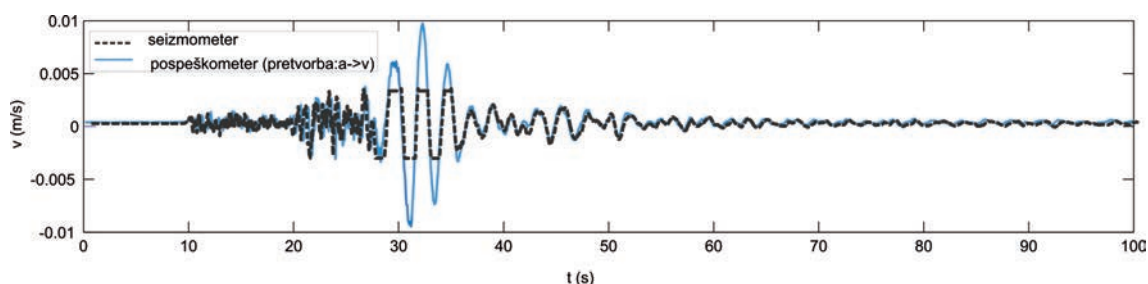
Namen sodobne potresne opazovalnice je spremljanje celovite dinamike nihanj tal ob potresu, zato se danes na potresnih opazovalnicah postavljata tako seizmometer kot tudi pospeškometer. V letu 2000 je bilo zaradi finančnih razlogov načrtovano, da bo število tako opremljenih potresnih opazovalnic v Državni mreži potresnih opazovalnic (DMPO) omejeno na pet (Tasič, 2009), kar je predstavljalo slabo petino vseh potresnih opazovalnic DMPO. S posodobitvijo seizmoloških zajemalnih enot smo začeli leta 2014 in prvo fazo zaključili leta 2016 (Tasič in drugi, 2016, 2017). Posodobitev je vključevala povečanje števila zajemalnih kanalov, kar je omogočilo, da več potresnih opazovalnic dodatno opremimo še s pospeškometrom. Tako je bilo v Sloveniji ob koncu leta 2016 že osemnajst potresnih opazovalnic DMPO opremljenih tako s seizmometrom kot tudi s pospeškometrom, kar v odstotkih pomeni 69 % celotne mreže. S postavitvijo pospeškometra poleg seizmometra pa nismo samo povečali razpon dinamičnega območja zajemanja seizmičnih podatkov, ampak smo izboljšali tudi zanesljivost pridobivanja seizmoloških podatkov, tako na področju merjenja, kakor tudi na področju kvalitete kontrole seizmičnih produktov. Pri slednjem namreč oba sistema omogočata, da ju natančno primerjamo med seboj s tako imenovano soodvisno kontrolo.

Abstract

Since the goal of the seismic stations are to monitor the overall dynamics of the ground movement at the time of the earthquake, today seismometer and accelerometer are installed side by side. But because of the financial and technical reasons, it was planned in the year 2000, that only one fifth of all seismic station of Government seismic network will be equipped with both systems (Tasič et al, 2008). With the modernization of seismic acquisition units (Tasič et al 2016, 2017), which started in the year 2014, we were given the opportunity to equip other observatories with both systems. At the end of 2016, already eighteen seismic stations of the DMPO were equipped with both a seismometer and accelerometer, which in percentage represents 69% of the entire network. By installing the accelerometer in addition to the seismometer, we did not only increase the dynamic range of seismic data acquisition system at particular seismic station, but we improved the reliability of obtaining seismic data, both in the area of measurement reliability and in the quality of seismic products control.

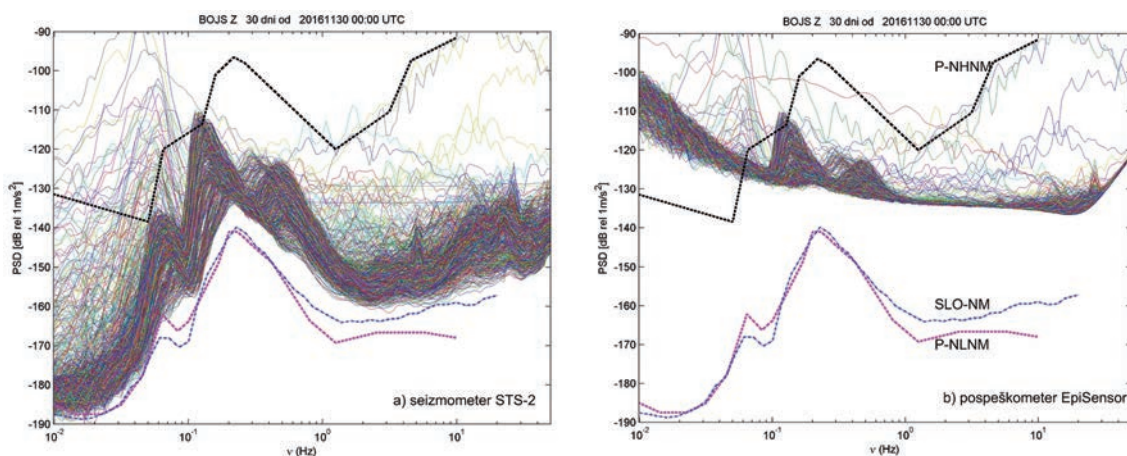
Uvod

Nihanje tal zaradi potresa je lahko tako šibko, da ga zaznajo samo najbolj občutljivi seizmološki instrumenti, lahko pa je nihanje tal ob potresu tako močno, da povzroči rušenje objektov. Tako raznoliko dinamiko v nihanju tal ne moremo izmeriti samo z enim merilnikom, zato se danes na sodobnih potresnih opazovalnicah postavljajo istočasno seizmometri in pospeškometri. Namen potresne opazovalnice je spremljanje celovite dinamike nihanj tal ob potresu. Seizmometri so zelo občutljive merilne naprave in merijo že izredno majhno hitrost nihanja tal, vendar so pri močnih potresih lahko prekrmljeni (slika 1). Zaradi tega se v njihovi neposredni bližini postavijo tudi pospeškometri (akcelerometri), ki so manj občutljivi na šibka nihanja tal (slika 2), a omogočajo merjenje večjih amplitud pospeškov nihanja tal. S tem dosežemo skupno dinamično območje seizmometra in pospeškometra 200 dB (Clinton, 2004). Dinamično območje je opredeljeno kot logaritemsko razmerje med največjim še pravilno zabeleženim signalom pospeškometra (A_{max}) in najmanjšim signalom (A_{min}), ki ga lahko seizmometer še zabeleži (kar je pravzaprav instrumentalni šum) in je podano v decibelih (Scherbaum, 2001).



Slika 1: Seizmometer na potresni opazovalnic LJU ni zmoagal pravilno zabeležiti večjih amplitud nihanja tal ob potresu v Posočju 12. aprila 1998 (Tasič, 2009), pospeškometer na isti lokaciji pa je potres ustrezno zabeležil. Potresna opazovalnica je bila okoli 90 kilometrov oddaljena od nadžarišča tega potresa.

Figure 1: The seismometer at the seismic station LJU failed to correctly record the largest amplitudes of earthquake in the Soča Valley on 12 April, 1998 (Tasič, 2009), while the accelerometer at the same location did it correctly. The seismic station was about 90 kilometers from the epicentre of the earthquake.



Slika 2: Na lokaciji potresne opazovalnice BOJS sta drug ob drugem nameščena seizmometer STS-2 podjetja Streckeisen in pospeškometer EpiSensor podjetja Kinematics. Slika prikazuje spektre močno-sne gostote (PSD) za navpično komponento seizmometra (slika a) in pospeškometra (slika b). PSD-ji so nastali z zapisi iz decembra 2016 in so bili izračunani za vsako polno uro. Za primerjavo je z rdečo črtkano črto podan Petersonov (1995) model spodnjega nivoja seizmičnega nemira (P-NLNM), z modro črtkano pa slovenski model spodnjega nivoja nemira (SLO-NM) (Tasič, 2015). Slika b na preprost način kaže omejitve pospeškometra pri detekciji šibkih seizmičnih signalov, saj se spektri seizmometra in pospeškometra pokrivajo samo na območju povečanega seizmičnega nemira zaradi sekundarnega mikrosezma (ki nastanejo zaradi valovanja v oceanih, npr. Wiki, 2018). A pospeškometer lahko pri enem Hz zazna kar 240 krat večje amplitude nihanja tal kakor seizmometer.

Figure 2: At location BOJS, seismometer STS-2 from Streckeisen (Switzerland) and the accelerometer EpiSensor from Kinematics (USA) are installed side by side. The power density spectra (PSD) for the vertical component of the seismometer (figure a) and the accelerometer (figure b) are presented. PSDs were computed in December 2016 and were calculated for each full hour. For comparison, the Peterson model (P-NLNM, red dotted line) of the lower level of seismic signal (Peterson, 1995) is given, and the Slovenian model of the lower level of seismic signal (SLO-NM, blue-dotted) is also presented. Figure b shows in a simple way the limits of the accelerometer in the detection of weak seismic signals, since the spectra of the seismometer and the accelerometer are covered only at the area of secondary microseism. But on the other side, an accelerometer can (at 1 Hz) detect 240 times higher amplitudes of ground movements than a seismometer.

Posodobitve DMPO s pospeškometri

V letu 2000 je Uprava RS za geofiziko (njen naslednik je Urad za seizmologijo) pri razvoju seizmološke merilne mreže določila, da bo zaradi finančnih omejitev poleg seizmometra samo na petih lokacijah državne mreže potresnih opazovalnic postavljen tudi pospeškometer. S posodobitvijo zajemalnih enot na DMPO, ki se je začela leta 2014 (prva faza se je zaključila leta 2016), smo opazovalnice opremili z zajemalnimi enotami, ki lahko sprejemajo signal na šestih kanalih. S tem se nam je odprla možnost, da poleg treh kanalov za signal s seizmometra beležimo na dodatnih treh kanalih signal iz pospeškometra tudi na ostalih potresnih opazovalnicah DMPO. Tako je bilo do konca leta 2016 že osemnajst potresnih opazovalnic DMPO opremljenih tako s seizmometri kakor tudi z merilniki za močno nihanje tal oziroma pospeškometri (Sinčič in drugi, 2017). Leta 2016 imamo na potresnih opazovalnicah naslednje tipe seizmometrov (preglednica 1): CMG-3ESPC, CMG-3T, CMG-40T, STS-2; in naslednje tipe pospeškometrov (preglednica 1): EpiSensor ES-T ($\pm 2g$), CMG-5TC ($\pm 2g$), FBA-23 ($\pm 1g$) (Sinčič in drugi, 2017). Črka 'g' v oklepajih ($\pm 2g$) in ($\pm 1g$) pomeni težni pospešek, sam izraz pa pomeni območje delovanja pospeškometra. Zaradi same zgradbe seizmometra oziroma pospeškometra je skupno dinamično območje odvisno od frekvence, a proizvajalci podajajo konstantno vrednost (Tasič, 2009), ki se giblje med 140 dB in 150 dB in je odvisna od seizmometra. Okvirno smo s pospeškometri povečali dinamično območje za 50 do 60 dB. Za enostavnejši pregled so v zadnjem stolpcu preglednice 1 podane še ocene, kolikokrat večjo amplitudo hitrosti nihanja tal pri enem Hz zabeleži pospeškometer v primerjavi s seizmometrom.

S postavitvijo seizmometra in pospeškometra neposredno drug ob drugem smo pridobili tudi možnost, da s tako imenovano soodvisno kontrolo zelo natančno preverimo, kako meritev nekega izrazitejšega nihanja tal, ki bi moralo biti za oba sistema enako, odstopa med sistemoma. Ta postopek v primerjavi s kalibracijskimi signali ne prekinja meritve, saj je vhodni podatek že samo (srednje močno) seizmično nihanje tal. Leta 2016 smo kot vhodni podatek uporabili zapise močnih potresov v osrednji Italiji. S postopkom soodvisne kontrole lahko tudi natančno določimo, za koliko se vodoravni usmeritvi obeh sistemov med seboj razlikujeta. Problem, s katerim se srečujejo vsepovsod po svetu, je usmeritev sistemov proti severu v (globljih) jaških, saj lahko usmeritev seizmometra glede na geografski sever odstopa tudi do 3° (Ringler in drugi, 2013). Kadar naknadno postavljamo pospeškometer poleg seizmometra, ki se nahaja znotraj termoizolacijske posode in zato ni viden (Tasič in Mali, 2007, Mali in Tasič, 2011, Tasič in drugi, 2011), poteka usmeritev pospeškometra popolnoma neodvisno od usmeritve seizmometra. Zato lahko pride med pospeškometrom in seizmometrom do razlike v usmeritvi proti severu. Kakšna je ta razlika, lahko izračunamo s pomočjo postopka soodvisne kontrole (preglednica 1). S soodvisno kontrolo lahko ugotovimo tudi napake na sistemih. Tako smo s to metodo na potresni opazovalnici BOJS odkrili napako na kablu seizmometra, ter naknadno še prevelik zamik usmeritve v vodoravni ravnini med obema sistemoma. Med samim postopkom zamenjave kabla seizmometra je prišlo do nehotenega zasuka seizmometra za 12° . S podatki italijanskega potresa (potres 30. 10. 2016 z navorno magnitudo $6,5M_w$) dva dni kasneje, smo to napako odkrili in odpravili. Na lokaciji potresne opazovalnice CRES smo ugotovili ter nato odpravili preveliko odstopanje v usmeritvi pospeškometra (7°) glede na seizmometer. Za odstopanje je bila »kriva« (naknadno ugotovljena) nepravilna usmeritvena oznaka na vrhu jaška, po kateri je bil pospeškometer usmerjen.

Pomembnejši podatki soodvisne kontrole kvalitete so podani v preglednici 1, veljajo pa za konec leta 2016. V preglednici so podani korekcijski faktorji za vse tri med seboj pravokotne osi (X,Y,Z) in zamik usmeritve (kot), ki kaže, za koliko moramo pospeškometer zavrteti v smeri urinega kazalca, da bo njegova os X pokrita z osjo X seizmometra. Korekcijski faktorji nam povedo, za koliko moramo pomnožiti »izhod« pospeškometra, da bo po popravku usmeritve meril natančno enako nihanje tal kot seizmometer. Vsi parametri so izračunani v frekvenčnem območju med 0,2 Hz in 0,5 Hz. Z indeksom ⁽¹⁾ smo označili lokacije, kjer smo v letu 2016 s soodvisno kontrolo odkrili ter nato popravili različne usmeritve, z indeksom ⁽²⁾ pa smo

Preglednica 1: Četrta in peta stolpec prikazujeta pomembnejše podatke pri soodvisni kontroli pospeškometra in seizmometra. Zamik usmeritve pove, za koliko moramo zavrteti pospeškometer v vodoravni ravnini, da se bo njegova koordinatna os X pokrila s koordinatno osjo X seizmometra. Korekcijski faktor pove, za koliko bi morali pomnožiti izhod iz pospeškometra po popravku usmeritve, da bi v frekvenčnem območju med 0,2Hz in 0,5Hz (Tasič in Runovc, 2011) beležil natančno enako nihanje kot seizmometer na tej lokaciji. Za enostavnejši vpogled v povečanje dinamičnega območja s pomočjo pospeškometrov je v zadnjem stolpcu še ocena, kolikokrat večjo amplitudo hitrosti nihanja tal pri enem Hz zabeleži pospeškometer v primerjavi s seizmometrom.

Table 1: The fourth and fifth columns of the table represent important outputs of the »interdependent control«. Relative rotation tells us how much we need to rotate the accelerometer in a horizontal plane so that its coordinate axis X is covered by the X coordinate axis of the seismometer. After rotation, all three outputs from the accelerometer need to be multiplied by the correction factors, in order to detect the same ground motion as a seismometer (in the frequency range between 0.2 Hz and 0.5 Hz). The last column represents the simpler insight of the increased dynamic range (at 1 Hz) by accelerometers regards to the corresponding seismometer.

oznaka	seizmometer	pospeškometer	korekcijski faktor			deviacija orientacije	$\max_{\text{posp}} / \max_{\text{seiz}}$
code	seismometer	accelerometer	corrections			angle deviation	$\max_{\text{acc}} / \max_{\text{seis}}$
			EW	NS	Z		
BOJS	STS-2	EpiSensor	0,98	0,99	0,99	-1.6° ⁽¹⁾	240
CEY	CMG-3ESPC	FBA-23	1,05	1,06	1,01	-0.8°	363
CADS	CMG-3ESPC	CMG-5TC	1,01	1,00	1,02	-3.3°	363
CRES	STS-2	EpiSensor	0,98	0,98	0,99	0.4° ⁽¹⁾	240
CRNS	CMG-3ESPC	CMG-5TC	1,01	1,00	1,01	1.7°	363
GBAS	CMG-3ESPC	CMG-5TC	1,02	1,01	1,03	0.1°	363
GOLS	CMG-40TBH	FBA-23	0,95 ⁽²⁾	0,98 ⁽²⁾	1,02 ⁽²⁾	-166.8° ⁽²⁾	142
GORS	CMG-3T	EpiSensor	0,99	0,98	0,99	1.3°	281
KOGS	CMG-3T	EpiSensor	0,99	0,99	0,99	2.5°	281
LEGS	CMG-40TBH	FBA-23	0,97 ⁽²⁾	1,01 ⁽²⁾	1,02 ⁽²⁾	16.4° ⁽²⁾	142
LJU	STS-2	EpiSensor	0,99	1,00	0,98	0.3°	240
MOZS	CMG-3ESPC	CMG-5TC	1,00	1,01	1,03	-0.6°	363
PDKS	CMG-40TBH	FBA-23	1,01 ⁽²⁾	1,10 ⁽²⁾	1,01 ⁽²⁾	-204.8° ⁽²⁾	142
PERS	CMG-3ESPC	CMG-5TC	1,01	1,01	1,02	0.2°	363
SKDS	STS-2	EpiSensor	0,99	0,99	0,99	-0.3°	240
VISS	CMG-3T	CMG-5TC	1,00	1,01	1,02	-0.4°	281
VOJS	CMG-3ESPC	CMG-5TC	0,99	0,99	1,02	-0.6°	363
VNDS	CMG-3T	EpiSensor	0,96 ⁽²⁾	0,95 ⁽²⁾	0,96 ⁽²⁾	219.5° ⁽²⁾	281

označili podatke iz tistih lokacij, kjer so seizmometri v vrtini, pospeškometri pa na površini. Ti podatki so zaradi večje oddaljenosti med obema sistemoma manj zanesljivi kot nakazuje število decimalk.

Sklepne misli

S kombinacijo pospeškometra in seizmometra tako dosežemo, da je oprema na potresnih opazovalnicah sposobna zajemati zelo šibke in tudi zelo močne seizmične signale. Kot primer, največja amplituda hitrosti nihanja podlage, ki jo seizmometer STS-2 lahko zabeleži, je 1,3 cm/s, medtem ko pospeškometer EpiSensor ES-T z območjem ± 2 g lahko pri 1 Hz zabeleži 240-krat večjo amplitudo hitrosti nihanja tal. Istočasno pa s kombinacijo dveh merilnikov nihanj tal na eni lokaciji dosežemo tudi večjo neodvisnost potresne opazovalnice, saj v primeru izpada (okvare) enega senzorja dobimo vsaj delne podatke iz drugega sistema.

Literatura

- Clinton, J. F., 2004. Modern Digital Seismology Instrumentation, and Small Amplitude Studies for the Engineering World, PhD Thesis, California Institute of Technology.
- Mali, M. in Tasič, I., 2011. Vpliv temperaturnih sprememb na delovanje dolgoperiodnih seizmometrov, Potresi v letu 2010, Ljubljana.
- Ringler A. T., Hutt C. R., Persefield K., Gee L. S., 2013, Seismic Station Installation Orientation Errors at ANSS and IRIS/USGS Stations. Seismological research Letters, 84(6) DOI: 10.1785/0220130072 ...
- Peterson, J., 1993. Observations and modeling of seismic background noise. USGS, Open-File report 93-322. U.S. Geological Survey
- Scherbaum, F., 2001. Of Poles and Zeros: Fundamentals of Digital Seismology. Springer
- Sinčič, P., Tasič, I., Živčič, M., 2017. Potresne opazovalnice v Sloveniji v letu 2016. Potresi v letu 2016 (ur. A. Gosar), ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo.
- Tasič I., 2009. Lastnosti seizmološke opreme državne mreže potresnih opazovalnic, Ujma, 22, 140-144.
- Tasič I., 2015. Spodnja raven seizmičnega šuma v Sloveniji, Ujma, 29, 343-349.
- Tasič I. in Mali M., 2007. Stabilnost temperature v seizmičnem jašku, Potresi v letu 2006, Ljubljana.
- Tasič, I., Mali, M., Pančur, L., 2011. Temperaturna stabilnost potresne opazovalnice, Potresi v letu 2010, Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo, Ljubljana.
- Tasič, I., Mali, M., Pfundner, I., Pančur, L., 2016. Zajemalna enota Quanterra Q330HRS; preliminarni test šestih enot. Potresi v letu 2014 (ur. A. Gosar), ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 50–54.
- Tasič, I., Mali, M., Pfundner, I., Pančur, L., Uran, B., Sinčič, P., Prosen, J., 2017. Delovanje državne mreže potresnih opazovalnic v letu 2016. Potresi v letu 2016 (ur. A. Gosar), ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo.
- Tasič, I. in Runovc, F, 2011, Seismometer self-noise estimation using a single reference instrument, Journal of Seismology. DOI: 10.1007/s10950-011-9257-4.
- Wiki: <https://en.wikipedia.org/wiki/Microseism> (dostopano: januar 2018).

Nekateri rezultati prenove državne mreže potresnih opazovalnic

Some Results of Modernization of the National Seismic Network

Povzetek

V letih 1996/1997 je bila v Sloveniji vzpostavljena prva mreža digitalnih potresnih opazovalnic, sestavljalo jo je 6 opazovalnic. Med letoma 2001 in 2008 pa je bila mreža posodobljena in razširjena na 26 opazovalnic. Od leta 1997 do 2016 so potresne opazovalnice v Sloveniji zabeležile preko 45000 lokalnih potresov. Zaradi večjega števila opazovalnic in boljše pokritosti slovenskega ozemlja, tudi na račun začasno postavljenih prenosnih opazovalnic in enostavnejšega dostopa do tujih podatkov, se je odstotek lociranih šibkih potresov povečal. Boljša je tudi natančnost lokacije nadžarišča. Z različnim naborem opazovalnic smo izračunali osnovne parametre potresov in jih med seboj primerjali, ter preverili, kaj bi dobili, če bi uporabili le podatke z opazovalnic, ki so v Sloveniji in njeni okolici delovale leta 1982.

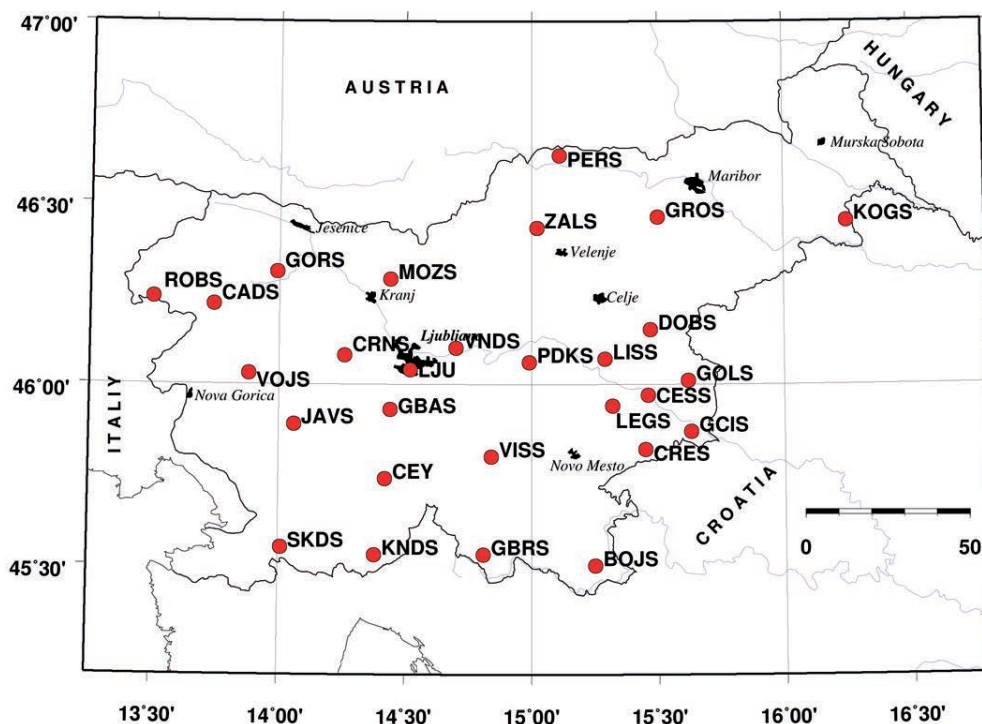
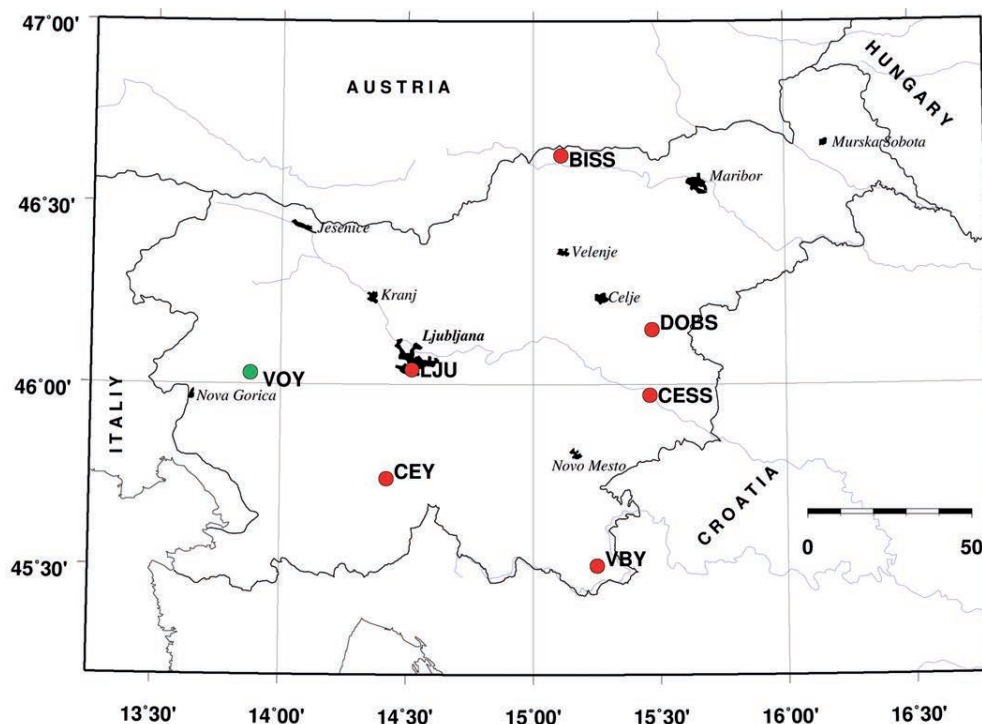
Abstract

In 1996/1997, the first seismic network of digital stations was established in Slovenia and consisted of 6 stations. Between 2001 and 2008 the network was modernised and extended to 26 stations. From 1997 till 2016 Slovenian seismic stations recorded more than 45000 local earthquakes. The percentage of located small earthquakes increased due to the increased number of stations and better coverage of Slovenian territory and also due to temporarily portable stations and easier access to data from foreign stations. The accuracy of the epicentre location is also better. We calculated some earthquake parameters with different number of included stations and compare them. Also we examined the results if we would use only data from stations that operated in Slovenia and its surroundings in 1982.

Uvod

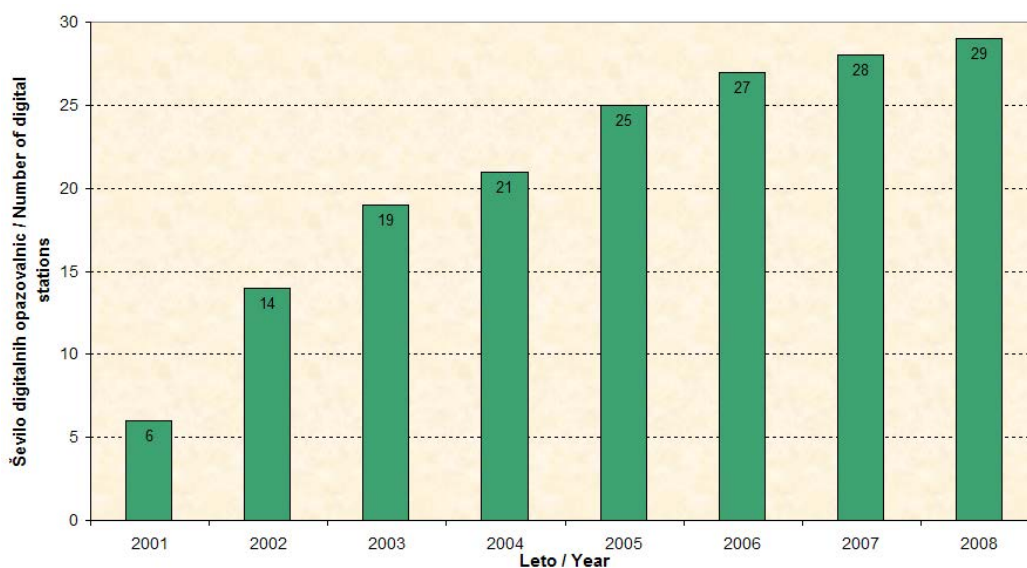
V 21. stoletju je razvoj modernih tehnologij dobro prevetrl tudi področje seizmologije. Analogni seizmografi z zapisom na papir se umikajo med muzejske eksponate, vedno večje število digitalnih, opremljenih z modernimi instrumenti, pa omogoča natančnejše in občutljivejše beleženje nihanja tal ter prenos podatkov v stvarnem času v središča za obdelovanje podatkov. Razvoj komunikacijskih omrežij omogoča povezovanje v mreže potresnih opazovalnic, ne samo znotraj državnih meja, ampak tudi širše v t. i. virtualne mreže (mednarodna izmenjava podatkov v realnem času).

Tudi v Sloveniji je bilo tako. Med letoma 1997 in 2001 je bilo s središčem za obdelavo podatkov (SOP) v Ljubljani preko telefonske linije (klicne ali najete) povezanih 6 digitalnih opazovalnic (Sinčič in drugi, 2009). Slabo pokritost zahodnega dela Slovenije je omilila opazovalnica na Vojskem (VOY), sicer opremljena z analognim seizmografom (slika 1a). Število, razporeditev opazovalnic in način povezave s SOP niso več zadoščali pričakovanju javnosti po čim hitrejšem odzivu po potresu, kar se je izkazalo tudi v primeru potresa, ki je na velikonočno nedeljo aprila 1998 prizadel Posočje ($M_{LV} = 5,6$). Izmed slovenskih opazovalnic je bila nadžarišču najbližja ravno opazovalnica na Vojskem (oddaljena cca. 35 km) z zapisom na papir. Za analizo teh zapisov je bila potrebna prisotnost osebja, priprava seizmogramov za analizo pa je bila zamudna. Zaradi menjave papirja v seizmografu bi lahko prišlo tudi do izgube zapisa morebitnih popotresov, ki bi se zgodili v času menjave papirja. Druga najbližja opazovalnica je bila nameščena na Golovcu v Ljubljani (LJU), oddaljena cca. 70 km od nadžarišča. Javnost je pričakovala točne podatke v čim krajšem času, česar ob obstoječi infrastrukturi nismo mogli zagotoviti.



Slika 1: Slovenske potresne opazovalnice, vključene v sistem hitrega obveščanja (zgoraj) do leta 2001 in (spodaj) do leta 2016. Z rdečimi krogi so označene digitalne opazovalnice, z zelenim pa analogna opazovalnica (VOY).

Figure 1: Slovenian seismic stations for rapid earthquake alerting a) till 2001 (above), and in 2016 (below). Digital stations are marked with red circles, the analogue one (VOY) with green.



Slika 2: Število delujočih digitalnih opazovalnic v posameznem letu v Sloveniji med zaključno fazo prenove državne mreže potresnih opazovalnic (2001–2008).

Figure 2: Number of working digital stations per year in Slovenia during final stage of the modernization of Seismic network of Slovenia (2001–2008).

Posodobitev slovenske mreže potresnih opazovalnic je bila že dlje časa načrtovana, vendar razpoložljiva sredstva tega niso dopuščala. Po potresu leta 1998 pa je Vlada RS zagotovila zadostna finančna sredstva za njeno izvedbo (Vidrih in drugi, 2006). Po pripravljavnih delih (priprava projekta, opredelitev časovnega in finančnega načrta, izbor lokacij opazovalnic, nakup zemljišč in gradnja opazovalnic, izbor in nakup novih merilnikov ...) je od 2001 do 2008 prenova prešla v zaključno fazo. Najprej je bila posodobljena oprema središča za obdelavo podatkov in vzpostavljene povezave, ki omogočajo sproti prenos podatkov z opazovalnic v SOP. Hkrati je bila leta 2001 zamenjana oprema na treh že obstoječih opazovalnicah (CEY, DOBS, LJU). Nato so postopno (2002–2008) začele delovati preostale na novo zgrajene opazovalnice (slika 2). Državno mrežo potresnih opazovalnic (DMPO) danes sestavlja 26 digitalnih opazovalnic z neprekinjenim prenosom podatkov v podatkovno središče na Agenciji Republike Slovenije za okolje (ARSO) in rezervno podatkovno središče na observatoriju na Golovcu, oboje v Ljubljani (Sinčič in drugi, 2009; Vidrih in drugi, 2006). Dopolnjuje jo še nekaj začasnih opazovalnic z enako opremo in neprekinjenim prenosom podatkov. Opazovalnici na Cesti pri Krškem (CESS) in v meteorološki opazovalnici na Lisci (LISS) sta delovali tudi leta 2016, medtem ko je bila opazovalnica pri Braniku na Muti (BISS) konec leta 2015 ukinjena (slika 1b).

Sodobne internetne povezave omogočajo tudi sproti zbiranje in prenos podatkov v SOP z nekaterih tujih potresnih opazovalnic, predvsem iz sosednjih držav (Avstrija, Hrvaška, Italija, Madžarska).

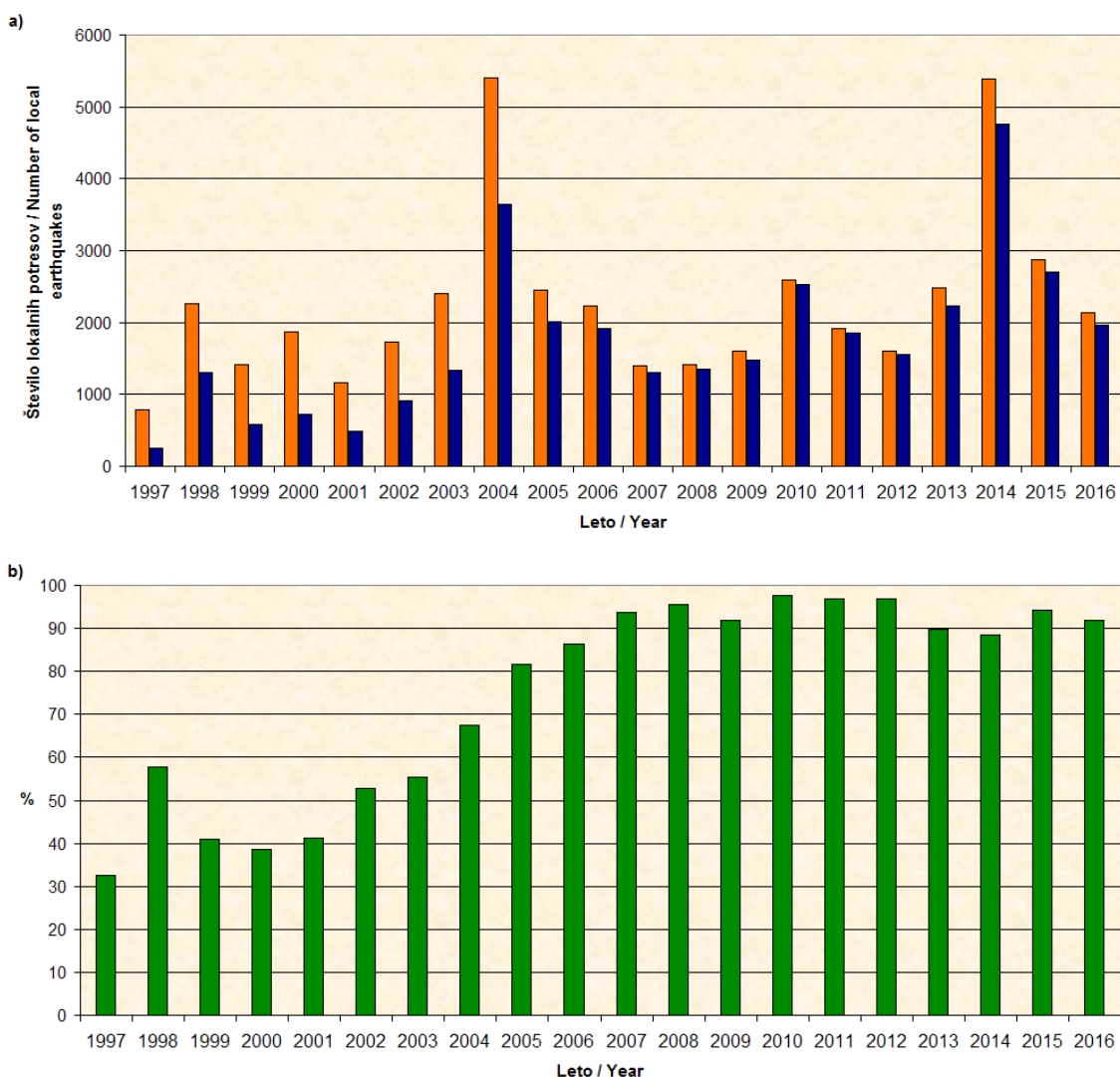
Vsi ti zapisi, zbrani v stvarnem času v SOP, omogočajo samodejno računanje lokacije in magnitude potresa, informiranje seizmologov o dogajanju preko kratkih sporočil (SMS) ter elektronskih sporočil. Vsa ta sporočila so v pomoč seizmologom pri obveščanju javnosti (preko spletne strani, elektronske pošte, družbenih medijev) v čim krajšem času po močnejšem dogodku.

Za spremljanje potresne dejavnosti na območju Slovenije deluje poleg DMPO tudi mreža opazovalnic za zapisovanje močnejših tresljajev tal, po močnejšem potresu pa v bližini nadžarišča postavimo tudi nekaj začasnih opazovalnic, kar omogoča analizo in natančnejšo določitev lokacije zelo šibkih potresov. Konč-

ne analize potresov, zapisanih na potresnih opazovalnicah v Sloveniji (stalne in začasne opazovalnice ter opazovalnice za zapisovanje močnejših tresljajev tal), so dopolnjene še z vsemi dostopnimi podatki z opazovalnic v sosednjih državah.

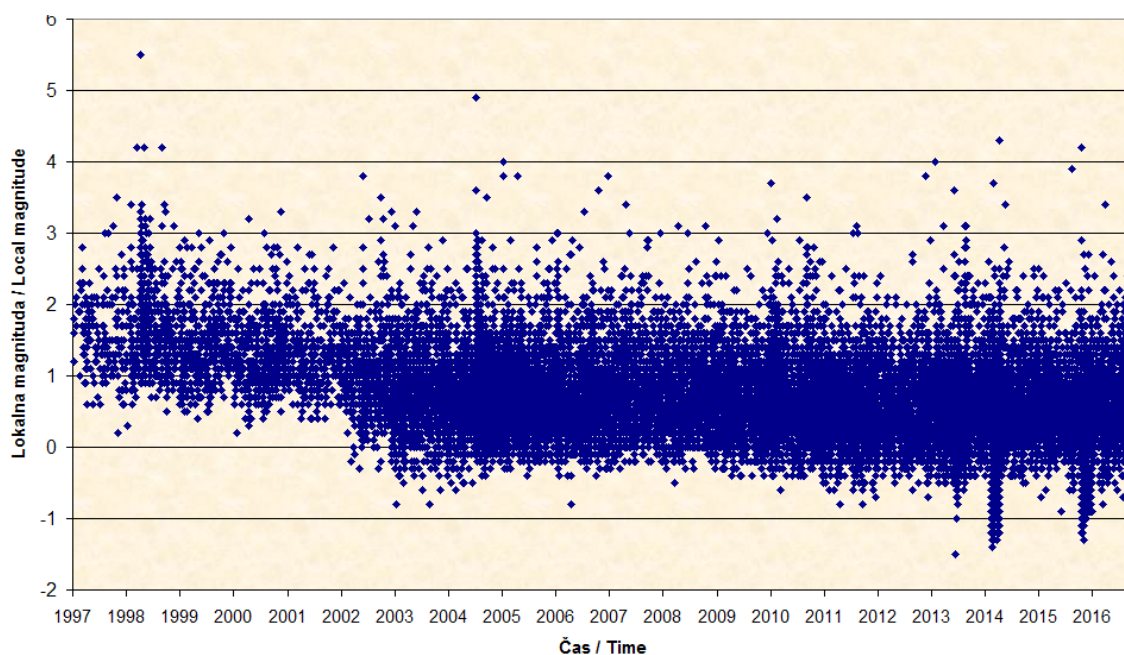
Potresi v Sloveniji 1997–2016

Za dvajsetletno obdobje, od leta 1997 (ko je delovalo 6 digitalnih opazovalnic s slike 1a) do leta 2016, imamo na Uradu za seizmologijo zbrane podatke za več kot 45000 lokalnih potresov (ARSO, 2017a). Kot lokalne potrese pojmemo tiste, katerih nadžarišča so znotraj slovenske državne meje ali pa so od nje od-



Slika 3: a) Letno število zabeleženih lokalnih potresov za obdobje 1997–2016 (oranžno - vsi lokalni potresi, modro - lokalni potresi z izračunanim žariščem); b) Odstotek lokalnih potresov, ki smo jim lahko v posameznem letu izračunali lokacijo žarišča (1997–2016).

Figure 3: a) Number of recorded local earthquakes per year for 1997-2016 (orange – all local events, blue – only local events with calculated hypocentre); b) The percentage of local events per year with calculated hypocentre (1997-2016).



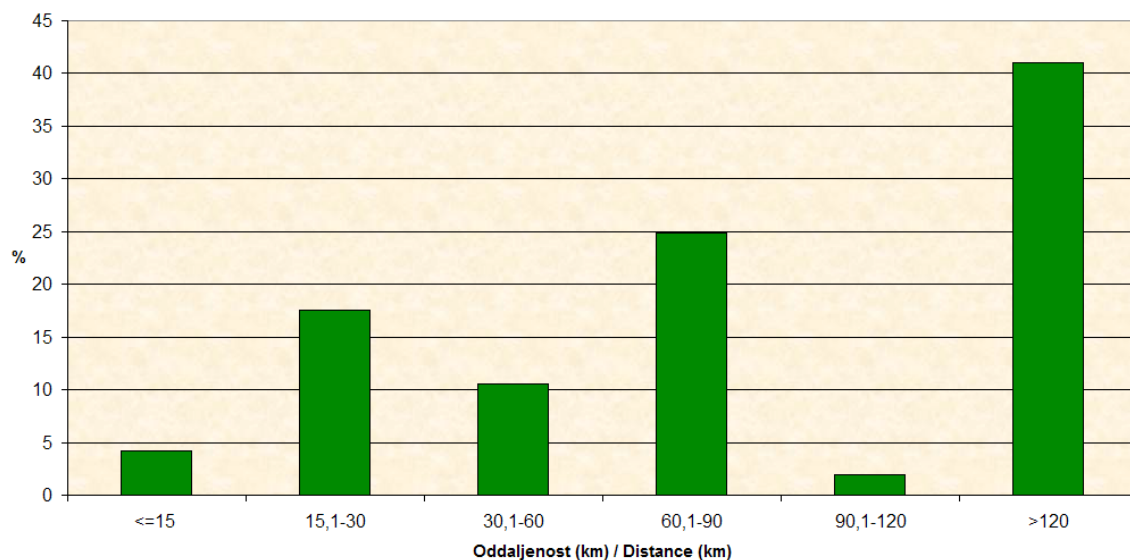
Slika 4: Porazdelitev lociranih lokalnih potresov po času in magnitudi (1997–2016)

Figure 4: Time and magnitude distribution of local earthquakes (1997-2016).

daljena največ 50 km. Število lokalnih potresov, pri čemer so upoštevani tako glavni potresi kot tudi pred- in popotresi, se spreminja po letih, vsem tudi nismo mogli določiti lokacije žarišča (slika 3a). Za izračun le-te potrebujemo podatke z vsaj treh opazovalnic. Za 77 % vseh zabeleženih lokalnih potresov v obdobju 1997–2016 smo lahko izračunali lokacijo žarišča. V posameznem letu se je delež lokalnih potresov z izračunanim žariščem poviševal do leta 2008, torej do leta, ko je bila prenova mreže potresnih opazovalnic v Sloveniji zaključena, nato se je ustalil okoli 90 % (slika 3b).

Po številu lokalnih potresov (slika 3a) izstopata leti 2004 in 2014. Leta 2004 se je 12. julija zgodil potres v Posočju z magnitudo (M_{LV}) 4,9, leto 2014 pa sta zaznamovala potres 13. marca v Suhi Krajini z magnitudo 3,7 in potres 22. aprila pri Pivki z magnitudo 4,3. Močnejšim potresom praviloma sledi večje število šibkejših popotresov, ki smo jih zabeležili in tudi locirali s pomočjo začasno postavljenih prenosnih potresnih opazovalnic. Te postavimo v bližini nadžarišča, da lahko zabeležimo tudi zelo šibke potrese. Vsled tega bi pričakovali znaten porast potresov tudi v letu 1998, saj se je takrat zgodil najmočnejši potres obdobja 1997–2016, potres 12. aprila v Posočju z magnitudo 5,6 (sliki 3a in 4).

Če ga primerjamo z letom 2004, bi pričakovali precej več potresov. Aktiviralo se je isto potresno območje, potres pa je bil 10-krat močnejši. Navideznemu pomanjkanju potresov leta 1998 je botrovalo več dejavnikov. Delovalo je manj opazovalnic (ne le v Sloveniji, ampak tudi v njeni okolici), bile so bolj oddaljene od žarišča (slika 5) in zato niso zabeležile šibkejših popotresov. Zelo pomemben dejavnik je tudi način prenosa in zbiranja podatkov v SOP. Obstoječe telefonske linije takrat niso omogočale neprekinjenega prenosa podatkov. Prenašali so se le tisti izseki zapisov, ki so zadostili nastavitvam občutljivosti proženja na opazovalnici. Pri nastavitvah občutljivosti sistema se je bilo potrebno izogniti prepogostemu proženju ob vsakemu nezaželenemu šumu (veter, vozila, človeška dejavnost ...), a se je na račun tega izgubilo tudi precej zapisov šibkejših potresov. Na sliki 4 lahko vidimo, da je bilo do leta 2002 zabeleženih in lociranih malo šibkih potresov ($M_{LV} < 1,0$). Leta 2002 se je število digitalnih opazovalnic povečalo s 6 na 14 in leto



Slika 5: Porazdelitev oddaljenosti najbližje slovenske stalne digitalne opazovalnice leta 1998 od nadžarišča potresov leta 1998, izražena v odstotkih.

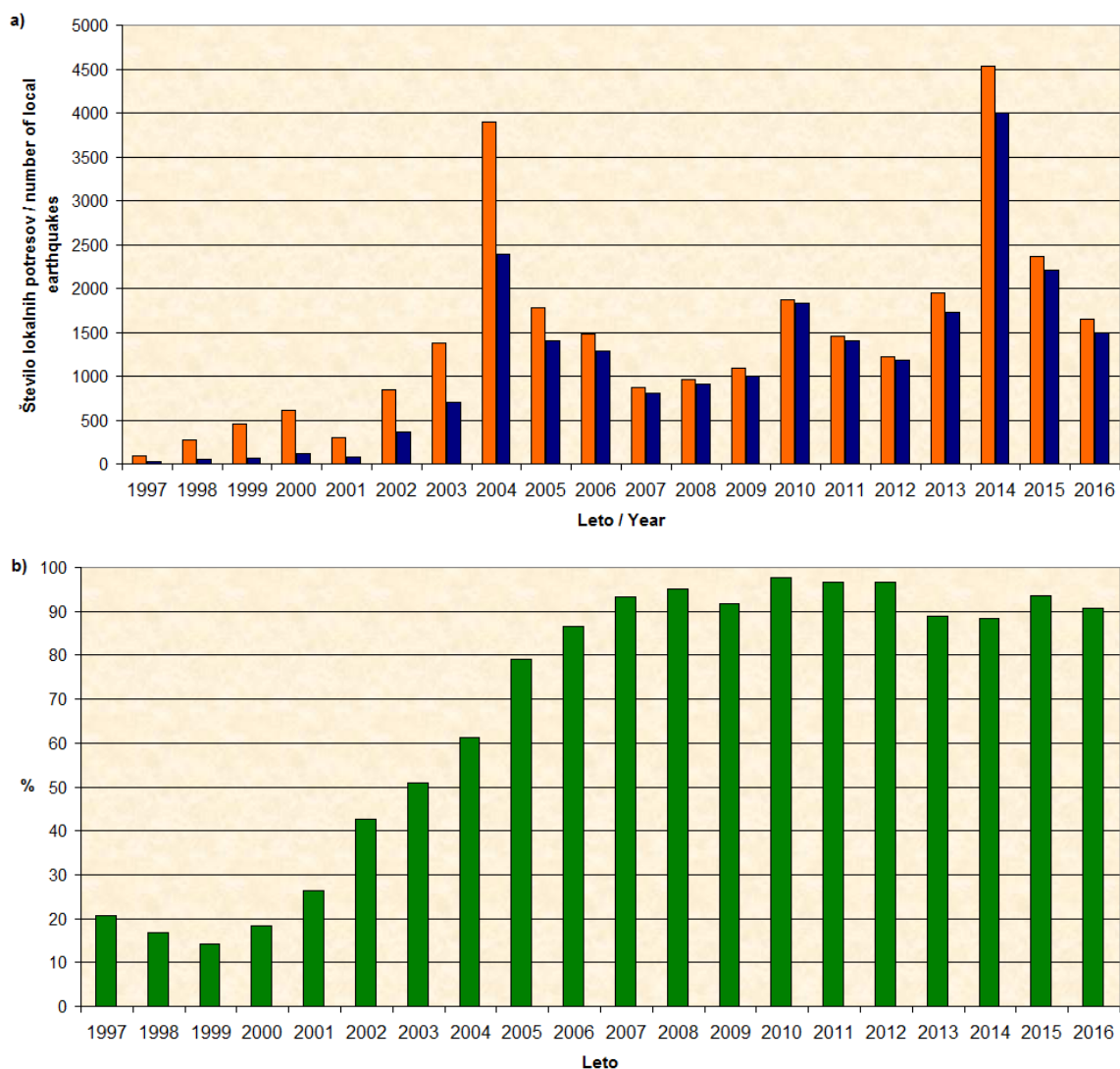
Figure 5: Distribution of earthquakes in Slovenia in 1998 with respect to distance between epicentre location and the nearest Slovenian permanent digital station (operating in year 1998), in percentage.

kasneje na 19 (slika 2), kar je skupaj z novim načinom zajemanja in hranjenja podatkov (neprekinjen zapis) omogočalo lociranje tudi šibkejših potresov.

Pričakovali bi tudi, da bo število potresov leta 2004 večje kot leta 2014. V obeh letih smo prejeli neprekinjene zapise z opazovalnic, a so kljub temu, da DMPO v letu 2004 še ni bila dokončana, nadžarišču močnega potresa 12. julija 2004 najbližje opazovalnice (CADS, GORS, ROBS) že delovale. V obeh primerih so bile dodatno postavljene začasne prenosne opazovalnice v bližini nadžarišča potresa. Razlika je v tem, da so bili leta 2014 analizirani in locirani vsi potresi, zabeleženi vsaj na treh opazovalnicah, vključno z začasnimi, medtem ko ta naloga, zaradi velikega števila popotresov, za leto 2004 še ni zaključena. Predvsem to velja za potrese z $M_{LV} < 1,0$ (slika 6), medtem ko je v primeru potresov z $M_{LV} \geq 1,0$ slika bolj realna (slika 7). Tu se izkaže še ena prednost neprekinjenega zapisa. Zapisi so v celoti shranjeni, le analizirati jih je treba in dodati podatke v katalog potresov. Za obdobje pred letom 2001, ko tak sistem zajemanja podatkov še ni bil vzpostavljen, pa tega ne bo mogoče narediti.

Zmogljivost stare in nove mreže potresnih opazovalnic

Staro mrežo v naši analizi sestavlja 6 digitalnih opazovalnic, ki so delovale že leta 2001, novo mrežo pa 26 opazovalnic DMPO ter 3 začasne opazovalnice BISS, CESS in LISS (sliki 1a in 1b). Za primerjavo učinkovitosti stare in nove mreže smo izbrali leto 2013, ki po številu lokalnih potresov ni izstopalo (slika 2a). Prenova DMPO je bila takrat že zaključena, z vseh opazovalnic so se neprekinjeni podatki prenašali v realnem času, delovale pa so še vse digitalne opazovalnice stare mreže. Izbrali smo le tiste lokalne potrese, ki imajo nadžarišče znotraj slovenskih meja ali v njeni neposredni bližini (2229 dogodkov; slika 8; ARSO, 2017a). Uporabili smo reprezentativen katalog potresov, pri katerem smo za izračun lokacij uporabili vse

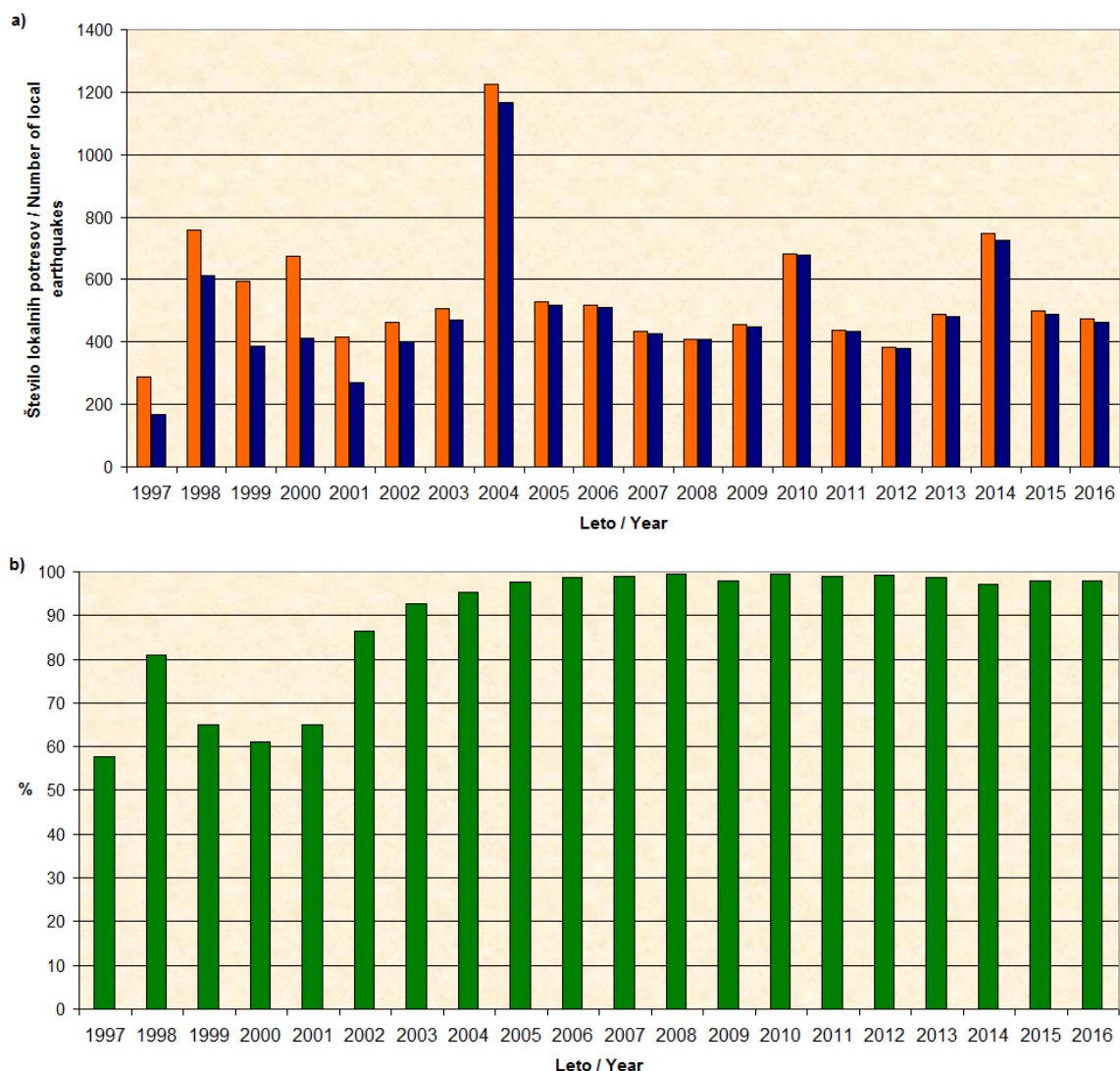


Slika 6: a) Letno število zabeleženih lokalnih potresov z $M_{LV} < 1,0$ za obdobje 1997–2016 (oranžno - vsi lokalni potresi, modro - lokalni potresi z izračunanim žariščem); b) Odstotek lokalnih potresov z $M_{LV} < 1,0$, ki smo jim lahko v posameznem letu izračunali lokacijo žarišča (1997–2016).

Figure 6: a) Number of recorded local earthquakes with $M_{LV} < 1,0$ per year for 1997–2016 (orange – all local events, blue – only local events with calculated hypocentre); b) The percentage of local events with $M_{LV} < 1,0$ and calculated hypocentre in each year (1997–2016).

razpoložljive podatke (s stalnih in začasnih slovenskih ter tujih opazovalnic), da smo s tem zagotovili čim bolj točen izračun osnovnih parametrov potresa (čas, lokacija, globina, magnituda). Nato smo privzeli, da imamo na voljo le podatke z opazovalnic stare oz. nove mreže (6 oz. 29 opazovalnic) in izračun ponovno naredili iz obema konfiguracijama ter rezultate primerjali z reprezentativnim katalogom.

V primeru, ko imamo na voljo podatke le s 6 opazovalnic stare mreže, lahko izračunamo lokacijo nadžarišča samo za 231 potresov (10 %) reprezentativnega kataloga, od tega le za 3 % tistih z magnitudo manjšo od 1,0 (sliki 9 in 10, zgoraj). Le 7 % potresov ima vsaj eno opazovalnico bližje kot 15 km od nadžarišča

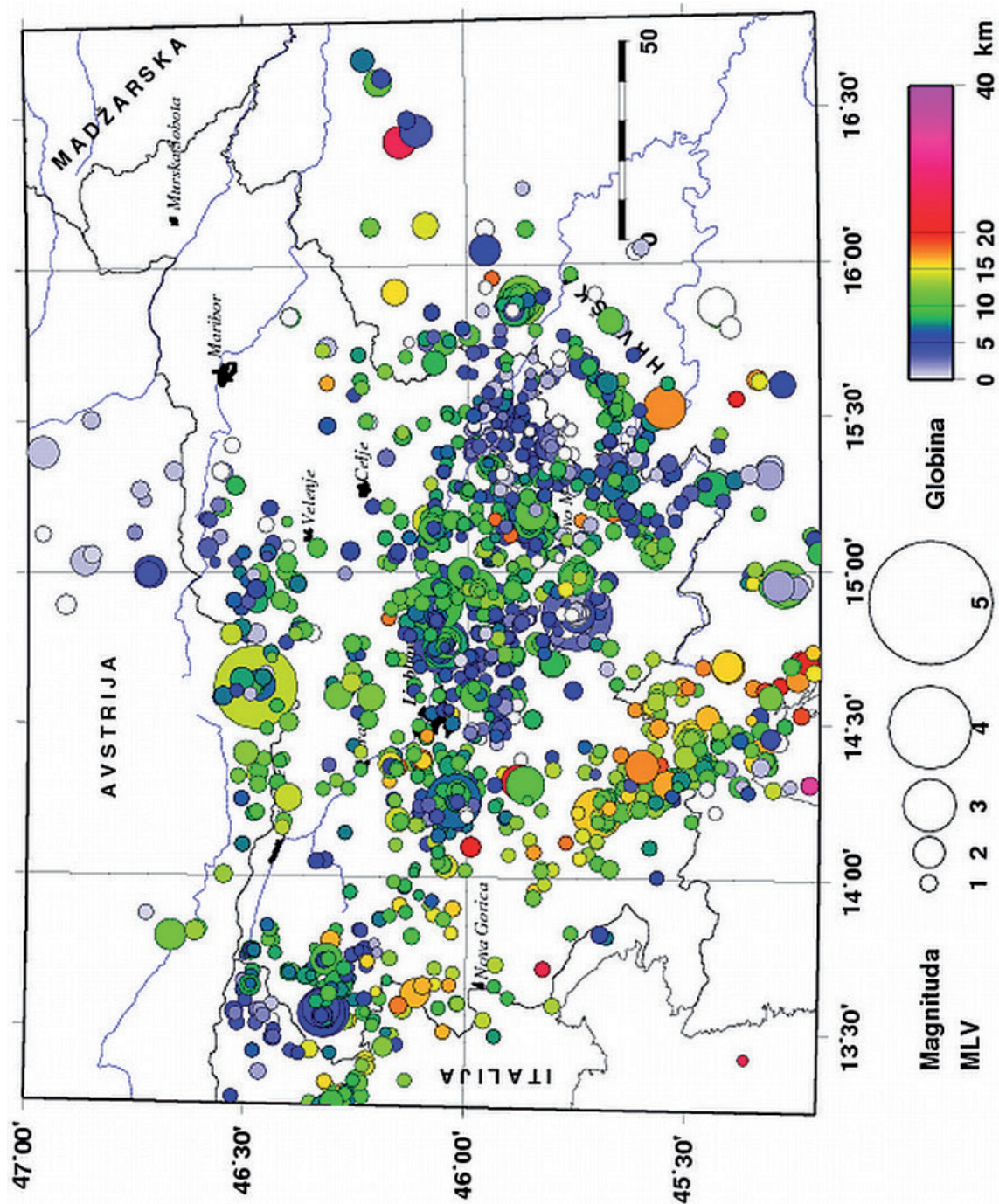


Slika 7: a) Letno število zabeleženih lokalnih potresov z $M_{LV} \geq 1,0$ za obdobje 1997–2016 (oranžno - vsi lokalni potresi, modro - lokalni potresi z izračunanim žariščem); b) Odstotek lokalnih potresov z $M_{LV} \geq 1,0$, ki smo jim lahko v posameznem letu izračunali lokacijo žarišča (1997–2016).

Figure 7: a) Number of recorded local earthquakes with $M_{LV} \geq 1,0$ per year for 1997-2016 (orange – all local events, blue – only local events with calculated hypocentre); b) The percentage of local events with $M_{LV} \geq 1,0$ and calculated hypocentre in each year (1997-2016).

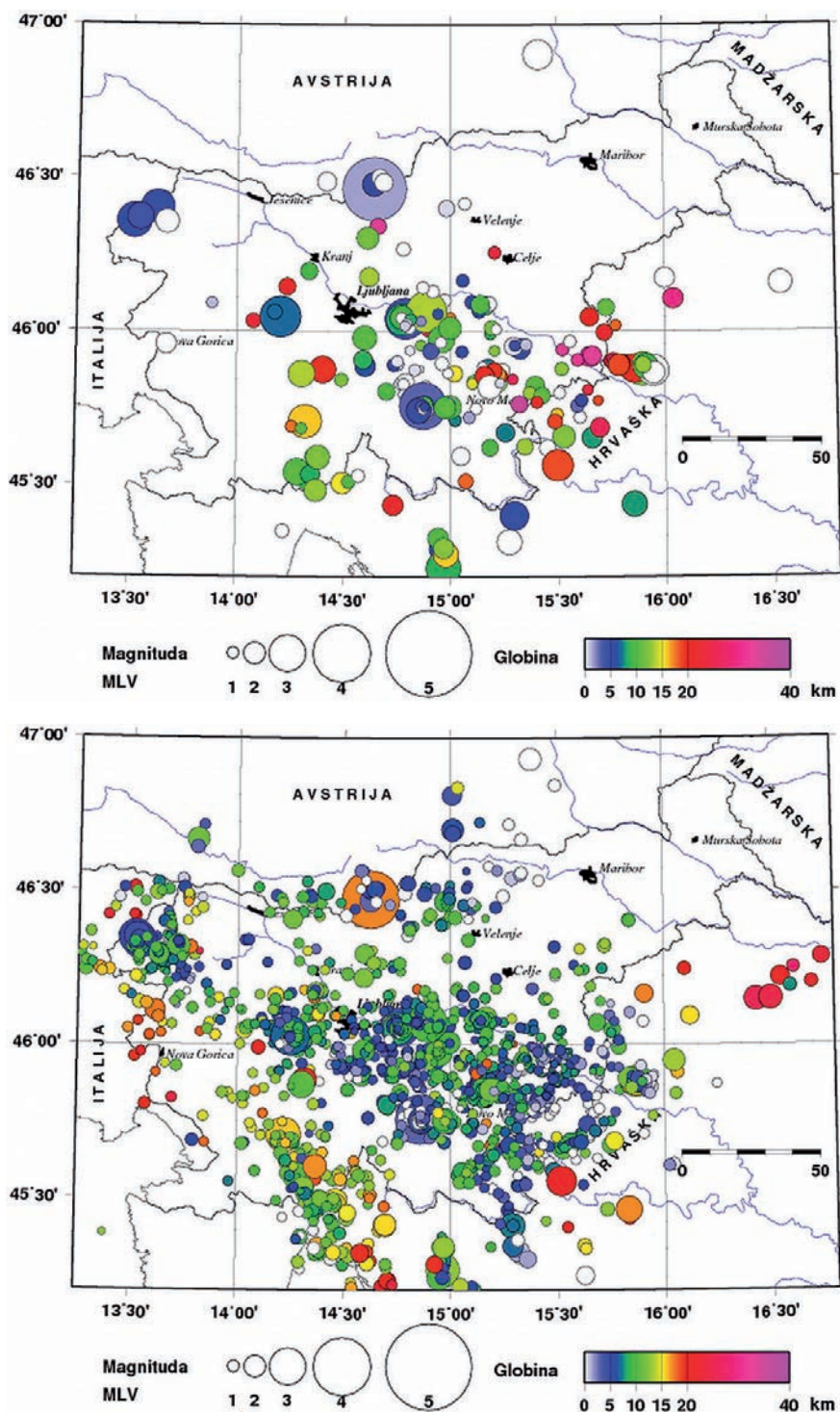
potresa (slika 11), kar 58 % potresov reprezentativnega kataloga pa ni bilo zabeleženih na nobeni izmed teh šestih opazovalnic.

Pri upoštevanju podatkov z 29 opazovalnic nove mreže smo izračunali lokacijo nadžarišča za 1974 potresov (89 %) reprezentativnega kataloga in za 77 % tistih z magnitudo manjšo od 1,0 (slika 9, spodaj). Tisti potresi, ki jim nismo mogli izračunati lokacije nadžarišča, so šibki in večinoma na obmejnem območju (slika 10, zgoraj). Na teh območjih si pri lociranju dogodkov pomagamo s podatki tujih potresnih opazovalnic ali pa z začasno postavljenimi opazovalnicami. Leta 2013 je bila zaradi povečane potresne aktivnosti v Suhi



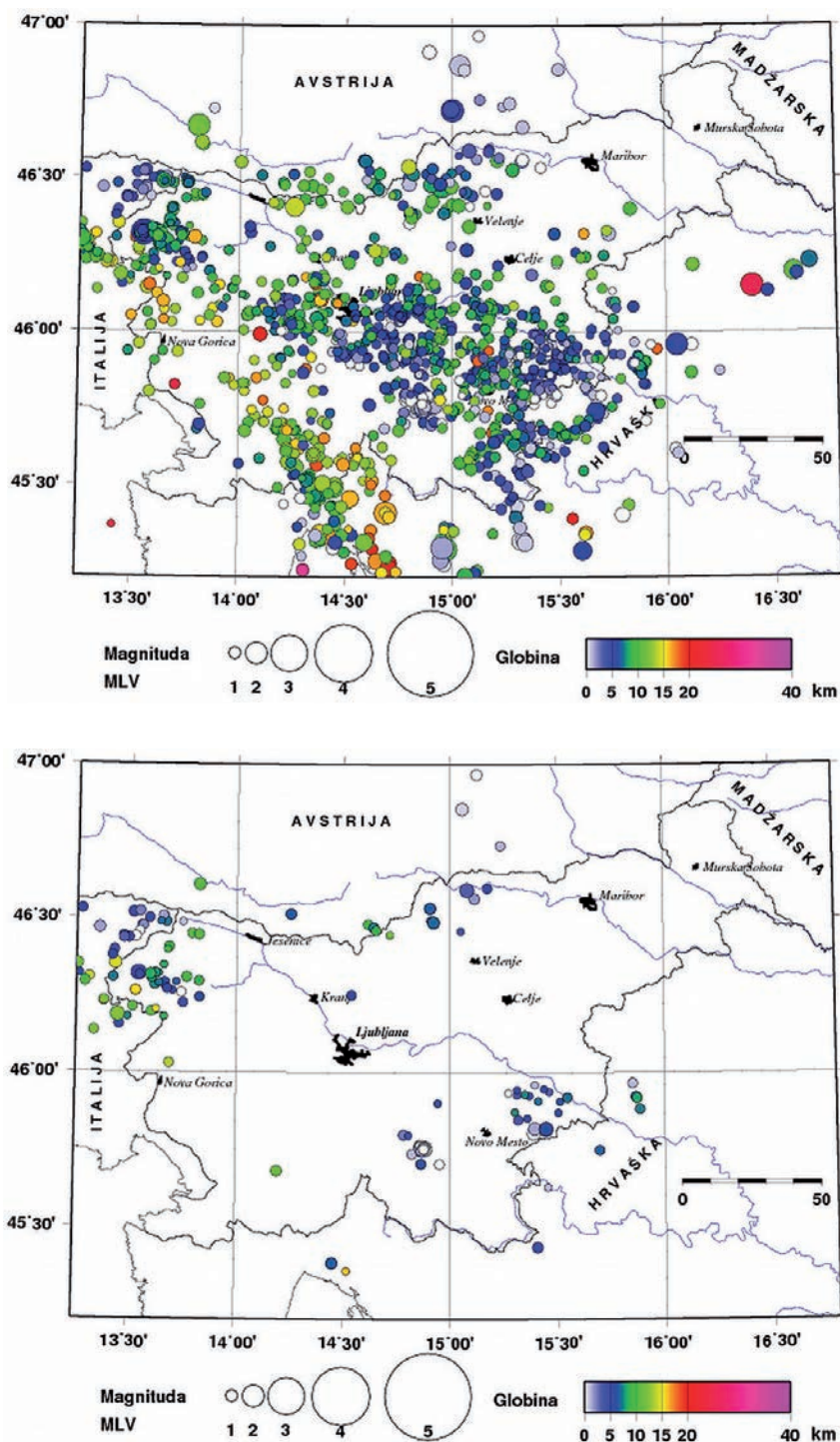
Slika 8: Nadžarišča lokalnih potresov leta 2013. Barva simbola ponazarja žariščno globino, njegova velikost pa vrednost lokalne magnitude M_{LV}

Figure 8: Epicentres of local earthquakes in year 2013. Coloured symbols of varying sizes denote focal depth and local magnitude M_{LV}



Slika 9: Nadžarišča lokalnih potresov leta 2013, lociranih s 6 opazovalnicami - stare (zgoraj) oz. z 29 opazovalnicami - nove (spodaj) mreže potresnih opazovalnic. Barva simbola ponazarja žariščno globino, njegova velikost pa vrednost lokalne magnitude M_{LV} .

Figure 9: Epicentres of local earthquakes in year 2013 located with 6 stations of old (above) or 29 stations of new (below) network of seismic stations. Coloured symbols of varying sizes denote focal depth and local magnitude M_{LV} .



Slika 10: Nadžarišča lokalnih potresov reprezentativnega kataloga (leto 2013), ki jih nismo mogli locirati s 6 opazovalnicami - stare (zgoraj) oz. 29 opazovalnicami - nove (spodaj) mreže potresnih opazovalnic. Barva simbola ponazarja žariščno globino, njegova velikost pa vrednost lokalne magnitude M_{LV} .

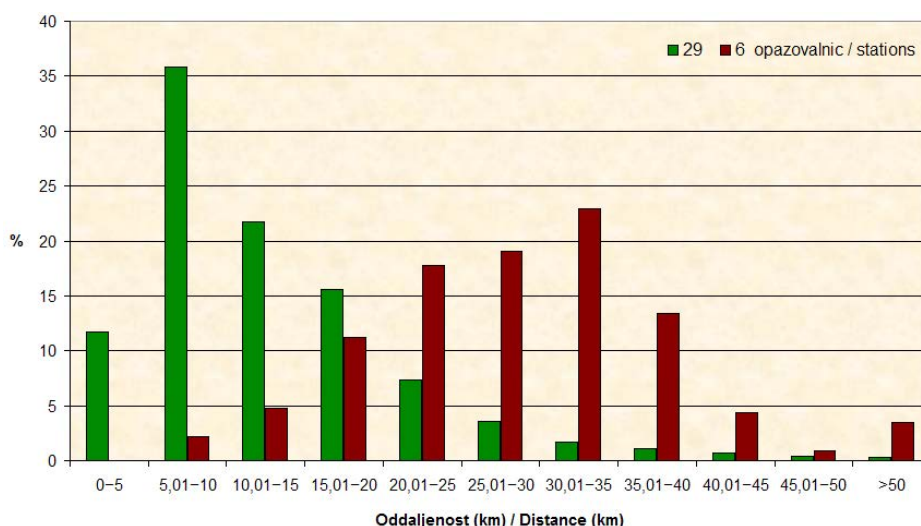
Figure 10: Epicentres of local earthquakes from the representative catalogue (year 2013) which could not be located with old (above) or new (below) network of seismic stations. Coloured symbols of varying sizes denote focal depth and local magnitude M_{LV} .

Krajini v Seču postavljena začasna prenosna opazovalnica (Sinčič in drugi, 2014), s pomočjo katere smo lahko izračunali nadžarišča tudi nekaterim zelo šibkim potresom na tem območju. Le s podatki z 29 opazovalnic nove mreže tega ne bi mogli storiti (slika 10, desno).

Preverili smo tudi, za koliko se spremeni lokacija nadžarišča (sliki 12 in 13), magnituda (slika 14) in globina potresa (slika 15), če upoštevamo manjši nabor opazovalnic. Na sliki 13 so prikazani potresi, pri katerih je razlika v lokaciji nadžarišča več kot 15 kilometrov (v primeru stare mreže). Na levi sliki so prikazane lokacije nadžarišč teh potresov iz reprezentativnega kataloga. Na desni sliki je dodan še premik in na novo izračunana lokacija nadžarišča. Opazimo lahko, da se je poleg lokacije nadžarišča večini potresov spremenila tudi globina žarišča. Globina žarišča je zelo občutljiv (težko določljiv) parameter potresa. Bolje ga lahko določimo, če imamo opazovalnico čim bližje nadžarišču, kar z majhnim številom opazovalnic težko dosežemo. To je tudi eden izmed razlogov, zakaj ob močnejšem potresu v bližino njegovega nadžarišča postavimo eno ali več prenosnih začasnih opazovalnic.

Lokalno magnitudo M_{LV} določimo iz največje hitrosti navpične komponente nihanja tal na opazovalnici in oddaljenosti nadžarišča do potresne opazovalnice. Magnituda potresa pa je povprečna vrednost M_{LV} za opazovalnice v Sloveniji. Vse opazovalnice, ki smo jih uporabili pri izračunu magnitude potresa v reprezentativnem katalogu, so upoštevane tudi pri računanju magnitude potresa z 29 opazovalnicami nove mreže potresnih opazovalnic. V tem primeru je sprememba magnitude potresa posledica spremembe lokacije potresa. Zaradi spremenjene lokacije potresa se spremeni oddaljenost posamezne opazovalnice od nadžarišča potresa. Pri 6 opazovalnicah stare mreže pa na razliko v magnitudi vpliva tudi manjše število opazovalnic, vključenih v izračun.

Podobno, kot smo primerjali staro digitalno mrežo in DMPO, lahko simuliramo tudi natančnost predhodne mreže analognih opazovalnic, ki je delovala že v letu 1982. Takrat sta v Sloveniji delovali le dve opazovalnici, v Ljubljani (LJU) in v Cerknici (CEY), obe le z zapisom na papir. Brez podatkov s tujih opazovalnic, ki

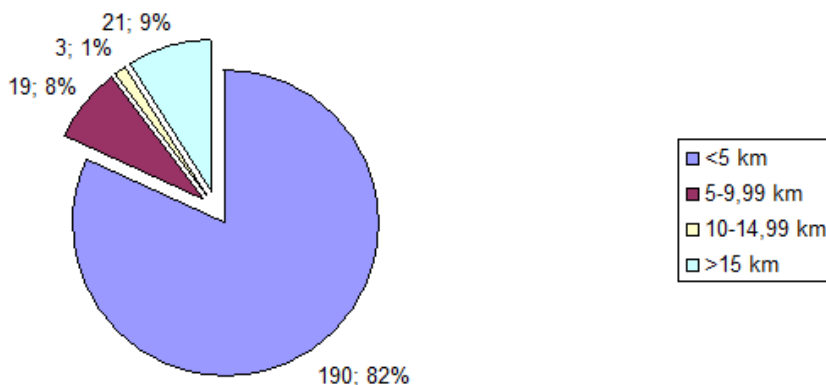


Slika 11: Odstotek lociranih lokalnih potresov (leto 2013) glede na oddaljenost najbližje opazovalnice od nadžarišča potresa, za nabor stare (rdeče) in nove (zeleno) mreže potresnih opazovalnic.

Figure 11: The distribution of the number of located local earthquakes in Slovenia (year 2013) with respect to the distance of the nearest Slovenian station from the epicenter in case of old (red) and new (green) network of seismic stations, expressed in percentage.

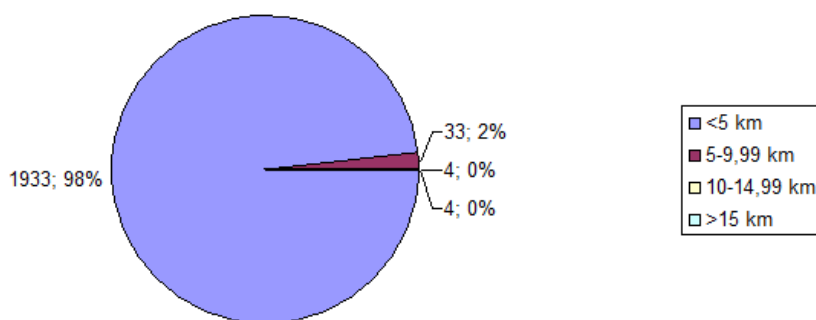
a) 6 opazovalnic / stations (Št. / No.; %)

N=231



b) 29 opazovalnic / stations (Št. / No.; %)

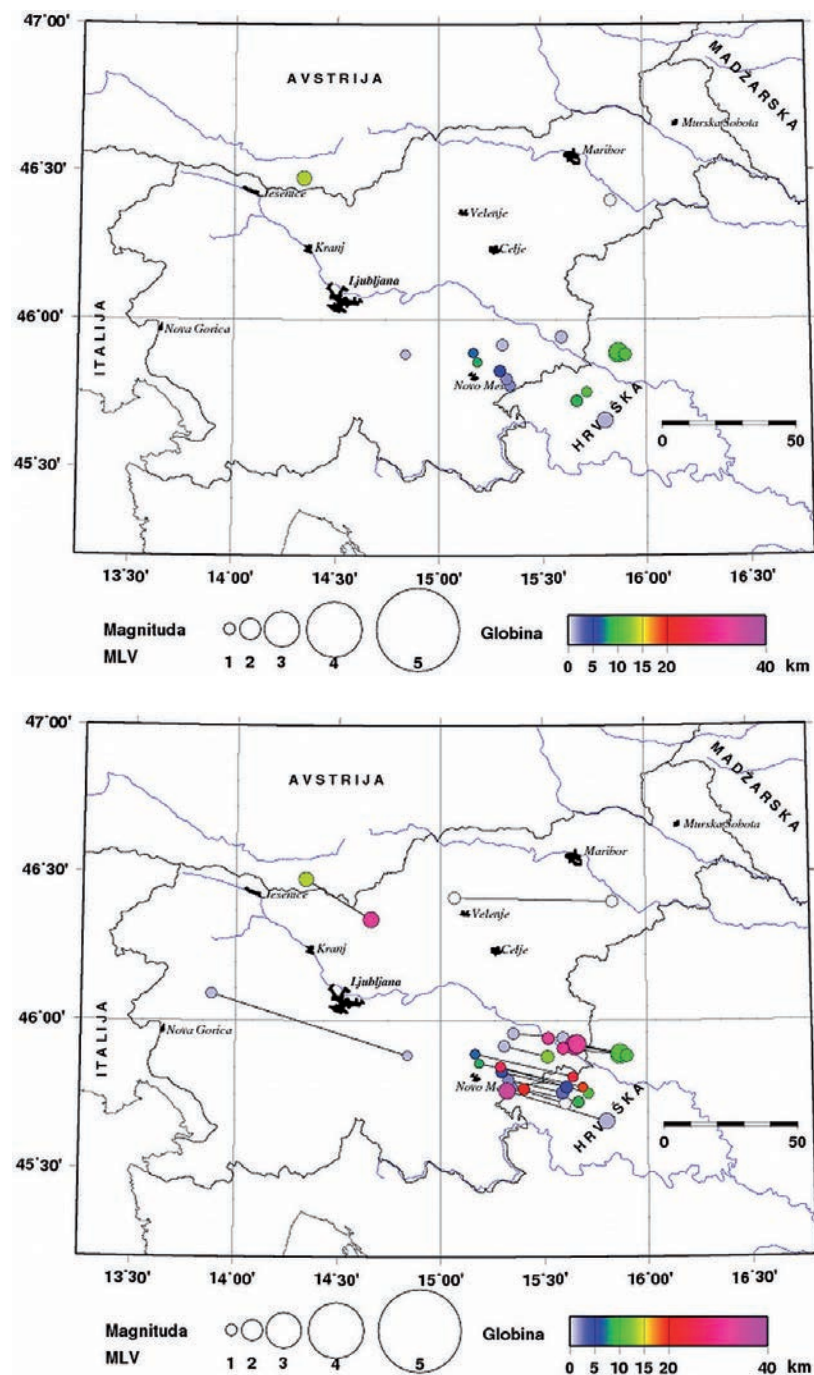
N=1974



Slika 12: Porazdelitev lokalnih potresov (leto 2013) glede na razdaljo med lokacijo nadžarišča iz reprezentativnega kataloga in kataloga, izračunane-ga s staro (a) oz. novo (b) mrežo potresnih opazovalnic.

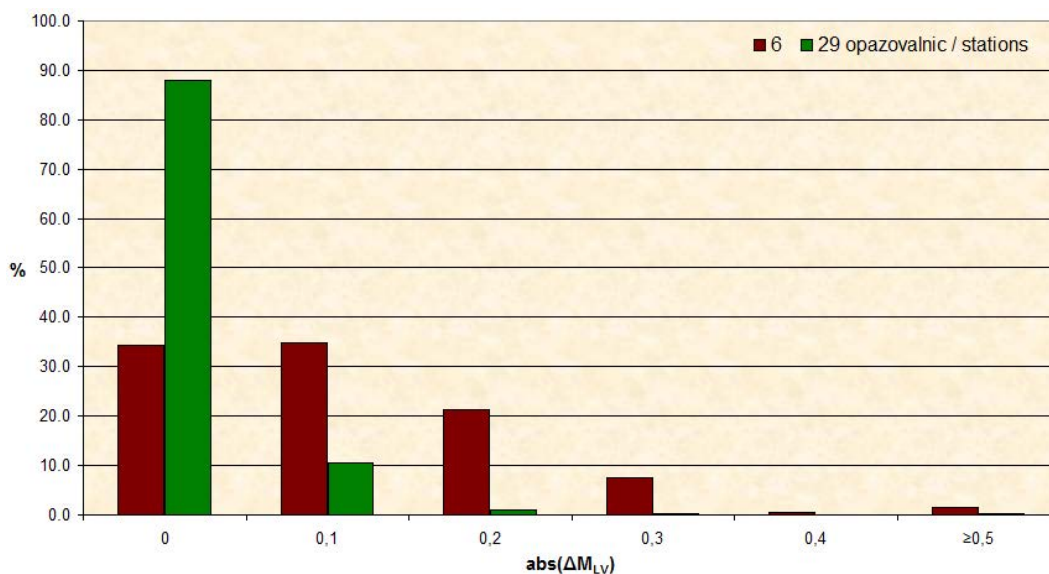
Figure 12: The distribution of earthquakes in Slovenia (year 2013) with respect to the distance between epicenter location of the representative catalogue and the catalogue calculated from the old (a) and the new (b) network of seismic stations, in percentage.

jih v tem času tudi ni bilo veliko, določitev lokacije žarišča potresa ni bila mogoča. Primerjavo smo opravili na katalogu potresov za leto 2013, ki so imeli lokalno magnitudo vsaj 1,5 (147 dogodkov). Ko smo na novo računali lokacijo žarišča potresov na podlagi podatkov takrat delujočih opazovalnic (ARSO, 2017b), se je izkazalo, da za 54 % dogodkov tega ni moč storiti. Za preostale smo preverili, za koliko se spremeni lokacija nadžarišča. Pri 5 % je bila razlika manj kot 1 km, štirim potresom (3 %) pa se je lokacija nadžarišča spremenila za več kot 15 km (slika 16). Sami odstotki nas lahko tudi zavedejo, saj nam ne prikažejo tega, da se je npr. eno nadžarišče premaknilo za 92 kilometrov. Namesto v bližini Zidanega mostu je bila lokacija nadžarišča v bližini Bača pri Podbrdu. Take ekstremne napake nas opominjajo, da je treba biti pri vrednote-nju zgodovinskih podatkov še posebno previden.



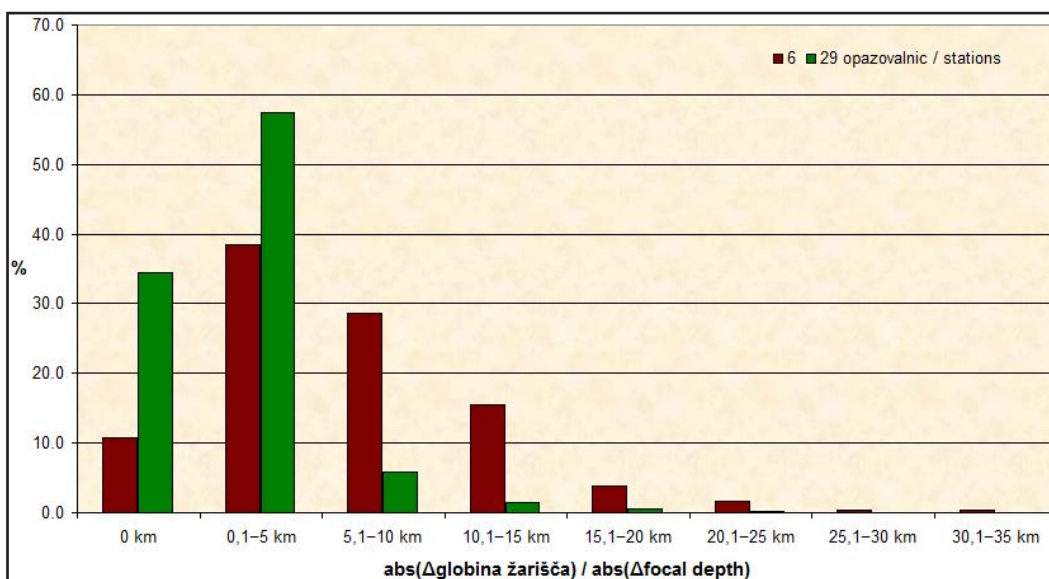
Slika 13: Žarišča lokalnih potresov reprezentativnega kataloga leta 2013, pri katerih je razlika v lokaciji nadžarišča med reprezentativnim katalogom in katalogom, izračunanim s 6 opazovalnicami stare mreže, večja od 15 km (zgoraj); na spodnji sliki pa smo jim dodali še nadžarišča, izračunana s temi 6 opazovalnicami. Barva simbola ponazarja žariščno globino, njegova velikost pa vrednost lokalne magnitude M_{LV} .

Figure 13: Epicentres of local earthquakes in year 2013 of the representative catalogue with more than 15 km distance between epicentre location from representative catalogue and the catalogue calculated with 6 stations of old network (above). On the picture below epicentres recalculated with these 6 stations are included. Coloured symbols of varying sizes denote focal depth and local magnitude M_{LV} .



Slika 14: Odstotek potresov (leto 2013) glede na absolutno razliko v magnitudi potresa med reprezentativnim katalogom in katalogom, izračunanim s 6 (rdeče) oz. 29 (zeleno) opazovalnicami, izraženo v odstotkih.

Figure 14: The distribution of number of the earthquakes in Slovenia (year 2013) with respect to the absolute difference in the magnitude of the earthquake from the representative catalogue and the catalogue calculated with 6 (red) and 29 (green) stations, expressed in percentage.



Slika 15: Odstotek potresov (leto 2013) glede na absolutno razliko v globini žarišča potresa med reprezentativnim katalogom in katalogom, izračunanim s 6 (rdeče) oz. 29 (zeleno) opazovalnicami, izraženo v odstotkih.

Figure 15: The distribution of number of the earthquakes in Slovenia (year 2013) with respect to the absolute difference of focal depth of the earthquake from the representative catalogue and the catalogue calculated with 6 (red) and 29 (green) stations, expressed in percentage.

Zaključek

Med 2001 in 2008 je v Sloveniji potekala zaključna faza prenove mreže potresnih opazovalnic. Povečalo se je število stalnih digitalnih opazovalnic, nov je tudi način prenosa in hranjenje podatkov v SOP. Za obdobje 1997–2016 imamo v katalogu potresov zbranih podatkov za več kot 45.000 potresov, največ za leti 2004 in 2014, ko je bila prenova že v teku oz. zaključena. Primerjava učinkovitosti stare in nove mreže, pri kateri smo se omejili le na lokacijo opazovalnic ene in druge mreže, je pokazala, da se je z večjim številom opazovalnic povečalo število zabeleženih in lociranih potresov, predvsem tistih z magnitudo manjšo od 1,0. Pri večjem številu opazovalnic je večja verjetnost, da jih bo več zabeležilo potres, s tem pa bo tudi določitev lokacije potresa bolj točna. Pri zgodovinskih potresih se lahko zgodi, da je ob majhnem številu opazovalnic, ki so zabeležile potres, in njihovi neprimerni razporeditvi, izračunana lokacija nadžarišča potresa popolnoma napačna.

Literatura

- ARSO, 2017a. Baza potresov, 1997–2016. Arhiv Agencije RS za okolje, Ljubljana
- ARSO, 2017b. Bilten potresov, 1982. Arhiv Agencije RS za okolje, Ljubljana
- Sinčič, P., Vidrih, R., Tasič, I., Živčič, M., Mladenović, B., 2009. Potresne opazovalnice v Sloveniji v letu 2008. Potresi v letu 2008, Agencija RS za okolje, Ljubljana
- Sinčič, P., Tasič, I., Živčič, M., 2014. Potresne opazovalnice v Sloveniji v letu 2013, Potresi v letu 2013, Agencija RS za okolje, Ljubljana.
- Vidrih, R., Sinčič, P., Tasič, I., Gosar, A., Godec, M., Živčič, M., 2006. Državna mreža potresnih opazovalnic. Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo, Ljubljana, 287 str.

Milka Ložar Stopar, Mladen Živčić

Žariščni mehanizmi močnejših potresov v Sloveniji v letu 2016

Fault Plane Solutions of Earthquakes in Slovenia in 2016

Povzetek

Močnejšim potresom, ki so se leta 2016 zgodili v Sloveniji, smo iz seizmogramov odčitali smeri prvih premikov ob vstopu vzdolžnega (longitudinalnega) valovanja. Pri šestih potresih smo zbrali zadostno število podatkov za določitev žariščnega mehanizma. Lokalna magnituda (M_{LV}) obravnavanih potresov je bila v razponu od 2,4 do 3,4. Žariščni mehanizem obravnavanih potresov je ali zmik ali nariv s poudarjeno zmično komponento. Navajamo tudi rešitev žariščnega mehanizma najmočnejšega potresa, ki so jo določili v tujini.

Abstract

The first onsets of the arrivals of the longitudinal waves were picked on the seismograms of selected earthquakes in Slovenia in 2016. Enough data to determine fault plane solutions was available for 6 events with local magnitudes ranging from $M_{LV} = 2.4$ to 3.4. Focal mechanisms are found to be mostly of strike - slip or transpressive type. Fault plane solution of the strongest earthquake from foreign institutions is given for comparison.

Uvod

Z žariščnim mehanizmom opišemo izvor potresnega valovanja. Uporabljeni postopek temelji na določitvi smeri prvega premika vzdolžnega potresnega valovanja na lokaciji potresne opazovalnice. Smer premika odčitamo na navpični komponenti zapisa potresa kot zgostitev (kompresijo) ali razredčitev (dilatacijo). Metodo (Snoke in sod., 1984), ki smo jo uporabili, smo natančneje opisali v publikacijah preteklih let (Ložar Stopar, Živčić, 2008 in 2011).

Rezultati

V tem prispevku podajamo parametre žariščnega mehanizma šestih potresov, ki so se zgodili v Sloveniji leta 2016. Za določitev žariščnega mehanizma potrebujemo zadostno število seizmogramov, s katerih lahko odčitamo smer vstopa valovanja na navpični komponenti zapisa posamezne opazovalnice.

Število seizmogramov, na katerih je bila smer premika jasno določljiva, je bilo od potresa do potresa različno. Med izbranimi potresi je imel največjo magnitudo ($M_{LV} = 3,4$) potres, ki se je zgodil 9. aprila ob 13.02 po UTC v bližini Brežic. Smer vstopnega valovanja pri tem potresu smo določili na seizmogramih devetinštiridesetih opazovalnic. Najbolj oddaljena opazovalnica je bila od žarišča potresa oddaljena 390 km. Potresu z magnitudo $M_{LV} = 2,4$, ki se je zgodil 25. januarja pri Trebnjem, smo odčitali devetindvajset vstopov, kar je bilo med šestimi obravnavanimi potresi najmanj.

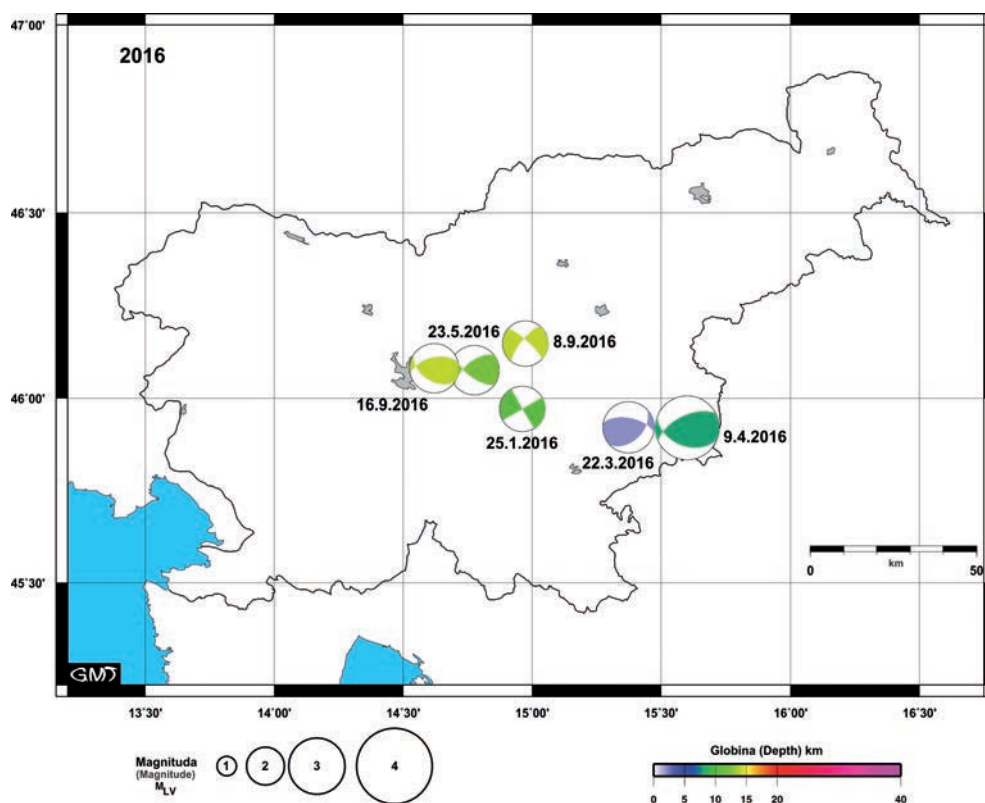
Parametri žariščnega mehanizma šestih potresov so zbrani v preglednici 1, njihova geografska lega je prikazana na sliki 1. Rešitve prelomnih ravnin z relativno lego opazovalnic in odčitano smerjo vstopa vzdolžnega valovanja so predstavljene v stereografski projekciji na spodnjo poloblo na sliki 2.

Pri določanju parametrov žariščnega mehanizma potresa smo na Uradu za seizmologijo (ARSO) uporabili metodo (Snoke in sod., 1984), ki temelji na smeri prvih premikov vzdolžnega potresnega valovanja na lokacijah potresnih opazovalnic.

Preglednica 1: Parametri žariščnih mehanizmov obravnavanih potresov na ozemlju Slovenije v letu 2016. 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_p* je število uporabljenih podatkov o smeri prvih premikov. *N_{np}* je število odčitkov neskladnih z rešitvijo.

Table 1: Focal mechanism solutions of the selected earthquakes with epicentres in Slovenia in 2016. 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 plane 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* is minimum pressure axis, respectively. *N_p* is the number of *P*-wave first motion polarities used. *N_{np}* is number of inconsistent *P*-wave first motion polarities.

datum	čas (UTC)	zem. širina	zem. dolž.	globina	M_{LV}	ravnina 1			ravnina 2			P		T		N _p	N _{np}
	hh.mm	°N	°E	km		smer	naklon	premik	smer	naklon	premik	smer	naklon	smer	naklon	število vstopov	napačni vstopi
date	time (UTC)	lat.	long.	depth	M_{LV}	nodal plane 1			nodal plane 2			P		T		N _p	N _{np}
	hh.mm	°N	°E	km		strike	dip	rake	strike	dip	rake	azimuth	plunge	azimuth	plunge	polarities	wrong polarities
25. 1. 2016	20.17	45,97	14,96	10	2,4	60	90	0	330	90	-180	15	0	105	0	29	0
22. 3. 2016	02.12	45,92	15,37	2	2,7	46	45	45	281	60	125	346	8	242	59	35	1
9. 4. 2016	13.02	45,92	15,60	8	3,4	244	59	60	112	42	130	355	9	103	63	49	2
23. 5. 2016	00.10	46,08	14,78	13	2,6	232	61	28	128	66	148	181	3	88	39	39	0
8. 9. 2016	17.33	46,15	14,97	14	2,4	219	74	-11	312	79	-164	176	19	85	4	31	0
16. 9. 2016	16.15	46,08	14,62	14	2,6	257	54	59	123	46	125	8	4	108	65	31	0



Slika 1: Lokacije šestih močnejših potresov na ozemlju Slovenije v letu 2016 z njihovim žariščnim mehanizmom. Obarvani kvadranti predstavljajo zgostitev, barva predstavlja žariščno globino, velikost pa vrednost lokalne magnitude M_{LV}

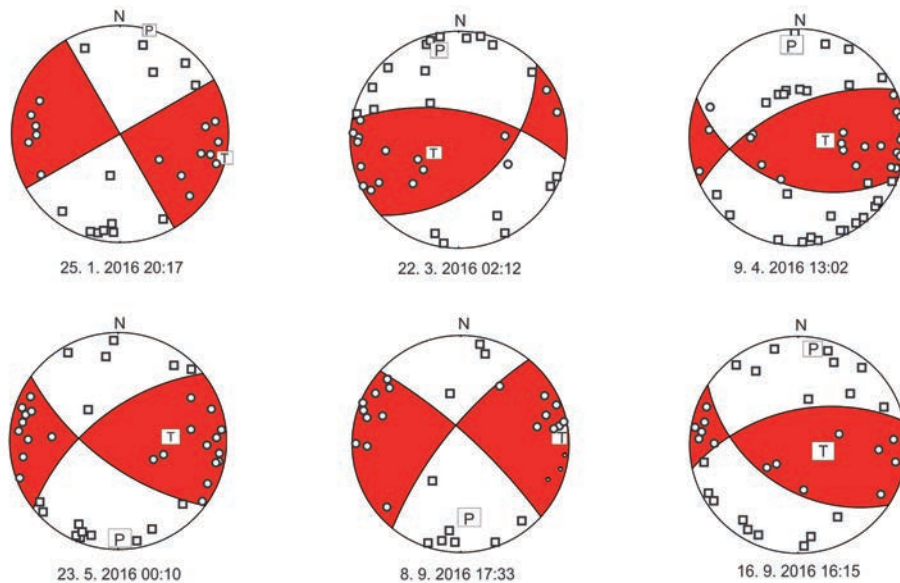
Figure 1: Locations and fault plane solutions of six earthquakes with epicentres in Slovenia in 2016. Coloured quadrants represent compression, colour represents focal depth and size represents local magnitude M_{LV}

Z metodo inverzije tenzorja potresnega navora je potresu 9. aprila ob 13.02 po UTC pri Brežicah določila parametre žariščnega mehanizma tudi univerza Saint Louis University v ZDA (EAS SLU, 2016). Povzetek parametrov njihove rešitve je zbran v preglednici 2.

Preglednica 2: Parametri žariščnega mehanizma za potres 9. aprila 2016 ob 13.02 UTC, določeni z inverzijo tenzorja potresnega navora na EAS SLU v ZDA (EAS SLU, 2016)

Table 2: Focal mechanisms parameters for earthquake on 9. April 2016 at 13:02 UTC, determined by inversion of seismic moment tensor at EAS SLU (EAS SLU, 2016).

datum	čas (UTC) hh.mm	avtor	zem. širina °N	zem. dolž. °E	globina km	M_w	ravnina 1			ravnina 2			N število opazov.
							smer	naklon	premik	smer	naklon	premik	
date	time (UTC) hh.mm	author	lat. °N	long. °E	depth km	M_w	nodal plane 1			nodal plane 2			N No. of stations
							strike	dip	rake	strike	dip	rake	
9. 4. 2016	13.02	EAS SLU	45,97	15,65	10	4,1	75	50	80	270	41	102	16



Slika 2: Žariščni mehanizmi šestih močnejših potresov na ozemlju Slovenije leta 2016. Kvadratki predstavljajo opazovalnice, ki so kot prvi premik tal zaradi potresa zabeležile razredčitev, krogi pa opazovalnice, ki so zabeležile zgoščitev. Označeni sta smeri največje (P) in najmanjše (T) napetosti. Podana je projekcija na spodnjo poloblo.

Figure 2: Fault plane solutions of six stronger earthquakes in Slovenia in 2016. Squares denote stations with dilatation as the first onset and circles denote stations with compression. P and T describe maximum and minimum stress axes, respectively. Lower hemisphere projection is applied.

Zahvala

Zapise potresov na opazovalnicah v Avstriji, v pokrajini Furlanija - Julijska krajina v Italiji in na Hrvaškem smo pridobili v okviru Mednarodnega sporazuma o izmenjavi seizmoloških podatkov v stvarnem času na področju Alpe-Jadran v okviru Srednje in vzhodno evropske mreže za raziskave potresov CE3RN (2016). Slike smo izdelali s programom GMT (Wessel in Smith, 1991, 1998).

Literatura

- EAS SLU, Saint Louis University, USA, 2016. http://www.eas.slu.edu/eqc/eqc_mt/MECH.EU/20160409130235/index.html (uporabljeno 10. 10. 2016).
- Ložar Stopar, M., Živčič, M., 2008. Žariščni mehanizmi nekaterih močnejših potresov v Sloveniji v letih 2006 in 2007. Potresi v letu 2007 (ur. R. Vidrih). Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana, 48–53.
- Ložar Stopar, M., Živčič, M., 2011. Žariščni mehanizmi nekaterih močnejših potresov v Sloveniji v letih 2008 in 2009. Potresi v letu 2010 (ur. A. Gosar). Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana, 71–75.
- 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.
- The Central and Eastern European Earthquake Research Network - CE3RN, 2016. <http://www.ce3rn.eu/> (uporabljeno 10. 11. 2016)

Wessel, P. in Smith, W.H.F., 1991. Free software helps map and display data, Eos, Trans. Amer. Un., Vol.72(441), str. 445-446.

Wessel, P. in Smith, W.H.F., 1998. New, improved version of the Generic Mapping Tools released, EOS Trans. AGU, Vol. 79, str. 579.

Časovna omejitev delovanja programske opreme in težave s točnim časom pri Quanterri Q730

Software Operation Time Limit and Accurate Time Problems by Quanterra Q730

Povzetek

Seizmološke zajemalne enote Quanterra Q730 zajemajo in pretvarjajo analogni signal seizmološkega senzorja v digitalnega. Opremljene so z GPS sprejemnikom, ki določi točen čas vzorcev digitalnega signala. Digitalne signale lahko zajemamo bodisi z lokalnim računalnikom, ali preko spleta z oddaljenim računalnikom. Enote Q730 imajo nameščen programski paket MSHEAR. Ta naj ne bi več deloval pravilno po 31. 12. 2017. Ker smo bili z delovanjem Q730 zadovoljni, smo skušali najti rešitev za njihovo nadaljnjo uporabo.

Možna rešitev bi bila, da bi čas, ki ga uporablja MSHEAR za svoje delovanje, premaknili za točno določen čas nazaj, pred 31. 12. 2017, oziroma v čas veljavnosti licence. S tem bi bili tudi seizmični signali, ki jih zajema Q730, premaknjeni nazaj. Ker pa bi točno vedeli kakšna je časovna razlika, bi lahko to razliko seizmičnim signalom pred njihovo analizo prišteli.

Abstract

Seismic dataloggers Q730 acquire and digitise analog signals from seismic sensor. They are equipped with GPS receiver which determines the correct time of digital samples. The signals can be sent to a local computer or to a remote one, using internet. Seismic dataloggers Quanterra Q730 use software package MSHEAR. The software is supposed to fall apart after 31. 12. 2017 as stated by J. Steim in an email sent on 28. 3. 2013. Because of a satisfactory operation of dataloggers, we have been trying to find a solution for their further use.

Possible solution may be to shift MSHEAR time backwards for a certain time difference, before 31. 12. 2017. That would also affect seismic waveforms, but since we would know the exact time difference, we could add it to the waveforms before analyze them.

Uvod

Leta 2000 smo na tedanji Upravi za geofiziko za opremo seizmoloških opazovalnic izbrali zajemalne enote Quanterra Q730. Enote zajemajo in pretvarjajo analogni signal seizmološkega senzorja v digitalnega. Opremljene so z GPS sprejemnikom, ki določi točen čas vzorcev digitalnega signala. Enote še danes delujejo zanesljivo. Kljub temu so nas leta 2013 dobavitelji obvestili, da bodo enote konec leta 2017 prenehale pravilno delovati. Razlog naj bi bil v programskem paketu SHEAR, ki je nameščen na starejših različicah zajemalnih enot Quanterra. SHEAR je bil razvit sredi 80-ih let 20. stoletja. Njegovi nadgradnji sta USHEAR in MSHEAR, ki je nameščen na Q730 (J. Steim, osebna komunikacija, 28. 3. 2013).

Pojasnilo dobavitelja

Postopek preračunavanja časa pri MSHEAR temelji na referenčnem (začetnem) času, ki mu prištejemo določeno časovno razliko, ki je pretekla od začetnega časa. Za časovno razliko imamo na voljo 32 bitno besedo. Ko bo ta beseda premajhna, bo nastopilo več problemov. Poleg netočnega časa naj bi se sesedel celoten sistem. Iztekla naj bi se tudi licenca za uporabo MSHEAR. Za najkasnejši čas, ko naj bi MSHEAR še pravilno deloval, so navedli 31. 12. 2017 (J. Steim, osebna komunikacija, 28. 3. 2013).

Dobavitelj je jamčil, da naj bi enote Q730 delovale preko deset let, torej nam ni postavil nobene časovne omejitve njihove uporabe. S programsko licenco po pogodbi potemtakem nismo bili omejeni. Do tega je prišlo, ker so enote delovale trikrat dlje od zjamčene dobe in tako preživele iztek licence za MSHEAR, s čimer je MSHEAR prenehal delovati. Glede na pogodbo se to ne bi smelo zgoditi, tako da iskanje rešitve premostitve licence ne predstavlja nobene kršitve, tudi po mnenju dobavitelja.

Dobavitelji niti sami niso pričakovali, da bodo enote delovale od 20 do 30 let (J. Steim, osebna komunikacija, 28. 3. 2013). Pri tem so nas vzpodbujali, da posodobimo merilno opremo, torej da zamenjamo zajemalne enote Quanterra z njihovo novejšo različico.

Po zatrjevanju dobavitelja je bil problem nerešljiv. Kljub temu smo še istega leta pričeli z analizo problema in iskanjem rešitve.

Možna rešitev

Najprej je bilo potrebno rešiti vprašanje izteka licence programskega paketa MSHEAR. Ker je licenca vezana na čas, ki ga lahko MSHEAR preverja le preko Q730, bi lahko s premikom časa na Q730 nazaj tudi licenca ostala veljavna. S tem bi imele tudi časovne sledi seizmičnega signala, ki ga zajema Q730, napačen čas. Ker pa bi vedeli, za koliko smo čas premaknili nazaj, bi lahko enak čas časovnim zapisom kasneje dodali.

S tem bi bil tudi čas, ki ga uporablja MSHEAR, znotraj intervala, kjer pravilno deluje – med začetnim časom in 31. 12. 2017.

Čas na Q730

MSHEAR pridobi podatek o točnem času preko GPS sprejemnika. Q730 ima tudi svoj, sistemski čas (na Q730 je nameščen operacijski sistem OS9). Ob zagonu, ko se GPS signal še ne ujame, privzame MSHEAR sistemski čas, ki ga lahko poljubno nastavimo. Ta čas MSHEAR uporablja, dokler GPS sprejemnik ne pridobi dovolj podatkov, da izračuna točen (GPS) čas. MSHEAR uporablja čas za beleženje sporočil o delovanju njegovih procesov, seizmičnih dogodkov, alarmov, opozoril in predvsem za časovno označevanje seizmičnih signalov.

Začetni čas MSHEAR-a smo poiskali tako, da smo sistemski čas pomikali nazaj in ugotovili, da kljub temu, da je bil nastavljen sistemski čas starejši od določenega (začetnega) časa, MSHEAR ob ponovnem zagonu privzame ta določen (začetni) čas. Ugotovili smo, da je začetni čas MSHEAR-a 1. 1. 1984, torej sredi 80-ih, kot je navedel dobavitelj.

S premikom sistema časa (ki ga ob odsotnosti GPS časa privzame MSHEAR) naprej smo ugotovili, da se licenca res izteče dne 31. 12. 2017.

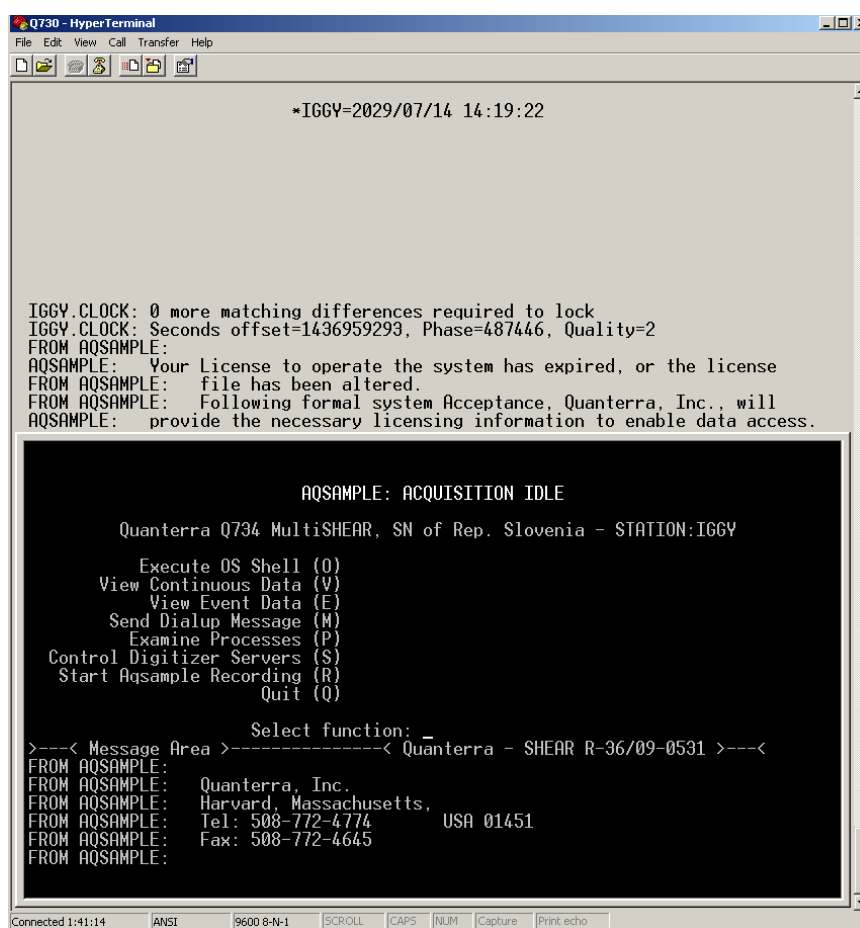
Ker pa MSHEAR uporablja GPS čas, premik sistema časa ne zadošča. MSHEAR za preverjanje licence uporablja svoj čas in ne neposredno sistema časa. Tudi če sistemski čas pomaknemo nazaj, v obdobje veljavnosti licence, bo po ujetju GPS časa licenca postala neveljavna. Torej smo morali poiskati način, kako premakniti nazaj čas, ki ga uporablja MSHEAR, torej GPS čas.

Parameter zoneoffset

Med parametri, ki jih lahko nastavimo znotraj MSHEAR v datoteki aqcfg, je tudi zamik zaradi časovnih pasov *zoneoffset*, ki ga podamo v sekundah [1]. Ta zamik naj ne bi bil večji od 24 ur. Pomislili smo na možnost, da avtorji programa MSHEAR tega parametra niso omejili na 24 ur in je lahko poljubno, omejen le z velikostjo 32 bitne besede. Ugotovili smo, da je največja vrednost parametra *zoneoffset* enaka $2^{31} - 1$, saj najvišji bit predstavlja predznak.

Pomembno je, ali se veljavnost licence primerja z ujetim GPS časom ali z GPS časom zamaknjem za *zoneoffset*. To lahko preizkusimo tako, da premaknemo čas naprej in opazujemo, ali se licenca izteče, kljub temu, da glede na UTC še velja.

Zoneoffset smo nastavili na pol milijarde sekund in s tem prestavili GPS čas v leto 2029. Najprej je MSHEAR uporabljal še sistemski čas in pri tem zagnal zajemanje časovnih sledi. Ko pa se je ujel GPS čas in se mu je prištela vrednost *zoneoffset*, se je licenca za uporabo MSHEAR-a iztekla (slika 1), s čimer se je prekinilo tudi zajemanje časovnih sledi.



```
Q730 - HyperTerminal
File Edit View Call Transfer Help

*IGGY=2029/07/14 14:19:22

IGGY.CLOCK: 0 more matching differences required to lock
IGGY.CLOCK: Seconds offset=1436959293, Phase=487446, Quality=2
FROM AQSAMPLE:
AQSAMPLE: Your license to operate the system has expired, or the license
FROM AQSAMPLE: file has been altered.
FROM AQSAMPLE: Following formal system Acceptance, Quanterra, Inc., will
AQSAMPLE: provide the necessary licensing information to enable data access.

AQSAMPLE: ACQUISITION IDLE

Quanterra Q734 MultiSHEAR, SN of Rep. Slovenia - STATION:IGGY

Execute OS Shell (O)
View Continuous Data (V)
View Event Data (E)
Send Dialup Message (M)
Examine Processes (P)
Control Digitizer Servers (S)
Start Aqsample Recording (R)
Quit (Q)

Select function: _
>---< Message Area >-----< Quanterra - SHEAR R-36/09-0531 >---<
FROM AQSAMPLE:
FROM AQSAMPLE: Quanterra, Inc.
FROM AQSAMPLE: Harvard, Massachusetts,
FROM AQSAMPLE: Tel: 508-772-4774 USA 01451
FROM AQSAMPLE: Fax: 508-772-4645
FROM AQSAMPLE:
```

Slika 1: Zaslonski posnetek programa MSHEAR iz leta 2013: Na vrhu zaslona vidimo, da se je čas, ki ga uporablja MSHEAR, premaknil v leto 2029. Malo nižje vidimo, da se je zaradi tega licenca za MSHEAR iztekla.

Figure 1: Screenshot of MSHEAR from 2013: The time has shifted into the year 2029 which has caused the license expiry.

Iz tega lahko sklepamo, da naj bi se v prihodnosti, ko se bo licenca dejansko iztekla, z vnosom negativne vrednosti parametra *zoneoffset*, veljavnost licence obdržala.

Tedenski preskok pri GPS (GPS week rollover)

Ko smo dobavitelja povprašali o smiselnosti opisane rešitve, nas je takoj opozoril, da to področje ni preverjeno. Ponovno je opozoril, da MSHEAR s podatki, novejšimi od 31. 12. 2017, ne more upravljati. Poleg tega naj podatkov, ki so novejši od sredine leta 2019, ne bi znal pravilno interpretirati GPS sprejemnik, ki je vgrajen v Q730 (J. Steim, osebna komunikacija, 25. 10. 2013). Ugotovili smo, da naj bi bilo slednje posledica »GPS week rollover«*»* pojava. Čas, ki ga GPS sateliti oddajajo, je zapisan kot število tednov od začetka oddajanja GPS signala (6. 1. 1980 0:00 UTC) in število sekund v tem tednu. Ker so za število tednov predvideli 10 bitno število, je največje število tednov 1024 (0-1023), potem se število za zapis tedna zopet postavi na 0. Prvič je prišlo do tega preskoka leta 1999, naslednjič pa se bo to zgodilo 6. 4. 2019 [2]. Potemtakem bi GPS sprejemnik v Q730 podal za 1024 tednov nazaj premaknjen čas. To pa je enostavno rešljivo, saj preprosto določimo parameter *zoneoffset* v tej vrednosti, preračunan v sekunde.

Takšen primer smo imeli poleti 2016 na opazovalnici Dobrina. Tam smo imeli nameščeno zajemalno enoto Q730, ki so nam jo dali v uporabo avstrijski kolegi. Izdelana je bila pred našimi, tako da je bil očitno tudi začetni čas GPS sprejemnika starejši. V datoteko *aqcfg* smo vnesli *zoneoffset* = 619 315 200. Čas GPS sprejemnika smo s tem premaknili za 1024 tednov naprej. Na naših Q730 je do tega premika prišlo kasneje. Sklepamo lahko, da je že na GPS sprejemniku, ki je vgrajen v Q730, prišteta neka časovna razlika, ki odlaga week rollover pojav na čim kasneje, glede na čas izdelave oziroma začetka uporabe kartice. Če temu ne bi bilo tako, bi lahko prišlo do primera, da bi se čas premaknil nazaj že takoj po začetku uporabe kartice. To bi se zgodilo v primeru, ko bi kartico začeli uporabljati tik pred pojavom week rollover, torej ob začetku uporabe kartice za 1024 tednov zamaknjen čas od začetka oddajanja GPS.

Glede na to, da se licenca izteče glede na GPS čas, bi nam verjetno nastop week rollover že sam postavil čas v obdobje, ko je licenca še veljavna. Potrebno bi bilo le prišteti 1024 tednov časovnim sledem na sistemu za zajem in analizo Antelope.

Zaključek

Licenca programskega paketa MSHEAR, ki je nameščen na Q730, naj bi se 31. 12. 2017 iztekla. Za nadaljnjo uporabo Q730 moramo to preprečiti. Ugotovili smo, da to lahko dosežemo s spremembo časa, s katerim MSHEAR preverja veljavnost licence. Čas lahko premikamo s pomočjo parametra *zoneoffset* naprej ali nazaj. V primeru, ko smo z *zoneoffset* premaknili čas na kasnejši od veljavnosti licence, se je licenca za MSHEAR iztekla. To pomeni, da je licenca vezana na čas, ki je čas GPS dobljen iz satelitov z naknadno prištetim *zoneoffset*. Potemtakem bi v primeru izteka licence (31. 12. 2017), s premikom časa nazaj, licenca postala zopet veljavna, saj očitno MSHEAR uporablja ta čas. Potrebno je le še ugotoviti, kako časovnim sledem pred obdelavo prišteti to, nam znano časovno razliko. O tem in morebitnih težavah pri premiku časa znotraj sistema za analizo seizmičnih podatkov pa več v naslednjem prispevku.

Literatura

Quanterra, Inc., 2000: Quanterra Multi-Shear Software Configuration Guide, Documentation for Software, Release 36/09-RL0531

[http://www.npl.co.uk/reference/faqs/when-and-what-is-the-gps-week-rollover-problem-\(faq-time\)](http://www.npl.co.uk/reference/faqs/when-and-what-is-the-gps-week-rollover-problem-(faq-time))

Preboj zvočnega zidu dveh letal na zapisih državne mreže potresnih opazovalnic

The Sonic Boom of Two Aircraft Recorded by the Seismic Network of the Republic of Slovenia

Povzetek

Prebivalce Dolenjske in Posavja je 5. julija 2016 malo po 9. uri zjutraj presenetilo močno bobnenje in tresenje. Večina je najprej pomislila na potres, vendar smo seizmologi Agencije RS za okolje kmalu potrdili, da dogodek ni bil potres, ampak preboj zvočnega zidu dveh letal. Dogodek so zabeležile štiri opazovalnice državne mreže potresnih opazovalnic. Preboj zvočnega zidu dveh vojaških letal je pozneje potrdilo Ministrstvo za obrambo Republike Slovenije. Z analizo seizmogramov in na podlagi več kot dvajsetih poročil, ki so nam jih posredovali občani telefonsko ali z izpolnitvijo makroseizmičnega vprašalnika, smo približno določili položaj in dolžino poti, kjer sta letali leteli z nadzvočno hitrostjo.

Abstract

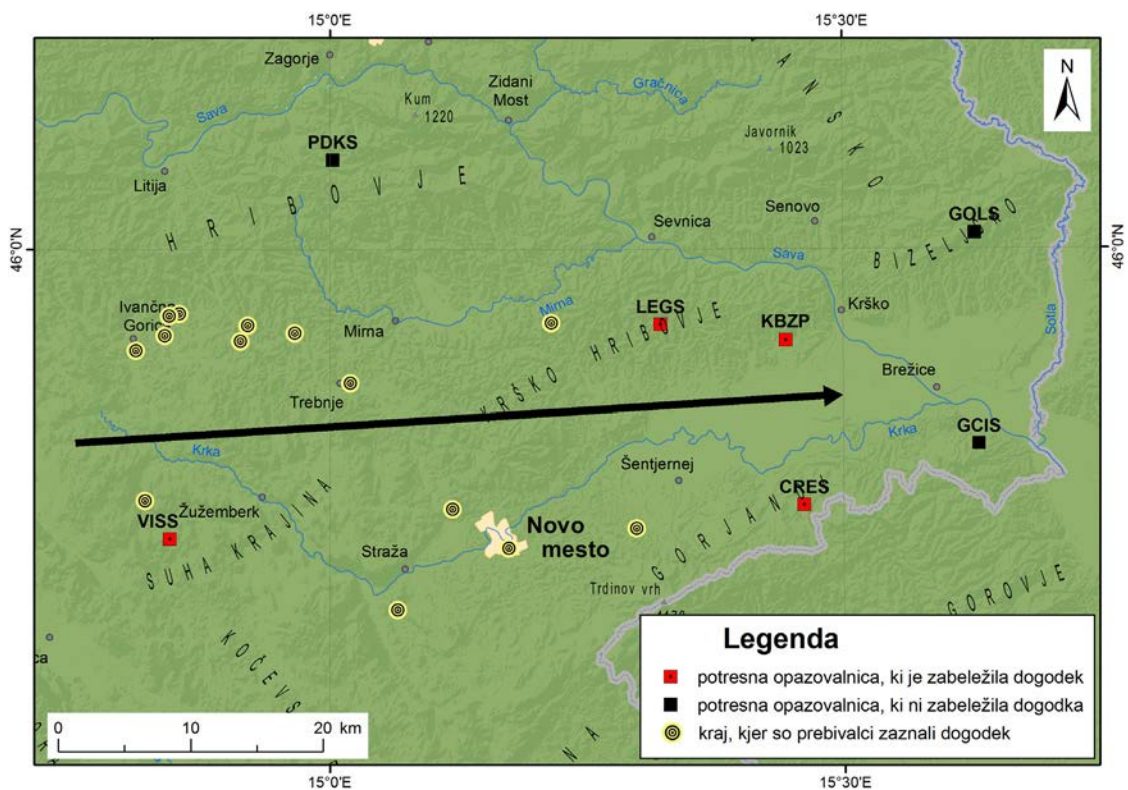
On 5 July 2016 at 9.13 local time (7.13 UTC), the inhabitants of the central and eastern Slovenia regions Dolenjska and Posavje were surprised by loud thunder and shaking. The first impression was that there was an earthquake, but seismologists at the Slovenian Environment Agency soon realized that there had been a sonic boom caused by two airplanes flying over the region. Four stations of the Seismic Network of the Republic of Slovenia recorded the incident. The sonic boom of two military aircraft was later confirmed by the Ministry of Defence of the Republic of Slovenia. Based on the seismograms and more than 20 witness reports, which either phoned us or sent macroseismic questionnaires, we were able to reconstruct the approximate path of the aircraft's supersonic flight.

Uvod

5. julija 2016 ob 9. uri in 13 minut po srednjeevropskem poletnem času (SEPČ) smo na Uradu za seizmologijo Agencije RS za okolje (ARSO) prejeli klic operativca iz Centra za obveščanje (CORS), da so v bližini Brežic čutili potres. Kmalu za tem smo začeli prejemati telefonske klice vznemirjenih občanov in izpolnjene spletne makroseizmične vprašalnike o potresu iz širšega območja Dolenjske in Posavja. Večina občanov je opisovala dva močna sunka in močan pok. Glede na množičen odziv je dežurni seizmolog začel analizirati zapise potresnih opazovalnic, vendar je že prvi pregled seizmogramov pokazal, da po vsej verjetnosti ne gre za potres. Dogodek ob 9. uri in 8 minut SEPČ (7.08 UTC) je bil zelo šibko zabeležen le na opazovalnici Višnje pri Ambrusu (VISS), oblika zapisa pa ni bila skladna z običajnim zapisom potresa. Podrobnejša analiza je razkrila podobne zapise približno dve minuti pozneje še na treh opazovalnicah, ki ležijo približno 50 km vzhodneje. Iz zapisov smo sklepali, da gre za površinski eksploziji ali za preboj zvočnega zidu letala. Tako informacijo smo posredovali operativcu CORS.

Zaradi tega dogodka smo prejeli več kot deset telefonskih klicev (iz Ambrusa, Šentvida pri Stični, Šentpavla, Velikega Gabra, Dolenjskih Toplic, Novega mesta in Male Loke pri Trebnjem) ter deset izpoljenih vprašalnikov o učinkih potresa (iz naselij Mrzlo Polje, Glogovica, Novo mesto, Kuzarjev Kal, Trebnje, Žubina, Malkovec in Tolsti Vrh). Občani so navedli dva močna poka, tresenje in škripanje pohištva, tresenje televizijskih ali računalniških zaslonov, zvenket steklenine in šip, nihanje luči ter pljuskanje tekočin v posodah. Kraji, od koder smo prejeli sporočila o dogodku, in lokacije potresnih opazovalnic so prikazani na sliki 1.

Pozneje istega dne je Slovenska vojska v sporočilu za javnost zapisala, da je pristojno poveljstvo NATO v sodelovanju s Slovensko vojsko aktiviralo zavezniška lovca italijanske vojske za zavarovanje slovenskega zračnega prostora. Lovca sta spremljala sumljivo plovilo (civilno letalo) v slovenskem zračnem prostoru in pri tem, zaradi nujnega hitrega odziva, prebila zvočni zid (Ministrstvo za obrambo, 2017).



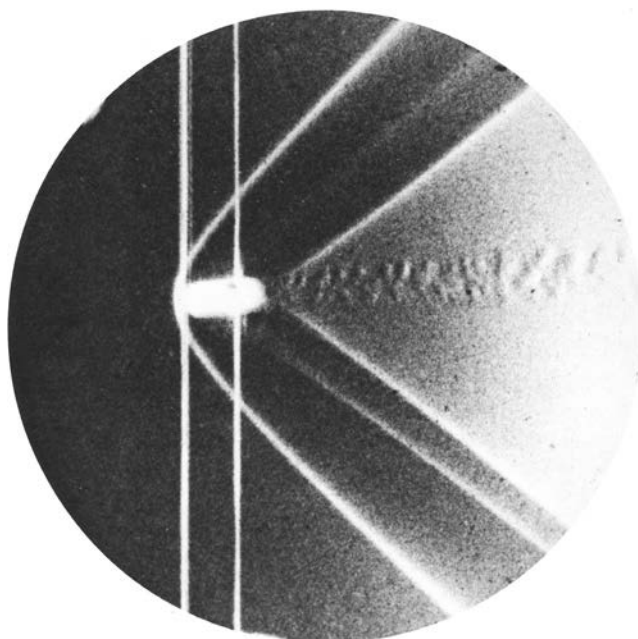
Slika 1: Kraji, od koder smo prejeli sporočila o dogodku (rumeni krogci), in lokacije opazovalnic državne mreže potresnih opazovalnic (kvadratki). Preboj zvočnega zidu so zabeležile potresne opazovalnice Višnje (VISS), Legarje (LEGS), Brezje pri Senušah (KBZP) in Črešnjevec (CRES). Črna puščica ponazarja ocenjeno pot, po kateri naj bi letali leteli z nadzvočno hitrostjo. Vir slike: ARSO.

Figure 1: Locations of witness reports (yellow circles) and the stations of the Seismic Network of the Republic of Slovenia (red and black squares). The sonic boom was recorded at the seismic stations Višnje (VISS), Legarje (LEGS), Brezje pri Senušah (KBZP) and Črešnjevec (CRES). The black arrow indicates the approximate path on which the aircraft were flying supersonic.

Razlaga pojava in zapis na seizmogramih

Preboj zvočnega zidu je pojav, ko predmet leti v zraku s hitrostjo, ki je večja od hitrosti zvoka, zaradi česar nastajajo ob predmetu zgoščine zraka (Strnad, 1977; Wikipedia, 2018). Po prehodu predmeta se zgoščine širijo kot udarni valovi na vse strani s hitrostjo zvoka, kar poslušalec zazna kot pok. Ker se predmet giblje skozi zrak in zgoščine nastajajo ves čas letenja z nadzvočno hitrostjo, ti udarni valovi tvorijo valovno čelo oblike stožca, ki ga imenujemo Machovo valovno čelo (slika 2). Opazovalci na tleh, ki so na območju preleta nadzvočnega letala, slišijo pok, ko jih doseže Machovo valovno čelo.

Podroben pregled seizmogramov je pokazal, da gre za dva ločena dogodka v razmiku dobre sekunde (slika 3). Sklepamo, da dva najzrazitejša vrhova ustrežata prehodu Machovega valovnega čela posameznega letala prek seizmične opazoval-



Slika 2: Machovo valovno čelo projektila. Najočitnejša sta udarna vala na začetku in koncu projektila. Vmes vidimo še en šibkejši udarni val, ki izvira iz spremenljive oblike čelnega profila predmeta. Dve navpični črti sta najverjetneje optični pojav pri fotografiranju. Fotografijo sta objavila Ernst Mach in Peter Salcher leta 1887. Vir slike: https://en.wikipedia.org/wiki/Shock_wave.

Figure 2: Mach shockwave of a projectile. The most prominent shockwaves are in front of and behind the projectile. There is another shockwave in between, which results from the changing profile of the object. The two vertical lines are most probably optical artefacts. This photograph was published by Ernst Mach and Peter Salcher in 1887.

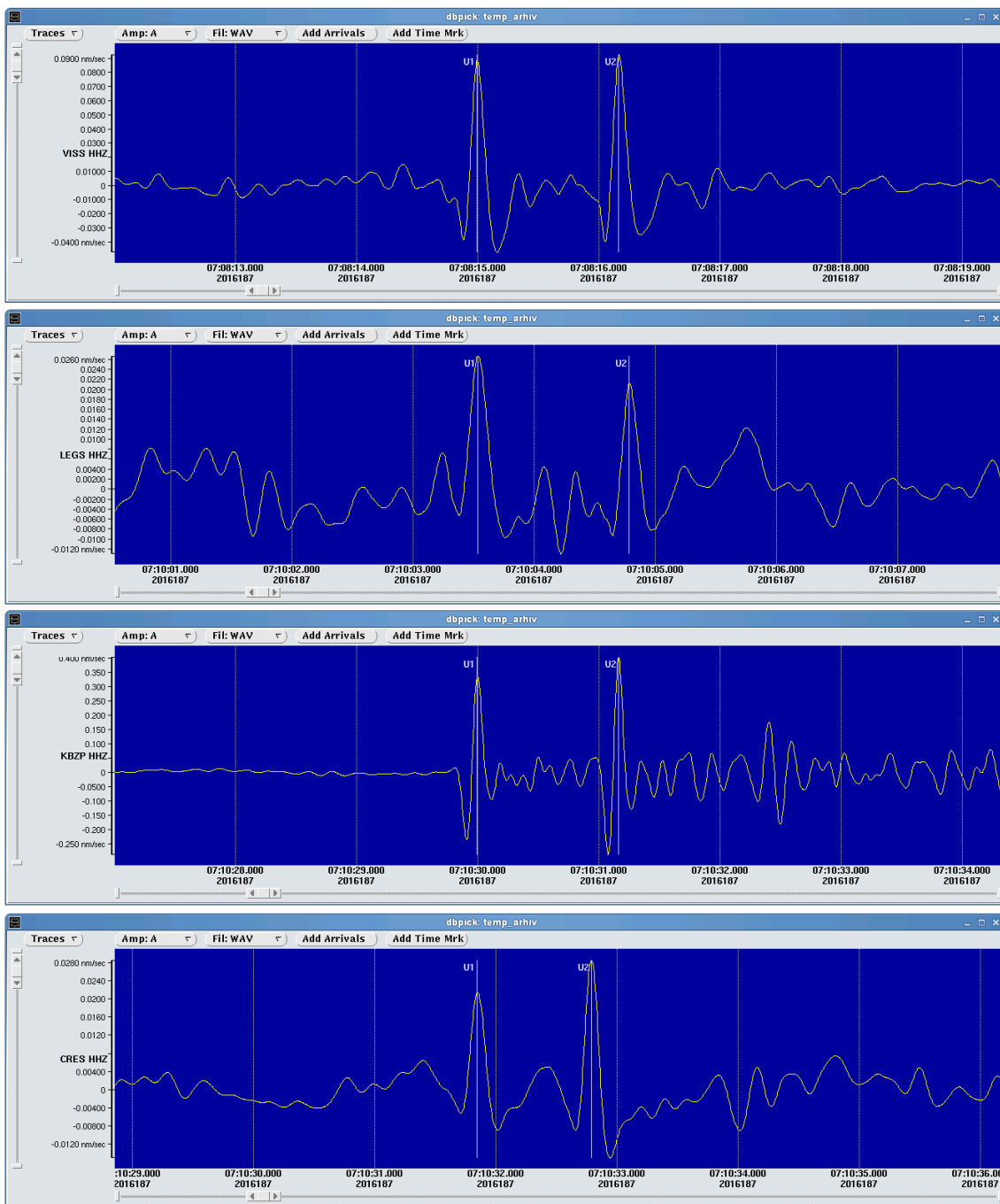
Picture source: https://en.wikipedia.org/wiki/Shock_wave.

nice. Za nadaljnjo razpravo moramo poznati hitrost zvoka v zraku, ki pa je odvisna od temperature in zračnega tlaka, torej tudi od višine. V običajnih vremenskih razmerah pri tleh (temperatura 20 °C, tlak 105 Pa) znaša približno 340 m/s, medtem ko na višini 10 km pade na 295 m/s (Wikipedia, 2018). Iz časovne razlike dveh vrhov na seizmogramih (ΔU , preglednica 1) ocenimo, da sta lovca letela v medsebojni razdalji največ 400 metrov. Zapis preboja zvočnega zidu je viden na opazovalnicah Višnje (VISS), Legarje (LEGS), Brezje pri Senušah (KBZP) in Črešnjevce (CRES). Na drugih opazovalnicah zapisa preboja ni videti, iz česar sklepamo, da sta lovca letela z nadzvočno hitrostjo le v tem območju, torej na razdalji dobrih 50 km (slika 1). To se sklada z odzivom občanov, ki so dogodek zaznali in nas o tem obvestili.

Preglednica 1: Podatki, potrebni za izračun hitrosti letal in trajektorije letenja. V prvem stolpcu je navedeno ime opazovalnice, v drugem in tretjem sta odčitka udarnih valov prvega ($U1$) in oz. drugega ($U2$) letala, v četrtem je izračunana razlika (ΔU) med časom zapisa prvega in drugega udarnega vala, v petem je izračunana razlika (Δt_i) med časom zapisa prvega udarnega vala na i -ti opazovalnici in na opazovalnici Višnje (VISS), ki je prva zabeležila udarni val. Vir: ARSO.

Table 1: Measured and calculated quantities used for the calculation of the speed and the direction of the aircrafts. The first column shows the station name; the second column shows the measured arrival time of the first airplane shockwave ($U1$); the third column shows the measured arrival time of the second airplane shock wave ($U2$); the fourth column shows the time difference (ΔU) between the two shock waves at each station; the fifth column shows the elapsed time of the first shock wave since the first record on VISS (Δt_i) at each station.

potresna opazovalnica	U1 [UTC]	U2 [UTC]	U2 - U1 [s]	U1 - U1 _{VISS} [s]
VISS	7:08:14,99	7:08:16,16	1,2	0
LEGS	7:10:03,53	7:10:04,78	1,2	108,5
KBZP	7:10:30,00	7:10:31,16	1,2	135,0
CRES	7:10:31,85	7:10:32,79	0,9	136,9



Slika 3: Zapis preboja zvočnega zidu dveh letal na vertikalni komponenti potresnih opazovalnic Višnje (VISS), Legarje (LEGS), Brezje pri Senušah (KBZP) in Črešnjevec (CRES). Zabeležen je prehod Machovega valovnega čela vsakega od letal v razmiku približno ene sekunde. Časovna skala prikazuje čas UTC, datum je označen z letom in zaporednim dnevom v letu. Vir slik: ARSO.

Figure 3: Records of the sonic boom at the seismic stations at Višnje (VISS), Legarje (LEGS), Brezje pri Senušah (KBZP) and Črešnjevec (CRES). The two spikes are approximately 1 second apart and correspond to the shockwave from each aircraft (U1, U2). The time on the scale is in UTC, and the date format shows the day of the year.

Izračun hitrosti in trajektorije letal

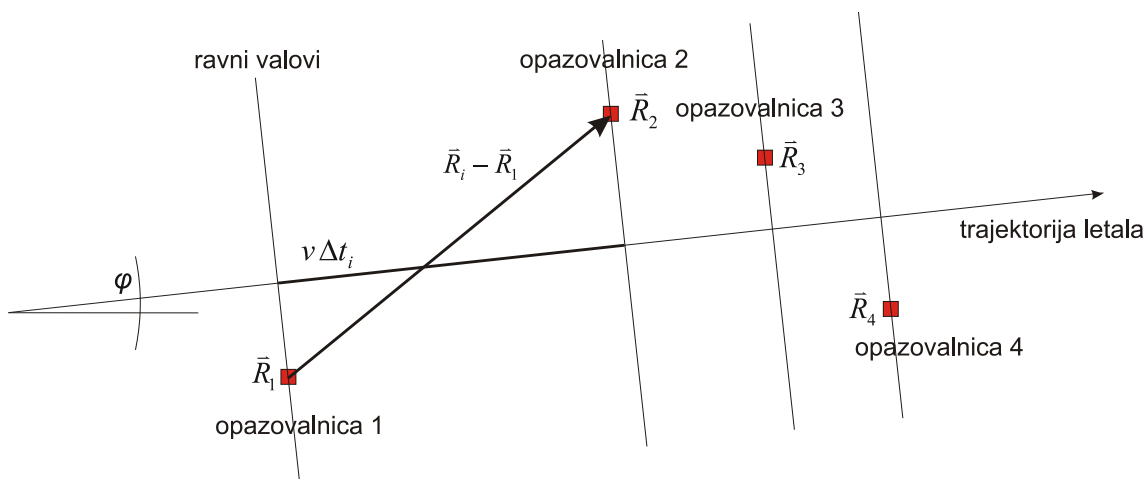
Iz odčitkov zapisa prehoda Machovega valovnega čela preko opazovalnic U1 in U2 bomo določili hitrost in smer letenja vojaških letal. V računih bomo obravnavali le odčitke za prvo letalo, saj na podlagi razlike ΔU privzamemo, da sta leteli vzporedno. V preglednici 1 so zbrani odčitani in preračunani časi vrhov prehoda udarnih valov, ki jih potrebujemo za nadaljne izračune.

Naloge se lotimo podobno, kot bi računali smer in hitrost prehoda ravnih valov iz oddaljenega vira, kar je v seizmologiji pogosto uporabljena metoda. Predstavljajmo si Machov stožec, ki se giblje po trajektoriji letala, z enako smerjo in hitrostjo. Pričakujemo, da leži trajektorija letenja približno simetrično glede na opazovalnice. Privzeli bomo, da krivulja, ki predstavlja presek Machovega stožca s tlemi, oplazi opazovalnice v enakih časovnih intervalih Δt_i , kot bi jih oplazili nadomestni ravni valovi, ki se širijo z enako hitrostjo in v enaki smeri. V približku ravnih valov je račun neodvisen od hitrosti zvoka, katere v resnici ne poznamo, zaradi njene odvisnosti od višine pa je tudi Machov stožec deformiran.

Na sliki 4 je prikazana shema trajektorije letala in položaj opazovalnic, ki so zabeležile udarna valova. Označene so tudi količine, ki jih bomo uporabili pri računanju. Najenostavneje in najbolj pregledno je, če nastavimo enačbe gibanja v vektorski obliki. Za koordinatni sistem smo si izbrali Državni koordinatni sistem D96, pretvorbo koordinat potresnih opazovalnic (preglednica 2) iz sistema WGS 84 pa smo napravili v aplikaciji Atlas okolja (ARSO, 2018).

Označimo vektorje do potresnih opazovalnic z \vec{R}_i , enotski vektor na trajektoriji letala pa z \vec{n} . Naj bo med trajektorijo letala in smerjo proti vzhodu kot φ , merjen pozitivno v smeri proti severu. S tem zapišemo enotski vektor in vektor do i-te opazovalnice po komponentah:

$$[1] \quad \vec{n} = \begin{bmatrix} \cos(\varphi) \\ \sin(\varphi) \end{bmatrix}, \quad \vec{R}_i = \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \end{bmatrix}$$



Slika 4: Shema trajektorije letala in opazovalnic, ki so zabeležile udarne valove. Označene so količine, ki smo jih uporabili pri izračunu v približku ravnih valov.

Picture 4: A sketch of the airplane trajectory and seismic stations that recorded the shock waves, showing the quantities used for calculation in the plane waves approximation.

Preglednica 2: Koordinate potresnih opazovalnic, ki so zabeležile udarna valova, v Državnem koordinatnem sistemu D96. Vir: ARSO.

Table 2: Coordinates of the seismic stations that recorded the shock waves in Slovenian coordinate system D96.

potresna opazovalnica	vektor v D96	x [m]	y [m]	z [m]
VISS	\vec{R}_1	487880	73242	399
LEGS	\vec{R}_2	525000	89450	390
KBZP	\vec{R}_3	534409	88572	208
CRES	\vec{R}_4	535870	75855	431

Skalarni produkt vektorja med prvo in i-to opazovalnico ter enotskega vektorja \vec{n} je enak dolžini projekcije tega vektorja na smer trajektorije. To pa je ravno pot, ki jo letalo opravi v časovnem intervalu med ustreznima odčitkoma:

$$[2] \quad \vec{n} \cdot (\vec{R}_i - \vec{R}_1) = v \Delta t_i$$

Iz odčitkov na štirih opazovalnicah dobimo tri časovne razlike Δt_i in s tem tri enačbe [2]. Ker iščemo le dve neznanji količini, to je hitrost letala v in smer trajektorije φ v vodoravni ravnini, imamo sistem linearnih enačb z večimi rešitvami, ki se ga lotimo z minimizacijskim pristopom (Wikipedia, 2018). Pri tem si izberemo nek izraz, ki meri kako dobro se merjene količine prilegajo izračunanim. Za tako mero si izberemo vsoto kvadratov razlik [3] med merjenim in izračunanim Δt_i ter zahtevamo, da je minimalna. To je izpolnjeno takrat, ko so parcialni odvodi po vseh spremenljivkah enaki nič, torej dobimo v našem primeru dve enačbi [4]:

$$[3] \quad \sum_i (\Delta t_i^{\text{izmerjen}} - \Delta t_i(v, \varphi))^2 = \min$$

$$[4] \quad \sum_i (\Delta t_i^{\text{izmerjen}} - \Delta t_i(v, \varphi)) \frac{\partial (\Delta t_i(v, \varphi))}{\partial v} = 0, \quad \sum_i (\Delta t_i^{\text{izmerjen}} - \Delta t_i(v, \varphi)) \frac{\partial (\Delta t_i(v, \varphi))}{\partial \varphi} = 0$$

Rešitev enačb [4] da vrednosti $v = 351$ m/s in $\varphi = 3,7^\circ$. To potrjuje predpostavko, da sta lovca letela približno proti vzhodu z nadzvočno hitrostjo.

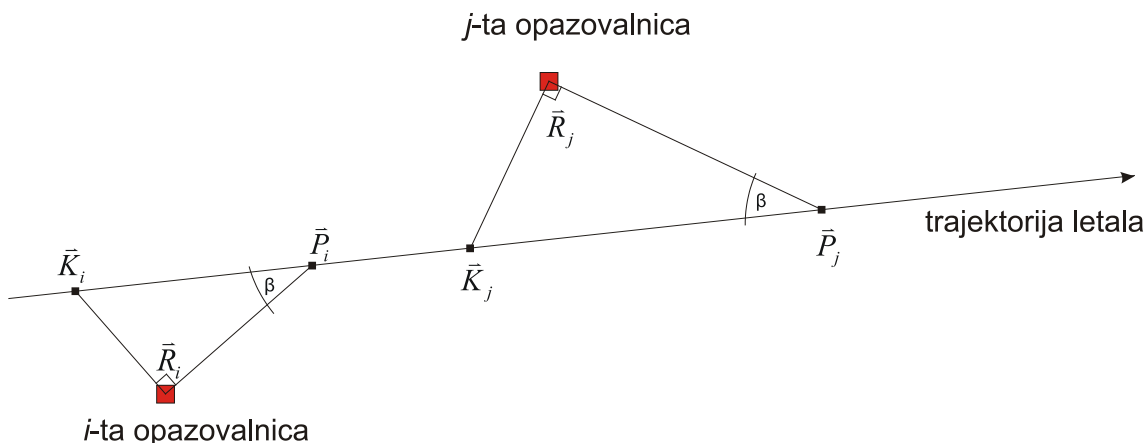
Poskusimo razširiti problem na tri dimenzije s tem, da vpeljemo še kot δ med trajektorijo letala in vodoravno ravnino, merjeno pozitivno navzgor. S tem zapišemo vektorja \vec{n} in \vec{R}_i :

$$[5] \quad \vec{n} = \begin{bmatrix} \cos(\varphi) \cos(\delta) \\ \sin(\varphi) \cos(\delta) \\ \sin(\delta) \end{bmatrix}, \quad \vec{R}_i = \begin{bmatrix} x_i \\ y_i \\ z_i \end{bmatrix}$$

Sistem treh enačb [2] tokrat rešujemo direktno, saj iščemo tri neznanke.

Dobimo $v = 351$ m/s, $\varphi = 3,7^\circ$ in $\delta = 2^\circ$, kar se ob prej omenjenih zanemaritvah naravnost neverjetno sklada z rešitvijo v ravnini. Iz majhnega kota δ lahko tudi zaključimo, da sta letali leteli približno vodoravno.

S temi rezultati smo že lahko zadovoljni, a vseeno poskusimo izračunati še višino trajektorije prvega letala. Tega se lotimo tako, da določimo točke na trajektoriji, ko je letalo oddalo zvok, ki je prišel do opazovalnic. Na sliki 5 označimo te točke oziroma vektorje s \vec{K}_i , točke, kjer se je nahajalo letalo v trenutku, ko je udarni val prečkal i -to opazovalnico, pa s \vec{P}_i .



Slika 5: Shema trajektorije letala in opazovalnic, ki so zabeležile udarni val. Označene so količine, ki smo jih uporabili pri izračunu absolutne trajektorije leta.

Picture 5: A sketch of the airplane trajectory and seismic stations that recorded the shock waves, showing the quantities used for calculation of the absolute plane's trajectory.

Poglejmo sedaj, kaj se dogaja z zvokom v izbranih trenutkih. V trenutku t_{K_i} zvok zapusti letalo, v trenutku t_{R_i} pa pride do i -te opazovalnice. Po analogiji bi vpeljali še t_{P_i} , a uporabimo dejstvo, da v času, ko zvok s hitrostjo c prepotuje razdaljo od točke \vec{K}_i do opazovalnice \vec{R}_i , letalo s hitrostjo v prileti do točke \vec{P}_i , saj se obe nahajata na plašču Machovega stožca. Velja torej $t_{P_i} = t_{R_i}$, hkrati pa velja, da je med veznicama $\vec{K}_i\vec{R}_i$ in $\vec{P}_i\vec{R}_i$ pravi kot, kar sledi iz definicije Machovega valovnega čela. To je seveda zgolj poenostavitev, ki bi veljala v primeru konstantne hitrosti zvoka, v resnici pa te veznice niso niti ravne črte.

Zapišimo skalarni produkt veznic:

$$[6] \quad (\vec{K}_i - \vec{R}_i) \cdot (\vec{P}_i - \vec{R}_i) = 0$$

Točki \vec{K}_i in \vec{P}_i ležita na trajektoriji letala, povezuje pa ju enačba:

$$[7] \quad \vec{K}_i = \vec{P}_i - \vec{n} v (t_R - t_K) .$$

Iz geometrijskih relacij v pravokotnem trikotniku sledi:

$$[8] \quad t_R - t_K = \frac{|\vec{K}_i - \vec{R}_i|}{c}, \quad \mathfrak{g}(\beta) = \frac{|\vec{K}_i - \vec{R}_i|}{|\vec{P}_i - \vec{R}_i|} \quad \text{in} \quad \sin(\beta) = \frac{c}{v}.$$

S pomočjo izrazov [7] in [8] predelamo enačbo [6] v:

$$[9] \quad \left| \vec{P}_i - \vec{R}_i \right| - \vec{n} \cdot (\vec{P}_i - \vec{R}_i) \frac{v}{\sqrt{v^2 - c^2}} = 0.$$

Točke \vec{P}_i pa tudi niso neodvisne, saj predstavljajo položaj letala v trenutkih, ko grejo udarni valovi preko ustreznih opazovalnic:

$$[10] \quad \vec{P}_i = \vec{P}_1 + \vec{n} v (t_R - t_{R1}) = \vec{P}_1 + \vec{n} v \Delta t_i.$$

Iz [9] in [10] dobimo sistem enačb za \vec{P}_1 :

$$[11] \quad \left| \vec{P}_1 - \vec{R}_i \right| - \vec{n} \cdot (\vec{P}_1 - \vec{R}_i) \frac{v}{\sqrt{v^2 - c^2}} = 0 \quad \text{za } i=1 \text{ in}$$

$$\left| \vec{P}_1 - \vec{R}_i + \vec{n} v \Delta t_i \right| - \vec{n} \cdot (\vec{P}_1 - \vec{R}_i + \vec{n} v \Delta t_i) \frac{v}{\sqrt{v^2 - c^2}} = 0 \quad \text{za } i=(2..4).$$

Hitrost letala v in smer trajektorije \vec{n} prevzamemo iz rešitve v računu z ravnimi valovi v treh dimenzijah, za povprečno hitrost zvoka pa vzamemo 320 m/s. Sistem štirih neodvisnih enačb [11] za tri neznane koordinate vektorja \vec{P}_1 ima ponovno več rešitev, ki pa ne dajo vedno smiselnih rezultatov.

Rešitev iz prvih treh enačb da za koordinate vektorja \vec{P}_1 : $x = 493721$ m, $y = 81814$ m in $z = 13375$ m, kar se nam zdi vsaj v pričakovanem velikostnem redu, vsekakor pa to ni zaupanja vreden rezultat.

V poskusu, da bi se lotili problema z minimizacijskim pristopom pa dobimo zaradi parcialnih odvodov izrazov, ki vsebujejo norme vektorjev in skalarnе produkte, enačbe s kombinacijo komponent \vec{P}_1 v različnih racionalnih potencah. Morda bi se z določenimi dodatnimi zanemaritvami nekaterih členov dalo preračunati tak sistem, vendar to povsem presega namen tega prispevka.

Zaključek

Učinki preboja zvočnega zidu na prebivalce, stavbe in predmete so podobni učinkom potresa. Vendar pa se zapis takega dogodka na seizmogramih zelo razlikuje od zapisa potresa. Po začetni zmedi glede narave dogodka 5. julija 2016 je analiza podatkov in ocena hitrosti potrdila domnevo, da je šlo za letali, ki sta prek jugovzhodne Slovenije leteli z nadzvočno hitrostjo.

Po informacijah iz sporočila za javnost Slovenske vojske sklepamo, da sta vojaška lovca vzletela iz letališča Aviano v Italiji in sledila civilnemu letalu, ki je državo zapustilo v območju nad Dobovo. Točne trajek-

torije leta lovcev seveda ne poznamo, vendar geografska porazdelitev poročil o zaznavi dogodka s strani občanov potrjuje domnevo, da sta letela proti vzhodu, po črti približno simetrično glede na opazovalnice, ki so dogodek zabeležile. To tudi smiselno sovпада z najkrajšo potjo prestrežanja civilnega letala.

Poleg dogodka, opisanega v članku, so do zdaj potresne opazovalnice v Sloveniji zabeležile le dva taka dogodka. Opazovalnica na Golovcu v Ljubljani je 2. julija 1991 in 3. januarja 1992 zabeležila preboja zvočnega zidu letal Jugoslovanske ljudske armade (Cecić, 1992, Vidrih in Sinčič, 1992).

Literatura

Atlas Okolja, ARSO http://gis.arso.gov.si/atlasokolja/profile.aspx?id=Atlas_Okolja_AXL@Arso (citirano 14. 2. 2018).

Cecić, I., 1992. The Yugoslavia War on Seismic Map. China Disaster reduction press, 8. 9. 1992, str. 3 (v kitajščini, uvod napisal Wu Zhongliang).

Ministrstvo za obrambo, Slovenska vojska. Sporočila za javnost (posodobljeno 5. 7. 2016) <http://www.slovenskavojska.si/odnosi-z-javnostmi/sporocila-za-javnost/novica/nov/zavezniska-lovca-aktivirana-za-zavarovanje-slovenskega-zracnega-prostora/> (citirano 19. 6. 2017).

Strnad, J., 1977. Fizika. Prvi del. Mehanika/Toplota, str. 170, DZS Ljubljana.

Vidrih, R., Sinčič, P., 1992. Zapis prebojev zvočnega zidu nad Ljubljano na seizmogramih. Ujma 6, letnik 1992, Ljubljana.

Wikipedia, 2018. Sonic boom, (posodobljeno 8. 2. 2018), https://en.wikipedia.org/wiki/Sonic_boom (citirano 14. 2. 2018).

Wikipedia, 2018. Speed of sound, (posodobljeno 8. 2. 2018), https://en.wikipedia.org/wiki/Speed_of_sound (citirano 14. 2. 2018).

Wikipedia, 2018. Overdetermined system, (posodobljeno 8. 2. 2018), https://en.wikipedia.org/wiki/Overdetermined_system (citirano 14. 2. 2018).

Najmočnejši potresi po svetu leta 2016

The World's Largest Earthquakes in 2016

Povzetek

Leta 2016 je bilo po svetu 47 potresov, ki so dosegli ali presegli navorno magnitudo (M_w) 6,5. Ni bilo nobene potresa z navorno magnitudo večjo ali enako 8,0, šestnajst potresov je imelo magnitudo med 7,0 in 7,9. Vsaj 35 potresov je zahtevalo človeška življenja, skupaj vsaj 1339 žrtev. Najmočnejši ($M_w = 7,9$) potres je nastal 17. decembra pod oceanskim dnom na območju Papue Nove Gvineje v globini 103 km. Največ žrtev je zahteval potres, ki se je zgodil 16. aprila v Ekvadorju. Njegova magnituda je bila 7,8, zahteval je vsaj 676 življenj. Najgloblji močnejši potres z žariščem na globini 614 km in navorno magnitudo 6,6 se je zgodil 19. oktobra pod oceanskim dnom na območju Indonezije. Najmočnejši potres v Evropi z magnitudo 6,6 je 30. oktobra stresel srednjo Italijo. Niz močnih potresov v srednji Italiji se je začel 24. avgusta s potresom magnitude 6,2 pri kraju Accumoli in se nadaljeval tudi v leto 2017. Nekatere izmed njih je bilo čutiti tudi v Sloveniji, predvsem v višjih nadstropjih zgradb. Potresi v srednji Italiji so leta 2016 zahtevali 302 življenji.

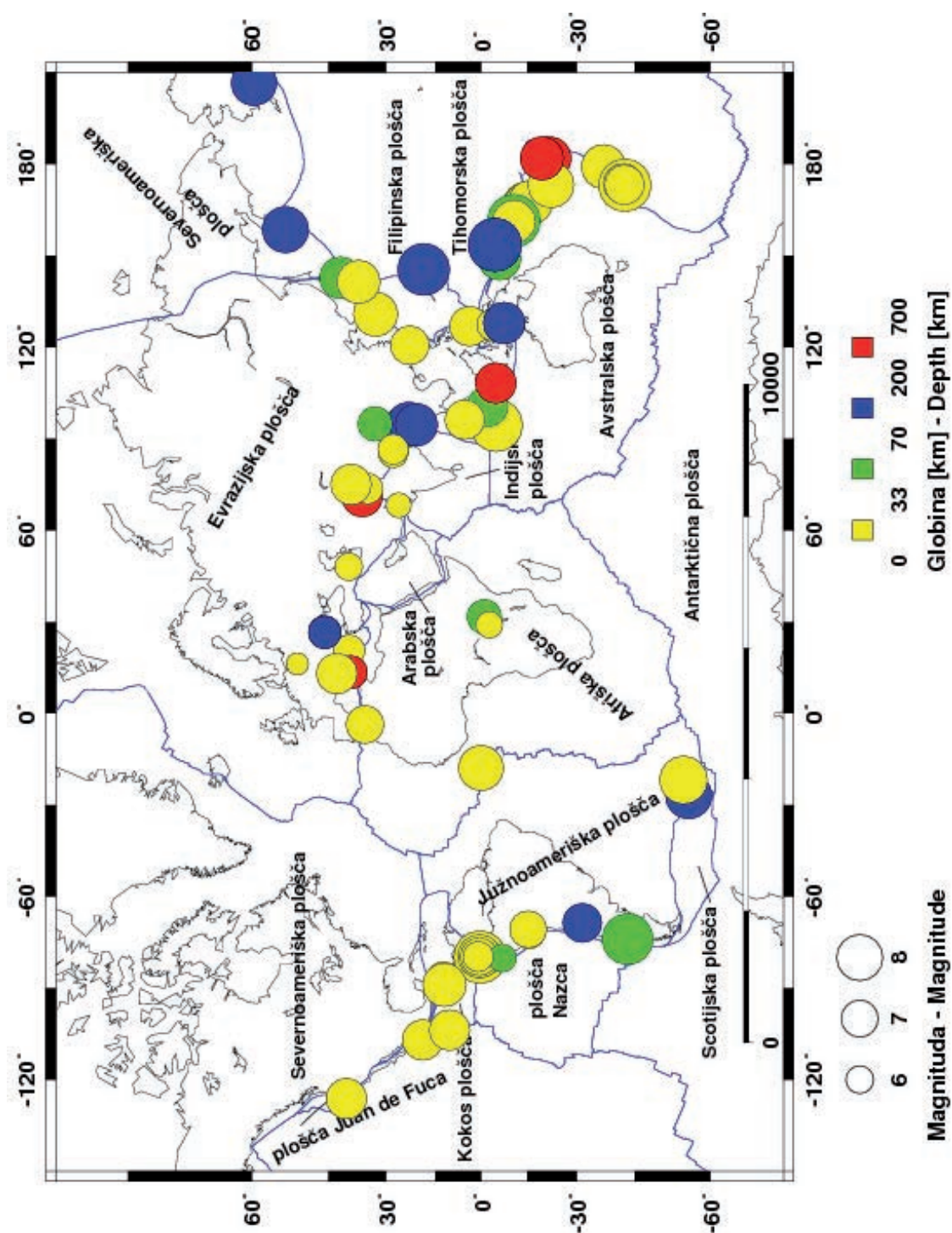
Abstract

In 2016 there were 47 earthquakes in the world that either reached or exceeded moment magnitude (M_w) of 6.5. None had moment magnitude greater than or equal to 8.0, and 16 were between 7.0 and 7.9. At least 35 earthquakes claimed human lives; in total there were at least 1339 victims. The most devastating earthquake took place on 16 April in Ecuador ($M_w=7.8$), where at least 676 people were killed. The 17 December earthquake near Papua New Guinea ranked highest in terms of the released energy, with moment magnitude of 7.9. The deepest strong earthquake took place on 19 October near Indonesia, with a hypocentre 614 km below the surface and moment magnitude of 6.6. The strongest earthquake in Europe, with moment magnitude of 6.6, struck Central Italy on 30 October. This seismic sequence began on 24 August with an earthquake near Accumoli ($M_w = 6.2$) and continued into 2017. Some of these earthquakes were felt also in Slovenia. Earthquakes in Italy in 2016 claimed 302 human lives.

Uvod

Zemljina trdna lupina, debela povprečno okoli 100 km pod celinami in 50 km pod oceani, se imenuje litosfera in jo sestavlja več tektonskih plošč (slika 1); največje 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 v Zemljinem plašču 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 lahko poteka na območju oceanov (vdiranje magme iz astenosfere skozi razpoko med ploščama, pri čemer se iztisnjena magma struje v novo oceansko skorjo in nastanejo oceanski grebeni) ali na celinah (tektonsko ugrezanje ob nastajanju razsežnega tektonskega jarka ali razpoke v celinski plošči, ki končno postane meja plošč). Pri primikanju plošč se oceanska plošča podriva pod drugo oceansko ali celinsko ploščo, lahko pa celinski plošči trčita, kar povzroči dviganje skorje in nastanek gorovij. Prelom, ob katerem plošči drsita druga ob drugi, imenujemo transformni prelom (Lapajne, 2013).

Posledice gibanja celinskih in oceanskih plošč oziroma tektonike litosferskih plošč so burni geološki pojavi, kot so vulkani in potresi, ki nastajajo predvsem na stikih in v bližini stikov plošč. Slika 1 kaže povezanost



Slika 1: Porazdelitev najmočnejših potresov leta 2016 na Zemlji. Velikost krogov kaže potresno magnitudo, barva pa žariščno globino. Označene so glavne tektonske plošče.

Figure 1: Distribution of the strongest earthquakes in 2016. The size of the circle indicates the magnitude and the colour designates the focal depth. The main tectonic plates are also shown.

tektonike plošč s potresno dejavnostjo, saj je večina močnejših potresov nastala na stikih tektonskih plošč. Narisani so le tisti, ki so leta 2016 dosegli ali presegli navorno magnitudo 6,5 (5,5 za evropsko-sredozemsko območje), in tisti šibkejši, ki so zahtevali človeška življenja. Navorna magnituda je mera za velikost potresa, ki velja tudi za najmočnejše potrese in je določena s potresnim navorom. Ta je definiran kot zmnožek strižnega modula kamnine prelomnega območja, površine potresnega pretrga in povprečne velikosti zdrsa vzdolž preloma. Lahko ga izračunamo iz zapisov potresnega valovanja ali iz geoloških opazovanj (Lapajne, 2013).

Preglednica 1: Seznam potresov leta 2016, katerih navorna magnituda M_w je bila enaka ali večja od 6,5 (5,5 za evropsko-sredozemsko območje). Dodani so potresi, katerih magnituda je bila sicer manjša, a so zahtevali smrtno žrtve.

Table 1: List of the earthquakes in 2016 with a moment magnitude (M_w) equal to or greater than 6.5 (5.5 for the European-Mediterranean region). Earthquakes with magnitudes below 6.5 which claimed human lives are also included.

datum	čas (UTC)	koordinati		globina	mag.	število žrtev	območje
	ura.min	širina (°)	dolžina (°)	km	M_w		
date	time (UTC)	coordinates		depth	mag.	number of victims	area
	hh.min	lat (°)	lon (°)	km	km M_w		
3. 1.	23.05	24,83 S	93,66 V	55	6,7	11	Imphal, Indija
11. 1.	16.38	3,89 S	126,86 V	13	6,5		pod morskim dnom, blizu otokov Talaud, Indonezija
14. 1.	3.25	41,97 S	142,78 V	46	6,7		pod morskim dnom, južno od otoka Hokaido, Japonska
16. 1.	23.22	3,87 J	127,23 V	4	5,6	1	pod morskim dnom, Bandsko morje
21. 1.	18.06	18,82 S	106,93 Z	10	6,6		pod morskim dnom, blizu zahodne obale Mehike
24. 1.	10.3	59,64 S	153,41 Z	129	7,1		južni del Aljaske
25. 1.	4.22	35,65 S	3,68 Z	12	6,3	1	pod morskim dnom, Alboransko morje
30. 1.	3.25	53,98 S	158,55 V	177	7,2		Kamčatka, Rusija
5. 2.	16.2	27,88 S	85,34 V	24	5,2	1	Katmandu, Nepal
5. 2.	19.57	22,94 S	120,60 V	23	6,4	117	Yujing, Tajvan
2. 3.	12.49	4,95 J	94,33 V	24	7,8		pod morskim dnom, jugozahodno od Sumatre, Indonezija
3. 4.	8.23	14,32 J	166,86 V	26	6,9		pod morskim dnom, območje otočja Vanuatu
6. 4.	6.58	14,07 J	166,63 V	24	6,7		pod morskim dnom, območje otočja Vanuatu
7. 4.	3.32	13,98 J	166,59 V	28	6,7		pod morskim dnom, območje otočja Vanuatu
10. 4.	10.28	36,47 S	71,13 V	212	6,6	6	Afganistan
13. 4.	13.55	23,09 S	94,87 V	136	6,9	2	Mjanmar
14. 4.	12.26	32,79 S	130,70 V	9	6,2	9	Kjušu, Japonska
15. 4.	16.25	32,79 S	130,75 V	10	7,0	41	Kjušu, Japonska

datum	čas (UTC)	koordinati		globina	mag.	število žrtev	območje
	ura.min	širina (°)	dolžina (°)	km	M _w		
date	time (UTC)	coordinates		depth	mag.	number of victims	area
	hh.min	lat (°)	lon (°)	km	km M _w		
16. 4.	23.58	0,38 S	79,92 Z	21	7,8	676	Muisine, Ekvador
28. 4.	19.33	16,04 J	167,38 V	24	7,0		Malekula, otočje Vanuatu
29. 4.	1.33	10,28 S	103,74 Z	10	6,6		pod morskim dnom, severni del vzhodnega tihoceanskega hrbta
18. 5.	7.57	0,43 S	79,79 Z	16	6,7		Muisine, Ekvador
18. 5.	16.46	0,50 S	79,62 Z	30	6,9	1	Rosa Zarate, Ekvador
28. 5.	5.38	21,97 J	178,20 Z	406	6,9		pod morskim dnom, območje Fidžija
28. 5.	9.46	56,24 J	26,93 Z	78	7,2		pod morskim dnom, blizu otoka Zavodovskega
1. 6.	22.56	2,10 J	100,67 V	50	6,6	1	pod morskim dnom, ob zahodni obali Indonezije
11. 7.	2.11	0,58 S	79,64 Z	21	6,3	2	Rosa Zarate, Ekvador
29. 7.	21.18	18,54 S	145,51 V	196	7,7		pod morskim dnom, Agrihan, Severni Marijanski otoki
1. 8.	4.46	39,96 S	47,98 V	16	5,0	1	Imishli, Azerbajdžan
12. 8.	1.26	22,48 J	173,12 V	16	7,2		pod morskim dnom, območje Nove Kaledonije
15. 8.	2.59	15,66 J	72,01 Z	20	5,5	5	Lluta, Peru
19. 8.	7.32	55,29 J	21,88 Z	10	7,4		pod morskim dnom, območje Južne Georgie
24. 8.	1.36	42,72 S	13,19 V	4	6,2	299	Accumoli, Italija
24. 8.	2.33	42,84 S	13,15 V	3	5,6		Norcia, Italija
24. 8.	10.34	20,92 S	94,57 V	82	6,8	4	Mjanmar
29. 8.	4.29	0,05 J	17,83 Z	10	7,1		pod morskim dnom, severno od otoka Ascension
31. 8.	3.11	3,69 J	152,79 V	476	6,8		pod morskim dnom, območje Papue Nove Gvineje
1. 9.	16.37	37,36 J	179,15 V	19	7,0		pod morskim dnom, v bližini Nove Zelandije
10. 9.	12.27	1,04 J	31,62 V	40	5,9	23	Nsunga, Tanzanija
22. 9.	20.24	26,15 S	68,15 V	10	4,6	1	Sann, Pakistan
23. 9.	16.11	2,65 J	29,06 V	10	4,8	7	Cyangugu, Ruanda
23. 9.	23.11	45,73 S	26,61 V	92	5,6		Nereju, Romunija
24. 9.	21.28	19,78 J	178,24 Z	596	6,9		pod morskim dnom, območje otočja Fidži
28. 9.	16.48	12,44 S	86,52 Z	8	5,5	1	La Paz Centro, Nikaragva
1. 10.	8.04	34,91 S	73,68 V	10	5,4	2	Athmuqam, Pakistan
15. 10.	20.14	39,81 S	20,65 V	22	5,5		Rodotopion, Grčija

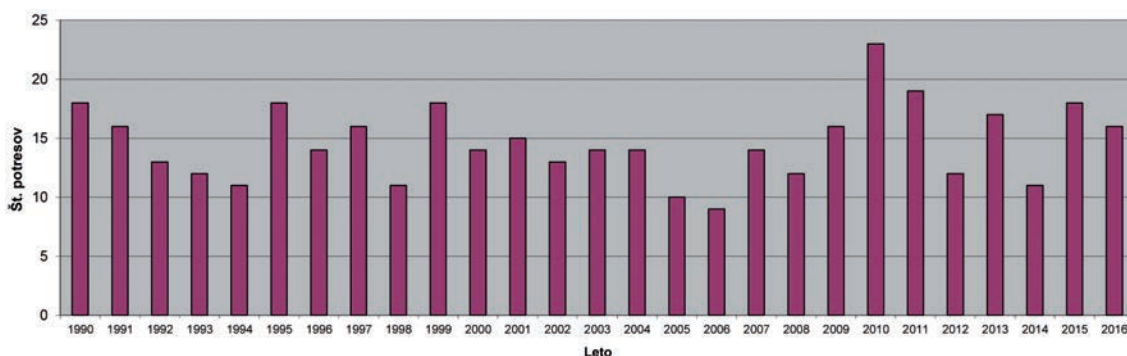
datum	čas (UTC)	koordinati		globina	mag.	število žrtev	območje
	ura.min	širina (°)	dolžina (°)	km	M _w		
date	time (UTC)	coordinates		depth	mag.	number of victims	area
	hh.min	lat (°)	lon (°)	km	km M _w		
16. 10.	13.04	7,01 J	80,13 Z	41	5,0	1	pod morskim dnom, blizu kraja Santa Rosa, Peru
17. 10.	6.14	6,00 J	148,89 V	42	6,8		pod morskim dnom, območje Papue Nove Gvineje
17. 10.	7.14	32,90 S	94,88 V	35	5,9	1	Tibet
19. 10.	0.26	4,86 J	108,16 V	614	6,6		pod morskim dnom, območje Indonezije
26. 10.	17.1	42,86 S	13,05 V	6	5,5		Sellano, Italija
26. 10.	19.18	42,96 S	13,07 V	10	6,1	1	Visso, Italija
28. 10.	20.02	39,39 S	13,52 V	458	5,8		pod morskim dnom, Tirensko morje
30. 10.	6.4	42,86 S	13,10 V	8	6,6	2	Norcia, Italija
13. 11.	11.02	42,74 J	173,05 V	15	7,8	2	Amberley, Nova Zelandija
13. 11.	11.32	42,32 J	173,70 V	10	6,5		Kaikoura, Nova Zelandija
14. 11.	0.34	42,61 J	173,25 V	9	6,5		Kaikoura, Nova Zelandija
20. 11.	20.57	31,62 J	68,63 Z	108	6,4		Pocito, Argentina
21. 11.	20.59	37,39 S	141,39 V	9	6,9		pod morskim dnom, vzhodno od mesta Namie, Japonska
24. 11.	18.43	11,91 S	88,90 Z	10	6,9	1	pod morskim dnom, blizu obale Salvadorja
25. 11.	14.24	39,27 S	74,98 V	17	6,6	1	Karakul, Tadžikistan
27. 11.	23.35	27,80 S	86,53 V	10	5,4	1	Namche Bazaar, Nepal
29. 11.	20.09	51,61 S	16,16 V	5	4,2	8	Grębocice, Poljska
1. 12.	22.4	15,31 J	70,83 Z	12	6,2	1	Vilavila, Peru
6. 12.	22.03	5,28 S	96,17 V	13	6,5	104	Reuleuet, Indonezija
8. 12.	14.49	40,45 S	126,19 Z	9	6,6		pod morskim dnom, ob kalifornijski obali
8. 12.	17.38	10,68 J	161,30 V	40	7,8	1	pod morskim dnom, območje Salomonovih otokov
8. 12.	21.56	10,84 J	161,31 V	12	6,5		pod morskim dnom, območje Salomonovih otokov
9. 12.	19.1	10,75 J	161,13 V	20	6,9		pod morskim dnom, območje Salomonovih otokov
17. 12.	10.51	4,51 J	153,52 V	95	7,9		pod morskim dnom, območje Papue Nove Gvineje
19. 12.	7.11	0,88 S	79,71 Z	10	5,4	3	Propicia, Ekvador
21. 12.	0.17	7,51 J	127,92 V	152	6,7		pod morskim dnom, Bandsko morje
25. 12.	14.22	43,41 J	73,91 Z	38	7,6		pod morskim dnom, blizu mesta Puerto Quellón, Čile
27. 12.	23.2	45,71 S	26,53 V	97	5,6		Nereju, Romunija

Če bi narisali nadžarišča oziroma epicentre vseh potresov, bi videli, da potresi nastajajo predvsem na stikih med posameznimi ploščami. Prav prostorska porazdelitev potresov je tudi razkrila potek mej ali stikov med ploščami in je bila pred približno petdesetimi leti eden najpomembnejših podatkov pri oblikovanju teorije tektonike litosferskih plošč.

Pregled najmočnejših potresov

V preglednici 1 so podatki o najmočnejših potresih leta 2016 (NEIC, 2017a; NEIC, 2017b; List of earthquakes in 2016, 2017; ARSO, Urad za seizmologijo, 2016). Našteti so tisti, ki so dosegli ali presegli navorno magnitudo 6,5 (5,5 za evropsko-sredozemsko območje), in 18 šibkejših, ki so zahtevali človeška življenja. Za vsak potres so navedeni datum (mesec, dan), žariščni čas po svetovnem času – UTC (ura, minuta), koordinati nadžarišča (zemljepisna širina (°), zemljepisna dolžina (°)), globina žarišča (km) in navorna magnituda (M_w). V stolpcu o številu žrtev je navedeno skupno število žrtev in pogrešanih za posamezen potres. Preglednica se konča z imenom širšega nadžariščnega območja potresa.

Leta 2016 je bilo 47 potresov, ki so dosegli ali presegli navorno magnitudo 6,5. Noben potres ni imel navorne magnitude večje oziroma enake 8,0, šestnajst pa jih je bilo z magnitudo med 7,0 in 7,9, kar pomeni, da leto 2016 ne odstopa od dolgoletnega povprečja. Po statističnih analizah se je v obdobju 1990–2016 v povprečju vsako leto zgodil en potres z magnitudo večjo ali enako 8,0, 15 pa jih je imelo magnitudo med 7,0 in 7,9 (slika 2; NEIC, 2017c). Petintrideset potresov je zahtevalo človeška življenja, vsi skupaj pa so leta 2016 zahtevali vsaj 1339 življenj.



Slika 2: Število potresov v posameznem letu z navorno magnitudo med 7,0 in 7,9 (1990–2016)

Figure 2: Annual number of earthquakes with moment magnitude between 7.0 and 7.9 for the period 1990–2016.

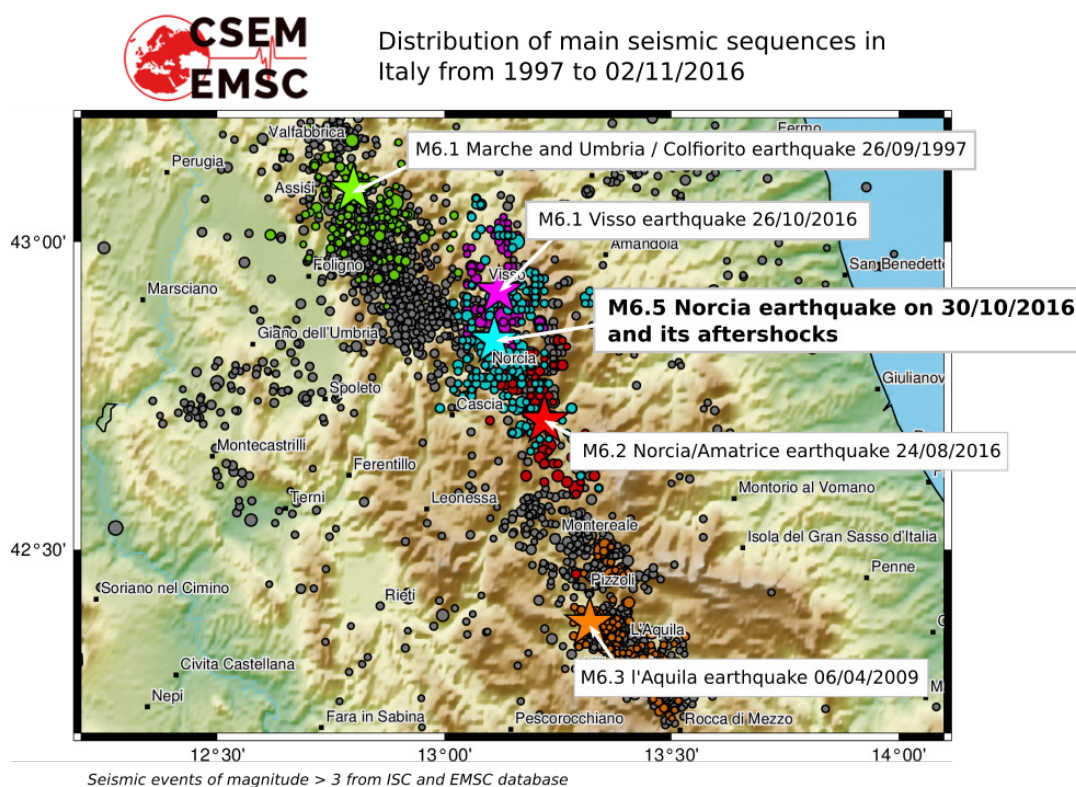
Najmočnejši ($M_w = 7,9$) potres v letu 2016 je nastal 17. decembra ob 10.51 po UTC (20.51 po lokalnem času) pod morskim dnom na območju Papue Nove Gvineje. Nastal je na območju, kjer se Avstralska plošča podriva pod Tihomorsko s hitrostjo 105 mm na leto v smeri vzhod-severovzhod. Žarišče potresa je bilo na globini 95 km, kar ga uvršča med srednje globoke potrese. Ti so po navadi posledica deformacije znotraj plošče, ki tone, in ne deformacije na njenih robovih. V primerjavi s plitvimi navadno ne povzročijo veliko škode na površju Zemlje, se pa čutijo tudi na zelo velikih razdaljah od nadžarišča (NEIC, 2016a).

Devetnajstega oktobra ob 0.26 po UTC (7.26 po lokalnem času) je območje Indonezije stresel potres z navorno magnitudo 6,6. Z žariščem na globini 614 km je bil to najgloblji potres leta 2016 izmed potresov z navorno magnitudo vsaj 6,5. Nastal je na območju Sundskega jarka, ki poteka od Bengalskega zaliva na severozahodu

do otoka Sumba na jugovzhodu ter se nadaljuje proti vzhodu proti Bandskemu loku. Na območju potresa se Avstralska plošča podriva pod ploščo Sunda s hitrostjo 50 do 70 mm na leto (NEIC, 2016b).

Največ žrtev (676) je zahteval potres, ki se je zgodil 16. aprila ob 23.58 po UTC (ob 18.58 po lokalnem času) v Ekvadorju. Magnituda potresa je bila 7,8, njegovo nadžarišče pa 27 km južno od mesta Muisine. Nastal je na območju, kjer se plošča proti vzhodu podriva pod Južnoameriško s povprečno hitrostjo 61 mm na leto. Največ škode je povzročil v provinci Manabí (2016 Ecuador earthquake, 2017; NEIC, 2016c).

V Evropi je bila najmočnejša potresna dejavnost v srednji Italiji (območje osrednjih Apeninov), ki jo je v drugi polovici leta 2016 prizadel niz močnih potresov. Niz se je začel 24. avgusta ob 1.36 po UTC (3.36 po srednjeevropskem poletnem času – SEPC) s potresom magnitude (M_w) 6,2. Njegovo žarišče je bilo 6 km severozahodno od kraja Accumoli na globini 4 km. Konec oktobra so se zgodili še trije potresi z magnitudo vsaj 5,5. Dvakrat se je močno zatreslo 26. oktobra. Prvi potres ob 17.11 po UTC (19.11 po SEPC) se je zgodil 8 km jugovzhodno od Sellana in je imel navorno magnitudo 5,5, drugi, ob 19.18 po UTC (21.18 po SEPC) in z nadžariščem 3 km zahodno od Vissa, pa 6,1. Najmočnejši potres celotnega niza ($M_w = 6,6$) se je zgodil 30. oktobra zjutraj ob 6.40 po UTC (7.40 po srednjeevropskem času – SEČ) z nadžariščem 6 km severno od Norcie. Niz močnih potresov na območju osrednjih Apeninov se je nadaljeval tudi v leto 2017. V obdobju od 24. avgusta do 31. decembra se je tu zgodilo več kot 40.000 potresov. Glede na globino žarišča (5–10 km) jih uvrščamo med plitve potrese.



Slika 3: Potresni nizi v srednji Italiji med letom 1997 in 2. novembrom 2016

(Vir: <http://www.emsc-csem.org/Earthquake/250/Earthquakes-sequence-in-Central-Italy>)

Figure 3: Distribution of the main seismic sequences in Central Italy from 1997 to 2 November 2016. (Source: <http://www.emsc-csem.org/Earthquake/250/Earthquakes-sequence-in-Central-Italy>)

Apenini so 1200 km dolga gorska veriga, ki poteka vzdolž Apeninskega polotoka, osrednji Apenini pa so eden izmed najbolj potresno dejavnih delov v Italiji. Že v preteklosti so se tu dogajali močni potresi. Najmočnejši instrumentalno zabeležen potres v razdalji do 100 km od tokratnih nadžarišč se je zgodil 13. januarja 1915 v bližini Avezzana. Magnituda potresa je bila 6,7, zahteval pa je okoli 32.000 življenj. Potres septembra 1997 z magnitudo 6,1 v bližini Assisija je zahteval 11 življenj in porušil okoli 80.000 zgradb v deželah Umbrija in Marke. Potres ($M_w = 6,3$), ki je aprila 2009 prizadel L'Aquilo (Cecić in Godec, 2010), je zahteval 309 življenj (NEIC, 2016d). Tokratni niz potresov se je zgodil v vrzeli med potresoma leta 1997 in 2009 (slika 3), tektonski režim tega dela Apeninov pa opredeljujejo normalni prelomi, ki potekajo v smeri SZ–JV do SSZ–JJV.

Potres 24. avgusta je prebivalce sicer ne prav gosto poseljenega območja presenetil ponoči med spanjem. Sledili so mu številni popotresni sunki, najmočnejši se je zgodil uro po glavnem potresu z magnitudo 5,6.



Slika 4: Ruševine v središču mesta Amatrice

(Vir: https://en.wikipedia.org/wiki/August_2016_Central_Italy_earthquake)

Figure 4: Destroyed buildings in the town center of Amatrice

(Source: https://en.wikipedia.org/wiki/August_2016_Central_Italy_earthquake).



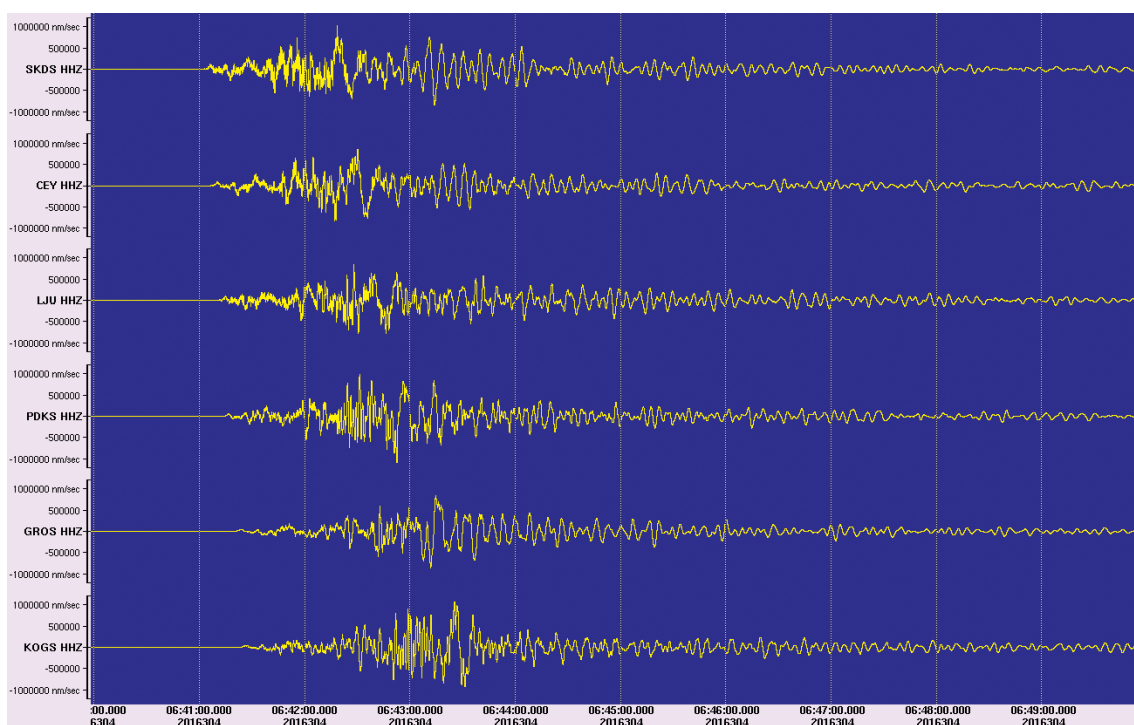
Slika 5: Površinski pretrg na pobočju gore Mt. Vettore po potresu 30. oktobra 2016

(Vir: <https://ingvterremoti.wordpress.com/2016/11/03/>)

Figure 5: Surface rupture along the slope of Mt. Vettore after the earthquake on 30 October 2016 (Source: <https://ingvterremoti.wordpress.com/2016/11/03/>).

Najbolj prizadeti kraji so bili Accumoli, Pescara del Trono in Amatrice (slika 4), kjer je bilo tudi največ žrtev (234 od skupno 299). V oktobrskih potresih so tri osebe izgubile življenje zaradi srčnega zastoja. Ker je bila po potresih 26. oktobra večina ljudi z nadžariščnega območja evakuirana, potres 30. oktobra, čeprav je bil najmočnejši v celotnem nizu, ni zahteval večjega števila življenj. K temu je botrovala tudi ura potresa, saj se je zgodil zjutraj in ljudi ni presenetil med spanjem. Je pa povzročil dodatno gmotno škodo, zlasti v krajih Ussita, Camerino, Caldeloro in Arquata del Tronto. V Norcii se je porušila bazilika Svetega Benedikta. Med krajema Castelluccio di Norcia in Ussita se je na površju pojavil 15 km dolg prelomni pretrg (slika 5) (August 2016 Central Italy earthquake, 2017; October 2016 Central Italy earthquakes, 2017).

Nekaj potresov so čutili tudi posamezniki v Sloveniji, predvsem v višjih nadstropjih stavb (Jesenko in drugi, 2017), pa tudi v Albaniji, Avstriji, Bosni in Hercegovini, Črni gori, Franciji, na Hrvaškem, v Nemčiji, Makedoniji, Srbiji in Švici. Potresni valovi P_n (lomljeni vzdolžni ali longitudinalni valovi, ki potujejo skozi Zemljin plašč tik pod Mohorovičičevo diskontinuiteto) so od žarišča do Slovenije potovali približno tri četrtine minute. Pri potresu 30. oktobra (ob 6.40 po UTC) so valovi P_n potovali 44 sekund do potresne opazovalnice na Skadanščini (SKDS), ki je izmed 26 opazovalnic državne mreže potresnih opazovalnic (Vidrih in drugi, 2006) najbližja žarišču potresa (približno 360 kilometrov oddaljena od nadžarišča). 20 sekund pozneje jih je zabeležila opazovalnica na Kogu (KOGS), najbolj oddaljena slovenska opazovalnica od nadžarišča potresa (približno 530 kilometrov oddaljena od nadžarišča). Na sliki 6 je prikazan 10-minutni zapis navpične komponente tega potresa na nekaterih opazovalnicah državne mreže.



Slika 6: Zapis navpične komponente potresa 30. oktobra 2016 magnitude 6,6 pri Norcii v Italiji na nekaterih potresnih opazovalnicah državne mreže. Prikazan je 10-minutni zapis. (SKDS – Skadanščina, CEY – Goričice pri Cerkljiškem jezeru, LJU – Ljubljana, GROS – Bojtina na Pohorju, KOGS – Kog).

Figure 6: Vertical component of seismogram of the earthquake on 30 October 2016 (MW = 6.6) near Norcia, Italy, as recorded on several stations of the Seismic Network of Republic of Slovenia. The figure shows 10-minute long record. (SKDS – Skadanščina, CEY – Goričice near Lake Cerklja, LJU – Ljubljana, GROS – Bojtina, Pohorje, KOGS – Kog)

Sklepne misli

Leta 2016 je bilo 74 potresov, ki so dosegli ali presegli navorno magnitudo 6,5 (5,5 za evropsko-sredozemsko območje) ali pa zahtevali človeška življenja. Skupaj so zahtevali vsaj 1339 življenj. Največ žrtev je zahteval potres, ki je aprila prizadel ekvadorsko provinco Esmeraldas. Leto 2016 si bomo zapomnili tudi po nizu močnih potresov, ki so prizadeli srednjo Italijo, nekatere pa so čutili tudi posamezniki v Sloveniji.

Viri in literatura

2016 Ecuador earthquake. Wikipedia [online] (posodobljeno 21. 11. 2017). https://en.wikipedia.org/wiki/2016_Ecuador_earthquake (uporabljeno 21. 11. 2017).

ARSO, Urad za seizmologijo, 2016. Preliminarni seizmološki bilten, 2016. Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo, Ljubljana.

August 2016 Central Italy earthquake. Wikipedia [online] (posodobljeno 10.11. 2017). https://en.wikipedia.org/wiki/August_2016_Central_Italy_earthquake (uporabljeno 21. 11. 2017).

Cecić, I., Godec, M., 2010. Potres pri l'Aquilu (srednja Italija) 6. aprila 2009, Potresi v letu 2009, Agencija RS za okolje, Ljubljana.

- Jesenko, T., Šket Motnikar, B., Cecić, I., Živčič, M., 2017. Potresi v Sloveniji leta 2016, Agencija RS za okolje, Ljubljana.
- Lapajne, J., 2013. Inženirsko-seizmološki terminološki slovar [Elektronski vir], Amebis d.o.o., Kamnik in Agencija RS za okolje, Ljubljana (Zbirka Termania). <http://www.termania.net/slovarji/131/seizmološki-slovar>.
- List of earthquakes in 2016. Wikipedia [online] (posodobljeno 13. 11. 2017). https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_earthquakes_in_2016 (uporabljeno 20. 11. 2017).
- NEIC, 2016a. M7.9 – 54 km E of Taron, Papua New Guinea. US Department of the Interior. Geological Survey, National Earthquake Information Center. <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us200081v8#executive> (uporabljeno 20. 11. 2017).
- NEIC, 2016b. M6.6 – 161km NNE of Pamanukan, Indonesia. US Department of the Interior. Geological Survey, National Earthquake Information Center. <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us20007f7j#executive> (uporabljeno 20. 11. 2017).
- NEIC, 2016c. M7.8 – 27 km SSE of Muisine, Ecuador. US Department of the Interior. Geological Survey, National Earthquake Information Center. <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us20005j32#executive> (uporabljeno 20. 11. 2017).
- NEIC, 2016d. M6.6 – 7 km of Norcia, Italy. US Department of the Interior. Geological Survey, National Earthquake Information Center. <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us1000731j#executive> (uporabljeno 20.11. 2017).
- NEIC, 2017a. 2016 Significant Earthquakes – 2016. US Department of the Interior. Geological Survey, National Earthquake Information Center. <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/browse/significant.php?year=2016> (uporabljeno 20. 11. 2017).
- NEIC, 2017b. Search Earthquake Catalogue. US Department of the Interior. Geological Survey, National Earthquake Information Center. <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/> (uporabljeno 20. 11. 2017).
- NEIC, 2017c. Earthquake Statistics. US Department of the Interior. Geological Survey, National Earthquake Information Center. (posodobljeno 16.11. 2016). <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/browse/stats.php> (uporabljeno 20. 3. 2017).
- October 2016 Central Italy earthquakes. Wikipedia [online] (posodobljeno 16. 11. 2017). https://en.wikipedia.org/wiki/October_2016_Central_Italy_earthquakes (uporabljeno 20. 11. 2017).
- Vidrih, R., Sinčič, P., Tasič, I., Gosar, A., Godec, M., Živčič, M., 2006. Državna mreža potresnih opazovalnic. Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo, Ljubljana, 287.