



AGENCIJA RS ZA OKOLJE

POTRESI V LETU 2005

LJUBLJANA 2007



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

POTRESI V LETU 2005

EARTHQUAKES IN 2005

AGENCIJA REPUBLIKE SLOVENIJE ZA OKOLJE
URAD ZA SEIZMOLOGIJO IN GEOLOGIJO

ENVIRONMENTAL AGENCY OF THE REPUBLIC OF SLOVENIA
SEISMOLOGY AND GEOLOGY OFFICE

Ljubljana 2007

POTRESI V LETU 2005

EARTHQUAKES IN 2005

IZDALA IN ZALOŽILA – 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 - IN - CHIEF

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: Fotomontaža 3D prikaza digitalnega modela višin iz podatkov LiDAR in fotografije Ravenskega preloma na območju izvirov Tolminke (pogled proti jugovzhodu) (računalniška obdelava M. Gostinčar).

Glej članek dr. A. Gosarja »Raziskave Idrijskega in Ravenskega preloma z letalskim laserskim skeniranjem (LiDAR)«, str. 95.

COVER PAGE: Photomontage of a 3D view of a digital elevation model from LiDAR data and a photograph of the Ravne fault in the area of Tolminka springs (view towards south-east) (computer processing M. Gostinčar).

See article of dr. A. Gosar »Investigations of Idrija and Ravne Faults by Airborne Laser Scanning (LiDAR)«, page 95.

Kazalo

Table of contents

<i>Renato Vidrih</i> PREDGOVOR	I
PREFACE.....	IV
<i>Peter Sinčič, Renato Vidrih, Izidor Tasič, Mladen Živčič, Tatjana Prosen</i> POTRESNE OPAZOVALNICE V SLOVENIJI V LETU 2005 SEISMIC NETWORK IN SLOVENIA IN 2005.....	1
<i>Izidor Tasič, Marko Mali, Matjaž Gostinčar, Igor Pfundner, Peter Sinčič, Jože Prosen</i> DELOVANJE POTRESNIH OPAZOVALNIC V LETU 2005 SEISMIC STATIONS OPERATION IN 2005.....	14
<i>Jurij Pahor, Mladen Živčič</i> UČINKOVITOST PRIDOBIVANJA PODATKOV V LETU 2005 SEISMIC DATA ACQUISITION EFFICIENCY IN 2005	25
<i>Martina Čarman, Mladen Živčič</i> ANALIZA SEIZMIČNEGA ŠUMA NA OPAZOVALNICAH (V LETIH 2003 IN 2004) BACKGROUND NOISE LEVEL AT SEISMIC STATIONS (IN YEARS 2003 AND 2004)	30
<i>Ina Cecič, Martina Čarman, Tamara Jesenko, Milka Ložar Stopar, Mladen Živčič</i> POTRESI V SLOVENIJI LETA 2005 EARTHQUAKES IN SLOVENIA IN 2005.....	42
<i>Milka Ložar Stopar, Mladen Živčič</i> ŽARIŠČNI MEHANIZMI NEKATERIH MOČNEJŠIH POTRESOV V SLOVENIJI V LETU 2005 FAULT PLANE SOLUTIONS OF SOME STRONGER EARTHQUAKES IN SLOVENIA IN 2005	57
<i>Izidor Tasič, Igor Pfundner, Marko Mali, Matjaž Gostinčar, Luka Pančur</i> STABILNOST PRENOSNE FUNKCIJE SEIZMOMETROV GÜRALP CMG 40T	63
GÜRALP CMG 40T TRANSFER FUNCTION STABILITY.....	63
<i>Izidor Tasič</i> VPLIV SPREMENJENIH PARAMETROV PRENOSNE FUNKCIJE SEIZMOMETRA INFLUENCE OF SEISMOMETER TRANSFER FUNCTION VARIATIONS.....	68

<i>Janko Kolar</i> PREDELAVA SEIZMOMETRA VEGIK-M MODIFICATION OF THE VEGIK-M SEISMOMETER	73
<i>Janko Kolar</i> UVEDBA STANDARDA ISO 17025 V SEIZMOLOGIJI ISO 17025 STANDARD IMPLEMENTATION IN SEISMOLOGY	78
<i>Andrej Gosar</i> RAZISKAVE IDRIJSKEGA IN RAVENSKEGA PRELOMA Z LETALSKIM LASERSKIM SKENIRANJEM (LiDAR) INVESTIGATIONS OF IDRIJA AND RAVNE FAULTS BY AIRBORNE LASER SCANNING (LiDAR)	95
<i>Renato Vidrih, Matjaž Godec</i> POTRESI NA ILIRSKOBISTRIŠKEM EARTHQUAKES IN ILIRSKA BISTRICA REGION	105
<i>Tamara Jesenko, Renato Vidrih</i> MOČNEJŠI POTRESI PO SVETU LETA 2005 WORLD'S LARGEST EARTHQUAKE IN 2005	124
<i>Renato Vidrih, Matjaž Godec, Miha Tomažević</i> POTRES 8. OKTOBRA 2005 V PAKISTANU THE 8 OCTOBER 2005 EARTHQUAKE IN PAKISTAN	134
<i>Renato Vidrih</i> OBLETNICA POTRESA 1. NOVEMBRA 1755 V LIZBONI ANNIVERSARY OF THE 1 NOVEMBER 1755 LISBON EARTHQUAKE.....	161
<i>Renato Vidrih, Peter Sinčič, Matjaž Godec</i> MEDNARODNA KONFERENCA »POTRESNO INŽENIRSTVO V 21. STOLETJU« INTERNATIONAL CONFERENCE »EARTHQUAKE ENGINEERING IN 21 ST CENTURY«	166
<i>Renato Vidrih, Peter Sinčič</i> MEDNARODNA KONFERENCA OB 250 LETNICI POTRESA V LIZBONI INTERNATIONAL CONFERENCE »250 TH ANNIVERSARY OF THE 1755 LISBON EARTHQUAKE«	171

PREDGOVOR

Izšla je petnajsta zaporedna publikacija Urada za seizmologijo in geologijo Agencije RS za okolje »Potresi v letu....«. Publikacija predstavlja potresno dejavnost doma in po svetu. Del besedil obravnava delovanje državne mreže potresnih opazovalnic ter probleme in izboljšave pri analizi potresnih dogodkov v letu 2005.

Konec leta 2005 je v Sloveniji delovalo 23 potresnih opazovalnic državne mreže, opremljenih z različnimi vrstami analognih in digitalnih seizmografov ter štirinajst opazovalnic z akceleroграфи, namenjenih beleženju močnejših potresov. V letu 2005 so instrumenti zabeležili 5638 seizmičnih dogodkov, od tega 1416 oddaljenih potresov (oddaljenih več kot 1100 km), 667 regionalnih potresov (oddaljenih med 160 in 1100 km), 2502 lokalnih potresov (oddaljenih manj kot 160 km) in 1053 umetnih potresov.

Sledi niz člankov o delovanju potresnih opazovalnic v letu 2005 in o učinkovitosti pridobivanja podatkov. Vzroki manjših izpadov so problemi s komunikacijami, vzroki daljših izpadov pa so problemi z dobavo električne energije in izpadi varovalk, komunikacije prek GSM terminala in okvare na seizmološki opremi. V letu 2005 smo izgubili 8,8% podatkov iz stalnih opazovalnic. Največja, skoraj 50 % izguba, je bila na opazovalnici Knežji dol nad Ilirsko Bistrico zaradi okvare na električnem vodu. Seizmični šum v frekvenčnem pasu med 0,02 in 80 Hz je na opazovalnicah zmeren in znotraj globalnega modela šuma. Zaradi močnega vetra je povečan šum le na lokaciji Knežji dol, kjer se v frekvenčnem pasu 1 – 15 Hz poveča tudi do stotisočkrat, kar seveda preseže globalni model šuma in onemogoči zaznavanje šibkih do zmernih potresov. Analize šuma kažejo dober izbor lokacij in pravilno nameščenost instrumentov. Največji problem je slabša kakovost senzorjev, ki pa jih bomo v prihodnosti postopoma zamenjevali, odvisno od finančnih sredstev.

Osrednji članek opisuje potresno dejavnost v Sloveniji. Potresna dejavnost je bila zmerna. Prebivalci v različnih predelih države so zaznali več kot 65 potresnih sunkov, od katerih je večina žarišč nastala na naših tleh. Najmočnejši potres je bil 14. januarja ob 7. uri in 58 minut po svetovnem času oz. eno uro kasneje po srednjeevropskem času z žariščem v okolici Cerknega. Imel je lokalno magnitudo 4,0, največji učinki pa so dosegli V EMS (12-stopenjska evropska potresna lestvica). Sedem potresov je doseglo intenziteto V EMS, štirje potresi med IV in V EMS in dvanajst potresov IV EMS, ostalih 42, ki so jih čutili prebivalci, pa nižjo od IV EMS. Potresna žarišča so nastajala do globine 18 km, največ jih je bilo v globini med 6 in 9 km.

Za najmočnejše potrese v letu 2005 so bile odčitane smeri prvih premikov ob vstopu longitudinalnega vala. Večinoma so bili premiki vodoravni ob skoraj vertikalnih prelomih z izjemo potresa v zgornjem Posočju, kjer potresi nastajajo tudi ob narivnih strukturah.

Avtorji naslednjih člankov ugotavljajo, da je stabilnost prenosne funkcije seizmometrov Güralp CMG 40T v opazovalnem obdobju zadovoljiva. Parametri v prenosni funkciji odstopajo do 5 %, kar pa bistveno ne vpliva na izračun osnovnih parametrov lokalnega potresa. Kratek prispevek opisuje predelavo zastarelega ruskega seizmometra Vegik v pedagoške in demonstracijske namene, saj lahko z njim na pregleden način pokažemo delovanje seizmometra številnim dijakom in študentom, ki nas vsako leto obišejo. Predstavljen je tudi načrt uvedbe standarda ISO 17025 na našem Uradu. Žal so seizmometri zelo specifični instrumenti, ki jih proizvaja le nekaj podjetij na svetu in je zato primerljivost podatkov relativno velika, pa tudi njihova uporabnost je kljub nekalibriranosti dovolj velika, saj je najpomembnejši točen čas prihoda potresnih valov. Kljub temu pa bi lahko v prihodnosti uvedli program medlaboratorijskih primerjav kalibracij instrumentov.

Sledi zanimiv članek o letalskem laserskem skeniranju površja (LiDAR), ki omogoča, da tudi v gozdnatih predelih izdelamo model višin golega površja. Metoda je bila uporabljena pri analizi tektonskih značilnosti Idrijskega in Ravenskega preloma v zahodni Sloveniji. V Evropi prvič uporabljena metoda je omogočila pridobitev novih podatkov o obeh prelomih, ki omogočajo študij pretekle seizmičnosti in oceno potresne zmogljivosti obeh prelomov.

V letu 2005 je ponovno zatreslo Ilirskobistriško območje. 24. aprila ob 18. uri 34 minut po svetovnem času ali dve uri kasneje po lokalnem je nastal potres z lokalno magnitudo 3,8 in največjo intenziteto V EMS. Žarišče je nastalo v globini 16 km. Potresi na Ilirskobistriškem nas vedno znova opozarjajo na potresno nevarnost tega območja, saj po sproščeni seizmični energiji sodi med aktivnejše dele Slovenije. Članek opisuje glavne razloge za nastanek potresov, pregled zgodovinskih dogajanj, natančnejši opis zadnjih močnejših potresov in obravnava poškodbe na gradbenih objektih.

Med močnejšimi svetovnimi potresi v letu 2005 je v preglednici predstavljenih 78 potresov, ki so dosegli ali preseгли magnitudo 6,5 oz. povzročili večjo gmotno škodo ter zahtevali človeška življenja. Od teh je natančneje opisanih 44 potresov. Potres z največ smrtnimi žrtvami je bil 8. oktobra v Pakistanu. V njem je umrlo najmanj 87 351 ljudi. Največ potresne energije se je sprostito pri potresu 28. marca blizu severne Sumatre v Indoneziji. Imel je navorno magnitudo 8,7 in je zahteval vsaj 1313 življenj. Najgloblji potres v letu 2005 je bil 21. marca na območju Salte v Argentini in je imel žarišče v globini 579 km, navorno magnitudo pa 6,9. Potres z zelo globokim žariščem (563 km) je bil 5. februarja v Celebeškem morju ($M_w=7,1$). Potresi v letu 2005 so zahtevali vsaj 89 353 žrtev.

Zadnji članek je posvečen potresu 8. oktobra v Pakistanu. Njegova velika magnituda ($M_w=7,6$) in relativno majhna globina (26 km) z žariščem v narivnih strukturah sta povzročila katastrofalne posledice. Članek spremljajo številne fotografije, ki jih je posnel prof. dr. Miha Tomažević (Zavod za gradbeništvo Slovenije), ki si je posledice potresa ogledal v živo.

Na koncu publikacije se spomnimo 250-letnice lizbonskega potresa (1. november 1755), ki je zahteval največje število žrtev v znani potresni zgodovini Evrope, hkrati pa je povzročil začetek sodobne seizmologije. Predstavljamo tudi nekaj zanimivejših tujih konferenc ter srečanj, kjer smo aktivno sodelovali sodelavci Urada za seizmologijo in geologijo s predavanji ali predstavljenimi posterji. Zadnja leta na številnih konferencah uspešno predstavljamo izgradnjo državne mreže potresnih opazovalnic, za katero je precejšnje zanimanje strokovne javnosti.

Tudi ob izidu publikacije »Potresi v letu 2005« se sodelavci Agencije RS za okolje, Urada za seizmologijo in geologijo zahvaljujemo 4900 prebivalcem različnih območij Slovenije, ki so nam z odgovori na makroseizmične vprašalnike (v letu 2005 smo jih poslali 6715) pomagali pri boljši oceni potresnih parametrov.

Renato Vidrih
urednik

PREFACE

In front of you there is the fifteenth successive issue of the yearbook "Earthquakes in...", published by the Seismology and Geology Office of the Environmental Agency of the Republic of Slovenia. An overview of seismic activity in Slovenia and worldwide is given, as well as information about operation of the Slovene seismic network and improvements in the event analysis in 2005.

There were 23 seismic stations operating at the end of 2005 in Slovenia, equipped with variety of analogue and digital seismographs. Besides, there were 14 accelerographic stations, for strong motion recording. In 2005 these instruments have recorded 5638 events, among them 1416 distant (more than 1100 km away), 667 regional (between 160 km and 1100 km), 2502 local earthquakes (less than 160 km away) and 1054 artificial events.

Four papers speak about the seismic network and the efficiency of data collection. The main reasons of short out-of-operation periods are communication problems, the longer intervals are mainly due to the power line breakdowns, GSM communication breakdowns and malfunctioning of the instruments. The data loss in 2005 was 8.8% for the permanent stations. The largest data loss is accounted for seismic station Knežji dol (KNDS), near Ilirska Bistrica (nearly 50%) due to the breakdown of the electricity line. The background seismic noise in the frequency range between 0,02 Hz and 80 Hz of all analyzed stations is moderate and falls within the high and low bounds of the global seismic noise model. The only exception is station KNDS, where in very windy days the seismic noise in the range 1-15 Hz exceeds the global model and therefore disables the detection of weak to moderate events. However, the noise analysis shows that the localities of the seismic stations were suitably selected. The main problem remains the quality of sensors, which are going to be gradually replaced in future, depending on financial possibilities.

In the central paper on seismicity in Slovenia in 2005 it is shown that the earthquake activity was moderate, with 65 felt earthquakes, most of them with their origin inside Slovenian borders. The most powerful earthquake was on 14 January 2005 at 7.58 UTC (8.58 CET), with hypocentre in the vicinity of Cerklje ob Krki. Its magnitude was 4.0, and the highest intensity V EMS-98 (EMS stands for 12 degree European Macroseismic Scale). There were in total 7 earthquakes with maximum intensity V EMS-98, four with IV-V EMS-98 and twelve with IV EMS-98. The remaining 42 events, felt by inhabitants, had the maximum intensity lower than IV EMS-98. The focal depths up to 18 km, the largest number of earthquakes happened in the depths between 6 and 9 km.

First displacement directions of the longitudinal waves were picked for the strongest Slovenian earthquakes in 2005. In all seven analyzed earthquakes the mechanism was approximately strike slip along almost vertical fault, only the earthquake in the Krn Mountains has somewhat larger thrust component.

In the following paper the authors discuss the transfer function stability of the Güralp CMG 40T seismometer, and conclude that in spite of the small difference between the test results and the factory specification of 5%, there is no significant influence of the earthquake parameter calculations. Then, a modification of the old Vegik seismometre in order to be used for education purposes is described. The implementation of the ISO 17025 standards in Seismology and Geology Office is described in the following paper. As the seismometres are very specific instruments, there are only a few manufacturers in the world that produce them. Although the data can be used even in spite of total lack of calibration, there is a need for inter-laboratory comparison of instrumental calibration, at least in EU.

This is followed by an interesting introduction to LiDAR, airborne laser scanning, used to construct bare ground elevation model even in cases of land covered with forests. The method was successfully applied to study the tectonic characteristics of Idrija and Ravne fault in Western Slovenia. This was the first application of the method for the purpose of mapping active faults in Europe.

On 24 April 2005 at 18.34 UTC a moderate earthquake with magnitude 3.8 and maximum intensity V EMS-98 shook Ilirska Bistrica and the surrounding area. The focal depth of this earthquake was 16 km. A short review of recent seismic history of the area is given, as well as descriptions of engineering damage due to the latest earthquakes.

When we speak about global seismicity, it is to be pointed out that in 2005 there were 78 earthquakes in the world with magnitudes 6.5 or larger, caused material damage or claimed human lives. Paper gives short description of 44 events, the most devastating among them being the one on 8 October 2005 in Pakistan, which killed more than 87000 people. The largest seismic energy was released in the earthquake on 28 March 2005 near Northern Sumatra, Indonesia. Its moment magnitude was 8.7 and more than 1300 people lost their lives. The deepest earthquake occurred on 21 March 2005 in Salta, Argentina; its focus was 579 km deep and the moment magnitude was 6.9. Another very deep earthquake was on 5 February 2005 in Celebes Sea ($M_w=7.1$). In 2005 the earthquakes claimed more than 89000 lives.

The following paper is dedicated to the Pakistan, 8 October 2005, devastating earthquake: the combination of a large magnitude ($M_w=7.6$) and shallow depth (26 km) resulted in catastrophic consequences. The numerous photographs in the paper were taken by Prof Tomažević.

At the end of this issue there is a short note on 250th anniversary of Lisbon earthquake (1 November 1755), the one of the strongest in the European written history. It is followed by some short reports from international conferences and the activities and presentations of the Seismology and Geology Office.

Again at the publication of “Earthquakes in 2005” the staff of Seismology and Geology Office would like to thank 4900 voluntary observers throughout Slovenia for their cooperation which helped us to assess the earthquake effects and estimate the intensities.

Renato Vidrih

Editor – In – Chief

POTRESNE OPAZOVALNICE V SLOVENIJI V LETU 2005

SEISMIC NETWORK IN SLOVENIA IN 2005

Peter Sinčič, Renato Vidrih, Izidor Tasič, Mladen Živčić, Tatjana Prosen

***Povzetek.** V letu 2005 smo po projektu Modernizacija državne mreže potresnih opazovalnic PM 2000 v omrežje vključili potresni opazovalnici na Možjanci (MOZS) in na Črnem Vrhu (CRNS). Konec leta je na ozemlju Republike Slovenije delovalo 24 stalnih potresnih opazovalnic, opremljenih z digitalnimi seizmografi in prenosom podatkov po računalniškem omrežju v središče za obdelavo v Ljubljani. Na opazovalnicah na Vojskem in na observatoriju na Golovcu v Ljubljani še vedno delujeta analogna seizmografa z zapisom s črnilom na papir. Po potresu 14. januarja na Cerkljanskem smo postavili dva prenosna inštrumenta, prvega na Petrovem Brdu in drugega v Cerknem. Po potresu, ki je nastal 24. aprila jugovzhodno od Ilirske Bistrice pa smo postavili prenosna inštrumenta v Gornjem Zemonu in Novokračinah za beleženje popotresne aktivnosti.*

***Abstract.** In the year 2005 two new seismic stations started recording on Možjanca (MOZS) and Črni Vrh (CRNS) according to the project of the modernization of the state seismic network PM 2000. At the end of the year the seismic network consisted of 24 seismic stations equipped with digital seismographs and data transmission over the computer network to the Data Centre at the Seismology and Geology Office in Ljubljana. There are still analogue seismographs in operation at seismic station Vojsko (VOJS) and at observatory on Golovec above Ljubljana using ink records on paper. There were two portable instruments installed in Petrovo Brdo and Cerkno after the earthquake on January 14, 2005. After the earthquake on April 24, 2005 that occurred southeast from Ilirska Bistrica, portable accelerographs were installed in Gornji Zemon and Novokračine.*

Uvod

Najstarejša in osrednja opazovalnica Agencije RS za okolje, kjer so začeli z beleženjem potresov leta 1958, se nahaja na observatoriju na Golovcu v Ljubljani (LJU) in 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 Cerkniškem 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 in Vidrih, 1986). V začetku je bila opremljena z analognim kratkoperiodnim seizmografom z vertikalno komponento, januarja leta 1991 pa sta bili dodani še horizontalni 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 vertikalno 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 in Vidrih, 1993, 1995). V okviru projekta modernizacije državnega omrežja potresnih opazovalnic PM 2000 smo leta 2001 v Ljubljani vzpostavili novo središče za zajem in analizo podatkov (SOP). V opazovalnice v Ljubljani, Goričicah, Dobrini in 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) ter v letu 2005 dve novi potresni opazovalnici (slika 1).

Analogne potresne opazovalnice

Urad za seizmologijo in geologijo uporablja za beleženje potresov tudi analogne seizmografe (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 resolucija. Šibkih potresov zaradi majhne resolucije 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 2005 še vedno delujejo na potresnih opazovalnicah na observatoriju na Golovcu v Ljubljani, na Vojskem in v Brezjah pri Senušah.

Digitalne potresne opazovalnice

Pri digitalnih sistemih je seizmometer analogen instrument, vsa ostala oprema je digitalna. Dinamično območje in resolucija 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, resolucija 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, šestkanalni digitalni seizmograf s seizmometri WR-1 in trikomponentnim akcelerometrom FBA-23 podjetja Kinometrics. Seizmograf ima 16-bitni analogno/digitalni pretvornik 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.

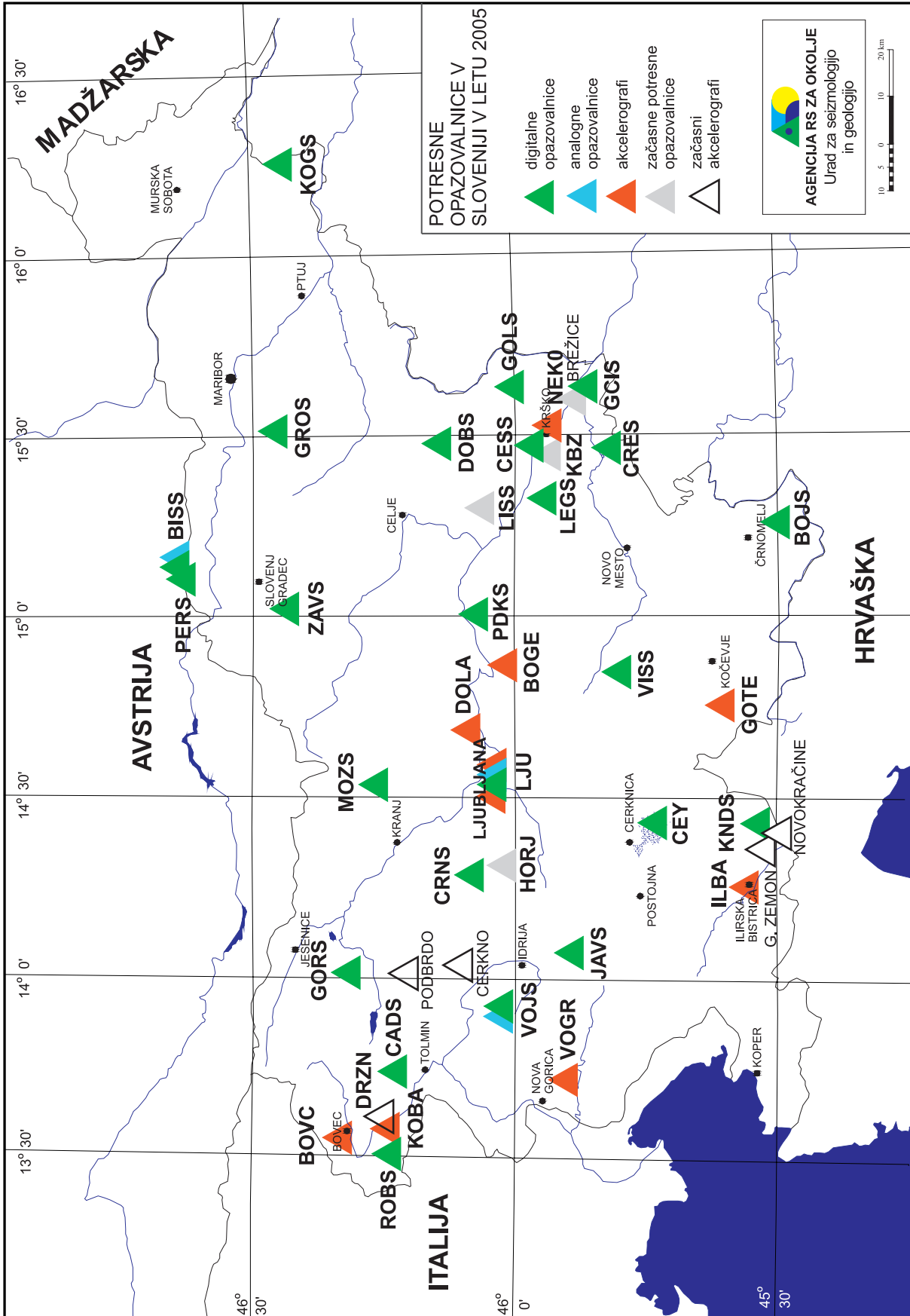
opaz. station	ozn. code	zem. šir. latitude	zem. dolž. longitude	n. viš. elev. [m]	geološka podlaga local geology	seizmometer sensor type	pisač recorder	začetek/konec delovanja start/stop time
		°N	°E					
Ljubljana	LJU	46,0438	14,5277	396	karbonski peščenjak sandstone	kratkoperiodni Willmore MkII 3 komp./comp.	ojačevalnik SO-01 pisač/ recorder Günter-Volk (črnilo/ink)	01. 01. 1974 še deluje/operating
Vojsko	VOY	46,0316	13,8882	1073	zgornjetriasni dolomit dolomite	kratkoperiodni shortperiod Willmore MkII 3 komp./comp.	ojačevalnik SO-03 pisač/ recorder VR - 2 (črnilo/ink)	28. 11. 1984/ še deluje/operating
Brezje pri Senušah	KBZ	45,9405	15,4390	217	pliokvartarna glina clay	kratkoperiodni/shortperiod Vegik vertikalna komp./vertical comp.	pisač / recorder PS - 2	30. 08. 1990 še deluje/operating

Preglednica 1. Analogne potresne opazovalnice v Sloveniji.

Table 1. Analogue seismic stations in Slovenia.

Leta 1996 smo postavili prvo omrežje digitalnih seizmografov podjetja Nanometrics 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 Cerkniškem 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 programska oprema, 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 vozlišča 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.



Slika 1. Potresne opazovalnice v Sloveniji leta 2005.

Figure 1. Seismic network in Slovenia in 2005.

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 letu 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 po tipskem projektu nove jaške in vanje namestili novo merilno in komunikacijsko opremo. Opazovalnici sta dobili tudi novo mednarodno oznako: 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 pa sta bili dokončani opazovalnici na Možjanci (MOZS) in na Črnem Vrhu (CRNS) nad Polhovim Gradcem (sliki 2 in 3). 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 Güralp CMG-40T in zajemalna enota Quanterra Q730. Enota ima na vhodu tri (pri petih opazovalnicah šest) predojačevalnike, 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. 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. Prenos podatkov z opazovalnic Čadrg, Javornik, Višnje, Gornji Cirknik, Zavodnje in Knežji dol v SOP poteka po GSM omrežju z uporabo HSCSD protokola, iz opazovalnice na Črnem Vrhu pa prenos podatkov poteka po satelitskem internetu (preglednica 2).

Komunikacijski protokol omogoča uporabniku nastavitve prioritete pri pošiljanju podatkov, na primer samo prenos posameznih dogodkov z manjšo frekvenco vzorčenja ali neprekinjen prenos zajemanega kanala. Tako tudi ob krajši prekinitvi prenosnih linij ne ostanemo brez podatkov.

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 WR-1 3 komp./ comp akcelerometer/ accelerometer 3-komp./ comp FBA-23	SSR-1	20. 12. 1990 18. 03. 2005
						širokopasovni/ broadband CMG-40T 3 komp./ comp.	RD3-1639	22. 05. 1996
						širokopasovni/ broadband CMG-40T 3 komp./ comp. akcelerometer/ accelerometer 3-komp./ comp. EpiSensor	Q 730	30. 03. 2001
Bojanci	BOJS	45,50435	15,25178	252	kredni apnenec limestone	širokopasovni/ broadband STS-2 3 komp./ comp. 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 CMG-40T 3 komp./ comp.	RD3-1639	28. 08. 1996
Dobrina	DOBS	46,14942	15,46943	427	spodnjetriasni laporji marl	širokopasovni/ broadband CMG-40T 3 komp./ comp.	RD3-1639	16. 10. 1996
						širokopasovni/ broadband CMG-40T 3 komp./ comp.	Q 730	07. 04. 2001
Cerknica (Goričice)	CEY	45,73814	14,42214	579	apnenec limestone	širokopasovni/ broadband CMG-40T 3 komp./ comp.	RD3-1639	14. 01. 1997
						širokopasovni/ broadband CMG-40T 3 komp./ comp.	Q 730	30. 03. 2001
Cesta	CESS	45,97325	15,46317	372	dolomit dolomite	širokopasovni/ broadband CMG-40T 3 komp./ comp.	72A-07/DAT	od 08.05.1996 do 04.09.1997
						širokopasovni/ broadband CMG-40T 3 komp./ comp.	HRD24-2432	04. 09. 1997
Goliše	GOLS	46,01074	15,62451	559	masiven dolomit massive dolomite	širokopasovni/ broadband CMG-40T BH 3 komp./ comp.	Q 730	26. 02. 2002
Črešnjevce	CRES	45,82597	15,45690	431	triasni dolomi	širokopasovni/ broadband CMG-40T 3 komp./ comp.	Q 730	07. 03. 2002
Legarje	LEGS	45,94880	15,31771	390	sivi dolomit dolomite	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T BH	Q 730	02. 09. 2002
Podkum	PKDS	46,06120	14,99777	679	dolomit dolomite	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T BH	Q 730	11. 11. 2002

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					
Robič	ROBS	46,24448	13,50944	265	apnenec 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 apnenec 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 apnenec limestone	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	Q 730	14. 08. 2003
Javornik	JAVS	45,89342	14,06433	1100	zgornje triasni dolomit dolomite	širokopasovni/ broadband CMG-40T 3 komp./ comp.	Q 730	21. 08. 2003
Knežji dol	KNDS	45,52791	14,38056	1024	zgornje jurski apnenec 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-40T akcelerometer/ accelerometer 3-komp./ comp. EpiSensor	Q 730	22. 01. 2004
Gorjuše	GORS	46,31741	13,99991	1048	ploščasti apnenec z roženci platy limestone with chert	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T akcelerometer/ accelerometer 3-komp./ comp. EpiSensor	Q 730	17. 05. 2004
Vojsko	VOJS	46,03217	13,88774	1073	zgorjetriasni dolomit dolomite	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	Q 730	30. 07. 2004
Zavodnje	ZAVS	46,43393	15,02421	750	granodiorit granodiorite	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T BH	Q 730	07. 09. 2004
dokončane in vključene v omrežje leta 2005/ finished and connected in network in 2005								
Možjanca	MOZS	46,29410	14,44334	660	ploščasti apnenec platy limestone	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	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

Preglednica 2. Digitalne potresne opazovalnice v Sloveniji.

Table 2. Digital seismic stations in Slovenia.

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.

Omrežje potresnih opazovalnic je povezano z omrežji sosednjih držav Avstrije, Italije in Hrvaške, tako da poteka nemotena izmenjava podatkov.



Slika 2. Nova potresna opazovalnica na Možjanci (MOZS).
Figure 2. New seismic station on Možjanca (MOZS).



Slika 3. Nova potresna opazovalnica na Črnem Vrhu nad Polhovim Gradcem (CRNS) z začasno postavljeno satelitsko anteno za prenos podatkov po satelitskem internetu.
Figure 3. New seismic station on Črni Vrh above Polhov Gradec (CRNS) with temporary installed satellite antenna for data transmission over satellite internet.

Začasne potresne opazovalnice

Po potesu, ki je nastal 14. januarja v okolici Cerknega, smo postavili dve začasni potresni opazovalnici za beleženje popotresne aktivnosti. Na Petrovem Brdu smo v Domu upokojencev postavili prenosni akcelerograf z akcelerometrom EpiSensor, v Cerknem pa v privatni hiši prav tako prenosni akcelerograf Etna z akcelerometrom FBA-23. Akcelerograf ETNA je inštrument za merjenje pospeškov, namenjen merjenju močnejših potresov. Inštrument je kompakten, v enem ohišju se nahaja trikomponentni senzor, A/D pretvornik, lokalni pomnilnik in komunikacijska enota. Vgrajen ima tudi GPS sprejemnik za točen čas. Zaradi svoje konstrukcije je primeren za začasne postavitve v urbana okolja ter za beleženje popotresnih sunkov. Senzorja FBA-23 in EpiSensor imata merilno območje 1g (g je težni pospešek Zemlje). 18 bitna A/D pretvorba omogoča 108 dB veliko dinamično območje registriranja podatkov, ki se shranjujejo na pomnilniško kartico s kapaciteto 40 MB. Zaradi omejene kapacitete diska je bilo beleženje dogodkov nastavljeno na sprožilni mehanizem. Dogodek se zabeleži, ko pospešek nihanja tal preseže vnaprej določeno pragovno vrednost. Podatke smo z instrumenta prenašali na prenosni računalnik po serijskem kablu, ali z zamenjavo pomnilniške kartice. Po približno dveh mesecih smo oba instrumenta odstranili.

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					
Brežje pri Senušah	KBZ	45,9334	15,4334	208	kratkoperiodni seizm. vertikalna komp. shortperiod vertical comp. Vegik	analogni pisarč/recorder PS - 2	11. 09. 1990	še deluje operational
					3-komp. širokopasovni 3-comp. broadband CMG 40T	PR6	14. 03. 2005	še deluje operational
Horjul	HORJ	46,0252	14,305	350	3-komp. širokopasovni 3-comp. broadband CMG 40T	72A-07/DSK	04. 07. 1994	še deluje operational
Lisca	LISS	46,0673	15,2906	948	3-komp. širokopasovni 3-comp. broadband CMG 40T	Q 730	07. 02. 2002	še deluje operational
Petrovo Brdo		46,2002	13,9836	806	EpiSensor	Etna	14. 01. 2005	09. 03. 2005
Cerkno		46,1168	13,9836	400	FBA - 23	Etna	14. 01. 2005	09. 03. 2005
Brežice		45,9001	15,5835	161	3-komp. širokopasovni 3-comp. broadband CMG 40T	PR6	14. 03. 2005	še deluje operational
Gornji Zemon		45,5333	14,2669	477	FBA - 23	Etna	25. 04. 2005	07. 06. 2005
Novokračine		45,4834	14,3002	494	EpiSensor	Etna	25. 04. 2005	07. 06. 2005

Preglednica 3. Začasne potresne opazovalnice in akcelerografi v letu 2005.

Table 3. Temporary seismic stations and accelerographs in 2005.

Po potresu, ki je 24. aprila nastal jugovzhodno od Ilirske Bistrice, smo zopet namestili prenosna inštrumenta za beleženje popotresne aktivnosti. Etno z Episensorjem smo postavili

v Gornjem Zemonu, z akcelerometrom FBA-23 pa v Novokračinah. Po nekaj več kot mesecu dni smo oba inštrumenta odstranili.

V okviru Phare projekta smo v Brežicah in Brezjah pri Senušah postavili dva instrumenta, s katerima smo povečali omrežje potresnih opazovalnic na Krško Brežiškem polju za spremljanje potresne aktivnosti na območju jedrske elektrarne v Krškem. Namestili smo šestkanalni inštrument EarthData PR 6 s 24 bitnim A/D pretvornikom, z vgrajenim GPS sprejemnikom za točen čas in s kontinuiranim shranjevanjem podatkov na prenosni disk.

Opazovalnice za beleženje močnih potresov

Urad za seizmologijo in geologijo upravlja tudi z mrežo opazovalnic za beleženje močnih potresov, v katerih so nameščeni akceleroграфи. 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 Gotenici (preglednica 4). Poleg tega imamo dostop do akceleroграфа v Nuklearni elektrarni Krško. Akceleroграф na FGG tvorita akceleroграф FBA-23 z merilnim območjem 1 g in zajemalna aparatura SSA-2 z 12-bitnim analogno digitalnim pretvornikom.

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.	17
Bovec	BOVC	46,3382	13,5543	455	FBA-23	Etna	4 g	01.01-31.12.	25
Drežnica	DRZN	46,2586	13,6126	544	EpiSensor	Etna	2 g	01.01-31.12.	24
Gotenica	GOTE	45,6095	14,7464	670	FBA-23	Etna	1 g	01.01-31.12.	12
Kobarid	KOBR	46,2474	13,5786	234	FBA-23	Etna	4 g	01.01-31.12.	12
Krško (NEK)	NEK0	45,9391	15,5185	156	FBA-23	Etna	2 g	01.01-31.12.	1
Vogršček	VOGR	45,9057	13,7258	106	EpiSensor	K2	1 g	01.01-31.12.	2
FGG	FAGG	46,0459	14,4944	295	FBA-23	SSA-2	1 g	01.01-31.12.	6
Dolsko	DOLA	46,0938	14,6781	265	FBA-23	SSA-2	1 g	01.01-31.12.	4
Ilirska Bistrica	ILBA	45,5638	14,2445	404	FBA-23	SSA-2	0.25 g	01.01-31.12.	2

Preglednica 4. Opazovalnice za beleženje močnih potresov v letu 2005.

Table 4. Strong motion stations in 2005.

Enak akceleroграф je nameščen v Dolskem. Akceleroграфа v Ilirski Bistrici in v jedrski elektrarni v Krškem imajo občutljivejši senzor FBA-23 z merilnim območjem 0,25 g. Akceleroграф SSA-2 v Nuklearni elektrarni Krško je bil decembra 1999 zamenjan z akceleroграфom Etna in je vključen v državno računalniško omrežje, po katerem teče prenos podatkov na observatorij. V Gotenici je nameščen akceleroграф Etna z vgrajenim senzorjem FBA-23 z merilnim območjem 1 g in z 18-bitno analogno digitalno pretvorbo, prenos podatkov na observatorij pa poteka po klicni telefonski liniji. Na gradu Bogenšperk je prav tako postavljen akceleroграф 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 akceleroграфи Etna s prenosom podatkov po klicni telefonski liniji. Podatke z ostalih akceleroграфov zbere delavec s pomočjo prenosnega računalnika ob obisku opazovalnice. Na vodni pregradi Vogršček je bil v letu 2004 nameščen akceleroграф K2 z vgrajenim in dvema zunanjima akcelerometroma EpiSensor. Akceleroграф 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).

Potresne opazovalnice so v letu 2005 zabeležile 4585 potresov (sliki 4 in 5), od tega 2502 lokalnih potresov, 667 regionalnih in 1416 oddaljenih. Seizmografi so zapisali tudi 1053 umetnih potresov (preglednica 5).

mesec	oddaljeni potresi	regionalni potresi	lokalni potresi	umetni potresi	potresi	dogodki
Month	Distant earthquakes	Regional earthquakes	Local earthquakes	Artificial	Earthquakes	Events
januar January	193	75	282	99	550	649
februar February	117	68	233	100	418	518
marec March	147	73	245	110	465	575
april April	131	66	224	107	421	528
maj May	96	71	239	104	406	510
junij June	84	52	186	56	322	378
julij July	148	43	159	81	350	431
avgust August	98	41	213	78	352	430
september September	123	46	180	150	349	499
oktober October	129	48	149	73	326	399
november November	77	40	227	52	344	396
december December	73	44	165	43	282	325
skupaj Total	1416	667	2502	1053	4585	5638

Legenda:

Oddaljeni potresi / Distant earthquakes

$\Delta > 10^\circ$ (> 1.100 km)

Regionalni potresi / Regional earthquakes

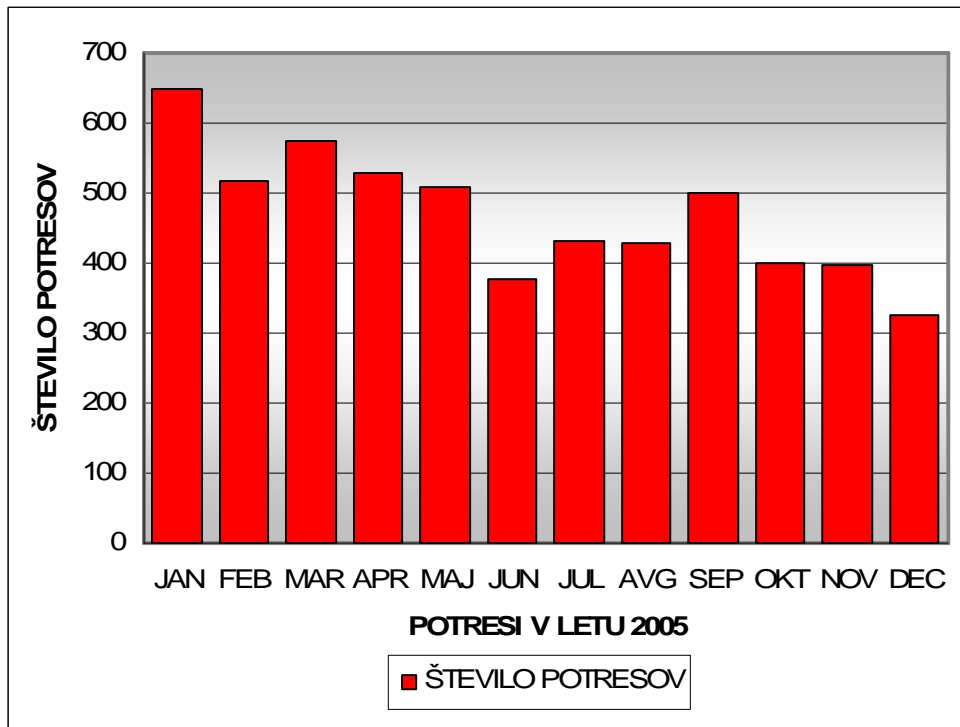
$1,5^\circ < \Delta < 10^\circ$ (< 1.100 km)

Lokalni potresi / Local earthquakes

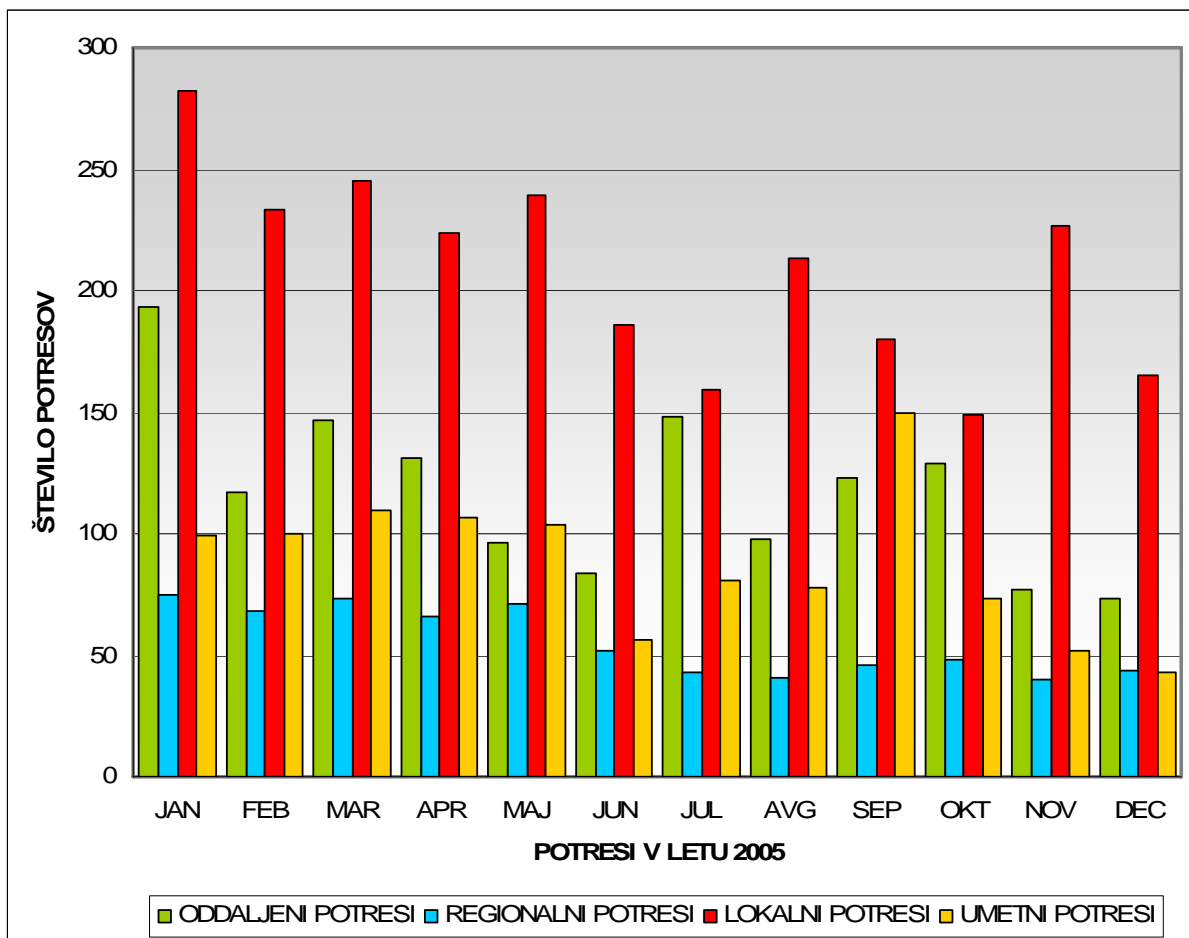
$\Delta \leq 1,5^\circ$ (≤ 160 km)

Preglednica 5. Potresi v letu 2005, zabeleženi na slovenskih potresnih opazovalnicah.

Table 5. Earthquakes in 2005 recorded at Slovenian earthquake stations.



Slika 4. Skupno število potresnih dogodkov po mesecih.
Figure 4. Distribution of all seismic events by months.



Slika 5. Število naravnih in umetnih potresov po mesecih.
Figure 5. Monthly distribution of earthquakes and artificials.

Literatura

- Prosen, T. , 2006. Akceleroграфи slovenske mreže potresnih opazovalnic. Potresi v letu 2004 (ur. R. Vidrih), ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 185-188.
- Sinčič, P., 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., 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.

DELOVANJE POTRESNIH OPAZOVALNIC V LETU 2005

SEISMIC STATIONS OPERATION IN 2005

**Izidor Tasič, Marko Mali, Matjaž Gostinčar, Igor Pfundner,
Peter Sinčič, Jože Prosen**

Povzetek. V prispevku so podani rezultati analize delovanja državne mreže potresnih opazovalnic v letu 2005. Programska oprema, ki smo jo razvili v letu 2005, na osnovi statusnih podatkov analizira delovanje posamezne potresne opazovalnice. Zanimalo nas je število izpadov posamezne potresne opazovalnice glede na trajanje izpada, predvsem število tistih izpadov, ki so trajali več kot 2 uri, saj v takem primeru že lahko pride do izgube podatkov. Za najdaljše izpade posamezne potresne opazovalnice smo podali tudi njihove vzroke. Izračunali smo skupno trajanje izpadov posamezne potresne opazovalnice glede na določen časovni interval ter skupno trajanje izpadov posamezne potresne opazovalnice v določenem mesecu. Podali smo tudi število in datume nastopa ponovnih zagonov zajemalne enote Quanterra 730. Kot primer podajamo rezultate analize delovanja potresne opazovalnice Gorjuše (GORS). Kot zanimivost so podani tudi skupni rezultati, ki nazorno podajajo delovanje oziroma izpade celotne državne mreže potresnih opazovalnic v letu 2005, ki smo jo razdelili na opazovalnice, ki komunicirajo preko najete linije in opazovalnice, ki komunicirajo preko GSM terminala.

Abstract. In this paper, the results of analysis of operation for seismic network of Slovenia in the year 2005 are presented. We developed a software program, which is capable to produce the results of analysis of operation, on basis of status data, for particular seismic station. 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 every seismic station. Furthermore, an analysis of causes for the longest out-of-operation periods for particular seismic station was made. Moreover the numbers and dates of appearance of Quanterra 730 datalogger resets are presented. In this work, as an example, only the results of analysis of operation for seismic station Gorjuše (GORS) are presented. Moreover, an overview of analysis of operation for Slovenia National seismic network, which was classified to seismic stations which transmit data using dial up line ant to those which transmit data using a GSM terminal, is presented in a figure and table form.

Uvod

Potresne opazovalnice državne mreže potresnih opazovalnic so opremljene z zajemalno enoto Quanterra 730 (Q730) in seizmometrom Güralp CMG 40T. Enota Q730 skrbi za zajem seizmičnih podatkov iz seizmometra, pretvorbo teh podatkov v digitalno obliko in za opremljanje podatkov z natančnim časom preko GPS sistema. Po pripravi podatkov zajemalna enota izvede kompresijo podatkov (brez izgube informacije) ter jih v pošlje v središče za obdelavo podatkov (SOP) v Ljubljani. Prenos poteka na osnovi TCP/IP protokola. Izmenjava podatkov poteka v realnem času. V kolikor pride do izpada na komunikaciji, Q730 shrani podatke na interni spomin, ki je v obliki krožnega pomnilnika. Če je izpad predolg, se starejši podatki v krožnem pomnilniku nadomestijo z novimi in tako pride do izgube podatkov. Proizvajalci opreme zagotavljajo dve uri (odvisno od kompresije podatkov) dovoljenega izpada na komunikacijah. Q730 v statusno log datoteko zabeleži vsako spremembo v zvezi z delovanjem sistema (prekinitev oziroma vzpostavitev komunikacije, spremembe podatkov v zvezi z GPS-om, ...). To datoteko štirikrat na dan

uvozimo iz pomnilnika Q730 v SOP. V primeru daljšega izpada na komunikacijah, oziroma če pride do izpada napajanja na Q730, so te statusne datoteke izgubljene. Izgubljene podatke o delovanju sistema v takem primeru lahko nadomestimo s podatki, ki jih dobimo s stalnim preverjanjem komunikacije posamezne potresne opazovalnice iz središča za obdelavo podatkov.

Prekinitve delovanja potresnih opazovalnic

Analizo smo naredili na osnovi podatkov o delovanju posamezne potresne opazovalnice v letu 2005, ki se nahajajo v statusnih datotekah posamezne potresne opazovalnice (datoteke z interno oznako 'log') in statusnih datotekah, ki jih dobimo v SOP (datoteke z interno oznako 'ping' in 'latency'). V primeru, ko podatki v statusnih log datotekah niso bili podani za celo leto, smo analizo naredili na osnovi statusnih 'ping' datotek. To predvsem velja za potresne opazovalnice z GSM komunikacijo.



Slika 1. Shematski prikaz programa za analizo delovanja potresnih opazovalnic.

Figure 1. Scheme of software program for seismic stations operation analysis.

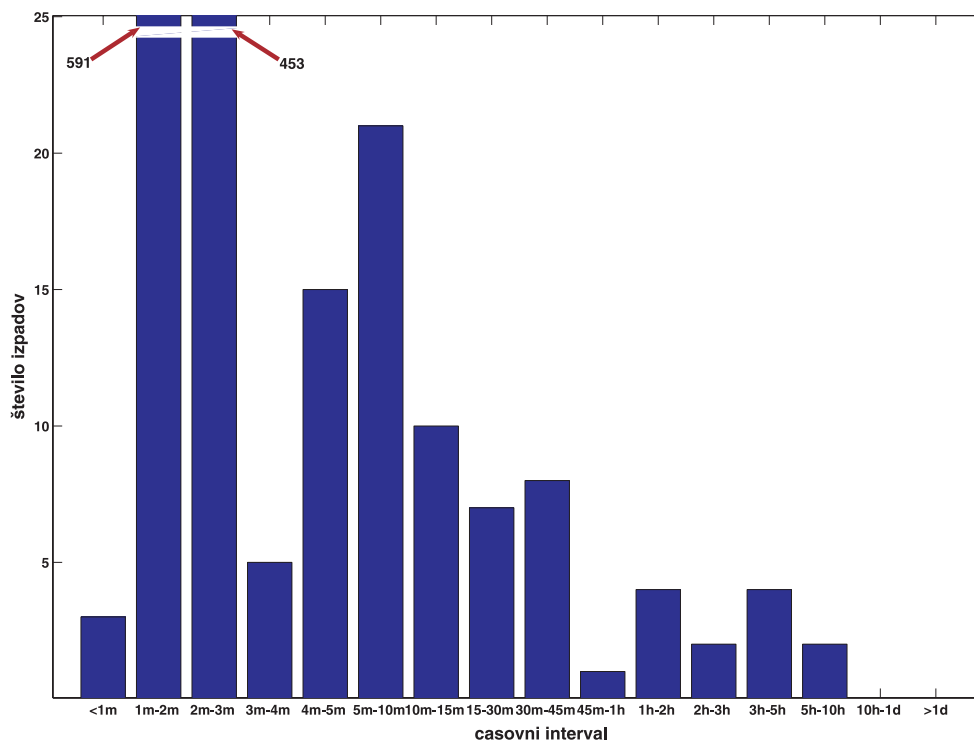
Naredili smo programsko opremo (shema je prikazana na sliki 1), ki na osnovi omenjenih podatkov analizira delovanje posamezne potresne opazovalnice, pri čemer nas je zanimalo predvsem število izpadov posamezne potresne opazovalnice ter trajanje posameznega izpada. Izračunali smo skupno trajanje izpadov posamezne potresne opazovalnice glede na določen časovni interval ter skupno trajanje izpadov posamezne potresne opazovalnice v določenem mesecu. V primeru, ko v določenem krajšem časovnem obdobju pride do večkratnega izpada na komunikacijah, lahko zaradi omejitve pretoka informacije pride do izgube podatkov (programska oprema pošilja vedno iste podatke). V tem primeru pride do tako imenovanih pogojnih izpadov. S tem izrazom bomo definirali izpade, za katere velja, da je razmerje v določenem časovnem oknu med skupnim časom izpadov in celotnim časom

več kot 2/3. V tem primeru privzamemo, da komunikacije z opazovalnico ni bilo celoten čas 'utripanja'. Pogosti kratki izpadi na komunikacijah so značilni predvsem za potresne opazovalnice, ki komunicirajo preko GSM terminala (opazovalnice CADS, GCIS, JAVS, KNDS, VISS, VOJS in ZAVS).

V nadaljevanju bomo podali primer analize za potresno opazovalnico GORS ter skupne rezultate, ki nazorno podajajo delovanje oziroma izpade celotne državne mreže potresnih opazovalnic v letu 2005.

Analizo smo razdelili na opazovalnice, ki komunicirajo preko najete linije in opazovalnice, ki komunicirajo preko GSM terminala. V prvo skupino, obdobje analize podatkov je podano v oklepaju, uvrščamo opazovalnice z oznakami: BOJS (od januarja do decembra), CEY (od januarja do decembra), CRES (od januarja do decembra), DOBS (od januarja do decembra), GOLS (od januarja do decembra), GORS (od januarja do decembra), GROS (od januarja do decembra), KOGS (od januarja do decembra), LEGS (od januarja do decembra), LJU (od januarja do decembra), MOZS (od julija do decembra), PDKS (od januarja do decembra), PERS (od januarja do decembra), ROBS (od januarja do decembra). V drugo skupino pa uvrščamo opazovalnice: CADS (od januarja do decembra), GCIS (od januarja do decembra), JAVS (od januarja do decembra), KNDS (od januarja do decembra), VISS (od januarja do decembra), VOJS (od januarja do decembra), ZAVS (od januarja do decembra).

Primer analize delovanja potresne opazovalnice GORS



Slika 2. Število izpadov potresne opazovalnice GORS znotraj posameznih časovnih intervalov.
Figure 2. Number of fixed length out-of-operation periods for seismic station GORS.

časovni interval*	število izpadov	skupno trajanje izpadov
$t \leq 1m$	3	0h 02m 08s
$1m < t \leq 2m$	591	19h 40m 12s
$2m < t \leq 3m$	453	15h 54m 23s
$3m < t \leq 4m$	5	0h 19m 08s
$4m < t \leq 5m$	15	1h 14m 00s
$5m < t \leq 10m$	21	2h 00m 47s
$10m < t \leq 15m$	10	2h 05m 38s
$15m < t \leq 30m$	7	2h 32m 18s
$30m < t \leq 45m$	8	5h 28m 13s
$45m < t \leq 1h$	1	0h 50m 24s
$1h < t \leq 2h$	4	5h 39m 08s
$2h < t \leq 3h$	2	4h 46m 07s
$3h < t \leq 5h$	4	15h 23m 44s
$5h < t \leq 10h$	2	11h 12m 49s
$10h < t \leq 1d$	0	0h 00m 00s
$t > 1d$	0	0d 00h 00m 00s
Σ	1126	3d 15h 8m 59s

Preglednica 1. Število izpadov potresne opazovalnice GORS glede na časovni interval (trajanje izpada) ter skupno trajanje izpadov v določenem časovnem intervalu.

Table 1. Number and lengths of out-of-operation periods for seismic station GORS and the total out-of-operation time for particular length of period

mesec	skupno trajanje izpadov
januar	0d 03h 46m 39s
februar	0d 00h 33m 31s
marec	0d 01h 10m 47s
april	0d 02h 53m 10s
maj	1d 01h 46m 09s
junij	0d 06h 05m 18s
julij	0d 06h 28m 55s
avgust	0d 04h 17m 10s
september	0d 07h 48m 04s
oktober	0d 04h 43m 47s
november	0d 03h 22m 01s
december	0d 20h 13m 28s
Σ	03d 15h 8m 59s

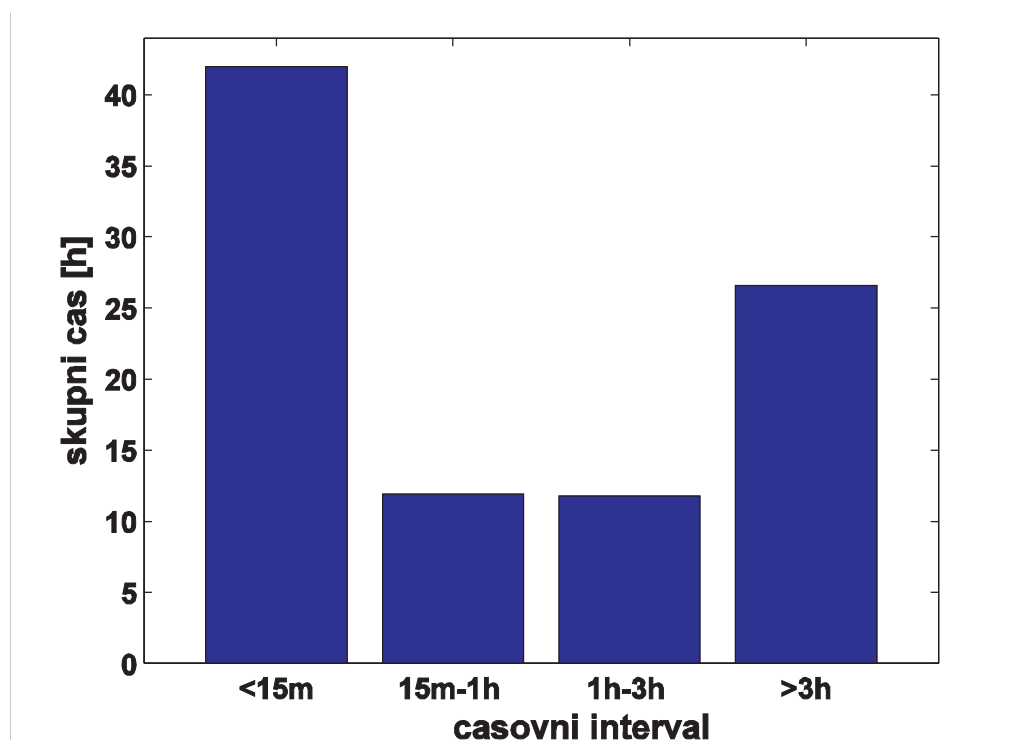
Preglednica 2. Skupno trajanje izpadov za potresno opazovalnico GORS v posameznem mesecu.

Table 2. The sum of out-of-operation periods in each month for seismic station GORS.

Rezultati analize za časovno obdobje od 1. 1. 005 do 31. 12. 2005 (opazovano obdobje) so podani v preglednicah 1 – 5 ter na slikah 2 – 4.

Celotno število izpadov v opazovanem obdobju je bilo 1126. Njihovo skupno trajanje je bilo 3 dni 15 ur in 9 minut. Med njimi je bilo 8 izpadov takih, ki so trajali dlje kot dve uri. Trajanje najdaljšega izpada v opazovanem obdobju, nastopil je dne 9. 9. 2005 ob 06:58, je bilo 5 ur in 41 minut.

Število pogojnih izpadov v opazovanem obdobju je bilo 12. Najdaljši med njimi je trajal 1 uro in 23 minut. Skupno trajanje pogojnih izpadov v opazovanem obdobju pa je bilo 5 ur in 7 minut.

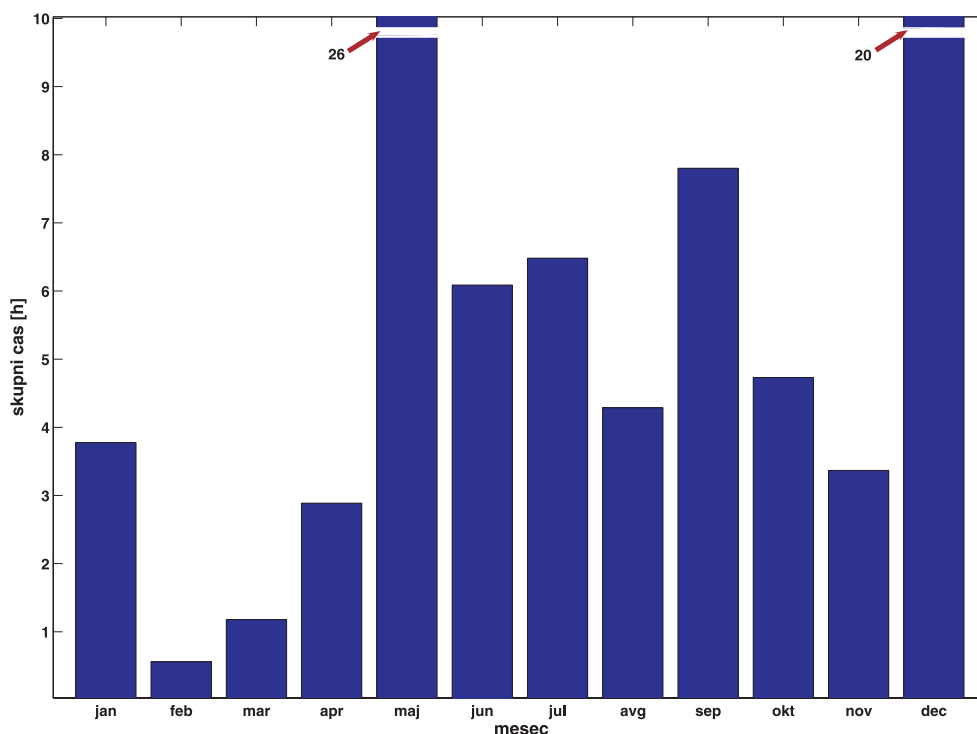


Slika 3. Skupno trajanje izpadov potresne opazovalnice GORS v posameznem mesecu.
Figure 3. The sum of out-of-operation periods in each month for seismic station GORS.

časovni interval	število izpadov	skupno trajanje izpadov
$t \leq 15m$	1101	1d 17h 58m 03s
$15m \leq 1h$	24	0d 11h 53m 25s
$1h < t \leq 2h$	5	0d 07h 01m 49s
$t > 2h$	8	1d 07h 22m 40s
Σ	1138	3d 20h 15m 57s

Preglednica 3. Skupno trajanje izpadov potresne opazovalnice GORS glede na časovni interval (vključno s pogojnimi izpadi).

Table 3. The sum of out-of-operation periods for particular length of period for seismic station GORS (including out-of-operation periods that appear in special conditions).



Slika 4. Skupno trajanje izpadov potresne opazovalnice GORS glede na časovni interval (vključno s pogojnimi izpadi).

Figure 4. The sum of out-of-operation periods for particular length of period for seismic station GORS (including out-of-operation periods that appear in special conditions).

časovni interval	datum nastopa izpada		trajanje izpada
	m / d	h : m	
2h <t≤ 3h	08 / 31	11:45	2h 07m*
	10 / 13	11:08	2h 38m*
3h <t≤ 5h	07 / 21	12:40	4h 38m*
	12 / 12	02:36	3h 35m*
	12 / 15	02:36	3h 35m*
	12 / 16	02:36	3h 35m*
5h <t≤ 10h	09 / 09	06:57	5h 41m*
	12 / 29	23:09	5h 31m*
10h <t≤ 1d	/	/	/
t > 1d	/	/	/

* izpad na komunikacijah

Preglednica 4: Podatki o izpadih daljših od dveh ur za potresno opazovalnico GORS.

Table 4: Data that presents out-of-operation periods with duration over two hours.

datum ponovnega zagona	
m / d	h:m
06/01	11:24
10/14	09:39

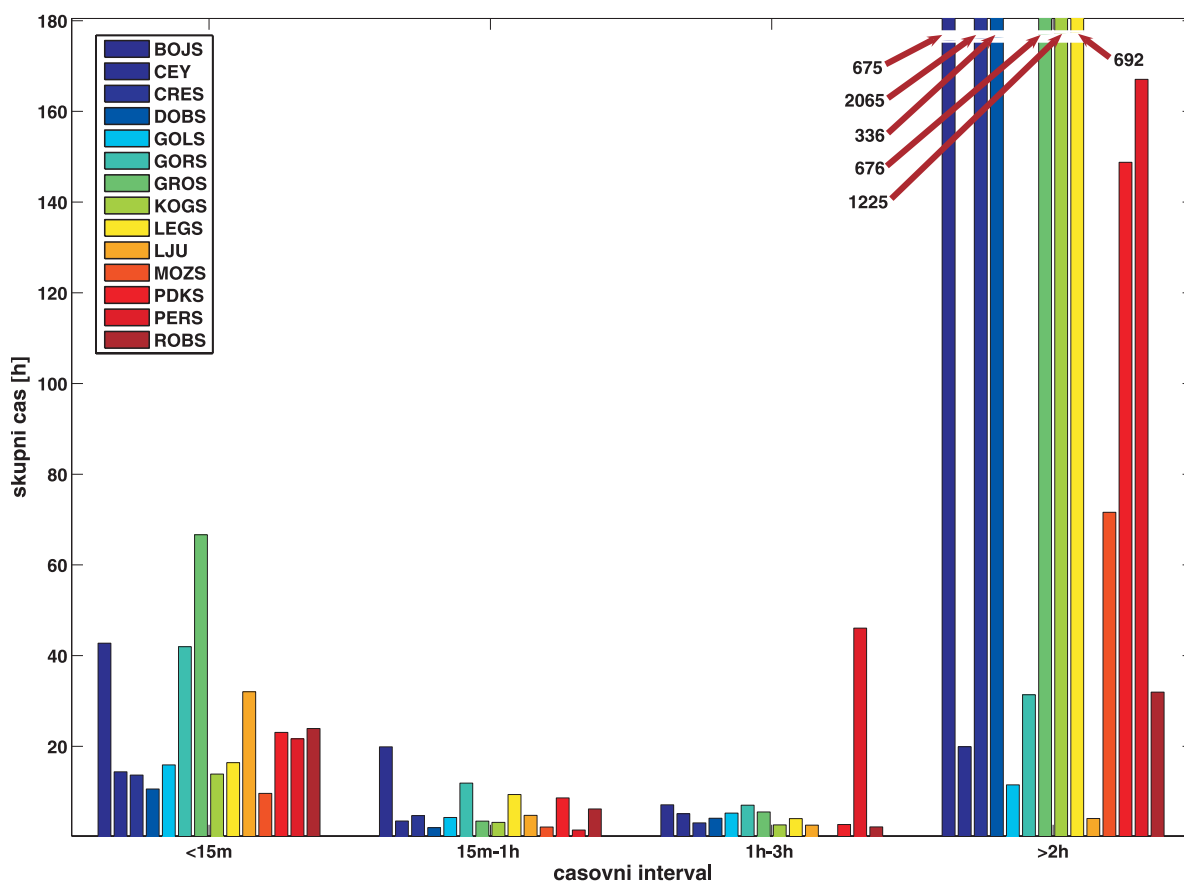
Preglednica 5. Podatki o ponovnih zagonih zajemalne enote Q730.

Table 5. Number and dates of appearance of Q730 datalogger resets.

Izpadov daljših od dveh ur, ki niso bili vzrok prekinitve komunikacij, ni bilo.

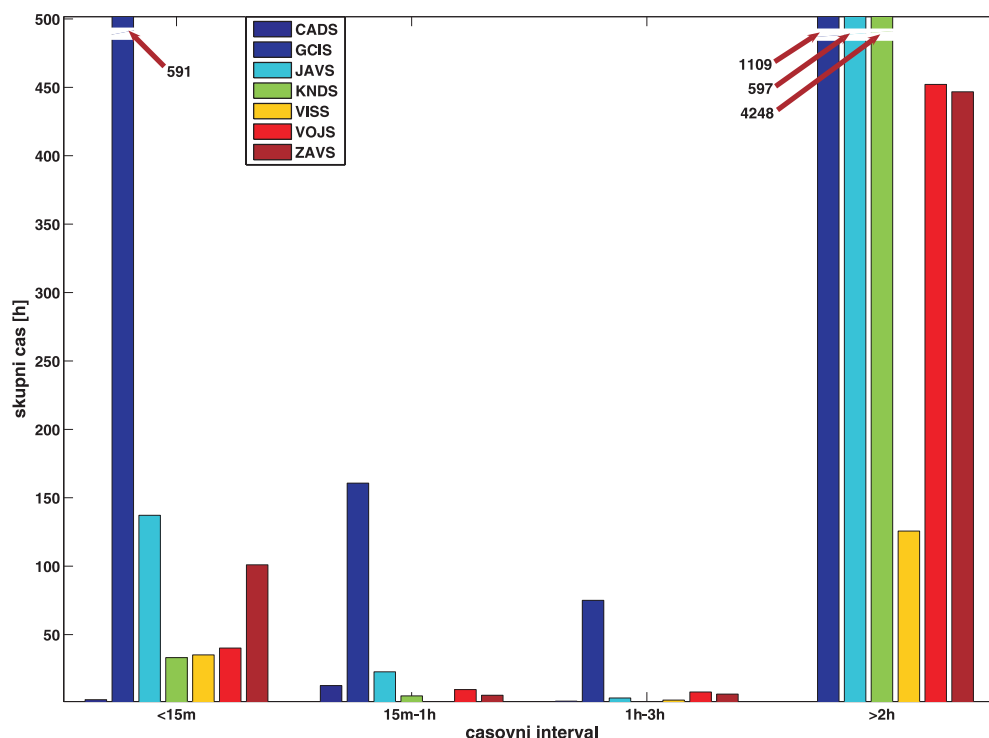
Skupni rezultati analize

V poglavju podajamo skupne rezultate analize in sicer posebej za potresne opazovalnice, ki komunicirajo preko najete linije ter za potresne opazovalnice, ki komunicirajo preko GSM terminala. Slika 5 prikazuje skupno trajanje izpadov glede na časovni interval (trajanje izpada) za vse potresne opazovalnice, ki komunicirajo preko najete linije. Slika 6 prikazuje skupno trajanje izpadov glede na časovni interval (trajanje izpada) za vse potresne opazovalnice, ki komunicirajo preko GSM terminala. Slika 7 prikazuje skupno trajanje izpadov vseh potresnih opazovalnic, ki komunicirajo preko najete linije, v posameznem mesecu. Slika 8 pa prikazuje skupno trajanje izpadov vseh potresnih opazovalnic, ki komunicirajo preko GSM terminala, v posameznem mesecu. V preglednici 6 so povzeti najdaljši izpadi za posamezno potresno opazovalnico in razlogi zanje. V preglednici 7 podajamo povzetek rezultatov za celotno mrežo potresnih opazovalnic.



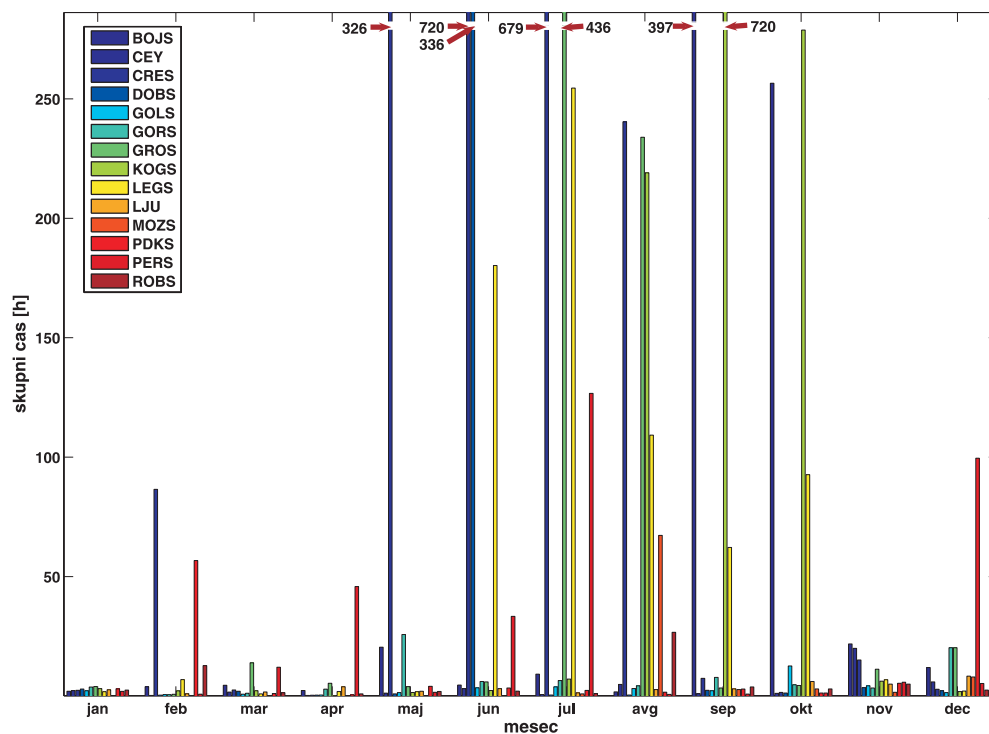
Slika 5. Skupno trajanje izpadov glede na časovni interval (trajanje izpada) za vse potresne opazovalnice, ki komunicirajo preko najete linije.

Figure 5. An overview of analysis of operation for Seismic Network of Slovenia (The sum of out-of-operation periods for particular length of period for stations which transmit data using dial up line).



Slika 6. Skupno trajanje izpadov glede na časovni interval (trajanje izpada) za vse potresne opazovalnice, ki komunicirajo preko GSM terminala.

Figure 6. An overview of analysis of operation for Seismic Network of Slovenia (The sum of out-of-operation periods for particular length of period for stations which transmit data using a GSM terminal)



Slika 7. Skupno trajanje izpadov vseh potresnih opazovalnic, ki komunicirajo preko najete linije, v posameznem mesecu.

Figure 7. An overview of analysis of operation for Seismic Network of Slovenia (The sum of out-of-operation periods in each month for stations, which transmit data using dial up line).

oznaka	nastop izpada	ura (UTC)	trajanje izpada	razlog izpada
BOJS	14. sep.	22:44	26d 11h 71m	Vdor meteorne vode v potresno opazovalnico. Sanacija potresne opazovalnice.
CADS	28. jun.	23:58	7d 12h 9m	Izpad glavne varovalke – izpad napajanja.
CEY	13. nov.	23:66	13h 52m	Daljši izpad na komunikacijah.
CRES	18. maj	10:09	71d 21h 23m	Udar strele. Sanacija potresne opazovalnice.
DOBS	16. jun.	11:22	13d 22h 03m	Izpad glavne varovalke – izpad napajanja. Ugotovljena je bila tudi napaka na napajalni enoti in GPS anteni.
GCIS	11. jul.	14:48	10d 20h 28m	Večje število napak v zvezi z GSM modemom.
GOLS	/	/	/	Dolgi izpadov ni bilo.
GORS	/	/	/	Dolgi izpadov ni bilo.
GROS	13. jul.	20:48	27d 19h 44m	Vdor meteorne vode v potresno opazovalnico. Sanacija potresne opazovalnice.
JAVS	11. maj	16:32	9d 22h 19m	Večje število napak v zvezi z GSM modemom.
KNDS	28. jun.	00:25	38d 6h 55m	Okvara prenapetostne zaščite. Sanacija el. omarice.
KOGS	22. avg.	21:23	50d 14h 22m	Vdor meteorne vode v potresno opazovalnico. Sanacija potresne opazovalnice.
LEGS	23. jun.	15:20	7d 14h 41m	Napaka na komunikacijskih poteh.
LJU	1. dec.	04:12	4h 5m	Napaka na napajalni enoti.
MOZS	29. avg.	10:37	2d 0h 18m	Napaka na enoti Q730 (mejnava GPS sprejemnika).
PDKS	27. nov.	10:47	2d 51m 0s	Izpad napajanja zaradi zmanjšane kapacitete baterije v napajalni enoti.
PERS	29. jun.	18:06	4d 18h 20m	Napaka na komunikacijskih poteh.
ROBS	/	/	/	Dolgi izpadov ni bilo.
VISS	29. nov.	08:02	1d 22h 14m	Napaka na komunikacijskih poteh.
VOJS	6. apr.	13:28	6d 18h 40m	Problemi s komunikacijsko opremo. (ponovni zagon modema in usmernika).
ZAVS	4. avg.	01:39	14d 11h 50m	Okvara GSM modema. Menjava GSM modema.

Preglednica 6. Pregled najdaljših izpadov za posamezno potresno opazovalnico in razlogi zanje.

Table 6. An overview of the longest out-of-operation periods for particular seismic station and their causes.

Zaključek

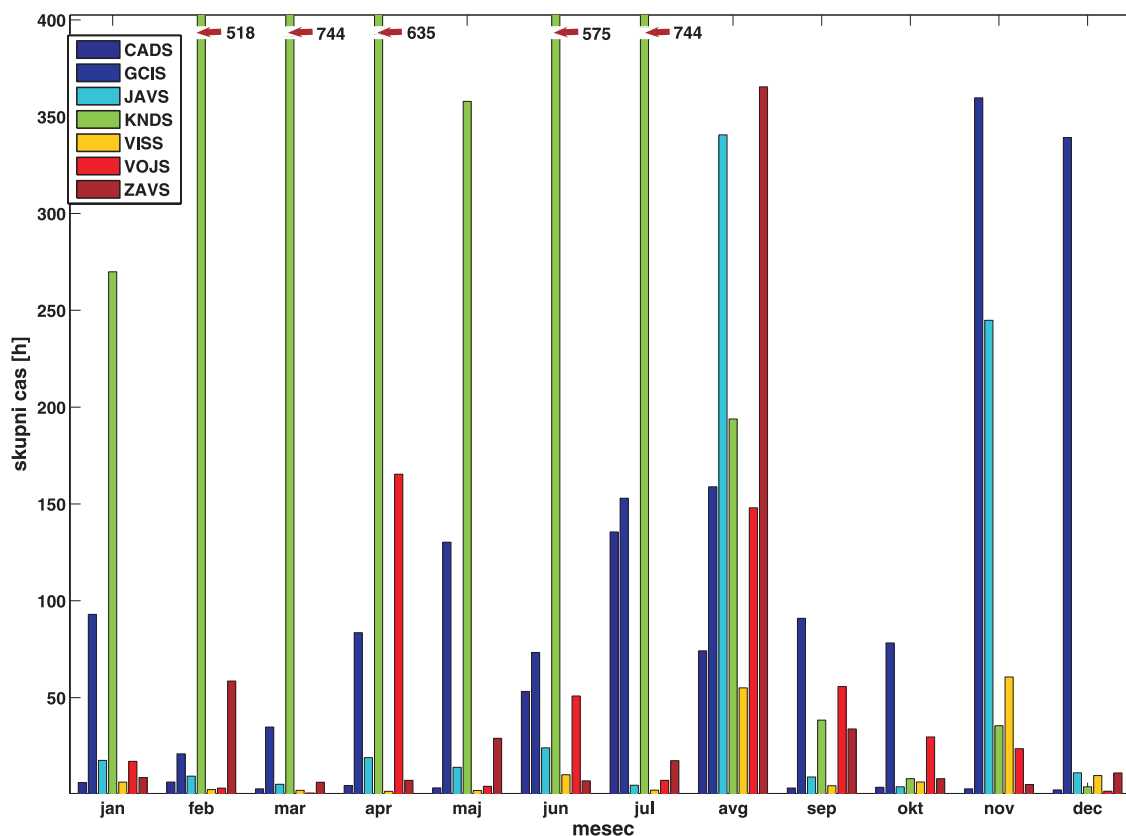
V prispevku smo na kratko predstavili rezultate analize delovanja potresnih opazovalnic v letu 2005. Ugotovili smo, da se izpadi (prekinitve v komunikaciji s posamezno potresno opazovalnico) pojavljajo kontinuirano, pri čemer pa je treba poudariti, da je izpadov, daljših od dveh ur, kjer že lahko pride do izgube podatkov, sorazmerno malo. Analiza je pokazala, da je predvsem za opazovalnice, ki komunicirajo preko GSM terminala značilno, da je krajših izpadov zelo veliko, kar v določenih primerih tudi lahko povzroči izgubo podatkov. Medtem, ko je vzrok krajših izpadov vedno manjša napaka na komunikacijah, pa so vzroki daljših izpadov raznovrstni. V grobem jih lahko delimo v tri skupine. V prvi skupini so problemi v zvezi z dobavo električne energije ter motnjami v varovalnem sistemu na

potresni opazovalnici (predvsem so to izpadi varovalk). Za rešitev tega problema smo v najbolj kritične opazovalnice vgradili tako imenovane avtomatske varovalke (avtomatska FIT stikala), ki se ob iznihanju motnje ponovno vklopijo. V drugo skupino spadajo problemi v zvezi s komunikacijo (napake na modemih in usmernikih), ki so značilni za opazovalnice ki komunicirajo preko GSM terminala. S prenosom GSM terminalov iz lokacije HKOM-a v prostore SOP-a se je število izpadov zaradi napake na komunikaciji močno zmanjšalo. V tretjo skupino pa uvrščamo okvare na seizmološki opremi (okvare na UPS enotah ter okvare na seizmometrih in zajemalnih enotah). Na hitrost odprave napak pogostokrat vpliva tudi vrsta dejavnikov na katere na moremo vplivati (slabe vremenske razmere, fizične napake na komunikacijskih poteh, ...).

oznaka potresne opazovalnice	opazovano območje [meseči]	celotno število izpadov	najdaljši izpad	datum nastopa najdalj. izpada	število pogojnih izpadov	najdaljši pogojni izpad	število izpadov t>2h	skupno trajanje izpadov t>2h
BOJS	1 – 12	856	26d 11h 17m	14.avg	14	3h 07m	10	28d 06h 26m
CEY	1 – 12	374	13h 52m	13. nov.	3	0h 17m	3	19h 54m
CRES	1 – 12	361	71d 21h 23m	18.maj	4	0h 25m	7	82d 14h 11m
DOBS	1 – 12	273	13d 22h 03m	16. jun.	2	0h 14m	2	14d 00h 35m
GOLS	1 – 12	422	2h 26m	21. okt.	2	0h 17m	5	0d 11h 29m
GORS	1 – 12	1126	5h 41m	9. sep.	12	1h 22m	8	1d 07h 22m
GROS	1 – 12	1716	27d 19h 44m	13. jul.	7	6h 20m	3	28d 04h 13m
KOGS	1 – 12	363	50d 14h 22m	22. avg.	2	0h 14m	5	51d 01h 10m
LEGS	1 – 12	430	7d 18h 41m	23. jun.	2	0h 20m	16	28d 19h 54m
LJU	1 – 12	858	8h 0m	11. nov.	6	0h 46m	2	0d 12h 05m
MOZS	7 – 12	241	2d 0h 18m	29. avg.	0	/	3	2d 23h 35m
PDKS	1 – 12	526	2d 9h 22m	17. dec.	5	0h 57m	3	3d 20h 44m
PERS	1 – 12	539	4d 18h 20m	29.jun	1	0h 14m	4	6d 23h 04m
ROBS	1 – 12	623	8h 38m	13. avg.	3	0h 17m	7	1d 07h 57m
CADS	1 – 12	929	7d 12h 9m	28. jun.	4	1h 24m	4	10d 17h 19m
GCIS	1 – 12	11485	10d 20h 28m	7. nov.	231	1d 16h 08m	56	43d 21h 10m
JAVS	1 – 12	3270	9d 22h 19m	5. nov.	80	1d 2h 16m	11	24d 21h 18m
KNDS	1 – 12	881	71d 21h 44m	25. jan.	22	2h 55m	14	177d 00h 26m
VISS	1 – 12	901	2d 4h 54m	14. avg.	2	0h 13m	6	5d 05h 40m
VOJS	1 – 12	1053	6d 18h 40m	6. apr.	9	0h 45m	16	14d 20h 55m
ZAVS	1 – 12	2727	14d 11h 50m	4.avg	6	0h 38m	9	22d 17h 26m

Preglednica 7. Povzetek rezultatov o delovanju državne mreže potresnih opazovalnic v letu 2005.

Table 7. An overview of analysis of operation for seismic network of Slovenia in year 2005.



Slika 8. Skupno trajanje izpadov vseh potresnih opazovalnic, ki komunicirajo preko GSM terminala, v posameznem mesecu.

Figure 8. An overview of analysis of operation for Seismic Network of Slovenia (The sum of out-of-operation periods in each month for stations, which transmit data using a GSM terminal).

Literatura

<http://www.arso.gov.si/podro~cja/potresi/podatki/>

interni arhiv sektorja za potresna opazovanja

M. Mali, 2006. Interno poročilo; poročilo o delovanju oziroma izpadih za leto 2005.

UČINKOVITOST PRIDOBIVANJA PODATKOV V LETU 2005 SEISMIC DATA ACQUISITION EFFICIENCY IN 2005

Jurij Pahor, Mladen Živčić

Povzetek. Izguba podatkov iz enaindvajsetih opazovalnic državne mreže potresnih opazovalnic znaša 8,8 % za podatkovne nize s frekvenco vzorčenja 200 vzorcev v sekundi (HH) ter 7,8 % za podatkovne nize s frekvenco vzorčenja 20 vzorcev v sekundi (BH) v letu 2005. Spremljali smo tudi čas prihoda podatkov iz HHZ podatkovnih nizov, ki so predvsem pomembni za samodejno določanje parametrov potresov. V povprečju je bilo 80 % podatkov HHZ podatkovnih nizov zbranih po petih sekundah.

Abstract. The seismic network of Slovenia was operating twentyone seismic stations in 2005 with one of them (MOZS) being put in commission during the year. Seismic station CRNS was deployed in late december and is omitted from this discussion. The data loss was evaluated from tape drive backup log (wftar table in Antelope database) and was found to be 8.8 % for 200 sps datastreams (HH) and 7.8 % for 20 sps data streams (BH). The greatest data loss is accounted for seismic station KNDS (nearly 50 %), which was inoperational for about five months due to powerline breakdown. A statistical evaluation of data latencies shows an 80 % availability of HHZ channels after five seconds.

Uvod

V Uradu za seizmologijo in geologijo zbiramo podatke iz potresnih opazovalnic državne mreže potresnih opazovalnic (Sinčič in sod., 2007), iz začasnih seizmičnih opazovalnic, iz opazovalnic stare Nanometrics mreže, iz akcelerografov ter iz nekaterih tujih opazovalnic. Med začasne potresne opazovalnice sodijo opazovalnice na lokacijah državne mreže, vendar v začasni postavitvi instrumentarija (npr. v Zavodnjah), opazovalnice na stalnih lokacijah, ki niso del državne mreže (npr. na Lisci) ter začasne postavitve instrumentov za meritev seizmičnega nemira ali popotresne aktivnosti po močnejšem dogodku. V stvarnem času prejemo tudi podatke iz nekaterih opazovalnic mrež sosednjih držav (Italija, Avstrija, Madžarska in Hrvaška) ter iz bolj oddaljenih opazovalnic (Romunija, Češka, Nemčija, ...). V poročilu o učinkovitosti pridobivanja podatkov so obravnavane le stalne opazovalnice državne mreže. Povzetek količine zbranih podatkov je narejen iz zapisov o shranjenih podatkih na magnetne trakove v wftar tabeli podatkovne baze sistema Antelope (Boulder Real Time Technologies, 2005).

Učinkovitost prenosa podatkov v zbirni center spremljamo z beleženjem starosti podatkov v predpomnilniku sistema Antelope (object ring buffer, ORB) v petminutnih intervalih. Program za beleženje deluje tudi kot alarmni sistem, ki v primeru večjih zamud podatkov pošlje SMS sporočila operaterjem mreže.

Izguba podatkov v letu 2005

V poročilu je zajetih enaindvajset stalnih potresnih opazovalnic. Opazovalnica na Možjanci je bila priklopljena 7. 7 .2005 (177 dni delovanja), opazovalnico v Zavodnjah pa smo prestavili iz začasne postavitve (ZALS – senzor zraven vrtine) v stalno postavitev (ZAVS – senzor v vrtini). Opazovalnico na Črnem Vrhu smo priklopili v decembru in ni vključena v

obravnavo. Spremljali smo podakovne 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:

$$\text{izguba podatkov}[\%] = \left(1 - \frac{\text{pridobljena kol. podatkov}}{\text{pričakovana kol. podatkov}} \right) \cdot 100$$

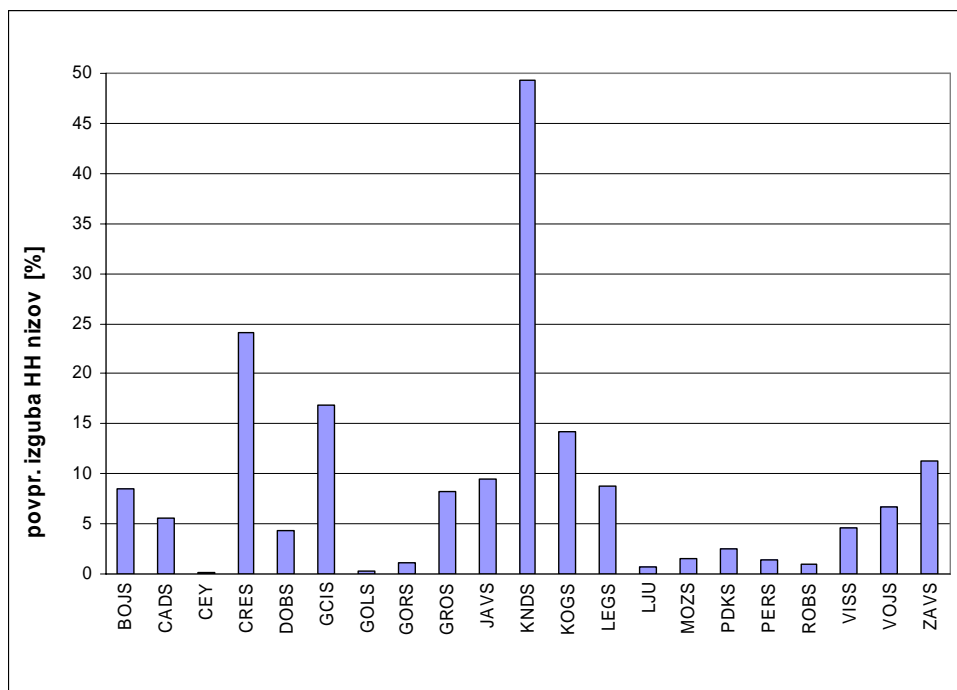
Izgube, znatno večje od nekaj odstotkov, so bile večinoma posledica večjih okvar instrumentov ali napeljav. Pri opazovalnici Knežji dol je bil več mesecev prekinjen električni daljnovod, v opazovalnico pri Črešnjevcu pa je udarila strela.

[%]	HHE	HHN	HHZ	BHE	BHN	BHZ
BOJS	8.6	8.6	8.3	7.7	7.7	7.6
CADS	5.5	5.8	5.3	4.9	4.7	4.7
CEY	0.2	0.2	0.2	0.4	0.2	0.2
CRES	24.1	24.1	24.0	23.8	23.8	23.9
DOBS	4.2	4.4	4.3	4.1	4.1	4.1
GCIS	17.9	18.4	14.4	11.8	11.0	10.7
GOLS	0.3	0.3	0.2	0.2	0.2	0.4
GORS	1.3	1.3	0.5	0.3	0.4	0.2
GROS	8.1	8.3	8.1	7.8	8.1	7.8
JAVS	9.7	9.3	9.5	6.5	7.7	7.7
KNDS	49.2	49.7	49.0	48.6	48.3	48.4
KOGS	14.3	14.3	14.2	14.0	14.0	14.0
LEGS	9.0	8.6	8.8	8.9	8.7	8.9
LJU	0.9	0.9	0.5	0.4	0.6	0.6
MOZS	1.4	1.7	1.5	1.3	1.3	1.3
PKS	2.4	2.6	2.4	2.2	2.4	1.9
PERS	1.3	1.3	1.4	1.2	1.2	1.3
ROBS	1.1	1.1	0.8	0.3	0.3	0.3
VISS	4.3	5.2	4.2	2.6	2.6	2.6
VOJS	7.1	7.0	6.0	5.2	5.4	5.3
ZAVS	11.8	12.8	9.3	6.9	6.5	8.1
mreža network	8.9	9.0	8.4	7.7	7.7	7.8

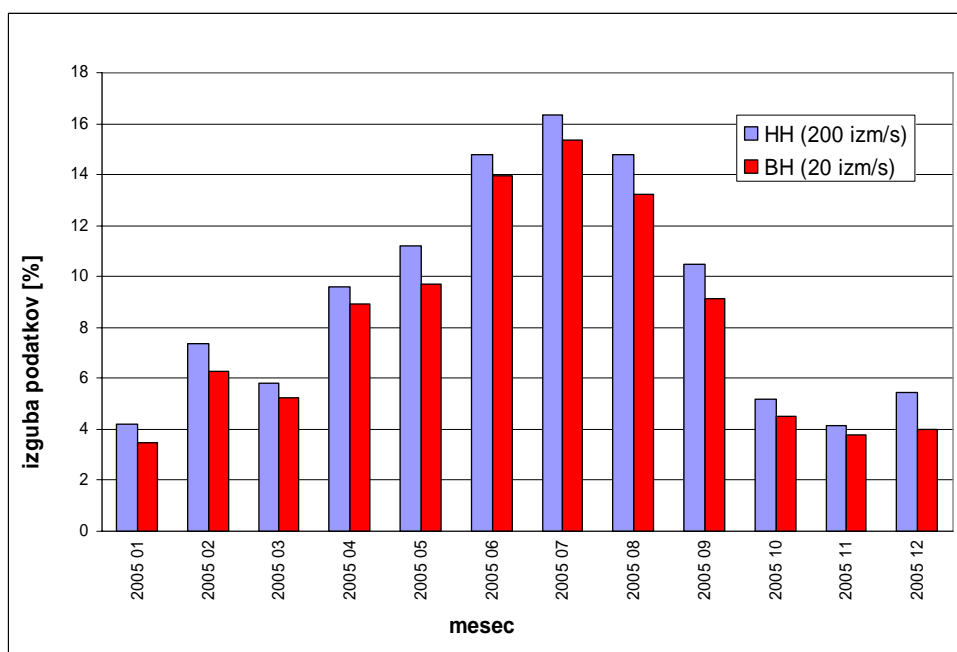
Preglednica 1. Izguba podatkov v letu 2005 za tri komponente HH in BH podatkovnih nizov po opazovalnicah, izražena v odstotku pričakovanega obratovalnega časa.

Table 1. Data loss in percentage of expected operation time for three-channel HH and BH data streams for each seismic station in 2005.

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.



Slika 1. Izguba HH podatkovnih nizov (vse tri komponente) po opazovalnicah v letu 2005.
Figure 1. Data loss of HH data streams (all three components) for each seismic station in 2005.



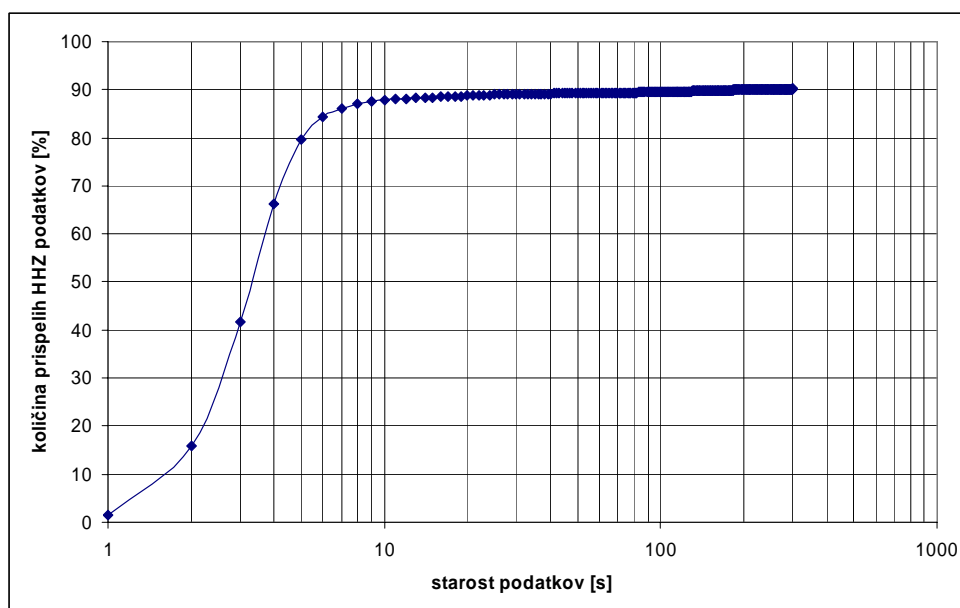
Slika 2. Skupna izguba HH podatkovnih nizov (vse opazovalnice) po mesecih v letu 2005.
Figure 2. Monthly data loss of HH data streams for permanent seismic stations in 2005.

Učinkovitost zajemanja podatkov v letu 2005

Program za spremljanje starosti podatkov v ORB-u uporablja funkcijo *orbstat*, ki je del programskega paketa Antelope (Boulder Real Time Technologies, 2005). Funkcija vrne čas prvega izmerka v zadnjem prispelem paketu za vsak podatkovni niz. Da bi dobili čas zadnjega izmerka, torej najnovejši podatek za ta niz, je potrebno prišteti še dolžino paketa.

Časovne dolžine paketov se nekoliko spreminjajo, saj gre v pakete enake velikosti različna količina stisnjenih podatkov. Zaradi enostavnosti vzamemo povprečno dolžino paketov, ki znaša 2,5 s, pri čemur ocenjujemo povprečno absolutno napako na 0,3 s. Ti dve vrednosti sta pridobljeni iz osemmesečnega spremljanja dolžin paketov v ORB-u.

Porazdelitev zamud navpične komponente HH podatkovnih nizov je enolična le v intervalu vzorčenja zamud, to je 300 s. Če bi želeli porazdelitev prikazati za večje zamude, bi bilo potrebno izmerke ustrezno prevzorčiti na daljši interval vzorčenja, s čimer bi izgubili tudi nekaj natančnosti. Porazdelitev konvergira k vrednosti, ki ustreza vsem pridobljenim HHZ podatkovnim nizom, to je 91,6 %. Iz slike 3 lahko naprimer preberemo, da je bilo v letu 2005 v povprečju 80 % podatkov iz HHZ podatkovnih nizov zbranih po petih sekundah.



Slika 3. Porazdelitev količine prispelih podatkov iz HHZ podatkovnih nizov po starosti podatkov v letu 2005.

Figure 3. Cumulative distribution of data latencies of the HHZ channels in 2005. Horizontal axes, showing data latency, is logarithmic. Vertical axes shows the amount of the data available after that particular time, as the percentage of the expected amount of data.

Zaključek

V letu 2005 smo izgubili 8,8 % podatkov HH podatkovnih nizov iz stalnih potresnih opazovalnic. Največjo izgubo smo zabeležili iz opazovalnice na Knežjem dolu (skoraj 50 %), ki je bila zaradi okvare na električnem daljnovodu več mesecev brez napajanja. Izguba podatkov v letu 2005 je bila nekoliko večja kot v letu 2004, ko je za HH podatkovne nize znašala 6,2 % (Pahor J. in sod., 2006), predvsem zaradi daljšega nedelovanja opazovalnice na Knežjem dolu.

Literatura

Boulder Real Time Technologies, inc.(online). 2005. (citirano 15.4.2007). Antelope Real Time System. Dostopno na naslovu: <http://www.brnt.com/>

Pahor, J., Živčič, M., Čarman, M., Kobal, M., Kolar, J, 2006. Učinkovitost zbiranja podatkov iz potresnih opazovalnic v letu 2004. Potresi v letu 2004. Agencija Republike Slovenije za okolje, 151-158.

Sinčič, P., Vidrih, R., Tasič, I., Živčič, M., 2007. Potresne opazovalnice v Sloveniji v letu 2005. Potresi v letu 2005. Agencija Republike Slovenije za okolje, 1-13.

ANALIZA SEIZMIČNEGA ŠUMA NA OPAZOVALNICAH (V LETIH 2003 IN 2004)

BACKGROUND NOISE LEVEL AT SEISMIC STATIONS (IN YEARS 2003 AND 2004)

Martina Čarman, Mladen Živčić

Povzetek. *Opazovalnice državne mreže potresnih opazovalnic Republike Slovenije, ki so začele delovati v letih 2003 in 2004, so bile vključene v analizo seizmičnega šuma. Prispevek poda dvoletne meritve ter rezultate obdelave seizmičnega šuma na teh opazovalnicah ter je obenem nadaljevanje dela opisanega v članku Analiza seizmičnega šuma na opazovalnicah nove državne mreže, ki so začele delovati pred letom 2003 (Čarman in sod., 2005).*

Z analizo smo ugotovili, da je seizmični šum v frekvenčnem pasu med 0,02 in 80 Hz na vseh desetih novo postavljenih opazovalnicah zmeren in znotraj mej globalnega modela šuma (Peterson, 1993). Izjema je opazovalnica KNDS, kjer se v času močnih vetrov seizmični nemir v frekvenčnem pasu 1-15 Hz poveča tudi do stotisočkrat ter preseže globalni model šuma in onemogoči zaznavanje šibkih in zmernih potresov. V vetrovnih dneh je kvaliteta seizmičnih zapisov bistveno slabša tudi na horizontalnih komponentah opazovalnic VOJS in JAVS. Komponente nekaterih opazovalnic imajo občasno v celotnem nizkofrekvenčnem delu (< 0,07 Hz) spektra šuma približno desetkrat višje vrednosti kot sicer. Vendar pri tem ne gre za seizmični nemir, temveč za motnjo v delovanju posameznih senzorjev. Včasih se na posameznih senzorjih pojavi dolgoperiodno nihanje, ki ga prekinemo s kalibracijskim pulzom. Primerjali smo tudi moči spektralnih gostot izmerjene s seizmometrom Güralp CMG-40T in s seizmometrom Streckeisen STS2 postavljenim na opazovalnici BOJS. Ugotovili smo, da lahko s seizmometrom Güralp CMG-40T v zelo mirnih obdobjih merimo seizmični šum v frekvenčnem pasu od 0,09 do 20 Hz na horizontalnih in od 0,09 do 10 Hz na vertikalni komponenti. Pri višjih oz. nižjih frekvencah postane seizmični šum manjši od šuma seizmometra in ga ni več mogoče izmeriti. V nasprotju s tem pa je seizmometer Streckeisen STS2 tudi v najbolj mirnih pogojih zaznal seizmičen šum na celotnem analiziranem frekvenčnem območju od 0,02 Hz do frekvence približno 80 Hz.

Abstract. *Seismic stations of the new seismic network in Slovenia, which started to operate in years 2003 and 2004, were included into background seismic noise monitoring and analysis. This paper presents two-year measurements and the results of background seismic noise analysis of these stations and at the same time it is the continuation of the work presented in the paper Čarman et al. (2005).*

The power spectral density (PSD) analysis has shown that the background seismic noise of all ten newly installed seismic stations is moderate and falls within the high and low bounds of the global seismic noise model (Peterson, 1993). The only exception is station KNDS, where in very windy days the seismic noise in the frequency range from 1 to 15 Hz exceeds the global seismic noise model and makes it impossible to detect small and moderate earthquakes. In windy days, the quality of seismic records is essentially worse for horizontal components of stations VOYS and JAVS, too. At times, the components of some stations have 10 times higher levels in the whole low-frequency range of PSD (<0.07 Hz) than usually. The reason is not in the higher background seismic noise, but in the malfunction of the seismometer. Additionally, the comparison between seismometers Güralp CMG-40T and Streckeisen STS2 set up at seismic station BOJS was performed. It was found, that in very quiet conditions seismometer Güralp CMG-40T enables to resolve seismic noise in the frequency range from 0.09 to 20 Hz on horizontal components and from 0.09 to 10 Hz on the vertical one. At higher and lower frequencies respectively, background seismic noise can not be resolved because the internal noise of the seismometer covers the background seismic noise. Contrary, in the most quiet conditions, the

seismometer Streckeisen STS2 makes possible to resolve seismic noise in the whole analysed frequency range from 0.02 Hz up to about 80 Hz.

Uvod

Osnovni namen postavitve mreže potresnih opazovalnic v Sloveniji je dobro lociranje potresov na ozemlju Slovenije in bližnje okolice. V ta namen so bili pri snovanju mreže dobro proučeni številni dejavniki, kot so ustrezna geometrija mreže, izbira kakovostne seizmološke opreme, primernost seizmogeološke podlage, okoliški izvori seizmičnega nemira, klimatske razmere, reliefni pogoji, možnost odkupa zemljišča, dostopnost lokacije, možnost vira energije in prenosa podatkov, obstoječa infrastruktura in podobno (Gosar in sod., 2001; Gosar in sod., 2000; Jesenko in Živčič, 2001; Lapajne in sod., 1998; Trnkoczy in Živčič, 1992; Živčič, 1999; Ravnik in sod., 2001). Po številnih študijah je končni projekt mreže opazovalnic predstavljal kompromis vseh omenjenih dejavnikov. Z analizo seizmičnega šuma obstoječe mreže potresnih opazovalnic želimo oceniti, kako uspešni smo bili pri izbiri lokacij opazovalnic ter katere motnje lahko v različnih obdobjih pričakujemo na posamezni opazovalnici. Obenem nam analiza omogoča izboljšati procese, ki uporabljajo vrednosti šuma, kot so npr. samodejne zaznave potresov, ustrezno frekvenčno filtriranje signalov pri analizi potresov ter odkrivanje napak v delovanju naprav potresne opazovalnice.

V letih 2003 in 2004 je Urad za seizmologijo in geologijo Agencije Republike Slovenije za okolje v državno mrežo potresnih opazovalnic postopoma vključil deset novih potresnih opazovalnic (preglednica 1). Tako so se obstoječi mreži desetih opazovalnic avgusta 2003 pridružile potresne opazovalnice Čadrg (CADS), Gornji Cirknik (GCIS), Višnje (VISS) in Javornik (JAVS) ter oktobra potresna opazovalnica Knežji dol (KNDS). V začetku leta 2004 smo prve podatke dobili iz opazovalnic Kog (KOGS) in Bojanci (BOJS), kasneje istega leta pa še iz opazovalnic Gorjuše (GORS), Vojsko (VOJS) in Zavodnje (ZAVS). Vse opazovalnice (razen BOJS) so opremljene s trikanalnim širokopasovnim seizmometrom Güralp CMG-40T, ki imajo po zagotovilih proizvajalca približno raven hitrostni odziv v frekvenčnem pasu med 0,033 Hz in 50 Hz (periode med 0,02 s in 30 s) in dinamično območje širine 145 dB (Güralp System, 1995). Izjema je opazovalnica BOJS, kjer je bil seizmometer Güralp CMG-40T naknadno zamenjan s trikanalnimi zelo širokopasovnimi (VBB – very broad band) seizmometrom Streckeisen STS2. Hitrostni odziv tega seizmometra z dinamičnim območjem širine 145 dB je približno raven v frekvenčnem območju med 0,00833 Hz in 50 Hz (periode med 0,02 s in 120 s). Seizmometri so priključeni na zajemalne enote Quanterra Q730. Na potresni opazovalnici ZAVS je seizmometer postavljen v 19 m globoko vrtino, na vseh ostalih opazovalnicah pa v jaške globine 3 do 5 m. Lokacije in seizmološka oprema nameščena na posameznih potresnih opazovalnicah je natančneje opisana v tej publikaciji v članku *Potresne opazovalnice v Sloveniji v letu 2005* (Sinčič in sod., 2007). Vse našete opazovalnice so bile vključene v analizo seizmičnega šuma. Dvoletno obdobje meritev nemira je že primerno za obdelavo podatkov.

Meritve nemira

Izvori seizmičnega nemira so zelo raznoliki, prostorsko neenakomerno raztreseni, časovno nepovezani in običajno dolgotrajni, zato seizmični nemir lahko opišemo kot bolj ali manj zvezen stohastičen proces. Frekvenčno porazdelitev amplitudnega spektra določimo z močjo spektralne gostote $P(\omega)$ (angl. power spectral density - PSD), ki je definirana kot Fourier-eva transformacija avtokorelacijske funkcije $p(\tau) = \langle f(t)f(t+\tau) \rangle$, in sicer

$$P(\omega) = \int_{-\infty}^{\infty} p(\tau) \exp(-i\omega\tau) d\tau.$$

Funkcija $f(t)$ je časovni zapis nihanja tal, medtem ko s simbolom $\langle \rangle$ označimo povprečevanje po času t (Bormann, 2002). Glede na to, ali je funkcija $f(t)$ zapis odmika, hitrosti oz. pospeška tal, moč spektralne gostote $P(\omega)$ zapišemo v ustreznih enotah, in sicer nm^2/Hz , $(\text{nm}/\text{s})^2/\text{Hz}$ oz. $(\text{nm}/\text{s}^2)^2/\text{Hz}$.

Moč spektralne gostote smo računali na trikomponentnih seizmičnih zapisih hitrosti na vseh novo postavljenih opazovalnicah državne mreže vsakega 1., 6., 11., 16., 21. in 26. v mesecu ob 1., 9. in 17. uri po koordiniranem univerzalnem času (UTC) v obdobju med 21. marcem 2005 in 26. marcem 2007 (preglednica 1).

Izračun spektrov smo izvedli s programom *dbwfm eas* iz programskega paketa Antelope (ARTS Configuration and Operations Manual, 2007). Najprej smo določili parametre izračuna. Časovna dolžina seizmičnega zapisa za izračun moči spektralne gostote je odvisna od tega, kako nizke frekvence nas še zanimajo. Ker je prednostna naloga Urada za seizmologijo in geologijo Agencije RS za okolje spremljanje in vrednotenje potresne dejavnosti na območju Slovenije in drugod po svetu ter so za to dejavnost najbolj zanimive frekvence med 0,02 Hz in 80 Hz, smo se pri računanju moči spektralne gostote omejili na to frekvenčno območje.

Izračun smo razdelili na dva dela. Najprej smo ga izvajali na 3600 sekund dolgih trikomponentnih seizmičnih zapisih vzorčenih z 1 vzorcem v sekundi. Na njih smo časovno okno širine 100 sekund premikali po vsakem seizmičnem zapisu tako, da so se zaporedna obdobja prekrivala za 50 sekund. Dobili smo moč spektralne gostote za območje frekvenc od 0,01 Hz do 0,5 Hz (Nyquistova frekvenca). Višje frekvence smo dobili pri izračunu moči spektralne gostote na 600 sekund dolgih trikomponentnih seizmičnih zapisih vzorčenih z 200 vzorci na sekundo. V tem primeru smo časovno okno širine 10 sekund po zapisu zamikali za 5 sekund. Dobili smo frekvence med 0,1 Hz in 100 Hz (Nyquistova frekvenca). Moči spektralnih gostot izračunanih na seizmičnih zapisih vzorčenih z 200 in z 1 vzorcem na sekundo smo zlepili pri frekvenci 0,25 Hz in tako dobili en sam spekter. Pred letom 2005 smo izvajali računanje izključno na enournih 200 Hz seizmičnih zapisih (Čarman in sod., 2005), vendar je z naraščanjem števila opazovalnic čas za tak izračun vseh moči spektralnih gostot postajal dolgotrajen in je oviral izvajanje drugih postopkov. Zato smo izračun spektrov spremenili kot je opisano zgoraj in ga s tem časovno skrajšali za približno desetkrat.

Oznaka opazovalnice	Začetek delovanja (konec delovanja)	Seizmometer serijska številka	Število PSD ob 01 UTC (E / N / Z)	Število PSD ob 09 UTC (E / N / Z)	Število PSD ob 17 UTC (E / N / Z)
CADS	10. 08. 2003	Güralp CMG-40T T4B21	109/107/109 19/20/20	109/107/109 18/18/19	111/107/111 21/21/21
GCIS	12. 08. 2003	Güralp CMG-40T T4B22	101/102/103 17/18/18	100/99/103 17/17/17	99/98/105 18/17/19
VISS	14. 08. 2003	Güralp CMG-40T T4B11	104/104/104 19/20/20	106/108/107 20/20/20	107/108/108 21/21/21
JAVS	21. 08. 2003	Güralp CMG-40T T4B13	108/109/110 17/18/19	109/109/110 18/18/18	110/110/110 20/20/20
KNDS	14. 10. 2003	Güralp CMG-40T T4B18	83/83/84 18/19/19	84/84/84 18/18/18	87/86/87 19/19/20
KOGS	22. 01. 2004	Güralp CMG-40T T4B15	95/95/95 17/17/17	96/96/96 17/17/17	95/95/95 18/18/18
BOJS	17. 02. 2004 (do 26. 05. 2006)	Güralp CMG-40T T4B23	57/57/57 13/13/13	58/58/58 12/12/12	57/57/57 13/13/13
	26. 05. 2006	STS2 s/n 10417	48/48/48 7/7/7	47/48/48 7/6/7	48/48/48 8/8/8
GORS	17. 05. 2004	Güralp CMG-40T T4B19	112/113/113 20/20/20	112/112/112 19/19/19	110/110/111 21/21/21
VOJS	30. 07. 2004	Güralp CMG-40T T4B24	109/110/110 19/20/20	110/110/110 20/20/20	110/110/110 21/21/21
ZAVS	07. 09. 2004* (do 10. 08. 2005)	Güralp CMG-40T T4B10	/	/	/
	10. 08. 2005	Güralp CMG-40PH T4B27	87/88/89 17/17/17	88/88/89 16/16/17	86/86/87 17/17/18

Preglednica 1. Seznam opazovalnic, ki so začele delovati v letih 2003 in 2004, njihov začetek delovanja, seizmometer in število izračunanih moči spektralne gostote za posamezne komponente (E = vzhod-zahod; N = sever-jug; Z = navpična; črna = spektri delavnikov in sobot; rdeča = spektri nedeljskih in prazničnih dni).

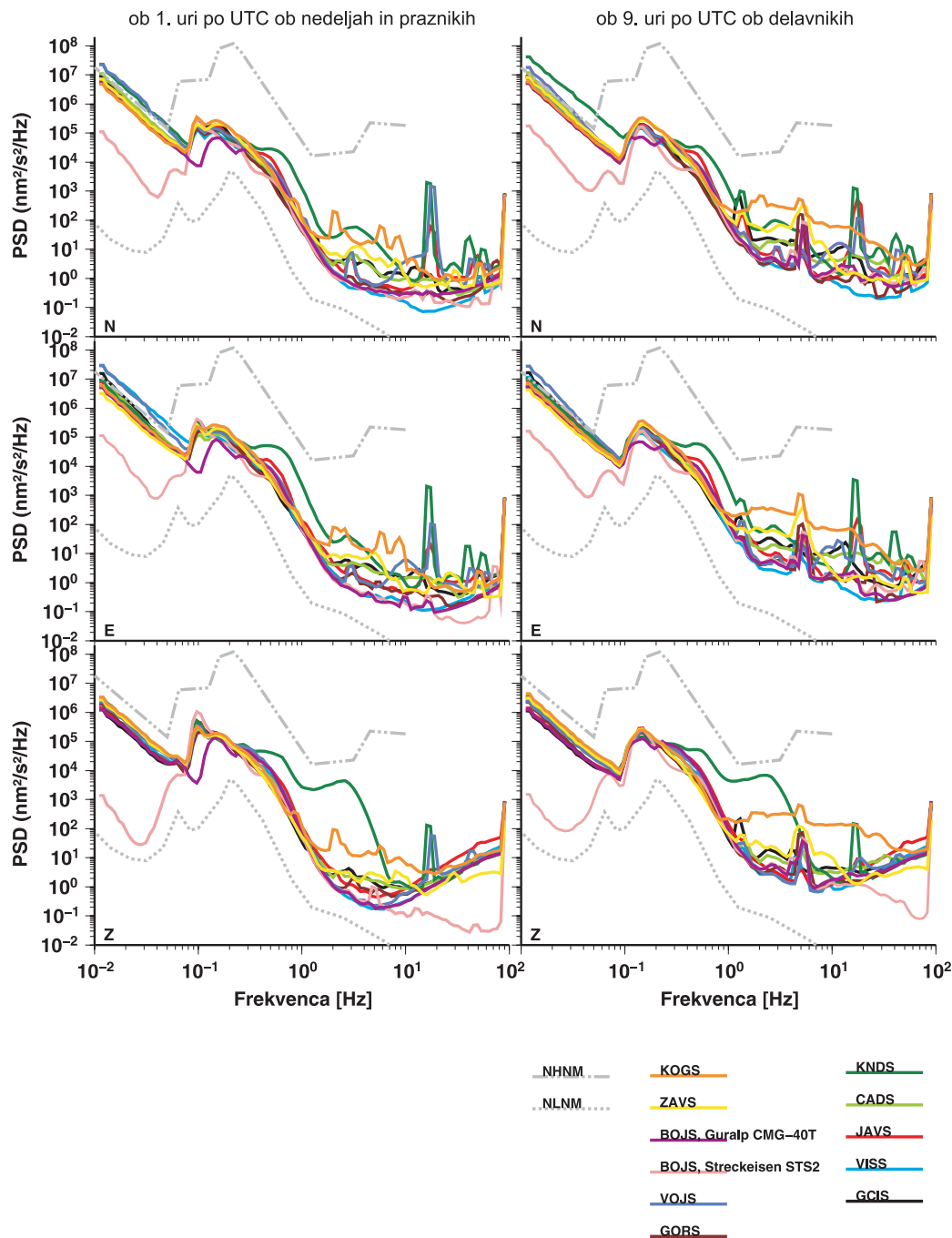
* Na opazovalnici ZAVS je bil 7. 9. 2004 seizmometer začasno postavljen v pomožni jašek. Na ustrezno mesto v merilni jašek je bil drug seizmometer nameščen 10. 8. 2005, zato smo pri obdelavi podatkov upoštevali le meritve nemira po tem datumu.

Table 1. List of stations, which started to operate in years 2003 and 2004, their start date of operation, seismometer and the number of PSD estimates for each component separately (E = East-West; N = North-South; Z = vertical; black colour = number of PSD estimates for workdays and Saturdays; red colour = number of PSD estimates for Sundays and holidays).

* The seismometer at seismic station ZAVS was temporarily set into the auxiliary shaft. On 10th August 2005 another seismometer was placed into proper sensor shaft. Therefore, only the borehole data after this date were used in the background seismic noise analysis.

V nadaljnji obdelavi smo spektre povprečili z drsečim oknom velikosti 0,25 oktave, ki smo ga premikali za 0,125 oktave. Za eno izmed frekvenc smo izbrali 0,25 Hz. Tako povprečevanje nam omogoča standardizacijo frekvenc, ki jih analiziramo, ter primerjavo rezultatov spektralnih analiz zapisov z različnimi vzorčnimi frekvencami in z različnimi dolžinami signala. Ker je izračun spektrov potekal samodejno, so bili spektri pred obdelavo pregledani. Poleg spektrov izračunanih iz seizmičnih zapisov s časovnimi prekinitvami smo odstranili še

spektre izračunane iz seizmičnih zapisov kalibracijskih pulzov in dveh močnejših oddaljenih potresov.



Slika 1. Povprečne vrednosti moči spektralnih gostot za posamezne komponente (Z = navpična; E = vzhod-zahod; N = sever-jug) na opazovalnicah državne mreže potresnih opazovalnic v Sloveniji, ki so začele delovati v letih 2003 in 2004, v primerjavi s spodnjo (NLNM) in zgornjo (NHNM) mejo globalnega modela šuma (Peterson, 1993).

Figure 1. Mean background noise PSD estimates for the three components (Z = vertical; E = East-West; N = North-South) at seismic stations, which started to operate in years 2003 and 2004, as compared to the new global seismic noise model by Peterson (1993). At the left, mean background noise PSD estimates calculated using data recorded on Sundays and holidays at 01:00 UTC, and at the right, data recorded on workdays and Saturdays at 09:00 UTC are used.

Analiza seizmičnega nemira in interpretacija

Seizmometri, postavljeni na potresnih opazovalnicah, so zelo občutljive naprave, ki zaznajo nihanje tal v določenem frekvenčnem območju in ga beležijo. Pomembno omejitev pri zaznavanju predvsem šibkejših potresov pa predstavljajo številni naravni in umetni izvori seizmičnega šuma (angl. noise) oz. seizmičnega nemira (nem. Geräusche). Med naravne izvore seizmičnega šuma uvrščamo atmosferske spremembe, gibanje oceanov, močne vetrove, ki preko gibanja vegetacije povzročajo tresenje tal, in podobno, medtem ko sta glavna umetna (oz. antropogena, oz. civilizacijska) povzročitelja seizmičnega nemira promet in industrija (Bormann, 2002). Ker sta oba dejavnika, predvsem pa industrija, običajno najintenzivnejša ob delavnikih podnevi, lahko njun vpliv zelo uspešno ocenimo, če ločimo spektre nedeljskih in prazničnih dni (nedeljski spektri) od spektrov, ki so bili računani ob delavnikih in sobotah (delavniški spektri) ter sočasno analiziramo le spektre zabeležene ob isti dnevni uri.

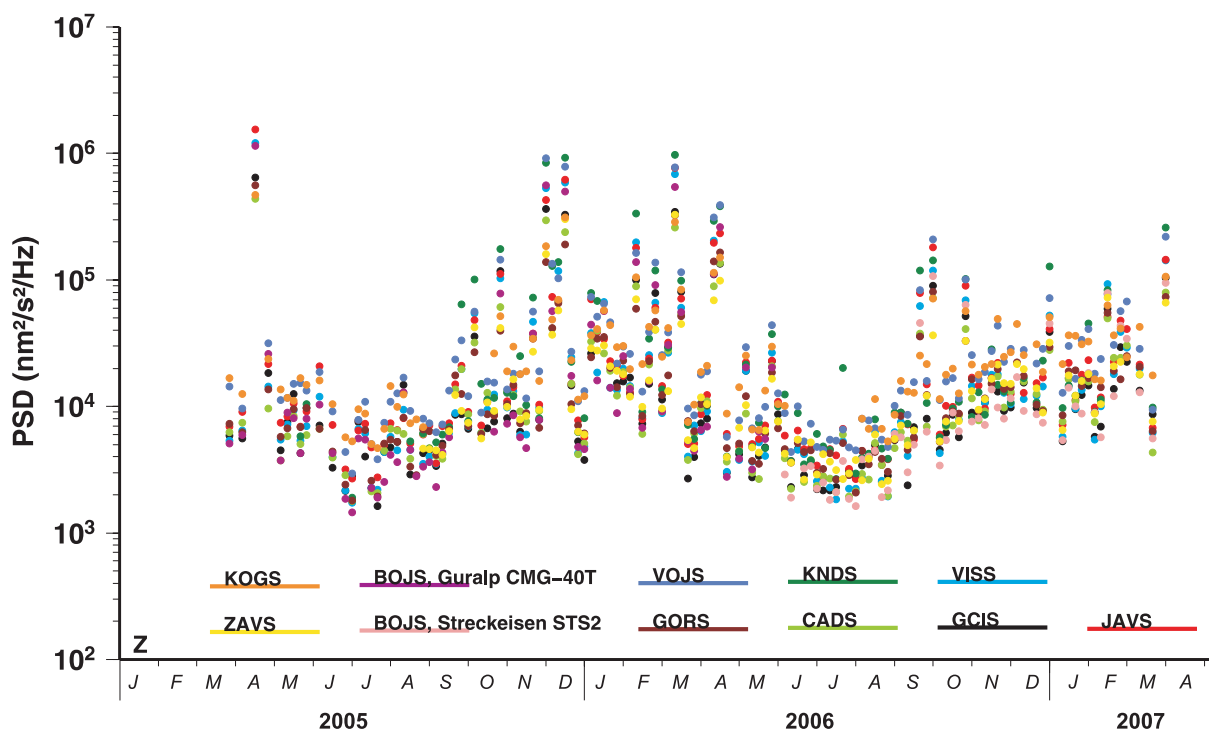
Na sliki 1 so glavne posebnosti seizmičnega nemira za posamezno opazovalnico prikazane kot povprečne vrednosti moči spektralnih gostot nedeljskih in prazničnih dni ob 1. uri po UTC, ko predvidevamo, da je civilizacijski nemir najnižji, ter za povprečne vrednosti moči spektralnih gostot ob 9. uri po UTC na delovne dni, ko pričakujemo največji civilizacijski nemir. Istočasno sta na grafih prikazani spodnja in zgornja meja globalnega modela šuma (ang. new high (NHNM) and new low (NLNM) noise model; Peterson, 1993). Časovne spremembe seizmičnega šuma in ostale posebnosti, ki jih s sliko 1 ne moremo prikazati, so ponazorjene z dodatnimi slikami.

Spekter šuma običajno delimo na tri frekvenčne pasove: nizko-frekvenčni pas, 0,01 – 0,1 Hz; frekvenčni pas mikroseizmov, 0,1 – 1,0 Hz; in visoko-frekvenčni pas, 1,0 – 100,0 Hz (Peterson, 1993).

Nizko-frekvenčni pas in frekvenčni pas mikroseizmov

Valovanje daljših period in mikroseizmov (< 1 Hz) je manj dušeno in se lahko razširja do velikih oddaljenosti. Tako so vzroki šuma pogosto zelo oddaljeni od opazovalnic, kot npr. oceanski tokovi, valovanje, plimovanje, spremembe atmosferskega pritiska, dnevno segrevanje in ohlajanje zemlje. Dolgoperiodni del spektra šuma je zato manj odvisen od lokacije, če je le-ta pravilno termično izolirana (slika 1). Pri teh frekvencah šum s časom narašča in pada na vseh opazovalnicah podobno. Razlika je le, da imata boljši seizmometer in termično bolj stabilna lokacija osnovni nivo šuma manjši. Te sočasne spremembe so lepo vidne na sliki 2, kjer je izrisano dvoletno spreminjanje seizmičnega šuma na navpični (Z) komponenti vseh opazovalnic ob 1. uri po UTC pri frekvenci 0,3 Hz. Nizek nivo šuma imajo opazovalnice GORS, BOJS, GCIS in CADS, nasprotno pa je šum najmočnejši na opazovalnicah KOGS, KNDS in VOJS. Poleg dnevnih sprememb lahko na sliki 2 opazimo tudi spreminjanje osnovnega nivoja šuma posamezne opazovalnice med letom. V zimskih mesecih, ko so atmosferske spremembe pogostejše in večje ter posredno morje bolj

razburkano, je nivo šuma višji in se med zaporednimi meritvami bistveno bolj spreminja kot poleti.



Slika 2. Časovno spreminjanje amplitude moči spektralne gostote za navpično (Z) komponento na opazovalnicah državne mreže potresnih opazovalnic v Sloveniji, ki so začele delovati v letih 2003 in 2004, pri frekvenci 0,3 Hz ob 1. uri po UTC.

Figure 2. Time variation of PSD estimates for the three components (Z = vertical; E = East-West; N = North-South) of seismic stations, which started to operate in years 2003 and 2004, and for frequency 0.3 Hz at 01:00 UTC.

Na sliki 1 lahko vidimo, da je nivo dolgoperiodnega šuma na opazovalnicah opremljenih s seizmometrom Guralp CMG-40T med seboj primerljiv in zelo visok v primerjavi z Petersonovim globalnim modelom šuma (1993). Medtem, ko je povprečen nivo šuma dolgih period na opazovalnici BOJS po zamenjavi seizmometra Guralp CMG-40T s seizmometrom Streckeisen STS2 bistveno nižji in zmeren v primerjavi z globalnim modelom šuma. Povprečne vrednosti šuma dobljene v polletnem obdobju meritev s seizmometrom Streckeisen STS2 se prilegajo spodnji meji globalnega modela šuma. V nasprotju s tem pa s senzorjem Guralp CMG-40T nameščenim na večini opazovalnic nove državne mreže pod frekvenco 0,09 Hz merimo le še šum instrumenta in tako izgubljammo velik del dolgoperiodne informacije o seizmičnem nihanju tal. Povzamemo lahko, da je poleg mirne lokacije, dobre namestitve instrumentov in drugih ugodnih pogojev za kvalitetno beleženje potresov, izredno pomemben kvaliteten seizmometer s čim ravnejšim odzivom na nihanje tal ter s širokim dinamičnim območjem v čim širšem frekvenčnem območju.

Omenili smo že, da lahko z analizo seizmičnega nemira odkrijemo motnje v delovanju opreme nameščene na opazovalnicah. V našem primeru se včasih senzori obnašajo tako, kot bi jim hkrati vsiljevali dolgoperiodno nihanje. Posledično je takšen spekter v celotnem dolgoperiodnem delu (< 0,07 Hz) približno deset krat višji kot takrat, ko tega vsiljenega

nihanja ni. Ko opazimo takšno sočasno nihanje senzorjev v seizmičnem zapisu, ga prekinemo s kalibracijskim pulzom (Tasič, 2007). Opisano motnjo smo zasledili pri horizontalnih komponentah opazovalnic KOGS, VOJS in KNDS, pri vseh treh komponentah opazovalnic ZAVS in JAVS, pri horizontalni komponenti N opazovalnice CADS ter pri vertikalni in horizontalni E komponenti opazovalnice VISS. Iz tega razloga povprečne moči spektralnih gostot v dolgoperiodnem delu na horizontalnih komponentah opazovalnic KNDS, VOJS in VISS presežejo zgornjo mejo globalnega modela šuma (slika1).

Visoko-frekvenčni pas

V visokofrekvenčnem delu ($>1\text{Hz}$) je spekter odvisen predvsem od vetrovnosti področja in človekove dejavnosti. Viri šuma so v relativni bližini opazovalnice. Ker se visoke frekvence hitro dušijo in se energija ne razširja na velike razdalje, je vsaka lokacija svojevrstna, spekter nemira pa je od opazovalnice do opazovalnice lahko povsem različen.

V visokofrekvenčnem delu so na grafih slike 1 najprej opazni posamezni vrhovi. Najizrazitejši vrh pri 19 Hz imajo opazovalnice postavljene na zelo vetrovnih področjih, to so KNDS, VOJS in JAVS. V času močnih vetrov se na teh opazovalnicah sočasno z vrhom pri 19 Hz v spektru horizontalnih komponent pojavljajo tudi vrhovi pri frekvenci približno 3 Hz in vrhovi v frekvenčnem pasu med 41 in 53 Hz. Glede na to, da so frekvence vrhov iste na vseh opazovalnicah, le te najverjetneje ustrezajo nihanju elementov znotraj tipsko izgrajenih opazovalnic, t.j. lastni frekvenci strelovoda, nihanju pokrovov jaškov, zračnika, GPS antene ter lastni frekvenci mrežne ograje. Skrb vzbujajoča je velika frekvenčna širina in visoka amplituda vrha vertikalne komponente opazovalnice KNDS pri frekvenci 3 Hz. V vetrovnih obdobjih je na tej komponenti nemir tako velik, da onemogoči zaznavanje šibkih in zmernih potresov. Z nadaljnjimi raziskavami izvora tega šuma in manjšimi posegi na tej opazovalnici bi najbrž vpliv okolice zaradi vetra bistveno omilili. Vsi omenjeni vrhovi se pojavljajo časovno neodvisno, medtem ko so nekateri vrhovi vidni izključno le ob delavnikih v dopoldanskem času in verjetno ustrezajo posameznim industrijskim obratom v bližini opazovalnic. Tako lahko na vseh opazovalnicah, razen na KNDS in GCIS, opazimo povečano spektralno komponento približno 5 Hz, opazovalnice KNDS, VOJS, ZAVS, JAVS in GCIS pa imajo v spektru šuma vrh pri 1,3 Hz.

V visokofrekvenčnem območju (slika 1) smo lahko pred zamenjavo instrumentov na opazovalnici BOJS v zelo mirnih dneh in nočeh s seizmometrom Güralp CMG-40T na navpični komponenti (Z) nad frekvenco 10 Hz in s horizontalnima komponentama (E,N) nad frekvenco 20 Hz merili le še šum seizmometra, medtem ko sedaj s seizmometrom Streckeisen STS2 merimo seizmični šum na vseh komponentah približno do frekvence 80 Hz.

Poleg posameznih visokih amplitud v spektru šuma so dober pokazatelj, kako kvalitetna je lokacija za merjenje seizmičnega nihanja tal, tudi najnižje vrednosti moči spektralnih gostot za posamezno frekvenco dobljene v dvoletnem obdobju meritev (slika 3). Iz grafov lahko razberemo, da so te vrednosti na opazovalnicah BOJS, GORS in VISS najnižje, medtem ko je najnižji nivo šuma opazovalnice KOGS v frekvenčnem pasu 1-15 Hz bistveno višji v

primerjavi z ostalimi opazovalnicami. Ta opazovalnica leži v SV delu Slovenije, v Slovenskih goricah, na seizmogeološko srednje do manj ugodnih konsolidiranih klastičnih sedimentnih (fliš, lapor) tleh (Gosar in sod., 2001), čemur pripisujemo večji del krivde za visok seizmični šum. Na širšem območju opazovalnice KOGS ne najdemo drugih trših kamnin, a je bila v tem območju kljub temu izbrana lokacija, saj smo želeli pokriti ozemlje celotne države s potresnimi opazovalnicami.

Zaključek

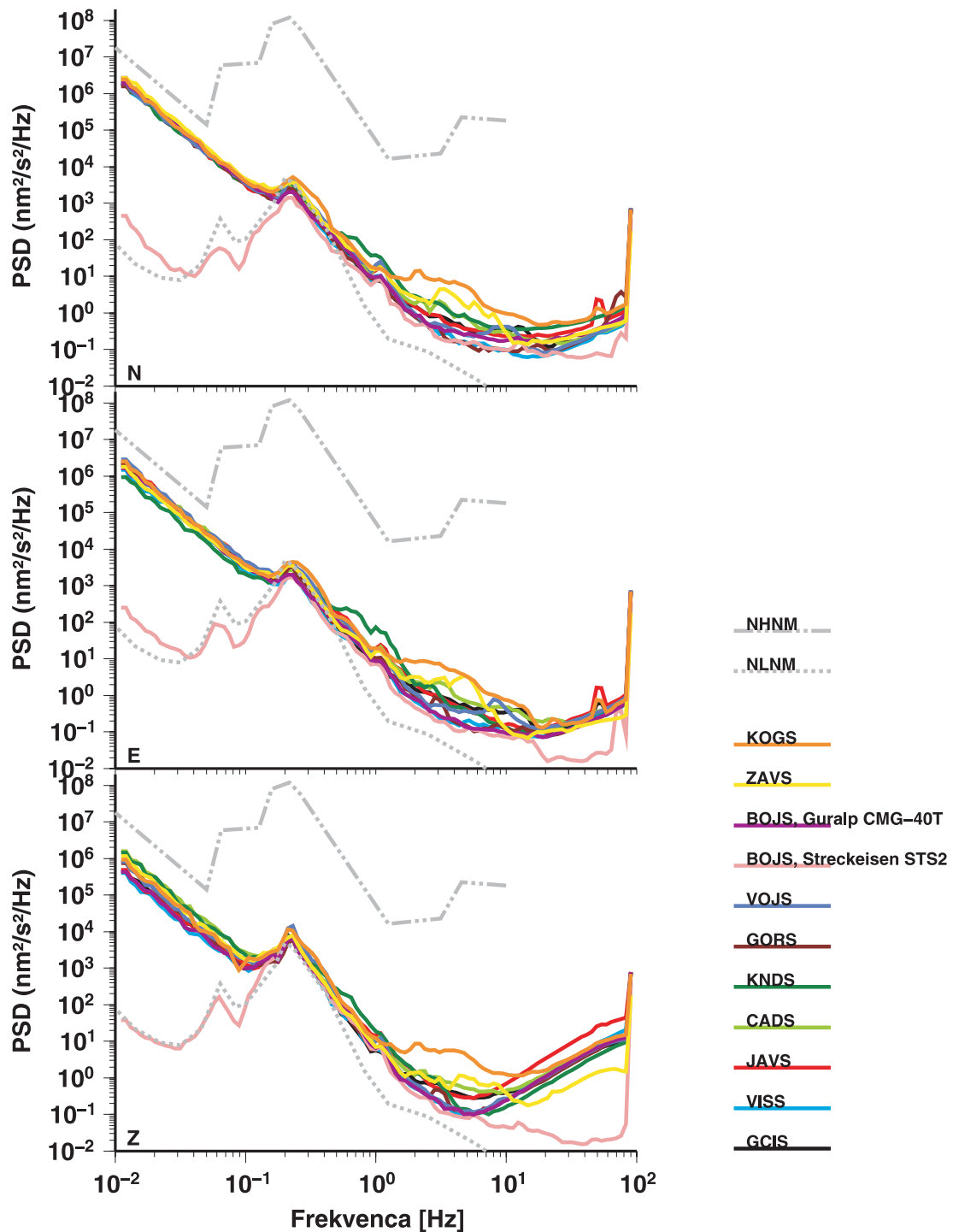
Ključen dejavnik za dobro zaznavanje potresov je nizek seizmični nemir izbrane lokacije. Na lokaciji z visokim nivojem šuma ostanemo, ne glede na to, kako dobro smo načrtovali ostale dejavnike, brez dobrih ali celo brez uporabnih zapisov potresov. Slovenija je precej enakomerno poseljena, zato se le težko izognemo seizmičnemu šumu, ki ga povzroča človek. Posledično je razlika med praznično-nočnimi in delavniško-dopoldanskimi spektri nemira precejšnja. Ob delavnikih dopoldan so v spektrih prisotne dodatne povečane spektralne komponente, katerim se ne moremo vedno izogniti, nam pa poznavanje le teh koristi pri samodejni zaznavi in analizi potresov. Z ustreznim filtriranjem teh frekvenc iz seizmičnega zapisa lahko izboljšamo razmerje signal-šum.

Na Uradu za seizmologijo in geologijo Agencije RS za okolje trenutno (april 2007) uporabljamo pri samodejnem zaznavanju lokalnih potresov STA/LTA detektor (Freiberger, 1963) na že filtriranih zapisih vertikalnih komponent s pasovno propustnim frekvenčnim filtrom 2-8 Hz. Z analizo moči spektralnih gostot smo ugotovili, da je ob delavnikih v izbranem frekvenčnem pasu na vertikalnih komponentah moči spektra gostot skoraj vseh opazovalnic prisotna povečana spektralna amplituda pri frekvenci 5 Hz, katera slabi razmerje signal-šum in tako onemogoča zaznavo šibkejših potresov. To razmerje bi lahko izboljšali z dodatnim filtriranjem seizmičnega signala z ozkim frekvenčnim filtrom pri frekvenci 5 Hz.

Frekvenčno filtriranje lahko uspešno uporabimo le dokler teh vrhov ni preveč in ti pokrivajo le ozek pas frekvenc, ki nas zanimajo. Ko je nemir povečan preko širšega frekvenčnega pasu, lahko ta popolnoma prekrije seizmični zapis potresa. V tem primeru lahko razmerje signal-šum nadalje izboljšujemo le z namestitvijo instrumentov v vrtinah, z ustrezno ureditvijo okolice merilnega mesta, s primernim zajemom podatkov ali z ustrezno obdelavo le teh (noise-polarization filtering (Shimshoni in Smith, 1964), noise prediction-error filtering (Claerbout, 1964), velocity filtering and beamforming (Buttkus, 1986)).

Analiza seizmičnega šuma je pokazala, da je v vetrovnih obdobjih seizmični nemir močno povečan na potresnih opazovalnicah KNDS, JAVS in VOJS. Z manjšimi posegi na teh opazovalnicah bi najbrž vpliv okolice zaradi vetra bistveno omilili.

Seizmični šum na opazovalnici KOGS je v frekvenčnem območju 1-15 Hz bistveno višji kot na ostalih opazovalnicah. Lokacija te opazovalnice je seizmogeološko srednje do manj ugodna, saj opazovalnica leži na konsolidiranih klastičnih sedimentnih (fliš, lapor) tleh (Gosar in sod., 2001).



Slika 3. Najnižje vrednosti moči spektralnih gostot za posamezno opazovalnico in komponento posebej (Z = navpična; E = vzhod-zahod; N = sever-jug) dobljene v dvoletnem obdobju meritev v primerjavi z globalnim seizmičnim modelom šuma po Petersonu (1993).

Figure 3. The lowest background noise PSD estimates obtained for each frequency separately in two-year measurements for the three components (Z = vertical; E = East-West; N = North-South) at seismic stations, which started to operate in years 2003 and 2004, as compared to the new global seismic noise model by Peterson (1993).

Na opazovalnicah VISS, CADS, GORS in BOJS lahko ponoči nad frekvenco 20 Hz merimo le še šum seizmometra. Seizmični šum postane manjši in ga ni mogoče več izmeriti. To pomeni, da so lokacije potresnih opazovalnic dobro izbrane, ustrezno pripravljene in seizmometri

pravilno nameščeni. Navkljub temu del informacije vseeno izgubljam zaradi nekoliko manj kakovostnih senzorjev. Te smo morali dobaviti zaradi omejene vsote denarja, ki je bila na voljo za opremo potresnih opazovalnic. Urad za seizmologijo in geologijo Agencije RS za okolje načrtuje postopoma nadomestiti nekatere obstoječe senzore s kakovostnejšimi in jih namestiti na najbolj mirnih lokacijah.

Literatura:

- ARTS Configuration and Operations Manual (online). (citirano 16. 5. 2007). Dostopno na naslovu: <http://www.brtt.com/docs/arts.pdf>.
- Bormann, P., 2002. Seismic signals and noise. In: Bormann, P. (ur.), 2002, New Manual of Seismological Observatory Practice, GeoForschungsZentrum Potsdam, Volume 1, Potsdam, Germany.
- Buttkus, B. (ur.), 1986. Ten years of the Gräfenberg array: defining the frontiers of broadband seismology, Geologisches Jahrbuch E-35, Hannover.
- Claerbout, J. F., 1964. Detection of P-wave from weak sources at great distances, Geophysics 29, 2, 197-211.
- Čarman, M., Kobal, M., Kolar, J., Pahor, J., Ravnik, J., Živčič, M., 2005. Analiza seizmičnega šuma na opazovalnicah državne mreže potresnih opazovalnic, ki so začele delovati pred letom 2003. Potresi v letu 2003, ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, Ljubljana, 69-76.
- Freiberger, W. F., 1963. An approximation method in signal detection. Quart. J. App. Math. 20, 373-378.
- Gosar, A., Živčič, M., Jesenko, T., 2000. Raziskave za izbor lokacij nove mreže potresnih opazovalnic v Sloveniji. Zbornik predavanj posvetovanja Raziskave s področja geodezije in geofizike – 2000, 87-97. Slovensko združenje za geodezijo in geofiziko, Ljubljana.
- Gosar, A., Zupančič, P., Vidrih, R., 2001. Izbor lokacij za novo mrežo potresnih opazovalnic v Sloveniji: geološke in geofizikalne raziskave, Potresi v letu 1999, ARSO, Urad za seizmologijo, Ljubljana, 50-60.
- Güralp System, 1995. CMG-40T Broadband Seismometer Operator's Guide, Güralp System Limited, Berks, England.
- Jesenko, T., Živčič, M., 2001. Merjenje seizmičnega nemira na lokacijah bodočih seizmoloških opazovalnic, Potresi v letu 1999, ARSO, Urad za seizmologijo, Ljubljana, 61 - 67.
- Lapajne, J., Sinčič, P., Živčič, M., 1998. Načrti za posodobitev opazovanja potresov v Sloveniji, Ujma 12, 153-155, Ljubljana.
- Peterson, J., 1993. Observations and modeling of seismic background noise, U.S. Geol. Surv. Open-File Rept. 93-322, 1-95.
- Ravnik, J., Živčič, M., Trnkoczy, A., 2001. Modeliranje zmogljivosti mreže potresnih opazovalnic, Potresi v letu 1999, ARSO, Urad za seizmologijo, Ljubljana, 73 - 82.
- Shimshoni, M., Smith, S. W., 1964. Seismic signal enhancement with three-component detectors. Geophysics, 29, 5, 664-671.
- Sinčič, P., Vidrih, R., Gostinčar, M., Tasič, I., Živčič, M., 2007. Potresne opazovalnice v Sloveniji v letu 2005, Potresi v letu 2005 (ta številka), ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, Ljubljana.
- Tasič, I., 2007. Osebna komunikacija.

- Trnkoczy, A., Bormann, P., Hanka, W., Holcomb, L. G., Nigbor, R. L., 2002. Site selection, preparation and installation of seismic stations. In: Bormann, P. (ur.), 2002, New Manual of Seismological Observatory Practice, GeoForschungsZentrum Potsdam, Volume 1, Potsdam, Germany.
- Trnkoczy, A., Živčić, M., 1992. Design of Local Seismic Network for NPP Krško. Proceedings of the workshop "Local and national seismic networks: on line processing with microcomputer facilities", November 18th – 20th 1991, Cahiers du Centre Europeen de Geodynamique et de Seismologie, 5, 31-41, Luxembourg.
- Živčić, M., 1999. Kriteriji za izbiro mikrolokacije potresne opazovalnice. Rokopis, URSG, 6 str., Ljubljana.

POTRESI V SLOVENIJI LETA 2005

EARTHQUAKES IN SLOVENIA IN 2005

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

***Povzetek.** Potresna aktivnost v letu 2005 je bila zmerna. Prebivalci so čutili več kot 65 potresnih sunkov. Najmočnejši potres je bil 14. januarja ob 7. uri in 58 minut po svetovnem času (UTC) oziroma ob 8. uri in 58 minut po srednjeevropskem času z žariščem v bližini Cerknega. Njegova lokalna magnituda je bila 4,0 (ARSO, 2005-2006), največja intenziteta pa V EMS-98.*

***Abstract.** Earthquake activity was moderate in 2005. People felt more than 65 earthquakes. The most powerful earthquake was on 14 January at 7.58 UTC or 8.58 Central European time, with hypocentre in the vicinity of Cerknno. Its local magnitude was 4.0 (ARSO, 2005-2006), and the highest intensity V EMS-98.*

Uvod

Potresna aktivnost v letu 2005 v Sloveniji je bila zmerna (ARSO, 2005-2006). Po januarskih potresih pri Selu pri Zagorju, Cerknem, Mežici, Šmarjeti, Bovcu in Šmarjeških Toplicah, se je februarja zatreslo najprej pri Bovcu, potem pri Kobaridu, še enkrat pri Bovcu, pri Cerknem in Ljubljani. Najmočnejši potres leta 2005 z žariščem v Sloveniji je bil 14. januarja ob 7. uri 58 minut po UTC (oz. ob 8. uri 58 minut po srednjeevropskem času) z žariščem v bližini Cerknega. Njegova lokalna magnituda je bila 4,0 (ARSO, 2005-2006), največja intenziteta pa V EMS-98 v krajih Butajnova, Črni Vrh, Javorje, Poljane nad Škofjo Loko, Gorenja vas, Davča, Podporezen, Rudno, Železniki, Brod, Gabrje, Volarje, Hudajužna, Podbrdo, Trtnik, Črni Vrh nad Idrijo, Idrija, Ledine, Spodnja Idrija, Spodnja Kanomlja in Dolenja Trebuša. EMS je okrajšava za evropsko potresno lestvico (Grünthal, 1998a, 1998b). Glavnemu potresu je čez sedem minut sledil popotres z magnitudo 3,8 in največjo intenziteto V EMS-98. V marcu so prebivalci čutili potrese pri Koprivniku, Bovcu, Soči, Malem Lipoglavu in Pivki. Aprila je sledil potres pri Ilirski Bistrici.

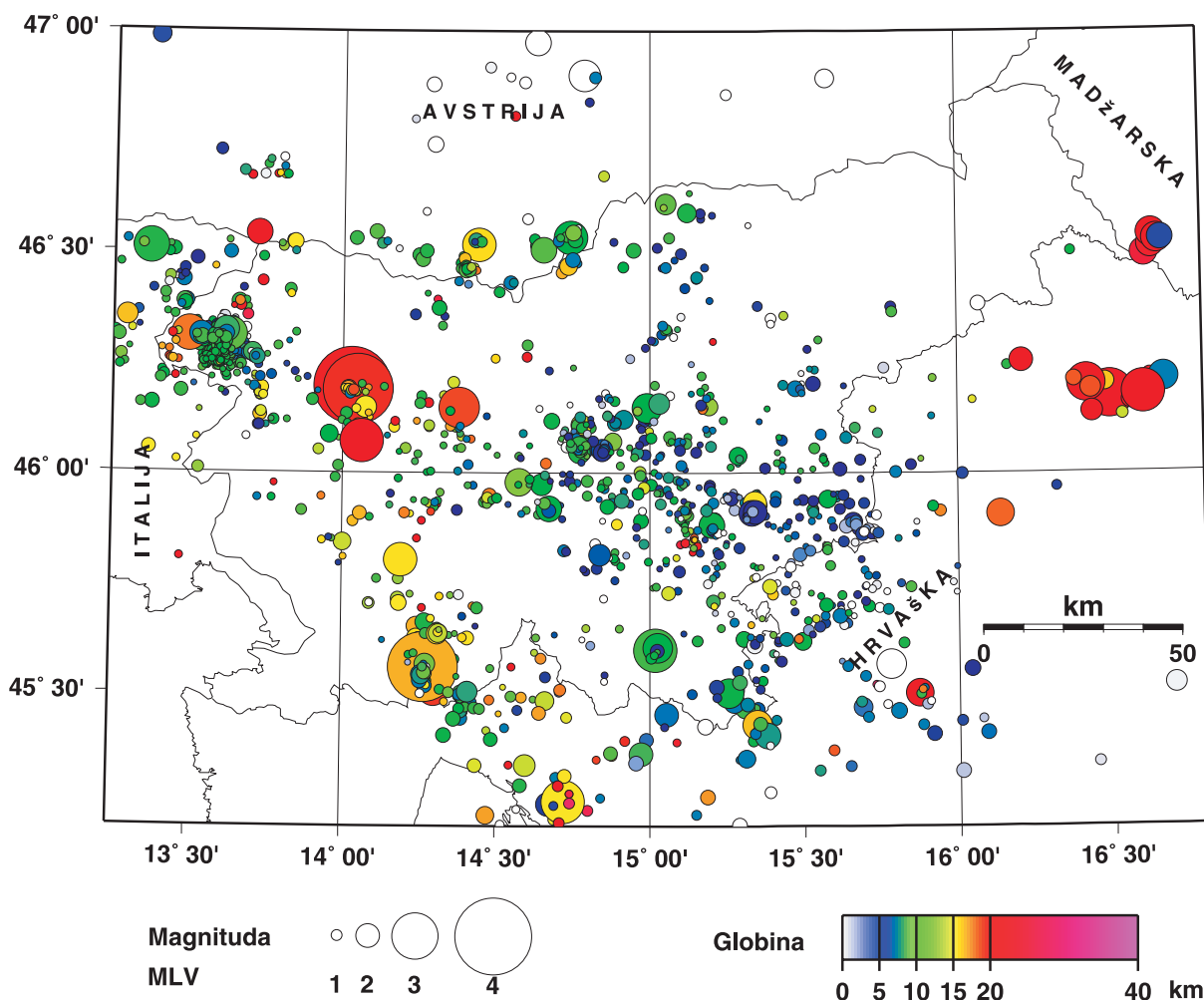
Maja so tresenje tal čutili v okolici Strmce in potem pri Vrsniku. Junija se je treslo v okolici Dobove, Bovca, Brežic in Vnanjih Goric. Julija se je potresna aktivnost dogajala predvsem v okolici Bovca, Zagorja ob Savi in Dobove.

V avgustu smo zabeležili potrese pri Črnomlju, Škofji Loki, Bovcu, Lepeni in Turjaku. Septembra se je streslo pri Račni in Ločah. Oktobra so potresa čutili prebivalci Preddvora, Lepene in Litije. Novembra smo zbirali podatke za potrese pri Šmarjeških Toplicah, Zagorju ob Savi, Bovcu, Lepeni, Kresnicah, Gmajni in Raki. Decembra se je treslo pri Trbovljah in Žireh.

Na različnih območjih Slovenije so prebivalci čutili več kot 65 potresnih sunkov. Sedem potresov je doseglo največjo intenziteto V EMS-98. Karta nadžarišč (epicentrov) potresov leta 2005, ki so jih prebivalci čutili, je na sliki 2.

Seizmografi državne mreže potresnih opazovalnic so leta 2005 zapisali več kot 2500 lokalnih potresov. Da bi določili, kje je bilo žarišče potresa, potrebujemo podatke najmanj treh

opazovalnic. V preglednici 1 smo podali 100 lokalnih potresov, katerim smo lahko določili lokalno magnitudo in je le-ta bila večja ali enaka 1,5, kot tudi 20 šibkejših potresov, ki so jih prebivalci Slovenije čutili.



Slika 1. Nadžarišča potresov v letu 2005, 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} .

Figure 1. Distribution of epicentres in 2005, 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} .

Za opredelitev osnovnih parametrov potresov podanih v preglednici 1 smo uporabili vse razpoložljive analize potresov na potresnih opazovalnicah državne mreže v Sloveniji (ARSO, 2004-2005) ter v Avstriji (ZAMG 2004-2005), na Hrvaškem (GZAM 2004-2005) in v Italiji (OGS 2005). 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 tridimenzionalnega 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 M_{LV} potresov smo opredelili iz največje hitrosti navpične komponente nihanja tal (A/T v nm/s) na slovenskih opazovalnicah po enačbi:

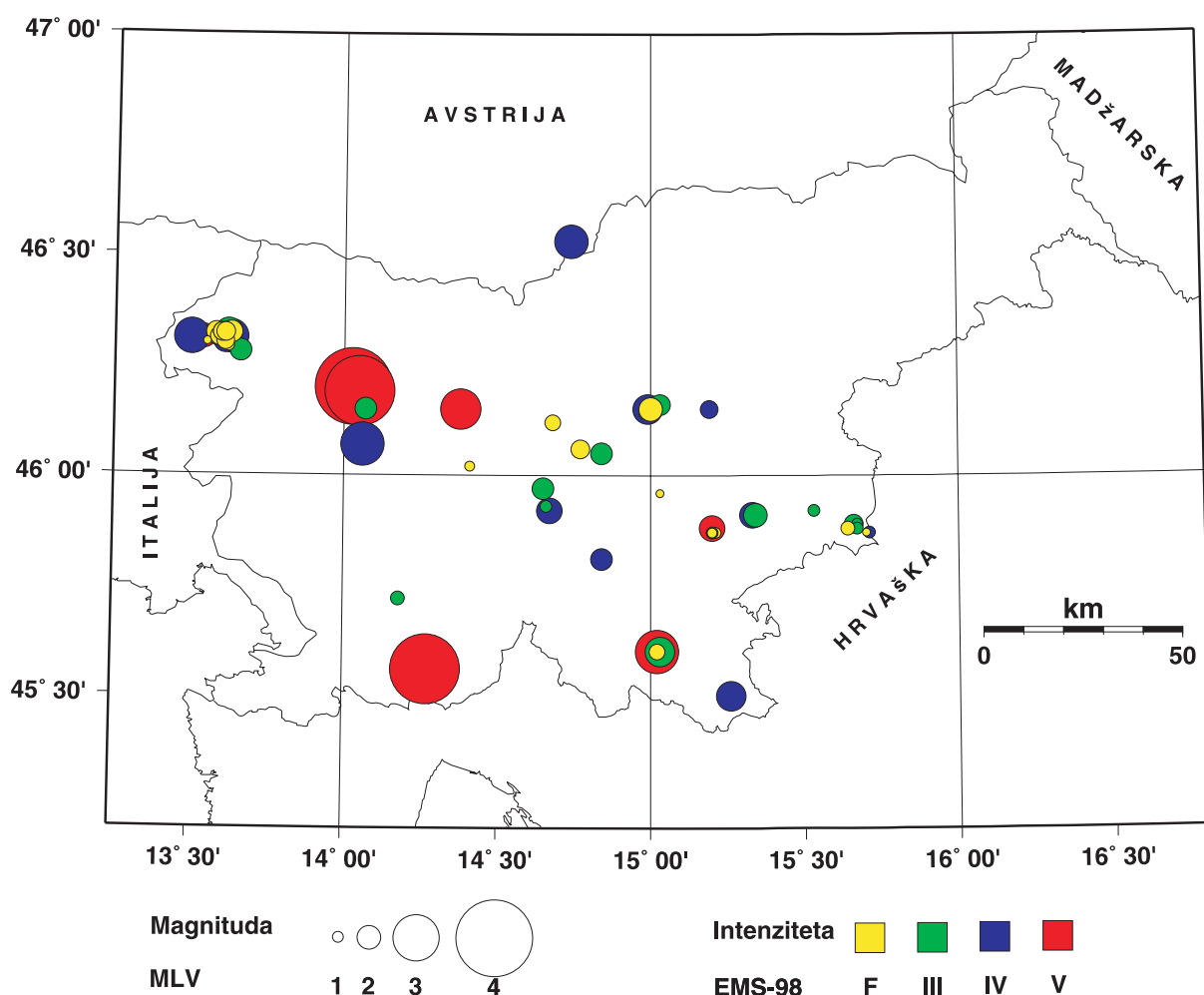
$$MLV = \log (A/T) + 1,52 * \log D - 3,2$$

kjer je D oddaljenost nadžarišča v kilometrih. V preglednici 1 je dana 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:

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

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



Slika 2. Intenzitete potresov, ki so jih v letu 2005 čutili prebivalci Slovenije. Barva simbola ponazarja maksimalno doseženo intenziteto v Sloveniji, njegova velikost pa vrednost lokalne magnitude M_{LV} .
Figure 2. Intensities of earthquakes felt in Slovenia in 2005. Size of symbols represent local magnitude and colour represent maximal intensity.

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). 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).

V preglednici 1 smo poleg datuma (dat), žariščnege časa (h:m:s UTC), koordinat nadžarišča (šir °N, dolž °E) in žariščne globine (h km) podali tudi število opazovalnic (nst), ki so prispevale podatke in srednja vrednost kvadratov pogreškov (RMS) v sekundah.

št.	dat.	h:m:s	z. šir.	z. dolž.	h	nst	RMS	M _{LV}	M _D	I _{max}	potresno območje
		UTC	°N	°E	km		s			EMS 98	
no.	date	h:m:s	lat	lon	h	nst	RMS	M _{LV}	M _D	I _{max}	epicentral area
		UTC	°N	°E	km		s			EMS 98	
1	9.1.	23:50:18,5	46,32	13,56	7	11	0,2	1,6	1,8		Čezsoča
2	12.1.	1:19:21,8	46,54	13,72	20	42	0,3	2,1	2,6		Podklošter, meja Avstrija - Slovenija
3	12.1.	16:22:1	46,14	14,98	6	5	0,1	1,1		čutili	Selo pri Zagorju
4	14.1.	7:58:11,3	46,20	14,03	19	75	0,5	4	4,1	V	Davča
5	14.1.	8:5:18,1	46,19	14,05	19	84	0,5	3,8	3,8	V	Davča
6	14.1.	16:22:21,5	45,65	14,24	16	20	0,4	1,7	2,1		Drskovče
7	16.1.	14:7:42,1	46,53	14,74	10	41	0,5	2,5	2,6	IV	Globasnica, Avstrija
8	18.1.	17:22:7,3	45,87	15,21	5	10	0,3	1		čutili	Šmarjeta
9	18.1.	19:47:50,1	46,32	13,58	7	21	0,4	1,8	2,3	čutili	Čezsoča
10	19.1.	14:0:29,5	45,87	15,20	6	10	0,3	1,2		čutili	Šmarješke Toplice
11	19.1.	14:2:49,4	45,88	15,20	9	23	0,3	2,1	2,6	V	Štravberk
12	19.1.	17:16:29,6	45,87	15,20	5	11	0,3	1,1		čutili	Šmarješke Toplice
13	24.1.	19:52:47,6	46,32	13,61	9	8	0,2	1,8	1,8		Kal-Koritnica
14	30.1.	7:41:47,2	46,29	13,62	8	6	0,1	1,2	1,4	čutili	Drežnica
15	31.1.	20:47:1,2	46,32	13,63	7	25	0,5	1,9	2,3	čutili	Lepena
16	2.2.	21:50:13,3	46,30	13,55	9	5	0,1	0,7	0,8	čutili	Bovec
17	3.2.	10:20:9,6	46,31	13,61	7	30	0,2	1,7	2,4	IV	Kal-Koritnica
18	10.2.	22:29:22,3	45,62	15,49	11	18	0,4	1,6			Ozalj, Hrvaška
19	11.2.	7:31:18,8	45,96	15,03	9	8	0,3	0,7		čutili	Mirna
20	12.2.	6:48:1	46,30	13,61	9	14	0,1	1,7	1,8		Čezsoča
21	13.2.	20:57:58,6	45,63	14,24	15	24	0,3	1,6	2,2		Knežak
22	15.2.	22:37:14,6	46,31	13,60	11	34	0,4	2	2,6	IV	Čezsoča
23	18.2.	22:1:55	46,61	15,05	12	6	0,4	1,8			Dravograd, meja Slovenija - Avstrija
24	20.2.	15:53:16,9	46,32	13,62	9	25	0,3	2,2	1,9	III	Lepena
25	20.2.	16:45:22,9	46,15	14,07	15	37	0,4	1,9	2,2	III	Robidnica - Cerkno
26	23.2.	5:22:12,5	46,12	14,68	10	22	0,2	1,5	1,8	čutili	Ljubljana
27	23.2.	12:37:50,8	45,84	14,00	14	7	0,2	1,6	1,9		Gradišče pri Vipavi
28	1.3.	14:28:18,7	46,31	13,59	6	20	0,3	1,7	2	čutili	Čezsoča
29	6.3.	0:9:27,3	46,31	13,58	7	13	0,3	1,6	2,1	III-IV	Čezsoča
30	6.3.	21:46:18,3	45,60	15,02	12	89	0,4	2,9	3,3	V	Staro Brezje - Koprivnik
31	7.3.	21:43:2	45,60	15,02	2	21	0,3	1,5	2,1	čutili	Koprivnik
32	11.3.	14:12:5,4	46,11	14,78	15	24	0,4	1,8	1,8		Zgornji Prekar - Kresnice
33	11.3.	19:50:27,6	46,32	13,60	8	12	0,2	1,7	1,7	čutili	Kal-Koritnica

št.	dat.	h:m:s	z. šir.	z. dolž.	h	nst	RMS	M _{Lv}	M _D	I _{max}	potresno območje
		UTC	°N	°E	km		s			EMS 98	
no.	date	h:m:s	lat	lon	h	nst	RMS	M _{Lv}	M _D	I _{max}	epicentral area
		UTC	°N	°E	km		s			EMS 98	
34	15.3.	9:44:37,2	45,51	14,30	19	22	0,4	2,3			Jelšane, meja Slovenija - Hrvaška
35	22.3.	15:39:41	45,47	15,31	9	10	0,3	1,7	2,4		Vinica, meja Slovenija - Hrvaška
36	23.3.	14:40:57,9	45,97	14,65	10	24	0,3	1,9	2	III-IV	Hrastje pri Grosupljem
37	27.3.	4:0:29,2	45,60	15,03	10	48	0,5	2,3	3	III	Koprivnik
38	30.3.	11:57:54,7	45,98	14,58	13	31	0,4	2,2	2,7		Zalog pri Škofljici
39	31.3.	1:6:29,9	45,72	14,18	14	15	0,3	1,3	2,2	III	Pivka
40	9.4.	21:26:32,9	46,47	14,73	16	18	0,5	1,6	2,6		Koprivna - Črna na Koroškem
41	14.4.	20:29:7,3	46,07	14,77	9	33	0,3	1,6	2		Golišče
42	24.4.	18:34:0,2	45,56	14,27	16	90	0,6	3,8	4,2	V	Jasen - Ilirska Bistrica
43	25.4.	14:17:8,1	45,57	14,27	13	19	0,5	1,8	2,5		Jasen - Ilirska Bistrica
44	26.4.	13:13:3,6	46,31	13,58	7	17	0,3	1,7	2,1		Čezsoča
45	4.5.	14:55:26,7	46,52	14,44	16	51	0,5	2,5	3		Zell - Homölich, Avstrija
46	6.5.	21:34:36,7	46,15	15,19	13	27	0,4	1,6	2,4	IV	Trnov Hrib - Laško
47	8.5.	3:14:53,6	46,28	13,66	7	20	0,4	1,9	2,5	III	Lepena
48	8.5.	7:25:13,9	46,32	13,62	9	14	0,3	1,8	2,2	III	Lepena
49	9.5.	5:56:59,9	45,54	14,26	7	18	0,4	1,7	2,5		Dolnji Zemon - Ilirska Bistrica
50	14.5.	0:28:7,9	46,25	16,21	21	23	0,5	2	2,6		Varaždin, Hrvaška
51	14.5.	20:5:30,6	46,49	16,62	26	11	0,2	2,2			Kiscsehi, meja Madžarska - Slovenija - Hrvaška
52	14.5.	20:17:2,6	46,51	16,64	25	12	0,2	2,2			Kiscsehi, meja Madžarska - Slovenija - Hrvaška
53	14.5.	20:17:27,2	46,54	16,64	22	5	0,1	2,3			Kiscsehi, meja Madžarska - Slovenija - Hrvaška
54	14.5.	20:39:49,3	46,53	16,66	23	27	0,5	2,3			Kiscsehi, meja Madžarska - Slovenija - Hrvaška
55	14.5.	22:12:26,5	46,53	16,67	3	26	0,5	2,1			Kiscsehi, meja Madžarska - Slovenija - Hrvaška
56	15.5.	13:44:30	46,30	13,60	7	16	0,2	1,7	2,3		Čezsoča
57	22.5.	18:50:39,5	45,50	14,39	8	18	0,4	1,6	2,5		Zabiče, meja Slovenija - Hrvaška
58	25.5.	6:26:58,5	45,48	15,27	7	4	0,1	1,8			Vinica, meja Slovenija - Hrvaška
59	26.5.	21:49:25,6	45,50	14,41	8	23	0,3	1,8	2,5		Zabiče, meja Slovenija - Hrvaška
60	31.5.	6:59:0,2	46,32	13,60	9	15	0,2	1,6	1,8		Kal-Koritnica
61	1.6.	5:3:51,7	46,09	13,96	10	20	0,3	1,6	2,4		Jagršče - Cerkno
62	6.6.	2:17:6,5	45,89	15,66	4	15	0,3	1,7		III-IV	Mihalovec - Dobova
63	10.6.	4:52:42,5	45,94	15,58	10	18	0,5	1,6	2,1		Trebež - Brežice
64	12.6.	0:55:38,7	45,92	15,53	9	22	0,4	1,2	1,7	III	Brežice
65	16.6.	20:40:8,8	45,88	15,64	1	10	0,4	1,3	1,8	čutili	Brežice
66	19.6.	19:36:42,4	46,02	14,41	7	11	0,3	0,9	1,5	čutili	Vnanje Gorice
67	26.6.	13:32:5,4	45,89	15,67	2	8	0,4	1,1		III	Dobova
68	26.6.	15:6:25,9	45,88	15,67	2	6	0,2	1,2		III	Dobova
69	8.7.	20:33:21,4	46,50	14,65	12	37	0,4	2,1	2,6		Karavanke, Avstrija
70	9.7.	1:31:46,6	45,36	14,97	8	25	0,4	2	2,7		Ravna Gora, Hrvaška

št.	dat.	h:m:s	z. šir.	z. dolž.	h	nst	RMS	M _{LV}	M _D	I _{max}	potresno območje
		UTC	°N	°E	km		s			EMS 98	
no.	date	h:m:s	lat	lon	h	nst	RMS	M _{LV}	M _D	I _{max}	epicentral area
		UTC	°N	°E	km		s			EMS 98	
71	12.7.	6:4:54,4	46,31	13,61	8	21	0,3	1,7	2,2	IV	Čezsoča
72	14.7.	5:34:1,4	45,66	14,27	11	14	0,3	1,6	2,4		Palčje - Pivka
73	16.7.	1:37:29,5	45,54	14,26	8	22	0,4	1,6	2,7		Dolnji Zemon - Ilirska Bistrica
74	18.7.	22:49:7,3	46,14	15,00	6	9	0,1	0,9		III-IV	Zagorje ob Savi
75	18.7.	22:49:24,7	46,15	15,01	5	7	0,4	0,7		čutili	Zagorje ob Savi
76	19.7.	14:45:57,1	46,12	14,92	7	18	0,2	1,7	2,5		Rovišče - Zagorje ob Savi
77	25.7.	22:12:21,1	46,05	14,77	9	25	0,3	1,9	2,4		Velika Štanga
78	30.7.	21:57:19,5	45,87	15,71	1	9	0,2	1,2		IV	Dobova
79	10.8.	19:49:50,8	46,31	13,61	8	22	0,3	1,6	2		Kal-Koritnica
80	13.8.	8:25:18,6	46,30	13,61	7	15	0,2	1,6	2	čutili	Drežniške Ravne
81	24.8.	3:8:51	45,45	15,05	7	23	0,2	2			Stari trg ob Kolpi, meja Hrvaška - Slovenija
82	25.8.	22:58:14,1	46,30	13,64	6	13	0,2	1,6	1,9		Lepena
83	28.8.	21:26:50,8	45,50	15,26	11	52	0,4	2,3	2,5	IV	Bojanci
84	30.8.	11:28:19,3	46,15	14,38	18	47	0,5	2,8	3	V	Dol - Medvode
85	31.8.	21:55:33	46,31	13,50	18	78	0,4	2,6	3,1	IV	Log Čezsoški
86	31.8.	22:35:47,1	45,92	14,67	10	31	0,4	2,1	2,8	IV-V	Predole -Grosuplje
87	5.9.	17:35:16,5	46,07	14,88	13	28	0,4	1,6	1,5		Ponoviče - Litija
88	9.9.	4:2:2,9	45,93	14,66	12	20	0,2	1,2	1,3	III	Račna
89	17.9.	9:14:59,2	46,59	15,12	11	5	0,2	1,7			Dravče - Vuzenica
90	18.9.	20:42:15,7	45,87	15,70	2	4	0,2	0,6		čutili	Loče
91	23.9.	2:32:48,3	46,27	13,70	8	33	0,4	1,7	2,4		Krn
92	24.9.	5:47:32,7	45,48	14,66	14	13	0,3	1,7	2,4		Gerovo, Hrvaška
93	3.10.	13:21:2,1	46,04	15,29	10	14	0,3	1,6			Ledina
94	4.10.	18:54:33,1	46,32	13,60	9	10	0,2	1,7	1,8	čutili	Kal-Koritnica
95	5.10.	7:29:15,6	46,31	13,54	7	27	0,3	2	2,2	V	Čezsoča
96	10.10.	16:14:50,3	45,93	15,34	15	11	0,3	2	2,5		Dolenje Radulje - Raka
97	12.10.	13:43:32	45,35	15,31	7	8	0,3	1,6			Grabrk, Hrvaška
98	13.10.	19:2:18,1	45,81	14,84	6	16	0,2	1,9	2,1	IV	Višnje
99	14.10.	13:42:13,9	45,43	15,35	16	34	0,5	2,3	2,9		Bosiljevo, Hrvaška
100	16.10.	22:49:48,7	45,41	15,37	6	14	0,2	1,7	2		Bosiljevo, Hrvaška
101	17.10.	7:29:50,2	45,41	15,38	8	8	0,1	2,1	2,4		Bosiljevo, Hrvaška
102	17.10.	16:16:55,4	46,05	14,84	6	12	0,2	1,9	2,1	III	Litija
103	17.10.	22:46:25,5	46,05	14,84	6	12	0,2	1,6	2,6		Šmartno pri Litiji
104	1.11.	4:21:36	45,64	14,31	15	19	0,2	1,8	1,8		Koritnice
105	1.11.	4:22:30,6	45,64	14,31	14	16	0,2	1,7	1,8		Koritnice
106	1.11.	14:9:32,9	46,06	14,77	9	28	0,3	1,7	1,4	čutili	Mala Štanga
107	2.11.	21:49:39,7	45,87	15,20	7	13	0,4	0,9		čutili	Šmarješke Toplice
108	5.11.	18:0:9	46,15	15,00	9	28	0,4	2	2,2	čutili	Vine - Zagorje ob Savi
109	7.11.	13:36:39,9	46,15	14,99	10	25	0,4	2,3	2,5	IV-V	Vine - Zagorje ob Savi

št.	dat.	h:m:s	z. šir.	z. dolž.	h	nst	RMS	M_{LV}	M_D	I_{max}	potresno območje
		UTC	°N	°E	km		s			EMS 98	
no.	date	h:m:s	lat	lon	h	nst	RMS	M_{LV}	M_D	I_{max}	epicentral area
		UTC	°N	°E	km		s			EMS 98	
110	8.11.	15:10:52,6	46,30	13,61	8	27	0,3	2	2,3	IV	Drežniške Ravne
111	14.11.	22:41:59,2	45,91	15,33	5	21	0,3	2,1	2,3	IV	Štrit -Raka
112	15.11.	15:25:23,8	45,91	15,34	5	12	0,3	2	2,8	III-IV	Štrit - Raka
113	16.11.	19:9:15,3	46,32	13,61	10	23	0,4	1,7	2,1	čutili	Kal-Koritnica
114	18.11.	20:55:0,2	46,31	13,63	12	58	0,4	2,2	2,7	IV-V	Lepena
115	18.11.	20:56:37,8	46,31	13,63	12	57	0,5	2,5	3,1	IV-V	Lepena
116	24.11.	9:55:39,1	45,80	14,19	15	39	0,4	2,5	2,7		Zagon
117	24.11.	22:16:25	46,31	13,62	7	11	0,2	1,3	1,7	III-IV	Bovec
118	27.11.	11:4:59,2	46,32	13,62	8	38	0,3	2,1	2,6	III-IV	Lepena
119	1.12.	0:52:54,9	46,16	15,03	8	19	0,4	1,8	2,4	III-IV	Trbovlje
120	12.12.	14:14:14,6	46,07	14,06	21	45	0,5	2,9	3,1	IV	Javorjev Dol - Žiri

Preglednica 1. Seznam potresov leta 2005, 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 7 potresov manjše lokalne magnitude, ki so jih čutili prebivalci Slovenije.

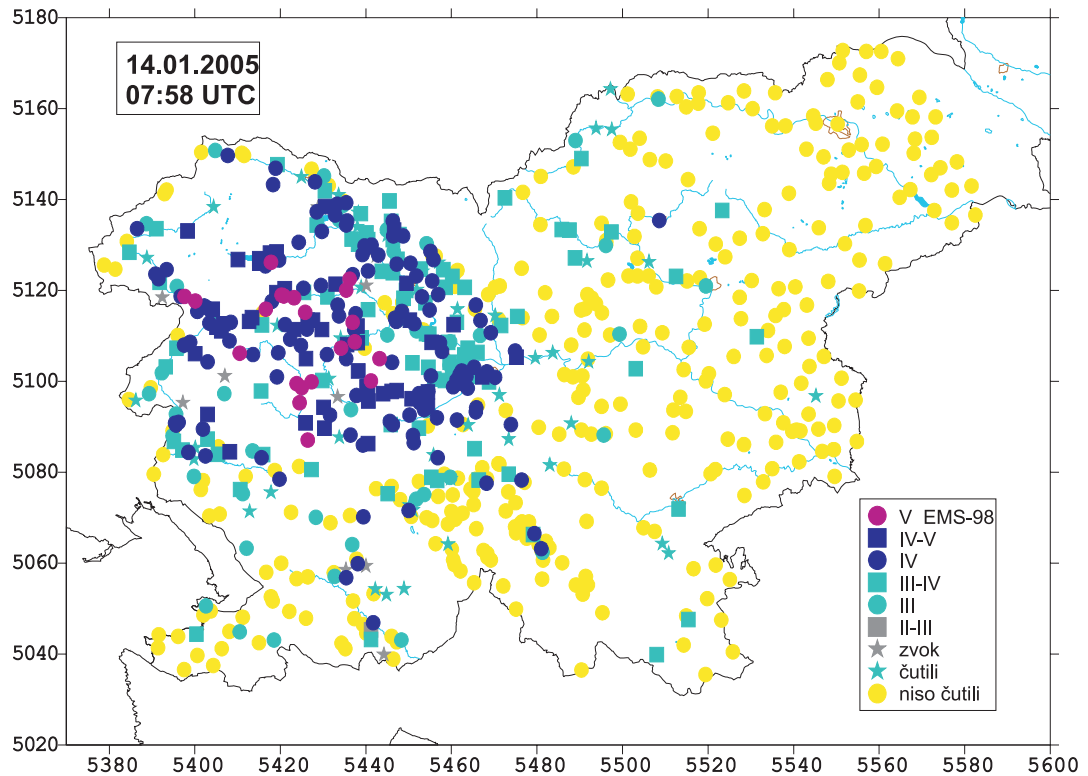
Table 1. List of earthquakes with $M_{LV} \geq 1,5$ in 2005 for which the hypocentral time, coordinates of epicentre and focal depth were calculated; the maximum intensity of some earthquakes is also provided. Information about 7 earthquakes with weaker magnitude, that were felt by inhabitants of Slovenia, is also included.

V naslednjem poglavju (in na slikah od 3 do 9) 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 prav vseh. Na sliki 10 so prikazane največje intenzitete za vse potrese, ki so jih v posameznih krajih čutili prebivalci Slovenije v letu 2005.

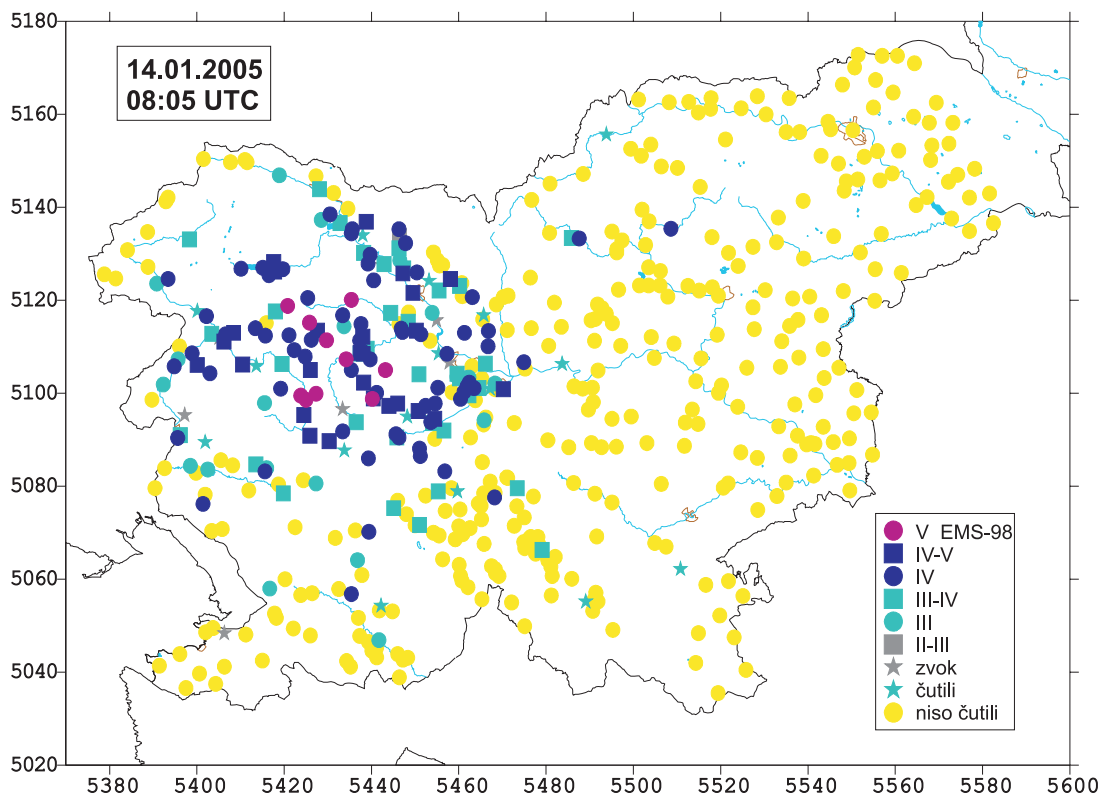
Podatki o nekaterih močnejših potresih, ki so jih prebivalci Slovenije čutili

Najmočnejši potres leta 2005 z žariščem v Sloveniji je bil **14. januarja ob 7. uri 58 minut po UTC** (oz. ob 8. uri 58 minut po srednjeevropskem času) z žariščem v bližini Cerknega. Njegova lokalna magnituda je bila 4,0 (ARSO, 2005-2006), največja intenziteta v krajih Butajnova, Črni Vrh, Javorje, Poljane nad Škofjo Loko, Gorenja vas, Davča, Podporezen, Rudno, Železniki, Brod, Gabrje, Volarje, Hudajužna, Podbrdo, Trtnik, Črni Vrh nad Idrijo, Idrija, Ledine, Spodnja Idrija, Spodnja Kanomlja in Dolenja Trebuša pa V EMS-98. Čez sedem minut je glavnemu potresu sledil popotres z magnitudo 3,8 in največjo intenziteto V EMS-98. V nekaterih šolah so prekinili pouk in naredili kratke vaje evakuacije ter odšli na šolska dvorišča. Iz marsikaterega kraja so poročali tudi o močnem zvoku, ki je spremljal tresenje tal. Tri dni po potresih si je epicentralno območje ogledala ekipa Urada za seizmologijo in geologijo. Ugotovili smo, da poškodb v krajih, ki smo jih obiskali, skorajda ni bilo, z izjemo

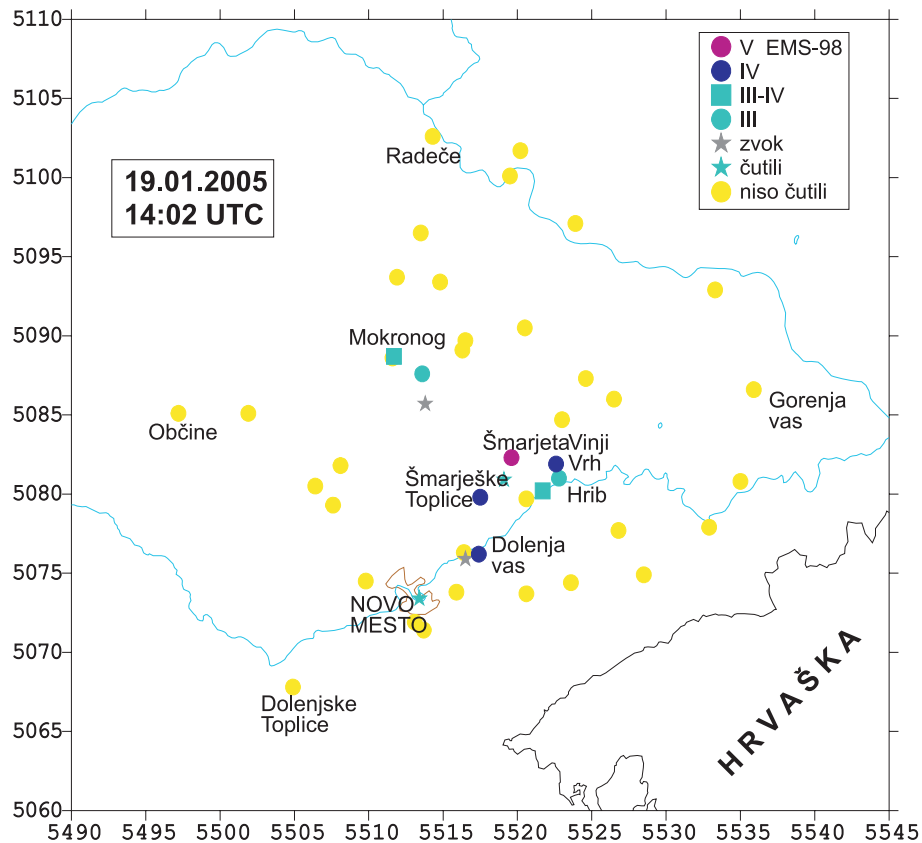
nekaj lasastih razpok na Petrovem Brdu, v Podbrdu in Podporeznu. Glavni potres so čutili tudi zunaj naših meja, v Avstriji in Italiji. Karti učinkov obeh potresov sta na slikah 3 in 4.



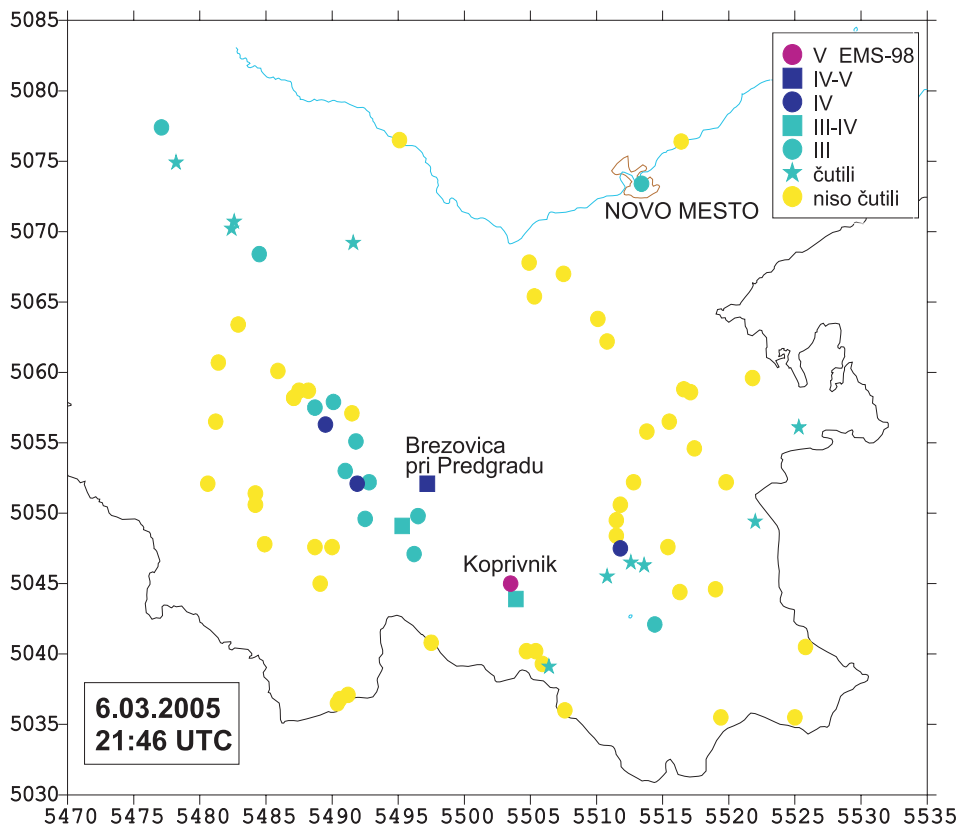
Slika 3. Intenzitete potresa 14. januarja 2005 ob 7. uri 58 minut po UTC v posameznih naseljih.
Figure 3. Intensity of earthquake on 14 January 2005 at 7.58 UTC in individual settlements.



Slika 4. Intenzitete potresa 14. januarja 2005 ob 8. uri 5 minut po UTC v posameznih naseljih.
Figure 4. Intensity of earthquake on 14 January 2005 at 8.05 UTC in individual settlements.



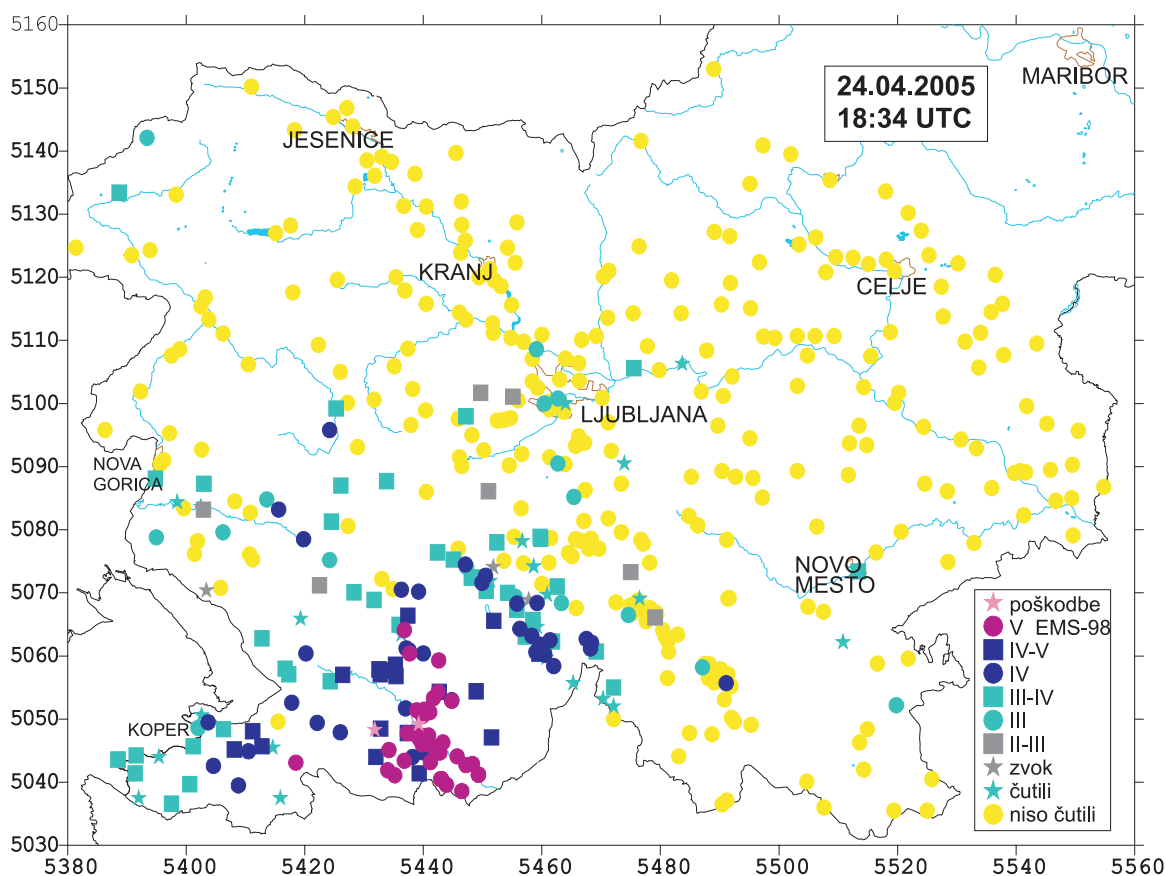
Slika 5. Intenzitete potresa 19. januarja 2005 ob 14. uri 2 minuti po UTC v posameznih naseljih.
Figure 5. Intensity of earthquake on 19 January 2005 at 14.02 UTC in individual settlements.



Slika 6. Intenzitete potresa 6. marca 2005 ob 21. uri 46 minut po UTC v posameznih naseljih.
Figure 6. Intensity of earthquake on 6 March 2005 at 21.46 UTC in individual settlements.

19. januar 2005 ob 14. uri 2 minuti po UTC. Potres je imel razmeroma šibko magnitudo (MLV=2,1), vendar je v Šmarjeti imel učinke V. stopnje po intenzitetni lestvici EMS-98 (slika 5). Močnejše so ga čutili še v bližnjih Šmarjeških Toplicah, Dolenji vasi in Vinjem Vrhu. Poročali so, da je potres spremljalo tudi močnejše bobnenje. Glavnemu potresu je sledilo še nekaj popotresov, o katerih so poročali opazovalci.

6. marec 2005 ob 21. uri 46 minut po UTC. Močno tresenje tal z intenziteto V EMS-98 je zbudilo in prestrašilo vse prebivalce Koprivnika (slika 6). Čutili so kratek sunek, kot bi se celotna vas hkrati dvignila in spustila. Zapustili so domove in v pričakovanju naslednjega sunka, kljub mrazu in snegu, vztrajali do jutra na prostem. Vsi krajanji so slišali tudi zvok, nekateri so ga opisali kot tuljenje vetra, drugi kot bobnenje. Potres je poškodoval nekaj objektov, tudi na novejših so se pojavile lasaste razpoke. Iz Brezovice pri Predgradu, Mozlja, Nemške Loke, Kočevja in drugod so poročali o precej močnem sunku. Naslednji večer, 7. marca ob 21. uri 43 minut, so prebivalci Koprivnika čutili še en, vendar šibkejši potres.

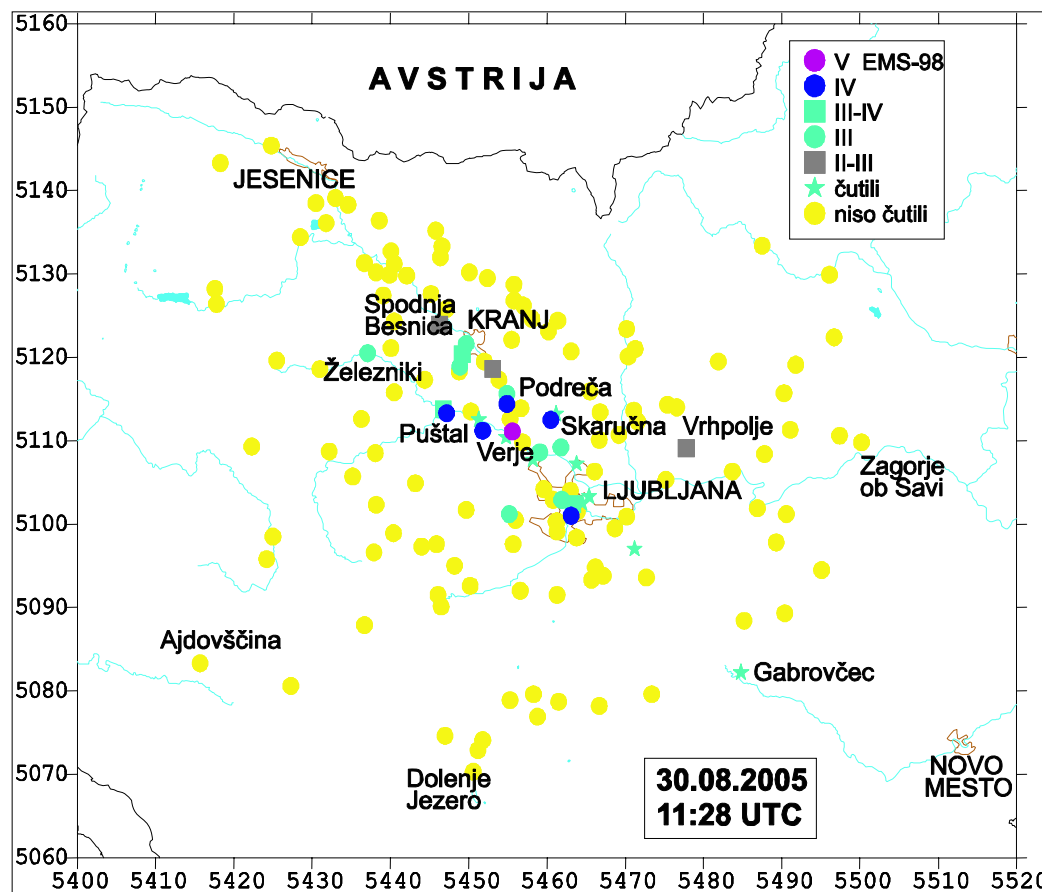


Slika 7. Intenzitete potresa 24. aprila 2005 ob 18. uri 34 minut po UTC v posameznih naseljih.

Figure 7. Intensity of earthquake on 24 April 2005 at 18.34 UTC in individual settlements.

24. april 2005 ob 18. uri 34 minut po UTC Območje Ilirske Bistrice in okolice se je po nekajletnem le šibkem potresnem delovanju ponovno močnejše zatreslo. Potres 24. aprila 2005 ob 18. uri 34 minut po UTC (dve uri pozneje po lokalnem času) je imel lokalno magnitudo 3,8 in največjo intenziteto na širšem nadžariščnem območju V EMS-98 (slika 7). Njegovo žarišče je nastalo v globini okoli 15 km, kar ga uvršča med globlje potrese v slovenskem prostoru. Zaradi potresa so nekateri objekti na ilirskobistriškem utrpeli lažje poškodbe, kot denimo

razpoke v ometu, razpoke na stikih stropov in sten, odpadanje koščkov ometa in beleža, počena stenska keramika in podobno. Uporabniki teh objektov niso bili ogroženi. Potres, ki je močno prestrašil prebivalce, so spremljali zvočni pojavi. Čutili so ga prebivalci južne in osrednje Slovenije ter sosednje Hrvaške.



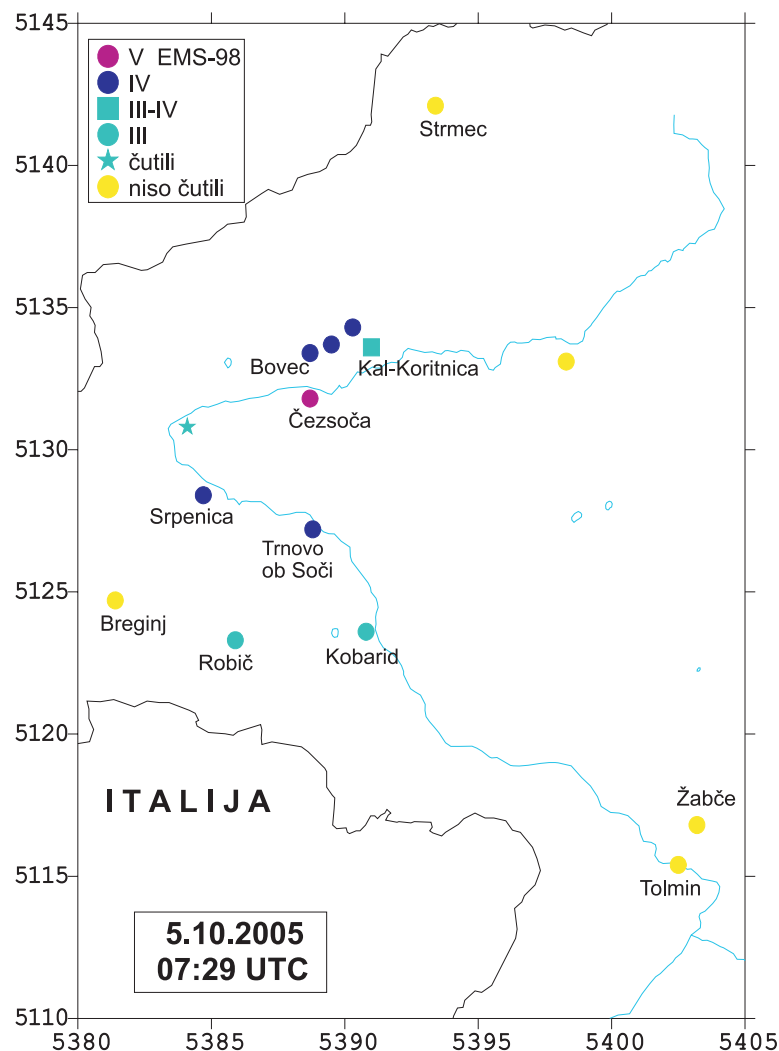
Slika 8. Intenzitete potresa 30. avgusta 2005 ob 11. uri 28 minut po UTC v posameznih naseljih.
Figure 8. Intensity of earthquake on 30 August 2005 at 11.28 UTC in individual settlements.

30. avgust 2005 ob 11. uri in 28 minut po UTC. Potres z največjo intenziteto V EMS-98 je imel žarišče pri Medvodah (slika 8). Kot kratko tresenje so ga čutili prebivalci naselij ob Sori in Savi (od Škofje Loke in Kranja do Ljubljane). Nekateri so potres zaznali tudi na prostem. O finih razpokah v ometu hiše in prevrnjenih knjigah ter kozmetiki so poročali iz Verja pri Medvodah.

31. avgust 2005 ob 22. uri in 35 minut po UTC. Zmerno tresenje tal z inteziteto IV-V EMS-98 z žariščem v okolici Grosuplja so najbolj doživeli v Veliki Račni, Spodnji Slivnici, Žalni, Grosupljah in na Cesti. Potres z močnim pokom je prebudil prebivalce, nekateri so ga opisali kot guganje.

5. oktober 2005 ob 7. uri 29 minut po UTC. Plitek, šibek potres z magnitudo ($M_{LV}=2,0$) je imel žarišče v bližini Bovca (slika 9). Najmočneje (V EMS-98) so ga čutili v vasi Čezsoča. Po navedbah občanov so se na stavbah v Bovcu in Trnovem ob Soči povečale razpoke. Potres so čutili tudi v Srpenici, Kobaridu in okoliških krajih. Poročali so, da je bilo najprej slišati močno bobnenje, nato pa so čutili kratek sunek. Nekateri so mislili, da gre za miniranje na Kaninu.

7. november 2005 ob 13. uri 36 minut po UTC. Potres v Zasavju z največjo intenziteto IV-V EMS-98 je imel žarišče v bližini Zagorja. Kratkotrajni sunek so najbolj čutili občani Trbovelj, Dobovca, Kisovca, Prevega in okoliških krajev, ki navajajo ropot, podoben lokomotivi, ki pelje skozi stanovanje, ali skladovnici drv, ki se podira.

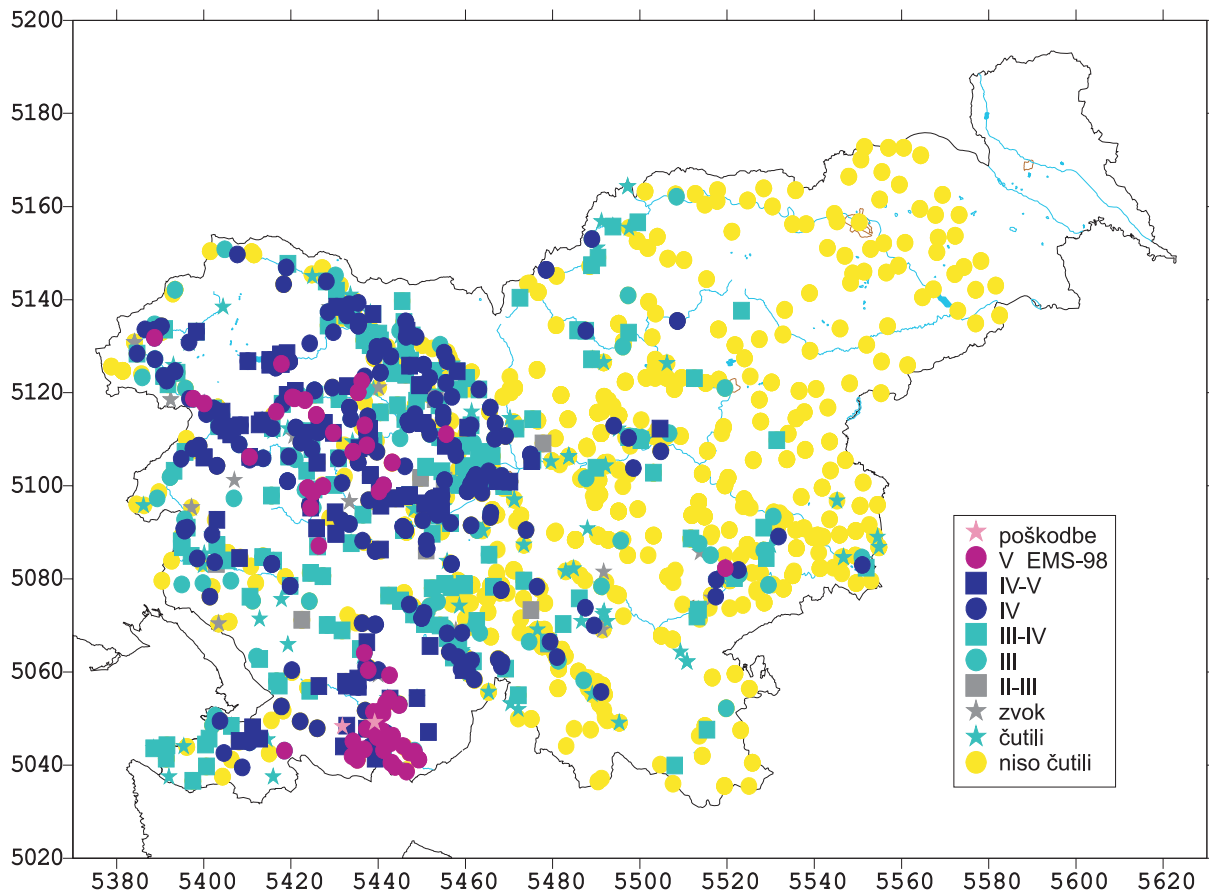


Slika 9. Intenzitete potresa 5. oktobra 2005 ob 7. uri 29 minut po UTC v posameznih naseljih.
Figure 9. Intensity of earthquake on 5 October 2005 at 7.29 UTC in individual settlements.

Sklepne misli

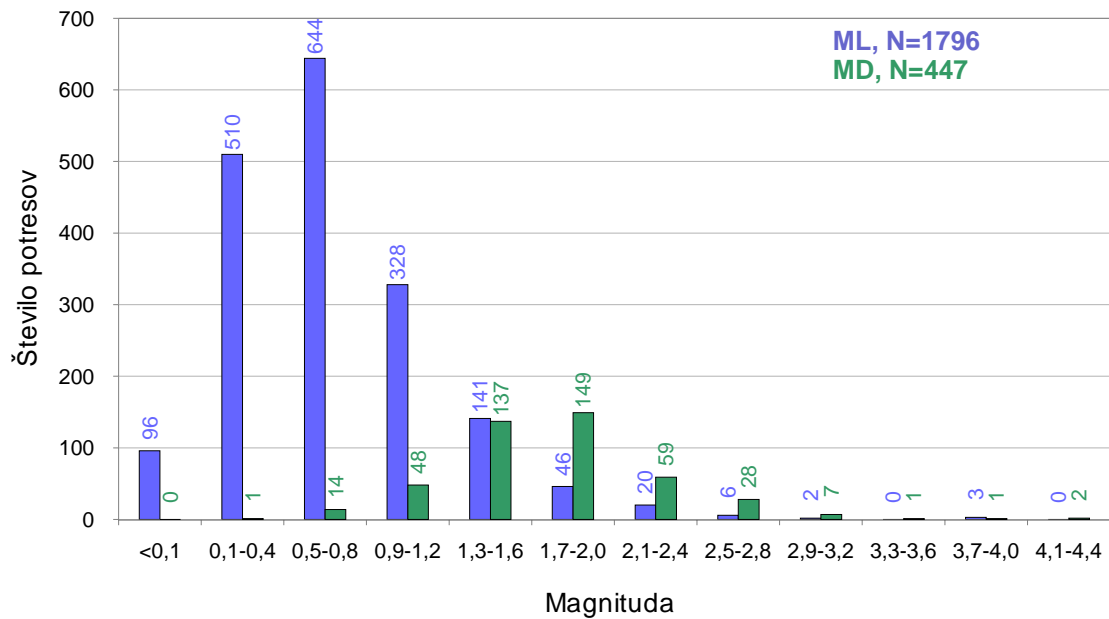
Potresna aktivnost v Sloveniji v letu 2005 je bila zmerna, toda število zabeleženih potresov je bilo, predvsem zaradi postavitve novih potresnih opazovalnic, veliko. Histogram na sliki 11 kaže porazdelitev lokalnih magnitud (M_{LV}), ki smo jih opredelili za 1796 potresov. Največ potresov je imelo magnitudo med 0,5 in 0,8.

Med potresi, za katere smo razposlali makroseizmične vprašalnike ali opravili terenske raziskave, jih je največjo intenziteto IV EMS-98 doseglo 12, intenziteto IV-V EMS-98 4 in intenziteto V EMS-98 7 potresov. Preostali potresi (42) so imeli največjo intenziteto nižjo od IV EMS-98 ali pa so jih ljudje le čutili in stopnje ni bilo mogoče opredeliti (sliki 2 in 12). Prebivalci so skupno čutili vsaj 65 potresov.



Slika 10. Skupna karta največjih intenzitet vseh potresov v letu 2005, ki so jih v posameznih krajih čutili prebivalci Slovenije.

Figure 10. Overall map of the largest intensities of all earthquakes in 2005 felt by the inhabitants of Slovenia in individual places.

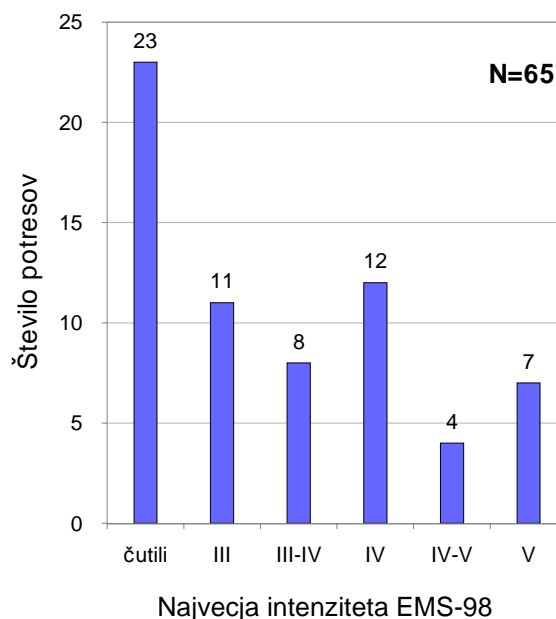


Slika 11. Porazdelitev potresov v Sloveniji v letu 2005 glede na lokalno magnitudo.

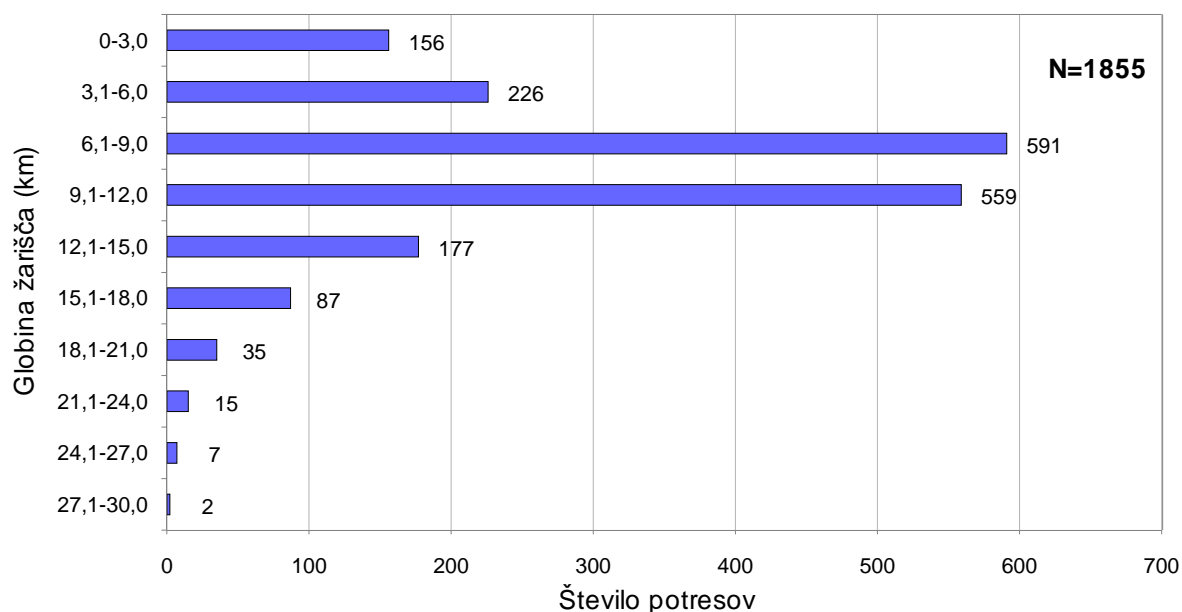
Figure 11. Distribution of earthquakes in Slovenia in 2005 in relation to local magnitude.

Slika 12. Porazdelitev potresov v Sloveniji v letu 2005 glede na največjo intenziteto EMS-98.

Figure 12. Distribution of earthquakes in Slovenia in 2005 in relation to maximum intensity EMS-98.



Porazdelitev potresov glede na globino žarišč (slika 13) kaže, da je imela večina od skupno 1855 potresov lociranih na območju Slovenije in bližnje okolice žarišča do globine 18 km. Največ potresov (591) je bilo v globini med 6,1 in 9 km. 59-tim potresom smo opredelili žariščno globino večjo od 18 km.



Slika 13. Porazdelitev potresov v letu 2005 glede na globino žarišča (v kilometrih).

Figure 13. Distribution of earthquakes in Slovenia in 2005 in relation to focal depth (in kilometres).

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 2005 je z ARSO aktivno sodelovalo več kot 4900 ljudi, za kar se jim najlepše zahvaljujemo. Za potrese v letu 2005 smo poslali 6715 vprašalnikov.

Tudi v letu 2005 smo pri zbiranju in izmenjavi podatkov uspešno sodelovali s seizmologi iz sosednjih držav. Za poslane makroseizmične podatke pa se posebej zahvaljujemo Edmundu Fiegweilu iz Centralnega zavoda za meteorologijo in geodinamiko (ZAMG) na Dunaju in Ivici Soviću iz Seizmološke službe Republike Hrvaške (SSRH) v Zagrebu.

Literatura

Agencija RS za okolje, 2005-2006. Preliminarni tedenski seizmološki bilteni za 2005. Arhiv ARSO, Ljubljana.

Grünthal, G. (ur.), 1998a. European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98). Conseil de l'Europe, Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, Volume 15, Luxembourg, 99 pp.

Grünthal, G. (ur.), 1998b. European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98).

http://www.gfz-potsdam.de/pb1/pg2/ems_new/INDEX.HTM

GZAM, 2005-2006, Mesečni bilteni za 2005 (online). Geofizički Odsjek Prirodoslovno-Matematičnog Fakulteta, Zagreb, Hrvaška. Dostopno na naslovu:

<http://www.isc.ac.uk/cgi-bin/collect?Days=&yyyy=Year&mm=Mon&Reporter=ZAG>

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.

NEIC, 2005-2006, Monthly bulletin (online). US Department of the Interior. Geological Survey, National Earthquake Information Center. Dostopno na naslovu:

<http://earthquake.usgs.gov/research/topics.php?areaID=13>

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 (Oservatorio Geofisco Sperimentale), 2006, 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, 2005-2006, Seizmološki bilteni za 2005. 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.

ŽARIŠČNI MEHANIZMI NEKATERIH MOČNEJŠIH POTRESOV V SLOVENIJI V LETU 2005

FAULT PLANE SOLUTIONS OF SOME STRONGER EARTHQUAKES IN SLOVENIA IN 2005

Milka Ložar Stopar, Mladen Živčić

***Povzetek.** Za močnejše potrese v Sloveniji v letu 2005 smo iz seizmogramov odčitali smeri prvih premikov ob vstopu vzdolžnega (longitudinalnega) valovanja. Za sedem potresov smo zbrali zadostno število podatkov za zanesljivo opredelitev rešitve prelomne ploskve. V vseh sedmih potresih je bil premik približno vodoraven ob skoraj vertikalnem prelomu. Le potres v Krnskem pogorju kaže na nekoliko večjo komponento narivanja.*

***Abstract.** From the seismograms of stronger earthquakes in Slovenia in 2005 we read the first onsets of the arrivals of the longitudinal waves. For seven of them there was enough data to determine the fault plane solutions. In all seven earthquakes the mechanism was approximately strike slip along almost vertical fault. Only the earthquake in the Krn mountains has somewhat larger thrust component.*

Uvod

Potres nastane ob prelomu v Zemljini notranjosti, ko pod vplivom tektonskih napetosti ena stran ob prelomu zdrsne relativno 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., 2007). S skrbno analizo oblik vstopnega dela vzdolžnega in prečnega valovanja na posameznih potresnih opazovalnicah je ob zadostnem številu podatkov in njihovi ugodni legi glede na žarišče potresa, možno ugotoviti smer prelomne ploskve in premika ob njej.

V tem prispevku smo analizirali nekaj močnejših potresov v letu 2005 z žariščem na ozemlju Slovenije (preglednica 1) in jim določili žariščne mehanizme (slika 1).

Postopek in podatki

Za rešitev prelomne ploskve smo uporabili smer nihanja tal ob prihodu longitudinalnega valovanja na potresno opazovalnico. To odčitamo na navpični komponenti kot kompresijo (zgostitev) ali dilatacijo (razredčitev) tal pod potresno opazovalnico. Ob poznavanju strukture Zemljine skorje in hitrosti potresnega valovanja v posameznih plasteh lahko izračunamo smer, v kateri je potresno valovanje zapustilo žariščno območje. V ta namen smo uporabili povprečni hitrostni model za ozemlje Slovenije, opredeljen iz tridimenzionalnega modela za prostorsko valovanje (Michelini in sod., 1997), in model za površinsko valovanje (Živčić in sod., 2000).

datum	čas (UTC)	širina	dolžina	globina	M _L	ravnina 1			ravnina 2			P		T		Np	Nnp
		°N	°E	km		smer	naklon	premik	smer	naklon	premik	smer	naklon	smer	naklon		
date	time (UTC)	lat.	long.	depth	M _L	nodal plane 1			nodal plane 2			P		T		Np	Nnp
dd.mm	hh:mm	°N	°E	km		strike	dip	rake	strike	dip	rake	strike	dip	strike	dip		
14.01.	07:58	46,20	14,02	21	4,1	205	53	-16	305	77	-141	172	54	70	74	31	0
14.01.	08:05	46,19	14,04	20	3,8	207	62	-11	302	80	-152	168	63	72	78	32	1
06.03.	21:46	45,60	15,02	13	3,3	236	70	15	141	76	160	190	86	97	66	18	1
24.04.	18:33	45,55	14,26	19	4,2	246	73	10	153	80	163	200	85	109	71	16	0
31.08.	21:55	46,31	13,49	16	3,1	27	62	22	286	71	150	338	84	244	56	20	1
07.11.	13:36	46,14	15,00	11	2,5	30	90	0	300	90	180	345	90	75	90	15	0
12.12.	14:14	46,08	14,06	19	3,1	60	90	0	330	90	180	15	90	105	90	18	1

Np = število uporabljenih prvih prihodov

Nnp = število napačnih prvih prihodov

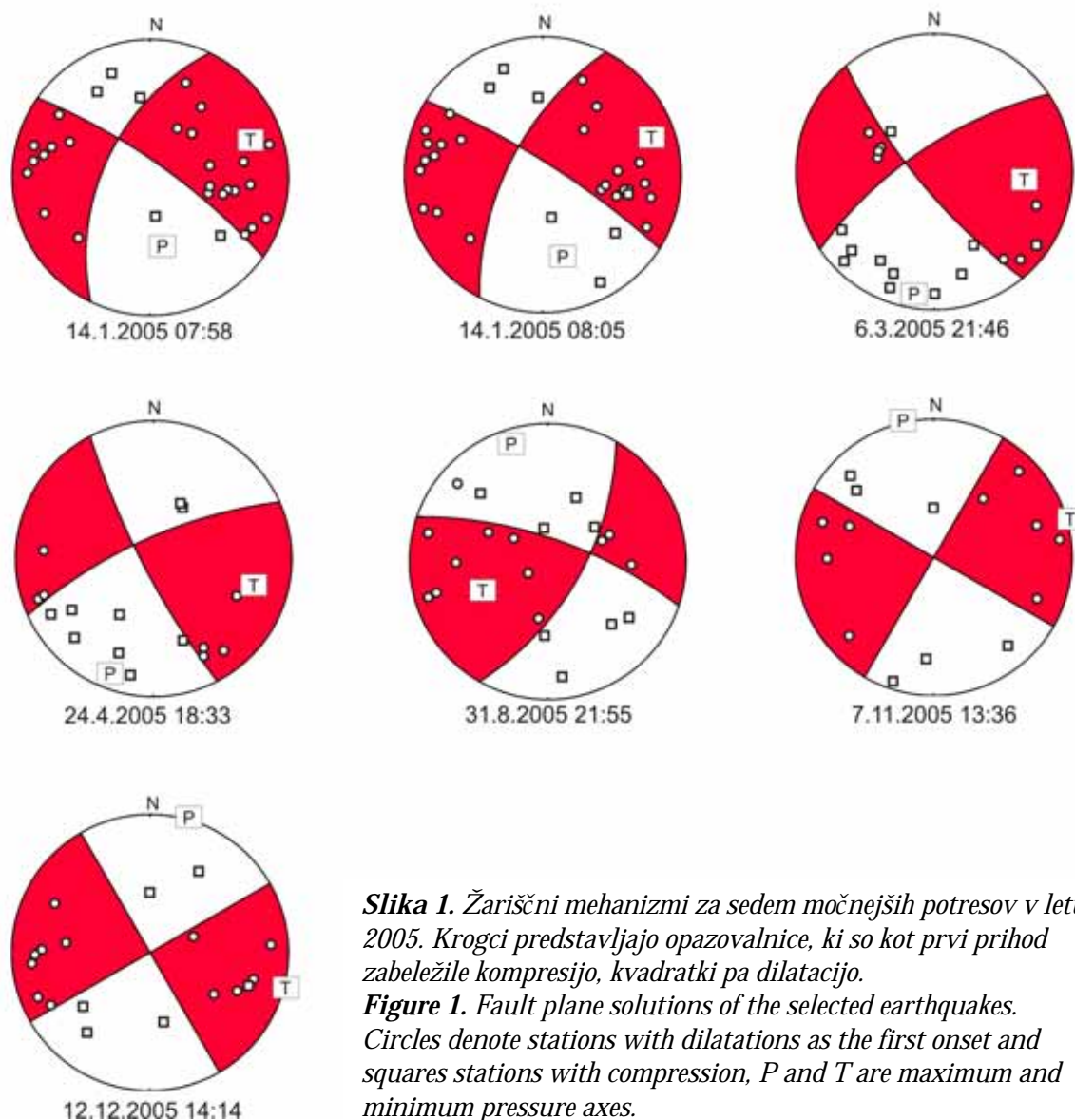
Preglednica 1. Močnejši potresi v letu 2005 z žariščem na ozemlju Slovenije in njihovi parametri žariščnih mehanizmov. P je os največje in T os najmanjše napetosti. Np je število uporabljenih podatkov o smeri prvih premikov in Nnp število podatkov, ki niso v soglasju z rešitvijo.

Table 1. Stronger earthquakes in 2005 with epicentres in Slovenia and Fault plane parameters. P is maximum and T minimum pressure axis. Np is number of stations used and Nnp is number of data inconsistent with the given solution.

Datum	Čas UTC	Širina	Dolžina	Globina [km]	Smer	Naklon	Premik	Smer	Naklon	Premik	Mw
Date	Time UTC	Lat. [°N]	Long. [°E]	Depth [km]	Strike	Dip	Rake	Strike	Dip	Rake	Mw
14.1.2005	07:58:12	46.185	14.002	18	213	82	-17	305	73	-171	3.88
14.1.2005	08:05:18	46.208	14.033	15	214	85	-2	304	88	-175	3.72
24.4.2005	18:34:01	45.570	14.245	9	64	86	6	334	84	176	4.05

Preglednica 2. Potresi v letu 2005 z žariščem na ozemlju Slovenije in njihovi parametri žariščnih mehanizmov kot so bili določeni v švicarski seizmološki službi (Schweizerischer Erdbebendienst, SED, 2007).

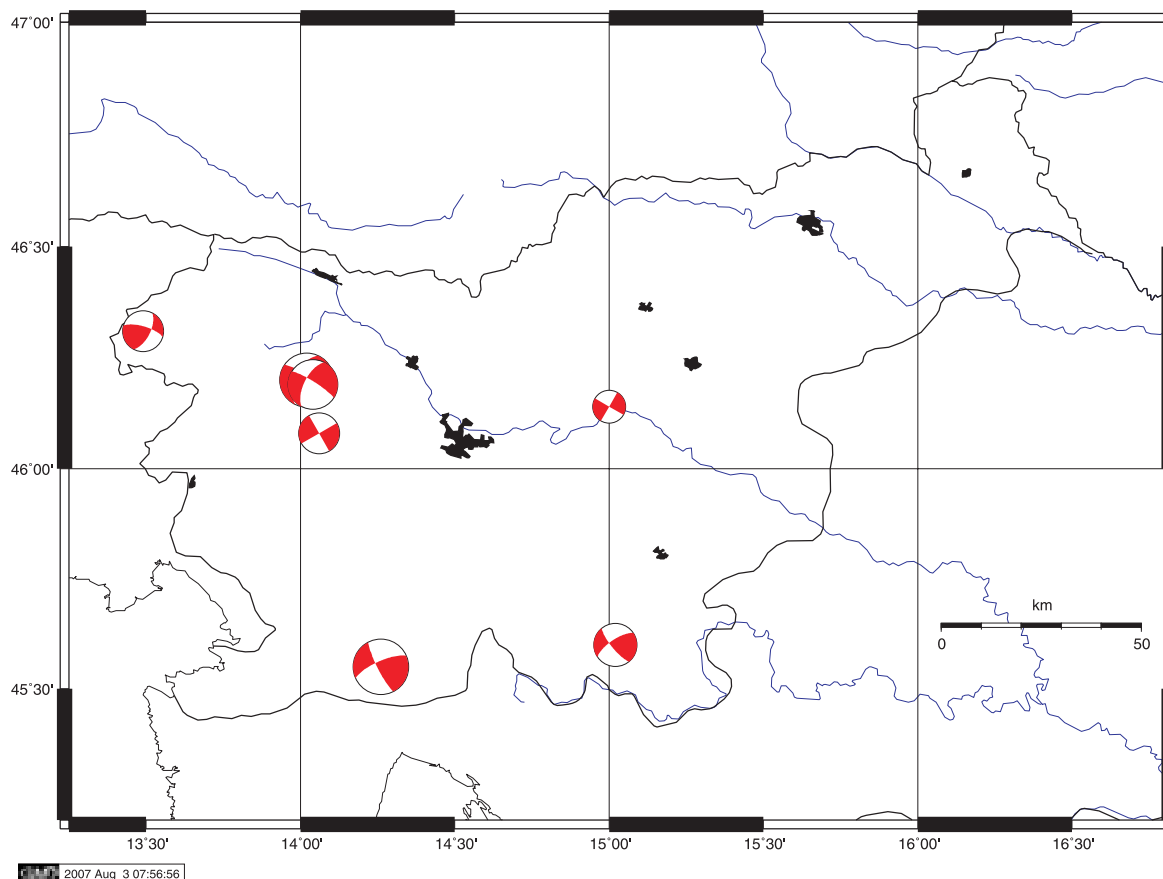
Table 2. Stronger earthquakes in 2005 with epicentres in Slovenia and Fault plane parameters determined at Swiss Seismological Service (Schweizerischer Erdbebendienst, SED, 2007)



Slika 1. Žariščni mehanizmi za sedem močnejših potresov v letu 2005. Krogci predstavljajo opazovalnice, ki so kot prvi prihod zabeležile kompresijo, kvadratki pa dilatacijo.

Figure 1. Fault plane solutions of the selected earthquakes. Circles denote stations with dilatations as the first onset and squares stations with compression, P and T are maximum and minimum pressure axes.

Ker so oddaljenosti do potresnih opazovalnic velike v primerjavi z dimenzijami žarišča potresa, lahko žarišče obravnavamo kot točkovni vir energije. Najbolj enostaven in dokaj natančen opis potresnega žarišča je v tem primeru z dvojno dvojico sil, ki so delovale v žariščnem prostoru in povzročile premik. Kot rezultat tega je sevanje vzdolžnega potresnega valovanja prostorsko razdeljeno v štiri kvadrante, od katerih je v dveh nasproti ležečih si prvi premik kompresija in v drugih dveh nasproti si ležečih dilatacija. Če je število podatkov zadostno, lahko opredelimo dve med seboj pravokotni ploskvi, ki ločita področja z različno smerjo prvega premika. Ena od teh dveh ploskev je prelomna ploskev, druga pa pravokotna na smer premika ob prelomu. Tej opredelitvi rečemo rešitev prelomne ploskve (fault plane solution po angleško). Zaradi neusmerjenosti točkovnega izvora, ni mogoče vedeti katera od dveh možnosti predstavlja prelom na katerem je nastal potres. Kljub temu na ta način zanesljivo dobimo vrsto preloma (zmični, reverzni, normalni ali mešani) in območje možnih usmerjenost glavnih osi napetosti.



Slika 2. Lokacije močnejših potresov na ozemlju Slovenije v letu 2005 in njihovi žariščni mehanizmi.
Figure 2. Locations of the selected earthquakes and their fault plane solutions. Red quadrants are compressional.

Rešitev lahko dobimo grafično s pomočjo tako imenovane žariščne krogle. Zaradi simetričnosti sevalne funkcije longitudinalnega valovanja v prevzetem modelu procesa v žarišču potresa se lahko omejimo le na eno poloblo. V stereografski projekciji (ponavadi Schmidtovi projekciji enakih površin) vrišemo točko, v kateri je potresno valovanje zapustilo žarišče na poti k posamezni opazovalnici. Azimut, to je kot med smerjo žarka in smerjo severa lahko izračunamo iz poznavanja koordinat nadžarišča potresa in opazovalnice. Za kot naklona je potrebno poznati globino žarišča in natančno hitrostno strukturo na poti od žarišča do opazovalnice.

Dilatacije in kompresije izrišemo z različnimi simboli. Potem se določi dve medsebojno pravokotni ploskvi, ki ločita področja dilatacij in kompresij. Redkokdaj se zgodi da so področja idealno ločena. Razlogi za to so lahko v nenatančnosti lokacije nadžarišča, žariščne globine ali nezadostnem poznavanju hitrostne strukture med žariščem in opazovalnico. Praviloma uporabljamo lateralno izotropen enodimenzionalen hitrostni model, čeprav se v naravi hitrosti spreminjajo tudi v vodoravni smeri in ni nujno, da žarek potuje po najkrajši poti, ker je ta lahko različna od najhitrejša poti. Prav tako ni nujno povsem pravilna predpostavka, da je proces v žarišču potresa bil čisti zmik. Nenazadnje obstaja tudi možnost, da je instrument na potresni opazovalnici postavljen z napačno polariteto. Zaradi tega je precej tvegana uporaba podatkov objavljenih v biltenih, ker jih ni mogoče preveriti. Za zanesljivo rešitev je nujno, da so na voljo celotni seizmogrami. Vse zapise potresov smo še

enkrat skrbo pregledali in odčitali smeri prvih premikov P valovanja. K podatkom državne mreže potresnih opazovalnic Republike Slovenije smo dodali še dostopne podatke iz sosednjih držav, ki smo jih ravno tako odčitali sami.

Za izračun smo si pomagali s programom Focmec (Snook in sod., 1984), ki poda množico položajev vrzelnih ravnin, ki ustrezajo odčitanim prvim premikom. Kot končno rešitev smo se odločili za tisto, ki je imela najbolj vodoravno položeno os največje napetosti.

Iz prejšnjih raziskav je bilo namreč ugotovljeno da je os največje napetosti v področju Slovenije usmerjena približno horizontalno (Poljak in sod., 2000). Nekoliko bolj nagnjena je le v skrajnem vzhodnem delu.

Rezultati so zbrani v preglednici 1 in na slikah 1 in 2. Pri izbiri parametrov, s katerimi naj bi opisali žariščni mehanizem, smo sledili tako imenovani Akijevi konvenciji: slemenitev merimo od severa v smeri urnega kazalca in sicer tako, da je prelomna ploskev nagnjena proti desni, naklon prelomne ploskve merimo od vodoravne ravnine navzdol in smer premika v prelomni ploskvi od smeri slemenitve v smeri nasprotni urnemu kazalcu. (Aki in Richards, 2002).

Na sliki 1 so podane rešitve prelomne ploskve za sedem močnejših potresov v letu 2005. Podana je projekcija na spodnjo poloblo. Posamezne opazovalnice so predstavljene s simboli glede na smer prvega premika ob prihodu vzdolžnega valovanja. Kompresijski kvadranti so označeni z rdečo barvo. Označeni sta tudi smeri največje (P) in najmanjše (T) napetosti kot sta določeni iz rešitve prelomne ploskve.

Pri švicarski seizmološki službi (SED) na Eidgenössische Technische Hochschule v Zürichu v Švici rutinsko določajo tenzor seizmičnega momenta (Bernardi in sod., 2004) za močnejše potrese magnitude $M_w \geq 4,5$ na območju Evrope in Sredozemlja in magnitude $M_w \geq 3,5$ v območju Alp. V letu 2005 so ga določili tudi za tri potrese, katerih nadžarišča so bila na ozemlju Slovenije. Za primerjavo z našimi rezultati v preglednici 2 podajamo rešitev prelomih ploskev iz tenzorja seizmičnega momenta izračunanega v SED (SED, 2007)

Sklepi

Poznavanje procesa v žarišču potresa poda direktno informacijo o načinu in smeri deformacij v zemeljski skorji v žariščnem območju. Večina potresov nastane zaradi nenadnega strižnega zmika ob prelomu v zemeljski skorji. Povezava potresa s posameznim prelomom je nedvomen dokaz, da je ta prelom aktiven in to ima lahko velike posledice za izračun potresne nevarnosti določenega območja. Natančnost lokacij žarišča le redko zadošča, da bi lahko potres nedvomno pripisali nekemu prelomu. Opredelitev prelomne ploskve nam pomaga, ker v žariščnem območju lahko upoštevamo samo prelome določenega značaja in usmerjenosti. V vseh sedmih potresih v letu 2005 z žarišči v Sloveniji, za katere smo opredelili rešitev prelomne ploskve, je premik bil približno vodoraven ob skoraj vertikalnem prelomu. Le potres v Krnskem pogorju kaže na nekoliko večjo komponento narivanja.

Iz preglednice 1 je razvidno, da je bil najšibkejši potres, za katerega smo še lahko zbrali zadostno število zapisov, magnitude $M_{LV}=2,5$. To je bilo mogoče le zaradi nove mreže potresnih opazovalnic, ki je postopoma začela delovati med letoma 2002 in 2007.

Zahvala

Zapise potresov na opazovalnicah v Avstriji in v pokrajini Furlanija-Juljska krajina v Italiji smo pridobili v okviru Mednarodnega sporazuma o izmenjavi seizmoloških podatkov v »realnem času« na področju Alpe-Jadran.

Slike smo izdelali s programom GMT (Wessel in Smith, 1991, 1998).

Literatura

- Aki, K. in Richards, P. G., 2002. Quantitative Seismology, University Sausalito Books, Sausalito CA, 700 pp
- Bernardi F., Braunmiller J., Kradolfer U. in Giardini D., 2004. Automatic regional moment tensor inversion in the European-Mediterranean region, *Geophys. J. Int.*, 157, 703-716
- Cecić, I., Čarman, M., Jesenko, T., Ložar Stopar, M. in Živčič, M., 2007, Potresi v Sloveniji leta 2005. V: Vidirh, R. Ed., Potresi v letu 2005, ARSO, ta številka
- 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., Živčič, M. in Suhadolc, P. (1997), Simultaneous inversion for velocity structure and hypocenters in Slovenia, *Journal of Seismology*, 2(3), 257-265.
- Poljak M., Živčič M., Zupančič P., 2000. The Seismotectonic Characteristics of Slovenia, *Pure appl. Geophys.*, vol. 157, 37-55
- SED, 2007, http://www.seismo.ethz.ch/mt/armt/full_armt.html
- Snoke, J.A., Munsey, J.W., Teague, A.G. in Bollinger, G.A., 1984. A Program for Focal Mechanism Determination by the Combined Use of Polarity and SV-P Amplitude Ratio Data, *Earthquake Notes*, 55, No. 3, p. 15.
- Wessel, P. in Smith, W.H.F., 1991. Free software helps map and display data, *Eos, Trans. Amer. Un.*, Vol. 72(441), pp. 445-446.
- Wessel, P. in Smith, W.H.F., 1998. New, improved version of the Generic Mapping Tools released, *EOS Trans. AGU*, Vol. 79, p. 579
- Živčič, M., Bondár, I. in Panza, G.F., 2000. Upper Crustal Velocity Structure in Slovenia from Rayleigh Wave Dispersion. *Pure Appl. Geophys.*, Vol. 157, 131-146.

STABILNOST PRENOSNE FUNKCIJE SEIZMOMETROV GÜRALP CMG 40T

GÜRALP CMG 40T TRANSFER FUNCTION STABILITY

Tasič Izidor, Igor Pfundner, Marko Mali, Matjaž Gostinčar, Luka Pančur

Povzetek. *Potresne opazovalnice državne mreže potresnih opazovalnic so opremljene z zajemalnimi enotami Quanterra Q730 in predvsem s seizmometri Güralp CMG 40T. Proizvajalec teh seizmometrov načeloma zagotavlja stabilnost prenosne funkcije seizmometra skozi daljše obdobje (tudi nad 10 let). Kljub temu pa kvaliteto stabilnosti periodično preverjamo. Značilna parametra širokopasovnega seizmometra sta lastna frekvenca in kritično dušenje. Za kontrolo stabilnosti delovanja je dovolj, da ovrednotimo ta dva parametra. Razvili smo algoritem, ki analizira odziv na vgrajen kalibracijski signal v zajemalno enoto Q730 in oceni ti dve značilni vrednosti. Ves postopek je avtomatiziran. V letu 2004 in 2005 smo analizirali 22 seizmometrov. Glede na naše teste se nekateri rezultati razlikujejo od tovarniško podanih za 5%, vedndar so stabilni skozi opazovano obdobje. Največja sprememba je 0,7% in povprečna 0,4%.*

Abstract. *Seismic stations of the Seismic Network of Slovenia are equipped with a Quanterra Q730 data loggers and mostly with broadband seismometers Güralp CMG 40T. While the producer of the seismometers guarantees long term stability of the seismometers transfer function properties, still there is a question, if it is really so. For this reason, verification of seismometer's transfer function properties need to be periodically performed. Characteristic parameters of seismometers are damping and natural period which are usually given by the producer. For controlling the quality of the seismometer's transfer function, it is enough to evaluate these two parameters. Periodically control of damping and natural period in the longer time period estimates stability of seismometer's transfer function. We have developed our own software for seismometer calibration. This task is done telemetrically using step calibration signal built in Quanterra 730. 22 seismometers are tested periodically from the beginning of the year 2004. According to our tests, the results for some sensors differ from the factory specification almost 5 %, but during two years period, damping and natural period have been stable, the maximum change was less than 0.7 % and the average was less than 0.4 %.*

Uvod

Potresne opazovalnice državne mreže so opremljene z zajemalnimi enotami Quanterra Q730 in širokopasovnimi seizmometri, večinoma CMG 40T (Tasič, 2005). Značilna parametra širokopasovnega seizmometra sta lastna frekvenca in kritično dušenje in sta ponavadi podana v spremni dokumentaciji seizmometra. Za kontrolo stabilnosti delovanja je dovolj, da spremljamo vrednosti teh dveh. Izmerimo lahko tudi kompleksni del prenosne funkcije, zaradi premajhne vzorčne frekvence pa ostalih parametrov prenosne funkcije ne moremo neposredno oceniti. Kontrolo stabilnosti prenosne funkcije široko pasovnih seizmometrov opravljamo s pomočjo vgrajenega kalibracijskega modula v zajemalni enoti Q730. Vgrajeni so sledeči kalibracijski signali: sinus s frekvenco 1 Hz, sinus s frekvenco 0.05 Hz in stopnica. Kontrolo seizmometra s kalibracijskim signalom opravljamo 1x letno. Takšno gostoto zagovarja tudi proizvajalec senzorjev, podjetje Güralp iz Velike Britanije (osebna komunikacija - Nathan Pearce, Güralp): *The CMG-40T sensors are feedback sensors. The response and calibration of the sensors is defined by the feedback components in the sensors feedback path. Therefore the calibration of the instruments (unlike open loop sensors or geophones) does not really change. We have customers who return instruments that have been operating in the field for periods of*

around 10 years, where the instruments calibrations have not significantly changed. The period chosen for checking of the sensors calibration should be carried out as to give the customer confidence in the sensors calibration values, for example checking of these values once a year would be more than sufficient.

Po potrebi smo kontrolo senzorjev opravili tudi večkrat (primer: kontrolni kalibracijski signal v obdobju prvega meseca po instalaciji na stalno lokacijo).

Postopek

Celoten postopek izvajanja kalibracijskih signalov in analize odzivov je popolnoma avtomatiziran in je že opisan (Tasič in sod., 2005), ročno se vnesejo le osnovni parametri potresne opazovalnice (oznaka opazovalnice, datum, serijska številka seizmometra in serijska številka zajemalne enote). S kalibracijskimi pulzi (sinus 1 Hz, sinus 0,05 Hz in stopnico) kontroliramo seizmološki seizmometer Güralp CMG40T. Pri tem si pomagamo s programsko lupino »CalQ730.exe" (Tasič, 2005). Dokumentacija, dnevnik in rezultati kontrole se nahajajo v mapi z oznako "Kalibracija Q730". Mapa se nahaja na mizi poleg računalnika, s katerim upravljamo kontrolo seizmološkega sistema v VI nadstropju (soba 5). Izhod iz programske lupine CalQ730 je ocena posameznih vrednosti, ki jih dobimo iz kalibracijskih signalov (Tasič 2005a). Vrednosti se nahajajo izpisane na papir in v datotekah s predpono oznake opazovalnice in s končnico txt. Datoteke so v imeniku 'C:\izycal\calq730\user'.

Glede na to, da so vrednosti parametrov senzorjev znane na 2 % natančno, (osebna komunikacija -Nathan Pearce, Güralp; *The error in calibration is calculated to be less than 2 % average and typically better than 1 %*), se pri kontroli sistemov zadovoljimo z mersko napako do 5 % od teoretičnih vrednosti, saj taka napaka ne bo očitno vplivala na vrednosti parametrov potresa. Testiranje senzorja je uspešno, če se dobljene vrednosti za vsak posamezni kanal nahajajo znotraj naslednjih območij (preglednica 1):

testni signal	vsiljeno nihanje 1 Hz	vsiljeno nihanje 0.05 Hz	stopnica lastno nihanje	stopnica dušenje
dovoljeno odstopanje	[1.05 ~ 0.95] Hz	[0.053 ~0.047] Hz	[31.5 ~28.5] s	[0.7424~0.6717]

Preglednica 1. Dovoljena odstopanja pri meritvah.

Table 1. Allowed deviation at measurements.

Rezultati

V preglednicah smo pokazali vrednosti za tiste seizmometre, kjer smo meritev opravili vsaj dvakrat. V preglednici 2 smo podali rezultate za lastno periodo T_0 in kritično dušenje β .

Opaz. s/n seiz.		lastna perioda T_0				kritično dušenje		
		E-W	N-S	Z		E-W	N-S	Z
BOJS	\bar{T}_0 [s]	30.6	30.7	30.4	$\bar{\beta}$	0.6929	0.6968	0.6982
T4B23	$T_{0_{\max}} - T_{0_{\min}}$ [s]	0.2	0.2	0.2	$\beta_{\max} - \beta_{\min}$	0.002	0.002	0.003
	$(T_{0_{\max}} / \bar{T}_0) * 100$	0.37%	0.41%	0.45%	$(\beta _{\max} / \bar{\beta}) * 100$	0.13%	0.15%	0.26%
CADS	\bar{T}_0 [s]	30.3	31.2	31.1	$\bar{\beta}$	0.6873	0.709	0.7127
T4B21	$T_{0_{\max}} - T_{0_{\min}}$ [s]	0.1	0.2	0.1	$\beta_{\max} - \beta_{\min}$	0	0.001	0.002
	$(T_{0_{\max}} / \bar{T}_0) * 100$	0.17%	0.32%	0.2%	$(\beta _{\max} / \bar{\beta}) * 100$	0.05%	0.08%	0.18%
CEY	\bar{T}_0 [s]	30.4	30.4	30.5	$\bar{\beta}$	0.69	0.6865	0.7015
T4B12	$T_{0_{\max}} - T_{0_{\min}}$ [s]	0.1	0.1	0.2	$\beta_{\max} - \beta_{\min}$	0.002	0.002	0.004
	$(T_{0_{\max}} / \bar{T}_0) * 100$	0.26%	0.20%	0.36%	$(\beta _{\max} / \bar{\beta}) * 100$	0.22%	0.2%	0.31%
CRES	\bar{T}_0 [s]	30.3	31.2	30.6	$\bar{\beta}$	0.6869	0.7073	0.6999
T4B08	$T_{0_{\max}} - T_{0_{\min}}$ [s]	0	0.1	0.1	$\beta_{\max} - \beta_{\min}$	0	0.001	0.002
	$(T_{0_{\max}} / \bar{T}_0) * 100$	0%	0.24%	0.29%	$(\beta _{\max} / \bar{\beta}) * 100$	0.03%	0.04%	0.18%
DOBS	\bar{T}_0 [s]	31.2	30.8	30.8	$\bar{\beta}$	0.7072	0.6974	0.7036
T4B06	$T_{0_{\max}} - T_{0_{\min}}$ [s]	0.1	0.1	0.2	$\beta_{\max} - \beta_{\min}$	0	0	0.003
	$(T_{0_{\max}} / \bar{T}_0) * 100$	0.28%	0.24%	0.37%	$(\beta _{\max} / \bar{\beta}) * 100$	0.03%	0.03%	0.2%
GCIS	\bar{T}_0 [s]	30.9	30.6	30.3	$\bar{\beta}$	0.6993	0.696	0.6961
T4B22	$T_{0_{\max}} - T_{0_{\min}}$ [s]	0.2	0.2	0.2	$\beta_{\max} - \beta_{\min}$	0.001	0.001	0.003
	$(T_{0_{\max}} / \bar{T}_0) * 100$	0.36%	0.33%	0.41%	$(\beta _{\max} / \bar{\beta}) * 100$	0.06%	0.07%	0.21%
GOLS	\bar{T}_0 [s]	30.6	30.7	30.5	$\bar{\beta}$	0.6989	0.7039	0.7017
T4B26	$T_{0_{\max}} - T_{0_{\min}}$ [s]	0.1	0	0.1	$\beta_{\max} - \beta_{\min}$	0.001	0.001	0.001
	$(T_{0_{\max}} / \bar{T}_0) * 100$	0.16%	0%	0.16%	$(\beta _{\max} / \bar{\beta}) * 100$	0.04%	0.05%	0.05%
GORS	\bar{T}_0 [s]	30.7	30.5	30.5	$\bar{\beta}$	0.6973	0.6875	0.6985
T4B19	$T_{0_{\max}} - T_{0_{\min}}$ [s]	0.1	0	0.1	$\beta_{\max} - \beta_{\min}$	0.001	0.001	0.002
	$(T_{0_{\max}} / \bar{T}_0) * 100$	0.2%	0%	0.25%	$(\beta _{\max} / \bar{\beta}) * 100$	0.05%	0.06%	0.18%
GROS	\bar{T}_0 [s]	30.8	30.7	31.2	$\bar{\beta}$	0.7008	0.6982	0.7089
T4B14	$T_{0_{\max}} - T_{0_{\min}}$ [s]	0	0	0.1	$\beta_{\max} - \beta_{\min}$	0.001	0.001	0.004
	$(T_{0_{\max}} / \bar{T}_0) * 100$	0%	0%	0.2%	$(\beta _{\max} / \bar{\beta}) * 100$	0.06%	0.04%	0.27%
JAVS	\bar{T}_0 [s]	31.1	31.2	30.4	$\bar{\beta}$	0.7076	0.7063	0.6946
T4B13	$T_{0_{\max}} - T_{0_{\min}}$ [s]	0	0.1	0.1	$\beta_{\max} - \beta_{\min}$	0.002	0.003	0.005
	$(T_{0_{\max}} / \bar{T}_0) * 100$	0%	0.21%	0.31%	$(\beta _{\max} / \bar{\beta}) * 100$	0.19%	0.22%	0.36%

Opaz.	s/n seiz.	lastna perioda T_0				kritično dušenje		
		E-W	N-S	Z		E-W	N-S	Z
KNDS	\bar{T}_0 [s]	30.3	30.4	30.8	$\bar{\beta}$	0.6921	0.6957	0.7086
T4B18	$T_{0_{\max}} - T_{0_{\min}}$ [s]	0.1	0.2	0.2	$\beta_{\max} - \beta_{\min}$	0.001	0	0.003
	$(T_{0_{\max}} / \bar{T}_0) * 100$	0.17%	0.41%	0.37%	$(\beta_{\max} / \bar{\beta}) * 100$	0.07%	0.03%	0.25%
KOGS	\bar{T}_0 [s]	31	30.6	30.5	$\bar{\beta}$	0.7038	0.6987	0.7006
T4B15	$T_{0_{\max}} - T_{0_{\min}}$ [s]	0.1	0.2	0.2	$\beta_{\max} - \beta_{\min}$	0.001	0.001	0.003
	$(T_{0_{\max}} / \bar{T}_0) * 100$	0.16%	0.41%	0.45%	$(\beta_{\max} / \bar{\beta}) * 100$	0.07%	0.05%	0.23%
LEGS	\bar{T}_0 [s]	30.9	30.6	30.4	$\bar{\beta}$	0.7076	0.7031	0.703
T4B29	$T_{0_{\max}} - T_{0_{\min}}$ [s]	0.1	0.1	0.1	$\beta_{\max} - \beta_{\min}$	0	0.001	0.001
	$(T_{0_{\max}} / \bar{T}_0) * 100$	0.26%	0.2%	0.2%	$(\beta_{\max} / \bar{\beta}) * 100$	0.04%	0.05%	0.04%
LISS	\bar{T}_0 [s]	30.2	30	30.3	$\bar{\beta}$	0.6896	0.6849	0.6974
T4B05	$T_{0_{\max}} - T_{0_{\min}}$ [s]	0.1	0	0.1	$\beta_{\max} - \beta_{\min}$	0.001	0.001	0.007
	$(T_{0_{\max}} / \bar{T}_0) * 100$	0.29%	0%	0.25%	$(\beta_{\max} / \bar{\beta}) * 100$	0.06%	0.05%	0.59%
LJU	\bar{T}_0 [s]	30.3	30.5	30.3	$\bar{\beta}$	0.6886	0.6958	0.7014
T4B16	$T_{0_{\max}} - T_{0_{\min}}$ [s]	0	0.1	0.1	$\beta_{\max} - \beta_{\min}$	0.004	0.002	0.024
	$(T_{0_{\max}} / \bar{T}_0) * 100$	0%	0.25%	0.29%	$(\beta_{\max} / \bar{\beta}) * 100$	0.36%	0.24%	2.56%
MOZS	\bar{T}_0 [s]	30.8	30.6	30.6	$\bar{\beta}$	0.7	0.6946	0.6972
T4B20	$T_{0_{\max}} - T_{0_{\min}}$ [s]	0	0	0	$\beta_{\max} - \beta_{\min}$	0.001	0	0.002
	$(T_{0_{\max}} / \bar{T}_0) * 100$	0%	0%	0%	$(\beta_{\max} / \bar{\beta}) * 100$	0.05%	0.04%	0.14%
PDKS	\bar{T}_0 [s]	30.5	30.3	30.1	$\bar{\beta}$	0.6979	0.6997	0.6979
T4B28	$T_{0_{\max}} - T_{0_{\min}}$ [s]	0.1	0.1	0.1	$\beta_{\max} - \beta_{\min}$	0.001	0	0.001
	$(T_{0_{\max}} / \bar{T}_0) * 100$	0.27%	0.29%	0.27%	$(\beta_{\max} / \bar{\beta}) * 100$	0.04%	0.04%	0.07%
PERS	\bar{T}_0 [s]	31.3	30.5	30.8	$\bar{\beta}$	0.7023	0.6832	0.6939
T41056	$T_{0_{\max}} - T_{0_{\min}}$ [s]	0.1	0.2	0.1	$\beta_{\max} - \beta_{\min}$	0.001	0.001	0.005
	$(T_{0_{\max}} / \bar{T}_0) * 100$	0.22%	0.33%	0.2%	$(\beta_{\max} / \bar{\beta}) * 100$	0.11%	0.09%	0.4%
ROBS	\bar{T}_0 [s]	30.6	30.8	31	$\bar{\beta}$	0.6946	0.695	0.7009
T4B09	$T_{0_{\max}} - T_{0_{\min}}$ [s]	0.1	0.2	0.1	$\beta_{\max} - \beta_{\min}$	0.002	0.001	0.002
	$(T_{0_{\max}} / \bar{T}_0) * 100$	0.2%	0.36%	0.19%	$(\beta_{\max} / \bar{\beta}) * 100$	0.14%	0.09%	0.19%
VISS	\bar{T}_0 [s]	30.9	31	30.3	$\bar{\beta}$	0.7065	0.7024	0.7015
T4B11	$T_{0_{\max}} - T_{0_{\min}}$ [s]	0.1	0	0.1	$\beta_{\max} - \beta_{\min}$	0.001	0.001	0.002
	$(T_{0_{\max}} / \bar{T}_0) * 100$	0.28%	0%	0.21%	$(\beta_{\max} / \bar{\beta}) * 100$	0.07%	0.08%	0.2%

Opaz.	s/n seiz.	lastna perioda T_0				kritično dušenje		
		E-W	N-S	Z		E-W	N-S	Z
VOJS	\bar{T}_0 [s]	31.6	30.4	30.2	$\bar{\beta}$	0.7134	0.686	0.6929
T4B24	$T_{0_{\max}} - T_{0_{\min}}$ [s]	0.1	0.1	0.1	$\beta_{\max} - \beta_{\min}$	0.002	0.002	0.003
	$(T_{0_{\max}} / \bar{T}_0) * 100$	0.16%	0.25%	0.21%	$(\beta_{\max} / \bar{\beta}) * 100$	0.14%	0.13%	0.21%
ZAVS	\bar{T}_0 [s]	30.6	31.3	30.5	$\bar{\beta}$	0.7023	0.7151	0.7002
T4B27	$T_{0_{\max}} - T_{0_{\min}}$ [s]	0	0.1	0	$\beta_{\max} - \beta_{\min}$	0.001	0.001	0.001
	$(T_{0_{\max}} / \bar{T}_0) * 100$	0%	0.16%	0%	$(\beta_{\max} / \bar{\beta}) * 100$	0.04%	0.04%	0.06%

Preglednica 2: Rezultati za lastno periodo T_0 in kritično dušenje β .

Table 2. Results for eigenperiod T_0 and dumping factor β .

Ocena rezultatov in zaključek

Tovarniške specifikacije se od izmerjenih razlikujejo tudi do 5 %, primer je E-W komponenta seizmometra na lokaciji VOJS, vendar so vrednosti stabilne in se bistveno ne spreminjajo.

Na natančnost meritev vplivajo seizmični nemir in neizdelana stopnica vhodnega kalibracijskega signala (Tasič 2005). Njihov vpliv na meritve lahko ocenimo do 0.3% relativne napake. V obdobju od 2004 do 2005 sta parametra: lastna frekvenca T_0 in kritično dušenje β na vseh sistemih stabilna znotraj merilne napake. Povprečna sprememba je manjša kot 0,2 % in največja manj kot 0,5 %. Največje odstopanje so zabeležene na seizmometrih, ki sta na opazovalnicah KOGS in BOJS, vendar so spremembe še vedno manjše kot 0,5 % in kot take zanemarljive.

Zaključimo lahko, da je prenosna funkcija seizmometrov stabilna v opazovanem časovnem obdobju.

Literatura

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

Wielandt E., 2000, Seismic Sensor and their Calibration, Institute of Geophysics, University of Stuttgart, Richard-Wagner-Strasse 44, D - 70184 Stuttgart; ew@geophys.uni-stuttgart.de

CMG – 40T Broad Band Seismometer operator's guide

Tasič, I., Sinčič, P., Gostinčar, M., Pfundner, I., 2005, Kalibracija senzorjev v državni mreži potresnih opazovalnic, Potresi v letu 2003, Agencija Republike Slovenije za okolje, 49-54, Ljubljana.

VPLIV SPREMENJENIH PARAMETROV PRENOSNE FUNKCIJE SEIZMOMETRA INFLUENCE OF SEISMOMETER TRANSFER FUNCTION VARIATIONS

Izidor Tasič

***Povzetek.** Državna mreža potresnih opazovalnic je opremljena s širokopasovnimi seizmometri Guralp CMG 40T. Proizvajalec je za te seizmometre podal enotne parametre prenosne funkcije. Z analizo nekaterih značilnik seizmometra lahko ocenjujemo, da parametri v prenosni funkciji odstopajo do 5%. V tem sestavku bomo analizirali, kaj so vplivi te spremembe.*

***Abstract.** Seismic stations of the Seismic Network of Slovenia are equipped with a broadband Guralp CMG 40T seismometers. For all seismometers, uniform parameters of transfer function were given by producer. After analyzing some characteristics of seismometers, the error of 5% is expected. The influences of the error will be analysed.*

Uvod

Seizmometer je naprava, ki meri nihanje tal. V seizmologiji so najpogostejši seizmometri inercialnega tipa, kjer merimo relativni premik podlage glede na referenčno točko, ki se nahaja v seizmometru (Bormann in Bergmann, 2002). Referenčno točko predstavlja utež, ki je dinamično vpeta v ohišje. Sodobni seizmometer pretvarja relativni premik tal v električni signal. Pretvorbe premika tal v električni signal ne moremo opisati le z enostavno linearno zvezo, poznati moramo dinamične lastnosti senzorja, ki so podane z jezikom Laplaceove transformacije (Wielandt, 2000). Pri pasivnih seizmometrih pretvorimo v električni signal odmik uteži iz ravnovesne lege. Takšni seizmometri so enostavnejši za izdelavo, vendar delujejo na zelo omejenem frekvenčnem pasu. Ravno tako se lahko s časom njihova dinamična karakteristika zaradi staranja občutno spremeni. Zato so bolj uporabni aktivni seizmometri, to so senzorji s povratno zanko. Le-ti delujejo na principu ravnovesja sil, premik uteži je kompenziran s povratno električno ustvarjeno silo. Na ta način ostaja utež v ravnovesni legi, merimo pa tok, ki je potreben za ustvarjanje ravnovesja. Takšni senzorji v primerjavi s pasivnimi senzorji delujejo na širšem frekvenčnem območju z boljšimi in bolj stabilnimi dinamičnimi karakteristikami.

Slovenska "Državna mreža potresnih opazovalnic" je opremljena s širokopasovnimi seizmometri, ki merijo hitrost nihanja podlage. Leta 2004 in 2005 so bili to samo seizmometri CMG-40T proizvajalca Guralp iz Velike Britanije kasneje pa smo nekatere nadomestili z STS2 in CMG 3ESPC. Seizmometer CMG-40T proizvajalca Guralp je širokopasovni seizmometer, z definiranim frekvenčnim odzivom na območju od 0,0333 Hz (30 sekund) do 50 Hz. Poli in ničle za seizmometer CMG-40T so podani v preglednici 1. Proizvajalec je za vse seizmometre istega tipa podal iste pole in ničle. Določil jih je neposredno s pomočjo HP spekter analizatorja, tako da je dobljene podatke zadovoljivo opisal s prenosno funkcijo, ki je imela čim nižji red. Pri tem ne najdemo podatka, kdaj je bil ta test narejen. Proizvajalec tudi trdi, da lahko seizmometer na dolgovalovnem področju obravnavamo kot sistem drugega reda z

lastno frekvenco 0,0333 Hz in kritičnim dušenjem 0,707. Od leta 2004 ta parametra preverjamo in ugotovili smo, da lahko te vrednosti odstopajo tudi 5% od predpostavljenih vrednosti, vendar so stabilne skozi opazovano obdobje. V sestavku bomo analizirali, koliko 5% odstopanje vrednosti parametrov v prenosni funkciji, opisani v preglednici 1, vpliva na določevanje osnovnih parametrov potresa pri obdelavi zapisa potresa.

POLI (HZ)	NIČLE HZ
$a(-1 + i)$	0
$a(-1 + i)$	0
$-b$	C
$a=23.56 \times 10^{-3}$; $b=50$; $c=159$	

Preglednica 1. Poli in ničle seizmometra CMG 40T.

Table 1: The transfer function of seismometer CMG 40T.

Analiza

Pri analizi bomo predpostavili, da se vrednost posameznega parametra prenosne funkcije spremeni za 5%. V preglednici 2 so parametri za štiri različne prenosne funkcije.

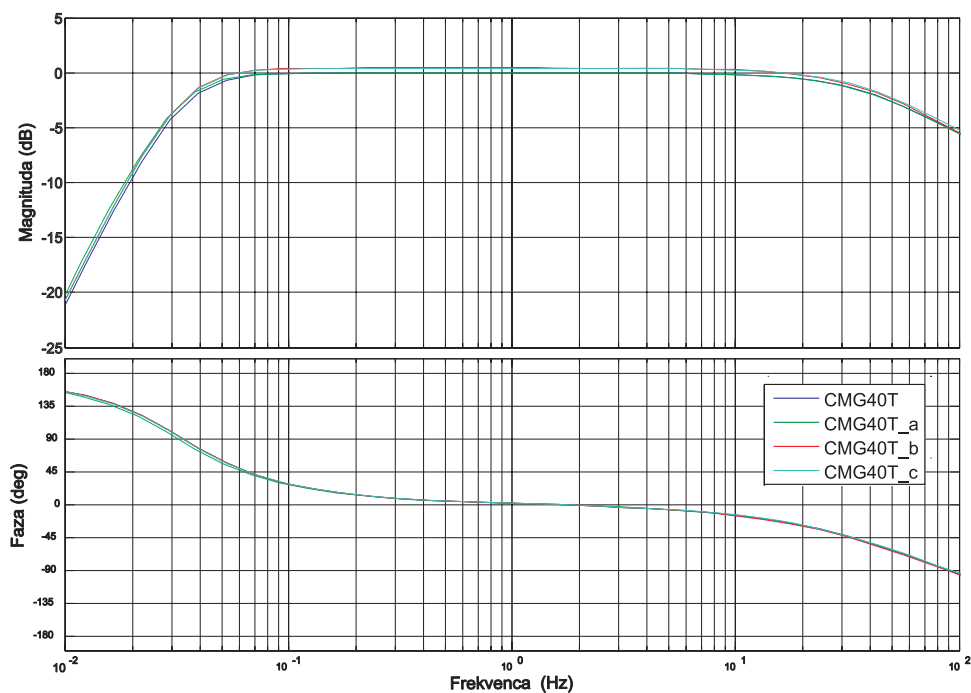
Oznaka za prenosno funkcijo	a	b	c
sysCMG40T	23.56×10^{-3}	50	159
sysCMG40T_a	22.38×10^{-3}	50	159
sysCMG40T_b	23.56×10^{-3}	47.5	159
sysCMG40T_c	23.56×10^{-3}	50	167

Preglednica 2 . Parametri za štiri prenosne funkcije.

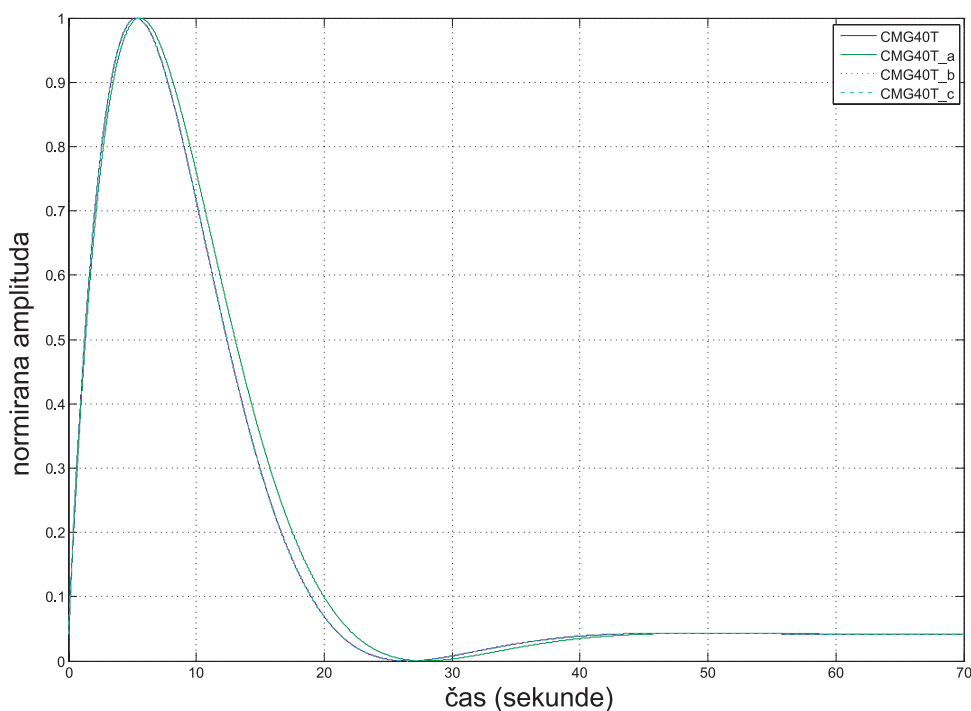
Table 2. Parameters for four transfer functions.

Na sliki (slika 1) je BODE diagram za štiri različne sisteme, opisane v preglednici 2. Z modro barvo je označen diagram originalne prenosne funkcije, zelena barva velja za spremenjen parameter a , rdeča velja za spremenjen parameter b in svetlo zelena za spremenjen parameter c . Iz grafa je razvidno, da na spremembo faze najbolj vpliva parameter a , in to pri nizkih frekvencah, ostala parametra vplivata predvsem na spremembo magnitude. To je še bolj izrazito pri odzivu sistemov na enotino strmino. Če narišemo normirane vrednosti opazimo, da je položaj ekstremov različen samo pri sistemu 'sysCMG40T_a', kjer je spremenjen parameter a . Razlika med maksimumi je 0.28 sekunde.

Spremenjena vrednost parametra ' a ' lahko vpliva na natančnost določitve posamezne 'faze' potresnega valovanja. V Sloveniji vzorčimo signal iz seizmometra za potrebe analize lokalnega potresa z 200 vzorci na sekundo in za potrebe analize teleseizmov z 20 vzorci. V prvem primeru je napaka, ko se parameter ' a ' spremeni za 5% zanemarljiva, če je manjša kot 0.005 sekunde. Iz slike 3 odčitamo, da se to zgodi pri zapisih s frekvenco pod 0.29 Hz (oziroma periodah nad 3,5 sekunde).



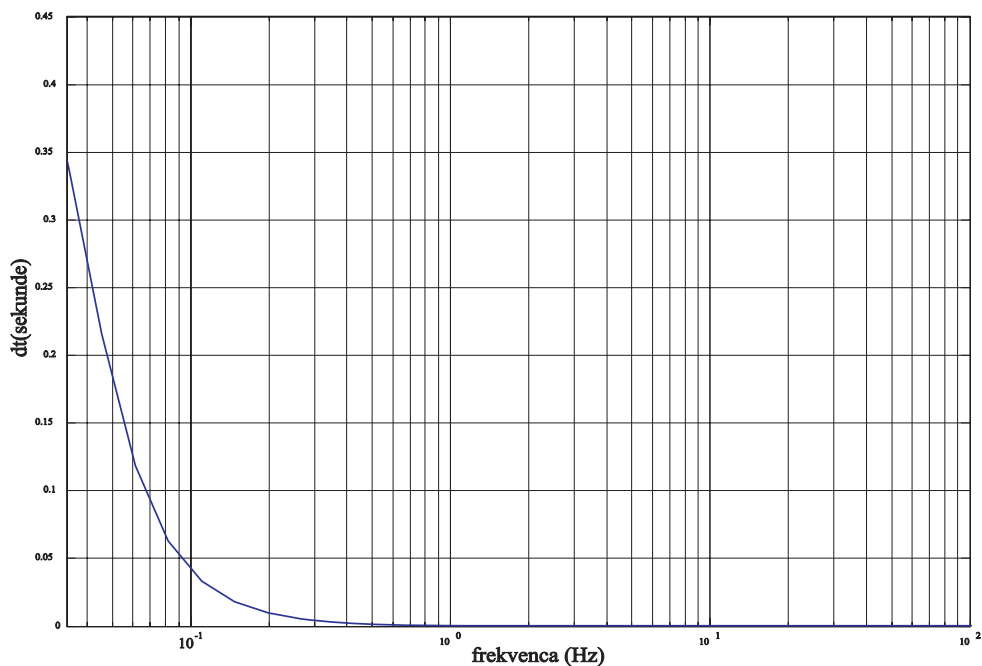
Slika 1. bode diagram.
Figure 1. Bode plot.



Slika 2. Normirani odziv sistema na enotno strmino.
Figure 2. Unified slope response.

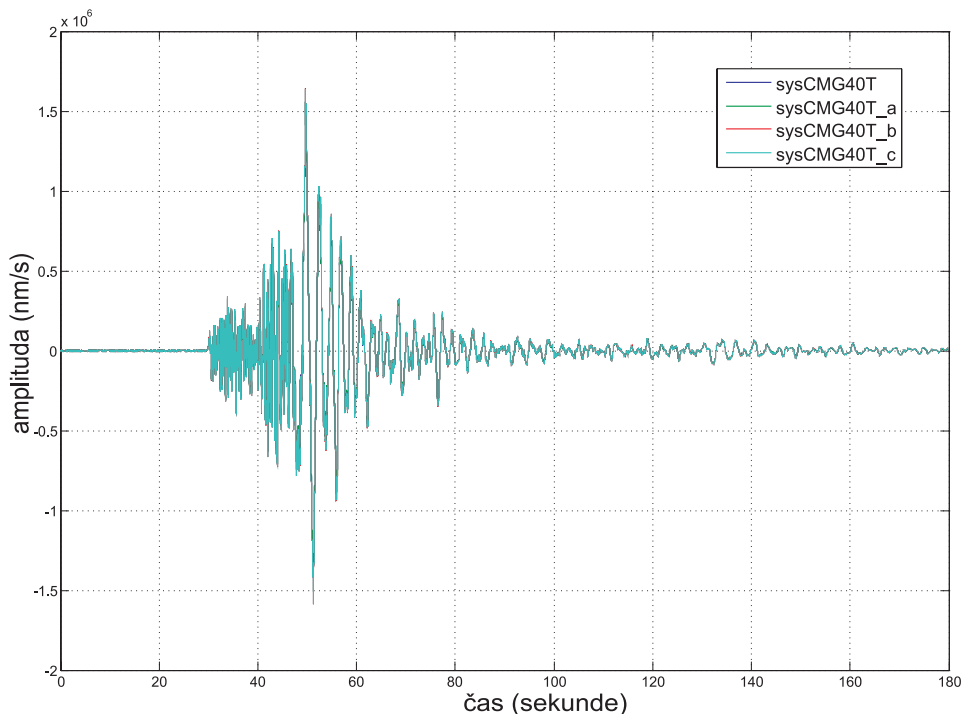
Če upoštevamo vzorčenje signala za teleseizme, je lahko napaka manjša kot 0,05 sekunde, kar je šele pri frekvencah pod 0,094Hz (oziroma periodah nad 10,7 sekunde). V resnici je natančnost odčitavanja strokovnjakov slabša (Tasič, 2001), tako da lahko tudi pri lokalnih potresih za mejo vzamemo 0,05 sekunde. Če predpostavimo, da je hitrost 'P' potresnih valov na slovenskem ozemlju med 5,2 in 6,2 km/s, predstavlja ta napaka nedoločenost lokacije

žarišča potresa v velikostnem redu 0,3 km. Napaka ne vpliva bistveno na izračun osnovnih parametrov lokalnega potresa, lahko pa igra majhno vlogo pri zelo natančni določitvi žariščnega mehanizma.



Slika 3. Napaka v določitvi časa glede na frekvenco valovanja.

Figure 3. Time error regards to the waveform frequency.



Slika 4. Zapis lokalnega potresa z različnimi parametri prenosne funkcije.

Figure 4. The local earthquake records after processing.

Zaradi spremenjenih parametrov prenosne funkcije se spremeni tudi vrednost amplitude signala, kar neposredno vpliva na določitev magnitude. Pri testiranju na množici zapisov se je izkazalo, da se tudi v najslabšem scenariju, ko so vsi trije parametri prenosne funkcije iz preglednice 1 spremenjeni za 5 %, magnituda spremeni za manj kot 0,05 velikostnega razreda. Primer, potres v Posočju z dne 12. julija 2004 z lokalno magnitudo 4,9 bi imel v tem primeru lokalno magnitudo 4,94.

Zaključek

Sklepamo lahko, da 5% napaka v parametrih prenosne funkcije ne vpliva bistveno na izračun osnovnih parametrov lokalnega potresa. Zagotovo pa je za zelo natančne izračune žariščnih procesov potrebno napake, ki so posledica prenosne funkcije instrumentov, čim bolj zmanjšati.

Literatura

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

Wielandt E., 2000, Seismic Sensor and their Calibration, Institute of Geophysics, University of Stuttgart, Richard-Wagner-Strasse 44, D - 70184 Stuttgart;

CMG – 40T Broad Band Seismometer operator's guide, Güralp System Limited

Tasič I., in ostali, 2005, Kalibracija senzorjev v državni mreži potresnih opazovalnic, Potresi v letu 2003.

Tasič I., 2001, Opredelitev vstopa potresnih valov lokalnega potresa, Potresi v letu 1999.

PREDELAVA SEIZMOMETRA VEGIK-M MODIFICATION OF THE VEGIK-M SEISMOMETER

Janko Kolar

Povzetek. V članku je opisana predelava seizmometra VEGIK-M v pedagoške in demonstracijske namene. S tako predelanim seizmometrom želimo na pregleden način pokazati delovanje seizmometrov.

Abstract. Old russian seismometer VEGIK-M was rebuilt in order to be used for education purposes.

Uvod

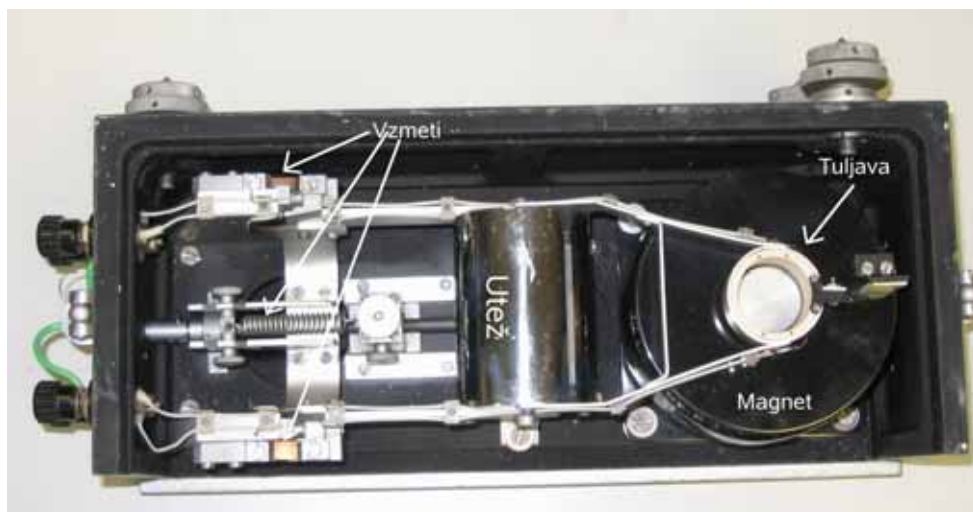
Seizmometer VEGIK-M je kratkoperioden vertikalni seizmometer ruske (sovjetske) izdelave. Seizmometer, ki sem ga predelal, je bil izdelan leta 1965 v Institutu za geofiziko Akademije znanosti ZSSR. Podobni seizmometri so bili razširjeni predvsem po državah bivšega Varšavskega pakta, tu in tam pa jih v uporabi srečamo še danes.

Predelan seizmometer želimo uporabljati predvsem v pedagoške namene, kot nazoren prikaz delovanja potresomerov.

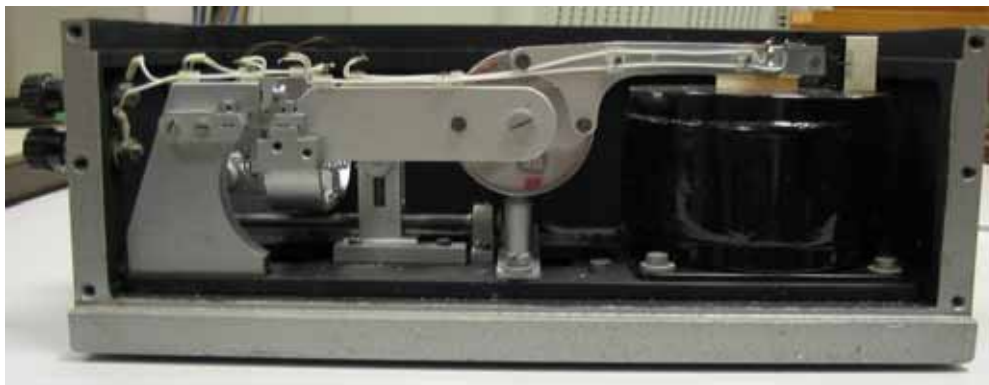
Delovanje seizmometra

Vsi seizmografi delujejo na enakem principu. Večja utež je pritrjena na okvir seizmografa z vzmetjo, sam okvir pa je pritrjen na tla, tako da se ob potresu premika skupaj s tlemi. Utež hoče tudi ob potresu zaradi svoje vztrajnosti ostati pri miru, vendar je z vzmetjo pritrjena na okvir, zato zaniha. To nihanje se nato zapiše in tako dobimo seizmogram.

Obstaja več načinov, kako zapisati to nihanje uteži. V začetku so obstajali povsem mehanski načini zapisovanja z iglo po osajenem papirju, sedaj pa se v glavnem nihanje uteži pretvori v električni signal in se ta zapiše računalniško. Nihanje pa mora biti dušeno, saj bi sicer ob prvem potresu utež spravili v nihanje in naslednjih potresov sploh več ne bi zaznali.



Slika 1. Pogled od zgoraj. Označeni so sestavni deli seizmometra.
Figure 1. Top view. Seismometer parts are marked.



Slika 2. Pogled od strani.
Figure 2. Side view of seismometer

Tudi VEGIK-M je zgrajen po tem principu. Nihanje se pretvarja v napetost s pomočjo permanentnega magneta in tuljavice, ki je pritrjena na utež. Ko tuljavica niha v polju magneta, se inducira napetost, ki nam predstavlja signal seizmometra. Napetost je sorazmerna s hitrostjo nihanja tuljavice, tako je seismometer merilnik hitrosti, za razliko od akcelerometrov, ki se tudi uporabljajo v seizmologiji, kjer je signal sorazmeren z pospeškom.

Dušenje seizmometra je realizirano z ustreznim uporom, ki je vezan zaporedno s tuljavico. Tok, ki se generira, je ravno dovolj velik, da je seismometer kritično dušen.

Predelava seizmometra

Za predelavo seizmometra sem opravil dve stvari :

1. Izdelal sem ohišje iz pleksi stekla, tako da je seismometer lepo viden iz vseh strani. Tega ne bom podrobneje opisoval.
2. Naredil sem vezje, ki prižiga stolpec diod v odvisnosti od generirane napetosti na tuljavici.

Vezje za prižiganje stolpca diod

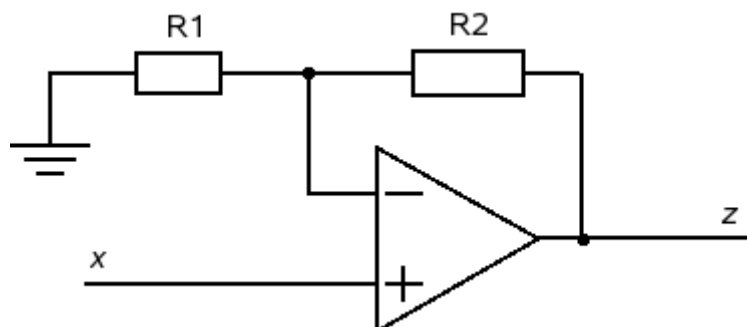
Vezje prižiga stolpec 10 diod v odvisnosti od napetosti, ki se generira na tuljavici. Večja kot je ta napetost, več diod je prižganih. Namen vezja je, da popestri seismometer, hkrati pa se da na ta način opazovati tudi nihanja mase, ki so premajhna, da bi jih lahko opazili s prostim očesom.

Vezje lahko razdelimo na dva dela. V prvem delu vezja signal ojačimo s pomočjo operacijskega ojačevalnika in tako ojačan signal pripeljemo do čipa za krmiljenje diod, ki predstavlja drugi del vezja.

Vezje operacijskega ojačevalca je na sliki 3, pri čemer znaša vrednost upora $R_1 = 2k\Omega$, vrednost upora R_2 pa lahko izbiramo s 5-stopenjskim preklopnikom.

Vrednost izhoda z izračunamo po enačbi:

$$z = (1 + R_2/R_1)x$$



Slika 3. Neobračajoč ojačevalnik.
Figure 3. Noninverting amplifier.

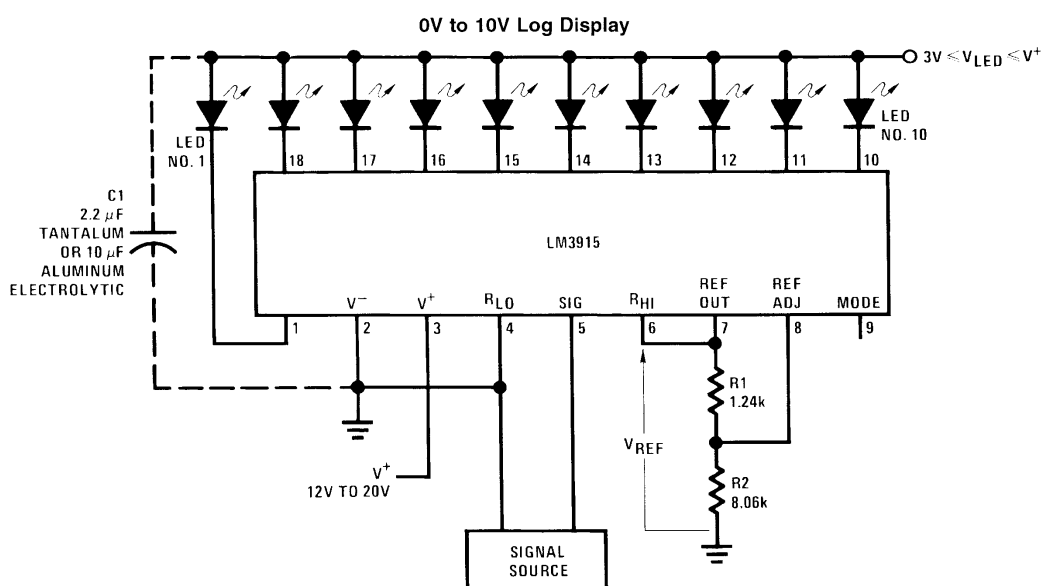
V preglednici 1 so podane izbrane vrednosti uporov R₂, ki smo jih uporabili za naše vezje.

R ₂ [kΩ]	0	18	98	198	998
Ojačenje	1	10	50	100	500

Preglednica 1. Vrednosti uporov R₂ in ojačanja ojačevalca za primer ko je vrednost R₁=2 kΩ.

Table 1. Values of R₂ resistor and amplifier gain. R₁ is set to 2 kΩ.

Za izgradnjo vezja sem uporabil operacijski ojačevalec LM-358N. Zanj sem se odločil predvsem za to, ker ga lahko napajamo s preprostim ± napajanjem (single supply), kar je poenostavilo izgradnjo vezja.



Slika 4. Uporaba LM 3915. Slika je povzeta iz dokumentacije.
Figure 4. Typical use of LM 3915 display driver. Figure is from documentation.

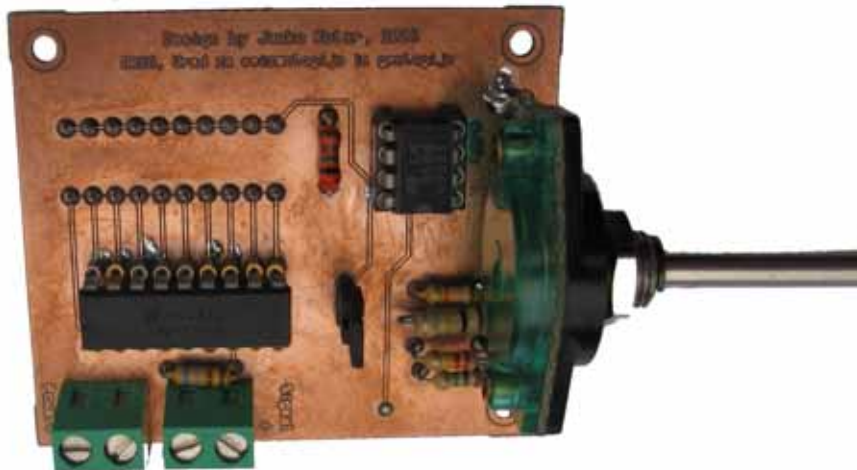
Diode sem krmilil s čipom LM 3915, ki je bil načrtovan in izdelan ravno za tak namen. Krmilno vezje deluje tako, da vhodni signal pripelje na verigo uporov in nato s serijo komparatorjev, ki so priklopljeni na to verigo uporov primerja napetost s svojo referenčno napetostjo (ki pa jo tudi lahko določimo s posebnim uporom). Kjer je napetost na uporu večja

od referenčne, je dioda prižgana. Vrednosti uporov v verigi so izbrane tako, da je skala logaritemska. Vezje sem izdelal v skladu z navodili proizvajalca. Shema vezave je na sliki 4.

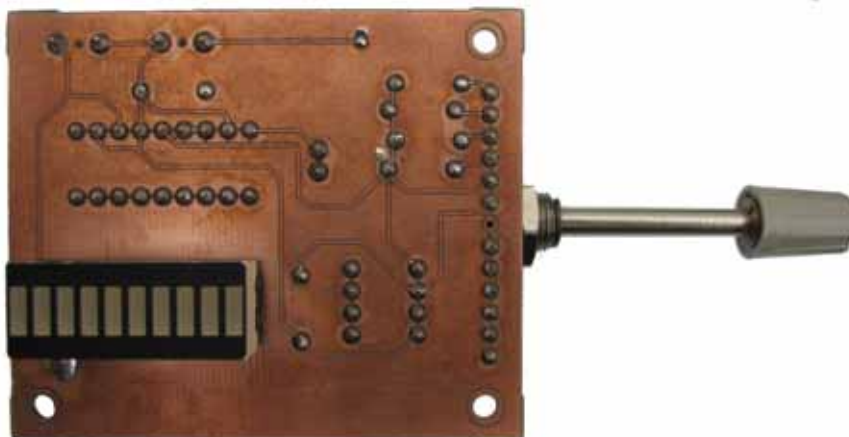
Referenčna napetost (napetost pri kateri so vse diode prižgane) in tok skozi diode se izračuna po enačbah:

$$V_{REF} = 1.25V \left(1 + \frac{R_2}{R_1} \right) + R_2 \cdot 80 \mu A$$

$$I_{LED} = \frac{12.5V}{R_1} + \frac{V_{REF}}{2.2k\Omega}$$

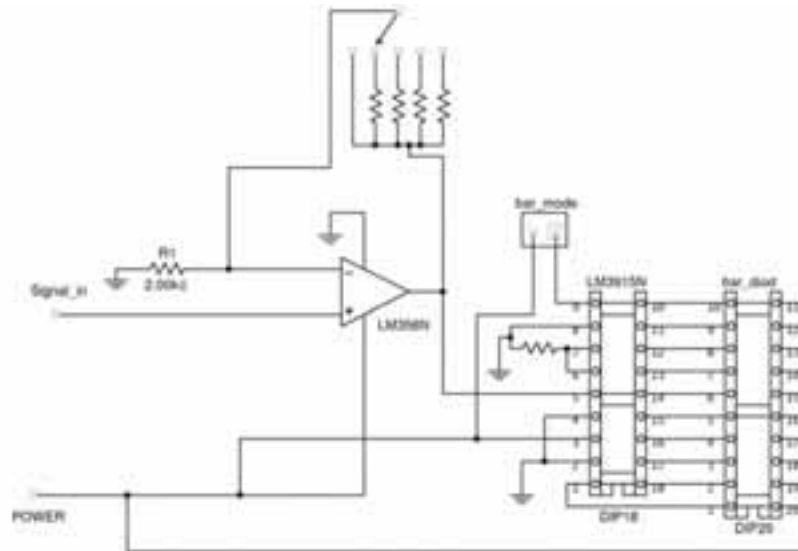


Slika 5. Fotografija vezja za prižiganje diod iz sprednje strani
Figure 5. Diode display from front.

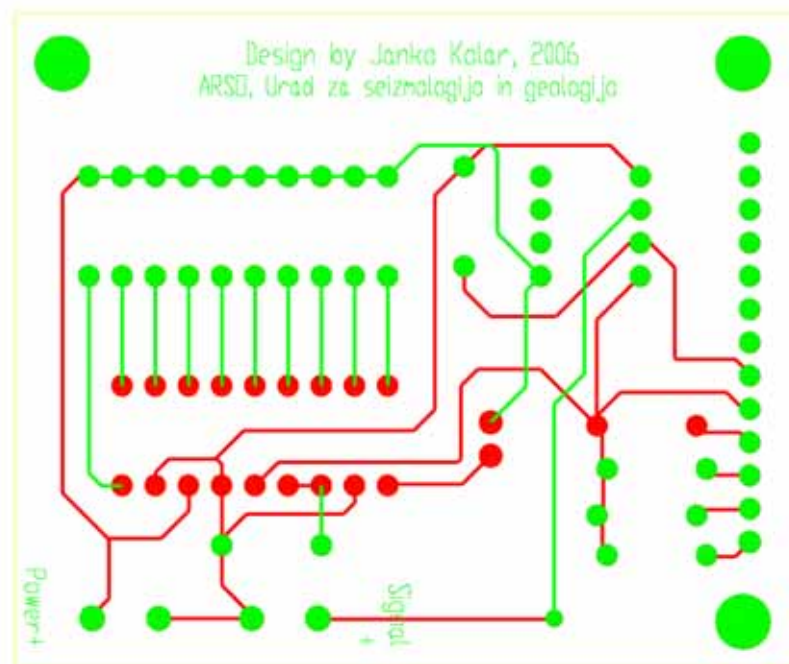


Slika 6. Fotografija vezja za prižiganje diod iz zadnje strani.
Figure 6. Diode display from back side.

Za svoje vezje sem izbral $R_2=0$, saj mi referenčna napetost 1,25 V ustreza. Za R_1 pa sem izbral upor 680 , tako, da so diode bolj svetle. S spojitvijo 9 in 3 pina na čipu lahko izbiramo med točkovnim načinom (kjer je naenkrat prižgana samo ena dioda) in stolpičnim načinom (kjer so prižgane tudi vse spodnje diode). Odločil sem se za uporabo stolpičnega načina.



Slika 7. Električna shema vezja za prižiganje diod
Figure 7. Electrical schema of diode display.



Slika 8. Tiskano vezje za prižiganje diod. Kjer so krogi, je tiskanina prevrtana. Tiskano vezje je dvoslojno. Zelena barva se nanaša na zgornji sloj tiskanine, rdeča pa na spodnjega.
Figure 8. Printed circuit for diode display. Circles designate holes in the PCB. PCB is dual layer, green color is used for top layer and red color is used for bottom layer.

Literatura

Horowitz, P., The art of electronics, Cambridge University Press, 2005.

Navodila za LM3915: <http://www.national.com/pf/LM/LM3915.html>

UVEDBA STANDARDA ISO 17025 V SEIZMOLOGIJI

ISO 17025 STANDARD IMPLEMENTATION IN SEISMOLOGY

Janko Kolar

***Povzetek.** V prispevku je predstavljen načrt uvedbe standarda ISO 17025 v Urad za seizmologijo in geologijo pri Agenciji za okolje Republike Slovenije. Seminar je nastal v okviru podiplomskega študija na Fakulteti za elektrotehniko Univerze v Ljubljani pri predmetu Kakovost in metrologija.*

***Abstract.** The implementation of the ISO 17025 standard in Seismology and Geology Office of Environmental Agency of the Republic of Slovenia is described. The paper originated within the scope of postgraduate study at the Faculty of Electrical Engineering of the University of Ljubljana within the subject Quality and Metrology.*

Uvod

Po velikonočnem potresu 12. aprila leta 1998 je vlada Republike Slovenije odobrila izgradnjo nove mreže potresnih opazovalnic, kar bi omogočilo hitro in natančno obveščanje o potresih, ki se zgodijo na področju republike Slovenije. Izgradnja in upravljanje mreže je bilo zaupano Uradu za seizmologijo in geologijo pri Agenciji za okolje Republike Slovenije.

Mreže potresnih opazovalnic

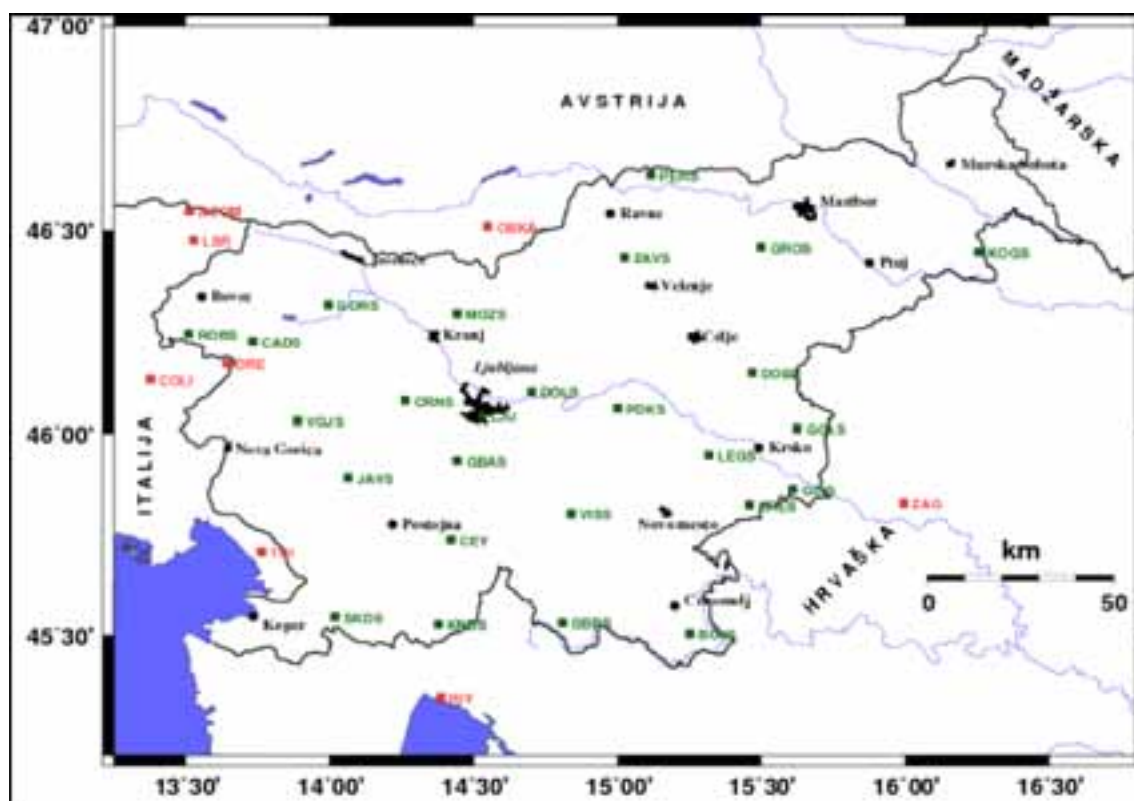
Glavni namen seizmoloških mrež je določanje lokacij epicentrov in magnitud potresov. Lokacijo epicentra določimo z rešitvijo kinematičnih enačb za seizmične valove, zato potrebujemo podatke o času prihoda valov na vsaj 3 opazovalnicah. Ker poznamo hitrosti valov, lahko rešimo kinematične enačbe in določimo lokacijo potresa. Pri tem je pomembno, da so ure na vseh postajah točne, saj sicer pride do napake v lokaciji. Magnitudo potresa izračunamo iz amplitude zapisa seizmičnih valov. Obstajajo trije razlogi, zakaj sploh gradimo seizmološke mreže in lociramo potrese:

1. Hitro obveščanje organov civilne zaščite v primeru močnega oziroma rušilnega potresa. S podatkom o epicentru in magnitudi potresa pomagamo usmerjati reševalne ekipe tja, kjer so najbolj potrebne.
2. Spremljanje seizmičnosti območja, na katerem se nahaja mreža opazovalnic. Na podlagi ugotovljene seizmičnosti nastanejo karte potresne nevarnosti, ki jih je potrebno upoštevati pri gradnji novih objektov.
3. Raziskovanje notranjosti Zemlje. Ocenjuje se, da smo se 90 % tega kar vemo o notranjosti Zemlje, naučili iz študija seizmičnih valov. Z mrežo potresnih opazovalnic zaznamo tudi močnejše potrese, ki so se zgodili na drugi strani Zemlje. Mednarodni seizmološki centri zbirajo zapise močnejših potresov iz vsega sveta in na podlagi analize teh zapisov raziskujejo notranjost našega planeta.

Kot zanimivost naj navedem, da je seizmologija odigrala pomembno vlogo pri nadzoru spoštovanja sporazuma o prepovedi jedrskih poskusov. S seizmometri lahko zaznamo valove, ki nastanejo ob eksploziji atomske bombe.

Slovenska mreža je bila zgrajena predvsem zaradi prvih dveh ciljev. Za izpolnjevanje prvega cilja - hitro obeščanje ob močnejših potresih - je vzpostavljena dežurna služba. Dežurni seizmolog je tako 24 ur 7 dni v tednu dosegljiv Centru za obeščanje Republike Slovenije (tel. št. 112) in v primeru, da ga iz Centra obvestijo, da so občani čutili potres, je dežurni seizmolog dolžan oditi v službo, analizirati potres in sporočiti podatke Centru za obeščanje in javnosti. Sedaj vzpostavljamo nov sistem za hitro posredovanje ob potresu, tako da bo lahko seizmolog večino dela opravil od doma s pomočjo prenosnega računalnika in internetne povezave. S tem se bo reakcijski čas še skrajšal, saj mu bo prihranjena pot v službo. Prav tako pa je že vzpostavljeno avtomatično lociranje potresov, ko računalnik sam analizira potres in pošlje dežurnemu seizmologu SMS sporočilo z avtomatsko lokacijo. Prva informacija o potresu je tako na voljo že nekaj minut po potresu. Seveda pa ne smemo pozabiti, da so avtomatične lokacije lahko tudi precej napačne.

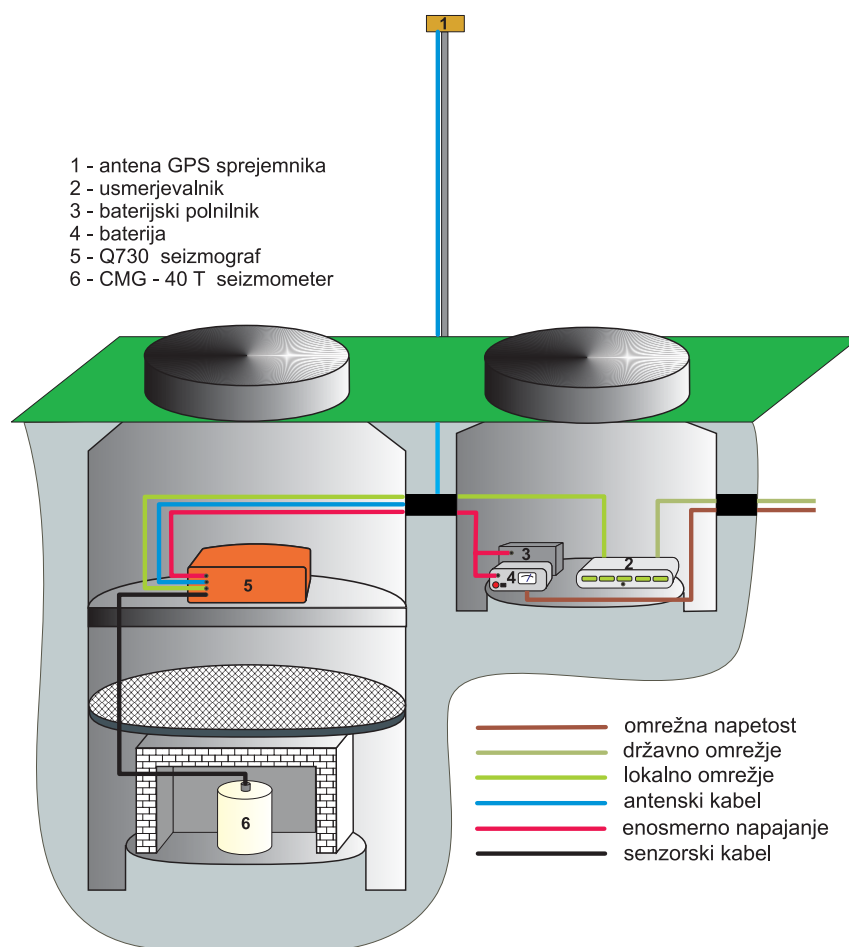
Drugi cilj - spremljanje seizmičnosti v Sloveniji - pa uresničujemo z rednimi dnevnimi analizami zaznanih potresov. Seizmolog tako analizira potrese, ki so bili zabeleženi prejšnji dan. Tukaj velja omeniti, da se v Sloveniji zgodi veliko več potresov, kot pa jih ljudje čutijo.



Slika 1. Z zelenimi kvadrati so označene opazovalnice državne mreže potresnih opazovalnic, z rdečimi pa opazovalnice tujih seizmoloških mrež, ki jih uporabljamo za lociranje slovenskih potresov.
Figure 1. Green squares denote stations of seismic network of Slovenia and the red ones denote foreign stations that are used for earthquake location determination.

Pod pojmom mreža potresnih opazovalnic običajno razumemo skupino potresnih opazovalnic, ki pošiljajo svoje meritve v stvarnem času v nek centralni zbirni center, kjer se podatki zbirajo, hranijo in obdelujejo. V preteklosti ni bilo izmenjevanja podatkov med posameznimi mrežami in institucijami v realnem času. To se je spremenilo s pojavom interneta in TCP/IP protokola. Sodobne seizmološke opazovalnice tako sedaj pošiljajo podatke po TCP/IP protokolu po javnem internetnem omrežju, "centralni zbirni center" pa je lahko vsak ustrezno skonfiguriran računalnik priklopljen na internet. Tako govorimo o virtualnih seizmoloških mrežah. Zaradi lastnosti TCP/IP protokola pa več ne moremo govoriti o pravem realno časovnem toku podatkov, ampak bolj o psevdo realno časovnem prenosu podatkov. Vendar zamude podatkov niso velike. Izkušnje z našimi opazovalnicami kažejo, da so zamude ob dobro delujočih povezavah okoli nekaj sekund, kar je povsem sprejemljivo.

Prenos podatkov s TCP/IP protokolom pa nam omogoča tudi skoraj realno časovno izmenjavo podatkov z ostalimi seizmološkimi mrežami, predvsem italjanskimi, avstrijskimi in hrvaškimi. Za lociranje potresov v Sloveniji tako uporabljamo virtualno seizmološko mrežo, sestavljeno iz opazovalnic iz vzhodne Italije, Avstrije, Hrvaške, uvažamo pa tudi podatke iz nekaj opazovalnic češke mreže.



Slika 2. Shematični prikaz opazovalnice.
Figure 2. Schematic presentation of seismic station.

Opazovalnice državne mreže potresnih opazovalnic

Odločeno je bilo, da bo nova slovenska mreža imela 26 opazovalnic, pri čemer bodo nekatere že obstoječe opazovalnice samo nadgrajene na nov sistem. V letih 1999 in 2000 je tako potekalo izbiranje lokacij za postavitev opazovalnic. Prve na novo zgrajene opazovalnice so začele delovati leta 2002, izgradnja mreže pa je bila zaključena leta 2006. V mednarodnem registru seizmoloških postaj je trenutno zabeleženo okoli 4500 delujočih stalnih seizmoloških postaj po vsem svetu (International Seismological Centre, 2006).

Izbira lokacije je ključnega pomena za kakovost podatkov, saj mora biti izbrana tako, da ima ustrezno geološko podlago in odsotnost virov motenj. Seizmološke opazovalnice je potrebno postaviti na trdno skalo, saj prod in pesek zaradi njunih geoloških lastnosti slabo vplivata na razširjanje potresnih valov in so seizmogrami tako popačeni. Viri motenj so lahko različni. Od človeško povzročenih (npr. promet težkih tovornjakov, železnica, žage, kamnolomi ...) do naravnih (reka, gozd ob močnem vetru ...). Preden je lokacija dokončno izbrana, se na njej naredijo preliminarne meritve s prenosnim seizmografom zato, da se oceni šum na opazovalnici.



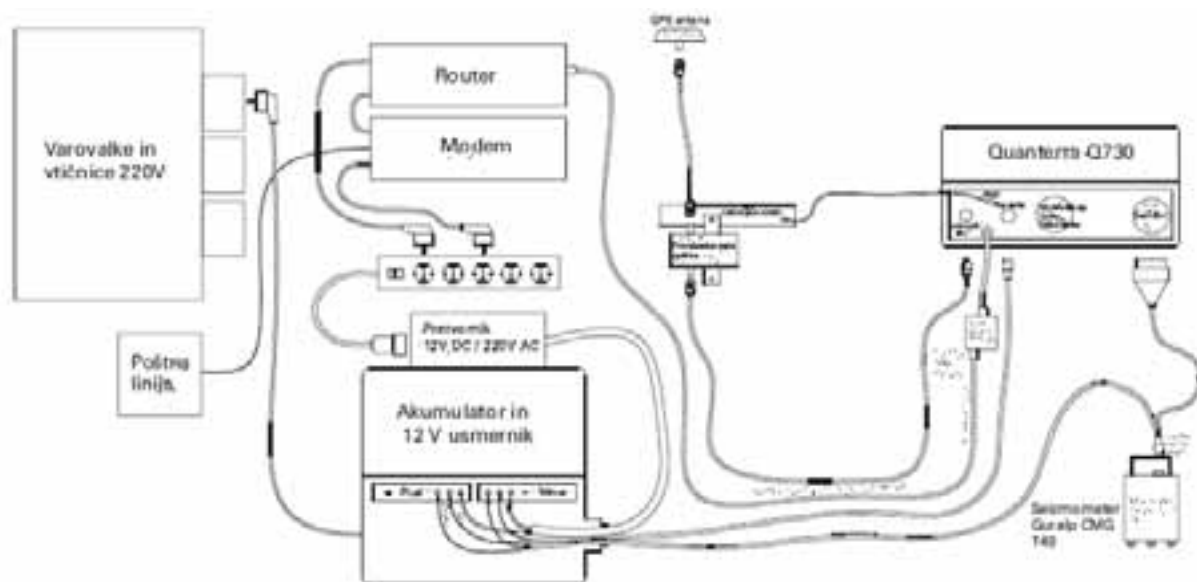
*Slika 3. Opazovalnica na Čadrgu.
Figure 3. Seismic station on Čadrg.*

Lokacije opazovalnic so tako običajno izbrane na samotnih krajih proč od večjih naselij. Za slovensko mrežo opazovalnic so lokacije podane na sliki 1. Opazovalnice naše mreže so zgrajene na enak način. V tla sta izkopana dva jaška, globoka nekaj metrov. V prvem jašku (seizmični jašek, ki je globlji) sta seizmometer in naprava, ki zajema, shranjuje podatke, dobljene iz seizmometra in jih pošilja v zbirni center. V drugem jašku (komunikacijski jašek)

pa je oprema za komunikacijo in električno napajanje. Jaška sta med seboj povezana z ozkim kanalom, kjer so napeljeni kabli (glej sliko 2 in 3).

Oprema opazovalnic

Opremo opazovalnic sestavljajo: električno napajanje, akumulator in usmernik, modem za komunikacijo, router, GPS antena, zajemalna enota Quanterra Q730 in seizmometer Güralp CGM 40T.



Slika 4. Shema povezav v potresni opazovalnici.

Figure 4. Connection scheme in seismic station.

GPS (Global Positioning System) uporabljamo za natančno nastavitve ure, ki se nahaja v zajemalni enoti Quanterra Q730. GPS antena je preko ustrezne prenapetostne zaščite priklopljena na zajemalno enoto, ki ima vgrajen GPS sprejemnik. Najpomembnejša dela seizmološke opazovalnice sta senzor in zajemalni sistem, zato sta tudi v nadaljevanju podrobneje opisana.

Zajemalna enota Quanterra Q730

Z zajemalno enoto Quanterra Q730 zajemamo, digitaliziramo in tako obdelane podatke pošiljamo v zbirno središče. Q730 je sestavljena iz:

- treh medsebojno neodvisnih 24 bitnih analogno-digitalnih pretvornikov (obstaja tudi verzija s šestimi kanali)
- enote za digitalno procesiranje signalov (DSP)
- sprejemnika GPS, ki je namenjen določitvi točnega časa
- pomnilnika RAM, v katerega shranjuje podatke (v obliki krožnega pomnilnika)
- enote za komunikacijo, ki skrbi za pošiljanje podatkov v zbirni center

Q730 uporablja TCP/IP in UDP/IP protokola za komunikacijo. Komunikacija je dvosmerna, tako je možna konfiguracija Q730 na daljavo. Q730 uporablja operacijski sistem OS - 9. Glavne karakteristike Q730 so podane v preglednici 1.

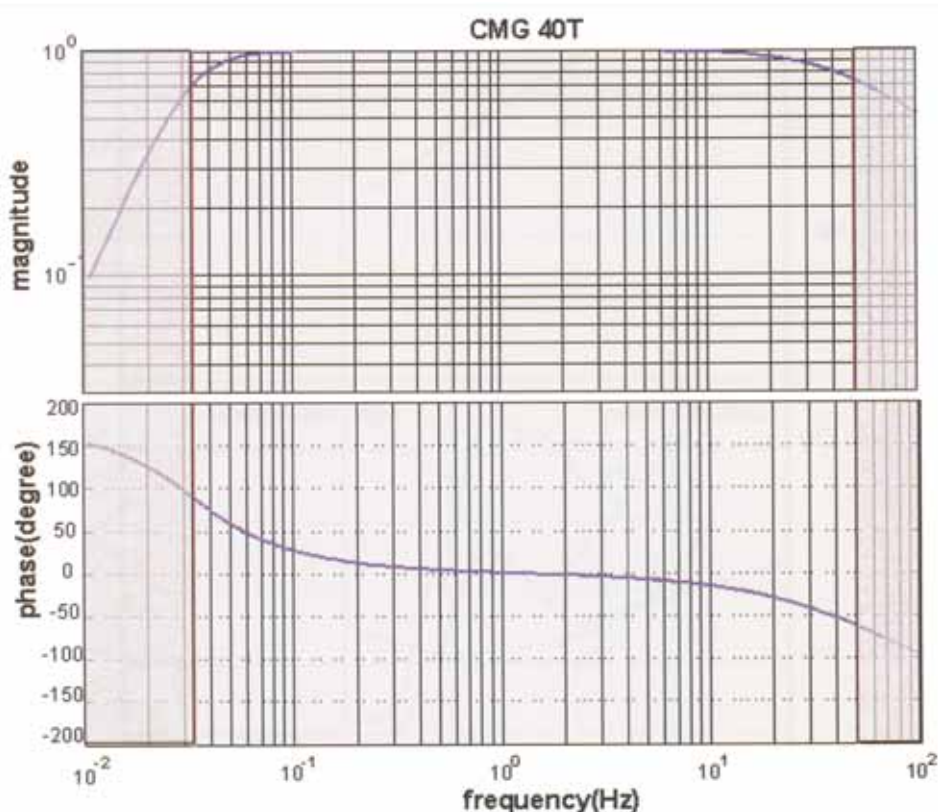
Lastnosti	Opis
kanali	3 med seboj ločeni kanali, opcijsko še 3 dodatni kanali
resolucija	LSB = 1.9mV
dinamično območje	148 dB max.
vhodni signal	±20V (40 V peak to peak)
kalibracija senzorja	opcijsko. Q730 lahko izvede kalibracijo nanjo priklopljenega senzorja s sinusnim signalom, stopnico in naključnim šumom
čas	GPS C/A code. Natančnost do 1μs do UTC. Napaka v določevanju geografskega položaja: 100 m RMS
procesor	Motorola MC68EC030, 10 MHz, 32 bitni
pomnilnik	8 Mb RAM za shranjevanje podatkov in 8 Mb EPROM za nastavitve
komunikacija	podpira TCP/IP in UDP/IP protokola, oddaljeno prijavo preko telnet in prenos podatkov preko ftp protokola
napajanje	12 V enosmerno, moč: 10 - 11 W

Preglednica 1. Nekaj osnovnih podatkov o Q730.

Table 1. Q 730 basic informations.

Seizmometer CMG - 40T

Seizmometer CMG -40T je širokopasovni tri-komponentni senzor hitrosti. Širokopasovni (ang. broadband) pomeni, da je amplitudni del prenosne funkcije konstanten na velikem območju frekvenc.



Slika 5. Prenosna funkcija seizmometra CMG-40T (Tasič, 2005).

Figure 5. CMG-40T transfer function (Tasič, 2005).

Za CMG -40T je to območje med 0.03Hz in 50Hz. "Tri-komponentni" pomeni, da seizmometer meri hitrosti v treh smereh. Sever-jug, vzhod-zahod in vertikalno komponento (če je seizmometer pravilno orientiran). V CMG-40T so tako v resnici 3 majhni seizmometri, ki so postavljeni pravokotno drug na drugega. Vsi ti trije seizmometri delujejo na principu ravnovesja sil, saj silo vztrajnosti, zaradi katere zaniha utež seizmometra ob njegovem premikanju, kompenziramo z elektromagnetno silo tako, da je utež čim bolj pri miru glede na ohišje. Majhen premik uteži generira tok skozi tuljavico, ki je vpeta v povratno zanko. Elektromagnetna sila, s katero uravnovešamo silo vztrajnosti, in se generira s pomočjo tuljavice, je posledica povratnozančnega toka, ki nastane ob premiku uteži seizmometra. Signal, ki ga merimo, je sorazmeren toku skozi tuljavico. Zaradi zgoraj omenjenega principa delovanja seizmometra pa lahko izvedemo tudi električno kalibracijo seizmometra. V seizmometru se nahaja posebna kalibracijska tuljavica. Ko skozi njo pošljemo električni tok, in tako simuliramo zunanji signal, lahko opazujemo izhodni signal in z uporabo ustreznih metod določimo prenosno funkcijo sistema. Skozi kalibracijsko tuljavico lahko pošljemo različne signale (sinusni, stopnica, šum) in preko zapisov vhodnega in izhodnega signala izvedemo kalibracijo seizmometra.

Ob nakupu seizmometra dobimo tudi dokument o njegovi kalibraciji, kjer so navedeni rezultati tako absolutnih kot tudi električnih kalibracij za vsako komponento posebej. Seizmometer je kalibriran, ko vemo, kakšen je njegov odziv na vhodni signal, to je, če poznamo njegovo prenosno funkcijo.

Odziv lahko zapišemo takole:

$$\frac{V}{x}(s) = G \times A \times H(s) \quad (1)$$

$H(s)$ je prenosna funkcija, A je konstanta s katero normiramo prenosno funkcijo in odpravimo enote, G je izhodna občutljivost senzorja (ang: output sensitivity oz. gain constant), ki povezuje vhodno veličino (hitrost) in izhodno (napetost) in je podana v $V \text{ s/m}$, V je izhodna napetost senzorja in x je vhodni signal to je hitrost premikanja seizmometra.

Na ravnem območju prenosne funkcije je produkt $A \times H(s)$ enak 1, torej je odziv kar enak konstantni G . Podatke o G , A in $H(s)$ dobimo v kalibracijskem dokumentu, ki je dodan seizmometru. Pri električnih kalibracijah z zunanjim generatorjem signalov moramo vedeti, kakšni hitrosti nihanja tal ustreza pripeljana napetost na kalibracijsko tuljavico. Za sinusni kalibracijski signal se pretvorba izvrši z enačbo (Güralp, 2006b):

$$v = \frac{V}{2\pi f R K} \quad (2)$$

V je peak-to-peak napetost kalibracijskega signala, f je frekvenca signala [Hz]. R je upor kalibracijskega upornika [Ω] in K je konstanta tuljavice v povratni zanki [$Vs^2/\Omega m$]. Vrednosti za R in K sta navedeni v kalibracijskem dokumentu.

lastnosti	opis
občutljivost	2 x 400 V/m/s
dinamično območje	> 145 dB
frekvenčno območje	0,03 Hz – 50 Hz
največja izhodna napetost	±10V (20V peak to peak)
temperaturno območje delovanja	od - 10° do 60°
napajanje	10V do 36V enosmerno, notranji 12V DC/DC pretvornik

Preglednica 2. Nekaj osnovnih podatkov o seizmometru CMG-40T (Güralp, 2006a).

Table 2. CMG-40T basic information (Güralp, 2006a).

Kalibracija seizmometrov

S kalibracijo seizmometra želimo ugotoviti, v kakšni zvezi je izhodni signal seizmometra z nihanjem tal, na katera je seizmometer položen. Za samo določevanje epicentra kalibracija ni pomembna, saj se epicenter določi s pomočjo časa prihoda posameznih faz potresnih valov, za kar potrebujemo predvsem natančno uro. Kalibracija pa je pomembna pri določevanju magnitude potresa, saj jo izračunamo iz največje amplitude seizmograma. Prav tako je kalibracija pomembna zaradi primerljivosti meritev in izmenjave podatkov z ostalimi seizmološkimi observatoriji. Poznamo dva tipa kalibracij. Prvi tip so absolutne ali mehanske kalibracije, pri katerih senzor fizično premikamo in gledamo njegov odziv. Drugi tip pa so električne kalibracije, pri katerih skozi kalibracijsko tuljavico seizmometra pošljemo električni tok, s katerim simuliramo premikanje tal in nato gledamo odziv seizmometra. Oba načina kalibracije si bomo podrobneje pogledali v naslednjih podglavljih.

Mehanične kalibracije

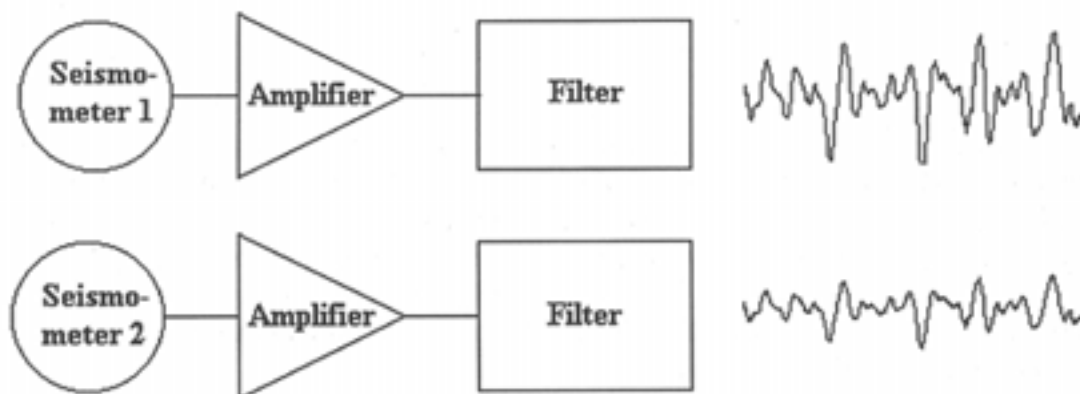
Pri mehaničnih kalibracijah senzor na kontroliran način premikamo in nato opazujemo odziv seizmometra. Za kalibracijo imamo tako različne možnosti, saj lahko senzor premikamo na različne načine.

Tresalna miza

Prva očitna možnost kalibracije je na tresalni mizi. Vendar se pokaže, da za kalibracijo širokopasovnih seizmometrov tresalna miza ni primerna, saj pri visokih frekvencah motijo meritev prazitične resonance, pri nizkih frekvencah pa moti trenje in lepenje v ležajih, ki ga ne moremo povsem odpraviti. Posbena težavno je tudi zagotoviti, da bo površina tresalne mize vedno vodoravna, saj njeno nagibanje prav tako povzroči odziv seizmometra. Kalibracija na tresalni mizi je tako uporabna pri frekvencah med 0,5 Hz in 5 Hz (Wielandt, 2002).

Pri pregledu objavljenih člankov na to temo sem zasledil članek (Krivtsov in sod., 1993) kjer ruski znanstveniki navajajo, da jim je uspelo za kalibracije seizmometrov narediti tresalno mizo s frekvenčnim območjem 0,01-10 Hz in amplitudo 1 mm. Nisem pa zasledil, da bi se takšna miza kasneje v resnici uporabljala za kalibracije seizmometrov.

Dobra tresalna miza so seveda kar tla, saj se nenehno tresejo. Problem pa je, da ne poznamo vhodnega signala, to je, kako se tla tresejo. Vendar lahko tresenje tal izmerimo z že kalibriranim seizmometrom (slika 6). Za kalibracijo seizmometra tako uporabimo že kalibriran seizmometer, najbolje je, da imata vsaj približno enake lastnosti in ju postavimo drug ob drugem.



Slika 6. Primerjava odziva dveh seizmometrov. V obeh primerih sta bila uporabljena enaka ojačevalca in filtra. Vidimo, da je seizmometer 2 manj občutljiv kot seizmometer 1. Če poznamo občutljivost prvega seizmometra, potem lahko izračunamo občutljivost drugega iz razmerja obeh signalov (Havskov in Alguacil, 2004).

Figure 6. Response comparison of two seismometers. In both cases equal amplifiers and filters are used. It can be seen that seismometer2 is less sensitive than seismometer1. If the sensitivity of the first seismometer is known the sensitivity of the second can be calculated from the ratio of both signals (Havskov in Alguacil, 2004).

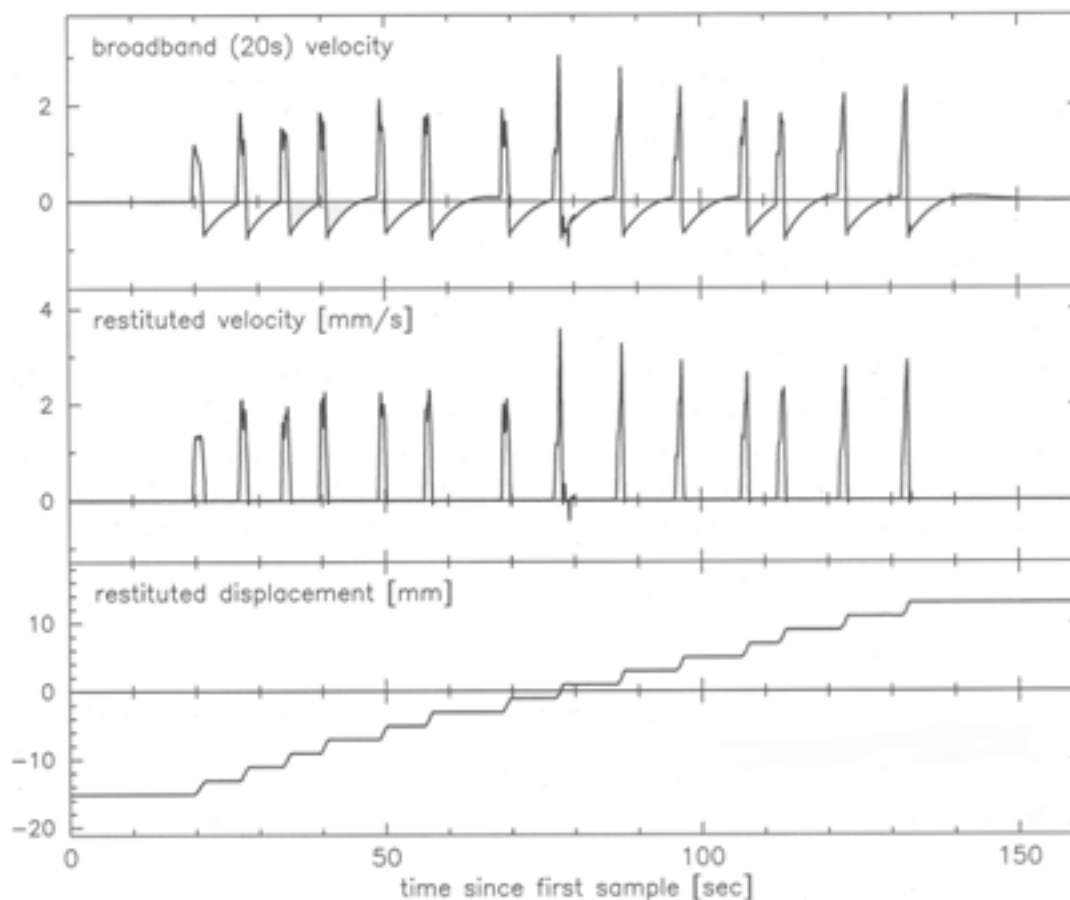
Kalibracija s postopnim dvigovanjem seizmometra

Preprosta, a učinkovita metoda za kalibracijo vertikalne komponente seizmometra je metoda s postopnim dvigovanjem seizmometra. Izvedemo jo lahko na mehaničnih tehtnicah, ali na kakšni drugi napravi, ki nam omogoča dvig seizmometra za znano razdaljo. Kalibracija poteka takole (Havskov in Alguacil, 2004):

- Večkrat zaporedoma dvignemo (ali spustimo) seizmometer za znano razdaljo (tipično nekaj milimetrov) in merimo odziv seizmometra, ki je sorazmeren hitrosti dviga ali spusta.
- Iz izmerjnega odziva odstranimo odmik, ki je posledica dejstva, da površina, na kateri stoji seizmometer, ni popolnoma vodoravna, ampak ima majhen nagib, ki nam povzroči odmik izhodnega signala seizmometra.
- Zapis hitrosti integriramo, da dobimo vrednosti za premik (zaradi tega moramo odstraniti odmik).
- Izračunane vrednosti premikov primerjamo z dejanskim premikanjem seizmometra.

Wielandt navaja (Wielandt, 2002), da se na ta način lahko izvede kalibracija z natančnostjo okoli 1 %, pri čemer je v postopku kalibracije bolje narediti več zaporednih majhnih premikov kot enega velikega. Primer je na sliki 7. Za te vrste kalibracij vodoravnih

komponent pa je potrebna naprava, s katero bo mogoče premikati seizmometer v vodoravni smeri za znano razdaljo.



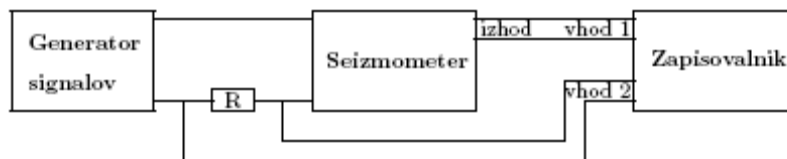
Slika 7. Primer kalibracije s postopnim dvigovanjem seizmometra. V zgornjem delu vidimo izmerjen signal seizmometra, ki smo mu nato odstranili odmik (srednji del). Po integraciji smo dobili premike seizmometra (spodnji del slike) (Wielandt, 2002).
Figure 7. Example of the calibration by stepwise motion. The top trace is recorded seismometer's output signal, followed by restored and detrended velocity signal and after integration the displacement signal at the bottom (Wielandt, 2002).

Električne kalibracije

Moderni širokopasovni seizmometri imajo vgrajeno kalibracijsko tuljavico s pomočjo katere lahko seizmometer kalibriramo tako, da skozi kalibracijsko tuljavico pošljemo električni tok, ki nam povzroči elektromagnetno silo na utež seizmometra, kar nadomešča premikanje seizmometra. Seveda moramo vedeti, v kakšni zvezi je tok poslan skozi kalibracijsko tuljavico s premikanjem seizmometra. Ustrezne enačbe priskrbijo proizvajalci seizmometrov.

Osnovni princip električnih kalibracij je vedno enak in je prikazan na sliki 8. V kalibracijsko tuljavico pošljemo znan vhodni signal in s pomočjo izmerjenega izhodnega signala določimo prenosno funkcijo seizmometra. Ker običajno poznamo analitično obliko prenosne funkcije, ne poznamo pa točnih vrednosti polov in ničel, lahko z računalniškim programom

(npr. Matlabov Simulink) izračunamo teoretični odziv seizmometra na dani vhodni signal in nato nastavimo pole in ničle v teoretičnem modelu tako, da se čim bolj ujema z izmerjenim.



Slika 7. Potek električnih kalibracij
Figure 7. Block diagram of the electric calibration.

Kalibracija seizmometra CMG-40T

V navodilih za uporabo proizvajalec seizmometrov CMG-40T (Güralp, 2006b) opisuje tudi postopke za kalibracijo. Predlagajo tri načine za kalibracijo:

1. Kalibracija s stopnico. Skozi kalibracijsko tuljavico pošljemo tokovno stopnico znane amplitude in trajanja ter merimo odziv seizmometra.
2. Kalibracija s sinusno funkcijo. Tok, ki ga pošljemo skozi kalibracijsko tuljavico ima sinusno obliko z znano frekvenco in amplitudo. S tem opravimo kalibracijo samo za frekvenco s katero niha tok. S to vrsto kalibracije preverjamo frekvenčno območje seizmometra. Seveda je za to potrebnih več zaporednih kalibracij z različnimi frekvencami vhodnega signala.
3. Kalibracija z belim šumom. S tem dobimo odziv seizmometra za celotno frekvenčno območje.

Da bi olajšali postopek kalibracije seizmometrov so v Güralpu razvili programski paket SCREAM!. Program deluje le z Güralповimi digitalizatorji. Digitalizator pošlje v senzor beli šum (lahko izberemo tudi sinusno ali stopničasto obliko signala - možnosti so odvisne od digitalizatorja) in meri odziv. Na podlagi meritve program izračuna prenosno funkcijo za vsako komponento seizmometra posebej.

Güralp prav tako ponuja kontrolno enoto (Handheld control unit), ki služi kot vmesnik med zunanjim generatorjem signalov in senzorjem in se uporablja pri kalibraciji z zunanjim virom signalov.

Če hočemo opravljati električne kalibracije, moramo poznati, kakšni hitrosti premikanja seizmometra ustreza pripeljana napetost na kalibracijsko tuljavico. To izračunamo s pomočjo enačbe 2. Konstanta K , ki nastopa v enačbi, je podana v kalibracijskem dokumentu, vendar se lahko sčasoma spremeni. Zato je Güralp podal navodila, kako lahko sami izmerimo to konstatno.

To storimo z nagibanjem seizmometra s čemer izmaknemo utež iz ravnovesne lege, zato mora po povratni zanki teči konstanten tok, da utež seizmometra povrne v ravnovesno lego. S tem konstatnim tokom lahko opišemo položaj uteži. Meritev konstante K tako poteka po sledečem postopku (Güralp, 2006b):

1. Izmerimo težnostni pospešek g
2. Seizmometer nagnemo in izmerimo kot nagiba. Ker je seizmometer nagnjen, se utež premakne iz ravnovesnega položaja. Da se utež vrne nazaj v ravnovesni položaj mora steči povratnozančni tok I , ki ga lahko izmerimo kot napetost na kalibracijskem uporniku (mirovna napetost).
3. Ponovimo meritev mirovne napetosti pri različnih kotih nagiba.
4. Narišemo graf mirovne napetosti v odvisnosti od efektivnega gravitacijskega pospeška. Efektivni gravitacijski pospešek za vertikalni senzor se izračuna z $a = g \cdot \sin\Phi$ pri čemer je Φ kot nagiba, Za horizontalni senzor pa velja enačba $a = g \cdot (1 - \cos\Phi)$
5. Naklon tako dobljene premice nam da občutljivost tuljavice. Konstanta K je razmerje naklona in vrednost kalibracijskega upornika.

Kalibracija zajemalnega sistema Quanterra Q730

Kalibracija zajemalnega sistema Quanterra je preprosta. Z generatorjem signalov ali izvorom napetosti pripeljemo v Quanterro znano napetost in nato preverimo, če se meritev Quanterre sklada z vhodnim signalom.

Kalibracije seizmometrov na Uradu za seizmologijo in geologijo

Na Uradu za seizmologijo in geologijo trenutno izvajamo samo električne kalibracije. Podrobno so opisane v (Tasič in sod., 2005). Iz zajemalne enote Quanterra Q730 pošljemo seizmometru bodisi stopničasti, sinusni ali signal v obliki belega šuma. Vendar tu nastopijo težave. Ugotovljeno je bilo, da Quanterra Q730 ne zabeleži natančno časa, kdaj je poslala signal senzorju. Razlika med zabeleženim in dejanskim časom je lahko tudi do nekaj sekund. Prav tako pa ni natančno znana tudi velikost kalibracijskega signala, ki ga pošlje Quanterra.

Prvi problem - nenatančnost v času - se rešuje s poskušanjem. Ocenimo, kdaj približno bi se naj testni signal začel, vendar moramo upoštevati, da se je lahko začel tudi malo prej ali kasneje. Za več različnih začetnih časov tako izračunamo teoretični odziv in na podlagi ugotovljene korelacije z izmerjenim odzivom določimo najverjetnejši začetni čas.

Problem neznane napetosti testnega signala pa rešujemo z normiranjem. Zaradi opisanih težav trenutne kalibracijske metode služijo bolj za spremljanje stabilnosti prenosne funkcije in ugotavljanja možnih sprememb v času med dvema kalibracijama. Meritev konstante K se ne izvaja, vendar ob upoštevanju dejstva, da niti ne poznamo napetosti kalibracijskega signala iz Quanterre, to niti ni tako hudo. S trenutnimi postopki kalibracije tako zagotovo ne bi mogli zadostiti zahtevam standarda ISO 17025.

ISO 17025

Standard ISO 17025 je namenjen za akreditacijo preizkuševalnih in kalibracijskih laboratorijev. Vsebuje vse zahteve, ki jih morajo izpolnjevati preizkuševalni in kalibracijski

laboratoriji, če želijo dokazati, da imajo vzpostavljen sistem kakovosti, da so tehnično usposobljeni in da so sposobni pridobiti tehnično veljavne rezultate (ISO, 2002). ISO 17025 vsebuje vse zahteve, ki jih vsebuje ISO 9001:2000, hkrati pa še dodaja nove zahteve, ki jim morajo zadostiti preizkuševalni in kalibracijski laboratoriji. Če laboratorij deluje v skladu z standardom ISO 17025, potem deluje tudi v skladu s standardom ISO 9000:2000. ISO standard je razdeljen na 5 poglavij:

1. Namen
2. Zveza z drugimi standardi
3. Izrazi in definicije
4. Zahteve za vodenje
5. Tehnične zahteve

Pogoji za akreditacijo v skladu s standardom so opisani v poglavjih 4 in 5. V poglavju 4 so opisane zahteve, ki se skladajo s standardom ISO 9001:2000, v poglavju 5 pa dodatne tehnične zahteve. V Uradu za seizmologijo in geologijo že izpolnjujemo zahteve standarda ISO 9001:2000 in tako tudi izpolnjujemo zahteve iz četrtega poglavja standarda ISO 17025, zato se osredotočimo na tehnične zahteve, ki so opisane v 5. poglavju.

Tehnične zahteve standarda ISO 17025

Tehnične zahteve standarda so podane v petem poglavju, ki je prav tako razdeljen na razdelke:

- 5.1 Splošno
- 5.2 Osebj
- 5.3 Prostor in pogoji okolja
- 5.4 Preizkuševalne in kalibracijske metode
- 5.5 Oprema
- 5.6 Sledljivost meritev
- 5.7 Vzorčenje
- 5.8 Ravnanje s primerki za preskuse in kalibracije
- 5.9 Zagotavljanje kakovosti rezultatov preskusov in kalibracij
- 5.10 Poročanje o rezultatih

Za naš primer pridejo v poštev vsi razdelki razen 5.7. Najbolj sistematično bo, če opišem, kako bi zadostili standardu za vsak zgoraj naveden razdelek posebej.

Osebj

Od oseb, ki bodo opravljale kalibracije, se pričakuje tehnična ali naravoslovna izobrazba. Za samo opravljanje kalibracij se morajo natančno seznaniti tako z električnimi kot tudi z absolutnimi kalibracijskimi metodami. Za delo s seizmometri bi bilo zaželeno organizirati šolanje tudi pri proizvajalcu seizmometrov.

Prostor in pogoji okolja

Prostor za izvajanje kalibracijskih meritev seizmometrov mora biti na mirni lokaciji in ne v bližini izvirov seizmičnega šuma (prometne ceste, žage, železnice ipd.) Zaželeno je, da je temperatura čim bolj konstantna, saj predvsem gradienti temperature precej vplivajo na lastnosti seizmometra. Seveda mora biti prostor tudi ustrezno komunalno opremljen (elektrika, voda, osvetlitev ...) in biti dostopen. Vsem tem zahtevam najbolj ustreza seizmološki observatorij na Golovcu. Seizmološki observatorij na Golovcu je nastal v 60-tih letih 20. stoletja, kot astronomsko geofizikalni laboratorij. Še sedaj se v njem nahaja astronomski observatorij, ki je sedaj del Fakultete za matematiko in fiziko, pritličje in klet pa sta namenjena seizmološkemu observatoriju, ki ga sedaj upravlja Urad za seizmologijo in geologijo. V kleti so nameščeni seizmometri, saj je klet sezidana tako, da je del tal kleti ločen od ostale stavbe in temelji na trdni skali. Tam so položeni seizmometri, ki so izolirani od nihanja same stavbe. Tukaj bi lahko opravljali kalibracije na tresalni mizi. Na observatoriju je tudi opremljen laboratorij, kjer lahko izvajamo električne kalibracije, dovolj prostora pa je tudi za postavitve sistema mehaničnih kalibracij. Za primer dobre lokacije kalibracijskega laboratorija lahko podam Conradov observatorij v Avstriji (Orfeus Newsletter, 2004). Zgrajen je v avstrijskih Alpah in sicer je v goro Trafenberg izvrtan 150 metrov dolg predor, kjer je prostor za kalibracijo seizmometrov. Ima 4 navpične jaške, od tega 3 z globino 100 m in enega z globino 50 m. Lokacijo odlikuje predvsem nizek šum, saj je predor lociran stran od izvirov šuma. K nizkemu šumu pripomore tudi to, da je laboratorij pod zemljo (sploh seizmometri nameščeni v jaških), in tako šum iz površja precej oslabi.

Preizkuševalne in kalibracijske metode

Za kalibracijo seizmometrov je smiselno uporabljati tako električne kot mehanične (absolutne) kalibracijske metode. Senzor je v resnici kalibriran le ob uporabi mehaničnih metod, saj ob uporabi električnih metod nastopi negotovost v poznavanju vseh parametrov, ki povezuje vhodni kalibracijski signal z nihanjem tal (enačba 2). Po drugi strani pa so električne kalibracije veliko bolj preproste in udobne za izvajanje, saj jih lahko izvedemo na terenu, in nam je tako prihranjeno prevažanje seizmometra v kalibracijski laboratorij. Z uporabo Güralpovega programa SCREAM! pa so tudi povsem avtomatizirane.

Električne kalibracije pa nam lahko služijo za kontrolo stabilnosti prenosne funkcije oziroma za zaznavanje sprememb v lastnostih seizmometra. V primeru, da zaznamo znantne razlike med posameznimi rezultati električnih kalibracij, je potrebno izvesti absolutno kalibracijo. Če med posameznimi električnimi kalibracijami ni prišlo do zaznavnih sprememb v prenosni funkciji seizmometra, lahko s precejšnjo verjetnostjo zaupamo meritvam, saj ni zelo verjetno,

da bi se hkrati tako spremenile lastnosti seizmometra in konstatnt, ki nastopajo v enačbi 2, da bi se učinka izničila. Seveda pa je potrebno redno izvajanje mehaničnih kalibracij na ustrezno časovno obdobje tudi, če ne zaznamo anomalij pri električnih kalibracijah. Lahko pa električne kalibracije izvajamo bolj pogosto, saj so bolj preproste.

Osnovna kalibracijska metoda je tako mehanična kalibracijska metoda z postopnim dvigovanjem seizmometra. Za to metodo je potrebno izdelati dve kalibracijski mizi, eno za kalibracije v vertikalni in drugo za kalibracije v horizontalni smeri. Ta metoda je že bila na široko opisana v strokovni literaturi (Havskov in Alguacil, 2004), (Wielandt, 2002) zato jo lahko smatramo za standardno metodo. Ocena napake te metode je podana v (Wielandt, 2002) in znaša 1 %. Seveda pa je potrebno oceno natančnosti še preveriti konkretno za naš primer. Kot dopolnilno mehanično kalibracijsko metodo pa je uporabna metoda s tresalno mizo, kjer postavimo dva seizmometra (eden on niju je že kalibriran) na tla in primerjamo zapise obeh seizmometrov. Kot glavno metodo za električne kalibracije je najbolje uporabljati Güralpov digitalizator in program SCREAM!, vendar pa je potrebno od proizvajalca pridobiti bolj natančne informacije o programu in o napaki tako določenih vrednosti. To zna biti problem, saj so podjetja pogosto precej nerada razkrijejo podrobnosti o svoji programski opremi. V primeru, da bi se sodelovanje z Güralpom izkazalo za neuspešno, je potrebno razviti svoje programe za izvajanje električnih kalibracij.

Oprema

Za izvedbo električnih kalibracij bi bilo smiselno nabaviti Güralpov digitalizator in uporabljati programski paket SCREAM!, ki so ga prav tako razvili pri tem podjetju in je namenjen kalibracijam Güralповih seizmometrov. Sicer pa je potrebno nabaviti kvaliteten generator signalov.

Za izvajanje mehaničnih kalibracij pa je potrebno narediti kalibracijsko mizo. Najenostavneje je narediti dve takšni mizi, eno za premikanje v vertikalni smeri in eno za premikanje v horizontalni smeri. Trenje pri premikanju mize lahko povzroča tresenje, kar je seveda nezaželeno, zato je potrebno trenje čim bolj zmanjšati. Kot sem zasledil na svetovnem spletu, so za to najbolj primerni aerostatični ležaji, ki so uporabljeni tudi pri načrtih opisanih v članku (Krivtsov idr., 1993). Na mizi pa mora biti tudi merilni sistem, ki bo meril premike kalibracijske mize, za kar lahko uporabimo laserski interferometer. Potrebno je poskrbeti za redne kalibracijske meritve premikov mize.

Sledljivost meritev

S kalibracijo na zgoraj opisani kalibracijski mizi dosežemo sledljivost do osnovnega sistema enot (SI) na razdaljo. Zato moramo redno kalibrirati sistem za merjenje premikov kalibracijske mize s pomočnjo nacionalnega kalibracijskega laboratorija za razdaljo.

Ravnanje s primerki za preskuse in kalibracije

Pri prevozu senzorjev do laboratorija je potrebno poskrbeti, da se seizmometer ne poškoduje. Mase seizmometrov morajo biti v zaklenjenem položaju. Po prevozu je potrebno

seizmometer nekaj ur pustiti pri miru, da se temperatura seizmometra izenači z temperaturo okolice in da se morebitna nihanja v sistemu iznihajo. Vsi seizmometri so opremljeni s serijsko številko, po kateri jih lahko identificiramo.

Zagotavljanje kakovosti rezultatov preskusov in kalibracij

Kakovost kalibracij je potrebno zagotavljati na različne načine:

1. Prvi, ki lahko zazna, da je s seizmometrom nekaj narobe je seizmolog, ki opravlja dnevno analizo potresov. Po naših izkušnjah se na seizmometrih običajno pojavljata dve vrsti napak:

a) v seizmogramih se pojavljajo impulzi, ki so lahko posledica problemov z električnim napajanjem ali pa iz drugih vzrokov.

b) vse tri komponente se ujamejo in dajejo (skoraj) enak signal.

V obeh primerih na seizmogramih ne odčitavamo amplitud. Ti problemi pa ne vplivajo na odčitane čase posameznih faz valovanja. Po takšnih težavah je potrebno senzor ponovno kalibrirati.

2. Seizmolog lahko tudi opazi, da so magnitude na kateri od opazovalnic sistematično večje ali manjše kot so določene magnitude potresov. To tudi kaže na probleme v kalibraciji inštrumenta.

3. Potrebno bi bilo vzpostaviti sodelovanje s Conradovim observatorijem v Avstriji in ustvariti program medlaboratorijskih primerjav. Tako bi lahko nek seizmometer kalibrirali v Avstriji in nato še pri nas in nato primerjali rezultate kalibracij.

Poročanje o rezultatih

Po opravljeni kalibraciji seizmometra se izda certifikat o kalibraciji, kjer so navedeni rezultati kalibracij skupaj z oceno negotovosti in vsemi relevantnimi podatki o poteku kalibracije. V ISO standardu (ISO, 2002) je tudi predpisana oblika poročila, ki jo moramo upoštevati.

Zaključek

Predstavljen načrt je samo prvi korak na dolgi poti k uvedbi standarda 17025 na Uradu za seizmologijo in geologijo pri Agenciji za okolje Republike Slovenije. Uvajanje standarda ne bo enostavno in poceni, vendar že dejstvo, da je v novi mreži 26 potresnih opazovalnic, katerih izgradnja tudi ni bila poceni, in ostali seizmometri in akcelerometri, ki jih imamo v Uradu za seizmologijo in geologijo (skupaj okoli 40 instrumentov) opravičujejo vlaganja v vzpostavitev kalibracijskega laboratorija za seizmometre in akcelerometre.

Sicer sem dobil vtis, da je kalibriranje seizmološke opreme v svetu, v primerjavi s kalibracijami opreme v kakšni drugi naravoslovni oz tehnični vedi, še dokaj v povojih. Pri iskanju po svetovnem spletu sem naletel samo na en laboratorij v ZDA, ki je uspel pridobiti certifikat ISO 17025 za področje meritve seizmičnosti in vibracij. Razloga za sta verjetno dva:

1. zapisi seizmometrov so za določanje lokacij uporabni, tudi če imamo povsem nekalibriran instrument, saj se epicentri določajo iz prihoda časov posamezih delov valovanja za kar pa potrebujemo predvsem natančne ure.

2. seizmometri so zelo specifične naprave, tako da obstajajo samo tri podjetja, ki jih proizvajajo. Podjetja proizvajajo samo nekaj modelov seizmometrov, tako da je na trgu sorazmerno majhna količina različnih modelov seizmometrov. Pogosto tako različne seizmološke mreže uporabljajo enak tip seizmometra in to precej pripomore k primerljivosti podatkov. Seizmologi se tako zanašajo na podatke, ki jim jih posreduje proizvajalec seizmometra in izvajajo kvečjemu kontrolo stabilnosti prenosne funkcije.

Kljub temu bi kazalo uvesti program medlaboratorijskih primerjav kalibracij seizmometrov med različnimi laboratoriji vsaj na nivoju Evropske Unije in kasneje to razširiti na bolj globalno raven. Za začetek bi kazalo navezati stike s Conradovim laboratorijem in spoznati njihove kalibracijske metode. Sam sem jim poslal e-sporočilo in se pozanimal o podrobnostih kalibracijskih metod, ki jih izvajajo, vendar nisem dobil nobenega odgovora. Verjetno bi se bilo potrebno povezati na višji ravni.

Upam, da bo to delo vsaj na Uradu za seizmologijo in geologijo vzpodbudilo razmišljanja v smeri zagotavljanja kakovosti naših meritev v skladu s standardom ISO 17025.

Literatura

ISO/IEC 17025. Slovenski institut za standardizacijo.

Borman, P., ur. (2002). New Manual of Seismological Observatory Practice. GeoForschungsZentrum Potsdam.

Güralp (2006a). Cmg-40t broadband seismometer. (online); citirano 22.3.2006.

Güralp (2006b). <http://www.guralp.net/documents/MAN-040-0001.pdf>

<http://www.Güralp.net/products/datasheets/web/DAS-040-0001.pdf>.

Havskov, J. in Alguacil, G. (2004). Instrumentation in Earthquake Seismology, letnik 22 v Modern Approaches in Geophysics. Springer.

<http://www.isc.ac.uk/IR/stationbook.html>

[http://sismic.am.ub.es/jvila/instrumentation/daqs info sheets/quanterra q730.pdf](http://sismic.am.ub.es/jvila/instrumentation/daqs%20info%20sheets/quanterra%20q730.pdf).

Krivtsov, E. P., Sinel'nikov, A. E. in Yankovskii, A. A. (1993). Supporting unified seismometry measurements. Measurement Techniques, 36(8):895– 898.

Orfeus Newsletter (2004). The Conrad observatory in Austria. (online); citirano 22.3.2006.

<http://www.orfeus-eu.org/newsletter/vol6no1/conrad.html> .

Tasič, I. (2005). Seismometer cmg-40t. Potresi v letu 2003. Agencija RS za okolje.

Tasič, I., Sinčič, P., Gostinčar, M. in Pfundner, I. (2005). Kalibracija senzorjev v državni mreži potresnih opazovalnic. Vidrih, R., ur., Potresi v letu 2003. Agencija RS za okolje.

Wielandt, E. (2002). Seismic sensors and their calibration.

RAZISKAVE IDRIJSKEGA IN RAVenskega PRELOMA Z LETALSKIM LASERSKIM SKENIRANJEM (LiDAR) INVESTIGATIONS OF IDRIJA AND RAVNE FAULTS BY AIRBORNE LASER SCANNING (LiDAR)

Andrej Gosar

Povzetek. Letalsko lasersko skeniranje površja ali LiDAR je razmeroma nova metoda daljinskega zaznavanja, s katero izdelujemo zelo podrobne digitalne modele višin z ločljivostjo nekaj metrov. Ker tudi na površju, ki ga pokriva gozd, nekaj laserskih pulzov doseže tla, lahko tudi za tako površje izdelamo model višin golega površja, česar druge metode, na primer fotogrametrija, ne omogočajo. To pa je zelo pomembno pri geomorfoloških analizah aktivnih prelomov na gozdnih območjih za študij njihovih seizmotektonskih značilnosti in pri ocenjevanju potresne nevarnosti. Metodo smo uspešno uporabili pri analizi tektonskih značilnosti Idrijskega in Ravenskega preloma v zahodni Sloveniji. Pri tem je bilo letalsko lasersko skeniranje prvič v Evropi uporabljeno za raziskavo aktivnih prelomov. Na Idrijskem prelomu smo z analizo zbranih podatkov določili območje, primerno za nadaljnje paleoseizmološke raziskave, na Ravenskem prelomu pa smo pridobili nove podatke o njegovi segmentiranosti. Oboje je pomembno za razumevanje pretekle seizmičnosti in oceno potresne zmogljivosti obeh prelomov.

Abstract. Airborne laser scanning, or LiDAR, is a relatively new method of remote sensing which is used to build very detailed digital elevation models with a resolution of a few meters. Since some laser beam pulses reach the ground even in areas covered by forest, it is also possible in this case to construct the bare ground elevation model, which is not possible with other techniques such as photogrammetry. This is very valuable in geomorphologic analyses of active faults in forested terrain, in order to study their seismotectonic characteristics and to assess the earthquake hazard. The method was successfully applied to study the tectonic characteristics of Idrija and Ravne faults in Western Slovenia. This was the first application of airborne laser scanning for the purpose of mapping active faults in Europe. On the Idrija fault, with the help of the data collected we identified the area suitable for further paleoseismological investigations and on the Ravne fault, we obtained new data about its segmentation. Both are important for understanding past seismicity and assessing the seismogenetic potential of the two faults.

Uvod

Ocenjevanje potresne nevarnosti nekega ozemlja temelji na poznavanju njegovih seizmoloških in strukturno-tektonskih značilnosti, ki jih povežemo v seizmotektonske modele. V slovenskih geoloških razmerah s številnimi prelomi, katerih potek v večjih globinah, kjer nastajajo potresi (od 5 do 20 km), praviloma ni znan, pripisovanje tudi močnejših potresov posameznim prelomom večinoma ni mogoče. Poleg slabega poznavanja globinske geološke zgradbe ozemlja je to predvsem posledica slabe natančnosti določanja žarišč potresov v preteklosti, ko je bila državna mreža potresnih opazovalnic razmeroma redka. Slaba je tudi natančnost določanja položaja zgodovinskih potresov iz obdobja pred instrumentalnim opazovanjem potresov, ki v katalogu potresov prevladujejo, saj temelji le na preučevanju učinkov potresov, opisanih v pisnih virih.

Opredelevanje potresne dejavnosti in seizmogenih značilnosti posameznih prelomov mora biti zato interdisciplinarno, torej seizmološko, geološko in geodetsko. S tako raziskavo

želimo dobiti dokaze o pretekli potresni dejavnosti, podatke o dolžini in površini posameznega preloma, ki opredeljujeta največjo možno magnitudo potresa, o hitrosti premikov ob prelomih in podobno. Vendar zbiranje geoloških podatkov na terenu s kartiranjem vzdolž prelomov v Sloveniji zelo otežuje dejstvo, da je površje večinoma prekrito s preperino in poraščeno. Delo geologa je tako omejeno na redke izdanke kamnine v grapah, cestnih usekih, kamnolomih in drugih izkopih. Zelo pomembne so tudi geomorfološke analize oblikovanosti površja, ki lahko odkrijejo pomembne obprelomne strukture. Pri tem se uporablja tudi daljinsko zaznavanje (predvsem letalski posnetki površja) in digitalni modeli višin.

Klasične metode daljinskega zaznavanja (fotogrametrija, satelitski posnetki itd.) je v tektonski geomorfologiji v zadnjih letih dopolnila nova metoda letalskega laserskega skeniranja površja ali LiDAR. Članek predstavlja to metodo in njeno uporabo pri raziskavah dveh pomembnih seizmogenih prelomov v zahodni Sloveniji.

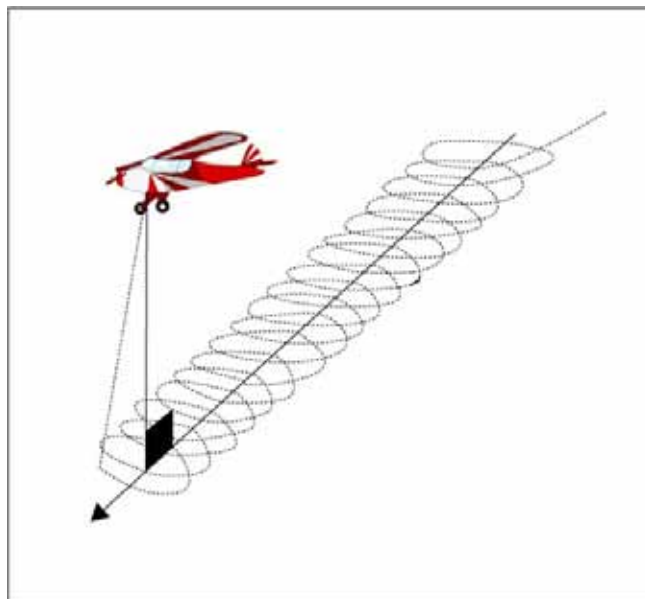
Letalsko lasersko skeniranje (LiDAR)

Lasersko skeniranje površja je relativno nova metoda, ki se je zaradi številnih odlik v nekaj letih zelo uveljavila v različnih vedah. Zanj se pogosto uporablja tudi kratica LiDAR (angl. Light Detection And Ranging), ker podobno kakor RADAR (angl. Radio Detection And Ranging), ki uporablja radijske valove za določitev položaja in oddaljenosti npr. letal in ladij, uporablja svetlobni žarek za določanje oddaljenosti do objekta, od katerega se je žarek odbil (Flood in Gutelius, 1997).

Pri LiDAR-ju je na letalu ali helikopterju laserski oddajnik, ki oddaja zelo kratke pulze (do 33.000 pulzov v sekundi), in optično-mehanska naprava, ki zelo hitro odklanja žarek prečno na smer leta, tako da vsak pulz zadane drugo točko na površju v pasu, pokritem s spiralno črto (slika 1). Poleg oddajnika se nahajata senzor z majhnim teleskopom, ki zazna odbite žarke, in ura, ki zelo natančno izmeri čas potovanja žarka od letala do tal in nazaj do letala. Z znano hitrostjo laserskega žarka pretvorimo čas potovanja v razdaljo od letala. Za določitev koordinat točk odboja laserskega žarka moramo v vsakem trenutku poznati položaj in usmerjenost merilne naprave na letalu. To je omogočil šele razvoj diferencialnih sistemov GPS in inercialnih navigacijskih sistemov, ki so vgrajeni v letalo. V eni ali dveh referenčnih točkah na tleh morajo med snemanjem potekati vzporedne meritve z sprejemniki GPS. Natančnost določitve koordinat točk odbojev, ki jo lahko na ta način dosežemo, je v navpični smeri praviloma boljša od 15 cm in v vodoravni smeri boljša od 25 cm. Relativna natančnost pa je seveda še bistveno boljša. Razdalja med točkami odboja je od manj kakor en meter do nekaj metrov.

Prvi laserski skenerji so merili le razdaljo do prve ovire, ki je odbila žarek. V gozdnih območjih je to običajno vrh drevesne krošnje. Novejši sistemi pa zaznajo večkratne odboje vsakega radarskega pulza (Oštir, 2006). Širina laserskega žarka je na površju tal namreč okoli enega metra. Del tega žarka se v gozdu lahko odbije od listja, del od vej, del pa doseže tla. Posebej pomemben je zadnji odboj, ki najbolj verjetno predstavlja površje. Za prepoznavanje

odbojev od tal se uporabljajo dokaj zapleteni algoritmi. Na podlagi nepravilno razporejenih točk odbojev nato izdelamo digitalni model višin (DMV), ki predstavlja topografijo površja s podatki o nadmorski višini v pravilni mreži.



*Slika 1. Potek letalskega laserskega skeniranja (LiDAR).
Figure 1. Principle of airborne laser scanning (LiDAR).*

Za pridobivanje podrobnih podatkov o oblikovanosti površja in izdelavo DMV se sicer uporabljata stereo letalsko fotografiranje (fotogrametrija) in radarska interferometrija, ki se snema iz satelitov. Čeprav je lasersko skeniranje zaenkrat še precej dražje od fotogrametrije, ki se seveda uporablja predsem za izdelavo topografskih kart, pa ima pri izdelavi DMV številne prednosti, kakor so večja gostota in natančnost podatkov ter preprostejša obdelava. Najpomembnejša prednost laserskega skeniranja pa je vsekakor ta, da v gozdnih območjih edino omogoča izdelavo DMV golega površja, brez vegetacijskega pokrova. Prav to pa je najpomembnejša prednost v tektonski geomorfologiji, saj omogoča odkrivanje aktivnih prelomov pod strnjenimi gozdnimi področji, o katerih pred tem ni bilo nobenih geoloških podatkov. Ena prvih uspešnih tovrstnih raziskav je bila opravljena v ameriški zvezni državi Washington (Haugerud in sod., 2003).

Lasersko skeniranje se je v zadnjih letih zelo uveljavilo v različnih vedah. V gozdarstvu ga uporabljajo za analizo vertikalne strukture gozdnih krošenj in ocene letnih prirastkov, v arheologiji za prepoznavanje arheoloških ostalin v gozdnih območjih, v elektrogospodarstvu za načrtovanje tras daljnovodov, v urbanih območjih za izdelavo 3D modelov naselij in v geomorfologiji za analize sprememb na obalnih in poplavnih območjih ter študij tektonike.

Geološke in seizmološke značilnosti Idrijskega in Ravenskega preloma

Osnovne značilnosti aktivne tektonike in potresne dejavnosti na ozemlju Slovenije so posledica trka Evropske tektonske plošče in Jadranske mikroplošče. Ta se vrti v obratni smeri urinega kazalca in na svojem severovzhodnem robu, kjer se nahaja Slovenija, povzroča napetostno polje v smeri približno sever-jug. V kenozoiku so zato nastali trije sistemi

prelomov: v zahodni Sloveniji prevladujejo desno-zmični Dinarski prelomi, ki potekajo v smeri SZ-JV, v vzhodni Sloveniji levo-zmični prelomi, ki potekajo v smeri SV-JZ, na večini ozemlja pa tudi reverzni prelomi in narivi s smeri Z-V in narivanjem proti jugu.

Med Dinarskimi prelomi v zahodni Sloveniji je najbolj izrazit Idrijski prelomni sistem, ki se razteza v dolžini več kakor 120 km od Kaninskega pogorja do Gorskega kotarja. Morfološko je prelom zelo jasno izražen v obliki ravnega poteka dolin Soče, Idrijce, Kanomljice in Zale ter robov kraških polj (Planinsko, Cerkniško, Loško), ki so nanizana ob njem. Del Idrijskega rudišča je ob prelomu premaknjen za 2 km, vendar je bil celoten premik ob prelomu v geološki zgodovini še precej večji (Buser, 1986).

Z vidika potresne nevarnosti je Idrijski prelom zanimiv predvsem zato, ker se je na njegovem širšem območju leta 1511 zgodil domnevno najmočnejši potres na ozemlju Slovenije, in sicer znani "idrijski potres", za katerega je ocenjena magnituda 6,8 in največja intenziteta X. Kljub temu, da se imenuje idrijski potres, pa njegova natančnejša lokacija ni znana, saj je Ribarič (1979) domneval, da sta bila celo dva potresa v presledku nekaj ur, eden na Idrijskem in drugi v Furlaniji. Prvi potres naj bi po slovenskih in avstrijskih virih nastal popoldne, po italijanskih in nekaterih drugih evropskih virih pa zvečer. Domnevo o dveh potresih so privzeli tudi italijanski seizmologi (Gentile in sod., 1984). Kakor je pokazal Lapajne (1988), je do tega zaključka zelo verjetno pripeljalo napačno razumevanje srednjeveških italijanskih virov, ki navajajo liturgične ure nastanka potresa med osmo in deveto, kar so seizmologi razumeli kot večerni čas. Vendar v resnici omenjene liturgične ure pomenijo popoldanski čas. Ob pravilnem razumevanju liturgičnih ur bi morala nastati dva potresa v manj kakor eni uri, kar ustreza tudi napaki določitve časa po razpoložljivih zgodovinskih virih. Novejše modeliranje na podlagi raporeditve učinkov potresov je pokazalo, da je bilo žarišče "idrijskega potresa" najverjetneje na območju Idrijskega ali Ravenskega preloma (Fitzko in sod., 2005). Drugi močnejši potres z magnitudo 5,6 se je zgodil leta 1926 na jugovzhodnem koncu preloma. Obdobje instrumentalnega opazovanja potresov je pokazalo, da je seizmičnost na območju Idrijskega preloma majhna.

Ravenski prelom poteka vzporedno z Idrijskim prelomom v dolžini 40 km od Bovške kotline prek Krnskega pogorja do Cerknega. Ravenski prelom je primer napredujočega zmičnega preloma, ki seka gorato območje z zelo izrazito topografijo, saj je največja višinska razlika površja vzdolž preloma več kakor 1400 m. Ob Ravenskem prelomu sta nastala potresa 12. aprila 1998 in 12. julija 2004, ki sta povzročila veliko škode v Zgornjem Posočju. Seizmološki podatki so pokazali, da je v obeh primerih prišlo do desnega zmika ob skoraj navpični prelomni ploskvi, vendar pretrg ni segal do površja (Zupančič in sod., 2001). Pri potresu leta 1998, ki je bil močnejši, se je aktiviral 12 km dolg odsek preloma med Bovško kotlino in izviro Tolminke v globini med 3 in 9 km (Bajc in sod., 2000). Katalog potresov kaže, da je bila potresna dejavnost na tem delu Julijskih Alp v preteklosti majhna.

Ravenski prelom je sestavljen iz več segmentov. Za oceno njegove potresne zmogljivosti (kako močan potres lahko ob njem nastane) je zato bistveno razumevanje tektonskih razmer na območjih, kjer se posamezni segmenti stikajo. Treba je namreč oceniti možnost, da ob

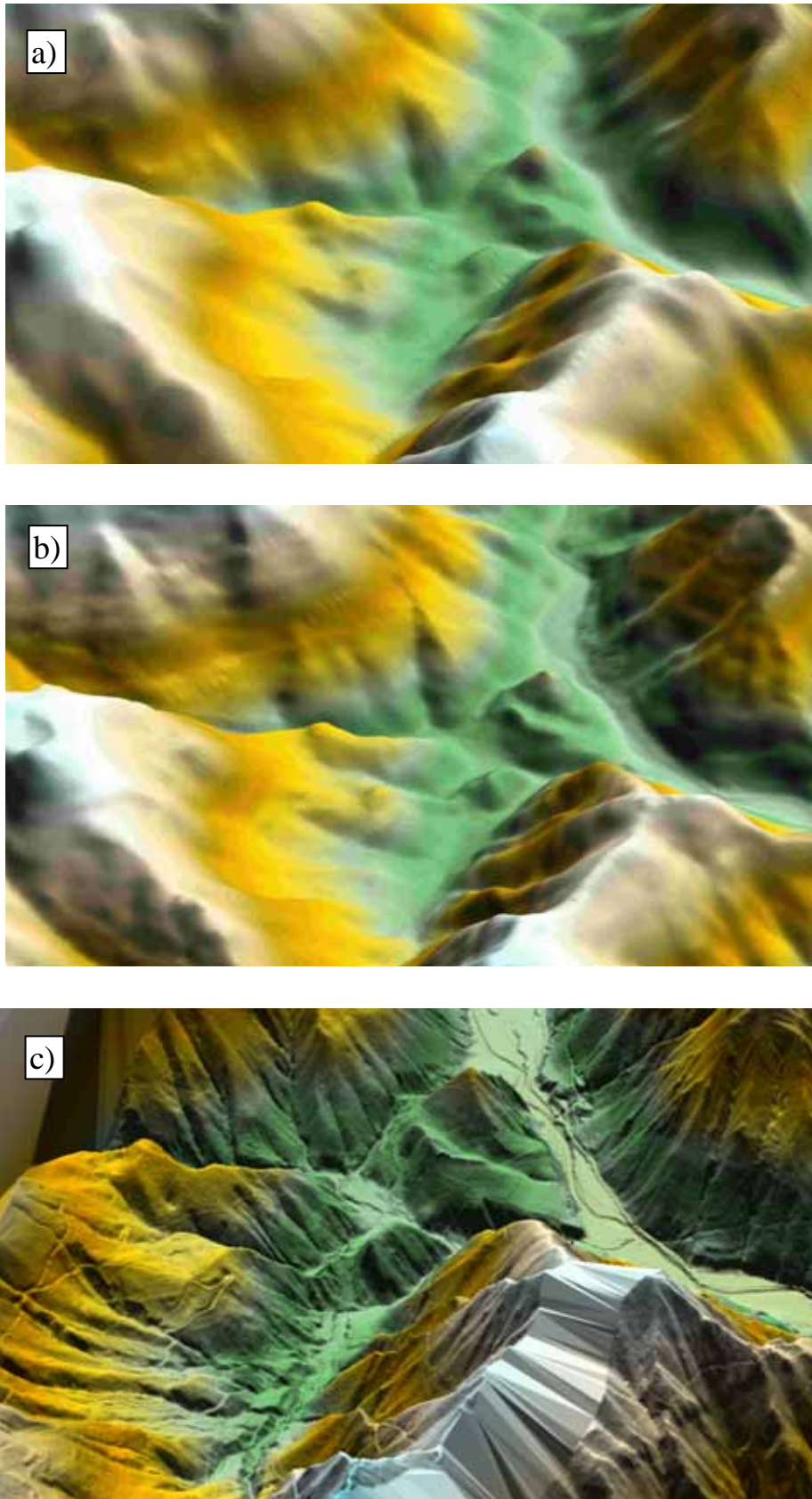
močnem potresu pride do "preskoka" pretrga med dvema sosednjima segmentoma, in poiskati morebitne pokazatelje, da se je to v geološki zgodovini preloma že kdaj zgodilo. Zato so v zadnjem času raziskave usmerjene predvsem na širše območje izvirov Tolminke (Kastelic in Cunningham, 2006), kjer se je pretrg ob potresu leta 1998 "ustavil".

Lasersko skeniranje Idrijskega in Ravenskega preloma

Priložnost za letalsko lasersko skeniranje Idrijskega in Ravenskega preloma se je ponudila ob razpisu angleške organizacije Natural Environment Research Council (NERC) za snemanja z različnimi metodami daljinskega zaznavanja na območju jugovzhodne Evrope, ki je bil objavljen jeseni 2003. S prof. Dicksonom Cunninghamom iz Univerze v Leicesteru (Velika Britanija) sva prijavila projekt, ki je bil odobren (Cunningham in sod., 2006). Po pripravljalnih delih je potekalo snemanje Idrijskega preloma v 2,2 km širokem in 23 km dolgem pasu med Slapom ob Idrijci in Idrijo v začetku maja 2004. Letalo je meritve opravilo v petih vzporednih preletih. Zaradi slabega vremena v Julijskih Alpah ni bilo možno snemanje tudi vzdolž Ravenskega preloma. Ker je prav tako zaradi slabega vremena odpadlo še več drugih snemanj v sosednjih državah, so raziskave dokončali v maju 2005. Takrat so v šestih preletih izmerili 2,4 km širok in 17 km dolg pas Ravenskega preloma med Bovško kotlino in Kneškimi Ravnami.

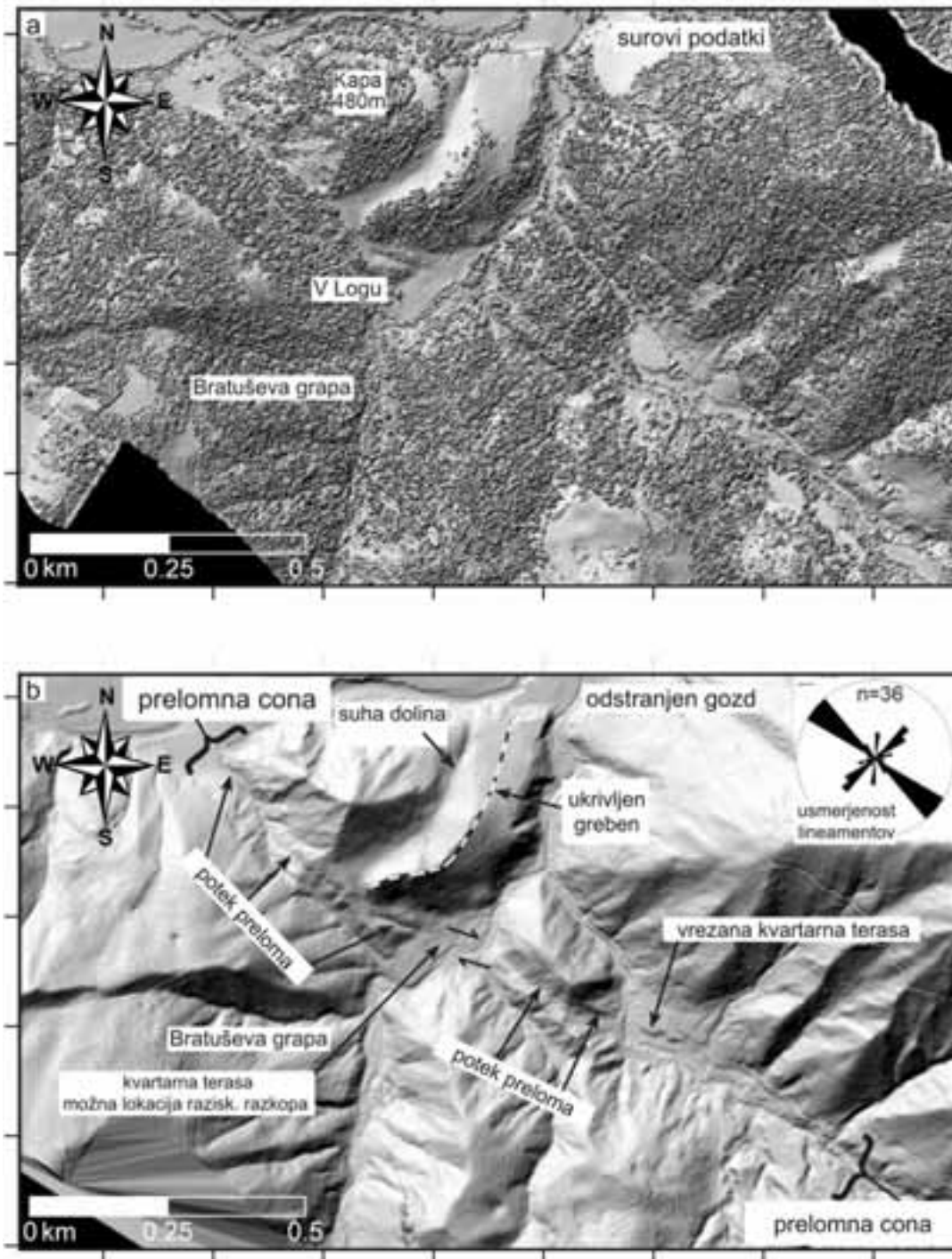
Snemanje so izvedli z letalom Piper Navajo Chieftain, ki je letelo na višini med 600 in 1000 m nad površjem, in laserskim skanerjem Optech ALTM 3033 s frekvenco žarka 33 kHz. Za potrebe obdelave podatkov so med snemanjem potekale zvezne meritve z dvema sprejemnikoma GPS na referenčnih geodetskih točkah v Bovcu in na Šentviški gori. Te meritve sta zagotovila Geodetska uprava RS in Geodetski inštitut Slovenije. Osnovno obdelavo podatkov so opravili na Univerzi v Cambridgu in kot rezultat posredovali podatke o prvem in zadnjem odboju laserskega žarka in o jakosti odboja. Povprečna gostota žarkov je bila 1,4 m in ocenjena natančnost višin boljša kakor 15 cm.

Nato so bili izdelani digitalni modeli višin (DMV) z gostoto 2 m (slika 2c) in izbrana območja za nadaljnje raziskave. Na Idrijskem prelomu smo izbrali območje Kape v Srednji Kanomlji, na Ravenskem prelomu pa območje izvira Tolminke. Ker gre za pretežno gozdna območja, kjer tudi zadnji odboj pogosto ne predstavlja površja (slika 3a), smo uporabili poseben algoritem podjetja TerraSolid, ki omogoča izračun modela površja na podlagi znanih odbojev od tal (Cunningham in sod., 2006). Na ta način smo uspešno odstranili gozd (slika 3b), ne da bi pri tem izgubili topografske podrobnosti golega površja, ki so ključne za geomorfološko analizo. Kakšne podrobnosti v oblikovanosti površja so vidne v digitalnih modelih višin različnih ločljivosti kažejo primerjave prikazov območja Kape v Srednji Kanomlji na slikah 2a, 2b in 2c. Slika 2a kaže 25-metrski, slika 2b 12,5-metrski DMV Geodetske uprave RS, na sliki 2c pa je 2-metrski DMV iz laserskega skeniranja. Šele zadnji prikaže vse podrobnosti, kot so gozdne ceste, grape in rečne terase. Pri laserskem skeniranju se pri bolj razgibanem reliefu včasih zgodi, da del območja med dvema vzporednima preletoma ostane nepokrit. Takšno območje je vidno na grebenu v ospredju slike 2c.



Slika 2. 3D prikaz območja Idrijskega preloma pri Kapi in Srednji Kanomlji s tremi digitalnimi modeli višin različne ločljivosti: a) 25 m, b) 12,5 m, c) 2 m (LiDAR).

Figure 2. 3D view of the Idrija fault area near Kapa in the Srednja Kanomlja region with three digital elevation models of different resolution: a) 25 m, b) 12.5 m, c) 2 m (LiDAR).



Slika 3. Senčen relief dela Idrijskega preloma: a) surovi podatki laserskega snemanja in b) golo površje po uporabi algoritma za odstranitev gozda, s strukturno-tektonskim vrednotenjem prelomne cone.

Figure 3. Shaded relief map of Idrija fault segment: a) raw laser scanning data and b) bare ground after application of algorithm for removal of trees; the structural-tectonic interpretation of fault zone is shown.

Idrijski prelom

V nadaljevanju so predstavljeni rezultati analize za območje Kape na Idrijskem prelomu. Po odstranitvi dreves so se na senčenem DMV jasno pokazale strukture v okoli 200 m široki

prelomni coni Idrijskega preloma (slika 3b). Znotraj te cone je vidnih več lineamentov, ki so po vnosu v diagram (slika 3b desno zgoraj) pokazali dve glavni smeri. Pričakovano je prevladujoča smer SZ-JV (dinarska smer) in podrejena smer SV-JZ (prečnodinarska smer) (Cunningham in sod., 2006). Na obravnavanem območju (slika 3b) so bili ugotovljeni naslednji geomorfološki pokazatelji, ki kažejo na tektonsko aktivnost Idrijskega preloma v najmlajšem geološkem obdobju:

- dvojni desni zmik struge potoka Bratuševa grapa za nekaj deset metrov,
- s prelomom prekinjena rečna terasa,
- potok, vrezan v kvartarno rečno teraso,
- zapleten drenažni vzorec,
- "suha" dolina, odrezana od aktivne rečne mreže,
- greben, ukrivljen zaradi desnega znika in rotacije blokov ob prelomu.

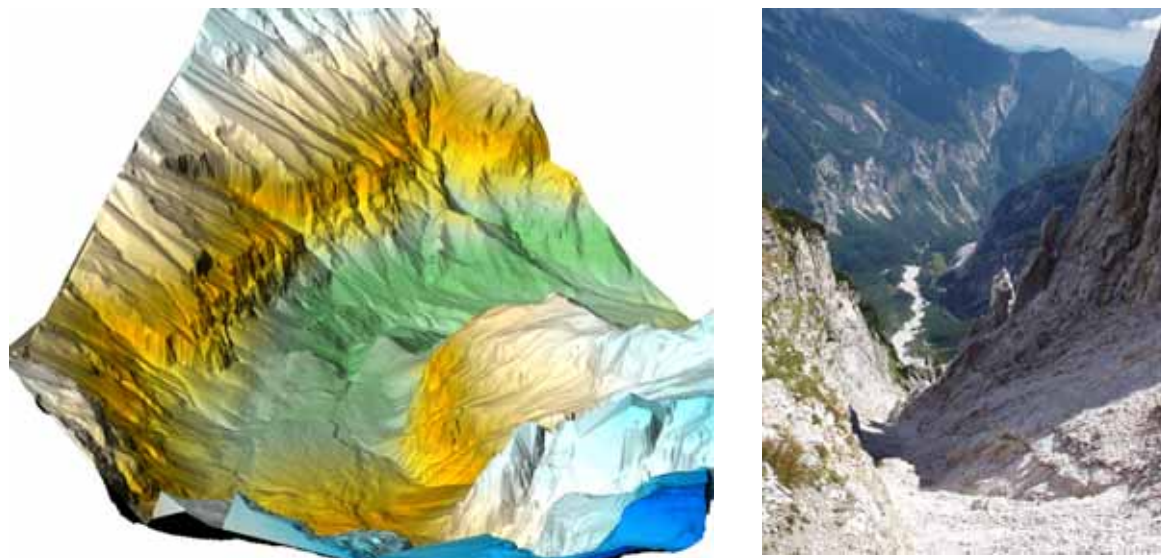
Geomorfološka analiza preloma, ki poteka tu nekoliko ukrivljeno, kaže, da je Idrijski prelom na tem delu segmentiran in da strmo vpada proti severovzhodu. Prelom na tem območju tudi nekoliko spremeni svojo splošno smer, kar pomeni, da lahko poleg vodoravnega znika pričakujemo ob njem tudi narivne strukture.

Eden od ciljev geomorfološke analize podatkov laserskega skeniranja je tudi določiti območja, primerna za nadaljnje paleoseizmološke raziskave. Na posnetem območju Idrijskega preloma smo kot najprimernejšo izbrali kvartarno rečno teraso V Logu, južno od hriba Kapa (slika 3). Rahla upognjenost te terase, ki se pokaže pri ustreznem osenčenju digitalnega modela višin, kaže na možnost, da je v preteklosti prišlo ob prelomu do njenega pretrga, ki pa ga je erozija pozneje izravnala. Območje tega upogiba se ujema z območjem desnega znika potoka Bratuševe grape. Predlagamo paleoseizmološke raziskave (Gosar, 2004), ki bodo obsegale podrobno strukturno-geološko kartiranje prelomne cone, visokoločljive geofizikalne raziskave (električna tomografija, refrakcijska in refleksijska seizmika). Če bodo te raziskave pokazale, da so kvartarne plasti na obeh straneh preloma premaknjene, bo izkopen nekaj metrov globok in okoli 100 m dolg raziskovalni jarek, v katerem bomo podrobno analizirali in dokumentirali morebitne sledi preteklih močnih potresov in z različnimi metodami datiranja opredelili, kdaj so se zgodili. Pri takšnih paleoseizmoloških raziskavah je v Evropi ustaljena praksa, da se v okviru mednarodnih projektov vključi v analize najboljše strokovnjake za posamezna raziskovalna področja. Ker je izdelava paleoseizmološkega izkopa zelo draga, je namreč treba zagotoviti, da se takšna enkratna raziskovalna priložnost izkoristi v najboljši možni meri.

Ravenski prelom

Na Ravenskem prelomu so bile analize podatkov laserskega skeniranja usmerjene predvsem na območje izvirov Tolminke (slika 4), kjer je zelo podroben digitalen model višin golega površja omogočil osvetliti zapletene odnose med tektonskimi procesi, sedimentacijo in erozijo (Cunningham in sod., 2006). Ravenski prelom je primer segmentiranega zmičnega preloma, ki se na območju izvirov Tolminke razcepi v več vej. Med njimi je ob sicer desnozmičnem prelomu prišlo do raztezanja (transtenzija), ki je povzročilo nastanek

sedimentacijskega bazena. Analiza je pokazala, da dva segmenta glavnega poteka Ravenskega preloma na tem območju nista v stiku in sta medseboj razmaknjena za okoli 300 m (Kastelic in Cunningham, 2006). Ugotovljena segmentacija na površju sega verjetno precej globoko, saj tudi seizmološki podatki kažejo, da je ob potresu 12 aprila 1998 pretrg v globini segal le do območja izvirov Tolminke, naprej proti jugovzhodu pa ne.



Slika 4. Ravenski prelom na območju izvirov Tolminke (pogled proti jugovzhodu) na 3D prikazu digitalnega modela višin iz podatkov LiDAR (levo) in na fotografiji (desno).

Figure 4. Ravne fault in the area of Tolminka springs (view towards south-east) on a 3D view of a digital elevation model from LiDAR data (left) and on a photograph (right).

Zaključek

Letalsko lasersko skeniranje površja (LiDAR) omogoča izdelavo zelo podrobnih digitalnih modelov višin golega površja, kar je zelo pomembno pri geomorfoloških strukturno-tektonskih analizah. Metoda je bila uspešno uporabljena pri analizi tektonskih značilnosti dveh odsekov Idrijskega in Ravenskega preloma v zahodni Sloveniji. Pri tem je bilo letalsko lasersko skeniranje prvič v Evropi uporabljeno za raziskavo aktivnih prelomov. Na Idrijskem prelomu smo z analizo zbranih podatkov določili primerno območje za nadaljnje paleoseizmološke raziskave, na Ravenskem prelomu pa pridobili nove podatke o njegovi segmentiranosti. Oboje je pomembno za študij pretekle seizmičnosti in oceno potresne zmogljivosti obeh prelomov.

Zahvala

Med letalskim laserskim skeniranjem sta talne meritve z sprejemniki GPS zagotovila Geodetska uprava RS in Geodetski inštitut Slovenije. Obema hvala za sodelovanje.

Literatura

Bajc, J., Aoudia, A., Sarao, A., Suhadolc, P. 2000: The 1998 Bovec-Krn mountain (Slovenia) earthquake sequence. *Geophys. Res. Lett.*, 28, 1839-1842.

Buser, S. 1986: Osnovna geološka karta 1 : 100.000, list Tolmin in Videm; tolmač. Zvezni geološki zavod, 103 str.

- Cunningham, D., Grebby, S., Tansey, K., Gosar, A., Kastelic, V. 2006: Application of airborne LiDAR to mapping seismogenic faults in forested mountainous terrain, SE Alps, Slovenia. *Geophys. Res. Lett.*, 33, L20308, 5 str.
- Fitzko, F., Suhadolc, P., Aoudia, A., Panza, G.F. 2005: Constraints on the location and mechanism of the 1511 Western Slovenia earthquake from active tectonics and modeling of macroseismic data, *Tectonophysics*, 404, 77-90.
- Flood, M., Gutelius, B. 1997: Commercial implication of topographic terrain mapping using scanning airborne laser radar. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 63, 327-329.
- Gentile, G.F., Renner, G., Riggio, A.M., Slejko, D., Zacchigna, M. 1984: Il terremoto del 26 marzo 1511 nelle Alpi orientali. V: Finalita ed esperienza della rete sismometrica del Friuli – Venezia Giulia, Trst.
- Gosar, A. 2004: Paleoseizmologija – izziv pri ocenjevanju potresne nevarnosti v Sloveniji. *Ujma*, 17-18, 257-264.
- Haugerud, R., Harding, D.J., Johnson, S.Y., Harless, J.L., Weaver, C.S., Sherrod, B.L. 2003: High-resolution Lidar topography of the Puget Lowland, Washington – a bonanza for earth science, *GSA Today*, 13, 4-10.
- Kastelic, V., Cunningham, D. 2006: Multi-disciplinary investigation of active strike-slip fault propagation in the Julian Alps: The Ravne fault, NW Slovenia, *Geophysical Research Abstracts*, 8, 05018.
- Lapajne, J. 1988: Veliki potresi na Slovenskem — II. *Ujma* 2, 70-74.
- Oštir, K., 2006: Daljunsko zaznavanje. Založba ZRC, 250 str.
- Ribarič, V. 1979: The Idrija earthquake on March 26, 1611 – a reconstruction of some seismological parameters. *Tectonophysics*, 53, 315-324.
- Zupančič, P., Cecić, I., Gosar, A., Placer, L., Poljak, M., Živčić, M. 2001: The earthquake of 12 April 1998 in the Krn Mountains (Upper Soča valley, Slovenia) and its seismotectonic characteristics. *Geologija*, 44, 169-192.

POTRESI NA ILIRSKOBISTRISKEM EARTHQUAKES IN ILIRSKA BISTRICA REGION

Renato Vidrih, Matjaž Godec

Povzetek. Potresi na ilirskobistriškem nas vedno znova opozarjajo na potresno dejavnost tega območja. Po potresni zgodovini in sproščeni seizmični energiji spada to območje med aktivnejše predele Slovenije. Več potresne energije se je v preteklosti sprostil le na idrijskem, ljubljanskem in krško brežiškem območju ter v zadnjem času v zg. Posočju. Sreča v nesreči je dejstvo, da so potresna žarišča razmeroma globoka – večinoma so žarišča globlja od 10 km – zato so učinki potresov na površini manjši kot bi bili v primeru plitvih žarišč. Pa vendar je potrebno na ilirskobistriškem s potresi računati tudi v prihodnje, zato je treba biti nanje pripravljen, predvsem s potresno odporno gradnjo. Članek pojasnjuje glavne razloge za nastanek potresov, pregled zgodovinskih dogajanj, natančnejši opis zadnjih močnejših potresov (leta 1956, 1995, 1998 in 2005) in obravnava poškodb na gradbenih objektih.

Abstract. Earthquakes in Ilirska Bistrica once again highlights the seismic activity of this region. In terms of earthquake history and released seismic energy, this region is among the most active in Slovenia. Only in the Idrija, Ljubljana, Krško-Brežice regions, and recently Upper Posočje, more earthquake energy released in the past. The good fortune in ill is that the earthquakes epicentres are relatively deep – for the most part more than 10 km – so the surface impact is less than would be in the case with a shallow epicentre. However, earthquakes in Ilirska Bistrica have to be taken into account in the future, too, so it is necessary to be prepared for them, mainly with earthquake resistant construction. The article explains the main reasons for the occurrence of earthquakes, a review of historical events, a more exact description of some recent powerful earthquakes (in 1956, 1995, 1998 and 2005) and discusses damage to buildings.

Uvod

Potresno dejavnost tega območja, kakor tudi nastanek zadnjega potresa lahko pripišemo dokaj zapleteni geološki zgradbi, saj je širše nadžariščno območje zgrajeno iz več geotektonskih enot. Širše območje Ilirske Bistrice, skupaj s Snežniškim pogorjem uvrščamo med potresno najdejavnejša območja v Sloveniji. V potresni zgodovini je tu zabeleženo več kot 250 potresov, katerih intenziteta je preseгла III. stopnjo po EMS (Ribarič, 1982). Večina potresnih žarišč je nastajala ob dinarskih strukturah, ki se vlečejo v smeri severozahod – jugovzhod, severno in južno od Ilirske Bistrice, pa tudi vzhodno od nje pod Snežniškim pogorjem. Na potresni karti Slovenije vidimo, da lahko na območju Ilirske Bistrice pričakujemo potrese do VIII. stopnje po EMS lestvici, kar pomeni, da lahko povzročajo hujše poškodbe in celo porušitve slabo zgrajenih objektov.

Geološka zgradba širšega območja

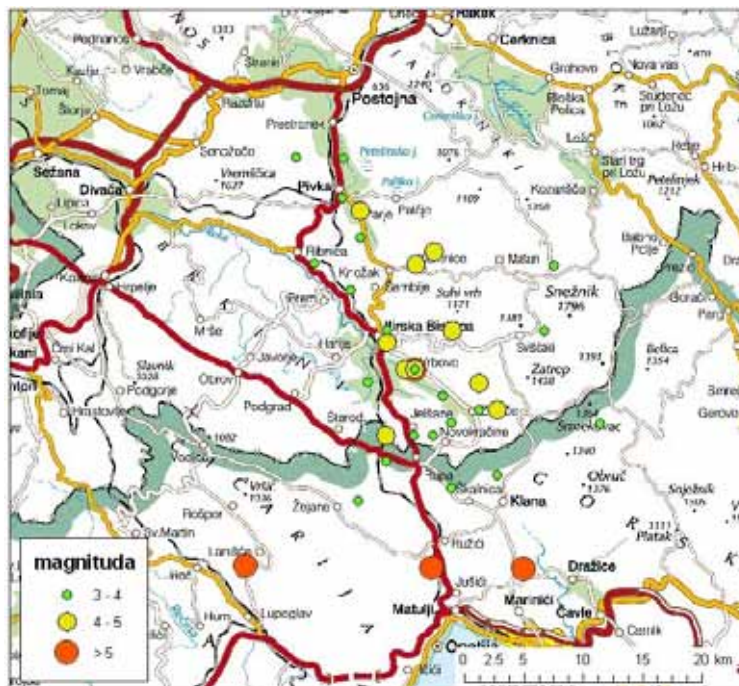
Potresno dejavnost tega območja (slika 1 in slika 2), kakor tudi nastanek zadnjega potresa dne 24. 4. 2005, lahko pripišemo dokaj zapleteni geološki zgradbi, saj je širše nadžariščno območje zgrajeno iz več geotektonskih enot. Severovzhodni del nadžariščnega območja gradi nariv Snežniškega pogorja, na obrobju katerega je nastal tudi zadnji potres. Plasti apnenca so narinjene na terciarni bazen Brkinov, ki predstavlja osrednji del pokrajine. Na jugozahodu ozemlja pa je geotektonska enota Čičarije, ki je zgrajena iz kredno paleogenskih sedimentov.

Tržaško - komenska planota sega na ilirskobistriško območje le s svojim skrajnim jugovzhodnim delom. Večji del nadžarišnega ozemlja gradijo karbonatne kamnine, ki proti jugozahodu, v predelu Brkinov preidejo v flišne sedimente. V seizmogeološkem smislu so flišna tla mnogo slabša od karbonatnih. Na njih se lahko učinki potresa povečajo. Še bolj pa se lahko učinki povečajo v predelih, ki jih gradijo rečne naplavine. Teh je največ prav na območju mesta Ilirske Bistrice. Poškodbe ob potresih 22. maja leta 1995 in 24. aprila 2005 so to trditev dokazale in potrdile oceno ogroženosti Ilirske Bistrice, ki je bila narejena že leta 1986, med prvimi v Sloveniji (Ribarič in drugi, 1986). Sledi kratek geološki opis posameznih geotektonskih enot (Šikić in Pleničar, 1975).

Slika 1. Magnitude potresov na širšem območju Ilirske Bistrice.

Upoštevani so potresi, ki so dosegli ali presegli magnitudo 3,0 (Avtorica: B. Šket Motnikar).

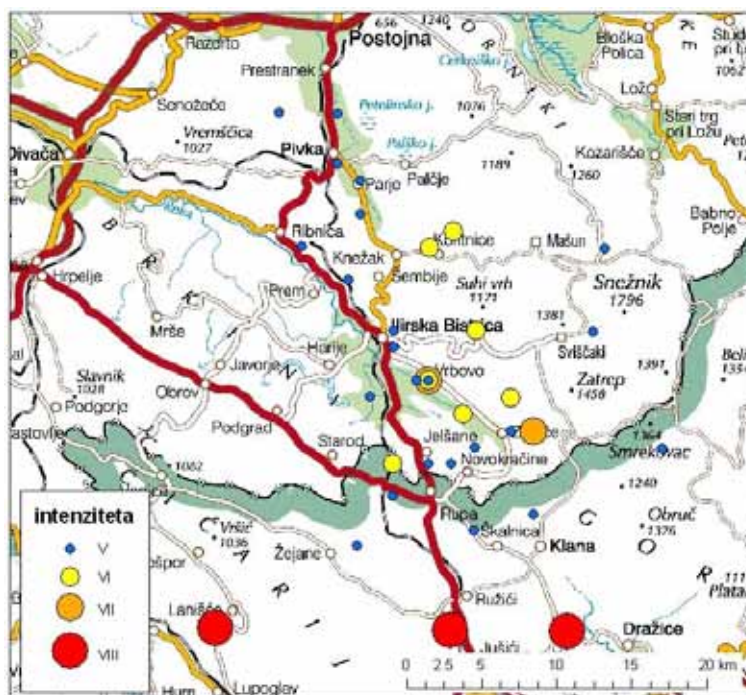
Figure 1. Magnitude of earthquakes in the wider Ilirska Bistrica region. Earthquakes that achieved or exceeded a magnitude of 3.0 are given (Author: B. Šket Motnikar).



Slika 2. Intenzitete potresov na širšem območju Ilirske Bistrice.

Upoštevani so potresi, ki so dosegli ali presegli intenziteto V. stopnje po EMS lestvici (evropska potresna lestvica) (Avtorica: B. Šket Motnikar).

Figure 2. Intensity of earthquakes in the wider Ilirska Bistrica region. Earthquakes that achieved or exceeded a magnitude of level V on the EMS (European Macroseismic Scale) scale are given (Author: B. Šket Motnikar).



Nariv Snežnika je zgrajen predvsem iz jurskih in krednih skladov. Apnenci so narinjeni na Brkinsko sinklinalo. Lep dokaz za ta nariv sta tektonski okni pri Knežaku in Zagorju, kjer izpod apnenca vidimo flišne plasti.

Brkini predstavljajo bazen, kjer so se skozi vse obdobje terciarja usedali sedimenti. Sinklinalna zgradba je precej deformirana z mlajšimi prelomi. Na terenu prelomom težko sledimo. Prevladujejo prelomi s smerjo severozahod - jugovzhod in zahod - vzhod, ponekod v jugozahodnem delu Brkinske sinklinala pa so prelomi v smeri sever - jug.

Čičarija je zgrajena iz kredno - paleogenskih plasti, ki se vlečejo med Brkinsko sinklinalo in Pazinskim bazenom. Območju Ilirske Bistrice pripada predvsem dvignjeno območje Poljane pri Podgradu, ki je zgrajeno iz krednih plasti. Plasti so se dvignile ob sistemu vzporednih prelomov, ki se razprostirajo v smeri severozahod - jugovzhod.

Tržaško – komenska planota za območje Ilirske Bistrice ni tako pomembna, saj sega na to območje le njen neznaten del. Zgrajena je pretežno iz krednih apnencev.

Seizmogeološke značilnosti ozemlja

Ozemlje občine Ilirska Bistrica in okolice gradijo predvsem karbonatne in flišne kamnine. Seizmogeološki pogoji so pri karbonatnih kamninah ugodni, za flišne pa manj ugodni do neugodni. Karbonatne kamnine gradijo nariv Snežnika in severovzhodni del Čičarije, fliš pa gradi celotni brkinski del ozemlja. Še posebej so neugodni aluvijalni nanosi, ki zavzemajo največjo površino ob toku reke Reke prav na območju Ilirske Bistrice med Trnovim in Kozzami in se vlečejo do Zabič. Učinki zadnjih potresov so bili prav v tem delu največji. Na povečanje intenzitete potresov zaradi različnih seizmogeoloških učinkov opozarjajo naslednje lastnosti tal (Ribarič in drugi, 1986):

Hidrogeološke značilnosti

Med pomembnejšimi seizmogeološkimi karakteristikami tal so hidrogeološki pogoji. Ti vplivajo na potresne učinke, saj se lahko le ti povečajo v slabih tleh, kjer je nivo podtalnice plitev.

Ker gradita območje Ilirske Bistrice predvsem dva zelo različna tipa kamnin, se tudi voda v njih pojavlja različno. Karbonatne kamnine so večinoma brez površinskih vod, medtem ko tvori fliš nepropustno podlago. Obstojajo le redki izviri v Brkinski sinklinali (izvir Pivke, Reke in Rječine) ter v okolici Ilirske Bistrice. Tudi v lapornatih kamninah so le redki izviri (izviri Knežaka in Zagorja v Snežniku). Le delno prepustni so debeli skladi dolomitov v Čičariji in Snežniku, kjer je samo izvir Trstenik vzhodno od Gomancev. V bližini Podgrada je suha dolina, ki kaže, da so se pleistocenske površinske vode pogreznile v večje globine.

Splošna ocena glede na inženirsko geološke značilnosti kamnine kaže, da so karbonatne kamnine ugodne za gradnjo, ker pri njih večinoma ne prihaja do drsenj, neugodna pa so območja, kjer prihaja do kontakta kraških terenov in fliša. Tu nastajajo pobočni grušč

(obronki Snežnika, Čičarija), obstaja tudi nevarnost drsenj in odlamljanj večjih kosov kamnine. Ponekod so tudi močvirnati predeli, ki vsekakor niso ugodni za gradnjo.

Druge seizmogeološke razmere lahko opišemo z nekaj parametri, ki različno vplivajo na učinke potresa.

Nagib površja terena

Nagibi so pomembni zaradi možne sprožitve plazov. V karbonatnih kamninah je manj nevarnosti, da pride do plazov, pa tudi nagibi terena so ponavadi dovolj majhni in je zato nevarnost manjša. Drugačne so razmere v flišu, kjer lahko pride do plazov, predvsem tam, kjer so nagibi večji od 15 stopinj. Taki primeri so ponekod v Brkinih.

Stabilnost terena

V občini Ilirska Bistrica in okolici so pretežno stabilni tereni, kar pomeni, da jih potresna nihanja ne morejo spremeniti. Ponekod v flišu Brkinov so razmere pogojno stabilne in tam lahko pride zaradi potresnega nihanja do spremembe ravnotežnega stanja zemljine.

Nosilnost terena

Različne kamnine imajo različno nosilnost. Nosilnost karbonatnih kamnin je velika, zato so pogoji za temeljenje na takih tleh ugodni. Temeljenje v flišu je zahtevnejše in terja ustrezno izbiro načina temeljenja.

Tektonska poškodovanost

Ozemlje jugozahodne Slovenije je razkosano s številnimi prelomi, ki jih glede na starost nastajanja delimo v štiri glavne skupine. Najstarejši imajo smer razširjanja vzhod - zahod, sledijo jim prelomi, ki so nastajali istočasno z glavnimi gubanji alpidskega gorotvornega ciklusa in imajo smer severozahod - jugovzhod. Pravokotno na te potekajo mlajši neotektonski prelomi s smerjo razširjanja severovzhod - jugozahod. Najmlajši prelomi pa imajo smer sever - jug. Na ilirskobistriškem prevladujejo prelomi s smerjo razširjanja severozahod - jugovzhod, sledijo pa jim prelomi s smerjo sever - jug. Na tem ozemlju je pomemben tudi nariv snežniškega pogorja na flišne plasti Brkinov. Nad Ilirsko Bistrico je lepo viden skalni rob, ki predstavlja čelo nariva. Tektonska poškodovanost terenov na območju Ilirske Bistrice je zaradi številnih prelomov, ki sekajo to ozemlje, velika in zmanjšuje ugodnost seizmogeoloških pogojev.

Karta potresne mikrorajonizacije

Leta 1986 smo na tedanjem Seizmološkem zavodu R Slovenije, danes Uradu za seizmologijo in geologijo Agencije RS za okolje izdelali elaborat "Potresna ogroženost Ilirske Bistrice" (Ribarič in drugi, 1986). Priložena mu je bila tudi karta potresne mikrorajonizacije, ki opredeljuje možnost povečanja potresne intenzitete na posameznih območjih. Narejena je bila za potrebe civilne zaščite na podlagi karte za povratno dobo potresov 500 let, ki za ilirskobistriško območje ocenjuje možnost nastajanja potresov do VIII. stopnje po EMS

lestvici. Čeprav so bili potresi v letih 1995 in 2005 šibkejši, je zanimiva primerjava njihovih učinkov. Na izseku karte vidimo, da so bili največji učinki potresov v pasu, ki je označen z VIII₃, v širši okolici pa so bili učinki manjši. Ta del gradijo kamnine, ki predstavljajo slabo seizmogeološko podlago, zgrajeno iz pliocenskih glin, peskov, ponekod z vključki premogov. Le nekoliko boljšo podlago predstavljajo eocenski sedimenti in morene z oznako VIII₂. Najboljši sedimenti na širšem območju Ilirske Bistrice pa so apnenci in dolomiti, kjer so največji možni učinki ocenjeni na VII. stopnjo po EMS lestvici. Ob zadnjih potresih se je ocena tal pokazala za pravilno, čeprav so bili potresi leta 1995 in 2005 bistveno šibkejši od največjih pričakovanih. To kaže na pomen predhodnih raziskav posameznih območij, saj ob upoštevanju potresne mikrorajonizacije in pravilne gradnje do poškodb ob tovrstnih potresih sploh ne bi smelo priti (Ribarič in drugi, 1986 ter Vidrih, Godec in Lapajne, 1991).

Dosedanja potresna aktivnost

Širše območje Ilirske Bistrice, skupaj s Snežniškim pogorjem uvrščamo med potresno najdejavnejša območja v Sloveniji. V potresni zgodovini je tu nastalo več kot 250 potresov, katerih intenziteta je presegla III. stopnjo po EMS (slika 2). Večina potresnih žarišč je nastajala ob dinarskih strukturah, ki se vlečejo v smeri severozahod – jugovzhod, severno in južno od Ilirske Bistrice, pa tudi vzhodno od nje pod Snežniškim pogorjem. Verjetno bo marsikdo presenečen ob ugotovitvi, da je bilo na širšem območju Ilirske Bistrice v 20. stol. deset potresov, ki so dosegli ali celo presegli VI. stopnjo po EMS lestvici, kar pomeni, da so lahko povzročili manjšo, ponekod celo večjo gmotno škodo (preglednica 1).

leto	mesec	dan	ura	min	sek	lat °N	long °E	globina (km)	intenziteta lo	magnituda M
1574	8	14	0	0	0	45,4	14,1	0	VIII	5,2
1802	1	3	6	30	0	45,4	14,3	0	VIII	5,2
1870	3	1	19	57	0	45,4	14,4	0	VIII	5,2
1913	5	20	16	15	9	45,52	14,37	7	VII	4,7
1956	1	31	2	25	29	45,55	14,28	7	VII	5,1
1902	1	10	19	40	0	45,67	14,22	13	V-VI	4,3
1908	3	1	14	1	0	45,68	14,20	3	V-VI	3,1
1914	2	11	0	22	43	45,63	14,17	17	V-VI	4,0
1975	5	16	19	41	21,6	45,51	14,32	14	V-VI	3,7
1923	10	18	0	55	0	45,50	14,25	10	VI	4,2
1956	2	3	13	42	16	45,55	14,28	8	VI	4,1
1956	3	8	11	3	30	45,55	14,28	8	VI	3,8
1960	2	17	15	32	50	45,58	14,32	14	VI	4,6
1964	3	18	16	43	20,6	45,54	14,35	14	VI	4,9
1976	9	19	14	52	21,1	45,53	14,31	10	VI	3,4
1995	5	22	11	16	54,1	45,63	14,28	17	VI	4,4
1995	5	22	12	50	31,9	45,64	14,30	15	VI	4,7
1857	10	19	12	0	0	45,57	14,25	20	V	4,3
1903	8	22	15	50	0	45,65	14,22	6	V	3,3

leto	mesec	dan	ura	min	sek	lat °N	long °E	globina (km)	intenziteta lo	magnituda M
1909	10	28	2	42	23	45,50	14,30	6	V	3,3
1933	2	19	23	16	0	45,58	14,25	10	V	3,7
1956	1	31	3	1	6	45,55	14,28	10	V	3,7
1956	1	31	3	58	17	45,55	14,28	10	V	3,7
1957	6	23	2	13	10	45,52	14,35	5	V	3,7
1957	9	1	17	53	24	45,50	14,28	2	V	3,0
1967	7	20	16	20	2	45,55	14,27	8	V	4,3
1967	9	5	11	37	4	45,58	14,42	8	V	3,4
1967	11	3	13	20	33	45,63	14,43	7	V	4,0
1973	10	5	11	30	52,7	45,48	14,25	7	V	3,3
1978	11	9	0	30	0	45,71	14,20	10	V	3,5
1979	4	18	0	48	49	45,54	14,23	10	V	3,8
1984	1	16	1	19	56,6	45,51	14,48	10	V	3,5
1984	6	18	0	13	44	45,71	14,15	11	V	3,9
1984	10	25	13	58	53	45,45	14,22	12	V	3,9
1986	10	16	0	44	59	45,46	14,32		V	3,7
1989	11	19	23	10	38	45,61	14,21	10	V	3,8
1993	11	28	10	29	10,9	45,47	14,37	8	V	3,2
1998	3	13	15	14	56,7	45,60	14,25	14	V	4,2
2005	4	24	18	34	00,1	45,55	14,27	13	V	3,9

Preglednica 1. Potresna zgodovina ilirskobistriškega območja. V preglednici so podani potresi, ki so zajeli širše območje Ilirske Bistrice (slika 1 in slika 2) in so dosegli ali presegle V. stopnjo po EMS lestvici. Razporejeni so po največjih intenzitetah, časi pa so podani v svetovnem času (UTC).

Table 1. Earthquake history of the Ilirska Bistrica region. The table shows earthquakes that embraced the wider region of Ilirska Bistrica (Figures 1 and 2) and achieved or exceeded level V on the EMS scale. They are distributed by maximum intensity, and times are given in world time (UTC).

Vir seizmoloških podatkov je poenoten katalog potresov Slovenije in sosednjih dežel [Ribarič, 1982, 1992, 1994; Živčič, 1992, 2000], ki je bil zadnjič dopolnjen leta 2006 (Živčič, interna dokumentacija).

V nadaljevanju podajmo opise za najmočnejše potrese v prejšnjem stoletju, ki se jih spominjo še številni občani in ki so pravzaprav povzročali približno enake učinke na enako zgrajenih objektih. Iz tega se lahko marsikaj naučimo!

Potres leta 1956

V znani potresni zgodovini tega območja pa so bili najmočnejši potresi leta 1574, 1802 in 1870, ki so dosegli učinke VIII. stopnje po EMS lestvici. Ker se verjetno še marsikateri prebivalec krajev na ilirskobistriškem spominja potresa leta 1956, obudimo spomin z nekaj

osnovnimi podatki in opisom posledic, ki jih je povzročil potres in so bili opisani v takratnem obdobju. Najmočnejši potres v prejšnjem stoletju je bil 31. januarja 1956 ob 2. uri in 25 minut UTC (svetovni čas) z magnitudo 5,1 in največjimi učinki VII. stopnje po EMS lestvici (slika 3). Žarišče je nastalo v globini okoli 7 km. Podobne moči je bil tudi potres leta 1913, vendar je o njemu na voljo le malo podatkov. Potres leta 1956 so prebivalci slišali kot zamolklo bobnenje z vzhodne strani (Snežniško pogorje), nato je sledil močan sunek. Potres je povzročil večjo gmotno škodo, saj je bilo v Ilirski Bistrici poškodovanih 60 % objektov, od tega 30 % huje. Nekatere hiše so bile tako poškodovane, da jih je bilo težko popraviti. V glavnih zidovih so bile velike in globoke razpoke, vogali premaknjeni, stropi "razrešetani", čelni zidovi so se nagnili navzven, v zgornjih delih do 15 cm, ali pa so se v spodnjih delih trebušasto vzbočili. Stare hiše so bile večinoma zgrajene iz kamna, ki je bil med seboj slabo povezan z malto. Hiše so bile brez horizontalnih povezav. Zidne vezi, ki jim domačini pravijo "arpeži", so narejene tako, da so v lesene stropnike zabita ploščata železa, ki so podaljšana skozi zid in sidrana na zunanji strani zidu. Pri potresnih sunkih je bila porušena slaba vezava v zidovih, le-ti so se vzbočili, zato so se zidovi nagnili navzven.



Slika 3. Ob potresu 31. januarja 1956 z magnitudo 5,1 in največjimi učinki VII. stopnje po EMS lestvici so nastale številne poškodbe (arhiv Urada za seizmologijo in geologijo).

Figure 3. A great deal of damage occurred during the earthquake of 31 January 1956, with a magnitude of 5.1 and maximum intensity of level VII on the EMS scale, (archive of the Seismology and Geology Office).

Opis takratnih dogajanj, predvsem opis posledic nekvalitetne gradnje, je še kako pomemben za današnje stanje, saj je večina starejših hiš ostala enaka. Že takrat so strokovnjaki ugotovili, da so armiranobetonski venci ali železne zidne vezi odločilnega pomena za odpornost stavb proti potresom, kombinirane armiranobetonske-opečnate konstrukcije pa v potresnih območjih niso primerne.

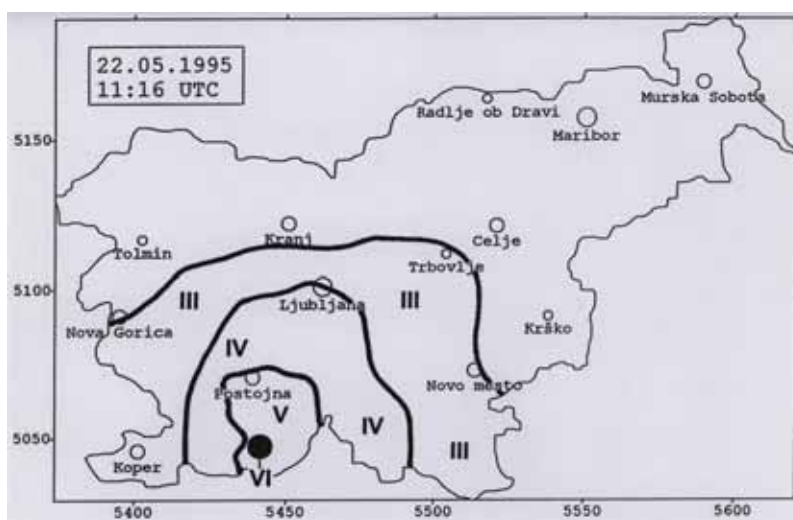
Kot zanimivost naj navedemo, da je bil ob potresu 31. januarja 1956 poškodovan eden najlepših kapnikov v Postojnski jami, 8-metrski stalagmit pri bazenu s človeškimi ribicami. Še en dokaz, kako močan je bil ta potres in kako daleč so segali njegovi učinki. Čutili so ga prebivalci na ozemlju s polmerom okoli 135 km, kar je skoraj 60000 km².

Potres leta 1995

Seveda pa se prebivalci še bolj živo spominjajo dogodkov izpred desetih let, ko sta si v kratkem času sledila dva relativno močna potresa. Dne 22. maja 1995 ob 11. uri in 16 minut po svetovnem času UTC (oz. dve uri kasneje po lokalnem času) je na ilirskobistriškem območju nastal potres z magnitudo 4,4 in največjimi učinki VI. stopnje po EMS lestvici (slika 4). Žarišče je nastalo v globini 17 kilometrov, koordinati nadžarišča pa sta bili 45,63 N in 14,28 E. Temu potresu je ob 12. uri in 50 minut sledila močnejša ponovitev z magnitudo 4,7 in največjimi učinki VI. stopnje po EMS lestvici (slika 5).

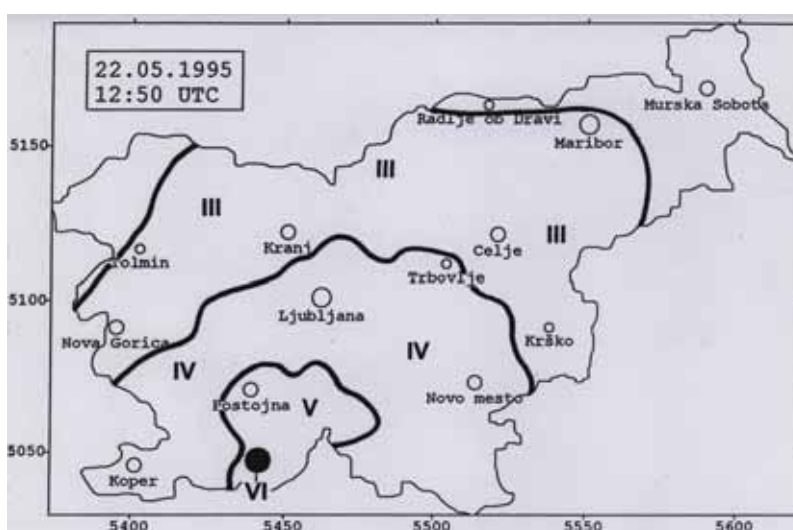
Slika 4. Karta izoseist prvega potresa 22. maja 1995 ob 11. uri in 16 minut po UTC (svetovni čas) (Avtorica: I. Cecić).

Figure 4. Map of isoseists of the first earthquake of 22 May 1995 at 11.16 UTC (world time) (Author: I. Cecić)



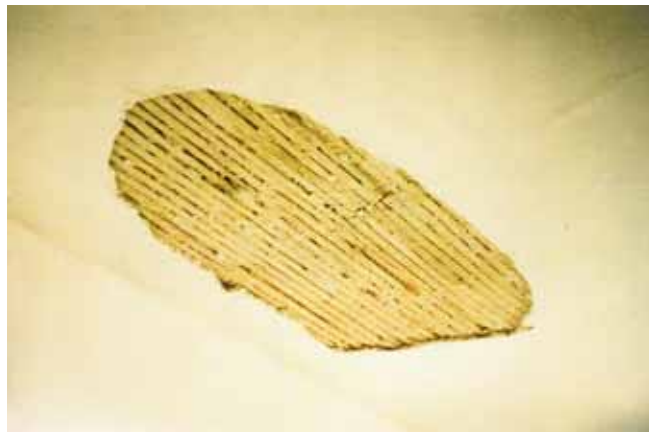
Slika 5. Karta izoseist drugega, močnejšega potresa 22. maja 1995 ob 12. uri in 50 minut po UTC (svetovni čas) (Avtorica: I. Cecić).

Figure 5. Map of isoseists of the second, stronger earthquake of 22 May 1995 at 12.50 (world time) (Author: I. Cecić)



Žarišče drugega potresa je nastalo v globini 15 kilometrov, koordinati nadžarišča pa sta 45,64 N in 14,30 E. Potresa sta poleg preplaha povzročila tudi manjšo gmotno škodo (slika 6). V naslednjih dneh jima je sledilo še približno 70 šibkejših popotresnih sunkov, od katerih so

nekateri čutili prebivalci Ilirske Bistrice in okoliških naselij. Pri moči, ki sta jo imela oba sunka, bi pričakovali večje učinke, predvsem več poškodb, vendar pa zaradi globokih žarišč učinki na nadžariščnem območju niso bili veliki. Za slovenski prostor sta bila to globoka potresa. In prav temu lahko pripišemo, da so potres čutili prebivalci izjemno velikega območja (Vidrih in Godec, 1995a, 1995b ter Vidrih in sod., 1996).



Slika 6. Odpadanje velikih kosov ometa s stropa gasilskega doma v Ilirski Bistrici, Titov trg 11 (potres 1995).

Figure 6. Large pieces of plaster falling from the ceiling of the fire station in Ilirska Bistrica, Titov trg 11 (1995 earthquake).

Opis učinkov potresov leta 1995

Potres so čutili prebivalci izjemno velikega območja, od severne Italije na zahodu do Murske Sobote in Karlovca na vzhodu, od Celovca na severu do otoka Pag na jugu. Predvsem so ga čutili prebivalci v objektih, saj so bili učinki večji kot na prostem. Glavnima potresnima sunkoma je sledilo več šibkejših potresov, ki jih prebivalci večinoma niso zaznali, zabeleženi pa so bili na bližnjih slovenskih potresnih opazovalnicah, pri Cerknici, na Vojskem ali v Ljubljani. Popotresi so bili zabeleženi tudi na začasnih opazovalnicah, ki smo jih postavili v Koritnicah in Podgrajah. Nadžarišči obeh glavnih potresov sta nastali v neposredni bližini Ilirske Bistrice, Poleg poškodb v Ilirski Bistrici in okoliških naseljih so nastale tudi manjše poškodbe v Kopru, kjer se je ponekod odluščil omet, v Knežaku je prišlo do finih razpok v ometu, prav tako v Hrpeljah in v Postojni. V Žerovnici pri Grahovem je s strehe padla opeka, v Košani so nastale drobne razpoke v ometu, v Pivki fine razpoke v ometu, odpadanje koščkov ometa in majhne razpoke v stenah, v Kočah pri Prestranku pa se je podrl star dimnik. Verjetno so manjše poškodbe nastale tudi drugod, vendar o tem nimamo podatkov (Godec, Vidrih, in Ceci, 1996.).

Kako so potres čutili prebivalci, najbolje ponazarjajo odgovori naših anketirancev, ki so najprej slišali bobnenje, ki je spominjalo na močno eksplozijo, sledilo je močno hrumenje in tresenje tal, žvenket šip, krožnikov, nekateri predmeti so popadali na tla, ljudje so bežali na

prosto in nastal je velik preplah. Prebivalci ocenjujejo, da je trajalo tresenje približno 5 sekund. Poškodbe, ki so nastale ob potresih, so natančneje opisane v naslednjem poglavju.

Na podlagi zbranih podatkov je bila izdelana lista poškodovanih objektov, ki je služila tudi kot podlaga za delo komisije za ocenitev škode, ki jo je imenoval župan občine Ilirska Bistrica. Za ocenitev škode je bilo evidentiranih 68 prijav, od tega 54 v mestu Ilirska Bistrica, 9 v vasi Huje, ostale pa v drugih naseljih. Objektov, ki so dobili manjše razpoke, je bilo veliko več, kot so jih prijavili lastniki, vendar na globalne ocene posledic potresa to ne vpliva. Komisija je ugotovila, da je za poškodovane objekte značilno, da imajo lesene stropne konstrukcije in so bili zgrajeni do leta 1945 oz. najkasneje do leta 1958. Po stopnji poškodovanosti smo lahko razvrstili objekte v tri skupine:

- v prvo skupino je bilo razvrščeno manjše število objektov, pri katerih je bilo opaziti poškodbe nosilnih konstrukcij (večje razpoke med zunanjim zidom in leseno stropno konstrukcijo ter diagonalne razpoke na nosilnih zidovih),
- v drugo skupino je bilo razvrščenih največ objektov; pri njih so nastale manjše razpoke med nosilnimi zidovi in lesenimi stropi, kakor tudi na predelnih stenah,
- v tretjo skupino so bili uvrščeni objekti z minimalnimi poškodbami v obliki lasastih razpok ometov na nosilnih in predelnih stenah ter stropovih.



Slika 7. Globoke razpoke na stiku zidu in stropne konstrukcije v stanovanjski hiši v Ilirski Bistrici, Župančičeva 1 (potres 1995).

Figure 7. Deep cracks at the junction of wall and ceiling construction in a residential house in Ilirska Bistrica, Župančičeva 1 (1995 earthquake).

Ocenjena skupna škoda je takrat znašala okoli 6 milijonov SIT. Komisija je bila mnenja, da je škoda znatno večja od navedenega zneska, saj je še cela vrsta starejših objektov, ki niso bili evidentirani. Župan je ugotovitve komisije posredoval pristojnim republiškim organom z zahtevkom za pomoč v denarju ali drugih oblikah solidarnosti.

Pri analiziranju zbranih podatkov so se potrdile ocene ogroženosti občine Ilirska Bistrica, ki jih je pred leti pripravil takratni Seizmološki zavod SR Slovenije (Ribarič in drugi, 1986) in strokovna služba za civilno zaščito občine Ilirska Bistrica. Le ti ugotavljajo, da bi bilo ob morebitnem potresu VIII. stopnje po EMS lestvici (občina Ilirska Bistrica namreč spada med območja Slovenije, kjer je potres take intenzitete možen) v občini glede na vrsto gradnje in stanje objektov poškodovanih okrog 1000 objektov, ki bi pretrpeli večje ali manjše poškodbe.

Ob tako močnem potresu bi bilo pričakovati okrog 400 zasutih ljudi, okrog 200 pa bi jih bilo ranjenih (Ribarič in drugi, 1986).

Omenjene številke so seveda grobe ocene, ki izhajajo iz analiz potresov v svetu. Te številke bi bile lahko presežene, lahko pa bi bile manjše. Na to vpliva mnogo različnih dejavnikov. Nesporno pa je že večkrat potrjen dejavnik, še posebej v zadnjih letih ob velikih potresih v svetu, kvaliteta gradnje objektov. Zato priporočamo vsem, da v okviru svojih možnosti v bodoče poskrbite za ojačitev nosilnih konstrukcij vaših objektov, saj boste s tem zelo pripomogli k vaši varnosti.

Splošno o poškodbah na gradbenih objektih

Potresna sunka 22. maja 1995 na ilirskobistriškem območju sta poleg preplaha povzročila tudi nekaj gmotne škode. Poškodbe, ki smo si jih ogledali inženirski seizmologi in gradbeniki ter člani Občinskega štaba za Civilno zaščito, niso bile nikjer takšne, da bi bila uporaba objektov nevarna oz. da bi bili uporabniki ogroženi. Skupno smo v skladu z EMS lestvico (Grünthal, 1998) manjše poškodbe popisali na 69 objektih v Ilirski Bistrici in bližnji okolici (Godec, Vidrih in Ceci, 1996).

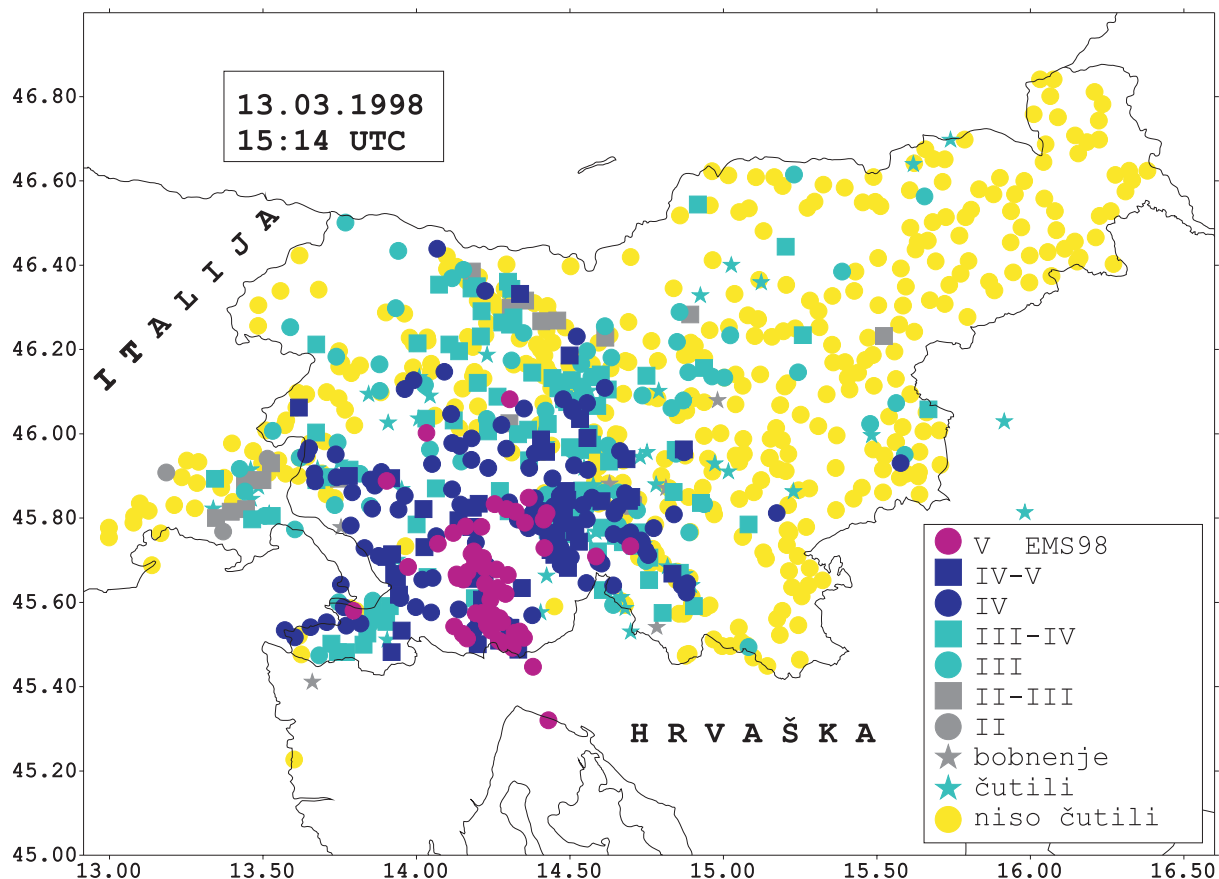
Značilne so poškodbe na stanovanjski hiši v Veliki Bukovici št. 21 pri Ilirski Bistrici. Na hiši, zgrajeni leta 1965, so se po potresu pojavile manjše poškodbe (lasaste razpoke) na nosilnih in predelnih stenah. Pri tem je potrebno poudariti, da je imela zgradba lesen strop. Zgradbe z lesenimi stropi, ki nimajo vgrajenih vodoravnih potresnih vezi, ne zagotavljajo enovitega obnašanja objekta. Tako pri takšnih objektih lahko pride do premika zidov v različnih smereh in pojavljajo se večje oz. manjše razpoke predvsem na stikih zidov in stropa oz. stiku dveh zidov. V primeru močnega potresa lahko lesen strop pade z nosilnega zidu. Tovrstne poškodbe so značilne za starejše hiše z lesenimi stropovi. Takšen obseg poškodb smo opazili tudi na več drugih stanovanjskih objektih (slika 7).

Potres 13. marca 1998

V petek, 13. marca 1998 ob 15. uri in 15 minut po svetovnem času ali uro kasneje po lokalnem, so se zatresla tla pod Snežnikom, najvišjim vrhom južnega dela naše domovine. Peresa seizmografov na slovenskih potresnih opazovalnicah so močno zanihala, saj je močno tresenje trajalo več kot minuto in pol. Celotna dolžina zapisa potresa na seizmogramih pa je bila več kot šest minut. Potres je imel magnitudo 4,2. Po odzivih prebivalcev je bila intenziteta potresa 13. marca ocenjena s V. stopnjo po EMS lestvici, kar pomeni, da so nastale manjše poškodbe.

Potres je povzročil nekaj poškodb v Koritnicah, Baču, Ilirski Bistrici, Kosezah in še ponekod. Poškodbe so bile zelo majhne; lasaste razpoke v ometu, odpadanje manjših koščkov ometa in razširjanje že obstoječih razpok. Nekaj manjših razpok so opazili tudi na cerkvi Sv. Petra v Ilirski Bistrici. Ljudje so slišali močno zamolklo hrumenje in nekateri so mislili, da pelje po cesti težak tovornjak. Ponekod so se prevrnili lažji nestabilni predmeti. Potres so čutili še v nekaterih predelih Italije, Avstrije in na Hrvaškem. Pomemben podatek je globina

potresnega žarišča. V Sloveniji so žarišča večinoma plitva in redko presegajo globino 10 km, večinoma so še plitvejša. Izjema so potresi na ilirskobistriškem območju, ki so navadno globlji. Po izračunih je bilo žarišče potresa v globini okoli 14 km. Prav temu se lahko zahvalimo, da učinki potresa na površini niso bili veliki. Značilnost globokih potresov je v tem, da jih čutijo prebivalci zelo velikega območja, kar kaže tudi omenjeni potres, saj so ga čutili od otoka Cresa na jugu do mejnih območij z Avstrijo na severu, od italijanskih krajev na zahodu do Maribora in Zagreba na vzhodu (slika 8). Značilnost plitvih potresov pa je nasprotna, zajamejo majhno območje, vendar so tam učinki mnogo večji.



Slika 8. Potres 13. marca 1998 z žariščem pod Snežnikom so čutili prebivalci zahodne in osrednje Slovenije, pa tudi v nekaterih krajih vzhodne Slovenije, na Hrvaškem in v Italiji (Avtorica: I. Cecić).
Figure 8. The earthquake of 13 March 1998, with epicentre below Snežnik, was felt by the inhabitants of western and central Slovenia, as well as some places in eastern Slovenia, in Croatia and in Italy (Author: I. Cecić)

Potres 24. aprila 2005

Po nekaj letnem premoru (čeprav so bili vmes številni šibkejši potresi) je prostor Ilirske Bistrice in okolice ponovno zatreslo. Potres 24. aprila 2005 je nastal ob 18. uri 34 minut UTC (dve uri kasneje po lokalnem času). Imel je magnitudo 3,9, največjo intenziteto na nadžariščnem območju pa V. stopnje po EMS lestvici. Njegovo žarišče je nastalo v globini 13 km, kar ga uvršča med globoke potrese v slovenskem prostoru.

Na potresno aktivnost ilirskobistriškega območja nas potresi opozarjajo stalno, saj je bilo samo v 20. stol. deset potresov, ki so dosegli ali presegli VI. stopnjo po EMS lestvici, kar pomeni, da so povzročili manjšo ali ponekod celo večjo gmotno škodo. V povprečju ta prostor zatrese močnejši potres vsako desetletje, zato je potrebno biti nanje toliko bolj pripravljen.

Datum	Čas nastanka (svetovni čas)	Globina (km)	Magnituda	Intenziteta (EMS)
20. maj 1913	16:15	7	4,7	VII
18. oktober 1923	00:55	10	4,2	VI
31. januar 1956	02:25	7	5,1	VII
3. februar 1956	13:42	8	4,1	VI
8. marec 1956	11:03	8	3,8	VI
17. februar 1960	15:32	14	4,6	VI
18. marec 1964	16:43	14	4,9	VI
19. september 1976	14:52	10	3,4	VI
22. maj 1995	11:16	17	4,4	VI
22. maj 1995	12:50	15	4,7	VI

Preglednica 2. Potresi v 20. stoletju na Ilirskobistriškem z največjo intenziteto enako ali večjo od VI. stopnje po EMS lestvici, kar pomeni, da so povzročili manjšo ali večjo gmotno škodo. Potresi so podani kronološko.

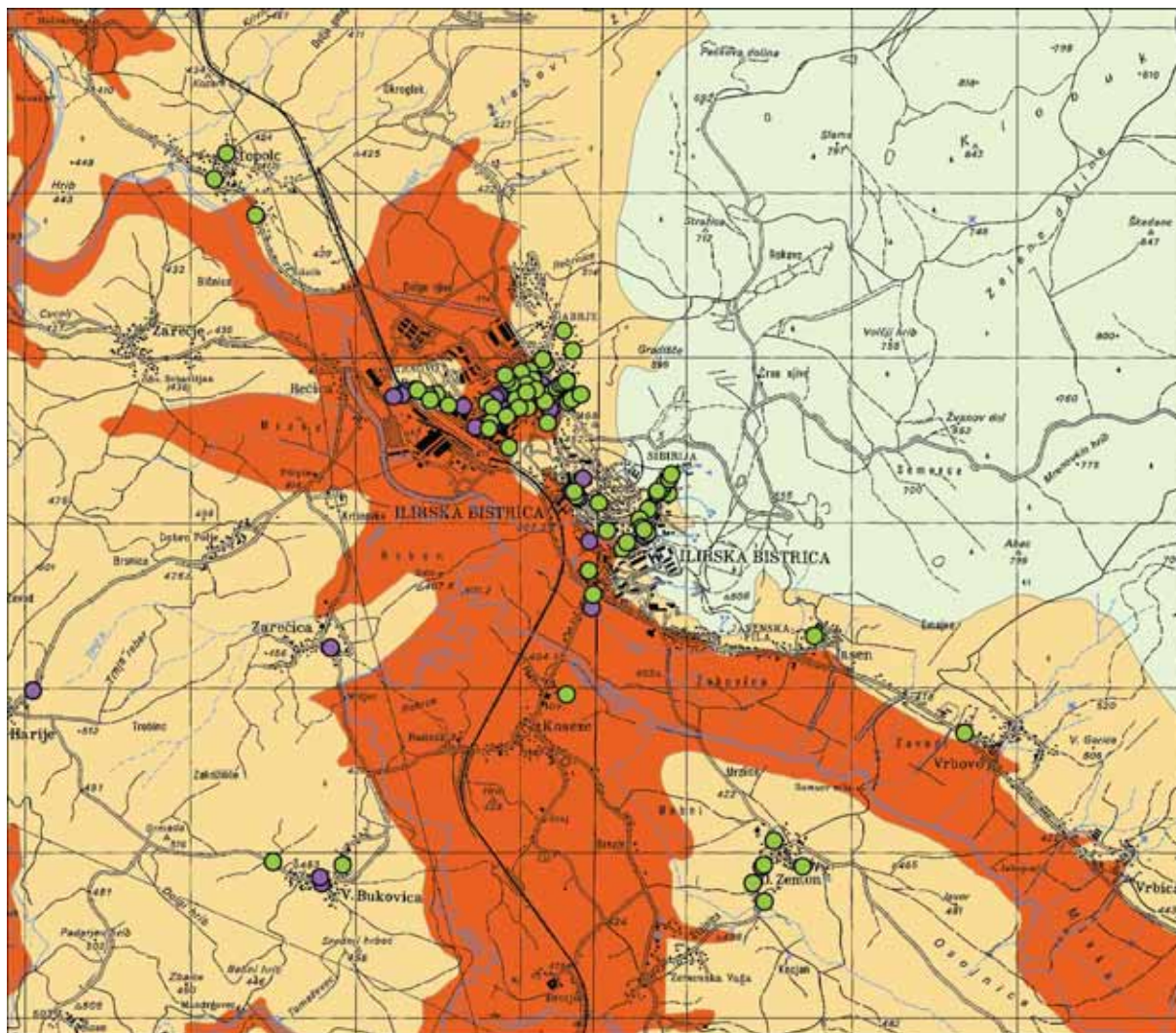
Table 2. Earthquakes in the 20th century in Ilirska Bistrica with a maximum intensity of level VI or higher on the EMS scale, which means that they caused minor or major material damage. Earthquakes are given chronologically.

Že leta 1986 je bila izdelana študija potresne ogroženosti Ilirske Bistrice. V študiji, narejeni za potrebe civilne zaščite, smo ocenili, da na ilirskobistriškem lahko pride do potresov z največjimi učinki do VIII. stopnje po EMS lestvici za povratno dobo potresov 500 let (slika 9).

Po potresu smo si nekatere objekte ogledali predstavniki ARSO – Urada za seizmologijo in geologijo. Glede na to, da so bile to manjše poškodbe (slika 11), pa tudi število Štabu civilne zaščite neposredno prijavljenih poškodovanih objektov je bilo majhno, se niso aktivirale občinske komisije za oceno škode. Poškodbe objektov (slika 10) so popisovali tudi ocenjevalci zavarovalnic, za potrebe ocene zahtevkov po povračilih v okviru zavarovanj za primer potresa.

Večina poškodovanih objektov je bila zgrajena pred letom 1964 (slika 12), ko je bil v praksi uporabljen sodoben predpis o potresno odpornem projektiranju. V obdobju pred letom 1964 se potresni obremenitvi ni posvečalo veliko pozornosti. Potresne sile so bile močno podcenjene. To še ne pomeni, da so vsi objekti zgrajeni v tem obdobju slabi. Značilne starejše hiše so grajene iz obdelanega kamna ali opeke. Debeli polni zidovi in težka kritina so osnova za veliko maso objektov, kar posledično predstavlja velike potresne sile. Tudi leseni stropi imajo maso povečano zaradi polnitev s peskom. Ob močnejšem potresu pa takšen objekt ni sposoben prevzeti večjih sil brez poškodb. Masivne zgradbe morajo med potresi sprejeti

velike potresne sile. Ker zgradba ne more potresne sile prevzeti z elastičnim obnašanjem, jo prevzame s poškodbami posameznih delov konstrukcije.



Slika 9. Razporeditev poškodb na objektih ob potresih leta 1995 in 2005 je predstavljen na karti potresne mikrorajonizacije. Pri obeh potresih je največ poškodb nastalo na starejših objektih, ki so zgrajeni na slabo nosilnih tleh (slaba seizmogeološka podlaga) (Avtorica: P. Zupančič).

Figure 9. The distribution of damage to buildings during the earthquakes of 1995 and 2005 is shown on a map of earthquake microzonation. In both earthquakes, most damage occurred to older buildings, which were built on poor bearing ground (poor seismogeological base) (Autor: P. Zupančič).

Mnogi starejši objekti pa imajo zadostno potresno odpornost že zaradi svoje arhitektonske zasnove, pa tudi kvalitetno izvedeni masivni nosilni zidovi so sposobni prevzeti velike

potresne sile. Bistvena pomanjkljivost takrat grajenih objektov so med seboj nepovezani zidovi in težke stropne konstrukcije. Zato je pri potresnem ojačevanju starejših objektov potrebno poskrbeti za povezavo zidov v višini stropne konstrukcije. Prav tako je smotrno zmanjšati maso objekta z lažjimi kritinami in odstranjevanjem konstruktivno nepotrebnih polnil v stropni konstrukciji.



Slika 10. Pogled na stanovanjsko hišo na Gubčevi 18 v Ilirski Bistrici, kjer so nastale globoke razpoke na stiku stene s stropom in sosednji stenami (na stikih nepovezanega zidovja in stropne konstrukcije se pojavljajo razpoke, ki so značilne za starejše zidane objekte z lesenim stropom; do poškodb je prišlo, ker ni bilo nikakršne povezave posameznih konstrukcijskih elementov).



Figure 10. View of a residential house at Gubičeva 18 in Ilirska Bistrica, where deep cracks appeared at the junction of walls and ceiling and neighbouring walls (cracks appeared at the junction of unbound walls and the ceiling construction, which are typical of older buildings with wooden ceilings; damage occurred because there was no link between the individual construction elements).

Leta 1964 je bil na našem območju sprejet moderen predpis »Pravilnik o začasnih tehničnih predpisih za gradnjo na seizmičnih območjih«. Velik del objektov, zgrajenih po letu 1964, ima ustrezno potresno odpornost in z veliko verjetnostjo lahko pričakujemo, da so ti objekti sposobni brez porušitve prestatii močne potrese. Sam predpis sicer še ni vse, Zato smo pogosto vedno znova presenečeni, da so med potresi močno poškodovani tudi sodobni objekti. Potres je dogodek, ki razkriva vse nepravilnosti, ki so se dogodile bodisi v fazi projektiranja ali izvedbe objektov. Nespoštovanje predpisov, malomarno izvedbo, »prihranek« pri materialu ipd, vedno razgaljajo pogosto že šibki potresni sunki.

Med zadnjim potresom so objekti na ilirskobistriškem utrpeli predvsem lažje poškodbe, kot:

- razpoke v ometu,
- lažje poškodbe dimnikov,
- odpadanje koščkov beleža in ometa,

- razpoke na stiku stropov in sten,
- počena stenska keramika,
- razširjanje obstoječih razpok in podobno.

Uporabniki teh objektov niso ogroženi.

Slika 11. Ob potresih so pogosto najprej poškodovani dimniki. Vidimo primer poškodovanega dimnika na Gubčevi 1a v Ilirski Bistrici.

Figure 11. Chimneys are often damaged first during earthquakes. Here is a case of a damaged chimney at Gubičeva 1a in Ilirska Bistrica.



Slika 12. Starejša zgradba v Ilirski Bistrici (Titov trg 3), z delno odlomljenim dimnikom. V objektu je prišlo tudi do delnega odpadanja ometa s stropov.

Figure 12. Older building in Ilirska Bistrica (Titov trg 3), with partially broken chimney. Some ceiling plaster in the building also fell.

Potrebno bo narediti marsikaj, da nas potresi z žarišči v Sloveniji ali obmejnih deželah ne bodo vedno presenečali. Potresi na tem območju so bili in bodo – tudi močnejši. Najboljša zaščita pa je potresno varna gradnja novih in potresno ojačevanje starejših objektov. Vse to zahteva sistematično in dolgotrajno delo, pa čeprav močnejšega potresa na posameznem območju ni že nekaj let.

Pri prenovah, adaptacijah in sanacijah objektov se prepogosto pozablja na istočasno potresno ojačevanje. Interes za potresno odporno gradnjo in za potresno ojačevanje objektov ne sme prehitro prenehati! Analize potresov po različnih delih sveta kažejo, da obstaja v obdobju do enega leta po potresu velik interes za upoštevanje vseh priporočil za potresno odporno gradnjo. Ta interes se sicer v obdobju do enega meseca po potresu kaže v obliki začasnih

popravljen objektov ter istočasno obtoževanja oblasti, projektantov in izvajalcev za posledice učinkov potresa. V času do enega leta po potresu se opravljajo trajnejša popravila in tudi izboljšujejo standardi in predpisi. V obdobju enega do deset let ta interes upada. V obdobju daljšem od deset let po zadnjem potresu pa je, po statistikah, opazno celo zavračanje stroškov za potresno odporno gradnjo in izogibanje spoštovanja predpisom.

Pri potresnih ojačitvah starejših objektov je potrebno povezati zidove s horizontalnimi vezmi, in če je možno, lesene stropne nadomestiti z monolitnimi armiranimi ploščami. Za obnašanje konstrukcij pa pripomore že razbremenjevanje stropnih konstrukcij in uporaba lažjih kritin.



Slika 13. Stanovanjska hiša na Šercerjevi 7 v Ilirski Bistrici s poškodovanima dimnikoma. V notranjosti so se na lesenem stropu pojavile razpoke, ki so pogosta posledica obnašanja starejših objektov med potresi (nepovezane zidovje, leseni stropovi).

Figure 13. Residential house at Šercerjeva 7 in Ilirska Bistrica with damaged chimneys. In the interior, cracks appeared in the wooden ceilings, which are often a result of the behaviour of older buildings during earthquakes (unbound walls, wooden ceilings).

Pri novogradnjah pa je potrebno:

- upoštevati zakonodajo o gradnji na potresnih območjih,
- že pri zasnovi objekta iskati takšne rešitve, kjer ni večjih nezveznosti,
- preiskati temeljna tla.

Potresno opazovanje

V Ilirski Bistrici ima Urad RS za seizmologijo in geologijo Agencije RS za okolje postavljen akcelerograf tipa SSA-2 (Kinematics) za beleženje močnih potresov. Postavljen je bil po potresih 22. maja 1995 v kletni prostor občinske stavbe. Akcelerograf sestavljata senzor FBA-23 z merilnim območjem 0,25 g in zajemalna naprava SSA-2 z 12-bitnim analogno digitalnim pretvornikom. Akcelerografi SSA-2 niso vezani na sistem točnega časa, zato uporabljamo le podatke o zabeleženih pospeških tal in časovno razliko prvih vstopov faz potresnih valov. Podatke, ki se ob sproženju inštrumenta lokalno shranjujejo, ob rednih obiskih opazovalnice prenesemo na osebni računalnik prek kableske povezave.

24. aprila 2005 je akcelerograf zabeležil potres ob 18:34 UTC. Podatki o potresu so v preglednici 3, kjer so zbrani dan in čas nastanka potresa, lokalna magnituda, ocenjena intenziteta, in največji zabeleženi pospeški na komponentah E-W (vzhod – zahod), Z (navpično) in N-S (sever – jug) (v deležih zemeljskega pospeška g).

Datum	Čas UTC	Lokalna magnituda	Intenziteta EMS98	Pospešek E-W [g]	Pospešek Z [g]	Pospešek N-S [g]
24.4.2005	18:34	3,9	V	0,05516	0,02456	0,07164

Preglednica 3. Parametri potresa, zabeleženega 24. 4. 2005.

Table 3. Parameters of earthquake recorded on 24. 4. 2005.

Sklepne misli

Potresi so naraven pojav, s katerim moramo v Sloveniji računati. Na potresni karti Slovenije vidimo, da lahko na območju Ilirske Bistrice pričakujemo potrese do VIII. stopnje po EMS lestvici, kar pomeni, da lahko povzročajo hujše poškodbe in celo porušitve slabo zgrajenih objektov. Prav potres je tisti dogodek, ki razkrije vse nepravilnosti pri gradnji. Že leta 1995 se je izkazalo, da je bilo največ poškodb na starejših družinskih hišah z lesenimi stropi, zidanih iz neobdelanih ali delno obdelanih kamnitih blokov, redkeje iz opeke in brez ojačitev, ki povečujejo potresno odpornost. Potres leta 2005 je to potrdil (slika 13). Nasvet je zelo enostaven: del sredstev, ki ga namenimo za nakup ponavadi drage notranje opreme, bi lahko preusmerili za vgradnjo potresnih vezi in s tem poskrbeli, da bi bil objekt bistveno varnejši. Tokrat je potres prizanesel, morda naslednjic ne bo.

Literatura

Agencija RS za okolje. Urad za seizmologijo in geologijo, 2005. Preliminarni tedenski seizmološki bilten za 2005. Arhiv Urada za seizmologijo in geologijo, Ljubljana.

Godec, M., Vidrih, R. in Cecić, I., 1996. Potresa na območju Ilirske Bistrice 22. maja 1995 – Poškodbe objektov, Ujma 10, 84-88.

Grünthal, G., 1998. European macroseismic scale 1998 - EMS-98, Conseil de'Europe, Vol. 15, Centre Europeen de Geodynamique et de Seismologie, Luxembourg.

- Občinski štab za civilno zaščito Ilirska Bistrica, Vidrih, R., Godec, M., Analiza potresov 22. maja 1995 na ilirskobistriškem območju, Snežnik, september 1995.
- Ribarič, V., 1982. Seizmičnost Slovenije. Katalog potresov (792 n. e.-1981 n. e.). Seizmološki zavod SR Slovenije, 649 str., Ljubljana.
- Ribarič, V., Lapajne, J., Vidrih, R., Godec, M., 1986. Potresna ogroženost občine Ilirska Bistrica, Seizmološki zavod SRS, Ljubljana.
- Šikić, D., Pleničar, M., 1975. Osnovna geološka karta 1: 100000, tumač za list Ilirska Bistrica, Beograd.
- Vidrih, R., Godec, M. in Lapajne, J., 1991. Potresna ogroženost Slovenije. Republika Slovenija, Republiški štab za civilno zaščito, str. 214, 5 prilog.
- Vidrih, R., Godec, M., 1995a. Ob potresih 22. maja letos na Ilirskobistriškem. Za širše območje Ilirske Bistrice je značilna stalna potresna aktivnost. Delo, Znanje za razvoj 31. maja 1995.
- Vidrih, R., Godec, M., 1995b. Potresi na ilirskobistriškem območju 22. maja letos. Potres je bil globok. Primorske novice, petek 2. junija, št. 43, Koper.
- Vidrih, R., Cecić, I. in Godec, M., 1996. Potresa na območju Ilirske Bistrice 22. maja 1995 – Geološke in seizmološke značilnosti, Ujma 10, 79-83.

MOČNEJŠI POTRESI PO SVETU LETA 2005 WORLD'S LARGEST EARTHQUAKE IN 2005

Tamara Jesenko, Renato Vidrih

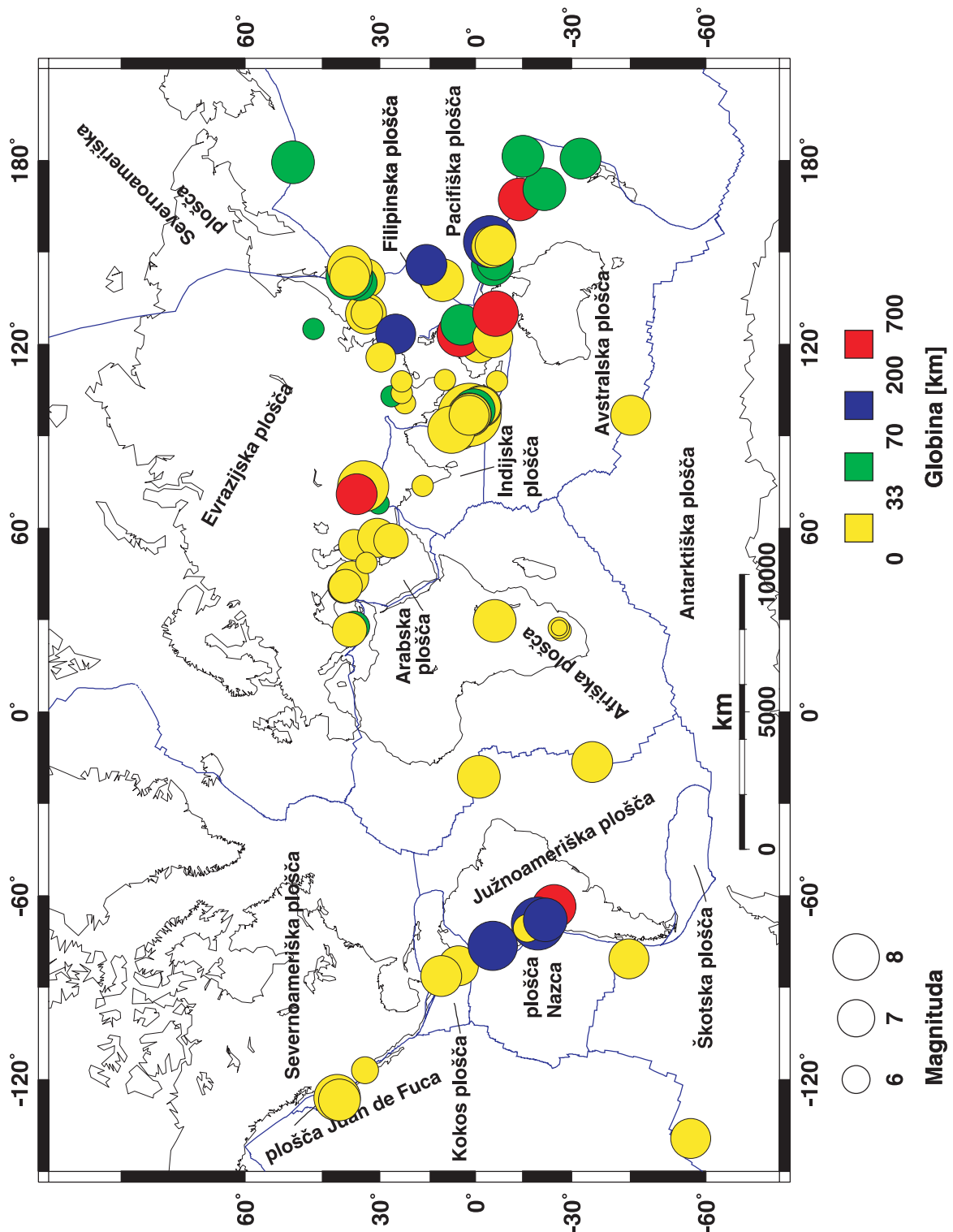
Povzetek. Vsako leto zatrese Zemljo več stotisoč potresov, ki presegajo magnitudo 2,0 (Dolgoff, 1998) in katerih žarišča so razporejena predvsem na stikih večjih geotektonskih plošč. Potresno najdejavnejši območji sta obtihoceanski in sredozemsko-himalajski pas, ki vključuje tudi naše kraje. Večina potresov 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 78 potresi, ki so v letu 2005 dosegli ali presegli magnitudo 6,5 oziroma povzročili večjo gmotno škodo ter zahtevali človeška življenja, je natančneje opisanih 44 potresov. Potres z največ smrtnimi žrtvami je bil 8. oktobra v Pakistanu. V njem je umrlo najmanj 87 351 ljudi. Največ energije se je sprostil pri potresu 28. marca blizu severne Sumatre, Indonezija. Imel je navorno magnitudo 8,7 in je zahteval vsaj 1313 človeških življenj. Najglobji potres v letu 2005 je stresel Salto, Argentina. Zgodil se je 21. marca in je imel žarišče v globini 579 km ter navorno magnitudo 6,9. Potres z zelo globokim žariščem (563 km) se je zgodil tudi 5. februarja v Celebeškem morju ($M_w=7,1$). Potresi v letu 2005 so zahtevali vsaj 89 353 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 78 earthquakes in year 2005 that either reached a magnitude of 6.5 or more, caused minor or major material damage, or even claimed human lives. Forty-four of them are mentioned. The most devastating earthquake in 2005 happened on 8 October in Pakistan, where at least 87 351 people were killed. The 28 March earthquake near Northern Sumatra, Indonesia, rank first in terms of released energy, with a moment magnitude of 8.7 and claimed at least 1313 human lives. The deepest earthquake happened on 21 March in Salta, Argentina, with a hypocentre 579 km below the surface and the moment magnitude of 6.9. Another very deep earthquake (563 km below the surface) happened on 5 February in Celebes Sea ($M_w=7.1$). In 2005, earthquakes claimed more than 89 353 human lives.

Potresi in tektonika plošč

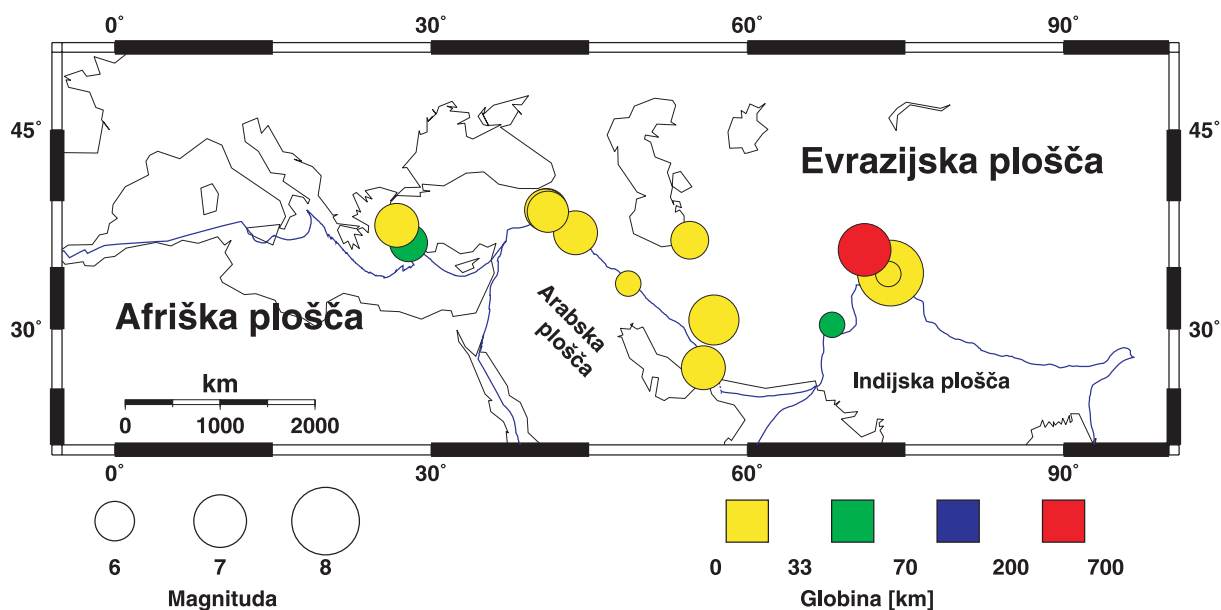
Zemljina litosfera je sestavljena iz nekaj večjih in več manjših tektonskih plošč. Najpomembnejše plošče so Pacifiška (Tihooceanska), Severnoameriška in Južnoameriška, Evrazijska, Afriška, Avstralska in Antarktična. Za svetovno potresno dejavnost so pomembne tudi številne manjše plošče. Tektonske plošče so v stalnem, sicer počasnem gibanju. Med seboj se lahko premikajo (premične ali konvergentne meje), razmikajo (razmične ali divergentne meje) 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 srednjeatlantskem grebenu, za katerega je značilna povečana potresna dejavnost. Na nasprotni strani pa Evrazijska plošča tišči v Severnoameriško in drsi prek Filipinske, pod katero se podriva Pacifiška plošča. Ta se podriva pod več manjših plošč, ki ležijo med Severnoameriško in Filipinsko ploščo. Tu je podrivanje najhitrejše na Zemlji in znaša več kot 100 mm/leto. Na območju Kalifornije drsita Pacifiška in Severnoameriška

plošča druga ob drugi (znana so številna potresna žarišča). Med Pacifiško in Južnoameriško ploščo je vrinjena plošča Nazca.



Slika 1. Porazdelitev najmočnejših potresov v letu 2005 na Zemlji, njihove globine in magnitudo; velikost krožcev kaže potresno magnitudo, barva pa žariščno globino (3). Narisane so tudi glavne tektonske plošče.

Figure 1. Distribution of the most powerful earthquakes in 2005, their depths and magnitudes. The size of the circle indicates the magnitude and the colour designates the focal depth (3). Main tectonic plates are also shown.



Slika 2. Porazdelitev najmočnejših potresov leta 2005 v sredozemsko-himalajskem potresnem pasu, ki je za obtihomorskim drugo najdejavnejše potresno območje na Zemlji.

Figure 2. *Distribution of the most powerful earthquakes in 2005 in the Mediterranean-Himalayan belt, which is, after the circum-Pacific belt, subject to the most frequent earthquake shocks.*

Omenjena stičišča plošč so med potresno najdejavnejšimi območji na Zemlji. Med Afriško in Pacifiško ploščo je Avstralska plošča, ki se odmika od Antarktične. Sledi več manjših plošč med Evrazijsko na severu in Afriško na jugu. Od vzhoda proti zahodu si sledijo Indijska, Arabska in Turško-Egejska plošča. Tu leži tudi 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 2005 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. Če bi narisali nadžarišča (epicentre) vseh potresov, bi še bolj videli, da potresi nastajajo na mejah med posameznimi ploščami. Pravzaprav je prav porazdelitev potresov razkrila meje oz. stičišča med ploščami.

Pregled najmočnejših potresov

V preglednici 1 so podatki o najmočnejših potresih v letu 2005 (NEIC, 2005, ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 2005). 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, ki so jih posredovale potresne opazovalnice, 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 iz največjega odklona na zapisu navpične komponente telesnega valovanja v prvih 20 sekundah po prihodu vzdolžnega telesnega valovanja.

datum	čas (UTC)	koordinati		magnituda			globina	območje
	ura min sek	širina	dolžina	Mb	Ms	Mw	km	
date	time (UTC)	coordinates		magnitude			depth	area
	hour min sec	lat	lon	Mb	Ms	Mw	km	
1.1.	06:25:44,8	5,09 N	92,30 E	6,0	6,7	6,6	12	ob zahodni obali severne Sumatre
10.1.	18:47:30,1	37,09 N	54,56 E	5,3	5,1	5,4	32	severni Iran*
10.1.	23:48:53,9	36,88 N	27,88 E	4,9	4,8	5,4	37	Dodekaneški otoki, Grčija*
12.1.	08:40:02,9	0,99 S	21,17 W	5,7	6,0	6,8	10	centralni Srednjeatlantski hrbet
16.1.	20:17:52,3	10,93 N	140,85 E	6,3	6,6	6,8	22	Otok Yap, Mikronezija
19.1.	06:11:36,8	34,12 N	141,54 E	5,7	6,4	6,5	28	ob vzhodni obali Honšuja, Japonska*
23.1.	20:10:14,0	1,13 S	119,96 E	5,9	5,9	6,2	23	Sulavezi, Indonezija*
25.1.	16:30:38,3	22,52 N	100,74 E	4,9			10	Junan, Kitajska*
25.1.	16:44:10,7	37,64 N	43,71 E	5,4	5,7	5,9	3	meja Turčija-Irak*
2.2.	05:55:18,2	7,04 S	107,82 E	4,8			15	Java, Indonezija*
5.2.	03:34:26,0	16,01 N	145,86 E	6,3		6,6	145	Anathan, Mariansko otočje
5.2.	12:23:22,4	5,27 N	123,37 E	6,4		7,1	563	Celebeško morje*
8.2.	14:48:21,8	14,25 S	167,28 E	6,1		6,8	206	otočje Vanuatu
15.2.	14:42:25,9	4,76 N	126,42 E	6,1	6,0	6,6	40	Kepulauan Talaud, Indonezija
15.2.	19:46:35,7	35,98 N	139,67 E	5,2		5,5	45	blizu južne obale Honšuja, Japonska*
16.2.	20:27:53,0	35,67 S	16,36 W	5,9	6,1	6,6	10	Srednjeatlantski hrbet
19.2.	00:04:43,5	5,59 S	122,11 E	6,3	6,3	6,5	10	Sulavezi, Indonezija
22.2.	02:25:22,6	30,75 N	56,85 E	6,0	6,5	6,4	14	osrednji Iran*
26.2.	12:56:51,3	2,93 N	95,56 E	6,0	6,8	6,8	27	Simeulue, Indonezija
2.3.	10:42:12,2	6,53 S	129,93 E	7,0		7,1	202	Bandsko morje
2.3.	11:12:14,9	30,38 N	68,04 E	4,9			52	Pakistan*
9.3.	10:15:33,6	26,89 S	26,66 E	5,0	4,3		15	Južna Afrika*
12.3.	07:36:13,8	39,42 N	40,97 E	5,4	5,0	5,7	23	vzhodna Turčija*
14.3.	01:55:55,6	39,35 N	40,89 E	5,5	5,7	5,8	5	vzhodna Turčija
14.3.	09:43:49,0	17,16 N	73,73 E	4,9			10	Maharastra, Indija*
20.3.	01:53:41,6	33,81 N	130,07 E	5,9	6,7	6,6	10	Kjušu, Japonska*
21.3.	12:23:54,1	24,98 S	63,47 W	6,1		6,9	579	Salta, Argentina
28.3.	16:09:36,2	2,07 N	97,01 E	7,1	8,4	8,7	30	severna Sumatra, Indonezija*
10.4.	10:29:11,2	1,63 S	99,63 E	6,4	6,7	6,7	19	Kepulauan Mentawai, Indonezija*

datum	čas (UTC)	koordinati		magnituda			globina	območje
	ura min sek	širina	dolžina	Mb	Ms	Mw	km	
date	time (UTC)	coordinates		magnitude			depth	area
	hour min sec	lat	lon	Mb	Ms	Mw	km	
10.4.	11:14:19,5	1,71 S	99,77 E	6,2	6,3	6,5	30	Kepulauan Mentawai, Indonezija
11.4.	12:20:09,5	5,51 S	145,90 E	5,9	6,7	6,7	35	blizu severne obale Nove Gvineje, Papua Nova Gvineja
11.4.	17:08:53,9	21,97 S	170,59 E	6,0		6,8	68	jugovzhodno od otočja Loyalty
19.4.	21:11:28,6	33,64 N	130,16 E	5,3	5,0	5,5	21	Kjušu, Japonska*
3.5.	07:21:10,4	33,71 N	48,69 E	4,9			12	zahodni Iran*
5.5.	19:12:20,2	5,72 N	82,84 W	5,9	5,8	6,5	10	južno od Paname
12.5.	11:15:35,2	57,40 S	139,23 W	6,0	6,2	6,5	10	Atlantski hrbet
14.5.	05:05:18,4	0,57 N	98,44 E	6,4	6,8	6,8	34	Nias, Indonezija
16.5.	03:54:14,8	32,55 S	179,34 W	6,2	6,4	6,6	34	južno od otočja Kermadec
19.5.	01:54:52,8	1,97 N	97,03 E	6,2	6,9	6,9	30	Nias, Indonezija
23.5.	06:09:13,1	26,35 S	27,44 E	4,3			5	Južnoafriška republika*
4.6.	14:50:48,8	6,34 S	146,80 E	6,0	6,0	6,1	43	vzhodna Nova Gvineja, Papua Nova Gvineja*
6.6.	07:41:28,7	39,22 N	41,08 E	5,0	5,4	5,7	10	vzhodna Turčija*
13.6.	22:44:33,7	19,96 S	69,11 W	6,8		7,8	116	Tarapaca, Čile*
14.6.	17:10:16,6	51,23 N	179,42 E	6,0		6,8	51	otočje Rat, Aleuti
15.6.	02:50:53,1	41,29 N	125,97 W			7,2	10	ob obali severne Kalifornije
15.6.	19:52:24,8	44,86 S	80,56 W	5,5	5,9	6,5	10	ob obali Aisena, Čile
16.6.	20:53:26,0	34,06 N	117,01 W	4,8	4,7	4,9	12	širše območje Los Angelesa, Kalifornija*
17.6.	06:21:41,8	40,75 N	126,60 W	6,2	6,5	6,7	10	ob obali severne Kalifornije
2.7.	02:16:43,7	11,25 N	86,17 W	5,6	6,4	6,6	27	blizu obale Nikaragve
5.7.	01:52:02,9	1,82 N	97,08 E	6,2	6,5	6,7	21	Nias, Indonezija*
5.7.	16:53:26,4	26,47 S	27,43 E			2,7	5	Južnoafriška republika*
23.7.	07:34:57,0	35,53 N	139,94 E	6,1		6,0	61	blizu južne obale Honšuja, Japonska*
24.7.	15:42:06,2	7,93 N	92,17 E	6,6	7,5	7,3	16	Nikobarsko otočje*
25.7.	15:43:41,1	46,83 N	125,06 E	5,0	4,7		48	Heilongjiang, Kitajska*
5.8.	14:14:48,0	26,57 N	103,04 E	5,2	4,8		42	Junan, Kitajska*
13.8.	04:58:44,8	23,62 N	104,08 E	4,8	4,5		10	Junan, Kitajska*
16.8.	02:46:28,3	38,25 N	142,08 E	6,2	6,8	7,2	36	blizu vzhodne obale Honšuja, Japonska*
9.9.	07:26:43,7	4,53 S	153,46 E	6,3		7,7	90	Nova Irska, Papua Nova Gvineja

datum	čas (UTC)	koordinati		magnituda			globina	območje
	ura min sek	širina	dolžina	Mb	Ms	Mw	km	
date	time (UTC)	coordinates		magnitude			depth	area
	hour min sec	lat	lon	Mb	Ms	Mw	km	
26.9.	01:55:37,6	5,68 S	76,40 W	6,7		7,5	115	severni Peru*
29.9.	15:50:23,9	5,44 S	151,82 E	6,0	6,6	6,7	25	Nova Britanija, Papua Nova Gvineja
1.10.	22:19:52,1	16,60 S	70,59 W	5,3			27	južni Peru*
8.10.	03:50:40,7	34,53 N	73,58 E	6,8	7,7	7,6	26	Pakistan*
15.10.	15:51:07,0	25,31 N	123,33 E	6,1		6,5	182	severovzhodni Tajvan
20.10.	21:40:04,3	38,20 N	26,76 E	5,4	5,6	5,9	10	blizu obale zahodne Turčije*
27.10.	11:18:57,6	23,62 N	107,94 E	4,6			10	Guangxi, Kitajska*
29.10.	04:05:56,0	45,23 S	96,89 E	6,1	6,2	6,5	8	Jugovzhodnoindijski hrbet
6.11.	02:11:52,7	34,48 N	73,37 E	5,2	4,5		10	Pakistan*
8.11.	07:54:38,9	9,98 N	108,28 E	5,2	4,9		10	Južnokitajsko morje*
14.11.	21:38:51,4	38,11 N	144,89 E	6,6	6,8	7,0	11	ob vzhodni obali Honšuja, Japonska*
17.11.	19:26:56,4	22,31 S	67,89 W	6,0		6,9	163	Potosi, Bolivija
19.11.	14:10:14,3	2,19 N	96,78 E	5,9		6,5	10	Simeulue, Indonezija
26.11.	00:49:37,6	29,69 N	115,71 E	5,4	4,9	5,2	10	meja Hubei-Jiangxi, Kitajska*
27.11.	10:22:19,1	26,78 N	55,85 E	6,0	5,8	5,9	10	južni Iran*
2.12.	13:13:09,5	38,12 N	142,10 E	6,0	6,3	6,5	29	blizu vzhodne obale Honšuja, Japonska
5.12.	12:19:56,6	6,19 S	29,74 E	6,0	6,3	6,8	22	jezero Taganyika, meja Kongo-Tanzanija*
11.12.	14:20:43,8	6,59 S	152,21 E	6,1	6,2	6,6	10	Nova Britanija, Papua Nova Gvineja
12.12.	21:47:46,1	36,33 N	71,13 E	6,0		6,6	225	Hindukuš, Afganistan*
13.12.	03:16:06,4	15,28 S	178,63 W	6,0	6,8	6,7	44	Fidži

Preglednica 1. Seznam potresov v letu 2005, 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, ki so opisani v besedilu.

Table 1. List of earthquakes in 2005 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.

Magnituda M_s (angl. surface wave magnitude) je določena iz navpične komponente dolgoperiodnega površinskega valovanja. To se razvije pri potresih, katerih žarišče ni bilo globlje od 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 10. januarja (severni Iran). Epicenter potresa je bil 25 kilometrov severno od Gorgana, na območju katerega je bilo ranjenih vsaj 110 oseb.

Potres 10. januarja (Dodekaneški otoki, Grčija). Ena oseba je bila ranjena v Marmarisu, Turčija.

Potres 19. januarja (ob vzhodni obali Honšuja, Japonska). Pri Miyake-shimi so zabeležili tsunami z največjo višino valov 30 cm.

Potres 23. januarja (Sulavezi, Indonezija). Ena oseba je izgubila življenje, štiri so bile ranjene. Na območju Paluja je bilo poškodovanih 136 zgradb.

Potres 25. januarja (Junan, Kitajska). V območju mesta Simao so bile ranjene vsaj tri osebe in poškodovanih nekaj hiš.

Potres 25. januarja (meja Turčija – Irak). V Turčiji, na območju mesta Hakkari, sta vsaj dve osebi izgubile življenje, 22 je bilo ranjenih. Poškodovanih je bilo vsaj 80 zgradb.

Potres 2. februarja (Java, Indonezija). V Garutu je ena oseba izgubila življenje, nekaj je bilo ranjenih. Veliko zgradb je bilo poškodovanih ali uničenih.

Potres 5. februarja (Celebeško morje). Dve osebi sta izgubili življenje v pokrajini Sabah, Borneo, Malezija. Potres so čutili v Kota Kinabalu in Tawau, Malezija ter v Davau in General Santosu, Mindanao, Filipini.

Potres 15. februarja (blizu južne obale Honšuja, Japonska). Nekaj ranjenih je bilo v Ibaraki, Chibi, Tokiu, Saitami in v okolici Kanagawe.

Potres 22. februarja (osrednji Iran). V provinci Kerman je potres zahteval najmanj 612 žrtev, 1411 je bilo ranjenih. Na območju Zaranda je brez strehe nad glavo ostalo okoli 8000 ljudi.

Potres 2. marca (Pakistan). V Quetti je bila ena oseba ranjena. Poškodovanih je bilo nekaj zgradb.

Potres 9. marca (Južna Afrika). Na območju Kierksdorp-Stilfontein sta dve osebi izgubili življenje, vsaj 58 je bilo ranjenih. Poškodovanih je bilo veliko poslopij.

Potres 12. marca (vzhodna Turčija). Na območju Cat - Karliova je bilo ranjenih vsaj 16 oseb. Poškodovanih je bilo vsaj 214 zgradb. Zemeljski plaz je prekinil cestno povezavo med Catom in Erzurumom. Poginilo je tudi nekaj glav živine. Še en potres se je na istem območju zgodil 14. marca. Ranjenih je bilo vsaj 18 oseb in poškodovanih vsaj 418 zgradb. Potres je povzročil tudi dodatno škodo na že poškodovanih zgradbah.

Potres 14. marca (Maharashtra, Indija). Vsaj 45 oseb je bilo ranjenih v Kolhapurju, Ratnagiri in Satari, Maharashtra ter v Belgaumu, Karnataka.

Potres 20. marca (Kjušu, Japonska). V Fukuoki je ena oseba izgubila življenje. Vsaj 500 oseb je bilo ranjenih na območju Genkaia in Fukuoke. Zaradi zemeljskega plazu je bilo v Genkaui uničenih vsaj 5 hiš, nekaj poškodovanih zgradb je bilo tudi v Fukuoki. Potres so čutili tudi v južnem delu Honšuja, na Shikoku in v južnem delu Južne Koreje.

Potres 28. marca (severna Sumatra, Indonezija). Na otoku Nias je potres zahteval vsaj 1000 življenj. 300 oseb je bilo ranjenih. Uničenih je bilo vsaj 300 hiš. Na otoku Simeulue so prešteli vsaj 100 žrtev, v Kepulauan Banyak vsaj 200 žrtev in na območju Meulaboha še vsaj tri žrtve. Tsunami z višino valov 3 m je na Simeulueju poškodoval pristanišče in letališče. Na obali otoka Nias so zabeležili tsunami z višino valov 2 m. Potres so čutili tudi v Maleziji, na Tajskem, v Singapurju, na Maldivih, Andamanskih in Nikobarskih otokih, v Indiji in na Šrilanki.

Potres 10. aprila (Kepulauan Mentawai, Indonezija). Pri Padangu so opazili tsunami z višino valov 40 cm. Potres so čutili (V) v Padangu, (IV) v Padang Sidimpuanu, (II) na Niasu in v Pekanbaru. Čutili (III) so ga tudi v Kuala Lumpurju, Malezija, in Singapurju.

Potres 19. aprila (Kjušu, Japonska). V okolici Fukuoke je bilo ranjenih vsaj 58 oseb. Poškodovanih je bilo vsaj 279 zgradb.

Potres 5. maja (zahodni Iran). Na območju Borujerda so vsaj 4 osebe izgubile življenje, 26 je bilo ranjenih. Potres je povzročil tudi veliko materialne škode.

Potres 23. maja (Južnoafriška republika). V rudniku pri Carletonvillu je bilo zaradi zrušitve ranjenih 15 rudarjev.

Potres 4. junija (vzhodna Nova Gvineja, Papua Nova Gvineja). Na območju Lae je ena oseba izgubila življenje, nekaj je bilo ranjenih. Veliko hiš je bilo poškodovanih ali uničenih.

Potres 6. junija (vzhodna Turčija). Na območju Karliova je bilo 5 oseb huje, še vsaj 49 oseb pa lažje ranjenih. Nekaj zgradb se je zrušilo, vsaj 60 pa je bilo poškodovanih.

Potres 13. junija (Tarapace, Čile). 11 oseb je izgubilo življenje. Na območju Iquique je bilo ranjenih še vsaj 200 oseb, 544 hiš je bilo uničenih in 8691 poškodovanih. Motene so bile telefonske povezave in oskrba z elektriko. Sprožilo se je nekaj plazov. Potres so čutili v severnem delu Čila, Peruju, Boliviji in Braziliji.

Potres 16. junija (širše območje Los Angelesa, Kalifornija). V San Bernardinu sta bili dve osebi ranjeni, še ena pa v Lake Arrowheadu. Potres so čutili (VI) v Angelus Oaksu, in (V) v mestih Anza, Banning, Beaumont, Colton, Corona, Forest Falls, Highland, Loma Linda, Mentone, Moreno Valley, Perris, Redlands, Riverside, San Bernardino, San Jacinto, Sun City in Yucaipa.

Potres 5. julija (Nias, Indonezija). Na območju Gunungsitolija so bile poškodovane zgradbe in ceste. Potres so čutili v Sibolgi, Madanu in Pematangsintarju, Sumatra, ter v malezijskih mestih Kuala Lumpur, Petaling Jaya, Shah Alam in Sungai Ara.

Potres 5. julija (Južnoafriška republika). V rudniku blizu Carletonvilla je ena oseba izgubila življenje, ena pa je bila ranjena.

Potres 23. julija (blizu južne obale Honšuja, Japonska). Na območju Tokia je bilo ranjenih 23 oseb in poškodovana ena zgradba.

Potres 24. julija (Nikobarska otočje). Na Andamanskih in Nikobarskih otokih je bilo poškodovanih nekaj zgradb. Potres so čutili tudi v indonezijski provinci Aceh ter ponekod na Šrilanki, Maldivih in Tajskem.

Potres 25. julija (Heilongjiang, Kitajska). Pri Daqingju je vsaj ena oseba izgubila življenje, še vsaj 12 je bilo ranjenih.

Potres 5. avgusta (Junan, Kitajska). Na območju mesta Huize je bilo ranjenih vsaj devet oseb. Poškodovanih je bilo 3700 zgradb.

Potres 13. avgusta (Junan, Kitajska). Na območju Wenshana je bilo ranjenih vsaj 26 oseb. Uničenih je bilo nekaj hiš ter poškodovanih nekaj cest.

Potres 16. avgusta (blizu vzhodne obale Honšuja, Japonska). Vsaj 39 oseb je bilo ranjenih v Miyagi, devet v Iwati, pet v Fukushima in trije v okolici Saitame. Ena hiša se je porušila v Kazu. Sprožilo se je nekaj zemeljskih plazov. Ob obali severne Japonske se je pojavil lokalni tsunami z največjo višino valov 10 cm.

Potres 26. septembra (severni Peru). Na območju mesta Lamas je življenje izgubilo 5 oseb, vsaj še 60 je bilo ranjenih. Okoli 70 odstotkov hiš je bilo poškodovanih. Poškodbe so zabeležili tudi v mestih Chachapoyas, Moyoamba in Tarapota, Potres so čutili tudi v Ekvadorju, Kolumbiji, Ekvadorju in Braziliji.

Potres 1. oktobra (južni Peru). V Moquegui je bilo ranjenih vsaj 10 oseb. Poškodovanih je bilo vsaj 300 zgradb.

Potres 8. oktobra (Pakistan). V severnem delu Pakistana je potres zahteval več kot 86000 žrtev, še vsaj 69000 je bilo ranjenih. Največ škode je potres povzročil na območju Muzaffarabada, kjer so bile popolnoma uničene številne vasi, in v mestu Uri. Vsaj 32335 zgradb se je porušilo v mestih Anantnag, Baramula, Jammu in Strinagar, Kašmir. Zgradbe so se porušile tudi v Abbottabadu, Gujranwali, Gujratu, Ilamabadu, Lahori in Rawalpindi, Pakistan. V Indiji je življenje izgubilo vsaj 1350 oseb, 6266 je bilo ranjenih. Vsaj ena žrtev je bila tudi v Afganistanu. 4 milijone ljudi je ostalo brez strehe nad glavo. Plazovi so zasuli in uničili številne cestane povezave. Veliko področij je bilo za več dni popolnoma odrezanih od sveta. Potresu so sledili številni popotresni sunki. Popotres 15. oktobra ob 04:24 po UTC (mb=5,1) je zahteval še dve žrtvi na območju mesta Uri, Kašmir.

Potres 20. oktobra (blizu obale zahodne Turčije). V Izmirju je ena oseba zaradi srčnega napada izgubila življenje, 15 je bilo ranjenih. Manjše poškodbe so se pojavile na zgradbah v Urli.

Potres 27. oktobra (Guangxi, Kitajska). Ena žrtev je bila v kraju Bose. Nekaj hiš je bilo poškodovanih v Taipingu.

Potres 6. novembra (Pakistan). V Batgramu je bilo sedem ranjenih.

Potres 8. novembra (Južnokitajsko morje). V Saigonu, Vietnam, je ena oseba izgubila življenje.

Potres 14. novembra (ob vzhodni obali Honšuja, Japonska). V Ofunatu in ostalih obmorskih mestih so opazili manjši tsunami. Potres so močno čutili v severnem in vzhodnem delu Honšuja. Čutili so ga tudi na Hokaidu.

Potres 26. novembra (meja Hubei - Jiangxi, Kitajska). Potres je zahteval vsaj 16 žrtev, še 8000 je bilo ranjenih. Na območju Jiujiang - Ruichang je bilo uničenih 150000 hiš.

Potres 27. novembra (južni Iran). V Qešmu je 13 oseb izgubilo življenje, 100 je bilo ranjenih. Več kot 80 procentov zgradb je bilo poškodovanih v Zirangu. Na območju Qešma je bilo uničenih vsaj sedem vasi. potres so čutili tudi v Omanu in v Združenih Arabskih Emiratih.

Potres 5. decembra (jezero Taganyika, meja Kongo - Tanzanija). V mestu Kalamaie, Kongo, je življenje izgubilo vsaj 6 oseb. Uničenih je bilo 300 hiš, zrušila pa se je tudi cerkev. Potres so čutili tudi v Tanzaniji, Ruandi, Keniji in Burundiju.

Potres 12. decembra (Hindukuš, Afganistan). V Tili je življenje izgubilo 5 oseb. Vsaj ena je bila ranjena v Jalalabadu. V Badakhšanu je poginilo vsaj 300 glav živine in bilo uničenih 100 hiš. Nekaj hiš je bilo poškodovanih tudi v Baramulli, Fariabadu in Uriju, Indija. Zemeljski plazovi so blokirali cestne povezave pri Baghu, Kašmir.

Literatura

- ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 2005. Preliminarni seizmološki bilten, 2005. 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, 2005. Significant Earthquakes of the World. US Department of the Interior. Geological Survey, National Earthquake Information Center.

POTRES 8. OKTOBRA 2005 V PAKISTANU

THE 8 OCTOBER 2005 EARTHQUAKE IN PAKISTAN

Renato Vidrih, Matjaž Godec, Miha Tomažević*

Povzetek. Potres, ki je 8. oktobra ob 3. uri 50 minut in 40 sekund UTC (svetovni čas) oz. pet ur kasneje po lokalnem času zatresel severni Pakistan, je bil eden najmočnejših potresov na Zemlji v tem letu. Njegova velika magnituda ($M_w=7,6$) in relativno majhna globina (26 km), z žariščem v narivnih strukturah sta povzročila katastrofalne posledice. V Pakistanu je bilo po do sedaj znanih podatkih najmanj 86.000 mrtvih, vsaj 69.000 ranjenih, 4 milijone ljudi pa je ostalo brez strehe nad glavo (400.000 domov je bilo popolnoma porušenih). V Indiji je bilo 1.350 žrtev in 6.200 ranjenih. Do konca meseca oktobra je bilo okoli 1.000 popotresnih sunkov, ki so dosegli ali presegli navorno magnitudo (M_w) 4,0. Žarišča potresov v tem predelu sveta so posledica primikanja indijske plošče proti evrazijski (okoli 40 mm/letno).

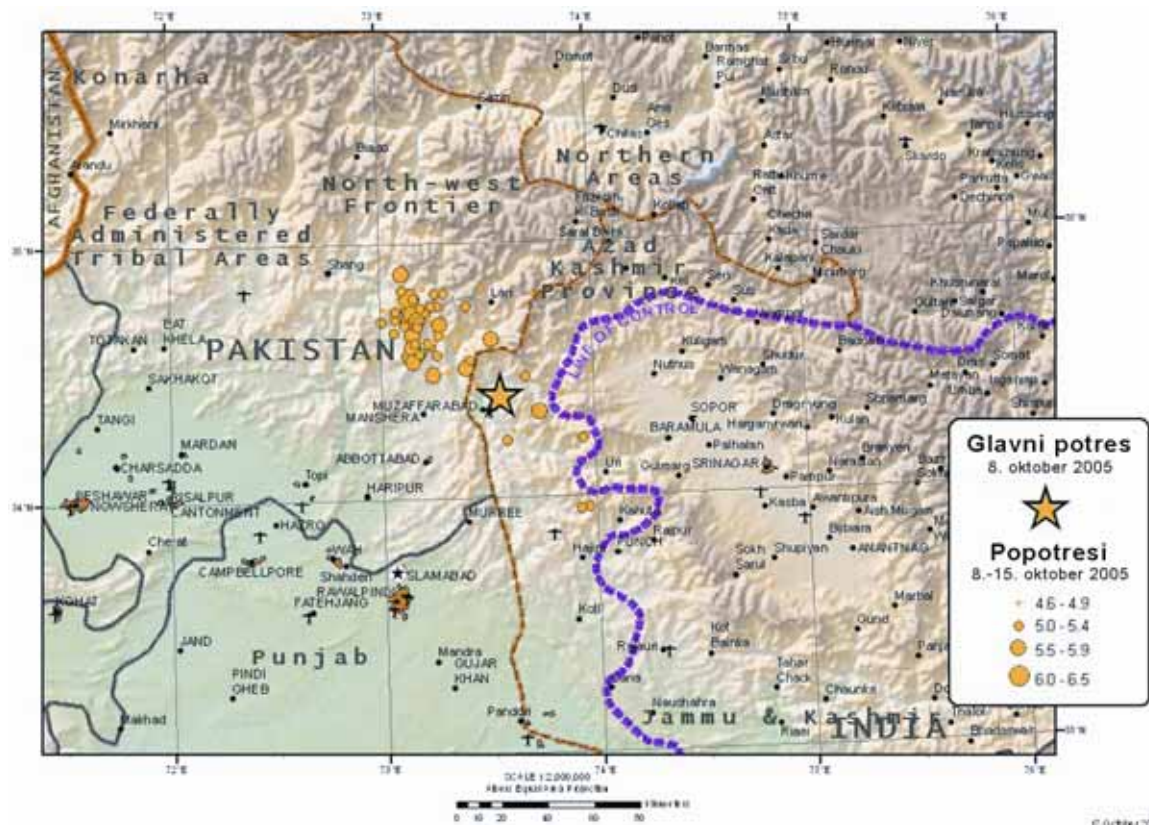
Abstract. The earthquake that happened in Pakistan on the 8 October at 3:50 am and 40 seconds UTC or 5 hours later local time was one of the strongest earthquakes on Earth in the past year. Its high magnitude ($M_w = 7,6$) and shallow depth (26 km) with the focal point in the thrust structures caused catastrophic consequences. Currently available data states there were 86.000 casualties, 69.000 injured and 4 million people fled their homes (400.000 homes were totally destroyed). In India there were 1.350 casualties and 6.200 injured. By the end of October there were around thousand aftershocks which reached and exceeded the lever magnitude (MW) of 4,0. The focal points of the earthquakes in this part of the World are the consequence of the movement of the Indian plate towards the Eurasian plate (about 40 mm/year).

Uvod

Preliminarni koordinati žarišča sta $34,53^\circ$ N in $73,58^\circ$ E, kar pomeni, da je nastal potres slabih sto kilometrov severoseverovzhodno od glavnega mesta Islamabada, kjer je tudi povzročil veliko gmotno škodo in številne žrtve (slika 1). Žarišče potresa je bilo 26 km globoko. Največjo škodo je povzročil v pakistanskem delu Kašmirja, kjer je po prvih podatkih ponekod porušenih tudi do 70 % objektov. Območje največjih poškodb je veliko okoli 30 000 km². Močno poškodovano je glavno mesto pakistanskega dela Kašmirja, Muzaffarabad. Velika gmotna škoda in žrtve so tudi v sosednjih državah, predvsem Indiji in Afganistanu. Kljub veliki magnitudi potres ni bil najmočnejši v tem letu, saj so se tla močnejše stresla marca v Indoneziji ($M_w = 8,7$), junija v Čilu ($M_w = 7,8$) in septembra v Papui Novi Gvineji ($M_w = 7,7$), bilo pa je še šest potresov, ki so presegli magnitudo 7. Ob pakistanskem potresu sta največ žrtev v letu 2005 zahtevala potresa na severni Sumatri (Indonezija), kjer je bilo več kot 1000 žrtev in v osrednjem Iranu, kjer je bilo več kot 600 žrtev kljub relativno majhni magnitudi ($M_w = 6,4$).

Intenziteto potresa v nadžariščnem območju nekateri ocenjujejo celo na X+. stopnje po modificirani Mercallijevi lestvici (MM) v Balakotu, VIII. - IX. stopnje v Muzaffarabadu in stopnjo manj v sosednjih krajih južno od mesta (EERI, 2005), pri drugih ocene ne presegajo VIII. stopnje (USGS, 2005). Stopnje po MM lestvici, ki se uporablja predvsem v ZDA in Kanadi, približno odgovarjajo intenzitetnim stopnjam, kot jih opredeljuje pri nas že vpeljana Evropska makroseizmična lestvica (EMS).

* Akademik prof. dr., Zavod za gradbeništvo Slovenije, Dimičeva 12, Ljubljana, Miha.Tomazevic@zag.si



Slika 1. Nadžarišče potresa je bilo v neposredni bližini mesta Muzaffarabad. Glavni potres 8. oktobra 2005 je označen z rumeno zvezdo, številni popotresni sunki pa so se selili po prelomu proti severozahodu (USGS, 2005).

Figure 1. The epicentre of the earthquake was in the immediate vicinity of the town of Muzaffarabad. The main earthquake of 8 October 2005 is marked with a yellow star, and the numerous aftershocks moved along the fracture towards the north-west (USGS, 2005).

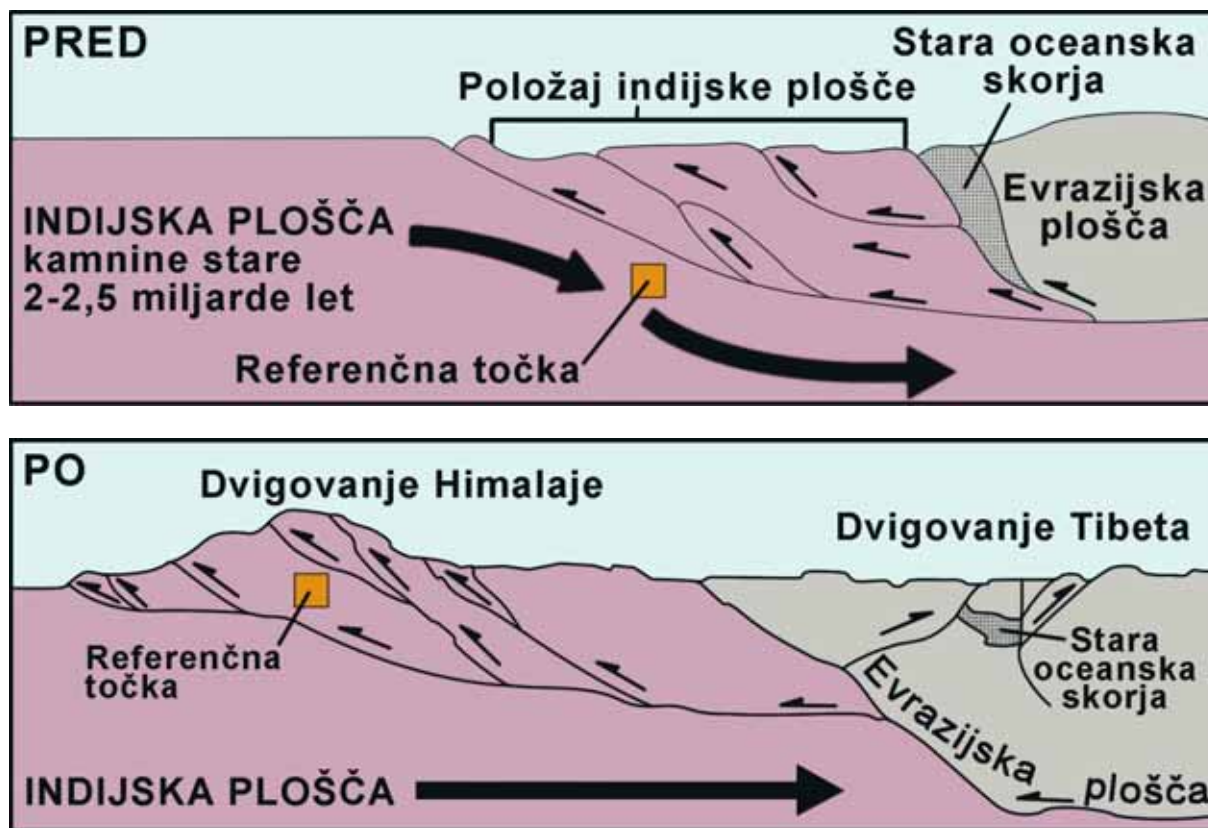
V povprečju vsako leto zatrese naš planet okoli 15 potresov (velja za zadnjih 35 let), ki imajo magnitudo med 7,0 in 7,9, lahko pa nastanejo tudi potresi, ki presegajo magnitudo 8,0. Velika sreča za prebivalstvo različnih predelov ob Tihem oceanu je v tem, da ima večina tako močnih potresov žarišča v skorji pod morskim dnem in se njihov vpliv do naseljenih območij bistveno zmanjša. Podobno tudi večina tovrstnih potresov v Sredozemsko himalajskem pasu nastane na nenaseljenih ali manj naseljenih območjih.

Glavni vzroki velikega števila žrtev

Kljub temu, da je med naravnimi nesrečami največ viharjev (38%), sledijo jim potresi (29%) in poplave (27%), je največ, kar 47% žrtev posledica potresov, pa tudi največ, kar 35% gmotne škode, ki jo povzročijo naravne nesreče, je posledica potresne dejavnosti. Najpogostejši vzroki za veliko število žrtev ob potresih so nastanek žarišča močnega potresa v zelo naseljenih predelih, obsežna rušenja zgradb, obsežni spremljajoči pojavi (npr. cunamiji, požari,..) in nezmožnost lokalnega prebivalstva za samopomoč. Večina naštetih vzrokov je bilo prisotnih tudi pri potresu v severnem Pakistanu.

Številni katastrofalni potresi po svetu nas vedno znova opozarjajo na ukrepe, ki bi jih morali izvajati. V 20. stol. so zahtevali potresi okoli 1,6 milijona žrtev. Najpomembnejši ukrepi, ki

prispevajo k zmanjševanju izredno velikega števila smrtnih žrtev, so zmanjševanje števila potresno neodpornih objektov, zagotovitev učinkovitih metod reševanja in zmanjševanje sekundarnih posledic potresov.



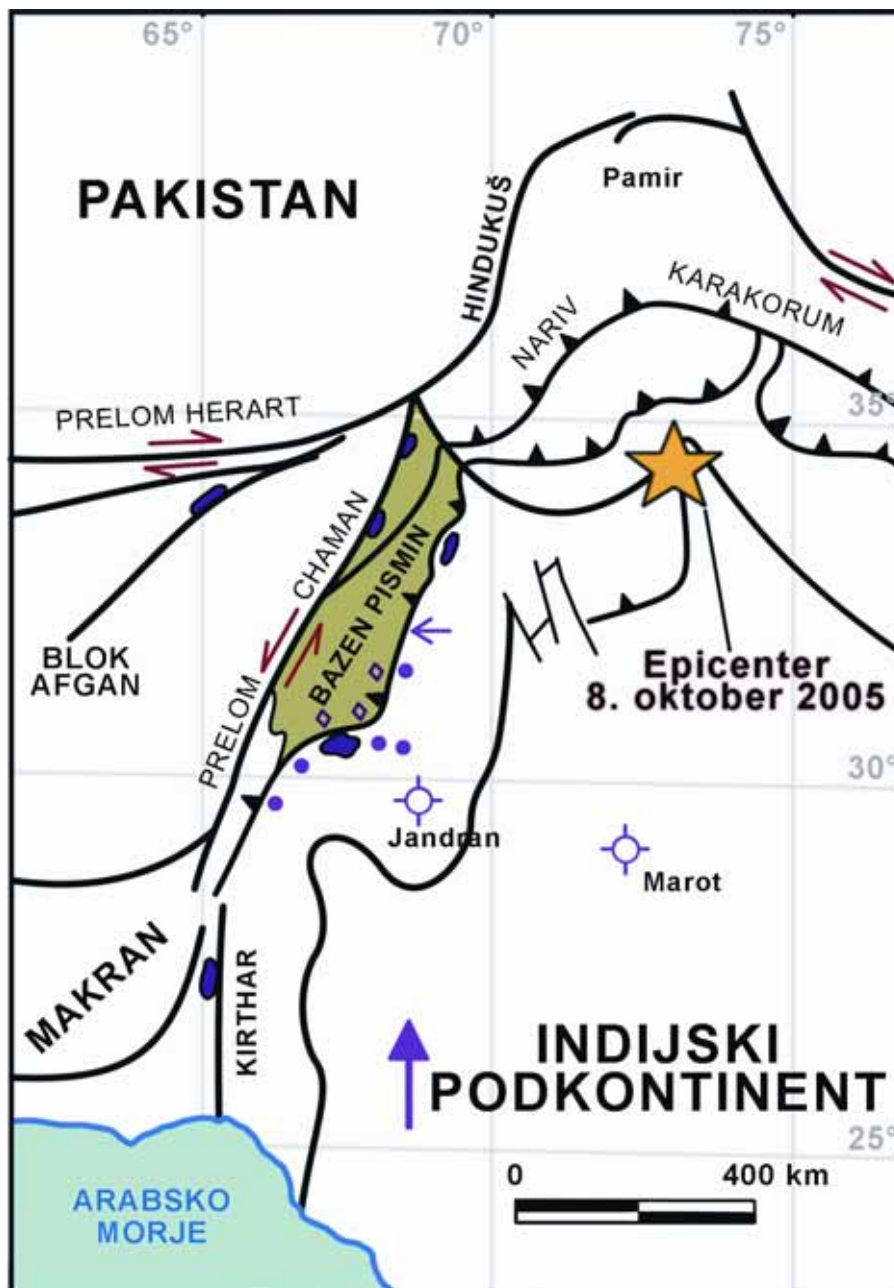
Slika 2. Podrivanje Indijske plošče pod Evrazijsko ploščo je povzročilo dvig Himalaje in Tibeta (USGS, 2005).

Figure 2. The Indian plate moving below the Eurasian plate caused the Himalayas and Tibet to rise (USGS, 2005)

Seizmogena območja

Na Zemlji sta potresno najdejavnejša obtihooceanski pas (obtihooceanski ognjeni obroč), ki obkroža Tihi ocean in alpsko himalajski pas. Pakistanski potres je nastal v alpsko himalajskem pasu (tudi evropsko – azijski pas). Ta pas poteka od Azorov prek Sredozemskega morja, prečka Srednji vzhod, Himalajo in Indonezijo, severno od Avstralije pa se združi z obtihomorskim pasom. Alpsko himalajski seizmogeni pas se že na območju Irana razširi na 500 kilometrov. Pritiski v Zemljini skorji, ki regionalno nastajajo zaradi pritiskov Arabske plošče proti severu, se sproščajo ob številnih prelomih. Proti vzhodu, na območju Pakistana, Afganistana, Indije, Tadžikistana, Kirgizistana se alpsko himalajski lok še bolj razširi. Obsega območje od Tjan Šana na severu, prek Pamirja, Hindukuša, Karakoruma do velikega himalajskega nariva nad Pandžabom in Gangeškim nižavjem. Sestavlja ga nekaj manjših geotektonskih plošč, ki ležijo med afriško in indijsko ploščo na jugu in evrazijsko na severu. Plošče se med seboj gibljejo v različnih smereh. Med njimi lahko prihaja do trkov ali kolizij, ena plošča se lahko pod drugo podriva - ta proces imenujemo subdukcija, plošči se lahko razmikata, lahko pa prihaja do strižnih mej, kjer drsita plošči

druga ob drugi. S precejšnjo gotovostjo lahko trdimo, da so potresi, ki tu nastajajo, povezani s to dejavnostjo. Strokovnjaki ocenjujejo da se tu sprosti več kot 20% celotne potresne energije na našem planetu. Zadnji potresni sunki, ki so bili v severnem Pakistanu potrjujejo živahno potresno dejavnost tega območja (sliki 2 in 3).



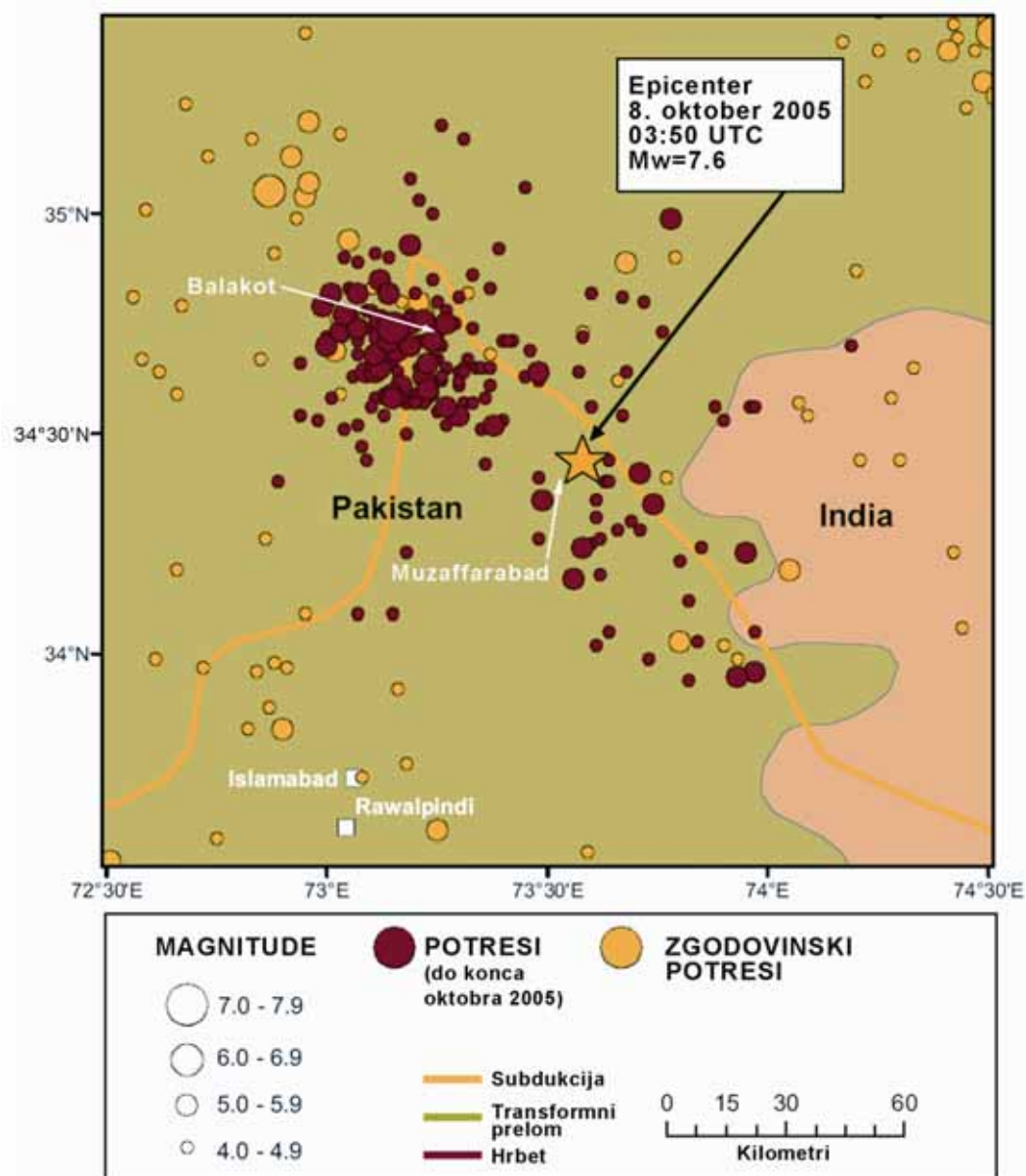
Slika 3. Prikaz najbolj aktivnih struktur v Pakistanu. Za nastanek potresa so krive narivne strukture Karakoruma in sosednjih ozemelj (BGS, 2005).

Figure 3. Depiction of the most active structures in Pakistan. The deformed structures of the Karakorum and neighbouring land are to blame for the occurrence of earthquakes (BGS, 2005).

Indijska in Evrazijska plošča

Za seizmično aktivnost tega območja lahko "krivimo" trk Indijske plošče z Evrazijsko. Najstarejše kamnine tega območja so paleozojske starosti (med 570 in 250 milijoni let). Njihov nastanek je podoben nastanku kamnin osrednje in južne Afrike, kar dokazuje, da sta bila

Indija in Afrika v davni preteklosti skupna celina. Po indijskem imenu je imenovana skupna celina Afrike, Indije, Antarktike, južne Amerike in Avstralije, Gondwana. Indija je začela »potovati«
proti Evrazijski plošči pred približno 200 milijoni let (razpad Gondwane) in pred seboj je ožila prostor morja Tetide, za njo pa je začel nastajati Indijski ocean. V oligocenu (40-25 milijonov let) sta Indijska in Evrazijska plošča trčila s celinskima litosferama. To je bil začetek obdobja, v katerem so se kot posledica trka oz. pritiska Indijske plošče na Evrazijsko pričele dvigovati gorske verige Himalaje, Tibeta, Hindukuša, Altaja itd.



Slika 4. Seizmičnost Pakistana. Rumeni krogi označujejo zgodovinske potrese, rdeči pa popotrese zadnjega potresa. Levo so označene velikosti magnitud potresov. Rumena linija označuje mejo med Indijsko in Evrazijsko litosfersko ploščo. Žarišče zadnjega potresa (zvezda) je nastalo v naravnih strukturah, ki ustvarjajo kompresijske pritiske v smeri severa in severovzhoda (BGS, 2005).

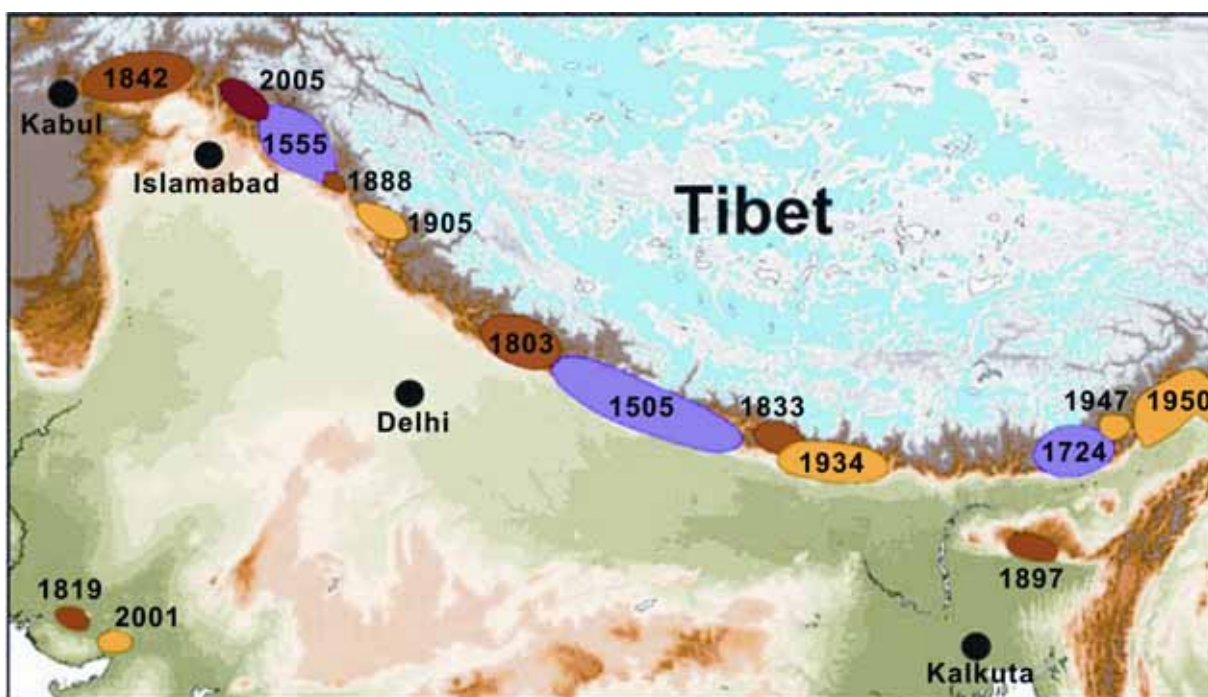
Figure 4. Seismic activity of Pakistan. The yellow circles mark historical earthquakes. To the left are the magnitudes of the earthquakes. The yellow line marks the boundary between the Indian and Eurasian lithospheric plates. The focal point of the last earthquake (star) occurred in deformed structures that create compression pressure from north to north-east (BGS, 2005).

V smeri zahod – vzhod ali nekoliko bolj v smeri severozahod – jugovzhod so nastale narivne strukture, na obeh straneh Indijske litosferske plošče pa se širijo strukture v smeri sever – jug. Danes je ocenjena hitrost premikov Indijske plošče proti severu na približno 40 mm/letno. Ta dogajanja so poglavitni razlog za seizmično aktivnost celotnega predela južne in jugovzhodne Azije in seveda tudi zadnje serije potresov na severu Pakistana.

Seizmičnost Pakistana

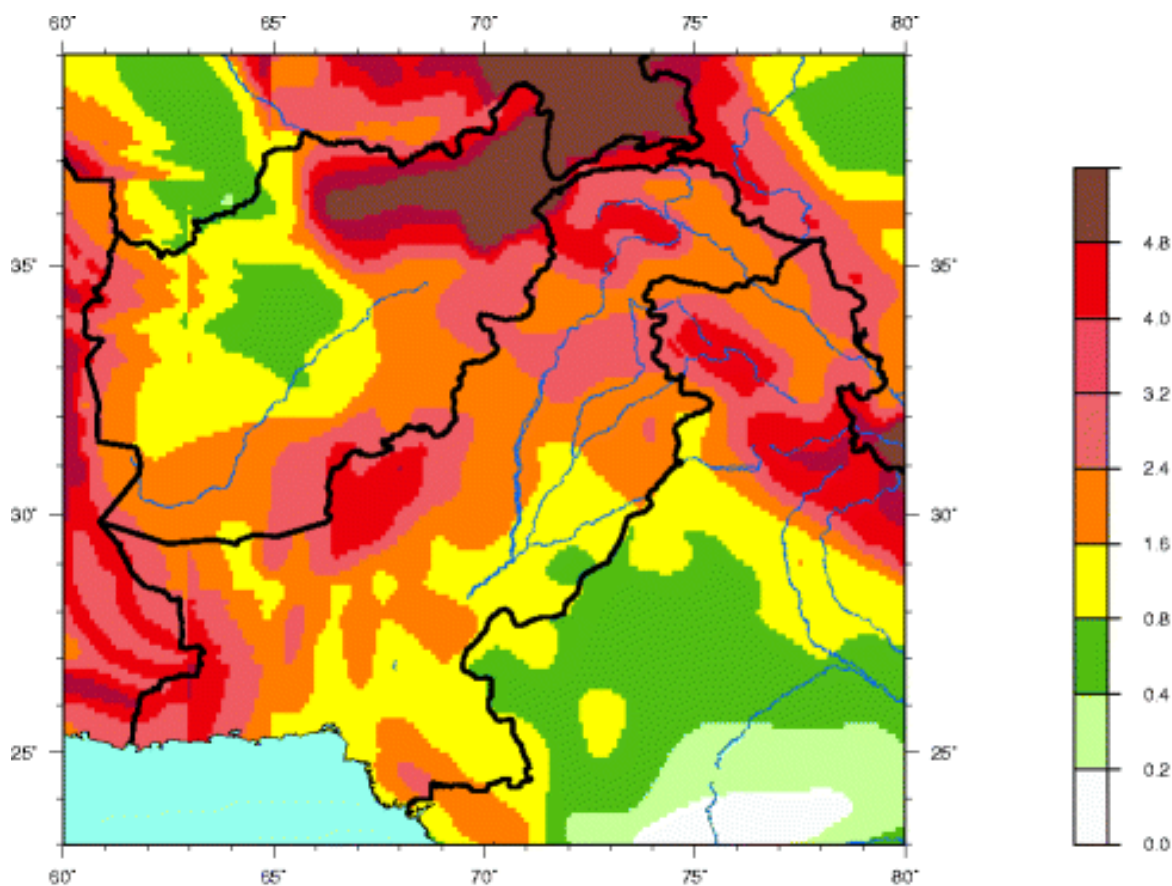
Potresna dejavnost Pakistana je večja v severnem in zahodnem delu ob meji Indijske plošče z manjšima Iransko in Afganistansko ploščo (slika 4). Med največjimi prelomnimi strukturami poteka tu prelom Chaman, ki se vleče od zahodnega Pakistana proti Kabulu v Afganistanu. Pakistan leži na severozahodnem delu indijske plošče, južnem delu afganistanskega kratona (del celinske plošče) in severnem delu Arabske oceanske subdukcijske plošče. Vzhodni in severni predeli odražajo izrazit trk Indijske in Evrazijske plošče, zahodni predeli pa približevanje arabske oceanske skorje in afganistanskega kratona ter Arabske plošče in indijskega podkontinenta.

Najmočnejši znan potres v zgodovini na tem ozemlju je bil 30. maja 1935 (Quetta) z magnitudo ($M_w=8,1$) in globino 17 km. Po nekaterih podatkih je zahteval 30 000 žrtev, po drugih med 30.000 in 60.000. V zgodovini je znanih še veliko rušilnih potresov z magnitudami 7,0 in več (slika 5).



Slika 5. Lega in obseg velikih zgodovinskih potresov (velikost prelomnih con) na mejnem območju med Indijsko in Evrazijsko ploščo na območju severnega Pakistana in Indije (COMET, 2005).
Figure 5. Location and extent of major historical earthquakes (size of the fracture zone) on the boundary between the Indian and Eurasian plates in the area of Northern Pakistan and India (COMET, 2005)

Ozemlje Pakistana so razdelili v štiri potresne cone v odvisnosti od maksimalnega pospeška tal (peak ground acceleration - PGA). Na območju, kjer je bil najmočnejši potres (Quetta, Balochstan) na zahodnem delu države ob meji z Afganistanom, seizmologi ocenjujejo največje možne vrednosti pospeška med 0,24 in 0,40 g, podobne vrednosti veljajo tudi za severni Pakistan. Na nadžariščnem območju zadnjega potresa pa so bile pričakovane vrednosti med 0,15 in 0,24 g, kar pomeni, da je bil pospešek podcenjen. Končnih podatkov o izmerjenih pospeških ob zadnjem potresu še ni, vendar bodo po vsej verjetnosti presegli vrednosti, ki so dane na karti potresne nevarnosti Pakistana (slika 6).



Slika 6. Karta potresne nevarnosti (izražene z vrednostmi maksimalnega pospeška tal) kaže, da je večji del Pakistana potresno ogrožen. Proti zahodu, severozahodu in severu potresna nevarnost narašča, proti Indiji pa je potresna nevarnost manjša. Verjetnost prekoračitve vrednosti na karti je 10 % v 50 letih

Figure 6. The seismic hazard map (expressed in values of maximum ground acceleration) shows that the majority of Pakistan is at earthquake risk. The earthquake hazard increases towards the west, north-west and north, and reduces towards India. The likelihood of exceeding the values on the map is 10 % in 50 years.

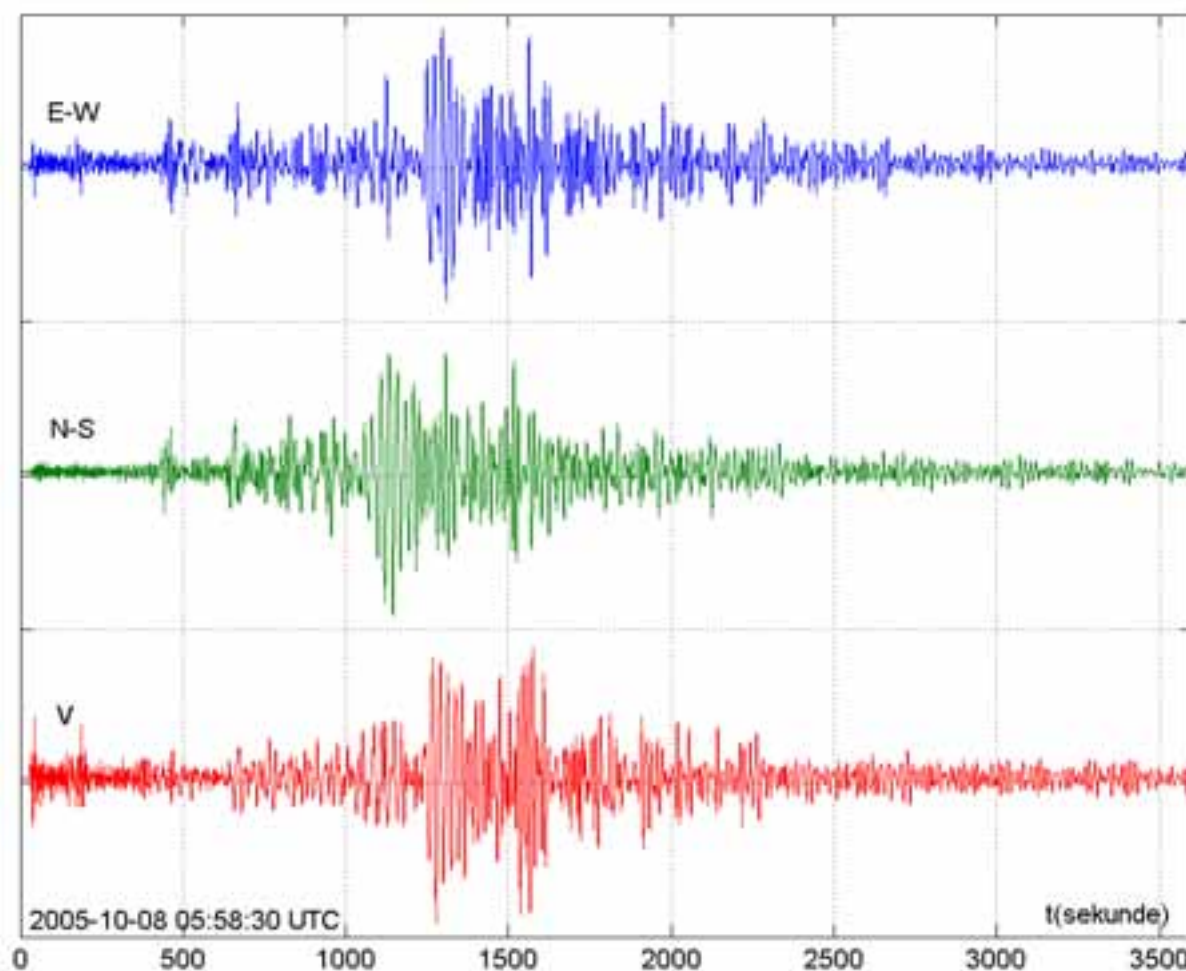
Razlika med globinami potresnih žarišč

Primer potresa v Pakistanu nam kaže, kaj pomeni globina potresnih žarišč. Po prvih izračunih je bilo žarišče globoko le 26 km, kar je imelo za posledico izjemno močne učinke na površini. Dva potresa enake moči imata lahko na površini popolnoma različne učinke, če se globina njunih žarišč zelo razlikuje. Čim globlje žarišče ima potres, tem večja površina

ozemlja se bo zatresla, vendar bodo njegovi učinki (intenzitete) na površju relativno majhni. Enako močan potres s plitvim žariščem pa bo lahko na površju povzročil pravo razdejanje, kljub temu, da ne bo zajel tako velikega območja. Seveda govorimo o močnih potresih.

Zapisi potresov v slovenski mreži potresnih opazovalnic

Potresni valovi so od žarišča do slovenskih potresnih opazovalnic potovali dobrih osem minut; na opazovalnici na Golovcu v Ljubljani so jih seizmografi zabeležili ob 03. uri 58 minut in 58 sekund UTC. Žarišča potresnih sunkov so od observatorija na Golovcu oddaljena 45,5°, kar je 5050 kilometrov (slika 7). Za primerjavo: potresna energija pakistanskega potresa je bila približno 800-krat večja od posoškega potresa leta 1998. Primerjava pakistanskega potresa s potresom v Indoneziji 26. decembra 2004 ($M_w=9,0$) pa kaže, da je bil indonezijski potres približno 90-krat močnejši od pakistanskega.

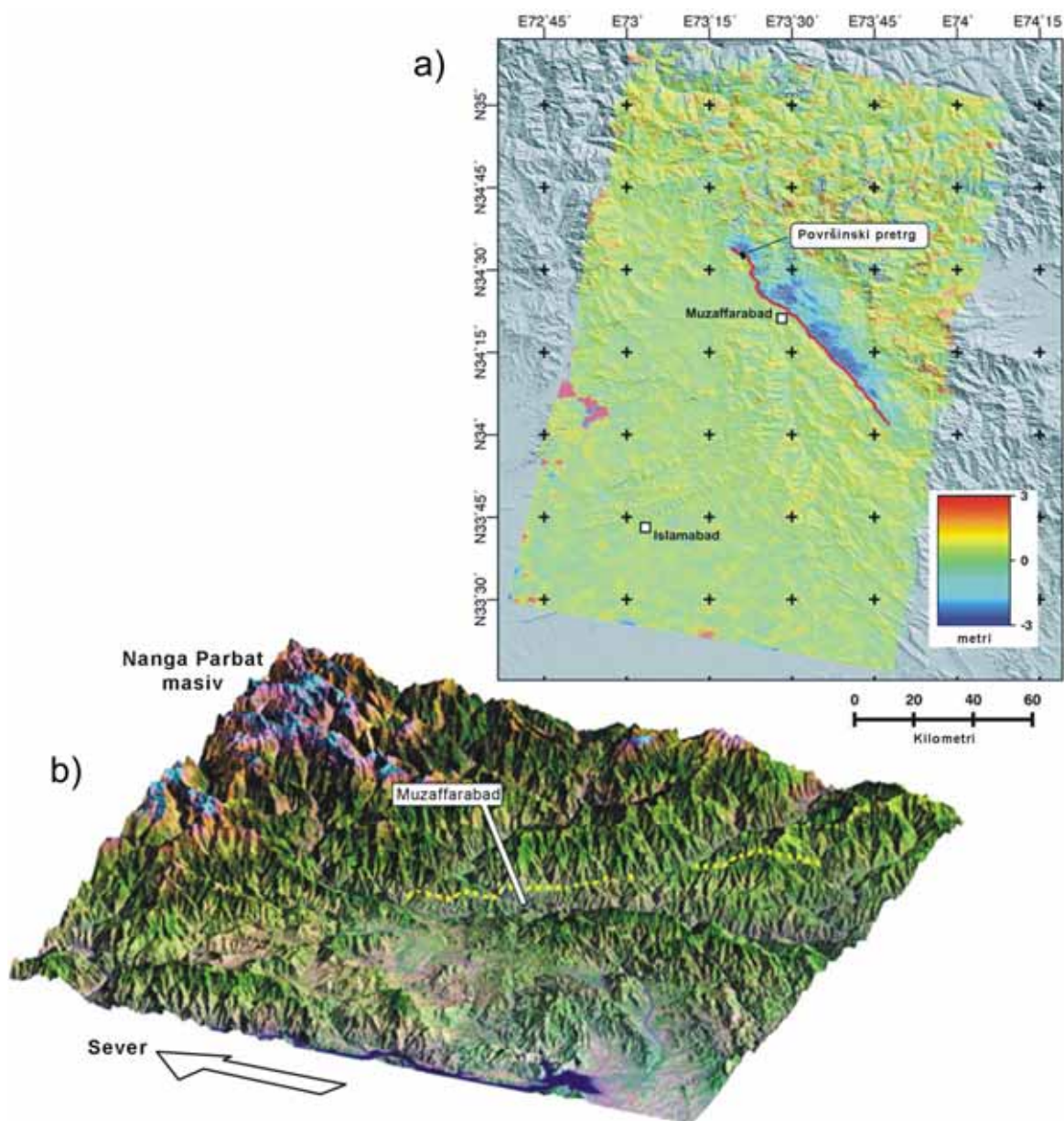


Slika 7. Zapis potresa na potresni opazovalnici državne mreže na Golovcu v Ljubljani. Potres je zaznalo 20 opazovalnic nove mreže. Slika kaže tri komponente več kot uro dolgega zapisa. Primarnim valovom so po 342 sekundah sledili sekundarni valovi. Površinski valovi so v nekaj urah nekajkrat obkrožili Zemljo.

Figure 7. Record of an earthquake from the earthquake observatory of the national network on Golovec in Ljubljana. Twenty observatories of the new network recorded the earthquake. The figure shows three components of a more than an hour long record. The primary waves were followed after 342 seconds by secondary waves. Surface waves circled Earth several times in a few hours.

Najbolj prizadeta območja

Med potresom je bilo zelo močno prizadeto območje v polmeru do 25 km od nadžarišča potresa. Ocenjeno je bilo, da je na tem območju popolnoma porušenih vsaj četrtina objektov, okoli polovica pa jih je bilo močno poškodovanih. Najbolj prizadeta mesta v Pakistanu so bila Abbotabad, Muzaffarbad, Bagh, Rawlakot in Balakot (slika 8).



Slika 8. Prikaz preloma, ki se je aktiviral ob zadnjem potresu. Na skrajnem severozahodu je viden površinski pretrg (Eefit in Kazai) (a); 3D pogled na območje potresa v Kašmirju in najbolj prizadeto mesto Muzaffarabad (b) (COMET, 2005).

Figure 8. Depiction of a fracture that was activated during the recent earthquake. In the extreme northwest can be seen a surface crack (Eefit and Kazai) (a); 3D view of the region of the earthquake in Kashmir and the most affected town of Muzaffarabad (b) (COMET, 2005).

Muzaffarabad je prestolnica pakistanskega dela Kašmirja. Zgrajeno je na sotočju rek Neelum in Jhelum in ima 80.000 prebivalcev. Žarišče je bilo od mesta oddaljeno približno 10 km proti severovzhodu. Posledica bližine žarišča potresa je bila porušitev ali huda poškodovanost 30-

50% zgradb. Poškodbe so bile pogostejše na objektih, ki so bili postavljeni na debelejših aluvialnih tleh vzdolž rek Neelum in Jhelum.

Poškodbe v Balakotu so bile posledica bližine žarišča. Mesto leži okoli 30 kilometrov severozahodno od žarišča in ima prav tako okoli 80 000 prebivalcev.

V mestu Abbotabad so bile nastale poškodbe tudi posledica lokalnih pogojev temeljnih tal (mesto je zgrajeno na izsušenem močvirju).

Tipi zgradb

Glavni vzrok poškodb je gradbena praksa v tem delu sveta in zato obsežna rušenja objektov ob tako močnem potresu tu niso presenečenje. Na goratem podeželju je bilo porušenih ali močno poškodovanih tudi do 50 % vseh zgradb. Vlada v Pakistanu je ocenila, da je bilo 80 % vseh porušenih zgradb na podeželju; delež poškodb v mestih pa k skupnemu številu prinaša le 20 %.



Slika 9. Balakot: zidovi niso povezani z vezmi. Porušitev kamnitega zidu zaradi nihanja pravokotno na ravnino.

Figure 9. Balakot: masonry walls are not connected with bond-beams. Collapse of a stone-masonry wall as a result of out-of-plane vibrations.

V nadaljevanju so dani opisi značilnih tipov gradenj. Zidane zgradbe na prizadetem območju so grajene iz lokalnega kamna (obdelanega in neobdelanega), betonskih blokov ali opeke. Zelo značilen način novejših gradnje pa so konstrukcije iz armirano betonskih okvirov, ki so zapolnjeni z betonskimi bloki ali opeko. Temelji pri zidanih zgradbah so navadno kamniti, okoli 60 cm globoki in 40 do 50 cm široki.

Nearmirane kamnite zidane zgradbe: Veliko število žrtev na podeželju je bilo posledica popolne porušitve nearmiranih pritličnih zgradb. Te so grajene iz lokalnih materialov, predvsem nepravilno obdelanega kamna. Večinoma pa se uporablja okrogli kamen, odvezet

iz ledeniških oziroma rečnih nanosov. Za zidanje uporabljena malta je slaba, apna je malo, še manj je cementa. Uporaba blata kot veziva ni neobičajna. Cementne malte (kadar so se že uporabljale) so sestavljene iz enega dela cementa na deset delov peska. Slaba kvaliteta malte je bila povsod takoj opazna, saj se je pod prsti luščila in drobila. Stropovi so iz lesenih brun, kot polnilo med bruni pa je uporabljena z blatom pomešana slama. V to skupino prištevamo tudi zgradbe, grajene iz na zraku sušene opeke (adobe), za katere je znano, da se izredno slabo obnašajo med potresi. Strehe so običajno lahke, lesene in krite z valovito pločevino.

Kamnite zgradbe so običajnejše na podeželju kot v mestih. Kvaliteta malte in uporabljenega kamnja sta slaba predvsem zaradi ekonomskega položaja ljudi. Uporaba zaobljenega, gladkega kamnja pa je tudi prispevala k slabi povezanosti. Prav tako ni bilo nobenih vodoravnih povezav na nivoju stropov. Grede so se pojavljale le nad okni in vrati, ni pa bilo nikjer nam znanih vencev, ki povezujejo konstrukcijo. Prav tako pa tudi ni bilo kakršnihkoli vertikalnih vezi. Tako so bile porušitve neizogibne (slika 9).



Slika 10. Muzaffarabad: v ospredju porušena hiša iz betonskih blokov, v ozadju nepoškodovana hiša iz opeke in levo močno poškodovana hiša iz kamnitih blokov.

Figure 10. Muzaffarabad: collapsed concrete block masonry house (front), non-damaged clay brick masonry house (in the back) and heavily damaged concrete block masonry house (left).

Nearmirane zidane zgradbe iz betonskih zidakov: Betonski zidaki so bili pogosto uporabljeni v mestih in redkeje na podeželju. Zidaki so običajno 15 cm dolgi, 15 cm široki in 30 cm dolgi iz lahkega betona nizke trdnosti. Čeprav so položeni v cementno malto, jih pred

zidanjem niso močili z vodo. Takšen tip gradnje je imel običajno betonske stropove. Porušitev zgradb iz betonskih zidakov je bila najpogostejši vzrok poškodb in žrtev v mestih. Vzroki porušitev so bili: slaba kvaliteta betona, uporabljenega za izdelavo zidakov, slaba kvaliteta malte, nezadostna debelina sten (najpomembnejši strižni elementi za prevzem potresnih sil), nepovezanost sten v različnih smereh in slabe povezave v vogalih. Po potresu so bile jasno vidne posledice: zidovje je razpadlo, kot bi bilo zloženo iz kock, na betonskih zidakah pa ni bilo sledu malte (slika 10).

Nearmirane zidane zgradbe iz opečnih zidakov: Zgradbe iz opeke so zelo značilne za mesta in so se med potresi obnašale bistveno bolje kot zgradbe iz kamna ali betonskih zidakov. Glede na podatke potresno inženirskega centra v Pešavaru predstavljajo nearmirane pritlične in enonadstropne opečne zidane zgradbe z armiranimi stropi okoli 25 % zgradb v mestih blizu žarišča potresa. Zelo zanimiv je podatek, da se je 30 % zgradb tega tipa porušilo, medtem ko so ostale utrpeli zanemarljive poškodbe. Ker je opeka kot gradbeni material dražja, so lastniki teh zgradb premožnejši ljudje. Tako je s tem povezano tudi boljše delo pri gradnji in kvalitetnejša malta. Tudi stropne konstrukcije so praviloma monolitne armirano betonske plošče. Vendar kljub temu ni bilo najdenih nobenih elementov, ki bi zadoščali kriterijem potresno odporne gradnje (vodoravne in navpične vezi na primer). Bistveno boljše obnašanje je tudi posledica načina zidanja: opeko po tradiciji pred polaganjem v malto namakajo v vodi. Skratka; bogatejši so si lahko privoščili ne le dražji material, ampak tudi najboljše zidarje in učinkovit nadzor. Potres je pokazal, da se jim je investicija izplačala.

Armirano betonski okvirji: V armiranem betonu intenzivneje gradijo zadnjih 15 let predvsem vladna poslopja, šole, bolnišnice, hotele, tržnice in tudi stanovanja. Armirano betonske stavbe v mestih običajno ne presegajo višine štirih, morda petih nadstropij. Prevladujejo okvirne konstrukcije, včasih okviri z zidanimi polnili. Stenastih konstrukcij ne uporabljajo. Delež teh zgradb pa skupno predstavlja manjšino med vsemi zgradbami. Čeprav modernejša, so bile tudi mnoge od teh zgradb porušene ali močno poškodovane. Pogost tip poškodb so bili poškodovani stiki stebrov in prečk. Vzrok temu je bila pogosto prevelika vitkost stebrov v primerjavi s togimi prečkami. Porušitve tega tipa zgradb so bile torej posledica slabosti pri projektiranju na potresne sile. Problem pa predstavljajo slabosti pri polaganju armature: slabo preklapljanje in sidranje armature ter pomanjkanje stremenske armature. V mestih so bili tudi pogosti primeri gradnje večetažnih objektov z mehкими pritličji (velike odprtine v pritličjih, potrebne za uporabo prostorov za gostinske ali trgovske namene, v višjih etažah pa so stanovanja, kjer so postavljene stene). Končne posledice so bile seveda porušitve stavb, od nerazpoznavnega kupa ruševin (kjer bi težko ugotovili, kaj in zakaj se je podrlo), zlaganja stropnih plošč (palačinke), do hudih nagibov in delnih porušitev zaradi mehkih pritličij (slike 11 do 19).



Slika 11. Abbotabad: ostanki armiranobetonske stavbe z zidanimi opečnimi polnili.
Figure 11. Abbotabad: debris left of an r.c. frame structure with masonry infill walls.



Slika 12. Abbotabad: nedokončana armiranobetonska okvirna konstrukcija z zidanimi polnili. Zidana polnila v pritličju so območje poškodb preselila v prvo nadstropje. V eni smeri šibki stebri in stopnišče v vogalu v enem od vogalov so povzročili nastanek plastičnih členkov v stebrih nad pritličjem, velike preostale deformacije zgornjega dela konstrukcije, zasuk konstrukcije zaradi torzijskih vplivov in hude poškodbe stopnišča.

Figure 12. Abbotabad: an r.c. frame structure with masonry infill in the phase of construction. Because of filler walls in the ground floor, the damage to columns did not occur in the ground floor but in higher stories. Weak columns in one direction and rigid staircase located in one of the corners caused torsional effects. Plastic hinges developed in the columns, resulting in large permanent displacements of the structure. Heavy damage occurred to staircase.



Slika 13. Prehod iz pritličja, kjer je okvirna konstrukcija zapolnjena z zidanimi polnili, v prvo nadstropjem. Detajl.

Figure 13. The transition zone between the ground floor, where the frame structure is filled with concrete block masonry filler walls, and the storey without the filler walls. Detail.



Slika 14. Detajl poškodb stopnišča v vogalu.

Figure 14. Detail of damage to the staircase in the corner.



Slika 15. Abbotabad: detajli poškodb porušene armiranobetonske konstrukcije - neustrezno položena armatura vozlišča.

Figure 15. Abbotabad: details of damage of a collapsed r.c. structure - inadequate joint reinforcement.



Slika 16. Abbotabad: detajli poškodb porušene armiranobetonske konstrukcije - plastični členki v stebrih in porušena medetažna konstrukcija.

Figure 16. Abbotabad: details of damage of a collapsed r.c. structure - plastic hinges in the columns and collapsed floor structure.



*Sliki 17. Balakot: do nerazpoznavnosti porušena armiranobetonska konstrukcija.
Figures 17. Balakot: it is not possible to identify the collapsed r.c. structure.*



Slika 18. Balakot: porušena armiranobetonska konstrukcija hotela (medetažne konstrukcije so zložene kot palačinke).

Figure 18. Balakot: collapsed r.c. structure of a hotel buildings (pancaked floor structures).



Slika 19. Balakot: trgovina z vsakdanjimi potrebščinami. Prebivalci niti ne opazijo ruševin.
Figure 19. Balakot: street market. People don't notice the collapsed buildings.

Šole in bolnice

Šole so državne in vsaka lokalna skupnost ima svojo šolo. Tudi najodročnejše vasi imajo svojo šolo. Žal so se med potresom obnašale še slabše kot nevladne zgradbe. Slaba kvaliteta gradnje, pomanjkanje potresno odporne projektiranja so bili vzrok, da so se mnoge porušile (sliki 20 in 21). Čeprav so se mnoge šole porušile, večina preostalih pa je bila močno poškodovana, se je pouk začel kmalu odvijati na šolskih dvoriščih.

Tudi mnoge bolnice v regiji so bile močno poškodovane ali pa so se porušile. Tako se je porušila osrednja bolnica v Muzaffarabadu. Zaradi ocene poškodovanosti je bila evakuirana bolnica v Abbotabadu (Ayub Medical College), kot tudi Abbas Medical Institute v Muzaffarabadu. Za oba objekta se je naknadno ugotovilo, da je bila nepravilno ocenjena poškodovanost nekonstruktivnih elementov (sama konstrukcija sploh ni bila poškodovana). Tako sta se oba zdravstvena centra po nepotrebem pridružila objektom, kjer niso mogli zagotavljati medicinske oskrbe.

Zaradi pomanjkanja strokovnjakov za ocenjevanje primernosti objektov in nezaupanje v njihove ocene o nadaljnji uporabnosti objektov so se mnogi ljudje začasno izselili. Na ta način so po nepotrebem obremenjevali že tako prezasedene začasne nastanitvene centre.



Slika 20. Na poti v Muzaffarabad: porušena šola.
Figure 20. On the way to Muzaffarabad: collapsed school building.



Slika 21. Na poti v Muzaffarabad: lesena strešna konstrukcija šole, porušeni prečni zid in močno poškodovano obodno zidovje.
Figure 21. On the way to Muzaffarabad: wooden roof structure of a school building, collapsed cross wall and heavily damaged peripheral walls.



Slika 22. Muzaffarabad: porušena hiša, sezidana iz betonskih blokov.
Figure 22. Muzaffarabad: collapsed house, built of concrete blocks.



Slika 23. Muzaffarabad: porušena hiša, sezidana iz betonskih blokov.
Figure 23. Muzaffarabad: collapsed house, built of concrete blocks.



Slika 24. Muzaffarabad: ruševine zidane konstrukcije z armiranobetonskimi stropnimi ploščami.

Figure 24. Muzaffarabad: collapsed masonry structure with r.c. floor slabs.



Slika 25. Muzaffarabad: delna porušitev zidane konstrukcije z nepovezanim zidovjem. Vidi se struktura kamnitega zidu.

Figure 25. Muzaffarabad: partial collapse of a stone-masonry structure without bond-beams. Typical structure of stone-masonry can be seen.



Slika 26. Muzaffarabad: palača vrhovnega sodišča. Strižne poškodbe neustrezno zasnovanih stebrov.

Figure 26. Muzaffarabad: supreme courthouse. Shear damage on inadequately designed r.c. columns.

Infrastruktura

V splošnem so bili infrastrukturni objekti manj prizadeti kot zgradbe. V tednu dni po potresu je bilo vzpostavljeno vodovodno in električno omrežje. Ceste so bile na številnih mestih zasute s plazovi, poškodovani so bili tudi mostovi. Predvsem so bili poškodovani mnogi mostovi v ozkih dolinah na rekah Jhelum in Kishenganga, v katerih ležijo prizadeta mesta.

V Pakistanu je veliko visečih mostov, ki jih ne uporabljajo le pešci, ampak so ponekod namenjeni tudi za lažja osebna vozila. Na obrežjih so postavljeni betonski stebri, prek katerih so napeljane nosilne jeklene vrvi, na katere je obešena pohodna konstrukcija. Pri teh mostovih so se ponekod premaknili temelji obrežnih pilotov. Hujše poškodbe so povzročili veliki premiki sidrskih blokov za kable, ki so nastali zaradi zdrsa brežin. Posledica zdrsa sidrskih blokov za sidranje kablov za bočno zavetrovanje so bile velike deformacije mostu v vzdolžni smeri, posledica iztrganja nosilnih kablov iz sidrskih blokov pa delna porušitev mostu, ki je obvisel le na enem kablju. Čeprav so takšne mostove oblasti uradno zaprle za promet, ljudje prepovedi niso upoštevali.

Med poškodovanimi so bili tudi večji cestni mostovi, večinoma z armiranobetonsko prekladno konstrukcijo. Kot se je dalo na hitro ugotoviti, so se prekladne konstrukcije obnašale ustrezno, saj je večino poškodb pripisati premikom opornikov, oziroma betonskih blokov, v katere so bili sidrani kabli visečih mostov. Zaradi nestabilnih brežin je prišlo do zdrsov ali celo prevrnitev opornikov, kar je povzročilo padce prekladne konstrukcije. Prekladne konstrukcije so manjše poškodbe utrpeli predvsem na podporah, izjemoma je

hujše poškodbe utrpel prečni vezni nosilec prekladne konstrukcije na vmesni obrežni podpori glavnega cestnega mostu v Muzaffarabadu. Na nasprotni podpori istega mostu je viden tudi skoraj metrski premik opornika v prečni smeri (sliki 27 in 28).



Slika 27. Muzaffarabad: padec nove prekladne konstrukcije cestnega mostu zaradi prevrnitve krajnjega opornika.

Figure 27. Muzaffarabad: the falling of a bridge deck from support due to overturning of a pier.

Učinki potresa na okolje

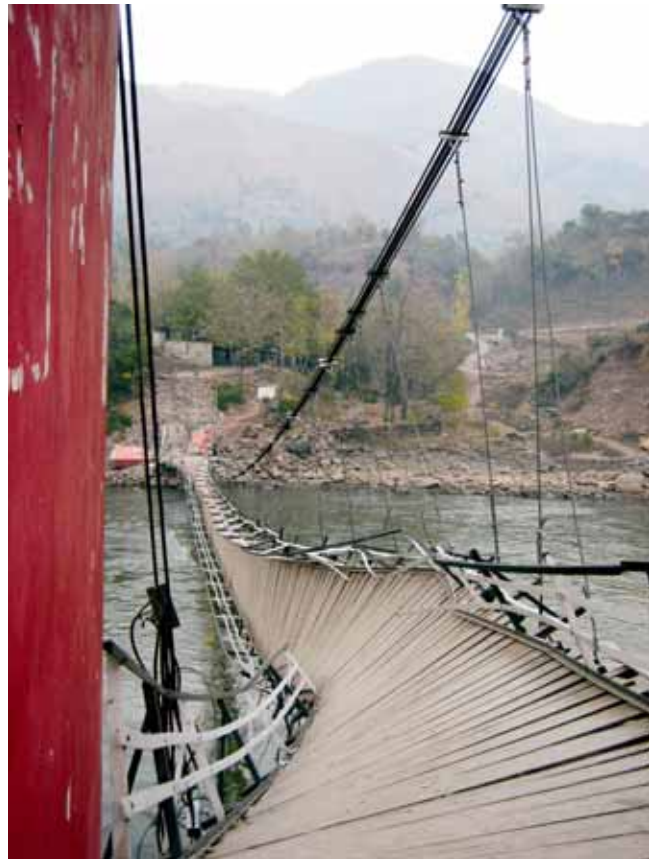
Z zemeljskimi plazovi imajo v goratem Kašmiru vsakoletne težave, saj se zaradi razmeroma nestabilnih in erozijsko občutljivih pobočij (ledeniške in rečne naplavine se še niso pretvorile v konglomerat, veliko je laporja in skrilavca) ob monsunskem deževju redno sprožajo plazovi, ki zasujejo ceste in včasih za več dni onemogočijo promet.

Potres je sprožil številne večje in manjše zemeljske plazove in podore. Največji se je sprožil kakih 40 km severovzhodno od nadžarišča: dolg je bil skoraj 2 km, splazelo pa je do 2 milijona kubičnih metrov zemljine (EERI, 2005). Zaradi plazov naj bi bilo uničenih kar 1200 km cest, zato še več kot mesec po potresu ni bila vzpostavljena prometna povezava z vasmi po okoliških hribih.

Ljudje za boljšim zaslužkom silijo v mesta tudi v Kašmiru, zaradi pomanjkanja oziroma vse dražjega terena v dolini postavljajo hiše tudi na strmih in nestabilnih pobočjih. Do hiš speljejo ožjo ali širšo pot, kar razmere še poslabša. Tako je potres tudi s proženjem plazov zahteval žrtve (slike 29 do 31).

Slika 28. Muzaffarabad: za prehod preko deroče reke Jhelum po visečem mostu, pri katerem se je med potresom na eni strani iztrgal kabel, je potrebno precej poguma.

Figure 28. Muzaffaravad: courage is needed to cross the Jhelum River on a suspended bridge, where one of the cables has been torn from the anchor block during the earthquake



Slika 29. Muzaffarabad: strma pobočja, ki so jih v ledeniške nanose izdolble reke, so nestabilna. Številni zdrsi in podori so zasuli ceste in pod seboj pokopali stavbe.

Figure 29. Muzaffarabad: steep slopes, cut in the glacier deposits by rivers, are not stable. Numerous landslides and rockfalls buried the roads and buildings.



Odprava posledic in drugi ukrepi

Dober mesec po potresu, so bile vsaj v dolini in največjih mestih akcije za odpravo posledic v polnem teku. Pakistanu so na pomoč priskočile številne države, med katerimi so posebej močno zastopane muslimanske. S tehniko in logistiko so prednjačile ZDA, ki so na prizadeto območje poslale helikoptersko brigado in bolnišnico iz Afganistana. Da bi vzbudili večje zaupanje, so ameriški vojaki prišli brez orožja. Ker pa med ljudmi niso priljubljeni, so jih varovali pakistanski vojaki. Uradno je Pakistan sicer eden večjih zaveznikov ZDA v vojni proti Al Kaidi, v resnici pa so ljudje na območju, kjer tudi meja z Afganistanom ni prav daleč, simpatizerji talibanov.

Organizirana so bila številna taborišča za brezdomce. Vedno pa se v takih primerih pojavijo razprave o tem, kako ljudem zagotoviti zatočišča oziroma kako obnoviti njihove hiše. Običajno je zelo agresivna industrija, predvsem multinacionalke, ki ponujajo različne "najboljše" rešitve, od pločevinastih hiš, ki se jih sestavi na kraju samem, do plastičnih kioskov, kakršne so bili ponekod že postavljeni. Osnovni moto je seveda: saj bo za uboge ljudi vse zastonj, plačala bo vlada. Kdo se pa še vpraša, odkod vladi denar? In seveda se nihče ne vpraša, kako bodo ljudje taka bivališča, ki so poleti vroča, pozimi pa mrzla, vzeli za svoja. Od tistih, ki nudijo pomoč v upanju, da bodo sklenili dober posel, seveda nihče ne zagovarja izboljšanja tradicionalne gradnje.



Slika 30. Muzaffarabad: številni zdrsni pobočij nad reko v bližini mesta.

Figure 30. Muzaffarabad: numerous landslides occurred on the slopes above the river in the vicinity of the city.



Slika 31. Muzaffarabad: številni zdrsi pobočij nad reko v bližini mesta.

Figure 31. Muzaffarabad: numerous landslides occurred on the slopes above the river in the vicinity of the city.

V nasprotju s "poslovneži" so številne mednarodne in druge nevladne organizacije med drugim organizirale in postavile ambulante in druge centre, ki prebivalcem pomagajo prebroditi najhujše težave. Zato je bilo vsaj v mestih videti, da se je utrip življenja kljub temu, da je med potresom skoraj vsak koga izgubil, že vrnil v stare tire.

Predpisi o potresno odporni gradnji

Čeprav v pakistanskih predpisih obstaja seizmično zoniranje, prizadeto območje bodisi ni uvrščeno med potresno nevarna območja ali pa, delno, v območje nizke do zmerne potresne nevarnosti. Potres v Kašmiru je predstavljal presenečenje za pakistansko gradbeno stroko. Potresni nevarnosti ni posvečena posebna pozornost ne pri projektiranju ne pri urbanističnem planiranju. Projektiranje potresno odpornih zgradb se omejuje le na posamezne izjemno pomembne zgradbe. Pravih predpisov v Pakistanu ni. V večjih mestih so posamezni projektanti uporabljali britanske standarde ali pa ameriški standard (UBC). Če pa so z nekaj znanja oboroženi projektanti, pa manjka usposobljenih izvajalcev. Še pomanjkljivejši je nadzor, ki se izvaja le na zelo pomembnih objektih na posebno zahtevo investitorja. Pakistanska praksa je, da projektanti prepustijo armaturne načrte izvajalcu. Katere profile ter kam in kako položiti izračunano količino armature, je stvar izvajalca. Tako je vse opravljeno tako, da se zmanjšujejo stroški in povečuje dobiček na račun kakovosti gradnje.

Po potresu je pakistanski predsednik sicer zahteval, da je v enem mesecu potrebno pripraviti prenovljen predpis, vendar Tako so mnogi posamezniki pričeli z rekonstrukcijo brez predpisa ali brez zahtev po uveljavljanju vsaj obstoječega predpisa. Ob pogoju, da Pakistan ne bo že čez nekaj let pozabil na posledice potresa, bo trajalo kar nekaj let, da se stanje izboljša. Tu ne gre le za spremembo predpisa, gre za sredstva za raziskave, spremembo visokošolskega sistema in vpeljavo nove prakse v vsakdanje življenje.

Povzetek podatkov

- Porušeni stanovanjski objekti so zahtevali veliko število žrtev (skupno vsaj 87 300 umrlih in skupno vsaj 75 000 ranjenih). Mnoge žrtve so bile ženske in otroci. Glede na to, da v vsaki hiši prebiva 6 do 7 ljudi, je bilo ocenjeno, da je po potresu brez bivališča ostalo okoli 4 milijone ljudi.
- Poškodbe na bolnišnicah so pomenile, da je bilo potrebno poškodovane in običajne bolnike oskrbeli v poljskih bolnišnicah. Problem zdravstvene pomoči pa je bil še toliko hujši, ker je v porušeni in močno poškodovani bolnišnicah preminulo ali bilo poškodovanega precej specializirano usposobljenega zdravstvenega osebja. Problem je predstavljala tudi izguba kartotek in ostalih podatkov o pacientih.
- Porušitve šol in drugih vzgoji in izobraževanju namenjenih objektov je imela za posledico veliko število žrtev med šolajočo se mladino (18 095). Izguba 853 učiteljev pa pomeni tudi izgubo kadra in tudi vlaganj države v oblikovanje tega kadra. Postavljeni so bili začasni objekti, tako da se je pouk lahko nadaljeval.

Priporočila

- Po takšnih potresih se za obdobje pred ponovno pozidavo svetuje izdelava podrobnejših kart potresne nevarnosti. Te naj bi vključevale zadnja dognanja in podatke na področju geologije, tektonike in seizmičnosti prizadetega območja. Takšne karte v nadaljnji rabi omogočajo upoštevanje realnejših potresnih obremenitev pri projektiranju, kot tudi osnovo za smotrnejšo rabo prostora.
- Potres je pokazal tudi na veliko nevarnost plazov in poplav. Tudi te podatke je smotrno upoštevati pri izdelavi osnovnih pogojev glede rekonstrukcije prizadetega območja.
- Obsežne porušitve gradbenega fonda pomenijo pomanjkanje znanja in prakse na področju potresno odporne gradnje in gradnje v regiji. Zato je potrebno zagotoviti dosledno upoštevanje načel potresno odporne gradnje v vseh fazah izvedbe (od projekta do gradnje).
- Glede na to, da je bil delež poškodovanih stanovanjskih objektov velik in glede na prakso da je ta gradnja prepuščena lokalnemu nadzoru in individualni gradnji, je potrebno poskrbeti za dober izobraževalni program o potresno odporni gradnji z uporabo lokalnih materialov in lokalno dostopnih tehnik.
- Posebej pomembno je angažiranje usposobljenih inženirjev, ki imajo potrebno znanje za sodelovanje pri uporabi potresno odporne prakse pri gradnji in še bolj pri nadzoru na terenu ter tudi za ta dela pridobljeno licenco.

Sklepne misli

Ogromno gmotno škodo in številne žrtve lahko pripišemo popolni nepripravljenosti na potres in seveda izredno slabi gradnji. Večina starejših objektov je zgrajenih iz blata, sodobnejši (zadnjih 50 let) pa iz opeke s slabo malto, ki očitno niso bili odporni na potresne sunke. Izkazalo se je, da tudi mnogi novejši objekti niso vzdržali potresnih sil. Zanimiv je podatek, da imajo v Pakistanu izdelane predpise o potresno odporni gradnji, jih pa ne upoštevajo. Število žrtev pa je bilo veliko tudi zaradi goste naseljenosti. Zato verjetno nikoli ne bomo natančno poznali števila mrtvih, po sedanjih podatkih pa že močno presega 86.000. Kakšne razsežnosti je imel dogodek, priča tudi število brezdomcev, ki jih je vsaj 4 milijone, pri čemer za vse niti ne vemo. Reševanje v težkih predelih je bilo zelo otežkočeno, saj je mnogo večji problem logistika kot sama pomoč; v nekatere predele so reševalci prodrli šele čez nekaj dni ali celo tednov po potresu.

Tudi ta potres je potrdil znano pravilo posledic potresa: v razvitem svetu ogromna gmotna škoda in relativno majhno število žrtev, v nerazvitem svetu relativno majhna gmotna škoda in veliko število žrtev.

Literatura

BGS (2005), Seismic Alert: Pakistan 8 October 2005 03:50 UTC 7.6 Mw. British Geological Survey: http://www.earthquakes.bgs.ac.uk/latest/pakistan_08102005.htm.

COMET (2005), "Locating the Kashmir Fault", Centre for the Observation and Modelling of Earthquakes and Tectonics: http://comet.nerc.ac.uk/news_kashmir.html.

First Report on the Kashmir Earthquake of October 8, 2005. EERI Special Earthquake Report, December 2005.

http://www.eeri.org/lfe/clearinghouse/kashmir/reports/kashmir_eeri_1st_report.pdf

http://www.eeri.org/lfe/clearinghouse/kashmir/reports/kashmir_eeri_2nd_report.pdf

http://www.eeri.org/lfe/clearinghouse/kashmir/reports/EEFIT_%20Mission_%20Pakistan_%20prelim_%20report.pdf

USGS, 2005. Preliminary Earthquake Report.

Vse fotografije: Prof. dr. Miha Tomažević

All photographs: Miha Tomažević, Prof. Ph. D.

OBLETNICA POTRESA 1. NOVEMBRA 1755 V LIZBONI ANNIVERSARY OF THE 1 NOVEMBER 1755 LISBON EARTHQUAKE

Renato Vidrih

Povzetek. 1. novembra 2005 je bila 250-letnica potresa v Lizboni, ki je zahteval največ življenj med znanimi evropskimi potresi. Potres leta 1755 na Portugalskem, navkljub ogromni škodi in velikemu številu žrtev, predstavlja začetek sodobne seizmologije.

Abstract. On 1 November, 2005 250th anniversary of the Lisbon earthquake took place. The earthquake demanded the most human lives among known earthquakes occurred in Europe. The 1755 earthquake in Portugal despite the appreciable damage and large number of victims represent the beginning of the modern seismology.

Potres na Portugalskem je imel magnitudo 8,6 (navorna magnituda celo 9,0) in je zahteval več kot 100 000 žrtev. Po moči in številu žrtev je bil najmočnejši potres v znani potresni zgodovini Evrope. Nastal je v nedeljo zjutraj ob 9. uri 30 minut, ko je bilo ob prazniku Vseh svetih veliko ljudi v šestih velikih katedralah. Lizbona je tedaj imela okoli 230.000 prebivalcev. Veliko število žrtev je bila posledica velikega cunamija, rušenja objektov in številnih požarov.



Slika 1. Razkošna operna hiša Opera do Tejo, ki je bila dokončana marca leta 1755, je bila v celoti uničena v požaru, ki je sledil potresu (barvna grafika, Pariz, 1757).

Figure 1. The luxurious Opera House »Opera do Tejo«, had just been completed in March 1755. It was almost completely destroyed by the fire following the earthquake. (Colored engraving, Paris, 1757)



Slika 2. Razvaline katedrale in bazilike Svete Marije (bakrorez, Pariz, 1757).

Figure 2. Ruins of the Cathedral and the Basilica of Santa Maria. (Copper engraving, Paris, 1757)



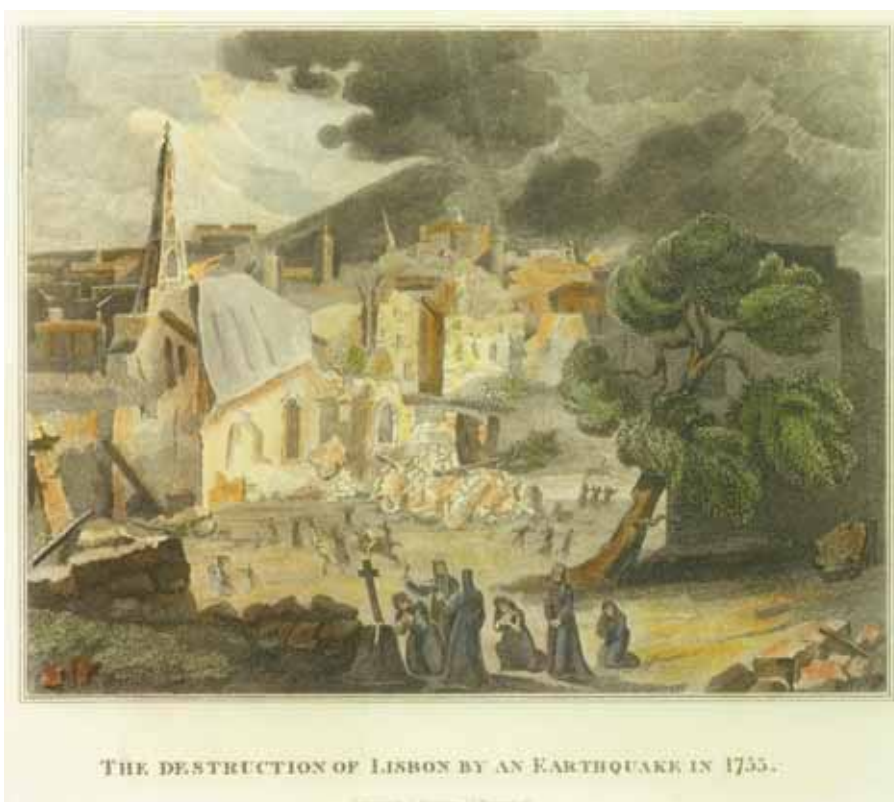
Slika 3. Cerkev Sv. Nikolaja je bila ena najstarejših cerkva v Lisboni in je bila porušena v potresu in požaru (bakrorez).

Figure 3. Igreja de S. Nicolau (Church of St. Nicholas) was one of the oldest churches in Lisbon. Destroyed by earthquake and fire. (Copper engraving)



Slika 4. Pogled na Lisbono z juga vključno z reko Tejo s potapljavajočimi se čolni polnimi beguncev v razburkani vodi. Na levi cunami požira mesto (bakrorez, Francija, 18.stol.).

Figure 4. View of Lisbon from south including the Tagus River with refugee-laden boats sinking in rough water. On left, a fanciful tsunami engulfs the town. (Copper engraving, France, 18th c.)



Slika 5. Nekateri prebivalci, ki so pobegnili iz uničene Lisbone, so rešili svoje imetje, drugi molijo (barvni tisk, Anglija, 1817).

Figure 5. People escaping from ruined Lisbon, some saving their property, some praying. Ruined town in middle. (Colored print, England, 1817)



Slika 6. Namišljen prizor na lizbonski ulici med potresom.
Figure 6. Imaginary street scene during Lisbon earthquake.



Slika 7. Namišljen prizor vedenja ljudi med potresom. Podnapis v češčini: V 10. minutah je bilo 40.000 ljudi zakopanih in mrtvih v potresu (bakrorez, Plzen, Češka, 19. stol.).
Figure 7. Imaginary depiction of the Lisbon earthquake and the inhabitants' response. Caption in Czech reads 'In 10 minutes, 40,000 people were buried and died in the quake'. (Copper engraving, Pilsen, Bohemia, 19th c.)

Žarišče potresa je nastalo v oceanski skorji Atlantskega oceana, približno 200 km od rta St. Vincent. Cunami, velikosti do 20 m (nekateri avtorji pišejo ponekod celo o 30-metrskem valu), je dosegel Lizbono v 40-tih minutah. Ogromno škodo je povzročil tudi v Španiji in severni Afriki (Alžirija in Maroko). Učinki so zajeli območje večje od 2 milijonov km². Kar pod seboj niso pokopale ruševine in ubijalski val, so dokončali požari. Severovzhodni vetrovi so razširili požare po celotni Lizboni in so trajali tri dni. Uničene so bile številne kulturno zgodovinske vrednote, od bogatih knjižnic, rokopisov, umetniških slik, arhivov potovanj... . Popolnoma uničenih je bilo 18 000 objektov, kar je predstavljalo 85% vseh zgradb. V prvih dveh minutah je ob potresu izgubilo življenje 30 000 ljudi, celotno število žrtev v Lizboni pa je preseglo 90 000. V Maroku je bilo 10 000 žrtev. Potres v Lizboni je povzročil nastanek moderne seizmologije, saj je takratni premier, kasneje imenovan Marquis de Pombal pri rekonstrukciji zahteval odgovore na več vprašanj. Odgovori na vprašanja koliko časa je potres trajal, koliko je bilo popotresnih sunkov, kakšno vrsto škode je povzročil, opis obnašanja živali, kaj se je dogajalo z izviri in drugimi vodnimi objekti, še danes omogočajo natančnejši študij nastanka in posledic lizbonskega potresa (Kozak in sod., 2005).

Literatura

Kozak, J. T., Moreira, V. S., Oldroyd, D. L., 2005. Iconography of the 1755 Lisbon earthquake, Geophysical Institute of the Academy of Sciences of the Czech Republic, Praga.

http://en.wikipedia.org/wiki/1755_Lisbon_earthquake

Fotografije so povzete iz knjig avtorjev D. Burkarta in J. T. Kozaka.



MEDNARODNA KONFERENCA »POTRESNO INŽENIRSTVO V 21. STOLETJU«
INTERNATIONAL CONFERENCE »EARTHQUAKE ENGINEERING IN 21ST CENTURY

Renato Vidrih, Peter Sinčič, Matjaž Godec

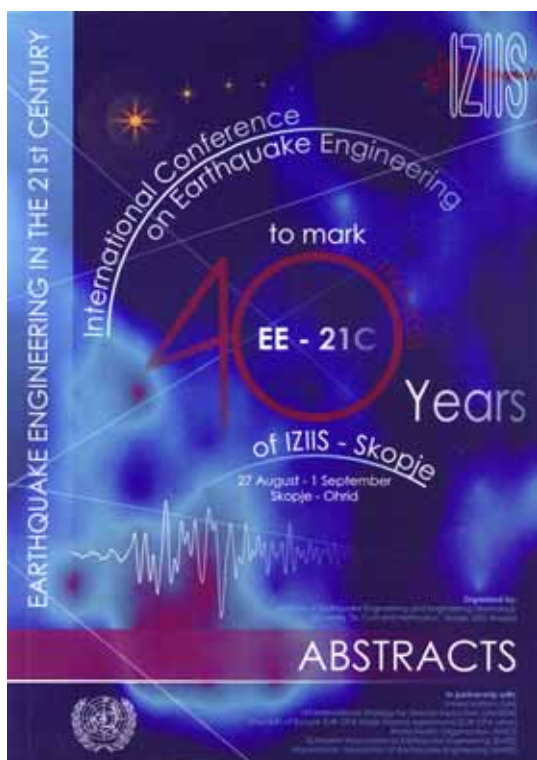
***Povzetek.** V času od 28. avgusta do 1. septembra je na Ohridu potekala mednarodna konferenca »Potresno inženirstvo v 21. stoletju«, ki jo je organiziral IZIIS iz Skopja. Na njej smo sodelovali z dvema prispevki tudi sodelavci ARSO, Urada za seizmologijo in geologijo. Udeležili smo se tudi praznovanja 40-letnice delovanja inštituta, ki je mednarodno uveljavljen in s katerim sodelujemo tudi slovenski seizmologi. Ob vrnitvi smo obiskali še Institut za seizmologijo v Tirani (Albanija) in Republiški hidrometeorološki in seizmološki zavod v Banja Luki (Republika Srbska - Bosna in Hercegovina).*

***Abstract.** On behalf of the Institute of Earthquake Engineering and Engineering Seismology (IZIIS) the International Conference "Earthquake Engineering in 21st Century" was organized to mark 40th anniversary of IZIIS - Skopje. The technical program of the Conference was held in Ohrid in the period 28 August - 1 September, 2005. The experts of The Environmental Agency of the Republic of Slovenia, Seismology and Geology Office, took part in with two contributions. We attended the official opening of the Conference which took place in the IZIIS premises on August 27, 2005. On our return we also visited The Institute of Seismology in Tirana, Albania and Republic Hydrometeorological and seismological Institute in Banja Luka, Serbs' Republic - Bosnia and Herzegovina.*

Dve leti po skopskem potresu (1963) je bil v Skopju ustanovljen IZIIS (Inštitut za potresno inženirstvo in inženirsko seizmologijo). Letos so ob svoji 40 – letnici pripravili posebno obeležje s predstavitvijo uspehov v preteklosti in sedanjimi možnostmi delovanja predvsem na področju preventive in potresno odporne gradnje. Organizirali so tudi mednarodno konferenco, ki je potekala na Ohridu. Na konferenci, kjer je bilo več kot 300 udeležencev, so bile obravnavane naslednje teme:

- Izkušnje zadnjih potresov.
- Modeliranje konstrukcij.
- Geotehnično potresno inženirstvo.
- Analiza konstrukcij.
- Zdravstveni objekti in njihova varnost pred katastrofami.
- Potresna nevarnost in ogroženost.
- Projektiranje konstrukcij.
- Močni potresi in inženirska seizmologija.
- Inovativne tehnologije za zmanjševanje vpliva potresov.
- Eksperimentalno delo in monitoring.

- Družbeno - ekonomski pogledi na potrese.
- Tehnologije in trendi razvoja za monitoring katastrof in zmanjševanje njihovih posledic.



Slika 1. Naslovnica knjige povzetkov, ki je izšla ob konferenci.

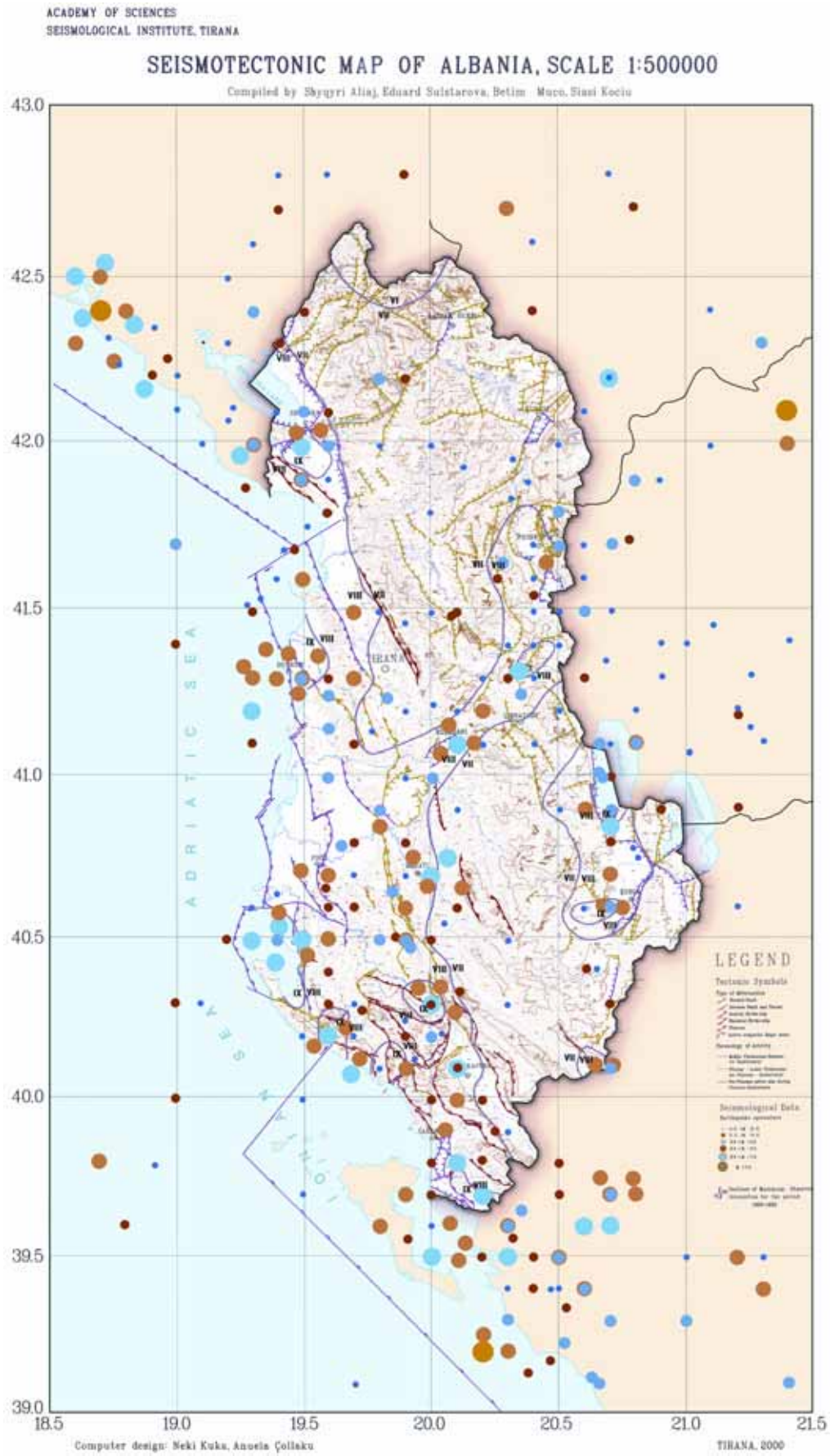
Figure 1. Cover page of Abstract Book published during the conference

Skupno je bilo v obliki predavanj predstavljeno čez 200 prispevkov. Sodelavci ARSO; Urada za seizmologijo in geologijo smo predstavili dva prispevka:

- Godec, M., Vidrih, R., Sinčič, P.: INFLUENCE OF GEOLOGICAL CONDITIONS ON DAMAGE OF BUILDINGS DURING EARTHQUAKES IN UPPER SOČA VALLEY
- Vidrih, R., Sinčič, P., Tasič, I., Godec, M.: NEW APPROACH ON SEISMIC NETWORK DESIGN.

Sodelovanje na konferenci smo izkoristili tudi za izmenjavo mnenj in izkušenj s področja seizmologije, predvsem inženirske in instrumentalne seizmologije, zato smo sodelovali oz. smo bili sklicatelji na več sestankih:

- Delovni sestanek glede napredovanja del na projektu »Seizmološko opazovanje konstrukcij v odvisnosti od geoloških pogojev« (projekt v okviru Makedonsko slovenskega medvladnega znanstveno tehničnega programa sodelovanja v obdobju 2005-06).
- Delovni sestanek s predstavniki proizvajalca seizmološke opreme Kinometrics (Pasadena, Kalifornija, ZDA).
- Oglad predstavitev sistema potresnega ojačevanja zgradb DC90.
- Delovni sestanek s predstavniki držav udeleženk konference z območja JV Evrope o vzpostavitvi boljšega sodelovanja in skupnem nastopu pri pridobivanju projektov.
- Dogovor o digitalizaciji močnih potresov z žariščem v Sloveniji (Univerza v Trstu, IZiIS, ARSO).



Slika 2. Karta potresne nevarnosti Albanije.
Figure 2. Map of earthquake risk for Albania.

S predstavniki različnih seizmoloških ustanov držav jugovzhodne Evrope, ki se ukvarjamo z monitoringom potresov, smo se dogovorili, da bi vzpostavili sistem boljšega sodelovanja in izmenjave podatkov. Posebej zanimivo bi bilo nadaljevanje tako imenovanega »Balkanskega projekta«, ki se je sicer zaključil pred 20 leti. Novi podatki, nova znanja in izkušnje nam namreč dajejo osnovo za pripravo modernejših konceptov, ki bi bili lahko uporabni tako pri projektiranju potresno odpornih objektov kot tudi pri pripravi na ukrepanje ob morebitnem močnem potresu. Kot je v eni od predstavitev predavatelj poudaril, smo na področju nekaterih nesreč ali nevarnosti izjemno prizadevni (npr v prometu), zopet drugje (kamor pogosto spada tudi potres) pa marsikje prepuščamo zadeve same sebi, ker se nekatere nesreče ponekod pač pojavljajo preredko in je ceneje ne vlagati v preventivo ter samo odpravljati morebitne posledice nastalih katastrof.

Glede na to, da imamo v Sloveniji mnogo opreme za beleženje potresov podjetja Kinematics, nas je predvsem zanimalo njihovo napredovanje pri razvoju novega 3-komponentnega širokopasovnega senzorja, ki naj bi imel bistveno izboljšane karakteristike.

Na konferenci so strokovnjaki iz Srbije predstavili sistem potresnega ojačevanja zgradb DC90. Sistem je dobil nagrado EUREKA 97 v Bruslju, praktično pa so ga uporabili v Srbiji po potresu v Kolubarski regiji. Trenutno se dogovarjajo o uvajanju sistema v Iranu, Turčiji in Alžiriji. Glede na to, da so predstavniki podjetja izkazali zanimanje, da bi s pomočjo slovenskih partnerjev skušali prodreti še na druga tržišča, smo jim ponudili možnost predstavitve sistema v Sloveniji na Zborovanju gradbenih konstruktorjev Slovenije.

Skopski IZIIS je še do nedavnega spremljal obnašanje velikih pregrad v Sloveniji. Dogovorili smo se, da bodo sodelavci skopskega inštituta za potrebe Urada za seizmologijo in geologijo vse močne potrese z registracijami na prostem površju tudi digitalizirali. Pri izpeljavi tega projekta pa bomo tako strokovno kot tudi finančno (sofinanciranje) sodelovali z Univerzo v Trstu (prof. Suhadolc).

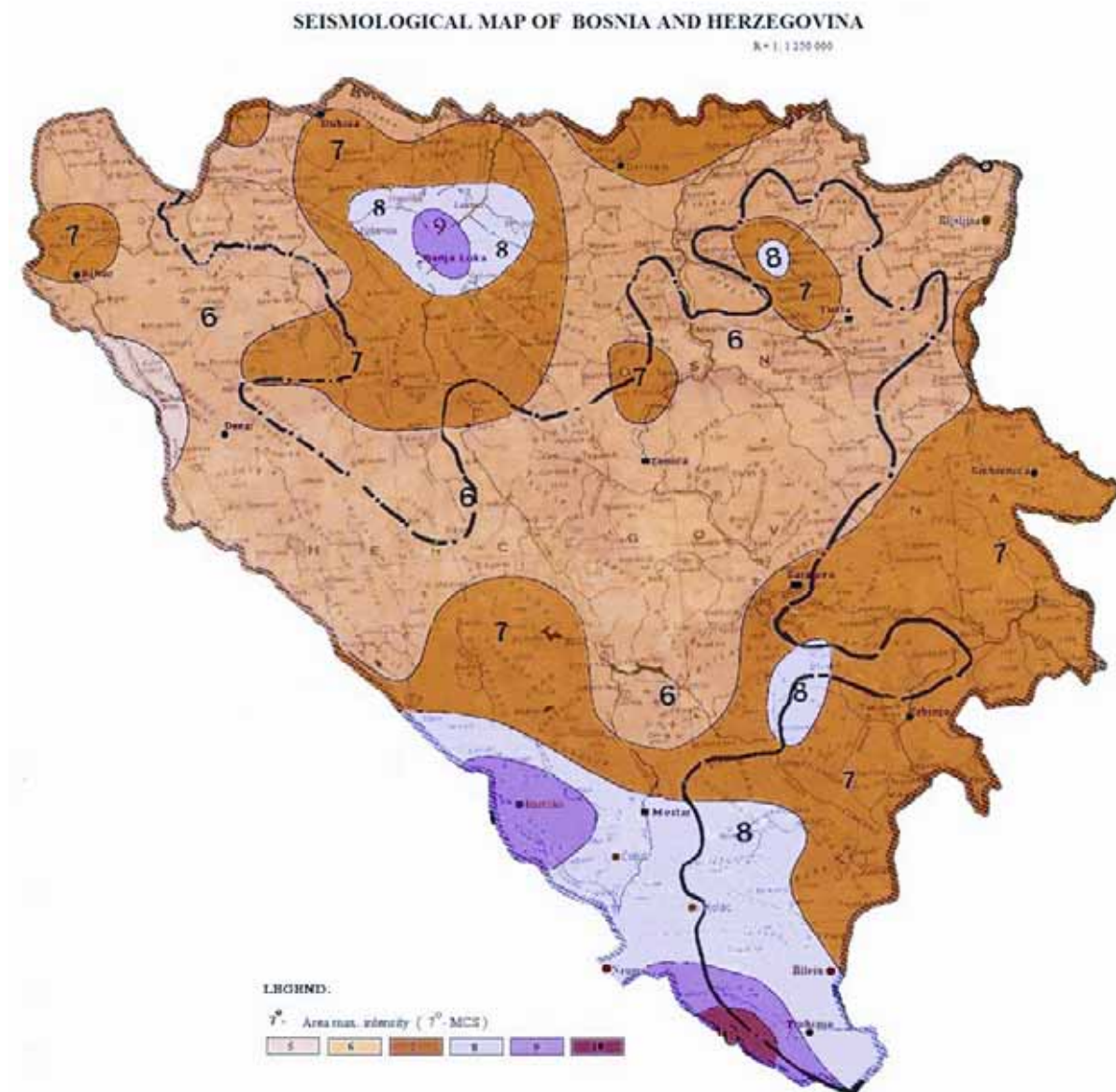
Del obiska je bil tudi delovni sestanek glede napredovanja del na projektu »Seizmološko opazovanje konstrukcij v odvisnosti od geoloških pogojev«. V okviru tega projekta smo se seznanili z makedonskimi izkušnjami spremljanja obnašanja velikih pregrad med potresi. V Makedoniji imajo namreč na objektih in prostem površju instaliranih več kot 100 akceleroagrafov.

Obisk inštituta v Tirani

Ob povratku smo se ustavili v Institutu za seizmologijo v Tirani, s katerim sodelujemo pri razvoju naše programske opreme za vrednotenje potresne nevarnosti (OHAZ). Gostitelji so nam pripravili predstavitev njihovega delovanja. Albanija ima trenutno postavljenih 14 klasičnih široko pasovnih potresnih opazovalnic in 16 akceleroagrafov tipa SMA1. V planu imajo postavitev še 8 potresnih opazovalnic s širokopasovnimi senzorji. Pri tem je zanimiv njihov pristop k reševanju problema prenosa podatkov. Ker imajo različno opremo, ima tudi vsak novejši tip drugačen prenos podatkov. Tako imajo nekatere opazovalnice povezane s klicnimi linijami, nekatere pa imajo kontinuiran prenos podatkov satelitsko.

Obisk inštituta v Banja Luki

V okviru Republiškega hidrometeorološkega zavoda v Banja Luki deluje eden od treh regionalnih seizmoloških centrov v Bosni in Hercegovini, kjer so nam predstavili delovanje in organizacijo seizmološke službe in delovanje potresne opazovalnice Banja Luka. V Republiki Srbski imajo trenutno opazovalnice v Banja Luki, Bjelini, Doboju in Trebinju. Pripravljeno imajo dokumentacijo za postavitev opazovalnice v Srebrenici ter namestitve instrumentov na vodnih pregradah.



Slika 3. Karta potresne nevarnosti Bosne in Hercegovine.
Figure 3. Seismic hazard map of Bosnia and Herzegovina.

**MEDNARODNA KONFERENCA OB 250 LETNICI POTRESA V
LIZBONI
INTERNATIONAL CONFERENCE »250TH ANNIVERSARY OF THE
1755 LISBON EARTHQUAKE**

Renato Vidrih, Peter Sinčič

***Povzetek.** Ob 250 obletnici potresa in cunamija, ki je 1. novembra 1755 porušil glavno mesto Portugalske, je v Lizboni potekala konferenca, na kateri so seizmologi, inženirji, zgodovinarji, arhitekti in ekonomisti predstavili svoje poglede na naravne katastrofe in kako naj jih širša skupnost obravnava. Mednarodna konferenca je potekala v času od 1. do 4. novembra 2005.*

***Abstract.** 250 years after the earthquake that on November 1, 1755 ruined Lisbon the capital of Portugal, the international conference took place. Scientists, engineers, historians, philosophers, urban planners, architects, economists, policy makers, represented an integrated view on our global perception of natural disasters and how must Society should manage them.*

Otvoritveni govor je imel predsednik Republike Portugalske dr. Jorge Sampaio (slika 1). Predavanja so potekala na dveh lokacijah: v Centro Cultural de Belem in na lizbonski univerzi.

Na konferenci je bilo predstavljenih 61 predavanj in 80 posterjev, ki so bila razdeljena na šest tematskih sklopov.

Tema prvega sklopa je bil socialno-ekonomski vpliv potresov in cunamijev na prizadeto skupnost. Potres skupaj s cunamijem leta 1755 je do tedaj predstavljal največjo naravno katastrofo, ki je prizadela Evropo. Njegov družben, politični, ekonomski in znanstveni vpliv je čutiti še sedaj po 250 letih. Dogodki v zadnjih nekaj desetletjih so nam ponovno pokazali, da je ranljivost družbene skupnosti še vedno nesprijemljivo visoka. 250 let razvoja družbeno ekonomske infrastrukture ni zmanjšalo potresnega tveganja. Čeprav vemo, kakšna je potresna nevarnost, z ukrepi vedno zamujamo. Predstavljeni prispevki so skušali odgovoriti na vprašanje, zakaj je razkorak med poznavanjem in ukrepanjem tako velik v različnih družbenih skupnostih po svetu.

Tema prispevkov naslednjega sklopa so bili načrtovanje, informiranje in opozarjanje v primeru naravnih katastrof. Avtorji prispevkov so razmišljali o potresnih scenarijih za velika urbana območja. Trenutne in nove metodologije scenarijev za različne namene in različne stopnje ukrepanja so pomembne kot izbire za uporabo pri načrtovanju in optimiziranju postopkov. Scenariji pomagajo pri določitvi ranljivosti urbanih območij in njihove spremenljivosti skozi čas. Omogočajo prepoznavanje območij z večjim tveganjem v mestih in oceno vloge kritične infrastrukture. Uporabne so pri vrednostni analizi preventivnih ukrepov. Če so scenariji ukrepanja narejeni in preverjeni v realnem času, lahko v primeru potresa igrajo pomembno vlogo pri zagotavljanju hitrih in točnih informacij o tresenju tal in o možnih poškodbah, tako da lahko ustrezne službe ukrepajo čimprej po dogodku.

Razširjanje valov in lokalni učinki pri močnih potresih so bili predmet tretjega tematskega sklopa. Potres leta 1755 je bil tako močan, da ga je bilo čutiti daleč naokoli in je povzročil ogromno škodo na velikem območju. Kvalitativna opazovanja dogodka so porajala različna vprašanja o pojavu razširjanja potresnih valov kot:

- ali na gibanje tal obalnih območij vpliva mejno območje ocean-kopno
- ali na intenziteto potresnih valov vplivajo lokalni dejavniki: lokalno ojačenje, likvefakcija ali inducirani podori,
- ali so nastali nenavadni učinki kot posledica dolgoperiodnih potresnih valov zaradi velike magnitude potresa (na primer učinki v debelih plasteh na velikih oddaljenostih).

V prispevkih so ta vprašanja obravnavali z različnimi metodami na podlagi preučevanja zgodovinskih podatkov, eksperimentalnih raziskav, numeričnih simulacij in primerjanj s sodobnejšimi močnejšimi potresi, ki so bili zabeleženi s sodobnimi inštrumenti.



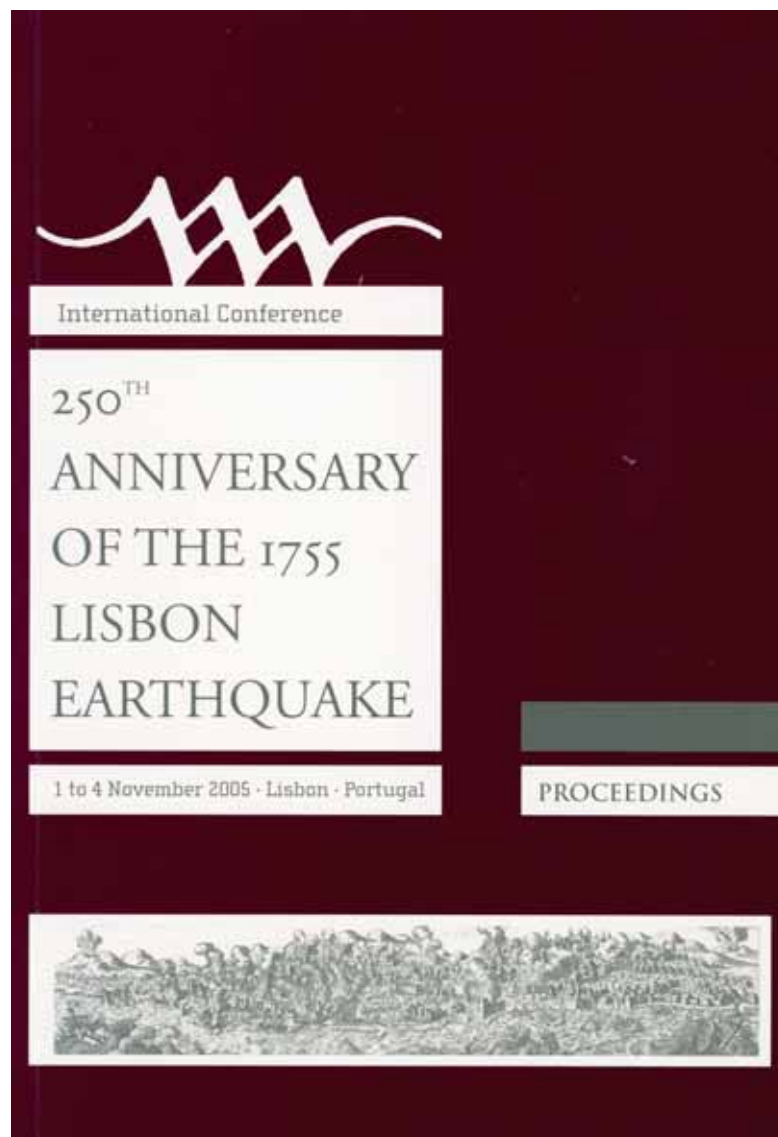
Slika 1. Konferenco je otvoril predsednik Republike Portugalske dr. Jorge Sampaio.
Figure 1. The conference was opened by His Excellency the President of the Portuguese Republic Dr. Jorge Sampaio.

Naslednja tema je bila potresno odporna gradnja na terenu z neustrezno geološko podlago. Obravnavana so bila naslednja področja:

- kriteriji in zahteve za načrtovanje potresno odpornih konstrukcij,
- seizmični odziv konstrukcij (analiza, preiskovanje in odziv ob pravih potresih),

- novi trendi pri seizmičnem konstruiranju zgradb,
- seizmično ocenjevanje zgradb,
- seizmično načrtovanje mostov in drugih posebnih konstrukcij,
- inovativni pristopi k izboljšavi seizmičnih odzivov konstrukcij (izolacija podlage, dušilci, aktivni nadzor).

V posebnem tematskem sklopu so bili zajeti prispevki, ki so se ukvarjali z novimi teorijami o nastanku potresa leta 1755. Potres leta 1755 je bil v zadnjih 20 letih že tema različnih raziskovalnih projektov. Čeprav naj bi bil žariščni mehanizem potresa poznan, prav tako lokacija žarišča potresa, pa so tekle debate o novi lokaciji žarišča potresa na podlagi revizije podatkov o oceni seizmičnega momenta in novih kart intenzitete.



Slika 2. Naslovnica publikacije, ki je izšla v okviru konference.

Figure 2. Cover page of the publication issued within the framework of the conference.

Zadnji tematski sklop je zajemal prispevke o globalnem odzivu na katastrofalne potrese. Strašni dogodki ob zadnjih potresih v Iranu, Alžiriji, Pakistanu, v deželah ob Indijskem oceanu vedno znova pritegnejo pozornost ljudi po celem svetu na potresno nevarnost, in to

izzove strokovno javnost, da poiskuje najti odgovore na vprašanja, zakaj pride do takih katastrof in kaj storiti, da bi se izognili takim posledicam v prihodnosti. Avtorji prispevkov v tej sekciji so skušali prikazati, kaj smo se naučili ob nastalih katastrofah, o stanju obstoječe infrastrukture in možnostih hitrega ukrepanja in tudi o naši pripravljenosti soočiti se z dogodki v prihodnosti.

Ponovno je bila izpostavljena pomembnost potresnega inženirstva, načrtovanje potresno odpornih zgradb na različnih območjih (Sredozemlje, Amerika, Japonska), pomembnost obnove in ojačitve že zgrajenih objektov, kjer naj bodo empirično pridobljena dognanja dopolnjena z bolj racionalnimi znanstvenimi metodologijami s poudarkom na varnosti in zanesljivosti posegov. Več prispevkov je obravnavalo različne pristope, kako predvideti poškodbe ob potresih v odvisnosti od različnih pogojev na urbanih območjih in kako organizirati dejavnosti različnih služb ob potresu.

V okviru konference smo sodelavci Urada za seizmologijo in geologijo predstavili dva posterja, katerih vsebina je bila v obliki člankov objavljena v zborniku: »International Conference 250th Anniversary of the 1755 Lisbon Earthquake 1. to 4. November 2005 Lisbon Portugal, Proceedings« (slika 2):

- P. Sinčič, R. Vidrih: Seismic Observation In Urban Area (Seismic Network Around Ljubljana, Slovenia).
- M. Ribičič, R. Vidrih, P. Sinčič: Site Effects During the Earthquake on July 12, 2004 in Alpine Region.