



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



# Potresi v letu 2011

## Earthquakes in 2011



**Naslovnica:**

*Razdejanje po cunamiju, ki ga je povzročil potres v bližini vzhodne obale japonskega otoka Honšu.*

*(<http://www.theatlantic.com/infocus/2012/02/japan-earthquake-before-and-after/100251/>)*

*Glej članek: Tamara Jesenko, Manfred Deterding*

**Močnejši potresi po svetu leta 2011**

**Cover Page:**

*Devastation after tsunami caused by the earthquake which occurred near the east coast of Honshu.*

*Japan. (<http://www.theatlantic.com/infocus/2012/02/japan-earthquake-before-and-after/100251/>)*

*See: Tamara Jesenko, Manfred Deterding*

**World's Largest Earthquakes in 2011**



AGENCIJA REPUBLIKE SLOVENIJE ZA OKOLJE

SLOVENIAN ENVIRONMENT AGENCY

# POTRESI V LETU 2011 EARTHQUAKES IN 2011

AGENCIJA REPUBLIKE SLOVENIJE ZA OKOLJE  
URAD ZA SEIZMOLOGIJO IN GEOLOGIJO

SLOVENIAN ENVIRONMENT AGENCY  
SEISMOLOGY AND GEOLOGY OFFICE

Ljubljana 2012

# POTRESI V LETU 2011 EARTHQUAKES IN 2011

IZDAJATELJ IN ZALOŽNIK / PUBLISHED BY

Ministrstvo za kmetijstvo in okolje / Ministry of Agriculture and the Environment

Agencija RS za okolje (ARSO) / Slovenian Environment Agency

Urad za seizmologijo in geologijo / Seismology and Geology Office

GENERALNI DIREKTOR AGENCIJE / DIRECTOR GENERAL OF AGENCY

Joško Knez

UREDNIK / EDITOR

dr. Andrej Gosar

GRAFIČNA PRIPRAVA / TYPESETTING

Peter Sinčič

UREDNIŠKI SVET / EDITORIAL BOARD

dr. Andrej Gosar

Ina Cević

Matjaž Godec

mag. Tamara Jesenko

Peter Sinčič

dr. Barbara Šket Motnikar

mag. Izidor Tasič

Polona Zupančič

mag. Mladen Živčič

Mednarodna standardna serijska številka:

ISSN 1318 - 4792

## KAZALO / CONTENTS

<b>In memoriam Janez K. Lapajne (1937 - 2012) .....</b>	<b>7</b>
<i>Peter Sinčič, Izidor Tasič, Mladen Živčič, Tatjana Prosen</i>	
<b>Potresne opazovalnice v Sloveniji v letu 2011</b>	
<b>Seismic Network in Slovenia in 2011 .....</b>	<b>9</b>
<i>Tamara Jesenko, Barbara Šket Motnikar, Mladen Živčič, Martina Čarman, Polona Zupančič, Ina Cecić</i>	
<b>Potresi v Sloveniji leta 2011</b>	
<b>Earthquakes in Slovenia in 2011 .....</b>	<b>17</b>
<i>Izidor Tasič, Marko Mali, Luka Pančur, Peter Sinčič, Igor Pfundner, Bojan Uran, Jože Prosen</i>	
<b>Delovanje državne mreže potresnih opazovalnic v letu 2011</b>	
<b>Seismic Stations Operation in Slovenia in 2011 .....</b>	<b>31</b>
<i>Jurij Pahor</i>	
<b>Učinkovitost pridobivanja podatkov iz državne mreže potresnih opazovalnic v letu 2011</b>	
<b>Seismic Data Acquisition Efficiency for Seismic Network of The Republic of Slovenia in 2011 .....</b>	<b>38</b>
<i>Izidor Tasič, Marko Mali, Luka Pančur, Peter Sinčič</i>	
<b>Posodobitev potresne opazovalnice Knežji dol</b>	
<b>Modernization of Seismic Station Knežji Dol .....</b>	<b>42</b>
<i>Marko Mali, Izidor Tasič</i>	
<b>Analiza lastnega šuma zajemalnih enot Quanterra Q730</b>	
<b>Quanterra Q730 Instrumental Noise Analysis .....</b>	<b>46</b>
<i>Marko Mali, Izidor Tasič</i>	
<b>Primerjalni test seizmoloških zajemalnih enot</b>	
<b>Comparison of Different Seismic Recorders .....</b>	<b>51</b>
<i>Milka Ložar Stopar, Mladen Živčič</i>	
<b>Žariščni mehanizmi nekaterih močnejših potresov v Sloveniji v letih 2010 in 2011</b>	
<b>Fault Plane Solutions of Some Stronger Earthquakes in Slovenia in 2010 and 2011 .....</b>	<b>58</b>
<i>Dragica Čeč*, Ina Cecić, Matevž Košir**, Mladen Živčič</i>	
<b>Potres 26. marca 1511 – interpretacija nekaterih novih podatkovnih virov</b>	
<b>The Earthquake on 26 March 1511 – Interpretation of Some Unknown Historical Sources .....</b>	<b>63</b>
<i>Tamara Jesenko, Manfred Deterding</i>	
<b>Močnejši potresi po svetu leta 2011</b>	
<b>World's Largest Earthquakes in 2011 .....</b>	<b>69</b>



## IN MEMORIAM JANEZ K. LAPAJNE (1937 - 2012)



13. aprila 2012 je po daljši bolezni na svojem domu v Domžalah umrl geofizik in seizmolog dr. Janez K. Lapajne. Rodil se je 11. februarja 1937 v Celju. Diplomiral je leta 1962 iz fizike na Fakulteti za naravoslovje in tehnologijo Univerze v Ljubljani, magistriral pa leta 1974 iz ekonomije na Ekonomski fakulteti z delom Posegi v gospodarskem prostoru: pristop k sistemskemu obravnavanju. Doktoriral je leta 1978 iz geofizike na Rudarsko-geološko-naftni fakulteti Univerze v Zagrebu z disertacijo Transformacija nekaterih geofizikalnih anomalij v geološko informacijo: raziskave boksita v Istri.

Od leta 1964 do 1980 je delal kot geofizik na Geološkem zavodu Ljubljana, dlje časa tudi kot vodja Oddelka za geofiziko. Raziskoval je predvsem z geoelektričnimi, seizmičnimi in magnetnimi metodami. Med njegove pomembnejše študije spadajo raziskave za zajem termalne vode, v katerih je zelo uspešno določil lokaciji za dve vrtini na območju Čateških toplic, ki sta postali eni najbolj izdatnih. S podrobnimi meritvami gostote magnetnega polja na širšem območju Rogaške Slatine je s sodelavci določil lokacijo za vrtino K-2/75 pri Sp. Kostrivnici, ki daje

približno tri četrtine zelo znane mineralne vode Donat Mg. Pomembne so tudi njegove raziskave boksita v Istri z geoelektričnimi metodami, večkrat pa je raziskoval tudi v tujini. Leta 1986 je napisal učbenik Osnove geofizike za srednješolski program geološke usmeritve.

Leta 1980 se je zaposlil na Seizmološkem zavodu Slovenije. Ko se je ta leta 1994 preimenoval v Upravo RS za geofiziko, je bil njen direktor vse do upokojitve leta 2001. Kot seizmolog se je najprej ukvarjal s potresno mikrorajonizacijo, njegovo najpomembnejše področje pa je povezano z ocenjevanjem potresne nevarnosti. Je vodilni avtor uradne karte potresne nevarnosti Slovenije, ki je izšla leta 2001. Karta podaja projektni pospešek tal in je izdelana skladno z evropskim standardom Evrokod 8. Izdelana je po metodi prostorskega glajenja seizmičnosti, ki jo je izdatno izpopolnil. Sodelavci so po tem postopku razvili tudi računalniški program za ocenjevanje potresne nevarnosti OHAZ, ki ga uporabljamo v Sloveniji in v številnih drugih državah. Leta 2000 je v Poljčah organiziral odmevno mednarodno delavnico Seismicity modelling in seismic hazard mapping. Sodeloval je pri raziskavah za ocenjevanje potresne nevarnosti na lokaciji jedrske elektrarne Krško in tudi drugih pomembnih objektov. Pri tem je tvorno sodeloval z drugimi institu-

cijami, predvsem z Inštitutom za konstrukcije, potresno inženirstvo in računalništvo Fakultete za gradbeništvo in geodezijo, kjer je občasno tudi predaval. Po potresu leta 1998 v Posočju je do upokojitve vodil projekt prenove državne mreže potresnih opazovalnic, ki danes obsega 26 širokopasovnih potresnih opazovalnic, povezanih s središčem za obdelavo podatkov v Ljubljani. V začetku devetdesetih let 20. stoletja je bil pobudnik ustanovitve Slovenske zveze za geodezijo in geofiziko (SZGG) in njen prvi predsednik, pozneje pa častni član. SZGG se je po njegovi zaslugi kmalu vključila v Mednarodno zvezo za geodezijo in geofiziko (IUGG). Bil je član Seismological Society of America, American Geophysical Union in Society of Exploration Geophysicists ter se redno udeleževal mednarodnih strokovnih srečanj.

Janez K. Lapajne je bil zelo dejaven na publicističnem področju. Napisal je več kot 20 znanstvenih in več kot sto strokovnih člankov. Med leti 1996 in 2001 je bil urednik publikacije *Potresi v letu*, ki jo je izdajala Uprava RS za geofiziko. V reviji *Ujma* je s strokovnimi prispevki sodeloval vse od začetka izhajanja leta 1987 in bil do svoje smrti član uredniškega odbora. V prvem desetletju izhajanja je objavil več prispevkov z naslovom *Veliki potresi na Slovenskem*, v katerih je podrobno opisal največje potrese od t. i. Beljaškega potresa leta 1348 do Brežiškega potresa leta 1917. Izjemno je skrbel za pravilno rabo slovenske strokovne terminologije v geofiziki in seizmologiji. V *Ujmi* je zato redno objavljaj prispevke pod naslovom *Strokovna beseda*, v katerih je obravnaval izrazoslovje s področja seizmologije, seizmotektonike in tudi širše s področja naravnih nesreč. V zadnjih letih je dopolnjeval zbrano gradivo in pripravljaj Inženirsko-seizmološki terminološki slovar, ki ga je urejal do svoje smrti. Agencija RS za okolje ga bo izdala posthumno. S strokovnimi prispevki se je redno oglašaj tudi v prilogi *Dela – Znanost* in v poljudnoznanstveni periodiki. Ob 100-letnici slovenske seizmologije je leta 1997 pripravil posebno prilogo revije *Gea* in organiziral postavitve spominske plošče pionirju slovenske seizmologije dr. Albinu Belarju na zgradbi nekdanje realke na Vegovi ulici v Ljubljani, kjer je bila v letih 1897–1919 prva potresna opazovalnica na Slovenskem. Janez Lapajne, ki je bil tudi dober slikar in ilustrator, je ob tej priložnosti po fotografiji naslikaj zelo dober portret Albina Belarja.

Z njegovo smrtjo je slovenska seizmologija izgubila velikega strokovnjaka, ki je bil zelo predan svojemu delu in svoji družini, ženi Mariji in sinovoma Janezu ml. ter Simonu. Janez Lapajne je bil velik ljubitelj narave, živel je polno življenje. Bil je človek močne volje in velik borec, kar je dokazoval tudi med dolgotrajno boleznijo.

Andrej Gosar in Barbara Šket Motnikar

Peter Sinčič, Izidor Tasič, Mladen Živčić, Tatjana Prosen

## POTRESNE OPAZOVALNICE V SLOVENIJI V LETU 2011 SEISMIC NETWORK IN SLOVENIA IN 2011

### *Povzetek*

V letu 2011 je na območju Slovenije delovalo 30 digitalnih potresnih opazovalnic, z neprekinjenim prenosom podatkov v središče za obdelavo v Ljubljani, ena digitalna opazovalnica z neprekinjenim beleženjem podatkov samo na lokalni spominski medij ter 11 opazovalnic opremljenih samo z akcelerometri za opazovanje seizmičnosti na urbanih območjih. Slednji beležijo in prenašajo v središče za obdelavo v Ljubljani samo prožene zapise. Na opazovalnicah na Vojskem in na observatoriju na Golovcu v Ljubljani delujeta še analogna seizmografa z zapisom s črnilom na papir. Na desetih digitalnih potresnih opazovalnicah smo opravili različne posodobitve opreme.

### *Abstract*

In the year 2011 there were 30 digital seismic stations incorporated in seismic network with real-time continuous data transmission to data centre in Ljubljana, one station with continuous recording of data on local media and eleven stations equipped only with accelerographs to monitor seismicity in urban areas. The accelerographs record and transmit only triggered events to the data centre in Ljubljana. Analogue seismographs on VOJS and LJU seismic stations are still running. The equipment was upgraded on ten seismic stations.

### **Analogne potresne opazovalnice**

Urad za seizmologijo in geologijo uporablja analogne seizmografe za beleženje potresov na dveh opazovalnicah (preglednica 1). Analogni seizmograf sestavljajo seizmometer, seizmografski ojačevalnik z ustreznimi filtri in pisar z zapisom s črnilom na navaden papir. Slabost analognih seizmografov je majhno dinamično območje (40 - 45 dB) in majhna občutljivost ter frekvenčno območje (0,2 - 5 Hz). Šibkih potresov zaradi majhne občutljivosti vedno ni mogoče analizirati, močni potresi pa prekrmlijo instrument in je zapis potresa zato manj uporaben. Druga, še večja pomanjkljivost analognih sistemov je, da onemogočajo digitalno obdelavo seizmičnih podatkov. Pomembni pa so zaradi vizualnega kontinuiranega beleženja ter za namene preverbe potresnih parametrov med analognimi in digitalnimi sistemi. S temi preverbami v daljšem časovnem obdobju lahko ocenimo spreminjanje prenosne funkcije analognega sistema ter na ta način dodatno ocenimo kvaliteto podatkov za potrese, zabeležene pred digitalno dobo. Analogni seizmografi so leta 2011 delovali na potresnih opazovalnicah na observatoriju na Golovcu v Ljubljani (LJU) in na Vojskem (VOY) (Trnkoczy, Vidrih, 1984).

*Preglednica 1. Analogni potresni opazovalnici v Sloveniji.*

**Table 1.** Analogue seismic stations in Slovenia.

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



## Digitalne potresne opazovalnice

Vse potresne opazovalnice, opisane v preglednici 2, razen potresne opazovalnice SMAP, ki beleži podatke samo na lokalni spominski medij, prenašajo seizmične podatke v središče za obdelavo podatkov (SOP) v Ljubljani v realnem času. Tu se za zajem, obdelavo, arhiviranje in posredovanje seizmičnih podatkov uporablja programska oprema Antelope (Boulder Real Time Technologies, 2012). V letu 2011 smo izvedli večje posodobitve opazovalnic (Mali, Tasič, 2011) v Bojancih (BOJS), Čadrgu (CADS), Črešnjevcu (CRES), Dobrini (DOBS, slika 2), Golišah (GOLS), Podkumu (PDKS) in Robiču (ROBS). Na teh opazovalnicah je bila nameščena nova napajalna enota z dvema akumulatorjema, ki bo zagotavljala daljše delovanje opazovalnice ob izpadu omrežne napetosti (Mali in sod., 2008). Zamenjani so bili napajalni kabli za instrumente v seizmičnem jašku. Vgrajen je bil preklopnik za napajanje komunikacijske opreme, ki ob izpadu omrežne napetosti preklopi usmerjevalnik in modem na napajanje iz akumulatorjev. Namestili smo dodatno pomnilniško enoto, ki je zasnovana na industrijskem računalniku JetBox 8100 in preprečuje izgubo podatkov v primeru daljše prekinitve komunikacijskih poti (Tasič in sod., 2011). Vgradili smo prenapetostno zaščito, seizmometer pa je bil dodatno toplotno izoliran. Jetbox 8100 je bil nameščen tudi na opazovalnicah v Gornji Brigi (GBRS), Legarjih (LEGS) in Grobniku (GROS). Na opazovalnici Dobrina (DOBS) smo izključili merilni sistem Nanometric z digitalizatorjem HRD24. Na opazovalnici Gorjuše (GORS) smo stari seizmometer CMG 3 ESPC nadomestili z novim CMG-3T z večjo pasovno širino. Na Knežjem dolu (KNDS) pa je bil nameščen seizmometer STS-2. Z opazovalnic Bistriški jarek (BISS) in Brezje pri Senušah (KBZP) je bil uveden kontinuiran prenos podatkov v SOP.

*Preglednica 2. Digitalne potresne opazovalnice v Sloveniji v letu 2011.*

**Table 2.** Digital seismic stations in Slovenia in 2011.

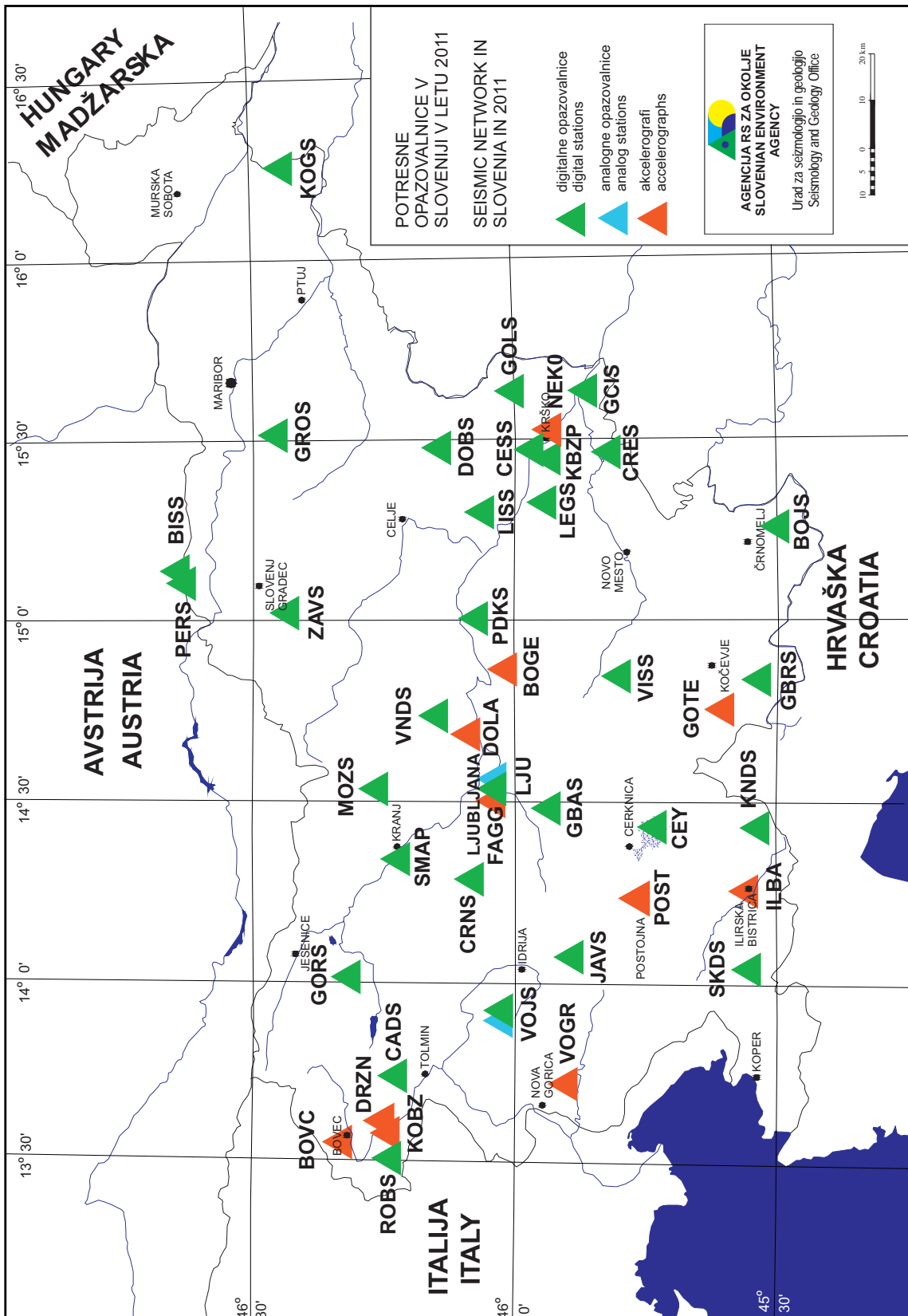
opaz. station	ozn. code	zem. šir.	zem. dol.	n. viš. elev. [m]	geološka podlaga local geology	seizmometer seismometer	zajemalna naprava acquisition unit	začetek delovanja start time
		latitude °N	longitude °E					
Bojanci	BOJS	45,50435	15,25178	252	kredni apnenec limestone	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. STS-2 akcelerometer/ accelerometer 3-komp./ comp. EpiSensor	Q 730	17. 02. 2004
Bistriški jarek	BISS	46,64794	15,12703	490	metamorfne kamnine metamorphic rocks	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	RD3-1639	28. 08. 1996
Brezje pri Senušah	KBZP	45,9405	15,4390	208	glina clay	širokopasovni/ broadband CMG 40T 3 komp./ comp.	HRD24-2432	14. 03. 2005
Cerknica (Goričice)	CEY	45,73814	14,42214	579	apnenec limestone	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	RD3-1639	14. 01. 1997
						širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-3ESPC	Q 730	30. 03. 2001
Cesta	CESS	45,97325	15,46317	372	dolomit dolomite	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	HRD24-2432	04. 09. 1997
Čadrg	CADS	46,2281	13,73677	700	kredni apnenec limestone	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	Q 730	10. 07. 2003
Črešnjevce	CRES	45,82598	15,45686	430	dolomit dolomite	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. STS-2	Q730	07. 03. 2002
Črni Vrh	CRNS	46,08069	14,26144	712	sp. triasni sivi dolomit dolomite	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-3ESPC	Q 730	16. 12. 2005
Dobrina	DOBS	46,14945	15,46945	432	spodnjetriasni laporji marl	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG 40T	Q 730	07. 04. 2001
Gorenja Brezovica	GBAS	45,93474	14,44223	524	zgornjetriasni dolomit dolomite	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-3ESPC	Q730	27. 05. 2008
Gornja Briga	GBRS	45,53113	14,81010	610	zgornjetriasni dolomit dolomite	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	Q730	13. 04. 2007
Gornji Cirknik	GCIS	45,86720	15,6274	392	dolomit dolomite	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-3ESPC	Q 730	11. 08. 2003

opaz. station	ozn. code	zem. šir.	zem. dol.	n. viš. elev. [m]	geološka podlaga local geology	seizmometer seismometer	zajemalna naprava acquisition unit	začetek delovanja start time
		latitude °N	longitude °E					
Goliše	GOLS	46,0108	15,62451	559	masiven dolomit massive dolomite	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T BH	Q 730	26. 02. 2002
Gorjuše	GORS	46,31745	13,9998	1047	ploščasti apnec z roženci platy limestone with chert	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-3ESPC akcelometer/accelerometer 3-komp./ comp. EpiSensor	Q 730	17. 05. 2004
Grobnik	GROS	46,46100	15,5017	930	tonalit tonalite	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	Q 730	12. 12. 2002
Javornik	JAVS	45,89342	14,06429	1120	zgornje triasni dolomit dolomite	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-3ESPC	Q 730	21. 08. 2003
Knežji dol	KNDS	45,5277	14,3795	1017	zgornje jurski apnec limestone	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	Q 730	14. 10. 2003
Kog	KOGS	46,44816	16,2504	245	glina clay	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-3ESPC akcelometer/accelerometer 3-komp./ comp. EpiSensor	Q 730	22. 01. 2004
Legarje	LEGS	45,94880	15,31771	390	sivi dolomit dolomite	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40TBH	Q 730	02. 09. 2002
Lisca	LISS	46,0674	15,2907	948	masiven dolomit massive dolomite	širokopasovni/ broadband CMG 40T 3 komp./ comp	Q 730	07. 02. 2002
Ljubljana	LJU	46,04381	14,52776	396	karbonski peščenjaki sandstone	širokopasovni/ broadband CMG 40T 3 komp./ comp.	RD3 1639	22. 05. 1996
						širokopasovni/ broadband STS-2 3 komp./ comp. akcelometer/ accelerometer 3-komp./ comp. EpiSensor	Q 730	30. 03. 2001
Možjanca	MOZS	46,29416	14,44322	689	ploščasti apnec platy limestone	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-3ESPC	Q 730	07. 07. 2005
Pernice	PERS	46,6365	15,1139	810	blestnik schist	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-3ESPC	Q 730	11. 12. 2002
Podkum	PKDS	46,0612	14,9977	708	dolomit dolomite	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40TBH	Q 730	11. 11. 2002
Robič	ROBS	46,24447	13,5095	256	apnec limestone	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	Q 730	20. 11. 2002
Skadanščina	SKDS	45,5464	14,0143	552	ploščati apnenci platy limestone	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. STS-2 akcel./ accelerometer 3-komp./ comp. EpiSensor	Q730	12. 04. 2006
Šmarjetna gora	SMAP	46,24295	14,33534	610	ploščasti apnec platy limestone	širokopasovni/ broadband 3-komp./ comp. CMG 40T	PR6	05. 03. 2010
Višnje	VISS	45,80329	14,83929	399	siv apnec limestone	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-3ESPC	Q 730	14. 08. 2003
Vojsko	VOJS	46,0317	13,8883	1073	zgornjetriasni dolomit dolomite	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-3ESPC	Q 730	30. 07. 2004
Vrh pri Dol-skem	VNDS	46,1016	14,7014	522	kremenov peščenjak quartz sandstone	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG 3ESPBH	Q 730	18. 01. 2006
Zavodnje	ZAVS	46,4337	15,0195	747	granodiorit granodiorite	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	Q 730	07. 09. 2004

## Opazovalnice za beleženje močnih potresov

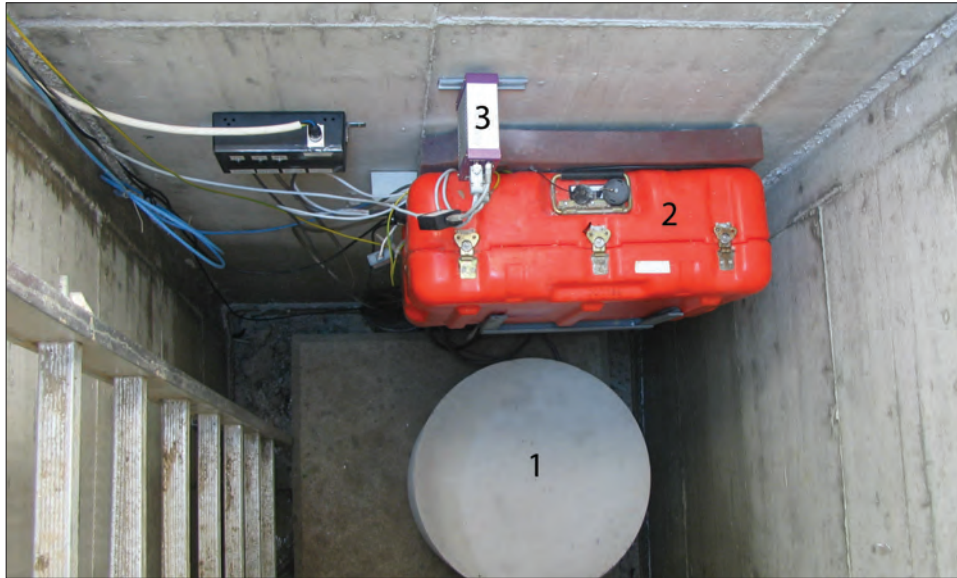
V letu 2011 je v okviru mreže potresnih opazovalnic za beleženje močnih potresov skupno delovalo petnajst opazovalnic. Od tega je bilo deset opazovalnic opremljenih z inštrumenti Etna, ena z inštrumentom K2, štiri pa so delovale v okviru državne mreže potresnih opazovalnic, kjer so na zajemalne enote Quanterra Q730 poleg seizmometrov priključeni tudi akcelerometri Epi-Sensor. Prenos podatkov z vseh opazovalnic za beleženje močnih potresov poteka samodejno. Za

## Digitalne potresne opazovalnice



*Slika 1: Potresne opazovalnice državnega omrežja RS in akcelerografi v Sloveniji leta 2011.*

*Figure 1. Seismic network and accelerographs in Slovenia in 2011.*



**Slika 2:** Seizmični jašek s seizmometrom v toplotno izoliranem ohišju (1), zajemalno enoto Quanterra Q730 (2) in industrijskim računalnikom JetBox 8100 (3) (foto: I. Tasič).

**Figure 2.** Seismometer in thermic shielded box (1), Quanterra Q730 acquisition unit (2) and JetBox 8100 industrial computer installed (3) in seismic vault (photo: I. Tasič).



**Slika 3:** Namestitev inštrumentov potresne opazovalnice na Šmarjetni gori (foto: I. Tasič).

**Figure 3.** Seismic instruments installed on Šmarjetna gora (photo: I. Tasič).



prenos uporabljamo stacionarne ali GSM povezave. Inštrumenti, ki so del državne mreže potrebnih opazovalnic, beležijo tresenje tal neprekinjeno, ostali inštrumenti (Etna, K2) pa zabeležijo le dogodke, ki imajo pospešek tal večji od določenega praga.

Vse leto 2011 je delovalo osem opazovalnic, opremljenih z inštrumenti Etna; na Bogenšperku, v Bovcu, Drežnici, na FGG (Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo v Ljubljani), v Gotenici, Ilirski Bistrici, Krškem in Postojni. Opazovalnica Vogršček, opremljena z inštrumentom K2, je prav tako delovala vse leto (Prosen, 2006). Te opazovalnice se nahajajo na istih lokacijah kot prejšnje leto (Sinčič in sod., 2011). Opazovalnica na začasni lokaciji v Kobaridu je bila ukinjena 17. 3. 2011, inštrument s te opazovalnice (serijska številka 2133) pa prenešen v Dolsko na mesto prejšnjega inštrumenta (serijska številka 6596), ki je prenehal delovati 1. 7. 2010. Opazovalnica Dolsko je od 29. 3. 2011 delovala neprekinjeno. Inštrument v Bovcu ima napako na navpični komponenti. Zaradi visokih stroškov popravila pa se zanj nismo odločili, tako da opazovalnica beleži le vodoravni komponenti.

Podatki o času delovanja posameznih opazovalnic, njihovih oznakah, lokacijah, serijskih številkah in številu zabeleženih potresov so zbrani v preglednici 3.

V sklopu državne mreže potresnih opazovalnic so opazovalnice za močne potrese delovale še v Ljubljani, Bojancih, Skadanščini, na Gorjušah in Kogu. Te delujejo v neprekinjenem načinu, so del državne mreže potresnih opazovalnic in so zato vpisane v preglednico 2.

**Preglednica 3.** Podatki o samostojnih opazovalnicah za beleženje močnih potresov, ki so v Sloveniji delovale v letu 2011.

**Table 3.** Freestanding strong motion stations operating in Slovenia in 2011.

opaz. station	ozn. code	zem. šir. latitude	zem. dol. longitude	n. viš. elev. [m]	senzor sensor type	zajemalna naprava acquisition unit	ser. številka serial number	merilni obseg full scale range	čas delovanja operational time	št. zab. potresov No. of reg. events
		°N	°E							
Bogenšperk	BOGE	46,0237	14,8572	422	FBA-23	Etna	1245	1 g	vse leto	7
Bovec	BOVC	46,3382	13,5543	455	FBA-23	Etna	1476	4 g	vse leto	1
Dolsko	DOLA	46,0938	14,6781	265	FBA-23	Etna	2133	2 g	od 29.3.2011	1
Drežnica	DRZN	46,2586	13,6126	544	EpiSensor	Etna	2134	2 g	vse leto	5
Gotenica	GOTE	45,6095	14,7464	670	FBA-23	Etna	1246	1 g	vse leto	10
Ilirska Bistrica	ILBA	45,5638	14,2445	404	FBA-23	Etna	810	1g	vse leto	2
Kobarid	KOBZ	46,2450	13,5818	240	EpiSensor	Etna	2133	2 g	do 17.3.2011	0
Krško (NEK)	NEK0	45,9391	15,5185	156	FBA-23	Etna	1334	2 g	vse leto	1
Lju - FGG	FAGG	46,0459	14,4944	295	FBA-23	Etna	6597	2 g	vse leto	0
Vogršček	VOGR	45,9057	13,7258	106	EpiSensor	K2	2228	2 g	vse leto	2
Postojna	POST	45,7755	14,2129	553	FBA-23	Etna	811	1 g	vse leto	2

### Število zabeleženih potresnih dogodkov

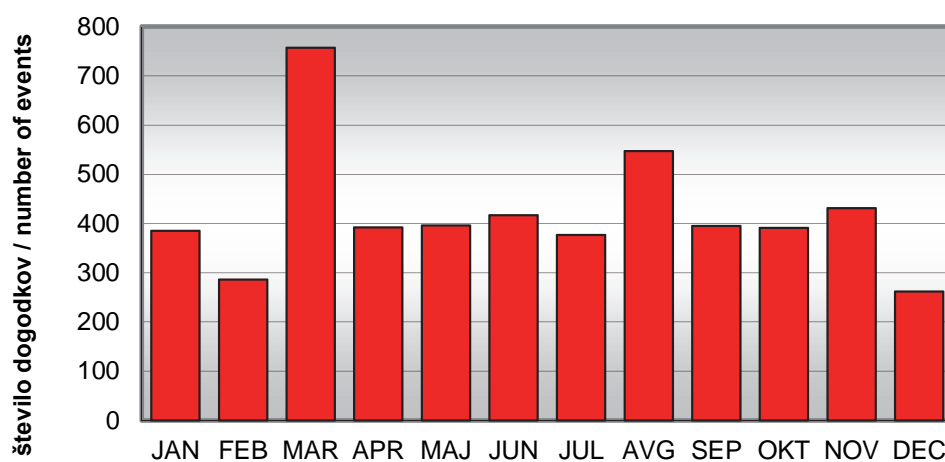
Vse potresne opazovalnice so v letu 2011 zabeležile 4043 potresov, od tega 1920 lokalnih potresov, 592 bližnjih in 1531 oddaljenih (ARSO, 2011). Seizmografi so zapisali tudi 993 umetnih potresov (preglednica 4, sliki 4 in 5).



**Preglednica 4.** Potresi v letu 2011, zabeleženi na slovenskih potresnih opazovalnicah.

**Table 4.** Earthquakes in 2011 recorded at Slovenian earthquake stations.

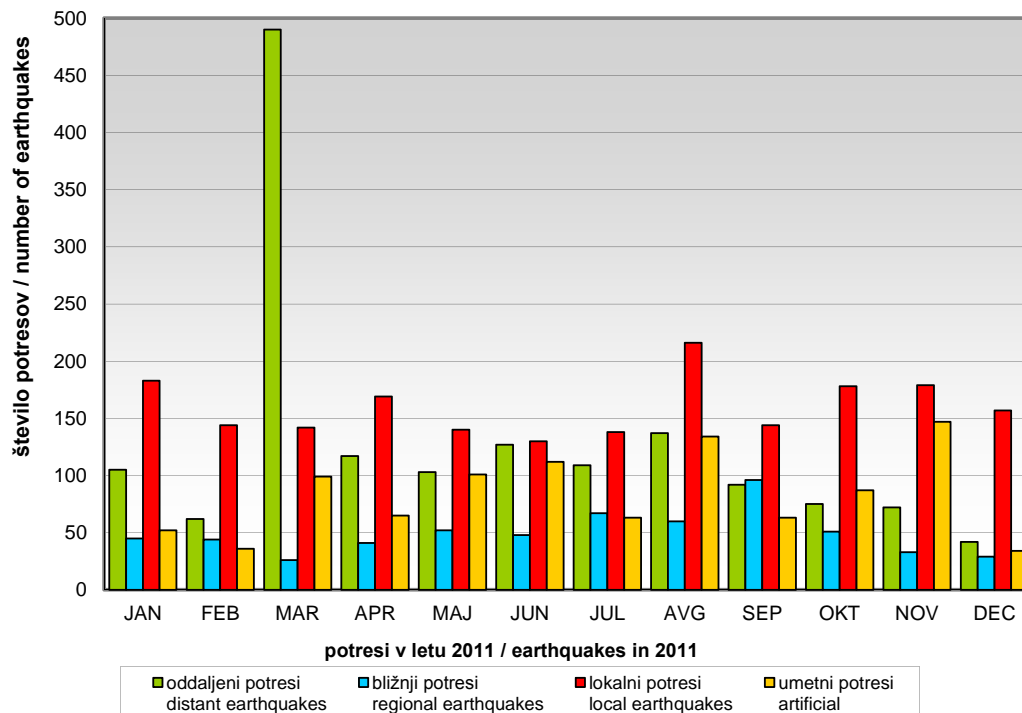
mesec	oddaljeni potresi	regionalni potresi	lokalni potresi	umetni potresi	potresi	dogodki
month	distant earthquakes	regional earthquakes	local earthquakes	artificial	earthquakes	events
januar January	105	45	183	52	333	385
februar February	62	44	144	36	250	286
marec March	490	26	142	99	658	757
april April	117	41	169	65	327	392
maj May	103	52	140	101	295	396
junij June	127	48	130	112	305	417
julij July	109	67	138	63	314	377
avgust August	137	60	216	134	413	547
september September	92	96	144	63	332	395
oktober October	75	51	178	87	304	391
november November	72	33	179	147	284	431
december December	42	29	157	34	228	262
skupaj Total	1531	592	1920	993	4043	5036
legenda Legend	Legenda: Oddaljeni potresi / Distant earthquakes $\Delta > 10^\circ (> 1.100 \text{ km})$ Regionalni potresi / Regional earthquakes $1,5^\circ < \Delta < 10^\circ (< 1.100 \text{ km})$ Lokalni potresi / Local earthquakes $\Delta \leq 1,5^\circ (\leq 160 \text{ km})$ $\Delta$ oddaljenost v kotnih stopinjah $1^\circ$ predstavlja približno 111,1 km					



potresi v letu 2011 / earthquakes in 2011

**Slika 4:** Skupno število potresnih dogodkov po mesecih v letu 2011.

**Figure 4.** Monthly distribution of all earthquakes in 2011.



*Slika 5: Število naravnih (oddaljenih, bližnjih in lokalnih posebej) in umetnih potresov po mesecih v letu 2011.*

*Figure 5. Monthly distribution of earthquakes and artificial events.*

## Literatura

- Agencija Republike Slovenije za okolje, 2011. Baza podatkov za potrese na ozemlju Slovenije leta 2011. Arhiv ARSO, Ljubljana.
- Boulder Real Time Technologies, inc. (online). 2012. Antelope Real Time System. Dostopno na naslovu: <http://www.brtt.com/>
- Mali, M., Tasič, I., Pančur, L., 2008. Vpliv brezprekinitvenega napajanja na delovanje potresne opazovalnice. Potresi v letu 2007 (ur. R. Vidrih), ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 54-59.
- Mali, M., Tasič, I., 2011. Posodobitev potresnih opazovalnic CRNS, GCIS in JAVS. Potresi v letu 2010 (ur. A. Gosar), ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 47-52.
- Prosen, T., 2006. Akceleroграфи slovenske mreže potresnih opazovalnic. Potresi v letu 2004 (ur. R. Vidrih), ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 185-188.
- Sinčič, P., Tasič, I., Živčič, M., Prosen, T., 2011. Potresne opazovalnice v Sloveniji v letu 2010. Potresi v letu 2010 (ur. A. Gosar), ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 7-16.
- Tasič, I., Pančur, L., Pfundner, I., Mali, M., 2011. Povečanje lokalnega pomnilnika za zajemalne enote Q730. Potresi v letu 2010 (ur. A. Gosar), ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 36-39.
- Trnkoczy, A., Vidrih, R., 1986. Seizmološka stanica Vojsko (VOY) u SR Sloveniji. Acta seismologica Iugoslavica 12, 17-34.

**Tamara Jesenko, Barbara Šket Motnikar, Mladen Živčić, Martina Čarman,  
Polona Zupančič, Ina Cecić**

## **POTRESI V SLOVENIJI LETA 2011 EARTHQUAKES IN SLOVENIA IN 2011**

### ***Povzetek***

*Leta 2011 je bila potresna dejavnost v Sloveniji manjša kot prejšnje leto. Državna mreža potresnih opazovalnic RS je zabeležila 1920 potresov v Sloveniji ali bližnji okolici, 20 jih je imelo lokalno magnitudo večjo ali enako 2,0. Prebivalci so čutili vsaj 38 potresnih sunkov, štirje so dosegli največjo intenziteto IV–V EMS-98. Potres z največjo magnitudo se je zgodil 20. avgusta ob 10. uri 49 minut po univerzalnem koordiniranem času (UTC) oziroma ob 12. uri in 49 minut po srednjeevropskem poletnem času (SEPČ) z nadžariščem pri Raki na Dolenjskem. Njegova lokalna magnituda je bila ocenjena s 3,1, največji učinki pa z intenziteto IV–V EMS-98. Devetindvajsetega julija se je ob 10. uri in 37 minut po UTC (12. uri in 37 minut po SEPČ) močnejše zatreslo pri Virnikovem Grintovcu v bližini slovensko avstrijske meje, 29. avgusta pa ob 6.43 po UTC (8.43 SEPČ) pri Jevnici. Lokalna magnituda obeh je bila 3,0. Leta 2011 ni bilo potresov, ki bi povzročili poškodbe objektov razen lasastih razpok v ometu.*

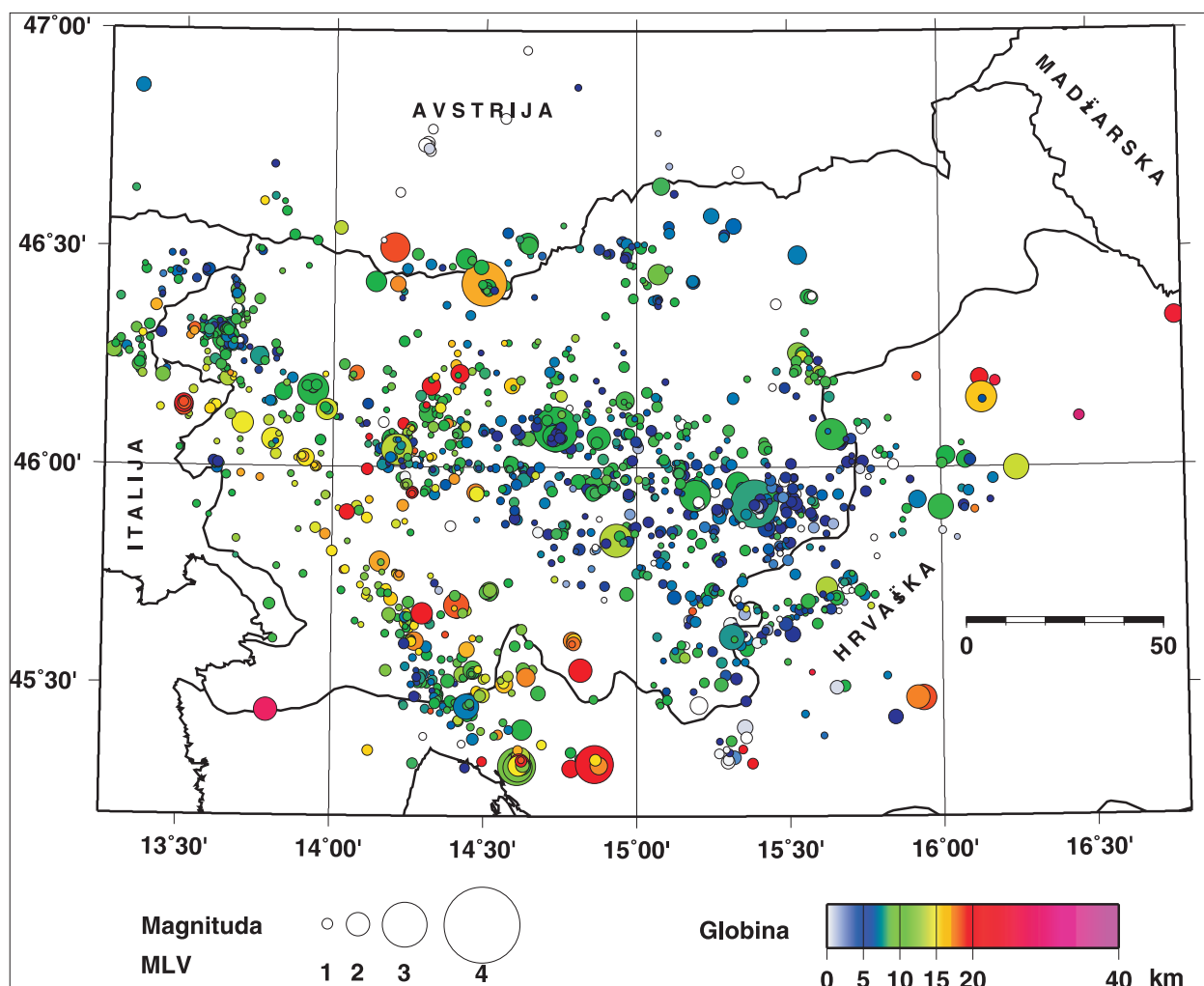
### ***Abstract***

*In 2011, earthquake activity in Slovenia was lower than a year before. Seismic network of the Republic of Slovenia recorded 1920 local earthquakes, twenty with a local magnitude higher or equal to 2.0. The inhabitants felt more than 38 earthquakes, four among them reached maximum intensity IV–V EMS-98. The largest earthquake was on 20 August at 10.49 UTC (12.49 Central European Summer time/ CEST) with epicentre in the vicinity of Raka na Dolenjskem. Its local magnitude was 3.1 and the highest intensity IV–V EMS-98. On 29 July at 10.37 UTC (12.37 CEST) a moderate earthquake occurred near Virnikov Grintovec near Slovenia–Austria border and on 29 August in the area near Jevnica at 6.43 UTC (8.43 CEST). Local magnitude of both events was 3.0. There were no earthquakes in year 2011 that caused damage to buildings.*

### **Uvod**

Leta 2011 je bila potresna dejavnost v Sloveniji manjša kot leto prej (ARSO, 2011–2012). Najmočnejši potres z lokalno magnitudo 3,1 se je zgodil v bližini Rake na Dolenjskem 20. avgusta ob 10. uri 49 minut po svetovnem koordiniranem času (UTC) oziroma ob 12. uri 49 minut po srednjeevropskem poletnem času. Največje učinke (IV–V EMS-98) je dosegel v naselju Arto. Kratica EMS-98 je okrajšava za zadnjo različico evropske potresne lestvice iz leta 1998 (Grünthal, 1998a, 1998b), rimska številka pred njo pa pove stopnjo intenzitete.

Januarja so prebivalci čutili potrese pri Cerknem, Ivančni Gorici in v okolici Slovenj Gradca. Februarja se je zatreslo na obrobju Ljubljanskega barja in pri Črnomlju. Marca so se vrstili potresi na območju Porezna, Brežic, Lepene, Kostanjevice na Krki in Dragatuša. Prebivalci pa so čutili tudi potres, ki je imel žarišče v Gemoni v Italiji. Aprila so prebivalci čutili tri šibke potrese na območju Čepovana in dva na Bovškem. V maju ni bilo potresov, ki bi jih prebivalci čutili. Junija se je zatreslo pri Žužemberku. Konec julija so prebivalci čutili potres pri Brežicah in tistega, ki se je zgodil na slovenski meji z Avstrijo, v bližini Virnikovega Grintovca. Avgusta so prebivalci v začetku meseca čutili dva potresa na Tolminskem, enega pri Srebrniku, tri potrese pri Senožetih in enega pri Tolminskih Ravnah, v drugi polovici meseca pa potresa v bližini Dolenja pri Jelšanah in Rake na Dolenjskem. Konec meseca se je še enkrat streslo pri Senožetih. Septembra je bilo čutiti učinke štirih potresov, pri Tenetišah, na območju Gradiških Laz, pri Otoku in Hrastniku. Oktobra se je zatreslo pri Horjulu in Kneži. V mesecu novembru so prebivalci Slovenije čutili štiri potrese, dva pri Cerknem, potres v okolici Novega Mesta ter potres, ki se je zgodil na območju Stola na slovensko avstrijski meji. Konec decembra se je treslo v bližini Maribora.

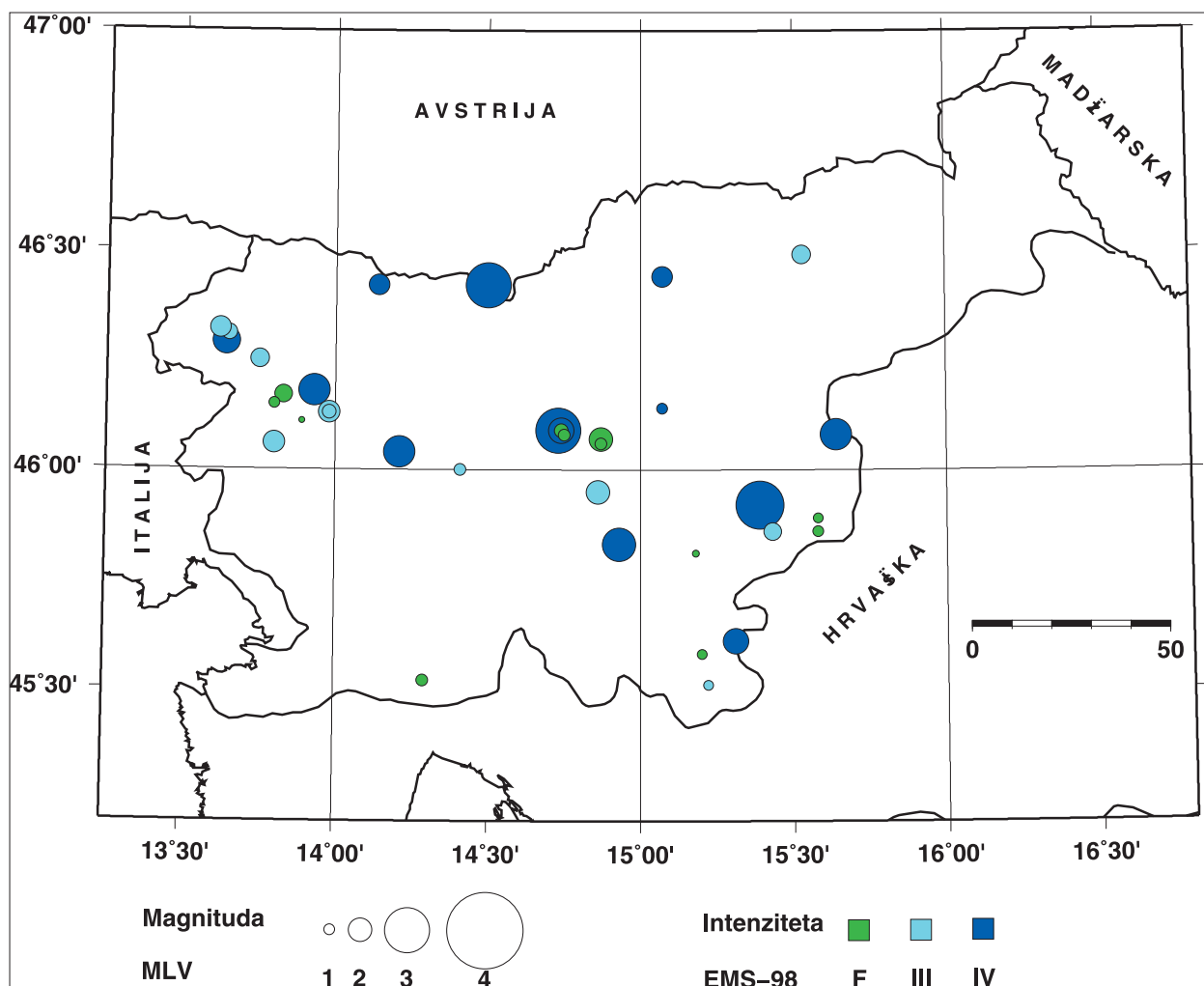


**Slika 1:** Nadžarišča potresov leta 2011, ki smo jim določili žariščni čas, koordinati nadžarišča in globino žarišča. Barva simbola ponazarja žariščno globino, njegova velikost pa vrednost lokalne magnitude  $M_{LV}$ . Slika je bila narejena s programom GMT (Wessel in Smith, 1991, 1998).

**Figure 1.** Distribution of epicentres in 2011, whose hypocentral time, epicentral coordinates and focal depth were calculated; coloured symbol of varying size gives information on focal depth and local magnitude  $M_{LV}$ . Figure was made using GMT software (Wessel and Smith, 1991, 1998).

V preglednici 1 so osnovni podatki 80 lokalnih potresov z opredeljeno lokalno magnitudo večjo ali enako 1,5 ter 15 šibkejših potresov, ki so jih prebivalci Slovenije čutili. Za vsak potres posebej smo navedli datum, žariščni čas (h:m:s UTC), koordinati nadžarišča (zemljepisna širina (z. šir. °N), zemljepisna dolžina (z. dolž. °E)), žariščno globino (h km), povprečno vrednost lokalne magnitude ( $M_{LV}$ ), največjo intenziteto ( $I_{max}$  EMS-98), ki jo je potres dosegel v Sloveniji, število opazovalnic (nst), ki so prispevale podatke, in celotno napako (kvadratni koren srednje kvadratne napake RMS v sekundah) pri izračunu žariščnega časa. V stolpcu »potresno območje« je za večino nadžarišč v Sloveniji ime naselja, ki je najbližje nadžarišču in je navedeno v seznamu naselij Geodetske uprave RS (RGU, 1995). Če podatki niso zadoščali za nedvoumno določitev intenzitete, smo potresu pripisali razpon mogočih vrednosti (npr. IV–V). Z besedo zvok so označeni tisti potresi, pri katerih so prebivalci Slovenije poročali le o zvoku, niso pa čutili tresenja tal.

Za opredelitev osnovnih parametrov potresov, navedenih v preglednici 1, smo uporabili analize zapisov potresov na potresnih opazovalnicah državne mreže v Sloveniji (ARSO, 2011–2012) ter v Avstriji (ZAMG 2011–2012), na Hrvaškem (GZAM 2011–2012), v Italiji (OGS 2011) in na Madžarskem (Tóth in sod., 2012). Žariščni čas, to je čas, ko je potres nastal, koordinati nadžarišča



**Slika 2:** Nadžarišča potresov, ki so jih leta 2011 čutili prebivalci Slovenije. Barva simbola ponazarja največjo doseženo intenziteto v Sloveniji, njegova velikost pa vrednost lokalne magnitude  $M_{LV}$ . Slika je bila narejena s programom GMT (Wessel in Smith, 1991, 1998).

**Figure 2.** Epicentres of earthquakes felt in Slovenia in 2011. Size of symbols represents local magnitude and colour represents maximal intensity reached in Slovenia. Figure was prepared using GMT software (Wessel and Smith, 1991, 1998).

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

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

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

kjer je D oddaljenost nadžarišča do potresne opazovalnice v kilometrih.

V preglednici 1 je podana povprečna vrednost  $M_{LV}$  za opazovalnice v Sloveniji. Največja intenziteta ( $I_{max}$ ), ki jo je potres dosegel na ozemlju Slovenije, je opredeljena po evropski potresni lestvici (EMS-98).



**Preglednica 1.** Seznam potresov leta 2011 z lokalno magnitudo večjo ali enako 1,5 in smo jim lahko izračunali žariščni čas, koordinati nadžarišča (epicentra) in globino žarišča. Pri nekaterih potresih je navedena še največja intenziteta. V preglednici je tudi 15 potresov s sicer manjšo lokalno magnitudo, a so jih prebivalci Slovenije čutili.

**Table 1.** List of earthquakes with  $M_{LV} \geq 1.5$  in 2011 for which the hypocentral time, coordinates of the epicentre and the focal depth were calculated; the maximal intensity of felt earthquakes is also provided. Information about 15 earthquakes with lower magnitude, that were felt by inhabitants of Slovenia, is also included.

datum	čas (UTC)	z. šir.	z. dolž.	h	nst	RMS	$M_{LV}$	$I_{max}$	potresno območje
	hh:mm:ss					°N		°E	
date	time (UTC)	lat	lon	h	nst	RMS	$M_{LV}$	$I_{max}$	epicentral area
	hh:mm:ss					°N		°E	
4. 1. 2011	21:10:12,5	46,11	13,89	11	6	0,2	0,1	čutili	Daber
7. 1. 2011	16:45:50,2	45,95	14,86	12	36	0,3	2,0	III-IV	Šentpavel na Dolenjskem
8. 1. 2011	05:16:56,1	46,05	14,22	8	35	0,5	1,7		Planina nad Horjulom
9. 1. 2011	02:11:41,9	46,44	15,07	13	36	0,5	1,8	IV	Spodnji Razbor
14. 1. 2011	13:15:42,8	45,52	14,43	13	23	0,3	1,5		Gomance, meja Slovenija - Hrvaška
15. 1. 2011	13:06:10,0	46,12	14,31	12	32	0,4	1,6		Sv. Barbara
17. 1. 2011	05:03:48,2	45,45	14,45	12	39	0,6	1,7		Obruč, Hrvaška
21. 1. 2011	02:10:26,4	45,54	14,82	20	33	0,6	2,0		Gornja Briga
25. 1. 2011	09:12:46,8	46,26	15,53	13	27	0,4	1,8		Sladka Gora
1. 2. 2011	15:41:58,8	46,64	15,08	8	11	0,3	1,6		Mlake, meja Slovenija - Avstrija
4. 2. 2011	11:25:13,1	46,00	14,41	8	22	0,4	1,2	III-IV	Žabnica
5. 2. 2011	12:25:52,5	45,72	15,62	14	15	0,4	1,9		Ivančiči, Hrvaška
8. 2. 2011	22:10:39,8	46,19	14,59	16	34	0,4	1,5		Nožice
12. 2. 2011	12:01:13,6	46,10	13,70	15	37	0,4	1,9		Levpa
21. 2. 2011	22:54:02,8	45,58	15,20	12	6	0,2	0,9	čutili	Črnomelj
27. 2. 2011	12:30:56,1	46,19	14,32	20	38	0,4	1,7		Papirnica
3. 3. 2011	05:24:53,8	46,18	13,93	11	58	0,6	2,4	IV-V	Hudajužna
8. 3. 2011	05:56:21,5	46,26	15,55	10	15	0,2	1,5		Lemberg pri Šmarju
9. 3. 2011	08:47:16,8	45,86	15,58	1	7	0,4	1,0	čutili	Brežice
11. 3. 2011	01:06:32,8	46,28	13,24	11	47	1,4	2,4	čutili	Gemona, Italija
15. 3. 2011	11:32:19,7	46,09	14,75	6	12	0,4	1,5		Senožeti
16. 3. 2011	22:38:53,0	45,40	15,35	0	9	0,4	1,5		Korenič Brdo, Hrvaška
18. 3. 2011	04:28:20,3	46,31	13,65	8	37	0,5	1,5	III-IV	Lepena
20. 3. 2011	03:14:24,5	45,86	15,43	6	14	0,2	1,6	III-IV	Kostanjevica na Krki
22. 3. 2011	08:54:22,2	45,51	15,22	11	4	0,4	0,9	III	Dragatuš
1. 4. 2011	06:00:26,6	46,06	13,80	15	31	0,4	1,9	III	Čepovan
8. 4. 2011	10:07:31,9	45,60	14,79	17	9	0,3	1,5		Primoži
21. 4. 2011	22:44:38,3	45,50	14,57	16	12	0,3	1,6		Buča, Hrvaška
24. 4. 2011	00:05:38,0	46,29	13,64	9	60	1,2	2,2	IV	Lepena
28. 4. 2011	11:30:30,8	45,95	15,20	7	29	0,5	2,2		Škovec
30. 4. 2011	03:05:49,9	46,51	14,64	11	21	0,5	1,8		Bad Eisenkappel, Avstrija
30. 4. 2011	09:20:17,3	46,32	13,62	11	32	0,4	1,8	III	Lepena

datum	čas (UTC)	z. šir.	z. dolž.	h	nst	RMS	M <sub>LV</sub>	I <sub>max</sub>	potresno območje
	hh:mm:ss	°N	°E	km		s		EMS 98	
date	time (UTC)	lat	lon	h	nst	RMS	M <sub>LV</sub>	I <sub>max</sub>	epicentral area
	hh:mm:ss	°N	°E	km		s		EMS 98	
6. 5. 2011	09:24:47,0	46,15	14,96	12	28	0,4	1,7		Zavine
15. 5. 2011	10:05:28,1	45,96	15,33	10	37	0,4	2,0		Osredok pri Hubajnici
18. 5. 2011	08:01:41,8	46,51	14,64	11	23	0,4	1,6		Bad Eisenkappel, Avstrija
18. 5. 2011	23:45:14,1	46,55	15,32	7	14	0,3	1,5		Janževski Vrh
4. 6. 2011	15:31:26,2	46,58	15,25	7	10	0,2	1,5		Sv. Anton na Pohorju
10. 6. 2011	04:52:41,4	46,06	14,73	9	30	0,3	1,7		Tuji Grm
10. 6. 2011	06:17:45,5	45,83	14,93	14	43	0,5	2,5	IV	Žužemberk
17. 6. 2011	17:18:33,1	45,54	14,46	12	31	0,5	1,7		Mirin, meja Slovenija - Hrvaška
23. 6. 2011	15:02:13,5	45,52	14,64	17	22	0,5	1,7		Gerovo
1. 7. 2011	16:02:43,4	46,20	16,13	22	16	0,5	1,6		Prigorec, Hrvaška
5. 7. 2011	16:52:14,7	46,20	13,65	14	12	0,3	1,5		Kamno
23. 7. 2011	21:34:14,2	45,68	14,41	18	48	0,4	2,1		Dane
24. 7. 2011	16:49:04,0	45,89	15,58	5	10	0,2	0,9	čutili	Brežice
29. 7. 2011	10:37:33,5	46,42	14,50	17	68	0,5	3,0	IV	Virnikov Grintavec, meja Slo. - Av.
29. 7. 2011	11:04:04,8	46,41	14,51	11	23	0,4	1,5		Virnikov Grintavec, meja Slo. - Av.
5. 8. 2011	19:56:23,3	46,15	13,80	11	7	0,2	0,7	čutili	Bača pri Modreju
5. 8. 2011	20:10:13,7	46,50	14,20	18	59	0,5	2,3		Strugarjach, Avstrija
6. 8. 2011	19:28:01,0	46,15	13,80	7	17	0,5	1,0	čutili	Bača pri Modreju
7. 8. 2011	21:41:38,5	46,08	15,64	9	53	0,5	2,4	IV-V	Srebrnik
10. 8. 2011	03:20:34,6	46,09	14,74	9	58	0,5	2,1	IV	Senožeti
10. 8. 2011	03:27:17,7	46,09	14,74	7	23	0,4	1,3	čutili	Senožeti
10. 8. 2011	04:15:08,2	46,08	14,75	6	18	0,4	1,2	čutili	Senožeti
11. 8. 2011	22:55:50,3	46,21	14,42	20	32	0,4	1,7		Voklo
12. 8. 2011	06:42:18,3	46,25	13,75	8	31	0,5	1,7	III	Tolminske Ravne
14. 8. 2011	00:30:33,6	45,94	14,86	11	36	0,4	1,5		Radohova Vas
16. 8. 2011	08:44:05,0	45,45	14,44	7	44	0,5	2,1		Obruč, Hrvaška
18. 8. 2011	04:03:07,3	45,52	14,29	8	24	0,5	1,2	zvok	Dolenje pri Jelšanah
19. 8. 2011	07:34:15,6	46,26	13,27	13	31	0,5	1,5		Lusevera, Italija
20. 8. 2011	10:49:04,2	45,92	15,39	8	53	0,4	3,1	IV-V	Raka na Dolenjskem
28. 8. 2011	03:23:29,5	45,72	15,25	10	30	0,3	1,5		Jugorje pri Metliki
29. 8. 2011	06:43:06,6	46,09	14,73	9	73	0,6	3,0	IV-V	Senožeti
5. 9. 2011	05:46:11,1	45,94	15,19	11	47	0,5	2,4		Srednje Lanknice
14. 9. 2011	07:35:00,2	45,62	15,51	6	10	0,3	1,5		Trg, Hrvaška
16. 9. 2011	08:06:17,5	46,07	14,87	11	35	0,5	2,0	čutili	Tenetiše
19. 9. 2011	05:15:47,9	46,07	14,19	11	8	1,6	1,6		Prelesje
20. 9. 2011	07:05:17,3	46,06	14,87	9	25	0,3	1,2	čutili	Gradiške Laze
21. 9. 2011	14:59:35,1	45,60	14,27	17	29	0,3	1,7		Šembije
24. 9. 2011	22:55:32,5	45,61	15,31	8	48	0,4	2,1	IV	Otok, meja Slovenija - Hrvaška

datum	čas (UTC)	z. šir.	z. dolž.	h	nst	RMS	M <sub>LV</sub>	I <sub>max</sub>	potresno območje
	hh:mm:ss	°N	°E	km		s		EMS 98	
date	time (UTC)	lat	lon	h	nst	RMS	M <sub>LV</sub>	I <sub>max</sub>	epicentral area
	hh:mm:ss	°N	°E	km		s		EMS 98	
26. 9. 2011	01:14:07,5	46,14	15,07	9	22	0,4	1,0	IV	Hrastnik
2. 10. 2011	17:45:59,0	45,60	14,79	17	24	0,5	1,6		Primoži
6. 10. 2011	18:19:15,0	45,78	14,16	17	31	0,4	1,8		Hrenovice
7. 10. 2011	11:28:33,6	46,13	13,51	18	15	0,2	1,7		Scrutto, Italija
7. 10. 2011	11:29:17,4	46,14	13,51	17	10	0,1	1,6		Scrutto, Italija
7. 10. 2011	11:29:21,5	46,14	13,51	19	5	0,1	1,7		Scrutto, Italija
20. 10. 2011	14:25:21,7	45,94	14,47	17	37	0,4	1,6		Strahomer
22. 10. 2011	18:53:39,9	46,17	13,83	11	45	0,5	1,6	zvok	Kneža
4. 11. 2011	11:49:49,1	46,07	14,73	10	36	0,5	1,9		Zgornja Jevnica
5. 11. 2011	13:23:32,7	46,42	14,21	17	36	0,5	1,5		Begunjščica
5. 11. 2011	17:36:33,2	46,13	13,98	7	34	0,5	1,3	III	Cerkno
9. 11. 2011	04:40:48,8	46,01	14,59	11	28	0,4	1,5		Orle
9. 11. 2011	14:24:59,0	45,40	14,62	11	17	0,4	1,8		Tisovac, Hrvaška
9. 11. 2011	15:15:54,1	45,57	15,13	8	15	0,4	1,5		Mavrlen
12. 11. 2011	21:08:26,5	46,13	13,98	14	56	0,5	1,9	III-IV	Cerkno
19. 11. 2011	15:54:27,2	45,72	14,52	13	24	0,5	1,7		Knežja Njiva
21. 11. 2011	09:37:56,2	46,48	14,43	9	26	0,4	1,8		Freiberg, Avstrija
27. 11. 2011	21:12:44,8	45,81	15,18	11	7	0,6	0,5	zvok	Novo mesto
28. 11. 2011	01:27:20,4	46,42	14,14	11	61	0,6	1,8	IV	Stol, meja Slovenija - Avstrija
1. 12. 2011	11:39:15,5	46,02	13,91	15	23	0,3	1,6		Vojsko
3. 12. 2011	12:36:55,7	45,58	14,44	16	21	0,5	1,5		Snežnik
25. 12. 2011	12:53:15,9	45,45	15,20	0	3	0,1	1,6		Sinji Vrh
27. 12. 2011	06:03:45,7	46,49	15,53	7	25	0,6	1,7	III	Frajhajm
31. 12. 2011	01:33:02,8	45,66	14,30	20	53	0,6	1,9		Jurišče
31. 12. 2011	03:00:50,4	45,90	14,05	19	42	0,4	1,5		Kanji Dol

Seizmografi državne mreže potresnih opazovalnic so leta 2011 zaznali 1920 potresov, ki smo jim lahko določili lokalno magnitudo in lego žarišča v Sloveniji oziroma v njeni neposredni bližini (slika 1). Na sliki velikost kroga podaja lokalno magnitudo, medtem ko barva označuje globino potresnega žarišča. Seizmografi so zapisali tudi vsaj 993 umetnih potresov (razstreljevanj).

Prebivalci Slovenije so leta 2011 čutili več kot 38 potresnih sunkov. Natančnejšega števila ni bilo mogoče določiti, ker so opazovalci v svojih opisih včasih podali le opažanja, ki jih ni bilo mogoče pripisati točno določenemu dogodku, ali pa so navedli le število potresov, ki so jih čutili v tem dnevu, ne pa tudi njihovega časa. Nadžarišča (epicentri) potresov so prikazana na sliki 2. Velikost kroga označuje lokalno magnitudo, barva pa največjo intenziteto potresa, ki jo je dosegel potres. Štirje potresi so dosegli največjo intenziteto IV–V EMS-98.

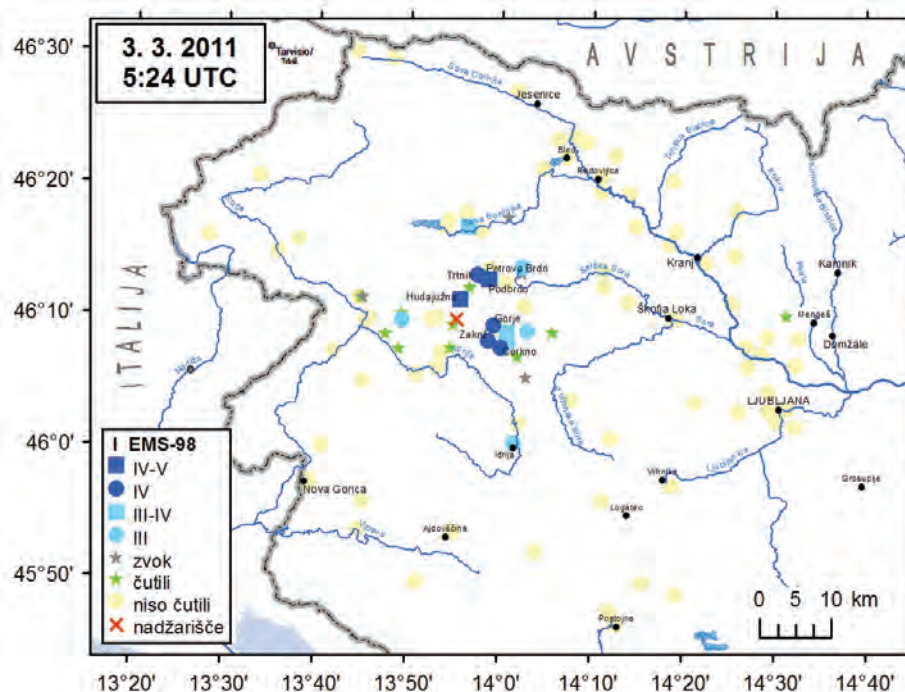
### Podatki o nekaterih močnejših potresih, ki so jih čutili prebivalci Slovenije

Leta 2011 so prebivalci v Sloveniji čutili 38 potresov. Opisani so le tisti, ki so dosegli največje učinke vsaj IV EMS-98. Intenziteta štirih potresov je ocenjena na IV–V EMS-98. Karte intenzitete

nekaterih opisanih potresov z vrisanim instrumentalno določenim nadžariščem so prikazane na slikah 3–8. Intenziteta potresa v posameznem naselju je ocenjena na podlagi makroseizmičnih vprašalnikov, ki jih pošiljamo prostovoljnim opazovalcem po potresu in nam jih ti izpolnjene vrnejo, ter elektronskih vprašalnikov, ki jih opazovalci izpolnijo na naši spletni strani (<http://www.arso.gov.si/potresi/vprašalnik>). Na sliki 9 so prikazana vsa naselja, od koder smo dobili podatke, da so čutili učinke katerega izmed teh 38 potresov, barva in znak na sliki pa opredeljujeta največjo intenziteto, doseženo v tem naselju leta 2011. V nadaljevanju so vse navedene magnitude lokalne magnitude.

**9. januar 2011 ob 2. uri 11 minut po UTC.** Potres z nadžariščem v okolici Slovenj Gradca in magnitudo 1,8 je dosegel največje učinke (IV EMS-98) v Šmartnem. Tamkajšnje prebivalce je prestrašilo tudi močno hrumenje, ki so ga nekateri zamenjali za nalet avtomobila v hišo, eksplozijo peči za centralno kurjavo ali s tem, da je razgnalo sod mošta. Potres so čutili tudi na Tolstem vrhu, v Slovenj Gradcu, Muti, Tomaški vasi, Turiški vasi, Mislinjski Dobravi in Razborci.

**3. marec 2011 ob 5. uri 24 minut po UTC (slika 3).** Nadžarišče potresa z magnitudo 2,4 je bilo severno od Cerkna. Potres so najbolj občutili prebivalci Baške grape, predvsem Podbrda in Hudajuzne (IV–V EMS-98), od koder so poročali tudi o posameznih lasastih razpokah v ometu in odpadanju koščkov ometa. V Cerknem, Gorjah, Zakrižu in na Petrovem Brdu so učinki dosegli IV EMS-98, potresni sunek pa so zaznali tudi drugi prebivalci območja med Bohinjsko Bistrico, Tolminom, Idrijo in Gorenjo vasjo.



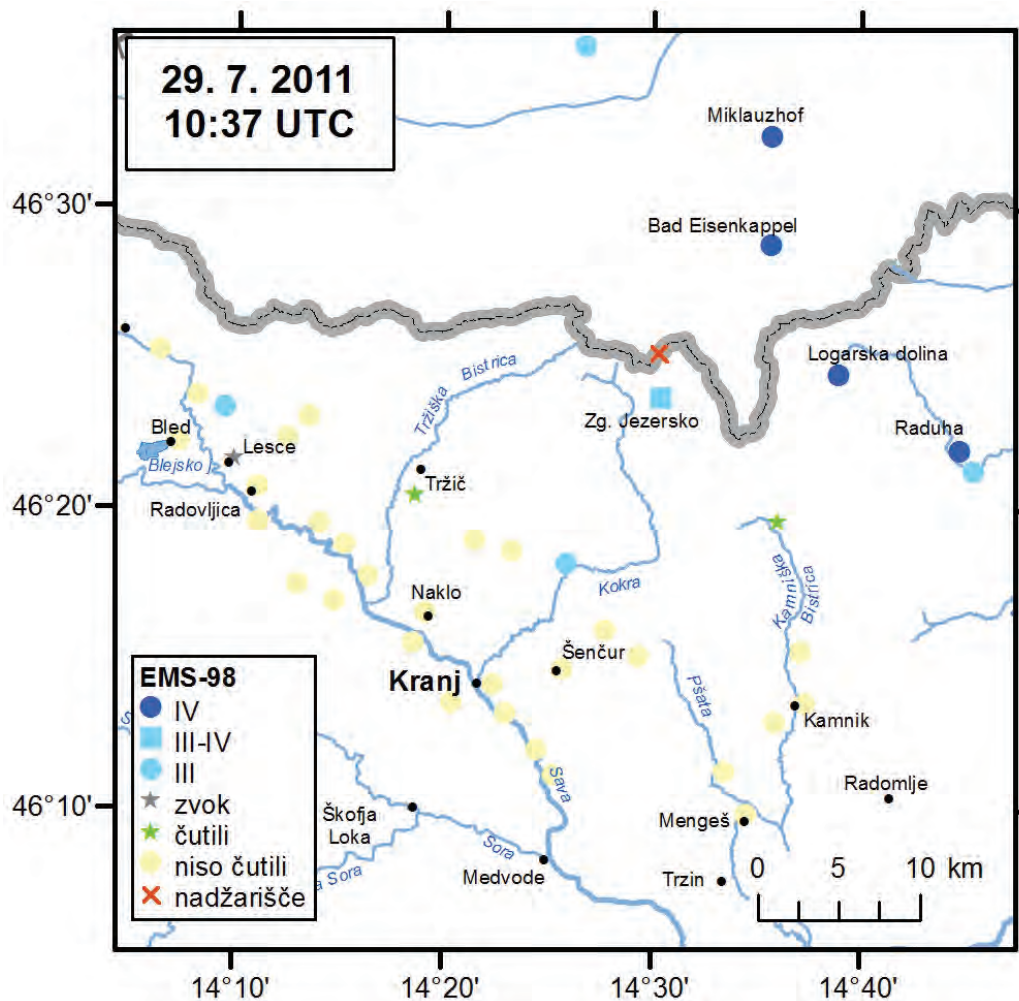
*Slika 3: Intenziteta potresa 3. marca 2011 ob 5. uri 24 minut po UTC v posameznih naseljih.*

*Figure 3. Intensity of earthquake on 3 March 2011 at 5.24 UTC in individual settlements.*

**24. april 2011 ob 0. uri 5 minut po UTC.** Tudi v tem letu se prebivalci Zgornjega Posočja niso izognili potresu. Potres z nadžariščem v Lepeni in magnitudo 2,2 so čutili v Drežnici, Kobaridu, Bovcu in Čepovanu. Opisovali so predvsem škripanje sten, žvenket šip in tresenje pohištva.

**10. junij 2011 ob 6. uri 17 minut po UTC.** Potres z nadžariščem pri Straži so najbolj občutili domačini in prebivalci Novega mesta. Tresenje tal in spremljajoče bobnenje pa so opisovali tudi v naseljih Dvor, Hrib pri Hinjah, Hinje, Žužemberk in Biška vas. Magnituda potresa je bila 2,5.





*Slika 4: Intenziteta potresa 29. julija 2011 ob 10. uri 37 minut po UTC v posameznih naseljih.*

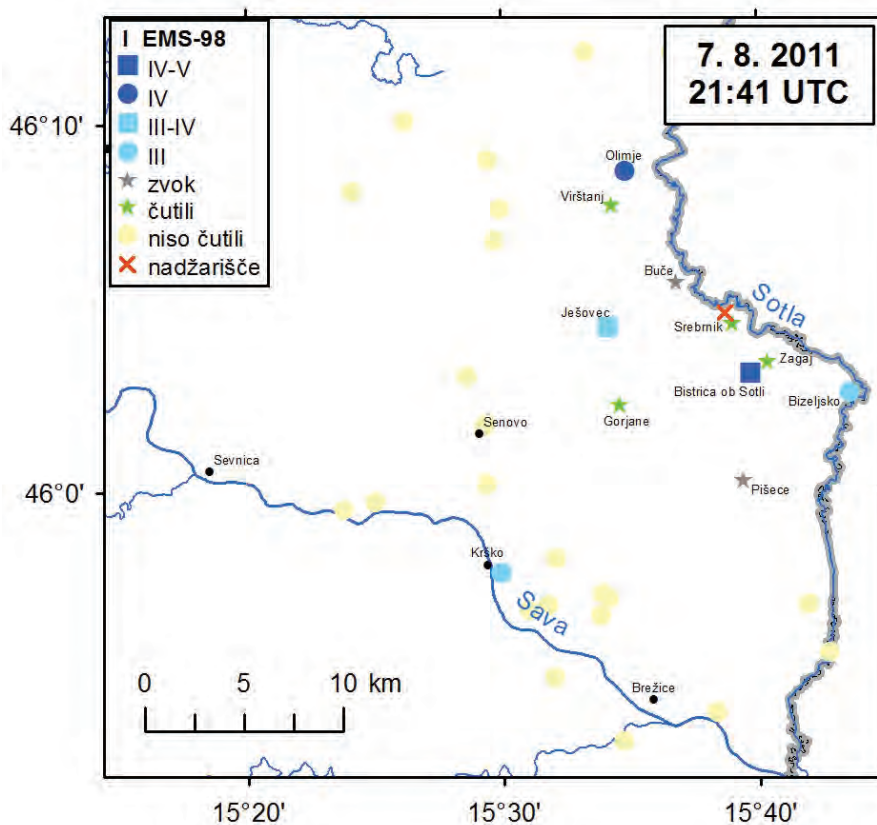
*Figure 4. Intensity of earthquake on 29 July 2011 at 10.37 UTC in individual settlements.*

**29. julij 2011 ob 10. uri 37 minut po UTC (slika 4).** Drugi najmočnejši potres leta 2011 je imel magnitudo 3,0, vendar zaradi redko poseljenega nadžariščnega območja ni povzročil preplaha in tudi materialne škode ni bilo. V Logarski dolini in v naselju Raduha je dosegel učinke IV EMS-98, čutili pa so ga tudi na Zgornjem Jezerskem ter posamezniki v Lučah ob Savinji, Kamniški Bistrici, Križah, Preddvoru, Lescah in Vrbi. Po podatkih avstrijske seizmologinje Rite Meurers z inštituta za meteorologijo in geodinamiko ZAMG je bila v Avstriji v naseljih Miklauzhof (Slov. Miklavčevo) in Bad Eisenkappel (Slov. Železna Kapla) dosežena intenziteta IV EMS-98, v naseljih Obermieger (Slov. Zgornje Medgorje) in Kirschentheuer (Slov. Kožentavra) pa III EMS-98.

**7. avgust 2011 ob 21. uri 41 minut po UTC (slika 5).** Avgusta so se zgodili kar trije potresi z učinki IV–V EMS-98 in sicer 7., 20. in 29. avgusta. Prvi med njimi z magnitudo 2,4 se je zgodil pri Srebrniku. Iz Zagaja so poročali o majhnih poškodbah v ometu, v Olimjah smo ocenili intenziteto IV, v Ješovcu III–IV, na Bizeljskem in v Krškem pa III EMS-98. »Zazibalo nas je kakor na gugalnici, vse – stavba, pohištvo, jaz,« nam je živo opisala opazovalka iz Krškega. O potresu so nas obvestili tudi iz naselij Pišece, Buče, Šentvid pri Planini, Gorjane, Srebrnik, Virštanj ter Bistrica ob Sotli.

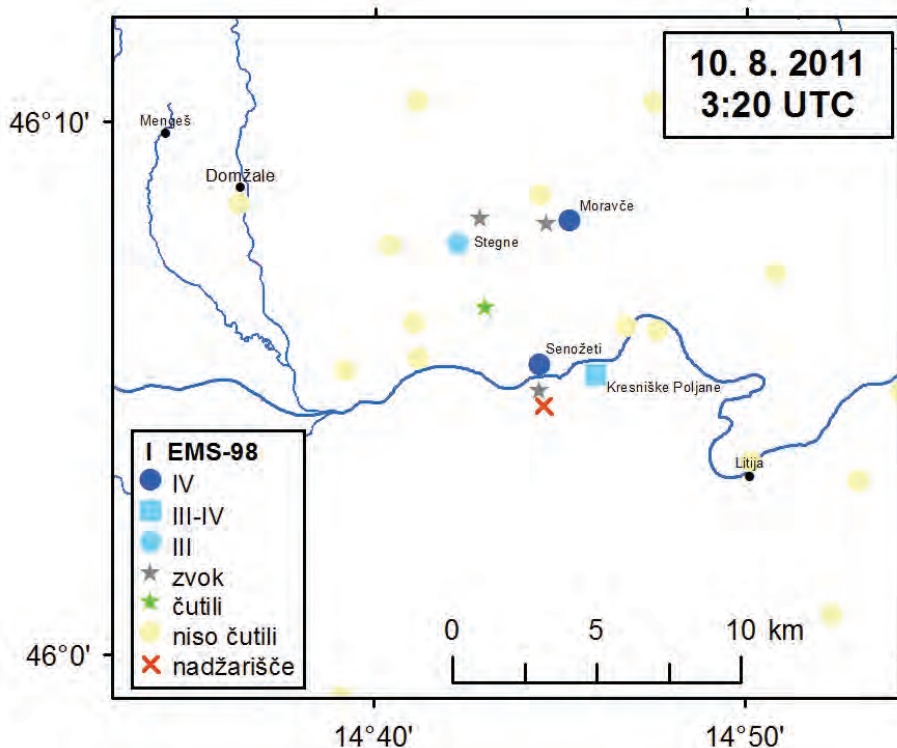
**10. avgust 2011 ob 3. uri 20 minut po UTC (slika 6).** Ta dan se je v zgodnjih jutranjih urah kar trikrat zatreslo v Senožetih in prebudilo tamkajšnje prebivalce, pa tudi posameznike v Moravčah in Kresniških Poljanah. Najmočnejši, ob 3. uri in 20 minut, je imel magnitudo 2,1. Opazovalci so zaznali, da je bilo tresenje navpično, kar je značilno za bližnje potrese. Zvok ali tresenje so opisali





*Slika 5: Intenziteta potresa 7. avgusta 2011 ob 21. uri 41 minut po UTC v posameznih naseljih.*

*Figure 5. Intensity of earthquake on 7 August 2011 at 21.41 UTC in individual settlements.*



*Slika 6: Intenziteta potresa 10. avgusta 2011 ob 3. uri 20 minut po UTC v posameznih naseljih.*

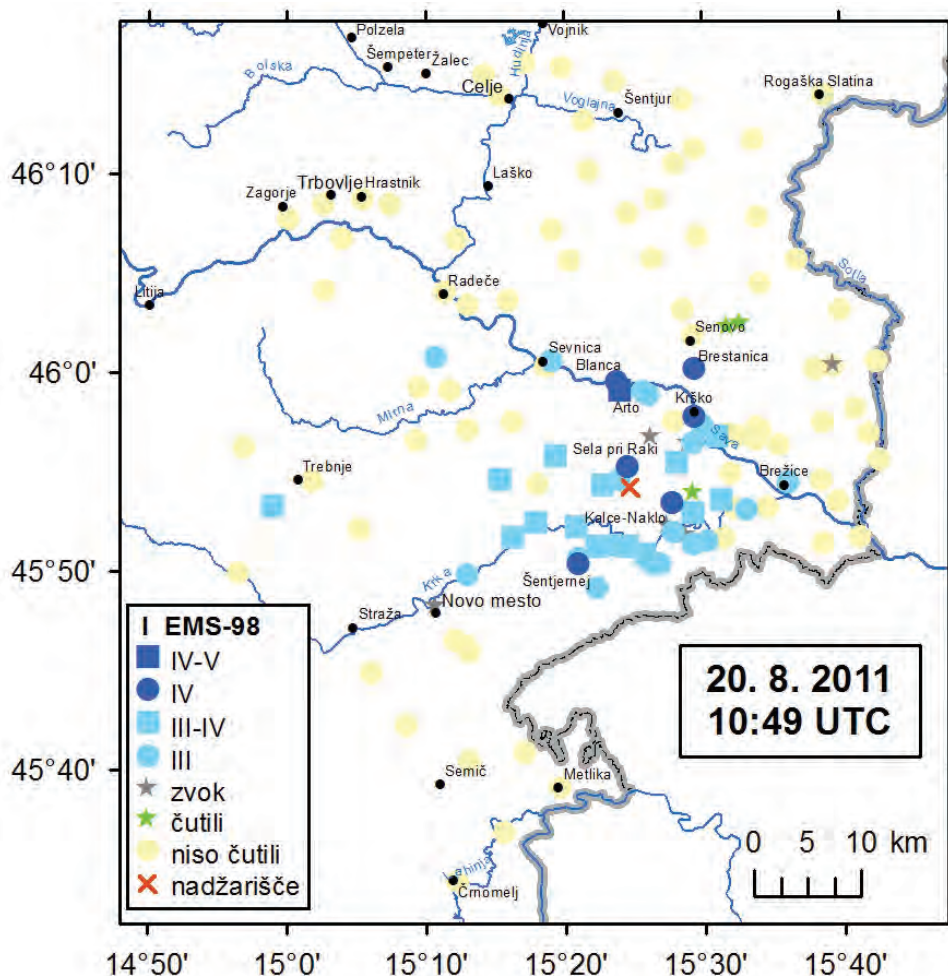
*Figure 6. Intensity of earthquake on 10 August 2011 at 3.20 UTC in individual settlements.*

tudi v Stegnah, Jevnici, Dvorjah, Rudniku pri Moravčah in v Zagorici pri Dolskem. Dva manjša potresna sunka ob 3:27 in 4:15 po UTC sta imela magnitudo 1,3 oziroma 1,2.

**20. avgust 2011 ob 10. uri 49 minut po UTC (slika 7).** Najmočnejši potres leta 2011 je imel magnitudo 3,1, nadžarišče pa je bilo pri Raki na Dolenjskem. Nekaj kilometrov severno, v naselju Arto, so na eni zgradbi nastale lasaste razpoke v ometu (IV–V EMS-98). Učinke IV EMS-98 smo ocenili v Krškem, Selah pri Raki, Brestanici, Blanci, Šentjerneju in v naselju Kalce-Naklo. Ta potres je čutilo kar 75 naših prostovoljnih opazovalcev. Prejeli smo doživet opis potresa iz vasi Bučka na Dolenjskem: »Sedeli smo na prostem, ječalo je v bližnjem gozdu, podrhtavala so tla in slišalo se je bobnenje v notranjosti.« Območje zaznavanja potresa je približno omejeno s kraji Sevnica, Senovo, Trebnje, Novo mesto ter Brežice.

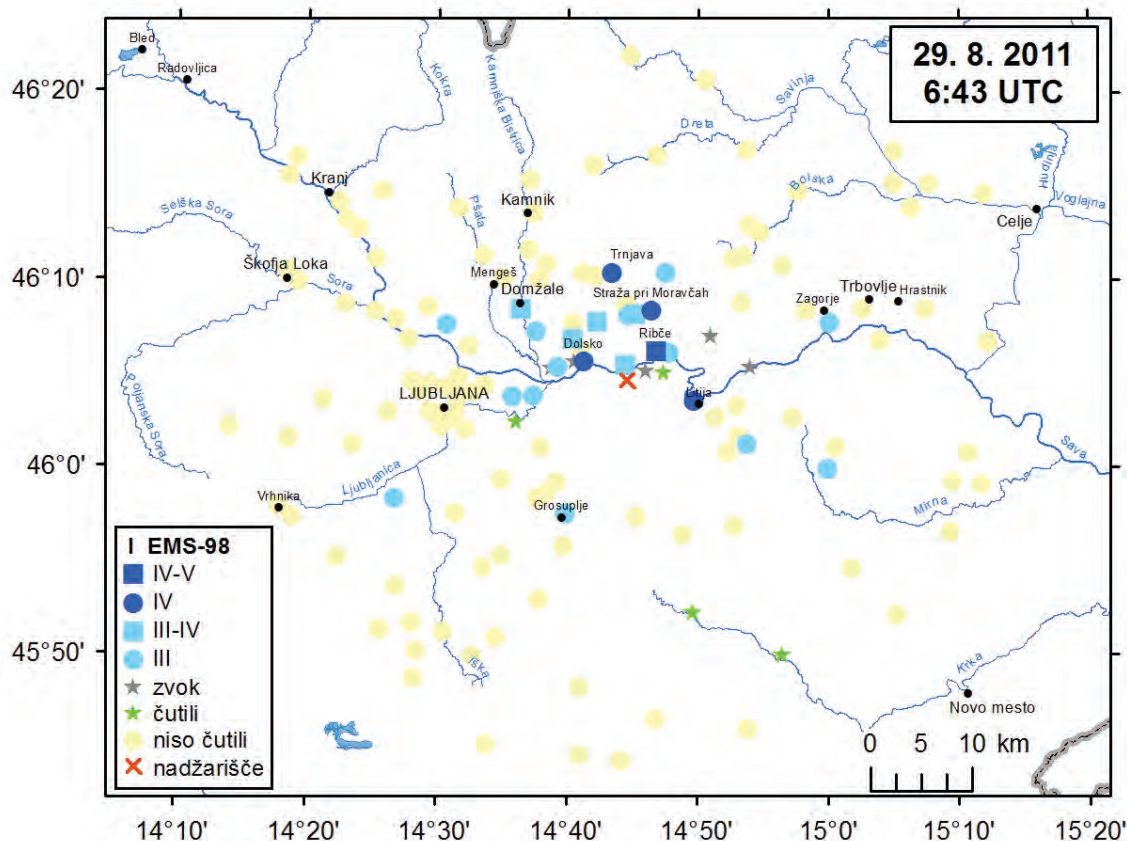
**29. avgust 2011 ob 6. uri 43 minut po UTC (slika 8).** Še en zmeren potresni sunek magnitude 2,9 je nastal južno od Jevnice in Senožeti. Tudi tokrat ni bilo materialne škode razen nekaj lasastih razpok v ometu v Ribčah (IV–V EMS-98) in v naselju Sava. Učinke IV EMS-98 smo zabeležili v Litiji, Dolskem, Straži pri Moravčah in v Trnjava, stopnjo III–IV EMS-98 pa v Domžalah, Moravčah, Senožetih, Vinjah in Stegnah. Potres so čutili tudi v Ljubljani, skrajne meje zaznavnega tresenja pa so Trzin, Zagorje ob Savi, Žužemberk, Grosuplje in Jezero. Zanimivo je, da so o bobnenju poročali predvsem opazovalci vzhodno od nadžarišča.

**24. september 2011 ob 22. uri 55 minut po UTC.** Ta potres se je zgodil v neposredni bližini hrvaške meje (naselje Otok) in je v Sloveniji prebudil prebivalce bližnje Metlike in posameznike



*Slika 7: Intenziteta potresa 20. avgusta 2011 ob 10. uri 49 minut po UTC v posameznih naseljih.*

*Figure 7. Intensity of earthquake on 20 August 2011 at 10.49 UTC in individual settlements.*



*Slika 8: Intenziteta potresa 29. avgusta 2011 ob 6. uri 43 minut po UTC v posameznih naseljih.*

*Figure 8. Intensity of earthquake on 29 August 2011 at 6.43 UTC in individual settlements.*

Berčic, Križevske vasi in naselja Griblje. Bobnenje so slišali tudi v naselju Gradac in vse do Črnomlja. Magnituda potresa je bila 2,1.

**26. september 2011 ob 1. uri 14 minut po UTC.** Nadžarišče šibkega potresa z magnitudo 1,0 je bilo pri Hrastniku, kjer sta se dva opazovalca prebudila, slišal se je žvenket šip in zatreslo se je pohištvo. V bližnjem Prapretnu je bilo slišati bobnenje, drugod pa potresa niso zaznali.

**6. oktober 2011 ob 13. uri 9 minut po UTC.** Potres v okolici Žirov je imel lokalno magnitudo 2,3. Največje učinke (IV EMS-98) je dosegel v Šentjoštu, čutili pa so ga tudi posamezni prebivalci Butajnov, Podlip in Rovt.

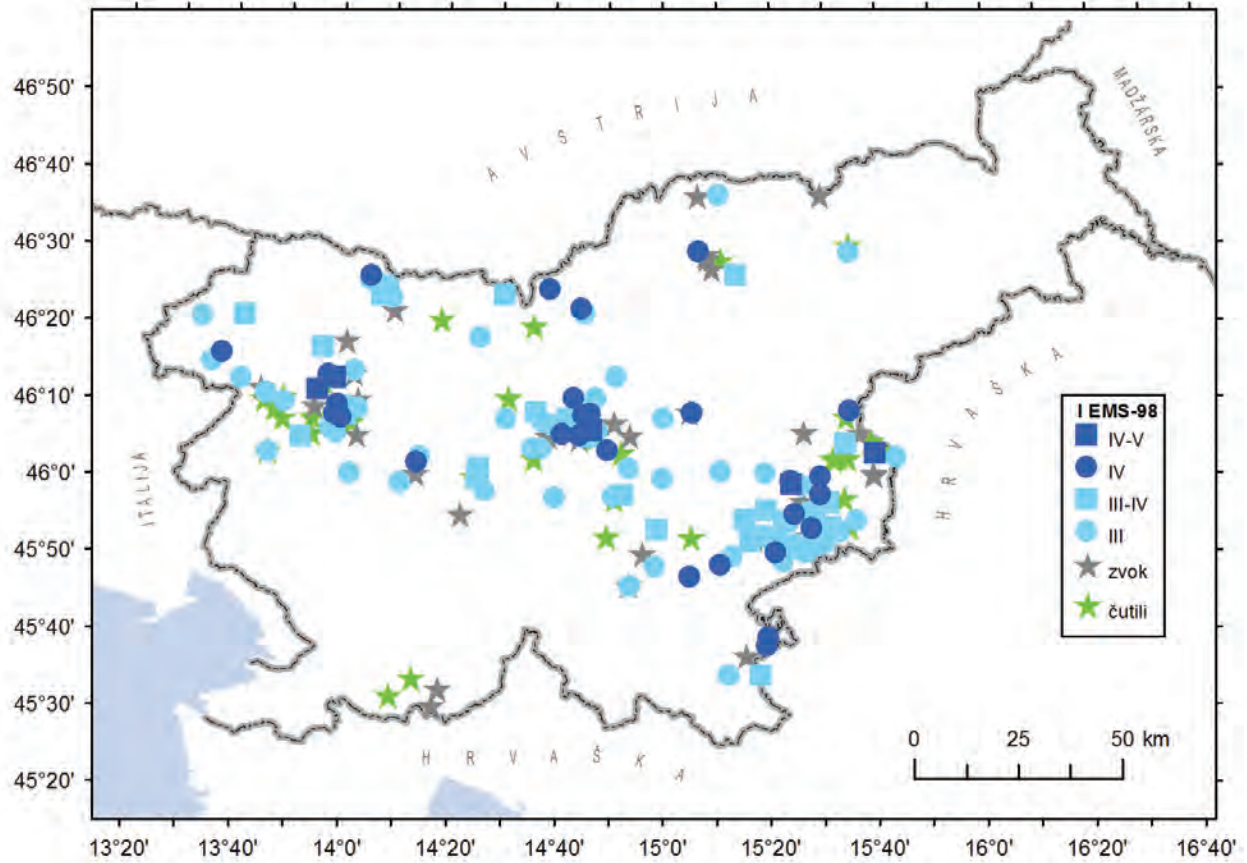
**28. november 2011 ob 1. uri 27 minut po UTC.** Zadnji potres leta 2011, ki je dosegel intenziteto IV EMS-98, je bil v okolici Stola, v bližini slovensko-avstrijske meje. Posamezniki na Jesenicah so se prebudili, slišalo se je hrumenje, škripanje omar in tresenje okenskih šip ter lajež psov. Potres so zaznali še v naseljih Zasip, Lipce, Moste in Slovenski Javornik. Magnituda potresa je bila 1,8.

## Sklepne misli

Potresna dejavnost v Sloveniji leta 2011 je bila glede na leto prej manjša. Histogram na sliki 10 kaže porazdelitev lokalne magnitude ( $M_{LV}$ ), ki smo jo določili 1649 potresom. 97 odstotkov teh potresov je imelo lokalno magnitudo manjšo od 1,7.

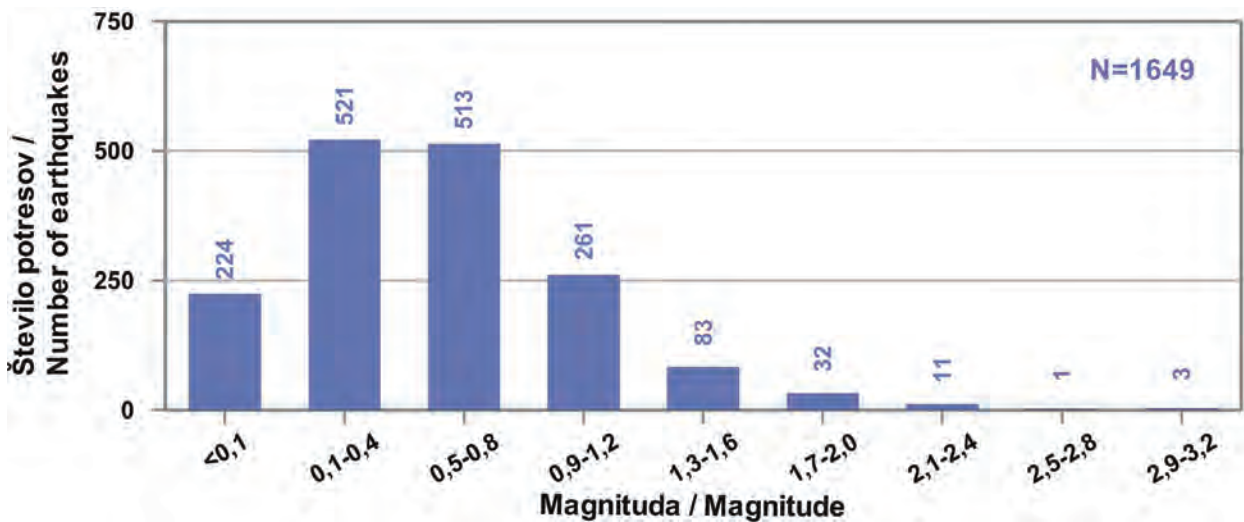
Makroseizmični podatki za potrese bi bili zelo pomanjkljivi ali celo nedostopni, če nam pri tem delu ne bi pomagali številni prostovoljni opazovalci. Leta 2011 je z ARSO aktivno sodelovalo več kot 4800 ljudi, za kar se jim najlepše zahvaljujemo. Prostovoljnemu opazovalcem smo leta 2011





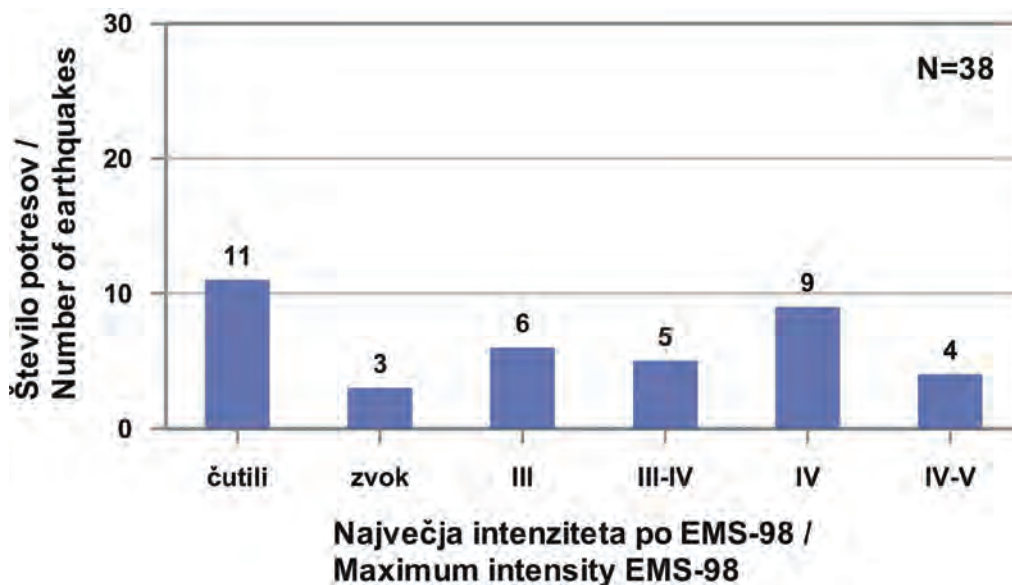
*Slika 9: Največja intenziteta potresa v posameznem naselju izmed vseh potresov, ki so jih čutili prebivalci Slovenije leta 2011.*

*Figure 9. The largest intensity of all earthquakes in 2011 felt by the inhabitants of Slovenia in individual places.*



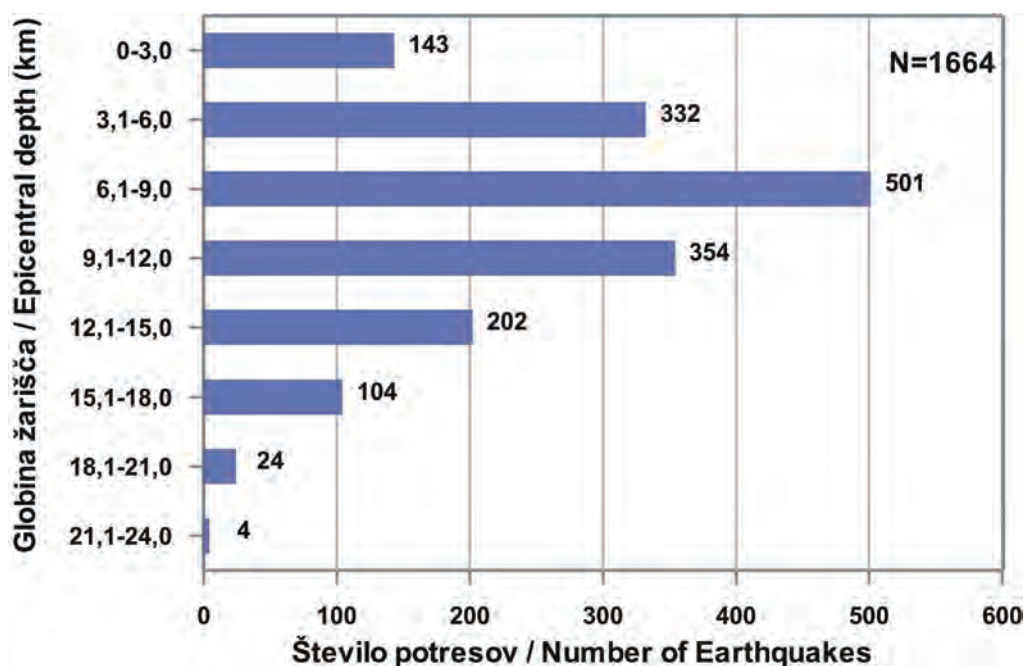
*Slika 10: Porazdelitev potresov v Sloveniji leta 2011 glede na magnitudo  $M_{LV}$ .*

*Figure 10. Distribution of earthquakes in Slovenia in 2011 with respect to  $M_{LV}$  magnitude.*



*Slika 11: Porazdelitev potresov v Sloveniji leta 2011 glede na največjo intenziteto EMS-98.*

*Figure 11. Distribution of earthquakes in Slovenia in 2011 with respect to maximal EMS-98 intensity.*



*Slika 12: Porazdelitev potresov leta 2011 glede na globino žarišča (v kilometrih).*

*Figure 12. Distribution of earthquakes in Slovenia in 2011 with respect to focal depth (in kilometres).*

razposlali 1857 makroseizmičnih vprašalnikov za 22 potresov, v Sloveniji pa so čutili vsaj 38 potresov (sliki 2 in 9). Štirje potresi so dosegli največjo intenziteto IV-V, devet potresov intenziteto IV, pet potresov intenziteto III-IV in šest potresov intenziteto III EMS-98. Za preostale potrese (14) smo imeli premalo podatkov, da bi jim lahko določili natančno intenziteto, zato smo navedli, da so jih opazovalci le čutili (11) ali slišali zvok (3).

Porazdelitev potresov glede na globino žarišč (slika 12) kaže, da je imela večina od 1664 potresov na območju Slovenije in bližnje okolice žarišča do globine 24 km. 71 odstotkov potresov se je



zgodilo na globini med 3,1 in 15 km, 104 potresi so imeli žarišče v globini med 15,1 in 18 km, 28 potresom pa smo opredelili žariščno globino večjo od 18 km.

Tudi leta 2011 smo pri zbiranju in izmenjavi podatkov uspešno sodelovali s seizmologi iz sosednjih držav. Zahvaljujemo se jim za poslane makroseizmične podatke.

## Literatura

- Agencija RS za okolje, 2011–2012. Preliminarni tedenski seizmološki bilteni za 2011. Arhiv ARSO, Ljubljana.
- Grünthal, G. (ur.), 1998a. European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98). Conseil de l'Europe, Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, Volume 15, Luxembourg, 99 p.
- Grünthal, G. (ur.), 1998b. European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98). Dostopno na naslovu: [http://www.gfz-potsdam.de/portal/gfz/Struktur/Departments/Department/sec26/resources/documents/PDF/EMS-98\\_Original\\_englisch\\_pdf](http://www.gfz-potsdam.de/portal/gfz/Struktur/Departments/Department/sec26/resources/documents/PDF/EMS-98_Original_englisch_pdf) (Uporabljeno 11. 6. 2012)
- GZAM, 2011–2012. Data reports (online). Geofizički odsjek Prirodoslovno-Matematičnog Fakulteta, Zagreb, Hrvaška. Dostopno na naslovu: <http://www.isc.ac.uk/cgi-bin/collect?Days=&yyyy=Year&mm=Mon&Reporter=ZAG> (Uporabljeno 11. 5. 2012).
- Lienert, B. R., Berg, E., in Frazer, L.N., 1988. HYPOCENTER: An earthquake location method using centered, scaled, and adaptively least squares. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 76, 771–783.
- Lienert, B. R., 1994. HYPOCENTER 3.2 – A Computer Program for Locating Earthquakes Locally, Regionally and Globally. Hawaii Institute of Geophysics & Planetology, Honolulu, 70 p.
- Michelini, A., Živčić, M., in Suhadolc, P., 1998. Simultaneous inversion for velocity structure and hypocenters in Slovenia. *Journal of Seismology*, 2(3), 257–265.
- OGS (Osservatorio Geofisico Sperimentale), 2011. Bolletino della Rete Sismometrica del Friuli Venezia Giulia. OGS, Centro ricerche sismologiche, Udine, computer file.
- RGU (Republiška geodetska uprava), 1995. Centroidi naselij (geografske koordinate), računalniški seznam.
- Tóth, L., Mónus, P., Zsíros, T., Bus, Z., Kiszely, M., in Czifra, T., 2011. Hungarian Earthquake Bulletin 2011. GeoRisk – MTA GGKI, Budapest, 2012.
- Wessel, P., in Smith, W. H. F., 1991. Free software helps map and display data. *Eos, Trans. Amer. Un.*, Vol. 72 (441), pp. 445–446.
- Wessel, P., in Smith, W. H. F., 1998. New, improved version of the Generic Mapping Tools released. *EOS Trans. AGU*, Vol. 79, p. 579.
- ZAMG, 2011–2012. Preliminary bulletin of regional and teleseismic events recorded with ZAMG-stations in Austria. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien.
- Živčić, M., Bondár, I., in Panza, G. F., 2000. Upper Crustal Velocity Structure in Slovenia from Rayleigh Wave Dispersion. *Pure Appl. Geophys.*, Vol. 157, 131–146.

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

## **DELOVANJE DRŽAVNE MREŽE POTRESNIH OPAZOVALNIC V LETU 2011 SEISMIC STATIONS OPERATION IN SLOVENIA IN 2011**

### ***Povzetek***

*V prispevku so podani rezultati analize delovanja Državne mreže potresnih opazovalnic (DMPO) v letu 2011. Strnjeno so povzeti vsi pomembnejši dogodki in posodobitve, ki so vplivali na delovanje DMPO in predstavljeni glavni parametri, ki opisujejo zanesljivost delovanja DMPO. Podajamo število prekinitev komunikacije s 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 of operation of Seismic Network of the Republic of Slovenia (SNRS) in 2011 are presented in this article. The main upgrades and events, which have influenced the operating quality of SNRS, are presented. We were interested in the number and lengths of real-time-out-of-operation periods (OOOP) for all seismic stations. The analysis of causes for the longest OOOP for particular seismic station was made. Some parameters which illustrate the functioning of the whole seismic network are presented. Time intervals when more seismic stations were not functioning simultaneously are calculated and presented. Based on the results of the analysis several improvements have been made every year, contributing to better and more reliable operation of SNRS.*

### **Uvod**

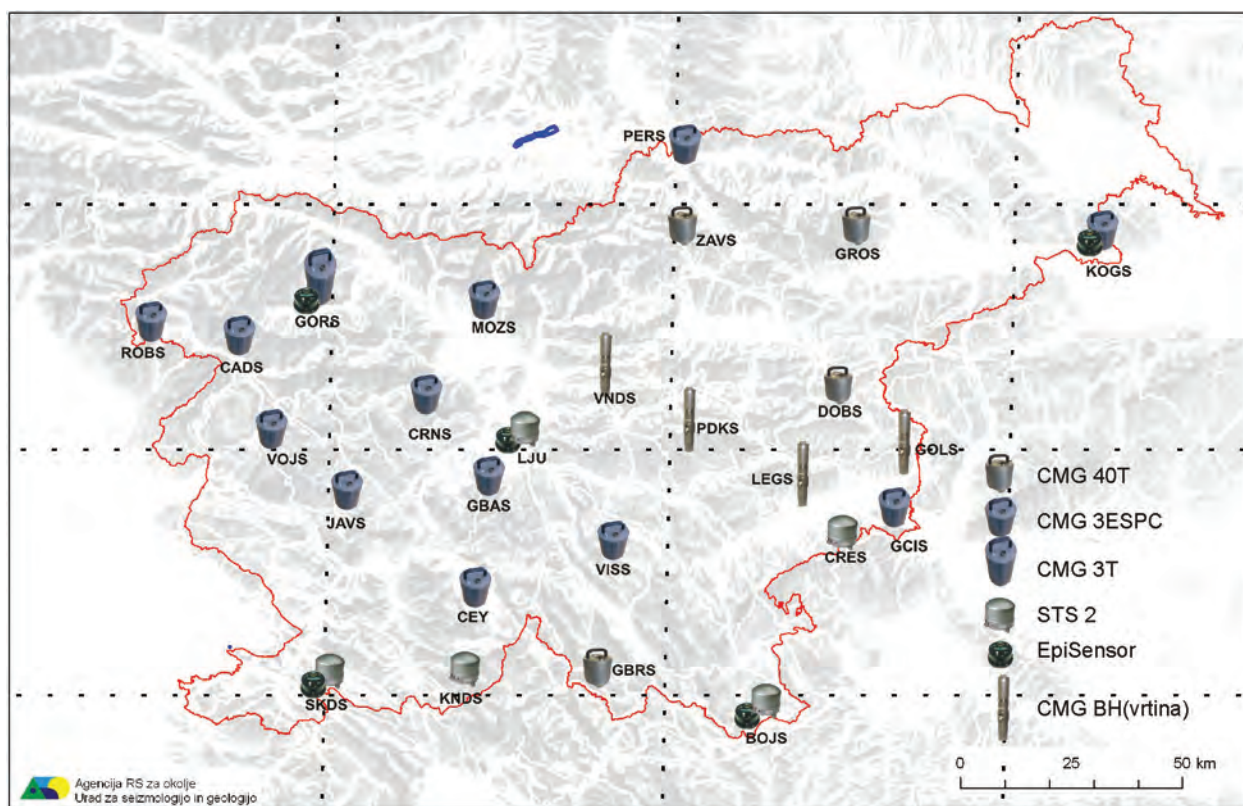
Državno mrežo potresnih opazovalnic (DMPO) sestavlja 26 modernih digitalnih potresnih opazovalnic (slika 1). Posamezna potresna opazovalnica je opremljena z zajemalno enoto Quanterra 730 (Q730) in seizmometrom enega od naslednjih tipov: Güralp CMG 40T, Güralp CMG 3ESPC, Güralp CMG 3T in Streckeisen STS-2, nekatere pa so dodatno opremljene s pospeškometri EpiSensor (Sinčič in sod., 2012). Enota Q730 skrbi za zajem seizmičnih podatkov, pretvorbo le-teh v digitalno obliko in opremljanjem podatkov z natančnim časom preko sistema GPS. Po pripravi podatkov jih zajemalna enota pošlje preko komunikacijskih sistemov v središče za obdelavo podatkov v Ljubljani (SOP). Izmenjava podatkov poteka v realnem času. Zaradi prekinitev komunikacije s posamezno potresno opazovalnico (izpad) potresna opazovalnica ne pošilja več podatkov v SOP v realnem času. Če je za izpad kriva okvara seizmološke merilne opreme, potem so seizmični podatki izgubljeni. Če pa je do izpada prišlo zaradi prekinitev na komunikacijskih sistemih oziroma poteh, potem Q730 shrani podatke v interni spomin, ki je izveden v obliki krožnega pomnilnika. Če je prekinitev komunikacije s SOP predolga, se starejši podatki v krožnem pomnilniku nadomestijo z novimi in tako pride tudi do izgube podatkov v enoti Q730. Proizvajalci opreme Q730 zagotavljajo do dve uri dovoljenega izpada. Vendar smo v primeru daljših izpadov izgubo podatkov preprečili z zunanjim pomnilniškim modulom na vseh potresnih opazovalnicah (Tasič in sod., 2010).

Z različnimi posodobitvami na DMPO zmanjšujemo možnost izgube seizmičnih podatkov ter izboljšujemo kvaliteto samih seizmičnih podatkov. Posodobitve, ki smo jih v letu 2011 izvedli na posameznih opazovalnicah DMPO, so opisane v internem poročilu (SPO, 2012) sektorja za potresna opazovanja (SPO). Tukaj podajamo samo kratek pregled:

- Posodobitev napajalnih sistemov (Mali in sod., 2008) na petih opazovalnicah DMPO (SPO, 2012).
- Namestitev dodatnih zunanjih pomnilniških modulov (Tasič in sod., 2010) na desetih opazovalnicah DMPO (SPO, 2012).
- Nadgradnja posameznih potresnih opazovalnic s senzorji tipa CMG-3ESPC in CMG-3T in STS-2 (SPO, 2012) na štirih opazovalnicah DMPO.
- Izvedba dodatne temperaturne izolacije seizmometrov (Tasič in sod., 2011, Mali in Tasič, 2011) na štirih opazovalnicah DMPO (SPO, 2012).
- Menjava komunikacijskih kablov tipa UTP s tipom STP na šestih opazovalnicah DMPO (SPO, 2012).
- Menjava napajalnih vodov na osmih opazovalnicah DMPO (SPO, 2012).
- Vgradnja avtomatskega preklopnika napajanja za komunikacijsko opremo na osmih opazovalnicah DMPO (SPO, 2012).

## Rezultati analize

V letu 2011 smo namestili še zadnje dodatne zunanje pomnilniške enote na opazovalnicah DMPO. S tem smo rešili problem trajne izgube podatkov v primeru daljših prekinitev na komunikacijah. Do trajne izgube seizmičnih podatkov pa lahko pride zaradi okvare na seizmološki merilni opremi. V poglavju podajamo pregled delovanja DMPO v letu 2011 (slika 2), kjer črna barva predstavlja izpad potresne opazovalnice. Pregled najdaljših izpadov oziroma razlogov, zakaj posamezna potresna opazovalnica ni komunicirala s SOP, je podan v preglednicah 1 in 2. Vsi ostali izpadi so predstavljeni v internem poročilu (SPO, 2012).



*Slika 1: Razporeditev različnih tipov seizmometrov na posameznih potresnih opazovalnicah državne mreže.*

*Figure 1. Seismic network of the republic of Slovenia (the seismometer types and their locations)*

**Preglednica 1.** Skupni podatki o številu izpadov in njihovem trajanju za DMPO v letu 2011.

**Table 1.** An overview of the real-time-out-of-operation periods (OOOP) of particular seismic station in the year 2011.

oznaka opazovalnice	število vseh izpadov	trajanje vseh izpadov	število izpadov daljših od 2h	trajanje izpadov daljših od 2h
station code	number of OOOP	duration of OOOP	number of OOOP > 2h	number of OOOP > 2h + conditionally
BOJS	80	8h 19m	0	0
CADS	120	3d 18h 24m	2	3d 4h 34m
CEY	85	8h 7m	0	0
CRES	226	1d 2h 38m	1	2h 35m
CRNS	113	3d 3h 15m	3	2d 15h 31m
DOBS	90	9h 9m	0	0
GBAS	1143	14d 0h 29m	18	11d 12h 06m
GBRS	814	4d 23h 5m	5	2d 22h 04m
GCIS	2207	6d 10h 43m	5	2d 2h 18m
GOLS	147	1d 22h 39m	2	1d 7h 12m
GORS	386	5d 13h 13m	2	4d 15h 26m
GROS	132	53d 12h 6m	15	52d 22h 06m
JAVS	456	42d 11h 34m	6	41d 8h 35m
KNDS	314	12d 16h 2m	4	11d 18h 26m
KOGS	939	1d 16h 38m	1	2h 25m
LEGS	184	1d 16h 36m	3	20h 27m
LJU	225	19h 1m	1	3h 52m
MOZS	176	23h 47m	2	11h 56m
PDKS	161	18h 45m	1	03h 29m
PERS	1089	30d 9h 49m	15	26d 6h 26m
ROBS	96	1d 4h 59m	3	19h 36m
SKDS	434	1d 13h 44m	0	0
VISS	84	19h 7m	1	11h 18m
VNDS	91	11h 48m	0	0
VOJS	118	14h 39m	1	2h 23m
ZAVS	1278	4d 20h 9m	1	11h 38m
<b>skupaj</b>	<b>11188</b>	<b>196d 12h 45m</b>	<b>92</b>	<b>164d 5h 23m</b>

Če v trenutku potresa pride do izpada večjega števila potresnih opazovalnic, je avtomatska določitev potresnih parametrov otežena oziroma manj natančna. Ker je potres zelo kompleksen pojav, ni možno vnaprej napovedati najmanjšega še potrebnega števila delujočih potresnih opazovalnic, s katerimi bi lahko samodejno določili osnovne parametre potresa. Iz izkušenj iz preteklosti ocenjujemo, da je minimalno število potresnih opazovalnic, ki v času potresa pošiljajo podatke v realnem času v SOP, sedem. Da pa so samodejno določeni osnovni parametri potresa popolnoma zanesljivi, ne glede na lokacijo potresa ter njegovo velikost in lokacijo potresnih opazovalnic, morajo prihajati podatki v SOP v realnem času iz vsaj sedemnajstih potresnih opazovalnic. Pregled sočasnih izpadov je podan v preglednici 3.

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

**Table 2.** An overview and causes for OOOOPs for particular seismic station.

oznaka opazovalnice	nastop najdaljšega izpada	trajanje najdaljšega izpada	razlog izpada
station code	date/time of the longest OOOOP	duration of the longest OOOOP	reason
BOJS	9. 21. ob 20:19	0h 50m	Napaka na komunikacijah.
CADS	9. 12. ob 11:43	3d 0h 11m	Okvara modema ADSL.
CEY	9. 21. ob 20:19	0h 50m	Napaka na komunikacijah.
CRES	3. 10. ob 09:47	2h 35m	Napaka na komunikacijah.
CRNS	5. 7. ob 07:39	1d 21h 5m	Napaka na komunikacijah.
DOBS	7. 7. ob 09:04	1h 45m	Posodobitev potresne opazovalnice.
GBAS	8. 19. ob 21:51	1d 20h 4m	Napaka na komunikacijah.
GBRS	5. 28. ob 03:38	2d 3h 44m	Okvara modema ADSL.
GCIS	9. 22. ob 22:47	1d 9h 39m	Napaka na modemu.
GOLS	4. 21. ob 17:58	16h 57m	Napaka na komunikacijah.
GORS	9. 22. ob 07:02	4d 4h 35m	Okvara komunikacijske opreme v centrali na Bledu.
GROS	8. 13. ob 13:09	12d 18h 20m	Okvara usmerjevalnika in izpad stikala FID.
JAVS	10. 19. ob 21:12	27d 11h 59m	Okvare zaradi vdora živali (polha) v potresno opazovalnico. Poškodbe na komunikacijski in seizmološki opremi ter na povezovalnih kabljih.
KNDS	3. 24. ob 23:42	4d 8h 20m	Napaka na modemu.
KOGS	8. 4. ob 04:53	2h 25m	Napaka na komunikacijah.
LEGS	1. 20. ob 17:44	12h 38m	Napaka na komunikacijah.
LJU	3. 10. ob 08:19	3h 52m	Preurejanje seizmične sobe.
MOZS	5. 3. ob 02:32	6h 43m	Napaka na komunikacijah.
PDKS	9. 27. ob 10:23	3h 29m	Napaka na komunikacijah.
PERS	6. 23. ob 14:44	5d 17h 41m	Napaka na komunikacijah.
ROBS	9. 23. ob 10:57	6h 35m	Napaka na komunikacijah.
SKDS	6. 19. ob 07:03	1h 23m	Napaka na komunikacijah.
VISS	3. 3. ob 00:28	11h 18m	Napaka na modemu ADSL.
VNDS	9. 21. ob 20:19	0h 50m	Napaka na komunikacijah.
VOJS	12. 13. ob 05:54	2h 23m	Napaka na komunikacijah.
ZAVS	12. 11. ob 12:29	11h 38m	Napaka na komunikacijah.



**Preglednica 3.** Število izpadov (interval v minutah) glede na število sočasno izpadlih potresnih opazovalnic.  
**Table 3.** An overview of simultaneous OOO for Slovenian National seismic network.

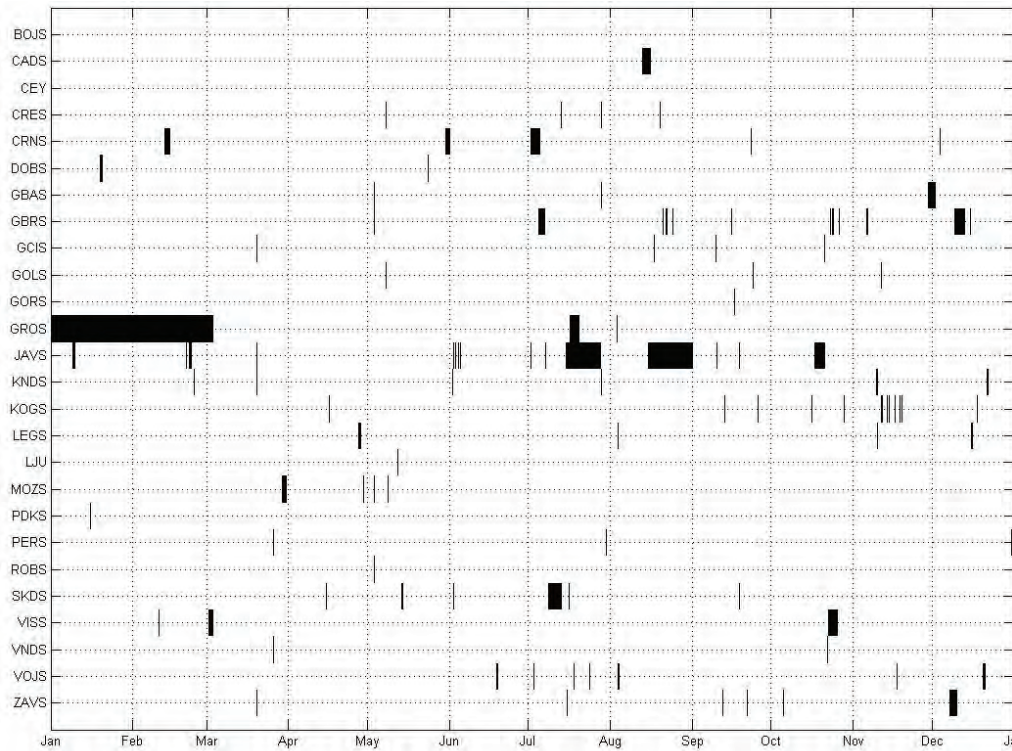
število opaz./ no. of statio	dolžina trajanja izpadov						
	0 – 5 min	5 – 15 min	15 – 30 min	30 – 45 min	45 – 60 min	60 – 120 min	> 120 min
2	2676	626	113	56	37	60	62
3	605	153	31	10	6	8	12
4	174	25	1	0	0	0	2
5	52	8	1	2	2	0	0
6	18	7	0	0	0	0	0
7	6	0	0	0	0	0	0
8	4	0	0	0	0	0	0
9	2	0	0	0	0	0	0
10	6	0	0	0	0	0	0
11	1	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0
13	1	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0
15	2	0	0	0	0	0	0
16	3	0	0	0	0	0	0
17	1	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0
21	1	0	0	0	0	0	0
22	1	0	0	0	0	0	0
23	3	0	0	0	0	0	0
24	10	0	0	0	0	0	0
25	16	1	0	0	0	0	0
26	17	6	3	1	2	0	0

## Zaključek

V prispevku smo na kratko predstavili glavne posodobitve, ki smo jih izvedli na DMPO in rezultate analize delovanja DMPO v letu 2011. Ugotovili smo, da se izpadi (prekinitev komunikacije s posamezno potresno opazovalnico) pojavljajo neprestano, pri čemer je daljših izpadov sorazmerno malo. Medtem ko je vzrok krajših izpadov vedno napaka na komunikacijah, pa so vzroki daljših izpadov raznovrstni. V grobem jih lahko delimo v tri skupine:

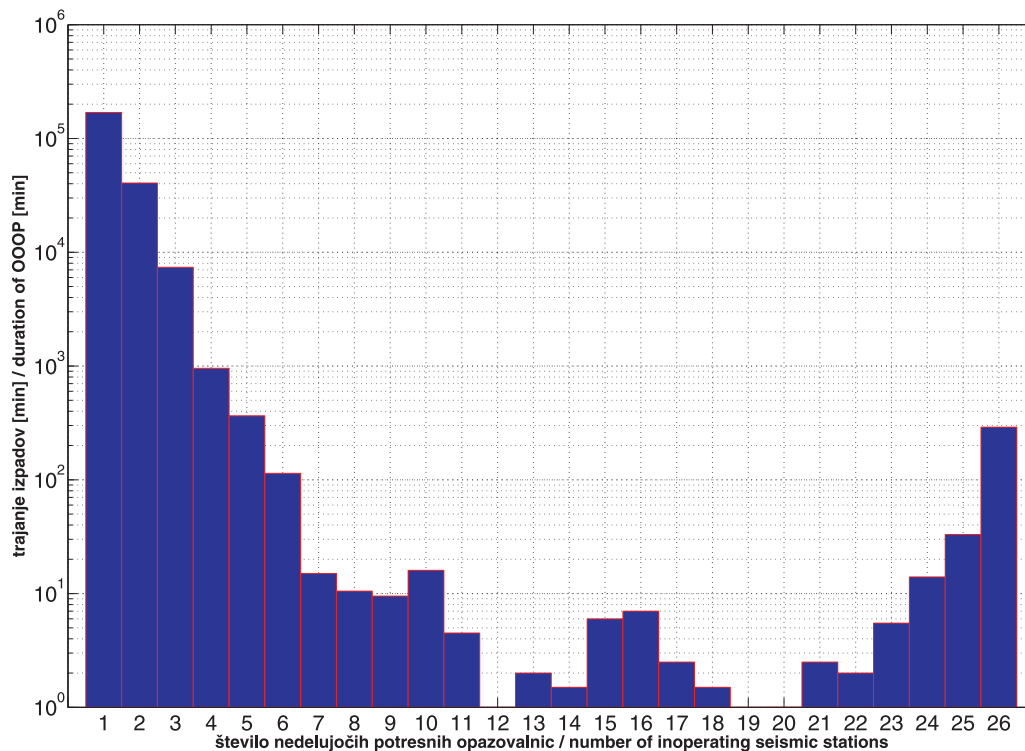
1. Problemi, povezani z napajanjem seizmološke opreme, npr. dobava električne energije, izpadi varovalk na lokacijah in okvare na enotah UPS. Za rešitev tega problema smo vse potresne opazovalnice nadgradili s tako imenovanimi samodejnimi stikali FID, ki se ob iznihanju motnje ponovno samodejno vklopijo, vendar se lahko tudi ta stikala pri zaporednih ponovitvah prekinitev prenehajo vklopiti (npr. nevihta v odročnih krajih). V letu 2011 smo nadaljevali z izboljš-





**Slika 2:** Pregled delovanja DMPO v letu 2011. Izpadi so označeni s črno barvo. Ločljivost slike omogoča, da so vidni le izpadi, daljši od treh ur.

**Figure 2.** An overview of out-of-operation periods for seismic network of Slovenia in the year 2011. The resolution of the picture makes possible to differentiate only out-of-operation periods which are longer than three hours.



**Slika 3:** Istočasni izpadi več potresnih opazovalnic hkrati (za leto 2012).

**Figure 3.** The total duration of OOP that occurred at several seismic stations simultaneously in 2011.

šavami enot UPS, kar omogoča daljšo avtonomnost sistema in posledično stabilnejše delovanje potresne opazovalnice.

2. Napaka komunikacijske opreme. Izgubo podatkov zaradi napake komunikacijske opreme smo preprečili z namestitvijo dodatnega zunanjšega pomnilniškega modula (JetBox) poleg enote Q730, ki je z njo povezana neposredno preko vrat COM. Tako se pri pretoku podatkov med enotama izognemo napravam komunikacijske hrbtnice. Podatki pa so shranjeni za daljše obdobje (dve leti).

3. Okvare na seizmološki opremi. To so predvsem okvare na seizmometrih in zajemalnih enotah. Hitrost odprave napak je pogosto odvisna od zunanjih dejavnikov, na katere običajno težko vplivamo (slabe vremenske razmere, pridobitev rezervnih delov, dodatne fizične napake na komunikacijskih poteh).

V letu 2011 je bilo manj predvsem tistih izpadov, ki so neposredno povezani s samo potresno opazovalnico oziroma z opremo, ki je nameščena na njej. Podani rezultati pa so v veliko pomoč pri nadaljnjem delu. Z izvedenimi posodobitvami nismo le izboljšali kvalitete zajetih seizmičnih podatkov, ampak smo močno izboljšali tudi delovanje posamezne potresne opazovalnice. Na osnovi rezultatov analize letnega delovanja potresnih opazovalnic lahko izluščimo najpogostejše napake, ki povzročijo posamezen izpad oziroma so vzrok za slabšo kvaliteto zajetih seizmičnih signalov. S pomočjo teh spoznanj neprestano izboljšujemo opremo na DMPO in tako izboljšujemo njeno delovanje.

## Literatura

- 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, 62-70, 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, 54-59.
- Sinčič P., Tasič I., Živčič M., Prosen T., 2012. Potresne opazovalnice v Sloveniji v letu 2010. Potresi v letu 2011, 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, 36-39.
- 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, 57-61.
- SPO, 2012, Državna mreža potresnih opazovalnic, delovanje v letu 2012, interno poročilo, arhiv SPO, Ljubljana 2012.

Jurij Pahor

## UČINKOVITOST PRIDOBIVANJA PODATKOV IZ DRŽAVNE MREŽE POTRESNIH OPAZOVALNIC V LETU 2011

### SEISMIC DATA ACQUISITION EFFICIENCY FOR SEISMIC NETWORK OF THE REPUBLIC OF SLOVENIA IN 2011

#### Povzetek

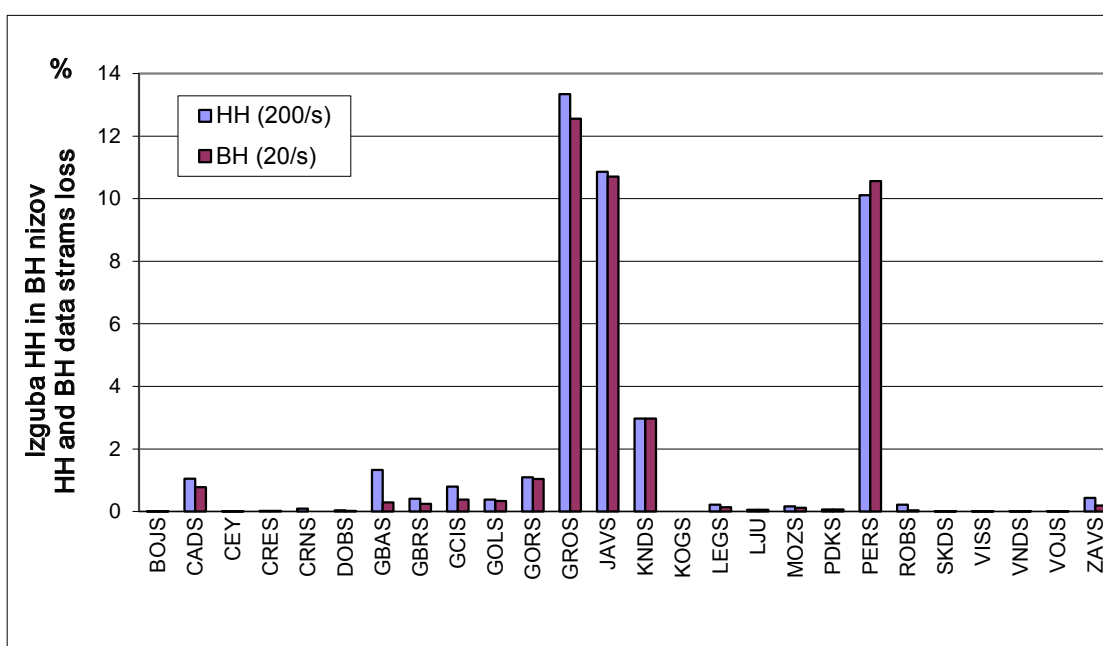
Izguba podatkov iz šestindvajsetih opazovalnic Državne mreže potresnih opazovalnic je v letu 2011 znašala 1,7 % za podatkovne nize s frekvenco vzorčenja 200 vzorcev v sekundi (HH) ter 1,6 % za podatkovne nize s frekvenco vzorčenja 20 vzorcev v sekundi (BH). Delovanje večine opazovalnic je bilo stabilno, znatnejši izpad podatkov smo zabeležili le na opazovalnicah Grobnik (GROS), Javornik (JAVS) in Pernice (PERS).

#### Abstract

The seismic network of the Republic of Slovenia includes twenty six seismic stations. The data loss in 2011 was evaluated from Antelope waveform database table and was found to be 1.7 % for 200 sps data streams (HH) and 1.6 % for 20 sps data streams (BH). A significant data loss was accounted for stations Grobnik (GROS), Javornik (JAVS) and Pernice (PERS).

#### Uvod

V poročilo o učinkovitosti pridobivanja podatkov so vključene vse opazovalnice Državne mreže potresnih opazovalnic (DMPO) (Sinčič in sod., 2012). Analiza količine zbranih podatkov je narejena na tabeli seizmogramov v arhivski podatkovni bazi sistema Antelope (Boulder Real Time Technologies, 2012) na diskovnem strežniku (/kum/archive/snrs/snrs.wfdisc).



Slika 1: Izguba podatkovnih nizov HH in BH (povprečje treh komponent) po opazovalnicah v letu 2011.

Figure 1. Data loss of HH and BH data streams (three components average) for each seismic station in 2011.

**Preglednica 1.** Izguba podatkov, podana za tri komponente podatkovnih nizov HH in BH po opazovalnicah, izražena v odstotku pričakovane količine podatkov v letu 2011.

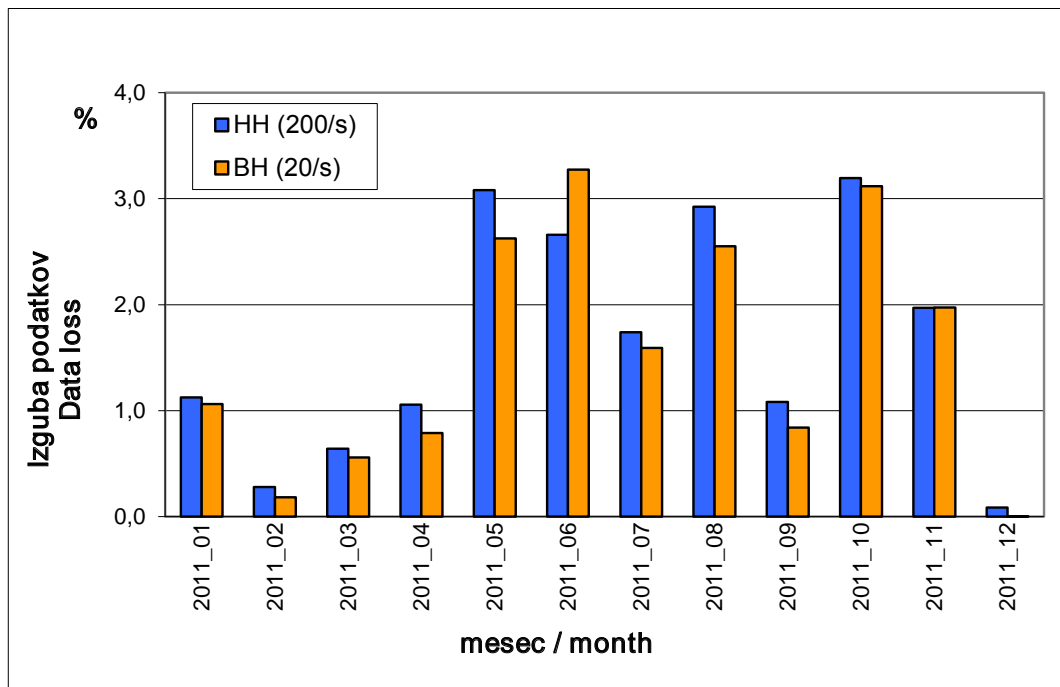
**Table 1.** Data loss as percentage of expected operation time for three-channel HH and BH data streams for each seismic station in 2011.

%	HHE	HHN	HHZ	BHE	BHN	BHZ
BOJS	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CADS	0.9	1.2	1.1	0.8	0.8	0.7
CEY	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CRES	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
CRNS	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
DOBS	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
GBAS	1.5	1.5	1.0	0.4	0.4	0.0
GBRS	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.0
GCIS	0.8	0.8	0.8	0.6	0.6	0.0
GOLS	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.3
GORS	1.1	1.1	1.1	1.1	1.1	0.9
GROS	13.4	13.4	13.3	12.7	12.7	12.3
JAVS	10.9	10.9	10.8	10.7	10.7	10.7
KNDS	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
KOGS	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
LEGS	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1
LJU	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
MOZS	0.2	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1
PKDS	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
PERS	10.2	10.2	10.0	11.0	10.7	10.0
ROBS	0.0	0.3	0.3	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
ZAVS	0.4	0.5	0.4	0.3	0.3	0.0
mreža / network	1.7	1.7	1.7	1.6	1.6	1.5

## Izguba podatkov v letu 2011

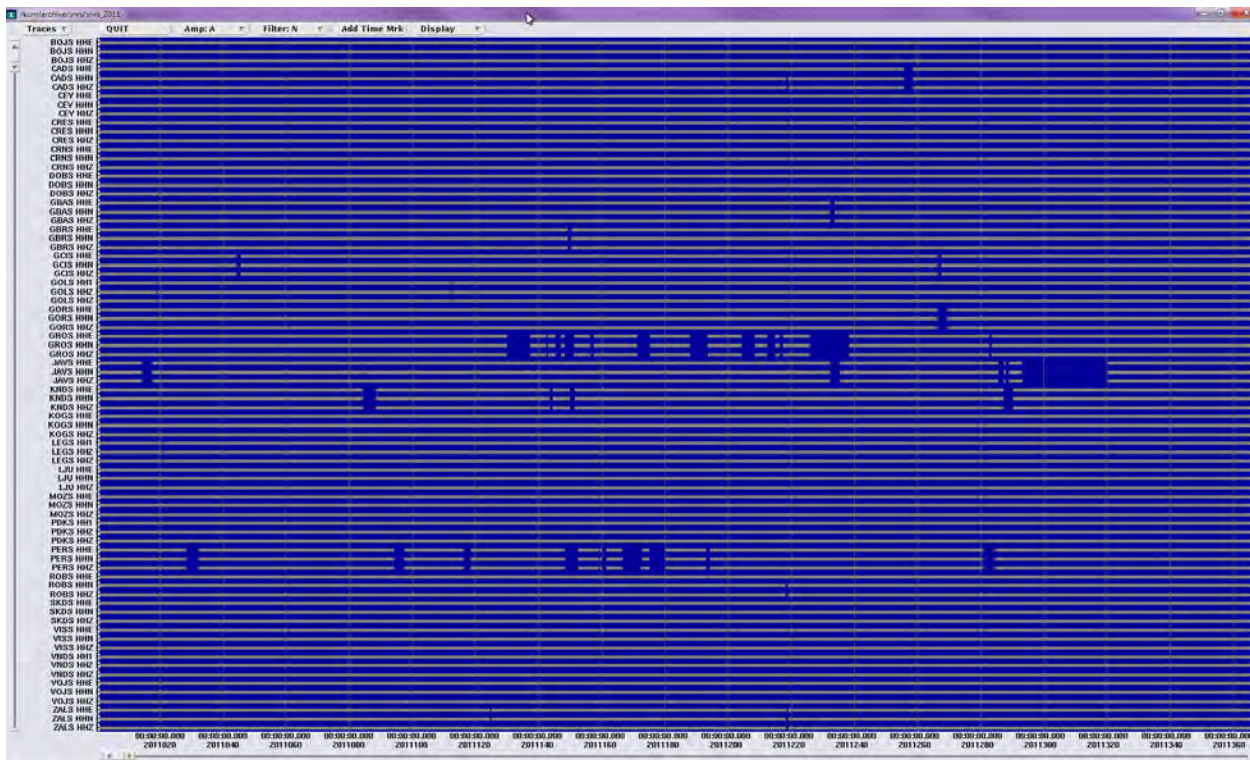
V poročilu je zajetih šestindvajset potresnih opazovalnic DMPO. Spremljali smo podatkovne nize s frekvenco vzorčenja 200 vzorcev v sekundi (HH) in 20 vzorcev v sekundi (BH). Odstotki izgube podatkov za posamezno potresno opazovalnico in za celotno DMPO skupaj so izračunani iz razlike med pridobljenimi podatki ter pričakovano količino podatkov (Pahor in Živčič, 2007).

V letu 2011 je bilo delovanje večine opazovalnic brez motenj. Večje izpade seizmičnih podatkov smo zabeležili na potresnih opazovalnicah Grobnik (GROS), Javornik (JAVS) in Pernice



*Slika 2: Izguba podatkovnih nizov HH in BH po mesecih v letu 2011.*

*Figure 2. Monthly data loss of HH and BH data streams in 2011.*



*Slika 3: Razpoložljivost podatkov iz podatkovnih nizov HH za leto 2011. Časovna skala prikazuje dan v letu.*

*Figure 3. Data availability for HH data streams for permanent seismic stations in 2011. Time scale represents day of the year.*



(PERS) (preglednica 1, slika 1). Na vseh treh potresnih opazovalnicah so bile za izpad podatkov krive težave s komunikacijo (Tasič in sod., 2012).

Iz modulov JetBox, ki zajemajo in hranijo podatke lokalno na opazovalnicah (Tasič in sod., 2010), smo pridobili skupno še za 96 dni (0,3 %) manjkajočih podatkovnih nizov HH ter za 50,7 dni (0,2 %) podatkovnih nizov BH. Odstotek pridobljenih podatkov je izračunan kot skupni delež posameznega podatkovnega niza od seštevka podatkovnih nizov vseh opazovalnic v vsem letu. V juniju je skupna izguba podatkovnih nizov BH za približno 0,5 % večja kakor izguba podatkovnih nizov HH (slika 2), kar je neobičajno, saj ponavadi zaradi motenj v komunikacijah izgubimo več podatkovnih nizov HH.

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

## Zaključek

V letu 2011 smo zabeležili izpad 1,7 % podatkov z vzorčenjem 200 vzorcev v sekundi iz stalnih potresnih opazovalnic, kar je tri desetinke odstotka slabše kot preteklo leto (Pahor, 2011). Največjo izgubo smo zabeležili na potresnih opazovalnicah Grobnik, Javornik in Pernice, druge opazovalnice pa so delovale skoraj brez izpadov. Del podatkov (0,3 %) smo pridobili naknadno iz modulov JetBox 8100, ki omogočajo hranjenje večje količine seizmičnih podatkov lokalno na opazovalnici.

## Literatura

- Sinčič P., Tasič I., Živčič M., Prosen T., 2012. Potresne opazovalnice v Sloveniji v letu 2011. Potresi v letu 2011, Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo, Ljubljana.
- Boulder Real Time Technologies, inc. (online), 2012 (citirano 15.10.2012). Antelope Real Time System. Dostopno na naslovu: <http://www.brnt.com/>
- Pahor J., Živčič M., 2007. Učinkovitost zbiranja podatkov iz potresnih opazovalnic v letu 2005. Potresi v letu 2005, Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo, Ljubljana.
- Tasič I., Mali M., Pančur L., Sinčič P., Pfundner I., Uran B., Prosen J., 2012. Delovanje potresnih opazovalnic v letu 2011. Potresi v letu 2011, Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo, Ljubljana.
- Tasič I., Pančur L., Pfundner I., Mali M., 2010. Povečanje lokalnega pomnilnika za zajemalne enote Q730. Potresi v letu 2009, Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo, Ljubljana.
- Pahor J., 2011. Učinkovitost zbiranja podatkov iz potresnih opazovalnic v letu 2010. Potresi v letu 2010, Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo, Ljubljana.

Izidor Tasič, Marko Mali, Luka Pančur, Peter Sinčič

## POSODOBITEV POTRESNE OPAZOVALNICE KNEŽJI DOL MODERNIZATION OF SEISMIC STATION KNEŽJI DOL

### *Povzetek*

*S posodobitvijo potresne opazovalnice Knežji Dol (KNDS) smo na tej lokaciji izboljšali kvaliteto in obseg zajetih seizmičnih signalov. To smo dosegli s posodobitvijo seizmološke merilne opreme in napajalnega sistema ter zmanjšanjem vpliva temperature in vetra na delovanje seizmološke merilne opreme. Zmanjšali smo skupni nivo instrumentalnega in seizmičnega nemira ter povečali frekvenčno območje zajemanja seizmičnih signalov. V prispevku na kratko podajamo glavne značilnosti opravljenih posodobitev. Rezultati dokazujejo, da so te dosegle svoj cilj – izboljšati kvaliteto zabeleženih seizmičnih signalov.*

### *Abstract*

*The quality of seismic signals recorded at the particular seismic station depends on several parameters: seismic and other technical equipment, location and quality of construction of seismic station, geological parameters of the selected site, and environmental and human induced influences (wind, temperature, infrastructure...). On the seismic station Knežji Dol (KNDS) several modernization steps were made to provide better quality of seismic data. Influence of power supply, temperature changes, wind and seismic equipment was minimized. The effect of modernization procedure on noise floor of particular seismic station was analytically tested and the modernization process is presented in details. The spectrogram showing the improvement of noise floor, are presented as well.*

### **Uvod**

Kvaliteta seizmičnega signala, zabeleženega na posamezni potresni opazovalnici, je odvisna od več parametrov: od nameščene seizmološke in ostale tehnične opreme, kakovosti konstrukcije in izdelave potresne opazovalnice, geološke podlage ter vpliva naravnih in urbanih dejavnikov (veter, temperatura, človek...). V Sektorju za potresna opazovanja Urada za seizmologijo in geologijo izvajamo različne tehnične in seizmološke raziskave, na osnovi katerih neprestano izboljšujemo delovanje Državne mreže potresnih opazovalnic (DMPO). Na osnovi raziskav vpliva napajalne napetosti (Mali, Tasič, 2008), temperature (Mali, Tasič, 2011a) in vetra (Mali, Tasič, 2009) na skupni nemir posamezne potresne opazovalnice smo zasnovali enoten postopek posodobitve potresnih opazovalnic (Mali in Tasič, 2011b). Poleg tega pri vsaki potresni opazovalnici poskušamo z upoštevanjem lokalnih značilnosti dodatno zmanjšati negativen vpliv raznih dejavnikov.

### **Potresna opazovalnica Knežji Dol (KNDS)**

Potresna opazovalnica KNDS (slika 1) leži na skalnatem pobočju Snežnika. Je ena od potresnih opazovalnic DMPO, ki je najbolj odmaknjena od večjih urbanih centrov. Slabost lokacije je prisotnost močnega vetra (burja), ki občasno vpliva na kvaliteto zajetih seizmičnih signalov. Ker je bil sam seizmični šum glede na lego potresne opazovalnice previsok, smo se odločili temeljito preučiti in izvesti vrsto posodobitev, ki bi izboljšale zajete potresne signale.



*Slika 1: Potresna opazovalnica Knežji Dol (KNDS) (foto: Izidor Tasič).*

*Figure 1. Seismic station Knežji Dol (KNDS) (Photo: Izidor Tasič).*

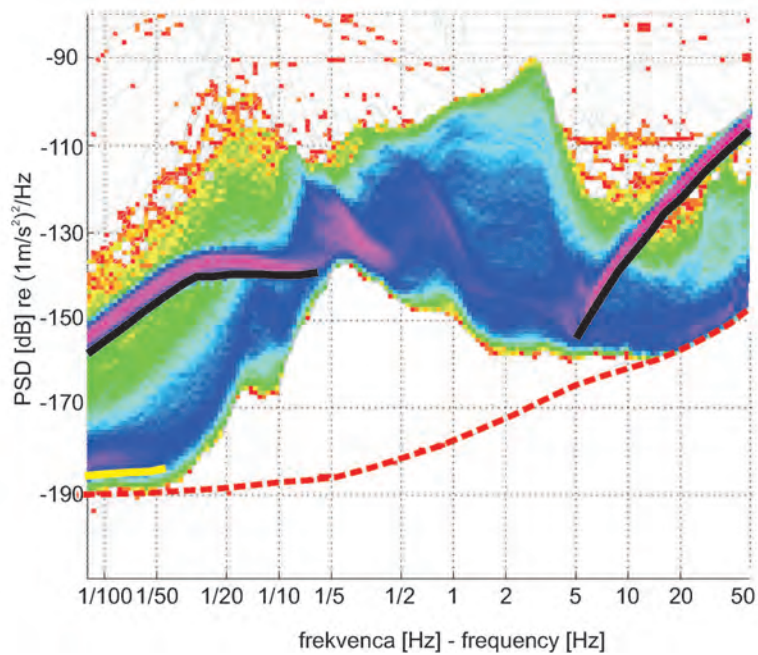
## Izvedene posodobitve

Posodobitev je sestavljena iz naslednjih sklopov (Mali, Tasič, 2011b):

- Posodobitev napajalnega dela potresne opazovalnice.
- Zmanjšanje vpliva vetra. Zaradi moči vetra, njegovih sunkov in predvsem zaradi smeri pihanja vetra glede na odprtino zračnika (le ta je deloval kot venturijeva cev) je na tej lokaciji prihajalo do pojava kratkotrajnih tlačnih sprememb v seizmičnem jašku, ki jih je seizmometer beležil kot navidezno nihanje. Zato je bila preprečitev dotoka zraka v potresno opazovalnico ključnega pomena za zmanjšanje nivoja seizmičnega nemira.
- Menjava seizmometra. Seizmometer s svojimi značilnostmi poglavitno prispeva h kvaliteti zajetih seizmičnih signalov. Po zmanjšanem vplivu vetra je bilo smiselno zamenjati še seizmometer. Seizmometer tipa CMG-40T smo zaradi velikega lastnega nemira in ozka pasovne širine nadomestili s seizmometrom tipa STS-2.
- Izvedba dodatne temperaturne izolacije seizmometra, s čimer smo zagotovili optimalne pogoje za delovanje seizmometra tipa STS-2.

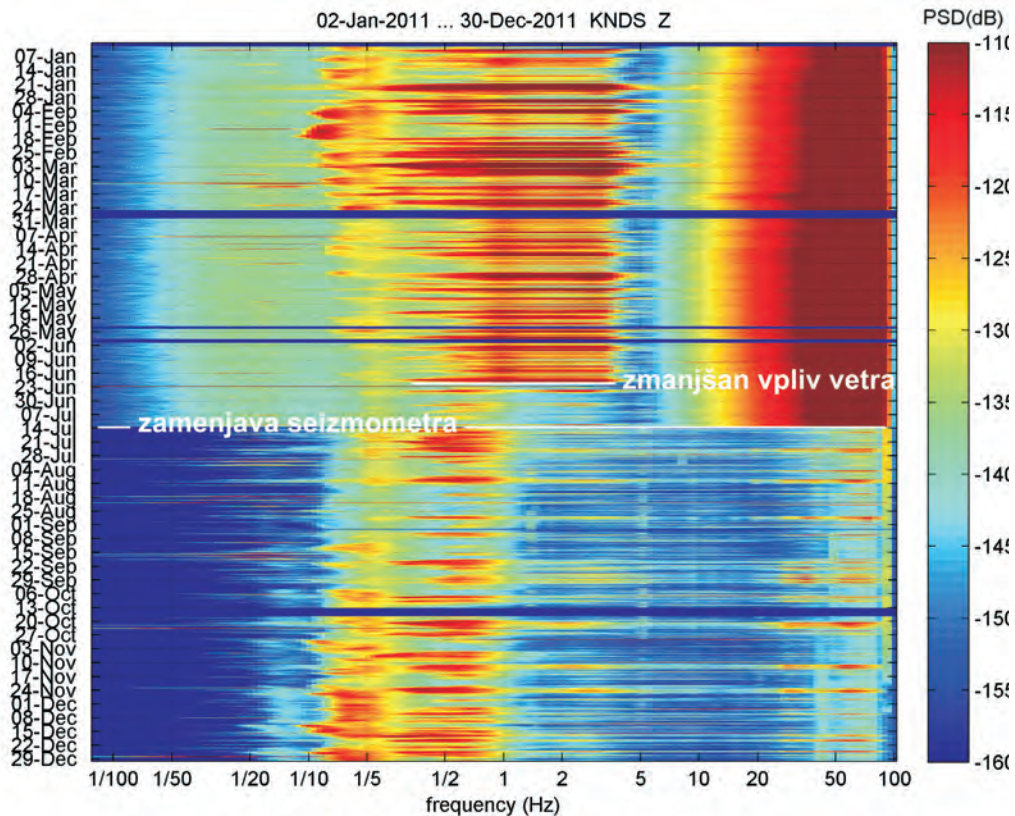
Vpliv posodobitev oziroma spremembe v nivoju celotnega zabeleženega seizmičnega nemira na potresni opazovalnici KNDS bomo prikazali z uporabo spektrograma. Na slikah 2 in 3 podajamo spektrogram navpične komponente celotnega nemira potresne opazovalnice. Spektrogram je zgrajen iz enournih spektrov močnostne gostote (ang. Power Spectral Density - PSD) za leto 2011. Izboljšava zaznavanja šibkih seizmičnih signalov je jasno razvidna (Slika 3). Nivo zaznavanja seizmičnega nemira se je na visoko-frekvenčnem kakor tudi na nizko-frekvenčnem območju (izboljšava 35–40 dB) zelo izboljšal. S tem smo na omenjenih frekvenčnih področjih omogočili boljši zajem šibkih potresnih signalov. Prekinjena rdeča črta na sliki 2 predstavlja lastni šum zajemalne enote Q730, črna črta lastni šum seizmometra tipa CMG-40T, rumena črta pa podaja lastni šum seizmometra tipa STS-2. Na sliki 3 so časovno prikazane PSD iz slike 2. Označeni sta dve izboljšavi, ki sta bistveno povečali kvaliteto lokacije v seizmičnem smislu: zmanjšan vpliv vetra in zamenjava seizmometra.





**Slika 2:** Spektrogram navpične komponente potresne opazovalnice KNDS. Odebeljene črte predstavljajo: lastni šum zajemalne enote Q730 (prekinjena rdeča); lastni šum seizmometra tipa CMG-40T (črna črta); lastni šum seizmometra tipa STS-2 (rumena črta).

**Figure 2.** Spectrogram of vertical component for the seismic station KNDS. Presented are also: Q730 instrumental-noise (dashed red line); CMG-40T instrumental-noise (black line); STS-2 instrumental noise (yellow line).



**Slika 3:** Časovni prikaz PSD iz slike 2.

**Figure 3.** PSDs from figure 2 in time.

## Zaključek

V prispevku smo predstavili posodobitve potresne opazovalnice Knežji Dol, ki smo jih izvedli sredi leta 2011, in so zmanjšale vpliv napajalne napetosti, vetra in temperaturnih sprememb na delovanje seizmološke merilne opreme. Na opazovalnico smo namestili tudi izredno kvaliteten seizmometer tipa STS-2. Nivo zaznavanja seizmičnega nemira na potresni opazovalnici se je močno izboljšal, s čimer smo omogočili opazovanje občutno šibkejših potresnih signalov. Cilj posodobitev je bil dosežen in s tem ustvarjena motivacija za nadaljnje raziskave dodatnih nadgradenj in izboljšav DMPO.

## Literatura

- Mali, M. in Tasič, I., 2011. Vpliv temperaturnih sprememb na delovanje dolgoperiodnih seizmometrov. Potresi v letu 2010, Agencija RS za okolje, Ljubljana.
- Mali, M. in Tasič, I., 2009. Posredni in neposredni vpliv vetra na seizmični signal. Potresi v letu 2008, Agencija RS za okolje, Ljubljana, 27-34.
- Mali, M. in Tasič, I., 2008. Vpliv brezprekinitvenega napajanja na delovanje potresne opazovalnice. Potresi v letu 2007, Agencija RS za okolje, Ljubljana, 54-60.
- Tasič, I. in Mali, M., 2007. Stabilnost temperature v seizmičnem jašku. Potresi v letu 2007, Agencija RS za okolje, Ljubljana, 28-34.
- Mali, M. in Tasič, I., 2011a. Vpliv temperature na delovanje dolgoperiodnih seizmometrov. Potresi v letu 2010, Agencija RS za okolje, Ljubljana, 62-71.
- Mali, M. in Tasič, I., 2011b. Posodobitev potresnih opazovalnic CRNS, GCIS in JAVS. Potresi v letu 2010, Agencija RS za okolje, Ljubljana, 47-53.



Marko Mali, Izidor Tasič

## ANALIZA LASTNEGA ŠUMA ZAJEMALNIH ENOT QUANTERRA Q730 QUANTERRA Q730 INSTRUMENTAL NOISE ANALYSIS

### **Povzetek**

V prispevku podajamo rezultate analize lastnega šuma zajemalnih enot tipa Quanterra Q730, s katerimi je opremljena Državna mreža potresnih opazovalnic (DMPO). Ugotovili smo, da je lastni šum zajemalnih enot glede na seizmični nemir potresnih opazovalnic v večini primerov ustrezen. Za nekaj najbolj mirnih lokacij potresnih opazovalnic pa trenutno nameščene zajemalne enote ne ustrezajo v celoti. V prispevku zato podajamo možne rešitve, kako bi lahko z uporabo istega tipa zajemalnih enot omenjeni problem rešili.

### **Abstract**

The main goal of this article was to analyze the instrumental noise of seismic recorder units (Quanterra Q730) used in Slovenian seismological network and to investigate if particular unit is suitable for particular seismic station location. We determined the most Q730 units are suitable concerning the seismic station quality. Than again some modifications to the Q730 units should be made to fully exploit the best seismic stations where the environmental noise is at its lowest.

### **Zajemalna enota Quanterra Q730**

Zajemalna enota (ang. Seismic Recorder) Quanterra Q730 (slika 1) izvaja funkcije analogno-digitalne (A/D) pretvorbe seizmičnih podatkov zajetih iz seizmometra, opremljanje le-teh s točnim časom ter shranjevanje podatkov v interni pomnilnik. Sočasno pošilja podatke v realnem času v središče za obdelavo podatkov. Zajemalna enota Q730 ima na vhodu 3 oziroma 6 neodvisnih 24-bitnih A/D pretvornikov. Dinamično območje je po specifikaciji proizvajalca nad 140 dB, medtem ko je njena občutljivost pogojena z vrednostjo LSB (ang. Least Significant Bit) in znaša 1,9  $\mu$ V. Vhodno območje enote (ang. Input Range) je nastavljeno tako, da se prilega izhodnemu ob-



*Slika 1: Zajemalna enota Quanterra Q730 (foto: Matjaž Gostinčar).*

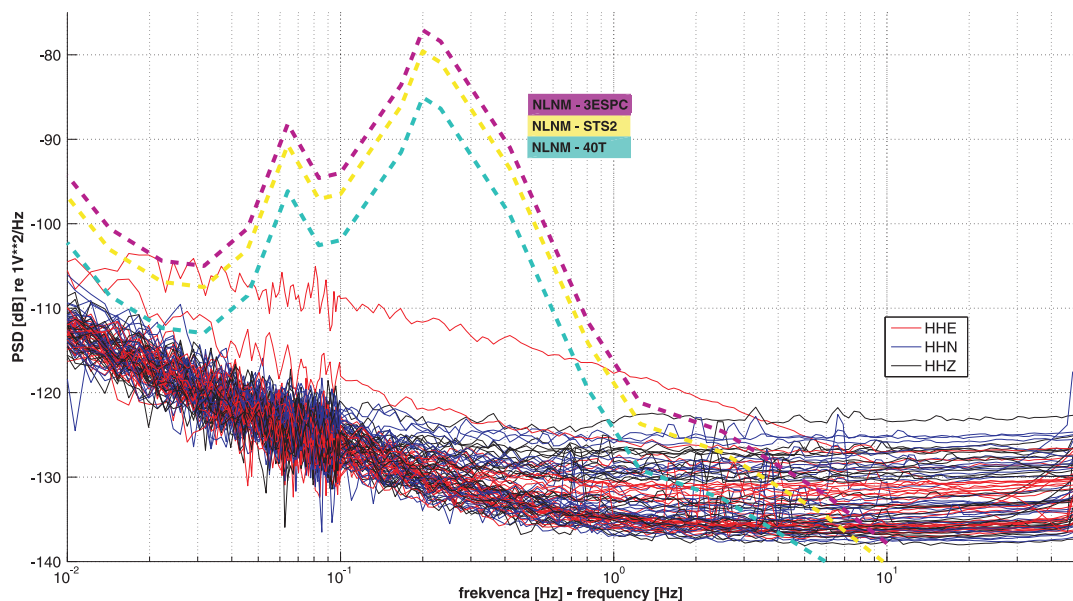
*Figure 1. Quanterra Q730 data acquisition system (Photo: Matjaž Gostinčar).*

močju seizmometra STS-2, ki znaša do  $\pm 20$  V. Lastni šum zajemalne enote teoretično (v primeru uporabe zajemalne enote v okolju, kjer sta temperatura in vlaga stabilni) znaša  $-142$  dB v območju frekvenc od  $0,25$  Hz do  $50$  Hz (Kinometrics, 2000). Proizvajalec je za vsako enoto posebej podal tudi kalibracijsko poročilo, ki med drugim podaja velikost enega bita oziroma enega koraka (ang. count) A/D pretvorbe. Omenjen podatek potrebujemo, da lahko število bitov pretvorimo v napetost oziroma z uporabo generatorske konstante seizmometra v eno od količin, ki se uporabljajo v seizmologiji (hitrost – nm/s oziroma pospešek – nm/s<sup>2</sup>).

## Analiza lastnega šuma

Lastni šum zajemalne enote Quanterra Q730 podaja spodnjo mejo signalov, ki jih je enota še zmožna prepoznati. V praksi težimo k nivoju lastnega šuma zajemalne enote, ki bo na posamezni potresni opazovalnici omogočal prepoznavanje celotnega spektra seizmičnih signalov. To pomeni, da mora biti lastni šum zajemalne enote nižji od seizmičnega nemira na lokaciji potresne opazovalnice. V primeru, da imamo potresno opazovalnico, ki leži na v seizmičnem smislu mirni lokaciji in je le-ta opremljena z zelo kvalitetnim seizmometrom (npr. tipa STS-2), lahko zaradi previsokega lastnega šuma zajemalne enote izgubimo del šibkih seizmičnih podatkov. Da bi preverili ustreznost posamezne zajemalne enote Q730, smo izvedli obširno analizo lastnega šuma vseh 26 zajemalnih enot, ki so nameščene na Državni mreži potresnih opazovalnic (DMPO).

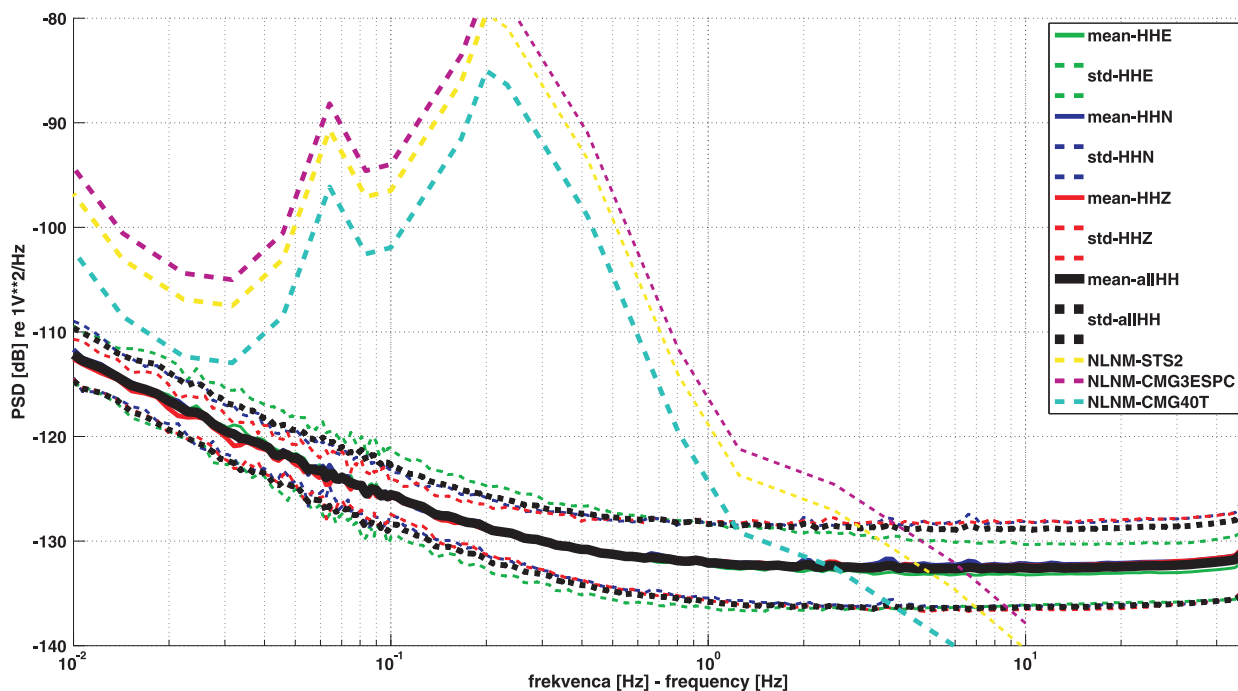
Lastni šum smo merili tako, da smo na vhod posameznega A/D pretvornika priključili  $50 \Omega$  upor z visoko temperaturno stabilnostjo in signal zajemali približno dve uri. Zajete podatke smo s pomočjo s strani proizvajalca podanih konstant (koliko voltov znaša en korak – »count« zajemalne enote) pretvorili v napetost (Havskov, 2002). Na ta način smo za vse zajemalne enote dobili nize dvournih časovnih zapisov lastnega šuma. Te zapise smo nato prikazali v obliki spektrov močnostne gostote (ang. Power Spectral Density – PSD) in sicer v enotah dB relativno na  $V^2/Hz$ . Vrednost lastnega šuma posameznega A/D pretvornika je zaradi lažje ocene njegove ustreznosti oziroma kakovosti predstavljena v okviru mej, ki jih podaja USGS-ov (Ameriški geološki zavod) globalni model seizmičnega nemira (GMSN). Pri tem je NLNM spodnja meja GMSN, NHNM pa



**Slika 2:** Lastni šum vseh pretvornikov A/D zajemalnih enot Q730, nameščenih na opazovalnicah DMPO. Ločeno so podane vrednosti lastnega šuma za posamezno komponento zajemalne enote (HHZ – navpična komponenta; HHN in HHE – vodoravni komponenti).

**Figure 2.** Q730 instrumental noise for particular component is presented (HHZ – vertical component; HHN and HHE – horizontal component).

zgornja meja GSMN (Peterson, 1993). Ker je DMPO opremljena z različnimi tipi seizmometrov (CMG 3ESPC, CMG 3T, CMG 40T in STS-2), smo omenjeni meji s pomočjo generatorskih konstant posameznega tipa seizmometra pretvorili v enote dB relativno na  $V^2/Hz$ . Rezultati analize so prikazani na sliki 2 in sliki 3.



**Slika 3:** Lastni šum vseh pretvornikov A/D zajemalnih enot Q730 nameščenih na DMPO. Podajamo skupno srednjo vrednost (ang. mean) in standardni odklon (ang. std) lastnega šuma. Ločeno so podane srednje vrednosti in standardni odklon za posamezno komponento zajemalne enote (HHZ – navpična komponenta; HHN in HHE – vodoravni komponenti).

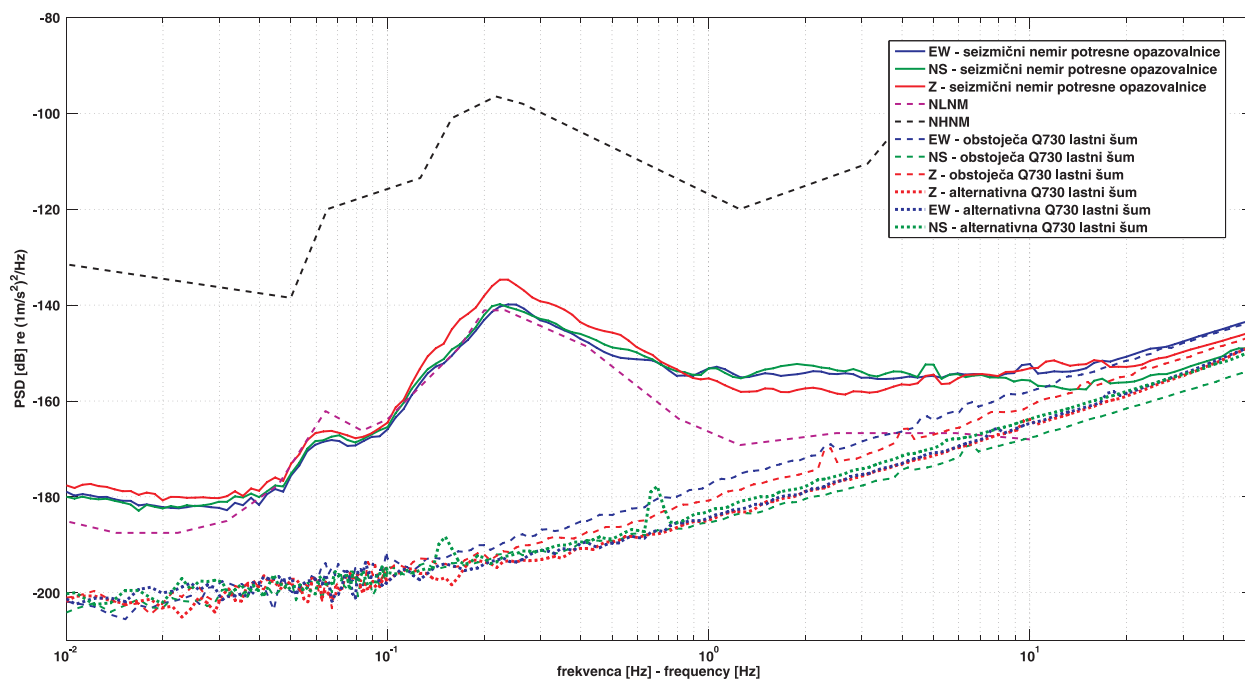
**Figure 3.** Q730 instrumental noise. Mean value and standard deviation for all A/D converters are presented. Separately mean values and standard deviation for each Q730 component (HHZ – vertical component; HHN and HHE – horizontal component) are presented.

Rezultate analize strnemo v naslednjih ugotovitvah:

1. Lastni šum posameznih A/D pretvornikov iste zajemalne enote se razlikuje tudi do 10 dB. Lastni šum posameznih A/D pretvornikov (gledano preko vseh zajemalnih enot) se razlikuje tudi za več kot 15 dB. Skoraj vsaka enota Q730 ima vsaj en A/D pretvornik, ki vsaj malo negativno odstopa od zelenih vrednosti. Smiselno bi bilo preučiti oziroma preizkusiti možnost menjave posameznih A/D pretvornikov med enotami Q730. Na ta način bi lahko potresne opazovalnice z najmanjšim nemirom opremili z zajemalnimi enotami, ki bi imele dovolj nizek lastni šum.
2. Lastni šum nekaterih A/D pretvornikov močno izstopa od povprečja (dve rdeči in ena črna sled na sliki 2), kar nakazuje na njihovo slabšo kvaliteto. Glede na sorazmerno visok seizmični nemir potresnih opazovalnic, kjer so omenjeni A/D pretvorniki nameščeni, njihov visok lastni šum ne zmanjšuje kvalitete zajetih seizmičnih signalov.
3. Trenutna razporeditev enot Q730 po potresnih opazovalnicah ni idealna. Zajemalne enote z nizkim lastnim šumom bi bilo smiselno predstaviti na mirnejše potresne opazovalnice. Na sliki 4 podajamo primer, kako bi z zamenjavo obstoječe zajemalne enote z zajemalno enoto,

ki ima nižji lastni šum, lahko izboljšali visoko-frekvenčni spekter zajetih seizmičnih podatkov (primer se nanaša na potresno opazovalnico Vrh pri Dolskem – VNDS, ki je opremljena z seizmometrom tipa CMG-3T nameščenim v vrtini).

- Zajemalna enota Q730 je s stališča lastnega šuma primerljiva z najnovejšimi zajemalnimi enotami drugih proizvajalcev (Reftek, Guralp, Nanometrics ...). Teza sledi iz rezultatov testiranja zajemalnih enot omenjenih proizvajalcev, ki so podani v prispevku z naslovom "Primerjalni test seizmoloških zajemalnih enot" (Mali in Tasič, 2012).



**Slika 4:** Seizmični nemir potresne opazovalnice VNDS (polne črte). Ločeno podajamo lastni šum trenutno nameščene zajemalne enote Q730 (daljše črtkane črte) ter lastni šum zajemalne enote Q730 (kratke in poudarjene črtkane črte), ki bi zaradi nižjega lastnega šuma izboljšala spekter visoko-frekvenčnih seizmičnih podatkov. Omenjeno velja predvsem za vertikalno (Z) in horizontalno (EW) komponento, kjer je spodnji nivo razpoznavanja signalov trenutno pogojen z lastnim šumom zajemalne enote.

**Figure 4.** Seismic noise at station VNDS is presented (full lines). Moreover instrumental noise of currently installed Q730 unit (dashed lines) and of possible replacement candidate (bolded dashed lines) is presented. Replacement of current Q730 unit with a better one would increase the high-frequency spectra of seismic data (this applies mostly for vertical and horizontal EW components).

## Zaključek

V prispevku smo podali glavne rezultate analize lastnega šuma zajemalnih enot Quanterra Q730. Ugotovili smo, da večina zajemalnih enot ustreza svojemu namenu in polno izkorišča kakovost posamezne potresne opazovalnice. Za zajemalne enote tipa Q730 lahko zato trdimo, da so kljub njihovi starosti (stare so namreč že več kot 15 let) v primerjavi z novejšimi modeli zajemalnih enot s stališča kakovosti še vedno primerljive. Rezultati analize pa so odprli tudi nove možnosti, kako kakovost DMPO še izboljšati. Ugotovili smo namreč, da na nekaterih mirnejših potresnih opazovalnicah trenutno nameščene zajemalne enote ne ustrezajo v polni meri. Z menjavo posameznih A/D pretvornikov (vsaka zajemalna enota namreč vsebuje tri ločene A/D pretvornike) med zajemalnimi enotami bi lahko zgradili določeno število s stališča lastnega šuma zelo dobrih zajemalnih enot in tako rešili omenjeni problem. Vendar je pred tem potrebno urediti postopke relativnega kalibriranja tako spremenjenih enot. Rezultati obširne analize nam poleg



potrditve kakovosti zajemalnih enot Q730 ter obširne količine podatkov nudijo tudi iztočnico za nadaljnje delo – preučitev možnosti menjave posameznih pretvornikov A/D med enotami Q730.

## Literatura

- Havskov, J., Alguacil, G., 2004. Instrumentation in Earthquake Seismology, Modern Approaches in Geophysics 22, 358pp., Springer, The Netherlands.
- Kinematics, Inc., 2000. Quanterra, Very-Broad-Band Seismological Instrumentation, Model Q730. User Guide.
- Mali, M., Tasič, I., 2012. Primerjalni test seizmoloških zajemalnih enot. Potresi v letu 2011.
- Peterson, J., 1993. Observations and modeling of seismic background noise. USGS, Open-File report 93-322. U.S. Geological Survey.

Marko Mali, Izidor Tasič

## PRIMERJALNI TEST SEIZMOLOŠKIH ZAJEMALNIH ENOT COMPARISON OF DIFFERENT SEISMIC RECORDERS

### **Povzetek**

V prispevku podajamo glavne rezultate primerjalnega testa seizmoloških zajemalnih enot (v test smo vključili štiri tipe seizmoloških zajemalnih enot različnih proizvajalcev) s ciljem najti ustrezno zamenjavo za zajemalno enoto tipa Quanterra Q730 ter najti ustrezno zajemalno enoto za pomožne potresne opazovalnice. Primerjali smo glavne tehnične in uporabniške lastnosti, kjer smo stremeli k čim boljši kompatibilnosti z ostalimi seizmološkimi in podpornimi sistemi, ki kot celota pogojujejo ustrezno delovanje posamezne potresne opazovalnice in posledično delovanje celotne mreže. Tako z vidika kakovosti, kakor tudi z vidika kompatibilnosti z obstoječimi sistemi, smo kot najboljši zajemalni enoti izbrali zajemalno enoto Taurus podjetja Nanometrics (najboljša zamenjava za obstoječe zajemalne enote tipa Quanterra Q730 v kombinaciji s seizmometri tipa Guralp) in zajemalno enoto EDR-209 podjetja EarthData (najboljša zajemalna enota za namen pomožnih potresnih opazovalnic).

### **Abstract**

We tested four different types of seismic recorder units developed by different companies. The main results are presented in this article. We have investigated several technical parameters of each unit and tested compatibility with existing seismological system to find the best choice for currently installed Quanterra Q730 seismic recorders. We also identified the best candidate for the temporary seismic stations. Seismic recorder Taurus (produced by Nanometrics) was determined as the best alternative for replacement of current seismic recorders (type Quanterra Q730). On the other hand seismic recorder EDR-209 (produced by EarthData) was identified as the best choice for the temporary seismic stations.

### **Uvod**

Zaradi staranja obstoječih zajemalnih enot tipa Quanterra Q730 in potrebe po dodatnih zajemalnih enotah, ki bi služile začasnim in pomožnim potresnim opazovalnicam, smo v Sektorju za potresna opazovanja izvedli projekt testiranja štirih tipov seizmoloških zajemalnih enot. Seizmološki zajemalni enoti proizvajalcev Nanometrics (zajemalna enota Taurus) in Reftek (zajemalna enota Reftek-130) smo testirali za namene morebitnih menjav zajemalnih enot Q730. Seizmološki zajemalni enoti proizvajalcev Guralp (zajemalna enota CMG-24EAM) in EarthData (zajemalna enota EDR-209) pa smo testirali za namene njihove uporabe na tistih začnih oziroma pomožnih potresnih opazovalnicah, ki nudijo možnost prenosa podatkov v realnem času, niso pa člen Državne mreže potresnih opazovalnic (DMPO). Vsi štirje tipi zajemalnih enot so prikazani na sliki 1, medtem ko so njihove glavne lastnosti podane v preglednici 1 (podatki so podani s strani proizvajalcev).

V postopku testiranja smo izračunali lastni šum posamezne zajemalne enote ter preverili vse njene glavne parametre in funkcije. Posebno pozornost smo namenili naslednjim lastnostim, ki so nujne za vključitev zajemalne enote v naše sisteme:

- Način shranjevanja in prenosa seizmoloških podatkov. Zajemalna enota mora biti kompatibilna s sistemom Antelope (podpirati mora prenos podatkov v realnem času direktno v sistem Antelope), ki ga za zajem in obdelavo seizmoloških podatkov uporablja Urad za seizmologijo in geologijo.
- Kompatibilnost s seizmometri. Vhodno območje zajemanja (ang. input range) zajemalne enote mora ustrezati seizmometrom, ki so nameščeni na posamezni potresni opazovalnici. Prav tako mora zajemalna enota omogočati daljinsko kalibracijo in centriranje mase seizmometrov.

- Ustrezno nizek lastni šum zajemalne enote. Za najboljše potresne opazovalnice potrebujemo zajemalne enote z lastnim šumom nižjim od seizmičnega šuma lokacije.
- Potrebe po napajanju. Zajemalna enota mora biti kompatibilna z obstoječim sistemom napajanja na potresnih opazovalnicah ter mora imeti nizko porabo energije.
- GPS sistem. Sistem GPS zajemalne enote mora ločeno vsebovati GPS anteno in GPS sprejemnik. Slednji mora biti nameščen v napravi sami. Na ta način je omogočena izvedba prenapetostne zaščite (zaščite same zajemalne enote) ter vključitev naprave v obstoječi sistem na potresnih opazovalnicah.
- Daljinski nadzor delovanja zajemalne enote. Zajemalna enota mora omogočati avtomatizacijo daljinskega nadzora vseh njenih ključnih parametrov (status napajanja, status delovanja GPS sistema, ...).

## Rezultati testiranja

Rezultate testiranja podajamo za vsako zajemalno enoto posebej. Poleg lastnega šuma posameznega tipa zajemalne enote na kratko podajamo tudi glavne slabosti in prednosti posamezne zajemalne enote in sicer s stališča vključitve le-te v našo mrežo.

Lastni šum posamezne enote je odvisen od vhodnega območja zajemalne enote oziroma od vrednosti enega count-a (velikost enega koraka pri A/D pretvorbi) ter od kvalitete zajemalne enote (koliko stopničk oziroma count-ov predstavlja lastni šum). Za enote, ki omogočajo nastavitve različnih vhodnih območij, bomo rezultate podali za vsa območja. Lastni šum smo merili tako, da smo na vhod posameznega A/D pretvornika priključili 50  $\Omega$  upor (z visoko temperaturno stabilnostjo) in signal zajemali približno dve uri. Zajete podatke smo s pomočjo generičnih

**Preglednica 1.** Glavne lastnosti zajemalnih enot, vključenih v testiranje.

**Table 1.** Main specifications of seismic recorders under test.

	Taurus	Reftek-130	CMG-24EAM	EDR-209
št. bitov / AD pretv. / no. of bits / AD conv.	24 / sigma-delta	24 / sigma-delta	24 / sigma-delta	24 / sigma-delta
število AD kanalov / no. of AD channels	3 možnost 6 in 9	3 možnost 6	6 možnost 3	6 možnost 3
št. pomožnih AD kan./ no. of aux channels	4 16 bitni / $\pm 10V$	8 16 bitni / $\pm 10V$	4 20 bitni / $\pm 10V$	4 16 bitni / $\pm 10V$
pospeškovni kanali / accelerometer chann.	da	da	da	ne
dinamično območje / dynamic range	>141 dB / preko celotnega frekvenčnega območja	>135 dB / preko celotnega frekvenčnega območja	>135 dB / preko celotnega frekvenčnega območja	>142 dB / preko celotnega frekvenčnega območja
vhodno območje / input range	nastavljivo ( $V_{pp}$ ) 2; 4; 8; 16; 20; 40	40 $V_{pp}$	nastavljivo ( $V_{pp}$ ) 0,64; 1,25; 2,5; 5; 10; 20	nastavljivo ( $V_{pp}$ ) 1,6; 16; 40
format in pren. pod. / data format and trans.	MiniSEED, ASCII, Seisan, SEGY SeedLink + NMX prot.	PASSCAL protokol Reftek	MiniSEED, ASCII protokol SeedLink	MiniSEED, ASCII protokol SeedLink
GPS sistem / GPS system	Ločen Tipična antena GPS	Ni ločen Poseben Reftek sistem	Ločen Netipična antena GPS	Ločen Tipična antena GPS
priključna moč / power	2,3 W	1,7 W	1,5 W	1,5 W
posebnosti / specialty	Možnost direktne konfiguracije (ekran LCD).	Možnost konfiguracije preko Ipad-a.	/	/



**Slika 1:** Zajemalne enote vključene v primerjalni test (levo zgoraj – Taurus; desno zgoraj – Reftek-130; levo spodaj – CMG-24EAM; desno spodaj – EDR-209).

**Figure 1.** Seismic recorders under test (upper left – Taurus; upper right – Reftek-130; lower left – CMG-24EAM; lower right – EDR-209).

podatkov, podanih s strani proizvajalca (koliko voltov znaša en korak – count A/D pretvornika) pretvorili v enoto napetosti. Na ta način smo za vse zajemalne enote dobili serije dvournih časovnih zapisov lastnega šuma. Omenjene zapise smo nato prikazali v obliki spektrov močnostne gostote (ang. Power Spectral Density – PSD) in sicer v enotah dB relativno na  $V^2/Hz$ . Vrednost lastnega šuma posameznega A/D pretvornika je zaradi lažje ocene njegove ustreznosti oziroma kakovosti predstavljena v okviru mej, ki jih podaja globalni model seizmičnega nemira GMNS. Pri tem je NLNM oznaka za spodnjo mejo GMNS, NHNM pa oznaka za zgornjo mejo GMNS (Peterson, 1993). Omenjeni meji smo s pomočjo generatorske konstante seizmometra tipa STS-2 pretvorili v enote dB relativno na  $V^2/Hz$ .

### Reftek – zajemalna enota Reftek-130

Zajemalna enota tipa Reftek-130 podjetja Reftek se je s stališča kvalitete (lastni šum zajemalne enote je podan na sliki 2), kakor tudi s stališča rokovanja izkazala za povprečno. Prednosti, ki bi jih posebej izpostavljali, nismo našli. Podajamo nekaj glavnih slabosti:

- Zajemalna enota ne nudi neposrednega uvoza podatkov v sistem Antelope.
- Zajemalna enota ima le eno vhodno območje (40 VPP), zato jo lahko optimalno uporabljamo le v kombinaciji z določenim tipom seizmometrov (STS-2, CMG-3T in CMG-3ESPC).
- Nima ločenega GPS sistema, ne omogoča zaščite pred atmosferskimi razelektritvami – potrebne opazovalnice so le-tem močno izpostavljene.
- Nadzor delovanja in glavnih parametrov SOH (ang. StateOfHealth parameters) je možen le z njihovo specialno programsko opremo.

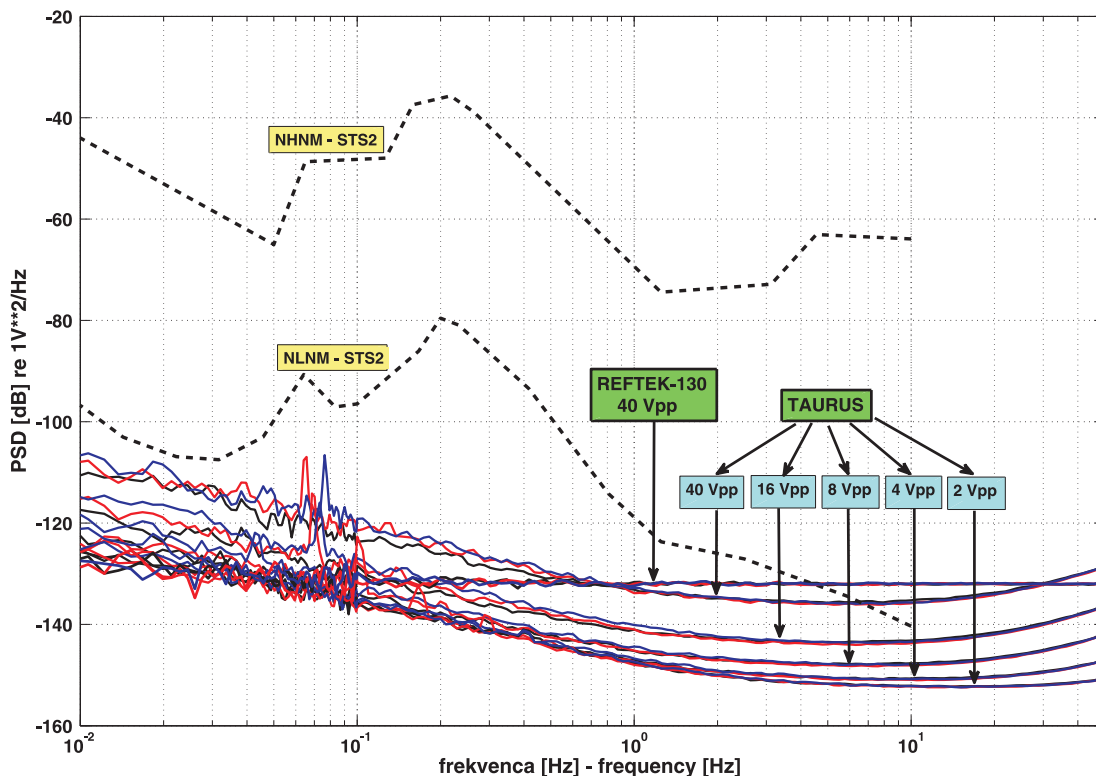
## Nanometrics – zajemalna enota Taurus

Zajemalna enota tipa Taurus podjetja Nanometrics se je izkazala za zelo kvalitetno ter s stališča uporabnika prijazno zajemalno enoto. Njene glavne prednosti so:

- Kompaktna oblika z vgrajenim zaslonom LCD in možnostjo neposredne konfiguracije in manipulacije s senzorjem ter pregledom statusa delovanja (ne potrebujemo dodatne opreme – prenosni računalnik, Ipad ...).
- Možnost neposrednega uvoza podatkov v sistem Antelope preko protokola SeedLink.
- Ponuja širok razpon vhodnega območja (2, 4, 8, 16, 10 in 40 VPP), s čimer lahko polno izkoristimo vse tipe seizmometrov, ki jih uporabljamo na DMPO.
- Ponuja ločen GPS sistem in možnost uporabe standardnih GPS anten (analogija s sedanjim sistemom).
- Omogoča samodejen nadzor delovanja in glavnih parametrov SOH.
- Ima nizek lastni šum (slika 2), zaradi česar je primerna tudi za namestitvev na najboljše potresne opazovalnice.

Ker so nekatere potresne opazovalnice opremljene tudi s starejšimi tipi zajemalnih enot (v Sloveniji so v letu 2011 delovali še trije sistemi z enotami RD3 in dva sistema z enotami HRD24) podjetja Nanometrics, bomo kot zanimivost podali tudi lastni šum in glavne lastnosti le-teh:

- Zajemalna enota RD3 je zaradi opremljanja seizmičnih signalov s točnim časom lahko delovala samo v kombinaciji z osebnim računalnikom, ki je bil opremljen s GPS sprejemnikom. Zajemalna enota vsebuje tri 16 bitne A/D pretvornike z vhodnim območjem  $\pm 4,6$  V. V kombinaciji s to zajemalno enoto smo uporabljali seizmometre tipa CMG40T, z izhodnim območjem



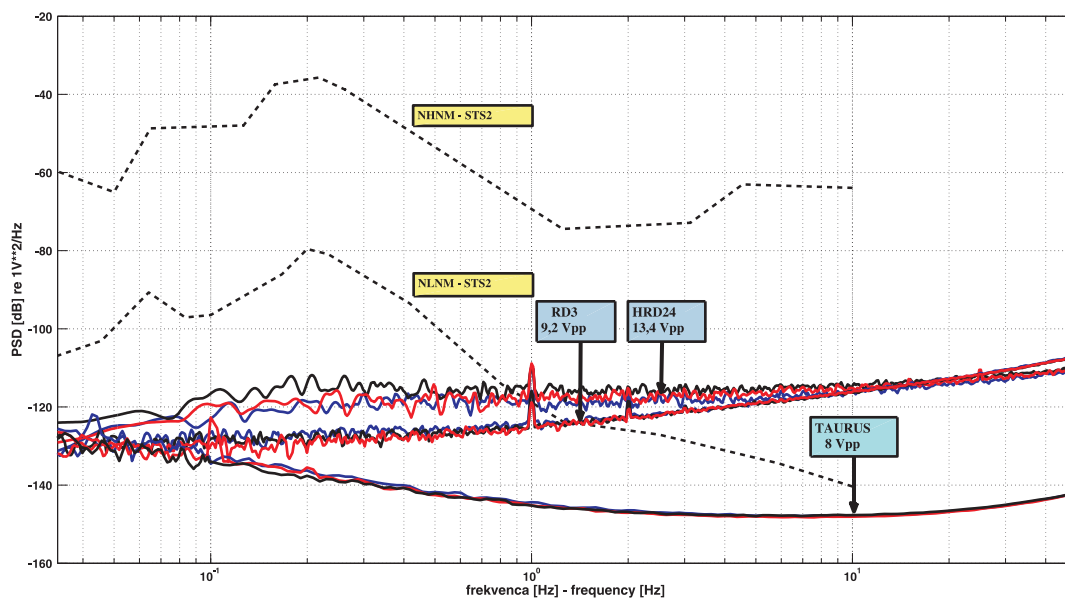
**Slika 2:** Lastni šum zajemalnih enot Taurus in Reftek-130. Lastni šum je ločeno podan za posamezen A/D pretvornik (vhodni kanal) zajemalne enote in sicer glede na izbiro vhodnega območja. Na višjih frekvencah je signal zaradi lažje predstavitve zglajen.

**Figure 2.** Taurus and Reftek-130 instrumental noise. Instrumental noise for particular A/D channel with respect to input range is presented.



delovanja  $\pm 10$  V, kar pomeni, da dinamično območje seizmometra ni bilo povsem izkoriščeno. V času prihoda na trg je bila to ena boljših zajemalnih enot. Njen lastni šum podajamo na sliki 3.

- Zajemalna enota HRD24 je nekoliko novejša verzija enote RD3, saj ima že vgrajen sprejemnik GPS. Ima 24 bitno pretvorbo in vhodno območje  $\pm 6,7$  V. Tudi na teh sistemih smo uporabili seizmometre CMG-40T z izhodnim območjem  $\pm 10$  V (dinamično območje tudi tu ni povsem izkoriščeno). Lastni šum A/D enote podajamo na sliki 3.



**Slika 3:** Lastni šum zajemalnih enot RD3 in HRD24. Lastni šum je ločeno podan za posamezen A/D pretvornik (vhodni kanal) zajemalne enote. Za primerjavo podajamo tudi lastni šum zajemalne enote tipa Taurus, ki predstavlja najnovejši dosežek podjetja Nanometrics.

**Figure 3.** RD3 and HRD24 instrumental noise. Instrumental noise for particular A/D channel is presented. Also instrumental noise for Taurus seismic recorder (it represents the newest product developed by Nanometrics) is presented.

## Guralp – zajemalna enota CMG-24EAM

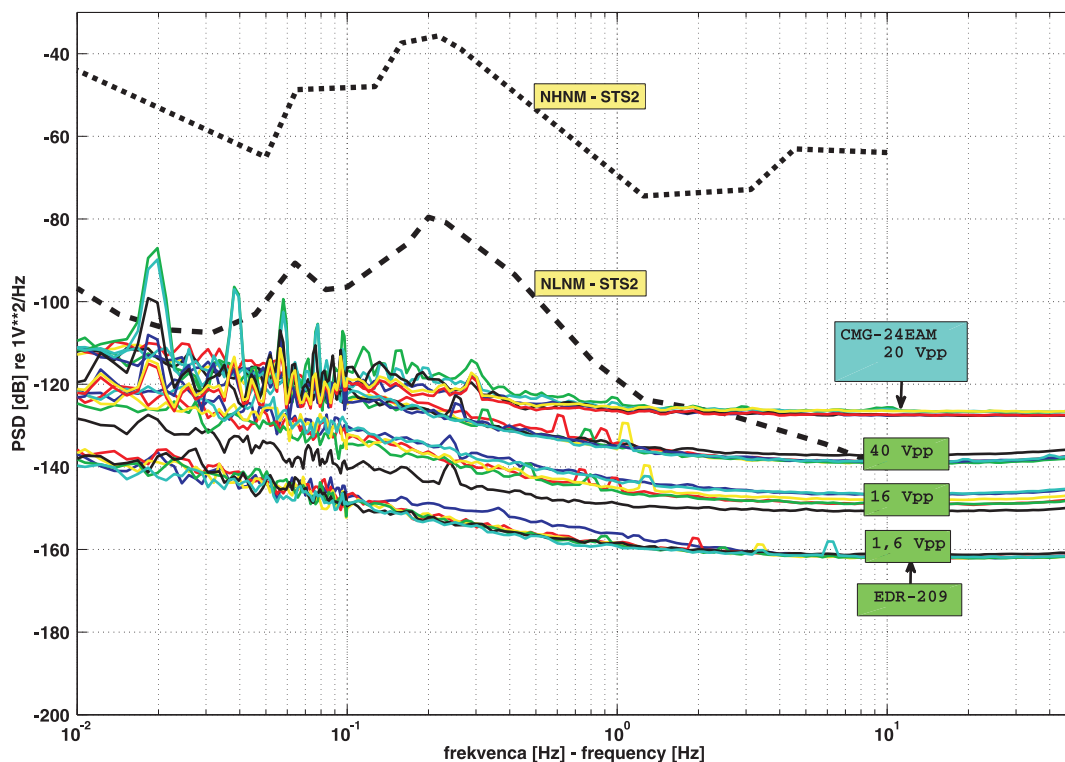
Zajemalna enota tipa CMG-24EAM podjetja Guralp se je s stališča kvalitete kakor tudi s stališča rokovanja izkazala za povprečno. Izpostavljene prednosti in slabosti so naslednje:

- Zajemalna enota nudi neposredni uvoz podatkov v sistem Antelope (preko protokola SeedLink).
- Zajemalna enota nudi več vhodnih območij med 40 Vpp in 0,64 Vpp, kar omogoča uporabo vseh tipov seizmometrov, ki jih uporabljamo v Uradu za seizmologijo in geologijo.
- GPS sprejemnik in antena sta združena v en kos, kar ni kompatibilno z obstoječo opremo. Ker je kabel, ki povezuje sprejemnik z zajemalno enoto nestandarden, zajemalne enote ni možno ščititi pred atmosferskimi razelektritvami.
- Zajemalna enota ima možnost uporabe NTP strežnika v primerih, ko ni GPS sprejemnika, vendar natančnost NTP strežnika ni znana.
- Avtomatizacija nadzora delovanja in glavnih parametrov SOH (ang. StateOfHealth parameters) je možna in uporabniku prijazna.
- Zajemalna enota ima v primerjavi s konkurenco razmeroma visok lastni šum (slika 4).

## EarthData – zajemalna enota EDR-209

Zajemalna enota tipa EDR-209 podjetja EarthData se je s stališča kvalitete kakor tudi s stališča rokovanja izkazala za nadpovprečno. Izpostavljene prednosti in slabosti so naslednje:

- Zajemalna enota je zelo kompaktna izdelava. Rokovanje z njo je zelo enostavno in pregledno.
- Zajemalna enota nudi neposredni uvoz podatkov v sistem Antelope (preko protokola SeedLink).
- Zajemalna enota nudi tri vhodna območja (0,8, 8, 40 VPP), kar omogoča uporabo vseh tipov seizmometrov, ki jih uporabljamo v Uradu za seizmologijo in geologijo.
- Ima ločen GPS sistem in uporablja standardne GPS antene.
- Nadzor delovanja in glavnih parametrov SOH je enostaven. Prav tako ga je možno enostavno avtomatizirati.
- Zajemalna enota ima v primerjavi s konkurenco nizek lastni šum (slika 4).
- Slabost zajemalne enote je, da ne omogoča zajemanja "mass pozicije" neposredno preko senzorskega priključka ter ne nudi enostavnega principa kalibracije senzorjev.



**Slika 4:** Lastni šum zajemalnih enot CMG-24EAM in EDR-209. Lastni šum je ločeno podan za posamezen A/D pretvornik (vhodni kanal) zajemalne enote in sicer glede na izbiro vhodnega območja.

**Figure 4.** CMG-24EAM and EDR-209 instrumental noise. Instrumental noise for particular A/D channel regards to input range is presented.

## Zaključek

V prispevku smo na strnjen način podali rezultate testiranja štirih tipov seizmoloških zajemalnih enot različnih proizvajalcev. Za vse zajemalne enote lahko trdimo, da so visoko-tehnološki dosežki in so vse posebne na svoj specifični način. Ker bomo v prihodnosti potrebovali tako nadomestek za sedanje zajemalne enote Državne mreže tipa Quanterra Q730, kakor tudi nove zajemalne enote, namenjene začasnim postavitvam v primeru potresov oziroma v raziskovalne namene, je bil glavni namen testiranja najti zajemalno enoto, ki jo najlažje vključimo v obstoječe sisteme. Kot najboljši nadomestek zajemalne enote Quanterra Q730 se je izkazala zajemalna enota Taurus podjetja Nanometric. Lastni šum omenjene zajemalne enote je bil ugotovljen za nižjega, kot smo ga izračunali za večino zajemalnih enot tipa Q730 (Mali in Tasič, 2012). Zajemalna enota Taurus se je zato izkazala kot izredno primerna tako s tehničnega vidika (nizek lastni šum, več

vhodnih območij ...) kakor tudi z vidika rokovanja. Med zajemalnima enotama CMG-24EAM podjetja Guralp in EDR-201 podjetja EarthData pa se je za ustrežnejšo izkazala slednja. Zaključimo lahko z zahvalo vsem proizvajalcem zajemalnih enot, ki so nam omogočili brezplačno spoznavanje njihove opreme in s tem spoznavanje z najnovejšo seizmološko tehnologijo ter pridobivanje novih znanj s področja seizmoloških naprav.

## **Literatura**

Mali, M., Tasič, I., 2012. Analiza lastnega šuma zajemalnih enot Quanterra Q730. Potresi v letu 2011 (ur. A. Gosar), ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 46-50.

Peterson, J., 1993. Observations and modeling of seismic background noise. USGS, Open-File report 93-322. U.S. Geological Survey.

<http://www.nanometrics.ca/products/taurus>

<http://www.earthdata.co.uk/edr-209.html>

<http://www.guralp.com/product-range/digitisers/>

<http://www.reftek.com/products/seismic-recorders-130-01.htm>

Milka Ložar Stopar, Mladen Živčić

## ŽARIŠČNI MEHANIZMI NEKATERIH MOČNEJŠIH POTRESOV V SLOVENIJI V LETIH 2010 IN 2011

### FAULT PLANE SOLUTIONS OF SOME STRONGER EARTHQUAKES IN SLOVENIA IN 2010 AND 2011

#### **Povzetek**

*Za močnejše potrese, ki so se v letih 2010 in 2011 zgodili v Sloveniji ali v njeni bližini, smo iz seizmogramov odčitali smeri prvih premikov ob vstopu vzdolžnega (longitudinalnega) valovanja. Za trinajst potresov leta 2010 in devet leta 2011 smo zbrali zadostno število podatkov za zanesljivo opredelitev rešitve prelomne ploskve. Njihove lokalne magnitude  $M_{LV}$  so bile v razponu od 1,8 do 3,7. Večina teh potresov je imela približno vodoraven premik ob skoraj navpičnem prelomu dinarske ali prečno dinarske smeri.*

#### **Abstract**

*The first onsets of the arrivals of the longitudinal waves were picked on the seismograms of stronger earthquakes in Slovenia in 2010 and 2011. There was sufficient amount of data to determine fault plane solutions for 22 events with local magnitudes ranging from  $M_{LV}=1.8$  to 3.7. The mechanisms are mostly of the strike-slip type with the fault strike along Dinaric or cross Dinaric direction.*

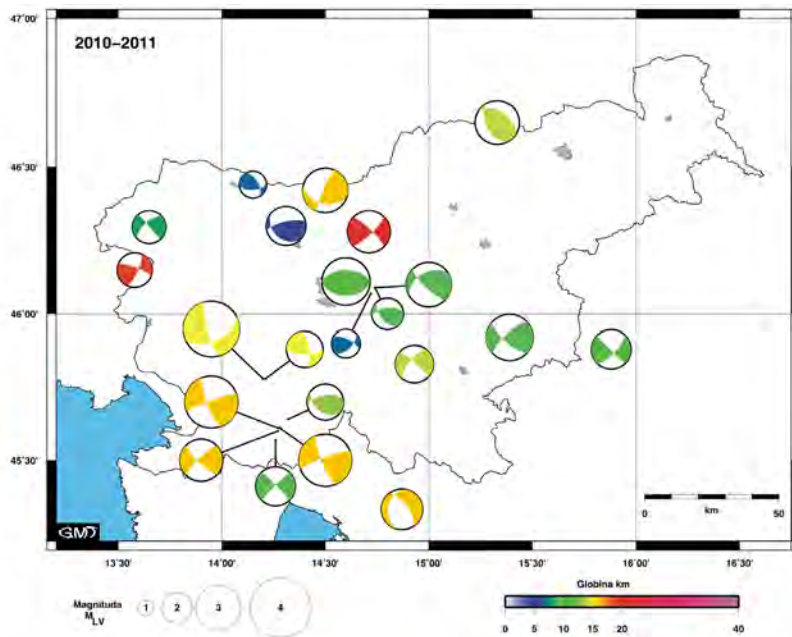
#### **Uvod**

Z žariščnim mehanizmom predstavimo deformacijo izvora potresa, od koder se širijo potresni valovi. Določimo ga iz oblike zapisa potresnega valovanja. Uporabili smo metodo določanja mehanizma iz smeri vstopa na posamezno opazovalnico. Vstop odčitamo na navpični komponenti kot kompresijo (zgostitev) ali dilatacijo (razredčitev) tal pod potresno opazovalnico.

Opis postopka določanja mehanizmov je v publikacijah iz preteklih let (Ložar Stopar, M., Živčić, M., 2008 in 2011). Za močnejše potrese v okolici Nakla (Čarman M. in sod., 2011), Postojne (Živčić M. in sod., 2011) ter Ilirske Bistrice (Čarman M. in sod., 2011), ki so se zgodili v letu 2010, so postopek in rezultati v razširjeni obliki zbrani v publikaciji Potresi v letu 2010.

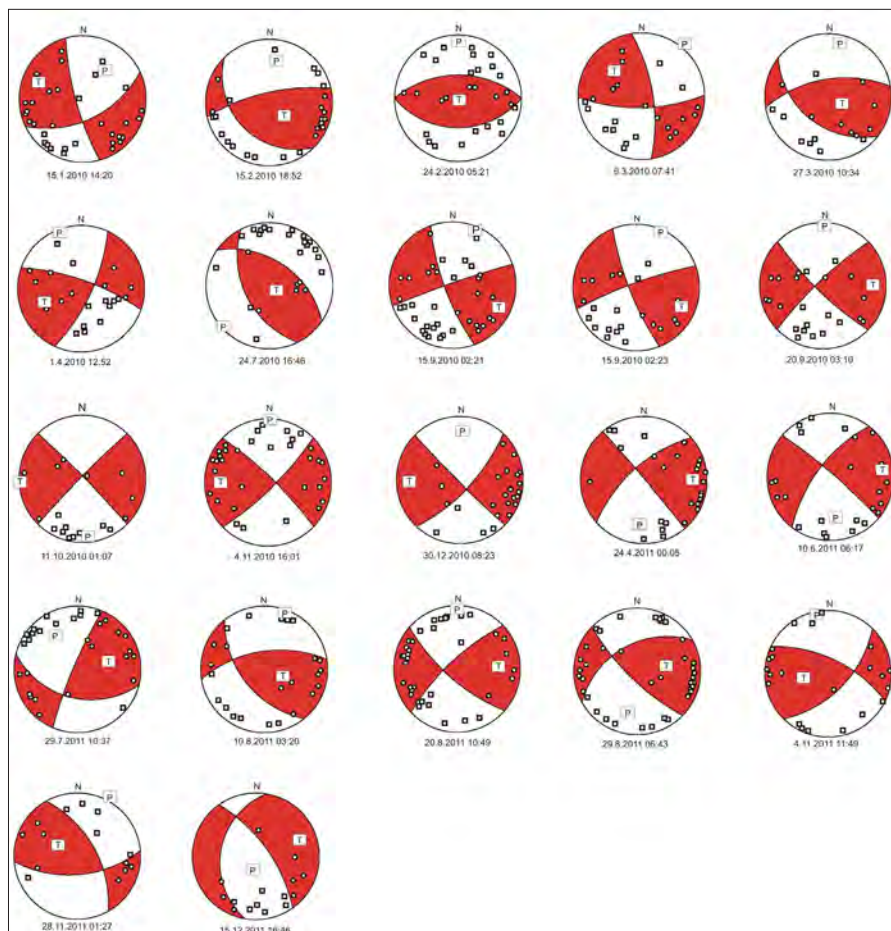
#### **Rezultati**

V tem prispevku je zajetih dvaindvajset potresov in njihovih žariščnih mehanizmov v letih 2010 in 2011 z žariščem na ozemlju Slovenije ali v neposredni okolici, za katere smo iz seizmogramov zbrali zadostno število podatkov za opredelitev rešitve prelomne ploskve in določitev žariščnih mehanizmov. Najmočnejši med njimi z magnitudo  $M_{LV}=3,7$  se je zgodil 15. januarja 2010 pri Postojni. Največje skupno število vstopov (odčitanih dilatacij in kompresij) za posamezni potres je bilo devetintrideset za potres 29. avgusta 2011 z magnitudo  $M_{LV}=3,0$  na območju Litije. Najmanjše skupno odčitano število vstopov za potres kateremu smo še uspeli določiti žariščni mehanizem je bilo petnajst. Vsi odčitki so bili v skladu z rešitvijo. Parametri žariščnih mehanizmov potresov so zbrani v preglednici 1, njihova geografska porazdelitev je na sliki 1. Izgled mehanizmov in lega opazovalnic je predstavljena v stereografski projekciji na sliki 2.



**Slika 1:** Lokacije močnejših potresov z njihovimi žariščnimi mehanizmi na ozemlju Slovenije in bližnje okolice v letih 2010 in 2011. Obarvani kvadranti so kompresijski, barva predstavlja žariščno globino, velikost pa vrednost lokalne magnitude  $M_{LV}$ .

**Figure 1.** Locations and fault plane solutions of the selected earthquakes with epicentres in Slovenia or its immediate vicinity in 2010 and 2011. Colored quadrants are compressional. Color gives information on focal depth and size scales with local magnitude  $M_{LV}$ .



**Slika 2:** Žariščni mehanizmi za dvaindvajset močnejših potresov na ozemlju Slovenije in bližnje okolice v letih 2010 in 2011. Kvadrantki predstavljajo opazovalnice, ki so kot prvi prihod zabeležile dilatacijo, krogi opazovalnice, ki so zabeležile kompresijo. Označeni sta smeri največje (P) in najmanjše (T) napetosti. Podana je projekcija na spodnjo poloblo.

**Figure 2.** Fault plane solutions of the selected earthquakes in Slovenia or its immediate vicinity in 2010 and 2011. Squares denote stations with dilatation as the first onset and circles stations with compression, P and T are maximum and minimum stress axes. Lower hemisphere projection.



**Preglednica 1.** Parametri žariščnih mehanizmov močnejših potresov na ozemlju Slovenije v letih 2010 in 2011. 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. Np je število uporabljenih podatkov o smeri prvih premikov. Nnp je število odčitkov neskladnih z rešitvijo.

**Table 1.** Focal mechanisms solutions of the selected earthquakes with epicentres in Slovenia or its immediate vicinity in 2010 and 2011. Strike is the azimuth of the horizontal direction taken so that the plane dips to the right, measured from the North through East (Aki's convention), dip of the fault is measured from the horizontal and rake is the angle of slip, measured in the plane of the fault from the strike direction to the slip vector. P is maximum and T minimum pressure axis. Np is number of P-wave first motion polarities used. Nnp is number of wrong P-wave first motion polarities.

datum	čas (UTC)	širina °N	dožina °E	globina km	M <sub>L</sub> V	ravnina 1			ravnina 2			P		T		Np	Nnp
						smer	naklon	premik	smer	naklon	premik	smer	naklon	smer	naklon		
date	time (UTC)	lat.	long.	depth	M <sub>L</sub> V	nodal plane 1			nodal plane 2			P		T		Np	Nnp
dd.mm.yyyy	hh:mm	°N	°E	km		strike	dip	rake	strike	dip	rake	azimuth	plunge	azimuth	plunge		
15. 1. 2010	14:20	45,78	14,20	15	3,7	65	53	-16	165	77	-142	32	36	290	16	35	0
15. 2. 2010	18:25	46,30	14,31	5	2,6	257	72	64	135	31	143	7	23	134	55	25	0
24. 2. 2010	05:21	46,11	14,60	11	3,2	90	40	90	270	50	90	0	5	180	85	29	0
6. 3. 2010	07:41	45,78	14,21	15	2,4	89	69	22	351	70	157	40	0	310	30	23	0
27. 3. 2010	10:34	45,64	14,32	13	2,4	260	59	60	128	42	130	11	9	119	63	16	0
1. 4. 2010	12:52	46,15	13,58	19	2,3	24	75	13	291	77	165	338	2	247	20	21	0
24. 7. 2010	16:46	46,65	15,33	14	2,9	304	47	70	152	47	110	48	0	139	76	25	0
15. 9. 2010	02:21	45,61	14,27	16	3,5	250	86	15	158	75	176	24	8	115	13	38	0
15. 9. 2010	02:23	45,61	14,28	16	3,5	250	81	12	158	78	171	24	2	114	15	22	0
20. 9. 2010	03:10	45,60	14,27	16	2,8	226	80	12	134	78	170	360	1	90	16	23	0
11. 10. 2010	01:07	45,57	14,26	9	2,6	225	86	-4	315	86	-176	180	6	90	0	17	0
4. 11. 2010	16:01	46,28	14,71	20	2,8	46	79	10	314	80	169	0	1	270	15	33	0
30. 12. 2010	08:24	45,88	15,88	11	2,6	43	70	-4	134	87	-160	0	16	267	12	24	0
24. 4. 2011	00:05	46,30	13,65	8	2,2	228	65	-2	319	88	-155	186	19	91	16	25	0
10. 6. 2011	06:17	45,83	14,93	14	2,5	218	66	-7	311	84	-156	178	21	82	12	23	0
29. 7. 2011	10:37	46,42	14,50	16	3,0	203	82	50	104	41	168	323	26	77	39	30	0
10. 8. 2011	03:20	46,09	14,74	9	2,1	261	58	48	141	51	137	19	4	115	55	25	0
20. 8. 2011	10:49	45,92	15,39	9	3,1	227	74	20	131	71	163	359	2	90	25	37	0
29. 8. 2011	06:43	46,09	14,74	9	3,0	240	44	22	134	75	132	194	19	85	44	39	0
4. 11. 2011	11:49	46,07	14,72	7	1,9	45	57	33	296	63	142	351	4	258	45	22	0
28. 11. 2011	01:27	46,44	14,15	7	1,8	85	57	40	330	57	40	28	0	298	50	15	0
15. 12. 2011	16:46	45,33	14,87	16	2,7	190	32	-49	324	66	-112	200	62	71	18	15	0

Rešitve prelomnih ploskev, ki smo jih za en potres pri Postojni in dva potresa pri Ilirski Bistrici dobili iz smeri prvih premikov ob vstopu vzdolžnega potresnega valovanja na potresno opazovalnico, so skoraj identične rešitvam, dobljenim z metodo inverzije potresnega navora na Istituto Nazionale di Oceanografia e Geofisica Sperimentale, v Trstu (INOGS, 2012) in na Earth & Atmospheric Sciences Saint Louis University v ZDA (EAS SLU, 2012a, 2012b). Rešitve CRS OGS in EAS SLU so podane v preglednici 2.

**Preglednica 2.** Parametri žariščnih mehanizmov določeni z inverzijo tenzorja potresnega navora za potrese 15. 1. 2010 ob 14:20 UTC, 15. 9. 2010 ob 02:21 UTC in 02:23 UTC na INOGS, v Trstu (INOGS, 2012) ter EAS SLU v ZDA (EAS SLU, 2012a, 2012b).

**Table 2.** Parameters of focal mechanisms for earthquakes on 15 January 2010 at 14:20 UTC, 15 September 2010 at 02:21 UTC and at 02:23 UTC determined by inversion of seismic moment tensor at INOGS, in Trieste (INOGS, 2012) and at SLU EAS in U.S. (EAS SLU, 2012a, 2012b).

datum	čas (UTC)	autor	širina	dolžina	globina	$M_w$	ravnina 1			ravnina 2			N
dd.mm.yyyy	hh:mm		°N	°E	km		smer	naklon	premik	smer	naklon	premik	
date	time (UTC)	author	lat.	lon.	depth	$M_w$	nodal plane 1			nodal plane 2			N
dd.mm.yyyy	hh:mm		°N	°E	km		strike	dip	rake	strike	dip	rake	
15.1.2010	14:20	CRS INOGS	45,61	14,25	8	3,5	166	79	-146	68	57	-13	5
15.9.2010	2:21	CRS INOGS	45,61	14,25	8	3,6	256	72	17	161	74	161	5
15.9.2010	2:23	CRS INOGS	45,61	14,25	8	3,5	256	77	24	160	67	166	5
15.9.2010	2:21	EAS SLU	45,62	14,26	27	3,88	250	70	-5	342	85	-160	21
15.9.2010	2:23	EAS SLU	45,62	14,26	25	3,7	250	80	15	157	75	170	16

## Zahvala

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

## Literatura

- Čarman, M., Živčič, M., Ložar Stopar, M., 2011. Potresi pri Ilirski Bistrici leta 2010. V A. Gosar, ur.: Potresi v letu 2010. Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana, 97-109.
- Čarman, M., Ložar Stopar, M., Cecić, I., Živčič, M., 2011. Niz šibkih potresov pri Naklem leta 2010. V A. Gosar, ur.: Potresi v letu 2010. Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana, 87-96.
- EAS SLU, 2012a. [http://www.eas.slu.edu/Earthquake\\_Center.old/MECH.EU/20100915022117/index.html](http://www.eas.slu.edu/Earthquake_Center.old/MECH.EU/20100915022117/index.html). Uporabljeno 24. 5. 2012.
- EAS SLU, 2012b. [http://www.eas.slu.edu/Earthquake\\_Center.old/MECH.EU/20100915022313/index.html](http://www.eas.slu.edu/Earthquake_Center.old/MECH.EU/20100915022313/index.html). Uporabljeno 24.5. 2012.
- INOGS, 2012. [http://rts.crs.inogs.it/it/project/3\\_tensore-momento.html](http://rts.crs.inogs.it/it/project/3_tensore-momento.html). Uporabljeno 24. 5. 2012

- Ložar Stopar, M., Živčič, M., 2008. Žariščni mehanizmi nekaterih močnejših potresov v Sloveniji v letih 2006 in 2007. V R. Vidrih, ur.: Potresi v letu 2007. 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. V A. Gosar, ur.: Potresi v letu 2010. Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana, 71-75.
- 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
- Živčič, M., Čarman, M., Ložar Stopar, M., 2011. Potres 15. januarja 2010 pri Postojni. V A. Gosar, ur.: Potresi v letu 2010. Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana, 76-86.

Dragica Čeč\*, Ina Cecić, Matevž Košir\*\*, Mladen Živčić

## POTRES 26. MARCA 1511 – INTERPRETACIJA NEKATERIH NOVIH PODATKOVNIH VIROV

## THE EARTHQUAKE ON 26 MARCH 1511 – INTERPRETATION OF SOME UNKNOWN HISTORICAL SOURCES

### *Povzetek*

*Nove raziskave zgodovinskih podatkovnih virov so prileljale do nekaterih do sedaj neznanih ali pa ne dokončno interpretiranih dokumentov, v katerih so opisane posledice potresa 26. marca 1511 na slovenskem ozemlju. V članku so novi viri predstavljeni, podan je tudi komentar zgodovinarjev. Prvi dokument (kupoprodajna pogodba) se nanaša na Piran, ostali na Tolmin.*

### *Abstract*

*During the research of the effects of the 26 March 1511 earthquake in Slovenia, some new sources have been found and are presented and commented in this paper. The first document is a contract from Piran, and the rest speak about the damage in Tolmin.*

V okviru raziskave smo se po prvi sondaži gradiva in literature (osnovni arhivski popis, arhivska pomagala, ohranjenost listin) osredotočili na sistematično pregledovanje gradiva v izbranih arhivih. Natančno smo pregledali tudi objavljeno literaturo, ki zajema čas prve polovice 16. stoletja in bi lahko dala podatke o informacijah o potresu 26. marca 1511 in njihovem nahajališču.

Z upoštevanjem specifične zgodovinske situacije in kulturnega konteksta vira so podatkovni viri na splošno razdeljeni na tri tipe:

- primarni viri: zapisi sodobnikov, praviloma prič potresa;
- sekundarni viri: anali, kronike in historični povzetki (kompilacije), torej zapisi, ki so nastali pozneje in na podlagi primarnih virov, niso jih pa pripravili očitvidci dogodka;
- podatki o seizmoloških katalogih.

V tej raziskavi smo v prvi vrsti želeli pridobiti nove primarne vire. Razlogov, zakaj so primarni viri najbolj zanesljivi za oceno dejanskih učinkov potresa, je več, najbolj pomemben je pa ta, da se s časom in zaradi prepisovanja v poznejše tekste rade prikradejo napake, ki lahko popačijo ali popolnoma spremenijo dejstva o dogodkih.

Potres leta 1511 je bil v zavesti sodobnikov in v stoletjih zatem dojet kot poseben dogodek, ki zaradi svoje nenavadnosti, učinkov, ki jih ima na posameznika in skupnost, predstavlja tisto okoliščino, zaradi katere je potrebno ohranjati spomin nanj<sup>[1]</sup>. Hkrati pa je argument za doseganje določenih ciljev, kar na primer kažejo zapisi kranjskih deželnih stanov (prim.: Košir in Cecić, 2011). Prav v tem tiči glavni problem vrednotenja informacij o potresu, zato je uvedba omenjene tipologije nujna. Podatki o potresu so zapisani bodisi v uradnih poročilih ali spominski literaturi, ki je nastala na podlagi določenih poročil. Ta vsebujejo informacije o poškodovanih cerkvah, gradovih in mestih. Iz obdobja po potresu je ohranjenih nekaj spominskih plošč z napisi o potresu in obnovi poškodovanih stavb. Na podlagi teh informacij lahko zapišemo, da sta bila poškodovani

[1] Skrb in poseben interes, ki ga intelektualci na začetku 16. stoletja dajejo pisnemu, trajnemu ohranjanju spomina, je ena takih praks. Delimo ga na pisanje zgodovin (ki lahko nosijo naslov zgodovine, slavna dejanja, dnevniki), na votivne in spominske napise in na zapise v določenih knjigah. Na Slovenskem to dokazujejo spominski napisi (Turjak, Polhov Gradec, Trst...), votivni zapisi (Škofja Loka), zapisi v inkunabule in marginalije, literarni zapisi diplomatov (M. Sanudo).

\* Univerza na Primorskem, Fakulteta za humanistične študije, dragica.cec@zrs.upr.si

\*\*Arhiv Republike Slovenije, matevz.kosir@gov.si

vana gradova v Tolminu (podrla sta se oba gradova). Deželni vicedom Egkh pa omenja škodo na gradovih v Polhovem Gradcu, Škofji Loki, Smledniku, Kamniku, Tržiču in Postojni. Opozarja pa tudi na škodo od krajev na Kranjskem, do Furlanije in Koroške (Košir in Cencić, 2011) [2].

## Kupoprodajna pogodba iz Pirana

Najzanimivejši prispevek je zagotovo kupoprodajna pogodba sklenjena v Piranu 3. maja 1511 in javno razglašena 4. maja 1511. Dokument vsebuje informacije, ki jih lahko povežemo s konkretnimi tehničnimi in ekonomskimi učinki potresa v mestu Piran. Gre za popolnoma drugačen tip informacije o potresu, ki so bile dostopne pred tem raziskovanjem.

Zaradi časovne oddaljenosti so z izjemo določenih dokumentov, ki razkrivajo neko pravno dejanje (spor, rešitev spora, nakup, zakup), dokumenti zelo redko ohranjeni, saj so bili izpostavljeni številnim dejavnikom. Notarska listina, v kateri omemba potresa ne predstavlja naključne opombe na robu listine, ampak je sestavni del teksta, je zato za vrednotenje učinkov potresa izjemna.

V Piranu se učinkov potresa do takrat ni beležilo. Listina pa dokazuje, da je tudi v Piranu potres povzročil materialno škodo na stavbah. Pogodba je bila sklenjena med Brunetto vdovo piranskega prebivalca in kmeta Johannisa de Bonifacia ter varuhinjo mladoletnih otrok in piranskim meščanom Marchelom de Blagayem<sup>[3]</sup>. Ta je s konsenzom mestnih oblasti nastopala kot tutorica svojih otrok in je lahko prodala (dedit, vendedit et tradit) oljčnik, ki je ležal na ozemlju piranske občine za pet dukatov ali drugega zlatega denarja v obtoku (ducatu quinque auri aut moneta currentis) piranskemu meščanu in tudi prebivalcu mesta (cives et habitatori piranensi) Marku Blagaju (Marchelu Blagayju). Prodala ga je zato, da bi lahko »zase in za svoje potomce obnovila svoj porušen dom« (respector ruine domorum suarum ut possit eas reparare), ki je bil poškodovan v potresu 26. marca (XXVI Martii).

Časovno gre za enega od najstarejših originalnih zapisov o potresu (Egkhovi zapisi so ohranjeni v prepisu iz 2. polovice 16. stoletja)<sup>[4]</sup>. Potres je bil tako močan, da je tako poškodoval določene stanovanjske hiše (vsaj to, o kateri govori listina), da jih je bilo potrebno popraviti, da se je v njih zopet dalo živeti. Vir sicer ne govori o stanju hiše (ali je bila novejša, ali starejša) pred potresom, prav tako ne vemo, kje natančno se je hiša nahajala. Glede na konzervatorska in arheološka dela v mestu Piran, ki so odkrila srednjeveške temelje posameznih hiš, lahko trdimo, da je bil vsaj del hiš v Piranu v času potresa zidan iz kamna<sup>[5]</sup>. Ne vemo pa, ali je bila tudi v listini omenjena stavba kamnita.

S pomočjo primerjave z drugimi ekonomskimi transakcijami lahko trdimo, da je bila prodajna vrednost oljčnika precejšnja. Vrednost je bila namreč enaka prodaji pravice trajnega najema (kar je pomenilo, da je dobil kupec in tudi njegovi potomci nepremično v uporabo za dolgo časovno

[2] V poročilih Sanuda in podatkih, ki jih navajajo italijanski avtorji po sicer nenatančno navedenih dokumentih iz beneškega centralnega arhiva, da je bil Bovec popolnoma porušen in uničen, pomembna trgovska povezava čez Predel pa prekinjena, ker sta se kot piše »dva sosednja hriba zrušila en proti drugemu in zaprla cesto v Nemčijo, kar je dobro za zdaj, ko smo v vojni, toda bo slabo za trgovino v časih, ko se povrne mir« (Sanudo, 12, 1511), <http://www.archive.org/stream/idiariidimarino38sanugooog#page/n13/mode/2up>.

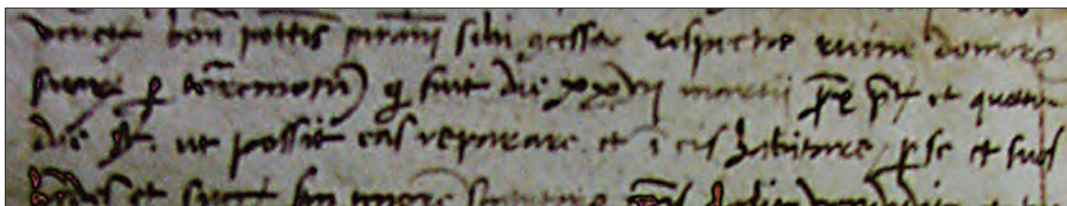
Sanudo poroča o Tolminu, da se je podrl grad in, da so ga njegovi čuvaji zapustili. Poroča še o hudih posledicah potresa v Čedadu (Civiale del Friuli), Beljaku (Villach), Krminu (Cormons), Gradiški (Gradisca d'Isonzo), Tržiču (Monfalcone) in Gorici (Gorizia).

[3] SI, PAK PI, 9.1., Notarske pergamentne listine, št. 1776, 3. 5. 1511. Kupoprodajna pogodba je del zbirke pergamentnih listin.

[4] Iz Kranjske imamo iz konca meseca marca in aprila 1511 dve poročili o potresu: pismo deželnega vicedoma Jurija pl. Egkha in kratka omemba potresa na zasedanju kranjskega deželnega zbora 7. aprila 1511. Naslednje poročilo je datirano v konec leta 1511 (Košir, 2011).

[5] Gradbeni material pri revnejših je bila na zraku sušena opeka.





**Slika 1:** SI, PAK PI, 9.1., Notarske pergamentne listine, št. 1776, 3. 5. 1511, prva omemba potresa v tej notarski listini.

**Figure 1.** The first mention of the 1511 earthquake in the sales contract from Piran, document: SI, PAK PI, 9.1., Notarske pergamentne listine, št. 1776, 3. 5. 1511

obdobje) enega nadstropja hiše v Kopru in vrta desetletje pred to pogodbo.

Lokacija hiše v viru ni eksplicitno omenjena, vse navedbe kraja so namreč povezane s pravnim dejanjem<sup>[6]</sup>. Ker pa se je takšno pravno dejanje po veljavnem pravnem redu lahko sklenilo le za premoženje pod jurisdikcijo mesta Piran, je nedvoumno, da je hiša stala v Piranu in da so potres čutili v tem mestu<sup>[7]</sup>.

Dokument je izjemen tudi zaradi zapisa o potresu, saj verjetno drugače ne bi našli v dokumentu, ki slika neko pravno dejanje<sup>[8]</sup> – v tem primeru prodajno pogodbo, tako natančne podatke o nekem dogodku – v našem primeru potresu, zagotovo dojetemu kot katastrofi, ki se je zgodil v določeni skupnosti. In tretjič je vir izjemen zato, ker ga je zapisal izobraženec, ki je natančno zabeležil datum in uro potresa<sup>[9]</sup>. Za omenjeni čas in pravno prakso ni bilo nič nenavadnega, da je predstavnik duhovščine v mestu hkrati opravljal tudi javno notarsko službo. Prav izobrazba zapisovalca je botrovala tako natančnemu zapisu tako datuma kot ure potresa. Potres se je zgodil 26. marca leta 1511 okoli 3 ure popoldne (možno med tretjo in četrto uro).

Notar je bistveno vplival na sam potek pravnega dejanja in formulacije listine. Prvo omembo potresa bi lahko sicer metodološko ohlapno uvrstili v enega od sestavnih delov listine, t.i. naracijo oz. povod za pravno dejanje, a tovrstne vsebine »naracije« v notarskih listinah niso pogoste, saj pravniki ponavadi iz uvodnega dela takoj preidejo k dispoziciji, ki predstavlja tudi večino listine. Kar dvakratna omemba potresa torej kaže na izjemnost dogodka. Z izjemnostjo potresa in njegovih učinkov so soglašali vsi, ki so bili prisotni pri sklenitvi pravnega dejanja in pri njegovi javni razglasitvi. Dvakratna omemba potresa ni povezana z dejstvom, da bi lahko šlo za dva potresna sunka, saj omemba v obeh primerih nastopa v funkciji utemeljitve pravnega dejanja. To je posebej vidno v drugi omembi potresa, ko je zapisano, da je Brunetta prodala svoj oljčnik zaradi škode, ki jo je povzročil grozovit potres (terremotum horribilem)<sup>[10]</sup>. Tudi druga omemba potresa sodi v tipični kontekst listine, saj po določitvi cene prodaje sledi predpisana pravna formulacija, s katero se zagotavlja trajnost sklenjenega dejanja: »v trajno last in upravljanje tega kupca, ki je to lastnino sprejel kot zamenjavo za prej opravljeno delo, ki ga je storil zaradi grozljivega potresa«.

[6] Pogodba z dne 3. maja 1511 se je razglasila na glavnem mestnem trgu pred mestno palačo, medtem ko je pogovor in dogovor med strankami potekal v piranski mestni loži. Javno je bila razglašena pred piranskim sodnikom in množico ljudi.

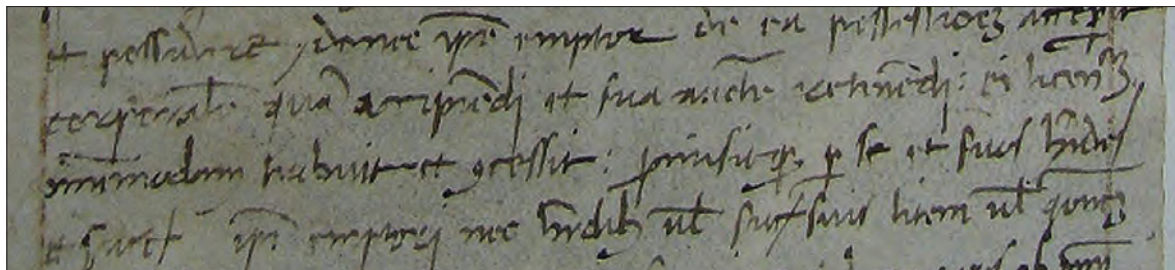
[7] Poleg tega nam da vir še dodatno pojasnilo – v uvodu, kjer so predstavljeni vsi, ki so bili priča dejanju, je namreč izrecno omenjeno, da Marchel Blagay živi v Piranu in da je tudi mož Brunette živel v Piranu. Posledično lahko sklepamo, da je tudi ona kot dedinja njegovega premoženja živela v tem mestu.

[8] Notar je bistveno vplival na sam potek pravnega dejanja in formulacije listine, ki ponavadi sledi določenim pisnim predlogam, saj je tako najbolj dosledno dosežena kredibilnost dejanja.

[9] Izobrazba zapisovalca je bila torej vsaj malo podobna izobrazbi zapisovalcev v stiški Summi angelici in Bibli Sacri.

[10] Drugo omembo potresa uvaja obrazložitev, da je bil nakup sklenjen v zameno (ipsa donna emptorem de una possidionibus accepit compensatio), ki ga je imela omenjena gospa tako tedaj kot sedaj (quad atipodii ac cotidiani in horribilem terremotum habuisset et concessit), sledi standardna formula, da dobi kupec in njegovi potomci v trajno last.

Glede drugih okoliščin potresa in njegovega učinka na prebivalstvo tega majhnega mesta vir ne podaja natančnih informacij. Ne vemo, ali so med potresom ljudje iz mesta zbežali<sup>[11]</sup>. Prav tako manjkajo vsakršni podatki o smrtnih žrtvah, saj tovrstnih virov ni. Predstavljena listina potrjuje zgolj to, da se je življenje v mestu dober mesec dni po potresu umirilo in vrnilo v običajne okvire, ki so omogočali vsakodnevno gospodarsko življenje in sklepanje transakcij. Osnovni pogoji (ki pa niso bili zelo sofisticirani) za poslovanje mestnih oblasti so bili torej že vzpostavljeni.



**Slika 2:** Del kupoprodajne pogodbe, sklenjene med Brunetto de Bonifacio in Marchelom de Blagajem, kjer je drugič omenjen potres.

**Figure 2.** Part of the sales contract between Brunetta de Bonifacio and Marchelo de Blagay where the earthquake is mentioned for the second time.

Glede na nujnost popravila stavbe (v pogodbi argumentirano, da bi se v njej lahko živelo) pa se vendarle zdi, da je potres za nekaj časa oviral običajno poslovanje v mestu.

O poškodbah v Piranu smo izvedeli iz do sedaj neznanega vira, toda niso bile nepričakovane, kot poročajo Camassi in sod. (2010). Zapisniki sej mestnega sveta v Trstu navajajo, da je mesto Trst tudi utrpelo nekaj škode od potresa. V poznejših sekundarnih virih je pogosto naveden napačen podatek o velikih poškodbah mestnega obzidja in celo cunamiju, ki naj bi prizadel mesto. Dejansko je mesto bilo zelo poškodovano leta 1508 v napadu Benečanov, v katerem je bil porušen del obzidja, in teh poškodb ne gre pripisati zgolj potresu.

### **Tolmin: Dnevnik Marina Sanuda in poročila komisije, ki je bila sestavljena zaradi spora z upraviteljem gospostva Tolmin Mihaelom Neuhauserjem leta 1523**

Ob nadaljnjem preučevanju gradiva se je našlo tudi dokaj natančno poročilo o obnovi porušenega gradu in tabora v Tolminu. O porušenju obeh gradov in tabora<sup>[12]</sup> piše že Egkh (Košir, Cecić, 2011). Italijanska poročila, ki so vsa posredna, v članku predstavljajo Camassi in sod. (2010). O potresu poroča Sanudo<sup>[13]</sup> v svojih dnevnikih po verjetno vojaških poročilih, ki so prišla v Benetke in torej zgolj posredno. Opozarja zlasti na škodo, ki je nastala v okolici Bovca oziroma proti

[11] Še manj podatkov je o žrtvah. Čas okoli leta 1511 je čas različnih katastrof: gre tako za podnebne okoliščine, ki so ciklične v času t. i. male ledene dobe (slabe letine), zdravstvene (epidemije nalezljivih bolezni v letu 1511, ki so po poročilih zajele področje zahodne in osrednje Slovenije), politične in vojaške (habsburško-beneška vojna, plenilski vpadi osmanskih skupin) ter gospodarske okoliščine, ki tudi do določene mere vplivajo in spodbujajo trajnejše oblike migracij in posledično vplivajo na število prebivalstva.

[12] »...Beiyder Schlösser sambt den Taborn...«

[13] Namen zgodovinarja in publicista, sina beneškega senatorja, Marina Sanuda je bilo napisati uradno zgodovino Beneške republike, zato je od januarja 1496 do septembra 1533 pisal dnevnik. V tem času je bil tudi član velikega sveta. Naloge pisanja uradne zgodovine republike ni nikoli dobil, saj je bila ta naloga leta 1531 prepuščena Pietru Bembo. Dnevnik dostopni na: <http://www.archive.org/stream/idiariidimarino38sanugoog#page/n13/mode/2up>.

[14] Prepis teksta vsebuje že opomba št. 2.

Predelu<sup>[14]</sup>. Skupina raziskovalcev ob Camassiju Sanudove zapise o rušenju gradu v Tolminu zaradi potresa potrjuje z dvema renesančnima zgodovinskima deloma furlanskih avtorjev iz druge polovice 16. stoletja<sup>[15]</sup>.

Leta 1523 je upravitelj gospostva Tolmin ob oceni prihodkov in stroškov pri določitvi višine zakupa (zastavne višine), ki so sestavni del gradiva posebne komisije, ki je bila osnovana zaradi spora glede plačila dolga Mihaela Neuhauserja, datirana s 1. avgustom 1523. Tudi v primeru Tolmina lahko govorimo, da gre za primarni vir, iz katerega je jasno razvidno, da je potres poškodoval oba gradova, a tudi v tem primeru ne moremo govoriti o obsegu poškodb, ker so bila obnovitvena dela povezana tudi z modernizacijo (obrambno, bivalno in estetsko) gradu. V zapisniku o gradbenih stroških na obeh zgradbah, ki jih je imel Neuhaus, je izrecno izpostavljeno, da je zakupnik dobil od cesarja ukaz po obnovi gradu in vojaške postojanke (sočasni viri jo imenujejo tudi tabor), ki ju je porušil potres. Obnova naj bi mu bila ukazana v posebnem pismu, ki je sledilo zakupni pogodbi in v katerem v dokumentu piše, da je bila kot 4. priloga dodana k predstavitvi primera v letu 1823 (dokumenta pa v gradivu ni)<sup>[16]</sup>. D. Terpin omenja tudi, da poškodovanje gradu v potresu potrdijo tudi vojni komisarji, ki obišejo Tolmin v letih 1511 in 1512 (Terpin, 2011, 78). Žal se ta dokument ni ohranil, ohranil pa se je natančen opis stroškov obnove v letih 1511 in 1512. Opisi oziroma računi obnove dokazujejo, da na grad niso pripeljali samo kamenja in lesa, za kar so plačali zneske pod 10 renskih goldinarjev, kar bi lahko povezali z nekimi obnovitvenimi deli, ampak da je bil v prvem letu daleč največji strošek kopanje obrambnega jarka, ki je stal 360 renskih goldinarjev. V naslednjih letih je šlo 873 renskih goldinarjev za obnovo gradu in utrjevanje tega. Različna gradbena dela pri gradu so trajala do leta 1519 in ker se večkrat uporablja beseda, da grad utrjujejo, je jasno, da ni šlo zgolj za obnovitvena dela, isti očitek pa je zapisan tudi v poročilu komisarjev, ki preiskujejo primer. Omenjen zapis dokazuje, da je bila vojaška utrdba v potresu zelo poškodovana in da se je zaradi relativno visokih stroškov obnove zakupnik izmikal popolni obnovi vojaškega tabora<sup>[17]</sup>. Na drugi strani pa ta dokument opozarja tudi na zelo pomembno strateško lego Tolmina. Deloma o obsegu poškodb na gradu pričajo tudi pritožbe podložnikov iz leta 1515 in 1524, ki so ponovno dokazovale obsežno obnovo gradu: ker prej podložniki niso opravljali tlake in ker se je obvezna tlaka zaradi obnove gradu že pred letom 1522 izredno povečala: morali so v grad znositi ves gradbeni les in apno, ki so ga v bližini vojaške utrdbe lomili idrijski rudarji (Verbič, 1974, str. 24). Prav tako pa so se podložniki pritoževali nad nasiljem stražarjev, ki so zaradi poškodb gradu živeli v Tolminu in ropali lokalno prebivalstvo.

## Zaključek

V tej raziskavi smo v prvi vrsti želeli pridobiti nove primarne vire, saj so ti nujni za določanje obsega potresa. S pomočjo novih primarnih virov smo potrdili poškodbe, ki jih je povzročil potres v Piranu in Tolminu. V primeru Pirana smo poškodbe na tem področju zgolj slutili, v primeru Tolmina pa so se potrdile navedbe v sekundarnih virih – zlasti v dnevnikih Marina Sanuda, saj so bili ti pisani na podlagi poročil iz terena.

[15] Giovanni Partenopeo je bil historiograf in je napisal delo o prvi habsburško beneški vojni (La guerra del Friuli contro i Tedeschi (1508-1513). Cronaca di G. Partenopeo) ter historiografija Enrica Palladia degli Olivi G.F., Historia del Friuli, Udine, 1660, 2, p. 108. Oba sta lahko poznala Sanudove zapise.

[16] M. Verbič je nekoliko nerodno zapisala povedi, ki jih lahko razumemo, da je bilo Neuhauserju v pogodbi, s katero je posodil denar nemškemu cesarju in je nosila datum 19. 3. 1511 določeno, da mora obnoviti grad, ki je bil porušen v potresu, saj je bila pogodba sklenjena v »času potresa«. Na podlagi virov, ki jih pri tem navaja, gre verjetno za njeno interpretacijo dokumenta iz leta 1523 in ne iz podatkov, ki bi bili v zakupni pogodbi iz 19. 3. 1511 in za katero iz besedila ni jasno, če jo je avtorica imela v rokah. Po tem dokumentu je imel Mihael Neuhauser z obnovo gradu vsaj 3500 goldinarjev stroškov.

[17] Steiermarkische Landesarchiv Graz, Hofkammer, šk. 116, p. 155, 156.

## Literatura

- Barbano, M. S., Bellettati, D., Slejko, D., 1994. Sources for the study of the Eastern Alps earthquakes in the turn of the 17th century ([http://emidius.mi.ingv.it/RHISE/ii\\_8bar/ii\\_8bar.html](http://emidius.mi.ingv.it/RHISE/ii_8bar/ii_8bar.html))
- Camassi, R., Caracciolo, C. H., Castelli, V., Slejko, D., 2010. The 1511 Eastern Alps earthquakes: a critical update and comparison of existing macroseismic datasets, *Journal of Seismology*, 15, 2, str. 191-213.
- Cremonesi, A., 1978. Potresi v zgodovini Furlanije, *Kronika, Časopis za slovensko krajevno zgodovino*, 26, str. 71-82.
- Ehmer, J., 2007. *Bevölkerungsgeschichte und Historische Demographie: 1800-2000*, München, Oldenbourg.
- Grünthal G., 1992. The central German earthquake of March 6, 1872. In: Gutdeutsch R, Grünthal G, Musson RMW (ur.) *Historical Earthquakes in Central Europe. Monographs Vol. I, Abhandlungen der Geologischen Bundesanstalt 48*, Wien, str. 51-109.
- Košir M., Cecić I., 2011. Potres 26. marca 1511 v luči novih raziskav, *Anno domini 1511, Idrijski razgledi*, str. 90-104.
- Košir, M., 2011. »Castrum grande quidem Lagk diruit undique totum« : o potresu leta 1511, beneški vojni, kmečkem poru in obnovi, *Loški razgledi* 58, str. 135-168.
- Lauer, G., Unger, T., 2004. Das Erdbeben von Lissabon und der Katastrophendiskurs im 18. Jahrhundert (Göttingen, 6. bis 8. Oktober 2005) – Jahrestagung der Deutschen Gesellschaft für die Erforschung des 18. Jahrhunderts, Radics, Peter, *Zur Geschichte der grossen Erdbebens in Krain im Jahre 1511. Die Erdbebenwarte*, 1, 1901, pp. 86-87.
- Terpin, D., 2011. Tolminsko gospostvo v začetku 16. stoletja, *Anno domini 1511, Idrijski razgledi*, str. 73-89.
- Verbič, M., 1974. Gospodarski in socialni položaj tolminskega kmeta v začetku 16. stoletja in upori tolminskih kmetov v letih 1513 do 1515, *Zgodovinski Časopis, Letnik 28, št. 1-2*, str. 3-43.



Tamara Jesenko, Manfred Deterding

## MOČNEJŠI POTRESI PO SVETU LETA 2011 WORLD'S LARGEST EARTHQUAKES IN 2011

### *Povzetek*

Leta 2011 je bilo po svetu 74 potresov, ki so dosegli ali presegli magnitudo 6,5 oziroma so povzročili večjo materialno škodo ali zahtevali človeška življenja. En potres je imel navorno magnitudo ( $M_w$ ) večjo od 8,0, devetnajst pa med 7,0 in 7,9. Vsaj 17 potresov je leta 2011 zahtevalo človeška življenja, skupno vsaj 21.953 žrtev. Najmočnejši ( $M_w = 9,0$ ) in najbolj uničujoč potres v letu 2011 je nastal 11. marca ob 5. uri in 46 minut po svetovnem času (ob 14.46 po lokalnem času) pod oceanskim dnom na območju Japonskega globokomorskega jarka. Umrlo je več kot 20.890 ljudi. Najgloblji potres z žariščem na globini 645 kilometrov in navorno magnitudo 7,3 se je 15. septembra zgodil pod oceanskim dnom na območju Fidžijske kotline.

### *Abstract*

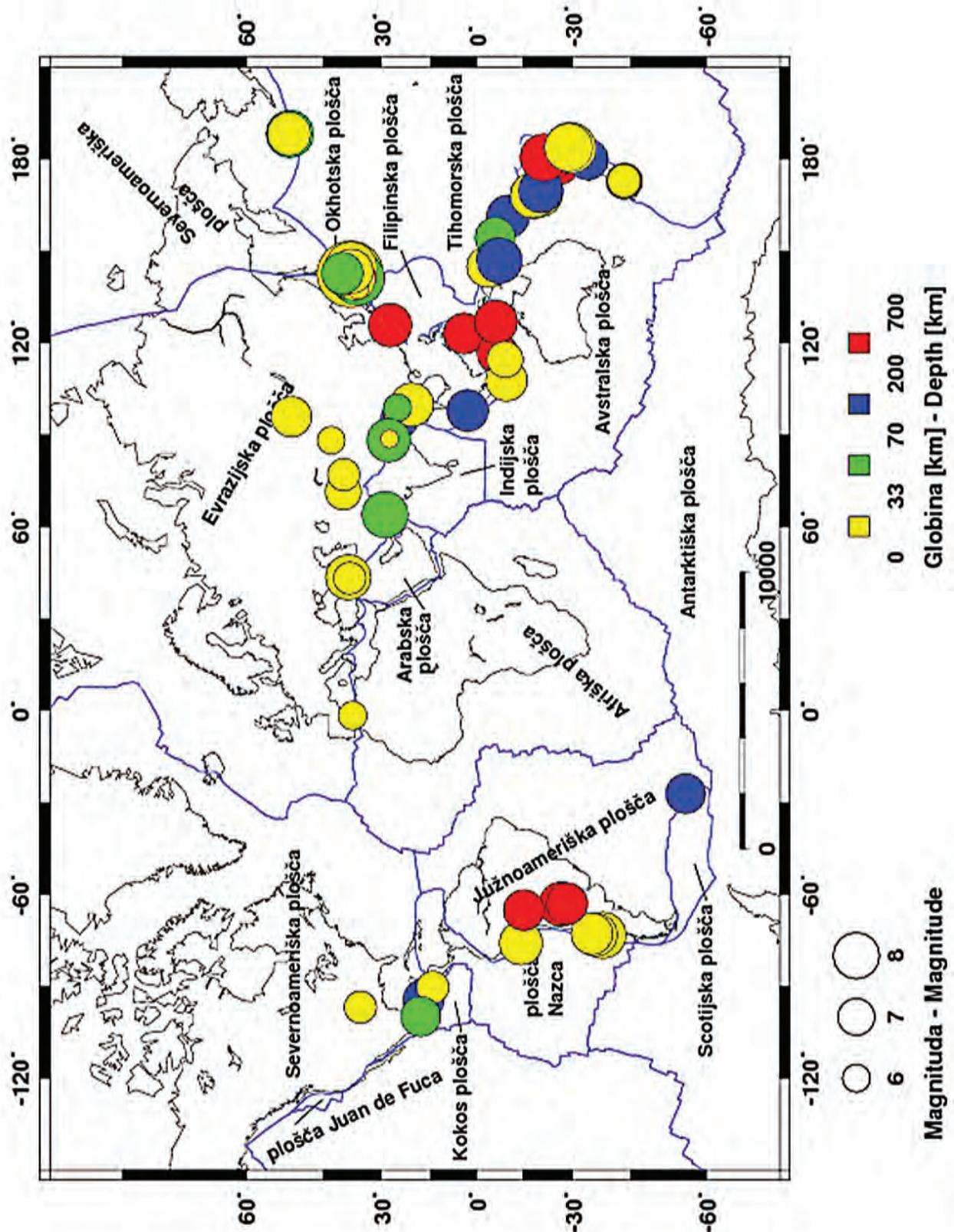
There were 74 earthquakes in the world in the year 2011 that either reached a magnitude of 6.5 or more, caused major damage to buildings and other structures, or even claimed human lives. One earthquake had reached a moment magnitude ( $M_w$ ) greater than 8.0 and 19 in-between 7.0 and 7.9. In 2011 there were at least 17 earthquakes that claimed human lives; in total there were at least 21,953 victims. The most devastating earthquake in 2011 happened on 11 March near the east coast of Honshu, Japan, where more than 20,890 people were killed. It ranks also first in terms of released energy, with a moment magnitude 9.0. The deepest earthquake happened on 15 September near Fiji, with a hypocentre 645 km below the Earth's surface and the moment magnitude 7.3.

### **Potresi in tektonika plošč**

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

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 tektonike plošč s potresno dejavnostjo, saj je večina močnejših potresov nastala na stikih tektonskih plošč. Narisani so le tisti, ki so leta 2011 dosegli ali presegli navorno magnitudo 6,5, in šibkejši, ki so povzročili večjo materialno škodo ali zahtevali človeška življenja. Če bi narisali nadžarišča oziroma epicentre vseh potresov, bi še boljše videli, da potresi nastajajo predvsem na mejah med posameznimi ploščami. Prav porazdelitev potresov je razkrila potek mej ali stikov med ploščami.





*Slika 1: Porazdelitev najmočnejših potresov leta 2011 na Zemlji, njihove globine in magnitudo; velikost krogov po nazarja vrednost potresne magnitudo, barva pa žariščno globino. Označene so tudi glavne tektonske plošče.*

*Figure 1. Distribution of the most powerful earthquakes in 2011, their depths and magnitudes. The size of the circle indicates the magnitude and the colour designates the focal depth. Main tectonic plates are also shown.*

## Pregled najmočnejših potresov

V Preglednici 1 so podatki o najmočnejših potresih leta 2011 (NEIC, 2011a; ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 2011). Našteti so le tisti, ki so dosegli ali presegli navorno magnitudo 6,5, in tisti, ki so povzročili večjo materialno škodo ali zahtevali človeška življenja. Vrednosti za  $m_b$  in  $M_s$  so srednje vrednosti, določene iz podatkov potresnih opazovalnic, ki so potres zapisale. Prostorskovalovna magnituda  $m_b$  (angl. body wave magnitude) je določena na podlagi največjega odklona na zapisu navpične komponente telesnega valovanja v prvih 20 sekundah po prihodu vzdolžnega telesnega valovanja. Površinskovalovna magnituda  $M_s$  (angl. surface wave magnitude) je določena na podlagi navpične komponente dolgoperiodnega površinskega valovanja. To se razvije pri potresih, katerih žarišče ni bilo globlje od približno 50 kilometrov. Magnitudi  $m_b$  in  $M_s$  imata zaradi zasičenosti pri zelo močnih potresih omejeno uporabo.  $M_w$  je navorna magnituda, ki velja tudi za najmočnejše potrese, in je določena s potresnim navorom. V nadaljevanju so vse navedene magnitude navorne magnitude. Globina potresov je izražena v kilometrih. V stolpcu Število žrtev je navedeno skupno število žrtev in pogrešanih za posamezni potres. Preglednica se konča z imenom širšega nadžariščnega območja potresa. Svet je namreč za statistične potrebe seizmologije razdeljen na 729 Flinn-Engdahlovih geometrijskih območij (Flinn-Engdahl regions, 2012).

Po številu potresov, ki so dosegli ali presegli magnitudo 6,5 oziroma so povzročili večjo materialno škodo ali zahtevali človeška življenja, leto 2011 ni izstopalo. Takih potresov je bilo 74, povprečje za obdobje 2001–2011 pa je 80 potresov na leto. En potres je imel navorno magnitudo večjo od 8,0, devetnajst pa med 7,0 in 7,9. Po statistiki, ki temelji na meritvah od leta 1900 naprej, se povprečno vsako leto zgodi en potres z magnitudo enako ali večjo kot 8,0 in 15 takih, ki imajo magnitudo med 7,0 in 7,9 (NEIC, 2012a). Skupno so potresi leta 2011 zahtevali več kot 21.000 življenj.

**Preglednica 1:** Seznam potresov leta 2011, katerih navorna magnituda  $M_w$  je bila enaka ali večja od 6,5. Dodani so potresi, katerih magnituda je bila sicer manjša, vendar so povzročili večjo materialno škodo, ranjene ali smrtne žrtve.  
**Table 1.** List of the earthquakes in 2011 with moment magnitudes  $M_w$  equal or greater than 6.5. Earthquakes with magnitudes below 6.5, which caused significant material damage, injuries or victims, are included.

datum	čas (UTC)	koordinati		magnituda			globina	število žrtev	območje
	ura:min	širina	dolžina	$m_b$	$M_s$	$M_w$	km		
date	time (UTC)	coordinates		magnitude			depth	number of victims	area
	hh:min	lat	lon	$m_b$	$M_s$	$M_w$	km		
2. 1.	20.20	38,36 J	73,33 Z	6,6		7,2	24		Araucania, Čile
9. 1.	10.03	19,16 J	168,31 V	6,1	6,4	6,5	24		Vanuatu
13. 1.	16.16	20,62 J	168,47 V	6,6	7,1	7,0	9		otočje Loyalty
18. 1.	20.23	28,77 S	63,95 V	6,7		7,2	68	3	jugozahodni Pakistan
1. 2.	7.11	24,69 S	97,93 V	4,8			31		meja Mjanmar-Kitajska
4. 2.	13.53	24,62 S	94,68 V	6,4		6,2	85	1	meja Mjanmar-Indija
10. 2.	14.39	4,19 S	122,97 V	6,1		6,5	523		Celebeško morje
10. 2.	14.41	4,08 S	123,04 V	6,3		6,6	525		Celebeško morje
11. 2.	20.05	36,47 J	73,13 Z	6,0		6,9	28		v morju blizu obale regije Bio-Bio, Čile
14. 2.	3.40	35,38 J	72,83 Z	5,9	6,6	6,7	21		v morju blizu obale regije Maule, Čile

datum	čas (UTC)	koordinati		magnituda			globina	število žrtev	območje
	ura:min	širina	dolžina	$m_b$	$M_s$	$M_w$	km		
date	time (UTC)	coordinates		magnitude			depth	number of victims	area
	hh:min	lat	lon	$m_b$	$M_s$	$M_w$	km		
21. 2.	10.57	26,14 J	178,40 V	6,3		6,6	558		južno od otočja Fidži
21. 2.	23.51	43,58 J	172,68 V	6,1	6,3	6,1	6	181	Južni otok Nove Zelandije
6. 3.	14.32	56,42 J	27,06 Z	6,6		6,5	88		območje otočja South Sandwich
9. 3.	2.45	38,44 S	142,84 V	6,4	7,3	7,3	32		v morju blizu vzhodne obale Honšuja, Japonska
10. 3.	4.58	24,72 S	97,97 V	5,4	5,3	5,5	26	25	meja Mjanmar-Kitajska
10. 3.	17.08	6,87 J	116,71 V	6,2		6,6	511		Bali
11. 3.	5.46	38,30 S	142,37 V	7,2	8,3	9,0	29	20896	v morju blizu vzhodne obale Honšuja, Japonska
11. 3.	6.08	38,97 S	143,37 V	6,7			3		v morju blizu vzhodne obale Honšuja, Japonska
11. 3.	6.15	36,28 S	141,11 V	6,8		7,9	43		v morju blizu vzhodne obale Honšuja, Japonska
11. 3.	6.18	36,02 S	142,27 V	6,6			16		v morju blizu vzhodne obale Honšuja, Japonska
11. 3.	6.20	36,00 S	142,07 V	6,5			49		v morju blizu vzhodne obale Honšuja, Japonska
11. 3.	6.25	38,06 S	144,59 V	7,1		7,7	18		v morju blizu vzhodne obale Honšuja, Japonska
11. 3.	8.19	36,16 S	141,58 V	6,5			7		v morju blizu vzhodne obale Honšuja, Japonska
11. 3.	1.36	39,24 S	142,52 V	6,5	6,6		26		v morju blizu vzhodne obale Honšuja, Japonska
12. 3.	1.47	37,59 S	142,65 V	6,2	6,4	6,5	20		v morju blizu vzhodne obale Honšuja, Japonska
24. 3.	13.55	20,69 S	99,82 V	6,3	7,1	6,9	8	74	Mjanmar
3. 4.	20.06	9,85 J	107,70 V	6,4	6,3	6,7	14		južno od Jave, Indonezija
7. 4.	13.11	17,21 S	94,34 Z	6,1		6,6	166		Veracruz, Mehika
7. 4.	14.32	38,28 S	141,59 V	6,8	7,0	7,1	42	3	v morju blizu vzhodne obale Honšuja, Japonska
11. 4.	8.16	37,00 S	140,41 V	6,4	6,5	6,6	11	7	vzhodni Honšu, Japonska
18. 4.	13.03	34,35 J	179,85 V	6,2		6,6	86		južno od otočja Kermadec
23. 4.	4.16	10,37 J	161,22 V	6,7		6,8	79		Salomonovo otočje
10. 5.	8.55	20,25 J	168,25 V	6,4	6,8	6,9	11		otočje Loyalty
11. 5.	16.47	37,70 S	1,67 Z	5,3		5,1	1	10	Španija
15. 5.	18.37	6,13 J	154,41 V		6,2	6,5	40		Bougainville, Papua Nova Gvineja
8. 6.	1.53	43,02 S	88,25 V	5,3			21		severni Xinjiang, Kitajska
13. 6.	2.20	43,56 J	172,74 V	6,0	6,0	5,9	6		Južni otok Nove Zelandije
20. 6.	10.16	25,08 S	98,72 V	5,3			39		meja Mjanmar-Kitajska
22. 6.	21.50	39,96 S	142,21 V	6,1	6,7	6,7	33		v morju blizu vzhodne obale Honšuja, Japonska
24. 6.	3.09	52,05 S	171,84 Z	6,9		7,3	52		otočje Fox, Aleuti, Aljaska
29. 6.	23.16	36,26 S	137,68 V	4,9			10		vzhodni Honšu, Japonska
6. 7.	19.03	29,54 J	176,34 Z	7,0	7,8	7,6	17		otočje Kermadec
10. 7.	0.57	38,03 S	143,26 V	6,6	7,0	7,0	23		v morju ob obali Honšuja, Japonska

datum	čas (UTC)	koordinati		magnituda			globina	število žrtev	območje
	ura:min	širina	dolžina	m <sub>b</sub>	M <sub>s</sub>	M <sub>w</sub>	km		
date	time (UTC)	coordinates		magnitude			depth	number of victims	area
	hh:min	lat	lon	m <sub>b</sub>	M <sub>s</sub>	M <sub>w</sub>	km		
19. 7.	19.35	40,08 S	71,41 E	6,1	6,2	6,1	20	14	Kirgizija
29. 7.	7.42	23,78 J	179,76 V	6,2		6,7	523		južno od otočja Fidži
31. 7.	23.38	3,52 J	144,83 V	6,2	6,6	6,6	10		blizu obale Nove Gvineje, Papua Nova Gvineja
11. 8.	10.06	39,96 S	77,03 V	5,3	5,3	5,6	10		južni Xinjiang, Kitajska
20. 8.	16.55	18,36 J	168,10 V	6,2	7,1	7,2	32		Vanuatu
20. 8.	17.13	18,33 J	168,11 V	5,9		6,5	60		Vanuatu
20. 8.	18.19	18,31 J	168,22 V		7,1	7,1	28		Vanuatu
24. 8.	17.46	7,64 J	74,51 Z			7,0	145		severni Peru
30. 8.	6.57	6,40 J	126,77 V	6,0		6,9	470		Bandsko morje
2. 9.	10.55	52,24 S	171,75 Z	6,4	6,9	6,9	32		otočje Fox, Aleuti, Aljaska
2. 9.	13.47	28,40 J	63,07 Z	6,4		6,7	578		Santiago del Estero, Argentina
3. 9.	22.55	20,64 J	169,73 V	6,4		7,0	166		Vanuatu
5. 9.	17.55	2,96 S	97,92 V	6,6		6,7	91	10	severna Sumatra, Indonezija
15. 9.	19.31	21,61 J	179,52 Z	6,1		7,3	645		Fidži
16. 9.	19.26	40,30 S	142,80 V	6,1	6,6	6,7	38		v morju blizu vzhodne obale Honšuja, Japon-ska
18. 9.	12.40	27,72 S	88,14 V	6,6	6,7	6,9	50	111	Sikkim, Indija
19. 9.	18.33	14,18 S	90,24 Z	5,1		5,6	9	1	Gvatemala
13. 10.	3.16	9,34 J	114,59 V			6,1	3		južno od Balijskega, Indonezija
14. 10.	3.35	6,57 J	147,88 V	5,7	6,5	6,5	37		vzhodni del Nove Gvineje, Papua Nova Gvineja
21. 10.	17.57	29,04 J	176,22 Z	6,9	7,7	7,4	33		otočje Kermadec
23. 10.	10.41	38,69 S	43,50 V	6,9	7,3	7,1	16	604	vzhodna Turčija
28. 10.	18.54	14,44 J	75,97 Z	6,5	6,9	6,9	24	1	blizu obale osrednjega Peruja
29. 10.	0.43	27,45 S	88,68 V			3,5	10	2	Sikkim, Indija
6. 11.	3.53	35,53 S	96,77 Z			5,6	5		Oklahoma
8. 11.	2.59	27,29 S	125,74 V			6,9	217		severovzhodno od Tajvana
9. 11.	19.23	38,43 S	43,23 V	5,6	5,6	5,6	5	8	vzhodna Turčija
22. 11.	18.48	15,34 J	65,16 Z	6,2		6,6	555		Beni, Bolivija
11. 12.	1.47	17,99 S	99,78 Z	6,2		6,5	59	2	Guerrero, Mehika
14. 12.	5.04	7,54 J	146,81 V	6,6		7,1	137		vzhodni del Nove Gvineje, Papua Nova Gvineja
23. 12.	0.58	43,49 J	172,93 V	5,7	5,6	5,8	8		Južni otok Nove Zelandije
27. 12.	15.21	51,84 S	95,92 V	6,1		6,6	15		jugovzhodna Sibirija, Rusija



## Japonski potres

Največje razdejanje je povzročil potres, ki je nastal 11. marca 2011 ob 5. uri in 46 minut po svetovnem času (UTC) oziroma ob 14.46 po lokalnem času pod oceanskim dnom na območju Japonskega globokomorskega jarka.

Na Japonskem so potresi pogosti, saj je del »Ognjenega obroča«, območja velike skupine aktivnih in neaktivnih vulkanov, ki obkrožajo Tihi ocean. Območje je znano po pogostih potresih in vulkanskih erupcijah. Ujema se z robovi ene glavnih zemeljskih tektonskih plošč, Tihomorske. Več kot polovica aktivnih vulkanov na kopnem je del obroča. Na področju obroča se zgodi kar 90 odstotkov potresov na našem planetu, med njimi je tudi 15 od šestnajstih najmočnejših, izmerjenih po letu 1900 (NEIC, 2012b). Na ozemlju Japonske se stikajo štiri litosferske tektonske plošče: Tihomorska, Evrazijska, Filipinska in Ohotska. Včasih so domnevali, da je Ohotska plošča del Severnoameriške, novejša raziskava pa kažejo, da gre za samostojno ploščo. Filipinska plošča se na območju globokomorskega jarka Nankai podriva pod Evrazijsko. Tihomorska plošča se giblje proti zahodu glede na Severnoameriško s povprečno hitrostjo 83 mm/leto in se na območju Japonskega globokomorskega jarka podriva pod Ohotsko, na območju Boninskega pa pod Filipinsko ploščo. Najmočnejši potresi nastajajo ravno v območjih podrivanja plošč, saj lahko presežejo magnitudo 8.

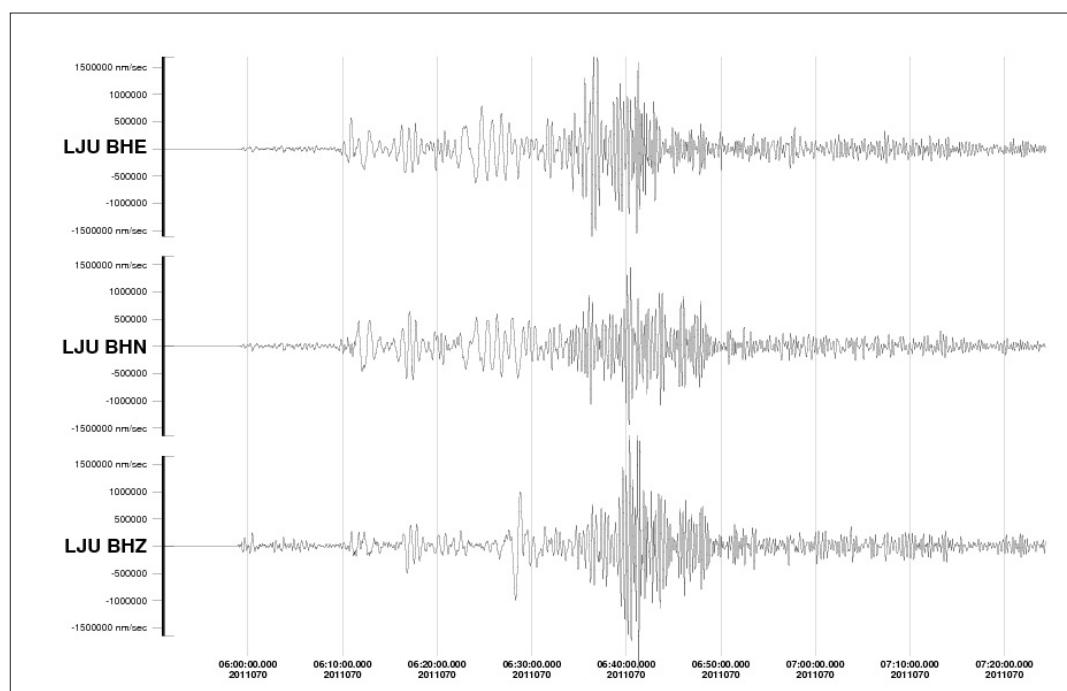
Potres 11. marca 2011 je nastal na območju subdukcije, kjer se Tihomorska plošča podriva pod Ohotsko. Z magnitudo 9,0 je bil to najmočnejši do zdaj izmerjen potres na Japonskem po letu 1900, ko so začeli po svetu s seizmografii sistematično opazovati potresno dejavnost (NEIC, 2012b). V potresu se je na območju podrivanja aktiviral vzdolž preloma 300 kilometrov dolg in v smeri tonjenja plošče 150 kilometrov širok del preloma (žariščno območje). Točka, v kateri se je sevanje energije potresnega valovanja začelo, imenovana tudi žarišče potresa, je bila 100 kilometrov daleč od prefekture Mijagi (129 kilometrov vzhodno od njenega glavnega mesta Sendai z okoli milijon prebivalcev) in 373 kilometrov severovzhodno od japonske prestolnice Tokio (NEIC, 2011b).



*Slika 2: Cunami na obali prefekture Mijagi (vir: <http://noypistuff.blogspot.com/2011/03/japan-earthquake-2011-over-1000-people.html>).*

*Figure 2. Waves of tsunami hitting the coast of Miyagi (source: <http://noypistuff.blogspot.com/2011/03/japan-earthquake-2011-over-1000-people.html>).*





**Slika 3:** Trikomponentni zapis potresa 11. marca 2011 na Japonskem na potresni opazovalnici LJU državne mreže potresnih opazovalnic. Prikazan je uro in pol dolg zapis.

**Figure 3.** Three-component seismogram of the earthquake on 11 March 2011 on Japan, as recorded on LJU station. The figure shows one hour and a half long record.

Navpični premik morskega dna je povzročil nastanek cunamija, ki je za seboj pustil pravo opustošenje in zahteval številna življenja ter povzročil nesrečo v jedrski elektrarni Fukušima. Po letu 1973 je bilo na območju Japonskega jarka devet potresov z magnitudo večjo kot 7,0. Decembra 1994 je nastal najmočnejši med njimi (z magnitudo 7,8) 260 kilometrov severneje od tokratnega dogodka in zahteval 3 življenja. Na istem področju podrivanja so nastali tudi močni potresi leta 1611, 1893 in 1933 ter sprožili cunamije, ki so pustošili po obalah regije Sanriku na severovzhodu Japonske. Zaradi svoje oblike je ta obala še posebno ranljiva. Pri potresu leta 1896 naj bi cunami dosegel višino 38 metrov in zahteval okoli 27 tisoč življenj (NEIC, 2011b).

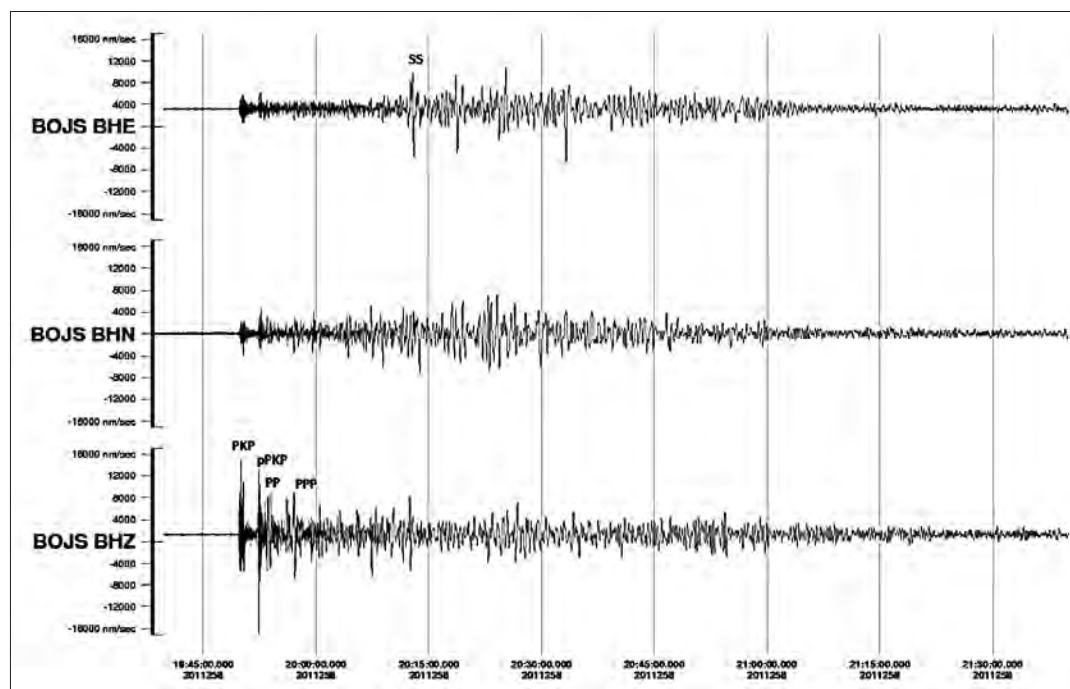
Zaradi velikega števila potresov je Japonska nanje pripravljena veliko bolje kakor druge države. Imajo dobre predpise, ki urejajo potresno odporno gradnjo. Ljudje so dobro obveščeni, kako je ob potresu potrebno ukrepati. Imajo vzpostavljen tudi sistem hitrega alarmiranja ob potresih, ki ga sestavlja več kot 1000 seizmografov. Ko sistem zazna potres, samodejno analizira podatke in odda morebitno opozorilo, ki je objavljeno tudi v medijih in na mobilnih telefonih. Čas, ki je na voljo za ukrepanje, je odvisen od oddaljenosti žarišča potresa. Ponavadi je kratek, le nekaj sekund do minute, a dovolj daleč od žarišča potresa ta zadostuje, da se ob alarmu samodejno zaustavijo vlaki, delovanje jedrskih elektrarn in drugih pomembnih sistemov. 11. marca je minuto, preden so potres čutili v Tokiu (oddaljenost 373 km), sistem oddal opozorilo, da se je zgodil potres, in da se pričakuje močno tresenje tal. Ljudje so bili sicer presenečeni zaradi dolgotrajnega nekajminutnega tresenja tal, vendar prevelike panike ni bilo. Nihče pa si verjetno ni predstavljal, da za obale prefektur Fukušima, Iwate in Mijagi tisto najhujše šele prihaja v obliki cunamija (slika 2). Opozorilo o nevarnosti cunamijev je bilo izdano za celotno območje Tihega oceana, vendar je višina valov cunamija, ki je 10 do 30 minut po potresu zadel potresu najbližje dele Japonske obale, preseгла pričakovane vrednosti. Postavljeni nasipi (visoki do 12 metrov) niso zadoščali, voda je odnašala vse pred seboj ter za sabo puščala opustošenje. Veliko ljudi je izgubilo življenje ravno zato, ker se niso umaknili dovolj visoko. Lokalno so bili valovi visoki tudi več kot 30 metrov. Reševalci so v dneh po potresu v popolnoma uničenih obmorskih mestih le nemočno odkrivali na

tisoče trupel. Števila žrtev zaradi samega tresenja tal ne bomo izvedeli nikoli, saj je tokrat ubijala voda. Potres in cunamiji so zahtevali več kot 15.552 življenj, 5.314 je bilo ranjenih. Še več kot 5.346 je pogrešanih (NEIC, 2011a). 4,4 milijonov domov na severovzhodu Japonske je ostalo brez elektrike. Poškodovane so bile številne cestne, železniške in telekomunikacijske povezave. Delovne enajstih reaktorjev jedrskih elektrarn (Fukušima I., Fukušima II., Onagawa, Tokai) se je sicer samodejno ustavilo, vendar je bila višina valov cunamija pri jedrski elektrarni Fukušima I. in II. veliko višja od postavljenih nasipov. Tu so se soočili z zelo resnimi problemi, saj so zaradi zalitja vode cunamija ostali brez vseh virov elektrike, ki je potrebna za hlajenje reaktorja. Težave so se iz dneva v dan stopnjevale (eksplozije vodika v reaktorju, požari, visoka radioaktivnost, razpoka v steni reaktorja, uhajanje visoko radioaktivne vode v morje, poškodbe goriva...). Več kot 200 tisoč ljudi je bilo evakuiranih iz 20 kilometrskega pasu okoli elektrarne.

Potresni valovi so do potresne opazovalnice na Golovcu v Ljubljani (LJU), ene izmed opazovalnic državne mreže potresnih opazovalnic RS (Sinčič in drugi, 2010), potovali približno 12 minut in 30 sekund. Seizmografi so jih zaznali ob 5. uri 58 minut in 52 sekund po UTC (slika 3). Oddaljenost opazovalnice LJU od izvora potresa je približno 84 stopinj oziroma okoli 9300 kilometrov ( $1^\circ$  je približno 111 km).

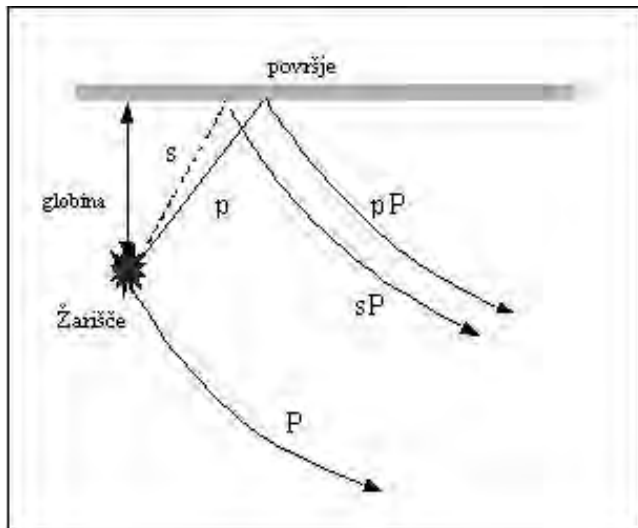
### Potres na območju Fidžija

Najgloblji potres z žariščem na globini 645 kilometrov in navorno magnitudo 7,3 se je zgodil 15. septembra ob 19. uri in 31 minut po svetovnem času (UTC) oziroma 16. septembra ob 7. uri in 31 minut po lokalnem času pod oceanskim dnem na območju Fidžijske kotline. Nastal je na območju, kjer se Tihomorska plošča proti zahodu podriva pod Avstralsko s povprečno hitrostjo 75 mm na leto. Kadar so žarišča potresov več kot 300 kilometrov globoko, govorimo o globokih potresih, tiste z žariščem na globini med 70 in 300 kilometri imenujemo srednje globoki potresi, plitvi potresi pa imajo svoje žarišče na globini do 70 kilometrov. Takšna delitev velja za svetov-



**Slika 4:** Trikomponentni zapis potresa 15. septembra 2011 na območju Fidžija na potresni opazovalnici BOJS državne mreže potresnih opazovalnic. Prikazan je dve uri dolg zapis. Označene so nekatere faze valovanja.

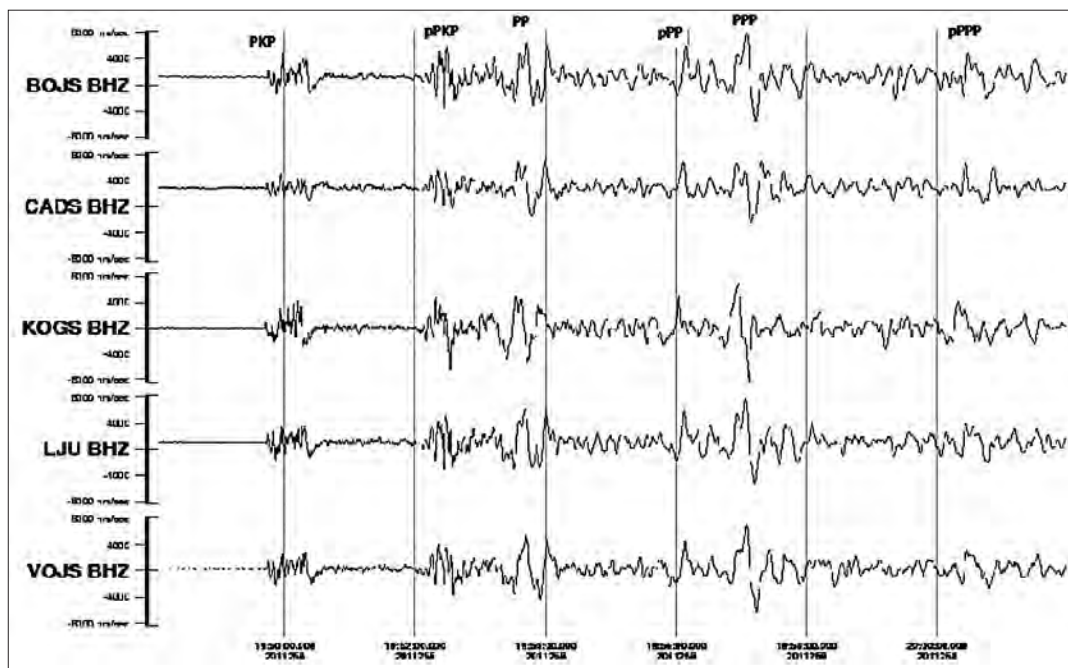
**Figure 4.** Three-component seismogram of the earthquake on 15 September 2011 in Fiji region, as recorded on BOJS station. The figure shows two hour long record. Some phases are marked.



**Slika 5:** Shematski prikaz različnih poti direktnega valovanja  $P$  in njegovih globinskih faz ( $pP$ ,  $sP$ ).

**Figure 5.** Schematic presentation of propagation path of direct  $P$  wave and its depth phases ( $pP$ ,  $sP$ ).

ne razsežnosti. Globoki in srednje globoki potresi so ponavadi posledica deformacije znotraj plošče, ki tone, in ne deformacije na njenih robovih. Tihomorska plošča je zahodno od septembrskega potresa potresno dejavna tudi do več kot 650 kilometrov globoko. Z globino postaja njena struktura vedno bolj kompleksna, prisotne so lahko tudi interakcije med ploščo in njenimi odlomljenimi deli. To območje je tudi sicer eno najbolj potresno dejavnih na svetu. V zadnjih 37 letih so tu seizmografi zabeležili več kot 3000 globokih potresov. Štirinajst jih je imelo magnitudo večjo kot 6,5. Globoki potresi v nasprotju s plitvimi navadno ne povzročijo veliko škode na površju Zemlje, se jih pa čuti zelo daleč od njihovega nadžarišča (NEIC, 2011c). Potresni valovi so od izvora potresa na območju Fidžija do slovenskih potresnih opazovalnic (Sinčič in drugi, 2010) potovali približno 18 minut.



**Slika 6:** Prvih štirinajst minut zapisa potresa na območju Fidžija (15. september 2011), zabeleženega na nekaterih slovenskih potresnih opazovalnicah (navpične (Z) komponente seizmogramov) z označenim vstopom faz PKP, pPKP, PP, pPP, PPP in pPPP.

**Figure 6.** Vertical component seismogram (first fourteen minutes) from earthquake in Fiji region (15. September 2011). PKP, pPKP, PP, pPP, PPP, pPPP phase are marked.

Seizmografi opazovalnice na Bojancih (BOJS) so jih zaznali ob 19. uri 49 minut in 42 sekund po UTC (slika 4). Žarišče potresa je bilo od slovenskih potresnih opazovalnic oddaljeno približno 153 stopinj. Zapis potresa (seizmogram) na posamezni opazovalnici je odvisen od oddaljenosti žarišča potresa od opazovalnice, njegove globine, magnitude in žariščnega mehanizma. Na opa-

zovalnico, ki je od žarišča potresa oddaljena več kot 144 stopinj, pride najprej del vzdolžnega valovanja, ki je potovalo skozi jedro Zemlje. Faze, ki so potovale skozi jedro, imajo v svoje ime vključeno črko K, npr. PKP, (uporaba črke K izhaja iz nemške besede Kern, ki pomeni jedro). Na teh oddaljenostih ni več direktnega vzdolžnega (P), ne direktnega prečnega valovanja (S). Pri zelo globokih potresih so dobro vidne tudi faze valovanja, ki se širijo od žarišča potresa najprej v smeri navzgor in se nato odbijejo od površine Zemlje (slika 5). Te faze imenujemo globinske faze, saj nam pomagajo določiti žariščno globino potresa, in jih odvisno od tega, ali je bilo začetno valovanje vzdolžno ali prečno, označimo z malo črko p ali s (npr. pP, sP, pPKP, sS ...) (Deterding in Jesenko, 2005). Na sliki 6 je označenih nekaj teh faz.

## Literatura

- ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 2011. Preliminarni seizmološki bilten, 2011. Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo, Ljubljana.
- Deterding, M., Jesenko, T., 2005. Najmočnejši in najgloblja potresa v svetu v letu 2003, Potresi v letu 2003 (ur. R. Vidrih), Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo, Ljubljana, 123–132.
- Lapajne, J., 2008. Nekateri tektonski, seizmotektonski in seizmološki termini – 1. del, Ujma 22, Ljubljana, 316–323.
- Flinn-Engdahl regions. Wikipedia The Free Encyclopedia [online]. (Posodobljeno 25. 1. 2012.) Dostopno na naslovu: [http://en.wikipedia.org/wiki/Flinn-Engdahl\\_regions](http://en.wikipedia.org/wiki/Flinn-Engdahl_regions). (Uporabljeno 24. 5. 2012.)
- NEIC, 2011a. Significant Earthquakes of the World 2011. US Department of the Interior. Geological Survey, National Earthquake Information Center. (Posodobljeno 16. 3. 2012.) [http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/significant/sig\\_2011.php](http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/significant/sig_2011.php). (Uporabljeno 24. 5. 2012.)
- NEIC, 2011b. Magnitude 9.0 – Near the East Coast of Honshu, Japan March 11, 2011. US Department of the Interior. Geological Survey, National Earthquake Information Center. <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqinthenews/2011/usc0001xgp/#summary/>. (Uporabljeno 24. 5. 2012.)
- NEIC, 2011c. Magnitude 7.3 – Fiji Region September 15, 2011. US Department of the Interior. Geological Survey, National Earthquake Information Center. <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqinthenews/2011/usc0005vcv/>. (Uporabljeno 31. 5. 2012.)
- NEIC, 2012a. Earthquake Facts and Statistics. US Department of the Interior. Geological Survey, National Earthquake Information Center. (Posodobljeno 24. 5. 2012.) <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/year/eqstats.php>. (Uporabljeno 24. 5. 2012.)
- NEIC, 2012b. Largest Earthquakes of the World since 1900. US Department of the Interior. Geological Survey, National Earthquake Information Center. (Posodobljeno 11. 4. 2012.) [http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/world/10\\_largest\\_world.php](http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/world/10_largest_world.php). (Uporabljeno 25. 5. 2012.)
- Sinčič, P., Tasič, I., Živčič, M., Prosen, T., 2010. Potresne opazovalnice v Sloveniji v letu 2009. Potresi v letu 2009 (ur. dr. A. Gosar), Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo, Ljubljana, 9–19.