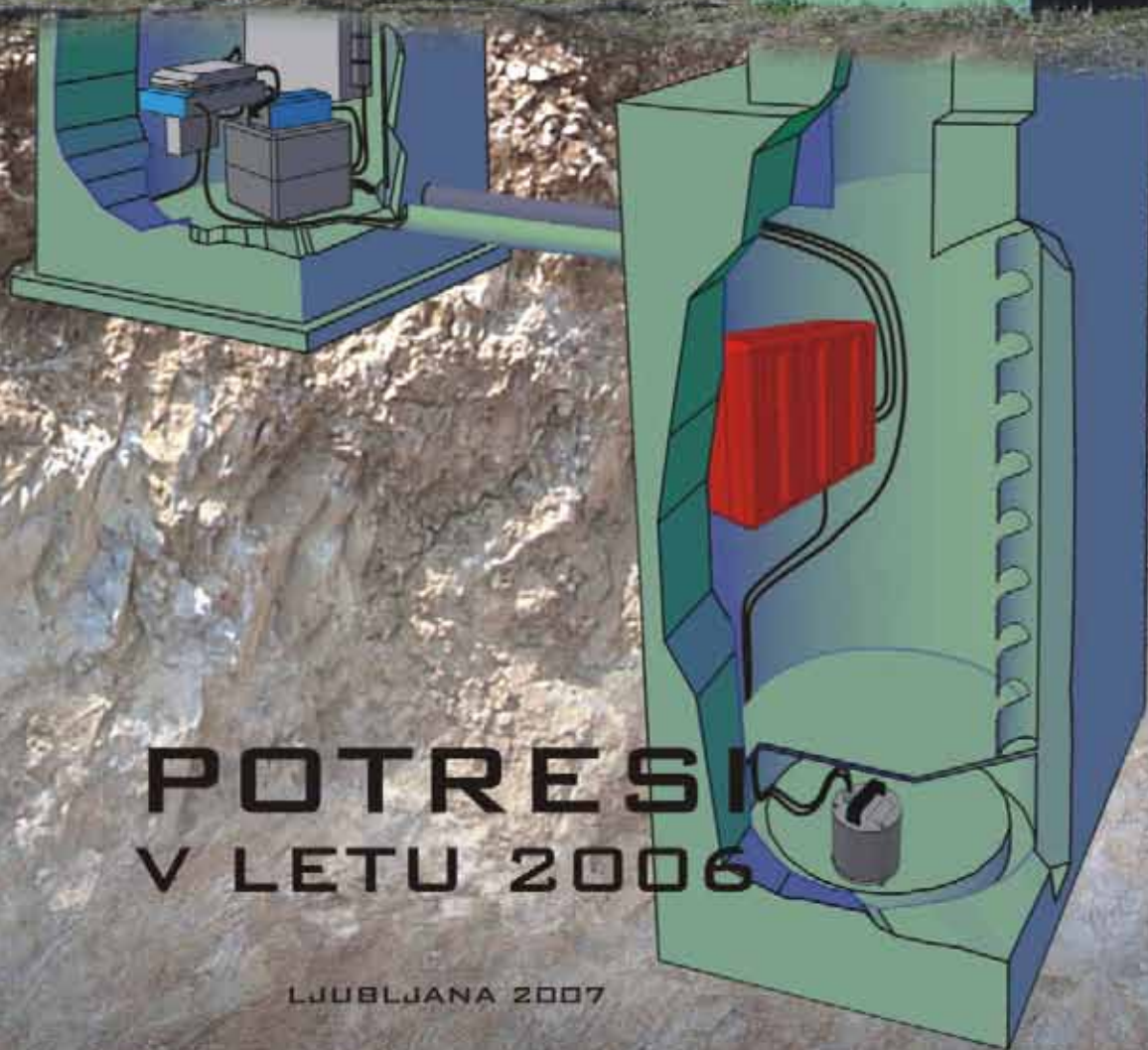




AGENCIJA RS ZA OKOLJE



# POTRESI V LETU 2006

LJUBLJANA 2007





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

# **POTRESI V LETU 2006**

# **EARTHQUAKES IN 2006**

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 2006**

### **EARTHQUAKES IN 2006**

#### **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:** Shematski prikaz potresne opazovalnice. V merilnem jašku vidimo senzor in zajemalno napravo, ostala oprema za napajanje in komunikacijo pa je v pomožnem jašku (fotomontaža: M. Gostinčar).

Glej članek: R. Vidrih, M. Godec, A. Gosar, P. Sinčič, I. Tasič, M. Živčič: Državna mreža potresnih opazovalnic, str. 34.

**COVER PAGE:** Schematic presentation of a seismic station. A sensor and an acquisition unit in the measuring shaft; the remaining equipment for power supply and communication is installed in the auxiliary shaft (Photomontage: M. Gostinčar).

See: R. Vidrih, M. Godec, A. Gosar, P. Sinčič, I. Tasič, M. Živčič: Seismic Network of Slovenia, page 34.



Kazalo:

<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 2006 SEISMIC NETWORK IN SLOVENIA IN 2006.....	1
<i>Izidor Tasič, Marko Mali, Matjaž Gostinčar, Igor Pfundner, Peter Sinčič, Jože Prosen</i> DELOVANJE POTRESNIH OPAZOVALNIC V LETU 2006 SEISMIC STATIONS OPERATION IN 2006.....	13
<i>Jurij Pahor, Mladen Živčič</i> UČINKOVITOST PRIDOBIVANJA PODATKOV V LETU 2006 SEISMIC DATA ACQUISITION EFFICIENCY IN 2006 .....	24
<i>Izidor Tasič, Marko Mali</i> STABILNOST TEMPERATURE V SEIZMIČNEM JAŠKU TEMPERATURE STABILITY IN SEISMIC SHAFT .....	28
<i>Renato Vidrih, Matjaž Godec, Andrej Gosar, Peter Sinčič, Izidor Tasič, Mladen Živčič</i> DRŽAVNA MREŽA POTRESNIH OPAZOVALNIC SEISMIC NETWORK OF SLOVENIA .....	34
<i>Izidor Tasič, Marko Mali</i> POSODOBITVE – KOMUNIKACIJSKI TUNEL ZA HRD–24 UPGRADING – HRD-24 COMMUNICATION TUNNEL.....	74
<i>Ina Cecič, Martina Čarman, Tamara Jesenko, Milka Ložar Stopar, Mladen Živčič</i> POTRESI V SLOVENIJI LETA 2006 EARTHQUAKES IN SLOVENIA IN 2006.....	78
<i>Milka Ložar Stopar, Mladen Živčič, Polona Zupančič</i> POTRESI NA KRASU SEPTEMBRA 2006 THE SEPTEMBER 2006 KARST REGION EARTHQUAKES .....	94
<i>Tamara Jesenko, Renato Vidrih</i> MOČNEJŠI POTRESI PO SVETU LETA 2006 WORLD'S LARGEST EARTHQUAKES IN 2006 .....	102
<i>Igor Pfundner</i> VPLIV POTRESOV NA VEDENJE ŽIVALI THE EARTHQUAKE INFLUENCE ON ANIMALS BEHAVIOUR .....	111

<i>Renato Vidrih</i> OTVORITEV DRŽAVNE MREŽE POTRESNIH OPAZOVALNIC OPENING OF THE SEISMIC NETWORK OF SLOVENIA .....	121
<i>Renato Vidrih</i> OBLETNICA FURLANSKIH POTRESOV LETA 1976 ANNIVERSARY OF THE FRIULI EARTHQUAKES IN 1976 .....	126
<i>Renato Vidrih</i> OBLETNICA POTRESA V SAN FRANCISCU ANNIVERSARY OF SAN FRANCISCO EARTHQUAKE .....	132
<i>Matjaž Godec</i> KONFERENCA OB STOTI OBLETNICI POTRESA V SAN FRANCISCU 100 <sup>TH</sup> ANNIVERSARY SAN FRANCISCO EARTHQUAKE CONFERENCE .....	135
<i>Polona Zupančič</i> 1. EVROPSKA KONFERENCA O POTRESNEM INŽENIRSTVU IN SEIZMOLOGIJI 1 <sup>ST</sup> EUROPEAN CONFERENCE ON EARTHQUAKE ENGINEERING AND SEISMOLOGY .....	140
<i>Renato Vidrih</i> KNJIGA »DRŽAVNA MREŽA POTRESNIH OPAZOVALNIC« PUBLICATION »SEISMIC NETWORK OF SLOVENIA« .....	142



## PREDGOVOR

Izšla je šestnajsta 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 2006.

Konec leta 2006 je v Sloveniji delovalo 26 potresnih opazovalnic državne mreže, opremljenih z različnimi vrstami analognih in digitalnih seizmografov ter štirinajst opazovalnic z akceleroграфи, namenjenih beleženju močnejših potresov. Priključeni sta bili opazovalnici na Vrh pri Dolskem (VNDS) in v Skandaščini (SKDS). Seizmografi so zabeležili 5240 seizmičnih dogodkov, od tega 1138 oddaljenih potresov (oddaljenih več kot 1100 km), 709 regionalnih potresov (oddaljenih med 160 in 1100 km), 2228 lokalnih potresov (oddaljenih manj kot 160 km) in 1165 umetnih potresov.

Sledi niz člankov o delovanju potresnih opazovalnic v letu 2006 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 (za rešitev tega problema smo začeli vgrajevati avtomatska FIT stikala, ki se ob iznihanju motnje ponovno vklopijo), komunikacije prek GSM terminala in okvare na seizmološki opremi. V letu 2006 smo izgubili 3,9 % podatkov iz stalnih opazovalnic za podatkovne nize s frekvenco vzorčenja 200 vzorcev v sekundi (HH) ter 3,6 % za podatkovne nize s frekvenco vzorčenja 20 vzorcev v sekundi (BH). Največja, 15 % izguba, je bila na opazovalnicah na Kogu in na Možjanci zaradi vdora vode oz. udara strele.

Temperaturno stabilna okolica je eden glavnih pogojev, ki jih moramo zagotoviti za ustrezno delovanje dolgoperiodnih širokopasovnih seizmometrov. V zajemalno enoto Q730 smo vgradili termistor in ugotovili, da je največja dnevna sprememba temperature v seizmičnem jašku ob seizmometru le 0,1°C dnevno, kar zadovoljuje najstrožje kriterije o temperaturni stabilnosti okolice. Meritve so potekale na opazovalnici Možjanca. S stališča termične stabilnosti je državna mreža potresnih opazovalnic primerna za uporabo najboljših seizmometrov. Naslednji članek je posvečen državni mreži, ki omogoča avtomatsko analizo potresov, ki je prebivalcem in strokovnim službam na spletnih straneh Agencije RS za okolje na voljo že po nekaj minutah. Naslov spletne strani je <http://www.arso.gov.si/>. Ob kliku na bližnjico »Zadnji potresi« se pokaže preglednica potresov zadnjih dni. Ob kliku na magnitudo se pokažejo zapisi potresa na potresnih opazovalnicah državne mreže, ob kliku na lokacijo pa se pokaže lega nadžarišča potresa na karti Slovenije.

Za izračun parametrov potresa potrebujemo pretok seizmičnih podatkov iz potresnih opazovalnic v središče za obdelavo podatkov v Ljubljani v realnem času, zato smo na nekaterih opazovalnicah postavili serijski tunel, ki ta pretok omogoča.

Osrednji članek opisuje potresno dejavnost v Sloveniji. Potresna dejavnost je bila dokaj majhna. Prebivalci v različnih predelih države so zaznali več kot 36 potresnih sunkov, od katerih je večina žarišč nastala na naših tleh. Najmočnejši potres je bil 15. januarja ob 2. uri in 41 minut po svetovnem času oz. eno uro kasneje po srednjeevropskem poletnem času z žariščem v okolici Mozirja. Imel je lokalno magnitudo 3,0, največji učinki pa so dosegli V EMS (12-stopenjska evropska potresna lestvica). Trinajst potresov je doseglo intenziteto IV EMS, štirje potresi med IV in V EMS in štirje potresi V EMS, ostalih petnajst potresov, ki so jih čutili prebivalci, pa nižjo od IV EMS. Porazdelitev potresov glede na globino žarišč pa kaže, da je imela večina od 1750 potresov na območju Slovenije in bližnje okolice žarišča do globine 18 km. Največ (513) potresov je bilo v globini med 6,1 in 9 km. Za 13 potresov pa je bila opredeljena globina večja od 18 km. Zanimiva je bila serija potresov septembra 2006 na Krasu, ki ni znano po potresni dejavnosti v preteklosti. Najmočnejši med njimi je imel lokalno magnitudo 2,2.

Med močnejšimi potresi v letu 2006 je v preglednici predstavljenih 66 potresov, ki so dosegli ali presegli magnitudo 6,5 oz. povzročili večjo gmotno škodo ter zahtevali človeška življenja. Od teh je natančneje opisanih 31 potresov. Potres z največ smrtnimi žrtvami je bil 26. maja na indonezijskem otoku Java. V njem je umrlo najmanj 5749 ljudi. Veliko žrtev (665) je bilo tudi zaradi cunamijev, ki jih je povzročil potres 17. julija južno od istega otoka. Največ potresne energije se je sprostito pri potresu 15. novembra blizu Kurilskega otočja. Imel je navorno magnitudo 8,3, ni pa zahteval človeških življenj. Najgloblji potres v letu 2006 je bil 2. februarja na otočju Fidži in je imel žarišče v globini 598 km, navorno magnitudo pa 6,7. Potres z zelo globokim žariščem (553 km) je bil 13. novembra pri Santiagu del Estero v Argentini (Mw=6,8). Potresi v letu 2006 so zahtevali vsaj 6539 žrtev.

Zanimiv je članek o vplivu potresov na vedenje živali. Ljudje že tisočletja opažajo čudno vedenje živali pred močnejšimi potresi. Znanstveniki to povezujejo z anomalijami zemeljskega magnetnega polja pred potresi. Električni tokovi povzročajo magnetne sunke in nizkofrekvenčno elektromagnetno sevanje. Živali lahko te pojave čutijo prek svojih geomagnetnih senzorjev, ki jih sicer uporabljajo za orientacijo. Prav tako so raziskani tudi drugi vplivi statičnega magnetnega polja na žive organizme, vendar so zanje potrebne večje spremembe magnetnega polja, kot se tipično pojavljajo ob potresih.

6. oktobra 2006 je potekala na Vojskem nad Idrijo otvoritev državne mreže potresnih opazovalnic. Uvodna govora sta imela prof. dr. Peter Suhadolc, generalni sekretar Mednarodnega združenja za seizmologijo in fiziko notranjosti Zemlje / International Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior (IASPEI) in generalni direktor Agencije RS za okolje, dr. Silvo Žlebir. Državno mrežo potresnih opazovalnic je v imenu ministra za okolje in prostor otvoril državni sekretar na ministrstvu, mag. Marko Starman.

Na koncu publikacije se spominjamo 30- obletnice furlanskih potresov. Žarišča potresov, ki so v maju in septembru leta 1976 prizadeli severovzhodno Italijo, predvsem Furlanijo, so imeli grozljive posledice tudi v severozahodni Sloveniji. Na srečo pri nas smrtnih žrtev ni bilo (v Italiji 987), nastala pa je ogromna gmotna škoda tako v zg. Posočju kot tudi drugod v severozahodni Sloveniji. Potresi so poškodovali ali uničili skoraj 12 000 zgradb in spremenili podobo Breginjskega kota in celotnega zgornjega Posočja.

18. aprila 2006 je bila tudi 100. obletnica močnega potresa v San Franciscu, ki je zahteval največ žrtev v severnoameriški potresni zgodovini. Po potresu v San Franciscu so tudi v Združenih državah Amerike o potresni nevarnosti in ogroženosti začeli razmišljati drugače. Ob tej obletnici je v San Franciscu potekala mednarodna konferenca, kjer smo sodelovali tudi sodelavci Urada za seizmologijo in geologijo in je bila posvečena seizmologiji, potresnemu inženirstvu in ukrepanju ob potresih. Naš prispevek je obravnaval pregled poškodb ob potresih leta 1998 in 2004 v zg. Posočju. Zadnja leta na številnih konferencah uspešno predstavljamo izgradnjo državne mreže potresnih opazovalnic, za katero je precejšnje zanimanje strokovne javnosti, pa tudi druge dosežke v slovenski seizmologiji.

Tudi ob izidu publikacije Potresi v letu 2006 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 2006 smo jih poslali 2890) pomagali k boljši oceni potresnih parametrov.

urednik  
Renato Vidrih

## PREFACE

The sixteenth annual publication »Earthquakes in year...« published by Seismology and Geology Office of The Environmental Agency of the Republic of Slovenia comes out. The seismic activity in Slovenia, as well as overview of global seismicity is presented. Other papers discuss operation of the seismic network and problems and improvements of the earthquake analysis in 2006.

At the end of 2006 there were 26 seismic stations equipped with different analogue and digital seismographs and 14 stations with strong motion instruments. Two new stations, Vrh pri Dolskem (VNDS) and Skadanščina (SKDS) were connected to seismic network. 5240 seismic events were recorded, among them 1138 teleseisms (more than 1100 km away), 709 regional earthquakes (distance between 160 km and 1100 km), 2228 local earthquakes (distance less than 160 km) and 1165 artificial events.

The papers that follow speak about seismic stations' operation and data collection efficiency. The cause of short breaks are communications' problems, longer interruptions are effects of power failures and blown fuses, communication using GSM network and seismic equipment breakdowns. In 2006 3.9 % of data from data stream with 200 sps (HH) and 3.9 % of data from data stream with 20 sps (BH) were lost from permanent stations. The largest loss (15 %) was on seismic stations KOGS and MOZS due to the water flooding and lightning.

Temperature stability of the instrument's environment is one of the main conditions which have to be assured for optimum performance of broadband seismometers. In Q 730 acquisition unit a thermistor had been installed and it was discovered that the maximum variation of temperature during the 24 hour is only 0.1° C, which meets the severe requirements of environment temperature stability. The measurements took place on station Možjanca. From the point of thermal stability, first rate-seismometers can be used in seismic network of Slovenia. The next paper is dedicated to the seismic network which enables automatic earthquake analysis, and the data are available to the public and responsible services on web pages of the Environmental Agency a few minutes after the earthquake (<http://www.arso.gov.si>). Click on the shortcut »Zadnji potresi« shows the table of last earthquakes occurred in Slovenia. Click on magnitude value shows seismograms of the event and click on location shows the map of Slovenia with the geographical position of epicentre. A continuous data transmission from seismic stations to the data centre is needed if the parameters of earthquakes are calculated automatically. The serial tunnel has to be re-establishing on some stations to enable real time data transmission.

The central paper is on seismic activity in Slovenia in 2006. The seismic activity was rather low. The inhabitants felt 36 earthquakes, most of them occurred within the Slovenian borders. The strongest event happened on 15 January at 2:41 UTC ( 3:41 local time) in vicinity of Mozirje. Its local magnitude was 3.0 and the maximum observed intensity was V EMS-98. In 2006 there were four earthquakes with maximum intensity V EMS-98, four with IV-V EMS-98, thirteen with IV EMS-98, and 15 felt by inhabitants with the intensity lower than IV EMS-98. Distribution of earthquakes as regards to the depth of hypocentre shows that the majority of 1750 earthquakes have hypocentres up to 18 km below the Earth surface. Most (513) occurred in depths between 6.1 and 9 km. For 13 earthquakes the depth was declared below 18 km. A series of weak earthquakes on Kras was interesting, as in this region there was no known significant seismic activity in the past. The local magnitude of the strongest event was 2.2.

In the year 2006 there were 66 earthquakes in the world that either reached a magnitude of 6.5 or larger, caused major material damage or even claimed human lives, respectively. 31 of them are described in detail. The earthquake that claimed most human lives occurred on 26 May 2006 on the Indonesian island Java. At least 5749 people were killed. A tsunami caused by the earthquake on 17 July in the region south of Java killed 665 people. The most seismic energy was released by the earthquake on 15 November near Kuril Islands. Although its moment magnitude of 8.3 it did not cause loss of lives. The deepest earthquake occurred on 2 February 2006 near Fiji Islands; its focus was 598 km deep and the moment magnitude was 6.7. Another very deep earthquake (553 km) happened near Santiago del Estero (Argentina) on 13 November. In 2006 the earthquakes claimed more than 6500 lives.

Very interesting is the paper about earthquake's influence on animal behaviour. Over the millenniums people are aware of strange animal behaviour before strong earthquakes. Scientists connect this with anomalies of the Earth magnetic field before the earthquake. Electric currents cause magnetic shocks and low frequency electromagnetic radiation. Animals feel these phenomena with their geomagnetic sensors, which are used for orientation. Other influences of static magnetic field on living organisms are investigated as well, but for them larger variations of magnetic field are needed than those caused by earthquakes.

The opening of the seismic network of Slovenia took place on Vojsko on 6 October 2006. Inauguration spokesmen were Peter Suhadolc, Secretary General of IASPEI, and Silvo Žlebir, Director General of The Environmental Agency of the Republic of Slovenia. On behalf of the Minister of the environment and spatial planning the seismic network was inaugurated by the State Secretary Marko Starman.

The paper at the end of publication reminds us on 30<sup>th</sup> anniversary of earthquakes in Friuli. Earthquakes that occurred on May and September 1976 affected north-eastern Italy, especially in Friuli, and the dire consequences were also in north-western Slovenia. Fortunately in Slovenia there were no human victims (987 people died in Italy) but in the NW part of the country the material damage was very large. The surrounding of Breginj and

whole Upper Soča Territory changed their appearance and nearly 12 000 buildings were damaged or completely destroyed.

The 100<sup>th</sup> anniversary earthquake conference commemorating the 1906 San Francisco earthquake is described in the following paper. The earthquake that occurred on 18 April 1906 claimed most human victims in North American history. After the earthquake people began to think about seismic risk and hazard in United States of America in a different way. The conference was devoted to seismology, earthquake engineering and readiness in acting at future earthquakes. The contribution of collaborators of Seismology and Geology Office treated damage survey that occurred during earthquakes in 1998 and 2004 in Upper Soča Territory. The modernization of the seismic network of Slovenia and other achievements of Slovenian seismology were presented.

On this occasion the staff of Environmental Agency, Seismology and Geology Office would like to thank 4900 voluntary observers for their answers to macroseismic questionnaires (2890 of them were sent in 2006), and in that way help us to make better evaluation of earthquake parameters.

Renato Vidrih

Editor – In – Chief

# POTRESNE OPAZOVALNICE V SLOVENIJI V LETU 2006

## SEISMIC NETWORK IN SLOVENIA IN 2006

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

***Povzetek.** V letu 2006 smo po projektu Modernizacija državne mreže potresnih opazovalnic PM 2000 v omrežje vključili potresni opazovalnici na Vrhu pri Dolskem (VNDS) in v Skadanščini (SKDS). Konec leta je na ozemlju Republike Slovenije delovalo 26 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.*

***Abstract.** In the year 2006 two new seismic stations started recording on Vrh pri Dolskem (VNDS) and Skadanščina (SKDS) 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 26 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.*

### 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 Cerkniskem 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), v letu 2005 dve novi potresni opazovalnici ter leta 2006 tudi dve novi potresni opazovalnici (slika 1).

### Analogne potresne opazovalnice

Urad za seizmologijo in geologijo uporablja tudi analogne seizmografe za beleženje potresov (preglednica 1). Analogni seizmograf sestavljajo seizmometer, seizmografski ojačevalnik z ustreznimi filtri in pisar z zapisom s črnilom na navaden papir. Slabost analognih seizmografov je majhno dinamično območje (40 – 45 dB) in resolucija. Šibkih potresov zaradi majhne resolucije ni možno analizirati, močni potresi pa prekrmlijo 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 2006 še vedno delujejo na potresnih opazovalnicah na observatoriju na Golovcu v Ljubljani, na Vojskem in v Brezjah pri Senušah.

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
		oN	oE					
Ljubljana	LJU	46,0438	14,5277	396	karbonski peščenjak sandstone	kratkoperiodni Willmore MkII 3 komp./comp.	ojačevalnik SO-01 pisač/ recorder Günter-Volk (črnilo/ ink)	01. 01. 1974 še deluje/ operating
Vojsko	VOY	46,0316	13,8882	1073	zgorjnjetriasni dolomit dolomite	kratkoperiodni shortperiod Willmore MkII 3 komp./comp.	ojačevalnik SO-03 pisač/ recorder VR - 2 (črnilo/ ink)	28. 11. 1984/ še deluje/ operating
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 30. 06. 2006

**Preglednica 1.** Analogne potresne opazovalnice v Sloveniji.

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

### 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

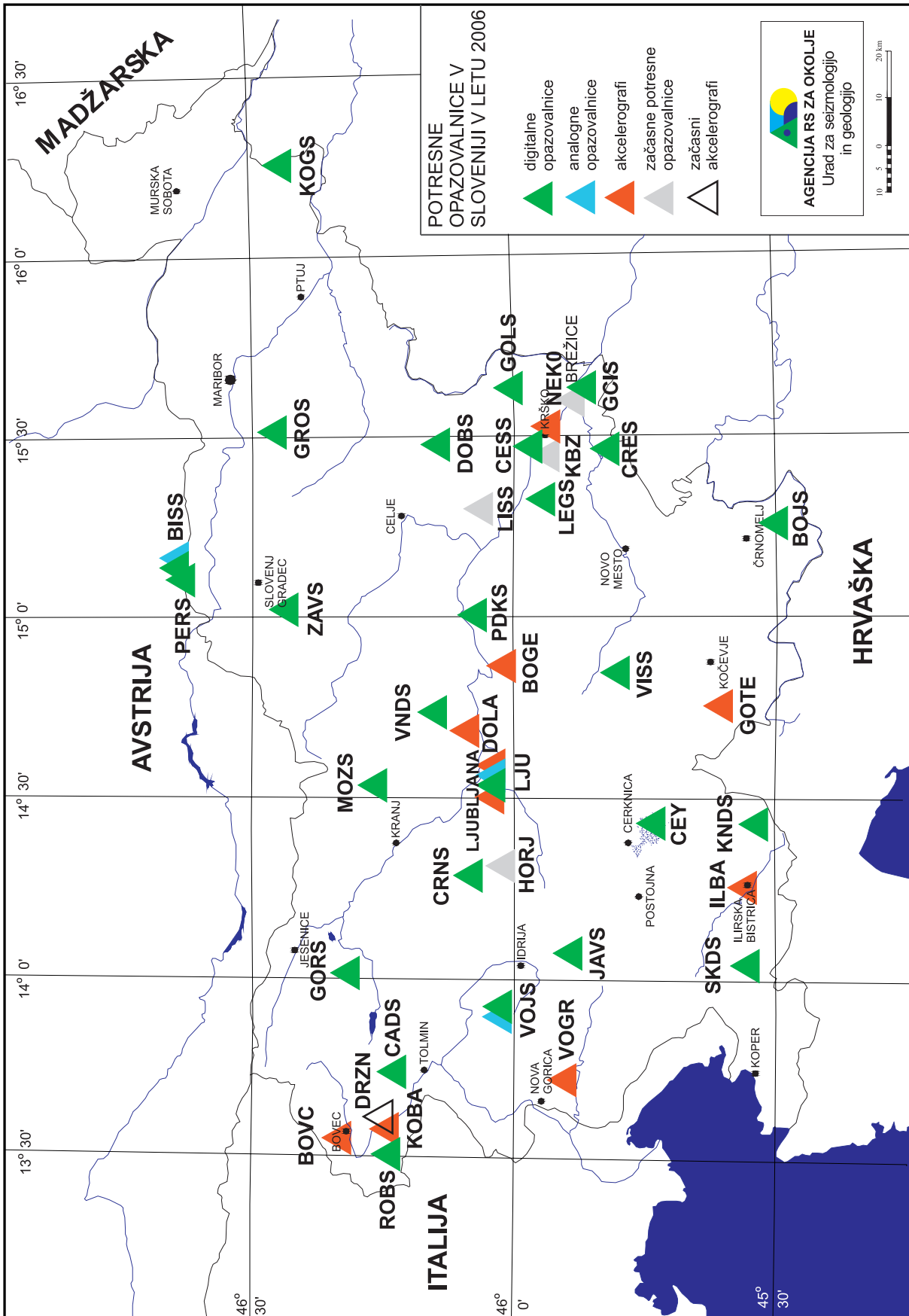


se samodejno spremeni ojačenje v odvisnosti od velikosti amplitude seizmičnega signala in s tem preprečimo prekrmljenje sistema pri močnejših potresih. S tem načinom lahko močno povečamo dinamično območje sistema, resolucija pa ostane nespremenjena. Pri spremembi ojačenja pride tudi do popačenja podatkov, 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. To je bil šestkanalni digitalni seizmograf s tremi enokomponentnimi širokopasovnimi seizmometri WR-1 in trikomponentnim akcelerometrom FBA-23 podjetja Kinometrics. Seizmograf ima 16-bitni analogno-digitalni pretvornik analognega signala in deluje v prožilnem načinu delovanja in s frekvenco vzorčenja 200 vzorcev na sekundo. V letu 2005 je deloval seizmograf redno do 18. marca, nato občasno še do začetka oktobra, nato pa je zaradi okvare dokončno nehal z beleženjem potresov.

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. 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), Črešnjevca (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.



Slika 1. Potresne opazovalnice v Sloveniji leta 2006.

Figure 1. Seismic network in Slovenia in 2006.

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 CMG-40T 3 komp./ comp.	RD3-1639	22. 05. 1996
						širokopasovni/ broadband STS-2 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	spodnjetriasi laporji marl	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	RD3-1639	16. 10. 1996
						širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	Q 730	07. 04. 2001
Cerknica (Goričice)	CEY	45,73814	14,42214	579	apnenec limestone	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	RD3-1639	14. 01. 1997
						širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	Q 730	30. 03. 2001
Cesta	CESS	45,97325	15,46317	372	dolomit dolomite	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	72A-07/DAT	08.05.1996 04.09.1997
						širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	HRD24-2432	04. 09. 1997
Goliše	GOLS	46,01074	15,62451	559	masiven dolomit massive dolomite	širokopasovni/ broadband CMG-40T BH 3 komp./ comp.	Q 730	26. 02. 2002
Črešnjevce	CRES	45,97325	15,46317	372	dolomit dolomite	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	Q730	07. 03. 2002
Legarje	LEGS	45,94880	15,31771	390	sivi dolomit dolomite	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40TBH	Q 730	02. 09. 2002
Podkum	PKDS	46,06120	14,99777	679	dolomit dolomite	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40TBH	Q 730	11. 11. 2002
Robič	ROBS	46,24448	13,50944	265	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

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					
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 3 komp./ comp. CMG-40T	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	zgoranjtriasni 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
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
dokončane in vključene v omrežje leta 2006/ finished and connected in network in 2006								
Vrh pri Dolskem	VNDS	46,10169	14,70143	531	kremenov peščenjak quartz sandstone	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	Q 730	18. 01. 2006
Skadanščina	SKDS	45,54647	14,01317	558	ploščati apnenici platy limestone	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. STS-2 akcel./ accelerometer 3-komp./ comp. EpiSensor	Q730	12. 04. 2006

## Preglednica 2. Digitalne potresne opazovalnice v Sloveniji.

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

V letu 2003 so bile v mrežo potresnih opazovalnic vključene opazovalnice v Čadrgu nad Tolminom (CADS), v Višnjah v Suhi krajini (VISS), v Gornjem Cirkniku na Gorjancih (GCIS), na Knežjen dolu v snežniškem pogorju (KNDS) in na Javorniku nad Črnim vrhom nad Idrijo (JAVS). V letu 2004 smo v neposredni bližini opazovalnic v Bojancih in na Vojskem zgradili novi opazovalnici in vanje namestili novo merilno opremo. Opazovalnici sta dobili tudi novi oznaki: BOJS za Bojance in VOJS za Vojsko. Poleg modernizacije teh dveh opazovalnic so bile zgrajene še tri nove po istem projektu: na Kogu v vzhodnem delu Slovenskih gorc (KOGS), v Gorjušah na Pokljuki (GORS) in v Zavodnjah nad Šaleško dolino (ZAVS). V letu 2005 sta bili dokončani opazovalnici na Možjanci (MOZS) in na Črnem Vrhu (CRNS) nad Polhovim

Gradcem in v prvi polovici leta 2006 opazovalnici Vrh pri Dolskem (VNDS) in Skadanščina (SKDS) (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 Guralp 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.



**Slika 2.** Nova potresna opazovalnica Vrh pri Dolskem (VNDS).  
**Figure 2.** New seismic station Vrh pri Dolskem (VNDS).

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 (preglednica 2).

Prenos podatkov z opazovalnic Čadrg, Javornik, Višnje, Gornji Cirnik, 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. 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. 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.



*Slika 3. Nova potresna Skadanščina (SKDS) v Matarskem podolju.*

*Figure 3. New seismic Skadanščina (SKDS) in Matarsko podolje.*

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

### **Začasne potresne opazovalnice**

Že več let imamo začasno postavljene instrumente v Horjulu, Brezjah pri Senušah in na Lisci v meteorološki postaji. Čeprav instrumenti delujejo že vrsto let na omenjenih lokacij, uporabljamo termin začasno zaradi tega, ker same lokacije niso najbolj primerne za spremljanje potresne dejavnosti zaradi nemira, ki ga povzročajo ljudje. V Brezjah pri Senušah smo ustavili analogni seizmograf še vedno pa deluje digitalni.

V okviru Phare projekta smo v Brežicah in Brezjah pri Senušah že v letu 2005 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.

opaz. station	ozn. code	zem. šir. latitude	zem. dol. longitude	n. viš. elev. [m]	senzor sensor type	zajemalna naprava acquisition unit	začetek delovanja start time	konec delovanja stop time
		°N	°E					
Brezje pri Senušah	KBZ	45,9334	15,4334	208	kratkoperiodni seizm. vertikalna komp. shortperiod vertical comp. Vegik	analogni pisač/ recorder PS - 2	11. 09. 1990	30.06.2006
					3-komp. širokopasovni 3-comp. broadband CMG 40T	PR6	14. 03. 2005	konec 2006 še deluje end of 2006 operational
Horjul	HORJ	46,0252	14,305	350	3-komp. širokopasovni 3-comp. broadband CMG 40T	72A-07/DSK	04. 07. 1994	konec 2006 še deluje end of 2006 operational
Lisca	LISS	46,0673	15,2906	948	3-komp. širokopasovni 3-comp. broadband CMG 40T	Q 730	07. 02. 2002	konec 2006 še deluje end of 2006 operational
Brežice		45,9001	15,5835	161	3-komp. širokopasovni 3-comp. broadband CMG 40T	PR6	14. 03. 2005	23. 2. 2006

**Preglednica 3.** Začasne potresne opazovalnice in akcelerografi v letu 2006.

**Table 3.** Temporary seismic stations and accelerographs in 2006.

### Opazovalnice za beleženje močnih potresov

Urad za seizmologijo in geologijo upravlja tudi z mrežo opazovalnic za beleženje močnih potresov, v katerih so nameščeni akcelerografi. Opazovalnice so v Ljubljani (na observatoriju na Golovcu in na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo - FGG), v Dolskem, Ilirski Bistrici, Bovcu, Kobaridu, na gradu Bogenšperk in v Gotenici (preglednica 4). Poleg tega imamo dostop do akcelerografa v Nuklearni elektrarni Krško. Akcelerograf na FGG tvorita akcelerometer FBA-23 z merilnim območjem 1 g in zajemalna aparatura SSA-2 z 12-bitnim analogno digitalnim pretvornikom. Enak akcelerograf je nameščen v Dolskem. Akcelerografa v Ilirski Bistrici in v jedrski elektrarni v Krškem imajo občutljivejši senzor FBA-23 z merilnim območjem 0,25 g. Akcelerograf SSA-2 v Nuklearni elektrarni Krško je bil decembra 1999 zamenjan z akcelerografom Etna in je vključen v državno računalniško omrežje, po katerem teče prenos podatkov na observatorij. V Gotenici je nameščen akcelerograf 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 akcelerograf Etna z vgrajenim senzorjem FBA-23 s prenosom podatkov po klicni telefonski liniji. V zgornjem Posočju so v opazovalnicah v Bovcu, Drežnici in Kobaridu nameščeni akcelerografi Etna s prenosom podatkov po klicni telefonski liniji. Podatke z ostalih akcelerografov zbere delavec s pomočjo prenosnega računalnika ob obisku opazovalnice. Na vodni pregradi Vogršček je bil v letu 2004 nameščen akcelerograf K2 z vgrajenim in dvema zunanjsima akcelerometroma EpiSensor. Akcelerograf je nameščen v jašku na kroni pregrade, prvi zunanji akcelerometer je nameščen v jašku ob temelju



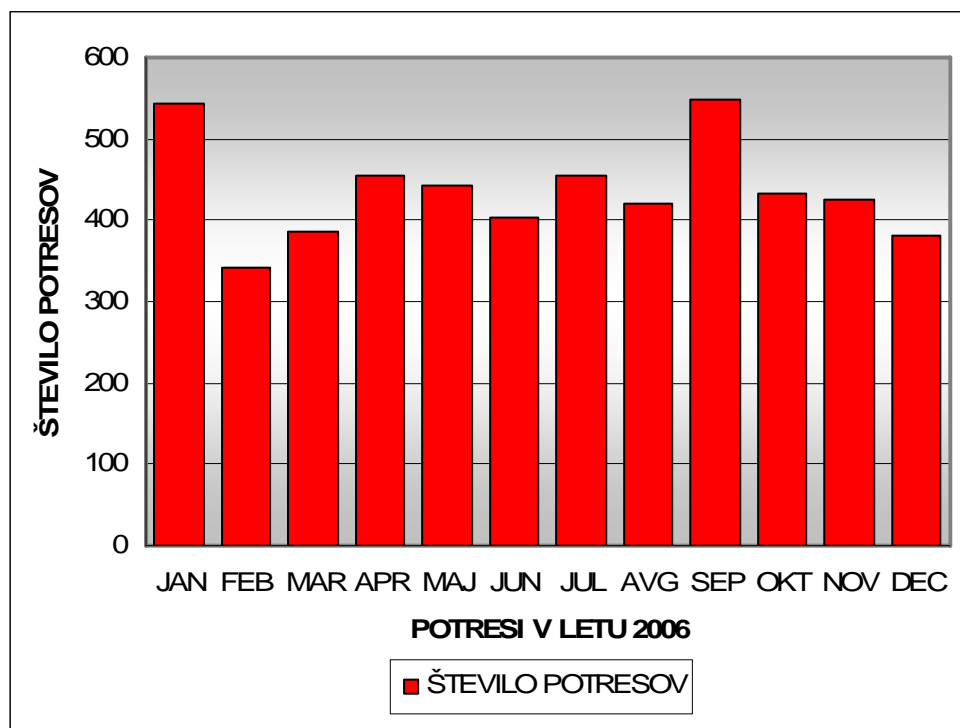
pregrade, drugi pa prav tako v jašku ob jezeru približno 100 m stran od pregrade (Prosen, 2006).

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.	9
Bovec	BOVC	46,3382	13,5543	455	FBA-23	Etna	4 g	01.01-31.12.	10
Drežnica	DRZN	46,2586	13,6126	544	EpiSensor	Etna	2 g	01.01-31.12.	14
Gotenica	GOTE	45,6095	14,7464	670	FBA-23	Etna	1 g	01.01-31.12.	11
Kobarid	KOBR	46,2474	13,5786	234	FBA-23	Etna	4 g	01.01-31.12.	6
Krško (NEK)	NEK0	45,9391	15,5185	156	FBA-23	Etna	2 g	01.01-31.12.	3
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.	0
Dolsko	DOLA	46,0938	14,6781	265	FBA-23	SSA-2	1 g	01.01-31.12.	2
Ilirska Bistrica	ILBA	45,5638	14,2445	404	FBA-23	SSA-2	0,25 g	01.01-11.12.	2
						Etna	0,25	11.12-31.12	0

**Preglednica 4.** Opazovalnice za beleženje močnih potresov v letu 2006.

**Table 4.** Strong motion stations in 2006.

Potresne opazovalnice so v letu 2006 zabeležile 4075 potresov (sliki 4 in 5), od tega 2228 lokalnih potresov, 709 regionalnih in 1138 oddaljenih. Seizmografi so zapisali tudi 1165 umetnih potresov (preglednica 5).



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



mesec	oddaljeni potresi	regionalni potresi	lokalni potresi	umetni potresi	potresi	dogodki
month	distant earthquakes	regional earthquakes	local earthquakes	artificial	earthquakes	events
januar January	56	49	359	79	464	543
februar February	70	50	151	70	271	341
marec March	99	43	146	98	288	386
april April	105	82	178	91	365	456
maj May	120	71	169	83	360	443
junij June	99	71	155	78	325	403
julij July	112	56	186	102	354	456
avgust August	80	78	188	75	346	421
september September	91	57	282	119	430	549
oktober October	104	62	134	134	300	434
november November	133	41	127	125	301	426
december December	69	49	153	111	271	382
skupaj Total	1138	709	2228	1165	4075	5240

Legenda:

Oddaljeni potresi / Distant earthquakes

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

Regionalni potresi / Regional earthquakes

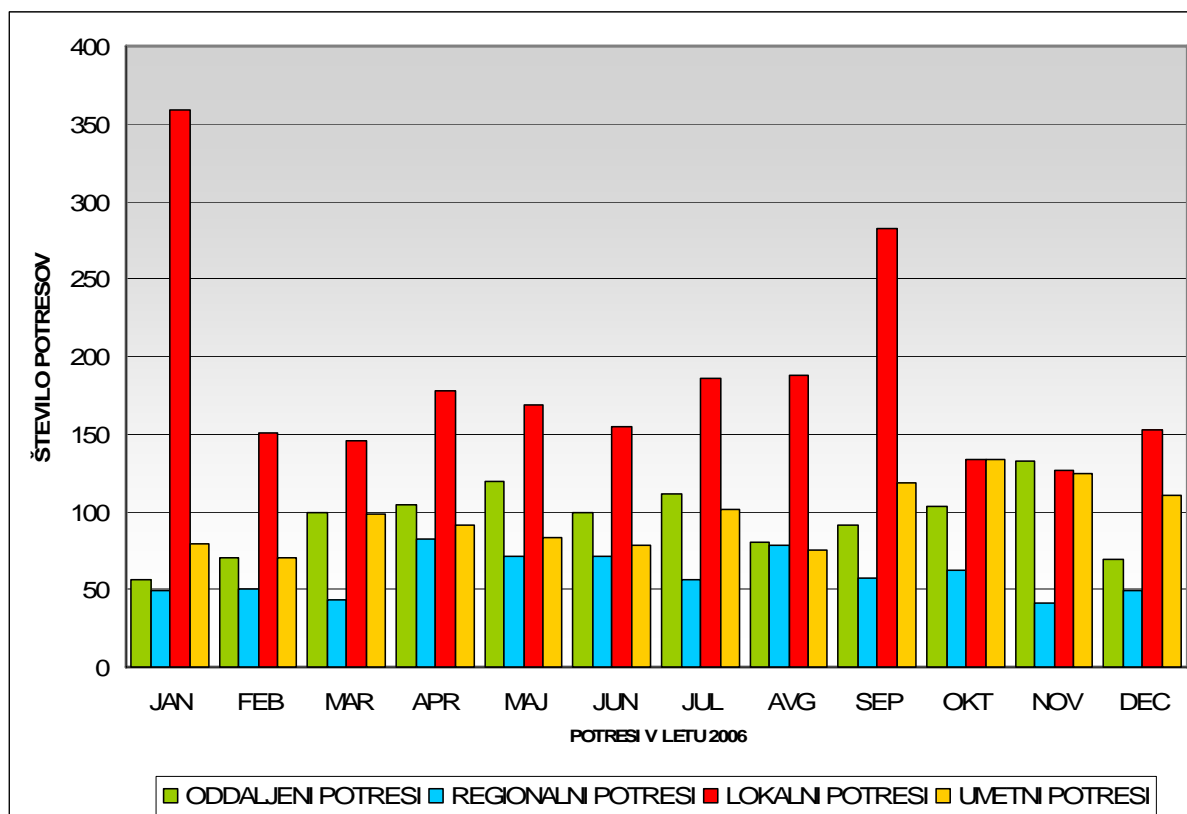
$1,5^\circ < \Delta < 10^\circ$  ( $< 1.100$  km)

Lokalni potresi / Local earthquakes

$\Delta \leq 1,5^\circ$  ( $\leq 160$  km)

**Preglednica 5.** Potresi v letu 2006, zabeleženi na slovenskih potresnih opazovalnicah.

**Table 5.** Earthquakes in 2006 recorded at Slovenian earthquake stations.



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

## Literatura

- Prosen, T., 2006. Akcelerografi 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., Gosar, A., Sinčič, P., 2002. Omrežje potresnih opazovalnic okoli jedrske elektrarne Krško. Življenje in tehnika, letnik 53/11, 59-67, Ljubljana.
- Vidrih, R., Godec, M., Gosar, A., Sinčič, P., Tasič, I., Živčič, M., 2002. Omrežje potresnih opazovalnic okoli NEK. Knjiga povzetkov, 1. slovenski geološki kongres, 100-101, Črna na Koroškem.

# DELOVANJE POTRESNIH OPAZOVALNIC V LETU 2006

## SEISMIC STATIONS OPERATION IN 2006

Izidor Tasič, Marko Mali, Igor Pfundner, Peter Sinčič, Jože Prosen

**Povzetek.** V prispevku so podani rezultati analize delovanja potresnih opazovalnic državne mreže v letu 2006. 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. V prispevku, kot primer podajamo le rezultate analize delovanja za potresno opazovalnico Bojanci (BOJS). Kot zanimivost so podani tudi skupni rezultati, ki nazorno podajajo delovanje oziroma izpade celotne državne mreže potresnih opazovalnic v letu 2006, ki smo jo razdelili na opazovalnice, ki komunicirajo preko najete linije in opazovalnice, ki komunicirajo preko GSM terminala. Prvo polovico leta 2006 je delovala tudi potresna opazovalnica Črni Vrh (CRNS), kjer smo preizkušali satelitsko komunikacijo.

**Abstract.** In this paper, the results of analysis of operation for seismic network of Slovenia in year 2006 are presented. We developed a software program, which is capable to produce the results of analysis of operation, based on 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 performed. 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 seismic network of Slovenia, which was classified to seismic stations which transmit data using dial up line and to those which transmit data using a GSM terminal, is presented in a figure and table form. In the first half of the year 2006 seismic station Črni Vrh (CRNS) was also in operating mode, where data was transmitted using satellite communication.

### Uvod

Posamezna potresna opazovalnica Slovenske nacionalne seizmološke mreže je opremljena z zajemalno enoto Quanterra 730 (Q730) in seizmometrom Guralp 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 garantirajo dve uri (odvisno od kompresije podatkov) dovoljenega izpada na komunikacijah. V kolikor je izpad na komunikaciji daljši,

lahko pride do izgube podatkov. Q730 v statusno log datoteko zabeleži vsako spremembo v zvezi z delovanjem sistema (prekinitev oziroma vzpostavitev komunikacije, spremembe podatkov v zvezi z GPS-om,...). 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 Ljubljane.

### **Prekinitve delovanja potresnih opazovalnic**

Analizo smo naredili na osnovi podatkov o delovanju posamezne potresne opazovalnice v letu 2006, 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.

Naredili smo programsko opremo, 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 BOJS ter skupne rezultate, ki nazorno podajajo delovanje oziroma izpade celotne državne mreže potresnih opazovalnic v letu 2006.

Analizo smo razdelili na opazovalnice, ki komunicirajo preko najete linije in opazovalnice, ki komunicirajo preko GSM terminala (v letu 2006 je bila testno vzpostavljena tudi satelitska komunikacija in sicer na potresni opazovalnici Črni Vrh). V prvo skupino, obdobje analize podatkov je podano v oklepaju, spadajo opazovalnice z oznakami: BOJS (od januarja do decembra), CEY (od januarja do decembra), CRES (od januarja do decembra), CRNS (satelitska komunikacija od januarja do julija), 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 januarja do decembra), PDKS (od januarja do decembra), PERS (od

januarja do decembra), ROBS (od januarja do decembra), SKDS (od aprila do decembra) in VNDS (od februarja do decembra). V drugo skupino pa spadajo 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 za potresno opazovalnico Bojanci BOJS

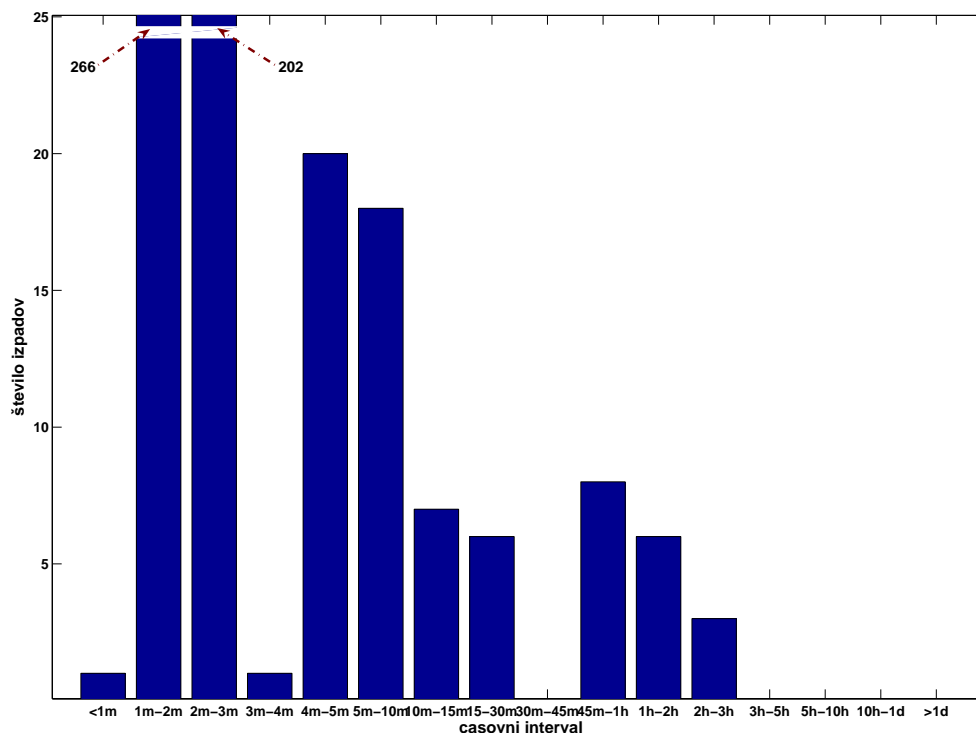
časovni interval*	število izpadov	skupno trajanje izpadov
$t \leq 1m$	1	0h 03m 31s
$1m < t \leq 2m$	266	8h 51m 19s
$2m < t \leq 3m$	202	7h 04m 03s
$3m < t \leq 4m$	1	0h 04m 00s
$4m < t \leq 5m$	20	1h 39m 59s
$5m < t \leq 10m$	18	1h 57m 02s
$10m < t \leq 15m$	7	1h 27m 19s
$15m < t \leq 30m$	6	2h 06m 25s
$30m < t \leq 45m$	0	0h 00m 00s
$45m < t \leq 1h$	8	7h 01m 48s
$1h < t \leq 2h$	6	8h 33m 15s
$2h < t \leq 3h$	3	6h 42m 13s
$3h < t \leq 5h$	0	0h 00m 00s
$5h < t \leq 10h$	0	0h 00m 00s
$10h < t \leq 1d$	0	0h 00m 00s
$t > 1d$	0	0h 00m 00s
$\Sigma$	<b>538</b>	<b>1d 21h 27m 54s</b>

**Preglednica 1.** Število izpadov potresne opazovalnice BOJS 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 BOJS and the total out-of-operation time for particular length of period.

Rezultati analize za časovno obdobje od 1. 1. 2006 do 31. 12. 2006 (opazovano obdobje) so podani v preglednicah 1 – 5 ter na slikah 1 – 3.

Celotno število izpadov v opazovanem obdobju je bilo 538. Njihovo skupno trajanje je bilo 1 dan 21 ur in 28 minut. Med njimi so bili trije takšni, ki so trajali dlje kot dve uri. Trajanje najdaljšega izpada v opazovanem obdobju, nastopil je dne 2006 1 1 03:08:33, je bilo 2 uri in 23 minut. Število pogojnih izpadov v opazovanem obdobju ni bilo.

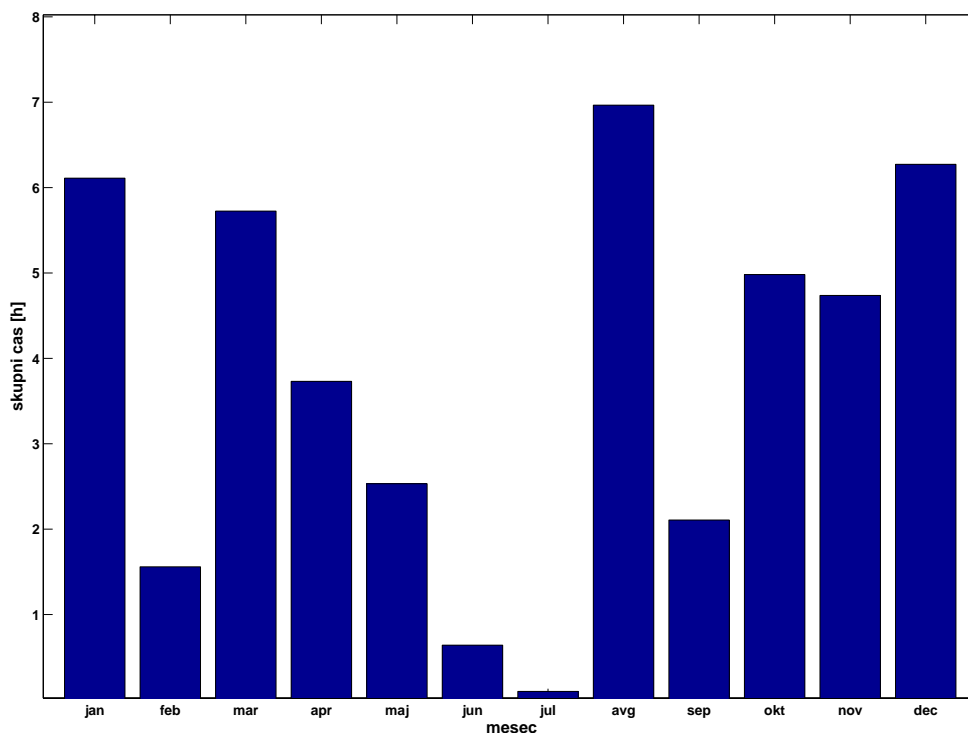


*Slika 1. Število izpadov potresne opazovalnice BOJS znotraj posameznih časovnih intervalov.*  
**Figure 1. Number of fixed length out-of-operation periods for seismic station BOJS.**

mesec	skupno trajanje izpadov
januar	0d 06h 06m 40s
februar	0d 01h 33m 34s
marec	0d 05h 43m 30s
april	0d 03h 43m 54s
maj	0d 02h 31m 57s
junij	0d 00h 38m 29s
julij	0d 00h 06m 00s
avgust	0d 06h 57m 55s
september	0d 02h 06m 24s
oktober	0d 04h 58m 53s
november	0d 04h 44m 14s
december	0d 06h 16m 24s
$\Sigma$	<b>1d 21h 27m 54s</b>

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

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



**Slika 2.** Skupno trajanje izpadov potresne opazovalnice BOJS v posameznem mesecu.  
**Figure 2.** The sum of out-of-operation periods in each month for seismic station BOJS.

časovni interval	število izpadov	skupno trajanje izpadov
$t \leq 15m$	515	0d 21h 04m 13s
$15m \leq 1h$	14	09h 08m 13s
$1h < t \leq 2h$	6	08h 33m 15s
$t > 2h$	3	06h 42m 13s
$\Sigma$	<b>538</b>	<b>1d 21h 27m 54s</b>

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

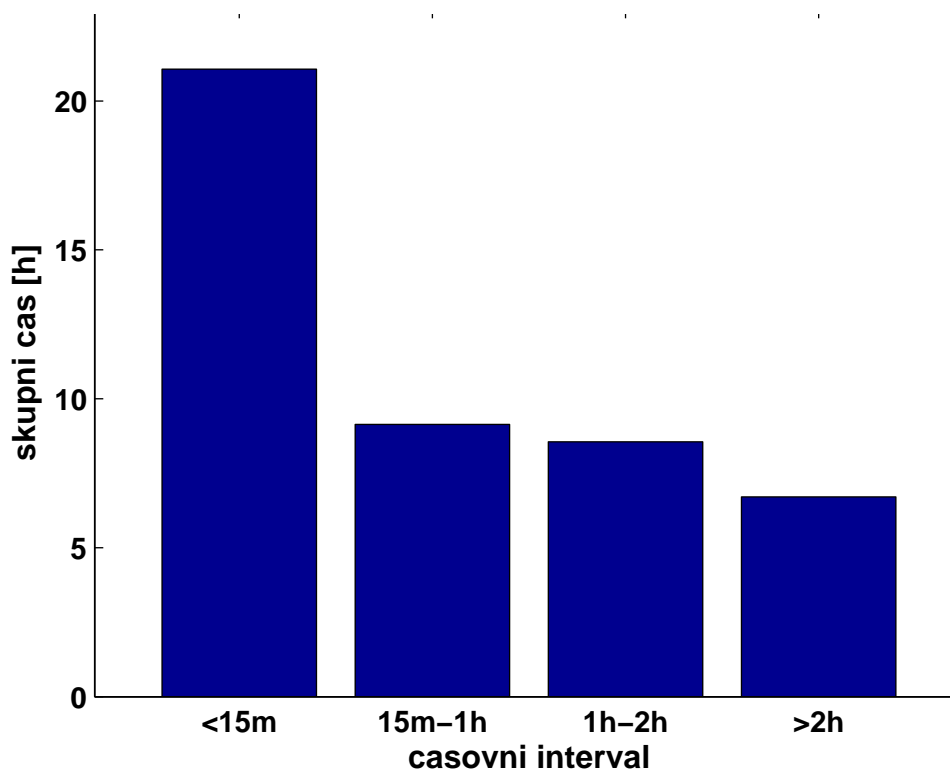
**Table 3.** The sum of out-of-operation periods for particular length of period for seismic station BOJS (including out-of-operation periods that appear in special conditions).

časovni interval	datum nastopa izpada m / d h : m	trajanje izpada
2h < t ≤ 3h	01 01 03:08	2h 23m*
	03 07 10:50	2h 17m*
	11 21 10:59	2h 02m*

\* izpad na komunikacijah

**Preglednica 4.** Podatki o izpadih daljših od dveh ur za potresno opazovalnico BOJS.

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



*Slika 3. Skupno trajanje izpadov potresne opazovalnice BOJS glede na časovni interval (vključno s pogojnimi izpadi).*

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

Izpadov daljših od dveh ur, ki bi bili posledica prekinitve komunikacij, ni bilo.

datum ponovnega zagona	
m / d	h:m
05/25	08:29

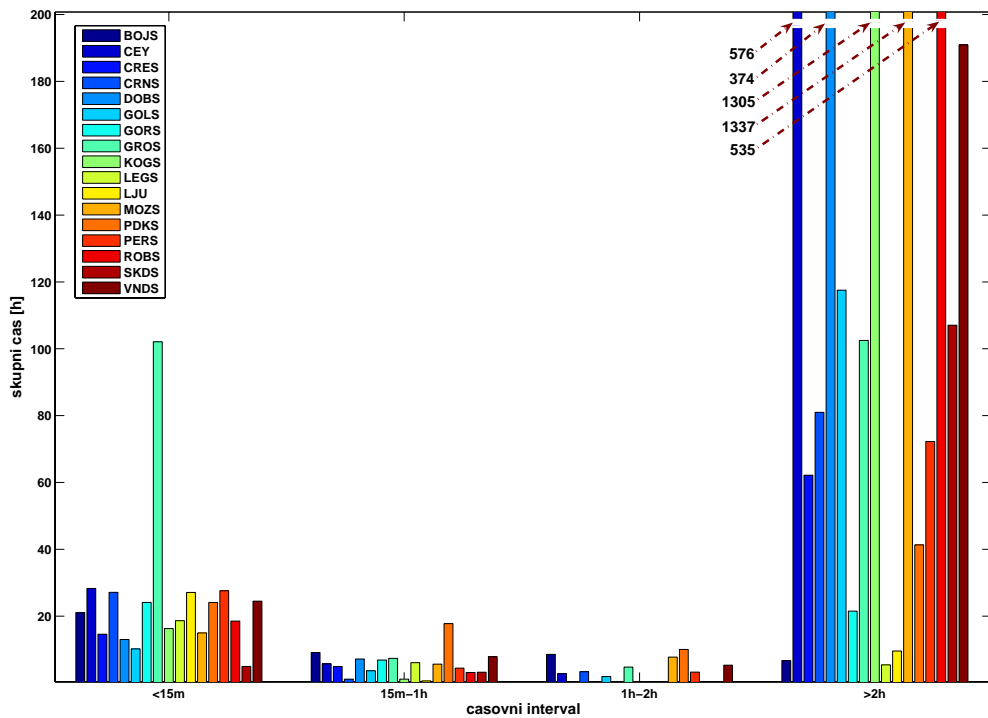
**Preglednica 5.** Podatki o ponovnih zagonih zajemalne enote Q730.

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

## Skupni rezultati analize

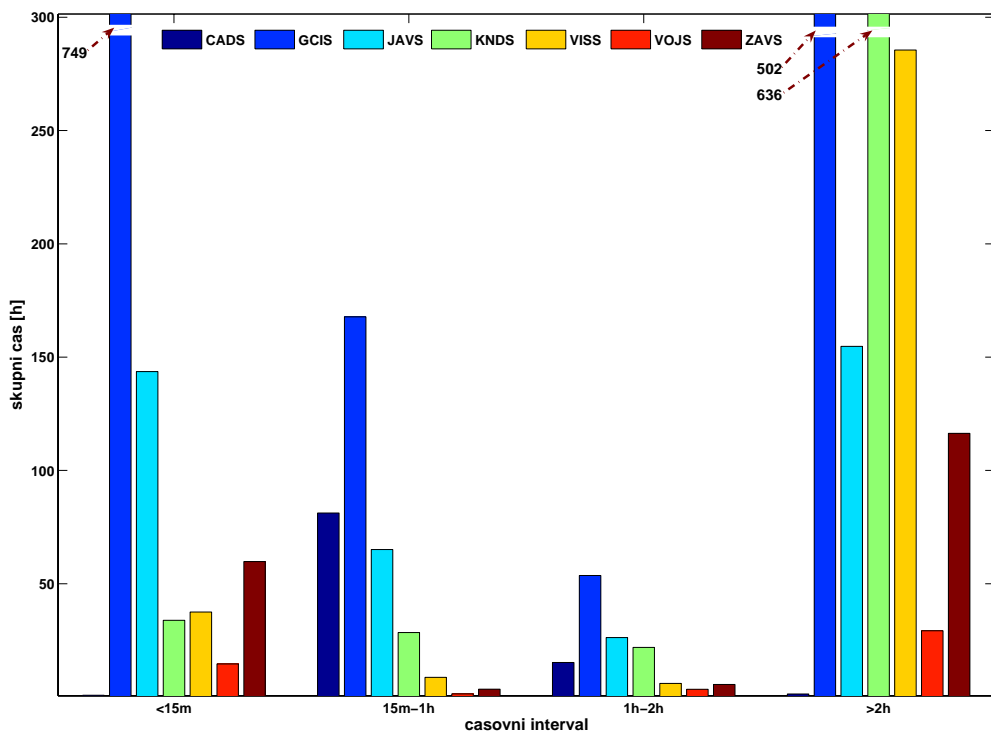
V poglavju podajamo skupne rezultate analize in sicer posebej za potresne opazovalnice, ki komunicirajo preko najete linije ter za potresne opazovalnice, ki komunicirajo preko GSM terminala. Na sliki 4 podajamo skupno trajanje izpadov glede na časovni interval (trajanje izpada) za vse potresne opazovalnice, ki komunicirajo preko najete linije. Na sliki 5 podajamo skupno trajanje izpadov glede na časovni interval (trajanje izpada) za vse potresne opazovalnice, ki komunicirajo preko GSM terminala. Na sliki 6 podajamo skupno trajanje izpadov vseh potresnih opazovalnic, ki komunicirajo preko najete linije, v posameznem mesecu. Na sliki 7 pa podajamo 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.





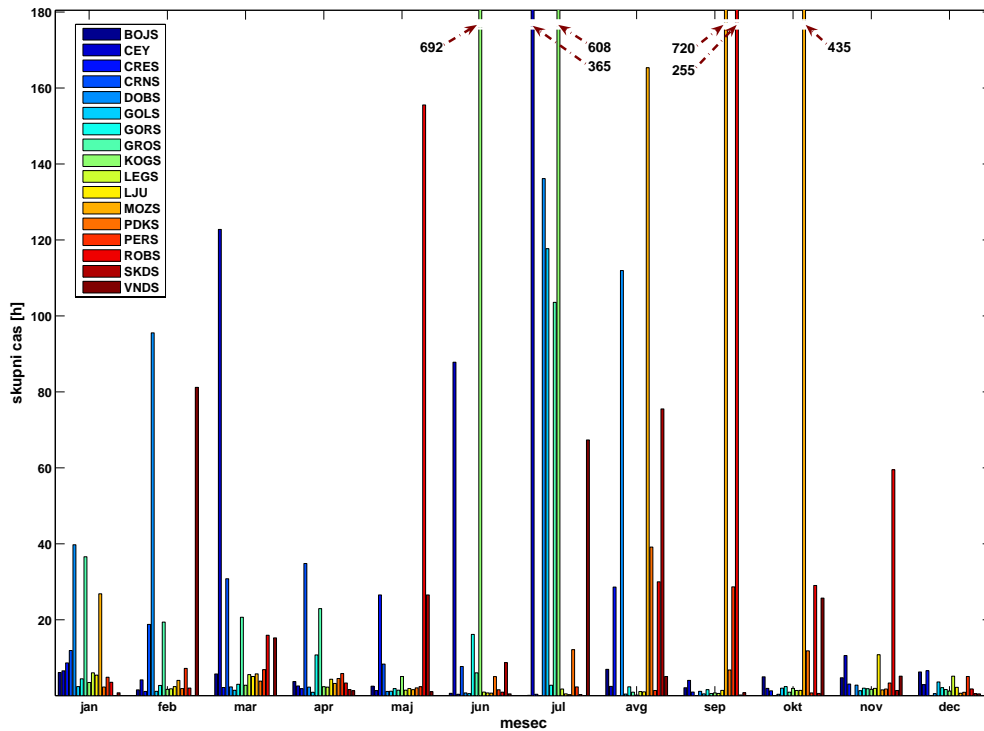
*Slika 4. Skupno trajanje izpadov glede na časovni interval (trajanje izpada) za vse potresne opazovalnice, ki komunicirajo preko najete linije.*

**Figure 4.** An overview of analysis of operation for Slovenia National seismic network (The sum of out-of-operation periods for particular length of period for stations which transmit data using dial up line).



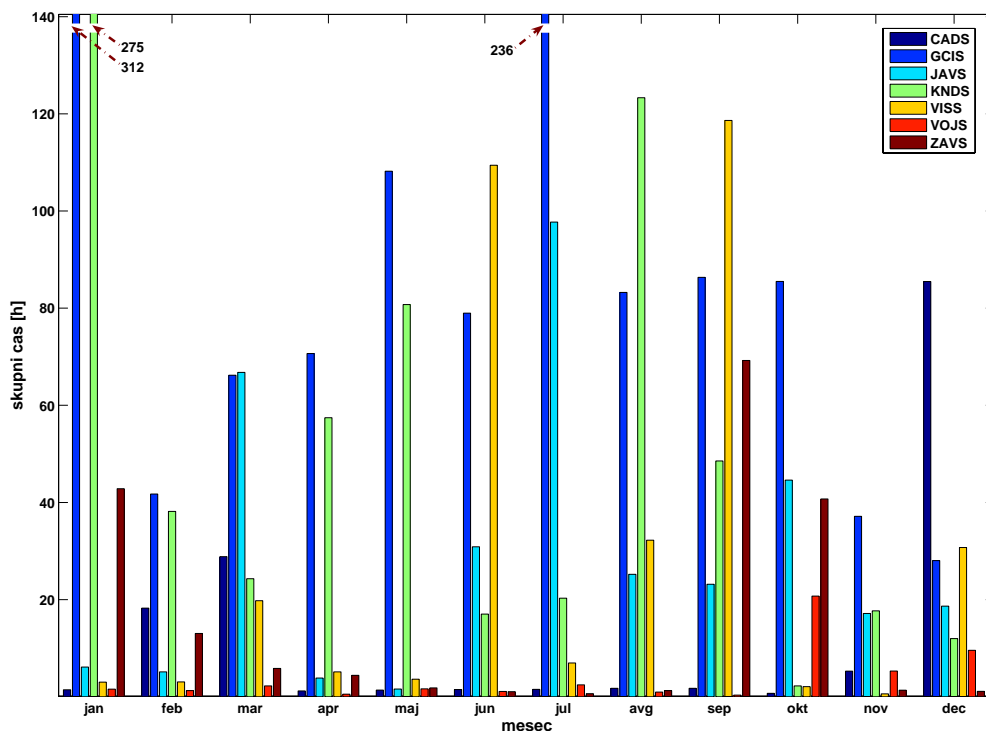
*Slika 5. Skupno trajanje izpadov glede na časovni interval (trajanje izpada) za vse potresne opazovalnice, ki komunicirajo preko GSM terminala.*

**Figure 5.** An overview of analysis of operation for Slovenia National seismic network (The sum of out-of-operation periods for particular length of period for stations with GSM terminal data transmission).



*Slika 6. Skupno trajanje izpadov vseh potresnih opazovalnic, ki komunicirajo preko najete linije, v posameznem mesecu.*

*Figure 6. 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).*



*Slika 7. Skupno trajanje izpadov vseh potresnih opazovalnic, ki komunicirajo preko GSM terminala, v posameznem mesecu.*

*Figure 7. An overview of analysis of operation for Slovenia National seismic network (The sum of out-of-operation periods in each month for stations, which transmit data using a GSM terminal).*

oznaka	nastop izpada	ura (UTC)	trajanje izpada	razlog izpada
BOJS	/	/	/	/
CADS	30. nov.	19:38	3d 17h 33m	Menjava GSM operaterja (menjava SIM kartice)
CEY	27. jun.	08:56	13d 22h 49m	Okvara na komunikacijskih vodih.
CRES	16. avg.	05:57	1d 4h 14m	Izpad glavne varovalke – izpad napajanja.
CRNS	/	/	/	Daljših izpadov ni bilo.
DOBS	20. jul.	20:12	4d 15h 04m	Izpad glavne varovalke – izpad napajanja.
GCIS	12. jul.	11:47	5d 20h 56m	Večje število napak v zvezi z GSM komunikacijo.
GOLS	12. jul.	15:08	2d 13h 4m	Napaka na komunikacijah.
GORS	/	/	/	Daljših izpadov ni bilo.
GROS	21. jul.	22:32	2d 8h 21m	Napaka na komunikacijah.
JAVS	12. mar.	14:47	1d 17h 17m	Okvara na energetske omrežju.
KNDS	20. jan.	13:46	12d 20h 7m	Napaka na komunikacijah.
KOGS	02. jun.	03:26	54d 5h 15m	Vdor meteorne vode v potresno opazovalnico. Sanacija potresne opazovalnice.
LEGS	/	/	/	Daljših izpadov ni bilo.
LJU	/	/	/	Daljših izpadov ni bilo.
MOZS	25. avg.	03:53	51d 13h 09m	Udar strele v opazovalnico. Sanacija potresne opazovalnice.
PKKS	/	/	/	Daljših izpadov ni bilo.
PERS	21. sep.	00:34	13h 28m	Pogosti izpadi na komunikacijah.
ROBS	03. sep.	13:36	9d 17h 5m	Napaka na komunikacijah.
VISS	13. aug.	08:30	3d 1h 5m	Izpad glavne varovalke – izpad napajanja.
VNDS	18. jun.	16:26	3d 18h 39m	Prekinitve komunikacij zaradi testiranja GPRS načina prenosa podatkov.
VOJS	18. feb.	04:07	3d 7h 49m	Izpad glavne varovalke – izpad napajanja.
ZAVS	2. nov.	16:46	16h 15m	Napaka na anteni 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 2006. Ugotovili smo, da se izpadi (prekinitve v komunikaciji z 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	538	2h 23m	1 1 03:08	0	0h 00m	3	1d 21h 27m
CEY	1 – 12	429	13d 22h 49m	6 27 08:56	1	0h 41m	5	24d 00h 18m
CRES	1 – 12	373	1d 4h 14m	8 16 05:57	0	0h 00m	4	2d 14h 10m
CRNS	1 – 7	742	20h 32m	4 6 10:32	1	0h 16m	12	3d 08h 58m
DOBS	1 – 12	335	5d 15h 4m	7 20 20:12	0	0h 00m	4	15d 14h 34m
GOLS	1 – 12	279	2d 13h 4m	7 12 15:08	0	0h 00m	2	4d 21h 32m
GORS	1 – 12	611	15h 15m	6 29 15:13	1	0h 13m	2	21h 29m
GROS	1 – 12	2777	2d 8h 21m	7 21 22:32	0	0h 00m	2	4d 06h 29m
KOGS	1 – 12	459	54d 5h 15m	6 2 03:26	0	0h 00m	2	55d 2h 27m
LEGS	1 – 12	491	2h 50m	12 11 18:22	0	0h 00m	2	5h 25m
LJU	1 – 12	753	5h 20m	11 7 08:59	0	0h 00m	2	9h 34m
MOZS	1 – 12	429	51d 13h 9m	8 25 03:53	0	0h 00m	6	55d 17h 14m
PDKS	1 – 12	596	5h 5m	8 12 06:08	2	0h 25m	13	3d 21h 11m
PERS	1 – 12	756	13h 28m	9 21 00:34	5	14h 50m	6	2d 02h 22m
ROBS	1 – 12	501	9d 17h 5m	9 3 13:36	0	0h 00m	10	23d 5h 16m
SKDS	4 – 12	138	3d 1h 5m	8 13 08:30	0	0h 00m	2	4d 11h 02m
VNDS	1 – 12	534	3d 7h 49m	2 18 04:07	3	10h 40m	10	7d 22h 53m
CADS	1 – 12	777	1d 1h 27m	3 22 12:00	0	0h 00m	2	1d 4h 51m
GCIS	1 – 12	15692	11d 7h 40m	1 5 02:21	357	6h 05m	21	20d 8h 30m
JAVS	1 – 12	2991	1d 17h 26m	10 3 21:04	66	4h 09m	11	6d 10h 45m
KNDS	1 – 12	868	12d 20h 7m	1 25 11:55	22	0h 46m	19	26d 11h 48m
VISS	1 – 12	1221	3d 18h 39m	6 18 16:26	6	1h 02m	18	11d 21h 33m
VOJS	1 – 12	364	16h 15m	10 2 16:46	3	0h 27m	2	1d 05h 14m
ZAVS	1 – 12	1616	2d 20h 56m	9 11 13:46	2	1h 36m	5	4d 20h 21m

**Preglednica 7.** Povzetek rezultatov o delovanju državne mreže potresnih opazovalnic v letu 2006.

**Table 7.** An overview of analysis of operation for seismic network of Slovenia in year 2006.

Na osnovi rezultatov analize delovanja potresnih opazovalnic v letu 2006 smo lahko izluščili najpogostejše napake, ki povzročijo posamezen izpad. S pomočjo teh spoznanj neprestano izboljšujemo delovanje mreže potresnih opazovalnic.

## **Literatura**

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

interni arhiv sektorja za potresna opazovanja

Mali, M., 2006. Interno poročilo; poročilo o delovanju oziroma izpadih za leto 2006, Urad za seizmologijo in geologijo, Ljubljana.

# UČINKOVITOST PRIDOBIVANJA PODATKOV V LETU 2006

## SEISMIC DATA ACQUISITION EFFICIENCY IN 2006

Jurij Pahor, Mladen Živčić

**Povzetek.** Izguba podatkov v letu 2006 iz štiriindvajsetih opazovalnic Državne mreže potresnih opazovalnic znaša 3,9 % za podatkovne nize s frekvenco vzorčenja 200 vzorcev v sekundi (HH) ter 3,6 % za podatkovne nize s frekvenco vzorčenja 20 vzorcev v sekundi (BH).

**Abstract.** The seismic network of the Republic of Slovenia was operating twenty four seismic stations in 2006 with two of them (VNDS and SKDS) being put in operation during the year. Seismic station CRNS was used as test site for satellite telemetry and was operating until July. The seismic data from CRNS is included in the network statistics. The data loss was evaluated from tape drive backup log (*wftar* table in Antelope database) and was found to be 3.9 % for 200 sps datastreams (HH) and 3.6 % for 20 sps data streams (BH). The greatest data loss (approx. 55 days) is accounted for seismic stations KOGS, which was flooded in the beginning of June and MOZS, which was hit by lightning on 25<sup>th</sup> of August.

### Uvod

V poročilu o učinkovitosti pridobivanja podatkov so obravnavane opazovalnice Državne mreže potresnih opazovalnic (Sinčič in sod., 2007). 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). Vsebina *wftar* tabele je prikazana na sliki 3 s programom *trdisp*, ki je del programskega paketa Antelope.

### Izguba podatkov v letu 2006

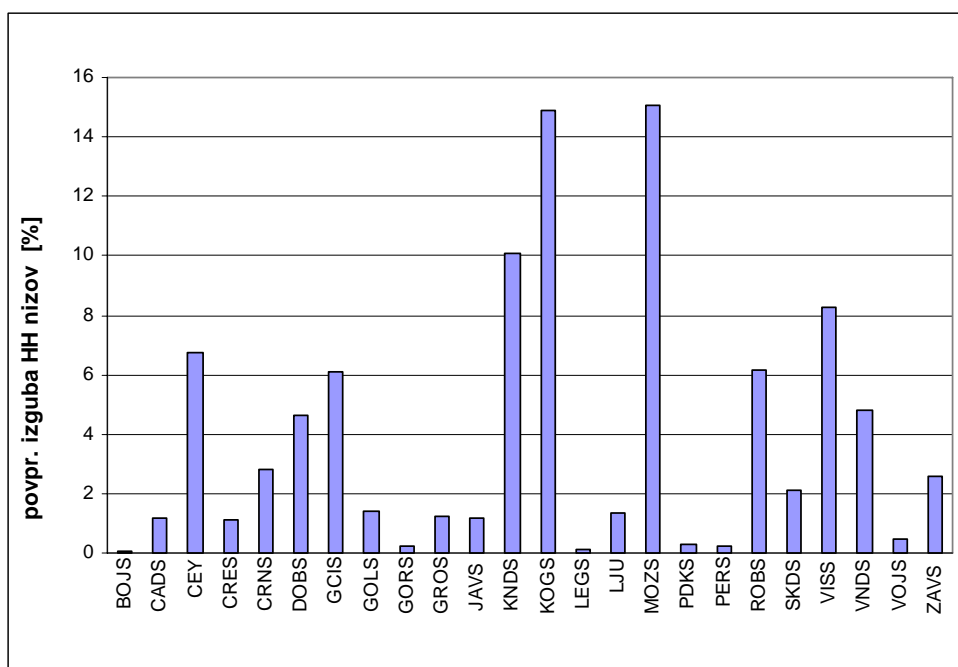
V poročilu je zajetih štiriindvajset stalnih potresnih opazovalnic. Opazovalnica na Skadanščini je bila priklopljena 12. aprila (264 dni delovanja), opazovalnica na Vrhu pri Dolskem pa je začela delovati 10. januarja. Opazovalnica na Črnem Vrhu je testno delovala s satelitsko povezavo do 24. junija. Spremljali smo podatkovne nize s frekvenco vzorčenja 200 izmerkov v sekundi (HH) in 20 izmerkov v sekundi (BH). Odstotki izgube podatkov za posamezne opazovalnice in za celotno mrežo skupaj so izračunani iz razlike med pridobljenimi podatki ter pričakovano količino podatkov (Pahor J. in sod., 2007).

[%]	HHE	HHN	HHZ	BHE	BHN	BHZ
BOJS	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
CADS	1.1	1.3	1.0	1.0	1.0	1.0
CEY	6.8	6.8	6.7	6.7	6.7	6.7
CRES	1.1	1.3	1.0	1.0	1.0	1.0
CRNS	2.3	4.4	1.7	0.8	0.8	0.8
DOBS	4.7	4.6	4.7	4.8	4.8	4.6
GCIS	6.1	6.7	5.4	5.1	5.1	5.2
GOLS	1.4	1.4	1.4	1.4	1.5	1.5
GORS	0.3	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1
GROS	1.2	1.4	1.2	1.2	1.1	1.1

[%]	HHE	HHN	HHZ	BHE	BHN	BHZ
JAVS	1.1	1.5	0.8	0.7	0.9	1.0
KNDS	10.1	10.2	9.9	9.5	9.5	9.8
KOGS	14.9	14.9	14.9	14.9	14.9	14.9
LEGS	0.1	0.1	0.1	0.0	0.0	0.0
LJU	2.0	2.0	0.1	0.0	0.0	0.0
MOZS	15.1	15.1	15.1	15.0	15.0	15.0
PDKS	0.4	0.3	0.2	0.1	0.1	0.1
PERS	0.3	0.3	0.2	0.3	0.3	0.2
ROBS	6.2	6.2	6.0	5.8	5.8	5.8
SKDS	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1	2.1
VISS	8.2	8.8	7.9	8.1	8.0	7.9
VNDS	4.9	4.9	4.7	4.5	4.4	4.4
VOJS	0.4	0.6	0.4	0.3	0.3	0.3
ZAVS	2.4	3.8	1.6	1.6	1.6	1.5
mreža network	3.9	4.1	3.7	3.6	3.6	3.6

**Preglednica 1.** Izguba podatkov za tri komponente HH in BH podatkovnih nizov po opazovalnicah, izražena v odstotku pričakovanega obratovalnega časa, za leto 2006.

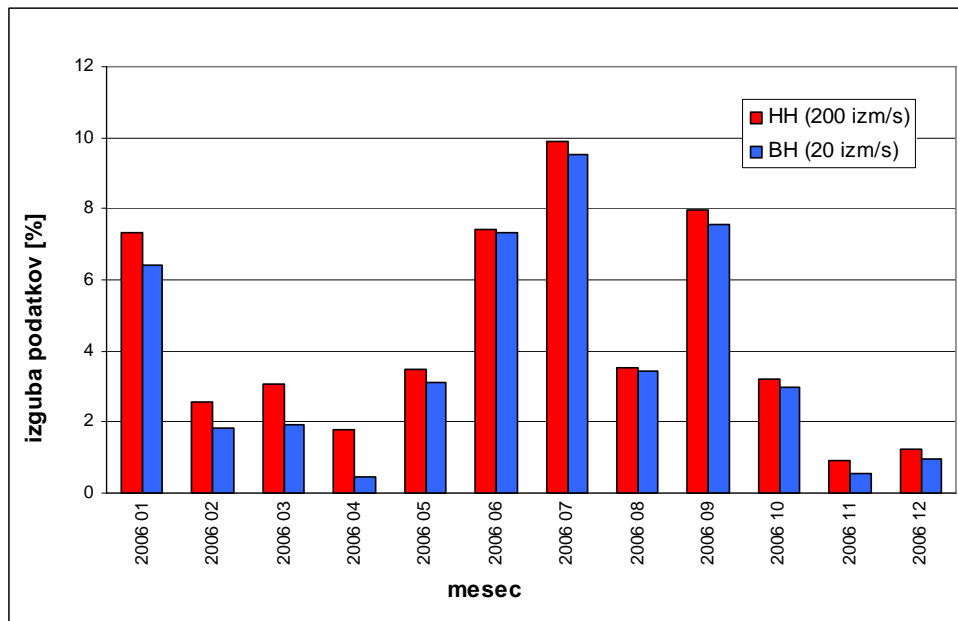
**Table 1.** Data loss in percentage of expected operation time for three-channel HH and BH data streams for each seismic station in 2006.



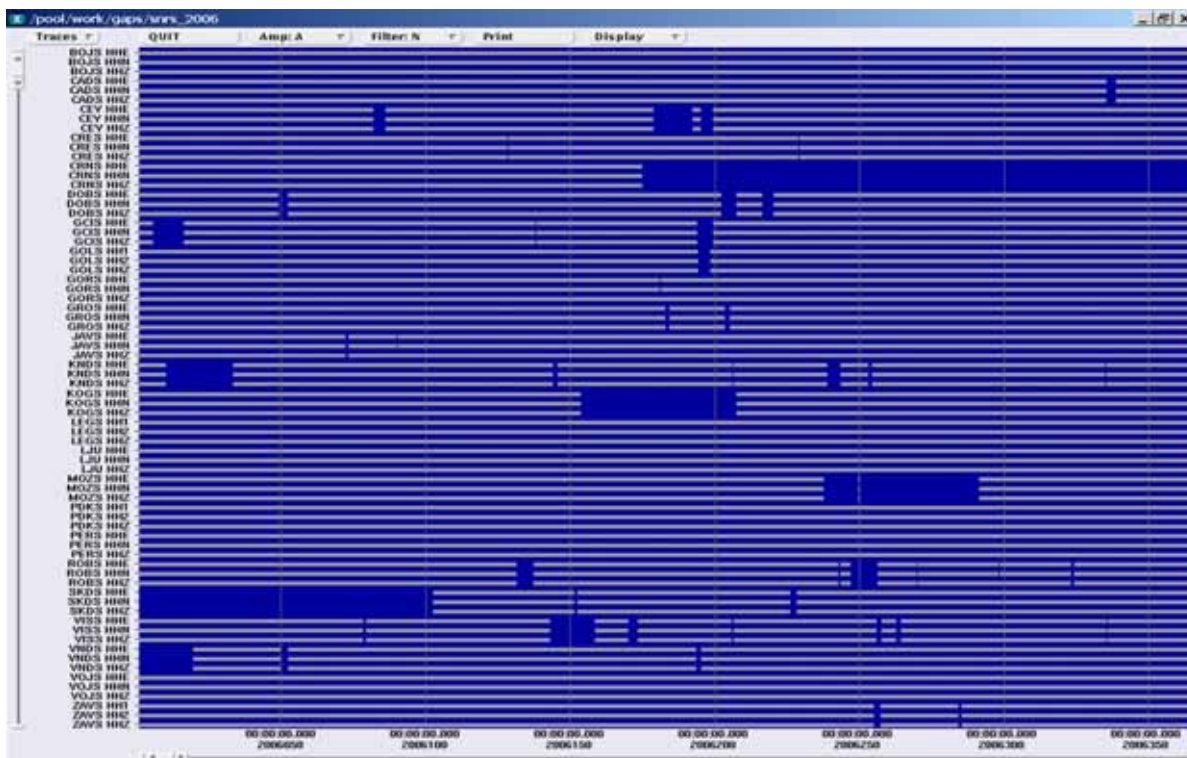
**Slika 1.** Izguba HH podatkovnih nizov (vse tri komponente) po opazovalnicah v letu 2006.  
**Figure 1.** Data loss of HH data streams (all three components) for each seismic station in 2006.

Največjo izgubo seizmičnih podatkov smo zabeležili pri opazovalnici na Kogu, ki jo je v začetku junija zalila meteorna voda ter pri opazovalnici na Možjanci, ki je 25. avgusta podlegla udaru strele. Opazovalnici nista delovali pribl. 55 dni oziroma 15% leta.

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 tabeli 1 so HH1 vključeni med HHE, HH2 pa med HHN podatkovne nize.



*Slika 2. Skupna izguba HH podatkovnih nizov (vse opazovalnice) po mesecih v letu 2006.  
Figure 2. Monthly data loss of HH data streams for permanent seismic stations in 2006.*



*Slika 3. Razpoložljivost podatkov iz HH podatkovnih nizov za leto 2006. Časovna skala prikazuje dan v letu.*

*Picture 3. Data availability for HH data streams for permanent seismic stations in 2006. Time scale shows day in the year.*



## Zaključek

V letu 2006 smo izgubili 3,9 % podatkov HH podatkovnih nizov iz stalnih potresnih opazovalnic. Največjo izgubo smo zabeležili pri opazovalnicah na Kogu in Možjanci (pribl. 15 %), zaradi vdora vode oziroma udara strele. Izguba podatkov v letu 2006 je bila manjša kot v letu 2005, ko je za HH podatkovne nize znašala 8,8 % (Pahor J. in sod., 2007) ter v letu 2004, ko je znašala 6,2 % (Pahor J. in sod., 2006).

## Literatura

- Sinčič, P., Vidrih, R., Tasič, I., Živčič, M., T. Prosen, 2007. Potresne opazovalnice v Sloveniji v letu 2006. Potresi v letu 2006, Agencija RS za okolje, 1-12, Ljubljana.
- Boulder Real Time Technologies, inc.(online). 2005. (citirano 15.4.2007). Antelope Real Time System. Dostopno na naslovu: <http://www.brtt.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 RS za okolje, 151-158, Ljubljana.
- Pahor J., Živčič M. , 2007. Učinkovitost zbiranja podatkov iz potresnih opazovalnic v letu 2005. Potresi v letu 2005. Agencija RS za okolje, 25-29, Ljubljana.

# STABILNOST TEMPERATURE V SEIZMIČNEM JAŠKU

## TEMPERATURE STABILITY IN SEISMIC SHAFT

Izidor Tasič, Marko Mali

**Povzetek.** Temperaturno stabilna okolica je eden glavnih pogojev, ki jih moramo zagotoviti za ustrezno delovanje dolgoperiodnih širokopasovnih seizmometrov (STS2, CMG-3ESPC, ...). Cilj tega dela je bil ugotoviti, ali potresne opazovalnice Državne mreže potresnih opazovalnic (DMPO), natančneje seizmični jaški, nudijo temperaturno dovolj stabilno okolico. Na potresni opazovalnici Možjanca smo začasno namestili merilni inštrument PCE-313A proizvajalca PCE Group, ki omogoča merjenje temperature na  $0,1^{\circ}\text{C}$  natančno. Temperaturo smo zajemali enkrat na uro in podatke enkrat mesečno na daljavo prenašali v središča za obdelavo podatkov v Ljubljani. Temperaturo smo merili tudi s pomočjo zajemalne enote Q730, ki ima v ta namen vgrajen termistor. Za bolj nazoren prikaz temperaturne stabilnosti pa smo si priskrbeli tudi podatke o temperaturi okolice. Ugotovili smo, da je največja dnevna sprememba temperature v seizmičnem jašku ob seizmometru le  $0,1^{\circ}\text{C}$ , kar zadovolji tudi najstrožje kriterije o temperaturni stabilnosti okolice za dolgoperiodne širokopasovne seizmometre. Na osnovi meritev in rezultatov, dobljenih na potresni opazovalnici Možjanca, katere seizmični jašek je eden najplitvejših in kot tak najbolj podvržen temperaturnim spremembam, in na osnovi meritev temperature v enoti Q730 na vseh ostalih potresnih opazovalnicah DMPO smo ugotovili, da je temperaturna stabilnost celotne DMPO zelo dobra.

**Abstract.** One of the main conditions, which should be met for proper operation of long period broadband seismometers (STS2, CMG-3ESPC, ...) is temperature stable environment. The goal of this work is to find out if seismic stations, included in Seismic network of Slovenia, offer temperature stable environment. On seismic station Možjanca a special measurement instrument PCE-313A (producer: PCE Group), which provides temperature measurements with accuracy of  $0,1^{\circ}\text{C}$ , was temporary installed. The sample rate of temperature measurements was 1 sph (one sample per hour). Each month the recorded data was transmitted directly to data processing center in Ljubljana. Temperature was measured also with digitizer unit Q730 (for temperature monitoring inside of the unit special termistor is build in). For better demonstration of good temperature stability data of outside temperature was acquired. The analysis of the different temperature data has produced several useful results. The maximum daily variation of temperature in seismic shaft (in the vicinity of seismometer) was only  $0,1^{\circ}\text{C}$ , which is stable enough to meet the most strict criterion for temperature stability of environment in which long period broadband seismometers are installed. Moreover, a comparison of temperature data acquired on Možjanca (the seismic shaft on this location is one of the most shallow) with data acquired in other seismic stations (temperature data from Q730 unit) was made. The results have shown that the temperature stability of all seismic shafts in Seismic network of Slovenia is very good.

### Uvod

Na kvaliteto delovanja seizmološke opreme vpliva vrsta parametrov. Eden pomembnejših med njimi je temperatura oziroma njena sprememba v določenem časovnem obdobju. Hitra temperaturna sprememba negativno vpliva na stabilnost seizmometrov. Pri sodobnih dolgoperiodnih širokopasovnih seizmometrih se zaradi prevelike temperaturne spremembe v kratkem času razmerje signal/šum pri periodah nad dvajset sekund (Hanka, 2007) občutno zmanjša, kar vpliva na kvaliteto razpoznavanja seizmičnega signala. Poleg omenjenega lahko prevelike temperaturne spremembe povzročijo tudi odmik uteži inercialnega seizmometra iz njene ravnovesne lege (STS-2 manual), kar posledično pomeni zmanjšanje dinamičnega območja seizmometra. V dostopni literaturi je možno zaslediti vrsto priporočenih

minimalnih vrednosti temperaturne spremembe, ki naj ne bi vplivale na delovanje seizmometra. Na tem mestu podajamo najstrožjo vrednost, ki smo jo zasledili in sicer 1°C/dan (Hanka, 2007) in se nanaša na seizmometer STS2.

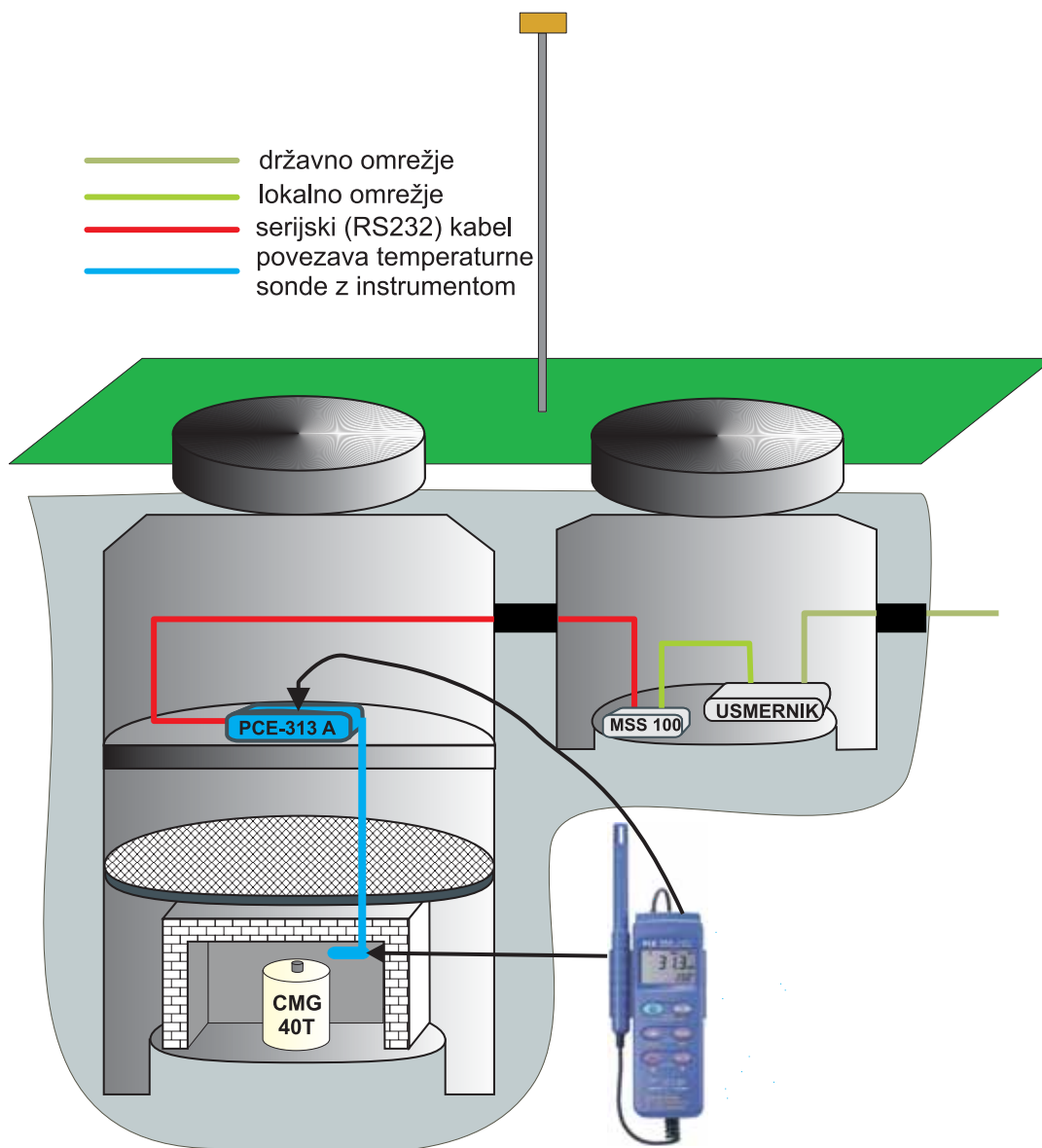
Skoraj vse potresne opazovalnice Državne mreže potresnih opazovalnic (DMPO) so zgrajene po enotnem načrtu. Razlikujejo se le v globini seizmičnega jaška. Globina jaška je odvisna od globine, na kateri se nahaja kompaktna kamenina. Jaški so globoki od treh do sedmih metrov. Jašek je na vrhu zaprt s kovinskim pokrovom, ki je z notranje strani toplotno izoliran s stirodurom. Pol metra pod pokrovom je petnajst centimetrov debel sloj termo-izolacije v obliki čepa. Slab meter nad stebrom, na katerega je postavljen seizmometer je pohodno dno, ki je dodatno izolirano s spodnje strani s pet centimetrov debelim stirodurom. Kljub večkratni izolaciji merilnega jaška, nas je zanimalo, ali je termična stabilnost ozračja pri seizmometru zadostna za kvaliteto merjenja potresnih valov, oziroma ali moramo seizmometre še dodatno toplotno izolirati.

V ta namen smo na potresni opazovalnici Možjanca začasno namestili temperaturno sondo PCE-313A proizvajalca PCE Group, ki omogoča merjenje temperature na 0,1°C natančno. Seizmični jašek potresne opazovalnice Možjanca je eden plitvejših v mreži potresnih opazovalnic. V istem jašku, kot je seizmometer, se nahaja tudi zajemalna enota Quanterra Q730. Nahaja se v vmesnem prostoru, pod izolacijskim čepom in nad pohodnim dnom. Enota Quanterra Q730 ima vgrajen notranji merilnik temperature (termistor), ki meri temperaturo znotraj ohišja enote Q730. Zanimalo nas je, če lahko te podatke uporabimo tudi za kontrolo stabilnosti temperature v seizmičnem jašku. Drugi cilj instalacije temperaturne sonde v seizmični jašek je bil razviti transformacijo, ki bi omogočila na osnovi podatkov o temperaturi v enoti Q730, sklepati na stabilnosti temperature v seizmičnem jašku. Seveda pa se moramo takoj zavedati, da pretvorba ni enolična, ker enota Q730 zajema temperaturo znotraj svojega ohišja, kjer je prisoten dodaten, majhen vir toplote, poleg tega je temperaturna sonda nameščena skoraj dva metra nižje, pod dodatno izolacijsko plastjo, v prostoru, kjer se nahaja seizmometer. Omenjena razlika v lokaciji zajemanja temperature naredi zvezo med odčitki sond nelinearno.

V sledečih poglavjih predstavljamo rezultate meritev temperature na potresni opazovalnici Možjanca. Predstavljene so vrednosti temperature v seizmičnem jašku, sonda je nameščena v spodnjem delu seizmičnega jaška, kjer je postavljen seizmometer in vrednosti temperature ozračja na lokaciji Preddvor, kjer deluje najbližja klimatološka postaja (Vir: e-komunikacija Gregor Gregorič). Prikazane so tudi vrednosti temperature v enoti Q730 in ocena spremembe temperature v jašku s to enoto. Na osnovi podatkov zajetih z enoto Q730 in temperaturno sondo na potresni opazovalnici Možjanca, bomo prikazali potek oziroma spreminjanje temperature v ostalih potresnih opazovalnicah istega gradbenega tipa in sklepali na stabilnost temperature na lokaciji seizmometra.

## Rezultati ugotavljanja temperaturne stabilnosti na potresni opazovalnici Možjanca

Cilj merjenja temperature je bil ugotoviti dnevna in mesečna oziroma sezonska nihanja temperature v prostoru, kjer je postavljen seizmometer. V ta namen smo na potresno opazovalnico Možjanca namestili merilnik temperature PCE-313A, ki omogoča neprekinjeno zajemanje temperature (slika 1).



**Slika 1.** Prikaz namestitve instrumenta za merjenje temperature na potresni opazovalnici Možjanca. Na sliki je prikazana tudi izvedba komunikacije z inštrumentom.

**Figure 1.** Installation of measurement instrument PCE-313A on the seismic station Možjanca. The type of communication with instrument is also presented on this figure.

Inštrument sestavljata merilna enota in senzor za temperaturo s kablom dolžine 1,2 metra. Sistem omogoča merjenje temperature na 0,1°C natančno. Podatki o temperaturi se shranjujejo na lokalni pomnilnik. Vzorčna frekvenca zajemanja temperature je bila ena ura. Podatke je možno preko RS232 vmesnika prenesti na prenosni računalnik. Ker je velikost notranjega spomina merilnika omejena, in da ne bi neprestano odpirali jaška in s tem motili

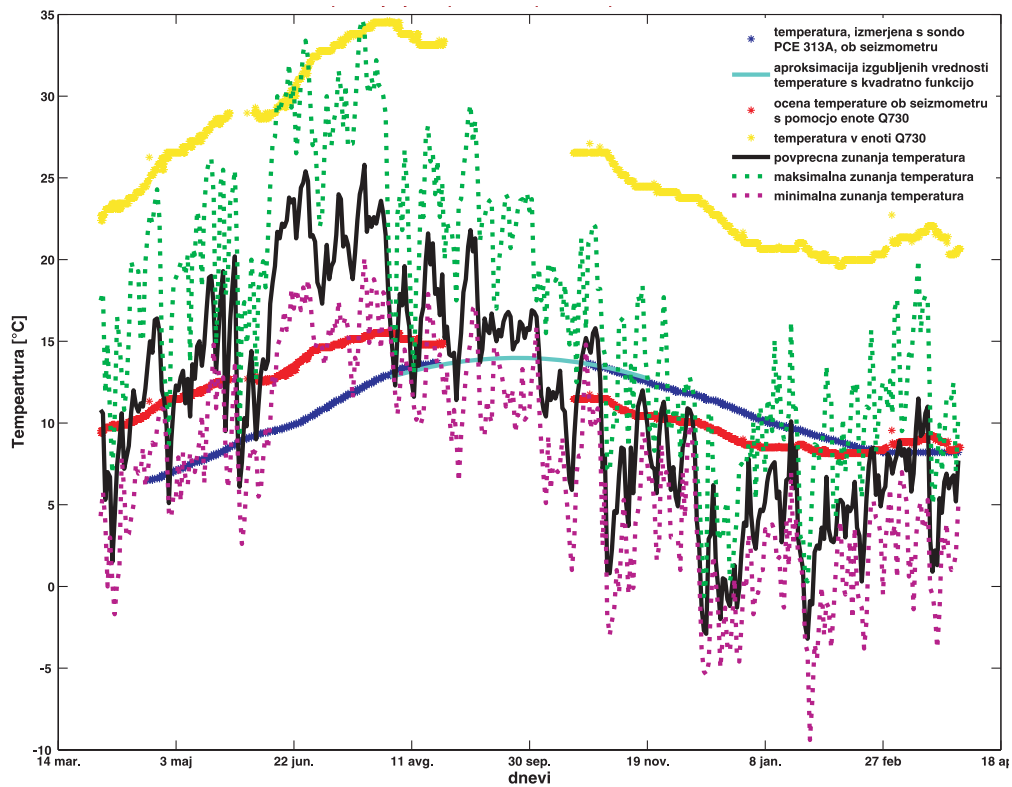
meritve, smo sistem zasnovali tako, da je možno podatke o temperaturi prenašati na daljavo. Inštrument smo dodatno opremili z RS232/TCPIP pretvornikom (Lantronix MSS-100), in jo preklopili na intranet omrežje. Podatke smo direktno iz središča za obdelavo podatkov v Ljubljani prenašali enkrat mesečno.

Poleg podatkov dobljenih s temperaturno sondo pa smo zbrali tudi podatke o temperaturi v zajemalni enoti Q730 in podatke o zunanji temperaturi. Podatke smo zbrali za obdobje od 1. 4. 2006 do 31. 3. 2007. Zaradi daljšega izpada v delovanju potresne opazovalnice smo izgubili podatke od 25. 8. 2006 do 18. 10. 2006. V tem obdobju opazovalnica ni delovala zaradi udara strele. Vendar primanjkljaj podatkov bistveno ne vpliva na splošne ugotovitve. Izgubljene podatke smo ocenili s kvadratno funkcijo.

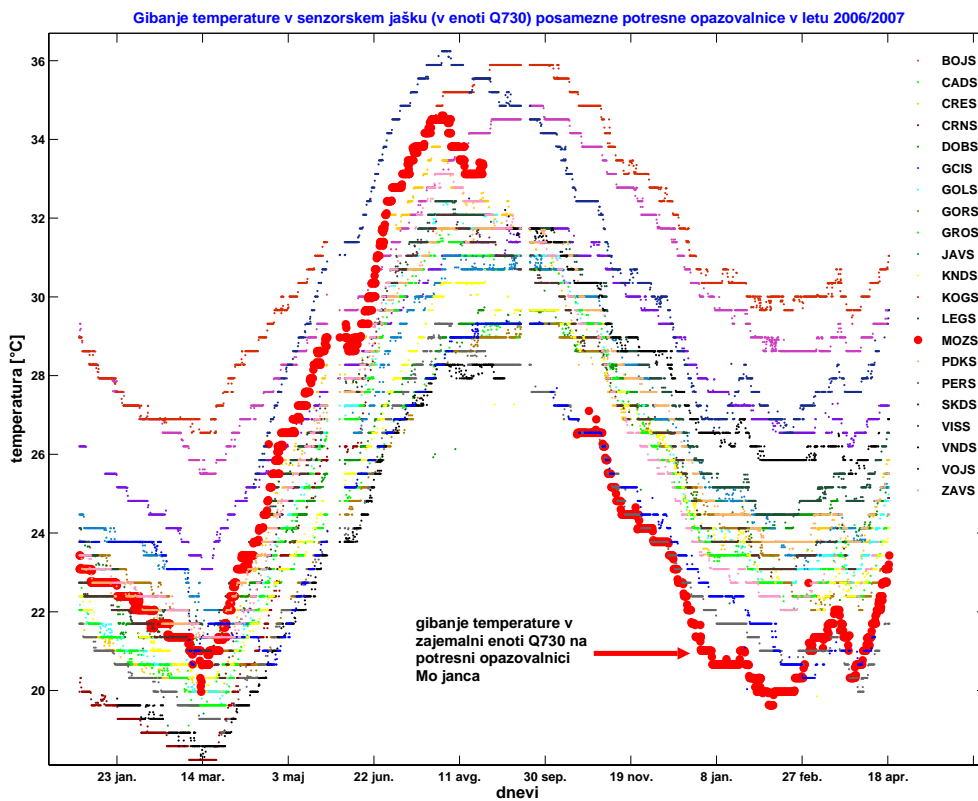
Iz dobljenih podatkov o temperaturi, ki so prikazani na sliki 2, lahko izluščimo naslednje ugotovitve:

- Največja dnevna sprememba temperature v seizmičnem jašku ob seizmometru, izmerjena s temperaturno sondo, je bila  $0,1^{\circ}\text{C}$ . Ker omenjena vrednost predstavlja merilno negotovost uporabljene sonde, lahko sklepamo, da je temperaturna sprememba še manjša.
- Največja dnevna sprememba temperature zraka okolice (izmerjena na lokaciji Preddvor) je bila  $18,3^{\circ}\text{C}$ .
- Minimalna temperatura skozi celotno obdobje opazovanja v seizmičnem jašku izmerjena s temperaturno sondo je bila  $6,5^{\circ}\text{C}$ , minimalna zunanja temperatura je bila  $-9,4^{\circ}\text{C}$ .
- Največja temperatura skozi celotno obdobje opazovanja v seizmičnem jašku izmerjena s temperaturno sondo je bila  $14,0^{\circ}\text{C}$  (vrednost dobljena s pomočjo aproksimacije s kvadratno funkcijo), največja zunanja temperatura je bila  $34,7^{\circ}\text{C}$ .
- Največja temperaturna sprememba skozi celotno obdobje opazovanja je tako v seizmičnem jašku znašala  $7,5^{\circ}\text{C}$  v okolici opazovalnice pa kar  $44,1^{\circ}\text{C}$ .

Rdeča črta na sliki 2 predstavlja oceno temperature izmerjene z zajemalno enoto Q730 glede na temperaturo izmerjeno s temperaturno sondo. Pri tej oceni so nihanja temperature sicer nekoliko višja, vendar zadovoljiva za oceno temperaturne spremembe na lokaciji seizmometra. Na osnovi rezultatov o temperaturni stabilnosti potresne opazovalnice Možjanca lahko sklepamo na temperaturno stabilnost celotne mreže potresnih opazovalnic istega tipa opremljene z enotami Q730. Modra črta predstavlja temperaturo na lokaciji seizmometra, izmerjeno s temperaturno sondo, (aproksimacija podatkov s kvadratno funkcijo, ki nam nadomesti izgubljene podatke, je prikazana s svetlo modro barvo). Rumena črta pa predstavlja temperaturo v zajemalni enoti Q730, kjer smo uporabili transformacijo, ki nam številčno vrednost izmerjeno v enoti (digital counts) pretvori v  $^{\circ}\text{C}$ . Transformacijo smo iz podatkov, ki so nam jih posredovali proizvajalci opreme, dobili s pomočjo linearne regresije. Enačba je  $T(x) = 69,118 - 0,086 * x$ , kjer je  $x$  izmerek v enoti Q730 (digital counts),  $T(x)$  pa vrednost v  $^{\circ}\text{C}$ .



**Slika 2.** Predstavitev nihanja temperature izmerjene na lokaciji potresne opazovalnice Možjanca.  
**Figure 2.** Variation of different temperatures on the location of seismic station Možjanca.



**Slika 3.** Predstavitev nihanja temperature na posamezni potresni opazovalnici (v enoti Q730) mreže potresnih opazovalnic.  
**Figure 3.** Variation of temperature in all seismic shafts (inside of unit Q730) included in Seismic network of Slovenia.

## Rezultati ugotavljanja temperaturne stabilnosti mreže potresnih opazovalnic

Da bi lahko na osnovi rezultatov merjenja temperature na lokaciji Možjanca sklepali na temperaturno stabilnost ostalih potresnih opazovalnic, smo zbrali in primerno obdelali podatke o temperaturi, ki jih nudi zajemalna enota Q730, za celotno mrežo potresnih opazovalnic. Zbrani podatki zajemajo čas od 1. 1. 2006 do 18. 4. 2007. Izločili smo le opazovalnice Ljubljana, Cerknica in Robič, ker se po zgradbi razlikujejo od ostalih v mreži. Podatki so prikazani na sliki 3. Debelejša rdeča črta predstavlja temperaturo izmerjeno v zajemalni enoti Q730 na potresni opazovalnici Možjanca.

Na osnovi grafa predstavljenega na sliki 3 lahko podamo naslednje trditve:

- Tako dnevna kot tudi sezonska sprememba temperature je na potresni opazovalnici Možjanca med najvišjimi, če ne celo najvišja, kar je posledica tega, da je seizmični jašek na tej opazovalnici med plitkejšimi in je zajemalna enota najbližje površju zemlje (globlji, ko je jašek, večja je temperaturna izolacija).
- Na osnovi prve trditve in ugotovitve, da je sprememba temperature v seizmičnem jašku na potresni opazovalnici Možjanca manjša od  $0,1^{\circ}\text{C}/\text{dan}$  (slika 2) lahko sklepamo, da je sprememba temperature v ostalih potresnih opazovalnicah kvečjemu enaka oziroma manjša od  $0,1^{\circ}\text{C}/\text{dan}$ .
- Celotna mreža potresnih opazovalnic nudi zelo dobro termično stabilnost, tako da je delovanje tudi najboljše seizmološke opreme (seizmometer STS2, zajemalne enote Quanterra) s tega stališča nemoteno.

## Zaključek

Slovenska mreža potresnih opazovalnic je opremljena z širokopasovnimi seizmometri, ki za ustrezno delovanje potrebujejo med drugim tudi termično stabilno okolje. V prispevku smo na nazoren način pokazali, da so seizmični jaški mreže potresnih opazovalnic termično zelo stabilni, saj največja dnevna sprememba temperature v enem od najplitvejših jaškov (lokacija Možjanca) znašala le  $0,1^{\circ}\text{C}$  (največja dnevna sprememba okolice je znašala kar  $18,3^{\circ}\text{C}$ ), največja sezonska sprememba temperature pa le  $6,5^{\circ}\text{C}$  (največja sezonska sprememba temperatura okolice je znašala kar  $41,1^{\circ}\text{C}$ ). Na osnovi rezultatov oziroma ugotovitev predstavljenih v tem prispevku lahko trdimo, da je s stališča termične stabilnosti Slovenska mreža potresnih opazovalnic primerna za uporabo najboljših seizmometrov (STS2, CMG-3T, ...). Kljub temu pa bomo v prihodnosti postavili merilnik na potresno opazovalnico z globljim seizmičnim jaškom.

## Literatura

Winfried, H. Which Parameters influence the Very Long Period Performance of a Seismological Station. Dostopno na <http://www.gfz-potsdam.de/geofon/manual/>

Portable very-broad-band tri-axial seismometer. STS-2 Manual.

# DRŽAVNA MREŽA POTRESNIH OPAZOVALNIC SEISMIC NETWORK OF SLOVENIA

**Renato Vidrih, Matjaž Godec, Andrej Gosar, Peter Sinčič, Izidor Tasič, Mladen Živčić**

***Povzetek.** Po potresu v zgornjem Posočju leta 1998 se je zanimanje za seizmologijo povečalo, pokazale pa so se tudi pomanjkljivosti slovenske seizmološke službe. Zaradi zastarele in nezadostne seizmološke opreme in premajhnega števila opazovalnic je bilo obveščanje o potresih nezadostno, tako da je Vlada Republike Slovenije sprejela sklep o posodobitvi mreže potresnih opazovalnic. Potreba po zaznavanju in lociranju tudi šibkih potresov, ki sicer ne povzročajo škode, vendar veliko povedo o seizmičnih značilnostih posameznih območij, kar pomeni natančnejše poznavanje potresne dejavnosti in nevarnosti v Sloveniji, je narekovala začetek gradnje 25 potresnih opazovalnic in središča za obdelavo podatkov. Na opazovalnicah Državne mreže potresnih opazovalnic so nameščeni občutljivi seizmografi, ki stalno beležijo nihanje tal. Sodobne merilne seizmološke naprave so zmožne zaznati nihanja, ki so več kot milijon krat šibkejša od tistih, ki jih lahko zazna človeško telo. Da lahko primerjamo zapise nihanj tal, morajo biti seizmografi opremljeni z natančno uro. Gibanje tal je zabeleženo kot funkcija časa. Avtomatska analiza potresa je na spletnih straneh prebivalcem in strokovnim službam na voljo le nekaj minut po dogodku.*

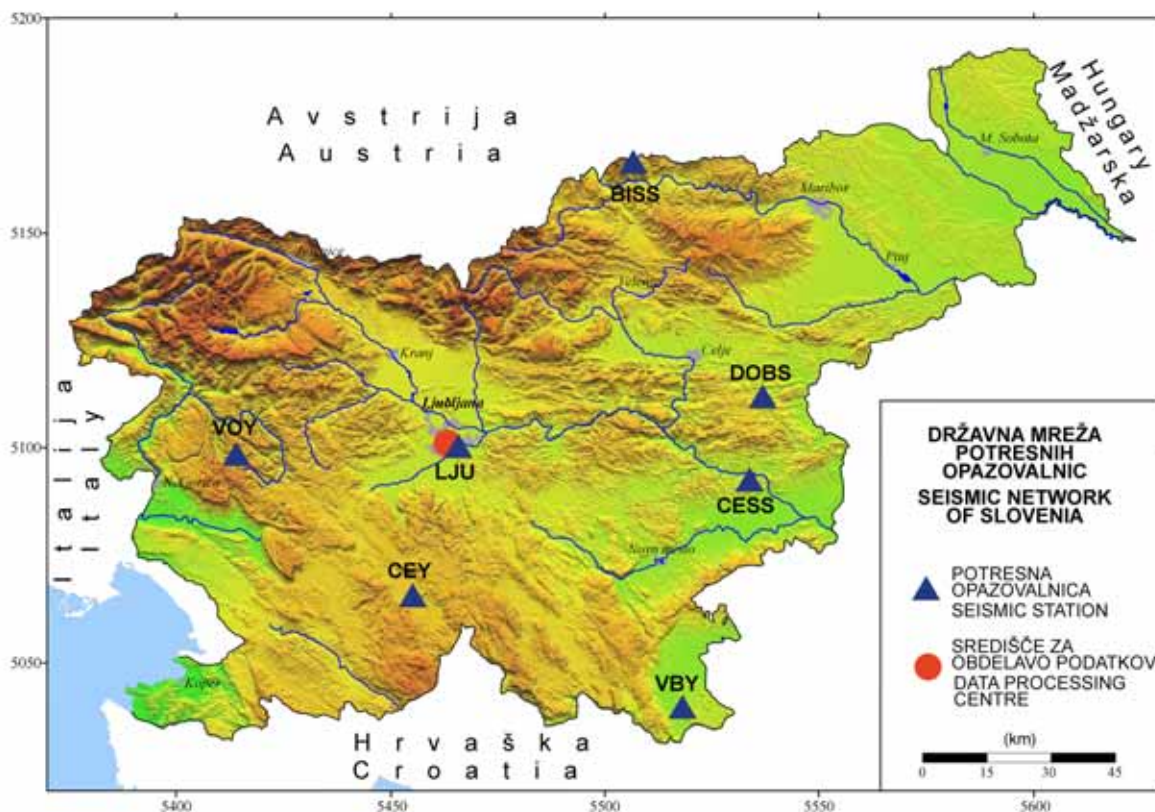
***Abstract.** After the earthquake in the Upper Soča Valley in 1998, interest in seismology increased, and the Slovenian government consequently adopted a decision on modernization of the network of seismic stations. Because of obsolete and insufficient seismologic equipment and too small number of seismic stations was the notifying concerning earthquakes insufficient. The Government of the Republic of Slovenia adopted resolution of modernization of the seismic network. The need to detect and locate even weak earthquakes, which do not cause damage but reveal much about the seismic characteristics of certain areas, and thus provide more thorough knowledge of seismic activity and danger in Slovenia, resulted in the setting up of 25 seismic stations. Seismic stations in the national seismic network have very sensitive equipment, which continuously record ground motion. Modern seismological measuring devices are capable of detecting vibrations that are million times weaker than those that can be detected by a human body. Seismographs have a precise clock, so that the recorded ground motion is a function of time. The automatic analysis of the earthquake is displayed on web pages a few minutes after the event.*

## **Uvod**

Po potresu v zgornjem Posočju leta 1998 se je zanimanje za seizmologijo povečalo, tako je tudi vlada sprejela sklep o posodobitvi mreže potresnih opazovalnic. Potreba po zaznavanju in lociranju tudi šibkih potresov, ki sicer ne povzročajo škode, vendar veliko povedo o seizmičnih značilnostih posameznih območij, kar pomeni natančnejše poznavanje potresne dejavnosti in nevarnosti v Sloveniji, je narekovala začetek gradnje 25 potresnih opazovalnic. Obstoječe omrežje je do maja leta 2002 sestavljalo sedem opazovalnic, od tega šest opremljenih z digitalnimi seizmografi, komunikacijsko povezanimi med seboj z najetimi linijami prek komunikacijske hrbtenice državnega računalniškega omrežja (HKOM), z avtomatskim prenosom podatkov in nadzorom delovanja ter konfiguriranjem instrumentov iz osrednjega računalnika na observatoriju na Golovcu v Ljubljani. Sedma opazovalnica je bila opremljena z analognim seizmografom z zapisom s črnilom na papir, seizmogrami pa so se pošiljali v centralo v Ljubljani po pošti (slika 1). V prvih dveh letih po sprejetju sklepa



vlade o posodobitvi mreže so bili kupljeni instrumenti, po pridobitvi potrebne dokumentacije pa se je začela gradnja potresnih opazovalnic (Sinčič, Vidrih, 2000, 2005, 2006).



**Slika 1.** Do začetka izgradnje nove državne mreže je v Sloveniji delovalo sedem potresnih opazovalnic (6 digitalnih in 1 analogna): LJU-Observatorij na Golovcu, CEY-Goričice pri Lipsnju ob Cerkniškem jezeru, VOY-Vojsko nad Idrijo, VBY-Bojanci v Beli krajini, BISS- Branik nad Muto v Bistriškem jarku, CESS-Cesta pri Krškem in DOBS-Dobrina na Kozjanskem.

**Figure 1.** Seven seismic stations (6 digital and 1 analogue) operated in Slovenia until the beginning of the construction of the new national seismic station network. LJU-Observatory on Golovec, CEY-Goričice at Lipsnje near Cerkniško jezero, VOY-Vojsko above Idrija, VBY-Bojanci in Bela krajina, BISS- Branik above Muta in Bistriški jarek, CESS-Cesta near Krško, and DOBS-Dobrina at Kozjansko.

V devetdesetih letih prejšnjega stoletja se je v Sloveniji začela gradnja samostojnih avtomatskih potresnih opazovalnic (Sinčič, Vidrih, 1993). Zaradi takratnih tehničnih zmožnosti je bila edina možna rešitev za povezavo med potresnimi opazovalnicami in središčem za obdelavo podatkov (SOP) klicna telefonska linija. Potresno opazovalnico je sestavljala širokopasovni seizmometer Güralp CMG-40T, 16-bitni A/D-pretvornik z dvostopenjskim predojačevalnikom z resolucijo 130 dB (pozneje 24-bitni) s frekvenco vzorčenja 200 vzorcev na sekundo hkrati na vseh treh kanalih, za manipulacijo podatkov pa je skrbel osebni računalnik IBM z Intel procesorjem 486 z operacijskim sistemom OS/2, posebno programsko opremo in vgrajenim GPS-sprejemnikom. OS/2 je bil prvi večopravilni sistem za namizne računalnike. Omogočal je zajemanje podatkov v stvarnem času, neprekinjeno shranjevanje teh podatkov za vsaj štiri dni na lokalnem disku in obdelavo podatkov ter vzpostavljajanje povezave s klicno telefonsko linijo.

## **Merila za izbor lokacij potresnih opazovalnic**

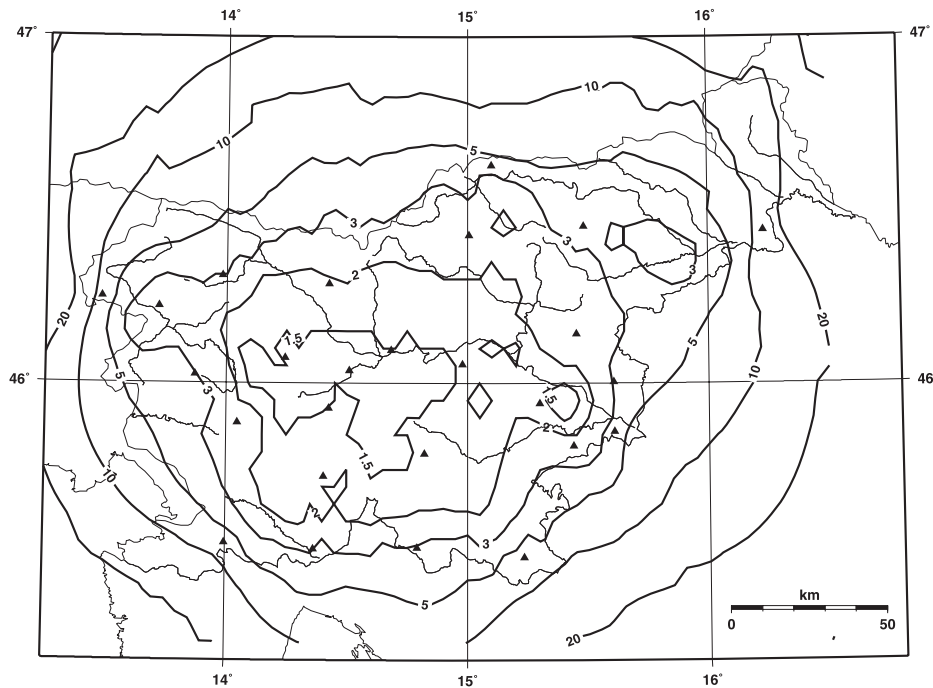
Postavitev sodobne mreže potresnih opazovalnic je zahteven interdisciplinaren projekt, ki zahteva izpolnitev pogosto nasprotujočih si zahtev glede seizmogeološke ustreznosti lokacije in možnosti gradbene izvedbe, zagotovitve vira energije in povezave s središčem za zbiranje ter vrednotenje podatkov. Da ima mreža opazovalnic po postavitvi željene lastnosti, je pogosto treba optimizirati kompromisne rešitve glede na naravne in druge danosti (Lapajne in sod., 1998; Sinčič, Vidrih, 1995; Ravnik in sod., 2001; Vidrih in sod., 2003). Merila za izbor lokacije potresne opazovalnice vključujejo splošne pogoje (geometrija mreže), naravne danosti (seizmogeološke lastnosti, seizmični nemir, relief, klimatske razmere) in izvedbene pogoje (možnost odkupa ali uporabe zemljišča, zagotovitev vira energije in komunikacij za prenos podatkov, izvedljivost gradbenih del, dostopnost in zaščita pred vandalizmom). Večino naštetih meril obravnavajo Trnkoczy in Živčič (1992), Bormann in Trnkoczy (1998) ter Bormann in sod. (1998). Izbor lokacij potresnih opazovalnic vključuje analizo že obstoječih podatkov (karte, literatura) in terenske raziskave. Na izbiro vplivajo geološka zgradba tal v širši okolici bodoče opazovalnice, oddaljenost lokacije od večjih urbaniziranih okolij, predvsem večjih naselij, prometnejših cest in železnic ter drugih možnih virov nemira. Raziskave za izbor lokacij potresnih opazovalnic za novo državno mrežo so z vidika naravnih danosti obsegale geološke, geofizikalne in seizmološke analize. Cilj raziskav je bil izbrati nove lokacije, ki skupaj s sedmimi starimi lokacijami, na katerih so bili že prej postavljeni seizmografi, tvorijo novo državno mrežo. V nadaljevanju so predstavljene raziskave, opravljene za izbor lokacij potresnih opazovalnic s stališča naravnih danosti, in sicer geološki in geofizikalni pogoji, omenili pa bomo tudi vsa druga pomembna merila, ki so vplivala na izbor lokacij (slike 2 do 5).

Najprej bomo na kratko predstavili splošne in izvedbene pogoje, ki najpogosteje zmanjšujejo možnosti, ki jih dajejo naravne danosti. Nekatera od teh meril so namreč izločilna, kar pomeni, da jih tudi vse druge prednosti lokacije ne morejo preseči (npr. ni možnosti odkupa ali uporabe zemljišča). Pri neizločilnih dejavnikih skušamo kvantitativno oceniti njihov delež v skupni oceni.

## **Splošni in izvedbeni pogoji**

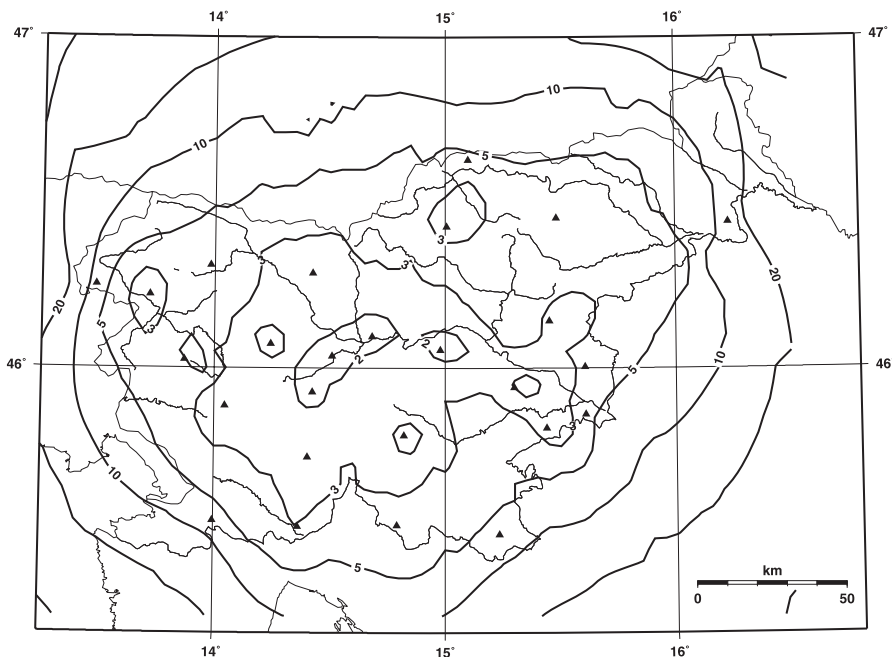
### **Geometrija mreže**

Glede na seizmičnost Slovenije je bilo smiselno dokaj enakomerno pokriti ozemlje celotne države razen severovzhodnega dela (Dravsko polje, Haloze, Slovenske gorice in Prekmurje), kjer je potresov manj, obenem pa imajo tam kamnine, ki so na površju, tudi slabše seizmogeološke lastnosti. S 25-timi opazovalnicami bi pri enakomerni gostoti dosegli medsebojno oddaljenost okoli 30 km v večjem delu Slovenije in okoli 50 km v njenem severovzhodnem delu. Večja gostota opazovalnic je okoli Ljubljane, ki je območje povečane potresne nevarnosti in obenem najgosteje naseljeno območje Slovenije, ter okoli Krškega zaradi potrebe po natančnejšem opazovanju seizmičnosti v bližini jedrske elektrarne (slika 6).



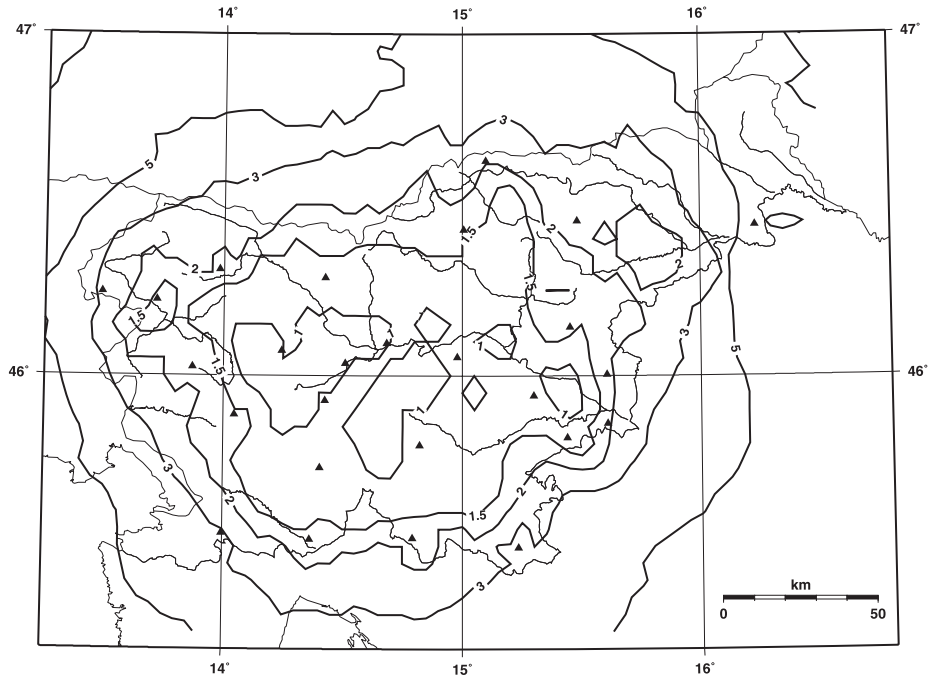
**Slika 2.** Pričakovana nedoločenost lokacije nadžarišča (v kilometrih) za potrese magnitude  $M_{LV}=1,5$ , opredeljena iz avtomatično odčitanih vstopnih časov longitudinalnih valov za načrtovano državno mrežo potresnih opazovalnic. Trikotniki označujejo lokacije bodočih opazovalnic.

**Figure 2.** Predicted uncertainties of epicentre determination (in kilometres) for earthquakes of  $M_{LV}=1.5$  magnitude, determined from automatically selected arrival times of longitudinal waves, for the planned national network of seismic stations. Triangles mark the locations of future seismic stations.



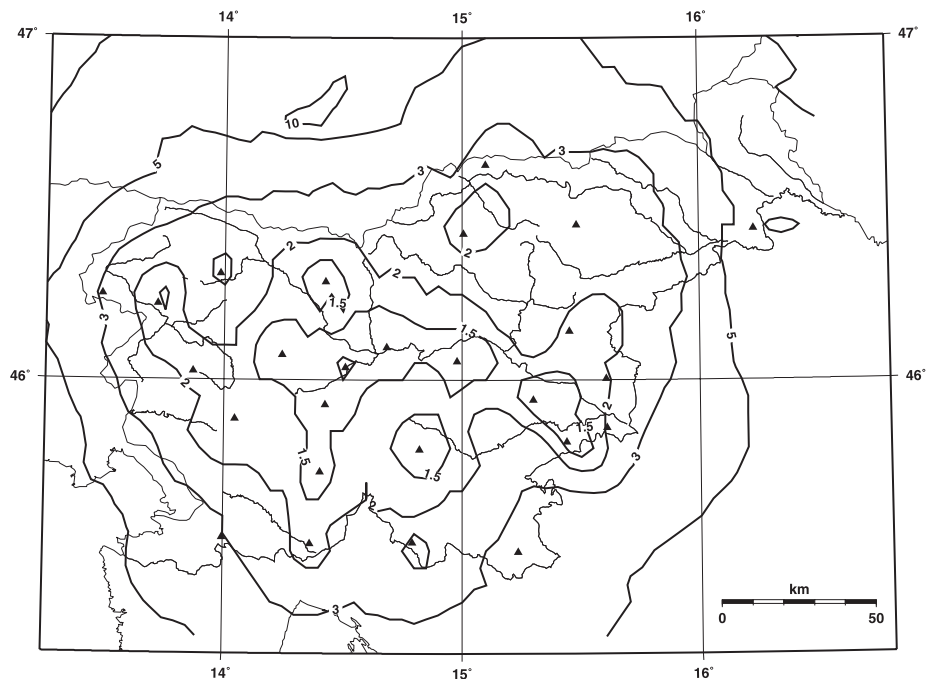
**Slika 3.** Pričakovana nedoločenost lokacije žarišča (v kilometrih) za potrese magnitude  $M_{LV}=1,5$ , opredeljena iz avtomatično odčitanih vstopnih časov longitudinalnih valov za načrtovano državno mrežo potresnih opazovalnic. Trikotniki označujejo lokacije bodočih opazovalnic.

**Figure 3.** Predicted uncertainties about hypocenter determination (in kilometres) for earthquakes of magnitude  $M_{LV}=1.5$ , determined from automatically picked arrival times of longitudinal waves, for the planned national network of seismic stations. Triangles mark the locations of planned seismic stations.



**Slika 4.** Pričakovana nedoločenost lokacije nadžarišča (v kilometrih) za potrese magnitude  $M_{LV}=1,5$ , opredeljena iz vstopnih časov longitudinalnih in transverzalnih valov za načrtovano državno mrežo potresnih opazovalnic. Trikotniki označujejo lokacije bodočih opazovalnic.

**Figure 4.** Predicted uncertainties of epicentre determination (in kilometres) for earthquakes of  $M_{LV}=1.5$  magnitude, determined from arrival times of longitudinal and transversal waves, for the planned national network of seismic stations. Triangles mark the locations of existing seismic stations.



**Slika 5.** Pričakovana nedoločenost lokacije žarišča (v kilometrih) za potrese magnitude  $M_{LV}=1,5$ , opredeljena iz vstopnih časov longitudinalnih in transverzalnih valov za načrtovano državno mrežo potresnih opazovalnic. Trikotniki označujejo lokacije bodočih opazovalnic.

**Figure 5.** Predicted uncertainties about epicentre determination (in kilometres) for earthquakes of  $M_{LV}=1.5$  magnitude, determined from arrival times of longitudinal and transversal waves, for the planned national network of seismic stations. Triangles mark the locations of planned seismic stations.

Potresna opazovalnica Seismic station	Oznaka Code	Zem. dolžina Longitude	Zem. širina Latitude	Nadmorska višina (m) Altitude (m)
Cerknica	CEY	14,42214	45,73814	579
Čadrg	CADS	13,73685	46,22804	700
Črešnjevce	CRES	15,45690	45,82597	431
Črni Vrh	CRNS	14,26135	46,08060	689
Dobrina	DOBS	15,46943	46,14942	427
Goliše	GOLS	15,62451	46,01074	559
Gorenja Brezovica	GBAS	14,44229	45,93473	538
Gorjuše	GORS	13,99991	46,31741	1048
Gornja Briga	GBRS	14,81007	45,53110	610
Gornji Cirknik	GCIS	15,62750	45,86720	320
Grobnik	GROS	15,50177	46,46100	930
Javornik	JAVS	14,06433	45,89342	1100
Knežji dol	KNDS	14,38056	45,52791	1024
Kog	KOGS	16,25028	46,44816	240
Legarje	LEGS	15,31771	45,94880	390
Ljubljana	LJU	14,52776	46,04381	396
Možjanca	MOZS	14,44334	46,29410	660
Pernice	PERS	15,11666	46,63595	795
Podkum	PKDS	14,99777	46,06120	679
Robič	ROBS	13,50944	46,24448	265
Skadanščina	SKDS	14,01317	45,54647	558
Vinica-Bojanci	BOJS	15,25178	45,50435	252
Višnje	VISS	14,83929	45,80329	403
Vojsko	VOJS	13,88774	46,03217	1073
Vrh pri Dolskem	VNDS	14,70143	46,10169	531
Zavodnje	ZAVS	15,02421	46,43393	750

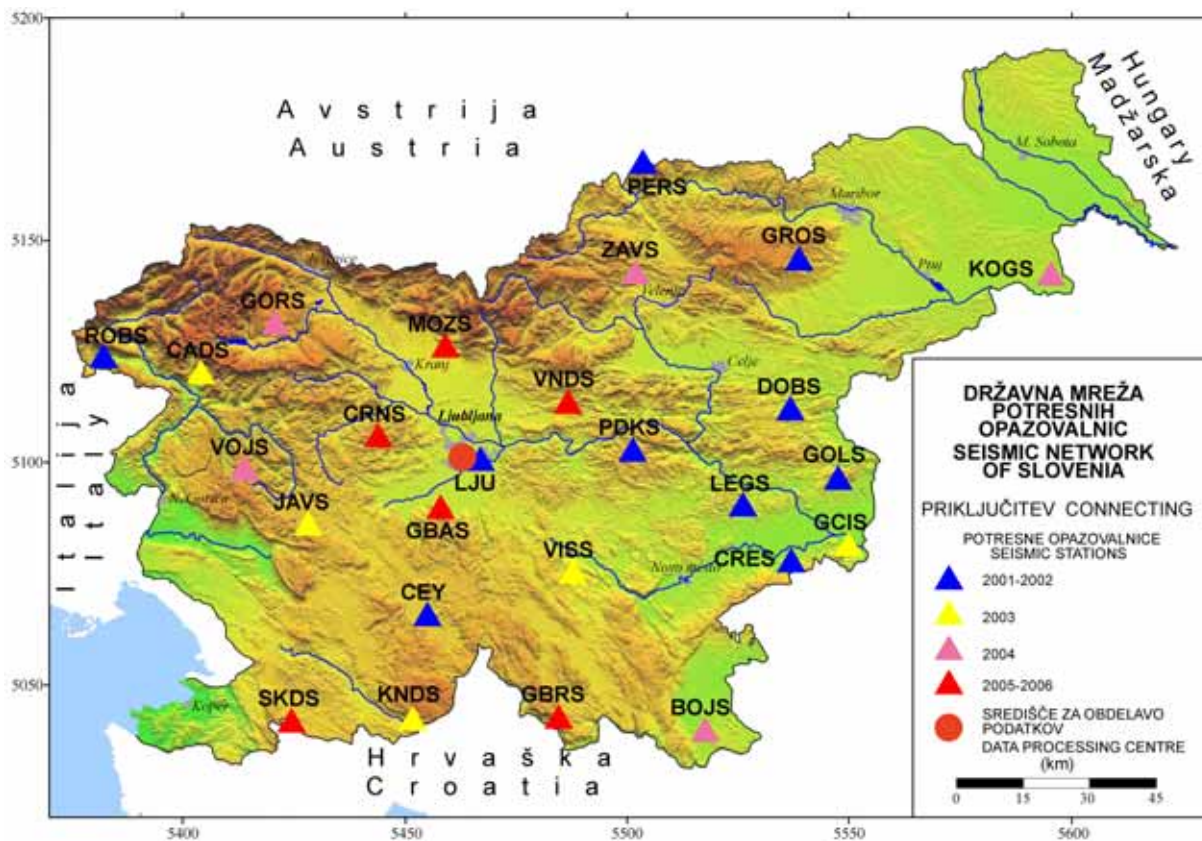
**Preglednica 1.** Zemljepisne koordinate in nadmorska višina opazovalnic državne mreže.

**Table 1.** Geographical coordinates and altitude of the stations of the seismic network.

### Možnost odkupa ali uporabe zemljišča

Možnost odkupa ali uporabe zemljišča je izločilno merilo, za katero se je med izborom lokacij izkazalo, da je pogosteje odločilno, kot smo pričakovali. Čas, ki smo ga imeli na voljo, je bil večinoma prekratek za izpeljavo postopka umestitve potresnih opazovalnic v prostorske načrte občin, ki so podlaga za spremembo namembnosti zemljišča. Kljub temu, da smo se izogibali boljšim kmetijskim zemljiščem, se je namreč izkazalo, da je v zemljiški knjigi pogosto še danes sicer že zaraščena gmajna zavedena kot zemljišče prve kategorije. Postopek spremembe namembnosti pa je v takem primeru večinoma predolg. Drug velik problem je pogosta razdrobljenost lastništva, ker je z večjim številom lastnikov praviloma težje doseči dogovor o odkupu.





*Slika 6. Razpored državne mreže potresnih opazovalnic.*

*Figure 6. Seismic network of Slovenia.*

### Zagotovitev energetskega vira in komunikacij

Tehnične lastnosti seizmološke opreme, ki je nameščena na opazovalnicah, zahtevajo omrežno napetost 220 V in večinoma tudi telefonski priključek. Ta dva pogoja sta omejila izbor na relativno kratko oddaljenost od obstoječih vodov (največ 2 km, v večini primerov pa nekaj sto metrov). V okviru projekta so bile sicer proučene različne možnosti prenosa podatkov med opazovalnicami in središčem za obdelavo podatkov v Ljubljani. Tehnološke rešitve za prenos podatkov, ki se zvezno zajemajo na treh ali šestih kanalih z zajemanjem do 200 vzorcev na sekundo so: internin sod.i drugo računalniško omrežje (intranet), zakupljen telefonski vod, mobilna telefonija GSM, radijski ali satelitski prenos (Bormann in sod., 1998). Glede na to, da satelitski prenos v času gradnje v Sloveniji še ni bil dovolj uveljavljen, je bila ta možnost v začetku testno uporabljena le pri eni opazovalnici (CRNS), radijski prenos pa je bil zaradi težav pri pridobitvi frekvenc ocenjen za manj primerne. Glede na izkušnje pri prejšnji mreži opazovalnic je bila kot najbolj primerna izbrana kombinacija zakupljenega telefonskega voda med lokacijo opazovalnice in najbližjim vozliščem državnega računalniškega omrežja, ki bi nato podatke posredovalo središču za obdelavo podatkov. V primerih, ko na lokaciji ni mogoče zagotoviti telefonskega priključka ob sprejemljivih stroških, smo uporabili paketni prenos podatkov po GSM-omrežju mobilne telefonije, ki smo ga kasneje zamenjali s satelitskim prenosom.

### **Dostopnost lokacije in izvedljivost gradbenih del**

Med gradnjo potresne opazovalnice je bil potreben dostop lahke gradbene mehanizacije na lokacijo. Tak dostop pozneje za vzdrževalna dela ni več nujen. Lokacija, za katero iz kakršnih koli razlogov ni mogoče urediti projektno-gradbene dokumentacije v primernem času, je neustrezna. Pri načrtovanju je treba imeti v mislih tudi zaščito pred vandalizmom, kljub temu da je jašek s seizmološko opremo v ograjenem prostoru, velikem 15 x 15 m z dvometrsko ograjo. Zato je zaželeno, da je opazovalnica v bližini naseljenih hiš, kjer ljudje predstavljajo dodatno varovanje in lahko po potrebi opozorijo upravljavca. Po drugi strani pa njihove vsakodnevne dejavnosti ne smejo povzročati preveč seizmičnega nemira.

### **Izbor lokacij na podlagi naravnih danosti**

Naravni pogoji, ki jih je treba upoštevati pri izboru lokacije, so seizmogeološke lastnosti, relief, klimatski pogoji in seizmični nemir. Prvi del v postopku izbora je obsegal analizo različnih kart in podatkov iz literature, drugi del pa terenske raziskave na lokacijah.

### **Analiza seizmogeoloških lastnosti**

Zaželeno je, da potresna opazovalnica stoji na čim trši kamnini, ki ima ugodne geotehnične lastnosti in visoko seizmično impedanco (produkt seizmične hitrosti in gostote kamnine). Seizmometer mora biti v stiku z nepreperelo kamnino, zato se postavlja v nekaj metrov globok jašek ali, če je debelina preperine prevelika, v vrtino.

Analiza seizmogeoloških pogojev je obsegala analizo osnovnih in tematskih geoloških kart (Buser, Draksler, 1990; Gosar in sod., 2000). Kamnine smo glede na njihove seizmogeološke lastnosti razvrstili v štiri razrede (preglednica 2), in sicer ugodna tla, srednje ugodna tla, manj ugodna tla in slaba tla. V ožji izbor so prišle le lokacije, ki so ležale na ugodnih in srednje ugodnih tleh (magnetske in metamorfne kamnine, apnenci, dolomiti in konsolidirane klastične kamnine – peščenjak, skrilavec). Le izjemoma smo izbirali tudi manj ugodne kamnine, npr. v SV Sloveniji, kjer geološka zgradba ne omogoča izbora ustrežnejših kamnin. Upoštevali smo tudi oddaljenost od močnejših prelomov in bližino litoloških stikov. Debelino preperine smo preliminarno ocenili z upoštevanjem geološkega opisa kamnine in pregledne pedološke karte Slovenije. Za kakovostno seizmično opazovanje so zaželenne večje (manj tektonizirane) in enostavnejše avtohtone geološke enote, vendar tega nismo mogli povsod upoštevati zaradi ohranjanja približno enakomerne gostote opazovalnic.

Kamnine smo razdelili v štiri razrede. Med ugodna tla sodijo predvsem mezozojski masivni in skladoviti apnenci in dolomiti ter diabaz in keratofir. V srednje ugodna tla smo uvrstili ploščate in lapornate apnence, grödenski peščenjak in kredni lapor. V razred manj ugodnih tal pa smo uvrstili skrilave glinovce, breče in fliš. Med slaba tla sodijo aluvijalni in deluvijalni nanosi, pobočni grušč ter rečni sedimenti v terasah.

Kabinetnim analizam je sledil geološki ogled terena, pri katerem smo poleg geoloških podatkov zbrali še številne druge, kot so raba tal, lastništvo, možni viri seizmičnega nemira, možnost zagotovitve komunikacij. Z geološkim ogledom smo tudi natančneje ocenili

debelino preperine in se odločili, ali so potrebne seizmične refrakcijske meritve. Izogibali smo se boljšim kmetijskim zemljiščem in gozdu, ker z vetrom povzročeno nihanje dreves, ki se prek korenin prenaša v tla, predstavlja močan vir seizmičnega nemira.

Večina lokacij (20) leži na mezozojskih karbonatnih kamninah (apnenci in dolomiti), kjer je debelina preperine razmeroma majhna (preglednica 2). Seizmogeološki pogoji so na teh lokacijah praviloma ugodni. Dve opazovalnici (LJU, VNDS) sta na karbonskih peščenjakih, ki so tudi seizmogeološko ugodni. Tri opazovalnice so na magmatskih (granodiorit – ZALS, tonalit – GROS) in metamorfnih kamninah (filiti – PERS), kjer je debelina preperine praviloma večja. Seizmogeološki pogoji so na takih kamninah lahko zelo ugodni, če preperela plast ni predebela. Ena opazovalnica je na miocenskem laporju (KOGS), taka podlaga pa je seizmogeološko srednje do manj ugodna.

### **Geofizikalne raziskave z metodo refrakcijske seizmike**

Z refrakcijsko seizmično metodo smo preiskali sedem lokacij (preglednica 2), kjer so geološki podatki in terenski ogled kazali na debelejšo preperino in slabše seizmogeološke lastnosti kamnine. Na vsaki lokaciji smo izmerili dva profila, dolga okoli 100 m v pravokotnih smereh, in sicer ločeno z longitudinalnimi (P) in transverzalnimi (S) valovi. Cilj teh raziskav je bil natančna določitev debeline preperine in hitrosti seizmičnih valov v osnovni kamnini. Iz tega lahko sklepamo na kakovost osnovne kamnine in načrtujemo globino izkopa. Če je bila preperina debela več kakor 5 metrov, smo se odločili za postavitvev senzorjev v vrtino ali za novo lokacijo. Vrtine so bile uporabljene pri opazovalnicah Goliše, Podkum, Legarje, Zavodnje in Vrh pri Dolskem. Hitrost longitudinalnih valov v podlagi preperene plasti je povsod nad 2000 m/s, v karbonatnih kamninah okoli 3000 m/s, v tonalitu na Pohorju pa celo prek 4000 m/s. Hitrost transverzalnih valov je v karbonatnih kamninah med 1600 in 1900 m/s, v tonalitu nad 2000 m/s in v laporju okoli 1200 m/s. Presenetljivo nizka je hitrost v Zavodnjah (ZAVS), kjer je v podlagi granodiorit, vendar očitno zelo preperel ali tektonsko porušen. Zaradi slabih rezultatov smo zato izbrali novo ugodnejšo lokacijo.

### **Analiza reliefa**

Zelo razgibana topografija površja razprši potresne valove kratkih valovnih dolžin, zato se takim območjem pri izboru lokacij izogibamo. Izogibamo se tudi strmim pobočjem in grebenom, ki so bolj izpostavljeni strelam. V ozkih dolinah je lahko otežen sprejem signala točnega časa, ki ga oddaja globalni satelitski sistem pozicioniranja (GPS). Kakovost satelitskega signala smo zato preverjali z GPS-meritvami na posameznih lokacijah. Relief je seveda zelo pomemben tudi pri radijskem prenosu podatkov, čeprav pri slovenskih opazovalnicah zaenkrat ni predviden.

### **Klimatski pogoji**

Pri pravilni izvedbi potresne opazovalnice klimatski pogoji ne vplivajo na kakovost opazovanja.



Potresna opazovalnica Seismic Station		Geološki podatki Geological data		Podatki refrakcijske seizmike Seismic refraction data			Ocena seizmogeol. pogojev Estimated seismogeological conditions
		Litologija Lithology	Geol. starost Geological time	Deb. preperine Soil depth	Seizmična hitrost v podlagi Velocity of seismic waves in bedrock		
				(m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	
BOJS	Bojanci	apnenec	$K_1^{1+2}$				ugodni
CEY	Cerknica	apnenec	$J_{1,2}$				ugodni
CADS	Čadrg	apnenec	$K_2^3$				srednje ugodni
CRES	Črešnjevec	dolomit	$T_{2+3}$				ugodni
CRNS	Črni vrh	apnenec	$T_1$				ugodni
DOBS	Dobrina	apnenec, dolomit	$T_2^2$	3,9+/-1,2	2280+/-85	800+/-100	srednje ugodni
GOLS	Goliše	dolomit	$T_3^{2+3}$	9,5+/-2,3	2010+/-150	890+/-40	ugodni
GBAS	G. Brezovica	dolomit	$T_3^{2+3}$				ugodni
GBRS	G. Briga	dolomit	$T_3^{2+3}$				ugodni
GCIS	G. Cirknik	dolomit	$T_3$				ugodni
GORS	Gorjuše	apnenec	$J_{1,2}$	3,3+/- 0,8	2680+/- 350	1670+/- 200	ugodni
GROS	Grobnik	tonalit					srednje ugodni
JAVS	Javornik	dolomit	$T_3^{2+3}$				ugodni
KNDS	Knežji dol	apnenec	$J_3^{2,3}$				ugodni
KOGS	Kog	lapor, litotam. apnenec	$M_2^2$	2,6+/- 0,9	2120+/- 80	1240+/- 95	manj ugodni
LEGS	Legarje	dolomit	$T_2^1$	14,9+/-2,1	2050+/-315	1140+/-160	manj ugodni
LJU	Ljubljana	peščenjak	C, P				ugodni
MOZS	Možjanca	apnenec	$K_2^{2,3}$				ugodni
PERS	Pernice	filiti					srednje ugodni
PKKS	Podkum	dolomit	$T_3^{2+3}$	8,8+/- 1,4 ali	2850+/-80	1840+/- 50	ugodni
ROBS	Robič	apnenec	$T_3^{2+3}$				ugodni
SKDS	Skadanščina	apnenec	$^1K_2^{1,2}$				ugodni
VISS	Višnje	apnenec	$K_{1,2}$				ugodni
VNDS	Vrh nad Dolskim	peščenjak	C, P				ugodni
VOJS	Vojsko	dolomit	$T_2^1$				ugodni
ZAVS	Zavodnje	granodiorit		10,5+/- 2,8	2030+/- 345	940+/- 110	ugodni

**Preglednica 2.** Geološke, geofizikalne in seizmogeološke značilnosti lokacij opazovalnic.**Table 2.** Geological, geophysical and seismogeological characteristics of location of seismic stations

Ker pa so širokopasovni senzori zelo občutljivi za spremembe temperature in pritiska, je nujno treba zagotoviti ustrezno mikrookolje za njihovo delovanje. Podatki o maksimalnih padavinah so pomembni za dimenzioniranje drenaže, podatki o atmosferskih razelektritvah pa za načrtovanje protistrelne zaščite instrumentov. Prav poškodbe zaradi strele so zaradi občutljivosti elektronskih naprav eden najpogostejših vzrokov okvar potresnih opazovalnic. Vremenske razmere lahko vnašajo v seizmične zapise tudi motnje, in sicer zelo močni nalivi, predvsem pa veter. Z uporabo klimatskih podatkov ocenjujemo dostopnost opazovalnice, ker je ta v območjih z visoko snežno odejo lahko v zimskih mesecih otežena ali celo onemogočena. Osončenost lokacije, ki je odvisna od klimatskih pogojev in reliefa, je pomembna pri napajanju s sončnimi celicami, za kar pa se nismo odločili zaradi slabih testnih rezultatov.

Z analizo obstoječih javno dostopnih klimatoloških podatkov smo ocenili klimatske pogoje na izbranih lokacijah (Lesar, 1999). Analizirali smo povprečne in ekstremne temperaturne vrednosti, podatke o padavinah, vetrovnosti in osončenosti lokacij ter podatke o številu atmosferskih razelektritev.

### **Analiza seizmičnega nemira**

Seizmični nemir na lokaciji, ki je lahko naravnega ali umetnega izvora, je eno glavnih meril za oceno njene ustreznosti, ker poleg lastnosti nameščene seizmološke opreme (instrumentalni šum) pogojuje občutljivost potresne opazovalnice. Pri širokopasovnih opazovalnicah je signal v frekvenčnem območju med 0,01 in 50 Hz. Nemir v frekvenčnem območju med 0,1 in 1 Hz je povezan predvsem z vremenskimi pojavi in se spreminja s prehodom vremenskih front, visokofrekvenčni nemir nad 1 Hz pa je večinoma umetnega izvora (Jesenko in Živčič, 2001).

Nivo seizmičnega šuma ugotavljamo z meritvami, ki pa navadno ne trajajo dovolj dolgo, da bi zajeli vse možne vire. Zato upoštevamo tudi vse druge znane in dalj časa trajajoče vire motenj, kot so vodotoki, slapovi, industrijski stroji (žage, bati, črpalke) in promet. Kratkotrajni viri motenj, npr. razstreljevanja v kamnolomih ali redkejši promet, so manj pomembni, ker lahko njihov vpliv zmanjšamo z ustrezno obdelavo podatkov. Poleg oddaljenosti vira nemira je pomembna tudi geološka podlaga, na kateri se vir nahaja, ta pa opredeljuje, kako se bo nemir z razdaljo dušil.

Vire nemira smo ocenjevali z uporabo topografskih kart, statističnih podatkov o prometni obremenitvi in drugih virov iz področne literature. Podatke o načrtovanih virih seizmičnega nemira smo dobili iz prostorskih načrtov na upravnih enotah. Najpomembnejše pa so bile meritve nemira, ki smo jih izvedli na 43 lokacijah, a jih v tem članku podrobneje ne obravnavamo. Nivo nemira na raziskanih lokacijah je imel precejšen razpon, posebno pri višjih frekvencah. V splošnem smo najmanjši nivo nemira izmerili na lokacijah v južni Sloveniji, ki ležijo na krednih ali jurskih apnencih (Gosar in sod., 2000, 2001).

## Gradbena in električna dela

Za gradnjo potresnih opazovalnic smo najprej opravili predhodna dela (izdelava tipskega projekta, ugotavljanje informacij o premoženjsko-pravnih zadevah,...). Pri tem je bilo ob pripravi projekta leta 2000 ugotovljeno:

- 1 predvideni objekti štejejo za infrastrukturne objekte oziroma javno infrastrukturo državnega pomena oz. posebnega pomena za izvajanje obveznih republiških javnih služb za obrambo in zaščito (določbe 93. člena Zakona o varstvu okolja (ZVO) in 45. člena Zakona o urejanju naselij (ZUN),
- 2 glede na Zakon o graditvi objektov (ZGO) je bilo možno tovrstne objekte (v obsegu, predvidenem s tipskim projektom) graditi le na podlagi lokacijskega in gradbenega dovoljenja oz. enotnega gradbenega dovoljenja – postopek pri pristojni upravni enoti,
- 3 lokacije predvidenih potresnih opazovalnic so na območjih, ki so po planskih dokumentih občin kategorizirana kot nezazidljiva kmetijska zemljišča, kar pomeni, da je bilo za pridobitev lokacijske in gradbene dokumentacije potrebno predvsem:
  - 3.1 izvesti parcelacijo (največja potrebna površina za postavitve opazovalnice je od 200 do 250 m<sup>2</sup>, parcele pa so večinoma precej večje) po odobritvi pristojne upravne enote;
  - 3.2 pridobiti lastninsko pravico na zemljišču (po 8., 19. in 20. členu Zakona o kmetijskih zemljiščih (ZKZ) le z odobritvijo oz. pisnim soglasjem upravne enote) in
  - 3.3 izvesti spremembo namembnosti (za tovrstne objekte po 8. členu ZKZ).

## Kratek opis potresne opazovalnice

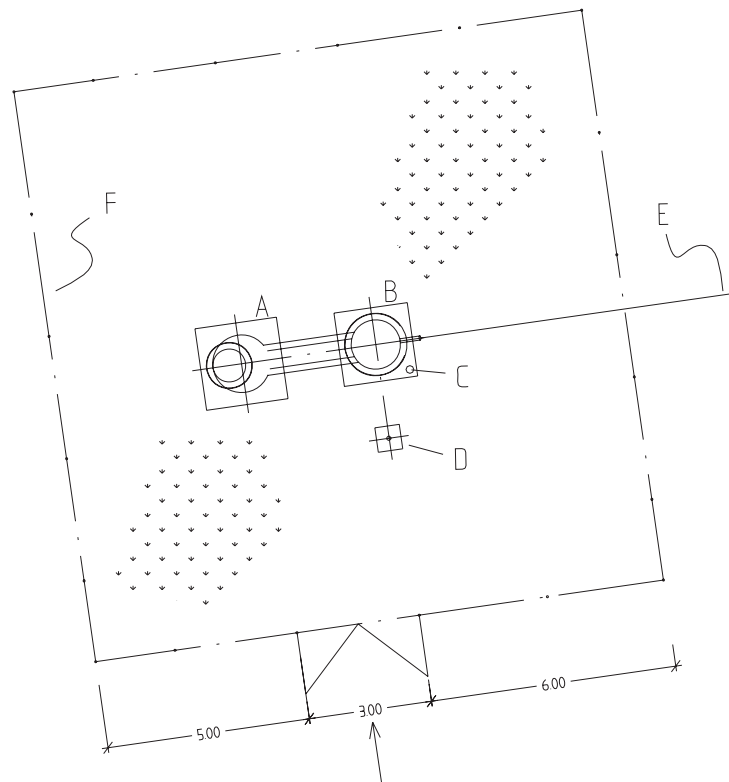
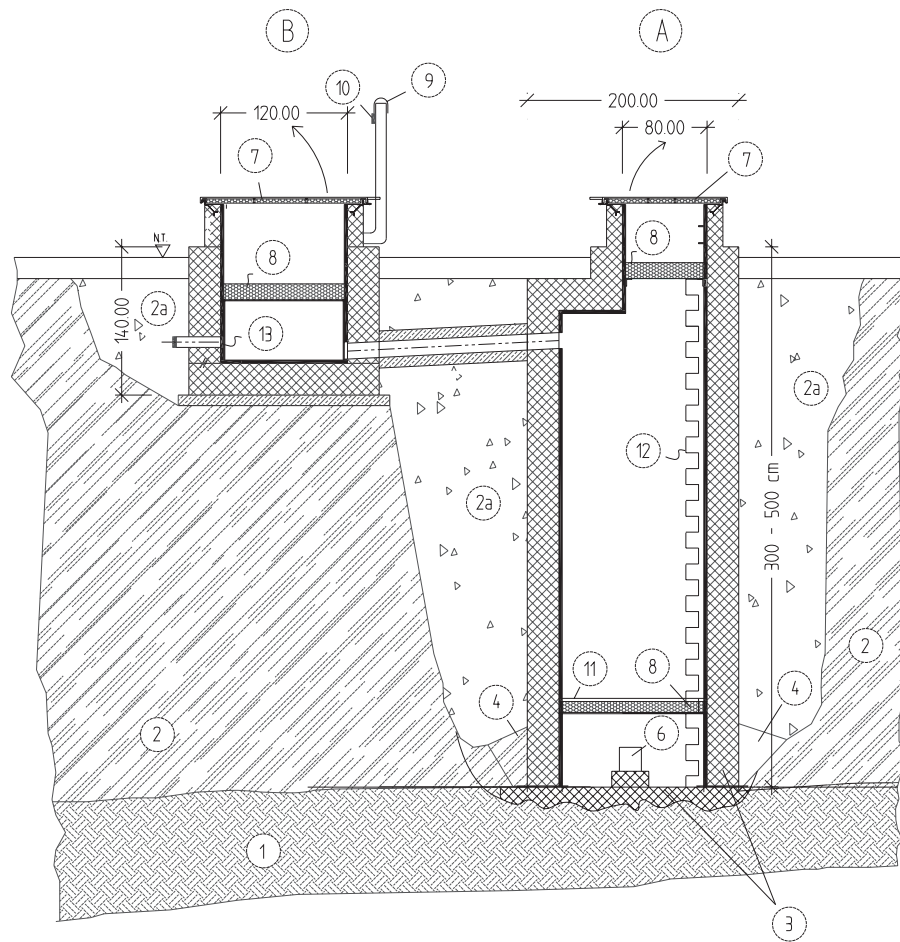
Za potrebe vzpostavljanja državnega omrežja potresnih opazovalnic v Sloveniji je bil predhodno izdelan tipski idejni projekt potresne opazovalnice s seizmometrom, nameščenim v tipskem jašku ali globoki vrtini. Osnovna izhodišča iz projektne naloge so bila:

- zagotovitev trdnega stika senzorja (seizmometra) z osnovno kamnino,
- onemogočanje vnosa dodatnega šuma in zaščita opreme pred vremenskimi vplivi ter temperaturnimi spremembami,
- varovanje energetskih in morebitnih telekomunikacijskih vodov s strelovodno zaščito,
- zagotavljanje dodatnega vira električne energije (24-urno avtonomno delovanje opazovalnice ob izpadu omrežne napetosti) in
- zavarovanje pred pričakovanimi viri motenj in vandalizmom.

Glede na izbor opreme za beleženje potresov je bil tipski idejni projekt obdelan v dveh različicah (zaradi zahtev lokalnih geoloških pogojev):

- seizmološka opazovalnica s seizmometrom, nameščenim v tipskem jašku (različica 1)
- seizmološka opazovalnica s seizmometrom, nameščenim v vrtini (različica 2)

Osnovni elementi seizmološke opazovalnice so seizmometer, ki registrira potresno aktivnost, informacijsko-telekomunikacijski del opreme, ki skrbi za obdelavo, shranjevanje in prenos podatkov v središče za obdelavo podatkov, in električna oprema, ki zagotavlja nemoteno napajanje naprav z električno energijo.



**Slika 7.** Gradbeni načrt izvedbe potresne opazovalnice.  
**Figure 7.** Building plan for the construction of a seismic station.



*Slika 8. Primer izkopa na lokaciji Pernice. Opravljen je izkop v matično kamnino do globine cca 4,50 m.*

**Figure 8.** An example of excavation at Črešnjevce. Excavation was performed in consolidated rock up to approx. 4.5 m deep.



*Slika 9. Zaradi slabe geološke podlage je bilo potrebno ponekod senzor namestiti v vrtino. Primer vrtanja na Legarjah.*

**Figure 9.** Due to a poor geological base, it was necessary to install the sensor in a borehole at some locations. The example shows drilling works at Legarje.





**Slika 10.** Naslednja faza je betoniranje podlage jaška, v katerem so postavljeni instrumenti. Prikazano je stanje na lokaciji Goliše.

**Figure 10.** The next phase is concreting the lining of the shaft in which instruments are to be placed. The example shows the situation at Goliše.

Seizmometer in zajemalna naprava za pretvorbo analognega signala v digitalni signal sta nameščena v glavnem jašku (jašek A). Če je seizmometer nameščen na dnu jaška, gre za različico 1, če pa je seizmometer nameščen v globoki vrtini, gre za različico 2.

Druga oprema je nameščena v plitvejšem pomožnem jašku (jašek B) zlasti zato, da na meritve ne vpliva 50 Hz šum iz omrežne napetosti. Oba jaška sta iz posebnega polietilenskega materiala PEHD (*polietilen high density*) in vsak zase obbetonirana. Razdalja med njima je 2 m. Na pomožnem jašku je nekovinski zračnik višine 1,2 m. Poleg podzemnega objekta stoji 4 m visok steber – lovilnik atmosferskih razelektritev. Okolica obeh jaškov je ograjena z žično ograjo.

Glavni oz. merilni jašek (jašek A) je okroglega tlorisa (premer  $\varnothing=140$  cm) z redukcijo (premer  $\varnothing=80$  cm) proti vrhu in sega pri različici 1 največ do globine 5 m pod nivojem terena; (pri različici 2 pa sega do globine 3 m pod nivojem terena, kjer se nadaljuje v vrtino z jeklenimi ali polietilenskimi cevmi). Izkop gradbene jame je izveden z mehanizacijo in brez miniranja. Dno jaška je betonsko in nearmirano. Stene in dno jaška so med seboj dilatirani po delovnem stiku, nanos hidroizolacijske malte preprečuje dostop vode po dilataciji. Stene vstopnega dela jaška s pokrovom segajo nad nivo terena. Podzemni del jaška je obbetoniran s 30-centimetrskim betonom, nadzemni del pa je debel 15 cm. Vsi betonski deli jaška so iz vodotesnega betona.



*Slika 11. Obbetoniranje postavljenih PHD jaškov, v katerih so nameščeni instrumenti (levo). Na nekaterih lokacijah je bil dovoz cevi do gradbišča pravi podvig, kot na primer na Čadrgu nad Tolminom (spodaj).*

*Figure 11. Cementing works in the established PHD shafts, into which instruments are placed (left). At some locations, delivering ducts to the construction site turned into a real feat, such as in the case of Čadrg above Tolmin (below).*



Vsi PEHD-deli konstrukcije so ekstruzijsko varjeni, da je zagotovljena vodotesnost. Na notranji steni jaška so privarjene pohodne stopalke in dva nosilca 100 x 30 cm za pritrnitev opreme. Jašek je na vrhu zaprt s kovinskim vodotesnim in z notranje strani toplotno izoliranim pokrovom iz stirodura, opremljenim s ključavnico. Pred razširitvijo v premer



Ø=140 cm je sloj termoizolacije v obliki čepa z ročajem, ki se ob vstopanju v jašek odstrani. Čep je narejen iz stirodura. Obbetoniranje in kovinski pokrov zagotavljata požarno zaščito pred požari v naravnem okolju.

Poleg merilnega jaška je pomožni jašek, prav tako v izvedbi PEHD (jašek B), v katerem je nameščena oprema, ki mora biti fizično ločena od opreme (zajemalne naprave) v merilnem jašku. Pomožni jašek ima premer Ø 120 cm, na steno so privarjeni vstopna PEHD-lestev, dva nosilca 50 cm x 30 cm za pritrditev opreme ter zaščitna stopnica nad električno razdelilno omarico. Jašek je odzračevan z nekovinsko cevjo Ø 10 cm dolžine 120 cm, ki je sidrana v sloj obbetoniranja.

Jaška sta povezana z vodotesno izvedenima (varjenima) PEHD-cevema v globini 0,8 m, po katerih tečejo električne napajalne (12 V) in signalne instalacije. Pomožni jašek ima na drugi strani še dva kablenska izvoda za električni kabel napetosti 220 V in telefonsko linijo (potek gradnje posameznih faz je prikazan na slikah 7 do 12).



*Slika 12. Betoniranje seizmičnega in pomožnega jaška.*

*Figure 12. Concreting of the seismic and auxiliary shaft.*

Ločeno od jaškov je na samostojen točkovni temelj postavljen 4-metrski kovinski steber Ø 10 cm kot lovilnik atmosferskih razelektritev (strelovod) (slika 13). Okoli opazovalnice so položeni ozemljitveni trakovi v skupni dolžini 180 m, ki omogočajo predpisano vrednost ozemljitve. Območje jaškov je ograjeno z ograjo višine 2 m, postavljeno na notranjo stran od parcelne meje. V ograji so dvokrilna vrata za dostop peš ali z vozilom. Do lokacije opazovalnice je položen električni kabel (slika 14).

Območje okrog jaškov je urejeno v obliki platoja oz. v rahlem naklonu stran od vstopnih odprtin, s čimer je zagotovljeno učinkovito odtekanje meteorne vode oz. v pomladanskem času snežnice. Vse površine, prizadete zaradi del, so rekultivirane (sliki 15 in 16).



*Slika 13. Končana dela na betonskih jaških, postavitev strelovoda in razpeljava valjanca strelovodnega sistema. Dela na potresni opazovalnici Vojsko.*

**Figure 13.** Completed works on concrete shafts, installation of the lightning conductor and the rolled strip of the lightning protection system. Ongoing works at the Vojsko seismic station.



*Slika 14. Ponekod je bilo potrebno pripeljati telefonski in električni kabel več sto metrov daleč.*

**Figure 14.** At some locations, the telephone and power cables had to be brought in from supply points that were more than several hundred meters away.





*Slika 15. Končana potresna opazovalnica Gorjuše v Triglavskem narodnem parku, kjer je žičnato ograjo zamenjal električni pastir.*

**Figure 15.** The completed seismic station of Gorjuše in Triglav National Park, where an electric fence controller was used instead of wire fence.

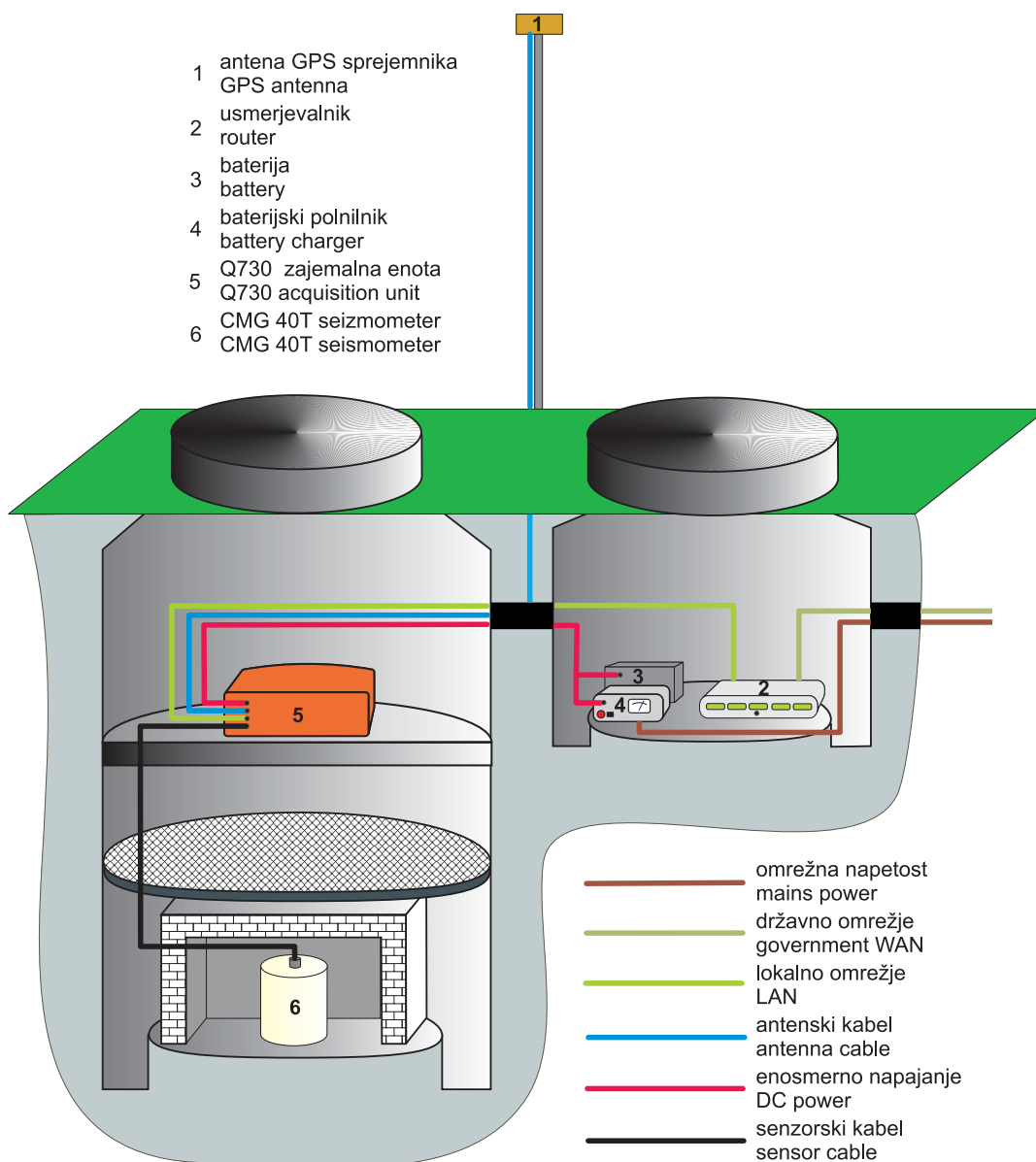


*Slika 16. Končni izgled potresne opazovalnice (Čadrg nad Tolminom).*

**Figure 16.** The final appearance of the seismic station (Čadrg nad Tolminom).

## Oprema na potresnih opazovalnicah

Na potresnih opazovalnicah državne seizmološke mreže je nameščena občutljiva oprema, ki stalno beleži nihanje tal. Seizmografi ponavadi beležijo hitrost premikanja podlage, nekateri sistemi pa merijo tudi pospešek nihanja podlage. Sodobne merilne seizmološke naprave so zmožne zaznati vibracije, ki so več kot milijonkrat šibkejše od tistih, ki jih lahko zazna človeško telo. Seizmografi so opremljeni z natančno uro, tako da dobimo zabeleženo nihanje tal kot funkcijo časa. Ura mora biti točna, saj lahko le tako primerjamo med seboj zapise potresa, ki so ga zabeležile različne opazovalnice v Sloveniji in drugod po svetu, ter uporabimo tak podatek za nadaljnjo obdelavo.



**Slika 17.** Shematski prikaz potresne opazovalnice. V merilnem jašku vidimo senzor in zajemalno napravo, ostala oprema za napajanje in komunikacijo pa je v pomožnem jašku.

**Figure 17.** Schematic presentation of a seismic station. A sensor and an acquisition unit in the measuring shaft; the remaining equipment for power supply and communication is installed in the auxiliary shaft.





**Slika 18.** Pogled v jašek z merilnimi instrumenti. Senzor je postavljen na podlago in s toplotno izolacijsko steno ločen od ostalega prostora z zajemalno napravo.

**Figure 18.** View from above of the shaft with measuring instruments. The sensor is installed on a foundation and separated from the rest of the space, containing the acquisition unit, by a thermally insulated wall.



**Slika 19.** Pomožni jašek z brezprekinitvenim napajanjem in modemom in usmerjevalnikom za prenos podatkov.

**Figure 19.** The auxiliary shaft with uninterrupted power supply, a modem and a router for the transfer of data.

Osnovna sestavna dela seizmografa sta seizmometer, to je senzor za zaznavanje nihanj tal, in zajemalna enota za beleženje seizmičnih signalov, ki skrbi za zajem signala iz senzorja, pretvorbo v digitalno obliko, opremljanje podatkov s točno uro, manipulacijo podatkov in hranjenje oziroma pošiljanje podatkov v središče za obdelavo podatkov (SOP) (slike 17, 18 in 19) (Vidrih in sod., 2002, 2003, 2004; Živčič in sod., 2006).

### **Značilnosti seizmološke merilne opreme**

Zgodovinski viri navajajo, da je v Italiji že leta 1875 Cecchi skonstruiral prvi instrument, ki naj bi imel že vse funkcije seizmografa. Od tedaj pa do danes so se ti sistemi zelo spremenili in izboljšali. Še na začetku prejšnjega stoletja so bili seizmografi nihala z velikimi masami, tudi nekaj deset kilogramov, in z natančno narejenimi prenosnimi mehanizmi, ki so zapisovali gibanja tal na osajen papir. Potresna opazovalnica je potrebovala osebo, ki je tak papir zamenjevala in obdelala, da je podaljšala obstojnost. Tudi danes najpogosteje uporabljamo seizmometre inercialnega tipa, kjer je utež prek vzmeti povezana z ohišjem. Vendar so v sodobnih seizmometrih mase uteži majhne, le nekaj gramov. Premikanja tal ne merimo s spremembo položaja uteži glede na referenčno točko, ki je v ohišju senzorja, ampak premik uteži kompenziramo s povratno električno generirano silo. Tako ostaja utež v ravnovesni legi. Sila, ki je potrebna, da ostane utež v ravnovesni legi kljub nihanju podlage, pa je naš podatek o nihanju podlage. Takšni senzorji v primerjavi s pasivnimi senzorji delujejo v širšem frekvenčnem območju z boljšimi dinamičnimi karakteristikami. Na izhodu iz seizmometra merimo spremembo napetosti, ki je sorazmerna hitrosti nihanja podlage, v nekaterih primerih pa pospešku nihanja podlage. Natančnejšo relacijo nam pove prenosna funkcija sistema. Seizmometri so samostojne enote, sestavljene iz treh senzorjev, ki merijo premikanje podlage v treh pravokotnih smereh. Na ta način dobimo prostorsko predstavo nihanja podlage. Sodobni seizmometri merijo nihanje podlage od frekvence 50 Hz pa do periode nekaj deset sekund. Izbira seizmometra je odvisna od namena opazovanja in kakovosti podlage. Periode potresnih valov so odvisne od moči potresa ter oddaljenosti potresne opazovalnice od žarišča potresa in so lahko od nekaj stotink sekunde pa do nekaj ur. V preteklosti so namestili več pasivnih seizmometrov z različnimi frekvenčnimi karakteristikami. Sodobni širokopasovni seizmometri imajo boljše karakteristike, vendar še vedno ni seizmometra, ki bi lahko pokrival tako velik frekvenčni razpon, zato izberemo instrument, ki bo pokrival območje namembnosti potresne opazovalnice. Pri natančnem opazovanju seizmičnosti je treba zaznati tudi zelo šibke potrese, ki sicer ne povzročajo škode, vendar veliko povedo o seizmičnih značilnostih opazovanih prelomov. Na kakovost zaznavanja šibkih seizmičnih signalov vpliva instrumentalni šum instrumenta, ki ga primerjamo z NLNM (*new low noise model*). Leta 1993 je Peterson izbral podatke iz 75 potresnih opazovalnic z vsega sveta, ki so bile v smislu seizmičnega šuma izredno mirne. Ugotovil je, da obstaja minimalni seizmični šum, ki v naravi skoraj nikoli ni zabeležen, manjši seizmični šum lahko beležimo le v posebnem laboratorijskem okolju. Minimalni seizmični šum je odvisen od frekvence. Spektralna gostota minimalnega seizmičnega šuma je znana kot NLNM. Kakovostni seizmometri morajo torej zaznati na določenem opazovanem frekvenčnem območju manjši šum, kot je definiran z NLNM (Jesenko, Živčič, 2001).

Pomemben podatek je tudi dinamično območje seizmometra. Dinamično območje seizmometra je izraženo v decibelih (dB) in je razmerje med največjim in najmanjšim signalom, ki ga lahko seizmometer zabeleži. Najmanjši signal, ki ga lahko seizmometer beleži, je njegov lastni šum. Največji signal, ki ga lahko seizmometer zabeleži, je odvisen od konstrukcije samega seizmometra. Dinamično območje lahko povečamo s kombinacijo dveh instrumentov, seizmometra in akcelerometra. Akcelerometer je v resnici seizmometer, ki beleži pospešek nihanja podlage. Je manj občutljiv instrument, beleži pa lahko zelo močna nihanja podlage.

V neposredni bližini seizmometra je enota za zajemanje in pretvorbo analognih podatkov. Sodobni zajemalni sistemi so neke vrste mikroračunalniki. Podatke vzorčimo s 24-bitno analogno/digitalno pretvorbo, z resolucijo, ki je večja kot 140 decibelov. Vsak vhodni signal vzorčimo neodvisno. Končna frekvenca vzorčenja je odvisna od namembnosti potresne opazovalnice, za opazovanje lokalnih potresov je to ponavadi dvesto vzorcev na sekundo. Zajemalne aparature imajo vgrajen GPS-sprejemnik točnega časa in tako opremljajo seizmične podatke s točno uro, kjer je ura usklajena bolje kot na milisekundo natančno. Podatki se nato hranijo na lokalnem pomnilniku in se po komunikacijskih poteh pošiljajo v SOP (slika 20). Sodobne potresne opazovalnice so brez oskrbovalnega osebja, podatki se iz vseh potresnih opazovalnic zajemajo, obdelujejo in shranjujejo v SOP, kjer je ponavadi nameščena delovna postaja s posebno programsko opremo za obdelavo seizmoloških podatkov, zaznavanje dogodkov, preliminarno avtomatsko obdelavo in obveščanje (Willmore, 1979; Vidrih in sod., 2003).

### **Zajemalna enota Quanterra Q730**

Slovenska državna seizmološka mreža je opremljena z zajemalnimi enotami Quanterra Q730 z resolucijo nad 140 dB in občutljivostjo LSB (*Least Significant Bit*) 1,9 mV. Srce zajemalne enote je 32-bitni procesor Motorola iz razreda 68. Q730 ima na vhodu tri (oziroma 6, če je na opazovalnici še EpiSenzor) neodvisne 24-bitne analogno-digitalne pretvornike z vzorčenjem 200, 20 in 1 vzorec na sekundo. Vzorčenje 200 vzorcev na sekundo je namenjeno opazovanju bližnjih potresov, vzorčenji 20 in 1 vzorec na sekundo pa oddaljenim potresom. Za A/D pretvorbo je uporabljena štiristopenjska modulacija sigma-delta z osnovno frekvenco vzorčenja 20 kHz, nižje frekvence vzorčenja dobimo s pomočjo digitalne obdelave signala z decimacijo in digitalnim filtriranjem. Za točen čas skrbi enota GPS, dogodki so označeni s časom UTC nad eno milisekundo natančno. Q730 ima vgrajeno še komunikacijsko kartico in pošilja podatke prek državnega računalniškega omrežja v središče za obdelavo podatkov skoraj v realnem času, kjer se ti podatki shranjujejo in naknadno obdelujejo. Dimenzije Q730 so 22 x 41 x 59 cm in deluje v temperaturnem območju od - 10 °C do + 70 °C. Napaja se z 12-voltno enosmerno napetostjo in povprečno porablja moč 12 W.

### **Seizmometer CMG-40T**

Slovenska državna mreža potresnih opazovalnic je opremljena s seizmometri CMG-40T proizvajalca Güralp Ltd. iz Velike Britanije. Seizmometer CMG-40T je trikomponentni

seizmometer s hitrostnim odzivom v frekvenčnem območju med 50 Hz in 0,03 Hz (periodo 30 sekund) in dinamičnim območjem nad 145 dB. Seizmometer meri hitrost nihanja podlage. Izvedba za namestitvev na prostem površju je valjaste oblike, visok je 23 cm in ima premer 17 cm. Seizmometer za v vrtino je visok 94 cm in ima premer 9 cm. Teža seizmometra je 5 kilogramov in deluje v temperaturnem območju od  $-10\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $+60\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Napaja se z 12-voltno enosmerno napetostjo in porablja tok okoli 50 mA. Pretvorbe premika tal v električni signal ne moremo opisati le z enostavno linearno zvezo, ker vseh sil, ki vračajo maso v ravnovesno lego, nikoli ne moremo zanemariti. Zato moramo poznati sensorjeve dinamične lastnosti, ki so podane z jezikom Laplaceove transformacije. V ohišju so trije senzori, ki so postavljeni pravokotno drug na drugega z natančnostjo nad  $0,2^{\circ}$ , kar omogoča prostorsko oceno hitrosti nihanja podlage. Seizmometer je po dogovoru postavljen na podlago tako, da senzori kažejo v smeri sever–jug, vzhod–zahod in v vertikalni smeri. Senzor je kondenzatorski merilnik premikov z elektromagnetno povratno zanko. Silo v povratni zanki, ki povzroči, da utež kljub nihanju tal ostaja v ravnovesni legi, ustvarimo z uporabo dveh parov tuljav. Teža uteži v senzoru je 36 gramov na horizontalni usmeritvi in 34 gramov za vertikalni senzor. S kalibracijsko tuljavo senzoru lahko vsiljujemo premike nihala in s tem ponaredimo nihanje tal ter tako preverimo kakovost delovanja senzora oziroma spremembe v lastnostih prenosne funkcije (Tasič, 2004a, 2005).

### **Akcelerometer EpiSensor**

EpiSensor je trikomponentni merilnik pospeškov s frekvenčnim območjem od 0 do 200 Hz in teoretičnim dinamičnim območjem nad 155 dB. Senzor je nastavljen tako, meri pospeške do  $\pm 2\text{ g}$ , pri čemer je  $g$  težnostni pospešek. Senzoru lahko nastavljamo dinamično območje od  $\pm 0,25\text{ g}$  do  $\pm 4\text{ g}$ . EpiSensor model FBA ES-T je valjaste oblike, visok 6,2 cm in ima premer 13,3 cm. Instrument je težak slaba dva kilograma in deluje v temperaturnem območju od  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $+70\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Napaja se z 12-voltno enosmerno napetostjo in porablja tok okoli 35 mA. EpiSensor sestavljajo trije miniaturni senzori, ki so postavljeni pravokotno drug na drugega z napako pod 1 %. Posamezen senzor je merilnik pospeškov, ki deluje po principu ravnovesja sil in jih poznamo pod imenom FBA (force balance accelerometer). V našem primeru je kondenzatorski merilnik premikov z elektromagnetno povratno zanko. Pri teh merilnikih premik uteži kompenziramo s povratno električno generirano silo. Tako ostaja utež v ravnovesni legi, merimo pa tok, ki je potreben za ustvarjanje ravnovesja. Senzor je opremljen še s kalibracijsko tuljavo, vendar Quanterra Q730 nima vgrajenega kalibracijskega sistema tudi za dodatni instrument, v našem primeru EpiSensor. Tako lahko preverjamo stabilnost prenosne funkcije EpiSensorja posredno, z zabeleženimi dogodki na obeh instrumentih. Akcelerometer je po dogovoru postavljen na podlago tako, da senzori kažejo v smeri sever–jug, vzhod–zahod in v vertikalni smeri. Pretvorbe premika tal v električni signal ne moremo opisati le z enostavno linearno zvezo, ker vseh sil, ki vračajo maso v ravnovesno lego, nikoli ne moremo zanemariti. Zato moramo poznati sensorjeve dinamične lastnosti, ki so ponavadi podane z jezikom Laplaceove transformacije. Lastnosti prenosne funkcije senzora natančneje opišemo s poli in ničlami. Kakovost meritve moti šum, ki nastane na posameznih komponentah senzora (elektronika, vzmet, termična nestabilnost). Lastni šum

EpiSensorja je večji kot pri seizmometru CMG-40T, kar lahko preverimo na lokacijah, kjer sta oba senzorja postavljena drug ob drugem (Tasič, 2004a; Tasič in sod., 2005, 2006).

### **Ostala oprema na potresni opazovalnici**

Na potresni opazovalnici imamo tudi brezprekinitveno napajanje z avtonomijo do 24 ur, z izhodom 12-voltne enosmerne napetosti in 230-voltne izmenične napetosti ter opremo za komunikacijo, ki je odvisna od tipa komunikacije. Vsa oprema je zaščitena s prenapetostno zaščito.

Vsaka potresna opazovalnica ima svoje lokalno računalniško omrežje in je prek usmerjevalnika in modema vključena v državno računalniško mrežo.

### **Prenos podatkov**

Izbira prenosnega sistema za prenos podatkov s potresnih opazovalnic do središča za obdelavo je zelo pomembna pri načrtovanju mreže potresnih opazovalnic. Zanesljivo izvajanje nalog mreže je odvisno od zanesljivosti prenosa in kakovosti prenesenih podatkov. Na odločitev, kateri prenosni sistem bomo izbrali, pa vpliva tudi cena.

Na izbiro vrste prenosa podatkov vplivajo:

- zahtevana prenosna širina,
- zelena zanesljivost prenosa (BER – *bit error rate*, ki se kaže v deležu napačnih bitov glede na celotno količino bitov pri prenosu in se meri v 10 na negativno potenco;  $10^{-6}$  pomeni, da je bil pri 1.000.000 prenesenih bitov en napačen),
- prenosni protokol.

Tem zahtevam morajo ustrezati infrastruktura prenosnega omrežja, razpoložljiva denarna sredstva za delovanje mreže in rezultati delovanja mreže. V seizmologiji se uporablja več vrst prenosnih sistemov, od žičnih povezav do satelitskih kanalov. Med seboj se razlikujejo po značilnostih, kot so prepustnost, zanesljivost delovanja, največja oddaljenost, robustnost glede na rušilni potres in cena gradnje prenosnega sistema ter prenosa podatkov.

Da bi zadostili zahtevi po čim hitrejšem obveščanju javnosti in ustreznih služb, je bil izbran tak način delovanja mreže, ki zahteva neprekinjen prenos podatkov z vseh opazovalnic brez zakasnitve v središče za obdelavo podatkov. Izbrani prenosni sistem mora delovati zanesljivo in pri prenosu ne sme prihajati do izgube podatkov. Slaba stran tega prenosnega sistema je visoka cena.

Zajemalna naprava Quanterra Q730 omogoča več preskušanih načinov prenosa podatkov. Uporabnik določi vrstni red prenosa različnih vrst podatkov, kot so na primer posamezni dogodki ali neprekinjeno zajemanje nihanja Zemlje po enem kanalu z običajnim serijskim protokolom. Vgrajena kartica Ethernet omogoča uporabo računalniškega mrežnega protokola TCP/IP za prenos podatkovnih paketov, ki ima že vgrajen modul za odpravo napak med prenosom, omogoča pa tudi nadzor delovanja merilnega sistema in nastavitve



parametrov iz središča. Za trikanalni sistem je zahtevana največja prenosna hitrost 20,7 kb/s, za šestkanalni pa 39,5 kb/s. V praksi sta ti dve hitrosti zaradi stiskanja podatkov pri prenosu nižji.

Ker smo kot državni organ vključeni v hitro komunikacijsko omrežje državnih organov (HKOM), ki je razvejano po vsej državi, smo ga uporabili tudi za prenos podatkov s potresnih opazovalnic.

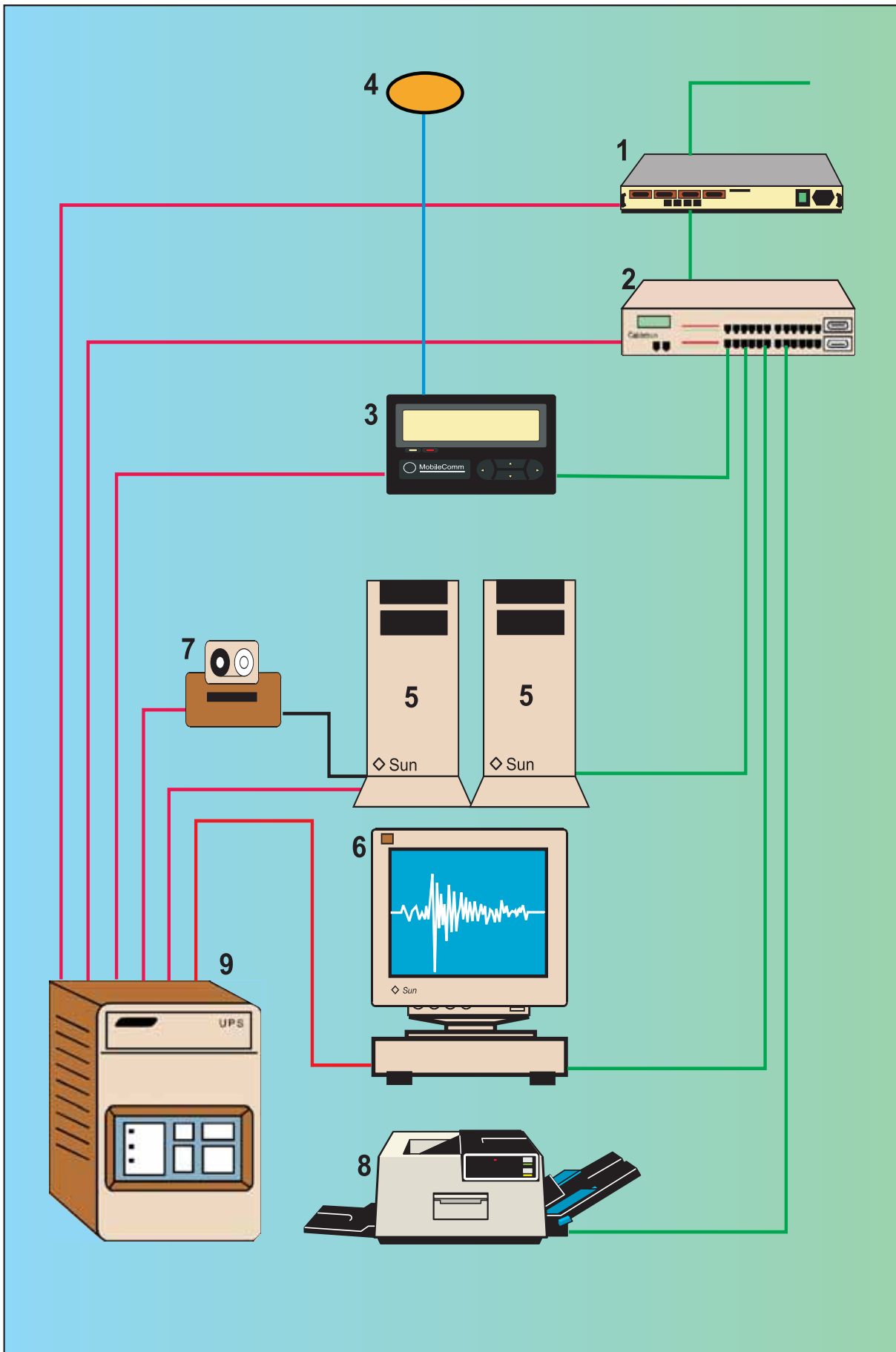
Omrežje HKOM je namenjeno medsebojnemu telekomunikacijskemu povezovanju ustanov javne uprave Republike Slovenije ter gospodarskim družbam, ki opravljajo storitve za te ustanove ali v njihovem imenu in povezuje že več kot 1200 lokalnih računalniških omrežij. Upravljevalec omrežja HKOM je DEUP (Direktorat za e-upravo in upravne postopke) pri Ministrstvu za javno upravo, ki prek njega omogoča uporabo storitev javne uprave tako občanom kot tudi pravnim subjektom. Poleg medsebojne povezljivosti ustanov omrežje HKOM omogoča tudi vse standardne omrežne storitve, kot so: povezava v Internet, elektronska pošta, spletne strani, oddaljen dostop v omrežje, varnost, sistem za odkrivanje vdorov in njihovo preprečevanje, avtentizacija, avtorizacija in obračunavanje prenosa.

Omrežje HKOM sestavljata dve med seboj povezani prenosni plasti – fizična prenosna plast in logična prenosna plast. Fizični prenosni nivo sestavljajo vozlišča in njihove medsebojne povezave ter povezave od končnih uporabnikov (lokalnih računalniških omrežij uporabnikov) do teh vozlišč. Posebej pomembno pri celotnem omrežju je:

- prenos podatkov po fizičnih vodih, saj so ti v lasti in vzdrževanju Telekoma;
- priključitev naprav za prenos podatkov po fizičnih vodih (modemi), ki so na eni strani priključeni na fizično vozlišče, na drugi strani pa na fizične vode;
- medsebojna sinhronizacija vozlišča in modema (enostavno prilagajanje prenosne hitrosti, možnost dinamičnega dodeljevanja pasovne širine v času različne obremenjenosti omrežja);
- medsebojna sinhronizacija modema na strani vozlišča in končnega uporabnika;
- nadzor nad delovanjem fizične povezave.

Logični nivo sestavljajo usmerjevalniki, ki medsebojno usmerjajo promet med posameznimi končnimi uporabniki. Delujejo po strogih zahtevah, saj je treba zagotoviti kar največjo optimizacijo medsebojnih povezav.

Odločili smo se za prenos podatkov po fizičnih vodih (najete linije) do najbližje vstopne točke v HKOM. Tako so v HKOM vključene potresne opazovalnice Kog (KOGS), Grobnik (GROS), Pernice (PERS), Dobrina (DOBS), Legarje (LEGS), Goliše (GOLS), Črešnjevce (CRES), Podkum (PDKS), Bojanci (BOJS), Možjanca (MOZS), Gorjuše (GORS), Cerknica (CEY) in Robič (ROBS). Zajemalna enota Q730 je vključena v usmerjevalnik in prek modema na linijo. Modem in usmerjevalnik sta prek razsmernika priključena na akumulator, ki zagotavlja neprekinjeno delovanje aparatur ob izpadu omrežne napetosti 230 V.



**Slika 20.** (prejšnja stran) Središče za obdelavo podatkov sestavljajo:

- 1 - usmerjevalnik povezuje središče za obdelavo podatkov z državnim računalniškim omrežjem
- 2 - koncentrator omogoča zvezdno topologijo lokalnega omrežja
- 3 - omrežni časovni strežnik NTS-90 zagotavlja točno časovno bazo
- 4 - antena GPS sprejemnika
- 5 - Ultra-10 delovna postaja za zajem in obdelavo podatkov v stvarnem času
- 6 - Ultra-10 delovna postaja za obdelavo podatkov
- 7 - tračna enota za shranjevanje podatkov s kapaciteto 72 GB
- 8 - tiskalnik
- 9 - brezprekinitveno napajanje omogoča enourno delovanje ob izpadu omrežja

**Figure 20.** (previous page) The Data Processing Centre consists of:

- 1 - a router links the Centre to the national computer network
- 2 - a concentrator enabling a star topology of the local network
- 3 - a NTS-90 network timeserver providing an accurate time base
- 4 - a GPS receiver antenna
- 5 - an Ultra-10 working station for data acquisition and processing in real-time
- 6 - an Ultra-10 working station for data processing
- 7 - a band unit for data storage, with a capacity of 72 GB
- 8 - a printer
- 9 - uninterrupted power supply allows one-hour operation in the event of any failure

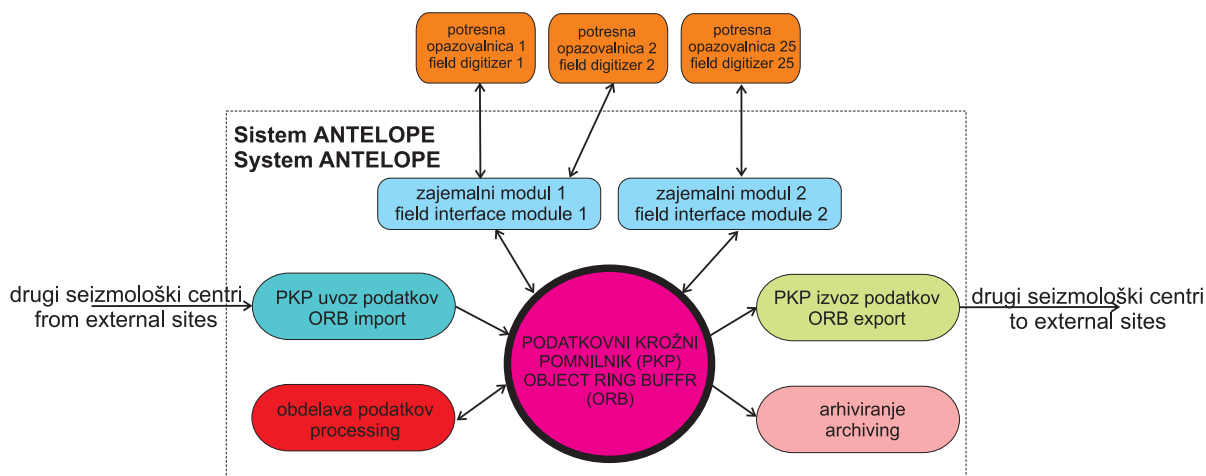
Potresne opazovalnice so zaradi zahteve po čim manjšem seizmičnem nemiru, ki ga povzročajo urbana okolja, industrija in promet, umaknjene od naselij in zato tudi od komunikacijskih poti. Zaradi prevelikih stroškov napeljave telefonskih vodov smo za sedem potresnih opazovalnic za brezžični prenos podatkov uporabili GSM-omrežje. Ker je GSM-omrežje za prenos podatkov prepočasno (9,6 kb/s), je uporabljena hitra tokokrogovna komutirana podatkovna povezava HSCSD (*High Speed Circuit Switched Data*), ki omogoča izmenjavo podatkov s hitrostjo do 38 kb/s. HSCSD omogoča združevanje več povezav GSM v eno samo prenosno pot. GSM-kanal je razdeljen na osem časovnih intervalov. Vsaki aktivni (pogovorni ali podatkovni) povezavi pripada en interval, kar pomeni, da lahko en kanal hkrati uporablja osem uporabnikov. HSCSD omogoča združevanje več kanalov (do štiri) v eno samo prenosno pot. Skupna prenosna pot je tako do 4-krat večja in znaša 38 kb/s. Prenosna hitrost ni stalna, saj imajo pogovori prednost pred podatki, zato je odvisna od zasedenosti omrežja. Za vsako zvezo sta potrebna dva GSM-modemska terminala, prvi je nameščen na opazovalnici, drugi pa v središču za obdelavo podatkov in je vključen direktno v lokalno omrežje Urada za seizmologijo in geologijo. Uporabili smo GSM-terminale Nokia 30. Ta način prenosa podatkov je bil uporabljen za prenos podatkov z opazovalnic Višnje (VISS), Gornji Cirknik (GCIS), Zavodnje (ZAVS), Javornik (JAVS), Čadrg (CADS), Vojsko (VOJS) in Knežji dol (DOLS) (Sinčič, Tasič, 2004). Zaradi dragega prenosa podatkov in zaradi širitve omrežja Telekomoma smo uvedli prenos podatkov z opazovalnic Višnje, Vojsko in Čadrg po ADSL, z opazovalnic Gornji Cirknik, Zavodnje, Javornik, Gornja Briga (GBRS) in Knežji dol (KNDS) pa dvosmerno satelitsko povezavo Satlynx v internet, ki jo omogoča Sensolink in smo jo preiskusili na potresni opazovalnici Črni Vrh (CRNS). Opremo opazovalnice sestavljajo satelitska antena, RF vhodno/izhodna enota, podatkovna enota in usmerjevalnik Cisco 1601. Podatki potujejo po satelitu do vozlišča v Backnangu v Nemčiji, potem pa po internetnem omrežju prek požarne pregrade v HKOM. Dobavitelj nudi različne prenosne hitrosti, pri čemer je hitrost v smeri proti vozlišču nižja, 2048/1024 kb/s, 1024/256 kb/s in

512/128 kb/s. Za prenos podatkov s potresne opazovalnice zadostuje že hitrost 512/128 kb/s. Slabost te vrste prenosa je, da podatki prihajajo z nekaj večjo zakasnitvijo (do 2 sekundi) v središče za obdelavo (Sinčič, Tasič, 2006).

### Središče za obdelavo podatkov

Vsi podatki, ki jih zajamejo instrumenti na potresnih opazovalnicah, se neprekinjeno prenašajo po računalniškem omrežju v središče za obdelavo podatkov (SOP) v Uradu za seizmologijo in geologijo na Agenciji RS za okolje. Sistem, potreben za zajem podatkov z opazovalnic, sestavljajo dva strežnika SunFire V250 z operacijskim sistemom Solaris 9 in programsko opremo Antelope, delovna postaja SunBlade 100 za pregled zapisov in ročno analizo podatkov, tiskalnik HP 4050 za takojšnje tiskanje avtomatskih analiz potresov in tračna enota DLT Tape VS80 za arhiviranje podatkov. Vse enote razen tiskalnika so priključene na brezprekinitveno napajanje, ki omogoča večurno delovanje sistema ob izpadu omrežne napetosti (slika 20).

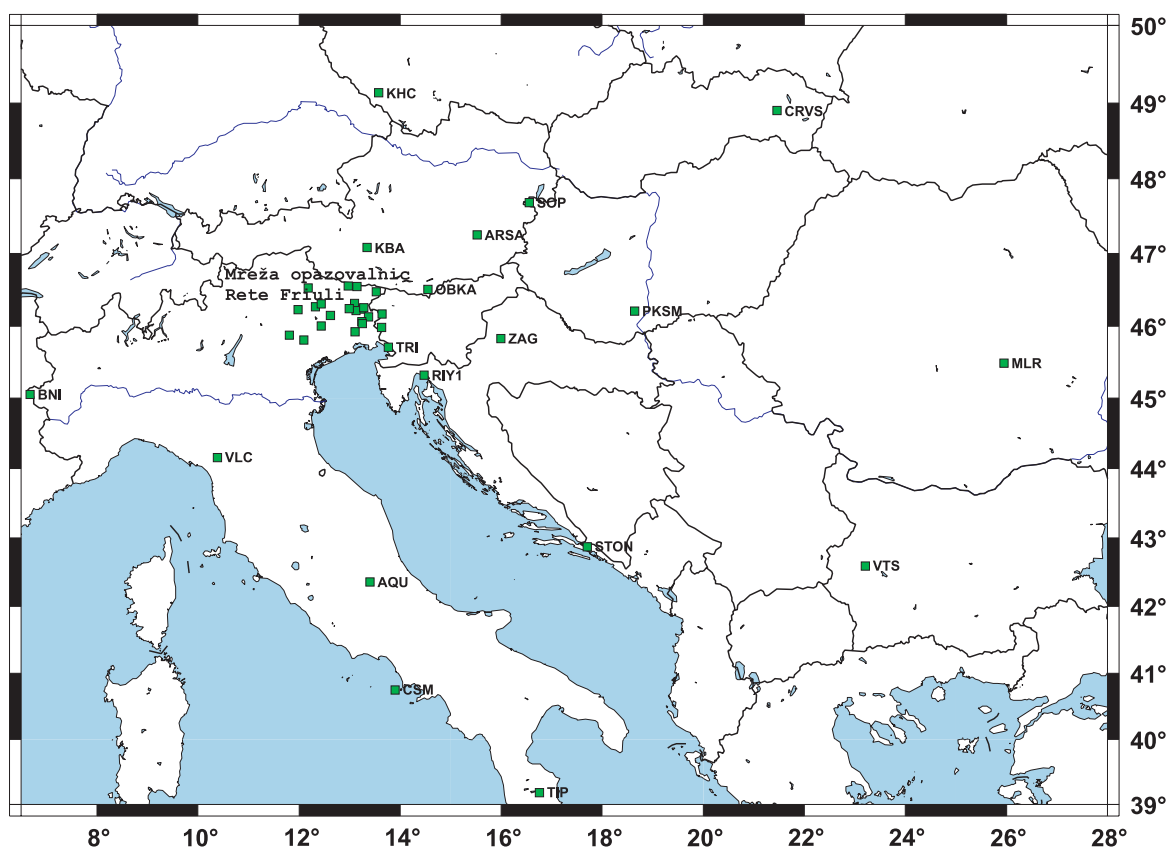
Podatki iz potresnih opazovalnic in tujih seizmoloških centrov neprekinjeno prihajajo v SOP v stvarnem času, kjer poteka takojšnja obdelava in začasno shranjevanje in samodejno obveščanje seizmologov o mogočih dogodkih. Programski paket Antelope skrbi za zajem in prenos podatkov, samodejno obdelavo in arhiviranje, interaktivni nadzor opreme na opazovalnicah, nadzor delovanja sistema, detekcijo dogodkov, interaktivno analizo, lociranje potresov in distribucijo seizmoloških podatkov.



*Slika 21. Shematski prikaz sistema Antelope*  
*Figure 21. Schematic presentation of the Antelope system.*

Programski paket Antelope sestavlja več kot 450 modulov, ki jih je mogoče zložiti v sistem, prilagojen vsakemu uporabniku. Ker so posamezni moduli dobro dokumentirani, lahko uporabniki sami upravljajo sistem in ga tudi nadgrajujejo. Vsak modul ima datoteko s parametri, kar omogoča popolno kontrolo nad sistemom. Medtem ko so osnovni moduli binarna koda in torej nespremenljivi, pa je številne module mogoče spreminjati. Pisanje dodatnih modulov je močno olajšano z vmesniki za programske jezike C, PERL in TCL/TK (slika 21).

Antelope sistem se pogovarja z zajemalnimi enotami prek zajemalnih modulov. Za vsako vrsto zajemalnih enot potrebujemo ustrezeni modul. V paketu obstajajo moduli za celo vrsto zajemalnih enot, lahko pa napišemo tudi svoje. Namen zajemalnih modulov je sprejem podatkov s sensorja in podatkov o stanju zajemalne enote ter njihovo posredovanje v podatkovni krožni pomnilnik (PKP). Zajemalne enote pošiljajo podatke v podatkovnih nizih s frekvencami vzorčevanja 1 Hz, 20 Hz in 200 Hz, kar nanese okoli 2 Gb podatkov na dan. Analiza lokalnih potresov poteka na podatkovnih nizih s frekvenco vzorčenja 200 Hz. Ostali nizi se uporabljajo pri analizi oddaljenih potresov, služijo pa tudi kot rezerva ob izpadu komunikacije med postajo in informacijskim omrežjem HKOM. Podatki prihajajo v središče iz zajemalnih enot prek protokola TCP/IP. 18 zajemalnih enot je s centrom povezanih po najetih telefonskih vodih, 7 pa jih uporablja brezžično telefonijo. Zajemalne enote pošiljajo podatke na določeno IP-številko in vrata. Vsi podatki lokalne mreže se zbirajo v ursg1:snrs. Za vrata lahko namesto številke uporabimo tudi imena. Preslikave so zapisane v posebni datoteki.

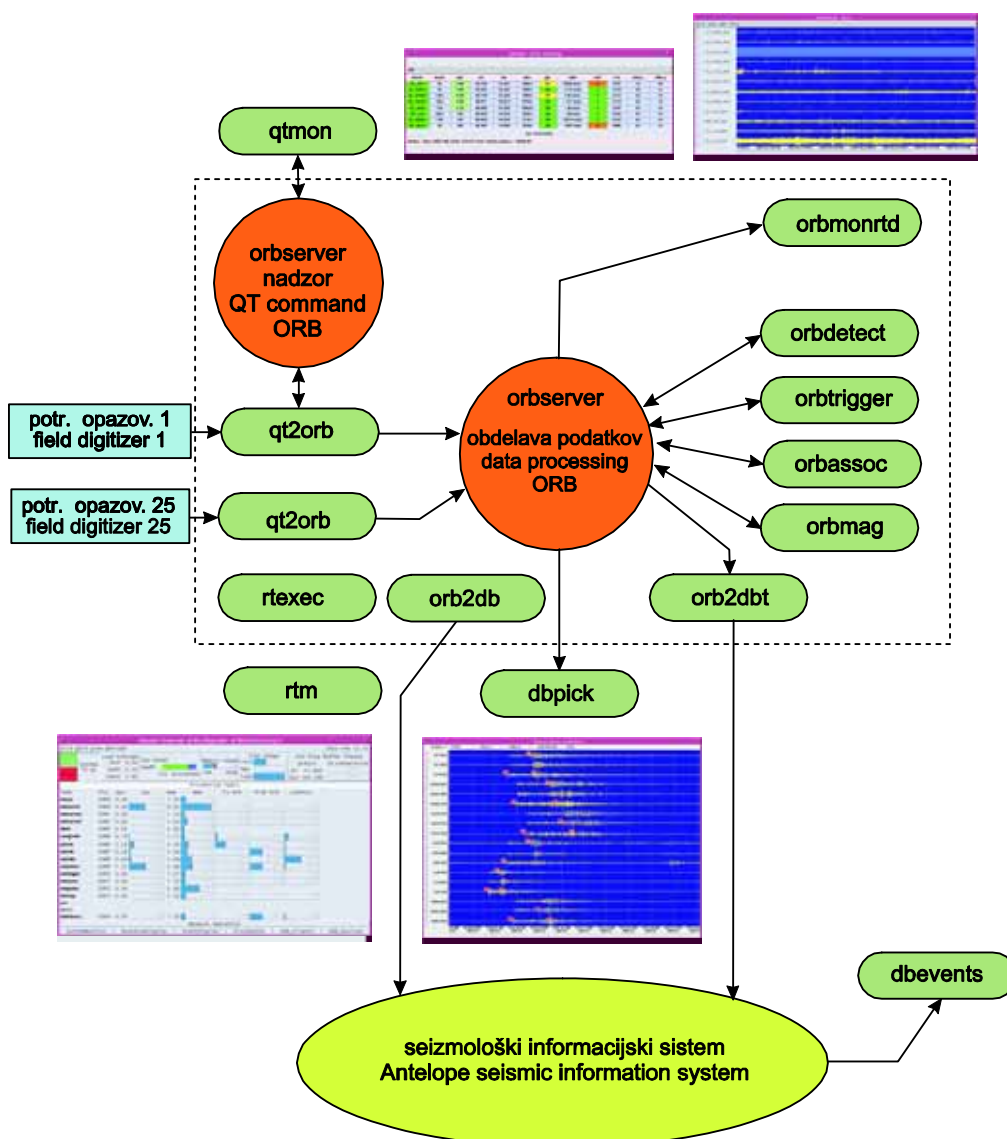


Slika 22. Virtualna mreža tujih potresnih opazovalnic, iz katerih dobivamo podatke v realnem času. Podatke prenašamo iz opazovalnic iz Italije, Avstrije, Hrvaške, Madžarske, Slovaške, Češke, Romunije in Bolgarije.

Figure 22. Virtual network of foreign seismic stations from which we receive real-time seismic data. The data are transferred from Italy, Austria, Croatia, Hungary, Slovakia, Czech Republic, Romania and Bulgaria.

Razvoj računalniških komunikacij je v zadnjem času omogočil tudi nastanek tako imenovanih virtualnih mrež potresnih opazovalnic. Samo opazovalnico in na njej nameščeno opremo vzdržuje lokalna institucija, vendar so podatki dosegljivi vsem zainteresiranim, tudi

iz drugih delov sveta. Tako v Sloveniji v središču za zbiranje in obdelavo podatkov podatke slovenske državne mreže integriramo s podatki nekaterih opazovalnic iz sosednjih držav (Avstrije, Hrvaške, Italije in Madžarske). Na ta način povečamo območje bolj natančnega določanja žariščnih parametrov ter se lažje izognemo izpadu in nasičenosti zapisov v primeru močnega potresa. Za spremljanje potresne aktivnosti v širši regiji v realnem času pridobivamo podatke iz še nekaterih držav osrednje in jugovzhodne Evrope. Seveda so tudi naši podatki na voljo vsem zainteresiranim institucijam v tujini. Prednosti virtualnih mrež so predvsem v tem, da so opazovalnice in oprema vzdrževane lokalno, podatki pa dostopni globalno. Upravljalcem virtualnih mrež je na voljo možnost, da za določen namen od vseh ponujenih zapisov v svojo konfiguracijo vključijo le tiste najbolj primerne (slika 22) (Živčič in sod., 2005; Živčič, 2006).



**Slika 23.** Antelope upravljalni sistem v središču za obdelavo v Ljubljani.  
**Figure 23.** The Antelope management system in the Ljubljana Centre for Data Processing.

Da bi zmanjšali možnost vdora v sistem, se podatki iz sosednjih držav zbirajo na računalniku zunaj notranjega omrežja in se potem prenesejo na ursg1:imp. Podatke prejemo iz

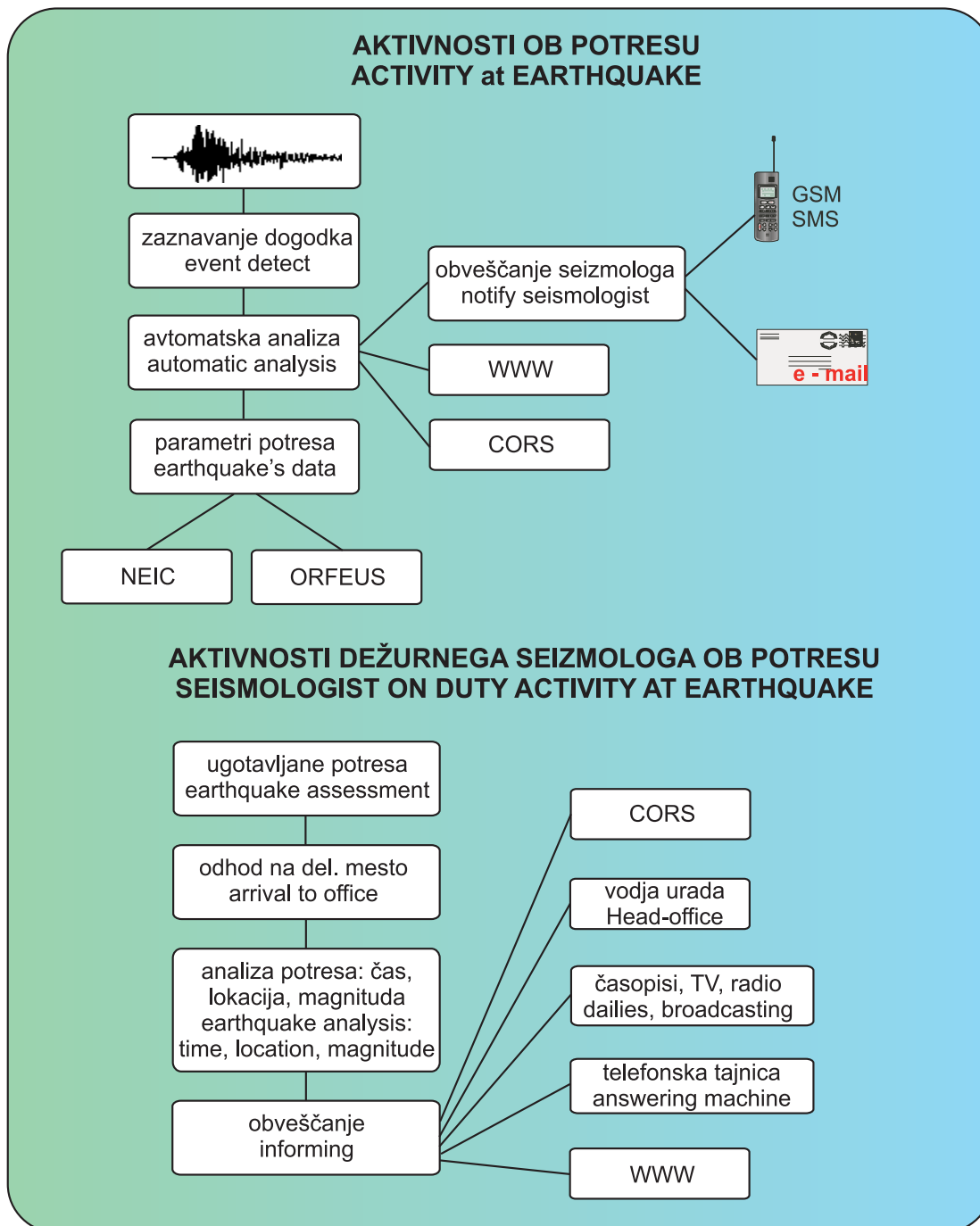
Osrednjega instituta za meteorologijo in geodinamiko iz Dunaja (ZAMG), Univerze Trst iz Trsta (DST), Centra za seizmološke raziskave, Instituta za oceanografijo in geofiziko iz Trsta (OGS), Geofizikalnega instituta češke akademije znanosti iz Prage (CAS) in Geofizikalnega zavoda Antona Mohorovičića Univerze v Zagrebu iz Zagreba (GZAM).



*Slika 24. Seizmolog pri vsakodnevem opravilu v središču za obdelavo podatkov.  
Figure 24. A seismologist during daily work in the Centre for Data Processing.*

Znotraj sistema Antelope se podatki pretakajo skozi mehanizem, imenovan podatkovni krožni pomnilnik (PKP), ki je srce sistema. Vsak PKP je upravljan s programom observer. Vmesniški moduli vpisujejo podatke, zajete na opazovalnicah, v eno ali več enot PKP, ki jih uporabimo tudi za pošiljanje ukazov na opazovalnice. Podatke lahko uvozimo v PKP tudi iz enot PKP drugih seizmoloških centrov. V enoti PKP se shranjujejo zajeti podatki opazovalnic in rezultati obdelav teh podatkov. Antelope vsebuje programske module, ki omogočajo avtomatsko detekcijo, določanje vstopnih časov, združevanje dogodkov, lociranje, oceno magnitude in arhiviranje v stvarnem času. Vsak modul deluje kontinuirano kot samostojen program, pobira vhodne podatke in odlaga izhodne v enoto PKP. Izhodni podatki iz enote PKP lahko potujejo na drugo enoto PKP ali na arhivske module, ki arhivirajo vhodne podatke iz opazovalnic in rezultate analiz v seizmični informacijski sistem, v podatkovno zbirko. Naknadno lahko podatke obdelujemo s programskimi moduli podatkovne zbirke. Vse vrste programskih modulov sistema Antelope upravljajo in nadzirajo administratorski programski moduli. Paket Antelope vsebuje tudi številne module za kontrolo delovanja sistema. Nekateri med njimi so grafični, tako da lahko uporabnik enostavno spremlja dotok surovih podatkov v PKP in nadzira hitrost prenosa podatkov ter zamude podatkov s posameznih opazovalnih mest. Nadzirati je mogoče tudi delovanje posameznih modulov s spremljanjem obremenitve procesorja in uporabe diskov.





**Slika 25.** Shema avtomatskih aktivnosti in ukrepanje dežurnega seizmologa ob močnejšem potresu.  
**Figure 25.** A diagram of automatic activities and actions of the duty seismologist during a stronger earthquake.

Grafični vmesnik Qtmon omogoča uporabniku pregled nad delovanjem instrumentov na opazovalnicah in prenosom podatkov. Za vsako opazovalnico so prikazani čas neprekinjenega delovanja opazovalnice, hitrost poteka prenosov podatkov, geografske koordinate in nadmorska višina opazovalnice, kakovost sprejema GPS-sprejemnika, stanje notranje ure, časovna zakasnitev pri zadnji sinhronizaciji ure in zakasnitev podatkov.

Grafični nadzorni program Rtm z grafičnim uporabniškim vmesnikom prikazuje delovanje vseh procesov sistema Antelope in posameznih enot strežnika: obremenitev centralne



procesne enote, zasedenost trdega diska, RAM-pomnilnika, status podatkovnega krožnega pomnilnika in delovanje vseh programskih modulov.

Programski modul Orbmonrtd je grafični vmesnik, ki omogoča uporabniku pregled zajetih podatkov na opazovalnicah, ki potujejo po zaslonu v stvarnem času. Program prebira podatke opazovalnic iz podatkovnega krožnega pomnilnika in jih prikazuje v posebnem oknu na zaslonu. Podatki so prikazani takoj, ko so prebrani na vhodu enote PKP. Program ima veliko možnosti nastavljanja parametrov, od števila kanalov, ki jih prikazuje, filtriranja podatkov pred prikazovanjem, ponavljanja istih podatkov do nastavljanja amplitudnega in časovnega merila. Poleg prikaza stanja sistema omogoča uporabniku nastavitve zagona in ustavitve sistema ter posameznih procesov (slika 23).

Sistem nadzorujemo tudi prek drugih grafičnih vmesnikov. Nadziranje zamude in prenosa podatkov ter kakovosti in stabilnosti ur na zajemalnih enotah je možno preveriti s spletnim brskalnikom, kontrola pa se izvede vsaj enkrat na dan.

Program Dbevents vpisuje v podatkovno zbirko vseh dogodkov v stvarnem času ter ponovno pregledanih dogodkov in rezultatov obdelave. Zbirka s prikazi zemljevidov z vrisanimi lokacijami potresov se stalno obnavlja z novimi podatki. Zbirka je dinamična in se obnavlja z novimi informacijami, ko se spremenijo vhodne tabele. Poleg prikaza epicentrov na zemljevidu imamo še druge podatke: lokacije epicentrov, starost dogodka, magnitudo potresa.

Da bi se izognili izpadu sistema zaradi računalniške okvare, sta v sistem zajemanja vključena dva identična računalnika. Ob okvari primarnega računalnika zajemalne enote prenehajo pošiljati podatke, opozorilni sistem pa obvesti ustrezne osebe s sporočilom SMS. Kar najhitreje se potem ročno ustavi še sekundarni sistem, ki na disk zapiše, katere podatke je že prejel, tako da ne pride do izgube ali podvajanja podatkov pri vnovičnem zagonu. Po ustavitvi, ki traja nekaj minut, sekundarnemu računalniku dodelimo IP-številko primarnega in sistem znova zaženemo. Ko je sistem zagnan, začnejo zajemalne enote spet pošiljati podatke. Najprej se z največjo možno prenosno hitrostjo prenesejo zakasneni podatki, potem pa se zajemanje nadaljuje v realnem času.

Da bi se izognili izgubi podatkov zaradi okvare diskov, uporabljamo sistem RAID 1 z zrcaljenjem diskov, ki ga sestavljata najmanj dva trda diska, na katerih se podvajajo podatki. Na diskih RAID 1 sta poleg petdnevne zbirke neprekinjenih seizmogramov še operacijski sistem in programska oprema Antelope. Pri okvari enega diska sistem nemoteno deluje z drugega diska.

Programska oprema Antelope omogoča tudi samodejno obdelavo podatkov in pošiljanje obvestil. Potekata dve vrsti samodejne obdelave podatkov. Za obveščanje o potresih poteka obdelava močnejših dogodkov, rezultat pa so točno določeni parametri potresa. Za dnevno analizo dogodkov pa zahtevamo samodejno zaznavo čim več dogodkov, za katere ni potrebno, da so vsi potresi, niti ni potrebna točna analiza, saj vsak tak dogodek naknadno analizira seizmolog (slika 24). Podatki samodejnih analiz močnejših potresov se shranjujejo v

podatkovni krožni pomnilnik ursg1:cors, podatki analiz vseh dogodkov pa v PKP ursg1:snrs.

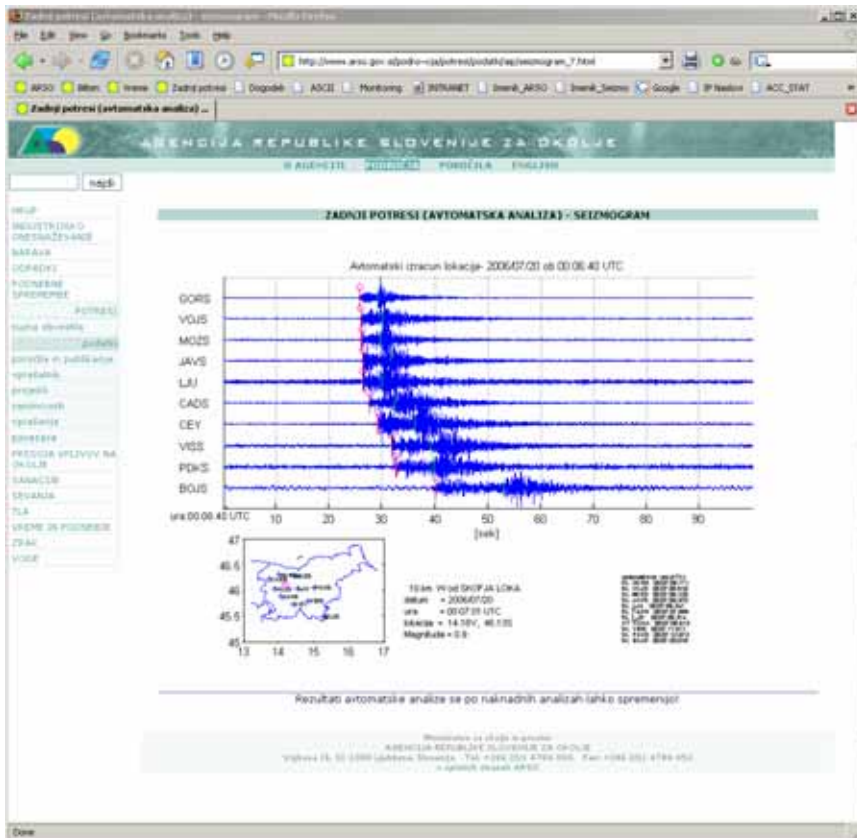
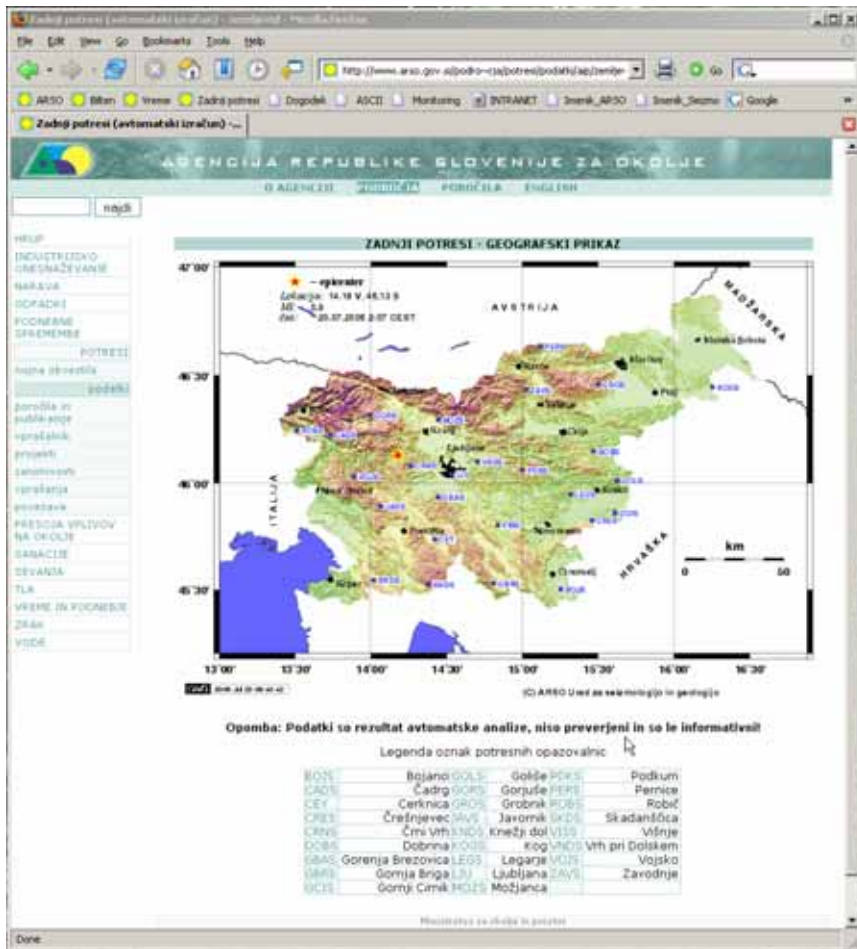
Ko se v ursg1:snrs ali v ursg1:cors pojavi paket s parametri potresa, se sprožijo procesi obveščanja. Postopki so v obeh primerih podobni, razlika je le v vstopnih podatkih. Podatki o potresu se zapišejo v datoteko, natisnejo na tiskalnik v kontrolni sobi, razpošljejo po elektronski pošti in s sporočili SMS ter se postavijo na spletno stran (slika 25). Na spletni strani je poleg podatkov o potresu možno videti tudi zapise potresa in grafično predstavljeno lokacijo s podatki o postajah, ki so potres zaznale. S podatki z domače strani lahko dežurni seizmolog v večini primerov v nekaj minutah potrdi, ali gre za potres, v katerem delu Slovenije je bilo nadžarišče in oceni magnitudo. Če je potrebno, lahko dežurni seizmolog potres analizira iz seizmogramov, ki so prav tako dostopni prek domače strani (slika 26).

Seizmogrami in rezultati procesiranja se zaradi varnosti shranjujejo na več mestih. Na obeh računalnikih imamo petdnevne zbirke neprekinjenih podatkov (KS-zbirke) na diskih RAID 1 in dvajsetdnevne neprekinjene podatke na navadnih diskih. Na navadnih diskih imamo tudi za leto dni surovih podatkov v časovnih intervalih okrog dogodkov (SD-zbirke). Časovni interval se določi glede na lokacijo potresa. Za lokalne potrese shranimo 4-minutni časovni interval, ki se začne 1 minuto pred prvim vstopom. Pri regionalnih potresih shranimo tipično 10 minut podatkov, pri oddaljenih pa je časovni interval odvisen od magnitude in je lahko dolg tudi 3 ure. Kontinuirani podatki se dnevno shranjujejo na DLT-trakove, podatki v časovnih intervalih okrog dogodkov pa se mesečno zapisujejo na nosilce CD oziroma DVD.



**Slika 26.** Ob potresu na območju Slovenije se nekaj minut po dogodku prikažejo osnovni podatki o potresu, zemljevid z lokacijo nadžarišča (rdeča zvezda) in zapisi potresa na opazovalnicah državne mreže (<http://www.arso.gov.si/potresi/podatki/aip/>)

**Figure 26.** A few minutes after an earthquake event in Slovenia, the basic data are displayed, including a map with the location of the epicentre (red star) and the recordings of the earthquake at seismic stations of the national network. (<http://www.arso.gov.si/potresi/podatki/aip/>)



Podatki so dostopni v realnem času zunanjim organizacijam prek Antelope in podatkovnih krožnih pomnilnikov SeisComP na zunanjem računalniku. Podatke iz 20-dnevne neprekinjene zbirke pa je možno dobiti prek zahtev AutoDRM. To pomeni, da je treba poslati elektronsko pošto z ustrezno vsebino na naslov [autodrm.lju@gov.si](mailto:autodrm.lju@gov.si), strežnik pa potem pošlje podatke pošiljatelju tudi prek elektronske pošte. Navodila za AutoDRM dobimo, če pošljemo elektronsko pošto z vsebino »help«.

## Sklepne misli

Izgradnja državne mreže potresnih opazovalnic je iz različnih razlogov trajala dlje kot je bilo prvotno zasnovano, v letu 2006 pa je bila vendarle dokončana. Poleg mnogo kakovostnejšega spremljanja potresne dejavnosti in omogočanja natančnejših izračunov potresnih parametrov, je za pristojne inštitucije in prebivalce Slovenije najpomembnejše mnogo hitrejše obveščanje in alarmiranje v primeru močnejših potresov. Vsak posameznik lahko v nekaj minutah po potresu, na spletnih straneh Agencije RS za okolje, najde osnovne podatke avtomatskega izračuna potresnih parametrov potresov, katerih žarišča so nastala na območju Slovenije in njene neposredne bližine. Naslov spletne strani je <http://www.arso.gov.si>. Ob kliku na Zadnji potresi v rubriki Bližnjice se pokaže preglednica potresov zadnjih dni. Ob kliku na magnitudo, se pokažejo zapisi potresa na potresnih opazovalnicah državne mreže, ob kliku na lokacijo pa se pokaže lega nadžarišča potresa na karti Slovenije.

## Literatura

- Bormann, P., Hanka, W., Trnkoczy, A., 1998. Seismic station site preparation. In: Bergman, E., Bormann, P. (eds.), *New manual of seismological observatory practice*, <http://www.seismo.com/msop/nmsop/nmsop.html>
- Bormann, P., Trnkoczy, A., 1998. Factors Affecting Seismic Site Quality and the Site Selection Procedure. In: Bergman, E., Bormann, P. (eds.), *New manual of seismological observatory practice*, <http://www.seismo.com/msop/nmsop>
- Buser, S., Draksler, V., 1990. Slovenija, geološka karta 1 : 500.000. Mladinska knjiga, Ljubljana.
- Digital Seismograph System. User Guide and Reference Manual, 1995. Nanometrics, Kanata, Kanada.
- 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 (ur. R. Vidrih), Publikacije ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 50-60, Ljubljana.
- 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 (ur. R. Vidrih), Publikacije ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 61-67, Ljubljana.
- Kinematics Inc., 2000. Kinematics proposal for Slovenia Seismic Network. Kinematics Inc, Pasadena, ZDA.

- Lapajne, J., Sinčič, P., Živčič, M., 1998. Načrti za posodobitev opazovanja opotresov v Sloveniji. Ujma 12, 153-155.
- Lesar, R., 1999. Analiza klimatskih pogojev za izbor lokacij potresnih opazovalnic v Sloveniji. Tehnično poročilo, arhiv URSG, 26. str.
- Operations Reference Manual for 72A Series Data Acquisition System, 1994, Reftek, Dallas, ZDA.
- Ravnik, J., Živčič, M., Trnkoczy, A., 2001. Modeliranje zmogljivosti mreže potresnih opazovalnic. Potresi v letu 1999 (ur. R. Vidrih), Publikacije ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 73-82, Ljubljana.
- Sinčič, P., Vidrih, R., 1993. Mreža potresnih opazovalnic v Sloveniji. Ujma 7, Uprava RS za zaščito in reševanje, 130-137, Ljubljana.
- Sinčič, P., Vidrih, R., 1995. Gradnja potresne opazovalnice. Ujma 9, Uprava RS za zaščito in reševanje, 185-189, Ljubljana.
- Sinčič, P., Vidrih, R., 1998. Razvoj instrumentalne seizmologije v Sloveniji (Ob 100-letnici prve potresne opazovalnice v Sloveniji). Zbornik za zgodovino naravoslovja in tehnike. Slovenska Matica v Ljubljani, 13-14, 135-166, Ljubljana.
- Sinčič, P., Vidrih, R., 2000. Modernisation of the State Network of Seismic station. XXVII General Assembly of the European Seismological Commission, 10-15 september 2000, Lisbon, Lisbon University, Book of Abstract and Papers, str. 119.
- Sinčič, P., Tasič, I., 2004. Seismic Data Transmission Using Mobile Communication, XXVIII General Assembly of the European Seismological Commission, Potsdam, 12-17 september, 2004. Abstracts, str 65.
- Sinčič, P., Vidrih, R., 2005. Seismic Observation In Urban Area (Seismic Network Around Ljubljana, Slovenia). International conference 250th anniversary of the 1755 Lisbon Earthquake, 1-4 november 2005, Lisbon. Proceedings, 222-228.
- Sinčič, P., Tasič, I., 2006. Real Time Seismic Data Transmission Used by Slovenian Seismic Network. European Geosciences Union, General Assembly 2006, 02-07 april 2006, Vienna. Abstract Vol8, 06550.
- Sinčič, P., Vidrih, R., 2006. Potek izgradnje državne mreže potresnih opazovalnic. Raziskave s področja geodezije in geofizike 2005. Zbornik predavanj, 7-21, Ljubljana.
- Stopar, R., 1999. Seizmične preiskave na lokacijah načrtovanih seizmoloških opazovalnic. Tehnično poročilo, Geoinženiring, 12 str.
- Tasič, I., 2004a. Seizmometer v vrtini. Potresi v letu 2002 (ur. R. Vidrih). Publikacije ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 86-94, Ljubljana.
- Tasič, I., 2004b. Sensors Calibration in Slovenian National Seismic Network , XXVIII General Assembly of the European Seismological Commission, Potsdam, 12-17 september, 2004. Abstract, str 65.
- Tasič, I., Sinčič, P., Gostinčar, M., Pfundner, I., 2005. Kalibracija senzorjev v državni mreži potresnih opazovalnic. Potresi v letu 2003 (ur. R. Vidrih), Publikacije ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 49-54, Ljubljana.
- Tasič, I., 2005. Seizmometer CMG – 40T. Potresi v letu 2003 (ur. R. Vidrih), Publikacije ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 89-94, Ljubljana.
- Tasič, I., Sinčič, P., Vidrih, R., 2006. The Stability of Transfer Function of Seismometers in Slovenian Seismic Network. European Geosciences Union, General Assembly 2006, 02-07 April 2006, Vienna. Abstrac Vol8, 06566.

- Trnkoczy A., Živčič, 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«, Luxembourg, November 18th-20th 1991. Cahiers du Centre European de Geodynamique et de Seismologie, Vol.5., 31-41.
- Vidrih, R., Godec, M., Gosar, A., Sinčič, P., Tasič, I., Živčič, M., 2002a. Mreža potresnih opazovalnic okoli JE Krško. Ujma 16, Uprava RS za zaščito in reševanje, 284-294, Ljubljana.
- Vidrih, R., Godec, M., Gosar, A., Sinčič, P., Tasič, I., Živčič, M., 2002b. Setting Up a Seismic Monitoring Station Network around the Krsko Nuclear Power Plant, XXVIII General Assembly of the European Seismological Commission, 1-6 september 2002, Genoa, University of Genoa, Italy, Book of Abstract, str. 90
- Vidrih, R., Godec, M., Gosar, A., Sinčič, P., Tasič, I., Živčič, M., 2003a. Setting Up a Seismic Monitoring Station Network around the Krsko Nuclear Power Plant, Seismological Research Letters, Volume 74, No 2, 252.
- Vidrih, R., Godec, M., Gosar, A., Sinčič, P., Tasič, I., Živčič, M., 2003b. Modernization of the Slovenian National Seismic Network, Seismological Research Letters, Volume 74, No 2, 252.
- Vidrih, R., Godec, M., Gosar, A., Sinčič, P., Tasič, I., Živčič, M., 2003c. Modernization of the Seismic Network of Slovenia, EGS-AGU-EGU Joint Assembly, Nice, 06-11 April.
- Vidrih, R., Godec, M., Gosar, A., Sinčič, P., Tasič, I., Živčič, M., 2003d. The Seismic Network Around The Krško Nuclear Power Plant, International Symposium on Seismic Evaluation of Existing Nuclear Facilities, Vienna Austria 2003, Book of invited and contributed papers, IAEA-CN-106, pp 335-338.
- Vidrih, R., Godec, M., Gosar, A., Sinčič, P., Tasič, I., Živčič, M., 2003e. Modernization of the Seismic Network of Slovenia, International Conference in Earthquake Engineering to Mark 40 Years from Catastrophic 1963 Skopje Earthquake and Successful City Reconstruction SE 40EEE, Abstract, pp 49.
- Vidrih, R., Godec, M., Gosar, A., Sinčič, P., Tasič, I., Živčič, M., 2003f. Nuclear Power Plant Krško Seismic Network, International Conference in Earthquake Engineering to Mark 40 Years from Catastrophic 1963 Skopje Earthquake and Successful City Reconstruction SE 40EEE, Abstract, pp 50.
- Vidrih, R., Godec, M., Gosar, A., Sinčič, P., Tasič, I., Živčič, M., 2004. New seismic network in NW Slovenia. European Seismological Commission, 29. General Assembly, Potsdam, 12-17 september, 2004. Abstract, str 63.
- Vidrih, R., Sinčič, P., Godec, M., 2005. New approach in seismic network design. International Conference on earthquake Engineering to mark 40 years of IZS, 27 avgust – 1. september, Skopje-Ohrid. Abstract str T8-15.
- Vidrih, R. (urednik), 2007. Državna mreža potresnih opazovalnic. Seismic Network of Slovenia, Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo, 288 str.
- Willmore, P.L. (ed.), 1979. Manual of seismological observatory practice (*Report SE-20*), World Data Centre A for Solid Earth Geophysics. Institute of Geological Sciences, Edinburgh, Scotland.
- Živčič, M., Kobal, M., Kolar, J., Pahor, J., 2005. Performance of the New Seismic Network of the Republic of Slovenia – First Results, NATO Advanced Research Workshop: Earthquake Monitoring and Seismic Hazard Mitigation in Balkan Countries, Borovetz, Bulgaria, 11-17 September 2005.
- Živčič, M., Bragato P.L., Costa, G., Horn, N., 2006, Seismic Network of the Republic of Slovenia and Transnational Seismological Networks in the South-eastern Alps, Gulf Seismic Forum 2006, Muscat, Oman, 19-22 February 2006.

Živčič, M., 2006, Seismic Network of the Republic of Slovenia, 30 anni dal Terremoto del Friuli 30 anni di Protezione Civile, Udine, Italy, 4-6 May 2006

# POSODOBITVE – KOMUNIKACIJSKI TUNEL ZA HRD–24 UPGRADING – HRD-24 COMMUNICATION TUNNEL

Izidor Tasič, Marko Mali

**Povzetek.** V Središču za obdelavo seizmičnih podatkov (SOP) se izvaja avtomatska lokacija potresa, ki je na voljo javnosti skoraj takoj po njegovem nastanku. Za izračun parametrov potresa potrebujemo tok seizmičnih podatkov iz potresnih opazovalnic v SOP v realnem času. Potresne opazovalnice opremljene s starejšo opremo (oprema podjetja Nanometrics) tega ne omogočajo. S postavitvijo serijskega tunela smo na dveh opazovalnicah, obe imata analogno digitalni pretvornik HRD24, omogočili pretok seizmičnih podatkov neposredno v Središče za obdelavo podatkov ter ju tako vključili v novi sistem.

**Abstract.** At the Seismology and Geology Office, Ljubljana for acquisition and processing of earthquakes, seismic data flow in real time is needed. For seismic station equipped with older acquisition units (producer Nanometrics), this type of data flow was not possible. With establishing of serial tunnels, two additional seismic stations, equipped with HRD24 acquisition units, were included in real time data acquisition and interpolation.

## Uvod

Digitalna mreža potresnih opazovalnic podjetja Nanometrics je bila instalirana v letih 1996 in 1997 (Sincic in sod., 1998). Več o njej smo pisali v prejšnjih publikacijah (Tasič 2001; Tasič 2004). Glavna pomanjkljivost potresnih opazovalnic tega tipa je IBM PC osebni računalnik s procesorjem Intel 80486, ki je za današnje razmere zastarel. Druga slabost so RD 3 analogno digitalni pretvorniki, ki nimajo vgrajene GPS ure, katera se nahaja v računalniku (Tasič, 2001). Boljši je nekoliko mlajši analogno-digitalni pretvornik HRD24, ki pa je nameščen samo na dveh Nanometrics-ovih opazovalnicah. Ravno tako proizvajalec operacijskega sistema, proizvajalec strojne opreme, kakor tudi proizvajalec seizmološke programske in strojne opreme, ne nudijo več podpore za te sisteme. Kot zanimivost pa je potrebno dodati, da ti osebni računalniki IBM še vedno delujejo, seizmološke podatke zajemajo in obdelujejo neprekinjeno štiriindvajset ur na dan, vse dni v letu, že več kot deset let (z krajšimi prekinitvami) odkar so postavljeni, kar govori o kvaliteti tedanjih namiznih računalnikov.

Leta 2000 smo začeli s posodobitvijo državne mreže potresnih opazovalnic, kjer za zajem in procesiranje seizmoloških podatkov skrbi programski paket Antelope (Kobal in sod., 2006), ki deluje na SUN delavni postaji, postavljeni v Središču za obdelavo podatkov (SOP) v Ljubljani. Ta program zajema in procesira seizmološke podatke v realnem času, za razliko od sistema Nanometrics (NMX), kjer se seizmološki podatki shranjujejo in avtomatsko obdelajo na lokaciji sami in šele naknadno (približno dve minuti po potresu) pošljejo v SOP (Tasič, 2004). Zaradi tega potresne opazovalnice tipa Nanometrics s svojimi podatki ne morejo sodelovati v avtomatskem izračunu lokacije potresa, ki poteka v realnem času na sistemu Antelope. Antelope sistem komunicira z zajemalnimi enotami preko zajemalnih modulov (Kobal in sod., 2006). Namen zajemalnih modulov je sprejem podatkov s senzorja in podatkov o stanju zajemalne enote ter njihovo posredovanje v podatkovni krožni pomnilnik. V Antelope ne obstaja modul za uvoz podatkov iz enote HRD-24, ker ta komunicira po protokolu RS232. Vendar Antelope omogoča komuniciranje s podatkovnimi

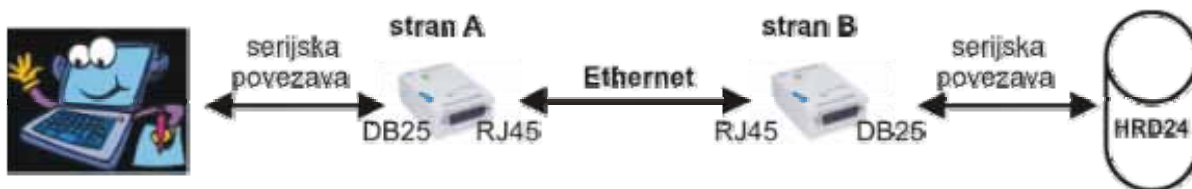


sistemi, kot je recimo SeisComP. SeisComP (The Seismological Communication Processor) je brezplačen programski paket, ki omogoča manipulacijo seizmičnih podatkov. Za razliko od Antelope sistema omogoča uvoz podatkov iz analogno-digitalnega pretvornika HRD24. Te podatke lahko v realnem času uvozimo v Antelope. Toda pred tem je potrebno podatke prenesti iz potresne opazovalnice, opremljene z HRD24 do SOP-ja. Potresni opazovalnici opremljeni z enoto HRD24 sta CESS in DOBS. V nadaljevanju bomo opisali sistem, ki omogoča prenos podatkov v realnem času iz omenjenih dveh opazovalnic do SOP.

### Vzpostavitev serijskega tunela

Protokol RS232 ima omejitve tako na dolžini kabla med dvema aparaturama, kakor tudi po številu naprav, ki so lahko priključene. Pri protokolu RS232 je največja dovoljena dolžina kabla odvisna od kvalitete kabla, nekako pa naj ne bi presegala razdalje 15 m, oziroma pri dobrih kablkih 50 m, v izjemnih primerih so možne tudi razdalje 95 m. Poleg tega je ta protokol predviden samo za povezavo med dvema napravama, ki se nahajata na obeh koncih kablov. Za večje razdalje je potrebno vzpostaviti serijski tunel. V primeru komunikacije TCP/IP lahko uporabimo pretvornike, kot je MSS100 podjetja Lantronix.

V testni fazi smo na lokaciji ARSO vzpostavili komunikacijo v obliki serijskega tunela med analogno digitalnim pretvornikom HRD-24 in osebnim računalnikom IBM z originalno Nanometrics strojno in programsko opremo (slika 1). Po tem, ko smo sistem stabilizirali (pravilna konfiguracija aparaturn Lantronix), smo prestavili sistem na potresno opazovalnico. Opisani primer velja za lokacijo CESS, se pa ne razlikuje bistveno od lokacije DOBS.



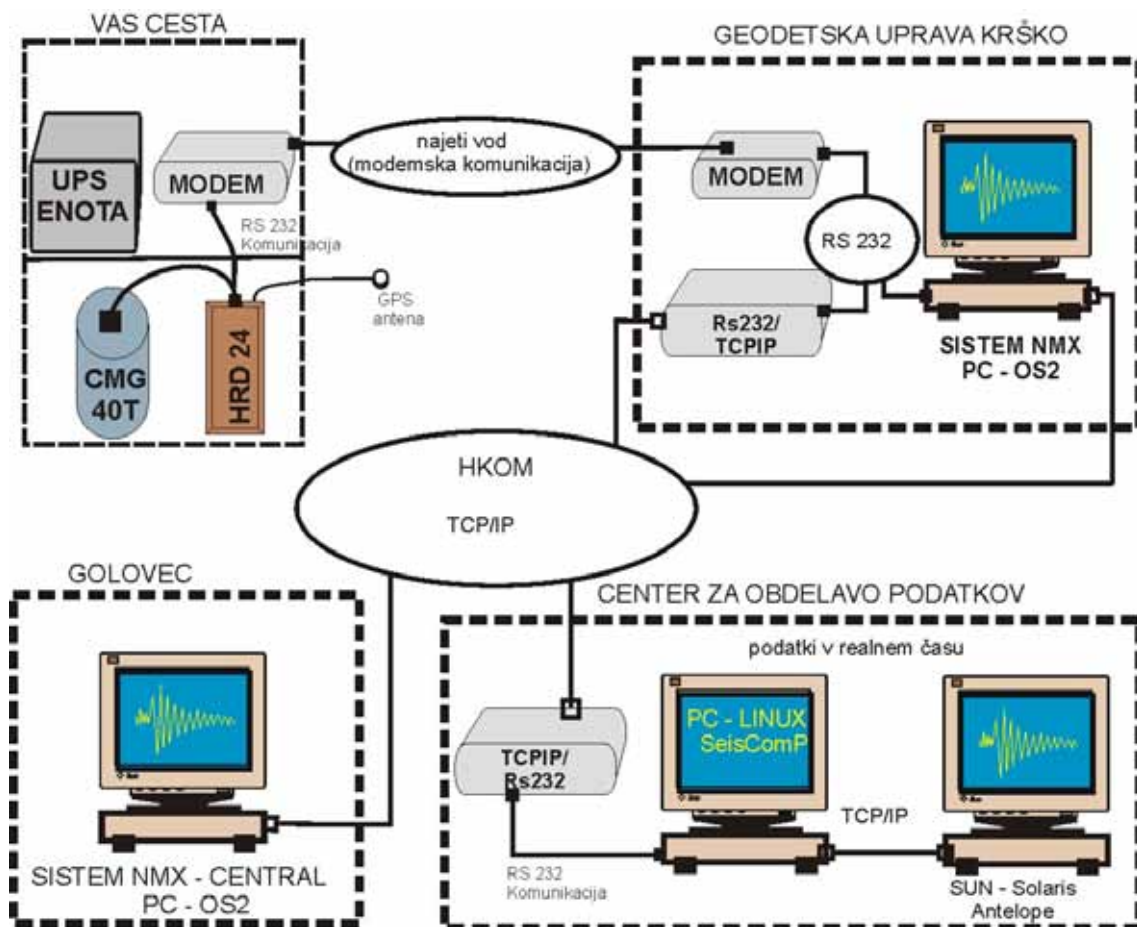
*Slika 1. Priključitev naprav v serijski tunel.*

*Figure 1. Serial tunnel for RS232 communication via TCP/IP.*

V bližini Krškega, v vasi Cesta, imamo postavljeno potresno opazovalnico CESS. Lokacija je opremljena s seizmometrom CMG 40T, analogno-digitalnim pretvornikom HRD24 z vgrajeno GPS uro, in modemom za najeto linijo, ki za komunikacijo z HRD24 uporablja protokol RS232. Podatki se shranjujejo v Krškem, na lokaciji Geodetska uprava, ker imamo postavljen osebni računalnik IBM, ki podatke prejema preko sekundarnega modema za najeto linijo. Podatki se tukaj shranjujejo na krožni pomnilnik, nekateri seizmični dogodki z dolžino do največ 10 minut, pa se po obdelavi podatkov z lokalnim programom kot možni zapisi potresa, avtomatsko pošljejo v SOP preko državnega računalniškega omrežja. Za transport toka seizmičnih podatkov v realnem času v SOP smo vzpostavili serijski tunel med lokacijo v Krškem in SOP v Ljubljani (Slika 2). Sistem smo vzpostavili 25. aprila 2006. S postavitvijo kot je opisana v nadaljevanju, smo obdržali osnovno konfiguracijo NMX sistema, istočasno pa smo omogočili prenos seizmičnih podatkov v realnem času v Ljubljano na novi sistem.

## Opis sistema

Na lokaciji CESS je nameščen trikanalni širokopasovni seizmometer CMG 40-T s frekvenčnim območjem med 50 in 0.03 Hz podjetja Guralp iz Velike Britanije, 24 bitni analogno digitalni pretvornik HRD24 podjetja Nanometrics, UPS naprava za 24 urno brez prekinitveno delovanje in modem za najeto linijo (podjetja MultiTech). Podatki se preko modema pošiljajo v realnem času v Krško. Na lokaciji Geodetska uprava je sprejemni modem za najeto linijo, ki pošilja podatke preko serijskih vrat (RS232) na osebni računalnik IBM z operacijskim sistemom OS/2 in programsko in strojno opremo, ki omogoča zajem, shranjevanje in vrednotenje seizmičnih podatkov. Podatki se po obdelavi, če lokalni algoritem tako izračuna, pošljejo (protokol TCP/IP) v Center za sistem Nanometrics, ki je nameščen v Ljubljani na Golovcu. Istočasno smo na izhodu iz modema signal razdelili in peljali na pretvornik RS232-TCP/IP. S tem smo prekršili pravilo, da lahko pri RS232 komunikaciji sodelujeta samo dve aparaturi, vendar pri testiranjih nismo ugotovili problemov. Pretvornik omogoča 'tunelniranje' serijske komunikacije na razdalji več kot 100 kilometrov, do Ljubljane v SOP, kjer imamo postavljen osebni računalnik z operacijskim sistemom Linux in SeisComP programsko opremo, ki nato pošilja podatke neposredno in istočasno v Antelope. Sistem deluje uspešno od postavitve.



*Slika 2. shematski prikaz prenašanja seizmičnih podatkov iz potresne opazovalnice v bližini Krškega do SOP v Ljubljani*

*Figure 2. Schematic presentation of seismic data flow from seismic station near Krško to Centre in Ljubljana*

## **Literatura**

Nanometrics, 1995. Digital Seismograph System Reference Manual, Nanometrics Inc., Kanata, Canada

Nanometrics, 1995. Digital Seismograph System User Guide, Nanometrics Inc., Kanata, Canada

Tasič, I., 2001. Digitalna mreža potresnih opazovalnic Nanometrics, Potresi v letu 1999, Agencija RS za okolje, 68-72, Ljubljana.

Tasic, I., 2001a. Opredelitev vstopa potresnih valov lokalnega potresa, Potresi v letu 1999, Agencija RS za okolje, 83-93, Ljubljana.

Tasic, I., 2003. Avtomatska lokacija dogodkov na mreži NMX, Potresi v letu 2001, Agencija RS za okolje, 58-65, Ljubljana.

Kobal, M., Čarman, M., Kolar, J., Pahor, J., Živčič M., 2006, Zajem in procesiranje seizmoloških podatkov s programskim paketom Antelope, Potresi v letu 2004, Agencija RS za okolje, 142-150, Ljubljana.

Sinčič, P., Vidrih, R., Deterding, M., 1998, Potresne opazovalnice v Sloveniji v letu 1997, Uprava RS za Geofiziko, 1-10, Ljubljana.

<http://www.gfz-potsdam.de/geofon/new/scp.html>.

# POTRESI V SLOVENIJI LETA 2006

## EARTHQUAKES IN SLOVENIA IN 2006

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

**Povzetek.** Potresna aktivnost v letu 2006 je bila dokaj majhna. Prebivalci so čutili več kot 36 potresnih sunkov. Najmočnejši potres je bil 15. januarja ob 2. uri in 41 minut po univerzalnem koordiniranem času (UTC) oziroma ob 3. uri in 41 minut po srednjeevropskem času z žariščem v bližini Mozirja. Njegova lokalna magnituda je bila 3,0 (ARSO, 2006-2007), največja intenziteta pa V EMS-98.

**Abstract.** Earthquake activity was low in 2006. The inhabitants felt more than 36 earthquakes. The most powerful earthquake was on 15 January at 2.41 UTC or 3.41 Central European time, with hypocentre in the vicinity of Mozirje. Its local magnitude was 3.0 (ARSO, 2005-2006), and the highest intensity V EMS-98.

### Uvod

Potresna aktivnost v letu 2006 v Sloveniji je bila dokaj majhna (ARSO, 2006-2007). Po januarskih potresih pri Raki, Mozirju in Samoborju na Hrvaškem se je februarja zatreslo najprej pri Rosalnicah, potem pri Kozjaku. Najmočnejši potres leta 2006 z žariščem v Sloveniji je bil 15. januarja ob 2. uri 41 minut po svetovnem koordiniranem času (UTC) oz. ob 3. uri 41 minut po srednjeevropskem času z žariščem v bližini Mozirja. Njegova lokalna magnituda je bila 3,0 (ARSO, 2006-2007), največja intenziteta pa V EMS-98 v krajih Podgorje pri Letušu, Mozirje, Dobletina, Kokarje in Nazarje. EMS je okrajšava za evropsko potresno lestvico (Grünthal, 1998a, 1998b). Sedem minut pred glavnim potresom je bil predpotres z magnitudo 2,3 in največjo intenziteto IV-V EMS-98. V marcu so prebivalci čutili potrese pri Prožinski vasi in Novem mestu. Aprila so sledili potresi pri Novi Gorici, Šmarju pri Jelšah, v Posočju, pri Kanalu in pri Trbovljah. .

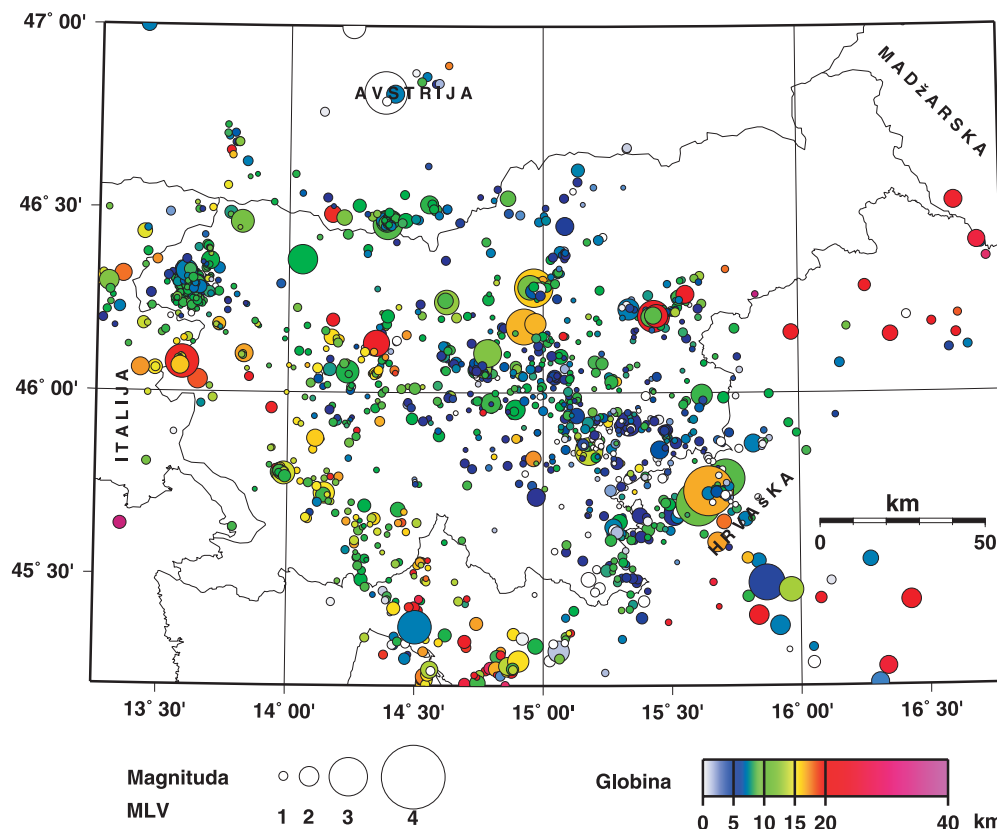
Maja so tresenje tal čutili v okolici Mozirja. Junija se je treslo v okolici Zagorja ob Savi. Julija so prebivalci Slovenije čutili le en potres, ki se je zgodil na Hrvaškem.

V avgustu smo zabeležili potrese pri Kostanjevici na Krki in Škofji Loki. Septembra se je streslo pri Kamniku, Brestu in Kranjski Gori. Oktobra so potresa čutili prebivalci Krškega polja, en potres je imel žarišče na Hrvaškem. Novembra smo zbirali podatke za potrese pri Magozdu in Bohinjski Beli. Decembra se je treslo pri Moravčah, Magozdu in Laškem.

Seizmografi državne mreže potresnih opazovalnic so leta 2006 zapisali več kot 1700 lokalnih potresov. Nadžarišča (epicentri) potresov, katerim smo lahko določili lokalno magnitudo in katerih lokacije so v Sloveniji, so prikazana na sliki 1. Velikost lokalne magnitude je ponazorjena z velikostjo krogca, medtem ko barva označuje globino potresnega izvora.

Prebivalci različnih območji Slovenije so v letu 2006 čutili več kot 36 potresnih sunkov. Nadžarišča (epicentri) teh potresov so prikazana na sliki 2. Velikost krogca označuje velikost lokalne magnitude, barva pa največjo intenziteto potresa, ki jo je potres dosegel. Sedem potresov je doseglo največjo intenziteto V EMS-98.

V preglednici 1 smo podali osnovne podatke 133 lokalnih potresov z opredeljeno lokalno magnitudo večjo ali enako 1,5 ter osem šibkejših potresov, ki so jih prebivalci Slovenije čutili. Za vsak potres posebej smo navedli datum (DAT.), žariščni čas (h:m:s UTC), koordinati nadžarišča (z. šir. °N, z. dolž. °E), žariščno globino (h km), povprečno vrednost lokalne magnitude ( $M_{LV}$ ), povprečno vrednost magnitude  $M_D$ , največjo intenziteto ( $I_{max}$  EMS 98), ki jo je potres dosegel, število opazovalnic (nst), ki so prispevale podatke, in srednjo vrednost kvadratov pogreškov (RMS s) pri izračunu žariščnega časa. V stolpcu "Potresno območje" smo za epicentre v Sloveniji v večini primerov podali ime najbližjega naselja in je navedeno v seznamu naselij Geodetske uprave RS (RGU, 1995).



**Slika 1.** Nadžarišča potresov v letu 2006, ki smo jim določili žariščni čas, instrumentalni koordinati epicentra in globino žarišča. Barva simbola ponazarja žariščno globino, njegova velikost pa vrednost lokalne magnitude  $M_{LV}$ . Slika je bila narejena s programom GMT (Wessel in Smith, 1991, 1998).

**Figure 1.** Distribution of epicentres in 2006, whose focal times, epicentral coordinates and focal depths were calculated; coloured symbols of varying sizes give information on focal depth and local magnitude  $M_{LV}$ . Figure was produced with GMT software (Wessel and Smith, 1991, 1998).

Za opredelitev osnovnih parametrov potresov podanih v preglednici 1 smo uporabili vse razpoložljive analize potresov na potresnih opazovalnicah državne mreže v Sloveniji (ARSO, 2006-2007) ter v Avstriji (ZAMG, 2006-2007), na Hrvaškem (GZAM, 2006-2007) in v Italiji (OGS, 2007). 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 (Michellini in sod., 1997), in

model za površinsko valovanje (Živčič 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:

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

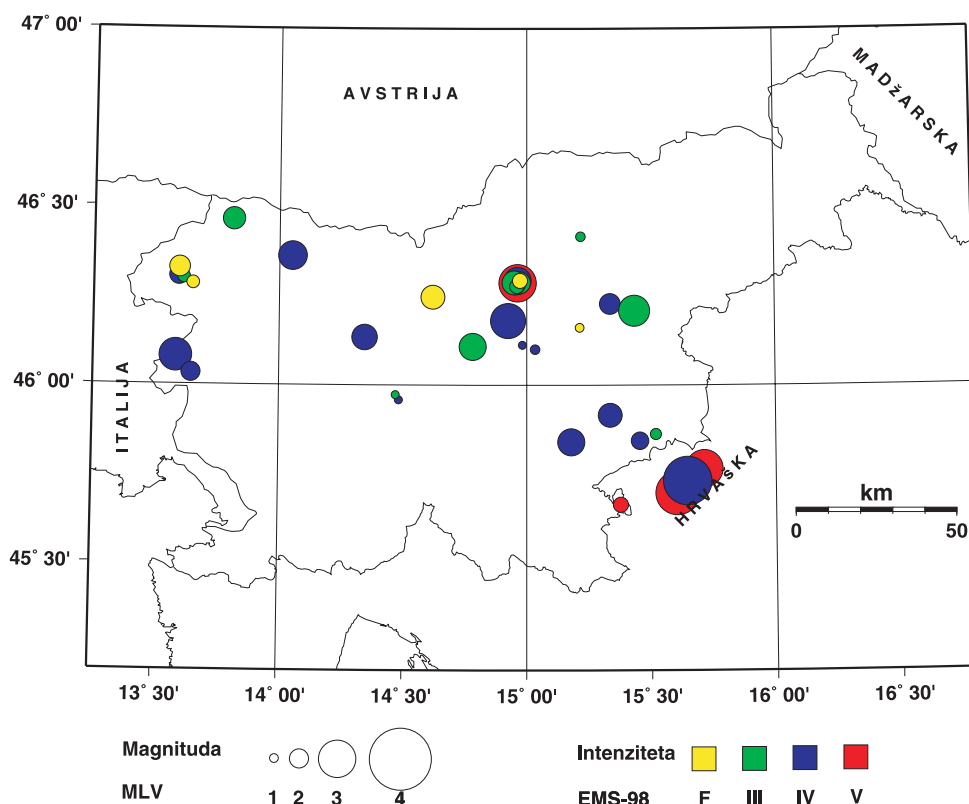
kjer je  $D$  oddaljenost nadžarišča v kilometrih. V preglednici 1 je podana povprečna vrednost  $M_{LV}$  za opazovalnice v Sloveniji.

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

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

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

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



**Slika 2.** Nadžarišča potresov, ki so jih v letu 2006 čutili prebivalci Slovenije. Barva simbola ponazarja maksimalno doseženo intenziteto v Sloveniji, njegova velikost pa vrednost lokalne magnitude  $M_{LV}$ . Slika je bila narejena s programom GMT (Wessel in Smith, 1991, 1998).

**Figure 2.** Epicentres of earthquakes felt in Slovenia in 2006. Size of symbols represents local magnitude and colour represents maximal intensity. Figure was produced with GMT software (Wessel and Smith, 1991, 1998).

št.	dat.	h:m:s	z. šir.	z. dolž.	h	nst	RMS	M <sub>LV</sub>	M <sub>b</sub>	I <sub>max</sub>	potresno območje
		UTC	°N	°E	km		s			EMS 98	
no.	date	h:m:s	lat	lon	h	nst	RMS	M <sub>LV</sub>	M <sub>b</sub>	I <sub>max</sub>	epicentral area
		UTC	°N	°E	km		s			EMS 98	
1	2. 1.	17:53:45,9	45,91	15,34	7	31	0,4	2,3	2,7	IV	Štrit - Raka
2	8. 1.	15:35:8,6	46,44	13,44	15	28	0,4	1,6	2,2		Valbruna, Italija
3	11. 1.	10:1:52,8	46,32	13,61	9	18	0,3	1,9	2,2		Kal-Koritnica
4	12. 1.	20:1:1,8	46,48	14,17	17	21	0,3	1,7	2,5		Vajnež, meja Slovenija - Avstrija
5	13. 1.	3:11:52,1	45,68	14,43	11	20	0,3	1,6	1,9		Mašun
6	15. 1.	2:34:47,7	46,29	14,96	18	37	0,5	2,3	2,9	IV-V	Čreta pri Kokarjah
7	15. 1.	2:38:53,3	46,29	14,97	14	32	0,5	2,2	2,5	III	Čreta pri Kokarjah
8	15. 1.	2:38:58,8	46,29	14,96	13	8	0,4	2,5	1,7	IV	Čreta pri Kokarjah
9	15. 1.	2:41:50,2	46,28	14,96	15	81	0,5	3,0	3,2	V	Čreta pri Kokarjah
10	15. 1.	2:42:47,1	46,29	14,97	9	6	0,3	1,7			Dobrovlje
11	15. 1.	2:43:37,5	46,29	14,97	11	9	0,4	1,7		čutili	Dobrovlje
12	15. 1.	5:20:37,3	46,29	14,95	13	30	0,5	2,3	1,6	III	Čreta pri Kokarjah
13	20. 1.	1:1:21,2	46,47	14,39	11	23	0,4	1,9	2,7		Košuta, meja Slovenija - Avstrija
14	21. 1.	6:19:59,0	46,46	14,40	13	33	0,4	2,4	2,9		Košuta, meja Slovenija - Avstrija
15	23. 1.	21:29:4,2	45,77	15,71	12	86	0,4	3,0	3,3	V	Rude, Hrvaška
16	26. 1.	4:52:17,0	46,47	14,38	11	29	0,4	1,6	2,5		Košuta, meja Slovenija - Avstrija
17	26. 1.	12:25:24,1	46,46	14,38	11	29	0,4	1,7	2,6		Košuta, meja Slovenija - Avstrija
18	26. 1.	13:59:50,7	46,46	14,38	10	30	0,3	1,8	2,4		Košuta, meja Slovenija - Avstrija
19	26. 1.	15:42:26,2	46,46	14,40	13	49	0,4	2,6	3,0		Košuta, meja Slovenija - Avstrija
20	26. 1.	16:50:15,9	46,47	14,38	11	28	0,4	2,1	2,2		Košuta, meja Slovenija - Avstrija
21	26. 1.	18:19:45,1	46,47	14,37	7	31	0,3	1,6	2,4		Košuta, meja Slovenija - Avstrija
22	26. 1.	20:23:5,5	46,46	14,38	12	31	0,3	1,7	2,3		Košuta, meja Slovenija - Avstrija
23	30. 1.	14:6:25,7	45,73	14,15	13	47	0,5	2,1	2,5		Rakulik
24	30. 1.	14:22:38,1	45,68	15,51	7	28	0,4	1,8			Kostanjevac, Hrvaška
25	30. 1.	14:23:57,0	45,67	15,51	6	32	0,4	2,1	2,4		Kostanjevac, Hrvaška
26	30. 1.	16:44:34,6	45,72	14,14	11	29	0,4	1,5	2,0		Rakulik
27	2. 2.	23:38:6,0	45,49	14,29	10	6	0,2	1,5			Jelšane
28	3. 2.	8:17:18,5	45,66	15,38	5	16	0,3	1,7	2,0	V	Drašiči
29	12. 2.	14:31:10,4	46,10	13,82	16	32	0,3	1,6	2,2		Dolenja Trebuša
30	12. 2.	14:35:10,8	46,11	13,83	15	16	0,2	1,6	1,9		Dolenja Trebuša
31	12. 2.	14:41:25,3	46,10	13,83	17	33	0,3	1,9	2,5		Dolenja Trebuša
32	15. 2.	4:15:33,9	46,10	15,07	11	32	0,4	1,6	2,2		Dobovec
33	19. 2.	15:42:35,6	46,06	14,17	8	27	0,4	1,5	2,3		Žirovski Vrh nad Zalo
34	27. 2.	13:19:6,9	46,42	15,22	7	15	0,2	1,2		III	Mislinja
35	28. 2.	16:48:55,6	46,18	13,73	16	18	0,2	1,5	1,7		Tolmin
36	10. 3.	21:48:28,7	46,36	13,70	9	40	0,4	1,9	2,4		Soča
37	11. 3.	2:12:48,0	46,23	15,34	12	35	0,4	2,1	2,5	IV	Ogorevc



št.	dat.	h:m:s	z. šir.	z. dolž.	h	nst	RMS	M <sub>LV</sub>	M <sub>D</sub>	I <sub>max</sub>	potresno območje
		UTC	°N	°E	km		s			EMS 98	
no.	date	h:m:s	lat	lon	h	nst	RMS	M <sub>LV</sub>	M <sub>D</sub>	I <sub>max</sub>	epicentral area
		UTC	°N	°E	km		s			EMS 98	
38	17. 3.	23:53:0,3	46,06	13,49	14	29	0,3	1,6	2,5		Golo Brdo
39	19. 3.	9:7:53,3	46,49	13,77	8	18	0,2	1,5	2,1		Podkoren
40	20. 3.	23:12:3,9	45,84	15,18	12	51	0,5	2,5	3,1	IV	Ždinja vas
41	31. 3.	10:4:20,5	45,63	15,41	9	8	0,2	1,5			Rakovec
42	1. 4.	19:8:36,2	46,03	13,64	15	19	0,2	1,2	2,2	IV	Grgarske Ravne
43	1. 4.	19:11:1,7	46,03	13,65	17	34	0,3	2,0	2,7	IV	Grgarske Ravne
44	3. 4.	18:25:41,1	46,53	14,86	12	9	0,3	1,7			Mežica
45	6. 4.	0:2:54,5	46,07	14,75	9	29	0,3	1,6	1,8		Zgornja Jevnica
46	10. 4.	8:35:21,1	46,21	15,43	18	42	0,4	2,7	2,7	III	Stopšče
47	15. 4.	11:23:6,5	46,28	13,28	10	19	0,3	1,6	2,3		Lusevera, Italija
48	21. 4.	0:55:13,4	46,30	13,60	8	26	0,3	2,0	2,3	IV	Čezsoča
49	22. 4.	12:28:53,0	45,66	15,52	7	14	0,4	1,5			Kostanjevac, Hrvaška
50	23. 4.	16:21:36,6	46,09	13,59	18	62	0,4	2,7	3,3	IV-V	Ukanje
51	28. 4.	10:47:57,2	46,18	14,92	15	72	0,5	2,9	3,1	IV-V	Jelenk
52	5. 5.	23:39:23,6	46,08	15,20	9	14	0,4	1,5	2,9		Čelovnik
53	9. 5.	4:37:54,5	46,06	14,74	10	34	0,4	1,8	2,4		Zgornja Jevnica
54	17. 5.	3:36:1,5	46,04	15,05	6	22	0,2	1,6	2,9		Zagozd
55	23. 5.	3:51:41,8	46,61	15,14	7	4	0,0	1,5			Gortina
56	23. 5.	14:53:48,3	45,65	15,30	10	4	0,1	1,7			Krivoglavice
57	30. 5.	8:11:35,1	46,28	14,96	6	21	0,5	1,6		III	Čreta
58	30. 5.	8:12:39,6	46,28	14,99	0	14	0,5	1,5	1,5		Dobrovlje
59	31. 5.	21:25:32,5	46,52	16,62	25	13	0,2	1,9			Dobri, Madžarska
60	9. 6.	23:47:10,5	46,29	13,64	8	32	0,3	1,9	2,3		Drežniške Ravne
61	17. 6.	2:9:10,1	45,70	15,68	18	27	0,5	1,6			Plešivica, Hrvaška
62	20. 6.	4:24:32,5	46,47	14,46	10	29	0,4	1,6	1,8		Trstenik, Hrvaška
63	20. 6.	20:35:12,8	45,49	15,18	0	3	0,2	1,6			Gornji Suhor pri Vinici
64	21. 6.	6:18:34,4	45,37	14,50	7	52	0,5	2,8	3,0		Cernik Primorski, Hrvaška
65	22. 6.	12:49:25,9	46,11	14,98	6	11	0,3	0,9		IV	Zagorje ob Savi
66	24. 6.	1:48:42,3	46,15	14,17	15	31	0,3	1,7	2,3		Dolenčice
67	4. 7.	4:25:27,9	46,21	15,42	12	27	0,5	2,0			Črnolica
68	5. 7.	1:21:35,6	46,10	15,03	4	14	0,3	1,2		IV	Zagorje ob Savi
69	5. 7.	10:27:11,5	45,63	15,26	7	16	0,3	1,8	2,5		Dolnje Dobravice
70	11. 7.	21:58:8,0	46,03	15,27	9	17	0,3	1,5	1,9		Orehovo
71	14. 7.	15:8:34,3	45,97	14,79	12	29	0,3	2,0	2,3		Sela pri Višnji Gori
72	15. 7.	12:59:53,2	46,00	15,62	13	12	0,4	2,1	2,5		Silovec
73	16. 7.	2:26:31,3	46,48	14,22	13	11	0,3	1,7	1,3		Wind. Bleiberg, Avstrija
74	17. 7.	2:38:9,8	45,95	14,89	11	20	0,3	2,0	2,1		Dolenja vas pri Temenici
75	19. 7.	2:34:6,0	45,70	15,61	13	87	0,4	3,4	3,3	V	Gorica Svetojanska, Hrvaška
76	20. 7.	21:13:37,9	45,70	15,60	12	25	0,3	1,7	2,1		Gorica Svetojanska, Hrvaška

št.	dat.	h:m:s	z. šir.	z. dolž.	h	nst	RMS	M <sub>LV</sub>	M <sub>b</sub>	I <sub>max</sub>	potresno območje
		UTC	°N	°E	km		s			EMS 98	
no.	date	h:m:s	lat	lon	h	nst	RMS	M <sub>LV</sub>	M <sub>b</sub>	I <sub>max</sub>	epicentral area
		UTC	°N	°E	km		s			EMS 98	
77	3. 8.	3:58:51,2	45,74	15,67	10	24	0,4	1,9			Plešivica, Hrvaška
78	3. 8.	19:29:12,2	45,88	14,11	16	23	0,3	1,8	2,4		Vodice
79	6. 8.	2:16:42,5	45,82	14,96	17	23	0,4	1,7	2,0		Stavča vas
80	6. 8.	11:14:4,5	46,19	14,97	17	25	0,5	2,1	2,3		Razbor pri Čemšeniku
81	11. 8.	18:2:32,1	45,84	15,45	6	20	0,2	1,9	2,1	IV-V	Jablance
82	15. 8.	16:14:50,7	46,31	13,33	19	30	0,4	1,8	2,4		Musi, Italija
83	22. 8.	17:1:58,9	46,30	13,64	4	11	0,2	1,5	1,9		Lepena
84	23. 8.	12:26:33,8	45,72	14,97	7	15	0,2	1,9	2,1		Pugled pri Starem Logu
85	30. 8.	22:38:41,9	46,14	14,35	20	44	0,4	2,4	2,7	IV	Draga
86	2. 9.	4:12:29,9	45,78	14,00	15	32	0,4	1,8	2,4		Lozice
87	2. 9.	17:13:46,7	45,79	13,96	14	8	0,1	1,5			Orehovica
88	2. 9.	17:13:54,3	45,78	13,98	10	9	0,2	1,7			Podbreg
89	3. 9.	0:12:44,9	45,78	13,98	16	8	0,2	1,8	2,3		Podbreg
90	3. 9.	11:8:31,1	45,78	13,98	14	8	0,2	2,0	2,3		Podbreg
91	3. 9.	17:14:16,5	45,78	13,97	14	7	0,1	1,7	1,9		Vrabče
92	3. 9.	20:21:7,9	45,78	13,97	12	6	0,1	1,9			Vrabče
93	3. 9.	20:23:19,2	46,21	14,39	12	6	0,3	1,5	1,4		Breg ob Savi
94	4. 9.	14:58:3,0	45,78	13,98	14	8	0,2	1,7			Podbreg
95	4. 9.	14:58:35,7	45,78	13,98	13	8	0,2	1,7			Podbreg
96	4. 9.	14:58:53,0	45,78	13,98	11	8	0,2	1,8			Podbreg
97	5. 9.	7:31:22,0	45,78	14,00	14	25	0,4	1,6	2,2		Lozice
98	5. 9.	7:32:43,0	45,78	13,98	13	18	0,2	1,5	1,9		Podbreg
99	5. 9.	10:32:46,1	45,78	13,99	13	18	0,2	1,6	2,2		Podbreg
100	5. 9.	16:54:7,1	46,31	13,61	7	24	0,3	1,6	2,3		Kal-Koritnica
101	9. 9.	16:0:54,3	45,78	14,00	13	20	0,3	1,6	2,2		Lozice
102	11. 9.	5:19:20,8	45,97	14,47	5	5	0,3	0,9	0,9	III	Ig
103	11. 9.	17:55:54,0	46,05	14,24	11	35	0,4	2,2	2,6		Butajnova
104	12. 9.	12:52:41,8	46,25	14,62	13	35	0,4	2,3	2,7	IV	Podjelše
105	12. 9.	14:4:21,3	46,25	14,62	12	26	0,4	1,7	2,2		Kršič
106	12. 9.	18:55:11,8	45,96	14,48	4	8	0,4	0,9		čutili	Ig
107	12. 9.	22:0:4,6	46,47	13,81	12	53	0,4	2,2	2,7	III-IV	Log
108	15. 9.	14:57:29,5	46,08	13,59	14	24	0,3	1,9	2,5		Zapotok
109	21. 9.	14:0:32,2	45,78	13,99	15	23	0,3	1,8	2,4		Podbreg
110	24. 9.	10:13:26,6	45,78	14,00	14	37	0,4	2,2	2,7		Lozice
111	25. 9.	18:17:12,1	46,32	13,27	16	15	0,2	1,6	1,9		Musi, Italija
112	26. 9.	18:28:58,4	45,78	13,98	13	12	0,2	1,5	2,7		Podbreg
113	29. 9.	2:33:34,1	46,06	14,77	9	29	0,3	1,7	1,7		Mala Štanga
114	29. 9.	13:36:22,8	45,94	15,13	6	10	0,1	1,7			Gorenja vas pri Mokronogu
115	3. 10.	6:17:52,6	46,21	15,44	10	12	0,3	1,5			Stopče

št.	dat.	h:m:s	z. šir.	z. dolž.	h	nst	RMS	M <sub>LV</sub>	M <sub>D</sub>	I <sub>max</sub>	potresno območje
		UTC	°N	°E	km		s			EMS 98	
no.	date	h:m:s	lat	lon	h	nst	RMS	M <sub>LV</sub>	M <sub>D</sub>	I <sub>max</sub>	epicentral area
		UTC	°N	°E	km		s			EMS 98	
116	13. 10.	3:19:24,3	45,86	15,52	6	13	0,3	1,3		III	Cerklje ob Krki
117	23. 10.	0:48:26,7	46,16	15,97	23	16	0,3	1,7			Gregurevac, Hrvaška
118	23. 10.	21:4:44,6	46,51	14,55	11	12	0,4	1,9	1,4		Eisenkappel, Avstrija
119	25. 10.	19:48:2,9	46,20	14,18	20	29	0,4	1,5	2,2		Ojstri Vrh
120	26. 10.	6:34:29,9	46,07	13,44	14	32	0,4	1,9	2,7		Prepotto, Italija
121	28. 10.	13:55:29,5	45,73	15,64	17	95	0,5	3,5	3,7	IV	Braslovje, Hrvaška
122	28. 10.	14:3:17,6	45,73	15,71	5	10	0,1	1,5			Plešivica, Hrvaška
123	28. 10.	14:10:34,2	45,73	15,64	7	9	0,4	1,5			Braslovje, Hrvaška
124	6. 11.	6:55:31,3	45,37	14,74	17	17	0,4	1,5	1,6		Lokve, Hrvaška
125	8. 11.	0:18:47,2	46,30	13,61	8	6	0,2	1,4	2,0	III-IV	Lepena
126	11. 11.	13:21:19,5	46,46	15,09	6	9	0,2	1,9			Podgorje
127	12. 11.	13:43:6,8	46,21	15,45	19	26	0,4	2,2	2,4		Tratna pri Grobelnem
128	12. 11.	14:25:0,2	46,26	15,53	12	18	0,3	1,7			Nova vas pri Šmarju
129	14. 11.	14:50:27,3	46,30	13,63	7	11	0,3	1,6	1,8		Lepena
130	22. 11.	6:58:28,6	46,21	15,43	12	25	0,4	1,8			Stopče
131	24. 11.	0:55:54,9	46,37	14,06	10	76	0,6	2,6	3,0	IV	Krnica
132	24. 11.	8:34:44,9	46,06	14,76	13	31	0,4	1,8	2,1		Mala Štanga
133	29. 11.	14:55:50,0	46,29	13,64	8	27	0,3	1,7	2,1		Lepena
134	1. 12.	18:42:2,8	46,51	14,28	10	5	0,3	1,5			Strmec, Hrvaška
135	8. 12.	17:34:20,0	46,11	14,78	13	52	0,5	2,5	2,8	III-IV	Ribče
136	11. 12.	0:52:15,8	46,33	13,61	7	31	0,3	2,1	2,7	čutili	Kal-Koritnica
137	12. 12.	19:26:59,4	46,29	13,65	7	14	0,2	1,5	1,8	čutili	Lepena
138	22. 12.	8:4:1,0	45,86	15,82	7	13	0,3	1,9			Strmec, Hrvaška
139	23. 12.	8:39:25,6	46,16	15,21	7	6	0,3	0,4		čutili	Laško
140	24. 12.	10:39:36,3	46,27	15,56	20	31	0,4	1,9	1,6		Beli Potok pri Lembergu
141	26. 12.	19:47:13,9	45,41	14,42	15	20	0,4	1,5	1,8		Studena, Hrvaška

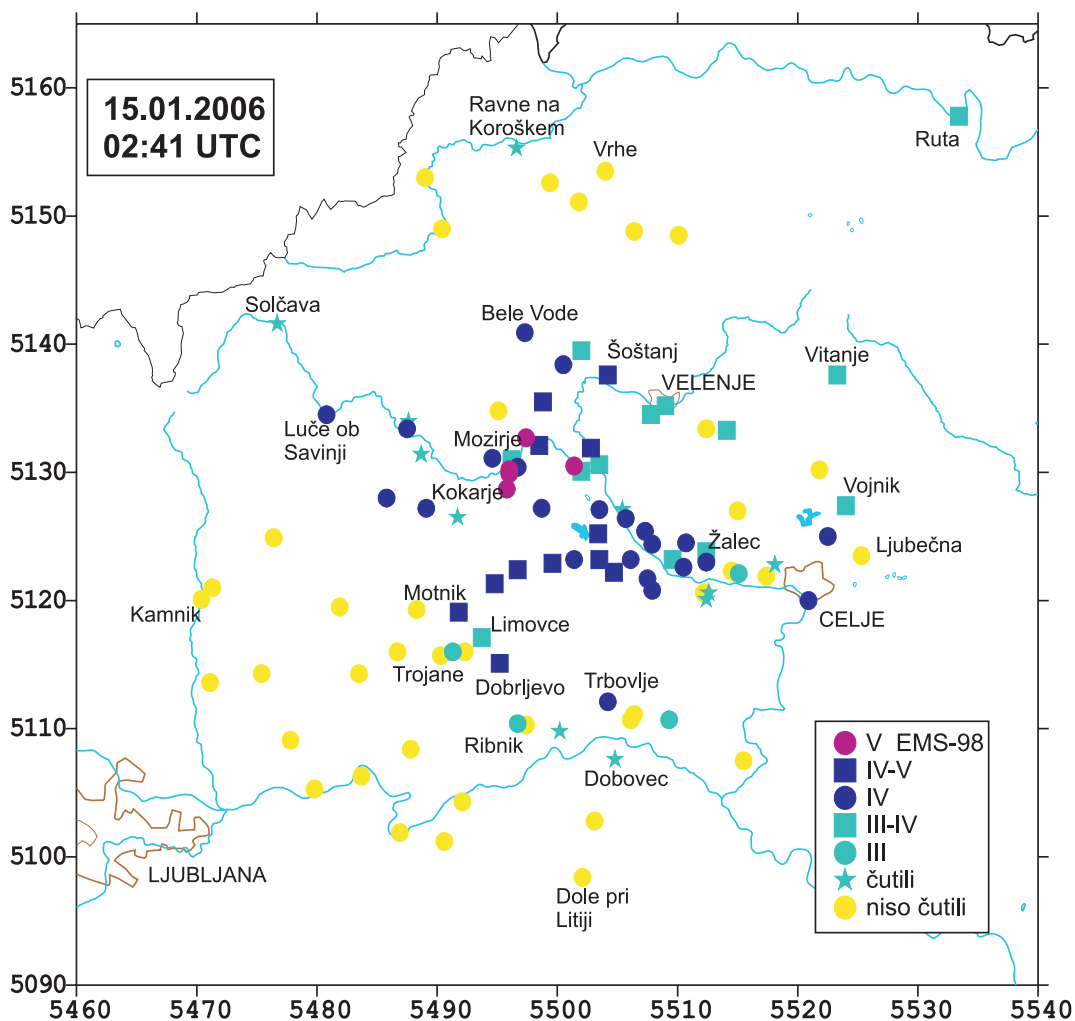
**Preglednica 1.** Seznam potresov leta 2006, ki imajo lokalno magnitudo večjo ali enako 1,5 in smo jim lahko izračunali žariščni čas, instrumentalni koordinati nadžarišča (epicentra) in globino žarišča. Pri nekaterih potresih je navedena še največja intenziteta. V preglednici je tudi 8 potresov manjše lokalne magnitude, ki so jih čutili prebivalci Slovenije.

**Table 1.** List of earthquakes with  $M_{LV} \geq 1,5$  in 2006 for which the hypocentral time, coordinates of epicentre and focal depth were calculated; the maximum intensity of some earthquakes is also provided. Information about 8 earthquakes with weaker magnitude, that were felt by inhabitants of Slovenia, is also included.

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

V tem 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

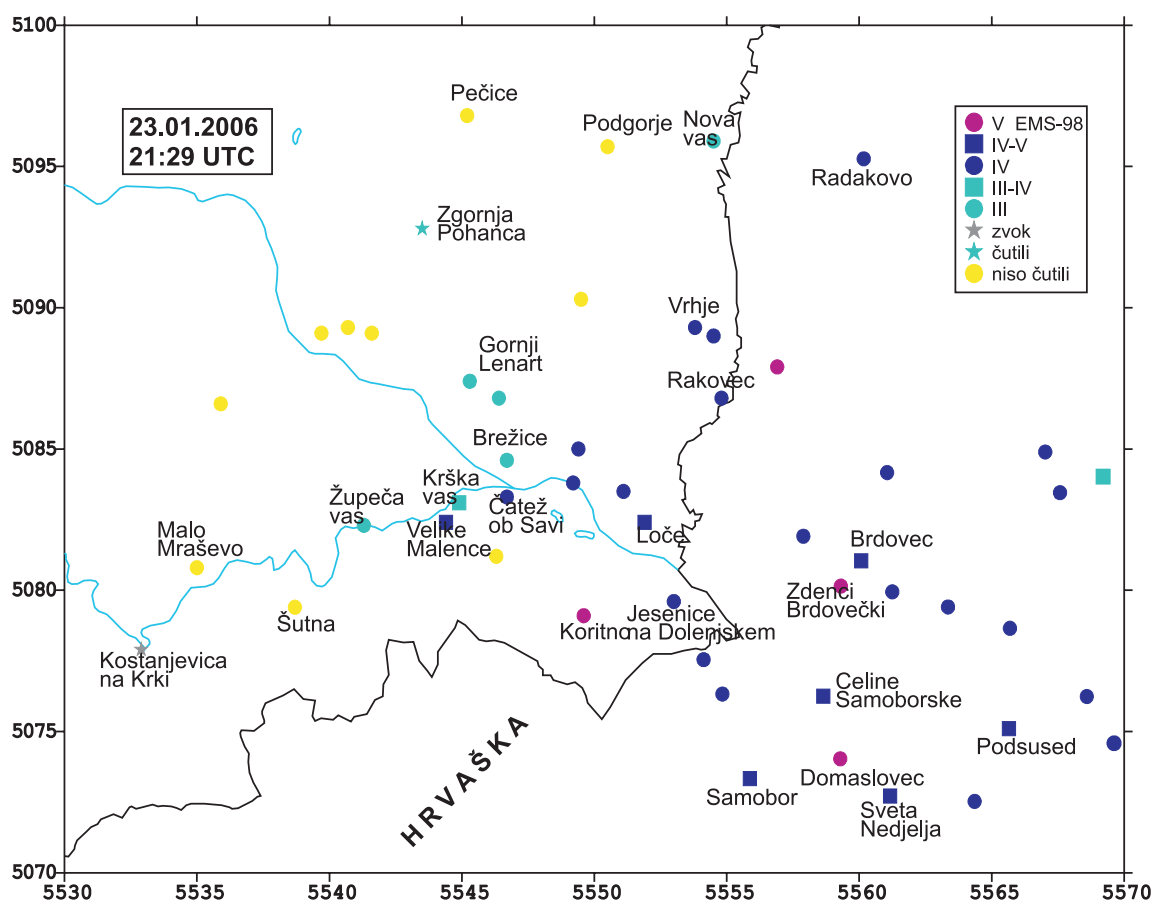
dogodkov ni bilo mogoče predstaviti učinkov vseh. Na sliki 10 so prikazane največje intenzitete za vse potrese, ki so jih v letu 2006 v posameznih krajih čutili prebivalci Slovenije.



**Slika 3.** Intenziteta potresa 15. januarja 2006 ob 2. uri in 41 minut po UTC v posameznih naseljih.

**Figure 3.** Intensity of earthquake on 15 January 2006 at 2.41 UTC in individual settlements.

**15. januar ob 2. uri 34 minut ter ob 2. uri in 41 minut po UTC.** Najmočnejši potres z žariščem v Sloveniji v letu 2006, ki so ga prebivalci čutili, se je zgodil 15. januarja ob 2. uri 41 minut UTC (oziroma 3. uri 41 minut po lokalnem, srednjeevropskem času) v bližini Nazarij (slika 3). Magnituda tega dogodka je bila 3,0. Potres so čutili prebivalci Nazarij, Mozirja, Vranskega, Polzele, Gomilskega, Tabora, Motnika; Gornjega Grada; Braslovč; Šmartnega ob Dreti, Šmartnega ob Paki, Rečice ob Savinji, Trojan, Šoštanja, Dola pri Hrastniku, Prebolda, Šempetra v Savinjski dolini, Petrovč, Velenja, Trbovelj, Dobovca, Griž, Ljubnega ob Savinji, Žalca, Topolšice, Kisovca, Luč ob Savinji, Čemšenika, Vitanj, Celja, Vojnika, Raven na Koroškem, Solčave, Škofje vasi in številnih okoliških krajev. Prebivalci v nadžariščem območju so čutili številne predpotrese in popotrese, najbolj pa ob 2. uri 34 minut UTC, ko je intenziteta v Praprečah, Prekopi in Polzeli bila IV-V EMS-98. Iz Nazarij so poročali o rahlih poškodbah na ometu nekaterih hiš.



**Slika 4.** Intenziteta potresa 23. januarja 2006 ob 21. uri 29 minut po UTC v posameznih naseljih.  
**Figure 4.** Intensity of earthquake on 23 January 2006 at 21.29 UTC in individual settlements.

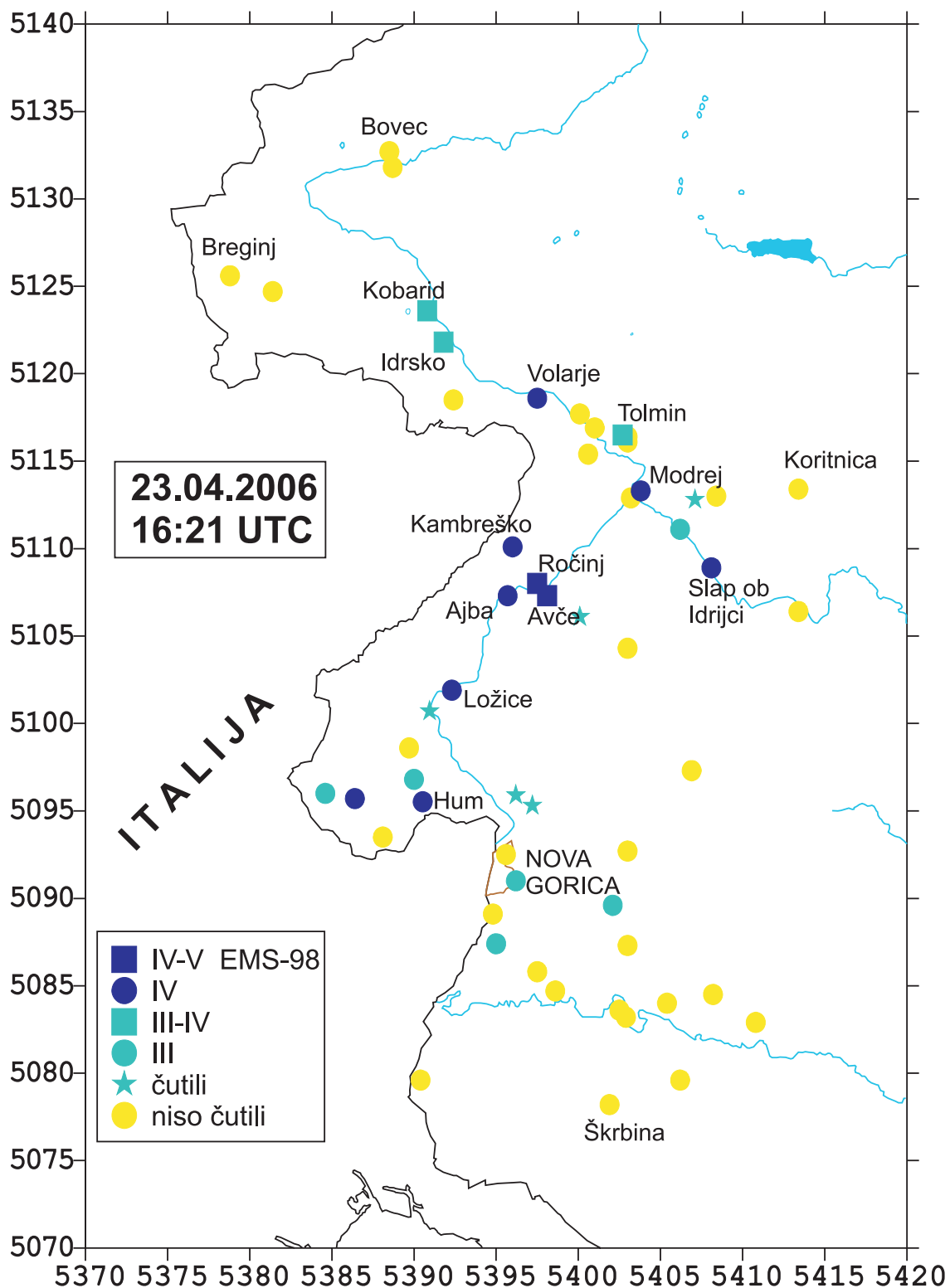
**23. januar 2006 ob 21. uri 29 minut po UTC.** Potres z magnitudo 3,0, ki se je zgodil v okolici hrvaškega mesta Samobor, je na obeh straneh meje imel učinke V. stopnje po intenzitetni lestvici EMS-98 (slika 4). V Sloveniji so ga najmočneje čutili v kraju Koritno, na Hrvaškem pa v krajih Domaslovec, Kraj Gornji, Lučko, Malunje in Zdenči Brdovečki. prebivalci so poročali o močnem poku, ki jih je ob tresenju tal dodobra prestrašil. Na Koritnem je potres povzročil tudi nekaj razpok v ometu.

**23. april 2006 ob 16. uri 21 minut po UTC.** Zmerno tresenje tal z intenziteto IV-V EMS-98 je najbolj prestrašilo prebivalce Avč in Ročinja (slika 5). Nekateri so mislili, da gre za močno miniranje na gradbišču elektrarne Avče.

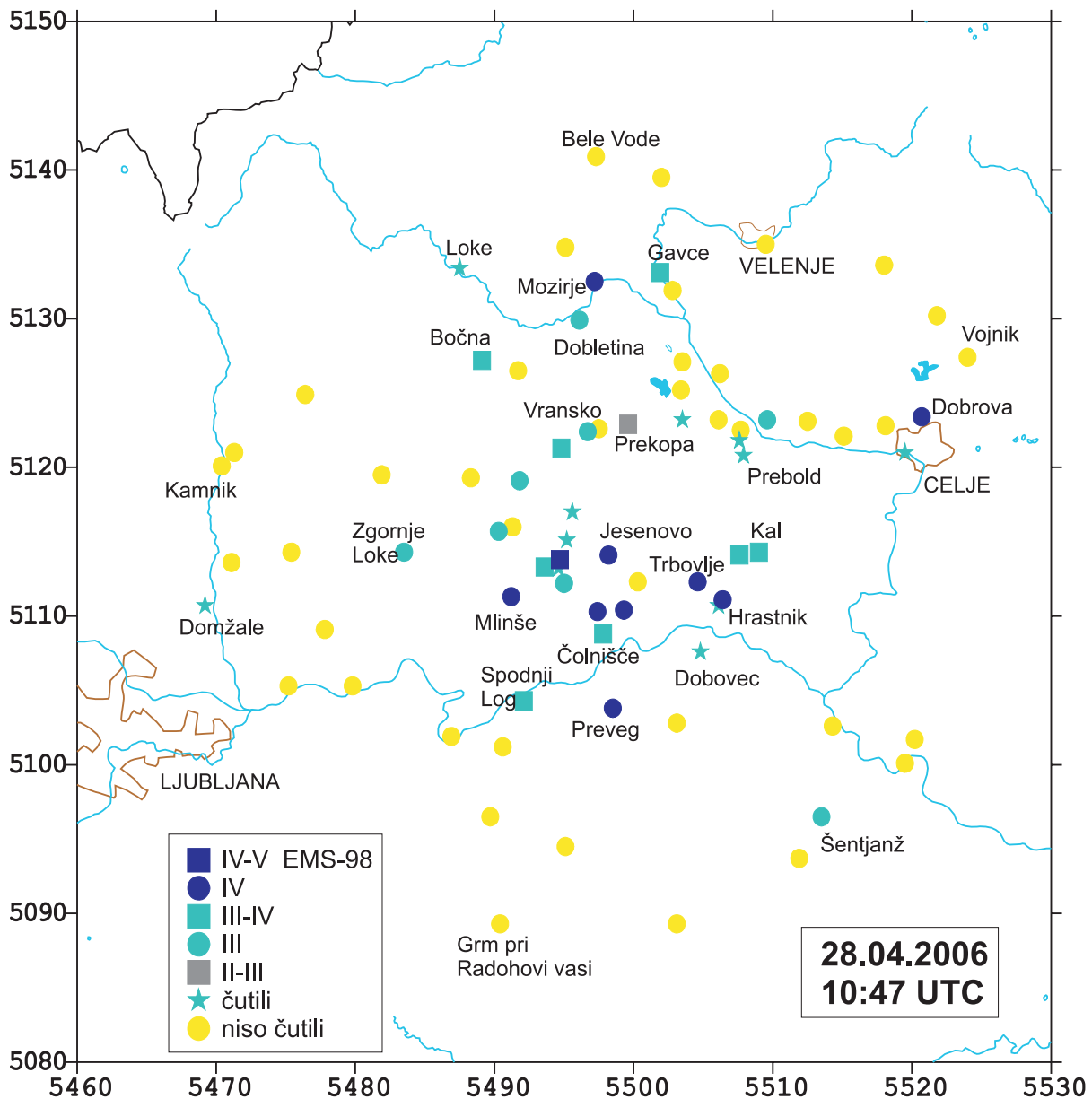
**28. april 2006 ob 10. uri 47 minut po UTC.** Tokrat se je zatresla okolica Trbovelj (slika 6). Magnituda tega dogodka je bila 2,9. V kraju Zgornji Prhovec je intenziteta bila IV-V EMS-98. Prebivalci so poročali tudi o bobnenju, ki je spremljalo potres.

**19. julij 2006 ob 2. uri in 34 minut po UTC.** Najmočnejši potres v juliju 2006, ki so ga prebivalci čutili, se je zgodil 19. julija ob 2. uri 34 minut UTC (oziroma 4. uri 34 minut po lokalnem srednjeevropskem poletnem času) na Hrvaškem, v bližini kraja Gorica Svetojanska (slika 7). Magnituda tega dogodka je bila 3,4. V Sloveniji so ga najbolj močno čutili v Obrežju in Jesenicah na Dolenjskem (intenziteta V EMS-98). Marsikoga je prebudilo iz spanja tresenje tal, ponekod so slišali tudi predhodno bobnenje. Hrvaški seizmologi so po ogledu

epicentralnega območja sporočili, da potres ni povzročil gmotne škode, čutili pa so ga prebivalci v območju od slovenske meje do Zagreba.



**Slika 5.** Intenziteta potresa 23. aprila 2006 ob 16. uri 21 minut po UTC v posameznih naseljih.  
**Figure 5.** Intensity of earthquake on 23 April 2006 at 16.21 UTC in individual settlements.



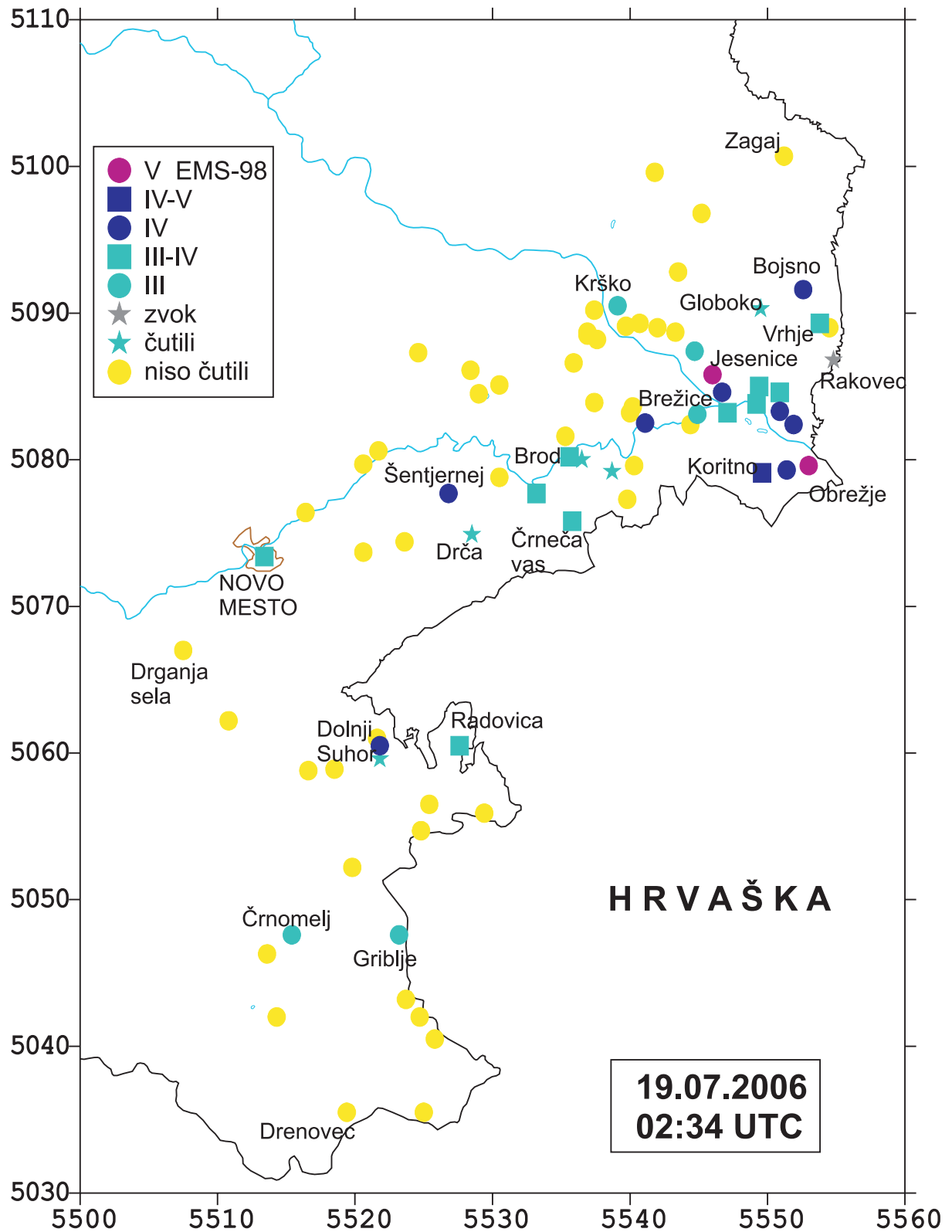
*Slika 6. Intenziteta potresa 28. aprila 2006 ob 10. uri 47 minut po UTC v posameznih naseljih.*

*Figure 6. Intensity of earthquake on 28 April 2006 at 10.47 UTC in individual settlements.*

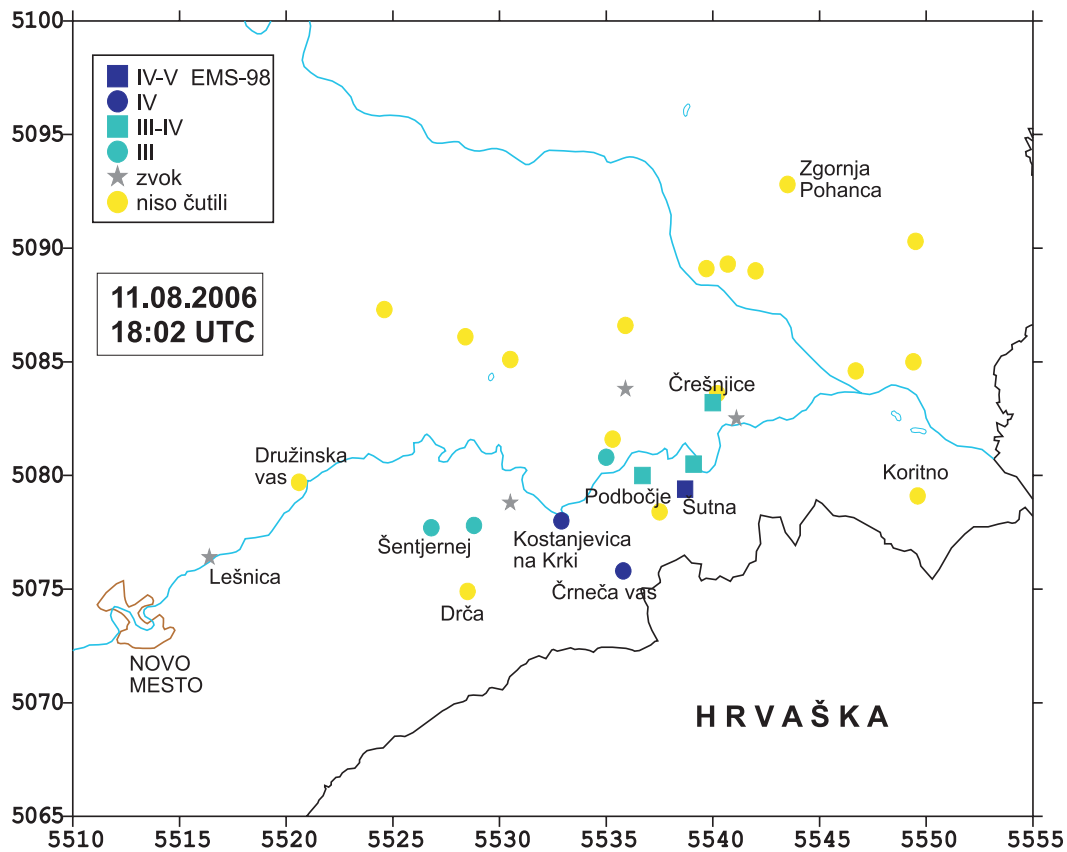
**11. avgust 2006 ob 18. uri in 2 minuti po UTC.** Zmerno tresenje tal z inteziteto IV-V EMS-98 se je zgodilo v bližini Kostanjevice na Krki (slika 8). Magnituda tega dogodka je bila 1,9. Največjo intenziteto (IV-V EMS-98) je potres dosegel v kraju Šutna.

**28. oktober 2006 ob 13. uri 55 minut po UTC.** Potres z magnitudo 3,5 je imel žarišče na Hrvaškem v bližini kraja Rude (slika 9). V Sloveniji so ga najmočnejše (IV EMS-98) čutili v Krški vasi in Kostanjevici na Krki, na Hrvaškem je intenziteto VI-VII EMS-98 dosegel v krajih Plešivica, Prhoć in Repišće.



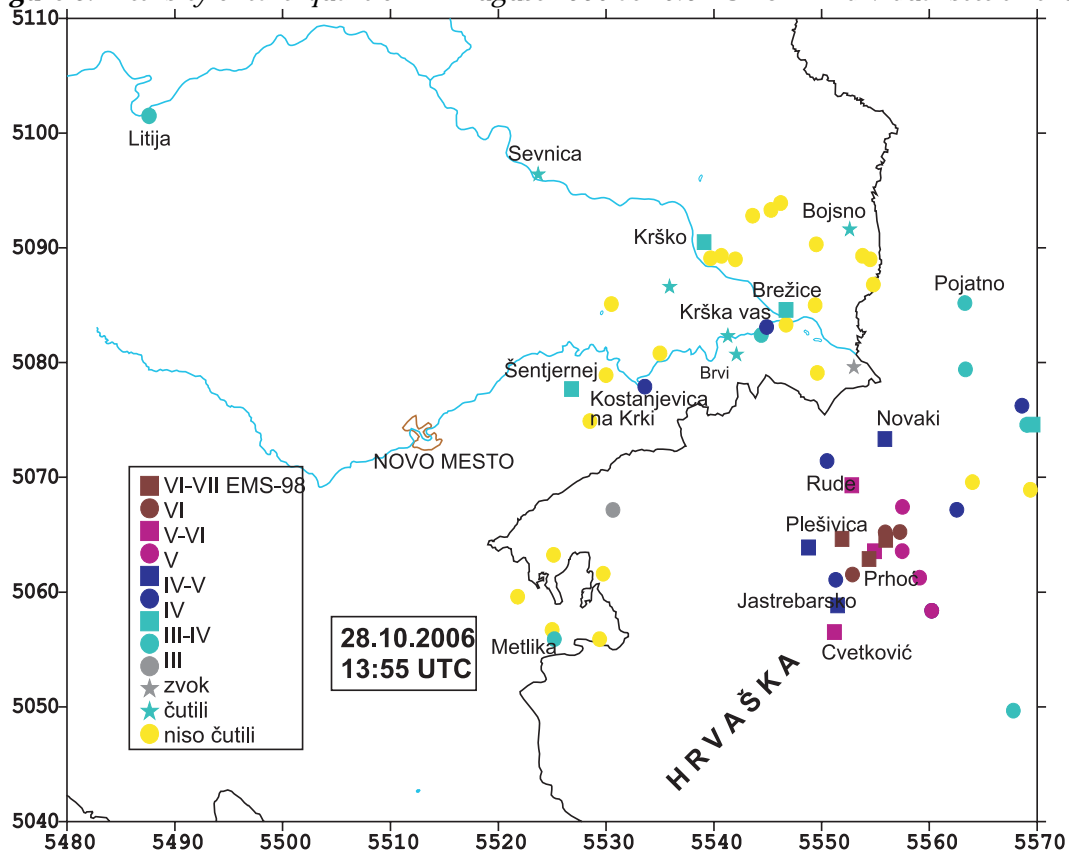


*Slika 7. Intenziteta potresa 19. julija 2006 ob 2.uri in 34 minut po UTC v posameznih naseljih.*  
*Figure 7. Intensity of earthquake on 19 July 2006 at 2.34 UTC in individual settlements.*



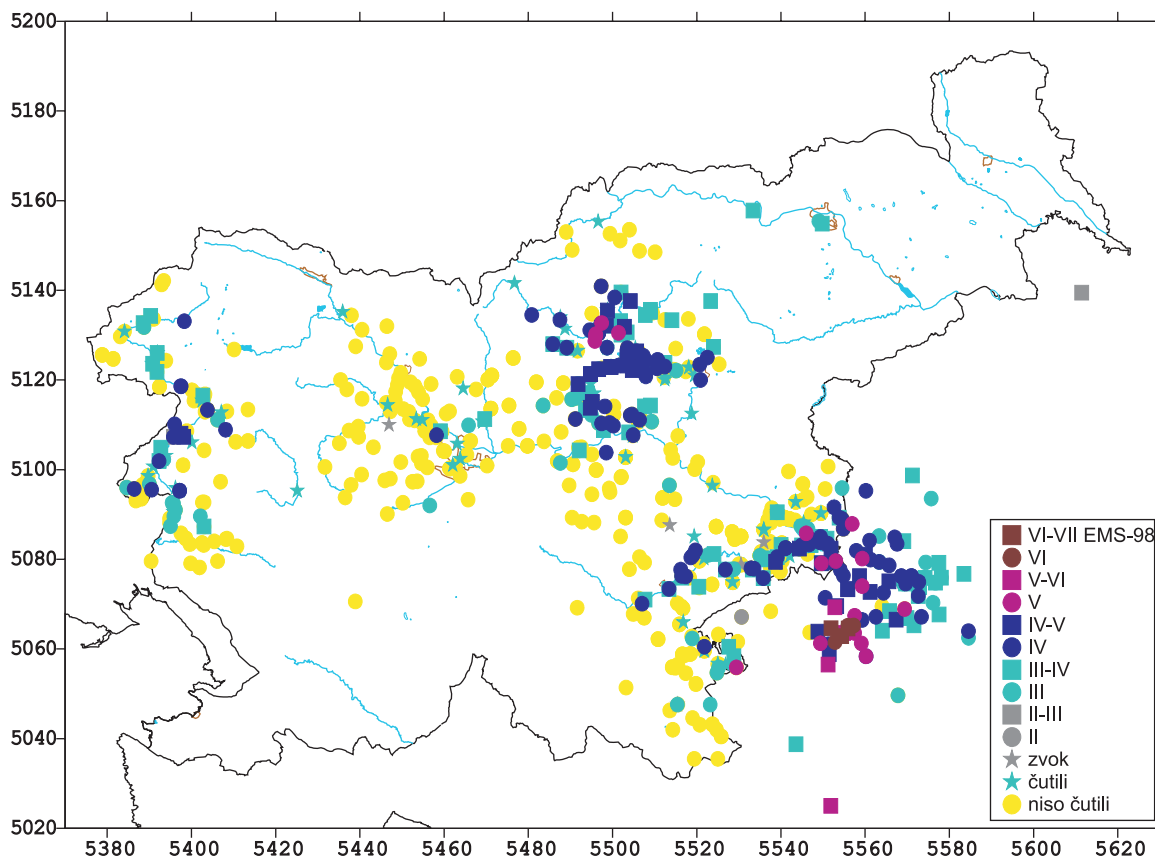
**Slika 8.** Intenziteta potresa 11. avgusta 2006 ob 18. uri in 2 minuti po UTC v posameznih naseljih.

**Figure 8.** Intensity of earthquake on 11 August 2006 at 18.02 UTC in individual settlements.



**Slika 9.** Intenziteta potresa 28. oktobra 2006 ob 13. uri 55 minut po UTC v posameznih naseljih.

**Figure 9.** Intensity of earthquake on 28 October 2006 at 13.55 UTC in individual settlements.

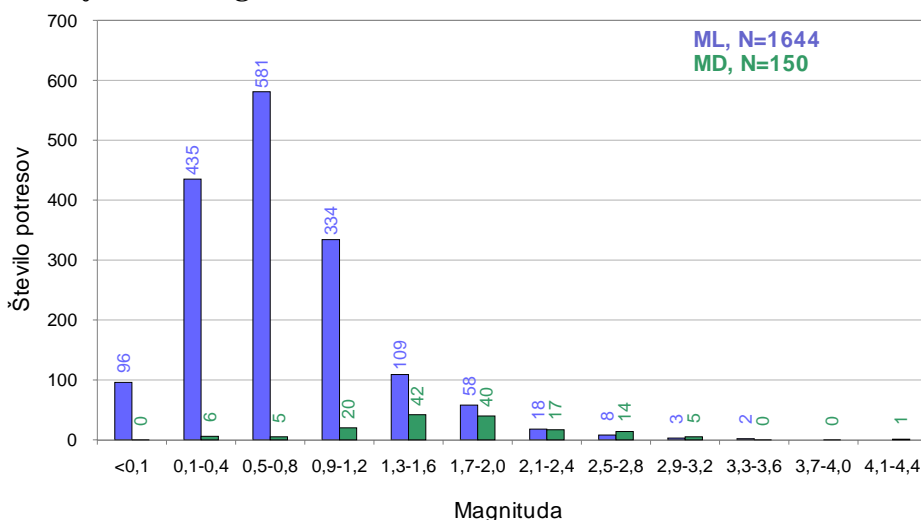


**Slika 10.** Skupna karta največjih intenzitet vseh potresov v letu 2006, ki so jih v posameznih krajih čutili prebivalci Slovenije.

**Figure 10.** Overall map of the largest intensities of all earthquakes in 2006 felt by the inhabitants of Slovenia in individual places.

### Sklepne misli

Potresna aktivnost v Sloveniji v letu 2006 je bila dokaj majhna, 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 1750 potresov. Največ potresov je imelo magnitudo med 0,5 in 0,8.

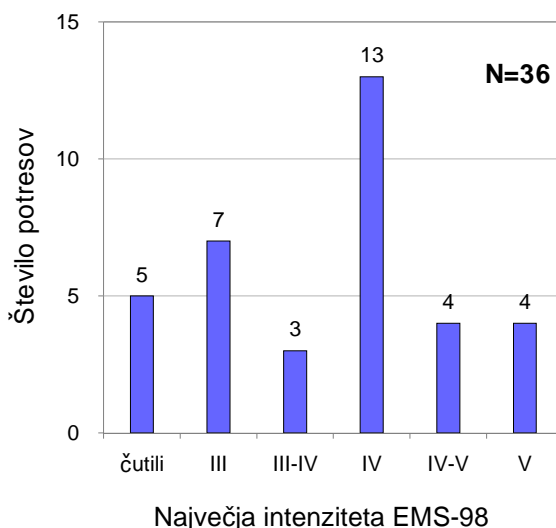


**Slika 11.** Porazdelitev potresov v Sloveniji v letu 2006 glede na lokalno magnitudo.

**Figure 11.** Distribution of earthquakes in Slovenia in 2006 in relation to local magnitude.

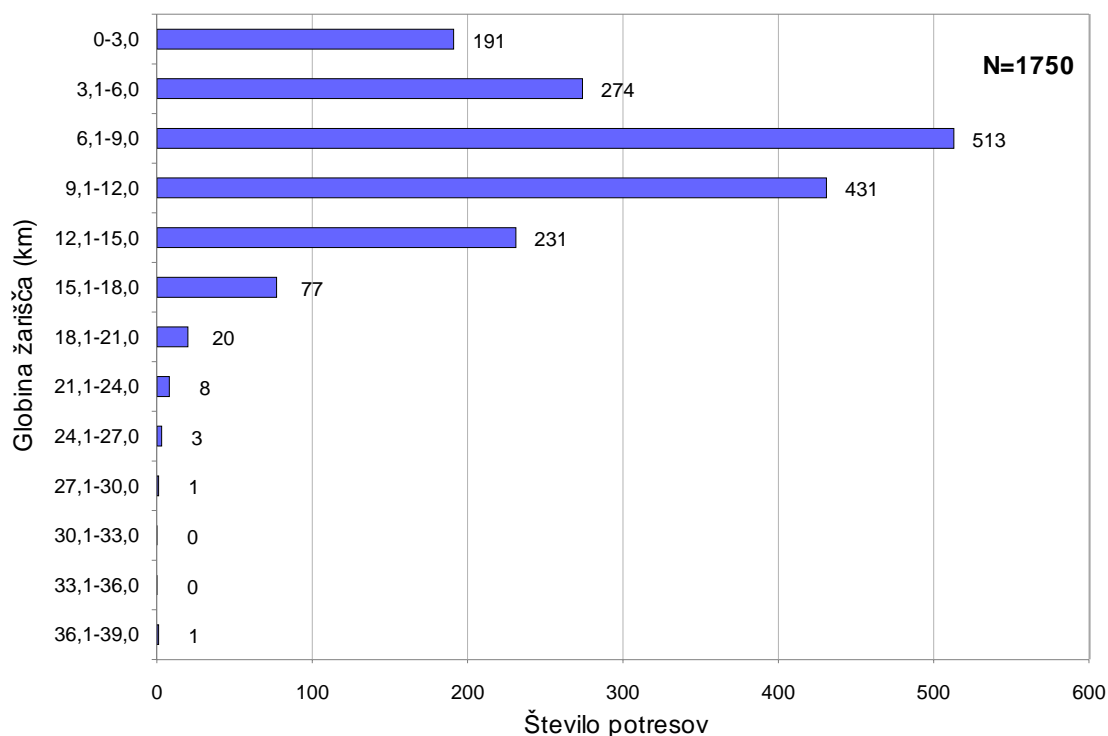
**Slika 12.** Porazdelitev potresov v Sloveniji v letu 2006 glede na največjo intenziteto EMS-98.

**Figure 12.** Distribution of earthquakes in Slovenia in 2006 in relation to maximum intensity EMS-98.



Med potresi, za katere smo razposlali makroseizmične vprašalnike ali opravili terenske raziskave, jih je največjo intenziteto IV EMS-98 doseglo 13, intenziteto IV-V EMS-98 4 in intenziteto V EMS-98 4 potresov. Ostali potresi (15) so imeli največjo intenziteto nižjo od IV EMS-98 ali pa so jih ljudje le čutili in stopnje ni bilo mogoče opredeliti. Prebivalci so skupno čutili vsaj 36 potresov (sliki 2 in 12).

Porazdelitev potresov glede na globino žarišč (slika 13) kaže, da je imela večina od skupno 1750 potresov na območju Slovenije in bližnje okolice žarišča do globine 18 km. Največ (513) potresov je bilo v globini med 6,1 in 9 km. Za 13 potresov smo opredelili žariščno globino večjo od 18 km.



**Slika 13.** Porazdelitev potresov v letu 2006 glede na globino žarišča (v kilometrih).

**Figure 13.** Distribution of earthquakes in Slovenia in 2006 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 2006 je z ARSO aktivno sodelovalo več kot 5000 ljudi, za kar se jim najlepše zahvaljujemo. Zaradi potresov smo v letu 2006 poslali 2890 vprašalnikov.

Tudi v letu 2006 smo pri zbiranju in izmenjavi podatkov uspešno sodelovali s seizmologi iz sosednjih držav. Za poslane makroseizmične podatke se posebej zahvaljujemo Ivici Soviću iz Seizmološke službe Republike Hrvaške (SSRH) v Zagrebu.

## Literatura

- Agencija RS za okolje, 2006-2007. 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 str.
- Grünthal, G. (ur.), 1998b. European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98). (citirano 14. 6. 2007). Dostopno na naslovu: [http://www.gfz-potsdam.de/pb1/pg2/ems\\_new/INDEX.HTM](http://www.gfz-potsdam.de/pb1/pg2/ems_new/INDEX.HTM)
- GZAM, 2006-2007, Mesečni bilteni za 2006 (online). Geofizički Odsjek Prirodoslovno-Matematičnog Fakulteta, Zagreb, Hrvaška. (citirano 14. 6. 2007). 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 str.
- Michelini, A., Živčić, M. in Suhadolc, P., 1997. Simultaneous inversion for velocity structure and hypocenters in Slovenia, *Journal of Seismology*, **2**(3), 257-265.
- Rebez, A. in Renner, G., 1991, Duration magnitude for the northeastern Italy seismometric network, *Boll. Geof. Teor. Appl.*, Vol. XXXIII, N. 130-131, 177-186.
- OGS (Oservatorio Geofisco Sperimentale), 2007, 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), str. 445-446.
- Wessel, P. in Smith, W.H.F., 1998. New, improved version of the Generic Mapping Tools released, *EOS Trans. AGU*, Vol. 79, p. 579.
- ZAMG, 2006-2007, Seizmološki bilteni za 2006. 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.

# POTRESI NA KRASU SEPTEMBRA 2006

## THE SEPTEMBER 2006 KARST REGION EARTHQUAKES

Milka Ložar Stopar, Mladen Živčić, Polona Zupančič

**Povzetek.** V septembru 2006 so seizmografi državne mreže potresnih opazovalnic Urada za seizmologijo in geologijo, Agencije Republike Slovenije za okolje zabeležili večje število šibkih potresov na Krasu južno od Vipave, najmočnejši potres je imel lokalno magnitudo  $M_{LV} = 2,2$ . V prispevku primerjamo zapise na analogni in digitalni potresni opazovalnici Vojsko. Zanimali so nas tudi potresi v preteklosti na tem območju. Po preverjanju razpoložljivih podatkov ni znano, da bi na tem območju v preteklosti imeli potrese. Potrebno je upoštevati, da beleženje primerljivih (šibkih) potresov pred časom za to območje niti ni bilo možno. Šibke potrese lahko beleži le dovolj gosta in občutljiva mreža, kakršna je na voljo šele od leta 2006.

**Abstract.** In september 2006 seismic stations of the Seismic Network of the Republic of Slovenia, operated by the Environmental Agency of the Republic of Slovenia – Seismology and geology office, registered many weak earthquakes south of Vipava in the Karst region. The strongest earthquake had local magnitude  $M_{LV} = 2.2$ . The analog (VOY) and digital recordings (VOJS) from seismic station Vojsko (30 km epicentral distance) were compared. There were no reports that the earthquakes were felt by the inhabitants. In the earthquake catalogues there are no records of previous earthquakes in this area. The analog (VOY) and digital recordings (VOJS) from seismic station Vojsko (30 km epicentral distance) were compared. The analog VOY station recorded 33 events while the digital seismic network registered more than 120 events from the same epicentral area. In the paper the magnitude and time distribution of recorded events are shown as well as the comparison of three events of different magnitude recorded by analog and digital equipment. The increased seismic activity of September 2006 in Karst region returned back to normal after approximately one month.

### Uvod

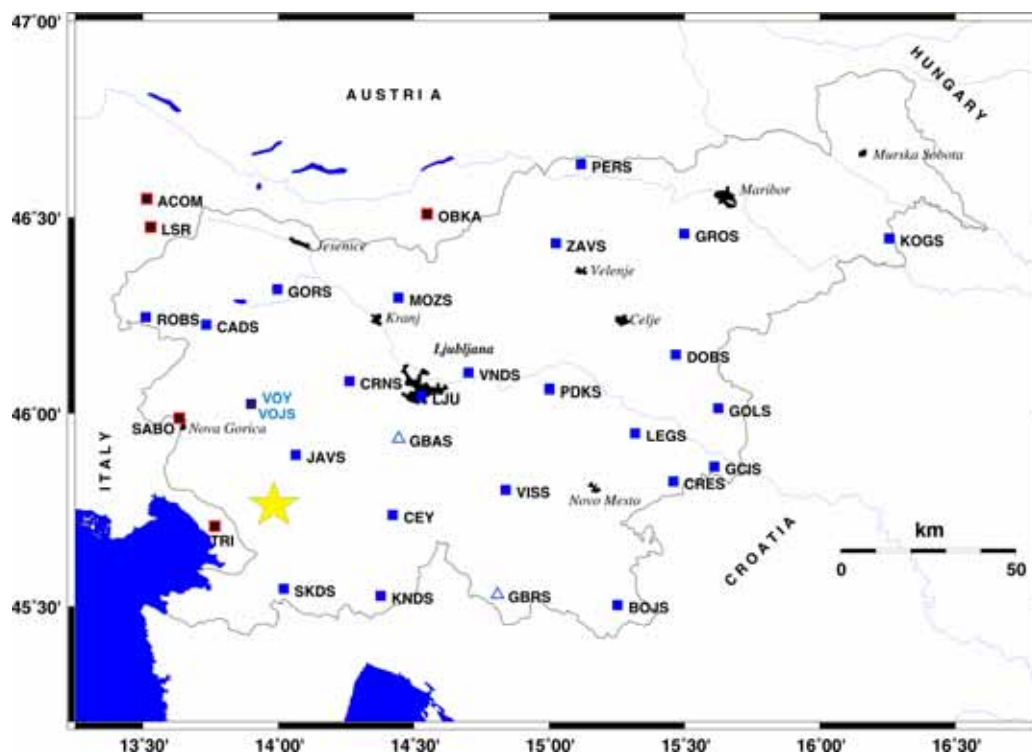
Seizmografi državne mreže potresnih opazovalnic Urada za seizmologijo in geologijo, Agencije Republike Slovenije za okolje, so v septembru 2006 zabeležili večje število potresov na Krasu južno od Vipave. Podatkov, da bi prebivalci potrese čutili, nimamo. Ta potresni niz lahko služi za primerjavo zmogljivosti in kakovosti zapisa analogne in digitalne opreme na isti lokaciji za zmožnost lociranja in zaznavanja šibkejših potresov. Natančnost določanja lege žarišča potresov je večja, če imamo zapise iz neposredne bližine v različnih geografskih smereh. Podatke nove mreže potresnih opazovalnic v realnem času sprejemamo v središču za zbiranje in obdelavo podatkov v Ljubljani.

### O mreži

Državno mrežo potresnih opazovalnic Republike Slovenije je do maja 2002 sestavljalo sedem opazovalnic, šest digitalnih: LJU – Observatorij na Golovcu, CEY – Goričice ob Cerknškem jezeru, VBY – Bojanci v Beli krajini, BISS – Branik nad Muto v Bistriškem jarku, CESS – Cesta pri Krškem in DOBS – Dobrina na Kozjanskem in ena analogna: VOY – Vojsko nad Idrijo (Sinčič in dr., 2004).

Po potresu v Posočju leta 1998 je vlada RS namenila sredstva za dograditev gostejše in sodobnejše mreže potresnih opazovalnic. Najprej je bila leta 2002 dograjena mreža

opazovalnic okoli JE Krško, temu so leta 2003 sledile opazovalnice v Posočju, nato pa še v osrednji in drugod po Sloveniji.



*Slika 1. Na zemljevidu nove državne mreže potresnih opazovalnic Republike Slovenije je položaj nadžarišč potresov v septembru 2006 označen z zvezdico.*

*Figure 1. Seismic stations of the Seismic network of the Republic of Slovenia and other stations which recorded the September 2006 earthquakes.*

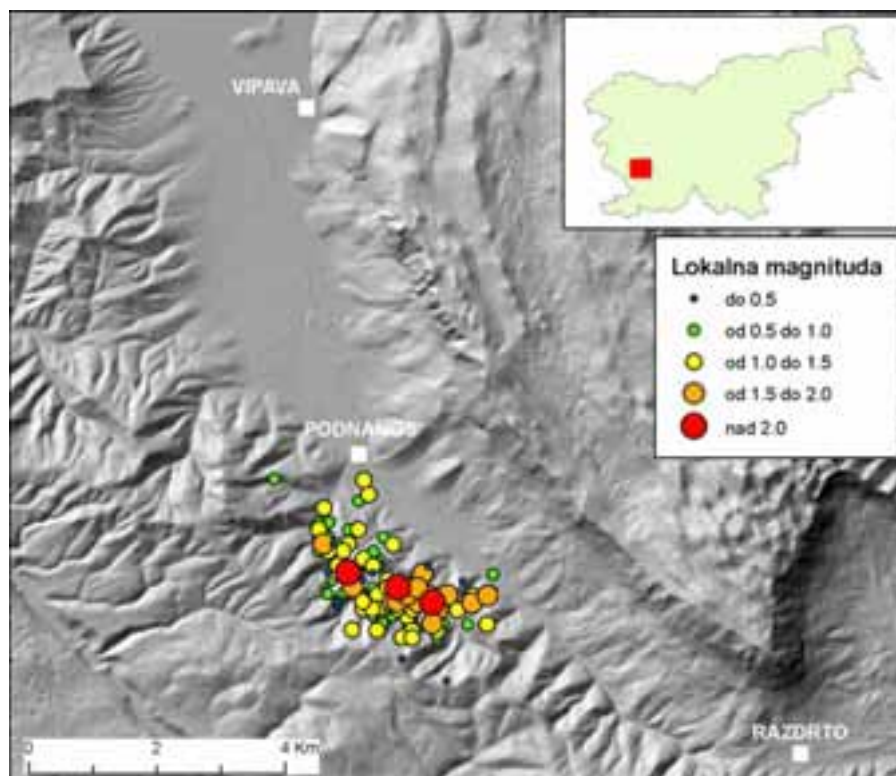
6. oktobra 2006 je bila uporabi predana posodobljena mreža 25 opazovalnic (slika 1), ki omogoča zaznavanje in lociranje tudi šibkejših potresov po vsej Sloveniji. Med šibkejše potrese lahko uvrstimo tudi potrese na Krasu septembra 2006. Ti sicer ne povzročajo škode, vendar veliko povedo o seizmični aktivnosti nekega področja in so pomembni za ugotavljanje aktivnosti posameznih geoloških struktur.

Za beleženje šibkih potresov in opredelitev lokacije žarišča so najpomembnejše raziskanemu področju najbližje opazovalnice. Za potrese na Krasu sta do leta 2003 to bili potresni opazovalnici v Trstu v Italiji (TRI, oddaljena okoli 20 km) in na Vojskem pri Idriji (VOY, oddaljena okoli 30 km). Opazovalnica JAVS na Javorniku nad Črnim vrhom nad Idrijo je začela delovati 21. avgusta 2003. Analogni opazovalnici VOY na Vojskem nad Idrijo zgrajeni leta 1985, se je 30. julija 2004 pridružila še digitalna opazovalnica VOJS. Opazovalnica SKDS v bližini vasi Skadanščina v Matarskem podolju pa 12. aprila 2006.

### Lokacije in magnitude potresov na Krasu

Natančnost opredelitve potresnih količin je odvisna od kakovosti in števila potresnih zapisov, porazdelitve potresnih opazovalnic in oddaljenosti najbližje opazovalnice od žarišča ter od poznavanja globinskega hitrostnega modela. Za opredelitev lege nadžarišča so

potrebni zapisi vsaj treh opazovalnic, za zanesljivo opredelitev globine žarišča pa zapis vsaj ene opazovalnice, ki od žarišča ni oddaljena več kot znaša globina.



*Slika 2. Karta nadžarišč (epicentrov).*

**Figure 2.** Earthquake epicenters recorded in september 2006 in the Karst region.

Tako smo z že uveljavljenimi postopki (npr. Cecić in dr., 2007) določili osnovne potresne parametre (koordinate nadžarišč, žariščno globino, žariščni čas in magnitudo) za 120 potresov, ki so se dogodili v septembru 2006 na Krasu. Lokalne magnitude  $M_{LV}$  so bile od 0,2 do 2,2. Uporabili smo vse razpoložljive zapise potresov iz potresnih opazovalnic državne mreže v Sloveniji (ARSO), Avstriji (ZAMG) in Italiji (OGS in DST). Koordinati nadžarišča smo opredelili iz časov prihodov vzdolžnega (Pg) in prečnega (Sg) valovanja na potresno opazovalnico. Žariščni čas je čas, ko je potres nastal. Potrese smo locirali s programom HYPOCENTER (Lienert in sod., 1988), z uporabo povprečnega hitrostnega modela za ozemlje Slovenije. Lokalno magnitudo  $M_{LV}$  potresov smo opredelili iz največje hitrosti navpične komponente nihanja tal ( $A/T$  v nm/s) na slovenskih opazovalnicah po enačbi:

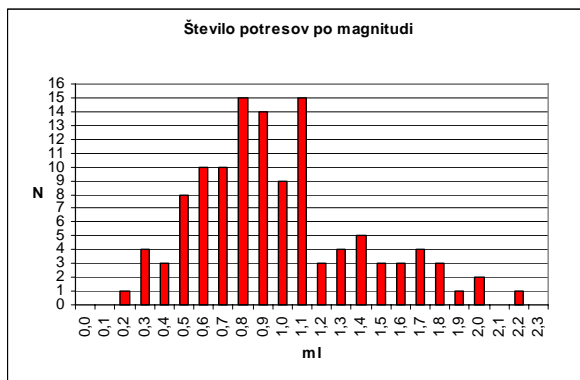
$$M_{LV} = \log(A/T) + 1,52 \log D - 3,2$$

kjer je  $D$  oddaljenost nadžarišča v kilometrih.

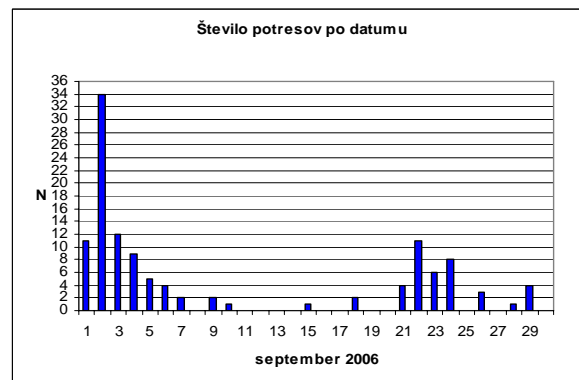
Šibkejši potresi, ki smo jim še lahko opredelili osnovne parametre so bili zaznani le na najbližjih opazovalnicah JAVS (od žarišča oddaljena 15 km), TRI (oddaljena 20 km), SKDS (oddaljena 25 km) in VOJS (oddaljena 30 km). Medtem ko smo za najmočnejšega 2. septembra lahko uporabili podatke iz 30 opazovalnic (poleg slovenskih tudi avstrijske in italijanske). Najbolj oddaljena potresna opazovalnica GROS, ki je potres zaznala, je od žarišča oddaljena 140 km.



Potresno dogajanje v tem delu Evrope opredeljujeta Afriška in Evropska (Evrazijska) plošča, med njima pa leži še manjša Jadranska plošča. Približevanje teh plošč povzroča na območju Slovenije napetost v smeri sever-jug, ki se lahko sprošča kot potresi ob prelomih dinarske (severozahod-jugovzhod) in prečnodinarske (severovzhod-jugozahod) smeri ter ob narivih smeri vzhod-zahod. Raziskano ozemlje leži na severnem deformiranem robu Jadranske plošče in pripada v širšem smislu Zunanjim Dinaridom. Glavne strukture na tem območju so Raški (slika 7) in Idrijski prelom ter narivi: nariv Trnovskega gozda, nariv Nanosa in Hrušice ter nariv Snežnika. Vse strukture so usmerjene v smeri SZ-JV. (Jurkovšek in sod., 1996, Poljak, 2000, Poljak in sod., 2000).



**Slika 3a.** Porazdelitev potresov po magnitudah.  
**Figure 3a.** Magnitude distribution of earthquakes.



**Slika 3b.** Porazdelitev potresov po dnevih.  
**Figure 3b.** Time distribution of earthquakes.

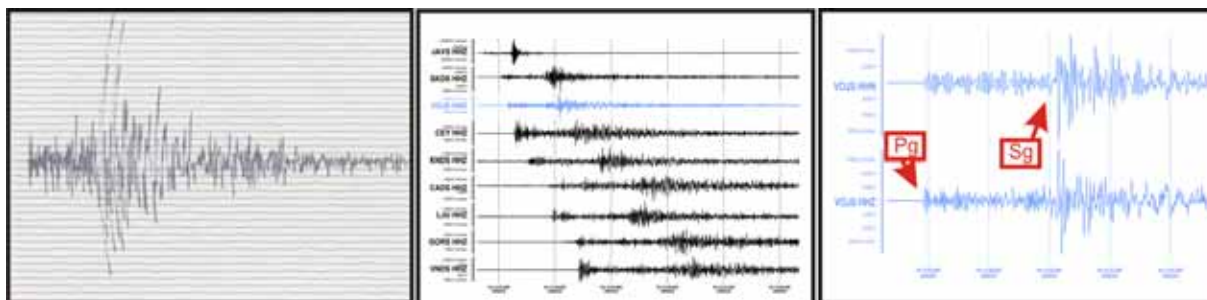
Območje, v katerem se je zgodil ta niz potresov sega od 45,75° do 45,80° severne zemljepisne širine in od 13,95° do 14,00° vzhodne zemljepisne dolžine. Iz karte (slika 2) razberemo, da nadžarišča večine potresov lahko omejimo na območje velikosti okoli 3 krat 4 km. Nekoliko izstopa položaj nadžarišč potresov, ki nakazuje smer severozahod – jugovzhod, kar sovpada s smerjo dinarskih struktur. Tudi Raški prelom, ki po geoloških kartah poteka le 3 kilometre jugozahodno od nadžarišč potresov je usmerjen SZ-JV (slika 7, Poljak, 2000).

Potresni sunki so časovno razporejeni neenakomerno (slika 3b). Večina jih je bila v prvem tednu. Največ potresov (34) je bilo 2. septembra, najmočnejši tega dne je bil z magnitudo 1,8. Sledilo je dvotedensko zatišje s posameznimi potresnimi sunki. Po 20. septembru se je pogostost potresnih sunkov spet nekoliko povečala in 24. septembra 2006 ob 12. uri in 13 minut po lokalnem času je sledil najmočnejši potres na tem območju v septembru z lokalno magnitudo  $M_{LV} = 2,2$  (slika 3a). Po septembru se je potresna aktivnost umirila in do avgusta 2007 potresov ni bilo več.

### Primerjava zapisov potresov na analogni in digitalni potresni opazovalnici

Niz potresov na Krasu je na potresni opazovalnici Vojsko zabeležen s staro analogno in z novo digitalno opremo na opazovalnicah, ki sta oddaljeni druga od druge približno 50 metrov. Zapisi teh potresov nam lahko služijo za primerjavo zmogljivosti in kakovosti analogne in digitalne opreme na isti lokaciji. Najbližja potresna opazovalnica stare mreže Vojsko (VOY), je od območja obravnavanih potresov oddaljena 30 km. Analogna oprema te

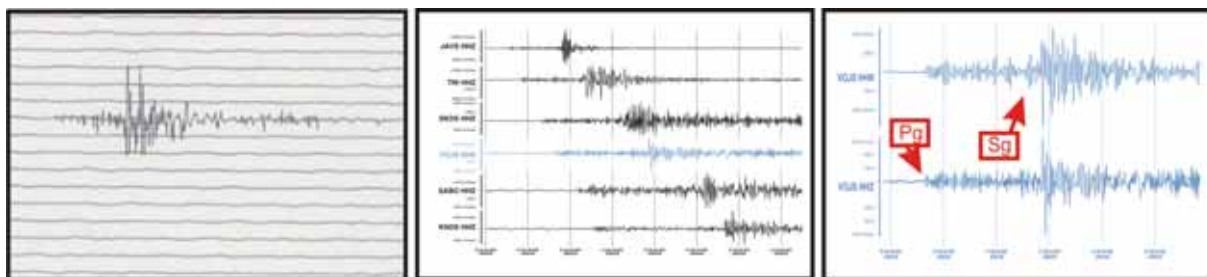
opazovalnice je zabeležila le 33, medtem ko je digitalna oprema nove mreže potresnih opazovalnic za isto obdobje in lokacijo na Krasu zabeležila 120 potresov. Na slikah 4 do 6 so prikazani zapisi treh potresov različnih magnitud. Na levi strani so zapisi vertikalne komponente analogne opreme VOY, na sredi zapisi vertikalne komponente kot so jih je zapisale nekatere digitalne opazovalnice nove mreže v Sloveniji in nekatere opazovalnice v severovzhodni Italiji. Na desni sta vertikalna in horizontalna (sever-jug) komponenta zapisa digitalne opreme na potresni opazovalnici VOJS.



**Slika 4.** Zapis potresa 2. 9. 2006 ob 4. uri in 12 minut po UTC z lokalno magnitudo 1,8; levo na analogni opazovalnici VOY, v sredini na devetih najbližjih digitalnih opazovalnicah, na desni zapis digitalne opazovalnice VOJS.

**Figure 4.** The earthquake of 2. 9. 2006 (4:12 UTC) with magnitude  $M_{LV}=1.8$  as recorded on analog seismic station VOY (left), nine nearest digital stations (middle) and magnified recording from VOJS digital seismic station (right).

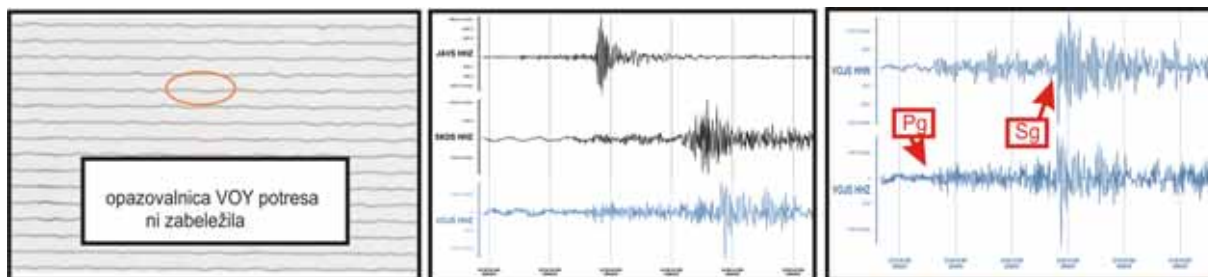
Najmočnejši potres 2. septembra 2006 ob 4. uri in 12 minut po UTC magnitude  $M_{LV}=2,2$  je dobro zapisan tako na digitalni kot na analogni opremi (slika 4). Za določitev parametrov tega potresa smo uporabili zapise iz 28 opazovalnic (vse slovenske ter bližnje italijanske in avstrijske opazovalnice). Najbližja opazovalnica od območja potresov JAVS - Javornik je oddaljena 15 km, sledijo TRI - Trst v Italiji (20 km), SKDS - Skadanščina (25 km), VOJS - Vojsko (30 km), CEY - Cerknica (35 km), KNDS - Knežji dol (65 km) in ostale. 140 km od žarišča je potres zaznala tudi naša najbolj oddaljena opazovalnica GROS - Grobnik (na slikah njen zapis ni prikazan).



**Slika 5.** Potres 3. 9. 2006 ob 1. uri in 12 minut po UTC z lokalno magnitudo 1,1, levo na analogni opazovalnici VOY, v sredini na šestih najbližjih digitalnih opazovalnicah, na desni zapis digitalne opazovalnice VOJS.

**Figure 5.** The earthquake of 3. 9. 2006 (1:12 UTC) with magnitude  $M_{LV}=1.1$  as recorded on analog seismic station VOY (left), six nearest digital stations (middle) and magnified recording from VOJS digital seismic station (right).

Potresu 3. septembra 2006 ob 1. uri in 12 minut po UTC z lokalno magnitudo  $M_{LV}=1,1$  lahko še vedno določimo vstopne čase tudi na analogni opremi opazovalnice VOY (slika 5).



**Slika 6.** Potres 2. 9. 2006 ob 22. uri in 0 minut po UTC z lokalno magnitudo 0,7 na analogni opazovalnici Vojsko VOY ni zabeležen, dobro pa je viden na treh najbližjih digitalnih opazovalnicah JAVS, SKDS in VOJS.

**Figure 6.** The 2. 9. 2006 (22:0 UTC) earthquake with  $M_{LV}=0.7$  was not recorded on the VOY analog station, but is clearly visible on three nearest digital stations JAVS, SKDS and VOJS (middle). Magnified recording from VOJS digital seismic station (right).

Potresa 2. septembra 2006 ob 22. uri in 0 minut po UTC z lokalno magnitudo  $M_{LV}=0,7$  na zapisih z analogno opremo na opazovalnici VOY ni možno videti, medtem ko zapis digitalne opazovalnice Vojsko (VOJS) na isti lokaciji omogoča določitev prihoda primarnih Pg in sekundarnih valov Sg ter največje amplitude nihanja tal (slika 6). Potres je dobro viden tudi na opazovalnici JAVS in SKDS.

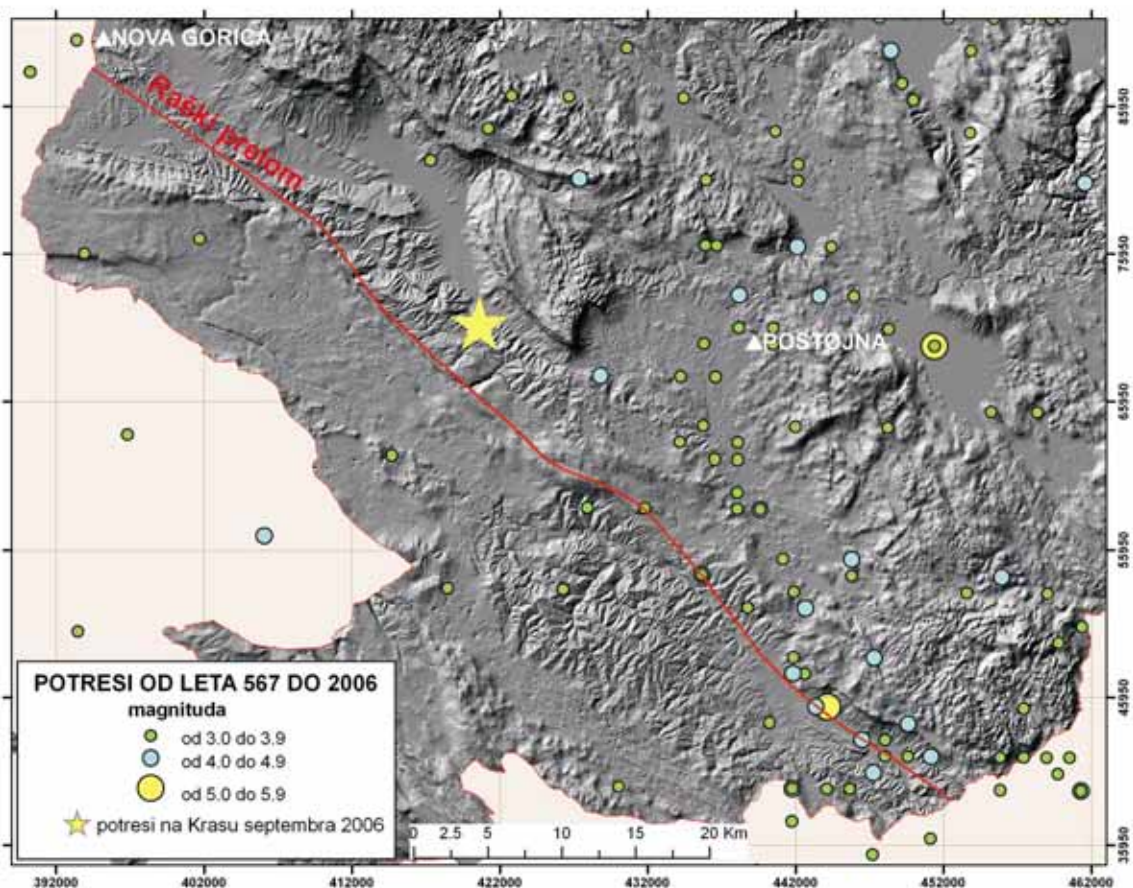
Seveda smo se tukaj omejili le na določanje vstopnih časov potresnega valovanja in amplitud nihanja, količin ki jih lahko, čeprav z manjšo natančnostjo, določimo tudi iz analognih zapisov. Digitalni zapisi omogočajo še številne druge analize zapisov potresov, ki z analognimi zapisi niso možne.

### Potresi na tem področju v preteklosti

Zanimalo nas je, kakšni potresi so se v preteklosti dogajali na tem območju. Leta 1982 je bil objavljen katalog potresov v Sloveniji (Ribarič, 1982), kjer so zbrani vsi takrat znani potresi na ozemlju Slovenije v obdobju 792 do 1981. Ta katalog je kasneje posodobljen in dopolnjen s kasnejšimi dogodki (Živčič, 1994 in 2006). Analiza kompletnosti (Živčič, 1994) katalogov pokaže, da so od leta 1690 naprej z veliko verjetnostjo zajeti le potresi z magnitudo večjo ali enako  $M_{LH}=5,0$  in intenziteto sedme stopnje EMS-98. Po letu 1880 so z veliko verjetnostjo zajeti tudi nekoliko šibkejši potresi z magnitudo večjo ali enako  $M_{LH}=3,7$  in intenziteto pete stopnje EMS-98.

V katalogu potresov je najbližji potres območju na Krasu iz 4. februarja 1881 ob 2. uri in 26 minut. Njegova ocenjena intenziteta je bila VI - VII po MSK-64 lestvici in nadžariščem v okolici Razdrtega (slika 7). Po preverjanju razpoložljivih zgodovinskih virov domnevamo, da je bil navedeni potres verjetno na območju Snežnika.

Iz razpoložljivih podatkov tako ni znano, da bi na tem območju Krasa imeli potrese, ki bi jih ljudje čutili. Še najbližje je približno 15 do 20 km oddaljena Vremščica, kjer je bila povečana potresna aktivnost v avgustu in septembru leta 1992, vendar so bili tudi ti potresi prešibki (magnituda jim ni mogoče določiti), da bi jih prebivalci čutili.



*Slika 7. Magnitude potresov v jugozahodni Sloveniji od leta 567 n. št. do danes. Na sliki so s krogi označeni potresi z magnitudami 3,0 in več. Položaj potresov na Krasu v letu 2006 je označen z rumeno zvezdico, položaj Raškega preloma pa z rdečo črto.*

*Figure 7. Earthquakes from earthquake catalogue since 567 A.D. with magnitude above 3.0. The September 2006 earthquake swarm is indicated by yellow star.*

Ob vsem navedenem je potrebno upoštevati, da beleženje primerljivih (šibkih) potresov pred časom za to območje niti ni bilo možno. Šibke potrese namreč lahko beleži le dovolj gosta in občutljiva mreža potresnih opazovalnic, kakršna je v Sloveniji na voljo šele od leta 2006.

## Literatura

Agencija RS za okolje, preliminarni seizmološki bilteni za september 2006, Arhiv ARSO, Ljubljana.

Cecić, I., Čarman, M., Jesenko, T., Ložar Stopar, M. in Živčič, M., 2007: Potresi v Sloveniji leta 2005, Potresi v letu 2005, Ljubljana

Jurkovšek, B., Toman, M., Ogorelec, B., Šribar, L., Drobne, K., Poljak, M., Šribar, L., 1996: Formacijska geološka karta južnega dela Tržaško-Komenske planote. Kredne in paleogenske karbonatne kamnine (M 1:50000). Ljubljana.

Lienert, B.R., Berg, E. in Frazer, L.N., 1988. HYPOCENTER: An earthquake location method using centered, scaled, and adaptively least squares. Bull. Seism. Soc. Am., 76, 771-783.

Poljak, M., 2000: Strukturno tektonska karta Slovenije v merilu 1:250.000, Tiskana karta. Geološki zavod Slovenije, Ljubljana.

- Poljak, M., Živčič, M., Zupančič, P., 2000: The seismotectonic characteristics of Slovenia, *Pure and Applied Geophysics* 157, 37-55., Basel.
- Ribarič, V., 1982. Seizmičnost Slovenije. Katalog potresov (792 n. e.–1981 n. e.). Seizmološki zavod SR Slovenije, str. 171, Ljubljana.
- Sinčič, P., Vidrih, R., Gostinčar, M., Živčič, M., 2004. Potresne opazovalnice v Sloveniji v letu 2003, Potresi v letu 2003. str. 7-20, Ljubljana.
- Živčič M., 1994: Katalog potresov (1992), Priloga k: Fajfar P, Lapajne J, Breška Z. in sod. Verjetnostna ocena potresne nevarnosti na lokaciji Nuklearne elektrarne Krško, Revizija 1, Končno poročilo. Ljubljana: Univerza v Ljubljani, Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo, Inštitut za konstrukcije, potresno inženirstvo in računalništvo, Ljubljana.
- Živčič M., 2006: Katalog potresov, Interno poročilo. Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo, Ljubljana.



# MOČNEJŠI POTRESI PO SVETU LETA 2006 WORLD'S LARGEST EARTHQUAKES IN 2006

Tamara Jesenko, Renato Vidrih

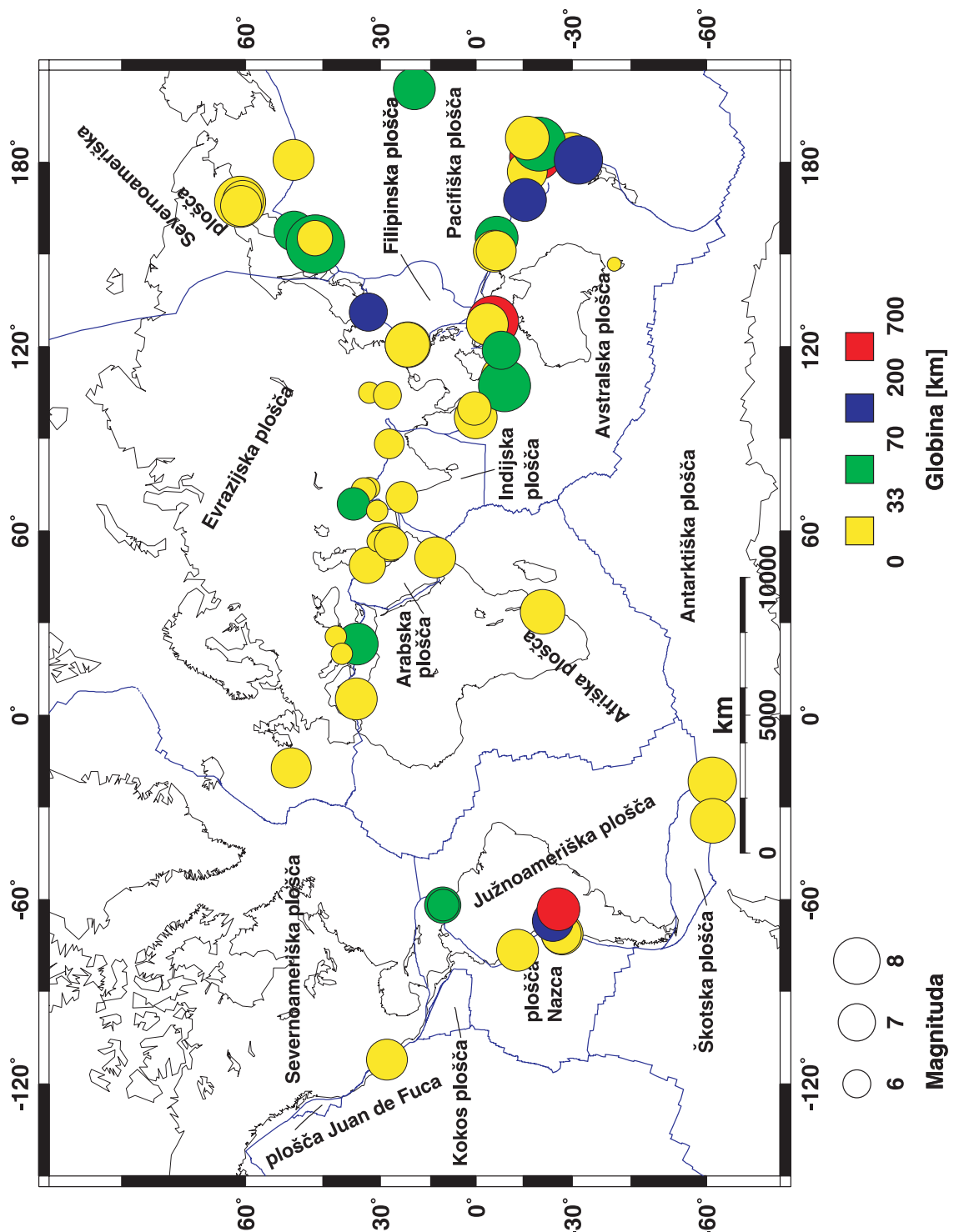
**Povzetek.** Vsako leto zatrese Zemljo več stotisoč potresov, ki presegajo magnitudo 2,0 (Dolgoff, 1998) in katerih žarišča so razporejena predvsem na stikih večjih geotektonskih plošč. Potresno najdejavnejši območji sta obtihoceanski in sredozemsko-himalajski pas, ki vključuje tudi naše kraje. Večina 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 66 potresi, ki so v letu 2006 dosegli ali presegli magnitudo 6,5 oziroma povzročili večjo gmotno škodo ter zahtevali človeška življenja, je natančneje opisanih 31 potresov. Potres z največ smrtnimi žrtvami je bil 26. maja na indonezijskem otoku Java. V njem je umrlo najmanj 5749 ljudi. Veliko žrtev (665) je bilo tudi zaradi cunamijev, ki jih je povzročil potres 17. julija južno od istega otoka. Največ energije se je sprostil pri potresu 15. novembra blizu Kurilskega otočja. Imel je navorno magnitudo 8,3, ni pa zahteval človeških življenj. Najgloblji potres v letu 2006 je stresel otočje Fidži. Zgodil se je 2. februarja in je imel žarišče v globini 598 km ter navorno magnitudo 6,7. Potres z zelo globokim žariščem (553 km) je nastal tudi 13. novembra pri Santiagu del Estero, Argentina ( $M_w=6,8$ ). Potresi v letu 2006 so zahtevali vsaj 6539 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 66 earthquakes in year 2006 that either reached a magnitude of 6.5 or more, caused minor or major material damage, or even claimed human lives. Thirty-one of them are mentioned. The most devastating earthquake in 2006 happened on 26 May near Java, Indonesia, where at least 5749 were killed. Tsunami caused by earthquake on 17 July near the same island claimed many human lives too (665). The 15 Novembre earthquake near Kuril Islands, rank first in terms of released energy, with a moment magnitude of 8.3 but it claimed no human lives. The deepest earthquake happened on 2 February near Fiji with a hypocentre 598 km below the surface and the moment magnitude of 6.7. Another very deep earthquake (553 km below the surface) happened on 13 Novembre near Santiago del Estero, Argentina ( $M_w=6.8$ ). In 2006, earthquakes claimed more than 6539 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

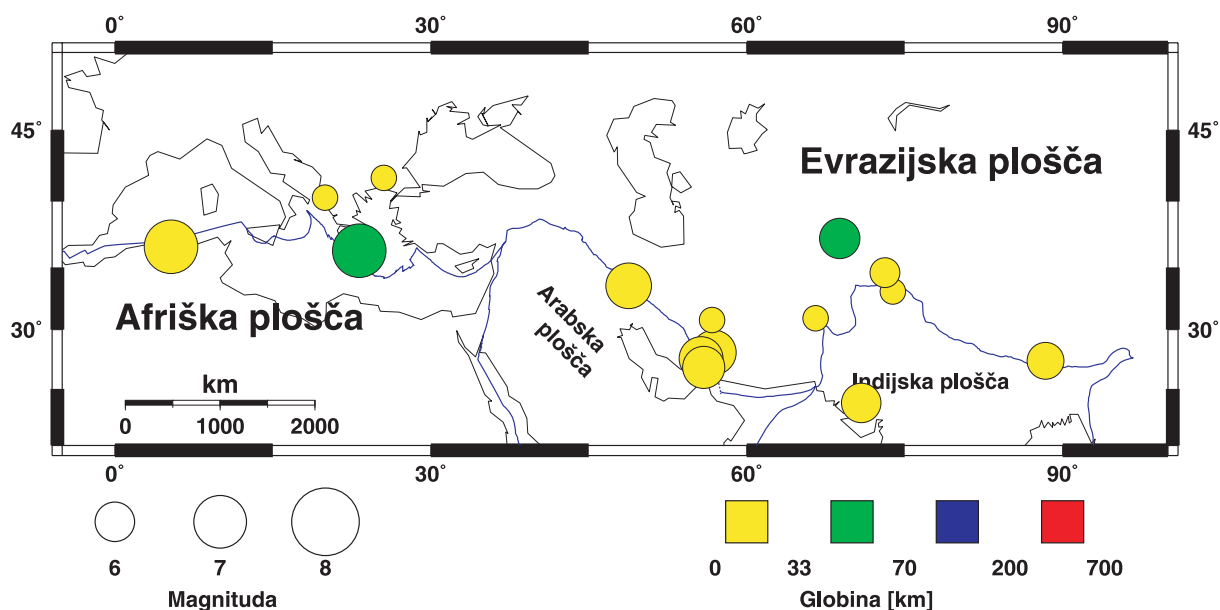
znaša več kot 100 mm/leto. Na območju Kalifornije drsita Pacifiška in Severnoameriška plošča druga ob drugi (znana so številna potresna žarišča). Med Pacifiško in Južnoameriško ploščo je vrinjena plošča Nazca.



**Slika 1.** Porazdelitev najmočnejših potresov v letu 2006 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 2006, 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 2006 v sredozemsko-himalajskem potresnem pasu, ki je za obtihomorskim drugo najdejavnejše potresno območje na Zemlji.*

*Figure 2. Distribution of the most powerful earthquakes in 2006 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 2006 (NEIC, 2006, ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 2006). 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. 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. Mw 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.

datum	čas (UTC)	koordinati		magnituda			globina	štev. žrtev	območje
	ura min sek	širina	dolžina	Mb	Ms	Mw	km		
date	time (UTC)	coordinates		magnitude			depth	no. of victims	area
	hour min sec	lat	lon	Mb	Ms	Mw	km		
2.1.	6:10	60,93 S	21,57 W		7,3	7,4	10		vzhodno od otočja South Sandwich
2.1.	22:13	19,92 S	178,18 W	6,5		7,2	583		otočje Fidži
4.1.	8:32	28,16 N	112,12 W	6,1	6,8	6,6	14		Kalifornijski zaliv
8.1.	11:34	36,30 N	23,22 E	6,5		6,7	66		južna Grčija*
27.1.	16:58	5,48 S	128,13 E	7,0		7,6	397		Bandsko morje
2.2.	12:48	17,47 S	178,39 W	5,9		6,7	598		otočje Fidži
14.2.	0:55	27,38 N	88,39 E	5,4	4,8	5,3	30	2	Sikkim, Indija*
20.2.	17:20	41,71 N	25,54 E	4,6			10		meja Grčija - Bolgarija
22.2.	22:29	21,32 S	33,58 E	6,5	7,5	7,0	11	4	Mozambik*
28.2.	7:31	28,12 N	56,86 E	5,8	6,2	6,0	18		južni Iran*
7.3.	18:20	23,77 N	70,89 E	5,2	5,1	5,5	10		Gujarat, Indija
10.3.	7:50	33,12 N	73,88 E	4,9			10	1	Pakistan*
14.3.	6:57	3,59 S	127,21 E	6,4	6,7	6,7	30	3	Seram, Indonezija*
20.3.	19:44	36,62 N	5,32 E	5,0	4,9		10	4	severna Alžirija*
25.3.	7:28	27,57 N	55,68 E	5,7	5,5	5,9	18	1	južni Iran*
31.3.	1:17	33,58 N	48,79 E	5,7	6,0	6,1	7	70	zahodni Iran*
31.3.	13:21	29,61 S	176,82 W	5,9	6,7	6,5	17		otočje Kermadec
1.4.	10:02	22,87 N	121,28 E	6,0	6,1	6,1	9		Tajvan
4.4.	9:12	34,60 N	73,14 E	4,8		4,6	10		Pakistan*
7.4.	8:30	16,53 S	176,99 E	5,9	6,4	6,5	14		otočje Fidži
20.4.	23:25	60,94 N	167,08 E	6,8	7,6	7,6	22		Koryakia, Rusija*
25.4.	11:26	41,16 S	146,86 E			2,2	4	1	Tasmanija*
29.4.	16:58	60,51 N	167,49 E	6,4	6,6	6,6	11		Koryakia, Rusija
30.4.	19:17	27,08 S	71,24 W	6,0	6,6	6,7	12		blizu obale severnega Čila

datum	čas (UTC)	koordinati		magnituda			globina	štev. žrtev	območje
	ura min sek	širina	dolžina	Mb	Ms	Mw	km		
date	time (UTC)	coordinates		magnitude			depth	no. of victims	area
	hour min sec	lat	lon	Mb	Ms	Mw	km		
30.4.	21:40	26,84 S	71,15 W	5,9	6,7	6,5	12		blizu obale severnega Čila
3.5.	15:26	20,18 S	174,1 W	7,2	7,8	7,9	55		otočje Tonga*
7.5.	6:20	30,79 N	56,70 E	4,8	4,1		14		osrednji Iran*
16.5.	10:39	31,8 S	179,3 W	6,7		7,4	151		otočje Kermadec
16.5.	15:28	0,1 N	97,0 E	6,6	6,8	6,8	12		Nias, Indonezija
22.5.	11:12	60,8 N	165,7 E	6,0	6,7	6,6	17		vzhodna Sibirija, Rusija
26.5.	22:53	7,9 S	110,5 E	6,0	6,2	6,3	13	5749	Java, Indonezija*
28.5.	3:12	5,7 S	151,1 E	5,9	6,6	6,5	34		Nova Britanija, Papua Nova Gvineja
3.6.	7:15	26,76 N	55,84 E	5,4			12	2	južni Iran*
11.6.	20:01	33,29 N	131,18 E	5,9		6,3	154		Kjušu, Japonska*
13.6.	14:15	40,27 N	19,96 E	4,5			10		Albanija*
14.6.	4:18	51,75 N	17,082 W	5,9	6,4	6,5	14		otočje Rat, Aleuti
20.6.	16:52	33,07 N	104,95 E	5,1	4,5		10		Gansu, Kitajska*
28.6.	21:02	26,82 N	55,90 E	5,8		5,8	10		južni Iran*
8.7.	20:40	51,21 N	179,31 W	6,2	6,4	6,6	22		otočje Andreanof, Aleuti
17.7.	8:19	9,22 S	107,32 E	6,1	7,2	7,7	34	665	južno od Jave, Indonezija*
22.7.	1:10	27,99 N	104,14 E	5,0	4,6		56	22	območje Sečuan-Junan-Guizhou, Kitajska*
29.7.	0:11	37,26 N	68,82 E	4,8	5,2	5,6	34	3	Tadžikistan*
7.8.	22:18	15,83 S	167,78 E	6,0		6,8	174		otočje Vanuatu
20.8.	3:41	61,01 S	34,39 W	6,3	6,8	7,0	10		Škotsko morje
24.8.	21:50	51,14 N	157,53 E	5,9	6,3	6,5	43		blizu vzhodne obale Kamčatke, Rusija
25.8.	0:44	24,41 S	67,03 W	5,9		6,6	184		Salta, Argentina
25.8.	5:51	28,01 N	104,15 E	5,2	4,6		22	1	vzhodni Sečuan, Kitajska*
1.9.	10:18	6,75 S	155,51 E	6,3	6,7	6,8	38		območje Bougainville, Papua Nova Gvineja
28.9.	6:22	16,56 S	172,06 W	6,5	6,6	6,9	28		otočje Samoa
29.9.	13:08	10,88 N	61,76 W	5,9	5,4	6,1	53		Trinidad*
29.9.	18:23	10,81 N	61,76 W	5,3	4,8	5,5	52	1	Trinidad
30.9.	17:50	46,36 N	153,15 E	6,1	6,5	6,6	11		Kurilsko otočje
1.10.	9:06	46,47 N	153,24 E	6,1	6,4	6,6	19		Kurilsko otočje

datum	čas (UTC)	koordinati		magnituda			globina	štev. žrtev	območje
	ura min sek	širina	dolžina	Mb	Ms	Mw	km		
date	time (UTC)	coordinates		magnitude			depth	no. of victims	area
	hour min sec	lat	lon	Mb	Ms	Mw	km		
9.10.	5:12	30,94 N	66,54 E	4,4			10		Pakistan*
15.10.	17:07	19,82 N	156,03 W	6,2	6,6	6,7	39		Havaji*
17.10.	1:25	5,85 S	151,01 E	6,4	6,9	6,7	32		Nova Britanija, Papua Nova Gvineja
20.10.	10:48	13,44 S	76,58 W	6,0	6,6	6,7	32		blizu obale osrednjega Peruja
7.11.	17:38	6,46 S	151,17 E	6,3	6,3	6,5	10		Nova Britanija, Papua Nova Gvineja
13.11.	1:26	26,06 S	63,24 W	6,2		6,8	553		Santiago del Estero, Argentina
15.11.	11:14	46,57 N	153,29 E	6,6	7,8	8,3	39		Kurilsko otočje*
15.11.	11:34	46,64 N	155,31 E	6,5			10		Kurilsko otočje
1.12.	14:01	8,19 S	118,81 E	6,0		6,3	48	1	Sumbawa, Indonezija*
17.12.	21:39	0,62 N	99,86 E	5,5	5,8	5,8	30	7	severna Sumatra, Indonezija*
26.12.	12:26	21,82 N	120,54 E			7,1	10	2	Tajvan*
26.12.	12:34	22,02 N	120,54 E			7,0	10		Tajvan
30.12.	8:30	13,31 N	51,36 E	5,9	6,4	6,6	15		Adenski zaliv

**Preglednica 1.** Seznam potresov v letu 2006, 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 2006 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.

**Potres 8. januarja (južna Grčija).** Na Kreti so se lažje ranile tri osebe. Na otoku Kithira je bilo poškodovanih 80 hiš in letališče. Nekaj manjših poškodb je bilo tudi na Kreti in Karpatosu.

**Potres 14. februarja (Sikkim, Indija).** Dve osebi sta v zemeljskih plazovih izgubili življenje. Dve sta bili ranjeni v vzhodnem Sikkimu. Na območju Gantoka, v Bardanu in Rangpoju je bilo poškodovanih nekaj zgradb in cest.

**Potres 22. februarja (Mozambik).** Ena oseba je izgubila življenje v Espungaberi, ena v mestu Machaze in dve v Beiri. Na območju Espungabera-Beira-Chimoio je bilo 27 ranjenih, poškodovanih je bilo vsaj 160 zgradb

**Potres 28. februarja (južni Iran).** V Kahnugu je bilo ranjenih šest oseb. V Farbayu je bilo uničenih ali poškodovanih mnogo zgradb. Nekaj poškodb je bilo tudi v Baftu in na območju Jiroft-Orzuiye.

**Potres 7. marca (Pakistan).** Na območju Mirpura je ena oseba izgubila življenje, 22 je bilo ranjenih. Potres so čutili tudi v Islamabadu, Jhelumu, Lahoru in Peshawaru.

**Potres 14. marca (Seram, Indonezija).** Na Buru je ena oseba izgubila življenje. Lokalni cunami z največjo višino valov 7 metrov je zahteval še dve žrtvi, ena oseba je bila ranjena, ena pa je pogrešana. Na površini se je pojavila razpoka dolžine približno 500 metrov in največjo širino 15 cm. 116 hiš je bilo poškodovanih v Peli, 54 v Batu Jungkuju, 30 v Waimorotu, 25 v Wailawi in 16 v Waimolyju.

**Potres 20. marca (severna Alžirija).** Štiri osebe so izgubile življenje, devet je bilo ranjenih. Uničenih je bilo 30 hiš ter 32 poškodovanih. Na območju Kherrata so bile poškodovane ceste ter motena oskrba z elektriko in vodo.

**Potres 25. marca (južni Iran).** V Finu je ena oseba izgubila življenje, še ena je bila ranjena. V provinci Hormozgan so bile poškodovane hiše.

**Potres 31. marca (zahodni Iran).** Vsaj 70 oseb je izgubilo življenje. Več kot 1300 je bilo ranjenih. V Boruđerdu je bilo popolnoma uničenih 40 vasi. Veliko poškodovanih hiš je bilo na področju Boruđerd – Dorud (provinca Lorestan).

**Potres 4. aprila (Pakistan).** V Batramu je bilo ranjenih 28 oseb. Nekaj hiš je bilo poškodovanih ali uničenih. Potres so čutili tudi v Islamabadu, Balakotu, Kohistanu, Mansheri in Peshawarju.

**Potres 29. aprila (Koryakia, Rusija).** 40 oseb je bilo ranjenih. Vasi Apuka, Khalino in Vyvenka so bile uničene. Nekaj uničenih zgradb je bilo tudi na področju Korf – Tilichiki.

**Potres 25. aprila (Tasmanija).** V rudniku blizu Beaconsfielda je padanje skal ubilo enega rudarja, še dva pa sta ostala ujeta v rudniku 14 dni. Potres so čutili tudi v Launcestonu.

**Potres 3. maja (Tonga).** V Nuku'alofi je bila ena oseba ranjena. Poškodovana je bila cerkev ter razbitih nekaj okenskih stekel. Potres so čutili v Neiafu, Hihifu, Pangai in Vaini. Čutili so ga tudi na Samoi, Ameriški Samoi, Cookovih otokih, v Suvi na Fidžiju ter v mestih Auckland, Minginui, Napier, Wanganui, Wellington in Whakatane, Nova Zelandija. Pojavil se je tudi cunami, ki je dosegel svojo največjo višino valov (0,54 metra) pri mestu Pago Pago na Ameriški Samoi.

**Potres 7. maja (osrednji Iran).** Na območju Zaranda se je ranilo vsaj 70 oseb. Poškodovanih je bilo tudi nekaj zgradb in cest.

**Potres 26. maja (Java, Indonezija).** Na območju Bantul-Yogyakarta je življenje izgubilo vsaj 5749 ljudi, še vsaj 38 568 je bilo ranjenih. Uničenih je bilo več kot 127000 in poškodovanih še

vsaj 451000 zgradb. Na območju Bantul-Yogjakarta je brez strehe nad glavo ostalo vsaj 600000 ljudi. Potres so čutili po vsej Javi in tudi v Denpasarju, Bali.

**Potres 3. junija (južni Iran).** V Qešmu sta dve osebi izgubile življenje, štirje so bili ranjeni. Nekaj zgradb je bilo poškodovanih v Ramkanu. Potres so čutili tudi v Kašmirju.

**Potres 11. junija (Kjušu, Japonska).** Na območju mest Ehime, Hiroshima, Miyazaki in Yamaguchi je bilo ranjenih vsaj osem oseb.

**Potres 13. junija (Albanija).** V kraju Tepelene je bila ena oseba lažje ranjena, poškodovanih je bilo 12 hiš.

**Potres 20. junija (Gansu, Kitajska).** Pet ljudi se je lažje ranilo v Gansuju. 25 zgradb je bilo poškodovanih v Xinsi ter vsaj še šest v Linjiangu in Lipingu. Zemeljski plazovi so poškodovali cesto med Wen Xianom in Wudujem.

**Potres 28. junija (južni Iran).** Na območju Hormuške ožine je bilo ranjenih devet oseb. Motena je bila oskrba z električno energijo.

**Potres 17. julija (južno od Jave, Indonezija).** V potresu je v Ciamisu 413 oseb izgubilo življenje, 2741 je bilo ranjenih in 15 pogrešanih. V Tasikmalayi je bilo 62 žrtev, 6124 ranjenih in 2 pogrešana. V Banjarju je bilo 15 žrtev, 244 oseb je bilo ranjenih. V Garutu je življenje izgubila 1 oseba, 30 je bilo ranjenih. V Cilacapu je bilo 157 žrtev, 104 ranjenih in še 15 pogrešanih. V Kebumenu je bilo 10 žrtev, 22 ranjenih in 33 pogrešanih. 1 oseba je izgubila življenje v Banyumasu, 3 v Gunung Kidulu, še tri pa v Bantulu. Na območju Java Barat je bilo uničenih vsaj 1540 zgradb in 176 bark, na območju Java Tengah pa 83 zgradb in 698 bark. Poškodovanih je bilo veliko cest, motena je bila preskrba z električno energijo in pretrgane telefonske povezave. Vse žrtve so bile posledica cunamijev, ki so se pojavili po potresu. Pri Widarapayungu so zabeležili cunami z največjo višino valov in sicer 4,6 metra.

**Potres 22. julija (območje Sečuan-Junan-Guizhou, Kitajska).** V zemeljskih plazovih, ki jih je potres sprožil na območju Yanjina, je življenje izgubilo 22 oseb, 106 je bilo ranjenih.

**Potres 29. julija (Tadžikistan).** Na območju Panj-Qumsangir so bile tri žrtve, 19 je bilo ranjenih. Uničenih je bilo 721 hiš in 1205 poškodovanih. Motena je bila oskrba z električno energijo.

**Potres 28. avgusta (vzhodni Sečuan, Kitajska).** Ena oseba je izgubila življenje, še 31 je bilo ranjenih. Na območju Doushaguan-Yinjin je bilo poškodovanih nekaj hiš in nekaj cest zaradi zemeljskih plazov.

**Potres 29. septembra (Trinidad, Trinidad in Tobago).** Na območju Port-of-Spain so bile tri osebe ranjene. V Kaliforniji je bila ena hiša uničena. Nekaj hiš je bilo poškodovanih na Tobagu in delu severnega Trinidada. Istega dne je bil na tem območju še en potres, v katerem je v mestu Gasprillo ena oseba izgubila življenje

**Potres 9. oktobra (Pakistan).** Vsaj tri osebe so bile ranjene v Chamanu.

**Potres 15. oktobra (Havaji).** Nekaj ljudi se je lažje ranilo. Poškodovanih je bilo 1173 zgradb in nekaj cest. Sprožilo se je nekaj zemeljskih plazov.

**Potres 15. novembra (Kurilsko otočje).** Potres je pozročil številne cunamije.

**Potres 1. decembra (Sumbawa, Indonezija).** Ena oseba je umrla zaradi srčnega napada. V Bimi je bilo 14 oseb ranjenih. Uničenih je bilo vsaj 20 hiš, mnogo jih je bilo poškodovanih.

**Potres 17. decembra (severna Sumatra, Indonezija).** Na območju Muarasiponga je življenje izgubilo 7 oseb, 100 je bilo ranjenih. Poškodovanih ali uničenih je bilo vsaj 680 zgradb. Sprožilo se je nekaj zemeljskih plazov.

**Potres 26. decembra (Tajvan).** V P'ing-tungu sta vsaj dve osebi izgubili življenje, več kot 40 je bilo ranjenih. Uničenih ali poškodovanih je bilo mnogo zgradb.

## Literatura

- ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 2006. Preliminarni seizmološki bilten, 2006. 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, 2006. Significant Earthquakes of the World. US Department of the Interior. Geological Survey, National Earthquake Information Center.

# VPLIV POTRESOV NA VEDENJE ŽIVALI THE EARTHQUAKE INFLUENCE ON ANIMALS BEHAVIOUR

Igor Pfundner

**Povzetek.** Ljudje že tisočletja opažajo čudno vedenje živali pred močnejšimi potresi. Znanstveniki to povezujejo z anomalijami zemeljskega magnetnega polja pred potresi. Razlag za lokalne magnetne anomalije pred potresi je bilo več. Ovrgli so razlago zaradi vpliva piezoelektričnega učinka in podzemnih tokov tekočin. Aktualna pa je razlaga o nastanku lokalnih magnetnih anomalij zaradi plastičnih deformacij podzemnih kamnin pred in med potresi - kamnine so pred in med potresi pod mehanskim pritiskom. Pri tem se zaradi trganja peroksidnih vezi pojavijo električne vrzeli, ki omogočajo pretok elektronov skozi kamnine. Zaradi plastičnih deformacij kamnin nastaja tok v kamninah. Poveča se tudi prevodnost kamnin, tako da zaradi razlike električnih potencialov steče dodaten tok. Električni tokovi povzročijo magnetne sunke in nizkofrekvenčno elektromagnetno sevanje. Živali lahko te pojave čutijo preko svojih geomagnetnih senzorjev, ki jih uporabljajo za orientacijo. Pomemben element geomagnetnega senzorja je feromagnetni kristal magnetit. Med drugim so ga odkrili v živčnih celicah golobov. Prav tako so raziskani tudi drugi vplivi statičnega magnetnega polja na žive organizme, vendar so zanje potrebne večje spremembe magnetnega polja, kot se tipično pojavljajo ob potresih.

**Abstract.** People have been noticing strange behaviour of animals before stronger earthquakes. Scientists connect this to anomalies of Earth magnetic field before earthquakes. There were few explanations for local magnetic anomalies. Scientists dropped the one based on piezoelectric effect and the one based on underground fluid streams. But lately, there has been an explanation, which is widely accepted and explains generation of magnetic anomalies by plastic deformation in rocks before earthquakes in which period the rocks are under a lot of mechanical pressure. Plastic deformation of rocks leads to braking of peroxy bonds. So called positive holes are created as a result of that. Positive or p-holes make possible travelling of electrons through rocks. Electrons can move from one p-hole to another. That generates an electrical current through rocks and increases the conductivity of the rocks. Electrical currents generate magnetic pulses and low frequency electromagnetic emissions. Animals can fill these phenomena using their geomagnetic sensors normally used for orientation. A crucial element of these sensors is ferromagnetic crystal magnetite. Among others, it was discovered in nerve cells of pigeons. There are also other effects of static magnetic fields that influence living organisms, but the magnitude of magnetic anomalies related to earthquakes is too low for these effects to take any action.

## Uvod

Študent David Jay Brown je leta 1990 v laboratoriju USC Neuroscience Building's Learning and Memory opazil, da so laboratorijski zajci postali razburjeni. Pet minut so divje poskakovali po svojih kletkah, dokler ni stavbe stresel potres magnitude 5,2, ki je takrat prizadel Los Angeles.

Obstaja več zapisov in pričevanj o nenavadnem obnašanju živali pred večjimi potresi, posebej na Kitajskem. Pred potresom leta 1966 v kitajski pokrajini Hsingtai, ki je imel magnitudo 6,8, naj bi vsi psi zapustili svoja mesta in se tako izognili katastrofi. Podobnih poročil je bilo na Kitajskem še veliko.

Najbolj nenavadno pa naj bi bilo vedenje kač pred potresom. Te naj bi namreč sredi zime zlezle na površino zemlje, čeprav so zaradi tega zmrznile. Tudi somi naj bi postali nemirni pred potresi in poročajo, da so celo poskakali na kopno. Skozi dolgo zgodovino Kitajske je



bilo opaziti spremembe v obnašanju različnih vrst živali pred potresi. Spremembe so bile predvsem nemir in zmedenost živali (Tributsch, 1979).

Ker naj bi torej živali omogočile napovedati potres, so se leta 1976 kitajski znanstveniki s področja biologije, geofizike, kemije, meteorologije in biofizike združili z namenom, da preučijo obnašanje živali. Zbrali so podatke o več kot 2000 primerih nenavadnega vedenja živali pred potresi. Te živali so pripadale 58 vrstam, od katerih je bila večina domačih. Večina teh vedenjskih pojavov se je zgodila v 24 urah pred potresom, vendar so jih opazili tudi več kot teden dni prej.

Takšno vedenje živali pred potresi lahko razložimo s pomočjo sprememb magnetnega polja, ki naj bi se pojavljale pred potresi. Živali namreč lahko zaznavajo te spremembe v smislu orientacije. Magnetne spremembe pred večjimi potresi lahko določene živali zaznajo, jih filtrirajo in nagonsko na njih reagirajo. Elektromagnetne spremembe morajo živali filtrirati tako, da jih ločijo od drugih signalov iz okolice.

**Magnetno polje Zemlje** lahko približno izrazimo s poljem ekscentričnega dipola, ki ne sovпада z geografskim. Razlika med pravim magnetnim poljem in poljem ekscentričnega dipola je **anomalija**. Anomalije, ki nastanejo na posameznih delih zemeljske površine, so **lokalne anomalije**. Največje vrednosti lokalnih anomalij presegajo jakost zemeljskega magnetnega polja. Gostota magnetnega polja na ekvatorju je približno 30 mT in približno dvakrat tolikšna na geomagnetnih polih. Na območju Slovenije pa je približno 45 mT.

### **Anomalije elektromagnetnega polja pred, med in po potresu**

Tony Fraser-Smith, profesor elektrotehnike na Stanford University, je odkril anomalije magnetnega polja, ki so verjetno povezane s potresom Loma Prieta. Potres, ki se je zgodil v Kaliforniji Oktobra 1989, je imel magnitudo 7,1. Profesor je ravno v času pred potresom meril spremembe magnetnega polja zaradi električne železnice v San Franciscu. Senzor magnetnega polja je namestil 7 km od epicentra potresa. Že dva tedna pred potresom je senzor zaznal veliko povečanje magnetnega polja. Temu povečanju je sledilo še večje, le tri ure pred potresom. Te anomalije magnetnega polja so se pojavljale še tri mesece po glavnem potresnem sunku (Karakelian D, 2001).

V svetu je bilo več pojavov, ko so naključno izmerili anomalije magnetnega polja, ki so najverjetneje povezane s potresi.

Raziskovalec Friedemann Freund iz NASA je izvajal poskuse s kamninami, ki jih je mehansko obremenil. V kamninah je nastal pozitiven naboj, ki je naraščal z obremenitvijo. Ta naboj je povzročil električno polje, ki je generiralo magnetno polje. S tem bi lahko razložili spremembe elektromagnetnega polja v okolici zemeljskih prelomnic (Freund, 2003).

Potres nastane, ko se dve tektonski plošči zadaneta ali drsita ena ob drugi. Spremembe elektromagnetnega valovanja se lahko pojavijo, ko se kamnine na meji tektonskih plošč drobijo.

Pozitivni naboj, ki ga odda obremenjena kamnina, lahko razloži tudi nekatere druge pojave pri potresu. Del površine Zemlje postane pozitivno nabit. Pozitivno nabiti delci ionosfere bodo zaradi tega izrinjeni in na njihovo mesto bodo prišli negativno nabiti delci. Takšno premeščanje naboja lahko povzroči motnje v radijskih signalih, kakršne so zaznali pri velikem Čilenskem potresu leta 1960 in potresu Good Friday na Aljaski leta 1964 (Freund F T, 2003).

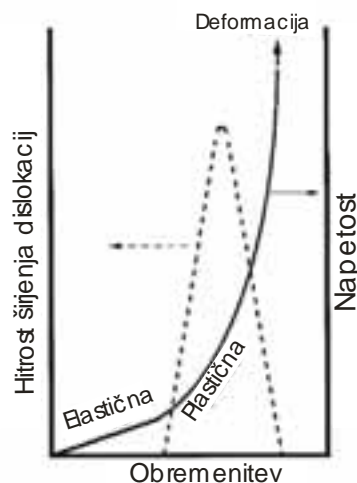
Prav tako lahko pojasnimo infrardeče valovanje, ki se kaže kot svetlikanje, opaženo pred nekaterimi potresi. Pred potresi med letoma 1965 in 1967 na Japonskem je bilo namreč opaziti skrivnostno svetlobo, ki je bila verjetno posledica oddane energije pri drgnjenju kamnin. NASA-ini znanstveniki so v Goddard Space Flight Center-u pred potresom zaznali infrardečo svetlobo na dolžini 100 km. Tudi Freund je s poskusi dokazal, da pozitivni naboj, ki nastane ob pritisku na kamnino, odda infrardečo valovanje (Freund, 2003).

### **Vzroki za nastanek električnih tokov v Zemlji pred potresi**

Plošče, ki tvorijo Zemljino skorjo, se ves čas premikajo relativno ena na drugo. Posledica so razdružitve, trki in drsenje ene plošče mimo druge. Premiki plošč se pojavijo zaradi konvekcije v Zemljinem plašču, ki izvira iz neenakih gostot kamnin na meji med plaščem in jedrom. Kjer plošče trčijo ali se drgnejo druga ob drugo, deluje na njih sila. Zaradi sile se kamnina uklanja in poka. Ko kamnina počí, v trenutku sprosti zbrano mehansko energijo. Deli kamnin začnejo suvati ena ob drugo vzdolž ploskve preloma. To sprosti seizmične valove, ki jih čutimo kot potres. Nekaj energije pa se sprosti že pred potresom v neseizmični obliki. V zgornjih plasteh zemeljske skorje se ob potiskanju s stalno hitrostjo enega velikega kamnitega bloka v drugega oba deformirata. Če povečujemo silo na kamniti blok, bo sprva deformacija elastična, kar pomeni, da bo kamnina po prenehanju delovanja sile povrnila obliko. Nato nastopi plastična deformacija, ki povzroči v strukturi mineralov kamnine dislokacije, ki se širijo. Dislokacije so linearne poškodbe v kristalu, kjer se mreža atomov na eni strani premakne v primerjavi z mrežo na drugi strani. Dislokacije potujejo s preskokom atomov z ene na drugo stran, brez premagovanja velikih energijskih nivojev. Ker se dislokacije razširijo po celem kristalu, ta trajno spremeni obliko. Pri še večji sili pa pride do združitve dislokacij in s tem do mikrorazpok, ki se združujejo v večje razpoke (Freund, 2003).

### **Električni naboj v kamninah**

Številni predpotresni pojavi so posledica električnih tokov v Zemlji. Primer takih pojavov so lokalne anomalije magnetnega polja in nizkofrekvenčno elektromagnetno sevanje. Za anomalijo magnetnega polja je potreben električni tok primerne jakosti. Ker tokovi očitno prej niso tekli, lahko njihov nastanek povežemo s procesom priprave potresa. Prav tako je za EM sevanje potreben s časom spremenljiv električni tok. Lahko sklepamo, da je nastanek električnih tokov povezan z mehanskimi procesi pred potresom. Dolga leta so mislili, da električne tokove v zemeljski skorji pred potresi povzročata piezoelektrični efekt in potenciali zaradi podzemnih tokov tekočin (Freund F T, 2003)



**Slika 1.** Črtkana črta predstavlja hitrost širjenja dislokacij  $dn/dt$ , kjer je  $n$  število dislokacij.  
**Figure 1.** Dashed line represents the rate of dislocation activation  $dn/dt$ , where  $n$  is the number of dislocation.

a) Od vseh naravnih sestavin zemeljske skorje, pride le pri kremenu do piezoelektričnega efekta. Če kristal kremenca stisnemo v pravi smeri, se med nasprotnima površinama pojavi električna napetost. Sila namreč spremeni porazdelitev pozitivnih in negativnih ionov. Pri elastičnih deformacijah so napetosti proporcionalne sili. V povprečju je Zemljina skorja sestavljena iz 15 % kremenca, na določenih predelih celo 55 %. Pritisk na kamnine, ki vsebujejo velik del kremenca, torej povzroči naelektritev vsakega kristala. Ker pa so kristali v kamninah naključno orientirani, se posamezne napetosti med seboj izničijo, kar pomeni, da zaradi tega ne bo obsežnega električnega polja (Freund, 2003).

b) Pri prehodu tekočin skozi ozke odprtine in dolge kapilare poroznih materialov se vedno pojavi naboj na stenah pretočnih kanalov. Pri tem imajo tekočine nasproten naboj kot stene. Vendar se zaradi podzemnih tokov tekočin pojavi napetost le nekaj mV na km, kar tudi ni dovolj za EM anomalije (Freund F T, 2003).

### Teorija nastanka vrzeli v kamninah

Zadnje čase pa se uveljavlja razlaga za nastanek električnega toka v Zemlji pred potresom s pomočjo vrzeli. S teorijo se ukvarja Nasin znanstvenik Friedemann T. Freund. Nekatere kamnine so nastale s kristalizacijo magme, ki je vsebovala vodo. Del vode se je vezal na mineral s pomočjo hidroksida  $O_3X-OH$ , pri čemer je  $X$  lahko  $Si^{4+}$ ,  $Al^{3+}$  ipd. Med ohlajanjem sta po dva hidroksida ustvarila peroksidno vez  $O_3X-OO-XO_3$  (slika 2a). Te vezi so v vseh metamorfnih kamninah. Ko na takšno kamnino pritismo silo, se peroksidna vez pretrga, pri čemer se pojavita dva sedem valentna atoma kisika  $O^-$ , za razliko od običajnega  $O^{2-}$ . Lahko si jih predstavljamo kot  $O^-$ , vendar je primernejša predstava o manjkajočem elektronu v podmreži atomov  $O^{2-}$ . Mesto, kjer manjka elektron, imenujemo vrzel. Proces prikazuje slika 2.

Za pretrganje peroksidne vezi je potrebna plastična deformacija. Večina plastičnih deformacij nastane zaradi dislokacij znotraj obremenjene mineralne strukture. Kadarkoli se dislokacija

križa z peroksidno vezjo, jo pretrga (slika 2b). S tem funkcija  $dn/dt$  v odvisnosti od obremenitve na sliki 1 predstavlja kar funkcijo hitrosti nastajanja vrzeli.



**Slika 2.** Proces nastajanja vrzeli od mirovanja a), obremenitve kamnine, pri čemer se pretrga peroksidna vez b), do prehajanja elektronov na vrzeli c).

**Figure 2.** Schematics of p-hole activation from a dormant state a), over break of peroxy bond and activation of p-holes under stress b), to jump of an electron to p-hole.

V mreži  $O^{2-}$ , kjer nastane vrzel, gre lahko elektron iz  $O^{2-}$  na sosednji  $O^{\cdot}$  in s tem zapolni vrzel (slika 2c). Pri tem se  $O^{2-}$  spremeni v  $O^{\cdot}$  in  $O^{\cdot}$  v  $O^{2-}$ . S tem pride do premika vrzeli oziroma pozitivnega naboja za eno enoto po  $O^{2-}$  matriki. Vrzeli se širijo po obremenjenem volumnu kamnine na površino. Obremenitev metamorfnih kamnin generira tok pozitivnih nosilcev naboja skozi kamnino, čeprav so sicer te kamnine dobri izolatorji.

Dobimo dve vrsti toka. Prvi je tok, ki se generira ob obremenitvi kamnine. Drugi tok nastane zaradi povečanja prevodnosti kamnine pri obremenitvi, pri čemer zaradi razlike napetostnih potencialov na kamnini steče električni tok.

Če bi spoznanja iz laboratorijskih meritev z obremenjenimi kamni prenesli na območje 10 km x 10 km x 10 km okoli prelomnice, bi dobili električni tok  $10^4$  A za granit. Pri predpostavki, da ta tok radialno teče ven brez izgub, lahko pričakujemo tokove do  $10^{-4}$  A/m<sup>2</sup> na razdalji 100 km od prelomnice. Takšni tokovi pa že lahko vplivajo na merjenje prevodnosti tal, povzročajo magnetne anomalije in sevajo nizkofrekvenčna elektromagnetna valovanja.

Del vrzeli doseže površino Zemlje in povzroči pozitivni naboj na površini. S tem se spremeni električno polje nad tlemi, kar povzroči motnje v ionosferi nad epicentrom (Takeuchi in sod., 2006).

### Sunki električnega toka v zemeljski skorji

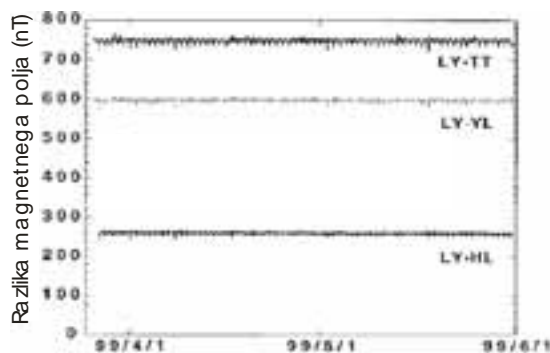
Če je del volumna kamnine vir vrzeli, njihovo širjenje navzven predstavlja električni tok, ki teče v sosednje kamnine. Tak tok omejuje samega sebe. Naboj, ki se širi v sosednje kamnine namreč ustvarja električno polje. Polarizacija polja je takšna, da širjenju vrzeli navzven nasprotuje in ga ščasoma prekine. Volumen izvora vrzeli postane negativno naelektrjen,

medtem ko sosednje kamnine zaradi sprejetih vrzeli postanejo pozitivno naelektrene. Posledica tega je povratni tok v volumen izvora, ki zmanjša polarizacijo polja. To je tok pozitivnih ionov  $H^+$ , ki nastanejo z elektrolizo vode v porah kamnin in elektroni zemeljskih električnih tal.

Vsak tak izbruh vrzeli predstavlja električni tokovni sunek, ki ustvari lokalno magnetno polje. Ker tok naraste in upade, oddaja EM valovanje s frekvenco, ki je odvisna od časovnega odvoda tokovnega sunka (Takeuchi in sod., 2006).

### Primer magnetnih anomalij zaradi potresa

Slike 3, 4 in 5 so izvrsten primer pulzirajočih tokov in pripadajočih anomalij magnetnega polja zaradi potresa. Leta 1999 je v Tajvanu delovala mreža osmih opazovalnic za merjenje magnetnega polja. Magnetometri na postajah so merili magnetno polje vsakih 10 minut. Na 120 km dolgem prelomu, ki poteka od severa proti jugu, je bil 21. 9. 1999 epicenter potresa Chi-Chi, z magnitudo 7,7. Opazovalnica LY je bila 20 km severno od severnega konca preloma, opazovalnica TW pa 60 km južno od južnega konca preloma. Dva meseca pred potresom je opazovalnica LY zabeležila velike spremembe magnetnega polja. Te spremembe so trajale do popotresnega sunka Chai-Yi 22. 10. 1999, z magnitudo 7,1. TW je zabeležila spremembe magnetnega polja po potresu Chi-Chi. Spremembe so se pomikale proti jugu in izginile malo po Chai-Yi sunku. Podatki iz treh pacifiških opazovalnic TT, YL in HL, ki niso zaznale sprememb, so odšteli od podatkov iz LY. S tem so odstranili vpliv magnetnih neviht ionosfere, ki so podobno vplivale na vse opazovalnice (slika 3).

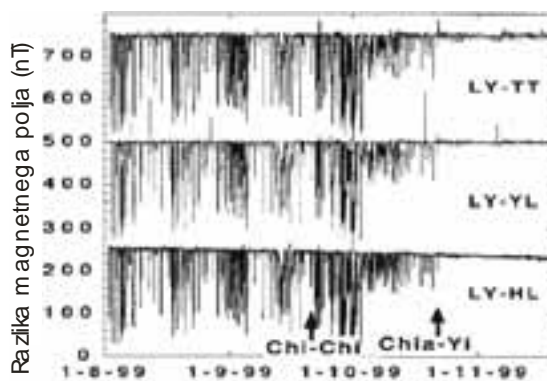


**Slika 3.** Mirno obdobje 6-4 mesec pred potresom; postaji LY, ki je bila severno od prelomnice Chi-Chi, so odšteli vrednosti iz treh pacifiških postaj.

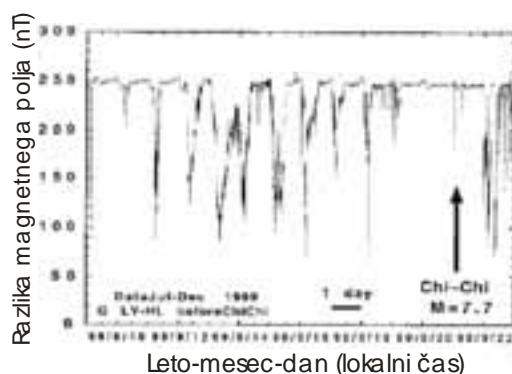
**Figure 3.** LY-TT, LY-YL and LY-HL signals during a quiet period, April-June 1999

Rahlo valovanje in zamik v neaktivni fazi je posledica različnih geografskih leg postaj. Amplitude magnetnih anomalij so bile med 100 nT in 200 nT, kar je 0,5 % zemeljskega magnetnega polja (slika 4). Anomalije so periodične.

Posamezni magnetni sunki med zadnjimi dnevi pred Chi-Chi potresom se dobro ločijo med seboj (slika 5). Večina jih je rahlo nesimetričnih, z ostrim nastopom. Vsak sunek traja nekaj ur (Takeuchi in sod., 2006).



**Slika 4.** Aktivno obdobje pred potresom Chi-Chi in popotresni sunek Chia-Yi.  
**Figure 4.** LY-TT, LY-YL and LY-HL during an active period, August-December 1999, which includes the Chi-Chi earthquake and Chia-Yi aftershock.



**Slika 5.** Povečan prikaz sunkov magnetnega polja v obdobju 14 dni, med katerimi se je zgodil potres Chi-Chi.

**Figure 5.** Enlarged LY-HL section, 14 days long, spanning the Chi-Chi event.

### Nizkofrekvenčni EM signali

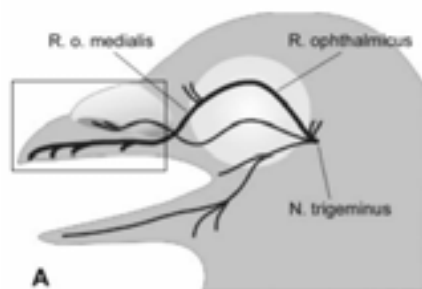
Ko se električni tokovi pojavljajo in izginjajo v zemeljski skorji z nekajurnimi periodami na sunek, močno sevajo v območju nizkih frekvenc. Ob istem času, kot so pri tajvanskem potresu izmerili magnetne anomalije, so na Japonskem izmerili tudi ULF šum med 0,007 Hz in 0,013 Hz. To so pripisali EM sevanju zaradi zemeljskih tokov v Tajvanu, ki naj bi se razširili več kot 4000 km skozi ionosfero. Tudi pri nekaterih drugih potresih so izmerili ULF, ELF in VLF EM valovanja, ki so jih merili tako na Zemlji, kot s satelitov (Takeuchi in sod., 2006).

### Magnetno zaznavanje pri živalih

Kaj pa je razlog za nenavadno vedenje živali pred potresi? Ker so vrednosti anomalij majhne, bi jih lahko živali zaznale s pomočjo magnetnih senzorjev.

Odkrili so namreč magnetni vpliv na vedenje nekaterih skupin organizmov. S številnimi poskusi so ugotovili, da je za to zaslužen majhen kristal feromagnetnega minerala magnetita ( $\text{Fe}_3\text{O}_4$ ), ki se formira biokemijsko.

V bakteriji, kjer so najprej odkrili magnetit, se posamezne molekule združijo v verige. Tako se posamezni magnetni momenti seštevajo. Skupna magnetostatična orientacijska energija na eno celico je tudi do nekaj tisočkrat večja od termičnega šuma. Magnetit so odkrili tudi pri čebelah, pticah in ribah. Pri pticah in ribah so odkrili, da oftalmična veja trigeminalnega živca prenaša informacijo o magnetnem polju do možganov. Do možganov jih prenaša iz magnetoreceptorjev, ki se nahajajo v sprednjem delu glave (Davila, 2005).



**Slika 6.** Prikaz živčnih povezav v glavi goloba.  
**Figure 6.** Scheme of the pigeon skull with course of nerves.

Odkrili so celice, ki vsebujejo magnetit in se nahajajo na skrajnih koncih trigeminalnega živca. Zanj se je izkazalo, da je visoko specializiran za magnetorepcijo.

Iz obnašanja živali so ugotovili, da so nekatere vrste razvile občutljivost svojih magnetoreceptorjev do meje termičnega šuma. Glede na tipično količino magnetita v živalih, bi bila ta meja termičnega šuma ekvivalent magnetnega polja gostote 100 pT (Davila, 2005).



**Slika 7.** Meritve sposobnosti čebel, da razlikujejo magnetne signale različnih frekvenc.  
*Magnetorepcija čebel je uglašena na frekvence pod 10 Hz.*

**Figure 7.** Behavioral measurements of the ability of honeybees to discriminate extremely low frequency magnetic fields. The honeybee magnetoreception system is tuned for maximum sensitivities below 10 Hz.

Vsaj dva faktorja sta skozi evolucijo botrovala razvoju ultraobčutljivega magnetoreceptorskega sistema (do meje termičnega šuma). Prvi vključuje zmožnost živali selivk, da se vrnejo iz velikih razdalj. Naklon in jakost magnetnega polja zemeljskega dipola se namreč spreminjata na določen način z zemljepisno širino. Znano je, da se ptiči ne morejo orientirati pri magnetnih anomalijah. Prav tako so kiti in delfini nasedli zaradi magnetnih anomalij.

Drugi evolucijski faktor je povezan z dnevnimi spremembami geomagnetnega polja kot pomoč pri določanju časa. Čez dan sončno ogrevanje ionosfere povzroča električne tokove. To spremeni magnetno polje tudi za 100 nT. Dokazano je, da čebele uporabljajo to informacijo za časovno orientacijo. Odkrili so, da se čebele lahko naučijo razlikovati umetno ustvarjena magnetna polja v laboratorijih od naravnih. Zato so začeli merjenja, s katerimi so ugotovili, da so čebelji magnetoreceptorji uglašeni na frekvence pod 10 Hz in amplitude nekaj nT. Ugotavljanje vedenja čebel prikazuje slika 7. Slika kaže delež čebel, ki so razločile vsiljeno magnetno polje (Kirschvink J L, 2000).

## Zaključek

Za ugotavljanje magnetnih anomalij ob potresih, bi lahko merili magnetno polje ob potresu. Problem načrtovanja takšnih meritev je, da je potrebno merilne instrumente postaviti blizu epicentra potresa, ki ni vnaprej znan. Vendar je pojav takšnih magnetnih anomalij pokazalo več naključnih meritev magnetnega polja. Te so pokazale, da se magnetno polje ob potresu zares spremeni, tudi nekaj mesecev pred njim. Vendar so spremembe magnetnega polja opazili le ob večjih potresih, ki pa niso ravno vsakdanji pojav. Tudi nekaj uspešnih načrtovanih meritev magnetnega polja, kjer so instrumente postavili blizu večjih prelomov, je potrdilo omenjene pojave. O nastanku magnetnih anomalij pa obstaja več razlag.

Glede na to, da so ovrgli več hipotez o nastanku magnetnih anomalij ob potresih, je bilo precej verjetno, da se to zgodi tudi Freundovi. Vendar so v NASA-inih laboratorijih pod njegovim vodstvom naredili več poskusov, ki so hipotezo potrdili.

Tudi poskusi z živalmi, izpostavljenimi magnetnemu polju, so pokazali, da se živali odzovejo na spremembe polja in to pojasnili s pomočjo kristala magnetita. Raziskani so tudi drugi vplivi statičnega magnetnega polja na organizme. Za njihov pojav pa so potrebna polja precej večjih vrednosti, kot nastajajo ob potresih.

Morda bi lahko s pomočjo teh spoznanj nekoč potrese, vsaj tiste močnejše, tudi napovedali.

## Literatura

Ashcroft Neil W, Mermin N David, 1976: Solid State Physics.

Davila F A, 2005: Detection and Function of Biogenic Magnetite, Inaugural-Dissertation zur Erlangung des Doktorgrades der Fakultät fuer Geowissenschaften der Ludwig Maximilians Universität Muenchen, Deutschland.

Freund F T, 2003: Rocks That Crackle and Sparkle and Glow: Strange Pre-Earthquake Phenomena, Journal of Scientific Exploration, Vol. 17, No.1, str. 37-71.

Karakelian D, 2001: Electromagnetic Precursors to Earthquakes: Do They Exist?, Stanford University.

Kirschvink J L, 2000: Earthquake Prediction by Animals: Evolution and Sensory Perception, Bulletin of the Seismological Society of America, 90, 2, str. 312-323.

Kisslinger C, Suzuki Z, 1978: Earthquake Precursors, Center for Academic Publications Japan.

Lowrie W, 2004: Fundamentals of Geophysics, Cambridge University Press.



Rikitake T, 1966: Electromagnetism and the Earth's Interior, Elsevier Publishing Company.

Takeuchi A, Lau W S B, Freund F T, 2006: Current and surface potential induced by stress-activated positive holes in igneous rocks, Physics and Chemistry of the Earth, Special Issue.

Tributsch H, 1979: Predznaci potresa, Vjesnikova Press agencija.

# OTVORITEV DRŽAVNE MREŽE POTRESNIH OPAZOVALNIC OPENING OF THE SEISMIC NETWORK OF SLOVENIA

**Renato Vidrih**

***Povzetek.** Otvoritev državne mreže potresnih opazovalnic je bila v petek, 6. oktobra 2006 na Vojskem nad Idrijo, kjer opazovalnica z analognimi instrumenti deluje že od leta 1984, sedaj pa je opremljena s sodobnimi digitalnimi instrumenti in je ena od 25-tih opazovalnic državne mreže. Uvodna govora sta imela imeli prof. dr. Peter Suhadolc, generalni sekretar Mednarodnega združenja za seizmologijo in fiziko notranjosti Zemlje/International Association of Seismology and Physics of the Earths Interior (IASPEI) in generalni direktor Agencije Republike Slovenije za okolje, dr. Silvo Žlebir. Državno mrežo potresnih opazovalnic je otvoril državni sekretar na Ministrstvu za okolje in prostor, mag. Marko Starman.*

***Povzetek.** The opening of the seismic network of Slovenia took place on Vojsko on 6 October 2006, where seismic station equipped with analog seismographs operates already since 1984 and now it is equipped with state of the art digital instruments as a part of seismic network. Inauguration spokesmen were Peter Suhadolc, Secretary General of IASPEI, and Silvo Žlebir, Director General of The Environmental Agency of the Republic of Slovenia. On behalf of the Minister of the environment and spatial planning the seismic network was inaugurated by the State Secretary Marko Starman.*

## **Slovenska državna mreža pred potresom v zg. Posočju**

V Sloveniji je državno mrežo potresnih opazovalnic do aprila leta 1998 sestavljalo sedem opazovalnic, od tega šest opremljenih z digitalnimi seizmografi, komunikacijsko povezanimi med seboj z najetimi linijami prek komunikacijske hrbtenice državnega računalniškega omrežja (HKOM), z avtomatskim prenosom podatkov in nadzorom delovanja ter konfiguriranjem inštrumentov iz osrednjega računalnika na observatoriju na Golovcu v Ljubljani. Sedma opazovalnica je bila opremljena z analognim seizmografom z zapisom s črnilom na papir, seizmogrami pa so se pošiljali v centralo v Ljubljani po pošti.

Zaradi takratnih tehničnih zmožnosti je bila edina možna rešitev za povezavo med potresnimi opazovalnicami in središčem za obdelavo podatkov (SOP) klicna telefonska linija. Potresno opazovalnico je sestavljala širokopasovni seizmometer Guralp CMG-40T, 16-bitni analogno-digitalni pretvornik z dvostopenjskim predojačevalnikom z resolucijo 130 dB (pozneje 24-bitni) s frekvenco vzorčenja 200 vzorcev na sekundo hkrati na vseh treh kanalih, za manipulacijo podatkov pa je skrbel osebni računalnik IBM s procesorjem Intel 486 z operacijskim sistemom OS/2, posebno programsko opremo in vgrajenim sprejemnikom GPS. OS/2 je bil prvi večopravilni sistem za namizne računalnike. Omogočal je zajemanje podatkov v stvarnem času, neprekinjeno shranjevanje teh podatkov za vsaj štiri dni na lokalnem disku in manipulacijo podatkov ter vzpostavljanje povezave s klicno telefonsko linijo.

## Gradnja nove mreže

Po potresu leta 1998 v zg. Posočju smo začeli z gradnjo oz. modernizacijo državne mreže potresnih opazovalnic. Delo, ki je bilo zastavljeno že na Upravi RS za geofiziko, smo nadaljevali na Uradu za seizmologijo in geologijo ARSO.

Istočasno z nakupom seizmološke opreme v letih 1999-2000, smo začeli po vsej Sloveniji iskati primerne lokacije. Pri tem je bilo treba upoštevati številna merila, od geometrije mreže, naravnih danosti (seizmogeološke značilnosti, seizmični nemir, relief, klimatske razmere) do izvedbenih pogojev (možnost odkupa ali uporabe zemljišča, zagotovitev vira energije in komunikacij za prenos podatkov, izvedljivost gradbenih del, dostopnost in zaščita pred vandalizmom). Sledila so pripravljajna dela (izdelava tipskega projekta, informacije o premoženjsko-pravnih zadevah,...), tem pa pozneje iskanje lokacijskih in gradbenih dovoljenj. Kljub številnim zapletom smo začeli graditi in danes se lahko pohvalimo s končano državno mrežo potresnih opazovalnic.



*Slika 1. Potresna opazovalnica Vojsko nad Idrijo (VOJS) (foto: P. Sinčič).*

*Figure 1. Seismic station Vojsko (VOJS) above Idrija (photo: P. Sinčič).*

Karakteristike mreže potresnih opazovalnic opisujeta dva glavna parametra, in sicer natančnost lociranja žarišč oz. nadžarišč potresov in občutljivost mreže za zaznavanje šibkih potresov. Natančnost lociranja žarišč potresov je neposredno odvisna od števila in oddaljenosti potresnih opazovalnic. Občutljivost mreže opazovalnic je odvisna od lastnosti seizmološke opreme, seizmičnega nemira in geoloških pogojev na lokaciji opazovanja ter oddaljenosti potresov. Pri natančnem opazovanju je za seizmotektonske analize treba zaznati in locirati tudi zelo šibke potrese, ki sicer ne povzročajo škode, vendar veliko povedo o seizmičnih značilnostih opazovanih prelomov.

Glede na pomembnost potresnega opazovanja na območjih z veliko potresno nevarnostjo in ogroženostjo so bile na ozemlju Republike Slovenije potrebne vsaj tri lokalne mreže, ki so del državne mreže, in sicer ena na območju Ljubljane, ki je potresno najbolj ogroženo območje, druga v zgornjem Posočju, ki je potresno zelo nevarno in tudi najbolj ogroženo območje ter tretja na območju jedrske elektrarne Krško zaradi same potresne nevarnosti in ogroženosti ter zahtev Evropske skupnosti. Takratni minister za okolje in prostor mag. Janez Kopač je 28. maja 2002 odprl mrežo okoli jedrske elektrarne Krško, 30. julija 2003 primorsko mrežo, 28. septembra 2004 pa je predal namenu mrežo potresnih opazovalnic okoli Ljubljane. Dokončano državno mrežo potresnih opazovalnic, ki združuje vse tri lokalne mreže in obsega 25 opazovalnic, prištejemo pa lahko tudi observatorij na Golovcu v Ljubljani, kjer je rezervno središče za obdelavo podatkov, je 6. oktobra 2006 odprl državni sekretar na Ministrstvu za okolje in prostor mag. Marko Starman.



*Slika 2. Opazovalnico je otvoril državni sekretar na Ministrstvu za okolje in prostor, mag. Marko Starman. Otvoritveni govor pa je imel tudi dr. Silvo Žlebir, direktor Agencije RS za okolje (foto: P. Sinčič).*

*Figure 2. State Secretary of the Ministry of the Environment and Spatial Planning Mr. Marko Starman declared the seismic station open. Ph.D. Silvo Žlebir, the director of the Environmental Agency of the Republic of Slovenia had inauguration speech (photo: P. Sinčič).*

## Zastavljeni cilji mreže

Z izgradnjo državne mreže potresnih opazovalnic smo slovenski seizmologi dosegli zastavljene cilje, ki jih lahko strnemo v naslednjih točkah:

- Državni potresni alarmni sistem omogoča obveščanje v stvarnem času, ki temelji na samodejni obdelavi podatkov in na samodejnem posredovanju podatkov ustreznim službam. Zahtevam po obveščanju v stvarnem času in samodejni obdelavi podatkov ter njihovo posredovanje ustreznim službam (porabnikom) je možno zadostiti z ustrežno sodobno seizmološko in računalniško opremo ter s primerno organizacijo

upravljanja in vodenja mreže potresnih opazovalnic. Mreža potresnih opazovalnic omogoča obveščanje javnosti o osnovnih karakteristikah potresa najpozneje v 10 minutah po potresu. Slovenski alarmni sistem je povezan s potresnimi alarmnimi sistemi sosednjih držav – zaenkrat z Avstrijo in Italijo.

- Opredeljevanje osnovnih potresnih parametrov (predvsem koordinat nadžarišča, globine, velikosti in obsega potresa) na podlagi globinskega geofizikalnega modela ozemlja Slovenije bo bistveno izboljšano. Dokaj natančna opredelitev položaja žarišča temelji na poznavanju časa, ki ga je potresno valovanje potrebovalo za pot od žarišča do potresnih opazovalnic. Natančnost opredelitve potresnih količin je odvisna od kakovosti in števila potresnih zapisov, porazdelitve opazovalnic in oddaljenosti najbližje opazovalnice od žarišča ter poznavanja globinskega geofizikalnega modela ozemlja. Globinski geofizikalni model, ki je potreben za preračun časa v oddaljenost, lahko opredelimo iz zapisov mreže potresnih opazovalnic ali s precej dražjimi globokimi seizmičnimi raziskavami. Za ozemlje Slovenije takega modela zaenkrat ni bilo mogoče izdelati, ker je bilo število opazovalnic premajhno. Pri potresu se namreč sproščena energija razširja v obliki prožnostnega valovanja, ki prinese na površje tudi informacijo o lastnosti globinskih struktur, skozi katere je valovanje prišlo. S postavitvijo mreže potresnih opazovalnic bo možno pridobiti nujno potrebne zapise potresov, na podlagi katerih bo izdelan ustrezen model.



**Slika 3.** O pomenu državne mreže potresnih opazovalnic je spregovoril tudi prof. dr. Peter Suhadolc, generalni sekretar Mednarodnega združenja za seizmologijo in fiziko notranjosti Zemlje/International Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior (IASPEI) (foto: P. Sinčič).

**Figure 3.** Prof. Peter Suhadolc, IASPEI Secretary-General, had a speech of importance of the seismic network.

- Izdelava boljših državnih kart potresne nevarnosti in ogroženosti za potrebe potresno odporne gradnje na podlagi natančnejšega poznavanja seizmotektonskih razmer na ozemlju Slovenije, kar bodo omogočili potresni zapisi načrtovane mreže potresnih opazovalnic. Za potrebe prostorskega načrtovanja in racionalne potresno odporne



gradnje je nujna karta, ki realno ocenjuje potresno nevarnost. Izdelava karte temelji na poznavanju časovno-prostorske porazdelitve potresne dejavnosti in določitvi aktivnih prelomnih con, ki so lahko vir močnega potresa v prihodnosti. Tega z nekdanjo gostoto mreže potresnih opazovalnic ni bilo mogoče napraviti. S postavitvijo nove mreže potresnih opazovalnic smo zagotovili potrebne podatke za spoznavanje potresnih in seizmotektonskih razmer na ozemlju Slovenije.

Ob otvoritvi državne mreže potresnih opazovalnic smo na Uradu za seizmologijo in geologijo Agencije Republike Slovenije za okolje izdali knjigo »Državna mreža potresnih opazovalnic/Seismic Network of Slovenia«. Knjiga je napisana v slovenščini in angleščini in obsega 288 strani velikega formata.

Ob zaključku izgradnje se zahvaljujemo vsem, ki so kakorkoli pripomogli k njeni izgraditvi, posebej pa strokovnjakom podjetja IBE. d.d., svetovanje, projektiranje in inženiring, ki so opravili storitev svetovalnega in investitorskega inženiringa in izvajalcem, podjetju HIS d.o.o., ki je uspel izgraditi vse opazovalnice v rokih, včasih tudi v izjemno težkih pogojih.

# OBLETNICA FURLANSKIH POTRESOV LETA 1976 ANNIVERSARY OF THE FRIULI EARTHQUAKES IN 1976

Renato Vidrih

**Povzetek.** V letu 2006 je poteklo 30 let od potresa v Furlaniji, na katerega smo Slovenci skoraj pozabili. Žarišča potresov, ki so v maju in septembru leta 1976 prizadeli severovzhodno Italijo, predvsem Furlanijo, so imeli grozljive posledice tudi v severozahodni Sloveniji. Na srečo pri nas smrtnih žrtev ni bilo (v Italiji 987), nastala pa je ogromna gmotna škoda tako v zg. Posočju kot tudi drugod v severozahodni Sloveniji. Potres je poškodoval ali uničil skoraj 12 000 zgradb in spremenil podobo Breginjskega kota in celotnega zgornjega Posočja.

**Abstract.** 30 years pass by in 2006 from earthquake in Furlania, on which are Slovenians almost forgot. Earthquakes with foci in northeastern Italy in May and September 1976, had horrible effects also in northwestern Slovenia. Fortunately there were no victims in our country (987 dead in Italy), but enormous damage occurred in Upper Soča Valley and in other parts of northwestern Slovenia. The Earthquake damaged or destroyed nearly 12000 buildings and changed the image of Breginj corner and Upper Soča Valley.

Glavna potresna sunka sta nastala v maju in septembru, prvi 6. maja ob 20. uri 0 minut po svetovnem času z magnitudo 6,5 in drugi 15. septembra ob 9. uri in 21 minut z magnitudo 5,9. Prvi je na epicentralnem območju dosegel največje učinke med IX. in X. stopnjo (ponekod z dodatnimi lokalnimi učinki celo X. stopnjo po EMS lestvici), drugi pa VIII-IX. stopnjo po EMS lestvici (skupni učinki so dosegli X. stopnjo). Globina žarišč je bila med 10 in 15 kilometri. Ob glavnih potresih je bilo še več močnih sunkov in številni naknadni potresi. Glavni majski potres je na srečo sledil potresnemu sunku ob 19. uri in 59 minut z magnitudo 4,5 in intenziteto VI-VII stopnje po EMS lestvici. Ta minuta je po vsej verjetnosti rešila marsikatero življenje, saj so ljudje večinoma zbežali iz zgradb in so glavni sunek pričakali na prostem. Kako so o potresu na epicentralnem območju pisali takratni časopisi: " ... je prvič zabobnelo iz neder zemlje, hip nato pa so se zamajala tla. Celih 14 sekund je trajala prva apokalipsa... Nato se je umirilo, vse je utihnilo, le prebivalci so zapustili svoje domove in stekli na plano. Nekateri pravočasno. Komaj minuto za prvim sunkom je prišel drugi, še močnejši, še bolj uničevalen. Strahovit. Kdor se ni pravočasno rešil na plano, je ostal pokopan pod ruševinami tisočerih poslopij, ki jih je dokončno spremenil takorekoč v prah še tretji sunek, ki je prvima sledil približno uro pozneje. Ljudje so se spraševali, koliko je mrtvih".

Potres je povzročil večjo gmotno škodo na približno 600 km<sup>2</sup>, vključno z našimi kraji, čutili pa so ga prebivalci več držav s skupno površino približno 1 milijon km<sup>2</sup> (polmer občutljivosti potresa je bil okoli 570 km). Učinkov v Italiji in drugod ne bomo opisovali (potres so čutili tudi v Švici, Avstriji, južni Nemčiji, na Češkem, Slovaškem, južni Poljski, jugozahodni Madžarski in severozahodni Hrvaški), pač pa opišimo dogajanja v Sloveniji.

Potres so čutili prebivalci celotne Slovenije. Na srečo so bili učinki pri nas manjši. Ob nastali veliki gmotni škodi, na srečo ni bilo smrtnih žrtev. Največje učinke, VIII. stopnje po EMS lestvici, je potres dosegel v Breginjskem kotu, v Kobaridu med VII. in VIII. stopnjo, v Tolminu VII. stopnjo, v Bohinjskem kotu med VI. in VII. stopnjo, v Ljubljani, na Goriškem, Idrijskem in Postojnskem VI. stopnjo, v osrednji in južni Sloveniji ter na vzhodu do Maribora

V. stopnjo, v severovzhodni Sloveniji pa IV. stopnjo po EMS lestvici. Septembrski potres je imel nekoliko nižje intenzitete.



**Slika 1.** Poškodovan objekt v Breginju (Arhiv ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo).  
**Figure 1.** Damaged building in Breginj (Archive ARSO, Seismology and Geology Office).



**Slika 2.** Tipične poškodbe pri VIII. stopnji EMS lestvice. Delne porušitve zgradb (zelo težke poškodbe na nekonstrukcijskih elementih) v Breginju (Arhiv ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo).  
**Figure 2.** Typical damages grade VIII EMS. Partially demolished buildings in Breginj (Archive ARSO, Seismology and Geology Office).





*Slika 3. Porušeni objekti v Breginju (Arhiv ARSO, Urada za seizmologijo in geologijo).*  
*Figure 3. Demolished buildings in Breginj (Archive ARSO, Seismology and Geology Office).*

Pri nas so ljudje uspeli zbežati iz podirajočih se hiš. Ob ognjih so se greli premraženi moški, ženske in otroci in se pogovarjali o grozoti, ki jih je doletela. Vsi so bili na nogah in se ozirali proti Rombonu, od koder je ob potresu pokalo in grmelo, kot ni v najhujši bitki v I. svetovni vojni. Iz hribov so se valile skale in kamenje ter zapirale ceste. Naslednje jutro je pokazalo žalostne razdejane ulice, tako na Tolminskem kot na Kobariškem. Nekateri prebivalci so iskali pomoč pri zdravnikih, predvsem so imeli lažje poškodbe, zlome rok in nog ipd. Tudi na Goriškem je v noči po potresu prebivalstvo zajela panika, vse je bežalo, celo težji bolniki, ki so si v zmešnjavi trgali transfuzijske cevke in bežali. Večje gmotne škode pa na Goriškem ni bilo. V Bohinjskem kotu so morali izprazniti nekaj objektov, hotel Jezero v Bohinju, poškodovanih je bilo tudi nekaj šol. Vsi so nestrpno pričakovali pomoči, od koder koli bi prišla. Večina hiš je bila tako poškodovanih, da se ljudje niso mogli vrniti vanje, zato so si na prostem urejali zasilna bivališča, si kuhali ipd. Dodatno zmedo so povzročile pretrgane telefonske linije in druge uničene povezave, zaprte ceste, izpadlo električno omrežje ipd. Tudi drugod po Sloveniji so ljudje v strahu prečuli noč na prostem; časopisi so pisali, da je pol Slovencev noč preživel na prostem.



**Slika 4.** Cerkev v Podbela pred potresom (zgoraj) in po potresu (spodaj) (Arhiv ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo).

**Figure 4.** The church in Podbela before (above) and after earthquake (below) (Archive ARSO, Seismology and Geology Office).

Največjo škodo so potresni sunki povzročili v vaseh Breginj, Ladra, Smast, Trnovo in Srpenica. V teh naseljih je že po majskem potresu ostalo brez strehe nad glavo več kot 80 % prebivalcev. Skoraj v celoti je bila porušena vas Podbela. V naseljih Volarje, Borjana, Čezsoča

in Žaga je ostalo brez domačij med 50 in 80 % ljudi. V Idrskem, Kredu, Kobaridu, Kamnem, Orehku, Bukovem in Kojskem pa med 30 in 50 %. Prvi pogled na zgradbe in vasi ni razkrival takšnih poškodb. Nekateri so bili presenečeni, ko so gledali obup lastnikov, ki so utrujeni, neprespani in v strahu hodili okrog svojih domačij. Šele notranjost zgradb je pokazala pravo sliko; nosilne stene so bile razpokane, večinoma v kotih, redkeje na sredini, ljudje so reševali tisto malega pohištva, kar je še ostalo. Zgradbe so bile pripravljene za rušenje. V prvih dneh so postavili več kot 700 šotorov in 200 avtomobilskih prikolic, njihovo število pa se je iz dneva v dan večalo, saj je solidarnostna akcija stekla zelo hitro. Le redki prebivalci so lahko bivali v varnih hišah. Odpravljanje poškodb so ovirali naknadni potresi in deževje. Teden dni po potresu, 14. maja, je zg. Posočje zajelo neurje. Soča je poplavila, v Breginjskem kotu je dvigovalo šotore, v Kobaridu je šotore zalilo. Ljudje so iskali zavetja vsepovsod, v avtomobilskih prikolicah jih je prebivalo tudi po 20, večinoma pa so "vedrili" na prostem. Po končani nevihti je začelo snežiti vse do Breginja.

Skupno število zelo poškodovanih objektov ob majskih in septembrskih potresih je bilo okoli 4000 (objekti, ki jih je bilo potrebno podreti ali so bili porušeni že med potresi), vsega skupaj pa je bilo poškodovanih okoli 12 000 zgradb. Številne objekte, ki jih niso uspeli sanirati po majskih, so septembrski potresi dokončno porušili, še večja bojazen pa je bila bližajoča zima.

Poškodovanih je bilo veliko različnih kulturnih spomenikov, od gradov do cerkva, predvsem pa etnografsko zanimivih vasi, ki so bile skoraj v celoti uničene (Breginj, Podbela in Ladra). V mejaški vasi Breginj (hiše so bile zgrajene v obliki podkev, več skupaj jih je znova tvorilo podkev) so bile edinstvene hiše z ganki, širokimi napušči (lindami) in značilnimi prepleti stopnišč ter ogrado. Strokovnjaki so ocenili, da ni tehničnih ovir za obnovo teh vasi. Septembrski potresi so pripomogli k nujnemu hitrejšemu reševanju bivalnih problemov, kajti bližala se je zima, zato so se odločili za postavitev montažnih objektov (v letu 1976 je bilo postavljenih več kot 500 hiš). Kakšen je danes izgled nekdanj slikovitega Breginja, Podbele itd., pa si lahko vsakdo ogleda sam!

### Pregled glavnih potresov

Datum	Čas nastanka (svetovni čas)	Magnituda	Intenziteta EMS lestvica
6. maj	20 00 14,7	6,5	IX - X (X)
9. maj	00 53 45,6	5,6	VIII - IX
11. september	16 31 08,2	5,1	VII - VIII
11. september	16 34 57,2	5,6	VIII
15. september	03 15 17	5,8	VIII - IX
15. september	09 21 16,2	6,1	IX

Do konca junija je bilo okoli 400 potresnih sunkov, od katerih so jih prebivalci skoraj 200 čutili. Do konca oktobra so se tla zatresla še približno 300-krat. Žarišča septembrskih

potresov so bila nekoliko severneje in bližja našim krajem. Če seštejemo učinke obeh serij potresov, lahko ugotovimo, da so skupni učinki v Breginjskem kotu dosegli IX. stopnjo, v drugih delih zg. Posočja in v delih Bohinjskega kota pa VIII. stopnjo po EMS lestvici (Ribarič, 1982, Vidrih, 1997).

Kljub temu, da potresna nevarnost Slovenije ni primerljiva z najbolj nevarnimi in ogroženimi območji na svetu, moramo biti v Sloveniji na potrese še kako pripravljeni. To v sedanjem času dokazuje potresna dejavnost zg. Posočja, saj so v treh desetletjih na praktično istem prostoru nastali trije relativno močni potresi, ki so pri nas skupaj močno poškodovali ali celo porušili skoraj 20 000 objektov. V Sloveniji na srečo žrtev ni bilo, zato se s skupnimi močmi potrudimo, da jih tudi v prihodnje ne bo. To pa lahko dosežemo le s poznavanjem potresne problematike in s tem pripravljenostjo na potres. Še vedno ostaja edina obramba pred potresi potresno odporna gradnja.

### **Literatura**

Ribarič, V. 1982. Seizmičnost Slovenije. Katalog potresov (792 n. e.-1981 n. e.). Seizmološki zavod SR Slovenije, 649 str.

Vidrih, R., 1997. Močnejši potresi na Slovenskem. Feljton 1 – 16, 6.-24. junij 1997, Dnevnik.

# OBLETNICA POTRESA V SAN FRANCISCU ANNIVERSARY OF SAN FRANCISCO EARTHQUAKE

**Renato Vidrih**

***Povzetek.** 18. aprila 2006 je bila 100- obletnica potresa v San Franciscu, ki je zahteval največ žrtev v severnoameriški potresni zgodovini. Po potresu v San Franciscu so tudi v Združenih državah Amerike o potresni nevarnosti in ogroženosti začeli razmišljati drugače.*

***Abstract.** April 18, 2006 marked the 100th anniversary of the San Francisco earthquake, which took most victims in earthquakes' history of North America. The considerations of seismic hazard have changed after the San Francisco earthquake in United States in America.*

Potres z navorno magnitudo 7,8 je zatresel San Francisco in okolico v sredo zjutraj ob 5. uri in 12 minut. Žarišče je nastalo v neposredni bližini mesta, ob prelomu sv. Andreja. Prelom se je aktiviral v dolžini skoraj 500 km, potres pa so čutili od Oregona na severu do Los Angelesa na jugu, v notranjosti pa do centralne Nevade. Ob prelomu so po geodetskih meritvah nastali do 8,5 m veliki premiki. Znanstveniki ocenjujejo, da je tresenje trajalo približno 60 sekund. V ameriški zgodovini to katastrofo primerjajo le z hurikanom Galveston leta 1900 in hurikanom Katarina leta 2005. V San Franciscu je tedaj živel okoli 400 000 prebivalcev, brez domov pa je po potresu ostalo med 225 000 in 300 000 ljudi. Ves čas so poročali o 478 žrtvah, kar pa je bila posledica rasistične politike, saj niso upoštevali žrtev v kitajskih četrtih. Danes je ocenjeno število žrtev na 3000, po nekaterih ocenah celo 6000, kar uvršča ta potres po številu žrtev na prvo mesto v znani ameriški potresni zgodovini. Uničenega je bilo 80% mesta; kar ni uničil potresni sunek, so kasneje dokončali številni požari (slike 3, 4 in 5). Požari so trajali štiri dni in noči in uničili v centru mesta najmanj 500 blokov, gašenje pa je bilo zaradi pomanjknja vode zelo otežkočeno. Ponekod zaradi poškodb infrastrukture vode sploh ni bilo. Po potresu so vojaške patrulje zaradi domnevnega kriminala, pa tudi drugih razlogov, ubile več kot 500 ljudi. Vojska je zgradila 5610 lesenih hiš za približno 20 000 ljudi, ki pa so se že po dobrem letu začeli izseljevati (Burkhart, 2005).

Ameriške institucije so izdelale novo obširno simulacijo in analizo predvidenih poškodb ob primeru katastrofalnega potresa. Ob približno enako močnem potresu, kot je bil leta 1906, bi bilo prizadetih več kot 10 milijonov prebivalcev Severne Kalifornije. Škoda za popravilo in ponovno izgradnjo več kot 90 000 predvidenih poškodovanih objektov bi znašala med 90 in 120 milijardami ameriških dolarjev. Več kot 10 000 poslovnih objektov bi utrpelo poškodbe na nosilni konstrukciji objekta, ponovno bi bilo potrebno zgraditi med 160 000 in 250 000 družinskih hiš. Glede na čas potresa (ali bi bil podnevi ali ponoči), bi bilo žrtev pod porušenimi objekti med 800 in 3400. Več kot polovico žrtev bi bilo zaradi porušitve starih betonskih konstrukcij, neojačanih opečnih objektov in ostalih kritičnih objektov. Dodatni požari, ki bi nastali kot posledica potresa, bi uničili še 5% -15% objektov na območju ter povzročili dodatne smrtne žrve. Podobni požari kot leta 1906 so zelo verjetni in bi lahko povzročili veliko škodo. Poškodbe na infrastrukturnih in transportnih objektih bi povečale škodo za dodatnih 5 do 15%. Ob upoštevanju vseh komponent bi bila škoda ob ponovnem

tipu potresa iz leta 1906 prek 150 milijard ameriških dolarjev. Ekonomska izguba zaradi daljšega izpada dejavnosti pa bi dodatno škodo povečala še za nekajkratni omenjeni znesek.



*Slika 1. Po potresu leta 1906 v San Franciscu so še štiri dni pustošili številni požari.*  
*Figure 1. Numerous fires were devastating the town next four days after earthquake.*



*Slika 2. Premiki ob potresu v San Franciscu so ponekod dosegli več metrov.*  
*Figure 2. The movements reached a few meters in some places.*



*Slika 3. Leseni objekti so se »enostavno« nagnili ali celo podrli, vendar v njih ni bilo veliko žrtev. V njih so bile žrtve le v primeru požarov.*

*Figure 3. Wood buildings simply upset without a lot of victims. There were more victims in case of fire.*

## **Literatura**

Burkhart, D., 2005. Earthquake days. The 1906 San Francisco Earthquake&Fire, Faultline Books, San Bruno.

Fotografije so povzete iz knjige D. Burkhartha.





## **KONFERENCA OB STOTI OBLETNICI POTRESA V SAN FRANCISCU**

### **100<sup>TH</sup> ANNIVERSARY SAN FRANCISCO EARTHQUAKE CONFERENCE**

**Matjaž Godec**

#### **Uvod**

Od 17. do 21. aprila 2006 je v San Franciscu potekala mednarodna konferenca ob 100-letnici potresa v tem mestu. Poudarek konference, na kateri je bilo preko 2500 udeležencev, je bil na izmenjavi izkušenj in znanj na treh področjih: seizmologiji, potresnem inženirstvu in ukrepanju ob potresih. Tako so bili soorganizatorji konference: Governor's Office of Emergency Services (Urad guvernerja Kalifornije za ukrepanje ob izrednih dogodkih), Seismological Society of America (Seizmološko združenje Amerike) in Earthquake Engineering Research Institute (Potresno – inženirski raziskovalni institut). Rdeča nit vseh predstavitev je bila misel – kako ukrepati na potresnih območjih.

Sama konferenca je imela tri različne podkonference in sicer:

- Stoto srečanje Seizmološkega združenja Amerike,
- 8. nacionalna konferenca o potresnem inženirstvu in
- Srečanje Urada guvernerja Kalifornije za ukrepanje ob izrednih dogodkih in Regionalne agencije, ki se ukvarja s problemi rabe prostora, gradnje, ekonomskega razvoja in kvalitete okolja (ABAG).

Bistveni cilji konference, ki jo je slavnostno odprl guverner Kalifornije Arnold Schwarzeneger, so bili:

- predstavitev izkušenj, prakse in novih raziskovalnih rezultatov vodilnih svetovnih strokovnjakov,
- izmenjava pomembnih informacij, praktičnih izkušenj in novih spoznanj v poslovnem svetu, znanosti, inženirski praksi in državni regulativi,
- predstavitev uspešne prakse kriznega menedžmenta v javnem in privatnem sektorju,
- sodelovanje izvedencev na področjih potresov, inženirstva, geologije in seizmologije z vsega sveta,
- zaščita lokalnih skupnosti (v razpravi je sodelovalo preko 200 pripravljalcev zakonodaje in izvoljeni predstavniki lokalnih skupnosti Kalifornije in drugih delov ZDA).

Poleg predavanj in posterjev je bilo na konferenci:

- prek 100 tehničnih sej, ki so jih vodili mednarodno priznani strokovnjaki in predavatelji,



- predavanja namenjena učiteljem in predstavnikom lokalnih skupnosti,
- 25 strokovnih ogledov, ki so približali realnost in znanost o potresih,
- računalniški prikaz učinkov potresa enake moči, kot je bil potres leta 1906, na današnjem San Franciscu.

V okviru podsekcije »Izkušnje iz potresov« smo predstavili prispevek: PREGLED POŠKODB ZARADI POTRESOV LETA 1998 IN 2004 V ZG. POSOČJU (avtorji: M. Godec, B. Šket-Motnikar, R. Vidrih in P. Zupančič)



**Slika 1.** Konferenco je odprl guverner Kalifornije Arnold Schwarzenegger, ki je v otvoritvenem govoru poudaril: »Videli smo, kaj se je zgodilo v New Orleansu, kjer ni bilo zadosti sil in sredstev za pomoč prizadetim. Nočemo, da bi se to ponovilo v Kaliforniji. Zato bo država v primeru katastrofe pripravljena pomagati žrtvam, ki bodo obupno potrebovale pomoč tako pri transportu, vodi, hrani, oblekah ali namestitvi.«

**Figure 1.** The Conference was opened by Governor of California Arnold Schwarzenegger, who stressed in opening speech: »We saw what happened in New Orleans when there were not enough supplies, equipment and services to help victims. We don't want to see that in California. This will allow the state to have transportation, water, food, clothing and shelter ready to help victims who desperately need our help in the event of a disaster,«

Rdeča nit konferenca so bile predstavitve o izkušnjah, praksi in načrtovanju obvladovanja tveganj v potresno ogroženi državi, kot je Kalifornija. Med najzanimivejšimi so bile predstavitve predvidevanj o obsegu škode v primeru ponovitve potresa, kakršen je bil leta 1906.

Potres in požar v letu 1906 sta še vedno med najboljšežnejšimi katastrofami, ki so se dogodile na tem območju. Ob sprostitvi potresne energije vzdolž preloma Svetega Andreja v dolžini 300 milj nekaj po peti uri zjutraj 18. aprila 1906 je bilo prizadetih 19 območij Kalifornije od Mendocina na severu do Sacramenta na vzhodu in Monteraya na jugu. Zaradi potresa in požarov, ki so temu sledili je umrlo več kot 3000 ljudi, poškodovanih je bilo 28.000 objektov in domove je moralo zapustiti 225.000 od milijona prebivalcev severne Kalifornije.

## Če bi prišlo do ponovitve potresa iz leta 1906 v današnjem času

Ameriške institucije, ki se ukvarjajo z raziskavami potresnih aktivnosti so določile skupine strokovnjakov, ki so ob združitvi znanj dosedanjih znanstvenih raziskav in inženirske prakse, izdelale novo obširno simulacijo in analizo predvidenih poškodb, če bi prišlo do novega katastrofalnega potresa.



*Slika 2. Na konferenci se je guverner Kalifornije srečal tudi s študenti, ki so pripravljali nujno opremo za ukrepanje ob katastrofi (desno guverner Kalifornije Arnold Schwarzenegger in levo Henry Renteria – direktor guvernerjeve pisarne za krizno ukrepanje).*

*Figure 2. Governor Schwarzenegger and Henry Renteria, director of the Governor's Office of Emergency Services talk with students about the importance of having a personal and family emergency plan.*

Predstavljeno je bilo, da bi bilo ob enako močnem potresu prizadetih več kot 10 milijonov prebivalcev Severne Kalifornije. Škoda za popravilo in ponovno izgradnjo več kot 90.000 predvideno poškodovanih objektov bi znašala med 90 in 120 milijardami ameriških dolarjev. Več kot 10.000 poslovnih objektov bi utrpelo poškodbe na nosilni konstrukciji objekta, ponovno bi bilo potrebno zgraditi med 160.000 in 250.000 družinskih hiš. Glede na čas potresa (ali bi se zgodil podnevi ali ponoči) bi bilo žrtev pod porušeni objekti med 800 in 3400. Več kot polovico žrtev, bi bilo zaradi porušitve starih betonskih konstrukcij, neojačanih opečnih objektov in ostalih kritičnih objektov. Nevarne konstrukcije predstavljajo manj kot 5 % vseh objektov na območju, medtem ko so objekti zgrajeni po letu 1970 na splošno mnogo varnejši.

Dodatni požari, ki bi nastali kot posledica potresa, bi uničili še 5 % - 15 % objektov na območju ter povzročili dodatne smrtne žrve. Podobni požari kot leta 1906 so zelo verjetni in bi lahko povzročili veliko škodo. Poškodbe na infrastrukturnih in transportnih objektih bi povečale škodo za dodatnih 5 do 15%. Ekonomska izguba zaradi daljšega izpada dejavnosti pa bi dodatno škodo povečala še za nekajkratni omenjeni znesek.

Ob upoštevanju vseh komponent bi bila škoda ob novem potresu prek 150 milijard ameriških dolarjev.



*Slika 3. Požar v San Franciscu po potresu leta 1906, ter San Francisco leta 2006.*  
**Figure 3. Fire in San Francisco after the 1906 earthquake and San Francisco in 2006.**

### **Kaj je še potrebno storiti (ne le v Kaliforniji)**

Posebna komisija je na konferenci predstavila spisek ukrepov namenjenih lokalnemu prebivalstvu, gospodarstvu, potresnim izvedencem in oblastem, s ciljem povečanja varnosti, zmanjšanja izgub in zagotovitvi hitrejši obnove ob naslednjem močnem potresu. Ta spisek poudarja, kaj je potrebno še razviti v splošni kulturi pripravljenosti na potres in poziva prebivalstvo, gospodarstvo in oblasti, da se seznanijo z možnimi posledicami ter z odgovornostjo za krizno vodenje in splošno pripravljenostjo na potres. To je tudi izziv oblastem, javnim podjetjem in lastnikom objektov ter lokalnim skupnostim, da se osredotočijo na najbolj ogrožene objekte, nujne dejavnosti in pomembno javno infrastrukturo v okviru bodočih investicij za ublažitev posledic. Spisek predstavlja poziv oblasti, zavarovalnicam in glavnim industrijskim panogam v regiji k sodelovanju za zagotovitev zadostnih sredstev za potrebno obnovo. S temi akcijami in ponovnim poudarkom na varnosti, bo lahko Severna Kalifornija varovala svojo kulturno in ekonomsko vitalnost in si zagotovila hitro obnovo po naslednjem velikem potresu. Ukrepi so združeni v tri celote:

**Razviti kulturo pripravljenosti na potres**

- vsako gospodinjstvo, vsaka vladna agencija in vsak gospodarski subjekt mora poznati tveganje objekta, v katerem živi in deluje, tveganje transportnega sistema ki ga uporablja in ostalih zmogljivosti, ki mu služijo, kot tudi kakšne ukrepe mora izvesti za samozaščito,
- vsako gospodinjstvo, vsaka vladna agencija in vsak gospodarski subjekt mora biti pripravljen, da bo lahko samostojno deloval tri dni po potresu,
- meščani in oblasti morajo primerno poskrbeti tudi za ljudi s posebnimi potrebami in dodatno občutljivo populacijo,
- vladne agencije, najpomembnejši nosilci ekonomske blaginje na območju in potresni strokovnjaki morajo skupaj pripraviti načrte in seznam ukrepov za odziv celotnega območja na potres (in s tem tudi na obnovo po potresu). To se lahko izdela s širšimi strateškimi plani regije, pripravami in vajami ter koordinacijo kot tudi z neprestano izboljšavo v skupnem razumevanju potresnega tveganja.

**Vlagati v zmanjšanje škode**

- lastniki objektov, oblasti in geologi skupaj z inženirji morajo določiti nevarne objekte, ki so potrebni ojačitve,
- oblasti – vlada in ostale odgovorne agencije morajo posodobiti ali nadomestiti vse zmogljivosti, ki so potrebne za nujne ukrepe za zagotovitev delovanja ob prihodnjih potresih (to so gasilne in policijske postaje, nujni komunikacijski centri, medicinske ustanove, šole, zavetišča),
- oblasti – vlada in ostale odgovorne agencije morajo postaviti prioritete in obnoviti ali zamenjati vso ranljivo komunikacijsko infrastrukturo, vključno z mobilno telefonijo, letališči, pristanišči, cestami in mostovi, transportnimi sistemi, vodovod, jezovi in rečnimi nasipi, kanalizacijo in dovodi energije, da zagotovijo njihovo uporabo čimprej po potresu.

**Zagotovitev prožnosti v obnovi**

- vladne agencije in glavna industrija regije ter strokovnjaki za potrese, morajo skupaj načrtovati tako kratkotrajno kot tudi dolgotrajno namestitev prebivalstva, ki je bilo izseljeno zaradi nevarnosti požarov, večjega obsega poškodb na objektih in širokih ekonomskih in infrastrukturnih prekinitev, ki bodo sledile velikemu potresnemu sunku,
- vsako gospodinjstvo, vladna agencija in gospodarstvo mora oceniti in planirati stroške za popravilo škode po potresu,
- zvezna vlada, državna in lokalna oblast, zavarovalnice in glavne industrijske panoge regije morajo sodelovati pri vzpostavitvi popotresne obnove z zagotovitvijo ekonomske pomoči posameznikom in skupnosti po velikem potresu, ko so sredstva še bolj omejena za obnovo in rekonstrukcijo.

Zaključek konference je izzvenel kot apel k povečanju pripravljenosti na potres. Potres bo prišel, prej ali slej, tudi močan. Potrebno je biti nanj pripravljen.





# 1. EVROPSKA KONFERENCA O POTRESNEM INŽENIRSTVU IN SEIZMOLOGIJI

## 1<sup>ST</sup> EUROPEAN CONFERENCE ON EARTHQUAKE ENGINEERING AND SEISMOLOGY

Polona Zupančič

**Povzetek.** Od 3. do 8. septembra 2006 je v Ženevi potekala prva skupna evropska konferenca potresnih inženirjev in seizmologov. Organizatorji so združili 30. Generalno skupščino Evropske seizmološke komisije ter 13. konferenco Evropskega združenja za potresno inženirstvo. Konference se je udeležilo približno 1400 strokovnjakov s področja seizmologije in potresnega inženirstva.

**Abstract.** On 3 - 8 September 2006 Geneva, Swizerland hosted the 1<sup>st</sup> European Conference on Earthquake Engineering and Seismology. The organisers joined together the 13<sup>th</sup> European Conference on Earthquake Engineering and the 30<sup>th</sup> General Assembly of the European Seismological Comission. More than 1400 participants discussed the scientific problems of all fields of earthquake engineering, seismology and related topics in many scientific sessions. Among the active participants were also four representatives from the Environmental Agency of the Republic of Slovenia – Seismology and geology office, who presented one oral and seven poster presentations.

Evropska seizmološka komisija (ESC) je del Mednarodne organizacije za seizmologijo in fiziko notranjosti Zemlje (IASPEI), ki je hčerinska organizacija Mednarodne organizacije za geodezijo in geofiziko (IUGG). Njen osnovni cilj je spodbujanje seizmoloških raziskav in projektov v Evropi, državah Sredozemlja in neposredni okolici. Generalna skupščina ESC je vsaki dve leti. Evropsko združenje za potresno inženirstvo (EAEE) je nastalo leta 1964 in združuje evropske inštitucije in strokovnjake, ki delujejo na področju potresnega inženirstva. Generalna skupščina EAEE je vsaka štiri leta. Prva združena konferenca je potekala v prostorih Mednarodnega kongresnega centra v Ženevi.

Na skupščini ESC so bila izglasovana nova pravila delovanja in organizacije. Po novem je administrativni organ, ki vodi organizacijo, izvršni odbor. Izvršni odbor sestavljajo predsednik, podpredsednik, glavni tajnik, pomočnik glavnega tajnika ter trije člani, ki so izvoljeni na skupščini. Člani odbora so tudi predhodni predsednik in podpredsednik ter predstavnik IASPEI. Člani odbora so lahko tudi predstavniki nekaterih sorodnih organizacij (npr. EMSC, EAEE, ORFEUS, ASC), pod pogojem, da ima ESC svojega predstavnika z enakimi pravicami v njihovi organizaciji. Predsednik in podpredsednik sta lahko izvoljena za največ eno administrativno obdobje (2 leti), glavni tajnik in pomočnik tajnika pa sta lahko izvoljena za največ štiri zaporedna administrativna obdobja. Zakonodajni organ je svet ESC, ki ga sestavljajo člani izvršnega odbora ter predstavniki držav članic. Znanstveno delo

poteka v delovnih skupinah. Nova struktura ESC je bolj dinamična in bo omogočala lažje vodenje organizacije ter še bolj učinkovito strokovno delo znotraj novo ustanovljenih delovnih skupin. Ina Cecić iz Agencije RS za okolje (ARSO) je postala pomožna glavna tajnica ESC.

Konferenca se je udeležilo tudi sedem strokovnjakov iz Slovenije, štirje iz Agencije RS za okolje. Predstavili smo se z osmimi prispevki, nekateri so bili narejeni tudi v sodelovanju s strokovnjaki iz tujine. S posterjem *Slovenian National Seismic Network: Final Report* avtorjev R. Vidrih, I. Tasič, P. Sinčič, M. Zivčič, J. Pahor, J. Kolar, smo predstavili zaključek projekta izgradnje državne mreže potresnih opazovalnic. V sekciji "Data Acquisition, Theory and Interpretation" sta bila predstavljena dva posterja *Analysis of Damping and Natural Period of Seismometers Guralp CMG 40T* ter *Using Artificial Neural Networks for Detecting First P Wave Arrival* avtorjev I. Tasič, P. Sinčič, P. Zupančič. Rezultate mednarodnega projekta "NATO - Science for Peace", v katerem sodeluje tudi ARSO, smo predstavili s posterjema *Ambient Vibration Measurements in Ljubljana, Slovenia* avtorjev P. Zupančič, B. Šket Motnikar, A. Gosar ter *Ambient Noise Identification of Principle Modal Parameters of FCE Building, Ljubljana, Slovenia* avtorjev G. Trendafiloski, Z. Milutinović, P. Zupančič, B. Šket Motnikar, A. Gosar. Ina Cecić se je predstavila s predavanjem *Methodology for Macroseismic Field Surveys in Slovenia* ter posterjema *FITESC Blog in Traces Through the Macroseismic Field Experience in Bulgaria* avtorjev R. Glavcheva, S. Dimova, B. Ranguelov, I. Cecić. Predstavljena predavanja in posterji so objavljeni v knjigi povzetkov ter na zgoščenki.

Kljub nekaterim dvomom o uspehu skupne konference seizmologov in gradbenikov pred samim dogodkom, je bila 1. Evropska konferenca o potresnem inženirstvu in seizmologiji uspešna tako v strokovnem kot organizacijskem pogledu. Odločitev o tem, ali bodo skupne konference ESC in EAEE postale stalnica, bo sprejeta na naslednji generalni skupščini ESC septembra 2008 na Kreti.

# KNJIGA »DRŽAVNA MREŽA POTRESNIH OPAZOVALNIC« PUBLICATION »SEISMIC NETWORK OF SLOVENIA«

**Renato Vidrih**

***Povzetek.** Ob otvoritvi državne mreže potresnih opazovalnic smo na Uradu za seizmologijo in geologijo Agencije Republike Slovenije za okolje izdali knjigo Državna mreža potresnih opazovalnic/Seismic Network of Slovenia. Knjiga je napisana v slovenščini in angleščini in obsega 288 strani velikega formata.*

***Abstract.** On the occasion of the opening of The Seismic Network of Slovenia, The Seismology and Geology Office of The Environmental Agency of Slovenia brought out a publication Seismic Network of Slovenia. The book is written in Slovenian and English and has 288 large format pages.*

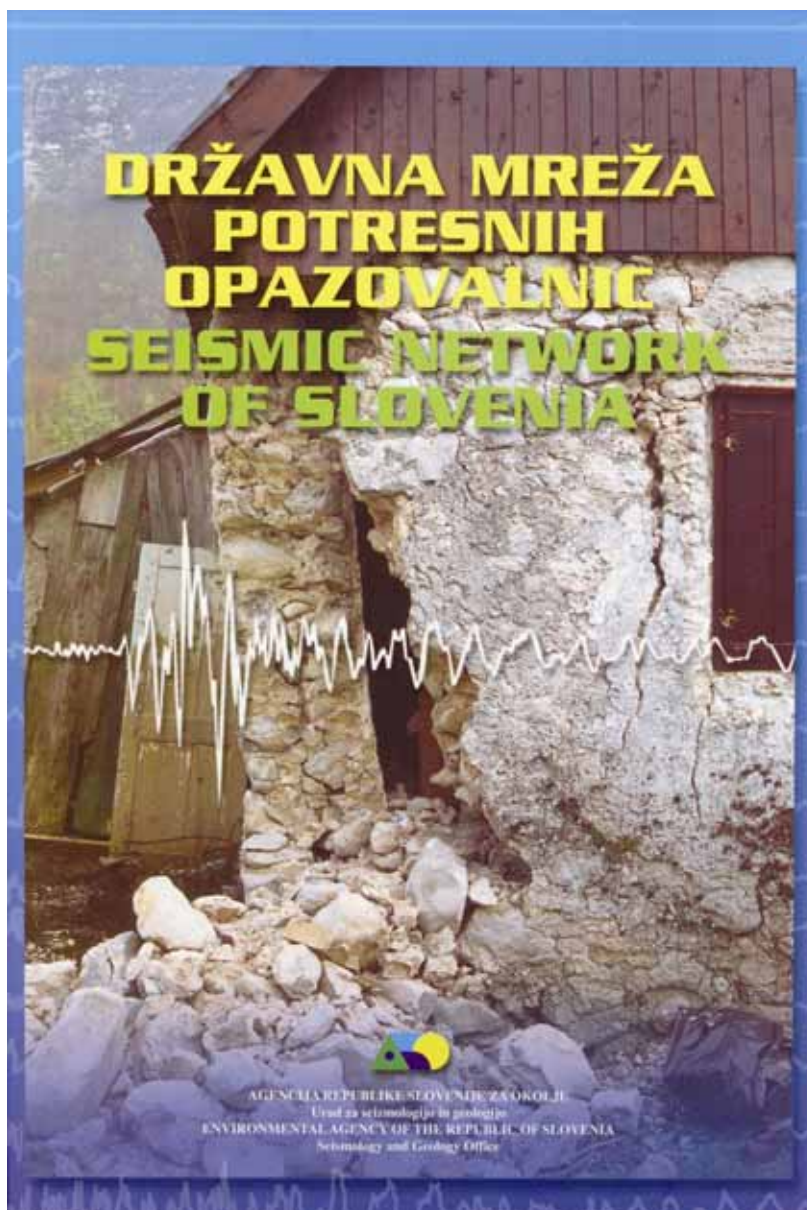
V uvodnem delu seznanja strokovno javnost z razlogi, zakaj je tovrstna mreža potresnih opazovalnic potrebna, z zgodovino potresnih opazovanj doma in po svetu, načinom izbora lokacij za novo mrežo, gradbenimi in električnimi deli, opremo in prenosom podatkov, opisom središča za obdelavo podatkov itd.

Potres v zgornjem Posočju 12. aprila 1998, ki je povzročil veliko škodo na širšem potresnem območju, je pokazal na pomanjkljivo opremljenost slovenske seizmološke službe, da bi hitro in dovolj natančno posredovala podatke o osnovnih potresnih parametrih. Izkazalo se je, da javne službe in širša javnost pričakujejo ustrezno informacijo o potresu in prizadetem območju v bistveno krajšem času, kot je bilo predvideno v načrtih pripravljenosti na potres. V prvih dveh letih po sprejetju sklepa vlade o posodobitvi mreže so bili kupljeni instrumenti, po pridobitvi potrebne dokumentacije pa se je začela gradnja potresnih opazovalnic.

Mreže potresnih opazovalnic so namenjene predvsem beleženju potresne aktivnosti s ciljem ugotavljanja lastnosti Zemljine notranjosti, bodisi globalno ali na omejenem območju, in z namenom ugotavljanja aktivnih tektonskih struktur kot potencialnih izvorov potresov. Ugotavljanje regionalne geološke zgradbe in identifikacija geotektonskih struktur ter kvantifikacija premikov posameznih tektonskih plošč in blokov je neprecenljivega pomena za izdelavo kart potresne nevarnosti, ki so osnova vsakega načrta prostorskega planiranja na območjih s potresno dejavnostjo, kot je to Slovenija. Ozemlje Slovenije se nahaja na stičišču več velikih geotektonskih enot. Prepleteno je s številnimi prelomi različnih lastnosti in različnih starosti, vendar so nevarni le aktivni prelomi in prelomi, katerih lastnosti so take, da bi lahko bili aktivni v sedanjem napetostnem stanju. In prav analiza zapisov mreže potresnih opazovalnic nam poda podatke, ki nam omogočajo karakterizacijo prelomov. Omenimo še, da geologija in geomorfologija ugotavljata prelome, ki imajo površinske manifestacije, vendar so aktivni in s tem nevarni prelomi lahko skriti tudi globoko pod površjem. Te lahko »vidimo« le s sledenjem »izdajalske« šibke potresne aktivnosti, katero zaznajo le sodobne zelo občutljive potresne opazovalnice.

Sodobne potresne opazovalnice se postavljajo načrtno, z namenom doseganja čim večje občutljivosti in čim večje natančnosti opredelitve potresnih parametrov. Občutljivost opazovalnice je odvisna od kakovosti opreme, od lastnosti objekta v katerem je oprema

postavljena in od nivoja seizmičnega šuma na lokaciji, kjer je opazovalnica zgrajena. Površje Zemlje namreč ne miruje, temveč nenehoma niha.



**Slika 1.** Naslovnica knjige kaže posledice potresa 12. aprila 1998 v zg. Posočju, ki je bil eden glavnih vzrokov za izgradnjo sodobne državne mreže potresnih opazovalnic (foto: R. Vidrih). V ozadju je zapis potresa 12. julija 2004 v zg. Posočju, ki so ga zabeležili seizmografi na do takrat zgrajenih 18-tih opazovalnicah nove državne mreže.

**Figure 1.** The cover page of the book shows the effects of the earthquake of 12 April 1998 in the Upper Soča Valley, which was one of the main reasons for building the modern national seismic network (photo: R. Vidrih). In the background is the record of the earthquake of 12 July 2004 in the Upper Soča Valley, which was recorded on the 18 seismic stations of the national seismic network that had been built by then.

Natančnost določanja potresnih parametrov, zlasti lege žarišča potresa (koordinat nadžarišča in žariščne globine) je predvsem odvisna od relativne lege opazovalnic v odnosu na žarišče potresa. Parametri bodo bolje opredeljeni, če imamo zapise iz neposredne bližine in je bilo žarišče potresa obkroženo s potresnimi opazovalnicami. Ugodno lego potresnih opazovalnic



za opazovanje nekega območja lahko določimo tudi z numerično simulacijo in se tako odločimo za najbolj ugodne lokacije. Tako smo v začetku izvajanja projekta posodobitve državne mreže potresnih opazovalnic v Sloveniji leta 1998 naredili numerično simulacijo za primerjavo zmogljivosti obstoječe mreže šestih opazovalnic in pričakovane zmogljivosti načrtovane mreže 25 opazovalnic. Ugotovili smo da z novo mrežo in avtomatično obdelavo zapisov v realnem času dosežemo približno enako natančnost opredelitve lokacije za šibke potrese magnitude  $M_{LV}=1,5$  kot s staro mrežo po zamudni ročni analizi močnejših potresov magnitude 3,0. Za točno določanje lege žarišča potresa moramo poznati tudi lastnosti ozemlja, skozi katero se potresno valovanje razširja. Te pridobimo z analizo zapisov potresov in za ta namen sproženih razstreljevanj.

Potresne opazovalnice državne mreže so povezane s središčem za obdelavo podatkov v Ljubljani prek državne računalniške mreže. Seizmični podatki iz potresnih opazovalnic prihajajo v realnem času neprekinjeno v središče za obdelavo podatkov, kjer na dveh strežnikih poteka (v realnem času) avtomatska obdelava, shranjevanje seizmičnih zapisov v začasni pomnilnik in obveščanje seizmologov o možnih dogodkih.

Mrežo sestavljala 25 potresnih opazovalnic in središče za obdelavo podatkov in pokriva celotno Slovenije (prištejemo pa lahko tudi opazovalnico na observatoriju na Golovcu, kjer je tudi rezervno središče). Mreža ima možnost dograjevanja in nadgrajevanja. Zasnovana je tako, da je omogočena večopravnost. Vsaka potresna opazovalnica je opremljena s seizmometrom Guralp CMG – 40T, zajemalno enoto Quanterra Q730, komunikacijsko opremo in brezprekinitvenim napajanjem, ki omogoča 24-urno avtonomijo. Na štirih opazovalnicah so zaradi slabih geoloških pogojev senzorji v vrtnah.

Nova Državna mreža potresnih opazovalnic zagotavlja, ob nemotenem delovanju, sprejem signala s 25 opazovalnic v središču za obdelavo podatkov v Ljubljani v le nekaj sekundah. Namen take mreže je potrditi, da je potres v določenem območju dejansko nastal in da so opaženi učinki res posledica potresa in ne česa drugega, določiti lokacijo potresa in njegovo magnitudo ter s tem po potrebi aktivirati alarmno proceduro za popotresno aktivnost in ukrepe civilne zaščite ter ostalih pristojnih služb. Hkrati z zapisi potresov prispeva mreža pomembne podatke za razumevanje procesov v žarišču potresa.

V drugem delu knjige sledijo opisi posameznih opazovalnic, od lege, dostopa, opreme, povezav do geološke zgradbe širše okolice vsake opazovalnice in geološkega profila v okolici vsake opazovalnice.

Knjiga je bogato opremljena s številnimi fotografijami in ilustracijami. Uvodnike so poleg urednika prispevali še prof. dr. Peter Suhadolc, podravnatelj Oddelka za Zemeljske vede Univerze v Trstu (DST) in generalni sekretar Mednarodnega združenja za seizmologijo in fiziko notranjosti Zemlje/International Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior (IASPEI), podpredsednik ameriške firme Kinematics Inc., ki je ena najboljših izdelovalk seizmološke opreme na svetu, Ogie Kuraica in generalni direktor Agencije Republike Slovenije za okolje, dr. Silvo Žlebir.