



AGENCIJA RS ZA OKOLJE



# POTRESI V LETU 2008

LJUBLJANA 2009



AGENCIJA REPUBLIKE SLOVENIJE ZA OKOLJE

ENVIRONMENTAL AGENCY OF THE REPUBLIC OF SLOVENIA

# POTRESI V LETU 2008 EARTHQUAKES IN 2008

AGENCIJA REPUBLIKE SLOVENIJE ZA OKOLJE  
URAD ZA SEIZMOLOGIJO IN GEOLOGIJO

ENVIRONMENTAL AGENCY OF THE REPUBLIC OF SLOVENIA  
SEISMOLOGY AND GEOLOGY OFFICE

Ljubljana 2009

# POTRESI V LETU 2008 EARTHQUAKES IN 2008

## IZDAJATELJ IN ZALOŽNIK / PUBLISHED BY

Ministrstvo za okolje in prostor / Ministry of the Environment and Spatial Planning  
Agencija RS za okolje (ARSO) / Environmental Agency of the Republic of Slovenia  
Urad za seizmologijo in geologijo / Seismology and Geology Office

## GENERALNI DIREKTOR AGENCIJE / DIRECTOR GENERAL OF AGENCY

dr. Silvo Žlebir

## UREDNIK / EDITOR

dr. Renato Vidrih

## RAČUNALNIŠKO OBLIKOVANJE / COMPUTER DESIGN

Peter Sinčič

## UREDNIŠKI SVET / EDITORIAL BOARD

dr. Silvo Žlebir  
dr. Renato Vidrih  
mag. Ina Cecić  
Matjaž Godec  
dr. Andrej Gosar  
mag. Tamara Jesenko  
Peter Sinčič  
dr. Barbara Šket Motnikar  
mag. Izidor Tasič  
Polona Zupančič  
mag. Mladen Živčič

## TISK / PRINTED BY

Formatisk d.o.o., Bobenčkova 4, Ljubljana

Mednarodna standardna serijska številka:

ISSN 1318 - 4792

NASLOVNICA:

*Poškodovan dimnik v Zagorju ob Savi, Cesta 9. avgusta 74 (foto: M. Godec).*

*Glej članek: Ina Cecić, Tamara Jesenko, Mladen Živčič, Milka Ložar Stopar*  
POTRESI V SLOVENIJI LETA 2008

COVER PAGE:

*Slight damage on chimney, Zagorje ob Savi, Cesta 9. avgusta 74 (Photo: M. Godec).*

*See: Ina Cecić, Tamara Jesenko, Mladen Živčič, Milka Ložar Stopar*  
EARTHQUAKES IN SLOVENIA IN 2008

## KAZALO / CONTENTS

PREDGOVOR .....	I
PREFACE .....	IV
<i>Peter Sinčič, Renato Vidrih, Izidor Tasič, Mladen Živčič, Branka Mladenović</i> POTRESNE OPAZOVALNICE V SLOVENIJI V LETU 2008 SEISMIC NETWORK IN SLOVENIA IN 2008 .....	1
<i>Izidor Tasič, Marko Mali, Luka Pančur, Peter Sinčič, Igor Pfundner, Bojan Uran, Jože Prosen</i> DELOVANJE DRŽAVNE MREŽE POTRESNIH OPAZOVALNIC V LETU 2008 SEISMIC NETWORK OPERATION IN 2008.....	14
<i>Jurij Pahor</i> UČINKOVITOST PRIDOBIVANJA PODATKOV IZ DRŽAVNE MREŽE POTRESNIH OPAZOVALNIC V LETU 2008 SEISMIC DATA ACQUISITION EFFICIENCY FOR SEISMIC NETWORK OF THE REPUBLIC OF SLOVENIA IN 2008 .....	23
<i>Marko Mali, Izidor Tasič</i> POSREDNI IN NEPOSREDNI VPLIV VETRA NA SEIZMIČNI SIGNAL DIRECT AND INDIRECT WIND INFLUENCE ON SEISMIC SIGNAL.....	27
<i>Izidor Tasič, Marko Mali, Luka Pančur, Igor Pfundner</i> MERITEV TEMPERATURE V JAŠKIH OPAZOVALNICE GORJUŠE TEMPERAURE MEASUREMENT IN STATION GORJUŠE SHAFTS .....	34
<i>Izidor Tasič, Marko Mali</i> SEIZMOMETER CMG-3ESPC SEISMOMETER CMG-3ESPC.....	38
<i>Ina Cecič, Tamara Jesenko, Mladen Živčič, Milka Ložar Stopar</i> POTRESI V SLOVENIJI LETA 2008 EARTHQUAKES IN SLOVENIA IN 2008 .....	43
<i>Martina Čarman, Mladen Živčič, Milka Ložar Stopar</i> RELOKACIJA POTRESOV V BLIŽINI LITIJE RELOCATION OF EARTHQUAKE HYPOCENTRES IN THE LITJA REGION .....	60
<i>Milka Ložar Stopar, Mladen Živčič, Polona Zupančič</i> POTRESI PRI PIVKI SEPTEMBRA IN OKTOBRA 2008 EARTHQUAKES IN THE PIVKA REGION IN SEPTEMBER AND OCTOBER 2008 .....	66
<i>Vladimir Mihailov, Dragi Dojčinovski, Matjaž Godec, Renato Vidrih, Peter Sinčič</i> SEIZMIČNO OPAZOVANJE PREGRAD SEISMIC DAM MONITORING .....	74

<i>Tamara Jesenko, Renato Vidrih</i>	
MOČNEJŠI POTRESI PO SVETU LETA 2008	
WORLD'S LARGEST EARTHQUAKE IN 2008 .....	90
<i>Matjaž Godec, Renato Vidrih</i>	
POTRES »WENCHUAN« 12. MAJA 2008 NA KITAJSKEM	
THE 12 MAY EARTHQUAKE »WENCHUAN« IN CHINA .....	99
<i>Andrej Gosar, Marko Mali, Izidor Tasič</i>	
KONGRES EVROPSKE GEOZNANSTVENE UNIJE (EGU)	
GENERAL ASSEMBLY OF EUROPEAN GEOSCIENCES UNION .....	115
<i>Peter Sinčič, Renato Vidrih</i>	
33. MEDNARODNI GEOLOŠKI KONGRES	
THE 33 <sup>RD</sup> INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS .....	117
<i>Polona Zupančič, Ina Cecić</i>	
31. GENERALNA SKUPŠČINA EVROPSKE SEIZMOLOŠKE KOMISIJE	
XXXI GENERAL ASSEMBLY OF THE EUROPEAN SEISMOLOGICAL COMMISSION .....	122
<i>Ina Cecić</i>	
PRVA MEDNARODNA KONFERENCA	
TEHNIKE ZAZNAVANJA NA DALJAVO IN NUJNI ODZIV PRI UPRAVLJANJU	
NESREČ NA OBMOČJU MEDITERANA	
FIRST INTERNATIONAL CONFERENCE	
REMOTE SENSING TECHNIQUES IN DISASTER MANAGEMENT	
AND EMERGENCY RESPONSE IN THE MEDITERRANEAN REGION .....	125
<i>Mihael Ribičič</i>	
KNJIGA »POTRESNA DEJAVNOST ZGORNJEGA POSOČJA«	
PUBLICATION »SEISMIC ACTIVITY OF THE UPPER POSOČJE AREA« .....	127

## PREDGOVOR

Izšla je osemnajsta zaporedna publikacija Urada za seizmologijo in geologijo Agencije Republike Slovenije za okolje »Potresi v letu...«. Publikacija v prvem delu obravnava delovanje državne mreže potresnih opazovalnic, sledijo pa besedila o problemih in izboljšavah v delovanju instrumentov državne mreže. V drugem delu je v osrednjem članku predstavljena potresna dejavnost Slovenije. V letošnji publikaciji sodelujejo pri dveh člankih tudi kolegi iz skopskega inštituta *Institut za zemjotresno inženirstvo i inženerska seizmologija (IZIIS)* in iz *Oddelka za geologijo Naravoslovnotehniške fakultete Univerze v Ljubljani*. Zadnji del publikacije je namenjen svetovnim potresom in najmočnejšemu dogodku z največ žrtvami - potresu na Kitajskem. Publikacijo zaključujejo izčrpna poročila o mednarodni dejavnosti sodelavcev Urada za seizmologijo in geologijo.

V letu 2008 je na območju Slovenije delovalo 26 digitalnih potresnih opazovalnic, povezanih v omrežje z neprekinjenim prenosom podatkov v središče za obdelavo v Ljubljani, tričasne ter deset potresnih opazovalnic z akcelerometri za opazovanje seizmičnosti na urbanih območjih. Poleg naštetih delujeta na Golovcu v Ljubljani in na Vojskem analogna seizmografa. Seizmografi so zabeležili 3186 potresov, od tega 1087 oddaljenih potresov (oddaljenih več kot 1100km), 687 regionalnih potresov (oddaljenih med 160 in 1100km), 1412 lokalnih potresov (oddaljenih manj kot 160km). Seizmografi so zapisali tudi 538 umetnih potresov (razstreljevanj), skupaj torej 3724 seizmičnih dogodkov.

V nadaljevanju sledi niz člankov o delovanju državne mreže potresnih opazovalnic v letu 2008 in o učinkovitosti pridobivanja podatkov. Vzroki manjših izpadov so problemi s komunikacijami, vzroki daljših izpadov pa so problemi z dobavo električne energije in okvar na instrumentih. Za kontrolo delovanja potresnih opazovalnic smo v letu 2008 nadgradili programsko opremo, ki smo jo razvili v letu 2005 in ki na osnovi statusnih podatkov analizira tako delovanje posamezne potresne opazovalnice kakor tudi delovanje celotne državne mreže potresnih opazovalnic. V letu 2008 sta bila le dva kritična izpada, kar pomeni, da istočasno ni delovalo več kot 70% potresnih opazovalnic več kot eno uro. Analiza poteka redno in omogoča razvoj in izvedbo možnih posodobitev, ki naj bi prispevale k boljšemu in zanesljivejšemu delovanju mreže. Celotna izguba podatkov v letu 2008 je znašala 2,5% za podatkovne nize s frekvenco vzorčenja 200 vzorcev v sekundi (HH) ter 2,2% za podatkovne nize s frekvenco vzorčenja 20 vzorcev v sekundi (BH). Zanimiv je članek o posrednih in neposrednih vplivih vetra na seizmični signal, kjer avtorji dokazujejo, da so strelovođi glavni krivec za motnje - visokofrekvenčne spektralne vrhove. Na eni od opazovalnic smo v letu 2008 konstantno merili temperature in dokazali, da so nihanja temperature v obeh jaških v mejah normale, ki jo predpisuje proizvajalec opreme. V zadnjem članku prvega dela je natančneje predstavljen seizmometer CMG-3ESPC.

Osrednji članek opisuje potresno dejavnost v Sloveniji. Potresna dejavnost je bila zmerna. Prebivalci različnih območij Slovenije so čutili najmanj 37 potresnih sunkov, od tega je eden dosegel intenziteto V.-VI. stopnje, dva V. stopnje in dva IV.-V. stopnje po EMS. Najmočnejši potresni sunk je bil 19. aprila ob 1. uri in 49 minut UTC (svetovni čas) oz. dve uri kasneje po srednjeevrop-

skem času z žariščem v bližini Zagorja ob Savi. Njegova lokalna magnituda je bila 3,1, največja intenziteta pa med V. in VI. stopnjo po EMS. Ostali potresi (32) so dosegli največjo intenziteto IV. stopnje po EMS ali nižjo, prebivalci so jih le čutili in stopnje ni bilo mogoče natančneje opredeliti. Večina žarišč je nastalo v globini do 18km, največ (376) v globini med 6 in 9km. Za močnejše potrese so bile odčitane smeri prvih premikov in s tem opredeljene rešitve prelomne ploskve.

Sledi članek o relokaciji potresov na območju Litije. Z uporabo relativne metode časovnih prehitkov oz. zaostankov pri določanju žarišč smo sočasno locirali vse potrese in tako izboljšali medsebojni položaj potresnih žarišč. Prej razpršene lokacije so se strnile v ozko gručo in s tem smo lahko opredelili potresno dejaven prelom, ob katerem se je sprostila potresna energija, kar je bistvenega pomena za ugotavljanje potresne nevarnosti določenega območja. Sledi članek o potresni dejavnosti septembra in oktobra 2008 na Pivškem, kjer sta bila najmočnejša potresa v seriji 21. oktobra ob 10. uri in 12 minut ter naslednjega dne ob 20. uri in 21 minut po lokalnem času. Srednje močna potresa sta imela magnitudo 3,0 oz. 2,1. Oba sunka so čutili prebivalci večjega dela Primorske in Notranjske.

Skupaj s kolegi iz makedonskega IZIS-a prof. dr. Vladimирjem Mihailovim in doc. dr. Dragijem Dojčinovskim smo v okviru slovensko-makedonskega projekta Seizmološko opazovanje konstrukcij v odvisnosti od geoloških pogojev, ki je potekal v letih 2005-06, pripravili skupni članek o kakovostnem spremljanju obnašanja pregrade ob potresu z dovolj gosto postavljeno mrežo instrumentov. Ugotavljamo, da je v Sloveniji stanje relativno dobro. Gre za moderne instrumente, a so še vedno postavljeni na premalo pregradah. V Makedoniji pa jih je premalo in so tudi zastareli. Ugotovili smo napake v Pravilniku o opazovanju seizmičnosti na območju velike pregrade, ki ga bo treba v kratkem dopolniti.

Vsako leto zatrese Zemljo več stotisoč potresov, ki presegajo magnitudo 2,0 in katerih žarišča so predvsem na stikih večjih geotektonskih plošč. Potresno najdejavnejši območji sta obtihoceanski in sredozemsko-himalajski pas, ki vključuje tudi naše kraje. Večina potresov je šibkih, ne povzročajo gmotne škode in ne zahtevajo človeških življenj, med njimi pa je vsako leto nekaj deset takih, ki povzročijo veliko razdejanje in zahtevajo smrtno žrtve. Med 93 potresi, ki so v letu 2008 dosegli ali presegli magnitudo 6,5 in povzročili večjo gmotno škodo ter zahtevali človeška življenja, je natančneje opisanih 50 potresov. Potres z največ smrtnimi žrtvami je nastal 12. maja v vzhodnem delu kitajske pokrajine Sečuan. Pri tem potresu se je sprostilo tudi največ potresne energije. Imel je navorno magnitudo 7,9. V njem je umrlo najmanj 87.652 ljudi. Najgloblji potres v letu 2008 je stresel območje Okhotskega morja. Nastal je 5. julija in je imel žarišče v globini 633 km ter navorno magnitudo 7,7. Potresi v letu 2008 so zahtevali vsaj 88.076 žrtev.

Potres z največjim številom smrtnih žrtev je nastal 12. maja 2008 ob 6. uri in 28 minut po svetovnem času (UTC). Imel je magnitudo  $M_w=7,9$ , sproščena energija pa je bila večja od eksplozije 500 atomskih bomb. Žarišče potresa je nastalo v kitajski pokrajini Sečuan v okolici mesta Wenchuan, ki je od glavnega mesta pokrajine Čengdu oddaljen okoli 150 km. Potres je prizadel območje velikosti približno 250.000 km<sup>2</sup>, kjer živi okoli 45,5 milijonov ljudi. Preseliti je bilo potrebno 15 milijonov ljudi. Potres je nastal kot posledica trka Indoavstralske litosferske plošče z Evrazijsko. Nastal je ob prelomu Longmenšan, kjer se je aktivirala prelomna cona v dolžini 270 km. Močno poškodovanih ali porušenih je bilo okoli 5,36 milijona objektov. Ocenjena gmotna škoda naj bi znašala več kot 147 milijard ameriških dolarjev.

Publikacijo zaključujemo s predstavitevjo nekaterih mednarodnih srečanj, ki smo se jih aktivno udeležili tudi sodelavci Urada za seizmologijo in geologijo: Kongres evropske geoznanstvene unije (EGU), ki je bil na Dunaju med 13. in 18. aprilom in so naši sodelavci predstavili kar pet prispevkov, 33. mednarodni geološki kongres, ki je potekal v Oslu med 6. in 14. avgustom in smo predstavili dva prispevka, udeležba na 31. generalni skupščini evropske seizmološke komisije v Hersonissosu v Grčiji med 7. in 12. septembrom, kjer so sodelavci Urada predstavili štiri posterje ter udeležba na prvi mednarodni konferenci o daljinskem zaznavanju v kriznem menedžmentu v Sredozemlju, ki je bil v Zadru med 21. in 24. septembrom in kjer je bila ena predstavitev našega dela.



Zadnji članek, avtorja prof. dr. Mihaela Ribičiča iz Oddelka za geologijo Naravoslovnotehniške fakultete Univerze v Ljubljani, je recenzija knjige Potresna dejavnost Zgornjega Posočja/ Seismic Activity of the Upper Posočje Area, ki je izšla ob 10-letnici potresa v Zgornjem Posočju in jo je izdala Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo.

Tudi ob izidu publikacije Potresi v letu 2008 se sodelavci Agencije RS za okolje, Urada za seizmologijo in geologijo zahvaljujemo več kot 5000 prebivalcem različnih območij Slovenije, ki so nam z odgovori na makroseizmične vprašalnike (v letu 2008 smo jih poslali 2822) pomagali k boljši oceni potresnih parametrov.

Urednik

Renato Vidrih

## PREFACE

The eighteenth annual publication »Earthquakes in year...« published by Seismology and Geology Office of The Environmental Agency of the Republic of Slovenia is in front of you. In the first part of the publication articles on the seismic network of Slovenia are followed by those about the seismic activity in Slovenia. Colleagues from IZIIS (The Institute of Earthquake Engineering and Engineering Seismology, Skopje, FYRM) and from Department of Geology, Faculty of Natural Sciences and Engineering, University of Ljubljana, are co-authors of two articles. The last part of the publication is dedicated to world seismicity and the strongest event with the most victims – the earthquake in China. The international activity of the staff of The Seismology and Geology Office is presented by comprehensive reports at the end of publication.

In 2008 there were 26 digital seismic stations incorporated in seismic network, with real-time continuous data transmission to data centre in Ljubljana. Three temporary stations and ten stations with accelerometers for monitoring seismic activity on urban areas were also operating. Analogue seismographs on Vojsko (VOJS) and Ljubljana (LJU) seismic stations are still in use. In 2008 3186 earthquakes were recorded, among them 1087 teleseismic (more than 1100 km away), 687 regional earthquakes (distance between 160 km and 1100 km) and 1412 local earthquakes (distance less than 160 km). Together with 538 recorded artificial events, in total in 2008 the seismographs in Slovenia registered 3724 events.

The articles that follow describe seismic network stations' operation and data collection efficiency in 2008. The cause of short breaks are communications problems - longer interruptions are effects of power failures and seismic equipment breakdowns. In 2008 an upgrade of the computer program (developed in 2005) for seismic network control was made. The program analyses the operation of a single seismic station, as well as the operation parameters of the entire network using data from status logs. There were only two critical breakdowns of the network in 2008, meaning that more than 70% of seismic stations were out of operation for more than an hour. The analysis is being performed regularly and enables developments and improvements for better and stable network operation. In 2008 2.5 % of data from data stream with 200 sps (HH) and 2.2 % of data from data stream with 20 sps (BH) were lost from permanent stations. In the article about direct and indirect influence of the wind on seismic signal, the authors show that the lightning conductor is the cause of high frequency spectral peaks, which arise from wind interference with lightning conductor. The constant temperature measurements were taken place in both shafts of the seismic station Gorjuše. It was proven that the changes of temperatures in both shafts are within the range, prescribed by producer of seismic equipment. The seismometer CMG-3ESPC is presented in the last article of the first part of publication.

The central paper is on seismic activity in Slovenia in 2008. Earthquake activity was moderate. The inhabitants of different regions of Slovenia felt at least 37 earthquakes. One earthquake had maximum intensity V-VI EMS-98, two V EMS-98 and two events IV-V EMS-98. The strong-

est earthquake was on 19 April at 01.49 UTC (03:49 local time) with hypocentre in the vicinity of Zagorje ob Savi. Its local magnitude was 3.1 and it reached the intensity V-VI EMS-98. Other earthquakes (32) had the largest intensity IV EMS-98 or lower. The majority of the earthquakes originated in the depth less than 18 km, most of them (376) between 6 and 9 km. Fault plane solutions from the first onsets of the arrivals were determined.

Relocation of earthquake hypocentres in the Litija region was performed. With the use of double-difference (DD) earthquake location algorithm a significant improvement in relative hypocentral locations was obtained for 246 earthquakes. The relocated hypocenters are aligned along almost vertical region extending about 6 km in NW - SE direction at the depths between 6 and 13 km. The active fault can be determined, which is essential for assessment of seismic hazard of defined region.

Seismic activity on September and October 2008 in Pivka region was analyzed in more detail. The strongest events were in 21 October at 9.12 UTC and the following day at 19.21 UTC with magnitudes of 3.0 and 2.1, respectively. Both shocks were felt over the major parts of Primorska and Notranjska.

Prof. Ph.D. Vladimir Mihailov and doc. Ph.D. Dragi Dojčinovski from Institute of Earthquake Engineering and Engineering Seismology (IZIIS, FYRM) are the co-authors of the article about seismic monitoring of dam's response on earthquake with sufficiently dense seismic network. The work is based on a joint Slovenian-Macedonian project on influence of local geology on seismic behavior of large dams. The situation in Slovenia is relatively good, as there are networks with up-to-date instruments, although installed in too few dams. On the other side, in Macedonia the instruments are outdated, and there are oversights in the regulations that have to be corrected.

Every year the Earth is shaken by several hundred thousand earthquakes with magnitudes over 2.0, mostly originating at the geotectonic plate boundaries. Two well-defined seismic belts, the circum-Pacific and the Mediterranean-Himalayan belts, are subject to the most frequent earthquake shocks. The latter also includes the region of Slovenia. Most earthquakes are weak, do not cause any material damage and do not claim human lives. In addition to these, there are several earthquakes which result in extreme destruction and even death. There were 93 earthquakes in year 2008 that either reached a magnitude of 6.5 or more, caused minor or major material damage, or even claimed human lives. Fifty of them are mentioned in the paper. The earthquake with the largest number of victims occurred on 12 May 2008 in the eastern part of Sichuan. Having the moment magnitude 7.9, it released tremendous amount of energy and killed at least 87,652 people. The deepest earthquake (hypocentral depth 633 km) shook the Sea of Okhotsk on 5 July 2008 with moment magnitude 7.7. In 2008 the earthquakes claimed at least 88,076 victims.

The earthquake with the most fatalities occurred on 12 May 2008 at 06.28 UTC. The released seismic energy was greater than explosion of 500 atom bombs. It happened in China near the town Wenchuan, 150 km from the capital of the Sichuan province, Chengdu. The affected area was 250,000 km<sup>2</sup>, with 45.5 million inhabitants; 15 million people had to move away. The earthquake occurred along the Longmenshan fault, a thrust structure along the border of the Indo-Australian Plate and Eurasian Plate. More than 5.36 million buildings were heavily damaged or leveled to the ground. Estimated total damages exceed US\$147 billion.

The publication is concluded with a presentation of some international meetings, where the staff of the Seismology and Geology Office took active part: General Assembly of European Geosciences Union in Vienna on 13-18 April 2008, where five contributions were presented; The 33rd International Geological Congress in Oslo on 6-14 August 2008 with two contributions; XXXI General Assembly of the European Seismological Commission, Hersonissos, Greece, 7-12 September 2008 where four posters were presented, and the participation in The First international conference on Remote Sensing Techniques in Disaster Management and Emergency Response in the Mediterranean Region, which took place on 21-24 September 2008 in Zadar, Croatia, where one presentation of our work was demonstrated.

The last article is contribution by prof. Ph.D. Mihael Ribičič from Department of Geology of Faculty of Natural Sciences and Engineering, University of Ljubljana. It is review of the book »Potresna dejavnost Zgornjega Posočja/Seismic Activity of the Upper Posočje Area«, which was published by Environmental Agency of the Republic of Slovenia, Seismology and Geology Office at tenth anniversary of the Upper Posočje earthquake.

On this occasion the staff of Environmental Agency, Seismology and Geology Office would like to thank more than 5000 voluntary observers for their answers to macroseismic questionnaires (2822 of them were sent in 2008), and in that way help us to make better evaluation of earthquake parameters.

The Editor-in-Chief

Renato Vidrih

# POTRESNE OPAZOVALNICE V SLOVENIJI V LETU 2008

## SEISMIC NETWORK IN SLOVENIA IN 2008

**Peter Sinčič, Renato Vidrih, Izidor Tasič, Mladen Živčič, Branka Mladenović**

### *Povzetek*

*V letu 2008 je na območju Slovenije delovalo 26 digitalnih potresnih opazovalnic, povezanih v omrežje z neprekinjenim prenosom podatkov v središče za obdelavo v Ljubljani, 2 opazovalnici NMX mreže, 3 začasne potresne opazovalnice ter 10 opazovalnic z akcelerometri za opazovanje seizmičnosti na urbanih območjih. Na opazovalnicah na Vojskem in na observatoriju na Golovcu v Ljubljani še vedno delujeta analogna seizmografa z zapisom s črnilom na papir. Po projektu PM2000 smo v državno mrežo potresnih opazovalnic vključili opazovalnico GBAS v Gorenji Brezovici pod Krimom.*

### *Abstract*

*In the year 2008 there are 26 digital seismic stations incorporated in seismic network with real-time continuous data transmission to data centre in Ljubljana. There are also operating two stations of the NMX network, three temporary stations and 10 stations with accelerometers for monitoring seismic activity on urban areas. There are still running analog seismographs on VOJS and LJU seismic stations. According to the modernization project PM2000 the seismic station GBAS in Gorenja Brezovica at the foot of the mountain Krim was included to network.*

### **Uvod**

Leta 1958 je bil zgrajen observatorij na Golovcu nad Ljubljano in v kleti so namestili obnovljeni dvokomponentni vodoravni seizmograf Wiechert in navpični kratkoperiodni seizmograf Stuttgart z galvanometrskim optičnim regulatorjem z zapisom na fotografski papir, ki je naslednje leto začel z rednim beleženjem potresov. Potresna opazovalnica Ljubljana (LJU) je danes opremljena s kratkoperiodnim seizmografom z vidljivim zapisom ter s širokopasovnimi digitalnimi seizmografi. Leta 1975 je bila zgrajena potresna opazovalnica CEY v Goričicah pri Cerknškem jezeru. Opremljena je bila z analognim trikomponentnim kratkoperiodnim seizmografom, ki mu je bil leta 1997 dodan digitalni širokopasovni seizmograf. Januarja 1985 je na Slovenskem začela delovati tretja potresna opazovalnica VOY, ki smo jo postavili na Vojskem nad Idrijo (Trnkoczy, Vidrih, 1986). V začetku je bila opremljena z analognim kratkoperiodnim seizmografom z navpično komponento, januarja leta 1991 pa sta bili dodani še vodoravni komponenti. Leta 1986 je bila zgrajena potresna opazovalnica VBY v Bojancih v Beli krajini, ki je bila prav tako opremljena z analognim kratkoperiodnim seizmografom z navpično komponento. Leta 1996 smo ji dodali širokopasovni digitalni seizmograf s prenosom podatkov po klicni telefonski liniji v središče za obdelavo podatkov (SOP) v Ljubljani. Za opazovanje seizmičnosti Krško - Brežiškega polja je bila leta 1990 postavljena začasna potresna opazovalnica KBZ z enokomponentnim prenosnim analognim seizmografom v Brezju pri Senušah, leta 1996 pa še opazovalnica CESS v Cesti nad Krškim. Tu je bil na začetku nameščen prenosni širokopasovni digitalni seizmograf s shranjevanjem podatkov na magnetni trak, ki smo ga leta 1997 zamenjali s seizmografom s prenosom podatkov po državnem računalniškem omrežju v SOP. Zaradi možnosti povečanja seizmičnosti ob polnjenju akumulacijskega jezera v sosednji Avstriji je bila leta 1991 postavljena začasna potresna opazovalnica BISS z enokomponentnim prenosnim analognim seizmografom v Braniku nad Muto. Leta 1996 ji je bil zgrajen jašek za senzor in postavljen širokopasovni digitalni seizmograf s prenosom podatkov po klicni telefonski liniji v SOP. Leta 1996 je začela delovati potresna opazovalnica DOBS v Dobrini na Kozjanskem. Opremljena je z enakim digitalnim seizmografom kot v Braniku nad Muto. V Horjulu občasno deluje prenosni digitalni seizmograf s shranjevanjem podatkov na magnetni medij (Sinčič, Vidrih, 1993, 1995). V okviru projekta modernizacije državnega omrežja potresnih opazovalnic smo leta 2001 v Ljubljani vzpostavili novo središče za zajem

in analizo podatkov (SOP). V opazovalnice v Ljubljani, Goričah, Dobrini in v jedrsko elektrarno v Krškem smo namestili nove digitalne seizmografe ter začeli z gradnjo novih opazovalnic, najprej na območju Krškega, nato pa tudi drugod po Sloveniji, tako da smo v letu 2002 vključili v omrežje sedem novih potresnih opazovalnic, leta 2003 štiri, naslednje leto tri nove opazovalnice in modernizirani dve stari (Bojanci in Vojsko), v letu 2005 dve novi potresni opazovalnici ter leta 2006 tudi dve novi potresni opazovalnici. V letu 2007 smo vključili predzadnjo in leta 2008 zadnjo opazovalnico novega omrežja (slika 1).

## Analogne potresne opazovalnice

Urad za seizmologijo in geologijo ponekod še vedno uporablja analogne seizmografe za beleženje potresov (preglednica 1). Analogni seizmograf sestavljajo seizmometer, seizmografski ojačevalnik z ustreznimi filtri in pisar z zapisom s črnilom na navaden papir. Slabost analognih seizmografov je majhno dinamično območje (40 – 45 dB) in občutljivost. Šibkih potresov zaradi majhne občutljivosti ni možno analizirati, močni potresi pa prekrmilijo inštrument in je zapis potresa manj uporaben. Druga, še večja pomankljivost je, da pri obdelavi potresov ne moremo uporabljati računalnika, saj danes večji del analiz temelji na računalniški obdelavi. Analogni seizmografi v letu 2008 še vedno delujejo na potresnih opazovalnicah na observatoriju na Golovcu v Ljubljani in na Vojskem (Sinčič, Vidrih, 1995).

**Preglednica 1.** Analogni potresni opazovalnici v Sloveniji v letu 2008.

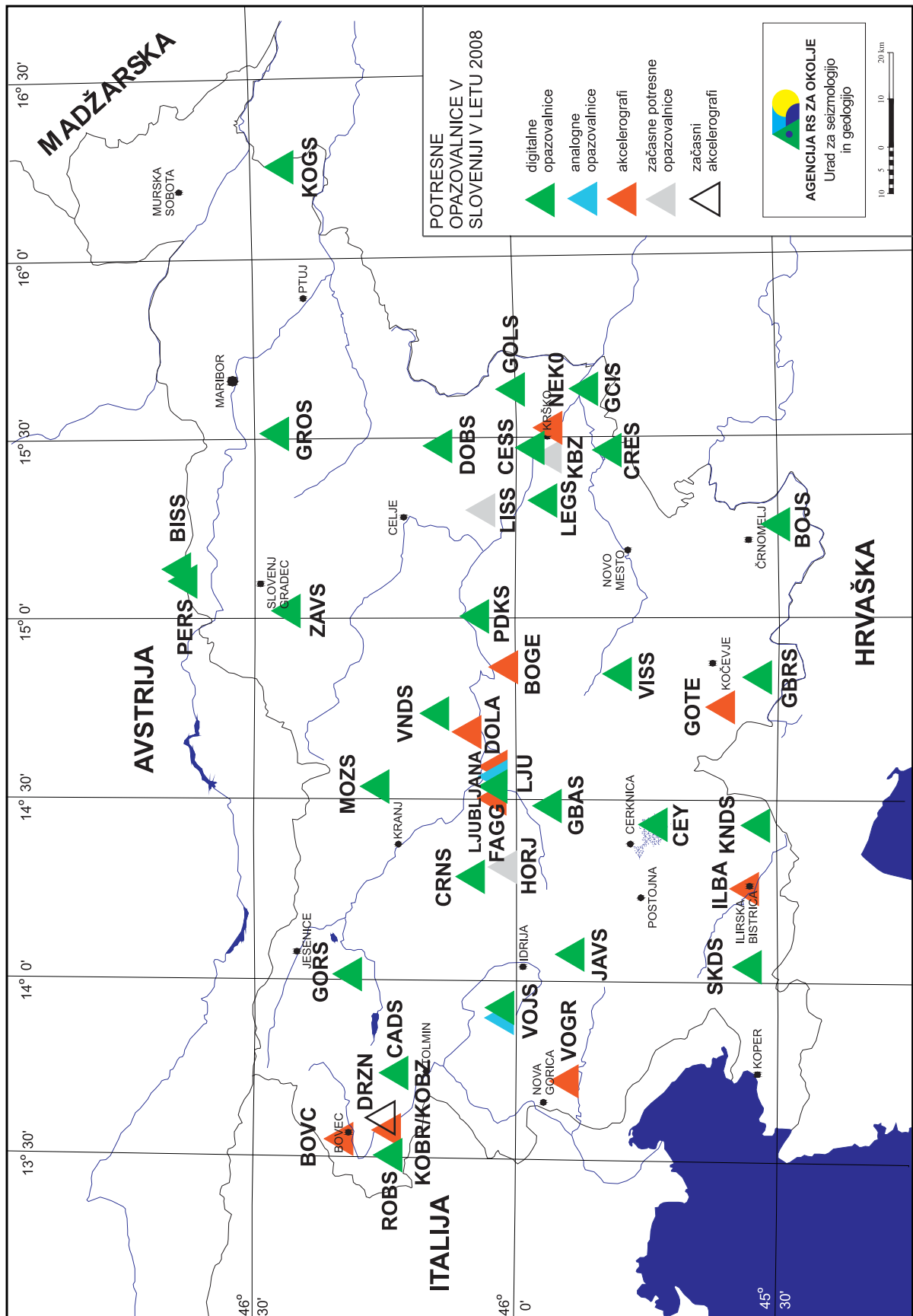
**Table 1.** Analogue seismic stations in Slovenia in 2008.

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

Pri digitalnih sistemih je seizmometer analogen instrument, vsa ostala oprema je digitalna. Dinamično območje in ločljivost sta veliko večja kot pri analognih sistemih, in sta v glavnem določena s številom bitov analogno-digitalnega pretvornika. Dinamično območje digitalnih seizmografov je 140 dB in ga lahko dosežemo na dva načina. Z metodo spreminjanja ojačenja se samodejno spremeni ojačenje v odvisnosti od velikosti amplitude seizmičnega signala in s tem preprečimo prekrmiljenje sistema pri močnejših potresih. S tem načinom lahko močno povečamo dinamično območje sistema, ločljivost pa ostane nespremenjena. Pri spremembi ojačenja pride tudi do popačenja podatkov, zato se danes uporablja 24-bitna analogno-digitalna pretvorba s konstantnim ojačenjem ojačevalnika na vhodu.

V potresni opazovalnici na Golovcu v Ljubljani je leta 1990 začel delovati prvi digitalni instrument. To je bil šestkanalni digitalni seizmograf s tremi enokomponentnimi širokopasovnimi seizmometri WR-1 in trikomponentnim akcelometrom FBA-23 podjetja Kinometrics. Seizmograf ima 16-bitni analogno-digitalni pretvornik analognega signala in deluje v prožilnem načinu delovanja in s frekvenco vzorčenja 200 vzorcev na sekundo. V letu 2005 je deloval seizmograf redno do 18. marca, nato občasno še do začetka oktobra, nato pa je zaradi okvare dokončno nehal z beleženjem potresov.



Slika 1. Potresne opazovalnice državne mreže v Sloveniji leta 2008.

Figure 1. Seismic network in Slovenia in 2008.

**Preglednica 2.** Digitalne potresne opazovalnice v Sloveniji v letu 2008.**Table 2.** Digital seismic stations in Slovenia in 2008.

opaz. station	ozn. code	zem. šir. latitude		zem. dol. longitude		n. viš. elev. [m]	geološka podlaga local geology	seizmometer sensor type	zajemalna naprava acquisition unit	začetek delovanja start time
		°N	°E							
Ljubljana	LJU	46,04381	14,52776	396	karbonski peščenjaki sandstone	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	RD3-1639	22. 05. 1996		
						širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. STS-2 akcelerometer/ accelerometer 3-komp./ comp. EpiSensor	Q 730	30. 03. 2001		
Bojanci	BOJS	45,50435	15,25178	252	kredni apnec limestone	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. STS-2 akcelerometer/ accelerometer 3-komp./ comp. EpiSensor	Q 730	17. 02. 2004		
Branik nad Muto	BISS	46.64794	15,12703	490	metamorfne kamnine metamorphic rocks	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	RD3-1639	28. 08. 1996		
Dobrina	DOBS	46,14942	15,46943	427	spodnjetriasni laporji marl	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	HRD24-2432	29. 09. 2006		
						širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	Q 730	07. 04. 2001		
Cerknica (Goričice)	CEY	45,73814	14,42214	579	apnec limestone	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	RD3-1639	14. 01. 1997		
						širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-3ESPC	Q 730	30. 03. 2001		
Cesta	CESS	45,97325	15,46317	372	dolomit dolomite	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	HRD24-2432	04. 09. 1997		
Goliše	GOLS	46,01074	15,62451	559	masiven dolomit massive dolomite	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T BH	Q 730	26. 02. 2002		
Črešnjevce	CRES	45,97325	15,46317	372	dolomit dolomite	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. STS-2	Q730	07. 03. 2002		
Legarje	LEGS	45,94880	15,31771	390	sivi dolomit dolomite	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40TBH	Q 730	02. 09. 2002		
Podkum	PDKS	46,06120	14,99777	679	dolomit dolomite	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40TBH	Q 730	11. 11. 2002		
Robič	ROBS	46,24448	13,50944	265	apnec limestone	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	Q 730	20. 11. 2002		
Pernice	PERS	46,63595	15,11666	795	blestnik schist	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	Q 730	11. 12. 2002		
Grobnik	GROS	46,46100	15,50177	930	tonalit tonalite	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	Q 730	12. 12. 2002		
Čadrg	CADS	46,22804	13,73685	700	kredni apnenci limestone	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	Q 730	10. 07. 2003		
Gornji Cirknik	GCIS	45,86720	15,62750	320	dolomit dolomite	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	Q 730	11. 08. 2003		
Višnje	VISS	45,80329	14,83929	403	siv apnec limestone	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-3ESPC	Q 730	14. 08. 2003		
Javornik	JAVS	45,89342	14,06433	1100	zgornje triasni dolomit dolomite	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	Q 730	21. 08. 2003		
Knežji dol	KNDS	45,52791	14,38056	1024	zgornje jurski apnec limestone	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	Q 730	14. 10. 2003		
Kog	KOGS	46,44816	16,25028	240	glina clay	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-3ESPC akcelerometer/accelerometer 3-komp./ comp. EpiSensor	Q 730	22. 01. 2004		
Gorjuše	GORS	46,31741	13,99991	1048	ploščasti apnec z roženci platy limestone with chert	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-3ESPC akcelerometer/accelerometer 3-komp./ comp. EpiSensor	Q 730	17. 05. 2004		
Vojsko	VOJS	46,03217	13,88774	1073	zgornjetriasni dolomit dolomite	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-3ESPC	Q 730	30. 07. 2004		



opaz. station	ozn. code	zem. šir. latitude	zem. dol. longitude	n. viš. elev. [m]	geološka podlaga local geology	seizmometer sensor type	zajemalna naprava acquisition unit	začetek delovanja start time
		°N	°E					
Zavodnje	ZAVS	46,43393	15,02421	750	granodiorit granodiorite	širokopasovni/ broadband 3 komp./comp. CMG-40T BH	Q 730	07. 09. 2004
Možjanca	MOZS	46,29410	14,44334	660	ploščasti apnenec platy limestone	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-3ESPC	Q 730	07. 07. 2005
Črni Vrh	CRNS	46,08060	14,26135	689	sp.triasni sivi dolomit dolomite	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	Q 730	16. 12. 2005
Vrh pri Dolskem	VNDS	46,10169	14,70143	531	kremenov peščenjak quartz sandstone	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	Q 730	18. 01. 2006
Skadanščina	SKDS	45,54647	14,01317	558	ploščati apnenec platy limestone	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. STS-2 akcel./ accelerometer 3-komp./ comp. EpiSensor	Q730	12. 04. 2006
Gornja Briga	GBRS	45,53110	14,1007	610	zgornjetriasni dolomit dolomite	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	Q730	13. 04. 2007
dokončana in vključena v omrežje leta 2008 / finished and connected to network in 2008								
Gorenja Brezovica	GBAS	45,93473	14,44229	538	zgornjetriasni dolomit dolomite	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-3ESPC	Q730	27. 05. 2008

Leta 1996 smo postavili prvo omrežje digitalnih seizmografov podjetja Nanometrics (NMX) s prenosom podatkov v centralni računalnik, ki delujejo še danes. V začetku so omrežje tvorile štiri opazovalnice: Ljubljana (LJU), Branik nad Muto (BISS), Dobrina (DOBS) in Bojanci (VBY), ki se jim je v naslednjem letu priključila peta v Goričicah ob Cerkniskem jezeru (CEY). Digitalni seizmograf sestavljajo trikomponentni širokopasovni seizmometer Güralp CMG-40T, trikanalni 16-bitni analogno – digitalni pretvornik s tristopenjskim samonastavljivim predojačevalnikom RD 1639 in osebni računalnik s sprejemnikom točnega časa GPS in programsko opremo, ki skrbi za zajem podatkov, lokalno shranjevanje in komunikacijo s centralnim računalnikom. V začetku je komunikacija potekala po klicnih telefonskih linijah, kasneje pa smo seizmografe vključili v državno računalniško omrežje. V drugi polovici leta 1997 smo v omrežje vključili še šesto opazovalnico na Cesti nad Krškim (CESS). Seizmograf sestavljajo trikomponentni širokopasovni seizmometer Güralp CMG-40T, trikanalni 24 – bitni analogno – digitalni pretvornik HRD24-2432 z vgrajenim sprejemnikom točnega časa GPS in modemom za prenos podatkov po najeti telefonski liniji do vozišča državnega računalniškega omrežja v Krškem. Seizmografi delujejo tako, da se neprekinjen zapis nihanja Zemlje shranjuje lokalno v krožni pomnilnik na računalniku, programska oprema samodejno zazna dogodke in njihove zapise pošlje v centralni računalnik. Programska oprema v centralnem računalniku združuje dogodke iz opazovalnic in izračuna parametre potresa.

Leta 2001 smo začeli v okviru projekta posodobitve državne mreže potresnih opazovalnic s posodabljanjem starih in z gradnjo novih opazovalnic. Osnovni namen posodobitve je vzpostavitev takega državnega potresnega opazovalnega omrežja, ki bo omogočilo za vse potrese na območju Slovenije obveščanje o osnovnih parametrih z ustrezno natančnostjo in zanesljivostjo v realnem času. V Ljubljani smo vzpostavili novo središče za zajem in analizo podatkov. V opazovalnice v Ljubljani, Goričicah, Dobrini in v jedrsko elektrarno v Krškem smo namestili nove digitalne seizmografe. Z gradnjo smo začeli najprej na območju Krškega, nato pa tudi drugod po Sloveniji, tako da smo jih leta 2002 vključili v omrežje sedem: Goliše (GOLS), Črešnjevce (CRES) in Legarje (LEGS) na širšem območju Krškega, Podkum (PDKS) na Dolenjskem, Grobnik (GROS) na Pohorju, Pernice (PERS) na Kobanskem in Robič (ROBS) v zgornjem Posočju.

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

valnici in vanje namestili novo merilno opremo. Opazovalnici sta dobili tudi novi oznaki: BOJS za Bojance in VOJS za Vojsko. Poleg modernizacije teh dveh opazovalnic so bile zgrajene še tri nove po istem projektu: na Kogu v vzhodnem delu Slovenskih goric (KOGS), v Gorjušah na Pokljuki (GORS) in v Zavodnjah nad Šaleško dolino (ZAVS). V letu 2005 sta bili dokončani opazovalnici na Možjanci (MOZS) in na Črnem Vrhu (CRNS) nad Polhovim Gradcem. V prvi polovici leta 2006 pa še opazovalnici Vrh pri Dolskem (VNDS) in Skadanščina (SKDS). Leta 2007 je bila v omrežje vključena opazovalnica Gornja Briga (GBRS) na Kočevskem in leta 2008 še zadnja opazovalnica Gorenja Brezovica (GBAS) ob vznožju Krima (slika 2).

Na vseh opazovalnicah razen v Robiču, Goričicah, Dobrini in Ljubljani je oprema, ki jo sestavljajo senzor, zajemalna enota, komunikacijska oprema za kontinuirani prenos podatkov v središče za obdelavo podatkov (SOP) in brezprekinitveno napajanje, nameščena v dveh jaških. V seizmičnem jašku sta nameščena trikomponentni širokopasovni seizmometer Guralp CMG-40T in zajemalna enota Quanterra Q730. Enota ima na vhodu tri (pri petih opazovalnicah šest) pre-



*Slika 2. Nova potresna opazovalnica Gorenja Brezovica (GBAS) (foto: P. Sinčič).*

*Figure 2. New seismic station Gorenja Brezovica (GBAS) (Photo: P. Sinčič).*

dojačevalnike, neodvisne Delta Sigma 24 bitne analogno-digitalne (A/D) med seboj galvansko ločene pretvornike, sprejemnik časovnih signalov, lokalni pomnilnik, komunikacijski vmesnik in strojno programsko opremo za nadzor delovanja sistema. Trije podatkovni nizi s frekvencami vzorčenja 200, 20 in 1 vzorec na sekundo se neprekinjeno pošiljajo po podatkovnem omrežju v SOP. V pomožnem jašku je nameščena komunikacijska oprema za vključitev opazovalnice v državno računalniško omrežje, ki jo tvorita usmerjevalnik in modem, 12-voltno baterijsko napajanje s polnilcem in razsmernikom, ki omogoča večurno delovanje potresne opazovalnice ob izpadu omrežne napetosti, ter priključek na omrežno napetost 230 V in priključek na najeto linijo za prenos podatkov. Prenos podatkov v središče za obdelavo (SOP) poteka v realnem času. V zračniku je skrita antena GPS sprejemnika točnega časa (Vidrih in sod., 2002).

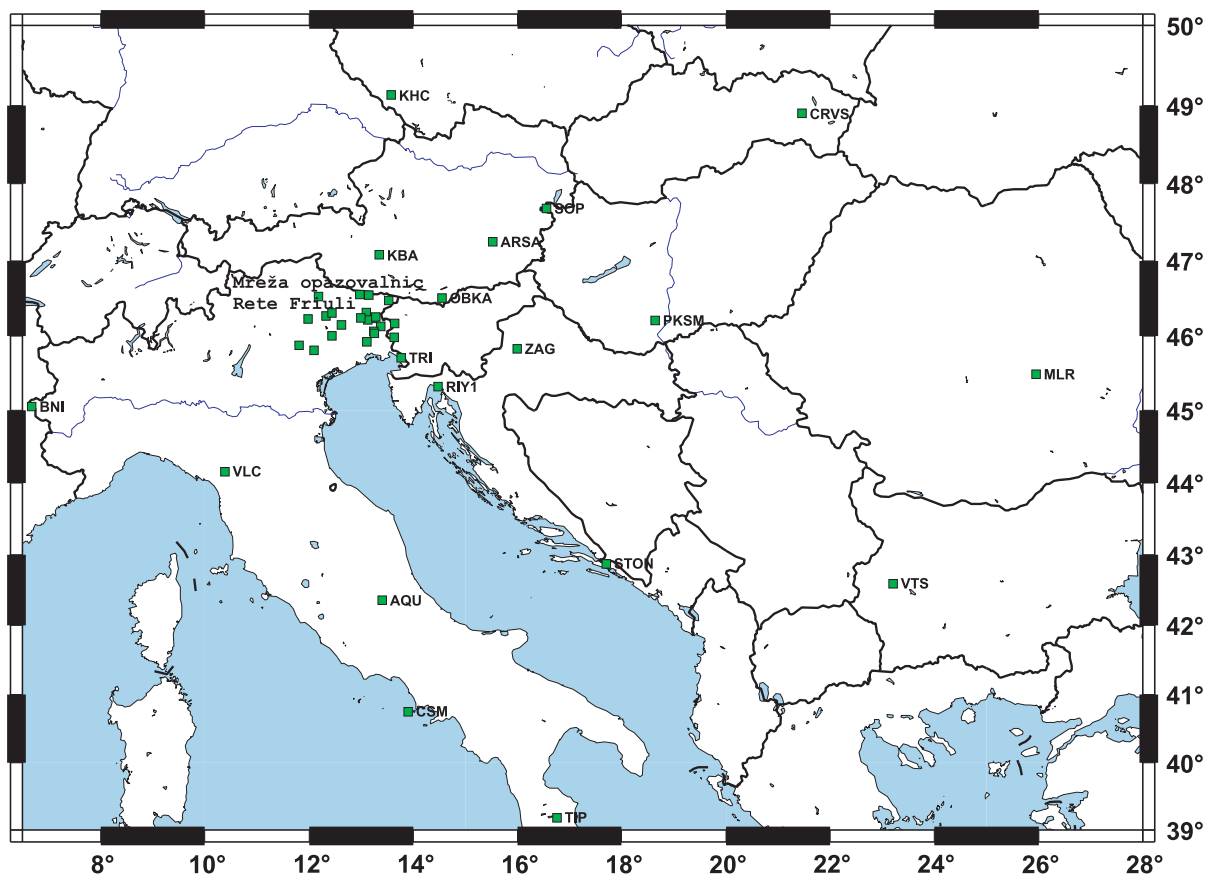
Na opazovalnicah Legarje, Goliše, Zavodnje in Podkum je seizmometer nameščen v vrtino. Na potresni opazovalnici Robič je vsa oprema nameščena v skalni votlini, v Ljubljani pa v kleti observatorija na Golovcu. Podatki o vseh digitalnih potresnih opazovalnicah v Sloveniji v letu 2008 so zbrani v preglednici 2.

Zaradi prevelike podražitve prenosa podatkov po GSM omrežju smo v letu 2008 zamenjali vrsto prenosa podatkov z opazovalnic, kjer ni možnosti priklopa na omrežje Telekoma Slovenije. Za potresne opazovalnice Gornja Briga (GBRS), Gornji Cirknik (GCIS), Javornik (JAVS), Knežji dol (KNDS) in Zavodnje (ZAVS) smo za prenos podatkov uporabili satelitsko internetno povezavo.

Že nekaj časa poteka prenova omrežja HKOM z nabavo nove komunikacijske opreme, ki podpira VPN/MPLS (Virtual private network/Multiprotocol Label Switching) tehnologijo, omogočila pa bi poenostavitev in večjo standardizacijo omrežja ter znižanje stroškov lastništva in upravljanja. MPLS tehnologija zamenjuje starejši ATM in 'frame relay' tehnologiji zaradi boljše podpore sedanjim in prihodnjim potrebam uporabnikov. Ta tehnologija med drugim omogoča uporabo ADSL priključkov za zanesljiv in varen prenos podatkov po telefonskih linijah in zagotavlja širokopasovno povezavo ob precej nižjih stroških v primerjavi z najetimi linijami. Tako smo v letu 2007 pričeli z nameščanjem nove opreme na potresnih opazovalnicah Bojanci (BOJS), Čadrg (CADS), Dobrina (DOBS), Gorjuše (GORS), Ljubljana (LJU), Robič (ROBS), Višnje (VISS) in Vojsko (VOJS).

Ker je ta tip komunikacije omejen na dolžino medija oziroma oddaljenosti med potresno opazovalnico in centralo Telekoma bo na potresnih opazovalnicah Bistriški jarek (BISS), Cerknica (CEY), Črešnjevce (CRES), Goliše (GOLS), Grobnik (GROS), Kog (KOGS), Legarje (LEGS), Možjanca (MOZS), Podkum (PKDS), Pernice (PERS), Skadanščina (SKDS) in Vrh pri Dolskem (VNDS), ki so preveč oddaljene od centrale, ostal prenos podatkov po najetih linijah.

Komunikacijski protokol omogoča uporabniku nastavitve prioritete pri pošiljanju podatkov, na primer samo prenos posameznih dogodkov z manjšo frekvenco vzorčenja ali neprekinjen pre-



**Slika 3.** Virtualna mreža tujih potresnih opazovalnic, iz katerih dobivamo podatke v realnem času. Podatke prenašamo iz opazovalnic v Italiji, Avstriji, Hrvaški, Madžarski, Slovaški, Češki, Romuniji in Bolgariji.

**Figure 3.** Virtual network of foreign seismic stations from which we receive real-time seismic data. Data are transferred from stations in Italy, Austria, Croatia, Hungary, Slovakia, Czech Republic, Romania and Bulgaria.

nos zajemanega kanala. Tako tudi ob krajši prekinitvi prenosnih linij ne ostanemo brez podatkov. Komunikacija lahko poteka asinhrono preko serijskih vrat ali s TCP/IP protokolom preko vgrajene Ethernet kartice. Komunikacija je dvosmerna, tako da lahko iz osrednjega računalnika daljinsko nastavljamo parametre zajemalnega sistema in kalibriramo seizmometer. Ura v zajemalnem sistemu je usklajena z GPS sistemom točnega časa, njena napaka pa je manjša od 1 ms.

Razvoj računalniških komunikacij je v zadnjem času omogočil tudi nastanek tako imenovanih virtualnih mrež potresnih opazovalnic. Samo opazovalnico in na njej nameščeno opremo vzdržuje lokalna institucija, vendar so podatki dosegljivi vsem zainteresiranim, tudi iz drugih delov sveta. Tako v Sloveniji v SOP podatke slovenske državne mreže integriramo s podatki nekaterih opazovalnic iz sosednjih držav (Avstrije, Hrvaške, Italije in Madžarske) (slika 3). Na ta način povečamo območje bolj natančnega določanja žariščnih parametrov ter se lažje izognemo izpadu in nasičenosti zapisov v primeru močnega potresa. Za spremljanje potresne aktivnosti v širši regiji v realnem času pridobivamo podatke iz še nekaterih držav osrednje in jugovzhodne



*Slika 4. Pod pokrovom jaška si včasih najdejo svoj dom tudi kače (foto: I. Tasič).*

*Figure 4. Sometimes snakes can be found under cover of the shaft (Photo: I. Tasič).*

Evrope. Seveda so tudi naši podatki na voljo vsem zainteresiranim institucijam v tujini. Prednosti virtualnih mrež so predvsem v tem, da so opazovalnice in oprema vzdrževane lokalno, podatki pa dostopni globalno. Upravljalcem virtualnih mrež je na voljo možnost, da za določen namen od vseh ponujenih zapisov v svojo konfiguracijo vključijo le tiste najbolj primerne (Živčič in sod., 2005, Živčič, 2006).

Ob vzdrževanju potresnih opazovalnic so se pokazale slabosti železnih pokrovov obeh jaškov. Pokrova sta težka za dvigovanje. Rjavenje zahteva stalno barvanje, zaradi rjavenja pa prihaja tudi do odlomov tečajev. Pokrova tudi ne tesnita, tako da si ponekod pod pokrovom mravlje zgradijo cela mravljišča, drugod pa se naselijo kače (slika 4). Z novo konstrukcijo pokrovov iz aluminija, s katerimi smo že začeli zamenjevati stare, smo dvignili nivo jaškov in z boljšim tesnjenjem preprečili dostop živalim (slika 5).

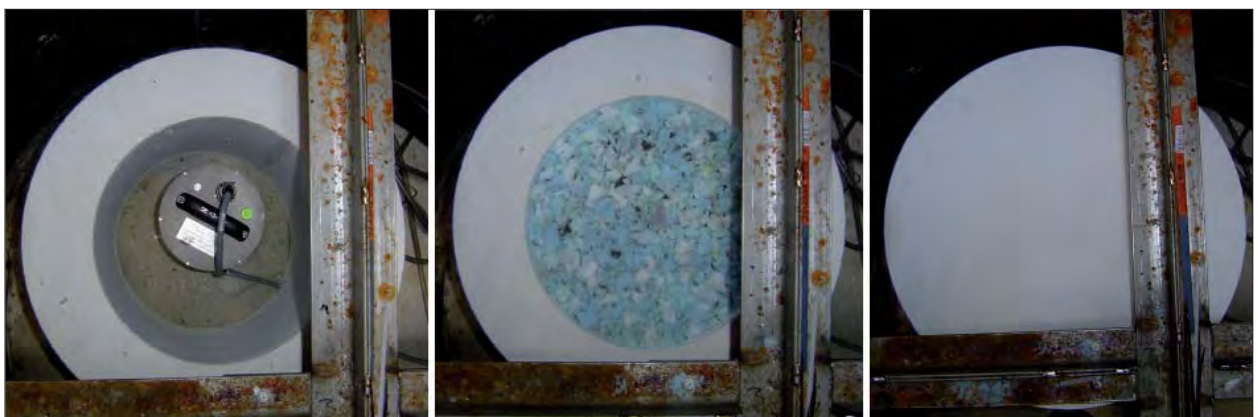
Poleg izboljšav objektov smo začeli tudi z nadgradnjo seizmometrov. Model CMG-40T je proizvajalec Güralp nadgradil v širokopasovni seizmometer CMG-3ESPC s hitrostnim odzivom v



**Slika 5.** Novi pokrovi iz aluminija so lažji, boljše tesnenje pa preprečuje žuželkam, mravljam in drugim malim živalim naselitev v jaskih (foto: P. Sinčič).

**Figure 5.** New waterproof covers made of aluminium are lighter and prevent pests to intrude in shafts (Photo: P. Sinčič).

območju period od 0,2 s do 120 s. Nove seizmometre smo namestili na potresnih opazovalnicah z nižjim seizmičnim šumom v dolgovalovnem območju seizmičnih valov (preglednica 2). Za zmanjšanje šuma seizmometrov zaradi temperaturnih sprememb smo začeli z nameščanjem senzorjev v izolacijsko ohišje iz 10 cm debelega stiropora, ki je s silikonskim kitom zalepljeno na betonsko podlago, vmesni prostor med senzorjem in stenami pa je zapolnjen s kosmiči iz poliuretanske pene (slika 6 a,b,c).



**Slika 6.** Dodatna toplotna izolacija seizmometra. Valjasto ohišje iz 10 cm debelega stiroporja je s silikonskim kitom pritrjena na betonsko podlago. Valj je zapolnjen s kosmiči poliuretanske pene in pokrit s pokrovom (foto: P. Sinčič)

**Figure 6.** Additional thermal isolation of the seismometer. Cylindrical housing made of 10 cm thick stiropor is bonded with the silicon glue to the concrete pier. Cylinder is filled with polyurethane foam flakes and covered (Photo: P. Sinčič).

## Začasne potresne opazovalnice

Že več let imamo začasno postavljene instrumente v Horjulu, Brezjah pri Senušah in na Lisci v meteorološki postaji. Čeprav instrumenti na omenjenih lokacijah delujejo že vrsto let, uporabljamo termin začasno zaradi tega, ker same lokacije niso najbolj primerne za spremljanje potresne dejavnosti zaradi nemira, ki ga povzročajo ljudje. V letu 2008 smo prenehali z opazovanjem v Horjulu.

**Preglednica 3.** Začasne potresne opazovalnice in akcelerografi v letu 2008.

**Table 3.** Temporary seismic stations and accelerographs in 2008.

opaz. station	ozn. code	zem. šir. latitude	zem. dol. longitude	n. viš. elev. [m]	senzor sensor type	zajemalna naprava acquisition unit	začetek delovanja start time	konec delovanja stop time
		°N	°E					
Brezje pri Senušah	KBZ	45,9334	15,4334	208	3-komp. širokopasovni 3-comp. broadband CMG 40T	PR6	14. 03. 2005	konec 2008 še deluje end of 2008 operational
Horjul	HORJ	46,0252	14,305	350	3-komp. akcelerometer 3 comp. accelerometer FBA-23	SSA-2	08. 12. 2006	01. 09. 2008
Lisca	LISS	46,0673	15,2906	948	3-komp. širokopasovni 3-comp. broadband CMG 40T	Q 730	07. 02. 2002	konec 2008 še deluje end of 2008 operational

## Opazovalnice za beleženje močnih potresov

Urad za seizmologijo in geologijo upravlja tudi z mrežo opazovalnic za beleženje močnih potresov, v katerih so nameščeni akcelerografi. Opazovalnice so v Ljubljani (na observatoriju na Golovcu in na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo - FGG), v Dolskem, Ilirski Bistrici, Bovcu, Kobaridu, na gradu Bogenšperk in v Gotenici (preglednica 4).

**Preglednica 4.** Opazovalnice za beleženje močnih potresov v letu 2008.

**Table 4.** Strong motion stations in 2008.

opaz. station	ozn. code	zem. šir. latitude	zem. dol. longitude	n. viš. elev. [m]	senzor sensor type	zajemalna naprava acquisition unit	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	1 g	01.01-31.12.	3
Bovec	BOVC	46,3382	13,5543	455	FBA-23	Etna	4 g	01.01-31.12.	8
Drežnica	DRZN	46,2586	13,6126	544	EpiSensor	Etna	2 g	01.01-31.12.	9
Gotenica	GOTE	45,6095	14,7464	670	FBA-23	Etna	1 g	01.01-31.12.	6
Horjul	HORJ	46,0252	14,3050	350	FBA-23	SSA-2	0,25 g	01.01-31.12.	0
Kobarid	KOBR	46,2474	13,5786	234	FBA-23	Etna	4 g	01.01-05.09.	3
Kobarid	KOBZ	46,2450	13,5818	240	EpiSensor	Etna	2 g	19.09.-31.12.	0
Krško (NEK)	NEK0	45,9391	15,5185	156	FBA-23	Etna	2 g	01.01-31.12.	0
Vogršček	VOGR	45,9057	13,7258	106	EpiSensor	K2	1 g	01.01-31.12.	1
FGG	FAGG	46,0459	14,4944	295	FBA-23	SSA-2	1 g	01.01-31.12.	0
Dolsko	DOLA	46,0938	14,6781	265	FBA-23	SSA-2	1 g	01.01-31.12.	0
Ilirska Bistrica	ILBA	45,5638	14,2445	404	FBA-23	Etna	0,25 g	01.01-31.12.	1

Poleg tega imamo dostop do akcelerografa v Nuklearni elektrarni Krško (NEK). Akcelerograf na FGG tvorita akcelerometer FBA-23 z merilnim območjem 1 g in zajemalna aparaturna SSA-2 z

12-bitnim analognim digitalnim pretvornikom. Enak akcelerograf je nameščen v Dolskem. Akcelerografa v Ilirski Bistrici in v NEK imata občutljivejši senzor FBA-23 z merilnim območjem 0,25 g. Akcelerograf SSA-2 v NEK je bil decembra 1999 zamenjan z akcelerografom Etna in je vključen v državno računalniško omrežje, po katerem teče prenos podatkov na observatorij.

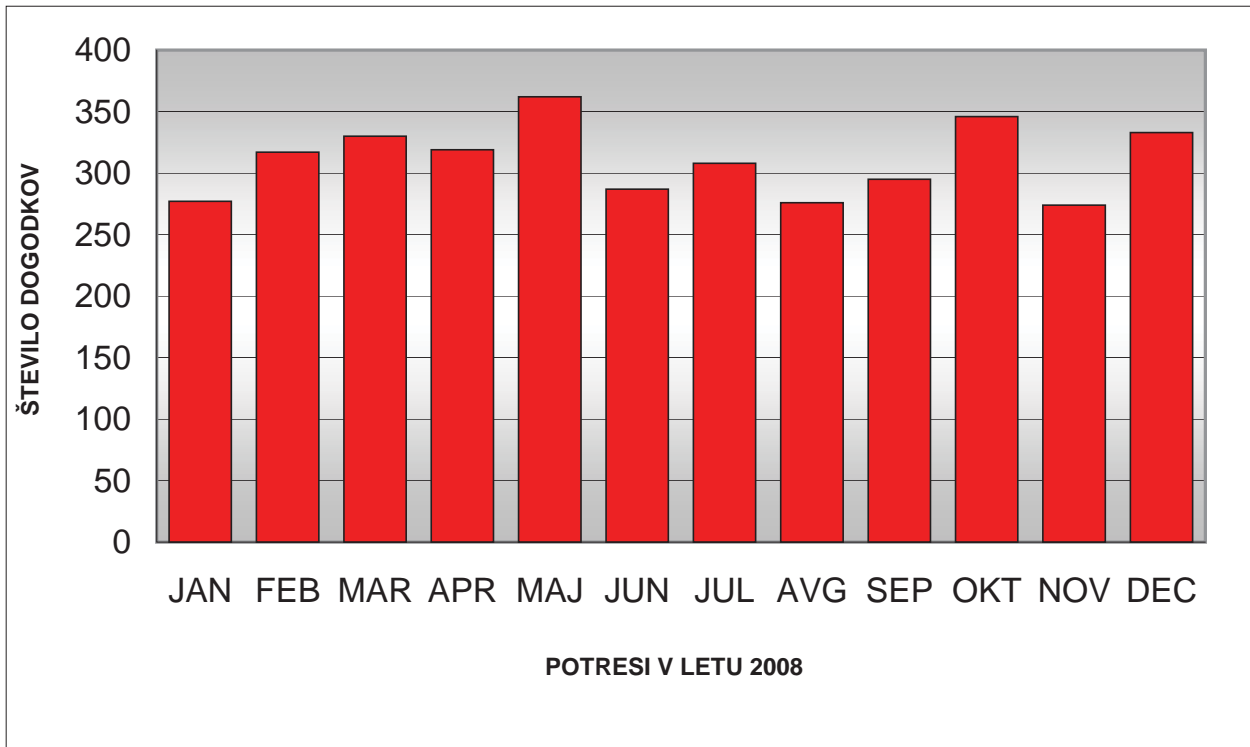
**Preglednica 5.** Potresi v letu 2008, zabeleženi na slovenskih potresnih opazovalnicah.

**Table 5.** Earthquakes in 2008 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	63	34	125	55	222	277
februar February	79	77	91	70	247	317
marec March	87	88	104	51	279	330
april April	95	41	125	58	261	319
maj May	134	40	140	48	314	362
junij June	100	61	91	35	252	287
julij July	93	44	135	36	272	308
avgust August	84	51	108	33	243	276
september September	99	39	120	37	258	295
oktober October	95	70	145	36	310	346
november November	80	40	121	33	241	274
december December	78	102	107	46	287	333
skupaj Total	1087	687	1412	538	3186	3724
legenda Legend	Oddaljeni potresi / Distant earthquakes Regionalni potresi / Regional earthquakes Lokalni potresi / Local earthquakes					$\Delta > 10^\circ$ ( $> 1.100$ km) $1,5^\circ < \Delta < 10^\circ$ ( $< 1.100$ km) $\Delta \leq 1,5^\circ$ ( $\leq 160$ km)

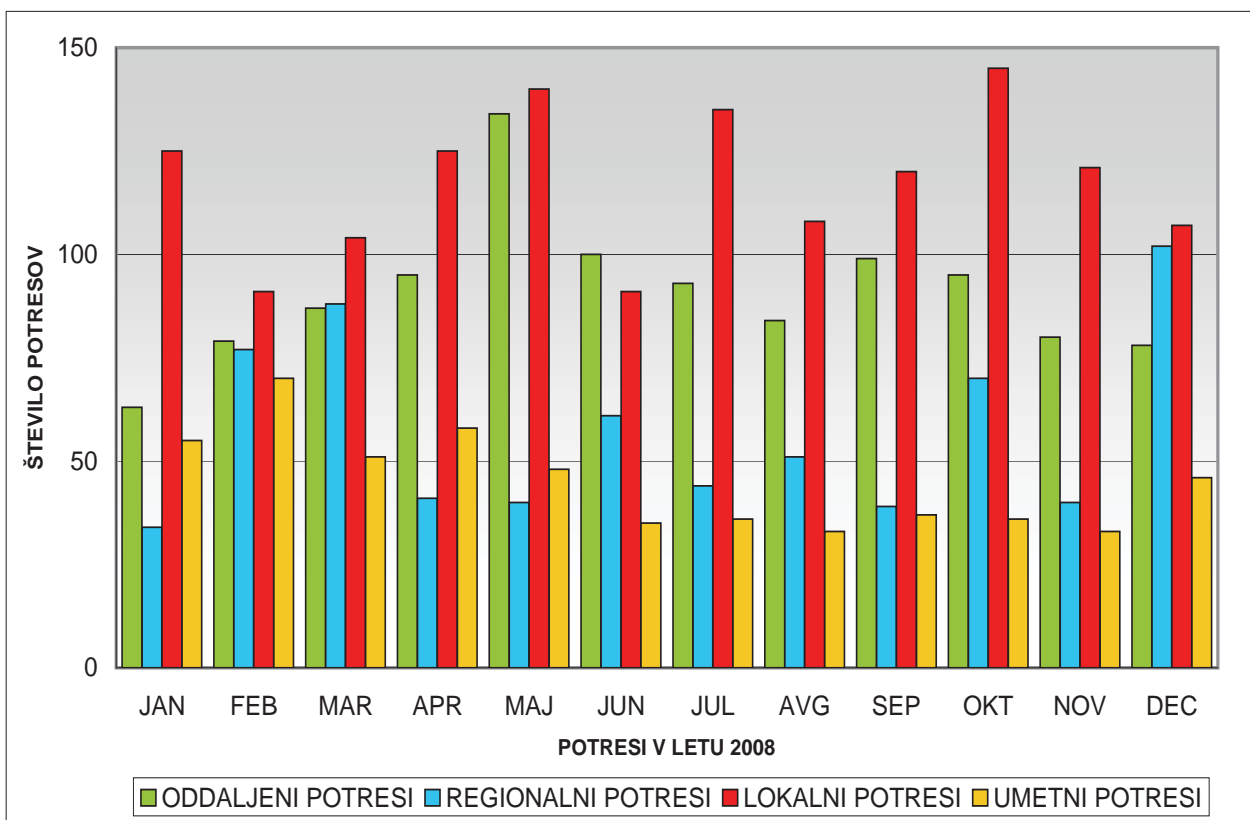
V Gotenici je nameščen akcelerograf Etna z vgrajenim senzorjem FBA-23 z merilnim območjem 1 g in z 18-bitno analognim digitalno pretvorbo, prenos podatkov na observatorij pa poteka po klicni telefonski liniji. Na gradu Bogenšperk je prav tako postavljen akcelerograf Etna z vgrajenim senzorjem FBA-23 s prenosom podatkov po klicni telefonski liniji. V zgornjem Posočju so v opazovalnicah v Bovcu, Drežnici in Kobaridu nameščeni akcelerografi Etna s prenosom podatkov po klicni telefonski liniji. V Ilirski Bistrici je nameščen akcelerograf Etna s prenosom podatkov po omrežju GSM. Na vodni pregradi Vogršček je bil v letu 2004 nameščen akcelerograf K2 z vgrajenim in dvema zunanjima akcelerometroma EpiSensor in s prenosom podatkov po klicni telefonski liniji. Akcelerograf je nameščen v jašku na kroni pregrade, prvi zunanji akcelerometer je nameščen v jašku ob temelju pregrade, drugi pa prav tako v jašku ob jezeru približno 100 m stran od pregrade (Prosen, 2006). Podatke z akcelerografov SSA-2 zbere delavec s pomočjo prenosnega računalnika ob obisku opazovalnice.

Potresne opazovalnice so v letu 2008 zabeležile 3186 potresov (preglednica 5), od tega 1412 lokalnih potresov, 687 regionalnih in 1087 oddaljenih. Seizmografi so zapisali tudi 538 umetnih potresov (razstreljevanj) (sliki 7 in 8).



*Slika 7. Skupno število potresnih dogodkov po mesecih.*

*Figure 7. Distribution of all seismic events by months.*



*Slika 8. Število naravnih in umetnih potresov po mesecih.*

*Figure 8. Monthly distribution of earthquakes and artificial events.*



## Literatura

- Prosen, T. , 2006. Akceleroграфи slovenske mreže potresnih opazovalnic. Potresi v letu 2004 (ur. R. Vidrih), ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 185-188, Ljubljana.
- Sinčič, P., Vidrih, R., 1993. Mreža potresnih opazovalnic v Sloveniji. Ujma 7, 130-137, Ljubljana.
- Sinčič, P., Vidrih, R., 1995. Gradnja potresne opazovalnice. Ujma 9, 185-189, Ljubljana.
- Trnkoczy, A., Vidrih, R., 1986. Seizmološka stanica Vojsko (VOY) u SR Sloveniji. Acta seismologica Iugoslavica 12, 17-34, Beograd.
- Vidrih, R., Sinčič, P., 1997. Potresne opazovalnice v Sloveniji. Povzetki referatov; 13. posvetovanje slovenskih geologov, 39-40, Ljubljana.
- Vidrih, R., Gosar, A., Sinčič, P., 2002. Omrežje potresnih opazovalnic okoli jedrske elektrarne Krško. Življenje in tehnika, letnik 53/11, 59-67, Ljubljana.
- Vidrih, R., Godec, M., Gosar, A., Sinčič, P., Tasič, I., Živčič, M., 2002. Omrežje potresnih opazovalnic okoli NEK. Knjiga povzetkov, 1. slovenski geološki kongres, 100-101, Črna na Koroškem.
- Živčič, M., Kopal, M., Kolar, J., Pahor, J., 2005. Performance of the New Seismic Network of the Republic of Slovenia - First Results, NATO Advanced Research Workshop: Earthquake Monitoring and Seismic Hazard Mitigation in Balkan Countries, 11-17 September 2005, Borovetz.
- Živčič, M., 2006. Seismic Network of the Republic of Slovenia, 30 anni dal Terremoto del Friuli 30 anni di Protezione Civile, Udine, Italy, 4-6 May 2006, Udine.

# DELOVANJE DRŽAVNE MREŽE POTRESNIH OPAZOVALNIC V LETU 2008

## SEISMIC NETWORK OPERATION IN 2008

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

### *Povzetek*

*V prispevku so podani rezultati analize delovanja Državne mreže potresnih opazovalnic v letu 2008. Zanimalo nas je število prekinitev v komunikaciji s posamezno potresno opazovalnico (izpad) glede na njihovo trajanje, predvsem število tistih izpadov, ki so trajali več kot 2 uri, saj v takem primeru lahko pride do izgube podatkov. Za najdaljše izpade posamezne potresne opazovalnice smo podali tudi njihove vzroke. Izračunali smo skupno trajanje izpadov posamezne potresne opazovalnice glede na določen časovni interval ter skupno trajanje izpadov posamezne potresne opazovalnice v določenem mesecu. V prispevku poleg rezultatov analize delovanja posamezne potresne opazovalnice podajamo tudi časovne intervale, znotraj katerih ni delovalo po več potresnih opazovalnic hkrati, pa tudi razloge za njihovo nedelovanje. Zavedati se moramo, da je za analizo parametrov potresa veliko bolj kritično, če v istem časovnem oknu ne deluje večje število potresnih opazovalnic, kot če jih dlje časa ne deluje manjše število. Na osnovi rezultatov analize delovanja potresnih opazovalnic redno poteka tudi razvoj in izvedba posodobitev, ki prispevajo k boljšemu in zanesljivejšemu delovanju državne mreže potresnih opazovalnic.*

### *Abstract*

*The results of analysis of operation for Seismic Network of Slovenia in year 2008 are presented. We developed a software program that is capable to produce the results of analysis of operation on the basis of status data, for particular seismic station and also for the whole seismic network. We were especially interested in the number and lengths of out-of-operation periods (especially of those which were longer than two hours – possible loss of seismic data) for particular seismic station. We calculated the number of fixed length out-of-operation periods for particular seismic station and the sum of out-of-operation period in each month of operation for each seismic station. Furthermore, an analysis of causes for the longest out-of-operation periods for particular seismic station was made. Some parameters, that illustrate the functioning of the whole seismic network are also presented. Time intervals where more seismic stations were not functioning simultaneously are calculated and presented. On behalf of the results several improvements are made every year, which contribute to better and more reliable operation of Seismic network of Slovenia.*

### **Uvod**

Potresne opazovalnice Državne mreže potresnih opazovalnic so opremljene z zajemalno enoto Quanterra Q730 (Q730), seizmometri tipa Güralp CMG 40T, Güralp CMG 3ESPC in STS-2. Enota Q730 skrbi za zajem seizmičnih podatkov iz seizmometra, pretvorbo le-teh v digitalno obliko in opremljanje podatkov s točnim časom preko GPS sistema. Po pripravi podatkov zajemalna enota podatke pošlje v središče za obdelavo podatkov (SOP) v Ljubljani. Izmenjava podatkov poteka v realnem času. V kolikor pride do izpada na prenosu podatkov, Q730 shrani podatke v interni pomnilnik, ki je izveden obliki krožnega pomnilnika. Če je izpad predolg, se starejši podatki v krožnem pomnilniku nadomestijo z novimi in tako pride do izgube podatkov. Proizvajalci opreme jamčijo dve uri dovoljenega izpada na komunikacijah. V kolikor je izpad na prenosnih poteh daljši, lahko pride do izgube podatkov. Q730 v statusno log datoteko zabeleži vsako spremembo v zvezi z delovanjem sistema (prekinitev oziroma vzpostavitev komunikacije, spremembe podatkov v zvezi z GPS-om, ...). V primeru daljšega izpada na komunikacijah oziroma če pride do izpada napajanja na Q730, so te statusne datoteke izgubljene. Izgubljene podatke o delovanju sistema lahko nadomestimo s podatki, ki jih dobimo s stalnim preverjanjem komunikacije posamezne potresne opazovalnice iz Ljubljane.

## Izpadi potresnih opazovalnic

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

**Preglednica 1.** Skupni podatki o številu izpadov in njihovem trajanju za celotno mrežo potresnih opazovalnic v letu 2008.

**Table 1.** An overview of the out-of-operation periods for particular seismic station in 2008.

oznaka opazovalnice	število vseh izpadov	trajanje vseh izpadov [min]	število izpadov daljših od 2h	trajanje izpadov daljših od 2h [min]
BOJS	660	3941	5	1477
CADS	1817	15506	16	9451
CEY	436	11162	3	7887
CRES	2544	13621	23	819
CRNS	141	16154	4	15698
DOBS	384	2030	3	774
GBAS	101	595	1	170
GBRS	1798	29280	12	24998
GCIS	637	3070	1	942
GOLS	399	11128	8	9159
GORS	407	2595	4	758
GROS	430	5244	1	3912
JAVS	441	9928	4	8190
KNDS	543	10273	6	7996
KOGS	319	7979	2	6933
LEGS	384	46958	2	45280
LJU	283	8107	5	4209
MOZS	1209	21729	8	18477
PDKS	3295	18920	3	10595
PERS	556	21893	9	19874
ROBS	228	1148	1	308
SKDS	418	25825	5	24338
VISS	340	5798	2	5003
VNDS	476	12032	4	9639
VOJS	528	30090	5	26965
ZAVS	599	11714	3	9657
<b>skupaj</b>	<b>19373</b>	<b>346720</b>	<b>140</b>	<b>273509</b>

- Skupno število izpadov v letu 2008: 19.373
- Skupno trajanje izpadov v letu 2008: 240,8 dni
- Skupno število izpadov v letu 2008 daljših od dveh ur: 140
- Skupno trajanje izpadov v letu 2008 daljših od dveh ur: 190,0 dni

**Preglednica 2.** Pregled najdaljših izpadov posamezne potresne opazovalnice in razlogi zanje v letu 2008.

**Table 2.** An overview of the longest out-of-operation periods in 2008 for particular seismic station and their causes.

oznaka opazovalnice	število izpadov	najdalj. izpad	ura (UTC)	trajanje izpada	razlog izpada	število izpadov t>2h	skupno trajanje izpadov t>2h
BOJS	660	5. jan.	19:34	15h 52m 00s	daljši izpad na komunikacijah	5	1d 00h 37m 28s
CADS	1817	25. apr.	19:02	2d 10h 4m 59s	daljši izpad na komunikacijah	13	10d 18h 26m
CEY	436	5. apr.	15:01	2d 20h 24m 26s	izpad napajanja: okvara napajalnika	3	5d 11h 26m 52s
CRES	2544	12. jun.	11:57	1d 18h 58m 45s	daljši izpad na komunikacijah	23	5d 13h 39m 31s
CRNS	141	25. apr.	12:43:33	4d 20h 11m 34s	okvara spliterja in komunikacijskih kablov	4	10d 21h 38m 04s
DOBS	384	27. okt.	11:02	6h 50m 17s	daljši izpad na komunikacijah	3	0d 12h 54m 33s
GBAS	101	30. sep.	08:00	2h 50m 01s	daljši izpad na komunikacijah	1	0d 02h 50m 01s
GBRS	1798	7. feb.	12:53	3d 20h 05m 22s	izpad napajanja: izklop FID stikala	12	17d 08h 38m 37s
GCIS	637	12. jan	14:51	15h 41m 47s	izpad napajanja: prekinitev v dobavi el. energije.	1	0d 15h 41m 47s
GOLS	399	21. apr.	17:34	2d 17h 43m 16s	izpad napajanja: okvara napajalnika	8	6d 08h 39m 19s
GORS	407	29. maj	07:01	4h 11m 00s	daljši izpad na komunikacijah	4	0d 12h 38m 07s
GROS	430	2. avg.	16:45	2d 17h 12m 30s	izpad napajanja: izklop FID stikala + 3 varovalk	1	2d 17h 12m 30s
JAVS	441	24. avg.	08:15	3d 0h 04m 46s	izpad napajanja: okvara navijalca	4	5d 16h 30m 25s
KNDS	543	3. feb.	12:43	1d 21h 23m 52s	izpad napajanja: prekinitev v dobavi el. energije.	6	5d 13h 15m 50s
KOGS	319	8. maj	08:45	3d 23h 29m 56s	okvara napajalne kartice na enoti Q730	2	4d 19h 32m 40s
LEGS	384	4. jul.	13:49	30d 18h 42m 37s	okvara modema, linijske zaščite in napajalne kartice na enoti Q730 – udar strele	2	31d 10h 40m 26s
LJU	283	26. jan.	07:59	1d 22h 36m 55s	daljši izpad na komunikacijah	5	2d 22h 09m 27s
MOZS	1209	29. avg.	10:16	11d 0h 56m 45s	okvara pomnilniške kartice RAM na enoti Q730	8	12d 19h 56m 46s
PDKS	3295	15. avg.	22:00	3d 12h 52m 08s	okvara routerja in napajalne kartice na enoti Q730	3	7d 08h 35m 09s
PERS	556	25. dec.	13:34	6d 10h 25m 09s	daljši izpad na komunikacijah	9	13d 19h 14m 03s
ROBS	228	16. jul.	08:25	5h 07m 59s	daljši izpad na komunikacijah	1	0d 05h 07m 59s
SKDS	418	11. apr.	23:50	5d 9h 53m 19s	izpad napajanja: izklop FID stikala in okvara modema	5	16d 21h 38m 06s
VISS	340	9. maj	01:09	3d 9h 07m 54s	daljši izpad na komunikacijah: okvara na telekomovi opremi	2	3d 11h 22m 32s
VNDS	476	30. maj	14:21	3d 18h 56m 49s	daljši izpad na komunikacijah: okvara modema	4	6d 16h 39m 01s
VOJS	528	27. sep.	06:51	18d 2h 28m 24s	Okvara diska na enoti Q730	5	18d 17h 24m 59s
ZAVS	599	24. jun.	22:04	6d 9h 35m 13s	izpad napajanja: izklop FID stikala	3	6d 16h 56m 50s

daljših izpadih. Zanimalo nas je število izpadov komunikacije posamezne potresne opazovalnice glede na trajanje izpada (predvsem število tistih izpadov, ki so trajali dlje kot 2 uri, ker v takem primeru že lahko pride do izgube podatkov). Izračunali smo skupno trajanje izpadov posamezne potresne opazovalnice glede na določen časovni interval ter skupno trajanje izpadov posamezne potresne opazovalnice v določenem mesecu. V primeru, ko v določenem časovnem obdobju pride do večkratnega izpada na komunikacijah, lahko pride do popolne izgube podatkov (pro-

gramska oprema pošilja vedno iste podatke). V tem primeru pride do tako imenovanih pogojnih izpadov (izpadi, za katere velja, da je v določenem časovnem oknu razmerje med skupnim časom izpadov in celotnim časom več kot 40/60), za katere privzamemo, da komunikacije z opazovalnico ni bilo celoten čas utripanja.

V letu 2008 smo omenjeno programsko opremo nadgradili s funkcijo, ki nam na osnovi istih podatkov izračuna tudi število in trajanje izpadov, v katere je bilo vključenih več potresnih opazovalnic sočasno. Izpade smo razdelili glede na trajanje in glede na število opazovalnic, ki so bile sočasno vključene v izpad. Omenjeni podatki so pomembni predvsem s stališča odkrivanja napak, ki nimajo izvora na posamezni potresni opazovalnici, ampak imajo izvor v komunikacijski mreži. Na odkrite napake zato lahko opozorimo za to pristojne službe (HKOM, ASTEC, Smart Com in druge). V prispevku zato podajamo tudi rezultate omenjene analize. V rezultatih podajamo statistiko sočasnih izpadov: njihovo število, njihovo trajanje ter število opazovalnic, kjer je do izpada prišlo.

## Rezultati analize

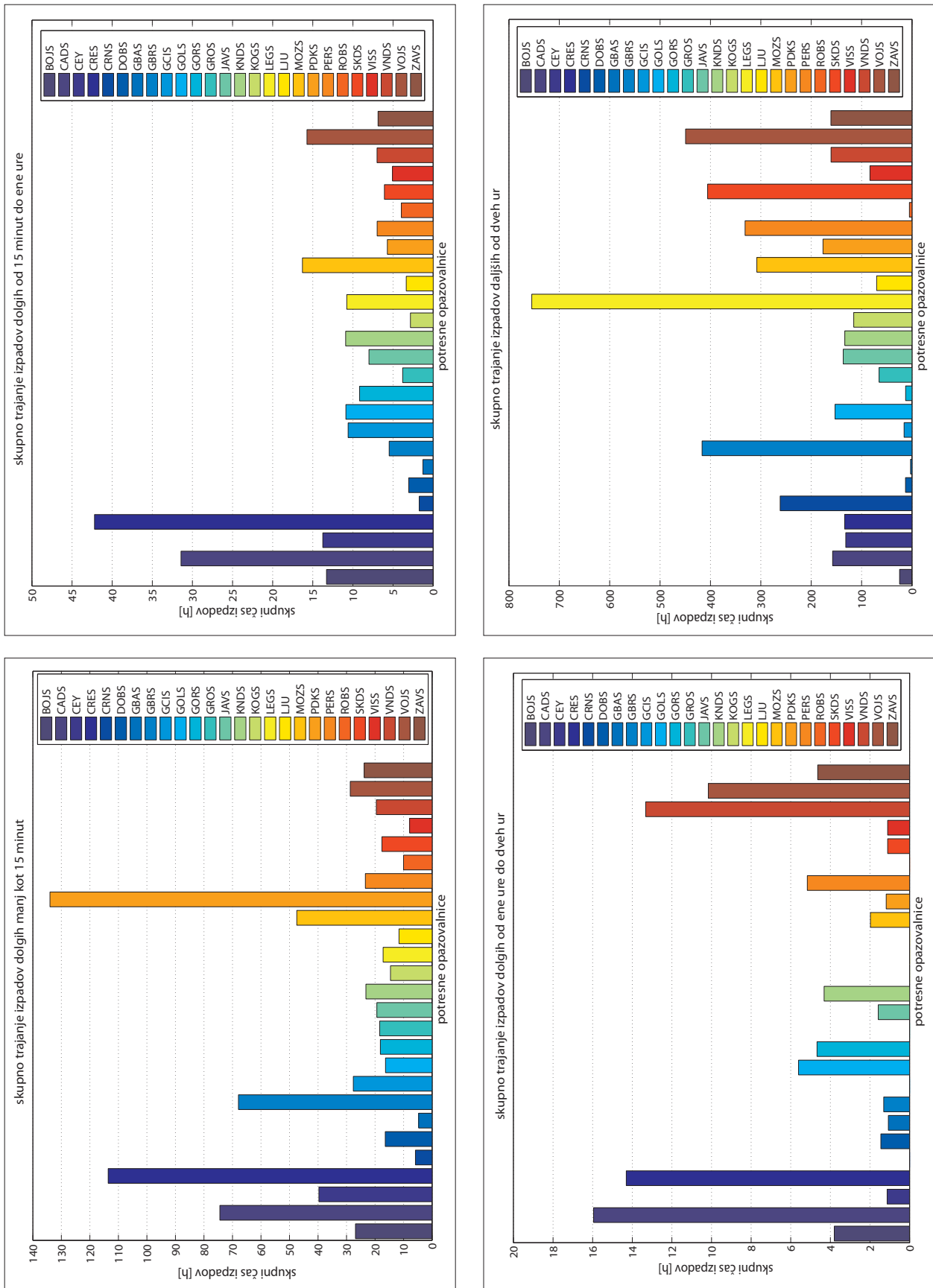
V poglavju podajamo rezultate analize delovanja Državne mreže potresnih opazovalnic v letu 2008. Najprej podajamo skupno trajanje izpadov glede na trajanje izpada za celotno mrežo potresnih opazovalnic (slika 1) in skupno trajanje izpadov vseh potresnih opazovalnic v posameznem mesecu (slika 2). Pregled najdaljših izpadov za posamezno potresno opazovalnico in razlogi zanje so podani v preglednicah 1 in 2.

V nadaljevanju podajamo še rezultate analize delovanja mreže potresnih opazovalnic, ki obravnavajo izpade, kjer istočasno več potresnih opazovalnic ni pošiljalo podatkov. V preglednici 3 in na sliki 3 podajamo skupno trajanje izpadov glede na število opazovalnic, ki so bile istočasno vključene v izpad. Posamezna vrednost izpadov predstavlja skupno trajanje vseh izpadov, v katere je bilo vključenih natanko določeno število opazovalnic. Vsak stolpec na sliki 3 in v preglednici 3 predstavlja skupno trajanje istočasnih izpadov določenega števila potresnih opazovalnic. Stolpci se med seboj izključujejo, kar pomeni, da vrednost posameznega stolpca predstavlja vsoto istočasnih izpadov pripadajočega števila potresnih opazovalnic (primer: vrednost 20. stolpca predstavlja vsoto skupnih izpadov točno 20-tih potresnih opazovalnic in ne zajema izpadov, v katere je vključenih tudi več potresnih opazovalnic). Zavedati se je treba, da je skupno trajanje izpadov v posameznem stolpcu sestavljeno iz več izpadov iste vrste in zato ne prikazuje kritičnih izpadov (več kot polovica opazovalnic ne deluje več kot eno ali dve uri).

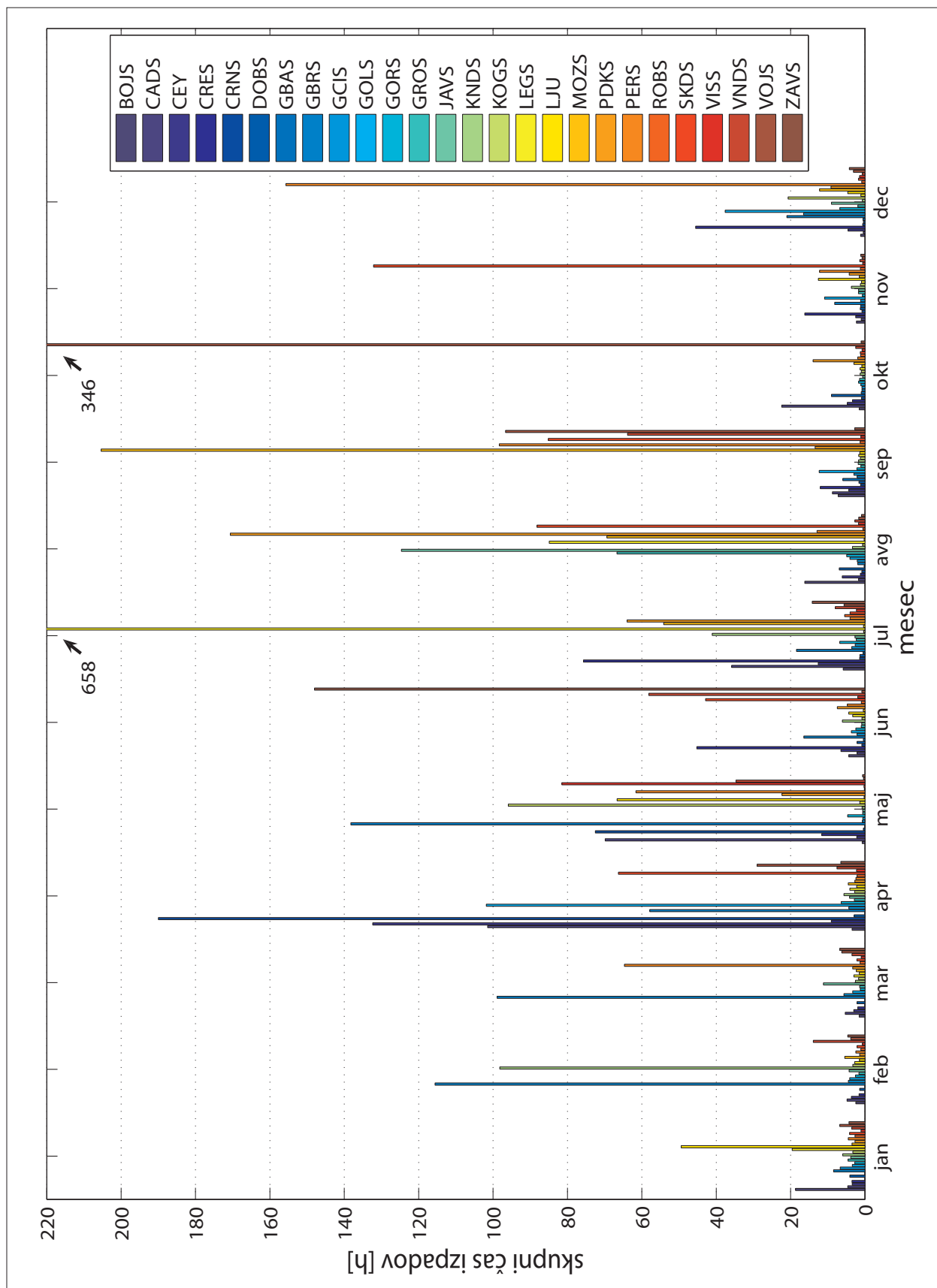
Pregled in analiza kritičnih izpadov je zelo pomembna, saj je natančnost lociranja žarišča in magnitude potresa neposredno odvisna od števila v analizo zajetih potresnih opazovalnic. Teoretično so za določitev nadžarišča potresa potrebni podatki najmanj treh opazovalnic, če pa želimo določiti še žariščno globino, so potrebne najmanj štiri potresne opazovalnice. V resnici pa imamo pri postopku lociranja potresa mnogo neznank, ki jih pri oceni parametrov potresa zmanjšamo z večjim številom potresnih opazovalnic, ki sodelujejo pri analizi, kar je seveda eden glavnih razlogov za gosto in kakovostno mrežo, ki pa jo je potrebno stalno nadgrajevati in posodabljeni. Kritični izpadi (izguba toka podatkov v realnem času z več kot 70 % potresnimi opazovalnicami za več kot eno uro), do katerega pride v trenutku potresa, lahko predstavljajo velik problem, saj je določitev potresnih parametrov v takem primeru otežena oziroma manj natančna. Pregled sočasnih izpadov je podan v preglednici 4.

## Zaključek

V prispevku smo na kratko predstavili rezultate analize delovanja potresnih opazovalnic državne mreže v letu 2008. Ugotovili smo, da se izpadi (prekinitve v komunikaciji s posamezno potresno opazovalnico) pojavljajo neprestano, pri čemer je treba poudariti, da je izpadov daljših od dveh ur, sorazmerno malo. Medtem, ko je vzrok krajših izpadov vedno manjša napaka na ko-



**Slika 1.** Skupno trajanje izpadov glede na časovni interval (trajanje izpada) za vse potresne opazovalnice skupaj.  
**Figure 1.** An overview of analysis of operation for seismic network of Slovenia (The sum of out-of-operation periods for particular length of period for all stations).



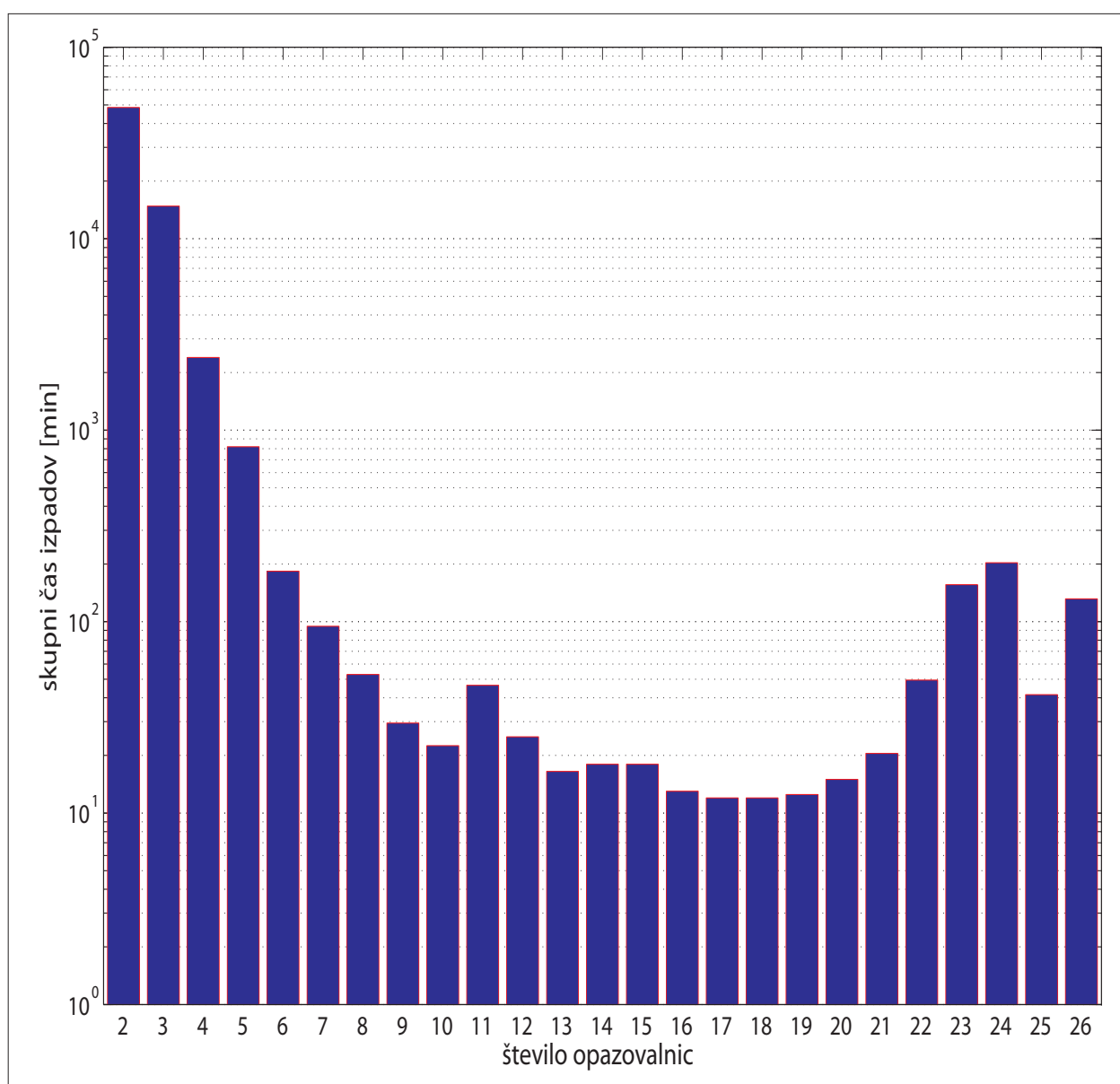
**Slika 2.** Skupno trajanje izpadov vseh potresnih opazovalnic v posameznem mesecu.

**Figure 2.** An overview of analysis of operation for seismic network of Slovenia (The sum of out-of-operation periods in each month for all stations).

**Preglednica 3.** Skupno trajanje izpadov podano v minutah glede na število opazovalnic, ki so bile istočasno vključene v izpad.

**Table 3.** Sum of out-of-operation periods in minutes whit respect to number of seismic stations, that were simultaneously included in out-of-operation period.

število opaz.	skupno trajanje izpadov	število opaz.	skupno trajanje izpadov	število opaz.	skupno trajanje izpadov	število opaz.	skupno trajanje izpadov	število opaz.	skupno trajanje izpadov
2	48491	7	95	12	25	17	12	22	50
3	14798	8	53	13	17	18	12	23	156
4	2396	9	30	14	18	19	13	24	203
5	820	10	23	15	18	20	15	25	42
6	184	11	47	16	13	21	21	26	132



**Slika 3.** Skupno trajanje izpadov v letu 2008, v katere je bilo vključenih več potresnih opazovalnic hkrati.

**Figure 3.** Sum of out-of-operation periods that were present at several seismic stations simultaneously (year 2008).



**Preglednica 4.** Število izpadov glede na njihovo trajanje in glede na število potresnih opazovalnic, ki so bile istočasno vključene v izpad.

Rdeča barva predstavlja kritične izpade, ki onemogočijo takojšnje avtomatsko določitev osnovnih parametrov potresa.

Rumena barva predstavlja pogojno kritične izpade, ki glede na lokacijo potresa in lokacijo potresnih opazovalnic, ki so potrebne za avtomatsko analizo, lahko onemogočijo takojšnje avtomatsko določitev osnovnih parametrov potresa.

**Table 4.** An overview of simultaneous out-of-operation periods for Seismic Network of Slovenia with regard to number of seismic stations, that were out of operation and the duration of the out-of-operation period.

Red colour – critical out-of-operation periods (automatic analysis of earthquake parameters is not possible).

Yellow colour - critical out-of-operation periods (automatic analysis of earthquake parameters is aggravated).

Število opaz.	dolžina trajanja izpadov						
	0 – 5 min	5 – 15 min	15 – 30 min	30 – 45 min	45 – 60 min	60 – 120 min	> 120 min
2	5245	768	109	42	27	227	58
3	2076	201	36	10	9	36	17
4	648	34	2	3	1	9	1
5	290	21	0	1	0	1	0
6	81	1	0	0	0	0	0
7	35	2	0	0	0	0	0
8	18	1	0	0	0	0	0
9	16	0	0	0	0	0	0
10	10	0	0	0	0	0	0
11	10	0	1	0	0	0	0
12	14	0	0	0	0	0	0
13	8	0	0	0	0	0	0
14	10	0	0	0	0	0	0
15	11	0	0	0	0	0	0
16	7	0	0	0	0	0	0
17	7	0	0	0	0	0	0
18	4	0	0	0	0	0	0
19	6	0	0	0	0	0	0
20	4	0	0	0	0	0	0
21	7	0	0	0	0	0	0
22	25	0	0	0	0	0	0
23	92	1	1	0	0	0	0
24	72	3	0	1	1	0	0
25	23	1	0	0	0	0	0
26	37	1	0	0	1	0	0

munikacijah, pa so vzroki daljših izpadov raznovrstni. V grobem jih lahko delimo v tri skupine. V prvi skupini so problemi v zvezi z dobavo električne energije ter motnjami v varovalnem sistemu potresne opazovalnice (predvsem so to izpadi varovalk). Za rešitev tega problema v najbolj kritične opazovalnice pospešeno vgrajujemo tako imenovane avtomatske varovalke (avtomatska FID stikala), ki se ob iznihanju motnje ponovno vklopijo. V drugo skupino spadajo problemi v zvezi s komunikacijo (napake na modemih in usmernikih). V tretjo skupino pa uvrščamo okvare na seizmološki opremi (okvare na UPS enotah ter okvare na seizmometrih in zajemalnih enotah). V letu

2008 smo nadaljevali z izboljšavami UPS enot, kar bo pripomoglo k daljši avtonomnosti sistema in posledično k stabilnejšemu delovanju mreže potresnih opazovalnic. Na hitrost odprave napak pogosto vpliva tudi vrsta dejavnikov, na katere na moremo vplivati (slabe vremenske razmere, fizične napake na komunikacijskih poteh, ...). V prispevku smo naredili tudi analizo tako imenovanih kritičnih izpadov. To so izpadi, v katere je istočasno vključenih več kot 70 % potresnih opazovalnic oziroma več kot 17 potresnih opazovalnic za več kot eno uro. Ugotovili smo, da sta bila taka izpada dva, krivec pa je bil v obeh primerih eden od upravljavcev s komunikacijami. Na osnovi rezultatov analize delovanja potresnih opazovalnic v letu 2008 smo definirali najpogostejše napake, ki povzročijo izpade. S pomočjo teh spoznanj neprestano izboljšujemo opremo na potresnih opazovalnicah in tako izboljšujemo delovanje državne mreže potresnih opazovalnic.

## **Literatura**

<http://www.arso.gov.si/podrocja/potresi/podatki/>

Interni arhiv sektorja za potresna opazovanja.

Mali, M., 2008. Interno poročilo; poročilo o delovanju oziroma izpadih za leto 2008.

# UČINKOVITOST PRIDOBIVANJA PODATKOV IZ DRŽAVNE MREŽE POTRESNIH OPAZOVALNIC V LETU 2008

## SEISMIC DATA ACQUISITION EFFICIENCY FOR SEISMIC NETWORK OF THE REPUBLIC OF SLOVENIA IN 2008

**Jurij Pahor**

### ***Povzetek***

*Izguba podatkov v letu 2008 iz šestindvajsetih opazovalnic Državne mreže potresnih opazovalnic znaša 2,5% za podatkovne nize s frekvenco vzorčenja 200 vzorcev v sekundi (HH) ter 2,2% za podatkovne nize s frekvenco vzorčenja 20 vzorcev v sekundi (BH). 16. aprila je bila po skoraj dvoletnem premoru ponovno vključena opazovalnica na Črnem Vrhu (CRNS), 27. maja pa je začela delovati opazovalnica Gorenja Brezovica (GBAS). Do znatne izgube podatkov je prišlo na opazovalnici Legarje (LEGS) zaradi okvar na opremi.*

### ***Abstract***

*The seismic network of the Republic of Slovenia was operating twenty six seismic stations in 2008. Seismic station GBAS has been put in operation on 27th of May and CRNS after almost two years resumed its operation on 16th of April 2008. The data loss was evaluated from Antelope wfdisc database table and was found to be 2.5 % for 200 sps datastreams (HH) and 2.2 % for 20 sps data streams (BH). The greatest data loss is accounted for seismic stations LEGS, due to power supply problems and various hardware failures.*

### **Uvod**

V analizi o učinkovitosti pridobivanja podatkov so obravnavane opazovalnice Državne mreže potresnih opazovalnic (Sinčič in sod., 2009). V letu 2008 smo poleg arhiviranja na magnetne trakove vzpostavili še arhiviranje kontinuiranih zapisov na diskovni strežnik. Povzetek količine zbranih podatkov je narejen iz wfdisc tabele arhivske podatkovne baze sistema Antelope (Boulder Real Time Technologies, 2005) na diskovnem strežniku, ne več iz wftar tabele, kakor v preteklih nekaj letih.

### **Izguba podatkov v letu 2008**

V poročilu je zajetih šestindvajset potresnih opazovalnic državne mreže. Opazovalnica na Gorenji Brezovici (GBAS) je bila priklopljena 27. 5. 2008, opazovalnica na Črnem vrhu (CRNS) pa 16. 4. 2008. Za ti dve opazovalnici je odstotek pridobljenih podatkov normiran na čas od priklopa do konca leta. Spremljali smo podatkovne nize s frekvenco vzorčenja 200 izmerkov v sekundi (HH) in 20 izmerkov v sekundi (BH). Odstotki izgube podatkov za posamezne opazovalnice in za celotno mrežo skupaj so izračunani iz razlike med pridobljenimi podatki ter pričakovano količino podatkov (Pahor, Živčič, 2007).

V letu 2008 nismo zabeležili znatne izgube seizmičnih podatkov iz nobene opazovalnice, z izjemo opazovalnice na Legarjah (LEGS), ki ni delovala med 4. 7. in 4. 8. 2008 zaradi izpada električnega napajanja in različnih okvar na opremi.

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.

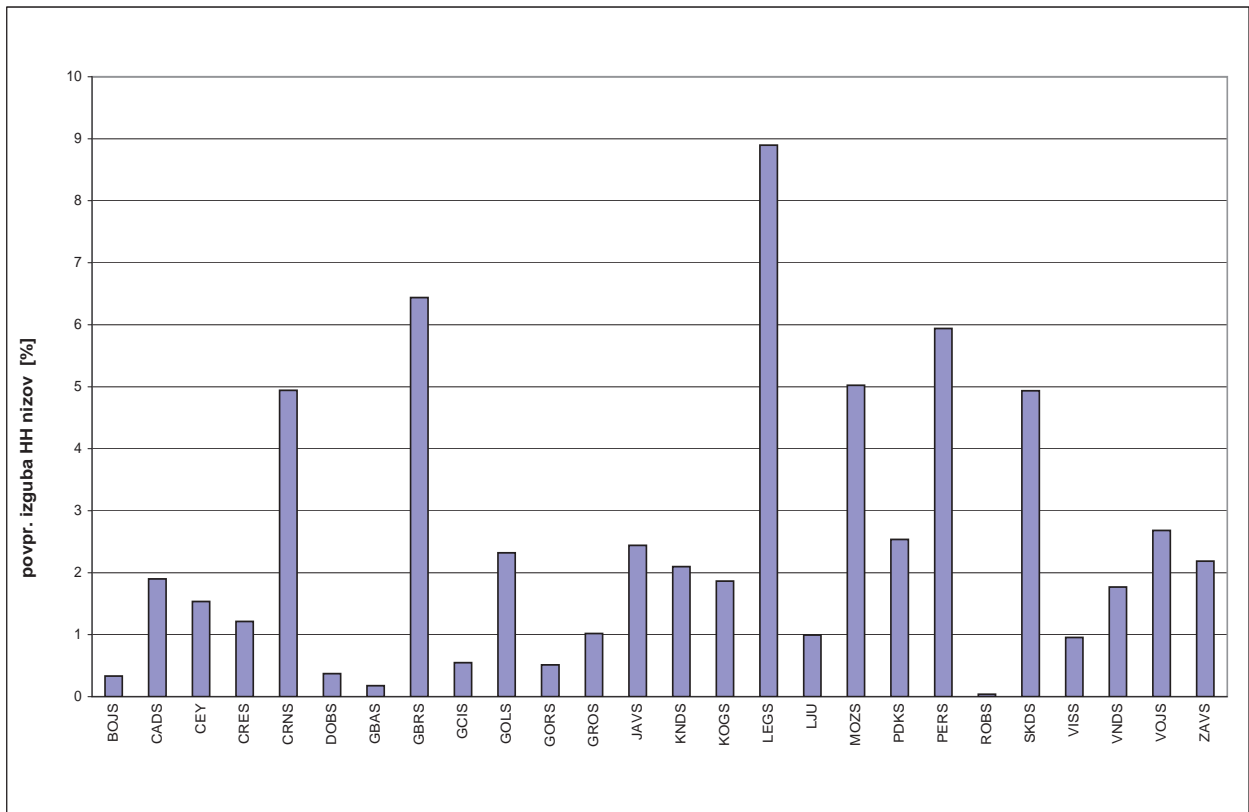
**Preglednica 1.** Izguba podatkov za tri komponente HH in BH podatkovnih nizov po opazovalnicah za leto 2008, izražena v odstotku pričakovanega časa delovanja.

**Table 1.** Data loss given as percentage of expected operation time for three-channel HH and BH data streams for each seismic station in 2008.

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

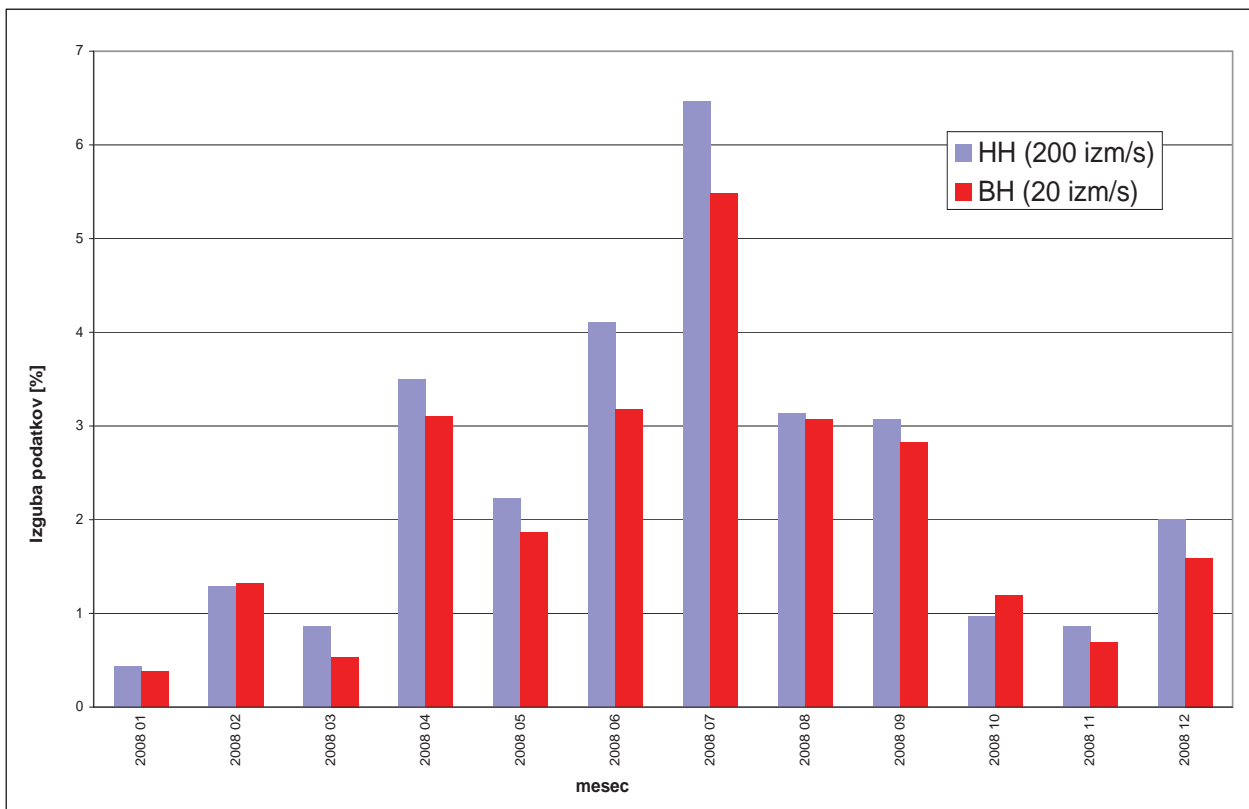
## Zaključek

V letu 2008 smo zabeležili izpad 2,5 % podatkov z vzorčenjem 200 izm./sek iz stalnih potrebnih opazovalnic. Največjo izgubo smo zabeležili iz opazovalnice na Legarjah. Izplen podatkov je bil v letu 2008 dober, saj je povprečna izguba HH podatkovnih nizov v letu 2007 znašala 8,5% (Pahor, Živčič, 2008).



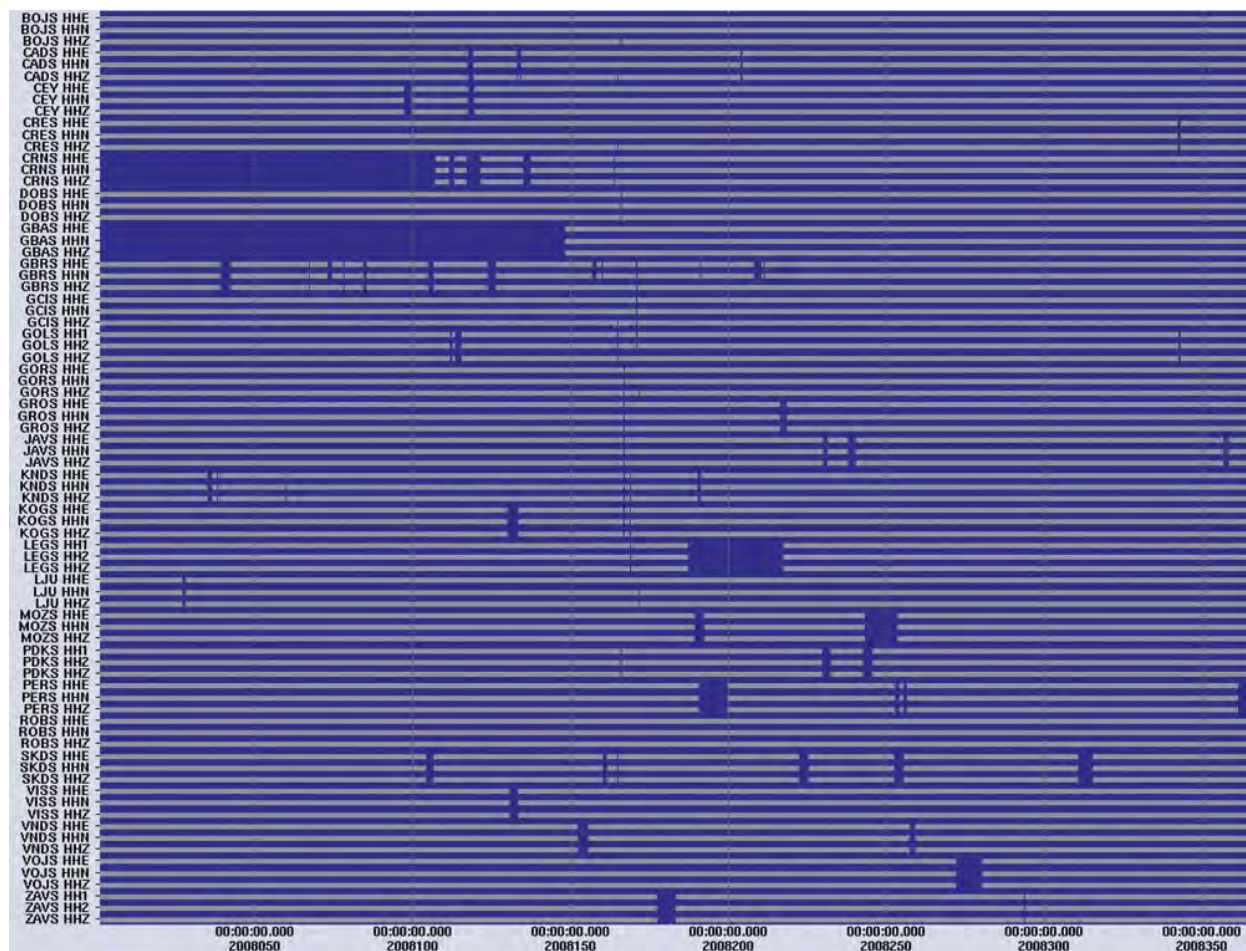
*Slika 1. Izguba HH podatkovnih nizov (vse tri komponente) po opazovalnicah v letu 2008.*

*Figure 1. Data loss of HH data streams (all three components) for each seismic station in 2008.*



*Slika 2. Skupna izguba seizmičnih podatkov po mesecih v letu 2008.*

*Figure 2. Network overall monthly data loss in 2008.*



*Slika 3. Razpoložljivost podatkov iz HH podatkovnih nizov za leto 2008. Časovna skala prikazuje dan v letu.*

*Figure 3. Data availability for HH data streams for permanent seismic stations in 2008. Time scale shows day of the year.*

## Literatura

- Boulder Real Time Technologies, inc.(online). 2005. (citirano 30.7.2009). Antelope Real Time System. Dostopno na naslovu: <http://www.brtt.com/>
- Pahor J., Živčič M., 2007. Učinkovitost zbiranja podatkov iz potresnih opazovalnic v letu 2005. Potresi v letu 2005 (ur. R. Vidrih), ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 25-29, Ljubljana.
- Pahor J., Živčič M., 2007. Učinkovitost zbiranja podatkov iz potresnih opazovalnic v letu 2006. Potresi v letu 2006 (ur. R. Vidrih), ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 24-27, Ljubljana.
- Sinčič P., Vidrih R., Tasič I., Živčič M., Mladenović, B., 2009. Potresne opazovalnice v Sloveniji v letu 2008. Potresi v letu 2008 (ur. R. Vidrih), ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 1-13, Ljubljana.

# POSREDNI IN NEPOSREDNI VPLIV VETRA NA SEIZMIČNI SIGNAL DIRECT AND INDIRECT WIND INFLUENCE ON SEISMIC SIGNAL

Marko Mali, Izidor Tasič

## **Povzetek**

Državno mrežo potresnih opazovalnic sestavlja 26 sodobno opremljenih digitalnih potresnih opazovalnic. Na osnovi meritev in analize seizmičnih signalov izvajamo na Uradu za seizmologijo in geologijo vrsto seizmoloških raziskav, katerih točnost oziroma izvedljivost je odvisna predvsem od kvalitete zajetega seizmičnega signala. Eden glavnih virov nemira, ki negativno vpliva na kakovost visokofrekvenčnega dela zapisa seizmičnih signalov, je veter. V prispevku so podani rezultati analize vpliva vetra na visokofrekvenčni seizmični nemir. Z analizo vpliva strel vododa na seizmični nemir smo ugotovili, da le-ta ob prisotnosti vetra predstavlja glavni izvor visokofrekvenčnih spektralnih vrhov. Z odstranitvijo strel vododa omenjenih spektralnih vrhov ni bilo več. Analiza vpliva vetra na nivo seizmičnega nemira glede na hitrost vetra pa je pokazala, da je v primeru izredno močnega vetra lahko visokofrekvenčni zapis seizmičnega signala neuporaben. Za rešitev omenjenega problema bi bilo smiselno preučiti možnost izgradnje dodatnih vrtin na sicer zaradi vetra najbolj kritičnih potresnih opazovalnicah (Knežji dol, Javornik in Skadanščina).

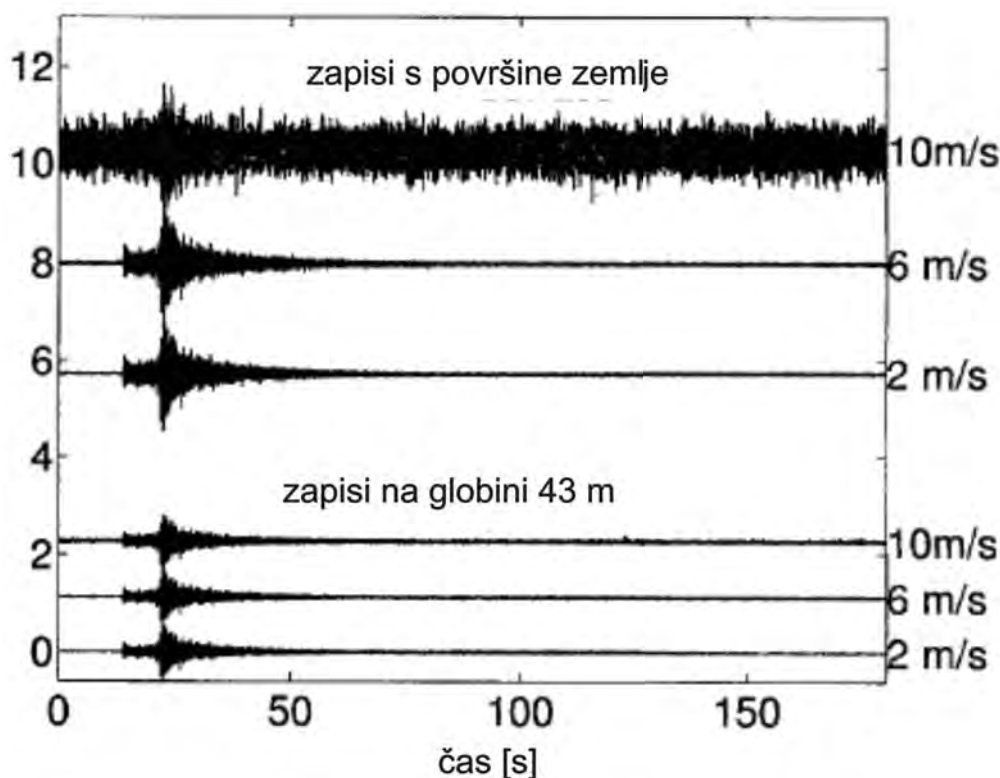
## **Abstract**

Seismic network of Slovenia consists of 26 modern digital seismic stations. Several seismological researches are made by Seismology and Geology Office. The accuracy of researches depends especially on quality of recorded seismic signals. One of the main sources of high frequency seismic noise is wind. In this work results of wind influence on high frequency seismic noise are presented. Analysis of indirect influence of wind through vibrating of lightning conductor was made. The results have shown that high frequency spectral peaks, which origin was so far unknown, were the cause of wind interference with lightning conductor. Moreover, with removal of lightning conductor the mentioned high frequency spectral peaks were no longer present. The analysis of direct influence of wind on seismic noise was also made. The results have shown that in case of strong wind the seismic signals are strongly disturbed and in some cases made useless. The construction of additional boreholes is suggested as the only solution for mentioned problem. The construction of borehole would be especially useful for seismic stations Knežji dol, Javornik and Skadanščina, which are exposed to strong wind.

## **Uvod**

Veter je eden glavnih virov visokofrekvenčnega seizmičnega nemira, ki ga povzroča neposredno preko trenja s podlago v okolici potresne opazovalnice, predvsem pa posredno preko nihanja različnih nadzemeljskih objektov, ki se nahajajo v neposredni bližini potresne opazovalnice [Trnkoczy in sod., 2002]. Skozi zgodovino seizmologije je bila narejena vrsta raziskav vpliva vetra na seizmični zapis oziroma na seizmični nemir [Gurrola in sod., 1990], [Young in sod., 1996], [Withers in sod., 1996], [Mucciarelli in sod., 2005]. Ugotovljeno je bilo, da med seizmičnim nemikom in hitrostjo vetra obstaja korelacija, katere vrednost je odvisna predvsem od zgradbe potresne opazovalnice, tipa vegetacije, vrste vetra in same geometrije okolice, kjer se potresna opazovalnica nahaja. Medtem, ko se večina seizmičnega nemira povzročena z vetrom nahaja na območju frekvenc višjih od 10 Hz, se je potrebno zavedati, da se seizmični nemir zaradi vetra lahko nahaja tudi pri nižjih frekvencah. To velja predvsem za področja, ki se nahajajo blizu morja, kjer le-to preko valovanja (vzrok veter) povzroča dodatni seizmični nemir [Mucciarelli in sod., 2005].

V strokovni literaturi najdemo vrsto postopkov oziroma priporočil, kako zmanjšati seizmični nemir, povzročen zaradi vetra [Trnkoczy in sod., 2002]. Seizmični nemir, povzročen z vetrom, se z oddaljenostjo od potresne opazovalnice hitro duši (izjema je le valovanje morja), zato velja pravilo, da naj bodo vsi nadzemeljski objekti in vegetacija locirani čim dlje od potresne opazovalnice. Naslednje priporočilo se navezuje na zgradbo potresne opazovalnice, kjer se v primeru potresne opazovalnice izvedene s podzemnimi jaški priporoča, da je delež jaškov nad zemljo kar se da majhen. V primeru, da so pokrovi oziroma vhodi v jašek delno nad zemljo, se priporoča,



**Slika 1.** Zapis potresa ob prisotnosti vetra različnih moči. Prve tri sledi prikazujejo zapis dogodka na površini, medtem ko druge tri sledi prikazujejo zapis potresa s seizmometrom postavljenim v vrtino globine 43 m (Withers in sod., 1996).

**Figure 1.** Event recordings at presence of differed wind speeds. First three records were recorded at surface, while the second three traces were recorded at depth of 43 m (Withers et al., 1996).

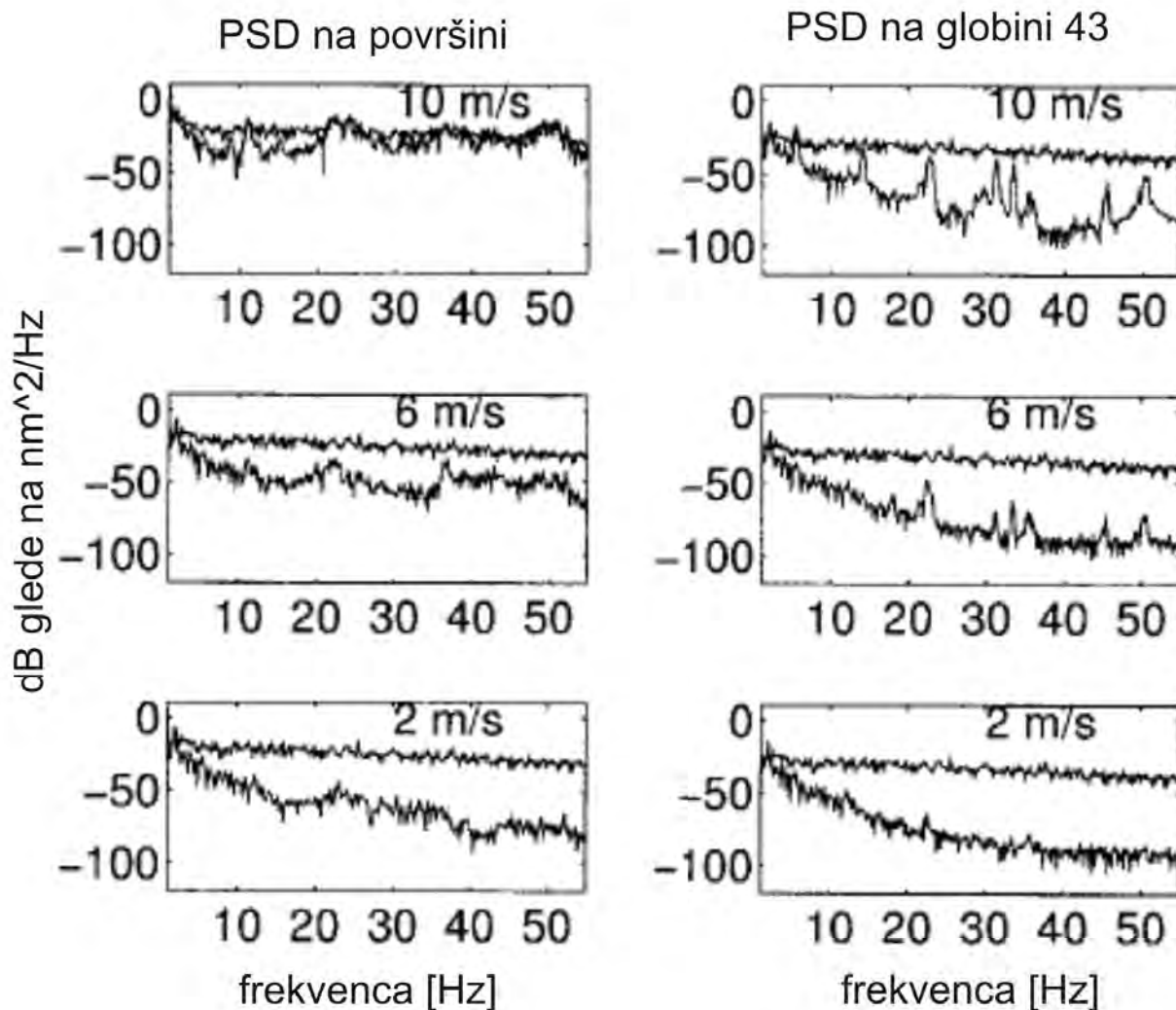
da se omenjeni deli z vseh strani obložijo z zemljo in sicer tako, da se z obliko obložitve kar se da zmanjša interakcija vetra neposredno z nadzemnim delom jaška. V primeru zelo vetrovne, a sicer s stališča seizmičnega nemira zelo tihe lokacije, se priporoča izvedba potresne opazovalnice s seizmometrom v vrtini, saj se visokofrekvenčni nemir hitro duši tako z razdaljo kot tudi z globino. Withers je s sodelavci (1996) pokazal, da se s postavitvijo seizmometra v vrtino globine 43 m visokofrekvenčni seizmični nemir v prisotnosti vetra zmanjša kar za 20 dB (slika 1), kar tudi v primeru močnega vetra (hitrosti 10 m/s) omogoči analizo šibkih seizmičnih dogodkov (slika 2).

### Izvedene metode za zmanjšanje vpliva vetra

Veter povzroča dodatni nemir z neposredno interakcijo s podlago ter posredno preko nihanja nadzemljskih objektov in vegetacije. Na sliki 3 prikazujemo tipično potresno opazovalnico državne mreže. Strelvod, zračnik, ograja ter bližnja drevesa - vsi ob vetrovnih dneh predstavljajo potencialne vire visokofrekvenčnega seizmičnega nemira.

Pri analizi seizmičnega nemira na potresnih opazovalnicah, ki so izpostavljene močni burji (KNDS in JAVS), smo poleg povišanega seizmičnega nemira na celotnem visokofrekvenčnem pasu zaznali tudi vrsto spektralnih vrhov. Ker v bližini omenjenih potresnih opazovalnic ni nobenega objekta niti drevesa, nas je zanimalo, kateri od objektov (ograja, strelvod, zračnik, pokrovi jaškov) v sklopu potresne opazovalnice je glavni krivec za pojav spektralnih vrhov. V ta namen smo izvedli eksperiment, kjer smo ročno nihali posamezen objekt na potresni opazovalnici ter naredili spektralno analizo zajetih podatkov. Na osnovi rezultatov, ki so predstavljeni v naslednjem poglavju, smo na potresni opazovalnici Knežji dol (KNDS) odstranili strelvod ter naredili analizo seizmičnega nemira pred in po odstranitvi.





**Slika 2.** Na sliki so prikazani spektri močnostne gostote signala zajetega pred dogodkom in spektri močnostne gostote dogodka prikazanega na Sliki 1. Levi stolpec podaja vrednosti spektrov močnostne gostote signalov zajetih na površju, medtem ko desni stolpec podaja spektre močnostne gostote signala zajete v globini 43 m (Withers in sod.,1996).

**Figure 2.** Signal and noise PSD. PSD's for the pre-event noise and the signal of the traces shown in figure 1 for the surface (left) and borehole (right) environments (Withers et al.,1996).

V analizo smo vključili podatke enega meseca pred in po odstranitvi strelovoda. Podatki so bili v obliki enournih odsekov zajetih med 01:00 in 02:00, 09:00 in 10:00 ter 17:00 in 18:00. Vsi podatki so bili zajeti s frekvenco 200 Hz in predhodno obdelani. Pri predobdelavi podatkov smo izločili vse odseke, ki so poleg zapisa seizmičnega nemira vsebovali tudi dogodke, kot so: oddaljeni in lokalni potresi, eksplozije, kalibracije seizmometra, redni oziroma izredni obiski opazovalnice, ...

V drugem delu analize vpliva vetra na seizmični nemir pa smo želeli pokazati povezavo med hitrostjo vetra in njegovim vplivom na seizmični nemir. V ta namen smo Urad za meteorologijo zaprosili za podatke o hitrosti vetra, izmerjene na meteoroloških opazovalnicah, ki se nahajajo blizu potresnih opazovalnic. Analizo smo izvedli na osnovi zapisov seizmičnega nemira zajetega na potresni opazovalnici Skadanščina (SKDS). Naj na tem mestu povemo, da bi bilo natančno povezavo med hitrostjo vetra in nivojem seizmičnega nemira mogoče izračunati le v primeru merjenja hitrosti vetra neposredno na lokaciji potresne opazovalnice.

Pri analizi povezave med hitrostjo vetra in nivojem seizmičnega nemira smo uporabili enotedenski zapis seizmičnega nemira v času, ko je bil lokalno prisoten močan veter. Zapis smo



*Slika 3. Potresna opazovalnica Grobnik (GROS).*

*Figure 3. Seismic station Grobnik (GROS).*

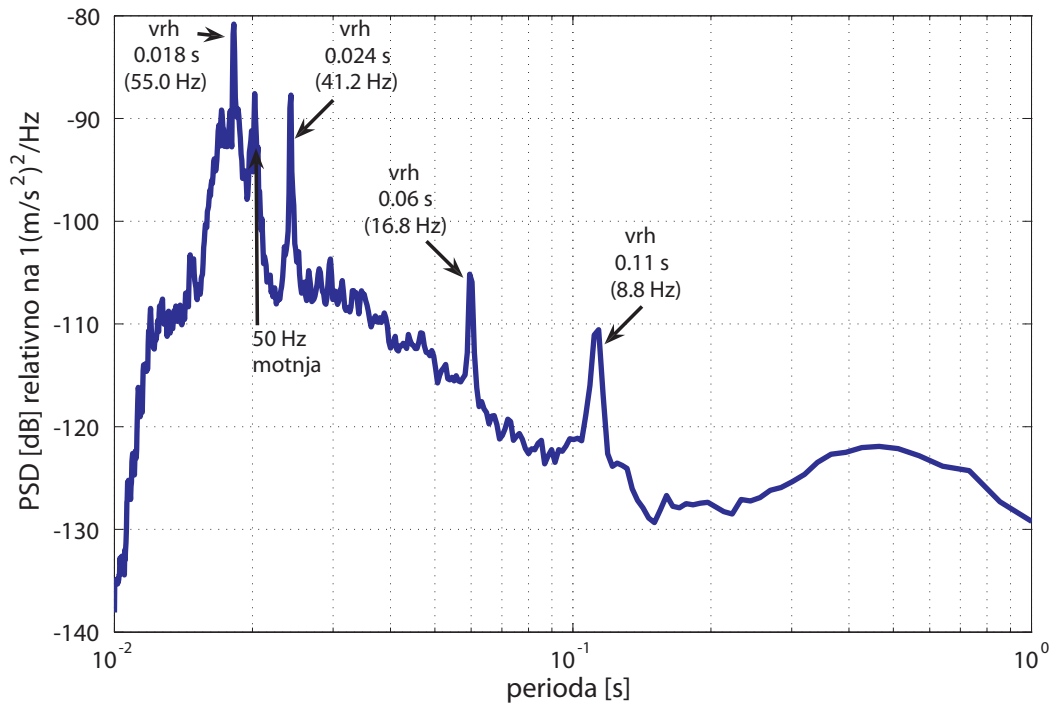
razdelili na pol-urne odseke, ker je tolikšna resolucija zapisa hitrosti vetra. Le-ta je podana kot povprečna vrednost vetra v preteklih 30-ih minutah. Za vsak polurni odsek zapisa seizmičnega nemira smo nato izračunali njegovo oceno spektra močnostne gostote (PSD) ter omenjene spektre prikazali v obliki spektrograma. Na spektrogram smo izrisali tudi potek hitrosti vetra v opazovanem času. Rezultati so podani na sliki 7.

## Rezultati

Vpliv strelovoda na visokofrekvenčni seizmični nemir smo analizirali na potresni opazovalnici Knežji dol (KNDS), ki se nahaja na območju Slovenije, kjer pogosto piha močna burja. Pred podrtjem strelovoda smo se najprej prepričali, ali je res vzrok visokofrekvenčnih spektralnih vrhov na visokofrekvenčnem spektru močnostne gostote seizmičnega nemira. V ta namen smo obema nadzemjskima objektoma (strelovodu in zračniku) ročno vsilili nihanje ter ju nato pustili nihati z njuno lastno frekvenco. Na sliki 4 podajamo spekter močnostne gostote, ki je izračunan na osnovi zapisa seizmičnega nemira (slika 5), ki vsebuje ročno nihanje strelovoda in zračnika (dveh izrazitih nadzemjskih objektov) na potresni opazovalnici Knežji dol (KNDS).

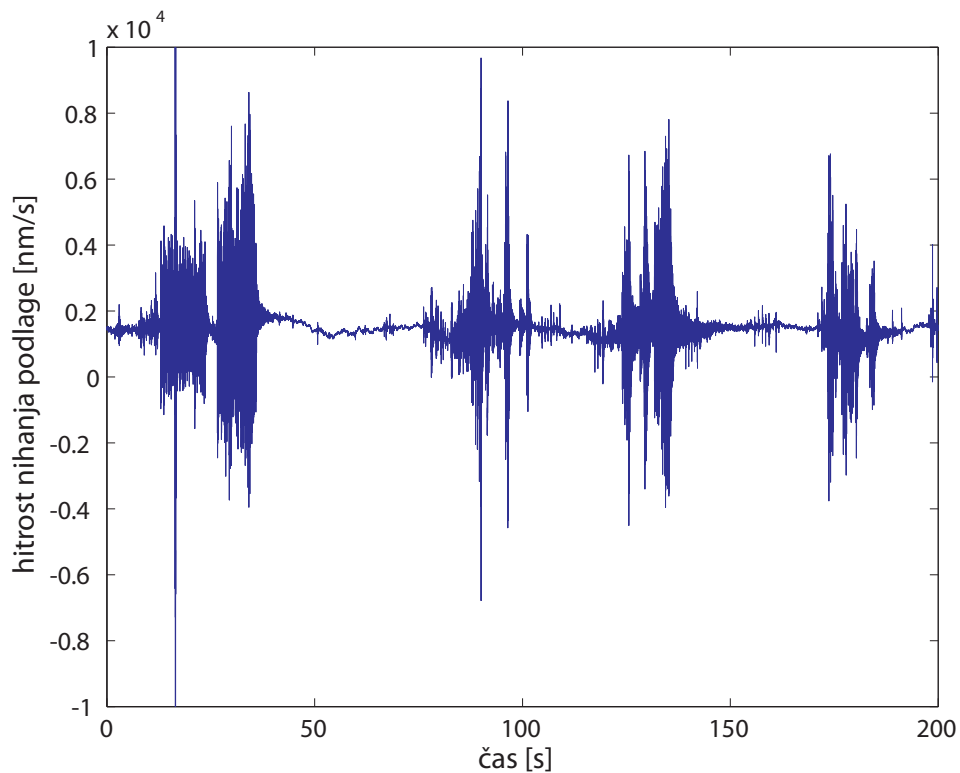
Spektralni vrhovi pri periodah 0.018 s (55.0 Hz), 0.024 s (41.2 Hz) in 0.06 s (16.8 Hz) so posledica nihanja strelovoda, medtem ko je spektralni vrh pri periodi 0.11 s (8.8 Hz) posledica nihanja zračnika. Ker spektralnega vrha pri periodi 0.11 s pri vsakoletni analizi seizmičnega nemira na državni mreži potresnih opazovalnic nismo zaznali, lahko sklepamo, da je interakcija vetra z zračnikom zanemarljiva. To je posledica dejstva, da je zračnik mnogo nižji od strelovoda in je pritrjen neposredno na servisni jašek, ki je fizično ločen tako od trde geološke podlage kakor tudi od seizmičnega jaška. Nasprotno pa je strelovod mnogo višji (višine okoli 6 m) in težji od zračnika (višina okoli 1 m) ter z betonskim temeljem močno zasidran v zemljo (njegovo nihanje se prenaša vse do trdne geološke podlage).

Na osnovi ugotovitve, da so visokofrekvenčni spektralni vrhovi posledica interakcije vetra s strelovodom, smo na potresni opazovalnici Knežji dol strelovod odstranili. Na sliki 6 prikazu-



**Slika 4.** Speker močnostne gostote seizmičnega signala, ki vsebuje vpliv ročno vsiljenega nihanja strelovoda in zračnika.

**Figure 4.** PSD of seismic noise signal which includes influence of forced moving of lightning conductor.

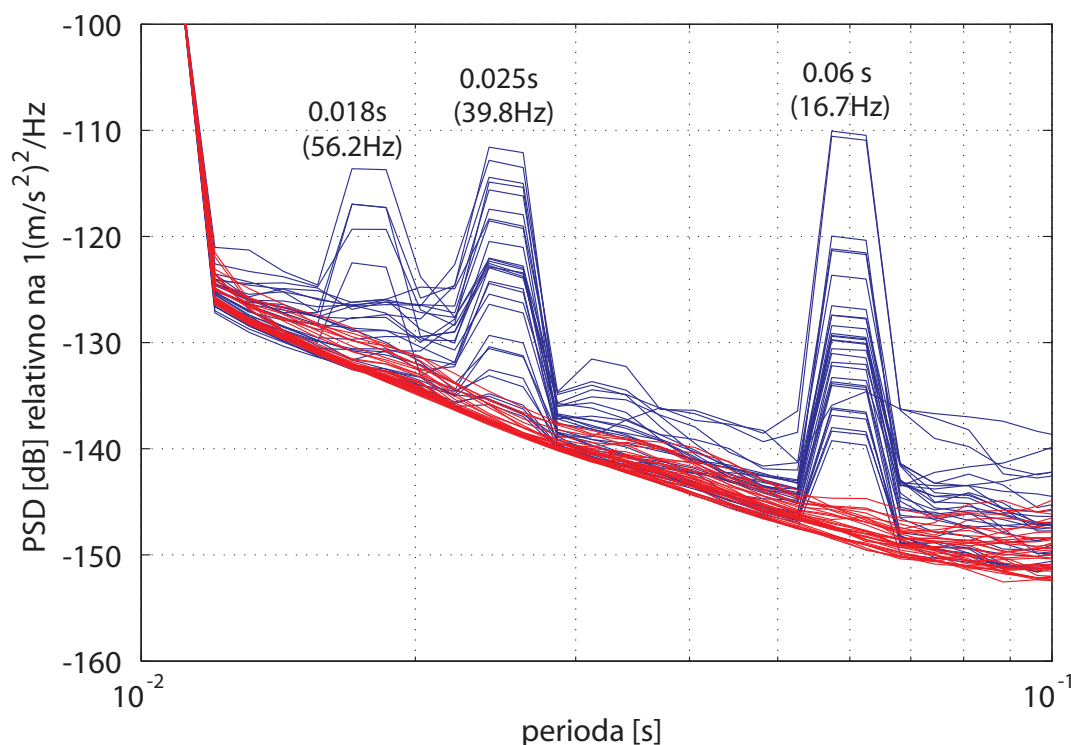


**Slika 5.** Časovni zapis seizmičnega nemira ob izvajanju ročnega nihanja strelovoda in zračnika.

**Figure 5.** Time series of seismic noise signal which includes influence of forced moving of lightning conductor.

jemo spektre močnostne gostote seizmičnega nemira vodoravne EW komponente pred (modra barva) in po (rdeča barva) odstranitvi strelovoda. Spektralnih vrhov, ki so bili vidni ob prisotnosti strelovoda po njegovem podrtju ni več.

Potresna opazovalnica Skadanščina (SKDS) se nahaja v primorski regiji Slovenije, zaradi česar je izpostavljena vplivom burje. Na sliki 7 prikazujemo vpliv burje na visokofrekvenčni seizmični nemir. Podana je v obliki spektrograma, ki vsebuje devetdnevni zapis spektra močnostne gostote seizmičnega nemira v prisotnosti burje. Slika vsebuje tudi potek hitrosti vetra v istem časovnem obdobju. Vpliv vetra je še posebno izrazit pri hitrosti večji od 6 m/s. Ker na potresni opazovalnici strelovod še vedno stoji, lahko vidimo tudi njegov vpliv. Ob prisotnosti močnega vetra so spektralni vrhovi (okrog 17 Hz, 41 Hz in 60 Hz) nenehno prisotni (vodoravne črte). Vsakodnevno povečanje seizmičnega nemira v območju frekvenc okoli 80 Hz pa je posledica nemira urbanega izvora (seizmični nemir se vedno poveča sredi dneva – vpliv ljudi, industrije in prometa).

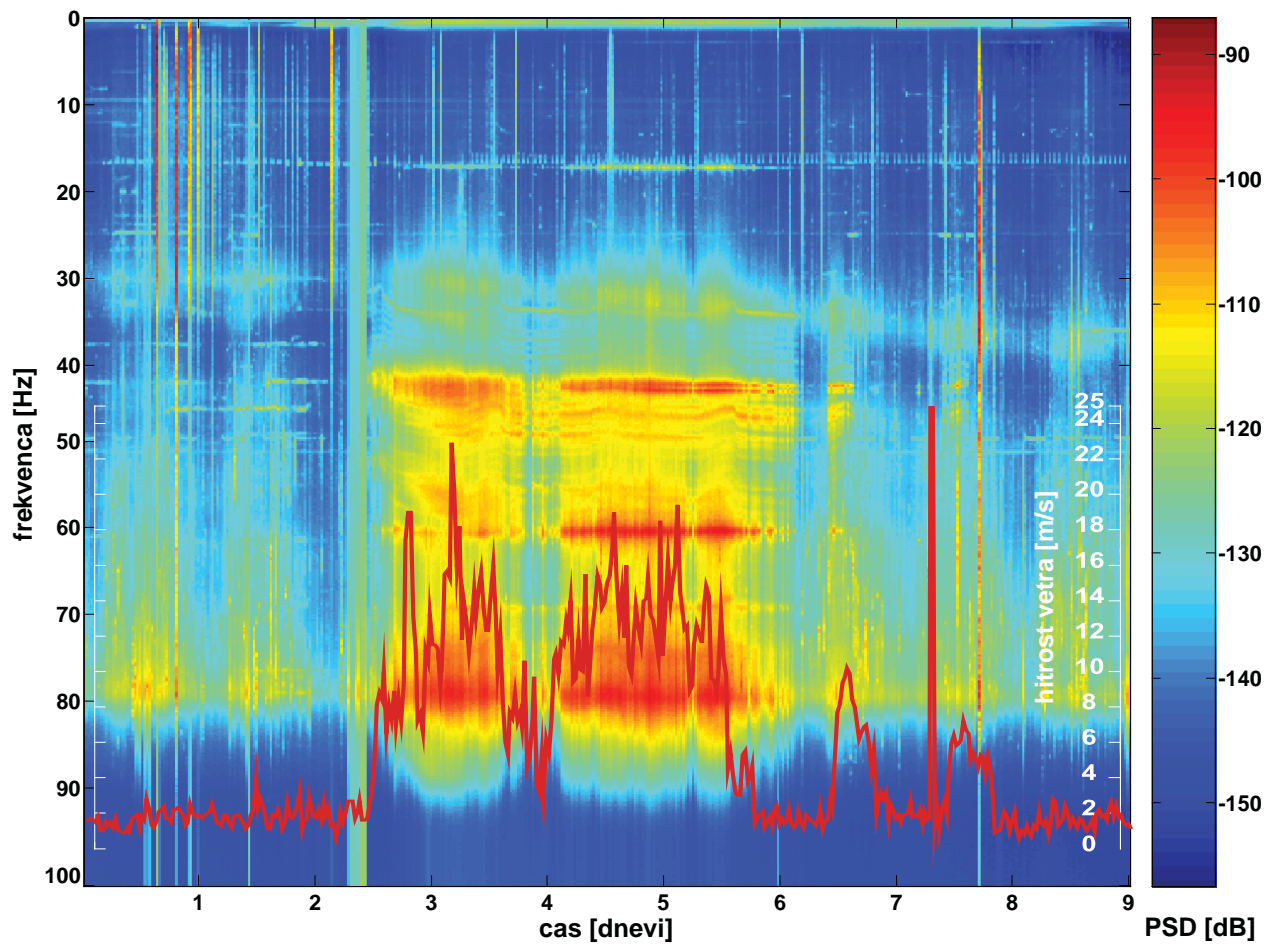


**Slika 6.** Spektri močnostne gostote seizmičnega nemira pred (modra barva;  $n=30$ ) in po (rdeča barva;  $n=34$ ) odstranitvi strelovoda na potresni opazovalnici Knežji dol (KNDS – vodoravna EW komponenta).

**Figure 6.** Noise PSDs before (blue traces,  $n=30$ ) and after (red color,  $n=34$ ) removal of lightning conductor (seismic station Knežji dol – EW component).

## Zaključek

Z analizo vpliva vetra na visokofrekvenčni seizmični nemir smo ugotovili, da z odstranitvijo strelovoda (h kvaliteti potresne opazovalnice ne prispeva nič pozitivnega) visokofrekvenčni nivo seizmičnega nemira na potresnih opazovalnicah, kjer piha veter, močno izboljšamo. Odstranitev strelovoda bi bila zato smiselna na celotni mreži potresnih opazovalnic (rezultati tega prispevka to opravičujejo). Za minimizacijo vpliva vetra, ki je prikazan na sliki 7, pa poleg odstranitve strelovoda lahko predlagamo še možnost izdelave dodatne vrtine primerne globine. S postavitvijo seizmometra v vrtino globine nad 40 m bi vpliv vetra na visokofrekvenčnem področju lahko zmanjšali. O možnosti in učinkih izdelave vrtin na potresnih opazovalnicah, ki so izpostavljene močni burji (Knežji dol-KNDS, Javornik-JAVS in Skadanščina-SKDS), bi bilo zato smiselno izvesti dodatne študije.



**Slika 7.** Spektrogram podaja devetdnevni zapis spektra močnostne gostote seizmičnega nemira ob prisotnosti vetra (rdeča krivulja). Vrednosti hitrosti vetra so z belo barvo podane na spodnji desni strani spektrograma. Spektar močnostne gostote seizmičnega nemira (PSD) je podan v enotah dB relativno na  $1 (m/s^2)^2/Hz$  (pospeškovni spekter močnostne gostote seizmičnega nemira).

**Figure 7.** Spectrogram representing the PSD of nine days of continuous seismic data. The red trace represents wind speed.

## Literatura

- Gurrola, H., Minster, J.B., Given, H., Vernon, F., Berger, J., Aster, R., 1990. Analysis of high-frequency seismic noise in the western United States and eastern Kazakhstan, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 80, 951-970.
- Mucciarelli, M., Gallipoli, M.R., Di Giacomo, D., Di Nota, F., Nino, E., 2005. The influence of wind on measurements of seismic noise, *Geophys. J. Int.*, 161, 303-308.
- Trnkoczy, A., Bormann, P., Hanka, W., Holcomb, L., Nigbor, R., 2002. Site Selection, Preparation and Installation of seismic stations. In: Borman, P. (editor), *New manual of seismological observatory practice. Volume 1 & 2*, GeoForschungsZentrum, Potsdam.
- Withers, M.M., Aster, R.C., Young, C.J., Chael, E.P., 1996. High frequency analysis of seismic background noise as a function of wind speed and shallow depth, *Seism. Soc. Am.*, 86(5), 1507-1515.
- Young, J.C., Chael, E.P., Mitchell, M., Withers, M.M., Aster, R.C., 1996. A comparison of the high-frequency (>1Hz) surface and subsurface noise environment at three sites in the United States, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 86(5), 1516-1526.

# MERITEV TEMPERATURE V JAŠKIH OPAZOVALNICE GORJUŠE TEMPERAURE MEASUREMENT IN STATION GORJUŠE SHAFTS

Izidor Tasič, Marko Mali, Luka Pančur, Igor Pfundner

## **Povzetek**

*Na potresnih opazovalnicah so nameščeni instrumenti, ki zahtevajo določeno temperaturno stabilnost okolice, oziroma imajo omejeni temperaturni interval delovanja. Na potresni opazovalnici Gorjuše smo poskusno eno leto merili temperaturo tako v seizmičnem jašku, kakor tudi v servisnem jašku. Meritve so pokazale, da v obeh jaških zahteve o temperaturnem gradientu oziroma intervalu dosegajo parametre, ki jih navajajo proizvajalci tako seizmoloških, kakor tudi ostalih elektronskih naprav.*

## **Abstract**

*Instruments installed at seismic stations need stable temperature environment and also they operate properly only inside certain temperature interval. For this reason, we have measured the temperature in seismic and service shaft of station Gorjuše. Measurement confirmed that minimum temperature gradient in the seismic shaft and temperature interval in the service shaft fulfilled the producer's recommendations.*

## **Uvod**

23 potresnih opazovalnic državne mreže je zgrajenih tipsko. Sestavljajta jih seizmični in pomožni-servisni jašek (slika 1). Oba jaška sta iz posebnega polietilenskega materiala PEHD (polietilen high density) in vsak zase obbetonirana. Razdalja med njima je 2 m. V seizmičnem jašku se nahajata seizmometer in elektronska naprava, ki skrbi za pretvorbo analognega seizmičnega signala v digitalni signal, usklajevanje digitaliziranih podatkov z GPS uro, lokalno shranjevanje podatkov in pošiljanje podatkov v realnem času v središče za obdelavo podatkov v Ljubljani. Tloris seizmičnega jaška je krog ( $\varnothing=140$  cm) z redukcijo ( $\varnothing=80$  cm) proti vrhu. Globine jaška se med potresnimi opazovalnicami razlikujejo in segajo od globine 3 m, pa do globine 7 m. Pri nekaterih opazovalnicah se jašek nadaljuje v vrtino z jeklenimi ali polietilenskimi cevmi. V teh sistemih imamo nameščene posebne seizmometre v vrtinah. Stene vstopnega dela jaška s pokrovom segajo nad nivo terena. Jašek je na vrhu zaprt z notranje strani toplotno izoliranim pokrovom. Pred razširitvijo v  $\varnothing=140$  cm je plast 20 cm termoizolacije v obliki čepa z ročajem, ki se ob vstopanju v jašek odstrani. Čep je narejen iz stirodura. Izolacija skrbi za termično stabilnost v notranjosti seizmičnega jaška. Na kakovost delovanja seizmološke opreme vpliva sprememba temperature v določenem časovnem obdobju. Hitra temperaturna sprememba negativno vpliva na stabilnost seizmometrov. Pri sodobnih dolgoperiodnih širokopasovnih seizmometrih se zaradi prevelike temperaturne spremembe v kratkem času razmerje signal/šum pri dolgih periodah občutno zmanjša, kar vpliva na kakovost razpoznavanja seizmičnega signala. Ravno tako lahko prevelike temperaturne spremembe povzročijo odklik uteži inercialnega seizmometra iz njene ravnovesne lege (STS-2 Manual), kar posledično pomeni zmanjšanje dinamičnega območja seizmometra. Za seizmometer STS-2 je priporočena največja dovoljena temperaturna sprememba  $1^{\circ}\text{C}/\text{dan}$  (Hanka, 2007).

V pomožnem servisnem jašku je oprema za brezprekinitveno napajanje (UPS), ki omogoča delovanje potresne opazovalnice ob izpadu električne energije tudi do 48 ur in komunikacijska oprema. Jašek ima  $\varnothing 120$  cm in je globok okvirno 140 cm. Jašek je na vrhu zaprt z notranje strani toplotno izoliranim pokrovom. Sledi plast 20 centimtrske termoizolacije v obliki dveh deljivih čepov z ročajem, ki se ob vstopanju v jašek odstranita. Čepa sta narejena iz stirodura. Naprave, ki so instalirane v tem jašku, so ponavadi komercialno dosegljive naprave, ki delujejo v temperaturnem območju med  $0^{\circ}\text{C}$  in  $40^{\circ}\text{C}$ .

## Meritve na potresni opazovalnici Gorjuše

Temperaturna tipala so bila za obdobje enega leta postavljena v jaških potresne opazovalnice Gorjuše (slika 1). Eno tipalo se je nahajalo na dnu servisnega jaška, drugo na dnu seizmičnega jaška v bližini seizmometra (seizmometer je Güralp CMG-3ESPC) oziroma poleg izolacijske posode seizmometra (slika 2). Seizmometer je namreč še dodatno izoliran z izolacijsko posodo, ki še zmanjša temperaturni gradient. Temperaturo smo merili z dvema temperaturnima merilnikoma EL-USB-1. Ta merilnik lahko izmeri in shrani do 16382 temperaturnih meritev v območju med  $-35$  in  $+80^{\circ}\text{C}$ . Omogoča enostavno in hitro nastavitvev vzorčenja in prenašanja podatkov neposredno preko vgrajenega USB vmesnika. Ločljivost merilnika je  $0,5^{\circ}\text{C}$ . Podatki so zapisani v ASCII datoteki in jih je možno pregledovati v različnih programskih okoljih. Zajemalnik napaja litijeva baterija, katere življenjska doba je ocenjena na 1 leto, po izrabi pa jo je možno zamenjati brez izgube podatkov. Delovanje se odraža z utripanjem LED utripalk na samem zajemalniku. Ohišje je robustno in zaščiteno z dodatno kapico pred tuji in vlago. Glede na ocenjeno življenjsko dobo baterije



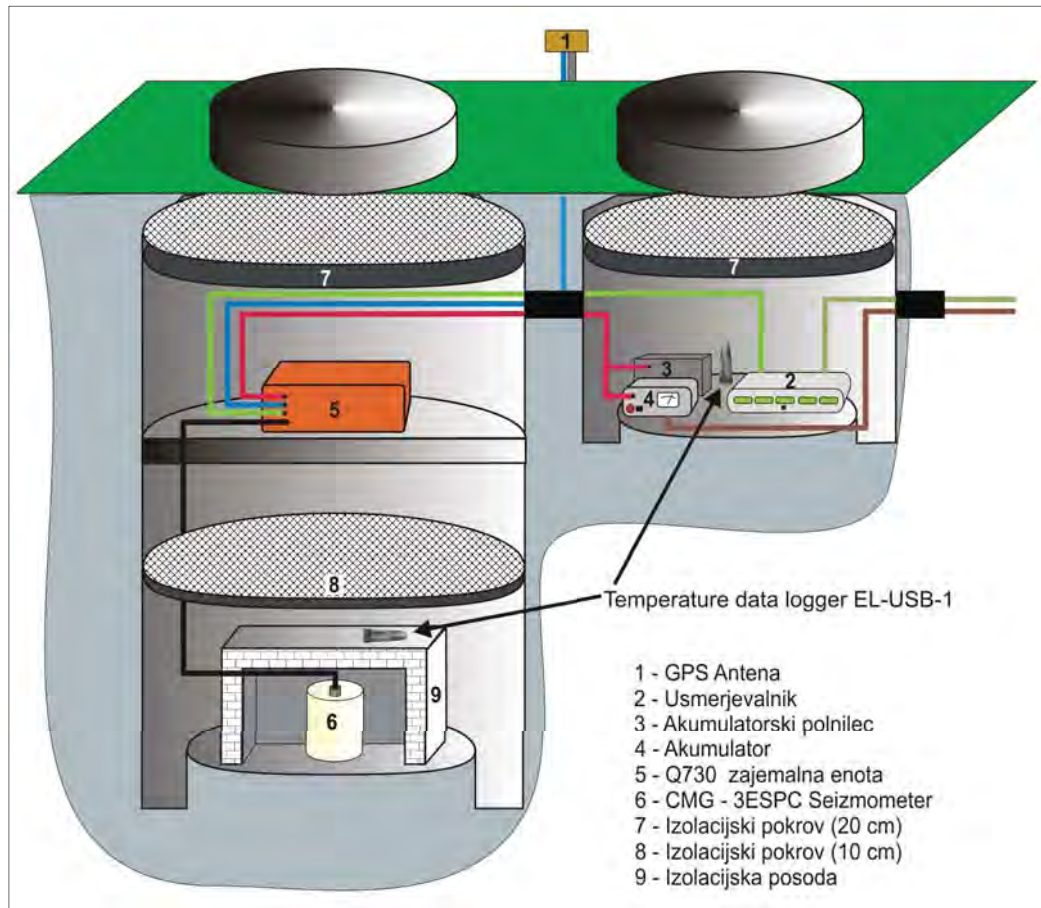
*Slika 1. Potresna opazovalnica z oznako GORS je postavljena na Gorjušah na Pokljuki.*

*Figure 1 Seismic station GORS is located at Gorjuše, Pokljuka, Slovenia.*

in največje možno število shranjenih podatkov smo nastavili vzorčenje na 1 vzorec na uro, kar je omogočalo snemanje temperature v obdobju najmanj enega leta. Podatki so razvidni na sliki 3.

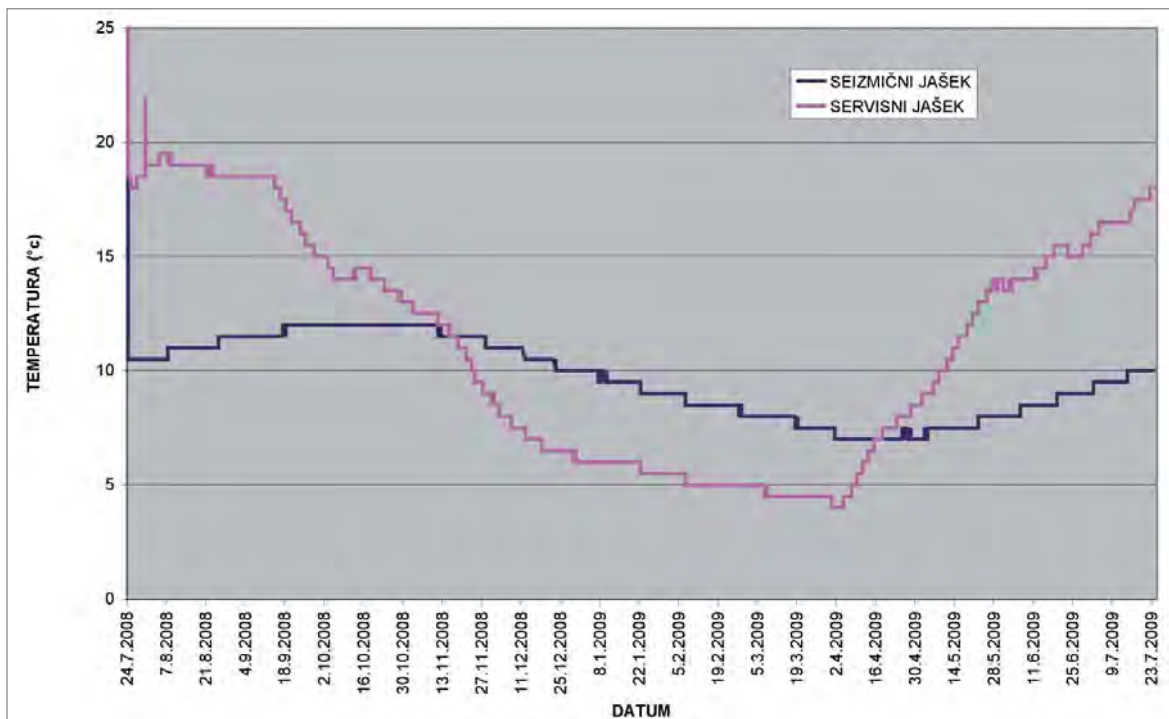
## Rezultati in zaključek

V seizmičnem jašku se je temperatura v 145 dneh spremenila za 5 stopinj. To pomeni, da je povprečni dnevni gradient  $0.035^{\circ}\text{C}/\text{dan}$ . Glede na to, da je seizmometer še dodatno toplotno izoliran, je temperaturna stabilnost na tej lokaciji zagotovo še večja in zagotavlja vse kriterije glede temperaturne stabilnosti seizmometra. V servisnem jašku temperatura niha med  $19.5^{\circ}\text{C}$  in  $5^{\circ}\text{C}$ , kar je znotraj delovnega območja elektronske opreme, instalirane v tem jašku. Do edinega odstopanja ( $22^{\circ}\text{C}$ ) je prišlo dne 30. 7. 2008. Tega dne je bil servisni jašek zaradi del odprt.



*Slika 2. Shema potresne opazovalnice in lokacija temperaturnih tipal.*

*Figure 2. Scheme of seismic station and location of temperature data-loggers.*



*Slika 3. Meritve temperature v seizmičnem (modra) in servisnem (vijolčasta) jašku.*

*Figure 3. Temperature in seismic (blue) and service (violet) shaft.*



## **Literatura**

Hanka, W., 2007. Which Parameters Influence the Very Long Period Performance of a Seismological Station.  
Dostopno na <http://www.gfz-potsdam.de/geofon/manual/>.  
Portable very-broad-band tri-axial seismometer. STS-2 Manual.

# SEIZMOMETER CMG-3ESPC SEIZMOMETER CMG-3ESPC

Izidor Tasič, Marko Mali

## **Povzetek**

*Nekatere opazovalnice Državne mreže potresnih opazovalnic so opremljene s seizmometri CMG-3ESPC proizvajalca Güralp iz Velike Britanije. To je trikomponentni širokopasovni seizmometer s hitrostnim odzivom s frekvenčnim območjem med 50 Hz in 0.0083 Hz ter dinamičnim območjem nad 140 dB. Opisali bomo nekatere osnovne značilnosti tega senzorja.*

## **Abstract**

*Several seismic stations of Seismic Network of Slovenia are equipped with CMG-3ESPC seismometers produced Güralp System Limited, from Great Britain. CMG-3ESPC is three-component broadband seismometers with velocity response. His frequency range in frequency is from 0.0083 Hz to 50 Hz, with dynamic range larger than 140 dB. The basic characteristics of seismometer is shown.*

## **Uvod**

Seizmometer je naprava, ki meri nihanje tal. V seizmologiji večinoma uporabljamo seizmometre inercialnega tipa (Bormann, 2002). Pri tem tipu merimo nihanje tal relativno glede na referenčno točko, ki se nahaja v ohišju senzorja. Referenčno točko predstavlja utež, ki je preko vzmeti in dušilke pritrjena na ohišje. Sodobni seizmometri delujejo na principu ravnovesja sil, kjer se nihanje uteži kompenzira s povratno generirano električno silo. Premiki uteži so zato zelo majhni, utež je skoraj ves čas v ravnovesni legi, merimo pa tok, ki je potreben za ustvarjanje ravnovesja. Zakasnitve v povratni zanki, ki so frekvenčno odvisne, določajo oziroma omejujejo frekvenčno območje delovanja senzorja. V seizmologiji ob besedi seizmometer takoj pomislimo na napravo, ki meri hitrost nihanja podlage. Zaradi svoje konstrukcije so seizmometri bolj občutljivi na šibke in srednje močne potrese in so namenjeni za stalno beleženje potresne dejavnosti, pri zelo močnih potresih pa so lahko prekrmljeni. Poleg tega poznamo še akcelerometre, ki merijo pospeške nihanja podlage. So manj občutljive seizmološke naprave in so namenjeni predvsem beleženju močnejših potresnih dogodkov.

## **Seizmometer CMG-3ESPC**

Nekatere opazovalnice Državne mreže potresnih opazovalnic so opremljene s širokopasovnimi seizmometri CMG-3ESPC proizvajalca Güralp iz Velike Britanije. Seizmometer je valjaste oblike, visok 26 cm, premera 17 cm (slika 1) in težak 8 kg. Seizmometer lahko deluje pri temperaturah od -20°C do +65°C. Napaja se z 12 V enosmerno napetostjo in ob normalnih pogojih delovanja potrebuje tok okoli 75 mA. Ta tok je nekoliko večji pri postopkih kalibracije senzorjev ter centriranju mase. Pri postopku »zaklepanja« senzorjev je poraba električne energije največja, instrument v omenjenem postopku potrebuje tok 490 mA. Senzorje v seizmometru pri transportu zaklepamo, da ne pride do poškodb občutljivih mehanskih delov. Senzorje v seizmometru na ukaz uporabnika zaklene elektronika seizmometra s pomočjo elektromotorjev, kar se izvrši preko razdelilne škatle seizmometra. Razdelilna škatla (ang. BreakOut Box) ima vgrajeno stikalo, ki omogoča zaklepanje. Seizmometer CMG-3ESPC ima vgrajene tri med seboj pravokotno postavljene senzorje, kjer sta dva senzorja postavljena v vodoravni ravnini, eden pa v navpični. Odstopanja od pravokotnosti je manjša kot 0,1°. Medsebojni vpliv senzorjev je zanemarljivo majhen (po navajanju proizvajalca je 62 dB). Masa uteži vseh treh senzorjev je 0,18 kg. Vsi senzorji merijo hitrost nihanja



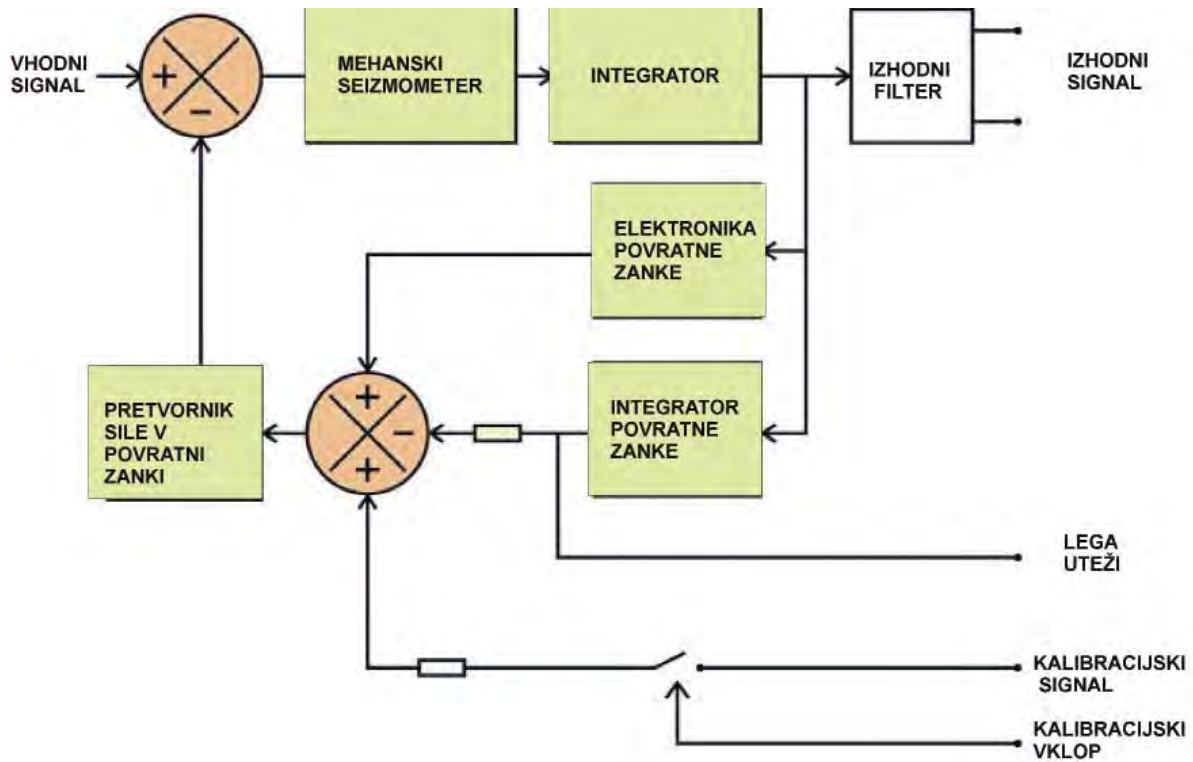
**Slika 1.** Seizmometer CMG-3ESPC, v ozadju je seizmometer STS2.

**Figure 1.** Seismometer CMG-3ESPC, behind is STS-2 seismometer.

največje nihanje tal okoli 0,9 cm/s. Za primerjavo, seizmometer STS-2 lahko beleži 1,3 cm/s. Pretvorbe premika tal v električni signal ne moremo opisati le z enostavno linearno zvezo, ker vseh sil, ki vračajo maso v ravnovesno lego, ne moremo zanemariti. Zato moramo poznati senzorske dinamične lastnosti, ki so ponavadi podane z Laplaceovo transformacijo. Lastnosti prenosne funkcije sensorja natančneje opišemo s poli in ničlami. Teoretične vrednosti so podane v preglednici (preglednica 1). Pri nizkih frekvencah lahko seizmometer opišemo kar s sistemom drugega reda z lastnim nihajnim časom 120 s in kritičnim dušenjem 0,7071. Seizmometer je po dogovoru postavljen na podlago tako, da senzori kažejo v smeri sever-jug, vzhod-zahod in v navpični smeri.

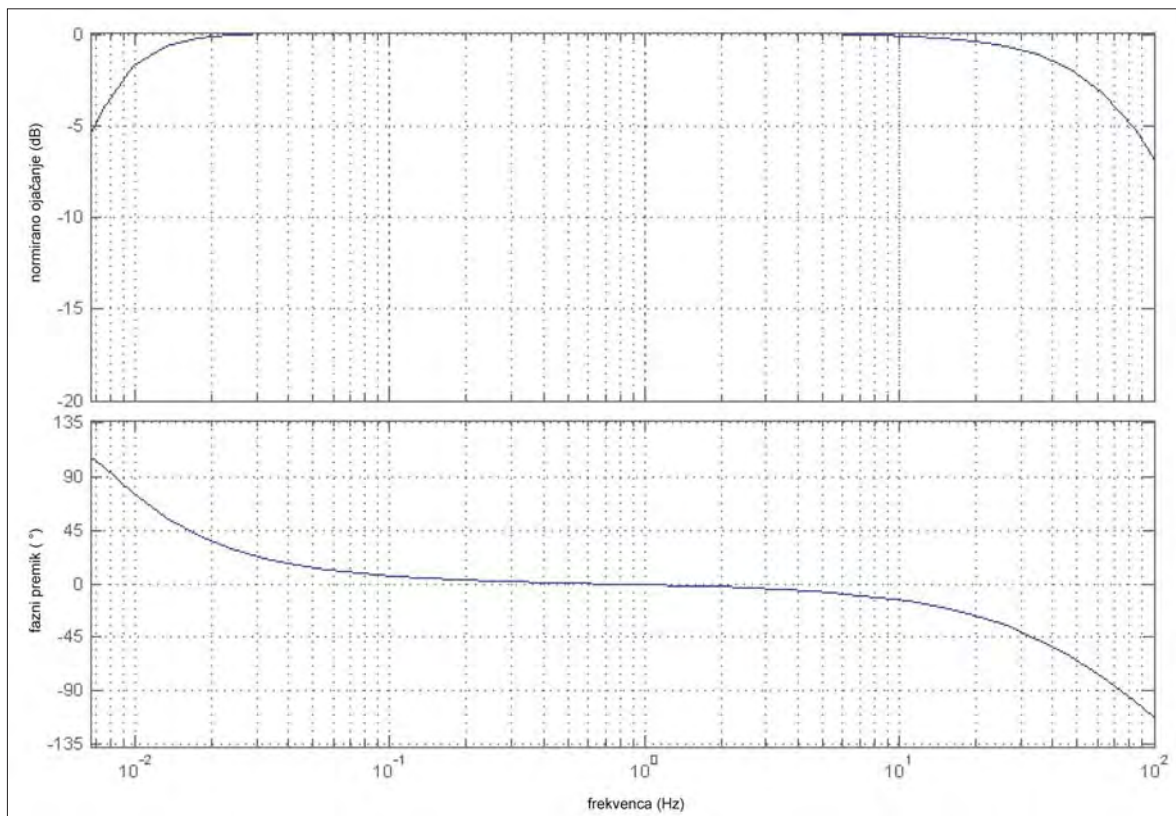
Vsak sensor testirajo s frekvenčnim generatorjem, kjer simulirajo nihanje tal ter izmerijo relativno razliko magnitude pri 0,0083 Hz in 50 Hz glede na vrednosti pri 1 Hz. Kakovost meritve moti lastni šum instrumenta, ki nastane na posameznih komponentah sensorja (elektronika, vzmet...). Šum seizmometra postane moteč tedaj, ko je večji od seizmičnega nemira (oziroma seizmičnega šuma) na lokaciji meritve. Instrumentalni šum vpliva na kakovost analize zapisa potresa predvsem pri šibkih seizmičnih signalih. Lastni šum ni konstanten na celotnem frekvenčnem območju (slika 4). Kljub temu je dinamično območje sensorja na celotnem frekvenčnem območju večje kot 140dB (slika 5).

podlage. Navpični in vodoravni senzor sta skonstruirana podobno. Z nekoliko drugačno konstrukcijo listnate vzmeti sensorja je proizvajalec pri navpičnem sensorju izničil vpliv gravitacije in s tem dosegel, da je prenosna funkcija za vse tri senzorske enake, kar poenostavi kasnejšo obdelavo seizmičnih dogodkov. Vsak senzor vsebuje kondenzatorski merilnik premikov z elektromagnetno povratno zanko (slika 2). Silo v povratni zanki, ki povzroči, da utež kljub nihanju tal ostaja v ravnovesni legi, dobimo s pomočjo parov tuljav, zaradi česar se utež minimalno premakne iz ravnovesne lege. Senzor je opremljen še s kalibracijsko tuljavo, ki omogoča simuliranje nihanja podlage. Na ta način lahko preverimo kvaliteto delovanja sensorja oziroma kalibriramo seizmometer. Proizvajalec omogoča uporabniku različne možnosti pri izbiri frekvenčnega območja delovanja senzorjev (Güralp, 2006). Seizmometri, nameščeni na opazovalnicah Državne mreže potresnih opazovalnic, delujejo na frekvenčnem območju med 0,0083 Hz in 50 Hz (en seizmometer med 0,0167 in 50 Hz). Splošno velja, da je odziv sistema na nihanje tal (hitrostni odziv) raven na območju od 0,083 Hz do 50 Hz (slika 3). Občutljivost senzorjev je  $2 \times 1000 \text{ V}/(\text{m}/\text{s})$ . V kombinaciji z zajemalno enoto Q730 lahko beleži



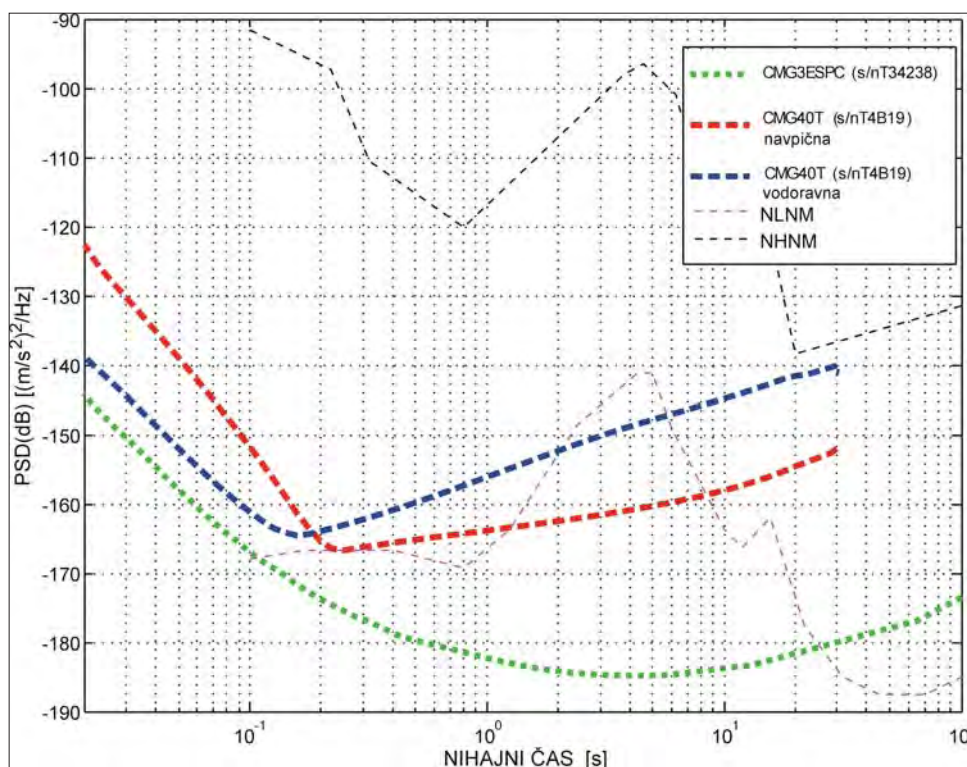
*Slika 2. Blok diagram senzorja CMG-3ESPC.*

*Figure 2. Block diagram of CMG-3ESPC.*



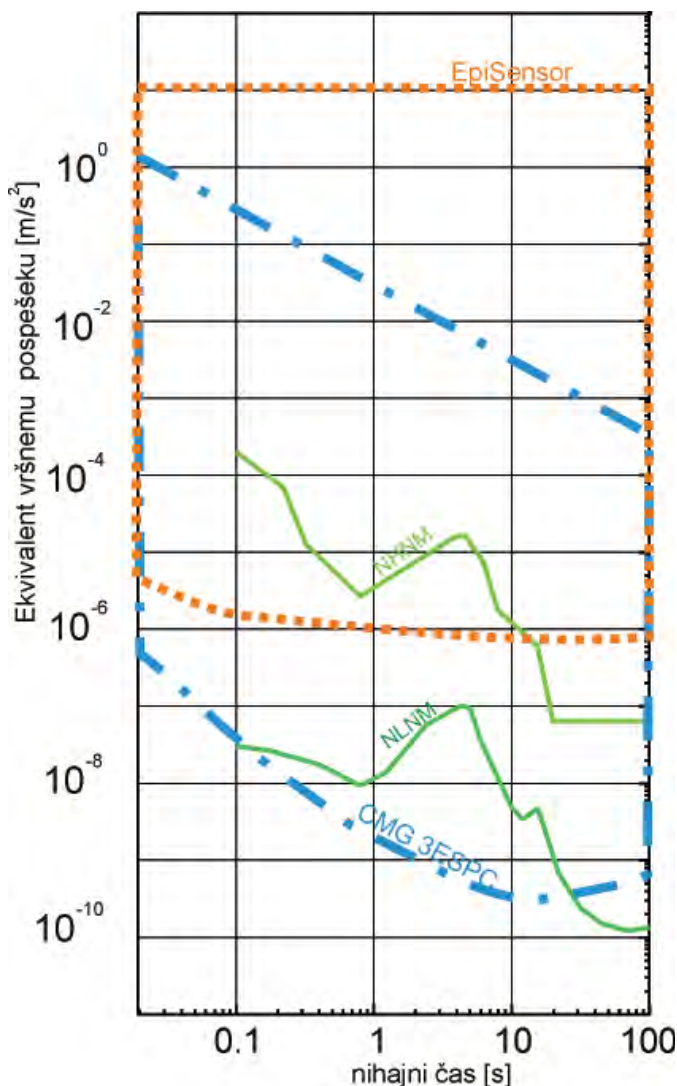
*Slika 3. Normirana prenosna funkcija seizmometra CMG-3ESPC.*

*Figure 3. Normalized frequency response of CMG-3ESPC seismometer.*



**Slika 4.** Lastni šum seizmometra CMG-3ESPC (s.št.:T34238). Za primerjavo je podan še lastni šum seizmometra CMG-40T (s.št.T4B19), in sicer njegova navpična in vodoravna komponenta.

**Figure 4.** A self noise of seismometer CMG-3ESPC (s/nT34238) and seismometer CMG-40T (s/nT4B19).



**Preglednica 1.** Poli in ničle seizmometra.  
**Table 1.** Poles and zeros.

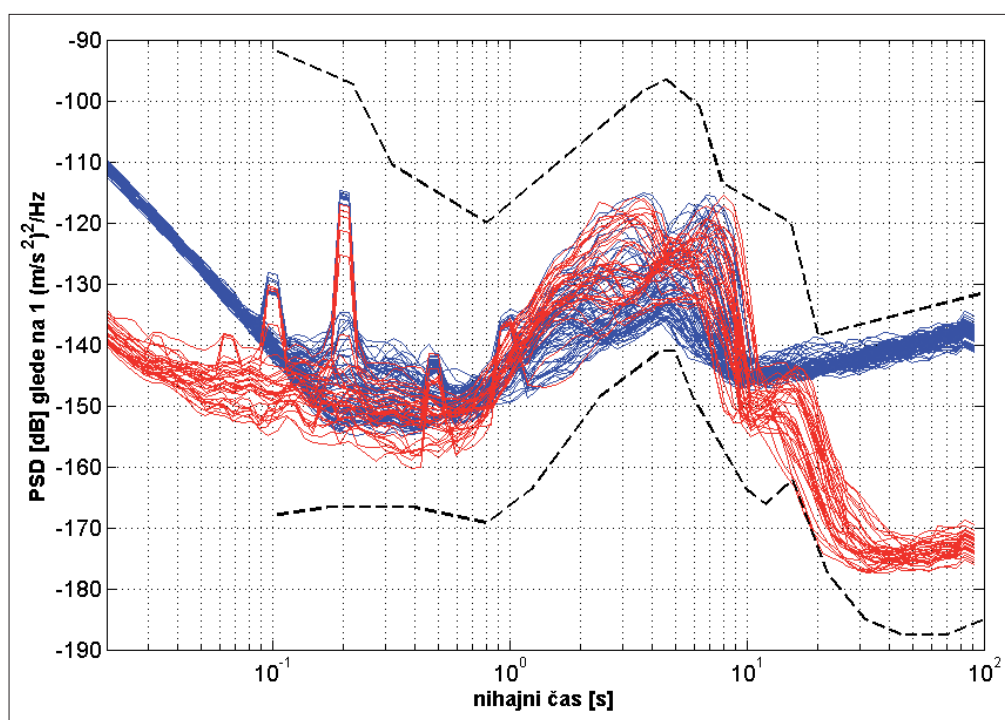
poli (Hz)	ničle (Hz)
-5.89x10 <sup>-3</sup>	0
-180	0
-160	
-80	
Normalizacijski faktor pri 1Hz = 2304000	

**Slika 5.** Dinamično območje seizmometra CMG-3ESPC. Za primerjavo je podano še območje akcelerometra EpiSensor.

**Figure 5.** Dynamic range of seismometer CMG-3ESPC. For comparison, dynamic range of accelerometer EpiSensor is also included.

## Potresna opazovalnica MOZS (Možjanca)

Na potresni opazovalnici MOZS (Možjanca) smo 9. oktobra 2008 naredili nadgradnjo: zamenjali smo brezprekinitveni napajalni sistem (UPS) in s tem podaljšali avtonomijo v primeru izpada omrežne napetosti iz 24 na 48 ur. Istočasno smo zamenjali seizmometer, CMG-40T smo zamenjali s CMG3-ESPC. Z zamenjavo seizmometra smo povečali občutljivost, dinamično in frekvenčno območje delovanja potresne opazovalnice ter izboljšali učinkovitost državne mreže pri izredno šibkih seizmičnih signalih. To je predvsem pomembno pri šibkih lokalnih potresih, ki ne povzročijo škode, ampak nam veliko povedo o potresni dejavnosti in pomagajo pri natančnejši postavitvi seizmotektonskega modela na slovenskem ozemlju. Izboljšanje zajemanja seizmičnega signala pri šibkih seizmičnih dogodkih nam predstavi slika 6, kjer imamo podan spekter moči signala za seizmometer CMG-40T (modra) in spekter moči signala za seizmometer CMG-3ESPC (rdeča). Območji od 50Hz do 1Hz in od 0,14Hz do 0,083Hz sta področji, ki ju seizmometer CMG-3ESPC »vidi«, medtem, ko je za ti območji seizmometer CMG-40T »slep«, saj je njegov lastni šum prevelik.



*Slika 6. Spekter moči signala za seizmični šum, dobljen na potresni opazovalnici MOZS, za navpično komponento za CMG-40T (modra) in CMG-3ESPC (rdeča).*

*Figure 6. Power spectral density for vertical component of seismic noise at seismic station MOZS for CMG-40T (blue) and CMG-3ESPC (red).*

## Literatura

Bormann P., 2002. New Manual of Observatory Practice, GFZ Postdam.

Güralp System, 2006. CMG-3ESP Compact Triaxial Broadband Seismometer, Operator's guide, Part No. MAN-C3E-0001, Güralp System Limited, Berks.

# POTRESI V SLOVENIJI LETA 2008

## EARTHQUAKES IN SLOVENIA IN 2008

Ina Cecić, Tamara Jesenko, Mladen Živčić, Milka Ložar Stopar

### **Povzetek**

*Potresna aktivnost v letu 2008 je bila zmerna. Prebivalci so čutili najmanj 37 potresnih sunkov. Najmočnejši potres je bil 19. aprila ob 1. uri 49 minut po univerzalnem koordiniranem času (UTC) oziroma ob 3. uri 49 minut po srednjeevropskem času z žariščem v bližini Zagorja ob Savi. Njegova lokalna magnituda je bila 3,1 (ARSO, 2008, 2009), največja intenziteta pa V-VI EMS-98.*

### **Abstract**

*Earthquake activity was moderate in 2008. The inhabitants felt more than 37 earthquakes. The strongest earthquake was on 19 April at 01.49 UTC (03.39 Central European daylight saving time) in the vicinity of Zagorje ob Savi. Its local magnitude was 3.1 (ARSO, 2008, 2009), and the highest intensity V-VI EMS-98.*

### **Uvod**

Potresna aktivnost v letu 2008 v Sloveniji je bila zmerna (ARSO, 2008, 2009). Po januarskih potresih pri Kozjem, Črnomlju in Čezsoči se je februarja zatreslo najprej pri Dolu pri Podbočju, potem pri Brežicah in Krški vasi. V marcu so prebivalci čutili potrese pri Volovniku, Krškem, Bednju in tudi enega z žariščem v Avstriji. Aprila so sledili potresi pri Bovcu in Bednju. Najmočnejši potres leta 2008 z žariščem v Sloveniji je bil 19. aprila ob 1. uri 49 minut po UTC oz. dve uri kasneje po srednjeevropskem času z žariščem v bližini Zagorja ob Savi. Njegova lokalna magnituda je bila 3,1 (ARSO, 2008, 2009), največja intenziteta pa V-VI EMS-98 v Ravenski vasi. EMS je okrajšava za evropsko potresno lestvico (Grünthal, 1998a, 1998b). Prebivalci so v naslednjih dneh čutili tudi več šibkih popotresov.

Maja so tresenje tal čutili v okolici Bovca. Junija se je treslo v okolici Slovenj Gradca, Semiča, Trebnjega, Nove vasi in Orehovca. Julija so prebivalci Slovenije čutili le en potres, ki je nastal v bližini Ormoža.

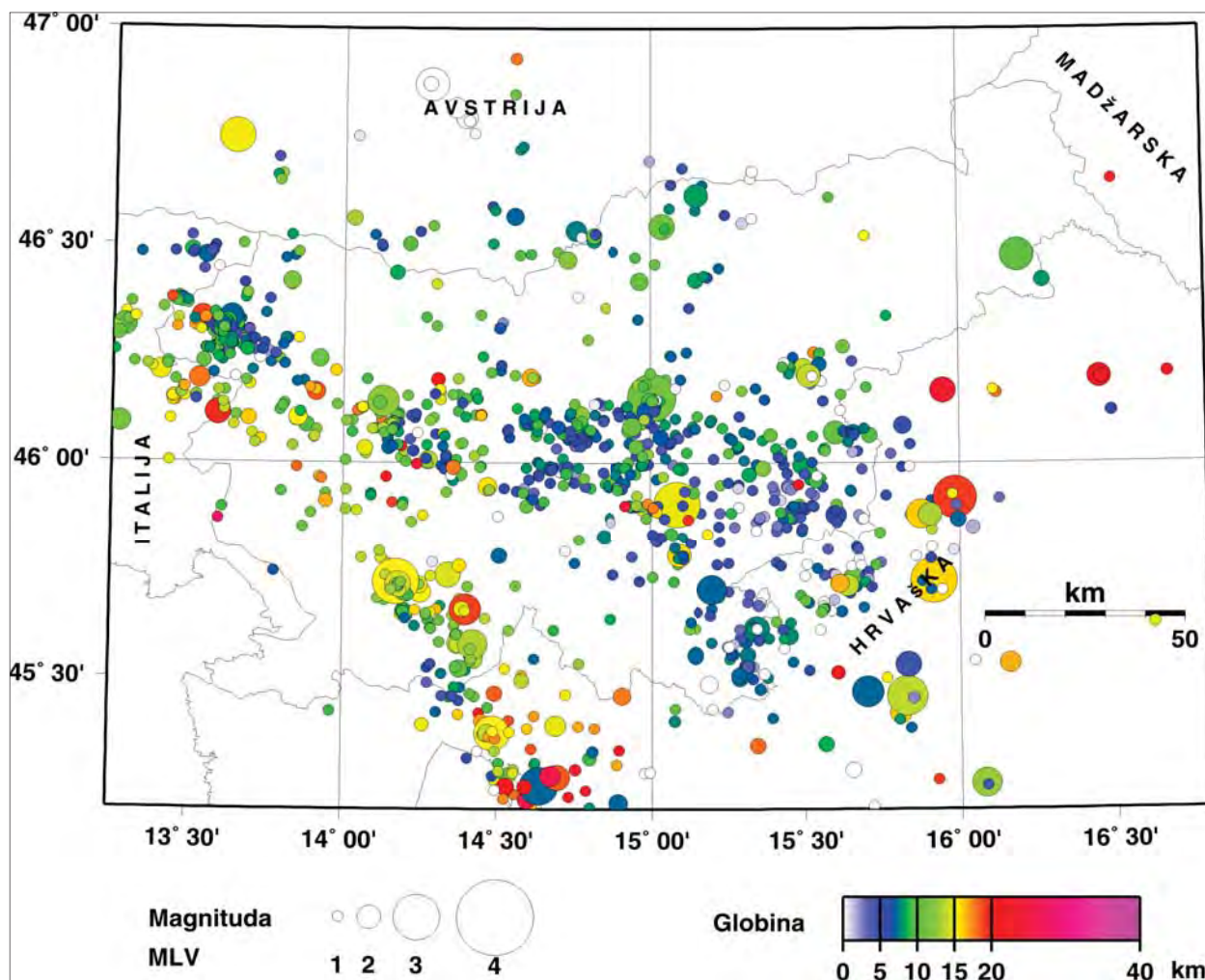
V avgustu so seizmografi zabeležili potres pri Spodnjem Starem Gradu. Septembra ni bilo potresov, ki bi jih prebivalci čutili. Oktobra so potrese čutili prebivalci v okolici Pivke in Zagorja ob Savi. Novembra smo zbirali podatke za potres pri Gorenji vasi. V decembru so redki prebivalci Ljubljane, Idrije, Nove Gorice, Dolnje Košane, Srednje vasi v Bohinju, Tolmina in Kobarida čutili potres z žariščem v Italiji, v bližini mesta Castelnovo ne' Monti v pokrajini Reggio Emilia. Potres je nastal 23. decembra ob 16. uri in 24 minut po srednjeevropskem času, njegova magnituda je bila po podatkih Evropsko-mediteranskega seizmološkega centra (CSEM) 5,4. To je bil glede na magnitudo najmočnejši potres z žariščem v tujini, ki so ga v letu 2008 čutili posamezni prebivalci znotraj naših meja.

Seizmografi državne mreže potresnih opazovalnic so leta 2008 zapisali več kot 1400 lokalnih potresov. Nadžarišča potresov, katerim smo lahko določili lokalno magnitudo in katerih lokacije so v Sloveniji, so prikazana na sliki 1. Velikost lokalne magnitude je ponazorjena z velikostjo kroga, medtem ko barva označuje globino potresnega žarišča.

Prebivalci različnih območij Slovenije so v letu 2008 čutili več kot 37 potresnih sunkov. Nadžarišča (epicentri) teh potresov so prikazana na sliki 2. Velikost kroga označuje velikost lokalne magnitude, barva pa največjo intenziteto potresa, ki jo je potres dosegel. En potres je dosegel največjo intenziteto V-VI EMS-98.

V preglednici 1 smo podali osnovne podatke za 71 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 (DAT.), žariščni čas (h:m:s UTC), koordinati nadžarišča (z. šir. °N, z. dolž. °E), žariščno globino (h km), povprečno vrednost lokalne magnitude ( $M_{LV}$ ), povprečno vrednost magnitude  $M_D$ , največjo intenziteto ( $I_{max}$  EMS 98), ki jo je potres dosegel v Sloveniji, število opazovalnic (nst), ki so prispevale podatke, in srednjo vrednost kvadrata napake (RMS s) pri izračunu žariščnega časa. V stolpcu "Potresno območje" smo za epicentre v Sloveniji v večini primerov podali ime naselja, ki je najbližje določenemu nadžarišču in je navedeno v seznamu naselij Geodetske uprave RS (RGU, 1995).

Za opredelitev osnovnih parametrov potresov podanih v preglednici 1 smo uporabili vse razpoložljive analize potresov na potresnih opazovalnicah državne mreže v Sloveniji (ARSO, 2008, 2009) ter v Avstriji (ZAMG 2008, 2009), na Hrvaškem (GZAM 2008, 2009) in v Italiji (OGS, 2009). Žariščni čas (to je čas, ko je potres nastal), koordinati nadžarišča in žariščno globino smo opredelili 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, opredeljen iz tridimenzionalne-



**Slika 1.** Nadžarišča potresov v letu 2008, ki smo jim določili žariščni čas, instrumentalni koordinati epicentra 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 2008, whose focal times, epicentral coordinates and focal depths were calculated; coloured symbols of varying sizes give information on focal depth and local magnitude  $M_{LV}$ . Figure was produced with GMT software (Wessel and Smith, 1991, 1998).



ga modela za prostorsko valovanje (Michelini in sod., 1997), in model za površinsko valovanje (Živčić in sod., 2000). Pri potresih, za katere smo lahko določili le koordinati nadžarišča, smo za žariščno globino privzeli 7 km.

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

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

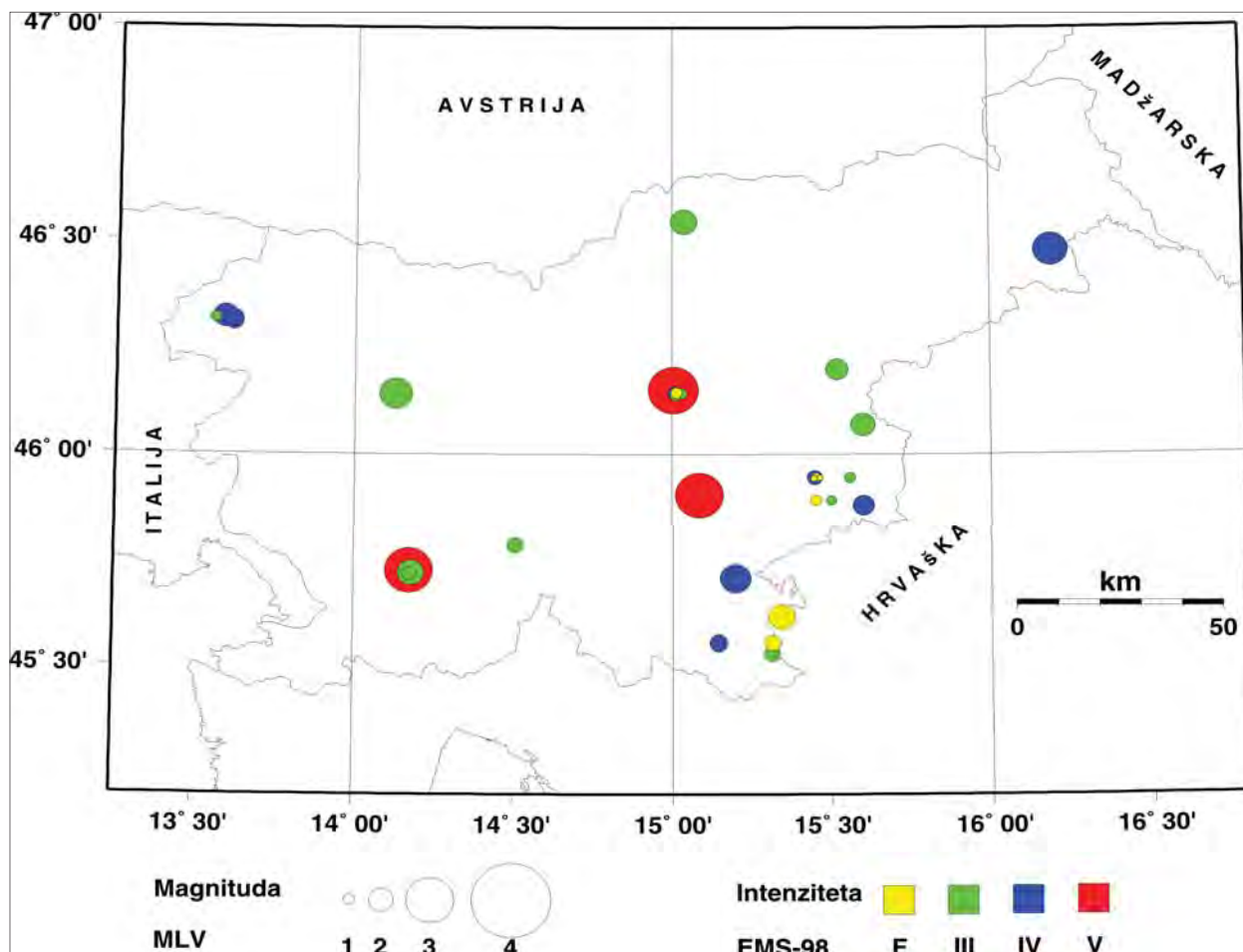
kjer je  $D$  oddaljenost nadžarišča v kilometrih. V preglednici 1 je podana povprečna vrednost  $M_{LV}$  za opazovalnice v Sloveniji.

Magnitudo  $M_D$  smo opredelili iz trajanja zapisov potresov na opazovalnicah v Sloveniji in v Furlaniji. Pri tem smo uporabili enačbo:

$$M_D = 2,22 \log(t) - 1,465$$

kjer je  $t$  trajanje zapisa potresa v sekundah (Rebez in Renner, 1991).

Največja intenziteta ( $I_{max}$ ), ki jo je potres dosegel na ozemlju Slovenije, je opredeljena po evropski potresni lestvici (EMS-98). Kadar podatki niso zadoščali za nedvoumno določitev intenzitete, smo dali razpon možnih vrednosti (npr. IV-V).



**Slika 2.** Nadžarišča potresov, ki so jih v letu 2008 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 2008. Size of symbols represents local magnitude and colour represents maximal intensity. Figure was produced with GMT software (Wessel and Smith, 1991, 1998).

**Preglednica 1.** Seznam potresov leta 2008, ki imajo lokalno magnitudo večjo ali enako 1,5 in smo jim lahko izračunali žariščni čas, instrumentalni koordinati nadžarišča (epicentra) in globino žarišča. Pri nekaterih potresih je navedena še največja intenziteta. V preglednici je tudi 15 potresov manjše lokalne magnitude, ki so jih čutili prebivalci Slovenije.

**Table 1.** List of earthquakes with  $M_{LV} \geq 1,5$  in 2008 for which the hypocentral time, co-ordinates of epicentre and focal depth were calculated; the maximum intensity of felt earthquakes is also provided. Information about 15 earthquakes with weaker magnitude, that were felt by inhabitants of Slovenia, is also included.

datum	čas (UTC)	z. šir.	z. dolž.	h	nst	RMS	$M_{LV}$	$M_D$	$I_{max}$	potresno območje
	hh:mm:ss	°N	°E	km		S			EMS 98	
date	time (UTC)	lat	lon	h	nst	RMS	$M_{LV}$	$M_D$	$I_{max}$	epicentral area
	hh:mm:ss	°N	°E	km		S			EMS 98	
20. 1. 2008	22:41:52,5	46,069	15,599	10	40	0,5	2	2,3	III-IV	*Gradišče
21. 1. 2008	1:40:52,2	45,735	15,655	10,9	26	0,3	1,6			Plešivica, Hrvaška
24. 1. 2008	16:44:35,3	45,554	15,144	7	10	0,3	1,7	2	IV	Griče pri Dobličah
26. 1. 2008	15:32:11,3	46,321	13,59	7	45	0,4	2	2,6	IV	Kal-Koritnica
28. 1. 2008	17:18:36,8	46,11	14,767	12,4	25	0,2	1,7	2,1		Zgornji Prekar
28. 1. 2008	21:10:4,8	45,994	15,49	8,2	18	0,2	1,6			Brestanica
1. 2. 2008	3:59:7,9	45,892	15,5	4,6	11	0,2	0,9		III	Dol pri Podbočju
3. 2. 2008	20:50:48,2	45,88	15,6	5,9	22	0,2	1,8		IV	*Žejno
5. 2. 2008	15:50:52,2	45,739	14,34	14,3	36	0,3	2,1	2,4		Slivice
13. 2. 2008	13:19:45,9	46,006	14,274	13,4	22	0,3	1,7	2,1		Žažar
22. 2. 2008	6:55:28,5	45,699	14,251	14,9	24	0,3	1,9	2,3		Trnje
24. 2. 2008	6:44:24,9	45,892	15,451	3,2	10	0,1	1,1		čutili	Krška vas
1. 3. 2008	5:9:46,5	46,219	15,497	13,8	22	0,5	1,7			Predel
11. 3. 2008	15:17:5,5	46,417	13,828	11,8	13	0,2	1,6	1,7		Razor
16. 3. 2008	3:50:30,1	46,086	15,818	5,1	11	0,3	1,6			Krapinske toplice, Hrvaška
17. 3. 2008	13:7:57,1	46,335	13,538	18,7	34	0,3	1,9	2,2		Plužna
20. 3. 2008	13:24:3,9	46,476	13,549	7	16	0,3	1,6	1,8		Jerebica, meja Slovenija-Italija
20. 3. 2008	18:51:50,5	45,946	15,452	2	7	0,1	0,8		čutili	Volovnik
20. 3. 2008	19:36:46,4	45,945	15,464	0	5	0,2	0,1		čutili	Volovnik
20. 3. 2008	19:53:47,4	45,944	15,446	2	7	0,1	0,5		čutili	Volovnik
20. 3. 2008	19:58:50,2	45,943	15,444	1,7	6	0,2	0,3		čutili	Volovnik
22. 3. 2008	3:12:46,4	45,46	14,903	17,5	6	0,2	1,6			*Fara
23. 3. 2008	17:30:35,5	45,945	15,447	3	26	0,4	1,4		IV	Krško
23. 3. 2008	20:18:29,5	45,529	15,314	5,5	18	0,4	1,5	2	III-IV	Bedenj
25. 3. 2008	7:40:44	46,211	13,405	14,7	20	0,3	1,8	2,4		*Robidišče
1. 4. 2008	2:8:38,2	46,309	13,618	10	35	0,3	1,6	2,1	IV	Lepena
1. 4. 2008	21:12:11,6	46,316	13,617	9,8	41	0,4	1,6	2,2	IV	Lepena
6. 4. 2008	23:32:27,6	45,614	15,344	7,6	36	0,3	2,1	3	čutili	*Križevska vas
13. 4. 2008	4:3:4,1	45,543	14,425	13,3	11	0,3	1,6			*Snežnik
13. 4. 2008	6:17:0,7	46,567	14,553	6,9	13	0,3	1,6			Gallicien, Avstrija
19. 4. 2008	1:49:53	46,15	15,004	11,3	77	0,5	3,1	3,6	V-VI	Kotredež
19. 4. 2008	7:46:17,3	46,145	15,014	5,8	11	0,3	1		čutili	Zagorje ob Savi

datum	čas (UTC)	z. šir.	z. dolž.	h	nst	RMS	M <sub>LV</sub>	M <sub>D</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>	M <sub>D</sub>	I <sub>max</sub>	epicentral area
	hh:mm:ss	°N	°E	km		S			EMS 98	
19. 4. 2008	12:49:56,6	46,311	13,61	8,2	25	0,2	1,7	2,1		Kal-Koritnica
20. 4. 2008	10:15:6	46,144	15,009	8,8	26	0,4	1,3		IV	Kotredež
20. 4. 2008	16:15:17,8	46,142	15,031	8,5	27	0,4	1,1		III	Zagorje ob Savi
21. 4. 2008	5:35:28,8	46,139	15,011	7	13	0,4	1		III	Zagorje ob Savi
25. 4. 2008	9:53:39	45,715	15,638	13,8	10	0,3	1,9	2		Gorica Svetojanska, Hrvaška
1. 5. 2008	22:27:51,7	46,104	13,852	15,3	24	0,3	1,7	2,5		Prapetno Brdo
3. 5. 2008	10:24:17,6	45,784	15,087	15,7	33	0,4	2	2,4		Straža
6. 5. 2008	22:32:5,7	46,163	13,91	18,4	34	0,3	1,7	2,2		Obloke
12. 5. 2008	18:9:49,4	45,581	14,372	13,2	16	0,2	1,8	1,7		Snežnik
25. 5. 2008	0:9:57,8	46,317	13,559	7	12	0,2	1,1	2	III-IV	Bovec
27. 5. 2008	9:52:4,6	46,312	13,286	10	33	0,6	2	2,6		Musi, Italija
31. 5. 2008	5:38:57,3	45,704	14,192	11,7	24	0,3	1,7	1,9		Selce
15. 6. 2008	2:16:50,1	46,543	15,036	10,5	31	0,3	2	2,1	III-IV	Selovec
15. 6. 2008	13:51:21,8	46,544	15,037	11,1	25	0,4	2,1	2,4	III-IV	Selovec
24. 6. 2008	3:43:31,4	45,705	15,2	7	45	0,4	2,3	2,3	IV-V	Maline pri Štrekljercu
24. 6. 2008	12:55:30,3	45,554	15,316	7,4	17	0,3	1,5	2	čutili	Mladica
24. 6. 2008	23:48:58,4	45,511	15,305	7	35	0,5	1,6	1,9		*Mala sela
25. 6. 2008	14:9:21,6	45,904	15,086	14,7	81	0,4	3	3,3	V	Dolenja Dobrava
25. 6. 2008	15:48:53,9	45,945	14,468	15,5	23	0,2	1,7	2,1		Planinca
28. 6. 2008	5:24:12,7	45,783	14,505	7	31	0,4	1,5	2	III	Nova vas
28. 6. 2008	17:22:33,7	46,199	15,519	12,1	25	0,3	1,9	2,5	III-IV	Kamenik
2. 7. 2008	15:54:21,3	46,478	16,194	9,9	34	0,5	2,5	2,8	IV-V	*Jeruzalem
6. 7. 2008	12:57:7,7	46,114	13,591	19,4	43	0,3	2,1	2,7		*Ukanje
26. 7. 2008	3:55:5	45,599	15,449	7,7	18	0,2	1,6	2		Ozalj, Hrvaška
7. 8. 2008	21:4:3,3	45,945	15,558	5,4	9	0,2	1,1		III-IV	Spodnji Stari Grad
10. 8. 2008	19:47:6,2	45,391	14,69	14,6	7	0,3	1,8			Crni Lug, Hrvaška
14. 8. 2008	3:4:10,5	46,2	15,514	13,8	40	0,5	2	2,4		Kamenik
23. 8. 2008	18:35:20,7	45,374	14,486	15,1	57	0,5	2,6	2,9		Podhum, Hrvaška
26. 8. 2008	23:50:52,4	45,375	14,47	13,9	10	0,3	1,6	1,8		Podhum, Hrvaška
2. 9. 2008	15:16:17,2	46,083	14,941	10,6	26	0,3	1,7	1,8		Tepe
20. 9. 2008	9:23:53,1	45,716	14,246	14,7	20	0,2	1,6	2,2		Slovenska vas
22. 9. 2008	7:41:56,6	46,119	14,987	6,7	20	0,3	1,7	2,2		Družina
30. 9. 2008	5:37:45,5	45,579	14,421	13,4	49	0,5	2,3	2,8		Snežnik
9. 10. 2008	19:43:39,5	45,487	15,191	0	4	0,2	1,6			Gornji Suhor pri Vinici
14. 10. 2008	17:41:14,6	46,192	13,53	17,7	37	0,2	1,8	2,4		Jevšček, meja Slovenija-Italija
19. 10. 2008	13:43:42,8	46,317	13,605	8,6	21	0,2	1,6	1,8		Kal-Koritnica
21. 10. 2008	8:1:44,2	45,716	14,169	11,7	22	0,2	1,8	1,9		Slavina
21. 10. 2008	8:12:39,1	45,723	14,173	15,3	63	0,4	3	3,6	V	Koče

datum	čas (UTC)	z. šir.	z. dolž.	h	nst	RMS	M <sub>LV</sub>	M <sub>D</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>	M <sub>D</sub>	I <sub>max</sub>	epicentral area
	hh:mm:ss	°N	°E	km		S			EMS 98	
22. 10. 2008	18:21:21,3	45,718	14,18	14,3	53	0,4	2,1	2,9	III-IV	Koče
22. 10. 2008	19:33:24,7	45,716	14,175	14,4	30	0,4	1,3	2,3	III	Pivka
22. 10. 2008	20:19:18,1	46,142	15,006	9,8	33	0,4	1,2		IV	Zagorje ob Savi
31. 10. 2008	15:12:24,1	46,335	13,632	7	50	0,5	2	2,5		Lepena
1. 11. 2008	1:49:38,8	46,321	13,619	8,8	18	0,3	1,6	1,7		Lepena
2. 11. 2008	8:20:6,2	46,141	14,129	12,5	51	0,4	2,4	2,8	III-IV	Čabrče
8. 11. 2008	12:30:16,5	46,166	15,948	23,1	22	0,3	2,1			Kuzminec, Hrvaška
9. 11. 2008	22:50:16,4	46,534	14,753	7,5	16	0,2	1,8	2,4		Peca, meja Slovenija-Avstrija
21. 11. 2008	17:21:57,3	45,881	15,875	16	13	0,4	2,3			Jablanovec, Hrvaška
23. 11. 2008	13:37:10,9	46,615	15,148	8,1	9	0,3	2			*Gortina
4. 12. 2008	12:37:17,9	46,467	14,726	12,1	12	0,3	1,6			*Koprivna
8. 12. 2008	0:36:1,7	46,197	14,607	16,5	24	0,4	1,6	2,2		Šmarca
13. 12. 2008	0:44:15,8	46,418	14,965	10	30	0,5	1,6			Šentvid pri Zavodnju
16. 12. 2008	6:3:30,3	45,523	14,377	10,7	14	0,3	1,6			*Podgraje
29. 12. 2008	8:10:42,6	45,719	15,613	16,5	7	0,3	1,7			Gorica Svetojanska, Hrvaška
30. 12. 2008	16:58:36,3	45,659	14,397	18,8	53	0,4	2,4	2,8		Lačnik

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

V tem poglavju in na slikah od 3 do 10 so natančneje opisani in prikazani le nekateri izmed potresov, ki so jih v zadnjem letu čutili prebivalci Slovenije. Zaradi velikega števila dogodkov ni bilo mogoče predstaviti učinkov vseh. Na sliki 11 so prikazane največje intenzitete za vse potrese, ki so jih v letu 2008 v posameznih krajih čutili prebivalci Slovenije.

**24. januarja 2008 ob 16. uri 44 minut po UTC.** Potres z žariščem v okolici Črnomlja je največje učinke (IV EMS-98) dosegel na Rožancu in v Dragatušu. Prebivalci so slišali eksploziji podobno bobnenje.

**26. januarja 2008 ob 15. uri 32 minut po UTC.** Zmerno tresenje tal so z intenziteto IV EMS-98 najmočneje čutili na Kal-Koritnici.

**3. februarja 2008 ob 20. uri 50 minut po UTC.** Žarišče tega potresa je bilo pri kraju Žejno v okolici Brežic (slika 3). Najbolj so ga čutili na Čatežu ob Savi. Tresenje tal je spremljal dokaj močan pok.

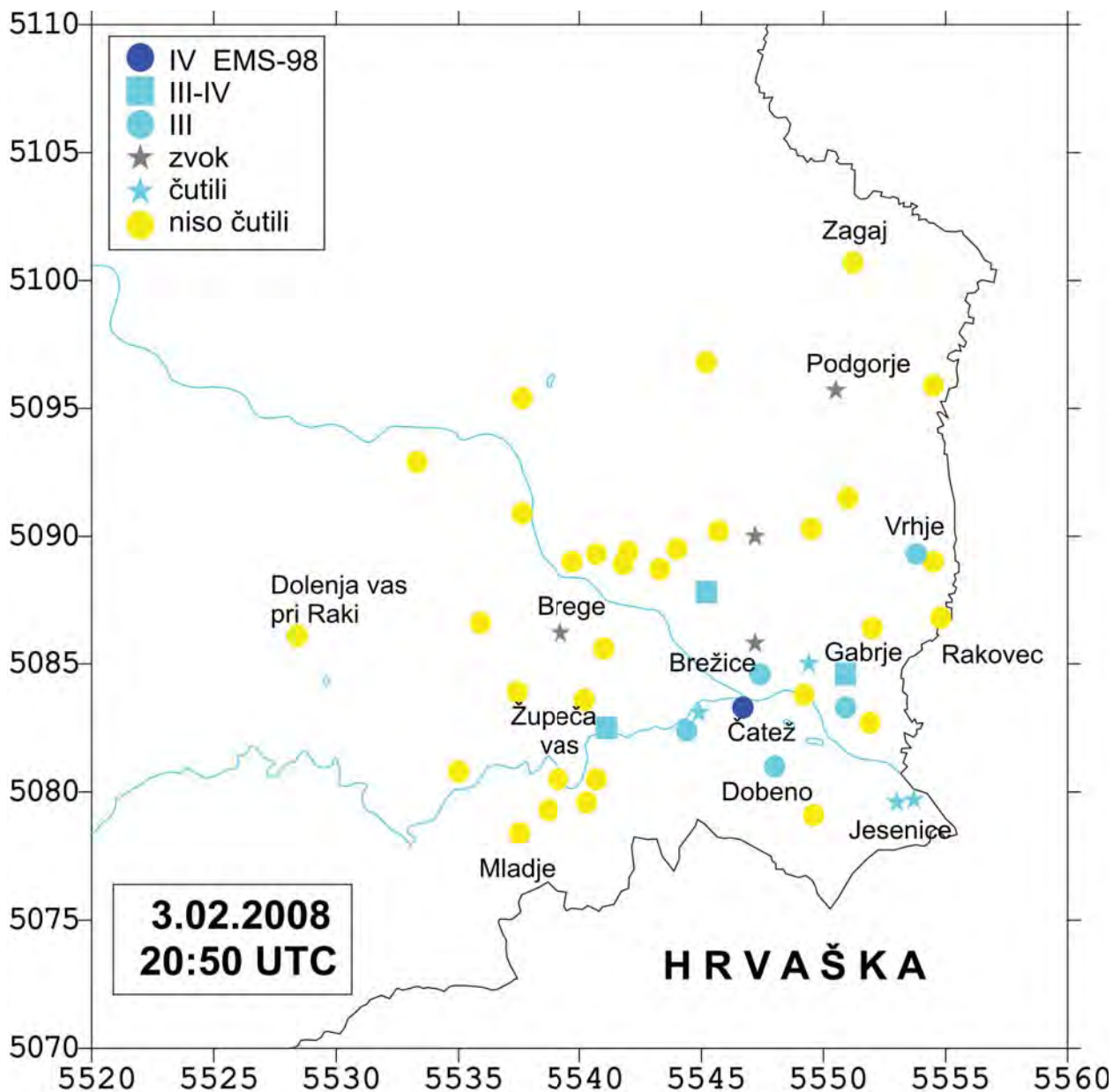
**23. marec 2008 ob 17. uri 30 minut po UTC.** Potres je imel učinke na majhnem območju, najmočneje pa v krajih Krško, Trška Gora in Volovnik. Največja dosežena intenziteta je bila IV EMS-98, magnituda potresa je bila 1,4.

**1. april 2008 ob 2. uri 8 minut in 21. uri 12 minut po UTC.** Prvi potres z žariščem v Zgornjem Posočju so najmočneje (IV EMS-98) čutili v Drežnici. Drugi potres so najbolj čutili v Vodenci, Ravnem Lazu in Soči, in sicer z intenziteto IV EMS-98 (slika 4). Iz Soče so poročali tudi o rahlih razpokah v ometu.

**19. april 2008 ob 1. uri 49 minut po UTC.** Najmočnejši potres v Sloveniji v letu 2008 (magnituda 3,1) je imel žarišče v Zasavju (slike 5 a-f). Največje učinke (intenziteta V-VI EMS-98) je dosegel

**Slika 3 – 10.** Prikazani so učinki nekaterih potresov, ki so jih v letu 2008 čutili prebivalci Slovenije. Na kartah je uporabljena Gauss-Krügerjeva mreža oz. kilometrsko merilo, ki olajša ocenjevanje medsebojne oddaljenosti prikazanih krajev.

**Figures 3 to 10.** The effects of some earthquakes felt by inhabitants of Slovenia in 2008 are shown. The Gauss-Krüger coordinate system is used, which facilitates evaluation of the distance between the places shown in the maps. čutili = felt, zvok = sound, niso čutili = not felt.

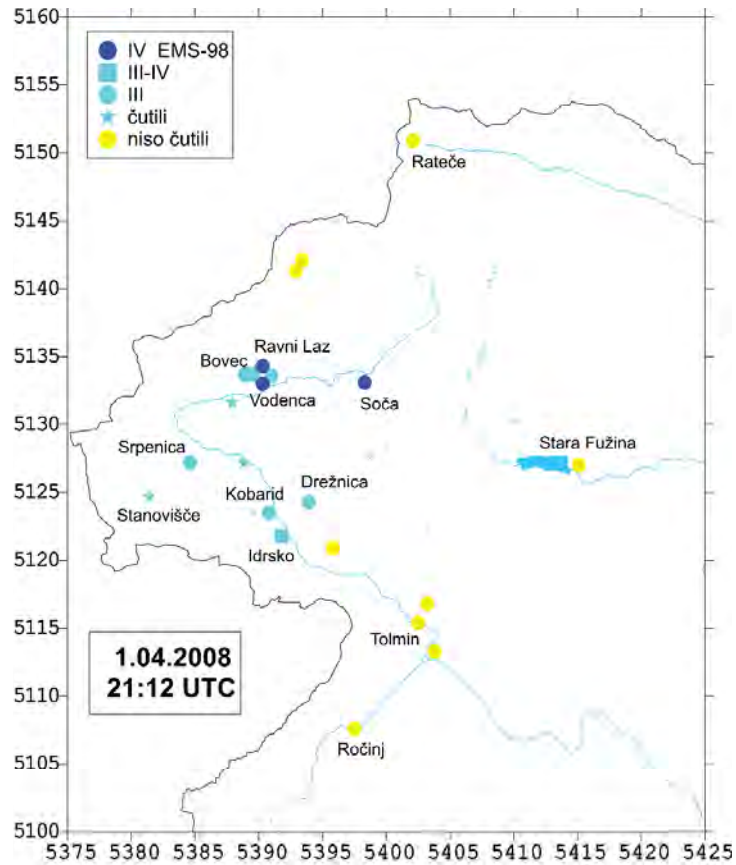


**Slika 3.** Intenzitete potresa 3. februarja 2008 ob 20. uri in 50 minut po UTC v posameznih naseljih.

**Figure 3.** Intensity of earthquake on 3 February 2008 at 20.50 UTC in individual settlements.

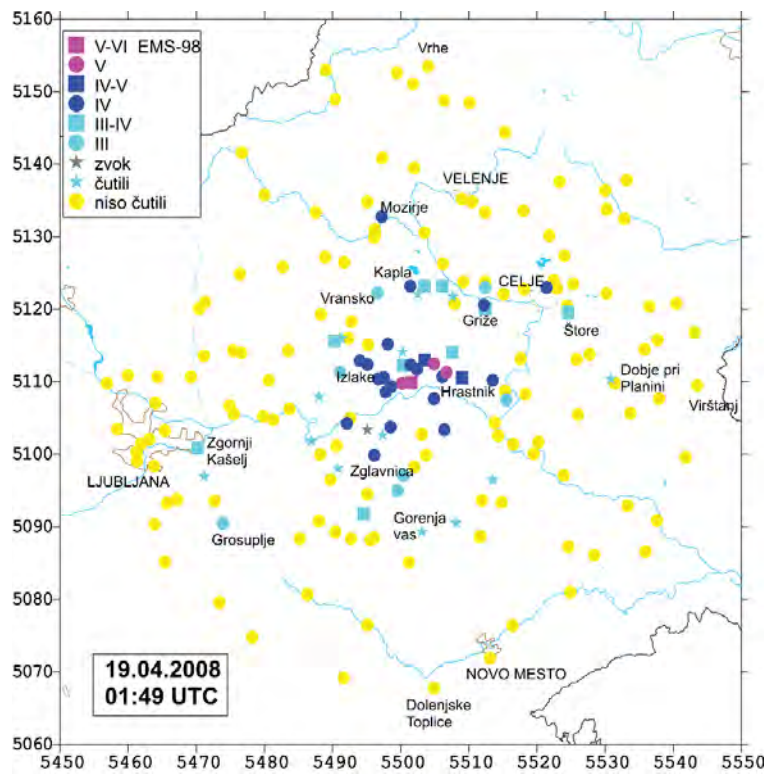
v kraju Ravenska vas. Tam so tresenje tal čutili tudi tisti, ki so bili na prostem. S polic so popadali predmeti, pokazalo se je nekaj razpok v ometu, s posameznih dimnikov so se okrušili kosi opeke. Po potresu smo v epicentralnem območju naredili več terenskih ogledov (Cecić, Ložar Stopar, 2008; Jesenko in sod., 2008).

**20. aprila 2008 ob 10. uri 15 minut po UTC.** Popotresi zasavskega potresa so bili dokaj šibki, prebivalci so jih čutili le nekaj. Ta je največjo intenziteto (IV EMS-98) dosegel v Ravenski vasi.



*Slika 4. Intenzitete potresa 1. aprila 2008 ob 21. uri 12 minut po UTC v posameznih naseljih.*

*Figure 4. Intensity of earthquake on 1 April 2008 at 21.12 UTC in individual settlements.*



*Slika 5a. Intenzitete potresa 19. aprila 2008 ob 1. uri 49 minut po UTC v posameznih naseljih.*

*Figure 5a. Intensity of earthquake on 19 April 2006 at 01.49 UTC in individual settlements.*



*Slika 5b. Ravenska vas 12, razpoka na stiku sten.*

*Figure 5b. Ravenska vas 12, crack in the contact of two walls.*



*Slika 5c. Ravenska vas 28, razpoka pri oknu.*

*Figure 5c. Ravenska vas 28, crack near the window.*



**Slika 5d.** Zagorje ob Savi, Osnovna šola Ivana Skvarča, razpoka na predelni steni.

**Figure 5d.** Zagorje ob Savi, Primary school Ivana Skvarča, crack in the partition wall.



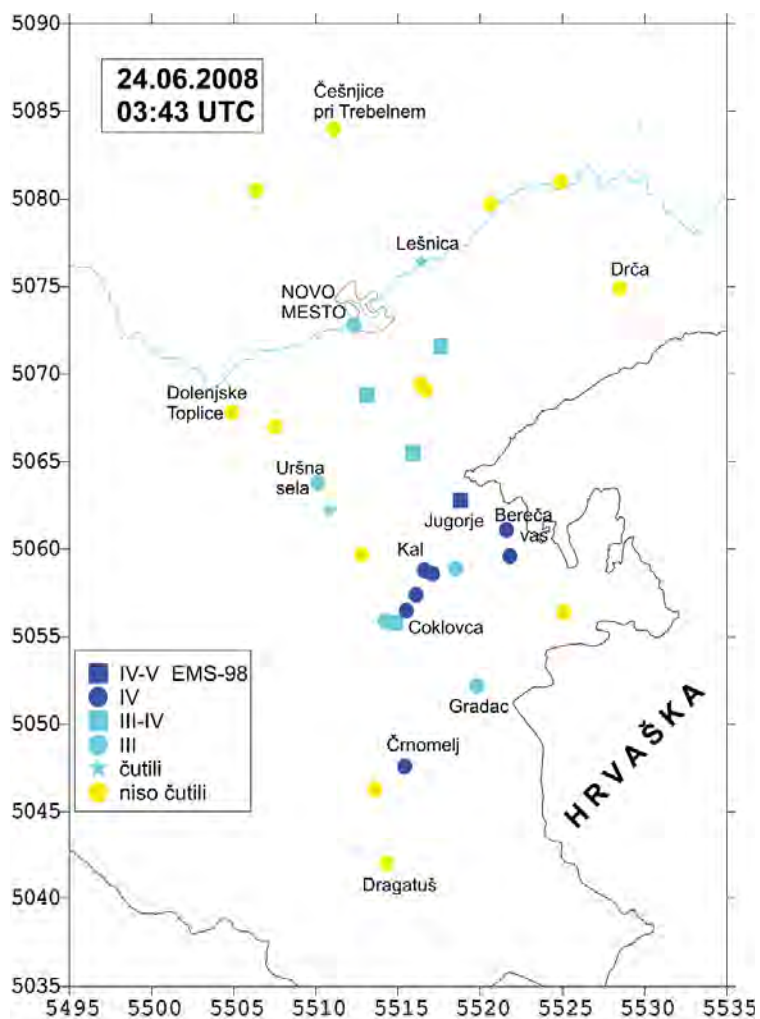
**Slika 5e.** Zagorje ob Savi, Cesta 9. avgusta 74, poškodovan dimnik.

**Figure 5e.** Zagorje ob Savi, Cesta 9. avgusta 74, slight damage on chimney.



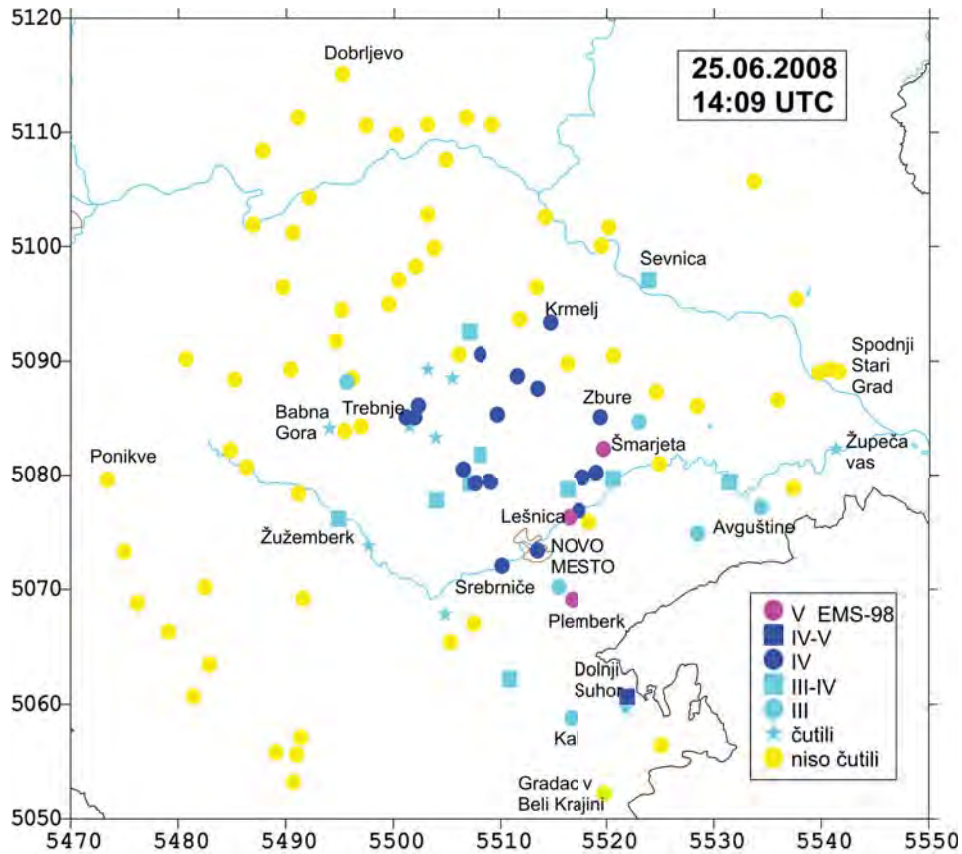
**Slika 5f.** Ravenska vas 55, razpoka v steni.  
**Figure 5f.** Ravenska vas 55, crack in the wall.

fotografije: M. Godec  
 photos: M. Godec



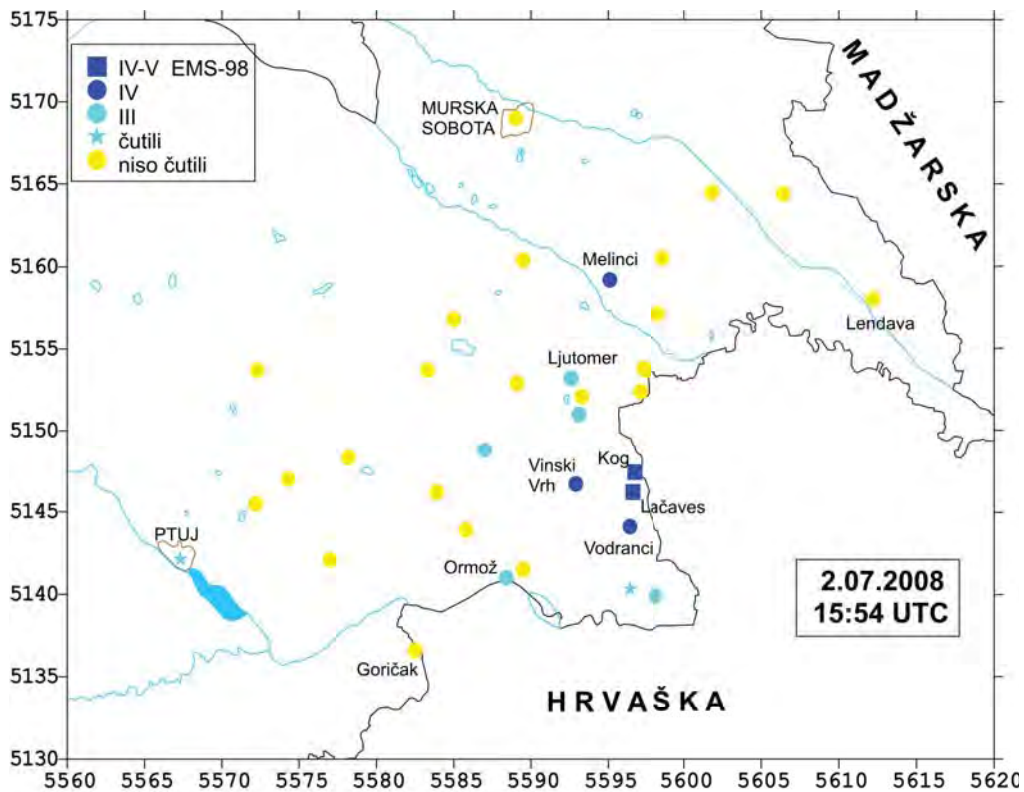
**Slika 6.** Intenzitete potresa 24. junija 2008 ob 3. uri 43 minut po UTC v posameznih naseljih.

**Figure 6.** Intensity of earthquake on 24 June 2008 at 03.43 UTC in individual settlements.



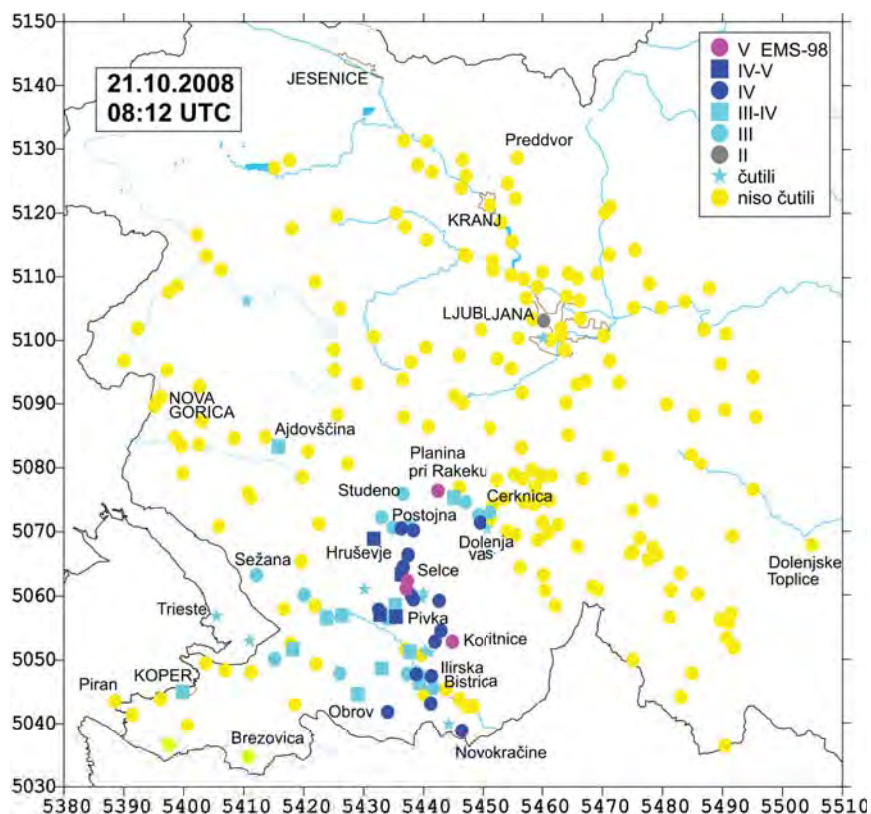
*Slika 7. Intenzitete potresa 25. junija 2008 ob 14. uri in 9 minut po UTC v posameznih naseljih.*

*Figure 7. Intensity of earthquake on 25 June 2008 at 14.09 UTC in individual settlements.*



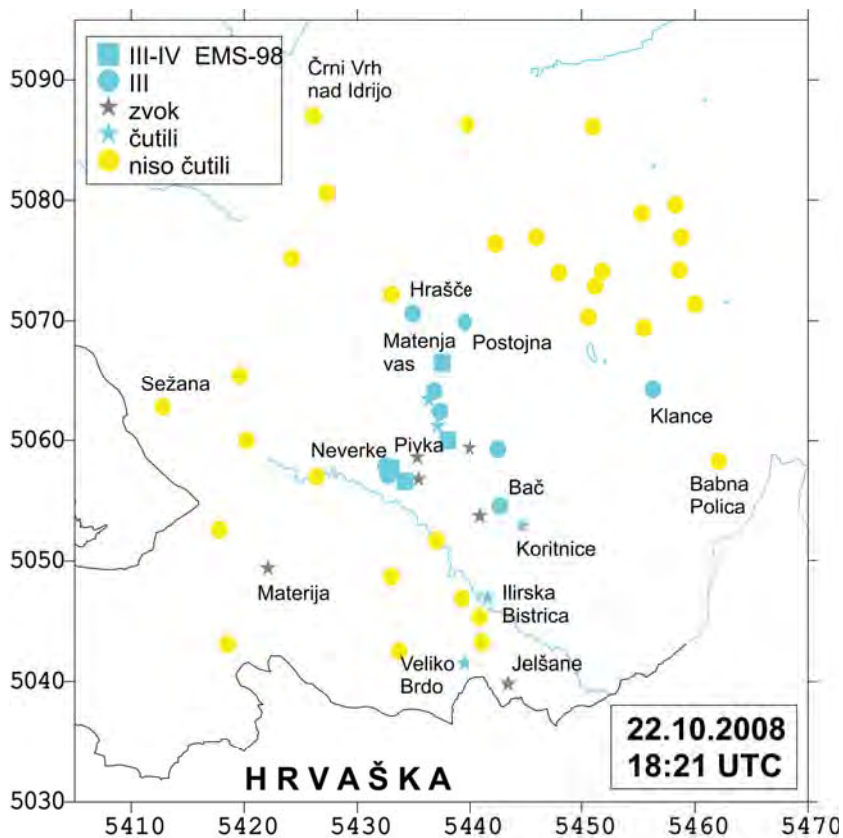
*Slika 8. Intenzitete potresa 2. julija 2008 ob 15. uri in 54 minut po UTC v posameznih naseljih.*

*Figure 8. Intensity of earthquake on 2 July 2008 at 15.54 UTC in individual settlements.*



*Slika 9. Intenzitete potresa 21. oktobra 2008 ob 8. uri 12 minut po UTC v posameznih naseljih.*

*Figure 9. Intensity of earthquake on 21 October 2008 at 08.12 UTC in individual settlements.*



*Slika 10. Intenzitete potresa 22. oktobra 2008 ob 18. uri 21 minut po UTC v posameznih naseljih.*

*Figure 10. Intensity of earthquake on 22 October 2008 at 18.21 UTC in individual settlements.*

**24. junij 2008 ob 3. uri 43 minut po UTC.** Zmerno tresenje tal z intenziteto IV-V EMS-98 je najbolj prestrašilo prebivalce Jugorja pri Metliki (slika 6). Tam so posamezniki zaradi potresa zapustili hiše.

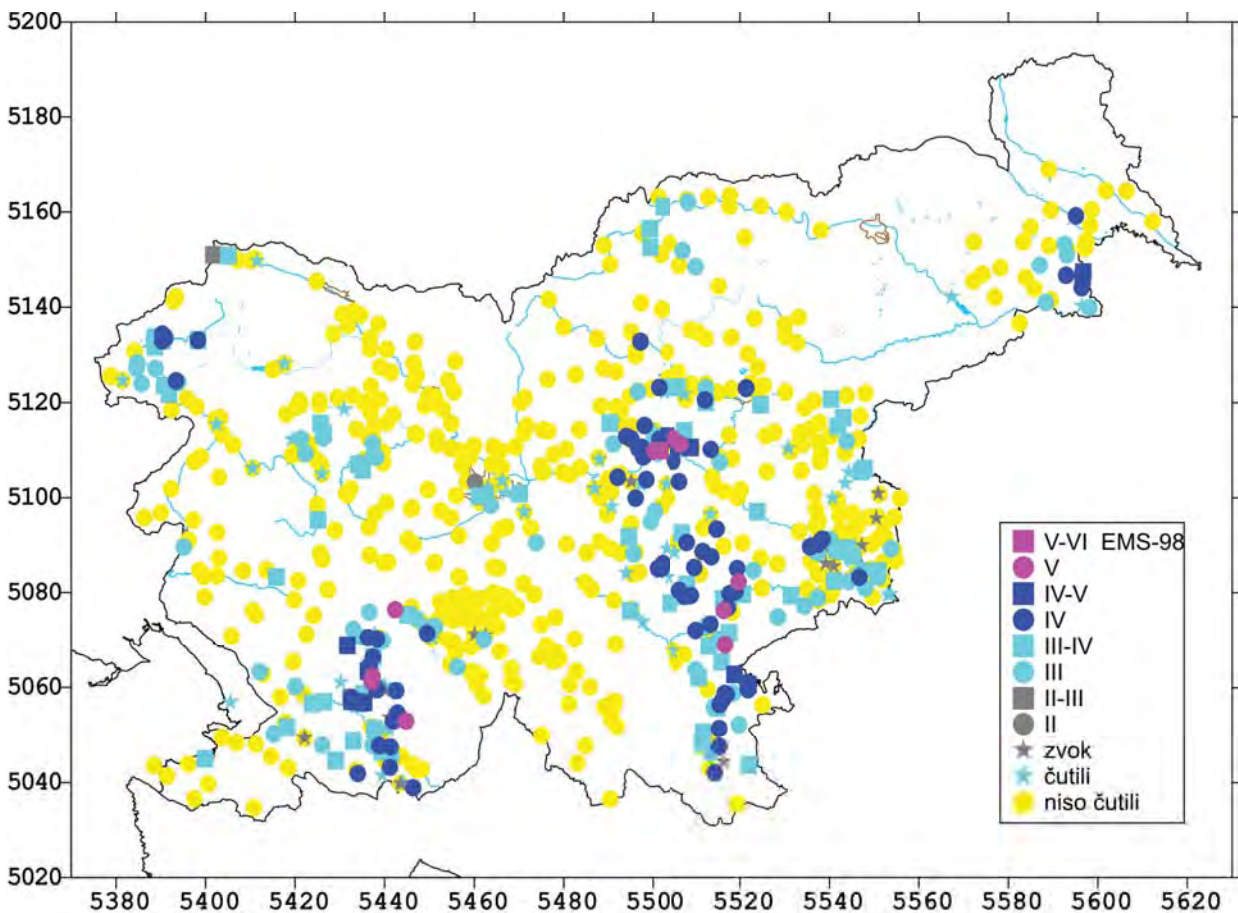
**25. junij 2008 ob 14. uri 9 minut po UTC.** Tokrat se je zatresla okolica Trebnjega (slika 7). Magnituda tega dogodka je bila 3,0. V krajih Šmarjeta, Lešnica in Plemberk je bila intenziteta V EMS-98. Močno je počilo in se zatreslo. V Šmarjeti so opazili nekaj finih razpok v ometu.

**2. julij 2008 ob 15. uri 54 minut po UTC.** Potres z magnitudo 2,5 je povzročil nekaj preplaha v krajih Kog in Lačaves (slika 8). Na hiši v Lačavesu so po potresu opazili manjšo razpoko.

**21. oktober 2008 ob 8. uri in 12 minuti po UTC.** Močno tresenje tal z intenziteto V EMS-98 je bilo v bližini Pivke (slika 9). Magnituda je bila 3,0. Največjo intenziteto je potres dosegel v krajih Planina pri Rakeku, Gradec, Koritnice in Selce. Iz Koritnic so poročali o razbiti stekleni vazi in prevrnjeni sliki. Podatke o tem, kako so potres čutili v Trstu in okolici, nam je prijazno posredoval prof. Peter Suhadolc s tržaške univerze.

**22. oktober 2008 ob 18. uri 21 minut po UTC.** Najmočnejši popotres je imel magnitudo 2,1 (slika 10). Najmočnejše (III-IV EMS-98) so ga čutili v Novi Sušici, Neverkah, Pivki in Matenji vasi. Rahlo tresenje tal je spremljalo zamolklo bobnenje.

**22. oktober 2008 ob 20. uri 19 minut po UTC.** Potres z magnitudo 1,2 je imel žarišče v bližini Zagorja ob Savi. Tam so ga tudi najmočnejše čutili (IV EMS-98). Ponekod so prebivalci zaznali samo močno bobnenje brez tresenja.



*Slika 11. Karta intenzitet močnejših potresov v letu 2008 za posamezen kraj. V primeru, da so v posameznem kraju čutili več potresov, je označena največja intenziteta, ki je bila dosežena kadarkoli v tem letu.*

*Figure 11. Overall map of the largest intensities of all earthquakes in 2008 felt by the inhabitants of Slovenia in individual places.*

**23. december 2008 ob 16. uri 24 minut po UTC.** Redki prebivalci zahodnega dela Slovenije so čutili potres z žariščem v Italiji, v bližini mesta Castelnovo ne' Monti v pokrajini Reggio Emilia. Magnituda potresa je bila po podatkih Evropsko-mediteranskega seizmološkega centra (CSEM) 5,4, največja intenziteta v Sloveniji pa III-IV EMS-98 (v Ljubljani in Idriji). To je bil glede na magnitudo najmočnejši potres z žariščem v tujini, ki so ga v letu 2008 čutili znotraj naših meja.

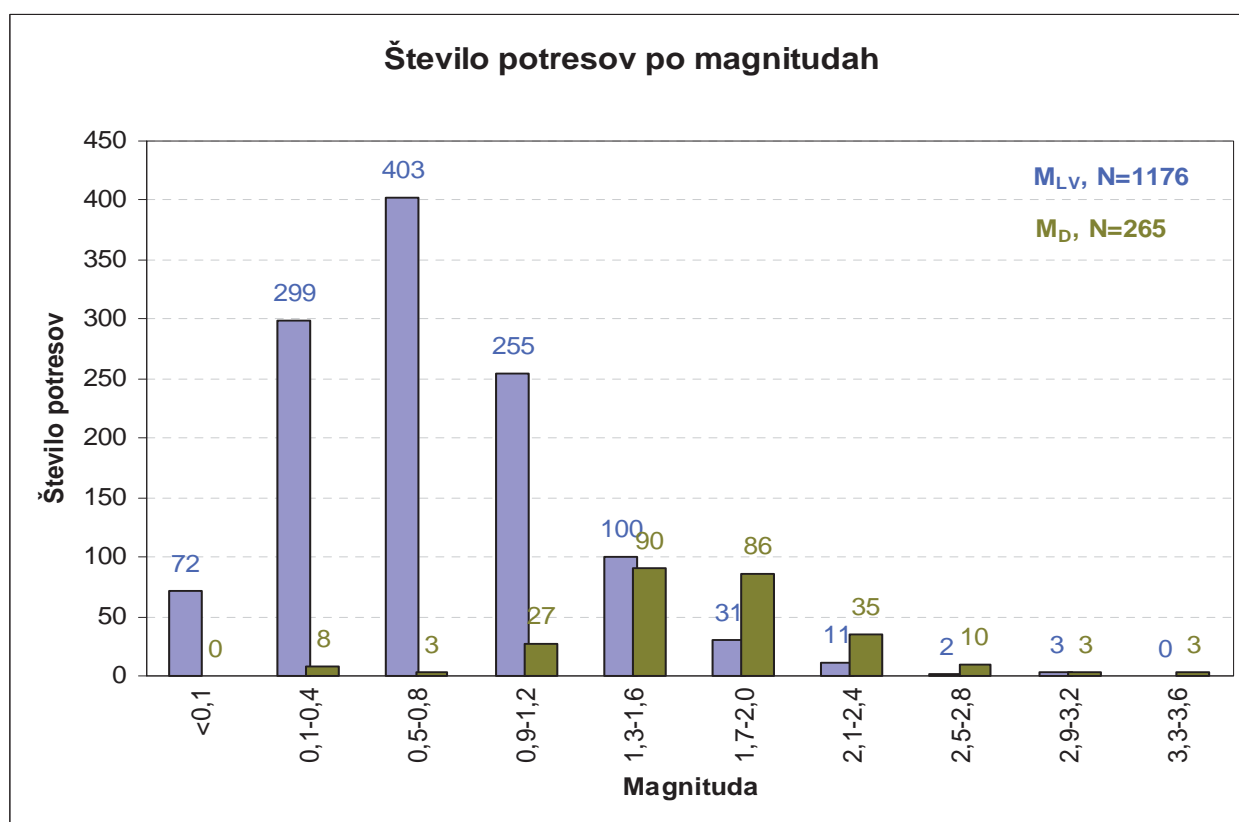
## Sklepne misli

Potresna dejavnost v Sloveniji v letu 2008 je bila dokaj majhna, toda število zabeleženih potresov je bilo, predvsem zaradi postavitve novih potresnih opazovalnic, veliko. Histogram na sliki 12 kaže porazdelitev lokalnih magnitud ( $M_{LV}$ ), ki smo jih opredelili za 1176 potresov, za primerjavo pa so podani še podatki za magnitudo, določeno iz trajanja zapisa potresa ( $M_D$ ). Največ potresov je imelo magnitudo med 0,5 in 0,8.

Med potresi, za katere smo razposlali makroseizmične vprašalnike ali opravili terenske raziskave, sta največjo intenziteto IV-V EMS-98 dosegla dva, intenziteto V EMS-98 dva in intenziteto V-VI EMS-98 en potres. Ostali potresi (32) so imeli največjo intenziteto IV EMS-98 ali nižjo. Prebivalci so skupno čutili vsaj 37 potresov (sliki 2 in 13).

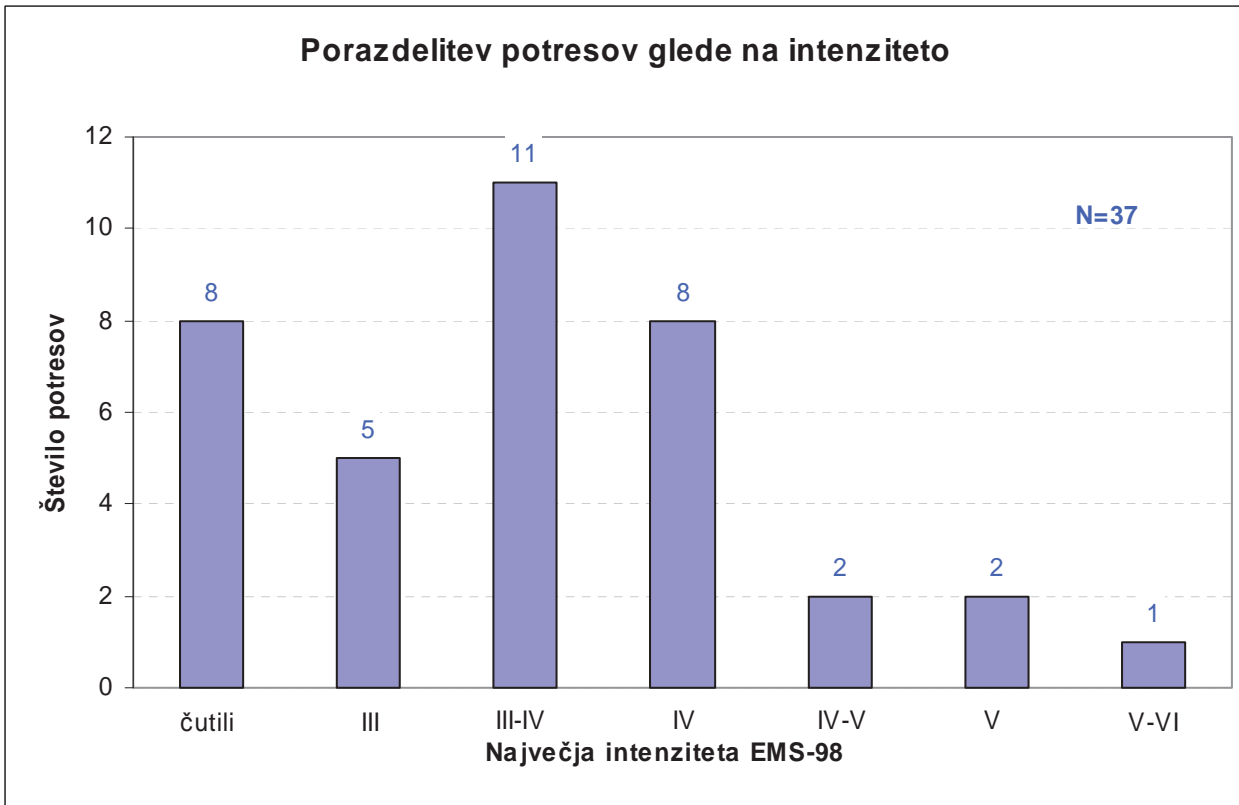
Porazdelitev potresov glede na globino žarišč (slika 14) kaže, da je imela večina od skupno 1191 potresov na območju Slovenije in bližnje okolice žarišča do globine 18 km. Največ (376) potresov je bilo v globini med 6,1 in 9 km. Za 20 potresov smo opredelili žariščno globino večjo od 18 km.

Kot doslej bi bili makroseizmični podatki za potrese zelo pomanjkljivi ali celo popolnoma nedostopni, če nam pri tem delu ne bi pomagali številni prostovoljni opazovalci. Leta 2008 je z ARSO aktivno sodelovalo več kot 5000 ljudi, za kar se jim najlepše zahvaljujemo. V zvezi s potresi smo v letu 2008 poslali 2822 vprašalnikov.



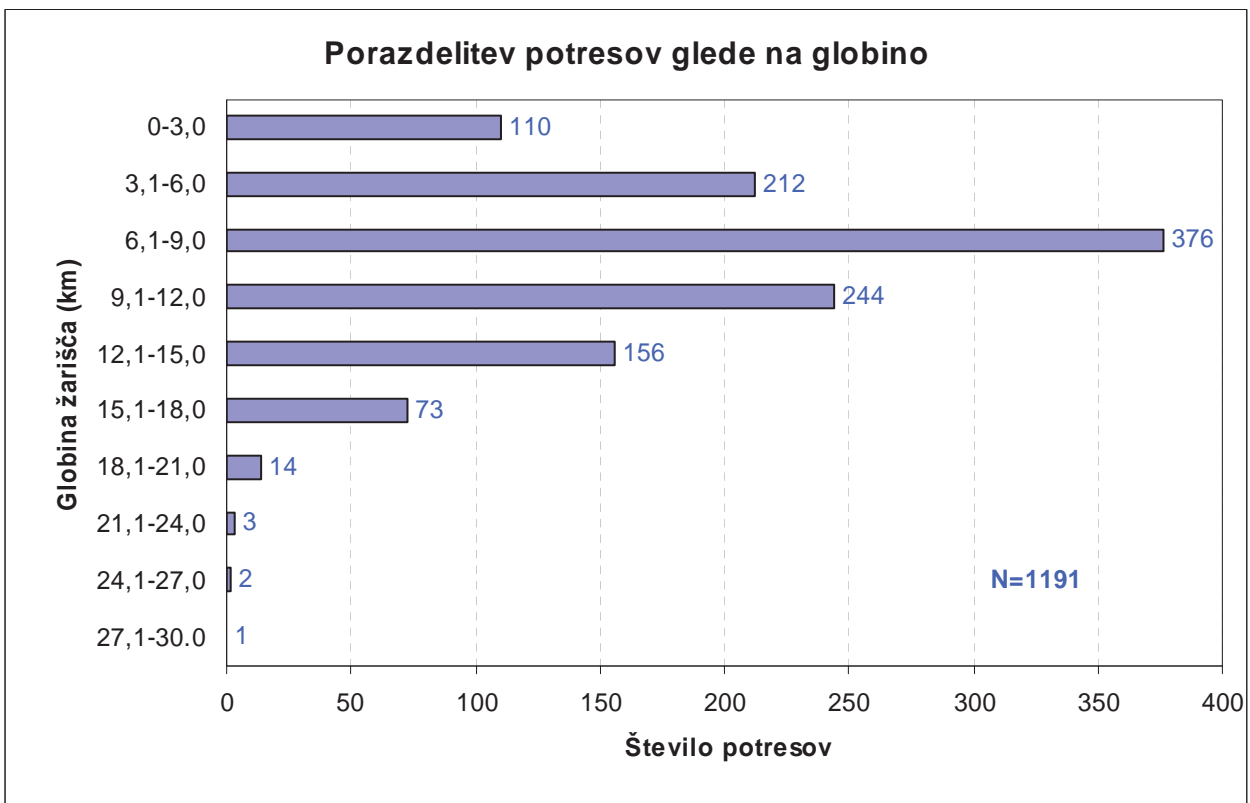
*Slika 12. Porazdelitev potresov v Sloveniji v letu 2008 glede na magnitudi  $M_{LV}$  in  $M_D$ .*

*Figure 12. Distribution of earthquakes in Slovenia in 2008 with respect to magnitudes  $M_{LV}$  and  $M_D$ .*



*Slika 13. Porazdelitev potresov v Sloveniji v letu 2008 glede na največjo intenziteto EMS-98.*

*Figure 13. Distribution of earthquakes in Slovenia in 2008 with respect to maximum intensity EMS-98.*



*Slika 14. Porazdelitev potresov v letu 2008 glede na globino žarišča (v km).*

*Figure 14. Distribution of earthquakes in Slovenia in 2008 with respect to focal depth (in kilometres).*

Tudi v letu 2008 smo pri zbiranju in izmenjavi podatkov uspešno sodelovali s seizmologi iz sosednjih držav. Za poslane makroseizmične podatke se posebej zahvaljujemo Christiani Freudenthaler in Edmundu Fiegweilu iz Centralnega inštituta za meteorologijo in geodinamiko (ZAMG) na Dunaju in Petru Suhadolcu iz Univerze v Trstu.

## Literatura

- Agencija RS za okolje, 2008-2009. Preliminarni tedenski seizmološki bilteni za 2008. Arhiv ARSO, Ljubljana.
- Cecić, I. in Ložar Stopar, 2008, M., Teren dne 22. aprila 2008, Zasavje – potres 19. aprila 2008 in popotresi. ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, interno poročilo, 23.04.2008.
- 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 pp.
- Grünthal, G. (ur.), 1998b. European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98). (citirano 14. 6. 2007). Dostopno na naslovu: [http://www.gfz-potsdam.de/pb1/pg2/ems\\_new/INDEX.HTM](http://www.gfz-potsdam.de/pb1/pg2/ems_new/INDEX.HTM).
- GZAM, 2008-2009, Mesečni bilteni za 2008 (online). Geofizički Odsjek Prirodoslovno-Matematičnog Fakulteta, Zagreb, Hrvaška. (citirano 20.7. 2009). Dostopno na naslovu: <http://www.isc.ac.uk/cgi-bin/collect?Days=&yyyy=Year&mm=Mon&Reporter=ZAG>.
- Jesenko, T., Godec, M. in Zupančič, P., junij 2008, Poročilo o učinkih potresa 19. aprila 2008 ob 03:49 UTC (ML=3,1) in popotresih – terenski ogledi dne 23. in 24. april 2008. ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, interno poročilo.
- 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 pp.
- Michelini, A., Živčić, M. in Suhadolc, P. (1997), Simultaneous inversion for velocity structure and hypocenters in Slovenia, *Journal of Seismology*, 2(3), 257-265.
- Rebez, A. in Renner, G., 1991, Duration magnitude for the northeastern Italy seismometric network, *Boll. Geof. Teor. Appl.*, Vol. XXXIII, N. 130-131, 177-186.
- OGS (Osservatorio Geofisico Sperimentale), 2008, 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.
- 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, 2008-2009, Seizmološki bilteni za 2008. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien
- Živčić, M., Bondár, I. and Panza, G.F., 2000. Upper Crustal Velocity Structure in Slovenia from Rayleigh Wave Dispersion. *Pure Appl. Geophys.*, Vol. 157, 131-146.

# RELOKACIJA POTRESOV V BLIŽINI LITIJE

## RELOCATION OF EARTHQUAKE HYPOCENTRES IN THE LITIJIA REGION

Martina Čarman, Mladen Živčić, Milka Ložar Stopar

### **Povzetek**

*Potresi v bližini Litije so po obdelavi podatkov s postopki, ki jih seizmologi na Uradu za seizmologijo in geologijo (ARSO) uporabljamo vsakodnevno, ostali raztreseni na širokem področju in jih je bilo nemogoče povezati s posameznimi geološkimi strukturami. Z uporabo relativne metode časovnih prebitkov oz. zaostankov pri določanju žarišč (Waldhauser in Ellsworth, 2000; Waldhauser, 2001) smo sočasno locirali vse potrese in tako izboljšali medsebojni položaj potresnih žarišč. Prej razpršene lokacije so se strnile v ozko gručo in razkrile območje in prelom, kjer so se pritiski sprostili. Smer preloma ustreza žariščnim mehanizmoma, izračunanima za dva močnejša potresa litijske skupine potresov.*

### **Abstract**

*Earthquake hypocentres in the Litija region in the period 1998-2008 were relocated using HypoDD (Waldhauser and Ellsworth, 2000; Waldhauser, 2001) algorithm. Significant improvement in relative hypocentral locations was obtained for 246 earthquakes. The relocated hypocenters are aligned along almost vertical region extending about 6 km in NW – SE direction at the depths between 6 and 13 km. Two fault plane solutions obtained from the first motion data for the two strongest earthquakes are in accordance with the earthquake distribution and give almost vertical fault of NW – SE direction and dextral strike slip mechanism with small reverse component.*

### **Uvod**

Natančno določanje lege potresnih žarišč nam omogoča povezovanje potresne dejavnosti nekega območja s posameznimi geološkimi strukturami. V splošnem je natančnost določanja položaja žarišč pogojena z geometrijo mreže potresnih opazovalnic, številom in kakovostjo odčitanih vstopnih časov potresnih valov in poznavanjem tridimenzionalne hitrostne strukture Zemljine notranjosti.

Za sprotno določanje osnovnih parametrov potresov na ozemlju Slovenije seizmologi na Uradu za seizmologijo (ARSO) uporabljamo program Hypocenter 3.2 (Lienert, 1994). Ta program na podlagi odčitanih časov vstopa vzdolžnih (P) in prečnih (S) potresnih valov, podatkov o hitrostih valovanja na različnih globinah (enodimenzionalni hitrostni model) in podatkov o lokacijah opazovalnic numerično reši kinematične enačbe in tako določi čas in kraj nastanka posameznega potresa ter njegovo velikost (magnitudo). Natančnost, ki jo praviloma dosežemo, je nekaj kilometrov za lego žarišča, nekaj desetink sekunde za čas nastanka potresa in nekaj desetink za magnitudo. Dosežena natančnost in čas, ki ju potrebujemo pri rutinskem izračunu osnovnih potresnih parametrov, zadostujeta za potrebe obveščanja in ukrepanja po potresu in za katalog. Vendar pa postopek ne zadošča pri prepoznavanju aktivnih prelomnih con, saj z uporabo poenostavljenega hitrostnega modela Zemljine skorje, napak pri odčitavanju vstopnih časov P in S valov (predvsem iz analognih zapisov) ter majhnega števila potresnih opazovalnic v preteklosti, dobimo razpršeno sliko potresne dejavnosti.

Natančnost določanja potresnih parametrov je bila pred posodobitvijo državne mreže potresnih opazovalnic v RS v letih 2002-2006 slaba, predvsem zaradi redkega števila opazovalnic in uporabe analognih zapisov potresov. Za opredelitev lege nadžarišča potresa potrebujemo zapise vsaj treh opazovalnic, za zanesljivo opredelitev globine žarišča pa zapis vsaj še ene opazovalnice, oddaljene od žarišča za manj kot znaša globina potresnega žarišča. Pri redkem številu opazovalnic ta kriterij pogosto ni uresničen. Z uporabo analognih zapisov pa je natančnost opredelitve lege žarišča dodatno omejena z natančnostjo odčitavanja vstopnih časov P in S valov. Ta je le red-



ko boljša od nekaj desetink sekunde in posledično onemogoča opredelitev krajevnih koordinat natančneje kot na nekaj kilometrov. S postavitvijo 26-tih potresnih opazovalnic, razporejenih po ozemlju Slovenije in opremljenih z modernimi digitalnimi instrumenti (Vidrih, ur., 2006), je bil narejen velik korak k natančnejšemu določanju potresnih parametrov. Veliko število opazovalnic z večjo verjetnostjo zagotavlja, da dobimo zapise potresa iz neposredne bližine, da je žarišče potresa obkroženo z opazovalnicami in da beležimo tudi šibkejša potrese. Uporaba modernih digitalnih seizmometrov pa omogoča natančnost odčitavanja vstopnih časov P valov lokalnih potresov z natančnostjo okoli stotinke sekunde in S valov z natančnostjo nekaj stotink sekunde.

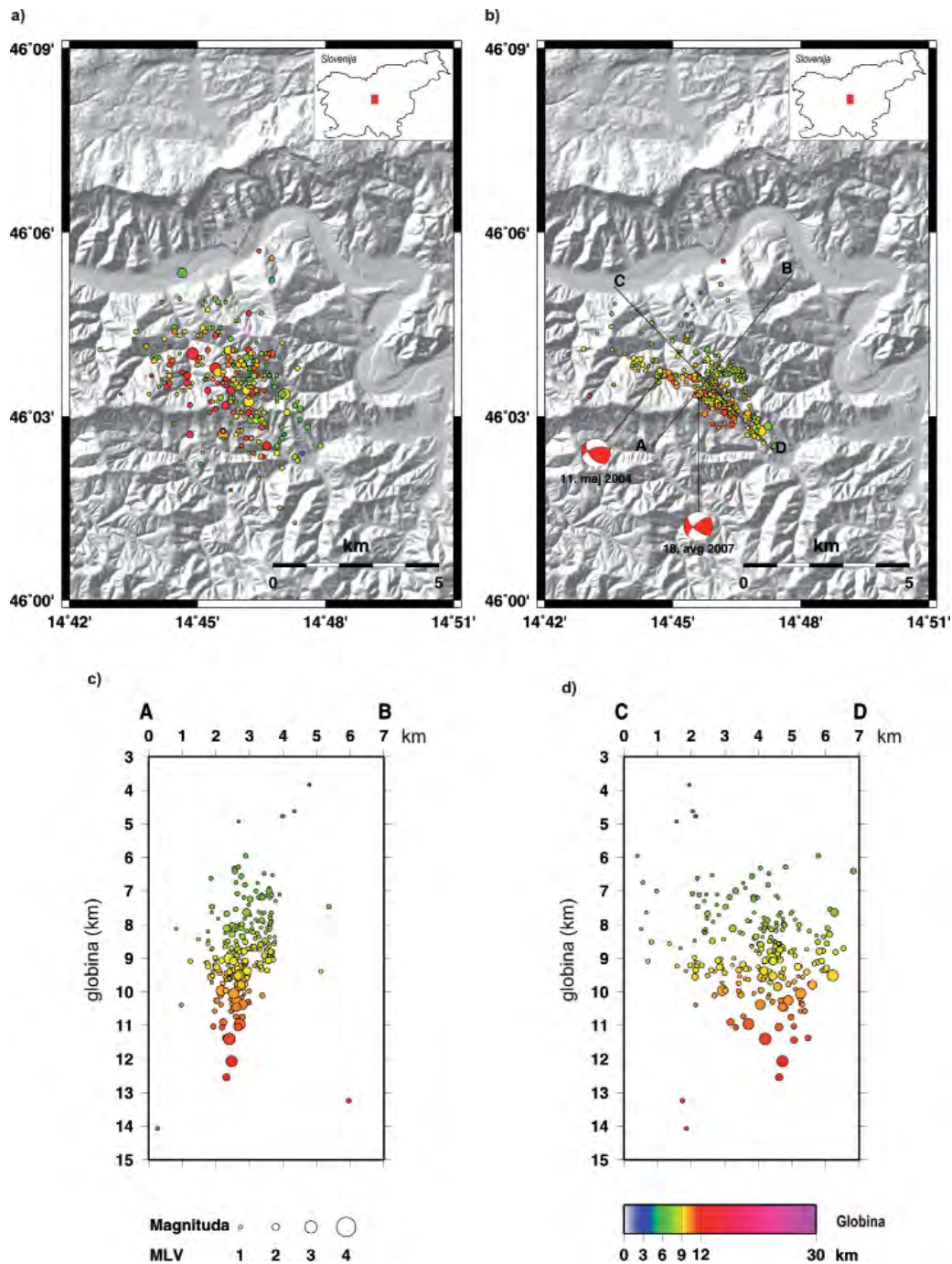
Danes je ključen korak do natančnejšega določanja položaja žarišč predvsem poznavanje in upoštevanje hitrostne strukture Zemljine notranjosti. Za ozemlje Slovenije je bilo narejenih kar nekaj raziskav litosfere, tako z uporabo pasivnih metod opazovanja seizmičnih valov potresov ter Zemljinega toplotnega, težnostnega, električnega in magnetnega polja, kot tudi z uporabo precej dražjih aktivnih metod, ki uporabljajo seizmične valove povzročene z močnimi eksplozijami.

Navkljub današnjemu poznavanju Zemljine skorje pod slovenskim ozemljem pa pri rutinskem določanju potresnih parametrov uporabljamo enodimenzionalni hitrostni model, kjer so hitrosti na posameznih globinah opredeljene kot povprečje, izpeljano iz raziskav (Michellini in sod., 1998, Živčić in sod., 2000). Posledično pri rutinski obdelavi potresov ne upoštevamo niti dobro znanih hitrostnih in strukturnih razlik Zemljine skorje npr. pod Julijskimi Alpami in Prekmurjem. Upoštevanje globinskega modela Zemljine notranjosti pri lociranju potresov je izjemno zahtevno opravilo, saj bi morali v primeru kateregakoli potresa poznati poti potresnih valov od žarišča skozi posamezne geološke strukture do vsake opazovalnice posebej. Čeprav s sedanjo računalniško tehnologijo to počasi postaja možno, je naše poznavanje lokalnih geoloških struktur v Zemljini notranjosti v večini primerov še zelo grobo, zato so se v geofiziki razvili prijemi, ki se z nehomogeno hitrostno strukturo Zemljine notranjosti zelo uspešno spopadajo na raznovrstne načine.

## Relokacija

Za skupino potresov na prostorsko omejenem območju, ki je majhno v primerjavi z oddaljenostjo opazovalnic od potresov in majhno v primerjavi s hitrostnimi spremembami na poti potresnih valov, lahko lokacije izračunane z rutinskim postopkom izboljšamo z uporabo relativne metode časovnih prehitkov oz. zaostankov pri določanju žarišč (Double-Difference Hypocenter determination = DDHypo, Waldhauser in Ellsworth, 2000). Ključna ideja te metode je, da potresni valovi potresov, ki so nastali na relativno majhnem območju, potujejo do izbrane oddaljene opazovalnice po poteh, ki so zelo blizu skupaj, razen v neposredni bližini žarišč, in tako prepotujejo iste lokalne geološke strukture. Tako na večjem delu poti, razen v neposredni bližini žarišč, rutinski izračun z uporabo poenostavljenega modela Zemljine notranjosti k času potovanja potresnih valov prinese isto absolutno napako. Časovni prehitke oz. zaostanek med dvema bližnjima potresoma na izbrano opazovalnico pa z veliko gotovostjo pripišemo krajevni razmiku žarišč. Z iterativnim spreminjanjem lege žarišč minimiziramo vse prehitke oz. zaostanke med pari bližnjih potresov na vsaki opazovalnici posebej. S takšnim sočasnim relociranjem skupine potresov posredno upoštevamo hitrostne razlike v Zemljini notranjosti in posledično natančneje določimo krajevne koordinate.

Avtorja, F. Waldhauser in W. L. Ellsworth, sta metodi dala ime Double-Difference Hypocenter determination. Izraz »double-difference« dobesedno lahko zamenjamo z izrazom »dvojna razlika«, vendar smo ga mi raje nadomestili s »časovni prehitke oz. zaostanek«. Časovni prehitke oz. zaostanek med dvema potresoma na izbrano opazovalnico je časovna razlika v potovanju potresnih valov od posameznega žarišča do opazovalnice. Ta čas potovanja pa je prav tako izračunan iz časovne razlike, in sicer razlike med izmerjenim časom prihoda P oz. S potresnih valov na izbrano opazovalnico in žariščnim časom, izračunanim po rutinskem postopku. Ta »razlika časovnih razlik oz. dvojnih razlik« je dala metodi angleško ime.



**Slika 1.** 246 potresov (a) po lociranju vsakega posameznega dogodka s programom Hypocenter computer code (Lienert, 1994), in (b) po sočasnem relociranju dogodkov z uporabo relativne metode časovnih prehitkov oz. zaostankov pri določanju žarišč (Double-Difference Hypocenter determination = DDHypo, Waldhauser and Ellsworth, 2000) za obdobje od 1998 do vključno oktobra 2008. Na zgornjih slikah so prikazana nadžarišča in žariščna mehanizma dveh močnejših potresov. Spodnji sliki prikazujeta relocinane dogodke v navpičnem prerezu (c) vzdolž daljice AB ter (d) vzdolž daljice CD. Barva simbola za nadžarišče ponazarja žariščno globino, njegova velikost pa vrednost lokalne magnitude  $M_{LV}$ . Sliki sta bili narejeni s programom GMT (Wessel in Smith, 1991, 1998).

**Figure 1.** Distribution of 246 (a) routinely located earthquakes (circles) using Hypocenter computer code (Lienert, 1994), and (b) relocated earthquakes using Double-Difference Hypocenter determination algorithm (Waldhauser and Ellsworth, 2000) for the period from 1998 to October 2008 inclusive. Top panels show epicenters and focal mechanisms of two stronger earthquakes. Lower panels show vertical cross section transversal to the fault, along line AB. Coloured symbols of varying sizes give information on focal depth and local magnitude  $M_{LV}$ . Figure was produced with GMT software (Wessel and Smith, 1991, 1998).

## Rezultati

V okolici Litije smo v preteklih letih zabeležili večje število šibkih in zmernih potresov. Njihova nadžarišča so po rutinski obdelavi podatkov raztresena znotraj približno 7,5 km dolgega in 5 km širokega območja (slika 1a). Z relativno metodo časovnih prehitkov oz. zaostankov pri določanju žarišč smo poskusili njihove lokacije izboljšati. Pri relokaciji smo uporabili katalog potresov ARSO (ARSO, 1998, 2008), ki so nastali na območju 46,00°- 46,10° SZŠ in 14,70°- 14,80° VZD v skoraj 11-letnem obdobju, od leta 1998, do vključno oktobra 2008. Omejili smo se na potrese, ki so dobro zapisani vsaj na sedmih opazovalnicah. Opazovalnice pa so razporejene okrog potresa tako, da azimutna vrzel ni večja od 180°. Dodatno smo izbrali le potrese, katerih napaka rutinskega izračuna lege nadžarišča ne presega 5 km, napaka v položaju globine pa 10 km. Izbranim kriterijem v katalogu potresov ARSO ustreza 250 potresov z lokalnimi magnitudami od 0,1 do 2,9.

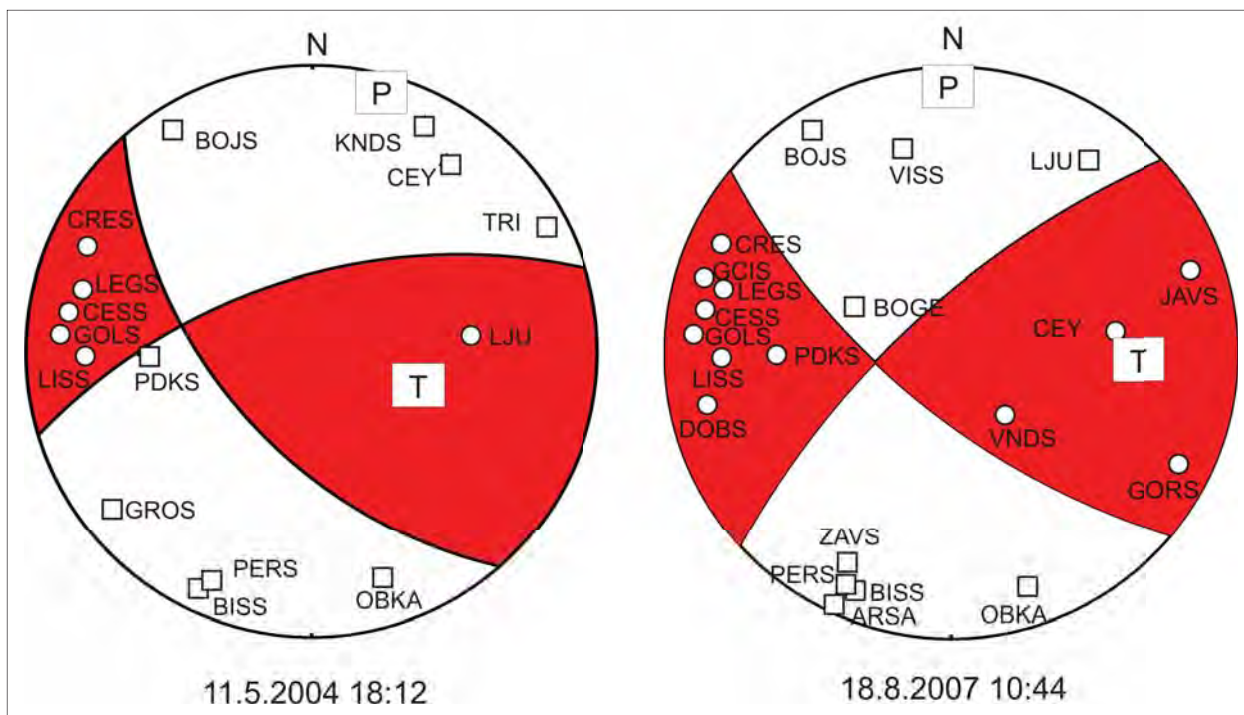
V nadaljevanju smo parom bližnjih potresov, med seboj oddaljenih ne več kot 8 km, poiskali časovne prehitke oz. zaostanke ustreznih vstopnih časov do opazovalnic, oddaljenih od središča skupine potresov največ 200 km. Štirim potresom nismo uspeli najti zadostnega števila prehitkov oz. zaostankov, zato smo jih izključili iz nadaljnje obravnave. Prehitke oz. zaostanke preostalih potresov smo s programom HypoDD minimizirali in tako dobili izboljšane medsebojne lege 246 žarišč v skupini potresov (slika 1b).

Metoda HypoDD je relativna metoda, kar pomeni, da lahko z njo določimo natančnejšo lego med žarišči potresov znotraj obravnavane skupine, ne pa natančne umeščenosti skupine v prostor. Potresi so se po relokaciji prostorsko strnili. Žarišča, katerih globine so po rutinski obdelavi nihale med 0 in 20 km, se po hkratnem relociranju nahajajo na globinah med 6 in 13 km. Iz lege potresnih žarišč na navpičnih prerezih (sliki 1c in 1d) lahko ocenimo, da so ti nastali na skoraj navpični 2,5 km široki prelomni ploskvi dolžine 6 km, in globine približno 7 km. Opazimo tudi, da močnejši potresi večinoma nastanejo globlje, šibkejši pa bližje površju. Na sliki 1b sta prikazana tudi žariščna mehanizma dveh močnejših potresov, določena iz smeri prvih premikov tal ob vstopu vzdolžnega valovanja na potresne opazovalnice. Oba mehanizma kažeta na skoraj

**Preglednica 1.** Podatki za žariščna mehanizma potresov 11. 5. 2004 ob 18:12 UTC in 18. 8. 2007 ob 10:44 UTC.

**Table 1.** Focal mechanisms for 11 May 2004 at 18:12 UTC and 18 August 2007 at 10:44 UTC earthquakes.

datum		date		18.8.2007	11.5.2004
čas (UTC)		time (UTC)		hh:mm	hh:mm
širina	°N	lat.	°N	46,056	46,062
dolžina	°E	long.	°E	14,760	14,746
globina	km	depth	km	9,6	10,0
ML		ML		2,4	2,5
ravnina 1	smer	nodal plane 1	strike	228	253
	naklon		dip	71	60
	premik		rake	24	42
ravnina 2	smer	nodal plane 2	strike	130	139
	naklon		dip	67	55
	premik		rake	159	167
P	smer	P	strike	358	15
	naklon		dip	2	3
T	smer	T	strike	90	109
	naklon		dip	30	50
število opazovalnic		number of stations		21	15



**Slika 2.** Žariščna mehanizma potresov 11. 5. 2004 ob 18:12 UTC in 18. 8. 2007 ob 10:44 UTC.

**Figure 2.** Focal mechanisms for 11 May 2004 at 18:12 UTC and 18 August 2007 at 10:44 UTC earthquakes.

navpičen prelom dinarske ali prečno dinarske smeri s pretežno vodoravnim premikom. Zaradi simetričnosti sevalne funkcije točkovnega potresnega izvora sta možni dve usmeritvi prelomne ploskve, in sicer SZ-JV ali JZ-SV. Ker pa so žarišča relociranih potresov nastajala na ploskvi v smeri SZ-JV (približen azimut  $S129^{\circ}V$ ), ta smer določa usmeritev prelomne ploskve in desni zmik ob njej.

## Sklep

Za izračun potresne nevarnosti nekega območja je nujno poznavanje aktivnih prelomov v Zemljini notranjosti. Do velikosti preloma, njegove usmerjenosti in smeri deformacij ob prelomni ploskvi se ne moremo dokopati 'z lopato', temveč v ta namen izkoristimo že sproščeno in zabeleženo potresno aktivnost tega območja. Zapisi potresov nosijo informacijo o tem, kje se je potres zgodil, kaj se je v žarišču potresa dogajalo in kakšno pot je potresno valovanje prepotovalo. Z natančno določitvijo lege žarišč v prostoru se nam razkrijejo aktivni segmenti prelomov v obravnavanem časovnem obdobju, njihova velikost in usmerjenost. Poznavanje žariščnih mehanizmov pa prispeva informacijo o smeri deformacij v žariščnem območju.

Prostorska umestitev 246 potresov, ki so nastali v bližini Litije, zariše skoraj navpičen potresno dejaven del preloma na globini od 6 do 13 km. Nadžarišča potresov so na dolžini 6 km in širini 2,5 km razpotegnjena vzdolž smeri SZ-JV. Žariščna mehanizma izračunana za dva močnejša potresa obravnavane skupine potresov podajata desnozmičen žariščni mehanizem z manjšo komponento narivanja in sta skladna s prostorsko porazdelitvijo žarišč potresov.

## Literatura

ARSO (Agencija Republike Slovenije za Okolje), 1998-2008, Baza podatkov za potrese na ozemlju Slovenije od 1998 do novembra 2008, Urad za seizmologijo in geologijo, Ljubljana.

- Lienert, B. R., 1994. HYPOCENTER 3.2 - A Computer program for locating Earthquakes Locally, Regionally and Globally, Hawaii Institute of the Geophysics and Planetology, 70 str., Honolulu.
- Michelini, A., Živčić, M., and Suhadolc, P., 1998. Simultaneous inversion for velocity structure and hypocenters in Slovenia, *Journal of Seismology*, 2(3), 257-265.
- Vidrih, R., (ur.), 2006. Državna mreža potresnih opazovalnic Seismic network of Slovenia, Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo, Ljubljana (in Slovenian and English), 287str.
- Waldhauser, F., 2001. hypoDD - A Programme to Compute Double-Difference Hypocenter Locations, U. S. Geol. Surv. Open File Rep. 01-113, 25 str.
- Waldhauser, F., and W. L. Ellsworth, 2000. A double-difference earthquake location algorithm: Method and application to the northern Hayward fault, *Bull. Seism. Soc. Am.* 90, 1353-1368.
- Živčić, M., Bondár, I. and Panza, G.F., 2000. Upper Crustal Velocity Structure in Slovenia from Rayleigh Wave Dispersion. *Pure Appl. Geophys.*, Vol. 157, 131-146.

# POTRESI PRI PIVKI SEPTEMBRA IN OKTOBRA 2008

## EARTHQUAKES IN THE PIVKA REGION IN SEPTEMBER AND OCTOBER 2008

Milka Ložar Stopar, Mladen Živčić, Polona Zupančič

### **Povzetek**

V septembru in oktobru 2008 so seizmografi državne mreže potresnih opazovalnic Urada za seizmologijo in geologijo, Agencije Republike Slovenije za okolje zabeležili večje število potresov pri Pivki. Najmočnejši potres je imel lokalno magnitudo  $M_{LV} = 3,0$ . Za ta potres smo zbrali podatke o prvih premikih vzdolžnih valov in določili žariščni mehanizem. Podajamo tudi potresno dogajanje tega območja v preteklosti.

### **Abstract**

In September and October 2008 the digital seismic network of the Republic of Slovenia recorded 38 events from the epicentral area near Pivka (SW Slovenia). The strongest event with  $M_{LV} = 3,0$  and intensity V EMS-98 occurred on 21 October 2008, 08:12 UTC. The focal mechanism for the main event was determined from the first arrivals on 20 stations as oblique dextral strike-slip on a fault of Dinaric direction. A list of past earthquakes in the region is also given.

### **Uvod**

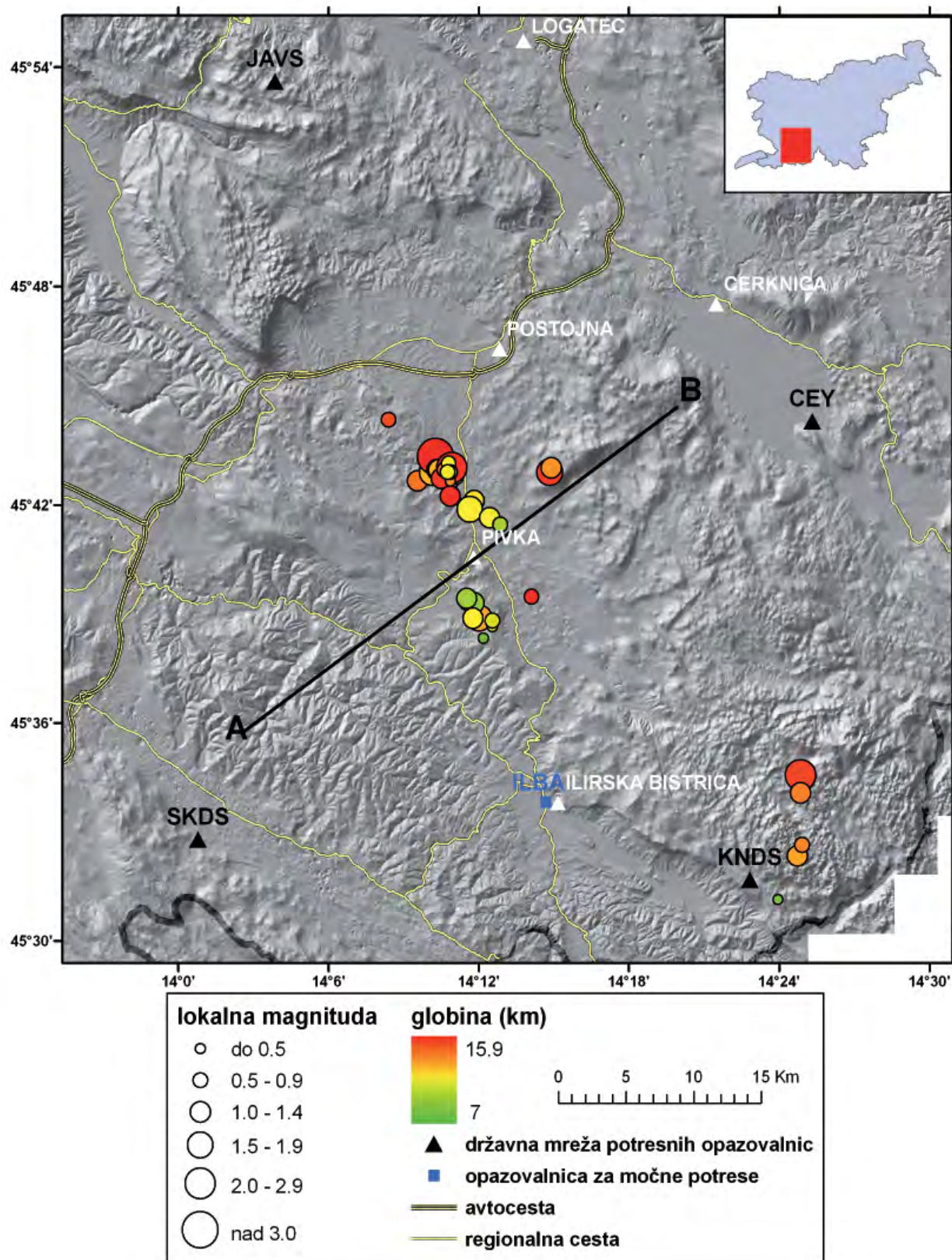
Seizmografi državne mreže potresnih opazovalnic Urada za seizmologijo in geologijo, Agencije Republike Slovenije za okolje so v septembru in oktobru 2008 zabeležili povečano potresno dejavnost v okolici Pivke. Najmočnejša potresa sta bila 21. oktobra ob 10. uri in 12 minut ter naslednjega dne ob 20. uri in 21 minut po lokalnem času. Prvemu smo določili magnitudo 3,0 in drugemu 2,1. Oba so prebivalci širšega območja Primorske in Notranjske tudi čutili. Najmočnejšemu potresu smo določili intenziteto V. stopnje po lestvici EMS. Znano je, da so se v preteklosti tu že dogajali močnejši potresi, vsaj pet jih je doseglo VI. stopnjo po lestvici EMS. Potresu 21. 10. 2008 smo izračunali žariščni mehanizem, ena od dobljenih ravnin sovпада s smerjo dinarskih struktur in je verjetna prelomna ploskev.

### **Lokacije in magnitude potresov**

V okolici Pivke smo od 20. septembra do 28. oktobra 2008 zabeležili 38 potresov. Z že uveljavljenimi postopki (Cecić in sod., 2008) smo določili osnovne potresne parametre (koordinati nadžarišča, žariščno globino in žariščni čas). Njihova lokalna magnituda  $M_{LV}$  je bila od 0,2 do 3,0. Koordinati nadžarišča smo opredelili iz časov prihodov vzdolžnega (Pg) in prečnega (Sg) valovanja na potresno opazovalnico. Žariščni čas je čas, ko je potres nastal. Potrese smo locirali s programom HYPOCENTER, z uporabo povprečnega hitrostnega modela za ozemlje Slovenije (Živčić in sod., 2000). Lokalno magnitudo  $M_{LV}$  potresov smo opredelili iz največje hitrosti navpične komponente nihanja tal (A/T v nm/s) na slovenskih opazovalnicah po enačbi:  $M_{LV} = \log(A/T) + 1,52 \log D - 3,2$ , kjer je D oddaljenost nadžarišča v km.

Območje, na katerem je nastal ta niz potresov, sega od približno  $45,6^\circ$  do  $45,8^\circ$  severne zemljepisne širine in od  $14,1^\circ$  do  $14,3^\circ$  vzhodne zemljepisne dolžine. Iz karte (slika 1) razberemo, da nadžarišča večine potresov lahko omejimo na dve območji. Položaj nadžarišč potresov v obeh grupah nakazuje smer severozahod – jugovzhod, kar sovпада s smerjo dinarskih struktur (slika 6), (Poljak, 2000).

Natančnost opredelitve potresnih količin je odvisna od kakovosti in števila potresnih zapisov, porazdelitve potresnih opazovalnic in oddaljenosti najbližje opazovalnice od žarišča ter od po-



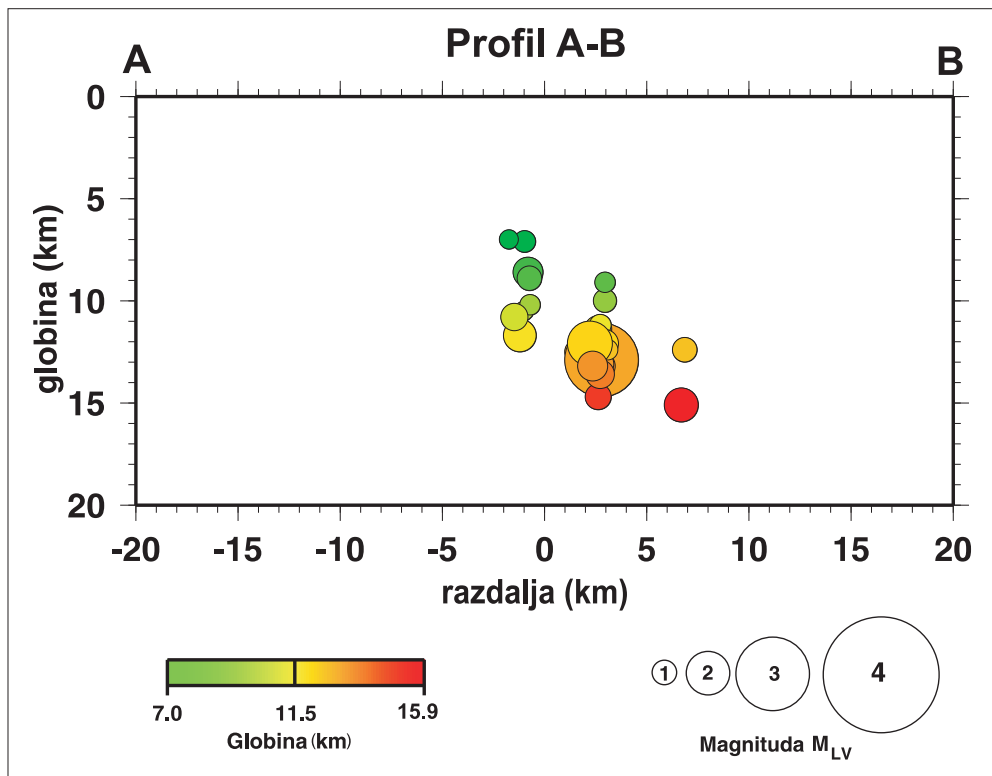
**Slika 1.** Karta nadžarišč (epicentrov) potresov pri Pivki v septembru in oktobru 2008. Črta A-B označuje lego profila, ki je prikazan na sliki 2. Imena opazovalnic: JAVS – Javornik, CEY – Cerknica, SKDS – Skadaščina, KNDS – Knežji dol, ILBA - Ilirska Bistrica.

**Figure 1.** Earthquake epicenters recorded in September and October 2008 in Pivka region. The line A-B shows the position of the profile shown in Figure 2. Seismic stations: JAVS – Javornik, CEY – Cerknica, SKDS – Skadaščina, KNDS – Knežji dol, ILBA - Ilirska Bistrica.

znavanja globinskega hitrostnega modela. Za opredelitev lege nadžarišča so potrebni zapisi vsaj treh opazovalnic, za zanesljivo opredelitev globine žarišča pa še zapis vsaj ene opazovalnice, ki od žarišča ni oddaljena več kot znaša globina. Tako je natančnost lege žarišča potresov večja, če imamo zapise iz neposredne bližine v različnih geografskih smereh.

Obravnavano območje potresov (slika 1) na oddaljenosti okoli 20 km obkrožajo v različnih smereh najbližje opazovalnice ILBA (Ilirska Bistrica), CEY (Cerknica), JAVS (Javornik) in SKDS (Skadanščina). Najbolj oddaljena opazovalnica, katere podatke smo uporabili, je bila 180 km oddaljena opazovalnica Kog v Slovenskih Goricah (KOGS). Šibkejši potresi so bili zaznani le na najbližjih opazovalnicah.

Potresni sunki so bili neenakomerno časovno razporejeni (slika 4). Nekajdnevna šibka potresna aktivnost se je začela 20. septembra. Nadžarišča potresov so razporejena v približno smeri SZ-JV nekaj km južno od Pivke. Večina (14) potresov je bila 21. oktobra. Žarišča teh potresov so

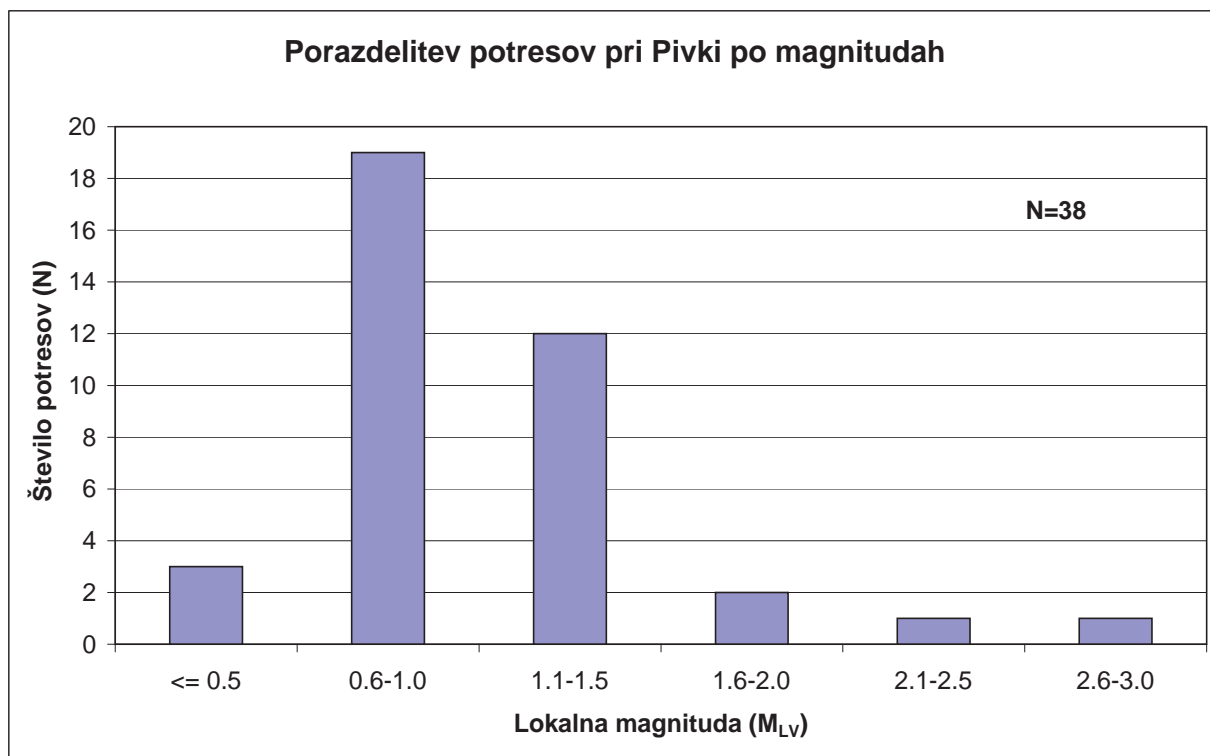


**Slika 2.** Razporeditev potresov iz slike 1 v prerezu A-B. Barva krogov predstavlja žariščno globino, velikost pa magnitudo potresa.

**Figure 2.** Vertical cross sections of hypocenter distribution of earthquakes shown in Fig. 1 along the line A-B. The color of the circles represents the different focal depths and the sizes differ according to the magnitudes of the earthquakes.

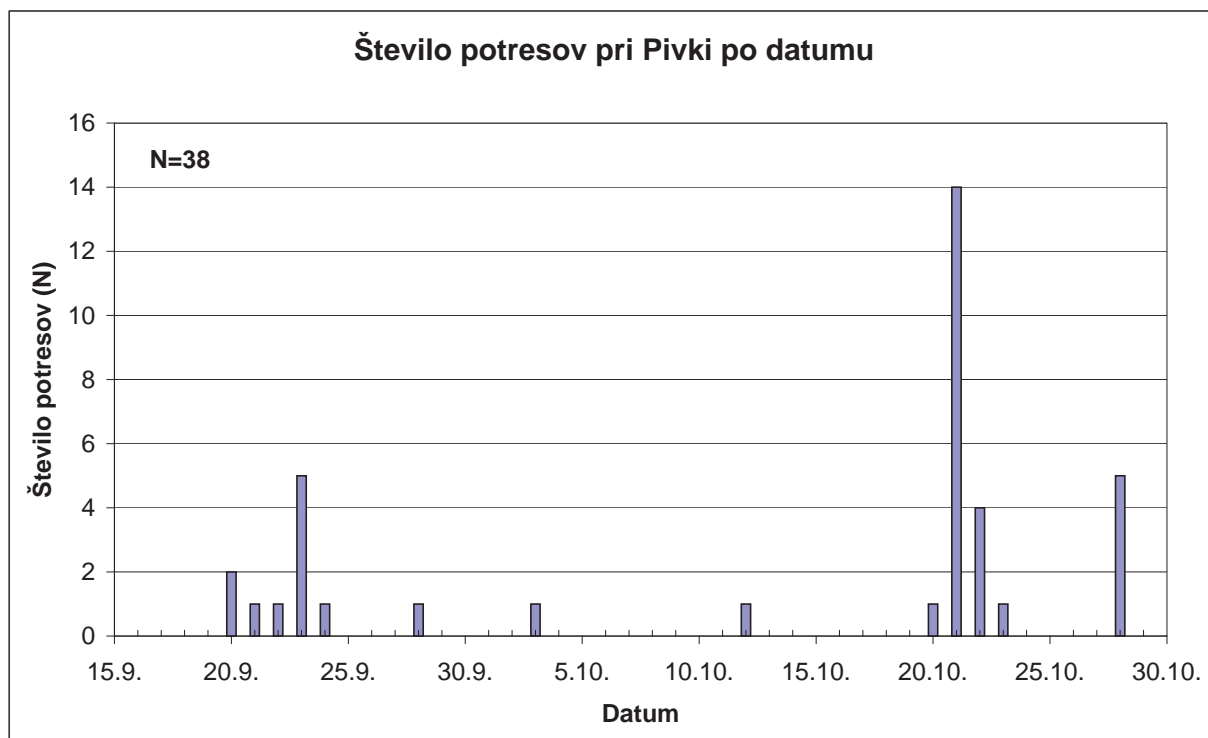
bila severno in severozahodno od Pivke in so razporejena približno v smeri SZ-JV. Ob 10. uri in 12 minut po lokalnem času je nastal tudi najmočnejši potres z magnitudo  $M_{LV} = 3,0$  (slika 3). Prebivalci so čutili učinke V. stopnje po lestvici EMS (Cecić in sod.,2009). Za določitev parametrov tega potresa smo uporabili zapise iz 36 opazovalnic. Vse zapise potresov smo še enkrat skrbno pregledali in odčitali smeri prvih premikov P valovanja. K podatkom državne mreže potresnih opazovalnic Republike Slovenije smo dodali še dostopne podatke iz sosednjih držav: Avstrije (ZAMG), Italije (OGS in DST) in Hrvaške (GZAM), ki smo jih ravno tako sami odčitali iz seizmogramov. Naslednjega dne ob 20. uri in 21 minut po lokalnem času, so seizmografi zabeležili še enega močnejših popotresov z magnitudo 2,1. Tudi tega so čutili prebivalci Pivke in okolice. Podatkov, da bi čutili še kakšnega iz te serije potresov, nimamo. Po oktobru se je potresna aktivnost umirila. Več podatkov o učinkih omenjenih potresov je opisano v članku (Cecić in sod.,2009).





Slika 3. Porazdelitev potresov po magnitudah.

Figure 3. Magnitude distribution of earthquakes.



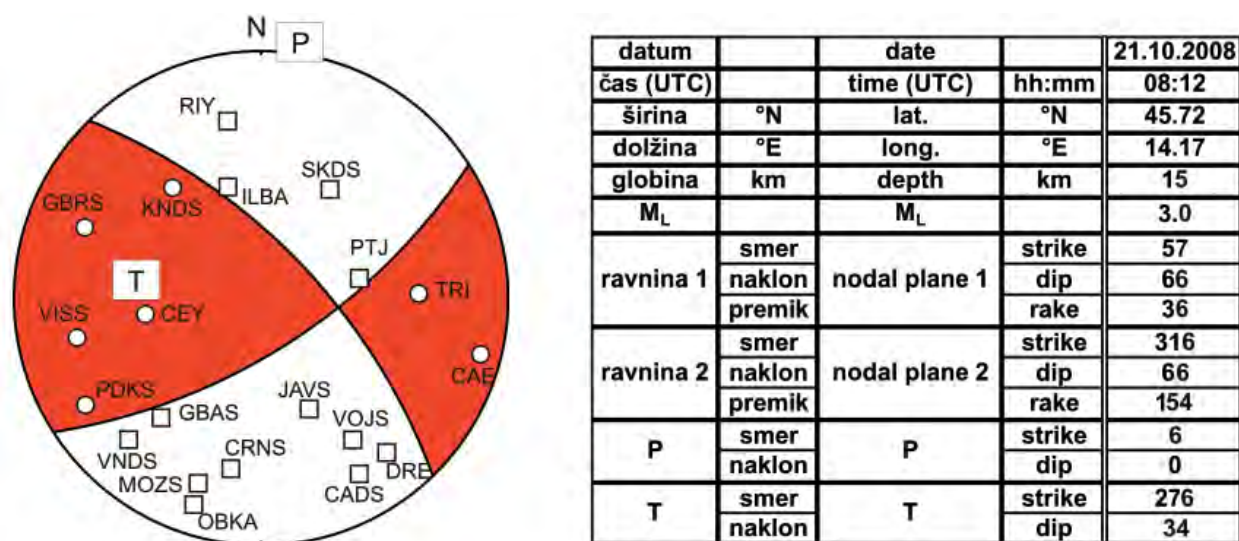
Slika 4. Porazdelitev potresov po dnevih.

Figure 4. Time distribution of earthquakes.

## Žariščni mehanizem

Potres je nenaden dogodek v Zemljini skorji ali plašču, pri katerem napetost v kamninah prekorači trdnost kamnine in pride do pretrga le-te. Pri tem se sprosti energija v obliki potresnega valovanja, ki se razširja skozi Zemljo do njenega površja, kjer ga lahko zaznajo merilne naprave (seizmografi) pa tudi ljudje, če je sproščena energija potresa večja. Pri potresu pod vplivom tektonskih napetosti ob prelomu ena stran relativno zdrsne glede na drugo stran. Ozemlje Slovenije je prepleteno s številnimi prelomi (Poljak in sod., 2000).

Povezavo med geološkimi strukturami, prelomi in potresi nam omogočajo žariščni mehanizmi. Ob potresu se potresno valovanje iz potresnega žarišča razširja v vseh smereh. Lastnosti tega valovanja v različnih smereh so drugačne in odvisne od usmerjenosti preloma in smeri premika ob njem. Mreže potresnih opazovalnic beležijo valovanje, ki se razširja iz potresnega žarišča. Iz teh podatkov seizmologi rutinsko določamo lokacijo nadžarišča, globino žarišča in magnitudo potresa (Cecić in sod., 2008). S skrbno analizo oblik vstopnega dela vzdolžnega in prečnega va-



**Slika 5.** Mehanizem potresa 21.10.2008 ob 08:12 UTC določen iz smeri prvih premikov P valovanja na dvajsetih opazovalnicah.

**Figure 5.** Focal mechanism for 21 October 2008 at 08:12 UTC earthquake from the first arrivals on 20 stations.

lovanja na posameznih potresnih opazovalnicah, je ob zadostnem številu podatkov in njihovi ugodni legi glede na žarišče potresa možno ugotoviti smer prelomne ploskve in smer premika ob njej.

Pri izračunu žariščnih mehanizmov smo si pomagali s programom Focmec (Snoke in sod., 1984). Ta poda množico položajev vrzelnih ravnin, ki ustrezajo odčitanim prvim premikom. Kot končno rešitev smo izbrali tisto, ki je imela os največje napetosti najbolj vodoravno. Tako smo potresu 21. 10. 2008 ob 08:12 UTC določili parametre žariščnega mehanizma, ki so prikazani na sliki 5. Posamezne opazovalnice so predstavljene, glede na smer prvega premika ob prihodu vzdolžnega valovanja, s krogcem za kompresijo in trikotnikom za dilatacijo. Kompresijska kvadranta sta označena z rdečo barvo. P je os največje in T os najmanjše napetosti, kot sta določeni iz rešitve prelomne ploskve. Število uporabljenih podatkov o smeri prvih premikov je bilo 20.

Potresno dogajanje v tem delu Evrope opredeljujeta Afriška in Evropska (Evrazijska) plošča, med njima pa leži manjša Jadranska plošča. Približevanje teh plošč povzroča na območju Slovenije napetost v smeri sever-jug, ki se lahko sprošča kot potresi ob prelomih dinarske (severozahod-jugovzhod) in prečnodinarske (severovzhod-jugozahod) smeri ter ob narivih smeri vzhod-zahod. Raziskano ozemlje leži na severnem deformiranem robu Jadranske plošče in pripada v širšem smislu Zunanjim Dinaridom. Glavne strukture na tem območju so Raški in Idrijski prelom

ter narivi: nariv Trnovskega gozda, nariv Nanosa in Hrušice ter nariv Snežnika (slika 6). Vse strukture so usmerjene v smeri SZ-JV (Jurkovšek in sod., 1996, Poljak, 2000, Poljak in sod., 2000). Raški prelom je desnozmični prelom, njegova trasa je jasno vidna na dolžini približno 50 km od Anhovega do Snežniškega nariva pri Ilirski Bistrici. Prelom je ustvaril nekaj jasno vidnih topografskih struktur kot je npr. ravna dolina reke Raše med Kobdiljem in Štorjami. Prelom je lepo viden v avtocestnem useku v bližini Senožec (Gosar, 2007). Rižnar in sod. (2007) so na podlagi analize in geološke interpretacije vertikalne komponente premikov ponovljenega nivelmanskega poligona potrdili, da je Raški prelom aktiven. Na recentno aktivnost Divaškega in Raškega preloma sklepajo po nižjih hitrostih dviganja točk, ki se nahajajo znotraj vplivne cone omenjenih prelomov. Gosar (2007) je na podlagi opazovanja tektonskih premikov z mehanskimi ekstenziometri v coni Raškega preloma ob vznožju Vremščice pri Košani ugotovil reverzno dvigovanje JZ bloka s povprečno hitrostjo 0,24 mm/leto in levo horizontalno zmikanje s hitrostjo 0,16 mm/leto.

Ravnina 2 iz preglednice na sliki 5 ima približno dinarsko smer in je verjetno prelomna ploskev, ki ustreza legi Raškega preloma. Na slikah 1 in 2 sta jasno vidni dve območji grupiranja potresov: območje severno od Pivke z nekoliko močnejšimi in globljimi žarišči (povprečna globina okoli 13 km), ter območje južno od Pivke s šibkejšimi in plitvejšimi potresi (povprečna globina žarišč okoli 10 km). Čeprav so zaradi oddaljenosti najbližjih opazovalnic napake opredeljevanja žariščnih globin precejšnje, je verjetno, da so potresi v obeh skupinah potresnih žarišč nastali ob Raškem prelomu.

## Potresi na tem območju v preteklosti

Zanimalo nas je, kakšni potresi so se v preteklosti dogajali na tem območju. Leta 1982 je bil objavljen katalog potresov v Sloveniji (Ribarič, 1982), kjer so zbrani vsi takrat znani potresi na

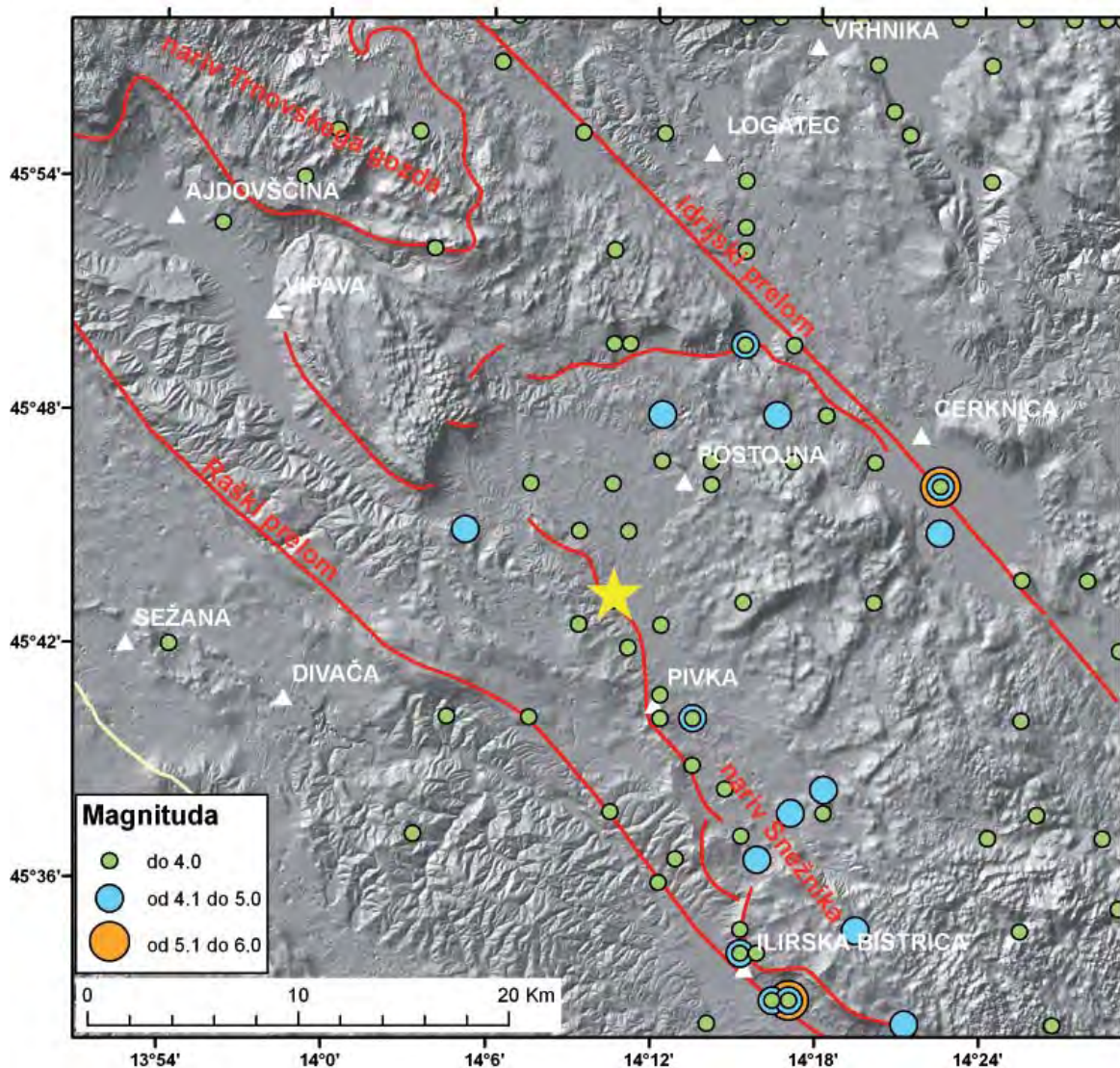
**Preglednica 1.** Potresna zgodovina Pivke z okolico s potresi, ki so dosegli ali presegli V. stopnjo po EMS lestvici.

**Table 1.** Earthquake history of the Pivka region. The table shows earthquakes in the region with intensity V or higher on the EMS scale.

št.	datum			žariščni čas (utc)			zem. širina	zem. dolžina	globina	intenziteta	magnituda
	leto	mesec	dan	h	m	s	°n	°e	km	ems-98	magnituda
no.	year	month	day	hour	minute	second	latitude	longitude	depth	lmax	magnitude
1	1834	2	2	8	2		45,77	14,23	13	V	3,9
2	1902	1	10	19	40		45,67	14,22	13	V-VI	4,3
3	1903	8	22	15	50		45,65	14,22	6	V	3,3
4	1903	9	1	20	0		45,75	14,18	5	V-VI	3,4
5	1903	9	1	20	0		45,75	14,18	5	V-VI	3,7
6	1908	3	1	14	1		45,68	14,20	3	V-VI	3,1
7	1909	11	2	18	50		45,70	14,20		VI	4,1
8	1914	2	11	0	22	43	45,63	14,17	17	V-VI	4,0
9	1915	3	15	21	55	38	45,80	14,20	3	VI	4,1
10	1952	2	23	21	56	23	45,80	14,27	19	VI	4,1
11	1978	11	9	0	30	0	45,71	14,20	10	V	3,5
12	1981	6	28	6	16	27,6	45,72	14,17	9	V	3,9
13	1984	6	18	0	13	44	45,71	14,15	11	V	3,9
14	1989	11	19	23	10	38	45,61	14,21	10	V	3,8
15	1995	5	22	11	16	54,1	45,63	14,28	17	VI	4,4
16	1995	5	22	12	50	31,9	45,64	14,30	15	VI	4,7

ozemlju Slovenije v obdobju 792 do 1981. Ta katalog je posodobljen in dopolnjen s kasnejšimi dogodki (Živčič, 1994 in 2006). Analiza completeness (Živčič, 1994) katalogov pokaže, da so od leta 1690 naprej z veliko verjetnostjo zajeti le potresi z magnitudo večjo ali enako  $M_{LH}=5,0$  in intenziteto sedme stopnje EMS-98. Po letu 1880 so z veliko verjetnostjo zajeti tudi nekoliko šibkejši potresi z magnitudo večjo ali enako  $M_{LH}=3,7$  in intenziteto pete stopnje EMS-98.

Na območju, katerega skrajna točka je od Pivke oddaljena približno 15 km ( $45,6^\circ$  do  $45,8^\circ$  severne zemljepisne širine in  $14,1^\circ$  do  $14,3^\circ$  vzhodne zemljepisne dolžine), je v potresni zgodovini zajetih šestnajst potresov, ki so dosegli ali presegli intenziteto V. stopnje po lestvici EMS, kar pomeni, da so lahko povzročili manjšo škodo (preglednica 1). V katalogu je skupno pet potresov z ocenjeno intenziteto VI. stopnje po EMS lestvici. Med njimi sta časovno najbližja potresa, ki sta se zgodila maja 1995 v jugovzhodni smeri glede na območje potresov v letu 2008. Več o njiju je napisano v članku Potresi v Sloveniji leta 1995 (Vidrih in sod., 1996) in v članku Potresi na Ilirsko-bistriškem (Vidrih in Godec, 2007).



**Slika 6.** Potresi iz kataloga potresov (Živčič, 2006) na širšem območju od leta 567 do 2006. Z rumeno zvezdico je označen najmočnejši potres 21. oktobra 2008 ( $M_{LV} = 3,0$ , intenziteta V EMS-98). Tektonske strukture so povzete po Poljaku (2000).

**Figure 6.** Earthquakes according to earthquake catalogue (Živčič, 2006) from year 567 to 2006. Yellow star denotes the strongest event on 21 October 2008, 08:12 UTC ( $M_{LV} = 3.0$  and intensity V EMS-98). Tectonic structures are taken after Poljak (2000).

Obračnavanim potresom iz leta 2008 bi lahko prostorsko najbližje umestili potresa iz osemde-setih let, ki sta dosegla intenziteto pete stopnje. V vsakem primeru moramo vedeti, da so lokacije potresov, pred izgradnjo moderne mreže potresnih opazovalnic leta 2006 le približne, tako da obstaja verjetnost večjega ali manjšega odstopanja od dejanskega žarišča.

## Literatura

- Agencija RS za okolje, preliminarni seizmološki bilteni za september in oktober 2008, arhiv Urada za seizmologijo in geologijo, Ljubljana.
- Cecić, I., Čarman, M., Jesenko, T., Ložar Stopar, M. in Živčič, M., 2008. Potresi v Sloveniji leta 2007 (ur. R. Vidrih), Potresi v letu 2007, ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 24-47, Ljubljana.
- Gosar, A. 2007. Monitoring of micro-deformations along Idrija and Raša faults in W Slovenia. *Geologija* 50/1, 45-54.
- Grünthal, G. (ur.), 1998b. European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98), <http://www.gfz-potsdam.de/portal/-?part=binary-content&id=1883158&status=300>
- Jurkovšek, B., Toman, M., Ogorelec, B., Šriбар, L., Drobne, K., Poljak, M., Šriбар, L., 1996. Formacijska geološka karta južnega dela Tržaško-Komenske planote. Kredne in paleogenske karbonatne kamnine 1:50 000. Geološki zavod Ljubljana, IGGG Ljubljana, 143 str., Ljubljana.
- Poljak, M., 2000. Strukturno tektonska karta Slovenije v merilu 1:250.000, Tiskana karta. Geološki zavod Slovenije, Ljubljana.
- Poljak, M., Živčič, M., Zupančič, P., 2000. The seismotectonic characteristics of Slovenia, *Pure and Applied Geophysics* 157, 37-55., Basel.
- Ribarič, V., 1982. Seizmičnost Slovenije. Katalog potresov (792 n. e.-1981 n. e.). Seizmološki zavod SR Slovenije, 171 str., Ljubljana.
- Rižnar, I., Koler B., Bavec M., 2007. Recentna aktivnost regionalnih geoloških struktur v zahodni Sloveniji. *Geologija* 50/1, 111-120.
- Snoke, J.A., Munsey, J.W., Teague, A.G. in Bollinger, G.A., 1984. A Program for Focal Mechanism Determination by the Combined Use of Polarity and SV-P Amplitude Ratio Data, *Earthquake Notes*, 55, No. 3, 15 str.
- Vidrih, R., Godec, M., 2007. Potresi na Ilirskobistriškem, Potresi v letu 2005 (ur. R. Vidrih), ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 105-123, Ljubljana.
- Vidrih, R., Cecić, I., Godec, M. in M. Živčič, 1996. Potresi v Sloveniji leta 1995, (ur. R. Vidrih), Potresi v letu 1995, Uprava RS za geofiziko, 1-80, Ljubljana.
- Znanstveno raziskovalni center Slovenske akademije znanosti in umetnosti, 2005. DMR 25, Ljubljana.
- Živčič M., 1994. Katalog potresov (1992), Priloga k: Fajfar P, Lapajne J, Breška Z. in sod. Verjetnostna ocena potresne nevarnosti na lokaciji Nuklearne elektrarne Krško, Revizija 1, Končno poročilo. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo, Inštitut za konstrukcije, potresno inženirstvo in računalništvo, Ljubljana.
- Živčič M., 2006. Katalog potresov, Interno poročilo. Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo, Ljubljana.
- Živčič, M., Bondár, I. in Panza, G.F., 2000. Upper Crustal Velocity Structure in Slovenia from Rayleigh Wave Dispersion. *Pure Appl. Geophys.*, Vol. 157, 131-146.

# SEIZMIČNO OPAZOVANJE PREGRAD

## SEISMIC DAM MONITORING

Vladimir Mihailov, Dragi Dojčinovski, Matjaž Godec, Renato Vidrih, Peter Sinčič

### **Povzetek**

*Močni potresi vedno porajajo vprašanja, na katera pogosto ni moč dati točnih odgovorov. To še posebej velja v primeru velikih pregrad, kjer je postavljenih premalo instrumentov, tako za beleženje potresov, kot za beleženje odziva pregrade.*

*Brez ustreznega zapisa ni možno opraviti primerjave v potresu poškodovane pregrade s predpostavljenimi projektnimi parametri in kriteriji; prav tako pa je tudi otežen sprejem racionalnih odločitev za sanacijo in ojačitev konstrukcije. Kadar potresi ne povzročajo velikih in vidnih poškodb, je za oceno uporabnosti konstrukcije potrebno opraviti posebne meritve z zahtevnimi pregledi konstrukcije.*

### **Abstract**

*Strong earthquakes always raise questions that cannot be answered. This is particularly true in case of large dams where not enough instruments had been installed to measure both the earthquake and the dam's response to it.*

*The comparison between earthquake damaged dams with predicted parameters and criteria of the project is not possible without sufficient records. Furthermore, the insufficiency of records makes it difficult to adopt rational decisions for repairing and strengthening the construction. When earthquakes do not cause any major or visible damage special investigations need to be performed following the required assessment of construction in order to evaluate the usability of construction.*

## **Uvod**

Poznavanje podatkov o gibanju tal ob potresu na ožjem območju, kjer leži konstrukcija, in poznavanje obnašanja konstrukcije sta temeljnega pomena za oceno potresne ogroženosti. To velja tako za določitev potresnih parametrov in kriterijev, kot tudi za vse ostale dinamične preiskave. Brez teh podatkov so vse nadaljnje preiskave in analize zasnovane le na predpostavkah. Najboljši način za reševanje teh problemov je postavitev mreže večjega števila instrumentov, tako za beleženje gibanja tal kot tudi za beleženje odziva konstrukcije v primeru potresa.

V potresnem inženirstvu je vse večja potreba po podatkih, ki jih lahko pridobimo s mrežami instrumentov za beleženje močnih potresov. Tako pridobljeni podatki so bistveni pri aktivnostih za zmanjševanje potresne ogroženosti in tudi za zmanjševanje poškodb tako opazovanih konstrukcij pri morebitnih katastrofalnih potresih. Pridobljeni rezultati so enako pomembni za teoretične in sploh bazične raziskave na področju potresnega inženirstva kot tudi za uporabne raziskave na tem področju.

V zadnjem času je seizmološko opazovanje konstrukcij velikega pomena, in to ne brez razloga – tako dobljeni podatki bistveno pripomorejo k povečanju varnosti objektov ob potresu. Poleg tega pa nam ti podatki predstavljajo osnovo za pripravo zakonodaje na tem področju. Na ta način je omogočeno kakovostnejše projektiranje potresno odpornejših konstrukcij, kar neposredno vpliva na manjšanje potresne ogroženosti.

Prispevek je posvečen problemom seizmičnega opazovanja pregrad, zato so v nadaljevanju obravnavane le teme, vezane na opazovanje pregrad. Podobno pozornost ponekod po svetu posvečajo tudi drugim velikim inženirskim objektom (mostovi, vodni rezervoarji, objekti v sklopu jedrskih elektrarn, izjemno pomembni objekti ter objekti, ki se gradijo v večjih serijah).



*Slika 1. Pogled na pregrado HE Ožbalt (foto: P. Zupančič).*

*Figure 1. View on Ožbalt dam (Photo: P. Zupančič).*

## Splošne zahteve potresnega opazovanja

Potresi so po načinu svojega nastanka in po svojem delovanju na objekte kompleksen pojav, ki vsebuje potencialno nevarnost, da v svojem zelo kratkem trajanju povzroči porušitve objektov ali spremembe obliča zemlje velikih razmer. Potrebno je poudariti, da je ena največjih potencialnih nevarnosti nastanka škode velikih razsežnosti pri potresih prav porušitev pregradnih objektov. Takšna porušitev ima še večje posledice, če so ogrožena gosto naseljena in visoko urbanizirana območja.

Stalna nevarnost nastanka potresa od nas zahteva, da s preventivnimi aktivnostmi pričnemo že v fazi načrtovanja in projektiranja objekta. Učinki preventivnih in zaščitnih ukrepov so učinkovitejši in racionalnejši od tistih, ki bi bili uporabljeni pri odstranjevanju posledic učinkov potresa.

Velika pregrada je posebej pomemben element pri ocenjevanju potresne ogroženosti širšega območja pregrade, kot tudi pri opredeljevanju potresne ogroženosti območja, kjer bo pregrada postavljena. Mnogo pregrad po svetu je postavljenih na območjih velike potresne aktivnosti ali v neposredni bližini področij, kjer so v preteklosti že bili močni potresi. Pri tem je potrebno upoštevati možnost nastanka ne le naravnih temveč tudi induciranih potresov. Posebej je potrebno poudariti nevarnost nastanka hudih posledic zaradi popolne ali delne porušitve pregrad zaradi potresa, kot tudi zaradi možnosti nastanka lokalnega inducirane potresa med polnjenjem akumulacije.

Izmed mnogih poškodovanih pregrad zaradi »naravnih« potresov naj omenimo le pregrado Habgen v Montani (ZDA) leta 1958, pregrado Eklutna na Alaski (ZDA) leta 1964, pregrado Van Norman v Kaliforniji (ZDA) leta 1971 in pregrado Shih Kang na Tajvanu leta 1999.

Obsežne so bile tudi poškodbe pregrad zaradi inducirane seizmičnosti – to je zaradi potresov, ki nastanejo kot posledica polnjenja akumulacije. Nekaj takih primerov je nastalo na območjih,

za katere so strokovnjaki menili, da so le malo ali pa umirjeno potresno aktivna. Navedimo le tri najznačilnejše primere:

- (1) pregrada na jezeru Kariba v Centralni Afriki,
- (2) pregrada Koyna v Indiji in
- (3) pregrada Hseng Feng Kiang na Kitajskem.

Pri teh pregradah so najmočnejši potresi dosegli tudi magnitudo 6,4 in povzročili velike poškodbe na konstruktivnih delih. Na betonski težnostni pregradi Koyna so se pojavile obsežne in globoke razpoke, ki so za sanacijo zahtevale veliko časa in materialnih sredstev. Podoben je bil tudi primer na pregradi Hseng Feng Kiang, na kateri je potres magnitude 6,1 leta 1962 na gornjem delu pregrade povzročil razpoke dolge 82 m.

**Preglednica 1.** Prva mreža akceleroagrafov, instaliranih v Sloveniji do leta 1975.

**Table 1.** First network of accelerographs installed in Slovenia before 1975.

lokacija	leto postavitve instrumenta	število instrumentov
Maribor – Zavod za urbanizem	1972	1
Laško – "Turistbiro"	1972	1
Tolmin - Občina	1972	1
Ilirska Bistrica – Gozdno gospodarstvo	1972	1
Ljubljana –Zavod za raziskavo materialov in konstrukcij	1973	1
Ljubljana –Samski dom "SNAGA"	1973	1
Ljubljana – Vrhnikova 10	1973	1
Krško – Lokacija na območju sedanje Nuklearne elektrarne Krško	1973	1
Brežice – Občina	1973	1
SKUPAJ		9

**Preglednica 2.** Postavljeni akceleroagrafi na območju Slovenije do leta 1992.

**Table 2.** Accelerographs installed in Slovenia before 1992.

lokacija	leto postavitve instrumenta	število instrumentov	demontaža instrumentov
Ljubljana –Zavod za raziskavo materiala in konstrukcij	1973	1	1992
Ljubljana – IMFIM – Fakulteta za matematiko	1976	1	1992
Laško – Turistbiro	1972	1	1992
Breginj – Tovarna igel	1976	1	1992
Tolmin – Objekt občine	1972	1	1992
Brežice – Objekt občine	1973	1	1992
Krško – Lokacija na območju sedanje Nuklearne elektrarne Krško	1978	1	1992
Kobarid – Osnovna šola	1976	1	1992
Robič – Objekt carine	1976	1	1992
HE "Fala"	1989	2	2008
HE "Zlatoličje"	1989	2	2008
HE "Doblar"	1989	2	2006
HE "Solkan"	1989	2	2006
HE "Moste"	1989	4	2006
SKUPAJ		23	





*Slika 2. Pogled na pregrado HE Vuhred (foto: P. Zupančič).*

*Figure 2. View on Vuhred dam (Photo: P. Zupančič).*

Zgornji primeri nalagajo potrebo po podrobnem preučevanju seizmičnosti lokacije pregrade. To pomeni, da je poleg statistične analize obstoječih (instrumentalnih, zgodovinskih,..) podatkov o potresih ter terenskem (tektonsko, geološko,..) preučevanju terena, nujno tudi instrumentiranje pregrade in njene okolice. V primeru ocene možnosti nastanka inducirane seizmičnosti je potrebno postaviti mrežo potresnih opazovalnic že pred začetkom polnjenja in spremljati seizmičnost med samim polnjenjem akumulacije.

Za določitev odziva pregrade je potrebna postavitev ustreznega števila instrumentov na pregradi in v njeni neposredni okolici. Število instrumentov je odvisno od več faktorjev, in sicer od seizmotektonskih karakteristik območja, pogojev temeljenja, tipa in namena pregrade, materiala pregrade,... Zato ni moč kar na splošno določiti števila potrebnih instrumentov. Zaželeno je, da se izdelajo predhodne študije in analize za določitev tako optimalnega števila postavljenih instrumentov kot tudi mest postavitve.

Že leta 1972 je IZIIS (*Institut za zemljotresno inženirstvo i inženirska seizmologija*) iz Skopja na območju tedanje Jugoslavije pričel s postavitvijo mreže instrumentov za beleženje močnih potresov. Na začetku je bilo v tej mreži postavljenih 100 instrumentov (akceleroграфи SMA-1 – Kinometrics, ZDA). Kasneje se je to število kontinuirano povečevalo in na koncu osemdesetih let prejšnjega stoletja doseglo nekaj več kot 300 instrumentov. Ti instrumenti so bili postavljeni:

- a. na osnovni hribini,
- b. na karakterističnih tleh in
- c. na različnih tipih konstrukcij.

Rezultati, ki so bili pridobljeni s to mrežo, so v celoti upravičili vsa pričakovanja. Tako pridobljeni podatki (registracije, spektri,..) so bili neprecenljive vrednosti in so jih uporabili pri pripravi ustreznih predpisov kot tudi na splošno pri projektiranju potresno odpornih konstrukcij.

Potresno opazovanje pregrad je še vedno pereč problem v potresnem inženirstvu. Rezultati obdelanih proženj akceleroграфov zaradi potresov dajejo velik prispevek eksperimentalnim in

analitičnim preučevanjem dinamičnega obnašanja pregrad. Vse to neposredno vpliva na optimizacijo projektiranja in izgradnjo potresno odpornih pregrad.

Glede na vse navedeno je bil v okviru meddržavnega bilateralnega sodelovanja med Makedonijo in Slovenijo predlagan in realiziran projekt »Seizmološko opazovanje konstrukcij v odvisnosti od geoloških pogojev«. V projektu smo na slovenski strani sodelovali Geološki Zavod Slovenije in MOP – Agencija RS za okolje (Urad za seizmologijo in geologijo), na makedonski strani pa IZIIS iz Skopja.

V nadaljevanju prispevka so prikazane nekatere svetovne pa tudi naše izkušnje na področju seizmičnega opazovanja ter posamezni rezultati in zaključki.

## Seizmično opazovanje pregrad

Seizmološko opazovanje hidrotehničnih objektov, posebno pregrad, predstavlja najracionalnejšo obliko in metodo zaščite pred učinki potresov. Podatki, ki se pridobijo z registracijo potresov, so temeljni podatki za določitev potresnih parametrov in kasneje pogojev za projektiranje. Poleg tega pa brez ustreznih registracij ni možno primerjati obnašanja objekta (pregrade) v času potresa s projektnimi potresnimi parametri. Prav tako tudi ni moč sprejeti odločitve za nadaljnjo varno uporabo ali nujnost sanacije pregrade takoj po potresu.

Iz navedenega je priporočeno izvajanje potresnega opazovanja na vseh hidrotehničnih objektih, še posebej na visokih pregradah, ki so zgrajene na potresno aktivnih območjih.

Skupno število instrumentov na pregradah po svetu je majhno. Potrebno bo še precej časa za popolno oceno obnašanja konstrukcij – odziva pregrad ob potresu. Zato je zelo pomembno, da se iz tega relativno majhnega števila instrumentov dobi največji možni nabor informacij. Zato je potrebno vložiti še večje napore in pridobiti razumevanje investitorjev, da se število instrumentov na obstoječih pregradah poveča. Povečanje števila je posebej pomembno za pregrade, zgrajene po najnovejših tehnologijah in metodah projektiranja. Tehnično in ekonomsko je to upravičeno. Stroški instrumentiranja so zanemarljivi glede na celotno investicijo. Po drugi strani pa nam tako postavljeni instrumenti omogočajo pridobitev osnovnih podatkov o obnašanju pregrade ob potresu in sprejemanje odločitev o nadaljnjem izkoriščanju ali potrebi za sanacijo neposredno po potresu. Istočasno tako pridobimo realne podatke o učinkovitosti novih materialov ali metod projektiranja. Žal je za potresno inženirstvo potres edini pravi eksperiment.

Zaželeno je, da so izhodni podatki instrumentov v takšni obliki, da se iz njih na licu mesta, neposredno po potresu, pridobi informacija o moči potresa in odzivu konstrukcije. Na osnovi tega je moč sprejeti odločitev o nadaljnji uporabi pregrade. Na primer, če je pregrada projektirana za projektni pospešek 0,25 g, a je bila največja amplituda zabeleženega pospeška manjša od te vrednosti, potem se lahko z veliko zanesljivostjo sprejme odločitev o nadaljnji uporabi brez posebnih potrebnih ojačitvenih ali sanacijskih del. V kolikor pa je bil registriran pospešek večji od 0,25 g, pa je priporočljivo, tudi kadar ni vidnih znakov poškodovanosti pregrade, da se naredi posebna študija in se preveri velikosti sil in deformacij pregrade zaradi takšne potresne sile.

V zadnjih treh desetletjih je bil narejen velik napredek v poznavanju učinkov potresa na betonske in zemeljske pregrade. Razvoj instrumentov za točno beleženje realnih premikov zaradi potresa kot tudi napredek v računalniško analitičnih postopkih vodi k boljšim ocenam potresnega odziva pregrad. Mnogo naporov je bilo vloženih v pripravo analitičnih in numeričnih metod za simuliranje odziva pregrade na potres, ki je v splošnem predstavljen z odgovarjajočim pospeškom. Bistven napredek je tudi pri opredeljevanju izpostavljenosti konstrukcije potresu.

Menimo, da je neobhodno, da projektanti bolje poznajo rezultate in pomen zabeleženih podatkov – realnega obnašanja pregrade pri delovanju potresnih sil. Le tako bodo lahko te podatke uporabljali v vsakodnevni praksi. Na ta način bomo pomagali pripraviti pogoje za čim racionalnejši pristop pri potresno odpornem projektiranju pregrad.

## Zaščita pred potresi – tehnični predpisi

Tehnični predpisi in standardi predstavljajo eno od osnovnih mer zaščite pred potresi. Obstaja več takšnih predpisov. Vendar, na žalost, le ti ne morejo zajeti vseh področij in faz projektiranja in planiranja, ki lahko dvignejo nivo zaščite pred potresi. Zaradi specifične narave nastanka potresa in njegovega delovanja na objekte, predpisi ne morejo neposredno zajeti vseh vplivov potresa, od katerih je neposredno odvisno obnašanje, stabilnost in tudi ranljivost objekta. Zato je potrebno, poleg upoštevanja tehničnih predpisov kot mere zaščite iskati tudi nove vsebine in oblike zaščite pred potresi v vseh področjih tehničnih strok.

Potresno opazovanje pregrad je relativno zapleten proces predvsem zaradi nezadostnega poznavanja narave samega potresa in obnašanja objektov pod njegovim vplivom. V več državah obstajajo predpisi in normativi za potresno opazovanje konstrukcij.

V bivši Jugoslaviji je bil v začetku leta 1988 sprejet Pravilnik o tehničnih normativih za seizmično opazovanje visokih pregrad (UL SFRJ 6/1988), ki je še vedno v veljavi v nekaterih državah, ki so bile v sestavi bivše SFRJ. Koncem leta 1999 je bil v Sloveniji sprejet Pravilnik o opazovanju seizmičnosti na območju velike pregrade (UL RS 92/99), s čimer je prenehala veljavnost prejšnjega pravilnika.

Obveznost iz Pravilnika SFRJ je bilo opazovanje (v tem primeru instrumentiranje) širšega območja pregrade in akumulacije kot tudi same pregrade. To opazovanje je sestavljeno iz dveh delov:

- a) potresno opazovanje inducirane seizmičnosti in
- b) potresno opazovanje za beleženje dinamičnega obnašanja tal, temeljev in telesa pregrade ob močnem potresu.

Za zagotavljanje teh informacij, ki so po naravi različne, so potrebne preiskave in opazovanje pregrad s pomočjo:

- a) lokalne mreže potresnih opazovalnic in
- b) instrumentov za beleženje močnih potresov – akceleroagrafov.

Lokalna seizmološka mreža je sestavljena iz najmanj treh premičnih potresnih opazovalnic, ki so razporejene tako, da pokrivajo opazovano območje tako, da omogočajo vrednotenje lokalne potresne aktivnosti, lociranje nadžarišč in določitev energetskih karakteristik potresa. Delo takšne mreže se mora začeti vsaj dve leti pred pričetkom izgradnje pregrade in nadaljevati do zaključka polnjenja oziroma še leto dni po pričetku obratovanja. Zaželeno je, posebej na območjih velike potresne aktivnosti, da takšna mreža deluje kot stalna mreža – brez prekinitve. Pri tem opazovanju je zelo pomembno obdobje polnjenja akumulacije glede na možnost nastanka induciranih lokalnih potresov (zaradi porušitve naravnega stanja ob spremembi napetostnega stanja v tleh).

Zaradi specifičnih pogojev lokacij posameznih pregrad (geološke, tektonske in seizmološke razmere), tipa konstrukcije pregrade, velikosti akumulacije, kot tudi zaradi resnosti posledic, ki lahko nastanejo zaradi poškodb pregrade, se zahtevajo podrobne študije o optimalnem številu in lokaciji instrumentov za beleženje močnih potresov.

Dosedanje izkušnje po svetu nam govorijo, da je inducirana seizmičnost pri polnjenju akumulacij večinoma v neposredni povezavi z velikimi pregradami (višjimi od 100 m). Medtem pa predstavljajo manjše pregrade, glede na njihovo veliko število, relativno visok potencial nevarnosti. Iz teh razlogov se predlaga, da je lokalna mreža potresnih opazovalnic vezana le na zelo visoke pregrade, mreža instrumentov za beleženje močnih potresov pa na vse pregrade na potresno aktivnih območjih. Zato bodo v nadaljevanju prikazani le nekateri od splošnih principov za instrumentiranje pregrad z instrumenti za beleženje močnih potresov.

Potresno opazovanje pregrade in akumulacije se načrtuje, projektira, izvaja in organizira posebej za vsak objekt. Pri tem je obvezno, da se projekt opazovanja seizmičnosti izdelava na osnovi zahtev pravilnika in morebitnih podrobnejših raziskav lokacije pregrade.

## Projekt potresnega opazovanja

Za učinkovito in zanesljivo spremljanje seizmičnosti lokacije pregrade in dinamičnega obnašanja same pregrade je potrebno izdelati poseben projekt izvajanja potresnega opazovanja pregrade.

Osnovni parametri za izdelavo takšnega projekta so razdeljeni v dve skupini:

- a) globalni parametri, ki jih definira pravilnik in
- b) parametri, ki so opredeljeni z lokacijo in samo konstrukcijo pregrade.

Prva skupina parametrov je opredeljena v navedenem Pravilniku. Kot taki morajo biti upoštevani v projektu potresnega opazovanja.

Parametri druge skupine se definirajo za vsako pregrado posebej in so odvisni od:

- a) režima seizmičnosti v mikro in makro regiji,
- b) dinamičnih karakteristik lokalnih tal,
- c) načinu temeljenja,
- d) tipa pregrade in temeljenja,
- e) dinamičnih karakteristik pregrade,
- f) interakcije tal – temelj pregrade,
- g) geometrijskih značilnosti pregrade,
- h) možnosti izvedbe opazovanja in
- i) površine akumulacije.

Vsi navedeni parametri imajo parcialen in interaktiven učinek na dinamične značilnosti obnašanja pregrad. Te značilnosti, ki imajo velik vpliv na potresno opazovanje, se na pregradah običajno opredeljujejo z dinamično analizo na matematičnem modelu pregrade ali pa z raziskavami na pregradah z metodo vsiljenih vibracij, pa tudi z ambientnimi vibracijami. Na ta način se dobijo:

- a) lastne (naravne) frekvence,
- b) koeficient dušenja konstrukcije in
- c) nihajne oblike pregrade.

Na osnovi analize dobljenih rezultatov se izdelata projekt za potresno opazovanje, s katerim se definira:

- a) optimalni sistem potresnega opazovanja,
- b) lokacije instrumentov, ki bodo instalirani v telesu pregrade in
- c) tip seizmoloških instrumentov z značilnostmi, ki ustrezajo zahtevam Pravilnika ter z možnostjo njihovega telemetričnega povezovanja.

Priporoča se, da je posebej izdelan projekt telemetrične povezave postavljenih instrumentov s središčem za opazovanje pregrade. Tako pridobljeni podatki imajo več pomenov, med katerimi so najpomembnejši:

- a) verifikacija vhodnih seizmičnih parametrov, na osnovi katerih je bila projektirana pregrada in pripadajoči objekti,
- b) možnost kontrole – analize nivoja potresne odpornosti pregrade glede na dobljene zapise,
- c) analiza učinkov akumulacije na seizmični režim v bližnji okolici in
- d) optimizacija postopkov projektiranja pregrad.

Za potrebe instrumentiranja pregrad v Sloveniji so bili v letih 2003 in 2004 izdelani projekti za opazovanje posameznih pregrad. Vsi navedeni parametri in kriteriji so bili upoštevani pri izdelavi projektov opazovanja seizmičnosti na pregradah Savskih, Dravskih in Soških hidroelektrarn. Pri izdelavi in ocenjevanju projektov so bile ugotovljene nekatere nedoslednosti in pomanjkljivosti v Pravilniku o opazovanju seizmičnosti na območju velike pregrade, ki so bile kasneje odpravljene (ali pa so v fazi odpravljanja).

## Stanje v Sloveniji

Seizmološko opazovanje pregrad v Sloveniji ima relativno dolgo zgodovino. Prvi instrumenti za beleženje močnih potresov (SMA-1, Kinematics, ZDA) so bili instalirani na pregradah Soških elektrarn. Na HE Doblar so bili instalirani koncem osemdesetih let prejšnjega stoletja, nekaj let kasneje pa na pregradi HE Solkan. Zatem sta bili instrumentirani pregradi HE Fala in HE Zlatoličje na Dravi. V sredini devetdesetih je bilo začeto tudi seizmološko opazovanje na pregradi HE Moste. V tem času je nameščanje instrumentov, vzdrževanje in obdelavo podatkov v Sloveniji opravljal IZIIS (Inštitut za potresno inženirstvo in inženirsko seizmologijo, Skopje, Makedonija).

Na tem mestu bi poudarili, da so bili v tistem obdobju (do leta 1998) instrumenti postavljeni na osnovi takratnih svetovnih znanstvenih in strokovnih znanj ter izkustev na področju seizmološkega opazovanja pregrad in v skladu z zahtevami Pravilnika o tehničnih normativih za opazovanje visokih pregrad (UL SFRJ 6/1988). Novejšemu slovenskemu pravilniku žal tovrstno opazovanje ni ustrezalo, ker novi Pravilnik o opazovanju seizmičnosti na območju velikih pregrad (UL RS 92/99) zahteva instrumente nove generacije.

V letu 2008 se seizmološko opazovanje v skladu z veljavno zakonodajo izvaja na pregradah:

- Podsela – HE Doblar (Soča),
- Ajba – HE Plave (Soča),
- Solkan – HE Solkan (Soča),
- Mavčiče (Sava),
- Moste (Sava),
- Medvode (Sava),
- Vrhovo (Sava),
- Dravograd (Drava),
- Vuzenica (Drava),
- Vuhred (Drava),
- Ožbalt (Drava),
- Fala (Drava),
- Mariborski otok (Drava),
- Zlatoličje (Drava),
- Markovci (Drava),
- Formin (Drava),
- Vogršček (Vogršček).

Skupno se izvaja seizmološko opazovanje na 17 pregradah (glej preglednico 3).

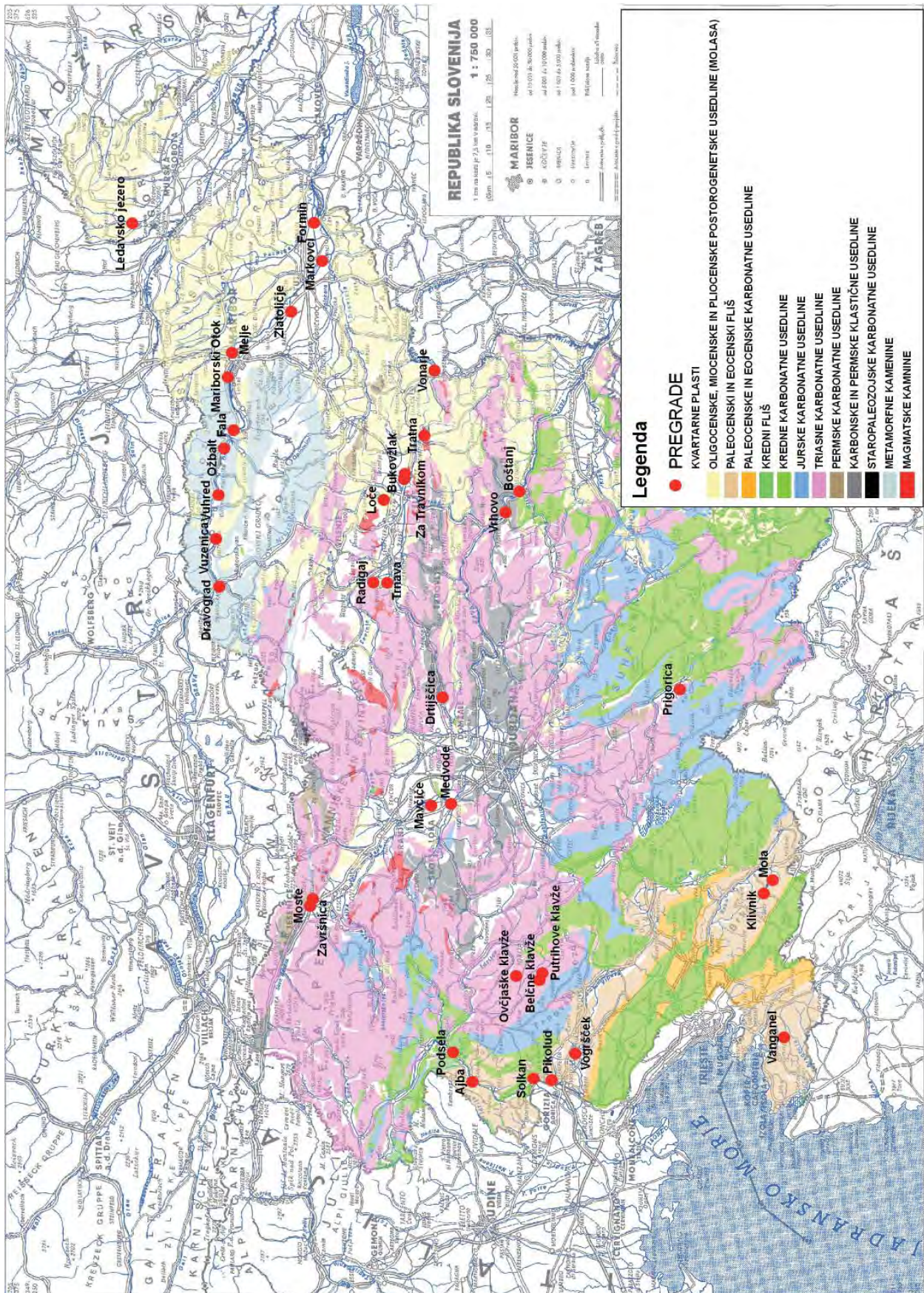
## Dobljeni rezultati

Od pričetka izvajanja opazovanja pregrad v Sloveniji in širše na območju tedanje Jugoslavije je nastalo nekaj močnih potresov ( $M \geq 5.5$ ) in več zmernih potresov ( $M \geq 3.0$ ). Pri tem je bilo pridobljenih več zapisov, katerih rezultati so bili neposredno uporabljeni v vsakodnevni inženirski praksi – beri projektiranju, sprejemu odločitev o možnosti nadaljnje uporabe pregrade itd.

Med drugimi sta bila registrirana tudi:

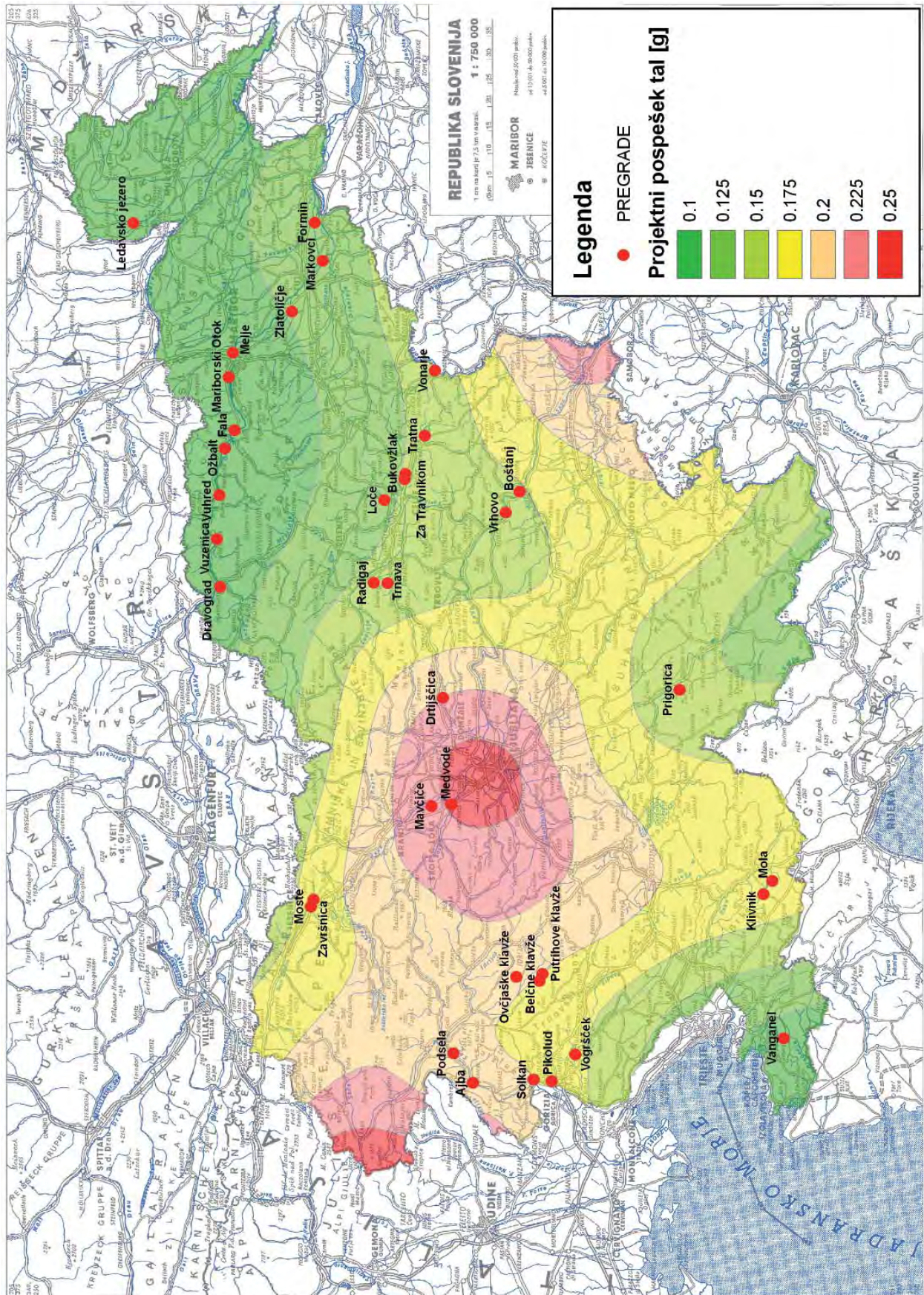
- potres 12. 4. 1998 v Zgornjem Posočju z magnitudo  $M=5,6$  je bil zabeležen na pregradah HE Doblar, HE Solkan in HE Moste in
- potres  $M=5,5$ , ki je nastal 1. 9. 1994 v okolici Bitole pa je bil zabeležen na pregradi Streževo.

Za oba potresa, zabeležena na nekaterih pregradah, so v nadaljevanju prikazani časovni poteki pospeška, hitrost in premika ter spektri odziva.



*Slika 3. Lokacija velikih pregrad v Sloveniji na geološki karti.*

*Figure 3. Locations of large dams in Slovenia on Geological Map.*



Slika 4. Lokacija velikih pregrad v Sloveniji na karti potresne nevarnosti.

Figure 4. Locations of large dams in Slovenia on Seismic Hazard Map.

**Preglednica 3. Seznam pregrad v Sloveniji****Table 3. List of dams in Slovenia.**

	pregrada	leto izgradnje	tip pregrade	konstruktivna višina (m)	hidravlična višina (m)	dolžina krone (m)	prostornina zajez. (v 1000m <sup>3</sup> )	velika pregrada	akceleroграфи	seizmografi	izvajanje opazovanja	lastnik	upravljalec
1	Dravograd	1942	težnostna betonska	23,0	8,9	180	7.000	da	2		da		DEM
2	Vuzenica	1952	težnostna betonska	34,0	13,8	191	14.200	da	3		da		DEM
3	Vuhred	1956	težnostna betonska	33,0	17,4	167	19.300	da	3		da		DEM
4	Ožbalt	1960	težnostna betonska	33,0	17,4	167	12.880	da	3		da		DEM
5	Fala	1928	težnostna betonska	34,0	14,6	248	4.095	da	3		da		DEM
6	Mariborski otok	1943	težnostna betonska	33,0	14,2	184	18.700	da	3		da		DEM
7	Melje	1977	težnostna betonska	17,0	8,2	160	4.600	da	2		ne		DEM
8	Zlatoličje	1968	težnostna betonska	54,0	24,8	50		da	3	1	da		DEM
9	Markovci	1968	težnostna/nasuta	19,0	11,5	120	23.000	da	2		da		DEM
10	Formin	1977	težnostna betonska	49,0	29,0	49		da	3	1	da		DEM
11	Moste	1952	ločno-težnostna bet.	59,6	48,0	52	6.240	da	3	1	da		SEL
12	Završnica	1914	težnostna	15,0		32	135	da	2		ne		SEL
13	Mavčiče	1986	težnostna betonska	38,0	17,5	118	10.700	da	3		da		SEL
14	Medvode	1953	težnostna betonska	30,0	21,2	134	7.000	da	3		da		SEL
15	Vrhovo	1993	težnostna/nasuta	24,0	8,1	140	8.650	da	2		da		SEL
16	Podsela	1939	ločno-težnostna	55,0		56	5.800	da	3	1	da		SENG
17	Ajba	1940	težnostna betonska	39,0		72	1.600	da	3		da		SENG
18	Solkan	1984	težnostna betonska	35,0	22,0	138	7.600	da	3		da		SENG
19	Loče	1970	nasuta zemeljska	16,0	11,0	205	6.500	da	2		ne	ARSO	NIVO
20	Tratna	1975	nasuta zemeljska	17,0	13,0	81	4.000	da	2		ne	ARSO	NIVO
21	Radigaj		nasuta zemeljska	cca 20				da	2		ne		
22	Trnava	1978	nasuta zemeljska	13,5	7,5	333	1.720	da	2		ne	ARSO	NIVO, HMEZAD
23	Vodnarje	1980	nasuta zemeljska	19,0	13,3	120	12.400	da	2		ne	ARSO	NIVO
24	Prigorica		nasuta zemeljska	9,8	7,3	960	8.800	da	2		ne		
25	Vogršček	1988	nasuta zemeljska	37,0	31,0	200	8.500	da	3		da	ARSO	VGP Soča
26	Pikolud	1989	nasuta zemeljska	9,5	7,5	250	1.000	ne	0				VGP Soča



	pregrada	leto izgradnje	tip pregrade	konstruktivna višina (m)	hidravlična višina (m)	dolžina krone (m)	prostornina zajez. (v 1000m <sup>3</sup> )	velika pregrada	akcelerografi	seizmografi	izvajanje opazovanja	lastnik	upravljalec
27	Klivnik	1987	nasuta zemeljska	28,0		252	4.300	da	2		ne	ARSO	Hidro Koper
28	Mola	1979	nasuta zemeljska	23,5		90	4.300	da	2		ne	ARSO	Hidro Koper
29	Vanganel	1964	nasuta zemeljska	19,0	17,3	130	244	da	2		ne	ARSO	Hidro Koper
30	Belčne klavže	1769	težnostna zidana	18,0		35		da	0		kulturna dediščina		
31	Putrihove klavže	1779	težnostna zidana	15,0		44		da	0		kulturna dediščina		
32	Ovčjaške klavže	1812	težnostna zidana	16,0		35		da	0		kulturna dediščina		
33	Bukovžlak		nasuta zemeljska	41,0		520		da	3	1	ne		Cinkarna Celje
34	Za travnikom		nasuta zemeljska	49,0		630		da	3	1	ne		Cinkarna Celje
35	Ledavsko jez.		nasuta zemeljska	10,0		800,0	5.644	ne			zaželjeno	ARSO	
36	Drtiščica		nasuta zemeljska	18,2		256,0	5.900	da	2		ne	ARSO	
37	Prigorica		nasuta zemeljska	9,8		904,0	10.230	ne			zaželjeno	ARSO	

## Zaključek

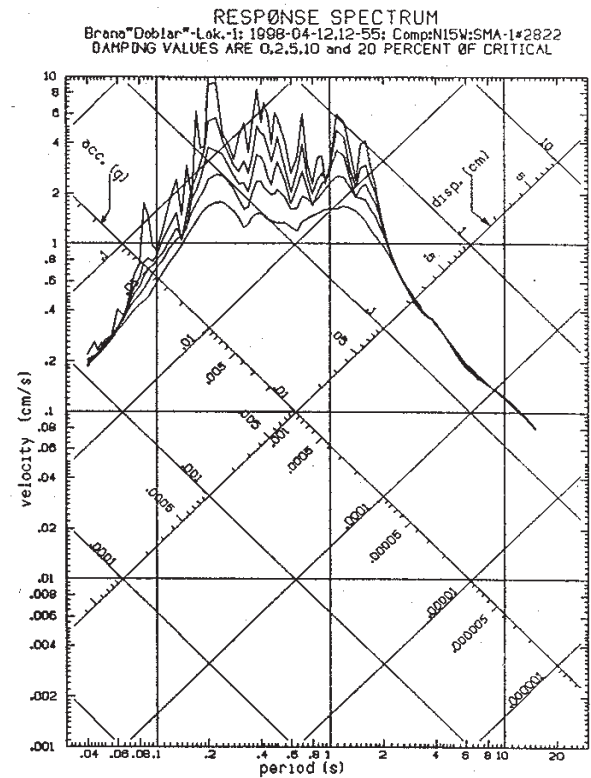
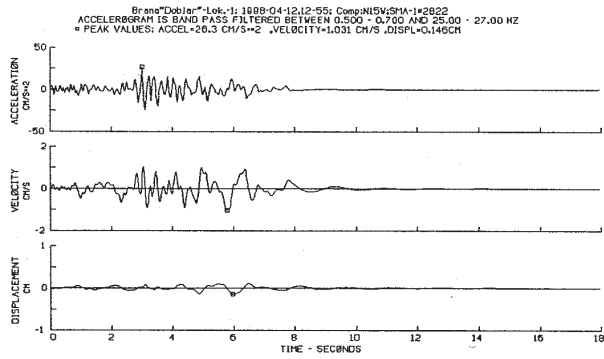
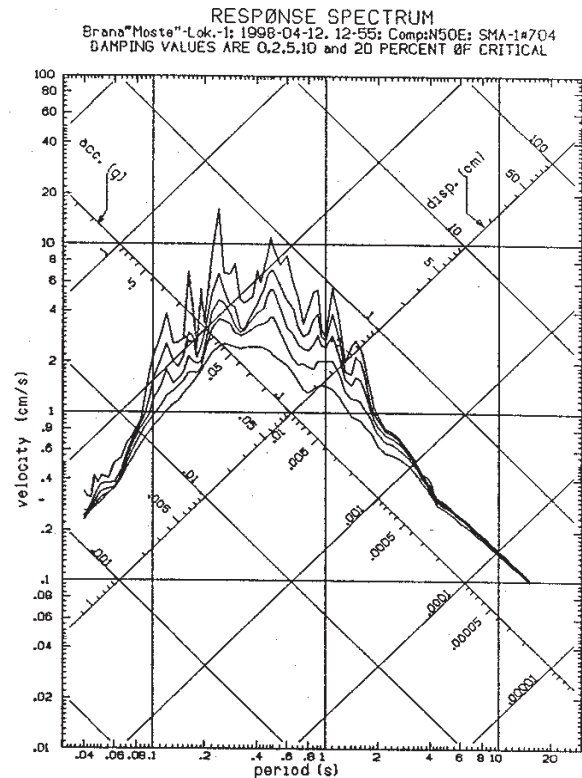
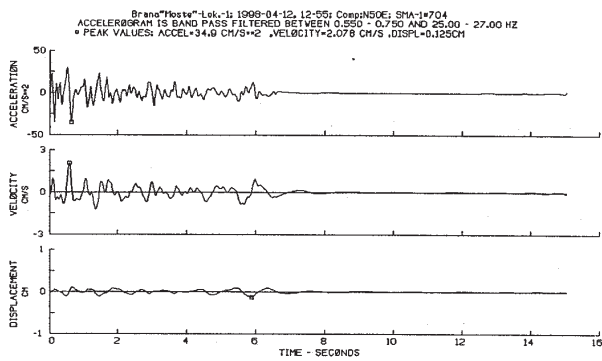
Na osnovi rezultatov skupnega dela na projektu instrumentiranja pregrad v Sloveniji in Makedoniji lahko ugotovimo sledeče:

- Stanje seizmološkega opazovanja pregrad v Sloveniji je relativno dobro. V zadnjem času je bila na posamezne pregrade nameščena nova oprema, kar je bistveno izboljšalo stanje še vedno pa se opazovanje seizmičnosti na velikih pregradah ne izvaja v skladu z zahtevami veljavne zakonodaje. Seizmološko opazovanje se izvaja na 17 pregradah od skupno 37 velikih pregrad, na katerih bi ga bilo potrebno izvajati.
- V Makedoniji se seizmološko opazovanje izvaja na 11 pregradah (od skupno 22 velikih pregrad, na katerih bi bilo potrebno izvajati seizmološko opazovanje). Pomanjkljivost opazovanja predstavljajo predvsem večinoma zastareli instrumenti.
- Seizmološko opazovanje pregrad je vedno aktualen problem v potresnem inženirstvu.

**Preglednica 4.** Največje vrednosti pospeškov, hitrosti in pomikov na pregradi HE Moste (potres 12. 04. 1998,  $M=5,6$ ).

**Table 4.** Maximum values of acceleration, velocity and displacement on Moste dam (earthquake on April 12, 1998,  $M=5,6$ ).

podatki za instrumente SMA-1		absolutna maksimalna korigirana								
		komponenta N 40 E			komponenta N 50 W			komponenta ver.		
lokacija	zap. št.	pospešek cm/s <sup>2</sup>	hitrost cm/s	pomik cm	pospešek cm/s <sup>2</sup>	hitrost cm/s	pomik cm	pospešek cm/s <sup>2</sup>	hitrost cm/s	pomik cm
lokacija 1 krona-kota=527,90	704	19,4	0,945	0,127	34,9	2,078	0,125	12,4	0,723	0,074
lok. 2 kota=518,00	670	21,6	1,083	0,118	28,8	1,891	0,155	12,8	1,008	0,135
lok. 3 kota=503,00	720	13,2	1,072	0,152	17,9	1,224	0,133	9,1	0,656	0,071
lok.4 kota=481,63	700	10,4	0,864	0,140	13,7	0,911	0,086	7,0	0,683	0,096



Slika 5. Časovni poteki pospeška, hitrosti in premika in spektri odziva za pregrado HE Moste (Potres 12. 04. 1998,  $M=5,6$ ).

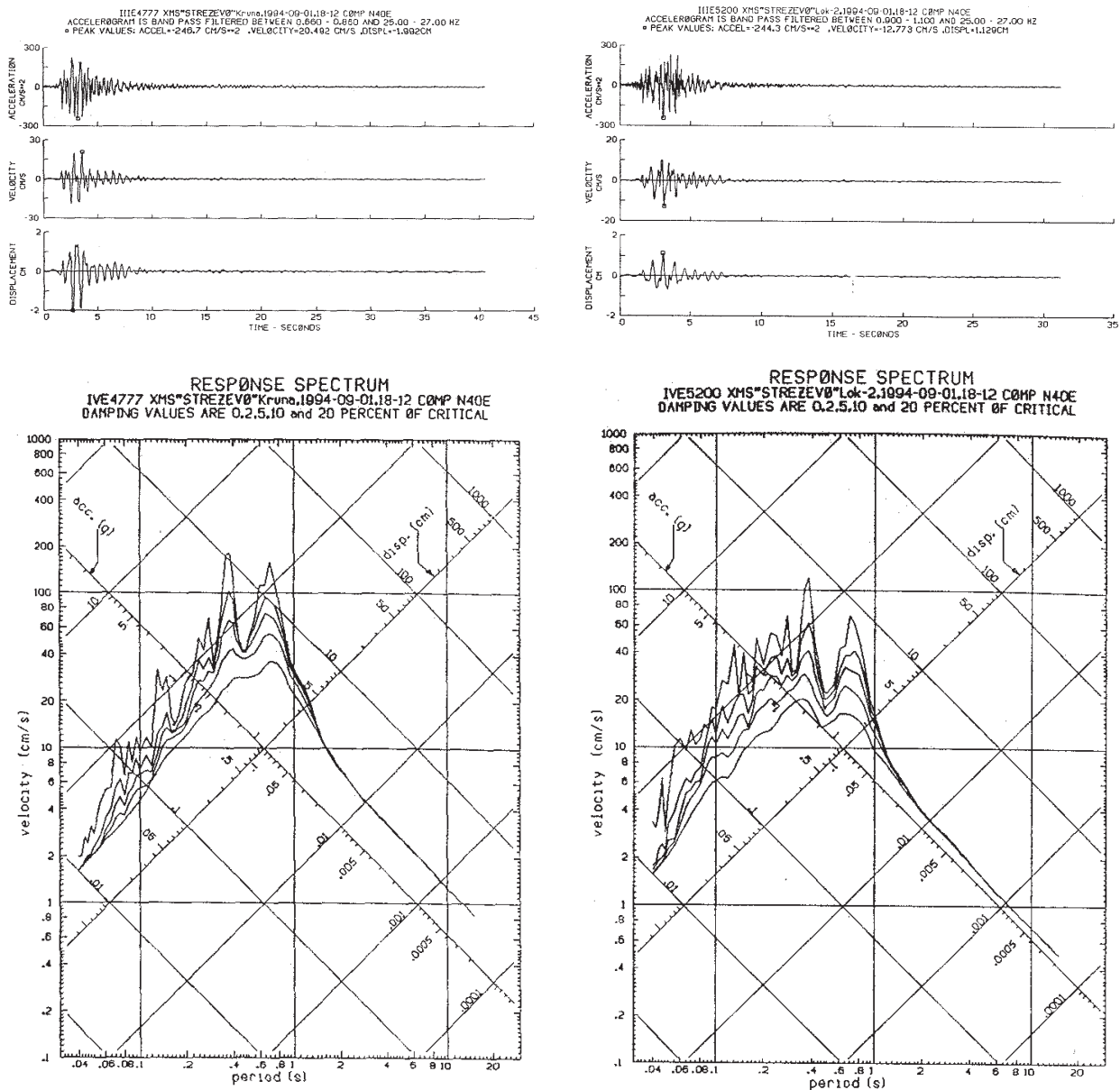
Slika 6. Časovni poteki pospeška, hitrost in premika in spektri odziva za pregrado HE Doblar (potres 12. 04. 1998,  $M=5,6$ ).

Figure 5. Time history of acceleration, velocity and displacement and response spectrum for Moste dam (earthquake on April 12, 1998,  $M=5.6$ ).

Figure 6. Time history of acceleration, velocity and displacement and response spectrum for Doblar dam (earthquake on April 12, 1998,  $M=5.6$ ).

Preglednica 5. Največje vrednosti pospeškov, hitrosti in pomikov na pregradi HE Doblar (Potres 12. 04. 1998,  $M=5,6$ ).  
Table 5. Maximum values of acceleration, velocity and displacement on Doblar dam (earthquake on April 12, 1998,  $M=5.6$ ).

podatki za instrumente SMA-1		absolutna maksimalna korigirana								
		komponenta N 40 E			komponenta N 50 W			komponenta ver.		
pokacija	zap. št.	pospešek cm/s <sup>2</sup>	hitrost cm/s	pomik cm	pospešek cm/s <sup>2</sup>	hitrost cm/s	pomik cm	pospešek cm/s <sup>2</sup>	hitrost cm/s	pomik cm
lok. 1 predor zgoraj	2822	21,7	1,143	0,116	26,3	1,031	0,146	14,3	0,663	0,075
lok. 2 krona desno	2843									
lok. 3. krona levo	735	15,3	0,455	0,028	24,5	0,702	0,050	13,0	0,670	0,076
lok. 4. predor spodaj	2811	12,0	0,777	0,081	13,9	0,573	0,053	7,5	0,618	0,073



**Slika 7.** Časovni poteki pospeška, hitrost in premika in spektri odziva. Potres 01. 09. 1994,  $M=5,5$ , Bitola, Makedonija.

**Figure 7.** Time history of acceleration, velocity and displacement and response spectrum. Earthquake on September 1, 1994,  $M=5.5$ , Bitola, Macedonia.

**Preglednica 6.** Največje vrednosti pospeškov, hitrosti in pomikov na pregradi Streževo (Makedonija).

**Table 6.** Maximum values of acceleration, velocity and displacement on Streževo dam (Macedonia).

podatki za instrumente SMA-1		absolutna maksimalna korigirana								
		komponenta N 40 E			komponenta N 50 W			komponenta ver.		
lokacija	zap. št.	pospešek $\text{cm/s}^2$	hitrost $\text{cm/s}$	pomik $\text{cm}$	pospešek $\text{cm/s}^2$	hitrost $\text{cm/s}$	pomik $\text{cm}$	pospešek $\text{cm/s}^2$	hitrost $\text{cm/s}$	pomik $\text{cm}$
lok. 1 krona pregrade	4777	-246,7	20,492	-1,992	166,3	-10,030	0,719	179,9	7,691	-0,449
lok. 2 sredina pregrade (I berma)	5200	-244,3	12,773	1,129	-149,4	-5,896	0,401	107,9	-2,407	0,091
lok. 3. (II berma levo)	4259	199,9	16,818	-1,478	103,2	-6,158	0,508	216,8	17,981	-1,576
lok. 4. (II berma desno)	5116	313,1	18,312	-1,865	-161,9	6,586	0,595	128,6	-3,740	-0,176

**Preglednica 7. Seznam pregrad v Makedoniji.****Table 7. List of dams in Macedonia.**

	pregrada	leto izgradnje	tip pregrade	konstruktivna višina (m)	dolžina krone (m)	prostornina zajez. (v 1000m <sup>3</sup> )	velika pregrada	akcelerografi	izvajanje opazovanja
1	Matka	1938	ločna	29,50	64,0	3.550	da	4	da
2	Mavrovo	1952	nasuta	62,00	210,0	357.000	da	4	da
3	Lipkovo	1958	ločna armirano betonska	37,00	203,0	1.750	da		ne
4	Gradče	1959	ločna armirano betonska	43,00	150,0	2.400	da	3	da
5	Mladost	1962	ločna armirano betonska	35,00	60,0	8.000	da		ne
6	Globočica	1965	nasuta zemeljska	90,00	200,0	58.000	da	4	da
7	Vodoša	1965	nasuta	48,75	185,0	26.730	da		ne
8	Prilep	1966	večločna	36,00	403,0	6.000	da		ne
9	Tikveš	1968	nasuta zemeljska	113,50	338,0	475.000	da	4	da
10	Kalimanci	1969	nasuta zemeljska	92,00	240,0	127.000	da	4	da
11	Špilje	1969	nasuta zemeljska	112,00	330,0	520.000	da	4	da
12	Ratevo	1972	ločna	53,00	194,0	10.500	da	3	da
13	Turija	1972	nasuta	93,00	417,3	48.000	da		ne
14	Glažnja	1972	ločna	80,80	344,0	26.045	da		ne
15	Mantovo	1975	nasuta	35,50	138,0	47.500	da		ne
16	Paljurci	1977	nasuta	22,50	386,0	2.000	da		ne
17	Streževo	1982	nasuta	95,00	632,0	120.000	da	5	da
18	Suvodol	1982	nasuta	25,00	250,0	2.500	da		da
19	Mavroica	1982	nasuta	29,00	360,0	2.800	da		ne
20	Podles	1985	ločna	22,50	182,0	310.	da		ne
21	Kozjak	2004	nasuta	126,00	300,0	550.000	da	6	da
22	Lisiče	2004	nasuta	42,00	150,0	20.000	da	4	da

Rezultati pridobljeni z obdelavo zapisov dajo velik doprinos eksperimentalnim in analitičnim študijam dinamičnega obnašanja pregrad. Vse to vpliva na optimizacijo procesa projektiranja in izgradnjo potresno odpornih pregrad.

- d) Število instrumentov na pregradah, ki se nahajajo na potresno aktivnih območjih je relativno majhen (v svetovnih razmerah) in bo še dolgo nezadosten za popolno oceno obnašanja konstrukcij – to je odziv pregrade na potres. Zato je izjemno pomembno, da se iz relativno malega števila instrumentov pridobi največje možno število informacij. Nujno pa je, da se lastniki pregrad zavedajo svoje odgovornosti za opremljanje obstoječih pregrad.
- e) Povečanje števila opazovanih pregrad je posebej pomembno za vse novo zgrajene pregrade (nove tehnologije, novi pristopi k projektiranju, novi materiali). Čim prej je potrebno dobiti odziv na uvedene spremembe, ki se ga lahko uporabi pri naslednjih pregradah. Prav tako pa je potrebno poudariti, da so stroški te opreme pri novih pregradah zanemarljivi glede na celotno investicijo.
- f) Pri pripravi projekta za potresno opazovanje smo ugotovili nekatere nedoslednosti in

napake v Pravilniku. Posebej izstopajo:

- Število instrumentov na pregradah je vezano le na višino pregrade. Odločujoči parametri navedeni v poglavju Projekt potresnega opazovanja (druga skupina parametrov), niso upoštevani, čeprav imajo lahko bistven vpliv na določitev minimalnega števila instrumentov na telesu pregrade. Vpliv teh parametrov se lahko doda vsaj kot priporočilo pri pripravi projektne dokumentacije.
- Problem pregrad v nizu (Sava, Soča, Drava) ni obdelan. Rešitev tega problema je vezana na ekonomske aspekte seizmološkega opazovanja.

## Literatura

Pravilnik o opazovanju seizmičnosti na območju velike pregrade (UL RS 92/1999, UL RS 44/2003)

Pravilnik o tehničnih normativih za opazovanje visokih pregrad (UL SFRJ 6/1988)

Godec, M., Vidrih, R., Sinčič, P., 2003-2004. Opazovanje seizmičnosti na območju velikih pregrad, UJMA 17-18, 208-217, Ljubljana.

Mihailov, V. 1985. Yugoslav Strong Motion Network, *Physics of the Earth and Planetary Interiors* 3:110-122, Elsevier Science Publishers B., Amsterdam.

Mihailov, V. 1990. Yugoslav Strong Motion Network- Some Experience and Results, *Cahiers du Centre Européen de Geodynamique et de Seismologie*. Volume 1, 41-51, Walferange, Luxemburg.

Mihailov, V., Trnkoczy A., 1990. Instalation of Network of Instrument for Recording of induced Seismicity and Dynamics Behavior of Body Dams, *Cahiers du Centre Européen de Geodynamique et de Seismologie*. Volume 1, 103-112, Walferange, Luxemburg.

Mihailov, V., Dojčinovski, D., Mamucevski, D., 1995. Sesismic monitoring on structures: Some experence and related problem, 10th European Conference on Earthquake Engineering. Volume 1, 223-227, Vienna.

Mihailov, V., Dojčinovski, D., 1999. Strong Motion Instrumentations of Dams in Macedonia. Some Experience and Results, *Proceedings of the NATO Advanced Research Workshop on Strong Motion Instrumentation for Civil Engineering Structures*, 275-292, Istanbul.

# MOČNEJŠI POTRESI PO SVETU LETA 2008

## WORLD'S LARGEST EARTHQUAKE IN 2008

Tamara Jesenko, Renato Vidrih

### **Povzetek**

Vsako leto zatrese Zemljo več stotisoč potresov, ki presegajo magnitudo 2,0 (Dolgoff, 1998) in katerih žarišča so predvsem na stikih večjih geotektonskih plošč. Potresno najdejavnejši območji sta obtihoceanski in sredozemsko-himalajski pas, ki vključuje tudi naše kraje. Večina potresov je šibkih, ne povzročajo gmotne škode in ne zahtevajo človeških življenj, med njimi pa je vsako leto nekaj deset takih, ki povzročijo veliko razdejanje in zahtevajo smrtne žrtve. Med 93 potresi, ki so v letu 2008 dosegli ali presegli magnitudo 6,5 in povzročili večjo gmotno škodo ter zahtevali človeška življenja, je natančneje opisanih 50 potresov. Potres z največ smrtnimi žrtvami je nastal 12. maja v vzhodnem Sečuanu, Kitajska. V njem je umrlo najmanj 87.652 ljudi. Pri tem potresu se je sprostilo tudi največ energije. Imel je navorno magnitudo 7,9. Najgloblji potres je v letu 2008 stresel območje Okhotskega morja. Zgodil se je 5. julija in je imel žarišče v globini 633 km ter navorno magnitudo 7,7. Potresi v letu 2008 so zahtevali vsaj 88.076 žrtev.

### **Abstract**

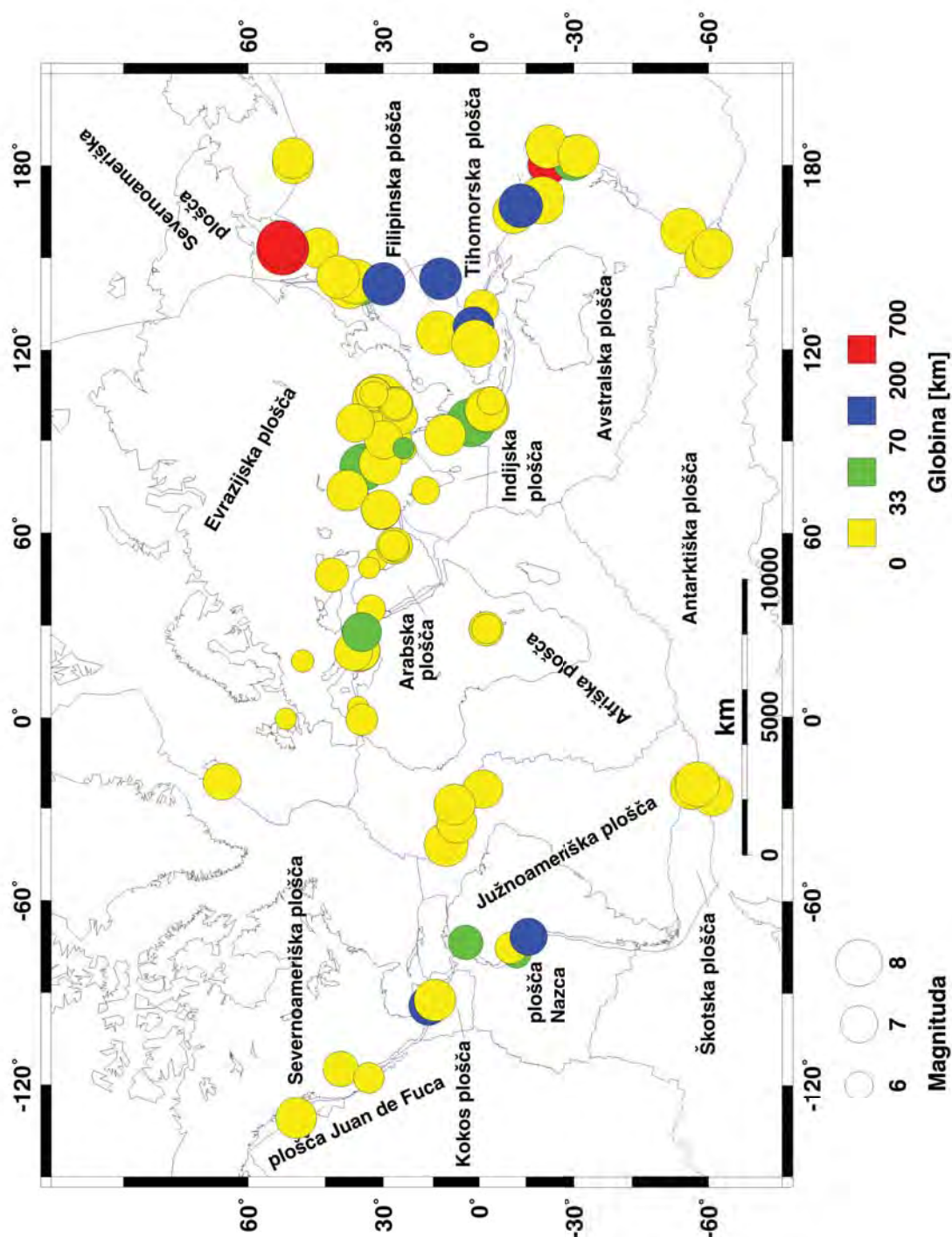
Every year the Earth is shaken by several hundred thousand earthquakes with magnitudes over 2.0 (Dolgoff, 1998), mostly originating at the geotectonic plate boundaries. Two well-defined seismic belts, the circum-Pacific and the Mediterranean-Himalayan belts, are subject to the most frequent earthquake shocks. The latter also includes the region of Slovenia. Most earthquakes are weak and do not cause any material damage and do not claim human lives. In addition to these, there are several earthquakes which result in extreme destruction and even death. There were 93 earthquakes in year 2008 that either reached a magnitude of 6.5 or more, caused minor or major material damage, or even claimed human lives. Fifty of them are mentioned. The most devastating earthquake in 2008 happened on 12 May in Eastern Sichuan, China, where at least 87,652 were killed. It was also ranked first in terms of released energy, with a moment magnitude of 7.9. The deepest earthquake happened on 5 July in the Sea of Okhotsk with a hypocentre 633 km below the surface and the moment magnitude of 7.7. In 2008, earthquakes claimed more than 88,076 human lives.

### **Potresi in tektonika plošč**

Zemljina litosfera je sestavljena iz nekaj večjih in več manjših tektonskih plošč. Najpomembnejše plošče so Pacifiška (Tihomorska), Severnoameriška in Južnoameriška, Evrazijska, Afriška, Avstralska in Antarktiška. Za svetovno potresno dejavnost so pomembne tudi številne manjše plošče. Tektonske plošče so v stalnem počasnem gibanju. Med seboj se lahko premikajo (premične ali konvergentne meje), razmikajo (razmične ali divergentne meje), ena pod drugo tonejo (subdukcija) ali drsijo druga ob drugi (strižne meje plošč). Severnoameriška in Južnoameriška plošča se oddaljujeta od Evrazijske in Afriške plošče. Loči ju razmična meja, ki se kaže v srednje-atlantskem grebenu, za katerega je značilna povečana potresna dejavnost. Na nasprotni strani Evrazijska plošča tišči v Severnoameriško in drsi prek Filipinske, pod katero se podriva Tihomorska plošča. Ta se podriva pod več manjših plošč, ki ležijo med Severnoameriško in Filipinsko ploščo. Tu je podiranje najhitrejše na Zemlji in znaša več kakor 100 mm/leto. Na območju Kalifornije drsita Tihomorska in Severnoameriška plošča druga ob drugi (znana so številna potresna žarišča). Med Tihomorsko in Južnoameriško ploščo je vrinjena plošča Nazca.

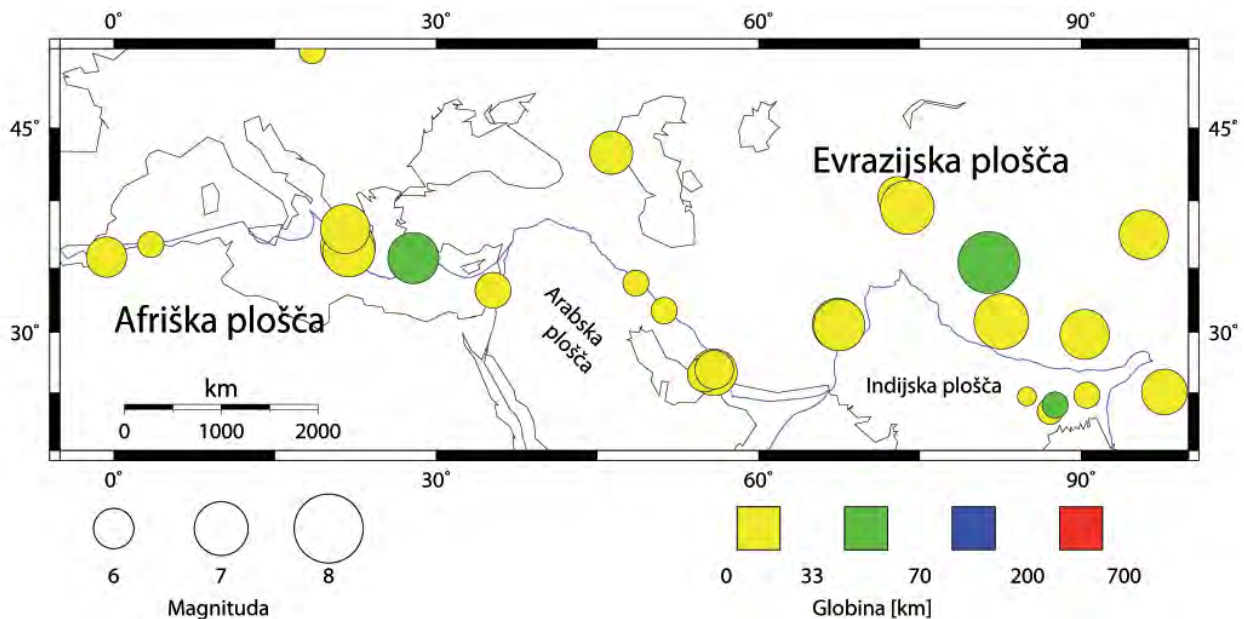
Omenjena stičišča plošč so med potresno najdejavnejšimi območji na Zemlji. Med Afriško in Tihomorsko ploščo je Avstralska plošča, ki se odmika od Antarktiške. Več manjših plošč je med Evrazijsko ploščo na severu in Afriško na jugu. Od vzhoda proti zahodu so Indijska, Arabska in Turško-egejska plošča ter manjša Jadranska plošča, ki na slikah ni označena, vendar je za geološki razvoj slovenskega ozemlja zelo pomembna. Gibanja celinskih in oceanskih plošč povzročajo

potresno dejavnost, ki ponekod spremlja ognjeniške izbruhe, ponekod pa so potresi edini znanilci spreminjanja in nastajanja novih geoloških formacij. Leta 2008 so medsebojna premikanja plošč povzročila veliko potresov od Sredozemskega morja do Tihega oceana. Slika 1 kaže povezanost tektonike plošč s potresno dejavnostjo, saj so vsi močnejši potresi nastali na stikih tektonskih plošč. Narisani so le močnejši svetovni potresi (NEIC, 2008). Če bi narisali nadžarišča (epicentre) vseh potresov, bi še boljše videli, da potresi nastajajo na mejah med posameznimi ploščami. Pravzaprav je prav porazdelitev potresov razkrila meje ali stičišča med ploščami.



**Slika 1.** Porazdelitev najmočnejših potresov v letu 2008 na Zemlji, njihove globine in magnitude; velikost krožcev kaže potresno magnitudo, barva pa žariščno globino. Narisane so tudi glavne tektonske plošče (NEIC, 2008).

**Figure 1.** Distribution of the most powerful earthquakes in 2008, 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 (NEIC, 2008).



**Slika 2.** Porazdelitev najmočnejših potresov leta 2008 v sredozemsko-himalajskem potresnem pasu, ki je za obtiho-morskim drugo najdejavnejše potresno območje na Zemlji.

**Figure 2.** Distribution of the most powerful earthquakes in 2008 in the Mediterranean-Himalayan belt, which is, after the circum-Pacific belt, subject to the most frequent earthquake shocks.

### Pregled najmočnejših potresov

V preglednici 1 so podatki o najmočnejših potresih v letu 2008 (NEIC, 2008, ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 2008). Našteti so le tisti, ki so dosegli ali presegli navorno magnitudo 6,5, in tisti, ki so povzročili večjo gmotno škodo ali zahtevali človeška življenja. Vrednosti za  $M_b$  in  $M_s$  so srednje vrednosti, določene iz podatkov potresnih opazovalnic, ki so potres zapisale. Magnitude  $M_b$ ,  $M_s$  in  $M_w$  se med seboj razlikujejo po območju veljavnosti, ki ga omejujejo oddaljenost in globina žarišča ter nihajni čas pri največji amplitudi. 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. 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 kakor približno 50 km.  $M_w$  je navorna magnituda, ki velja tudi za najmočnejše potrese in je določena s potresnim navorom. Globina potresov je izražena v kilometrih, preglednica pa je zaključena z imenom širšega nadžariščnega območja potresa. Svet je namreč razdeljen na 729 Flinn-Engdahlovih geometrijskih območij.

**Potres 1. januarja (Kirgistan).** Poškodovanih ali uničenih je bilo vsaj 5385 zgradb. Okoli 5300 ljudi je ostalo brez strehe nad glavo.

**Potres 7. januarja (blizu severne obale Papue, Papua Nova Gvineja).** V mestu Manokwari je bilo ranjenih šest oseb, več kot 22 zgradb je bilo poškodovanih ali uničenih.

**Potres 9. januarja (severna Alžirija).** V Oranu je ena oseba izgubila življenje. Poškodovanih je bilo nekaj zgradb.

**Potres 21. januarja (Nias, Indonezija).** Na Niasu je ena oseba izgubila življenje, pet je bilo ranjenih.

**Potres 3. februarja (jezero Kivu, Demokratična Republika Kongo).** Na območju mesta Bukavu je življenje izgubilo 7 oseb, 447 je bilo ranjenih. 1087 zgradb se je porušilo, še 2378 je bilo močno poškodovanih. Približno polovica mesta je ostala brez elektrike. V Ruandi je na območju



**Preglednica 1.** Seznam potresov v letu 2008, katerih magnituda je bila enaka ali večja od 6,5; dodani so potresi, katerih magnituda je sicer manjša, a so povzročili gmotno škodo, ranjene ali smrtne žrtve; z zvezdico so zaznamovani potresi, opisani v besedilu.

**Table 1.** List of earthquakes in 2008 with magnitudes of 6.5 and over. Earthquakes with magnitudes below 6.5 which caused material damage, injuries or victims are included. The earthquakes described in the text are marked.

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		
1.1.	6:32	40,29 N	72,98 E	5,8	5,4	5,6	6		Kirgistan*
5.1.	11:01	51,26 N	130,75 W	6,0	6,5	6,6	10		otočje Queen Charlotte
7.1.	3:12	0,80 S	134,01 E	6,0	5,6	5,9	12		blizu severne obale Papue, Papua Nova Gvineja*
9.1.	22:24	35,62 N	0,57 W	4,6			10	1	severna Alžirija*
15.1.	17:52	21,97 S	179,53 W	5,5		6,5	598		Fidži
22.1.	17:14	1,01 N	97,44 E	5,9		6,2	20	1	Nias, Indonezija*
1.2.	7:33	36,82 N	3,47 E	4,6			10		severna Alžirija
3.2.	7:34	2,32 S	28,95 E	6,0	5,8	5,9	10	44	jezero Kivu, Demokratična Rep. Kongo*
6.2.	6:09	23,43 N	87,11 E	4,3			10	1	zahodni Bengal, Indija*
8.2.	9:38	10,73 N	41,88 W			6,9	10		severni Srednjeatlantski hrbet
10.2.	12:22	60,68 S	25,54 W			6,6	8		Južnosandviški jarek
12.2.	12:50	16,41 N	94,17 W	6,2		6,4	99		Oaxaca, Mehika
13.2.	20:55	31,73 N	51,20 E	4,5			14		osrednji Iran*
14.2.	2:07	2,40 S	28,92 E	5,4	4,9	5,3	10	1	Ruanda*
14.2.	10:09	36,63 N	21,79 E	6,3	6,6	6,7	30		južna Grčija
14.2.	12:08	36,34 N	21,86 E	5,9	6,0	6,5	28		južna Grčija
15.2.	10:36	33,32 N	35,30 E	5,0		5,1	10		meja Libanon - Sirija
20.2.	8:08	2,78 N	95,98 E	6,5		7,4	35	3	Simeulue, Indonezija*
21.2.	14:16	41,15 N	114,87 W	5,7		6,0	7		Nevada*
23.2.	15:57	57,07 S	23,40 W	6,4		6,7	10		Južnosandviški jarek
24.2.	14:46	2,40 S	99,93 E	6,0	6,4	6,5	22		Kepulauan Mentawai, Indonezija
25.2.	8:36	2,35 S	99,97 E	6,5		7,0	25		Kepulauan Mentawai, Indonezija
25.2.	18:06	2,32 S	99,89 E	6,0	6,4	6,6	25		Kepulauan Mentawai, Indonezija
25.2.	21:02	2,24 S	99,81 E	6,2	6,6	6,7	25		Kepulauan Mentawai, Indonezija
27.2.	0:56	53,32 N	00,31 W	4,8			10		Anglija, Velika Britanija*
3.3.	9:31	46,41 N	153,17 E	6,2	6,5	6,5	10		Kurilsko otočje
3.3.	14:11	13,35 N	125,63 E	6,4		6,9	24		Filipini
20.3.	22:33	35,46 N	81,42 E	6,3	7,1	7,2	37		meja Sinkiang-Tibet*
29.3.	12:51	12,13 S	77,14 W	5,4		5,3	51		blizu obale osrednjega Peruja*
9.4.	12:46	20,09 S	168,85 E	6,2		7,3	33		otočje Loyalty
12.4.	0:30	55,65 S	158,44 E	6,8	7,2	7,1	16		otočje Macquarie

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		
16.4.	5:54	51,89 N	179,19 W	6,1	6,5	6,6	13		otočje Andreanof, Aleuti
24.4.	12:14	1,23 S	23,50 W	5,5	6,0	6,5	10		Srednjeatlantski greben
1.5.	0:15	33,86 N	48,59 E	4,5			16		zahodni Iran*
2.5.	1:33	51,86 N	177,53 W	6,3	6,8	6,6	14		otočje Andreanof, Aleuti
7.5.	16:45	36,16 N	141,52 E	6,1	6,7	6,8	39		blizu vzhodne obale Honšuja, Japonska*
9.5.	21:51	12,52 N	143,18 E	6,1		6,7	76		Guam
12.5.	6:28	31,00 W	103,32 E	6,9	8,1	7,9	19	87652	vzhodni Sečuan, Kitajska*
23.5.	19:35	7,33 N	34,90 W	6,0	6,4	6,5	9		Srednjeatlantski greben
24.5.	19:20	4,45 N	73,67 W			5,9	35	6	Kolumbija*
25.5.	8:21	32,57 N	105,43 E	5,9	6,0	6,0	10	8	meja Sečuan-Gansu, Kitajska *
27.5.	8:37	32,73 N	105,57 E	5,5	5,2	5,7	10		meja Sečuan-Gansu, Kitajska*
29.5.	15:46	63,99 N	21,01 W	5,9	6,2	6,3	10		Islandija*
1.6.	14:31	59,38 S	149,66 E	5,8	6,3	6,5	10		zahodno od otoka Macquarie
6.6.	20:02	35,86 N	0,68 W	5,5		5,5	4	1	severna Alžirija*
6.6.	21:16	24,68 N	84,95 E	3,8			28		meja Bihar-Jharkhand, Indija*
8.6.	12:25	37,98 N	21,53 E	6,2	6,3	6,3	16	2	južna Grčija*
13.6.	23:43	39,14 N	140,64 E	6,4	6,9	6,9	10	13	vzhodni Honšu, Japonska*
17.6.	5:51	32,76 N	105,54 E	4,8			10	2	meja Sečuan-Gansu, Kitajska*
27.6.	11:40	11,01 N	91,86 E	6,5	6,7	6,6	17		Andamansko otočje
30.6.	6:17	58,17 S	22,01 W	6,3	6,7	7,0	10		otočje South Sandwich
1.7.	0:17	10,37 S	75,51 W	5,4	5,0	5,5	33		osrednji Peru*
5.7.	2:12	53,88 N	152,88 E	6,8		7,7	633		Okhotsko morje
8.7.	9:13	15,95 S	71,78 W			6,2	123	1	južni Peru*
15.7.	3:26	35,80 W	27,86 E			6,4	52	1	Dodekaneški otoki, Grčija*
19.7.	2:29	37,55 W	142,22 E	6,2	7,0	7,0	22		ob obali Honšuja, Japonska
19.7.	9:27	11,03 S	164,51 E	6,1	6,4	6,6	10		otočje Santa Cruz
23.7.	15:26	29,79 N	141,49 E	6,6		6,8	108	1	vzhodni Honšu, Japonska*
23.7.	19:54	32,75 N	105,49 E	5,7	5,2	5,5	10		meja Sečuan-Gansu, Kitajska
24.7.	7:09	32,79 N	105,56 E	5,6	5,4	5,7	10	1	meja Sečuan-Gansu, Kitajska*
26.7.	18:51	24,81 N	90,53 E	4,7			10		Bangladeš*
29.7.	18:42	33,95 N	117,76 W	5,5	5,5	5,4	15		širše območje Los Angelesa, Kalifornija
1.8.	8:22	32,03 N	104,72 E	5,9	5,6	5,7	7		meja Sečuan-Gansu, Kitajska*
5.8.	9:49	32,75 N	105,49 E	5,9	6,0	6,0	6	4	meja Sečuan-Gansu, Kitajska*
9.8.	6:01	60,65 S	152,77 E	5,6	5,9	6,5	10		zahodno od otoka Macquarie
21.8.	12:24	25,07 N	97,74 E	5,6	5,8	6,0	10	5	meja Mjanmar-Kitajska*

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		
25.8.	13:21	30,89 N	82,57 E	6,1	6,5	6,7	12		zahodni Xizang
30.8.	8:30	26,27 N	101,94 E	5,7	5,8	5,9	17	43	meja Sečuan-Junan, Kitajska*
31.8.	8:31	26,24 N	101,98 E	5,6	5,2	5,5	10	2	meja Sečuan-Junan, Kitajska*
8.9.	18:52	13,50 S	166,97 E	6,4		6,9	110		otočje Vanuatu
9.9.	3:07	3,94 S	103,06 E	5,4			25	2	južna Sumatra, Indonezija*
10.9.	11:00	26,74 N	55,83 E	6,1	6,0	6,1	12	7	južni Iran*
10.9.	13:08	8,09 N	28,72 W	6,3	6,5	6,6	10		osrednji Srednjeatlantski greben
11.9.	0:00	1,88 N	127,36 E	6,2		6,6	96		Halmahera, Indonezija
11.9.	0:20	41,89 N	143,75 E	6,1	7,0	6,8	25		Hokaido, Japonska
16.9.	21:47	17,30 N	73,76 E	5,0			10	1	Maharashtra, Indija*
29.9.	15:19	29,68 S	177,70 W	6,5	6,7	7,0	36		otočje Kermadec, Nova Zelandija
5.10.	15:52	39,53 N	73,82 E	6,4	6,9	6,6	27	74	Kirgizija*
6.10.	8:30	29,81 N	90,35 E	6,0	6,2	6,3	12	10	vzhodni Tibet*
11.10.	9:06	43,36 N	46,31 E	5,7	5,5	5,8	16	13	Kavkaz, Rusija*
16.10.	19:41	14,43 N	92,35 W	6,1		6,7	24		blizu obale Chiapasa, Mehika
19.10.	5:10	21,86 S	173,81 W	6,8	7,0	6,9	29		otočje Tonga
25.10.	20:17	26,53 N	54,98 E	5,0			29		južni Iran*
28.10.	23:09	30,66 N	67,36 E			6,4	15	166	Pakistan*
29.10.	11:32	30,57 N	67,52 E	6,1	6,6	6,4	14		Pakistan*
10.11.	1:22	37,56 N	95,83 E	6,4	6,4	6,3	19		severni Qinghai, Kitajska*
16.11.	17:02	1,27 N	122,09 E	6,5	7,2	7,3	30	6	Minahasa, Sulavezi, Indonezija*
22.11.	22:27	49,91 N	18,45 E			4,1	2	2	Češka*
24.11.	9:02	54,20 N	154,32 E	6,5		7,3	492		Okhotsko morje
7.12.	13:36	26,96 N	55,87 E	5,6	5,2	5,4	10		južni Iran
9.12.	6:23	31,09 S	176,96 W			6,8	14		otočje Kermadec, Nova Zelandija
9.12.	18:53	32,50 N	105,37 E	5,4			10	2	meja Sečuan-Gansu, Kitajska*
25.12.	20:20	23,97 N	87,57 E	4,7			35		meja Mjanmar-Kitajska*

Cyangugu-Nyamasheke življenje izgubilo 37 oseb, 643 je bilo ranjenih. Uničenih je bilo 1201 hiš in poškodovanih 24. Potres so čutili tudi v Burundiju, Tanzaniji in Ugandi.

**Potres 6. februarja (zahodni Bengal, Indija).** Na območju Bankura je ena oseba izgubila življenje. Veliko poškodovanih zgradb je bilo v Andal, Durgapuru in Panagarhu.

**Potres 13. februarja (osrednji Iran).** V Nasirabadu je bilo sedem ranjenih, poškodovanih je bilo 70 zgradb.

**Potres 14. februarja (Ruanda).** V glavnem mestu Ruande (Kigali) je potres zahteval eno človeško življenje, 21 oseb je bilo ranjenih.

**Potres 20. februarja (Simeulue, Indonezija).** V provinci Aceh so tri osebe izgubile življenje, 25 je bilo hudo ranjenih.

**Potres 21. februarja (Nevada).** V Wellsu so bili trije ranjeni. Več kot 20 zgradb je bilo močno, 700 pa lažje poškodovanih. Poškodovan je bil vodovod.

**Potres 27. februarja (Anglija, Velika Britanija).** Ena oseba je bila ranjena. Nekaj poškodb je bilo na zgradbah v Lincolnshiru in South Yorkshiru.

**Potres 20. marca (meja Sinkiang-Tibet).** Poškodovanih je bilo 2200 zgradb v mestih Yutian, Qira in Lop. V Pulu so se zrušile štiri hiše. Več kot 46.594 ljudi je ostalo brez strehe nad glavo.

**Potres 29. marca (blizu obale osrednjega Peruja).** V Limi so se zrušile štiri hiše.

**Potres 1. maja (zahodni Iran).** V Lorestanu je bilo ranjenih več kot 100 oseb. Vsaj 70 je bilo ranjenih v Boroujerdu.

**Potres 7. maja (blizu vzhodne obale Honšuja, Japonska).** V mestih Chiba, Ibaraki, Saitama in Tokio je bilo ranjenih 6 oseb.

**Potres 12. maja (vzhodni Sečuan, Kitajska).** Na območju Chengdu-Lixian- Guangyuan je vsaj 87.652 oseb izgubilo življenje, 375.000 je bilo ranjenih, več tisoč je pogrešanih ali domnevno mrtvih. Potres je prizadel 10 provinc in več kot 45,5 milijonov ljudi. Vsaj 15 milijonov ljudi je bilo evakuiranih s svojih domov in več kot 5 milijonov jih je ostalo brez strehe nad glavo. Po ocenah se je porušilo 5,36 milijonov zgradb, 21 milijonov poslopij je bilo poškodovanih. Skupna škoda je ocenjena na 147 milijard ameriških dolarjev. Beichuan, Dujiangyan, Wuolong in Yingxiu so bili popolnoma uničeni. Sprožilo se je veliko zemeljskih plazov, ki so več dni onemogočali dostop do prizadetih območij. V Qingchuanu je pod plazovi izgubilo življenje vsaj 700 oseb. Plazovi so zasuli nekaj rečnih strug. Zaradi vode, ki se je nabirala, se je povečala nevarnost poplav. Poškodovanih je bilo več kot 53.000 km cestišč in 47.000 km napeljav s pitno vodo. Blizu Longana je iztiril vlak. Največjo intenziteto (XI EMS) je potres imel na območju Wenchuana. Potres so čutili tudi v nekaterih delih Tajske, Bangladeša, Tajvana in Vietnama.

**Potres 24. maja (Kolumbija).** V provinci Meta je v zemeljskem plazu 6 oseb izgubilo življenje. Nekaj hiš je bilo poškodovanih v Quetami.

**Potres 25. marca (meja Sečuan-Gansu, Kitajska).** V Sečuanu je osem oseb izgubilo življenje, 927 je bilo ranjenih. Vsaj 400.000 hiš je bilo uničenih.

**Potres 27. maja (meja Sečuan-Gansu, Kitajska).** Vsaj 20.000 hiš je bilo uničenih.

**Potres 29. maja (Islandija).** V Selfossu je bilo ranjenih 30 ljudi. Na območju Hveragerdhi-Selfoss je poginilo nekaj ovac, poškodovanih je bilo nekaj zgradb. Poškodovana je bila cestna povezava med Selfossom in Reykjavikom. Sprožilo se je nekaj skalnatih podorov.

**Potres 6. junija (severna Alžirija).** Na območju Orana je zaradi plazov ena oseba izgubila življenje, več kot 20 je bilo ranjenih. Na območju mesta Gambetta je bilo poškodovanih več hiš. Potres so čutili tudi v španskih mestih Huércal-Overa, Lumbreras, Mazarrón in Torrevieja.

**Potres 6. junija (meja Bihar-Jharkhand, Indija).** Vsaj dve osebi sta bili ranjeni. Na območju Manpura je bilo nekaj škode.

**Potres 8. junija (južna Grčija).** Na območju Achaie in Ileie je potres zahteval dve življenji, vsaj 240 je bilo ranjenih. Vsaj 1156 zgradb je bilo poškodovanih ali uničenih. Potres so čutili po vsej Grčiji, pa tudi v Tirani (Albanija), Cosenzi (Italija) in na Ohridu (Makedonija).

**Potres 13. junija (vzhodni Honšu, Japonska).** Na območju Furukava-Kurihara-Morioka je življenje izgubilo 13 oseb, 357 oseb je bilo ranjenih. Poškodovanih je bilo 385 zgradb. Sprožili so se zemeljski plazovi.

**Potres 17. junija (meja Sečuan-Gansu, Kitajska).** V mestu Shaanxi sta dve osebi izgubili življenje, ena je bila ranjena.

**Potres 1. julija (osrednji Peru).** V Oxapampi je bilo ranjenih 45 oseb. V Huancabambi je bilo uničenih 60 in poškodovanih 25 hiš. Zemeljski plaz je poškodoval cestno povezavo med Huancabambo in Pozuzom.

**Potres 8. julija (južni Peru).** V Arequipi je ena oseba izgubila življenje. Poškodovanih je bilo nekaj zgradb.

**Potres 15. julija (Dodekaneški otoki, Grčija).** Na Rodosu je ena oseba izgubila življenje. Potres so čutili tudi ponekod v Turčiji, Egiptu, Siriji, Izraelu, Libanonu in na Cipru.

**Potres 22. julija (vzhodni Honšu, Japonska).** Ena oseba je izgubila življenje, okoli 200 je bilo ranjenih. Poškodovanih je bilo 90 zgradb, sprožili so se zemeljski plazovi in prekinili cestne povezave, poškodovano je bilo železniško omrežje in motena oskrba z energijo.

**Potres 24. julija (meja Sečuan-Gansu, Kitajska).** V Sečuanu je ena oseba izgubila življenje, 17 je bilo ranjenih. 1200 hiš je bilo uničenih.

**Potres 26. julija (Bangladeš).** V Dhaki je bilo ranjenih vsaj 25 oseb.

**Potres 1. avgusta (meja Sečuan-Gansu, Kitajska).** V Beichuanu in Pingwuju je bilo vsaj 231 ranjenih. 540 hiš je bilo uničenih in še 2450 poškodovanih. Sprožilo se je nekaj zemeljskih plazov.

**Potres 5. avgusta (meja Sečuan-Gansu, Kitajska).** Na območju Qingchuana so štiri osebe izgubile življenje, 29 je bilo ranjenih. Poškodovanih je bilo nekaj hiš in cest.

**Potres 21. avgusta (meja Mjanmar-Kitajska).** Pet oseb je izgubilo življenje, 127 je bilo ranjenih.

**Potres 30. avgusta (meja Sečuan-Junan, Kitajska).** Na območju Huilija je potres zahteval 32 žrtev, 321 je bilo ranjenih. 6 mrtvih in 132 ranjenih je bilo na območju Chuxionga, 5 mrtvih in 132 ranjenih na območju Panzihua in 4 mrtvi na območju Kunminga. Vsaj 392.000 hiš je bilo uničenih ali poškodovanih. Poškodovanih je bilo 66 šol, 22 mostov in 131 cest.

**Potres 31. avgusta (meja Sečuan-Junan, Kitajska).** Dve osebi sta izgubili življenje.

**Potres 9. septembra (južna Sumatra, Indonezija).** Dve osebi sta izgubili življenje. V Lahatu je bilo 113 hiš močno poškodovanih.

**Potres 10. septembra (južni Iran).** Na območju Bandar Abbasa je sedem oseb izgubilo življenje, vsaj 30 je bilo ranjenih. V Jezireh-ye Qeshmu je bilo 15 ranjenih. Mnogo vasi v provinci Hormozgan je bilo poškodovanih.

**Potres 16. septembra (Maharashtra, Indija).** Na območju Daunda je ena oseba izgubila življenje. V Satari je bilo vsaj 20 ranjenih, uničenih je bilo več kot 1500 zgradb in poškodovanih nekaj cest.

**Potres 5. oktobra (Kirgizija).** Vsaj 74 oseb je izgubilo življenje v Nuri, 140 je bilo ranjenih. Mnogo zgradb je bilo uničenih. Potres so čutili tudi v Pakistanu in Uzbekistanu.

**Potres 6. oktobra (vzhodni Tibet).** V pokrajinah Damxung, Doilungdegen in Nyemo je življenje izgubilo 10 oseb, 25 je bilo ranjenih.

**Potres 11. oktobra (Kavkaz, Rusija).** 13 oseb je izgubilo življenje, več kot 100 je bilo ranjenih. 1027 zgradb je bilo poškodovanih.

**Potres 25. oktobra (južni Iran).** Na območju Bandar-e Konga je bilo 9 ranjenih.

**Potres 28. oktobra (Pakistan).** V Balochistanu je potres zahteval vsaj 166 žrtev, 370 oseb je bilo

ranjenih. Več vasi je bilo uničenih. Na območju Ziarata se je sprožilo nekaj zemeljskih plazov in zasulo nekaj vasi. Na območju Harnaia je bilo uničenih 3487 domov, še 4125 je bilo poškodovanih.

**Potres 29. oktobra (Pakistan).** Več zgradb se je porušilo na območju Ziarata.

**Potres 10. novembra (severni Qinghai, Kitajska).** V rudniku Dameigou Coal Mine so bile ranjene tri osebe. Poškodovanih je bilo nekaj zgradb. V rudniku je bilo za 4 milijone ameriških dolarjev škode. V Gomundu se je porušilo nekaj hiš. V Da Qaidamu je bilo poškodovanih 20 zgradb.

**Potres 16. novembra (Minahasa, Indonezija).** Na območju Buola v provinci Gorontalo je vsaj 6 oseb izgubilo življenje, 77 je bilo ranjenih. Evakuirali so 10.000 ljudi, 1000 zgradb je bilo poškodovanih.

**Potres 22. novembra (Češka).** Zaradi porušitve v rudniku pri mestu Karvina sta umrla dva rudarja, trije so bili ranjeni.

**Potres 9. decembra (meja Sečuan-Gansu, Kitajska).** Pri Guangyuanu sta vsaj dve osebi izgubili življenje.

**Potres 25. decembra (meja Mjanmar- Kitajska).** V kitajskem mestu Ruili je bilo 19 ranjenih. 30 hiš se je porušilo, več kot 5400 zgradb je bilo poškodovanih.

## Zaključek

Stalno opozarjanje seizmologov na katastrofalne posledice potresov, predvsem v nerazvitem svetu, očitno ne zaleže. Potresi tudi zaradi naraščanja prebivalstva zahtevajo vedno več žrtev. Zaradi potresov je med letoma 1900 in 1950 v povprečju letno umrlo okoli 16.000 ljudi. Po letu 1950 do konca 20. stoletja pa so povprečno zahtevali 14.000 žrtev. Seveda pa ta podatek ne vzbuja pretiranega optimizma. Pred letom 1950 je bilo osem močnih potresov na naseljenih območjih, po letu 1950 sta bila le dva. Razmere za zagotavljanje zadovoljivih pogojev za potresno varno življenje so kritične, saj je letni prirastek človeštva 1,6%. To pomeni podvojitev prebivalstva v 40-tih letih. Ustrezno temu bi se morala v naslednjih 40-tih letih prepoloviti potresna ranljivost objektov. Žal pa potresne ranljivosti objektov ni možno tako hitro zmanjševati. Število ljudi, ki živijo v potresno ranljivih objektih se povečuje; predvsem to velja za nerazvite države. Če primerjamo sedanjo naseljenost in rast prebivalstva, vidimo, da je potresna ogroženost na svetu vedno večja. To potrjuje začetek 21. stoletja. V manj kot desetih letih je nastalo več močnih potresov, ki so zahtevali v povprečju skoraj 53.000 žrtev letno (skupno število žrtev v 21. stol. je ocenjeno na preko 470.000). Med njimi je tudi potres 12. maja 2008 ob 6. uri in 28 minut UTC v kitajski pokrajini Sečuan. Natančneje ga bomo opisali v posebnem članku.

## Literatura

- ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 2008. Preliminarni seizmološki bilten, 2008. Agencija Republike Slovenije za okolje, Urad za seizmologijo, Ljubljana.
- Dolgoft, A., 1998. Physical Geology. Updated version. Houghton Mifflin co. Boston-New York, str. 638.
- NEIC, 2008. Significant Earthquakes of the World. US Department of the Interior. Geological Survey, National Earthquake Information Center.

# POTRES »WENCHUAN« 12. MAJA 2008 NA KITAJSKEM THE 12 MAY EARTHQUAKE »WENCHUAN« IN CHINA

Matjaž Godec, Renato Vidrih

## **Povzetek**

*Potresi v sredozemsko himalajskem pasu so pogosti in ponavadi predvsem zaradi slabe gradnje zahtevajo veliko življenj. Ogromno gnotno škodo in številne mrtve, ki jih je zahteval potres 12. maja 2008 ob 6. uri in 28 minut UTC z magnitudo ( $M_w = 7,9$ ) v kitajski pokrajini Sečuan lahko pripišemo moči potresa, majhni globini žarišča (19 km), nepripravljenosti na potres in slabi gradnji. Verjetno nikoli ne bomo poznali končnega števila žrtev, ocenjena številka je 87.652, poškodovanih pa je bilo prek 375.000 ljudi.*

*Prizadeto je bilo območje velikosti približno 250.000 km<sup>2</sup>, kjer živi okoli 45,5 milijonov ljudi. Preseliti je bilo potrebno 15 milijona ljudi. V potresu je bilo porušenih več kot 216.000 zgradb v provinci Sečuan, med temi je bilo okoli 6900 šolskih objektov, ki so pokopale na tisoče učencev, dijakov in učiteljev.*

## **Abstract**

*Earthquakes in the Mediterranean-Himalayan belt occur frequently and cause a large number of fatalities due to the poor quality of construction. The Earthquake that occurred in the Sichuan province of China on 12th May 2008 at 6:28 UTC with the magnitude ( $M_w = 7.9$ ) caused severe material damage and killed many people. The reason for this was the magnitude of the earthquake, low focal depth (19 km), unpreparedness for the earthquake and poor construction. The final number of the deaths will never be established; the estimated number is 87,652, with additional 375,000 suffering from injuries.*

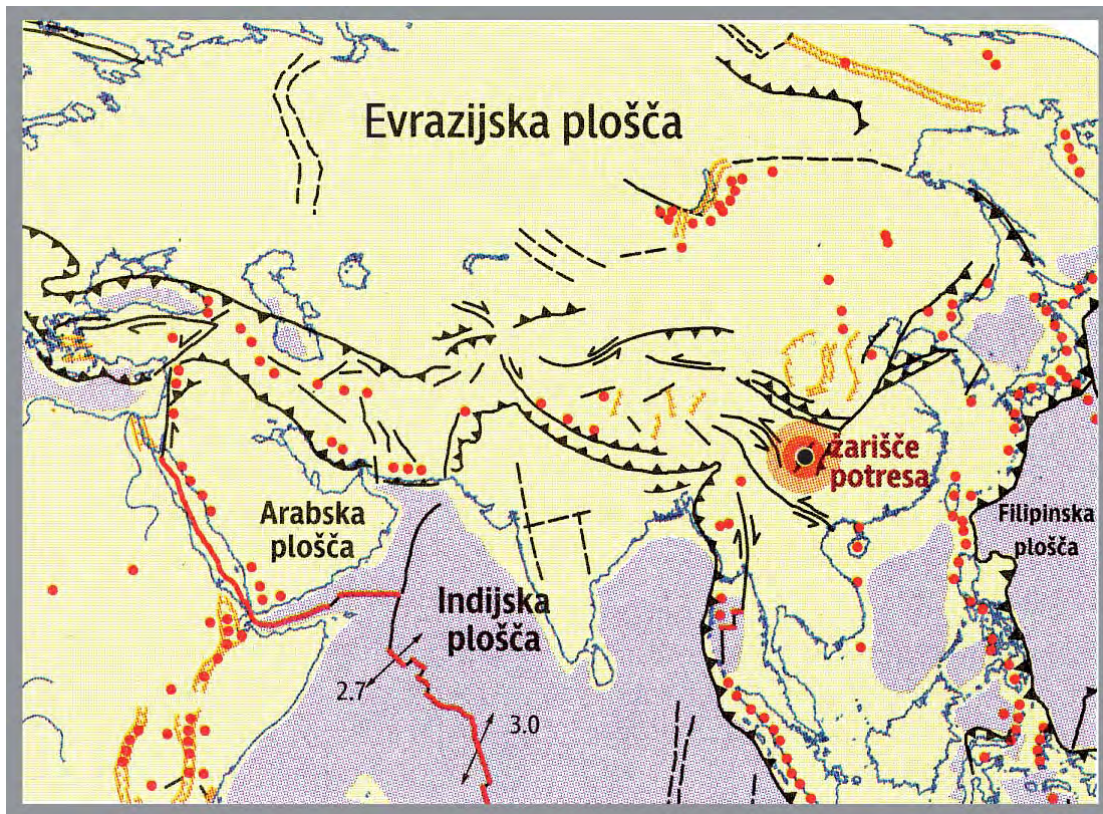
*The distressed area expanded over 250,000 km<sup>2</sup> and was home to 45.5 million people. 15 million people had to be relocated. More than 216,000 buildings in the Sichuan province were destroyed – out of which 6900 were educational edifices, burying thousands of pupils and teachers during the earthquake.*

## **Uvod**

Žarišče potresa je nastalo v kitajski pokrajini Sečuan v okolici mesta Wenchuan, ki je od glavnega mesta pokrajine Čengdu oddaljen okoli 150 km. Sproščena energija je bila večja od 500 atomskih bomb. Potres je nastal ob prelomu Longmenšan, kjer se je aktivirala prelomna cona v dolžini okoli 270 km. Indijska plošča (del Indoavstralske plošče) se na območju Himalaje giblje severno proti osrednji Aziji in pri tem dobesedno poriva Tibet proti vzhodu – proti Sečuanskemu bazenu. Močno poškodovanih ali porušenih je bilo okoli 5,36 milijonov objektov. Številni popotresni sunki so škodo le še povečevali. Nastale so številne poškodbe narave, plazovi so zasuli ceste in številne poti, tako da je bil dostop pomoči zelo otežkočen. Med prvimi je že po dveh urah na nadžariščno območje prispel kitajski premier Wen Jiabao, ki je tudi vodil reševanje izpod ruševin. Avtomobili so se le stežka prebijali na najbolj prizadeta območja, zato so najbolj izurjeni reševalci skakali na območje kar s padali. Poleg velikega števila porušenih šol, kjer je umrlo na tisoče učencev, dijakov in študentov, so zaradi plazov narasla jezera ogrožala celotno pokrajino. Gladina vode na številnih jezerih in vodotokih je ogrožala pregrade in s tem milijone ljudi, ki so jih na srečo uspeli evakuirati. Določenim vodotokom so morali dobesedno spremeniti strugo in odpeljati vodo drugam.

## **Geološke in seizmotektonske razmere**

Za potresno dejavnost tega območja lahko "krivimo" trk Indoavstralske plošče z Evrazijsko (slika 1). Plošči se primikata tudi do 50 mm/leto. V oligocenu (40 - 25 milijonov let) sta Indoavstralska in Evrazijska plošča trčili druga z drugo s celinskima litosferama. To je bil začetek



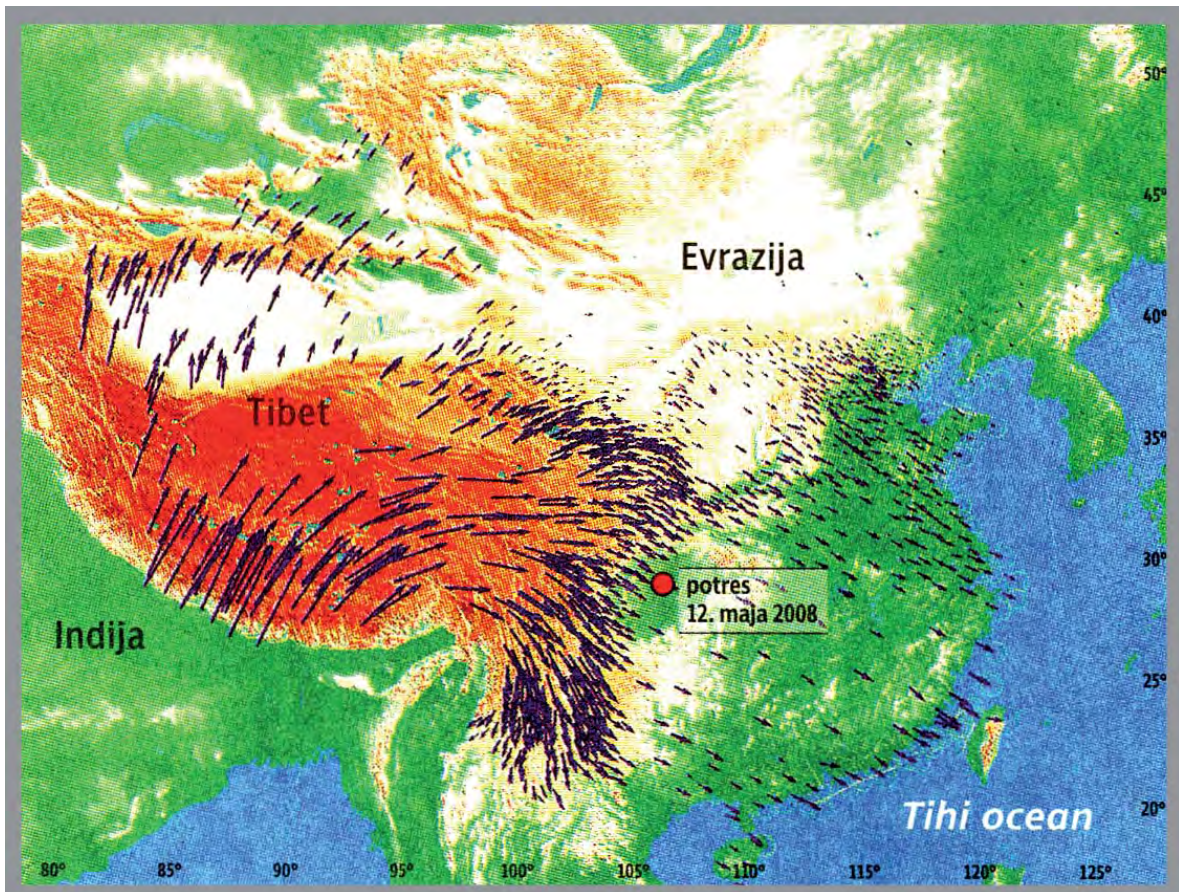
**Slika 1.** Ozemlje današnje Indije je v paleozoiku skupaj z Afriko, Avstralijo, Južno Ameriko in Antarktiko sestavljalo velik južni kontinent z imenom Gondwana. Kasneje se je en del odtrgal in začel potovati najprej proti vzhodu in potem proti severu. V terciarju se je Indijska litosferska plošča gibala od juga proti severu. Pred seboj je zapirala nekdanji ocean Tetido, za seboj pa je odpirala nov Indijski ocean. Do pred 40 milijoni let je "potovala" hitreje, potem pa počasneje, dokler ni trčila v Evrazijsko ploščo. Ta trk je povzročil dvig nekaterih azijskih gorskih verig, predvsem pa dvig najvišjega gorstva sveta, to je Himalaje. Trčenje je imelo tako v preteklosti kot tudi danes velik vpliv na tektoniko celotne osrednje in jugovzhodne Azije, kar dokazuje velika potresna dejavnost tega območja.

modra barva.....pretežno oceanska skorja  
 rumena barva.....pretežno kontinentalna skorja  
 rdeče linije.....razširjanje morskega dna in transformni prelomi (v cm/leto)  
 črne linije.....aktivni prelomi in prelomne cone  
 rumene linije.....normalni prelomi  
 črne linije z trikotniki.....reverzni (narivni) prelomi  
 rdeče pike.....aktivni vulkani v zadnjih milijon letih  
 črna pika.....žarišče potresa 12. maja 2008

**Figure 1.** In Paleozoic India, together with Africa, Australia, South America and Antarctica were forming a big southern continent called Gondwana. Some time in the past a part of this continent became a separate plate (Indian plate) and started to move towards east and later towards north. In Tertiary the Indian plate travelled from south towards north. In front of it the plate caused closing of Tethys ocean while behind it opened a new Indian ocean. Until 40 million years ago it had travelled faster, then slowed down and collided with Eurasian plate. As a result of that great mountain ranges were formed (i.e. Himalaya). The collision is also accompanied by high seismic activity.

blue.....oceanic crust prevailing  
 yellow.....continental crust prevailing  
 red line.....mid-oceanic ridges and transform faults (cm/leto)  
 black line.....active faults and fault zones  
 yellow line.....normal faults  
 black line with triangles....reverse (thrust) faults  
 red dot.....volcanoes active in last one million years  
 black dot.....12 May 2008 earthquake epicenter



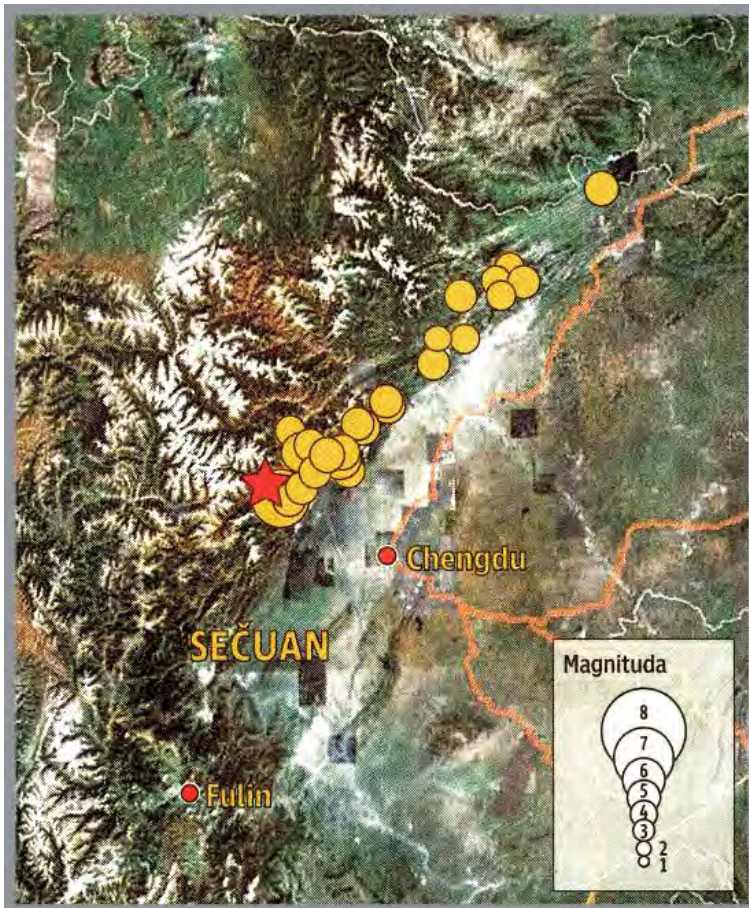


**Slika 2.** Modre puščice označujejo smer premikanj Tibeta proti severu, vzhodu, jugovzhodu in jugu. Gibanje temelji na meritvah GPS. Največji premiki dosega do 50 mm/letno; na območju zadnjega potresa – severozahodnega dela Sečuanskega bazena pa so najmanjši, tja do 10 mm/letno ali še manj, in prav na območju teh sprememb je nastal zadnji katastrofalni potres.

**Figure 2.** Black dots mark the direction of Tibet moving towards north, east, south-east and south as measured by GPS. The maximum velocity in this region is up to 50 mm/year. In the area of Sichuan basin, where the last earthquake occurred, the velocity is only up to 10 mm/year.

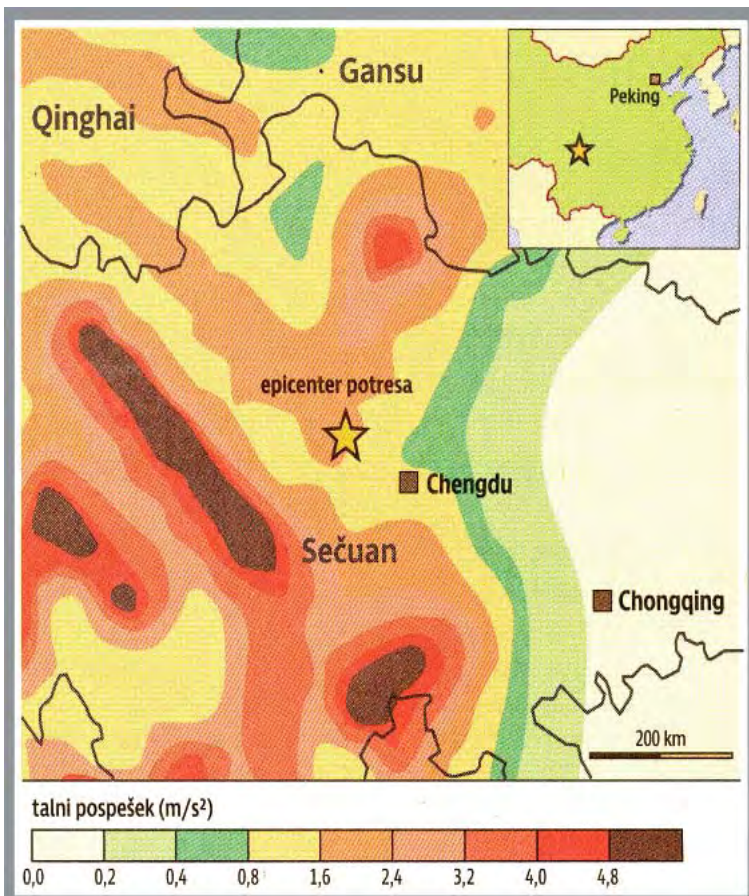
obdobja, v katerem so se pričele dvigovati gorske verige Himalaje, Tibeta, Hindukuša, Altaja itd. To je ustvarilo številne prelome in zadnji potresi so nastali kot posledica premikanj ob narivnih strukturah severozahodnega dela Sečuanskega bazena. Skrajni vzhodni del platoja Tibeta se počasi nariva na vzhodno Azijo in ustvarja narivne prelome (slika 2). Zemljina skorja se tu počasi premika od Tibeta proti severu, vzhodu in jugovzhodu ter se podriva pod Sečuanski bazen. Južna Himalaja se giblje proti severu, gorovje Tien Šan, severno od bazena Tarim se giblje počasneje, vzhodna Himalaja se premika proti vzhodu ali celo jugu. Ti prelomi potekajo od severozahoda približno 300 proti jugozahodu. Prav na tem območju prihaja do sprememb v hitrosti premikanj, tu so premiki najmanjši in prav tu je nastalo žarišče potresa. Ta dogajanja so poglavitni razlog za potresno dejavnost celotnega predela južne in jugovzhodne Azije in seveda tudi zadnje serije potresov v kitajski pokrajini Sečuan (slika 3).

Kot zanimivost lahko navedemo primerjavo kitajskega potresa s potresom leta 1998 v Zgornjem Posočju. V Zgornjem Posočju se je aktiviral prelom v dolžini okoli 10 km, v Sečuanu pa v dolžini okoli 300 km. Temu primerna je bila sproščena energija, saj je bil sečuanski potres več kot 1000-krat močnejši od posoškega. Med številnimi popotresnimi sunki, ki so sledili glavnemu potresu jih, je nekaj deset presegló magnitudo 5,0, eden celo 6,0, kar pomeni, da so bili po sproščeni energiji podobni posoškem potresu leta 1998. Tovrstni popotresi seveda porušijo praktično vse, kar ni bilo uničeno ob glavnem sunku in lahko zahtevajo tudi dodatna življenja.



**Slika 3.** Serija potresov v kitajski pokrajini Sečuan je nastala ob narivnih strukturah s smerjo severovzhod - jugozahod, ki gradijo severozahodni del Sečuanskega bazena. Popotresni sunki so nastajali ob prelomnih conah v dolžini okoli 300 km. Rdeča zvezda označuje potres 12. maja 2008 z  $M=7,9$ .

**Figure 3.** The earthquake sequence in China province Sichuan happened on NE-SW thrusts. The hypocenters of aftershocks stretched in a 300 km long belt. The red star shows the 12 May 2008 epicentre ( $M=7.9$ ).



**Slika 4.** Karta potresne nevarnosti prizadetega območja kaže na možne pospeške do 24% zemeljskega pospeška, kar odgovarja približno VIII. stopnji po EMS (evropska potresna lestvica). Možnost prekoračitve je 10% v 50-tih letih. Učinki potresa so to stopnjo prav gotovo presegle, torej so kitajski seizmologi to območje potresno podcenili. Sicer največjo potresno nevarnost označujeta rdeča in rjava barva, manjšo rumena in zelena, najmanjšo pa bela barva.

**Figure 4.** Seismic hazard map of the area estimates 0.24 g peak ground acceleration with a return period of 475 years which roughly corresponds to VIII EMS (European macroseismic scale). Seismic hazard of this area was underestimated. The highest seismic hazard is shown in red and brown, the lowest hazard is shown in white colour.

## Potresna aktivnost na tem območju

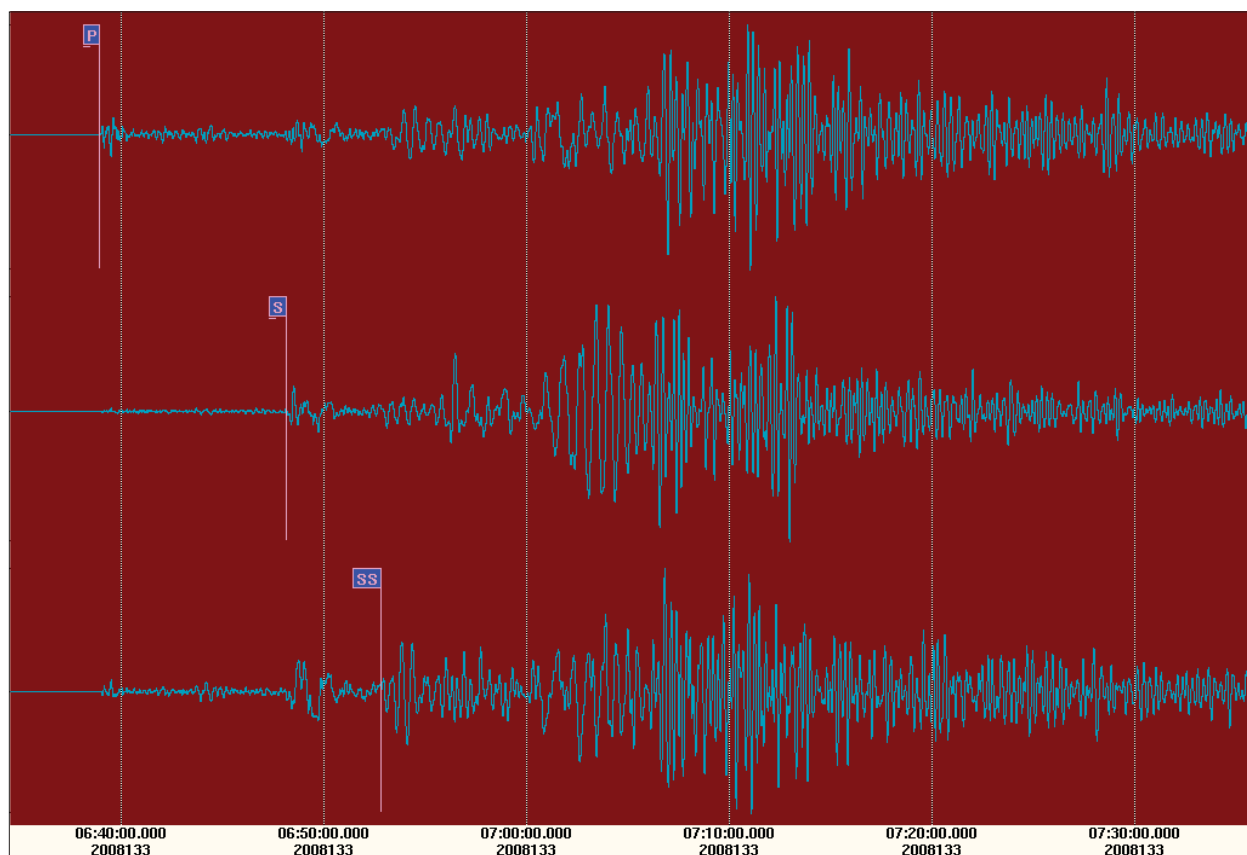
Pred potresom so bili močni potresi na tem območju redki, zato je bilo prizadeto območje na seizmoloških kartah uvrščeno v območje intenzitete VII. stopnje MM (Modificirana Mercalijeva lestvica), kar je primerljivo z intenziteto VI-VII po lestvici EMS. Ob tem lahko navedemo, da so šolski objekti uvrščeni v kategorijo C lokalnih predpisov, kar pomeni enako kot običajni objekti. Kitajski seizmologi so to območje potresno podcenili, saj je bil potres bistveno močnejši od pričakovanega (slika 4).

Zadnji veliki potres (magnituda 7,3) v Sečuanskem bazenu je nastal avgusta 1933 in je zahteval prek 6800 žrtev. Dodatnih 2500 žrtev pa je takrat nastalo zaradi porušitve pregrade na eni izmed rek. Velik plaz, ki se je sprožil med potresom, je namreč zajezil reko. Ko je količina zajezne vode postala prevelika, je prišlo do porušitve tako nastale pregrade na reki in posledično do žrtev.

## Zapisi potresa

Močno gibanje tal je bilo zabeleženo na okoli 200 opazovalnicah kitajske državne mreže. Zapis pridobljen na oddaljenosti 22 km od preloma je trajal okoli minute in imel vršni pospešek tal (PGA)  $957 \text{ cm/s}^2$ , kar je približno  $1g$ . Zapis pridobljen 88 km od nadžarišča, en kilometer od preloma je trajal 90 sekund in imel vršni pospešek  $802 \text{ cm/s}^2$ . Na razdalji 150 km od nadžarišča in 75 km od preloma je tretji zapis zabeležil trajanje 150 sekund in vršni pospešek  $550 \text{ cm/s}^2$ .

Na potresni opazovalnici slovenske državne mreže Observatorij na Golovcu v Ljubljani je bil zabeležen primarni (P) val potresa ob 06. uri 39 minut UTC, sekundarni mu je sledil 9 minut kasneje ob 06. uri 48 minut. Potresni valovi so do nas potovali približno 11 minut. Žarišče je bilo oddaljeno 7710 km od Ljubljane.



*Slika 5. Zapis potresa na potresni opazovalnici Observatorij na Golovcu v Ljubljani. Vidimo P in S valove.*

*Figure 5. The record of an earthquake recorded at Golovec Observatory, Ljubljana. P and S waves can be seen.*

Na površini so v prelomni coni nastali pretrgi v dolžini 270 km. Tako so mnoge porušitve objektov nastale zaradi teh navpičnih in vodoravnih premikov tal ob prelomni coni. Na mnogih mestih je bil tako viden navpični 3 – 4 metrski premik tal (največji pa celo 5,6 m).

## Poškodbe na zgradbah

Na prizadetem območju je bil ves gospodarski razvoj v dolinah. Raznolika lokalna topografija, ki se kaže v velikih spremembah nadmorske višine na majhnih razdaljah, ima za posledico različno intenzivnost in obseg pretrgov v prelomni coni, kjer so le ti dosegli zemeljsko površino. Tla sestavljajo večinoma rečni aluvijalni sedimenti. V splošnem je bilo manj opaženih poškodb na zgradbah na krovnem delu preloma, kot na podobnih zgradbah na talnem delu preloma.

Mnoge porušitve objektov so nastale zaradi navpičnih in vodoravnih premikov tal ob prelomni coni. Poškodbe so bile obsežne tudi pri inženirskih objektih (ceste, mostovi, pregrade) in so posledica plitvega žarišča potresa. Prevladujoč tip konstrukcij v provinci Sečuan so zidane zgradbe. Lesenih zgradb na prizadetem območju skorajda ni bilo. V praksi so prisotni trije tipi nearmiranih zidanih zgradb, in sicer:

- popolnoma nearmirane opečne zgradbe z 1- do 3-etažami in leseno streho, značilne za podeželje;
- delno armirane zidane zgradbe, ki predstavljajo poseben konstrukcijski sistem sicer običajno 2- do 3-etažnih zgradb (armirano betonski okvir je del pritličja, ki je običajno trgovina ali delavnica, preostali del pritličja in ostale etaže pa so narejene kot običajne nearmirane opečne zgradbe);
- 3- do 7-etažne armirano betonske zgradbe z opečnimi polnili v urbanih središčih.



**Slika 6.** Porušitev običajnega tipa zgradb v mestih. Gre za 3- do 7- etažne zidane zgradbe z montažnimi betonskimi stropi brez potresnih vezi. Pogosto je pritličje armirano betonski okvir z velikimi odprtinami (trgovine, lokali, garaže). Na prikazanem objektu v mestu Dujiangyan je prišlo do porušitve prvega nadstropja.

**Figure 6.** Collapsing of customary tipe of building in cities. This are masonry buildings with prefabricated concrete ceilings with three to seven stories. The second floor of a building in Dujiangyan was collapsed.



*Slika 7. Potres je porušil večino zgradb v mestu Hanwang, Sichuan.*

*Figure 7. Earthquake destroyed majority of buildings in Hanwang city, Sichuan.*



*Slika 8. Podružnica Kmetijske razvojne banke Kitajske v Bei Chuanu po potresu.*

*Figure 8. Agriculture Development Bank of China branch in Bei Chuan after earthquake.*



*Slika 9. Močno so bili poškodovani tudi tradicionalni leseni stanovanjski objekti.*

*Figure 9. In many cases were seriously damaged also traditional wooden houses.*

Pri nearmiranih opečnih zgradbah so kot stropne konstrukcije uporabljali montažne votle strope. Ta tip konstrukcije se je med potresom slabo obnašal – mnogo je bilo porušitev. Na ta način so bile zgrajene mnoge šole. Slabosti tega tipa gradnje so se zavedale tudi oblasti, saj po predpisih iz leta 1976 ni bil več dovoljen.

Pri delno armiranih zidanih zgradbah je armirano betonski okvir podpiral le prednji del zgradbe, medtem ko so opečni del pritličja in gornje etaže utrpeli hude poškodbe, ki so vodile do delnih porušitev objektov. Kitajski gradbeni predpisi iz leta 1989 so imeli za takšen tip gradnje še dodatne zahteve.

Armirano betonske zgradbe z opečnimi polnili so običajno podolgovate pravokotne oblike s 3- do 7-etažami. Konstrukcijski sistem predstavljajo armirano betonski stebri in prečke, redko tudi armirano betonske stene. Prečke so običajno tvorile venec po obodu vsake etaže konstrukcije. Pri armiranju so uporabljali stremena  $\Phi 10$ , polagali pa so jih na razdalji 30 cm ali več. Plošče so na prečke ali pa na obodni venec le nalegale – ni bilo nobene armature za povezavo posameznih elementov. Obnašanje tega tipa objektov med potresom je bilo zelo različno. Tudi na ožjem nadzariščnem območju so nekateri objekti utrpeli le lažje poškodbe, nekateri pa so se porušili. Pri tem je bila pomembna lega objekta glede na smer delovanja potresa. Objekti so bili običajno močnejši v vzdolžni smeri tudi zato, ker so bile odprtine na ulični (prečni) strani večje. Objekti, ki so imeli daljši del postavljen vzdolž smeri delovanja potresa, so sunek prestali mnogo bolje kot objekti, ki so imeli v smeri potresa svojo šibko os. Vzrok za poškodbe tega tipa objektov so bili tudi premajhno število stremen, pretanka plast zaščitnega sloja betona pri armaturi, nepravilna velikost in oblika agregata pri betonu, slaba kakovost cementa in slaba kakovost opeke.

Na prizadetem območju je bilo tudi nekaj okvirnih armirano betonskih konstrukcij, ki so potres, čeprav so bile v neposredni bližini nadzarišča potresa, prestale izjemno dobro in skoraj brez poškodb.

## Poškodbe na pregradah

Jugozahod Kitajske je bogat z vodno energijo. V provinci Sečuan je preko 7000 pregrad, od tega okoli 70% zgrajenih v obdobju od 1950 do 1960. Glede na poročila kitajskega ministrstva za vodne vire je bilo med potresom poškodovanih 2380 pregrad. Velika večina (96%) teh pregrad je manjših (imajo manj kot 5 milijonov zajezne vode). V provinci pa so ocenili, da je 69 pregrad tako poškodovanih, da lahko pride do porušitve. Na 600 km oddaljeni svetovno poznani veliki pregradi Treh sotesk na reki Jangce ni bilo poškodb.

Zanimive so poškodbe na skalometni pregradi Zipingpu. Skalometne pregrade so nasute pregrade, v katerih je več kot 50% celotne prostornine narejene iz naravnega ali lomljenega kamna. Višina pregrade znaša 156 m, prostornina zajezitve pa 1,1 milijarde kubičnih metrov vode (kar je 5x toliko, kot prostornina vseh pregrad v Sloveniji). Zaradi zagotavljanja varnosti so v dneh po potresu izpraznjevali vodo v zbiralniku. Krona pregrade se je namreč posedla za 70 cm. Po neuradnih podatkih je na akumulacijskem jezeru utonilo prek 100 ribičev zaradi nastanka 10 metrskih valov. Ti valovi so lahko nastali kot posledica vzajemnega učinka zemeljskih plazov, ki so zgrmeli v jezero, in tresenja tal.

## Poškodbe na napeljavah

### *Vodovodna napeljava*

V provinci Sečuan imajo v glavnem dva načina vodooskrbe. V večini mest zagotavljajo oskrbo z vodo vladna vodovodna podjetja. Na podeželju uporabljajo večinoma neposredno izvire vode ali vodnjake, ki jih upravljajo vaške skupnosti ali pa skupine bližnjih naseljencev. Vodo za pitje redno prekuhavajo (pred potresom in po njem) tudi v mestih predvsem zaradi nezanesljivih sanitarnih pogojev distribucijskega omrežja. Zaradi poškodb vodovodnega omrežja je pomanjkanje tekoče vode čutilo okoli 690.000 prebivalcev prizadetega območja (kjer živi okoli 10 milijonov ljudi).

Okoli 47.000 km vodovodnega omrežja je bilo podvrženo zmerno do močnemu gibanju tal (PGA okoli 0,10 g ali več). V dvajsetih dneh po potresu je bilo okoli 22.000 km tega omrežja usposobljenega za ponovno nemoteno delovanje. Večje poškodbe so bile na črpališčih vode, čeprav so bile običajno same črpalke nepoškodovane. Takoj po potresu so z jeklenimi podkonstrukcijami zaščitili črpalke pred odpadanjem ruševin okoliških poškodovanih zgradb. Dodatno pa so po potresu postavili vodovodno napeljavo do začasnih nastanitvenih centrov.

Poškodbe vodovodne napeljave vključujejo tako poškodbe litoželeznih kot PVC cevovodov. Vzrok poškodb vodovodne napeljave so tako tresenja tal, pretrg v tleh, plazovi, likvefakcija, kot tudi obsežna rušenja zgradb.

Poseben problem so bili vodovodni stolpi. Betonski vodovodni stolpi so se med potresom dobro obnašali in so tesnili tudi po potresu. Medtem pa so bili opečni vodovodni stolpi (nearly zidovje) pogosto hudo poškodovani. Najpogostejše poškodbe so bile globoke strižne razpoke v podporni konstrukciji ali pa je prišlo do popolnih porušitev.

Vodovodna podjetja in vojska so najprej zagotovili vodo na osrednjih lokacijah (kot lokalni centri ukrepanja po potresu) in na lokacijah začasne nastanitve (šotorišča). Na teh lokacijah so bili postavljeni začasni objekti za pripravo vode. Vodovodna podjetja so po mestih in na podeželju razdeljevala tudi tablete za dezinfekcijo vode.

Dva dni po potresu so se v mestu Čengdu razširile govorice, da je voda onesnažena zaradi eksplozije v kemični tovarni, kar bo imelo za posledico tudi onesnaženje zajetij vode v naslednjih dneh. Takrat je vodovodno podjetje dobilo dnevno preko 1900 telefonskih klicev (v primerjavi s povprečno 200 klici v običajnih dnevih). Navkljub zanikanju vodovodnega podjetja so si zaradi govoric ljudje panično delali zaloge vode kjerkoli in v čemerkoli. Zaradi povečane potrošnje vode je v že tako prizadetem vodovodnem omrežju padel pritisk pod takšno mejo, da so bile oblasti

prisiljene za pol dneva ustavit kakršnokoli dobavo vode. Istočasno sta vodovodno podjetje in mestna oblast pričela z obsežnimi aktivnostmi za preprečitev govoric. Tu so se poslužili tudi pošiljanja SMS sporočil.

### **Elektrika**

Potres je povzročil ustavitev, začasno prekinitev ali le motnje pri oskrbi z elektriko v večini prizadetega območja. Čengdu je bilo edino mesto, kjer ni prišlo do izpadov elektrike. V splošnem je izpad dobave elektrike trajal na oddaljenih težko dostopnih območjih od 10 do 20 dni.

Hidro- in termoelektrarne so bile izključene iz omrežja še 60 dni po potresu. Poleg tega so bile močno poškodovane tudi mnoge transformatorske postaje (primeri v mestih kot Yingxiu, Wenčuan in Beičuan). Prav tako pa je bil zaradi plazov in odpadanja skal poškodovan prenosni sistem daljnovidov.

### **Telekomunikacije**

Potres je povzročil izpade tudi na žičnem in brezžičnem telekomunikacijskem omrežju. Izpadi so bili posledica poškodb opreme, poškodb žične napeljave in posledica izpada elektro omrežja. Tako v mestu Hongkou še 60 dni po potresu nobeden od operaterjev brezžične telefonije ni uspel vzpostaviti delovanja.

V hribovitem območju so primarne brezžične telekomunikacije. Zaradi izpada električnega omrežja so tudi nepoškodovane bazne postaje ostale brez napajanja po dveh do treh urah, kolikor so imele zagotovljene avtonomije z baterijami ali akumulatorji. Problem pa so predstavljali tudi sami mobilni telefoni, katerih se, zaradi izpada električnega omrežja, ni dalo polniti. Posamezni trgovci so v tem primeru zagotavljali polnjenje mobilnih telefonov s priključitvijo na manjše generatorje z dizelskim motorjem.

Popravila so bila zelo težavna predvsem zaradi plazov in odpadanja skal, ki so onemogočali dostop do oddaljenih lokacij. Tako so ponudniki telekomunikacijskih storitev lahko pripeljali potrebno opremo in osebje šele takrat, ko je vojska očistila dostopne poti do oddaljenih lokacij.

### **Prometna infrastruktura**

Med potresom je bilo poškodovanih okoli 53.000 km cest in železnic, 3000 mostov, 100 predorov in mnogo kilometrov podpornih konstrukcij. Izgube v prometnem sektorju so bile ocenjene na 10 milijard ameriških dolarjev. Na dan potresa je 31 potniških in 149 tovornih vlakovnih kompozicij obtičalo na tirih, ki povezujejo Čengdu s preostalimi deli regije. Vzrok temu so bili mnogi sproženi plazovi, porušeni mostovi in druge poškodbe. Problem je bil tudi izpad elektrike. Blizu mesta Huixiab je prišlo zaradi delne porušitve predora do požara na vlaku.

Ministrstvo za železniški promet je na teren poslalo ekipe za reševanje in popravila. Vsi tovorni vlaki so morali ostati na odprtih delih proge (ne na mostovih ali predorih), medtem ko so se potniški vlaki, ki so vozili proti prizadetemu območju, kjer je bilo mogoče, vrnili na izhodišča. Zaradi tega je na dan potresa na osrednji železniški postaji v Čengduju obstalo prek 10.000 potnikov.

Ker so bile mnoge ceste v pokrajini Sečuan poškodovane zaradi plazov, odpadanja skal in poškodb mostov, je takoj po potresu Ministrstvo za promet začasno zaprlo vse glavne ceste. V zelo kratkem času so jih usposobili za dostavo potrebnega materiala in pomoči za ukrepanje po potresu.

Mostovi so večinoma enostavni gredni in enostavno položeni na podporno konstrukcijo. Tako je ena od gred na mostu Minjiang preko akumulacije Zipingpu zdrsnila iz ležišča v jezero. Podobnih primerov porušitev ali le delnih zdrsov na ležiščih pri enostavnih grednih mostovih je bilo veliko.





**Slika 10.** Številni plazovi in podori, ki so zasuli ceste, dovozne poti in železnice, so še dodatno oteževali reševanje in oskrbo prizadetega prebivalstva.

**Figure 10.** Numerous land slides and rock falls blocked traffic on roads and railways.



**Slika 11.** Plazovi niso le zasuli posameznih cest, temveč so le te splazele z ostalo zemeljsko maso (primer ceste pri Dujiangyan, Sichuan).

**Figure 11.** Land slides and rock falls didn't only block traffic on roads, but also seriously damaged them – image depicts road near Dujiangyan, Sichuan.



**Slika 12.** Poškodbe mostu v Xingyiu regiji so posledica velikih navpičnih premikov tal ob prelomu. Temeljna tla na bližnjem delu mostu so se namreč dvignila za 1,5 m glede na tla na drugi (oddaljeni) strani reke. Posledica tako velikih premikov je popolna porušitev posameznih razponov mosta.

**Figure 12.** Damages of bridge in Xingyiu region are result of displacement on the fault - uplifting one half compared to the other. The fault runs through the abutment in the foreground, which has been lifted up about 1.5 metres to form this scarp. In addition, because the fault was so close to the fault the bridge was also intensely shaken. Result was completely collapse of a few of the decks.

Pretrgi v prelomni coni so poškodovali in povzročili porušitev mnogih mostov. Takšni primeri so porušitev mostov Xiaoyudong in Baihua pri Yingxiu ter mostu Gaoyuan. V tem primeru gre za porušitev grednega tipa mostu. Most je zgrajen iz severnega in južnega opornika in treh podpornih stebrov, preko katerih je položena prekladna konstrukcija. Pretrg naravnega preloma je potekal preko severnega opornika in povzročil nariv voziščne plošče preko prvega polja mostu. Premik je bil tako velik, da je konstrukcija na drugem razponu zdrsnila iz ležišča in padla na tla.

Po potresu so takoj, vsaj z začasnimi rešitvami, vzpostavili peš komunikacijo prek mostov, posebej tistih, ki so bili izredno pomembni za življenje lokalne skupnosti. Projektanti pa bodo morali pri izračunih upoštevati večje potresne sile in večje pomike konstrukcij. Obstoječe mostove bo potrebno ne le sanirati, ampak predvsem utrjevati, da bodo preprečeni zdrsi iz ležišč ob prihodnjih potresih.

Mednarodno letališče Čengdu Šuangliu je bilo začasno zaprto. Onemogočenih je bilo 160 pristankov in 108 odhodov letal. Nekaj objektov na letališču je bilo poškodovanih, kontrolni stolp in regionalni radar pa sta bila evakuirana. Samo letališče so sicer v omejenem obsegu za potrebe zagotavljanja pomoči ponovno odprli 12. maja 2008 zvečer, le nekaj ur po potresu. Tudi ostala letališča so bila ponovno odprta istega dne.

Po potresu so bili veliki naporii vloženi v čimprejšnje popravilo cest in železnic. V štirinajstih dneh po potresu so bile vse ceste do prestolnice pokrajine (Čengdu) ponovno prevozne. Do 14. junija pa so bile prevozne tudi ceste do 248-tih mest v regiji (od skupno 254 mest). Za ponovno

popolno vzpostavitev železniškega omrežja so potrebovali več časa. Tiri namreč zahtevajo ravno in gladko traso ter elektriko za delovanje. Takšna popravila pa trajajo mesece, včasih tudi leta.

## Poškodbe v naravi

### Plazovi

Območje, ki ga je prizadel potres, je bilo že prej izpostavljeno plazovom. Ob potresu so se sprožili mnogi plazovi, ki pa so bili relativno plitvi in so vključevali večinoma površinsko plast zemljine. Po dostopnih poročilih se je sprožilo okoli 25 obsežnejših plazov, kjer je plazelo po več kot 10 milijonov kubičnih metrov materiala. Na sliki 13 je posnetek plazov, ki je prizadel del mesta Longenshan in pod seboj pokopal 68 ljudi.

Obsežnejši plazovi so splazeli v reke po dolini in ustvarili »potresne akumulacije«, ki so ogrožale dolvodno prebivalstvo. Takšnih (manjših ali večjih) primerov je bilo 34. Največja »potresna akumulacija« je bilo jezero Tangjishan v provinci Sečuan. Ker je voda naraščala izredno hitro je bila vključena tudi vojska, da so izkopal kanale za odtekanje vode in s tem zmanjšali nevarnost pred porušitvijo pregrade.

### Blatni tokovi

Na prizadetem območju je v dneh po potresu močno deževalo, kar je povzročilo, da so zaradi potresa razrahljane zemljine postale nestabilne. Ko je takšno zemljino prepojil dež, je v obliki bla-



**Slika 13.** „Potresna“ akumulacija Tangjiashan je nastala zaradi plazov, ki se je sprožil ob potresu. V akumulaciji je bilo 130 milijonov m<sup>3</sup> vode (Blejsko jezero ima okoli 32 milijonov m<sup>3</sup> vode). Kitajski reševalci so takoj pričeli tako z evakuacijo prebivalcev kot s kopanjem kanala za odvajanje vode.

**Figure 13.** The Tangjiashan „quake“ lake formed by the landslide following the earthquake. In quake lake was 130 millions m<sup>3</sup> of water (Bled lake has around 32 millions m<sup>3</sup> of water). Chinese officials rushed to evacuate people in the path of potential floodwaters building up behind a quake-spawned dam as soldiers carved a channel to try to drain away the threat.

tnega toka zgrmela v dolino. Primer takšnega blatnega toka je bil v Pengzhouju. Tok je tekkel kar 40 minut in s seboj nosil skale do premera 1,5 m in ruval drevesa debeline do 30 cm.

### **Padanje skal**

V hribovitem delu pokrajine Sečuan je v dolino padlo veliko skal. Posamezne odpadle skale so bile velike več kubičnih metrov, težo največje pa so ocenili na več kot 100 ton. Te skale so poškodovale tako ceste kot železnice, v številnih primerih pa tudi zgradbe.

### **Ukrepi po potresu**

Ukrepanje po potresu je bilo hitro in odločno. Nobena država ni pripravljena na naravno nesrečo takšne jakosti in takšnega obsega. Kitajska vlada je izredno hitro mobilizirala 130.000 vojakov, ki so najprej iskali in reševali ponesrečence, vzpostavljali dostope in vzpostavljali red. Ostale Kitajske pokrajine in večja mesta so pomagali z osebjem, opremo in sredstvi za dopolnjevanje vojske in lokalnih sil za ukrepanje ob naravnih nesrečah. Poleg tega so mnogi posamezniki ali skupine ljudi iz vse Kitajske prišli v provinco Sečuan in ponudili svojo pomoč. V nasprotju z dogajanjem ob potresu v Tangšanu leta 1976, je tokrat Kitajska sprejela pomoč tujine. Na začetku je nastalo nekaj zmede pri koordinaciji in prekrivanju odgovornosti, toda večina strokovne javnosti je ocenila ukrepanje kot zelo dobro.

Kitajska vlada pod vodstvom premiera Wen Jiabaa je takoj ustanovila Štab za reševanje in ukrepanje po potresu. Štab je predpisal večino osnov in prioritet za osnovno zagotavljanje preživetja ljudi v 51 prizadetih okrožjih province Sečuan. Provinca ima površino 488.000 km<sup>2</sup>, od tega je bila velikost prizadetega dela nekaj več kot 132.000 km<sup>2</sup>. V provinci živi okoli 86 milijonov prebivalcev, na prizadetem območju pa jih živi 20 milijonov. Postavili so si cilj, da v treh mesecih zagotovijo predvsem potrebe preživelih ter zelo ambiciozen vsestranski program triletnih ciljev zagotovitve nastanitve in zaposlitve vsaki družini. Vsakemu prebivalcu pa naj bi priskrbeli tudi socialno in zdravstveno oskrbo. Triletni cilji vključujejo tudi splošen napredek tako na infrastrukturnem in gospodarskem področju ter tudi na izboljšanju stanja okolja.

Civilna družba, t.j. nevladne organizacije, razna združenja ljudi in posamezniki, so igrali pomembno vlogo, posebej v prvih dneh po katastrofi. Takoj po potresu, še preden je lahko prišla formalna pomoč, so iskanje preživelih in njihovo reševanje opravili družinski člani, sosede in lokalne skupine ljudi. Kot primer – v mestu Yingxiu je v potresu umrlo okoli 75% vseh prebivalcev, plazovi pa so onemogočili dostop do mesta. Tako so morali preživeli opraviti prva iskanja in reševanja, ker vladna pomoč ni mogla priti v mesto.

Prav tako so se iskanju in reševanju zasutih ter drugi pomoči takoj pridružili ljudje iz sosednjih neprizadetih območij. Tako so na primer taksisti iz Čengduja takoj odšli v bližnji Duijiangyuan, ko so izvedeli, da ne morejo zapustiti tistega območja. Osebe z izkušnjami pri reševanju ter medicinsko osebje je prišlo iz drugih provinc. Niso bili redki primeri, ko so se zdravniki peš odpravili po težavnem terenu do oddaljenih zaselkov. Skupine tujcev, ki so bile pripravljene pomagati, so se zbirale v Čengduju. Takšno obnašanje ljudi je značilno za podobne katastrofe; posebnost v tem okolju je le, da je takšno neinstitucionalno vključevanje neobičajno za kitajski politični in kulturni okvir. Vsa humanitarna pomoč naj bi potekala preko Rdečega križa ali Ministrstva za notranje zadeve, vendar so v prvih 10-tih dneh uspešno delovali mnogi alternativni načini ukrepanja in pomoči.

Glede na to, da je bilo prizadeto veliko območje in da je razpadla ali bila motena pokritost z žično ali brezžično telefonijo, so mediji odigrali pomembno vlogo pri razširjanju informacij o potrebah. Takšna poročila so mobilizirala prostovoljce širom po državi. Pri kasnejših analizah se je izkazalo, da so mesta, ki so bila deležna večje pozornosti medijev, dobila bistveno več donacij kot tista, ki so se, kljub veliki poškodovanosti, v medijih pojavljala manj.

V naravni ujmi je bilo prizadetih mnogo otrok v šolah, zato so mnoge zasebne družbe želele donirati za obnovitev in utrditev teh objektov. Tu so imele veliko vlogo nevladne organizacije

strokovnjakov, ki so odigrale pomembno vlogo pri začetnih aktivnostih ocenjevanja poškodb kot tudi ugotavljanja potreb.

Ko sta reševanje in kasneje obnavljanje postala možna, se je vloga manjših skupin civilne sfere zmanjšala. Takšne skupine so namreč imele zelo omejene možnosti za obsežnejše ukrepanje; državne institucije pa so ponekod nasprotovale vključevanju civilne sfere. To se je najprej pokazalo pri ukrepanju v porušeni šolah, kasneje pa so nastajali tudi problemi v zvezi s vprašanjem lastnine. Nasprotovanje dela lokalnih vladnih institucij je bilo povezano tudi s tem, da niso želele izgubiti nadzora nad ukrepanjem. Tako ni bilo neobičajno, da so se neformalnim skupinam, vaški uradniki ali pa celo oškodovanci prijazno zahvalili za pomoč, ne glede na to ali je šlo za lokalne, državne ali mednarodno sestavljene skupine. Kljub temu so imele nekatere organizacije še naprej pomembno vlogo, posebej v primerih, ko so pokrivali kakšne posebne potrebe. Tak primer je bila na primer skrb za sirote – le tem je civilna organizacija »Pol neba« zagotavljala namestitve, dnevno varstvo, terapijo, svetovanje, pa tudi varen prostor za igro.

## Obnova

Vlada je zelo hitro pripravila normativne okvire za obnovo na prizadetem območju. Tri tedne po potresu (4. junija 2008) je bil objavljen zakon o popotresni obnovi. Ta predpis je postal pravni okvir za različne vladne institucije na prizadetem območju ali izven njega, da so pomagali tako pri nadaljevanju reševanja in pri obnovi. Predpis je vključeval navodila za ocenjevanje škode, za začeto nastanitev ter za načrtovanje, financiranje, izvajanje in vodenje obnove. Pripravljen je bil skupen načrt obnove prizadetega območja, poleg tega pa je bilo pripravljenih še deset posebnih načrtov, ki so pokrivali mesta kot regionalne urbane sisteme, razvoj podeželja, bivališča v mestih in na podeželju, infrastrukturo, javne storitve, prestrukturiranje industrije, preventivne ukrepe (preventivno utrjevanje konstrukcij), ukrepe za ublažitve učinkov katastrof, ekološko sanacijo okolja (problem ruševin) in tudi rabo prostora. Podrobneje je bilo vse prej navedeno vključeno v celovitem načrtu obnove, ki je bil javnosti predstavljen že 12. avgusta.

Osrednji element oblikovanja popotresne obnove je povezovanje med potresom prizadetih in neprizadetih območij za zagotavljanje materialnih in finančnih sredstev za obnovo. Tako so bila med potresom prizadeta območja v pokrajinah Sečuan, Gansu in Shaanxi razdeljena na 24 krajevnih enot, ki so jih povezali s 24-timi lokalnimi skupnostmi. Na primer – mesto Shanghai je bilo pokrovitelj mesta Duijiangyan, Peking pa pokrovitelj mesta Anxian. Vsaka skupnost pokroviteljev je dobila seznam svojih nalog, potrebnih materialnih in finančnih sredstev, pa tudi časovne okvire. To sodelovanje vključuje tudi zagotavljanje:

- človeških virov,
- ustreznih institucij (na primer institucije za urbanistično planiranje in podobnih ustanov, ki jih ima pokroviteljsko območje),
- začasne nastanitve,
- donacije v materialu in
- finančno podporo.

Plakati in napisi v zahvalo za opravljeno delo so bili razpostavljeni vsepovsod na prizadetem območju.

Po zadnjih podatkih je bilo zaradi potresa 15 milijonov ljudi preseljenih; okoli 180.000 ljudem je bilo zagotovljeno delo izven prizadetega območja, 687.000 ljudi pa je dobilo delo v bližini svojih nekdanjih bivališč. V tem času je zopet delalo okoli 92% od skupno 139.000, zaradi potresa prizadetih gospodarskih subjektov. Začasno je bilo postavljenih okoli 663.000 hiš, prav tako pa so bile obnovljene praktično vse ceste (53.295 km).

Obnova infrastrukture na goratem območju bo poseben izziv zaradi geoloških in vremenskih pogojev, pa tudi zaradi stalne potresne dejavnosti. Največji pritisk bo pri zagotavljanju višjih standardov - tako pri potresno odporni gradnji, kot pri kakovosti na sploh. V načrtu popotresne

obnove je tako že vključena zahteva po boljši potresni odpornosti, posebej šolskih in zdravstvenih objektov. Na podeželju so prav tako želeli vpeljati nove materiale in načine, ki bi zagotavljali večjo potresno odpornost, vendar so mnogi ljudje že sami pohiteli in pri obnovi uporabljali tako stare tehnike kot odpadne materiale, predvsem opeko iz ruševin.

## Zaključek

Končna obnova bo velik zalogaj tudi za močno kitajsko gospodarstvo. Tako je bila podana ocena, da naj bi potrebna sredstva skupno znašala 147 milijard ameriških dolarjev. Ta znesek je enak dvajsetini vseh davčnih dohodkov Kitajske. Znesek sam pa vključuje tudi nove domove za 3,9 milijona beguncev, nove šole in tudi zagotovitev delovnih mest za milijon ljudi.

## Literatura

<http://earthquake.usgs.gov/eqcenter/eqinthenews/2008/us2008ryan/>

<http://www.dgmarket.com/eproc/adminShowBuyer.do~buyerId=6403957>

<http://geology.com/events/sichuan-china-earthquake/>

[http://www.eeri.org/site/images/eeri\\_newsletter/2008\\_pdf/Wenchuan\\_China\\_Recon\\_Rpt.pdf](http://www.eeri.org/site/images/eeri_newsletter/2008_pdf/Wenchuan_China_Recon_Rpt.pdf)

<http://www.ncree.gov.tw/eng/index.htm>

[http://en.wikipedia.org/wiki/2008\\_Sichuan\\_earthquake](http://en.wikipedia.org/wiki/2008_Sichuan_earthquake)



## KONGRES EVROPSKE GEOZNANSTVENE UNIJE (EGU) GENERAL ASSEMBLY OF EUROPEAN GEOSCIENCES UNION

DUNAJ (13.-18. APRIL, 2008)

**Andrej Gosar, Marko Mali, Izidor Tasič**

### *Povzetek*

*Na Dunaju je od 13. do 18. aprila 2008 potekala v Austria Centru Vienna generalna skupščina EGS (European Geophysical Society), ki pokriva področja geofizikalnih znanosti. Množica plakatov in predavanj je nudila vpogled kaj se na področjih geofizikalnih znanosti trenutno dogaja.*

### *Abstract*

*The General Assembly of the European Geophysical Society conference covering all areas of geophysics was held in the Austria Center in Vienna between 13th and 18th April, 2008. Great number of lectures and poster presentations offered insight on novelties in geophysics.*

Evropska geoznanstvena unija (European Geosciences Union - EGU) je nastala z združitvijo Evropske geofizikalne zveze (European Geophysical Society - EGS) in Evropske unije geoznanosti (European Union of Geosciences - EUG) leta 2002. Od leta 2005 organizira EGU svojo letno konferenco poimenovano Generalna skupščina (General Assembly) vedno na Dunaju v kongresnem centru Austria Center. Ker gre za največje srečanje raziskovalcev s področja geoznanosti v Evropi, je bilo namreč vedno manj gostujočih mest sposobnih zagotoviti pogoje za tako veliko srečanje. Letošnjega se je udeležilo kar 8685 udeležencev iz 88 držav. Kongresa se je udeležilo 26 slovenskih raziskovalcev. Daleč največ je bilo Nemcev (1585), saj je druga država po številu udeležencev Francija (910) zaostajala za več kot tretjino. Delo na konferenci je potekalo v 23-ih programskih sklopih:

- atmosfere znanosti,
- biogeoznanosti,
- klimatologija,
- kriosferske znanosti,
- informatika v zemeljskih in vesoljskih vedah,
- energetski viri in okolje,
- geokemija, mineralogija, petrologija in vulkanologija,
- geodezija,
- geodinamika,
- geomorfologija,
- inštrumenti v geoznanostih in podatkovni sistemi,
- hidrologija,
- izotopi v geoznanostih,
- magnetizem,
- naravne nevarnosti,
- nelinearni procesi v geofiziki,
- oceanografija,
- planetarne znanosti in osonče,

- seizmologija,
- vede o tleh,
- osončje in Zemlja,
- stratigrafija, sedimentologija in paleontologija ter
- tektonika in strukturna geologija.

Znotraj teh tematskih sklopov je bilo organiziranih več kot 300 sekcij. Povzetki prispevkov so izšli kot posebna številka publikacije Geophysical Research Abstracts.

Sodelavci Urada za seizmologijo in geologijo (Marko Mali, Igor Pfundner, Luka Pančur in Andrej Gosar) smo imeli na konferenci naslednje predstavitve:

1. Ganas, A., Gosar, A., Drakatos, G.: Static stress changes due to the 1998 and 2004 Krn Mountain (Slovenia) earthquakes and implications for future seismicity je bila predstavljena v sekciji Dynamics of seismicity patterns and earthquake triggering. V soavtorstvu s kolegi iz National Observatory of Athens iz Grčije smo raziskali statični prenos napetosti ob potresih leta 1998 in 2004 v Krnskem pogorju med Ravenskim prelomom, ob katerem sta potresa nastala in sosednjimi prelomi.

2. Gosar, A., Šebela, S., Kavčič, M., Koštak, B., Stemberk, J.: Microdeformation monitoring of active tectonic structures in W Slovenia je bila predstavljena v sekciji Geology, tectonics, kinematics, seismology, and geodynamics of the Mediterranean-Near/Middle East region. S kolegi iz Institute of Rock Structure and Mechanics češke akademije znanosti iz Prage ter Inštituta za raziskovanje krasa iz Postojne že vrsto let opazujemo tektonske premike ob domnevno aktivnih prelomih v zahodni Sloveniji. Na površju merimo z ekstenziometri na Idrijskem in Raškem prelomu, v Postonjski jami pa na prelomu vzporednem Predjamskemu prelomu.

3. Tasič, I., Mali, M., Pančur, L., Sinčič, P., Gostinčar, M.: Influence of Uninterruptible Power Supply on Seismic Data je bila predstavljena v sekciji Open Session on Geoscience Instrumentation. V prispevku smo predstavili vpliv napajalnega sistema (UPS enote) na delovanje seizmološke merilne opreme. Podali smo podrobnejše informacije o umetnem šumu, ki je posledica napajanja ter opisali posege, s katerimi smo omenjeni šum minimalizirali (razvoj nove napajalne enote).

4. Tasič, I., Mali, M., Pančur, L.: Comparing Noise Level of CMG-40T and CMG-3ESPC with STS-2 Seismometer at Conrad Observatory – Preliminary Results je bila predstavljena v sekciji Open Session on Geoscience Instrumentation. Na lokaciji Observatorij Conrad v Avstriji, ki je v lasti avstrijskega Centralnega inštituta za meteorologijo in geodinamiko (ZAMG-Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik) in je v seizmičnem smislu tiha lokacija, smo za ocenitev lastnega šuma seizmometrov izvajali primerjalne meritve seizmometrov Güralp CMG-40T in Güralp CMG-3ESPC s seizmometrom STS-2.

5. Pfundner, I., Tasič, I.: Quanterra Q730 Seismic Data Logger Hardware Errors je bila predstavljena v sekciji Open Session on Geoscience Instrumentation. Opisani so bili najpogostejši primeri okvar in njihova odprava na instrumentih Quanterra Q730, ki jih uporabljamo v državni mreži potresnih opazovalnic.

Na konferenci smo poslušali predavanja številnih sekcij v sklopih seizmologija, tektonika in strukturna geologija, naravne nevarnosti ter instrumenti v geoznanostih in podatkovni sistemi. Zelo zanimiva so bila tudi nekatera daljša plenarna predavanja eminentnih znanstvenikov ali dobitnikov priznanj. Poleg tega smo imeli več srečanj s kolegi, s katerimi izvajamo skupne projekte ali drugače sodelujemo. Konferenco je spremljala bogata razstava seizmološke in geofizikalne opreme ter strokovne literature.





## 33. MEDNARODNI GEOLOŠKI KONGRES THE 33RD INTERNATIONAL GEOLOGICAL CONGRESS

OSLO, 6. - 14. AVGUST 2008

**Peter Sinčič, Renato Vidrih**

### *Povzetek*

*Od 6. do 14. avgusta 2008 je potekal 33. mednarodni geološki kongres, ki enkrat na štiri leta zbere geologe vsega sveta, ki imajo možnost predstaviti svoje delo in spoznati, kaj je novega na področju geoloških znanosti. Kongresa, ki je pokrival vsa področja geologije in ga nekateri smatrajo za »geološko olimpiado«, se je udeležilo 6000 udeležencev iz 113 držav. Pokrovitelj kongresa je bil norveški kralj Harald V., ki je tudi uradno otvoril kongres. Kongres je začel s tematiko nastanka življenja na Zemlji, končal pa z geologijo v vesolju. Razprave so obravnavale vprašanja o podnebnih spremembah, naravnih katastrofah in o prihodnjih virih energije. Na kongresu je aktivno sodelovalo več slovenskih strokovnjakov iz različnih inštitucij. V prispevku omenjava le seizmološka prispevka.*

### *Abstract*

*From August 6th to August 14th 2008, the 33rd Geological Congress took place. Geologists from all over the world gather together once every four years at this congress to present their work and learn about progress in the field of geological science. The congress, which covers all aspects of geology and is believed to be the "Geological Olympics" by some, attracted 6,000 participants from 113 countries. The sponsor of the congress was King Harald V of Norway who officially opened the congress. The congress started with the topic of the beginnings of life on Earth and finished with geology in space. The discussions referred to the questions of climate change, natural disasters and alternative sources of energy. Several Slovene experts from various institutions actively participated at the congress. The article mentions only the two seismological discussions.*

### **Pregled kongresne dejavnosti**

Glavne teme posameznih dni kongresa so bile:

- globalna geologija,
- življenje na Zemlji, biološka raznovrstnost in evolucija,
- podnebje in podnebne spremembe ter vpliv človekovih dejavnosti nanje,
- geološka nevarnost (geohazard) in družba,
- voda, okolje in vpliv na zdravje ljudi,
- rudna bogastva v hitro rastoči globalni ekonomiji,
- energija danes in jutri ter
- Zemlja in vesolje – pogled z vesoljskega vidika.

Predavanja in predstavitve prvega dne kongresa so potekale pod skupnim naslovom globalna geologija, v okviru katere je izstopal mednarodni projekt OneGeology (ena geologija), ki je priregnil k sodelovanju že 79 držav. Cilj projekta je ustvariti dinamično bazo geoloških podatkov, dostopno preko medmrežja, ki jo bodo udeleženci sproti dopolnjevali z novimi podatki. Uporabniki bodo dostopali do osnovnih podatkov željenega območja s pomočjo brskalnika, podobno kot pri Google Earth, za dodatne informacije pa bo na voljo povezava do lastnika podatkov. Začetki projekta segajo v leto 2006, cilji projekta pa so ustvariti bazo geoloških podatkov za vso Zemljo, jo narediti dostopno vsem zainteresiranim z uporabo standardnih orodij in povečati uporabo in uporabnost podatkov same baze.



*Slika 1. Pokrovitelj kongresa je bil kralj Norveške Harald V., ki je tudi uradno otvoril kongres (foto: R. Vidrih).*

**Figure 1.** His Majesty King Harald V of Norway was the patron of 33<sup>rd</sup> IGC and conduct the official opening of the Geological Congress (Photo: R. Vidrih).



*Slika 2. Kongres je potekal v kraju Lillestrøm v bližini Osla (foto P. Sinčič).*

**Figure 2.** The congress took place in the town Lillestrøm in the vicinity of Oslo (Photo: P. Sinčič).

Drugi dan kongresa je bil posvečen evoluciji in biotski raznovrstnosti. Ko je pred 150 leti Charles Darwin predstavil svojo teorijo o izvoru vrst, se je zavedal njene pomanjkljivosti, to je pomanjkanja dokazov, saj mu je manjkala vrsta vmesnih življenskih oblik, fosilov, ki bi potrjevali njegovo teorijo. V predavanjih, ki so potekala, so geologi predstavili nova odkritja pa tudi kaj je še potrebno odkriti ter kako se bodo moderni geologi spopadli s prihodnjimi izzivi. Še vedno obstajajo nasprotujoča si mnenja o množičnih izumrtjih in relativnih vplivih izvenzemeljskih dogodkov na njih.



**Slika 3.** Pred kongresno dvorano je bil razstavljen večji primerek »larvikita«, ene najznamenitejših norveških kamnin, ki jo obdelano vidujemo vsepovsod po svetu (foto R. Vidrih).

*Figure 3.* In front of the hall, a bigger example of "larvikite", one of the most known Norwegian rock that can be seen all over the world in the polished surface form (Photo: R. Vidrih).

Tretji dan je potekal v znamenju podnebnih sprememb v preteklosti, teh, ki smo jim priča sedaj in kaj nas čaka v prihodnosti. Planet Zemlja nam odkriva, kako se je spreminjalo podnebje skozi njegovo zgodovino. Poraja se vprašanje, do katere mere sploh vpliva človek na podnebne spremembe. V temi dneva so predstavili dokaze o spreminjanju klime skozi geološka obdobja s posebnim poudarkom na posebno hladno obdobje zadnjih nekaj milijonov let. Razprave so potekale o dokazih za temperaturne spremembe v povezavi s toplogrednimi plini, še posebno ogljikovim dioksidom. Teme predavanj so bile tudi klimatske napovedi za vnaprej in kakšne so možnosti industrije za zmanjšanje emisij ogljikovega dioksida.

Tema naslednjega dne so bile naravne nesreče, kot so plazovi, naraščajoče plime, viharji, poplave, potresi, cunamiji, vse pod skupnim naslovom geoloških nevarnosti. Vse te nesreče povzročajo veliko gmotno škodo pa tudi terjajo človeška življenja. V letih 2004-2005 je v naravnih nesrečah izgubilo življenje več kot 200.000 ljudi, gmotna škoda pa je bila ocenjena na 300 milijard ameriških dolarjev. Potekala so predavanja o plazovih, potresni nevarnosti, ogroženosti, ranljivosti, o cunamijih, o vulkanih, pa tudi o alarmnih sistemih za zgodnje opozarjanje na nevarnosti in o načinih merjenja.

Peti dan je bil posvečen vodi in zdravju. Življenje človeka in vseh drugih živih bitij je odvisno od vode. Potreba po čisti vodi stalno narašča z večanjem števila prebivalcev na zemlji. Na mnogih območjih ljudje že čutijo pomanjkanje sveže pitne vode. Za njihov razvoj so potrebni novi izviri čiste vode. Pomanjkanje vode in sušna obdobja so povezana tudi s podnebnimi spremembami. V predavanjih je bil poudarek na zalogah talne vode, upravljanju z vodnjaki, zavarovanju vode, kvaliteti površinskih voda, vplivu človeka na vode. Zahteve po čisti vodi naraščajo z naraščanjem prebivalstva, z naraščajočo ekonomsko aktivnostjo in s povečanjem namakanja kmetijskih površin.

Sledil je dan, posvečen mineralnim virom, s poudarkom na nafti in njenim pridobivanjem v arktičnem območju. Velike količine nafte in zemeljskega plina so bile odkrite na teh območjih, njihovo izkoriščanje pa se še ni pričelo. Z odkritjem več kot 400 naftnih in plinskih polj je na ark-



**Slika 4.** Naslovnica publikacije, ki poleg osnovnih informacij zajema naslove 6500 povzetkov predavanj in posterjev, ki so bili predstavljeni na kongresu.

**Figure 4.** The front page of the publication which, besides the main information, also includes the titles of 6500 abstracts of lectures and posters presented at the congress.

tičnih območjih sedaj več kot 10% zemeljskih zalog teh energentov. Še vedno pa potekajo raziskovanja, tako da končne ocene o količinah še niso poznane.

Vodilna tema predzadnjega dne je bila energija. Dominantna vrsta energije, ki poganja svetovno gospodarstvo v zadnjih obdobjih, je nafta. Pojavljajo se vprašanja, kdaj bo nafte zmanjkalo. Trenutno je nafte še veliko, prav tako rudnin in mineralov. Vseskozi pa potekajo raziskave in iskanja novih nahajališč.

Zadnji dan kongresa je potekal pod naslovom Zemlja in naprej. Planetarni znastveniki so obravnavali novosti v planetarni geologiji, o novih odpravah na Zemlji bližnje planete, o izboljšanju metod astronomskih opazovanj in o novem razumevanju naše vloge v vesolju. Veliko zanimanja so pritegnila predavanja o novih odkritjih dokazov o vodi na Marsu. Predavanja so zajemala tudi teme o drugih planetarnih sistemih z možnostjo odkritja planetov podobnih zemlji.

Med 450 sekcijami so bili v šestih sekcijah prispevki s področja seizmologije. V sekciji EIL-01 General contributions to the lithosphere smo predstavili delovanje mreže potresnih opazovalnic v prispevku Seismic activity observations with new seismic network in Slovenia (Sinčič, Vidrih), v sekciji GHZ-04 Earthquake hazard assessment and geotechnics pa smo sodelovali s prispevkom EMS scale and earthquake's effects on nature (Vidrih, Ribičič).

### **Opombe in opažanja udeležencev**

Rezultati mednarodnih multidisciplinarnih projektov so novi pogledi na zgradbo in spreminjanje litosfere, razumevanje naravnih nesreč in drugih procesov v Zemljini skorji, ki vplivajo na življenje in nam dajejo kakovostnejše informacije o tem, kako zaščititi okolje. Geologija igra pomembno vlogo pri zagotavljanju okolja, primerne za življenje vedno večjega števila ljudi na Zemlji. Večina pitne vode se danes nahaja pod površjem Zemlje kot podtalnica. Potrebne so nove tehnike za pridobivanje vode. Potresi in plazovi so vzrok temu, da je površje Zemlje nevarno ljudem, zato so potrebne ocene teh nevarnosti in kako zmanjšati njihov vpliv. Zaradi vse večjega števila prebivalstva se povečujejo tudi mesta. Zemljišč, potrebnih za gradnjo, je vedno manj in so vedno dražja, zato arhitekti načrtujejo zgradbe, ki segajo globoko pod Zemljino površje na eni strani in v višino na drugi strani.

S posebno publikacijo so kitajski seizmologi predstavili analizo katastrofalnega potresa z magnitudo  $M=7,9$ , ki je 12. maja 2008 v provinci Sečuan povzročil veliko gmotno škodo in v katerem je umrlo več kot 87.000 ljudi.

PRVA MEDNARODNA KONFERENCA  
TEHNIKE ZAZNAVANJA NA DALJAVO IN NUJNI ODZIV PRI  
UPRAVLJANJU NESREČ NA OBMOČJU MEDITERANA  
FIRST INTERNATIONAL CONFERENCE  
REMOTE SENSING TECHNIQUES IN DISASTER MANAGEMENT AND  
EMERGENCY RESPONSE IN THE MEDITERRANEAN REGION

ZADAR, 21-24. SEPTEMBER 2008

Ina Cević

**Povzetek**

V Zadru je v prostorih Univerze potekala Prva mednarodna konferenca »Remote Sensing Techniques in Disaster Management and Emergency Response in the Mediterranean Region«. Organizatorji konference so bili European Association of Remote Sensing Laboratories (EARSeL), Hrvaška akademija znanosti in umetnosti (HAZU), Univerza v Zadru in GEOSAT Ltd. iz Zagreba. Namen konference je bil na eni strani predstavitev možnosti satelitske tehnologije in na drugi predstavitev potreb strokovnjakov iz različnih področij, ki bi lahko to tehnologijo bolj učinkovito uporabljali.

**Abstract**

The First International Conference on Remote Sensing Techniques in Disaster Management and Emergency Response in the Mediterranean Region was held in Zadar, Croatia in September 2008. It was organized by European Association of Remote Sensing Laboratories (EARSeL), Croatian Academy of Sciences and Arts (HAZU), University of Zadar and GEOSAT Ltd. The aim of the conference was introducing the possibilities of the modern satellite technology and combining it with the needs of the experts from different fields of geosciences.



**Slika 1.** Strokovna razlaga dogajanja na požarišču na otoku Žut (foto I. Cević).

**Figure 1.** Expert explanation of the situation of the wildfire that killed twelve firefighters, Žut Island (Photo I. Cević).



*Slika 2. Detajl z geološkega izleta na Kornate (foto I. Cecić).*

*Figure 2. Detail from the geological trip to Kornati (Photo I. Cecić).*

V Zadru je v prostorih Univerze potekala Prva mednarodna konferenca »Remote Sensing Techniques in Disaster Management and Emergency Response in the Mediterranean Region«. Organizatorji konference so bili European Association of Remote Sensing Laboratories (EAR-SeL), Hrvaška akademija znanosti in umetnosti (HAZU), Univerza v Zadru in GEOSAT Ltd. iz Zagreba. Namen konference je bil na eni strani predstavitev možnosti satelitske tehnologije in na drugi predstavitev potreb strokovnjakov iz različnih področij, ki bi lahko to tehnologijo bolj učinkovito uporabljali.

V sekciji »Geological hazards – Earthquakes« sem predstavila predavanje »Macroseismic data – Surveying after severe earthquakes in Europe and the Mediterranean Basin« (avtorji I. Cecić, ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo in V. Kouskouna, Univerza v Atenah).

V sredo, 24. septembra je bil organiziran izlet na Kornate, kjer smo si lahko ogledali številne tektonske značilnosti otočja, kot tudi prizorišče lanskega požara, ki je terjal življenje dvanajstih gasilcev.

Zaključek konference naj bi bila t.i. »Zadarska deklaracija«, ki govori o boljšem interdisciplinarnem povezovanju in sodelovanju o uporabi satelitskih tehnologij pri upravljanju naravnih nesreč. Končno besedilo deklaracije bo objavljen v kratkem.



## 31. GENERALNA SKUPŠČINA EVROPSKE SEIZMOLOŠKE KOMISIJE XXXI GENERAL ASSEMBLY OF THE EUROPEAN SEISMOLOGICAL COMMISSION

HERONISSOS, GRČIJA, 7-12. SEPTEMBER 2008

**Polona Zupančič, Ina Cecić**

### ***Povzetek***

*Od 7. do 12. septembra 2008 je v Hersonissosu na Kreti potekala 31. Generalna skupščina Evropske seizmološke komisije. Udeleženi so bili več kot 460 strokovnjakov z vseh področij seizmologije. Konferenca se je aktivno udeležilo tudi pet predstavnikov iz Slovenije.*

### ***Abstract***

*On 7 – 12 September 2008 Hersonissos, Greece hosted the 31st General Assembly of the European Seismological Commission. 460 participants from many European countries discussed the problems of all fields of seismology and related topics in numerous scientific sessions. Among the active participants there were also five representatives from Slovenia.*

Evropska seizmološka komisija (ESC) je del Mednarodne organizacije za seizmologijo in fiziko notranjosti Zemlje (IASPEI), ki je hčerinska organizacija Mednarodne organizacije za geodezijo in geofiziko (IUGG). Strokovno srečanje ESC je vodilna evropska konferenca na področju seizmologije, ki poteka vsaki dve leti. Obravnavana so bila naslednja področja:

- seizmičnost Sredozemlja,
- pridobivanje seizmičnih zapisov, teorija in interpretacija,
- fizikalna obravnava potresov,
- struktura Zemljine notranjosti,
- zgodnja opozorila ob potresu,
- raziskave napovedovanja potresov,
- inženirska seizmologija in potresno inženirstvo,
- neinstrumentalna seizmologija,
- cunamiji,
- močni potresi,
- seizmološka raziskovalna infrastruktura in
- potresi, civilna zaščita in družba.

Predstavniki Agencije RS za okolje, Urada za seizmologijo in geologijo smo na konferenci aktivno sodelovali s štirimi posterji. Na tematskem področju "Near Real Time Processing Procedures in Modern Broadband Seismic Networks at National and Regional Level" smo predstavili delovanje mreže potresnih opazovalnic v prispevku "Seismic Observation of Slovenian Territory" (Vidrih R., Sinčič P., Tasič I., Zupančič P.), na tematskem področju "Network of Research Infrastructures for European Seismology" smo predstavili analizo nekaterih naših seizmometrov v prispevkih "Evaluation of Self-Noise of Seismometers: Case of CMG-3ESPC





*Slika 1. Štirje od petih slovenskih udeležencev Generalne skupščine ESC v Hersonissosu na Kreti (od leve proti desni Barbara Šket Motnikar, Polona Zupančič, Izidor Tasič iz Urada za seizmologijo in geologijo in Janez Rošer).*

*Figure 1. Slovenian participants at the ESC General Assembly in Hersonissos, Greece (from left to right Barbara Šket Motnikar, Polona Zupančič, Izidor Tasič from Seismology and Geology Office and Janez Rošer)*



*Slika 2. Udeleženci konference pred kongresnim centrom Kreta Maris v Hersonissosu.*

*Figure 2. Conference attendants in front of the Kreta Maris Congress Centre in Hersonissos.*

and CMG-40T Units” (Tasič I., Runovc F.) in “Long Term Stability of CMG-40TB Seismometer Transfer Properties” (Tasič I., Runovc F.). Na tematskem področju “Site effect investigations at controlled sites, including city-soil-structure interaction” smo predstavili rezultate NATO projekta o meritvah ambientnih vibracij v Ljubljani v prispevku “Ambient vibration measurements of buildings in Ljubljana” (Zupančič P., Šket Motnikar B., Gosar A., Rošer J.). Ina Cecić je vodila sekcijo »Non-instrumental seismology: Methods, Results, Evaluation. Internet and Field Collection of Macroseismic intensity Data«. Predstavljena predavanja in posterji so objavljeni v knjigi povzetkov ter na zgoščenki.

Polona Zupančič se je kot predstavnica Slovenije udeležila sveta ESC. Svet ESC sestavljajo člani izvršnega odbora (Executive Committee) ter predstavniki držav članic. Trenutno ima ESC 34 polnopravnih članic ter osem opazovalk. Na svetu smo izvolili nove člane izvršnega odbora za obdobje 2008 - 2010 (predsednik, 2 podpredsednika, člani) ter sprejeli kandidaturu za novo srečanje čez dve leti (Montpellier, Francija, 5. - 9. september 2010). Ina Cecić iz ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo bo še naprej ostala pomožna tajnica ESC. Potrjene so bili tri nove



*Slika 3. Učitelji in udeleženci tečaja za mlade seizmologe, Chania.*

*Figure 3. Lecturers and students of the Young Seismologist Training Course, Chania.*

delovne skupine. Sprejeli smo tudi sklep, da bodo skupščine ESC združene s skupščinami EAEE (Evropsko združenje za potresno inženirstvo) le vsako osmo leto, naslednjč leta 2014.

V kraju Chania na Kreti je od 3. do 7. septembra potekal Young Seismologist Training Course (YSTC), ki ga tradicionalno organizira Evropska seizmološka komisija (ESC) v tednu pred ali po generalni skupščini. Tokrat je pri organizaciji YSTC sodeloval Laboratorij za geologijo in seizmologijo Tehnološkega izobraževalnega instituta na Kreti (TEICR) na čelu s prof. Filippom Vallianatosom, ter Institut za geodinamiko Nacionalnega observatorija iz Aten, ki ga je vodil dr. Gerassimos Papadopoulos. Tema izobraževanja je bila »Aktivna tektonika in seizmičnost«. Kot pomožna tajnica ESC je Ina Cecić sodelovala pri organizaciji in izvedbi tečaja. Imela je tudi dve predavanji - uvodno predavanje o sestavi in zgodovini ESC in predavanje o makroseizmologiji. Šolanja se je udeležilo 36 študentov iz 18 držav.

# KNJIGA »POTRESNA DEJAVNOST ZGORNJEGA POSOČJA« PUBLICATION »SEISMIC ACTIVITY OF THE UPPER POSOČJE AREA«

**Mihael Ribičič**

## ***Povzetek***

*Ob 10-letnici potresa v Zgornjem Posočju je izšla knjiga, ki jo je izdal Urad za seizmologijo in geologijo Agencije RS za okolje. Knjiga z naslovom »Potresna dejavnost zgornjega Posočja« opisuje dogajanja v potresni preteklosti tega območja, geološke in seizmološke značilnosti, potresno nevarnost in ogroženost ter analizo dogodkov leta 1998 in 2004. Obsežna dvojezična monografija avtorja dr. Renata Vidriha zajema 509 strani in poleg bogatega besedila vsebuje številne posnetke poškodb narave in objektov, pa tudi sicer je bogato ilustrirana.*

## ***Abstract***

*The Seismology and Geology Office, part of the Environmental Agency of the Republic of Slovenia, issued a book on the 10th anniversary of the earthquake in the upper Posočje area. The book titled »The seismic activity of the upper Posočje area« provides an account of past seismic events in that area, its geological and seismological characteristics, seismic hazard and risk, as well as the analysis of the events in 1998 and 2004. The book by the author Dr Renato Vidrih is a comprehensive bilingual monography comprising 509 pages. In addition to opulent text material, it includes several photographs of damages inflicted upon the nature and buildings, as well as many illustrations.*

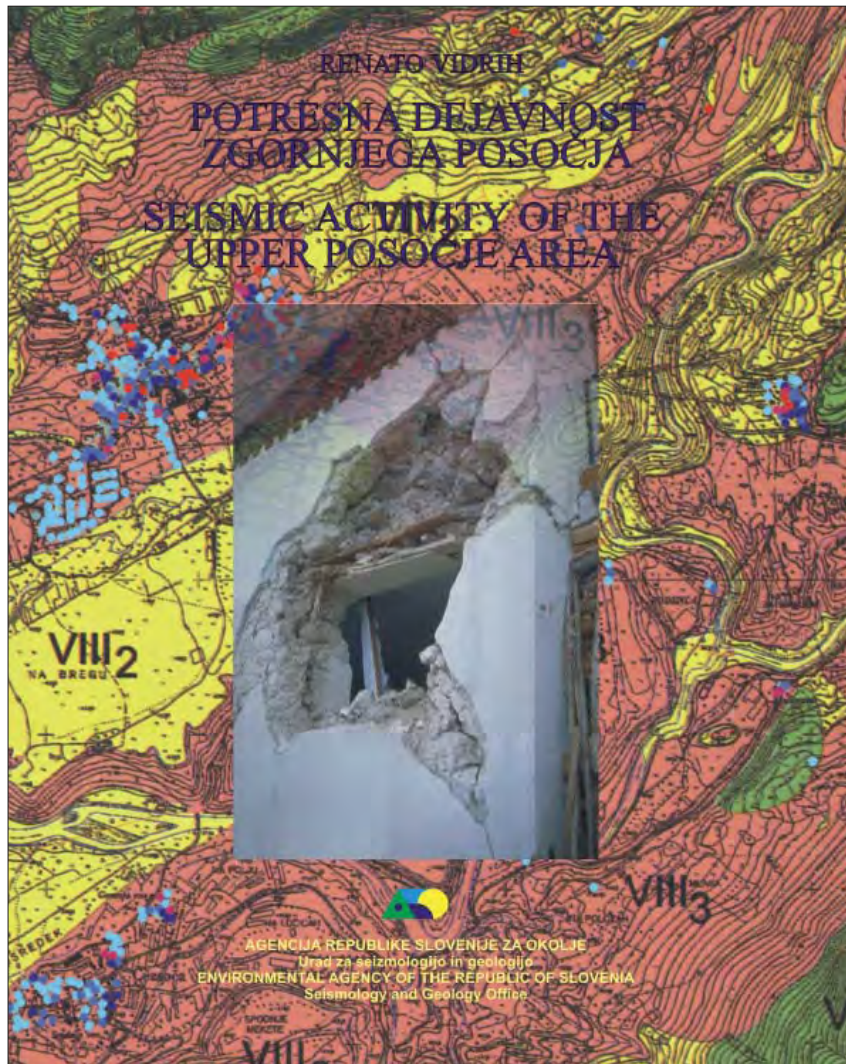
Že iz obsežnih del, kot je Valvasorjeva »Slava vojvodine Kranjske«, vidimo kako je pomembno, da se veliki dogodki opišejo za bodoče rodove. Podatki, ki so se skozi stoletja (prvi opisan potres v Sloveniji je iz 567 leta n. št.) zbirali o potresih, so danes za analizo potresne nevarnosti Slovenije velike pomembnosti. Kljub možnostim, ki nam jih daje danes internet, pa je še vedno potrebno, da podatke shranimo v trajnejši knjižni obliki. Dr. Renato Vidrih je zbral izredno obširno gradivo o potresih v zgornjem Posočju. V njem kompleksno obravnava geološke in seizmološke vidike potresa, ki je nastal 12. aprila 1998 v zgornjem Posočju. To je bil najmočnejši potres z nadžariščem na ozemlju Slovenije v zadnjih sto letih. Leta 2004 (12. julija 2004) se je na istem območju sprožil še en močan potres, ki je omogočil dopolniti rezultate in zaključke obravnave prvega potresa.

V uvodnih splošnih poglavjih avtor opredeljuje ozemlje Slovenije glede na število in moč potresov, tektoniko in prelome, ki so nosilci potresov, seizmotektoniko Slovenije, globine potresnih žarišč, zgodovinski seznam močnejših potresov v Sloveniji in opis najmočnejših potresov. Sledijo poglavja, ki slonijo na analizi podatkov iz prvih petih poglavij. To so opis državne mreže potresnih opazovalnic, potresna nevarnost na ozemlju Slovenije, prikazana na kartah ter nastanek in veljavni predpisi o potresno odporni gradnji.

V nadaljevanju avtor preide iz pregledov za vso Slovenijo na potresno dejavnost obravnavanega območja – zgornjega Posočja, pri čemer opiše zgodovinske potrese od leta 1279 dalje. V obsežnem poglavju se poglobi v opis glavne teme, to je potresa, ki je nastal 12. aprila 1998. Opiše makroseizmične podatke potresa in popotresne sunke ter na tej osnovi poda model tektonskih strukturnih deformacij, ki so vzrok nastanka potresov na tem območju.

Sledi podroben opis strukturno-tektonske in splošne geološke zgradbe zgornjega Posočja, v naslednjem poglavju pa geološka zgradba Bovške kotline, ki vsebuje tudi podatke o seizmičnih lastnostih tal.

Pomemben del monografije obsega analizo vpliva potresov v zgornjem Posočju na naravo, zato podaja tudi osnovno teorijo o poružitvah v trdnih kamninah.



**Slika 1.** Naslovnica knjige *Potresna dejavnost zgornjega Posočja* prikazuje seizmično mikrorajonizacijo Bovške kotline in enega najbolj poškodovanih objektov v Spodnjih Drežniških Ravnah.

**Figure 1.** Front cover of the book »The seismic activity of the upper Posočje area« features a seismic microcategorisation of the Bovec basin and one of the most badly damaged buildings in Spodnje Drežniške Ravne.

Potres aprila 1998 je nastal na redko poseljenem alpskem območju, zato so za njegovo proučevanje pomembne poškodbe v naravi. V nadaljevanju so zabeleženi in opisani vsi večji pojavi v naravi in podan je njihov mehanizem nastanka.

Sedaj v Evropi veljavna potresna lestvica EMS-98 je opisana v nadaljevanju. Poudarek pri pregledu lestvice je na njenem dodatku C, ki grobo opisuje vplive potresa na naravo. Nadalje je v poglavju izdelan predlog napovedovanja intenzitete potresa na osnovi razširitve lestvice iz opisa poškodb na zgradbah tudi na poškodbe v naravi.

Analiza proučevanja posledic na zgradbah in v naravi je avtorju omogočila opredeliti pogoje gradnje za poškodovane objekte ob potresu in opredeliti izboljšano inženirskogeološko in seizmološko zgradbo tal. Skupaj z analizo poškodb na zgradbah ob potresu je bila izdelana nova seizmična mikrorajonizacija Bovške kotline in zgornjega Posočja. Za popoln opis poškodb ob potresu je avtor dodal tudi opis poškodb na spomenikih I. svetovne vojne.

12. julija 2004 je na istem območju in na istem prelomnem sistemu nastal ponovni močan potres, zato je v nadaljevanju narejena primerjava posledic obeh potresov. Sledijo detajlni podatki o popotresni dejavnosti obeh potresov.

Obširni opis vseh vidikov potresnega delovanja in njegovih posledic za človeka in naravo v naštetih poglavjih je avtor povzel v razpravi in sklepih, s katerimi se njegova monografija tudi konča. V zaključnem poglavju je še enkrat poudaril pomembnost proučevanja posledic potresov v naravi in kako je mogoče na tej osnovi oceniti intenziteto potresa.

Delo dr. Renata Vidriha iz geoloških in seizmoloških vidikov kompleksno obravnava potres v zgornjem Posočju 12. aprila 1998, h kateremu so priključeni tudi podatki kasnejšega potresa 12. julija 2004. Zbrani so vsi pomembni podatki, ki so bili znani ali objavljeni iz obravnavane tematike. Tako je nastalo obsežno delo, ki na enem mestu podaja vse značilnosti obeh potresov. Mnoge od teh podatkov je avtor obdelal sam ali pa skupaj s sodelavci, kar je razvidno iz priložene literature.

Posledice obeh potresov so se odrazile na eni strani na zgradbah in objektih, ki jih je zgradil človek ter na drugi v naravi. Ker je območje zgornjega Posočja le redko naseljeno, za oceno intenzitete potresa in njegovih vplivov ne zadostuje v svetu izvajana običajna analiza poškodb na zgradbah, temveč se je treba nasloniti tudi na raznotere poškodbe, ki so ob potresu nastale v naravi. Velja tudi, da so posledice na objektih v strokovni literaturi in sprejetih potresnih lestvicah dobro in podrobno obdelane, medtem ko so posledice v naravi precej slabše zastopane. Zato je bil eden izmed osnovnih znanstvenih ciljev monografije in analize posledic potresa v naravi na primeru potresa iz 12. aprila 1998 in naknadno tudi potresa iz 12. julija 2004, poiskati možnost pridobivanja koristnih informacij o posledicah potresa tudi preko analize poškodb v naravi. To še posebej velja zato, ker sedaj veljavna EMS-98 lestvica, pa tudi predhodne, poškodbe v naravi obravnavajo samo v dodatkih v širokem, skorajda neuporabnem obsegu, pri čemer so zanemarjeni številni naravni fenomeni, ki so bili opazovani po obeh obravnavanih potresih. Ti naravni fenomeni so nastanek drobnih in večjih razpok v hribini ter gruščnati zemljini, hribinski podori različnih velikosti in vrst, premiki, pokanje in razlamljanje hribinskih blokov in drugi. Avtorju je s sodelavci uspelo s sistematično analizo teh pojavov, ki so značilni za intenziteto potresa, postaviti nov predlog potresne lestvice, ki sloni izključno na poškodbah v naravi in je izdelana po istih principih kot veljavna lestvica, ki sloni na potresnih poškodbah na zgradbah. Tako je tudi v svetovnem merilu odprta pot za enakovredno obravnavo potresnih poškodb na zgradbah in v naravi, kar je koristno predvsem na območjih, kjer je gostota poseljenosti majhna. Da je ta pot pravilna, se kaže v tem, da se je začela v zadnjem času izdelovati v svetovnem merilu generalna INQUA potresna lestvica, ki sloni samo na poškodbah v naravi. Analiza poškodb v naravi v zgornjem Posočju je pokazala, da je pri določanju intenzitete potresa na osnovi poškodb v naravi treba upoštevati tudi stopnjo ranljivosti terena. Glede stopnje ranljivosti je alpski svet edinstven, pri čemer je občutljivost na tresljaje ob potresu odvisna najbolj od vrste kamnine, njene tektonske razpokanosti in nagiba terena. V monografiji je na osnovi proučevanja raznovrstnih poškodb v naravi dr. Vidrih pokazal, kako je možno napovedati, kakšne bodo posledice potresa v odvisnosti od intenzitete potresa, kar je zelo pomembno pri upravljanju prostora in varovanju človeških življenj.

Osnovna posebnost monografije je, da jo na eni strani lahko smatramo kot obsežno geološko-seizmološko monografijo o vseh značilnostih potresa 12. aprila 1998 in dodatno potresa 12. julija 2004, na drugi strani pa pričujoče delo, v tistih delih, kjer analizira vplive potresa v naravi, smatramo kot znanstveno delo, ki daje v svetovnem merilu zanimive zaključke o vplivih potresa na poškodbe v naravi in kako te vplive upoštevati v potresnih lestvicah.

Monografijo odlikujejo številne slike, ki ponazarjajo potresne poškodbe na zgradbah in v naravi. V tem smislu monografija, skupaj s citiranimi viri, predstavlja pomemben, na enem mestu zbran vir geoloških in seizmoloških podatkov o obeh obravnavanih potresih, ki bodo v prihodnosti koristni vsem nadaljnjim raziskovalcem. Vsebuje veliko število kart, preglednic in diagramov, ki grafično ponazarjajo posamezne značilnosti potresov. Pri tem je monografija logično urejena, vsako temo najprej splošno predstavi in nato postopoma preide v pomembne detajle.