

ime :yyyy-mm-dd hh:mm:ss.- |mlv|/km
 bis :2002-06-02 13:37:28.3|3.7|117
 ddb :2002-06-02 13:37:27.4|3.8|119
 oes :2002-06-02 13:37:27.0|3.9|111
 lju :2002-06-02 13:37:09.8|3.9|059
 oey :2002-06-02 13:36:58.5|3.8|021
 vby :2002-06-02 13:37:22.0|3.5|088

od LJU: 48km, JUGO-ZAHOD, M_{LV} :3.8
 IIII mmdd uumm = 2002 6 2 1337
 LOKACIJA :14.204 45.668



POTRESI V LETU 2002



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

POTRESI V LETU 2002

EARTHQUAKES IN 2002

AGENCIJA REPUBLIKE SLOVENIJE ZA OKOLJE
URAD ZA SEIZMOLOGIJO IN GEOLOGIJO

ENVIRONMENTAL AGENCY OF THE REPUBLIC OF SLOVENIA
SEISMOLOGY AND GEOLOGY OFFICE

Ljubljana 2004

POTRESI V LETU 2002

EARTHQUAKES IN 2002

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

mag. Renato Vidrih

RAČUNALNIŠKO OBLIKOVANJE – COMPUTER DESIGN

Peter Sinčič

UREDNIŠKI SVET – EDITORIAL BOARD

dr. Silvo Žlebir

mag. Renato Vidrih

mag. Ina Cecić

Matjaž Godec

dr. Andrej Gosar

Peter Sinčič

dr. Barbara Šket Motnikar

mag. Izidor Tasič

Polona Zupančič

mag. Mladen Živčič

TISK – PRINTED BY

Formatisk, Bobenčkova 4, Ljubljana

CIP – Kataložni zapis v publikaciji
Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana
UDK 550.34.100 »2002«
ISSN 1318 - 4792
Potresi v letu 2002/ur. R. Vidrih – Ljubljana
Agencija RS za okolje, 2004

NASLOVNICA:

Slika kaže zapis vertikalne komponente najmočnejšega potresa v letu 2002 (2. junija ob 15. uri 37 minut po lokalnem času na območju Koritnic z magnitudo 3,8 in največjimi učinki V. stopnje po EMS) na šestih potresnih opazovalnicah državne mreže (BISS Bistriški jarek, DOB Dobrina, CES Cesta, LJU Ljubljana, CEY Cerknica in VBY Bojanci v Beli krajini) in avtomatski izračun osnovnih potresnih parametrov, kot so čas nastanka potresa, koordinati epicentra in magnituda. Na zapisu potresa sta označena avtomatsko določena prihoda P (rdeča črta) in S (zelena črta) potresnih valov, na podlagi katerih avtomat oceni podatke o moči in oddaljenosti potresa od potresne opazovalnice. Avtomatski izračun je narisano na zemljevidu (rdeča zvezdica). Sistem avtomatskega izračuna je bil razvit na Uradu za seizmologijo in geologijo in se še dopolnjuje.

Ozadje kaže potresno opazovalnico na Knežjem dolu (1024m) nad Ilirsko Bistrico.

COVER PAGE:

The six seismograms of vertical components recorded on six seismic stations of the Slovenian seismic network (BISS Bistriški jarek, DOB Dobrina, CES Cesta, LJU Ljubljana, CEY Cerknica and VBY Bojanci in Bela krajina) show the record of the strongest earthquake in 2002 (2 June at 15.37 local time; its magnitude was 3.8 and maximum intensity observed V EMS-98) with epicentre near Koritnice. On each recording the arrival of P (red line) and S (green line) waves was automatically denoted and the earthquake's parameters such as the origin time, coordinates of epicentre and magnitude were calculated. The epicentre was then marked with red star on map sketch. Software for automatic epicentre location was developed in Seismology and Geology Office and is still improving.

On the background the seismic station Knežji dol (1024m) above Ilirska Bistrica is shown.

VSEBINA

PREDGOVOR	I
<i>Peter Sinčič, Renato Vidrih, Matjaž Gostinčar in Mladen Živčič</i>	
POTRESNE OPAZOVALNICE V SLOVENIJI V LETU 2002	1
<i>Ina Cecić, Mladen Živčič, Tamara Jesenko in Janko Kolar</i>	
POTRESI V SLOVENIJI LETA 2002	12
<i>Tatjana Prosen</i>	
AKCELEROGRAFI DRŽAVNE MREŽE POTRESNIH OPAZOVALNIC V LETU 2002	28
<i>Polona Zupančič, Barbara Šket Motnikar, Andrej Gosar in Tatjana Prosen</i>	
KARTA POTRESNE MIKORAJONIZACIJE MESTNE OBČINE LJUBLJANA	32
<i>Jure Bajc, Mladen Živčič in Matjaž Gostinčar</i>	
SEIZMIČNA AKTIVNOST V ŠALEŠKI DOLINI SPOMLADI 2002	55
<i>Vanja Kastelic in Andrej Gosar</i>	
SEIZMIČNE REFRAKCIJSKE RAZISKAVE LITOSFERE NA PROFILU ALP02 PROJEKTA ALP 2002	71
<i>Izidor Tasič</i>	
SEIZMOMETER V VRTINI	85
<i>Bojan Uran</i>	
ZNAČILNOSTI IN DELOVANJE KOMUNIKACIJSKIH POVEZAV V OMREŽJU POTRESNIH OPAZOVALNIC	94
<i>Tamara Jesenko in Renato Vidrih</i>	
MOČNEJŠI POTRESI PO SVETU LETA 2002	106
<i>Matjaž Godec in Renato Vidrih</i>	
POTRES NA SICILIJI 6. SEPTEMBRA 2002	116
<i>Andrej Gosar</i>	
PRVI SLOVENSKE GEOLŠKI KONGRES	125
<i>Izidor Tasič in Peter Sinčič</i>	
OTVORITEV CONRADOVEGA OBSERVATORIJA	127
<i>Ina Cecić, Izidor Tasič in Mladen Živčič</i>	
XXVIII GENERALNA SKUPŠČINA ESC	131

CONTENTS

PREFACE.....	III
<i>Peter Sinčič, Renato Vidrih, Matjaž Gostinčar and Mladen Živčić</i>	
SEISMIC NETWORK IN SLOVENIA IN 2002.....	1
<i>Ina Cecić, Mladen Živčić, Tamara Jesenko and Janko Kolar</i>	
EARTHQUAKES IN SLOVENIA IN 2002.....	12
<i>Tatjana Prosen</i>	
STRONG MOTION NETWORK IN SLOVENIA IN 2002.....	28
<i>Polona Zupančič, Barbara Šket Motnikar, Andrej Gosar and Tatjana Prosen</i>	
SEISMIC MICROZONATION MAP OF THE MUNICIPALITY OF LJUBLJANA.....	32
<i>Jure Bajc, Mladen Živčić and Matjaž Gostinčar</i>	
SEISMIC ACTIVITY IN THE ŠALEK VALLEY IN THE SPRING OF 2002.....	55
<i>Vanja Kastelic in Andrej Gosar</i>	
SEISMIC REFRACTION INVESTIGATIONS OF THE LITHOSPHERE ALONG ALP02 PROFILE OF THE ALP 2002 PROJECT.....	71
<i>Izidor Tasič</i>	
BOREHOLE SEISMOMETER.....	85
<i>Bojan Uran</i>	
CHARACTERISTICS AND PERFORMANCE OF COMMUNICATIONS IN THE SEISMIC NETWORK.....	94
<i>Tamara Jesenko and Renato Vidrih</i>	
WORLD'S LARGEST EARTHQUAKES IN 2002.....	106
<i>Matjaž Godec and Renato Vidrih</i>	
THE 6 SEPTEMBRE 2002 EARTHQUAKE IN SICILY.....	116
<i>Andrej Gosar</i>	
THE FIRST SLOVENIAN GEOLOGICAL CONGRESS.....	125
<i>Izidor Tasič and Peter Sinčič</i>	
CONRAD OBSERVATORY OPENING.....	127
<i>Ina Cecić, Izidor Tasič and Mladen Živčić</i>	
THE XVIII ESC GENERAL ASSEMBLY.....	131

PREDGOVOR

Dvanajsta zaporedna publikacija »Potresi v letu...« obravnava potresno dejavnost v letu 2002. Uvodni članek bralce seznanja s stanjem potresnega opazovanja v Sloveniji. V okviru projekta modernizacije državne mreže potresnih opazovalnic je bilo zgrajenih in vključenih v omrežje sedem novih opazovalnic. Konec leta 2002 je na ozemlju Slovenije delovalo štirinajst stalnih potresnih opazovalnic, opremljenih z različnimi vrstami analognih in digitalnih seizmografov. Seizmografi so zabeležili 4514 seizmičnih dogodkov, od tega 1786 lokalnih potresov, 928 regionalnih in 611 oddaljenih. Seizmografi so zapisali tudi 1189 umetnih potresov.

Osrednji članek nam predstavlja potresno dejavnost Slovenije. Leto 2002 je bilo srednje dejavno. Prebivalci različnih območij Slovenije so čutili 47 potresnih sunkov, vendar vsa žarišča niso bila na slovenskem ozemlju. Najmočnejši potres je bil 2. junija ob 13. uri 37 minut UTC v bližini Koritnic. Njegova magnituda je bila 3,8, največja intenziteta pa V. stopnje po EMS lestvici (evropska potresna lestvica). Najmočnejši potres z žariščem zunaj Slovenije, ki pa so ga čutili tudi prebivalci celotne zahodne Slovenije, je bil 14. februarja ob 3. uri 18 minut UTC na območju Moggio Udinese v Furlaniji. Imel je magnitudo 4,5. Največjo intenziteto V. stopnje po EMS je doseglo sedem potresov, med IV. in V. stopnjo tudi sedem, največjo intenziteto IV. stopnje pa enajst potresnih sunkov. Magnitude potresov so bile večinoma manjše od 2,0. Petnajst potresov je imelo magnitudo med 2,1 in 2,4, šest med 2,5 in 2,8, trije med 2,9 in 3,2, dva med 3,3 in 3,6 in eden 3,7. Največ žarišč je nastalo v globini manjši od 10 km, veliko manj v globinah med 10 in 20 km, le dvajset potresov pa je imelo globlja žarišča, do 33 km. V letu 2002 je bila povečana potresna dejavnost v okolici Šoštanja, vendar so prevladovali potresi umetnega izvora.

Naslednji prispevek nas seznanja z mrežo akceleroagrafov v Sloveniji. V letu 2002 je delovalo 13 akceleroagrafov, ki so namenjeni predvsem beleženju močnih potresov.

Sledi članek o potresni mikrorajonizaciji Mestne občine Ljubljana, ki so jo v letu 2002 izdelali strokovnjaki Urada za seizmologijo in geologijo. Karta je bila narejena na podlagi klasifikacije tal, evropskega standarda EC8 in karte potresne nevarnosti Slovenije in je namenjena izključno uporabi v sistemu varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami. Mikrorajonizacija temelji na obstoječih geoloških, geofizikalnih in seizmoloških podatkih. Za izdelavo boljše karte pa bi potrebovali več meritev hitrosti strižnega valovanja na območju mesta.

Članek o povečani seizmični aktivnosti Šaleške doline v obdobju 2000 - 2002 nas seznanja o najpomembnejših značilnostih tresenja tal. Najmočnejši potres je dosegel največjo intenziteto med IV. in V. stopnjo EMS. Sodelavci Urada za seizmologijo in geologijo so v okolico aktivnega območja namestili več seizmografov. Na podlagi analiz podatkov je bilo ugotovljeno, da so vsa žarišča nastajala v območju velikosti 2 x 2 km, med kraji Šoštanj, Gaberke, Hrastovec in Velenje, v globini med pol in enim kilometrom, vendar je nenatančnost pri določanju teh parametrov lahko nekaj kilometrov. Za točno določanje lokacije in globine (napaka ne presega nekaj sto metrov) pa ne zadoščajo standardne metode seizmološkega opazovanja v regionalnem merilu, ampak je potrebna gosta lokalna mreža inštrumentov in natančen tridimenzionalni hitrostni model.

Sledi opis postavljanja seizmometrov v vrtino. Na nekaterih opazovalnicah državne mreže je bilo potrebno izvrtati vrtino, ki je segala v seizmogeološko dovolj ugodno kamnino. Za

tovrstne opazovalnice so bili uporabljeni posebni seizmografi, katerih namestitev je mnogo zahtevnejša od postavitve klasičnih inštrumentov.

Članek o značilnostih in delovanju komunikacijskih povezav v državni mreži potresnih opazovalnic opisuje teoretične značilnosti TCP/IP protokolnega sklada in delovanje komunikacije v praksi. Opisuje ugotovitve spremljanja komunikacij treh inštrumentov vrste Quatterra z observatorija na Golovcu s središčem za obdelavo podatkov na Dunajski 47 in tipične napake, ki se pri tem pojavljajo.

Med močnejšimi svetovnimi potresi v letu 2002 je v preglednici predstavljenih 78 potresov, ki so dosegli ali preseгли magnitudo 6,5 oz. povzročili večjo gmotno škodo ter zahtevali človeška življenja. Od teh je natančneje opisanih 35 potresov. Potres z največ smrtnimi žrtvami je bil 25. marca v Afganistanu. V njem je umrlo najmanj 1000 ljudi. Potres 22. junija v zahodnem Iranu je zahteval vsaj 261 žrtev. Največ energije se je sprostito pri potresu 3. novembra v osrednji Aljaski. Imel je navorno magnitudo 7,9. Najgloblji potres je bil 19. avgusta blizu otočja Fidži in je imel žarišče v globini 675 km. Potresi v letu 2002 so zahtevali 1711 smrtnih žrtev.

Posebej smo opisali potres 6. septembra na Siciliji, ki je bil zanimiv predvsem zaradi posledic v naravi. Potres z magnitudo 5,6 in največjimi pospeški 0,13 g je v kraju Cerda povzročil nastanek velikega zemeljskega plazua.

Na koncu publikacije je predstavljenih nekaj zanimivejših domačih in tujih konferenc ter srečanj, kjer smo sodelovali tudi sodelavci ARSO, Urada za seizmologijo in geologijo.

Tudi ob izidu publikacije »Potresi v letu 2002« se sodelavci ARSO, Urada za seizmologijo in geologijo zahvaljujemo 4600 prebivalcem različnih območij Slovenije, ki so nam z odgovori na makroseizmične vprašalnike pomagali pri boljši oceni potresnih parametrov.

Renato Vidrih

urednik

PREFACE

The twelfth annual publication »Earthquakes in year ...« discusses earthquake activity in year 2002. The first article introduces readers to the current state of the seismic monitoring in Slovenia. In the frame of the seismic network modernization project, 7 new stations were built and installed into the network. By the end of the year 2002, fourteen permanent seismic stations were operating equipped with different analog and digital seismographs. Seismic stations recorded 4514 seismic events. 1786 of them were local earthquakes, 928 regional and 611 distant events. Seismographs also registered 1189 artificial earthquakes.

The main article introduces readers to seismic activity in Slovenia. The activity in 2002 was average. At least 47 earthquakes were felt in different parts of Slovenia, but not all of them had epicentres on Slovenian territory. The strongest earthquake occurred on 2 July at 13:37 UTC near to Koritnice. Its magnitude was 3.8. The maximum intensity was V EMS. The strongest earthquake outside Slovenian borders, but felt by the residents in the west of Slovenia, occurred on the 14 February at 3:18 UTC in the Friuli in the Moggio Udinese area. Its magnitude was 4.5. There were seven earthquakes with maximum intensity V EMS, seven with IV – V EMS and eleven with IV EMS. The most of the magnitudes were below 2.0. Fifteen earthquakes have had a magnitude between 2.1 – 2.4, six between 2.5 – 2.8, three between 2.9 – 3.2, two between 3.3 – 3.6 and one 3.7. Most of the hypocentres were shallower than 10 km, and the minority in between 10 – 20 km. Only twenty earthquakes had hypocentres deeper than 33 km. In the year 2002 there was also an increase in earthquake activity in the Šoštanj area. Most of them were artificial.

The accelerographs network in Slovenia is described in next article. It consists of 13 accelerographs and is intended for measurement of strong earthquakes.

The next article is about seismic microzonation of Ljubljana. This study was made in 2002 by the experts of The Seismology and Geology Office. The map was made on the base of the ground classification, by the European EC8 standard and official seismic hazard map of Slovenia. The purpose of the map is strictly the usage in system from natural and other disasters. Microzonation is based on known geological, geophysical and seismic data. In order to improve the map more shear velocity and other geophysical measurements are necessary in the city area.

The article about the increase of the seismic activity in Šalek valley in period between 2000 – 2002 introduces the most important characteristics of ground motion. The strongest earthquake had maximum intensity IV – V on the EMS scale. The Seismology and Geology Office installed a number of seismographs in the region of activity. Data analysis showed that all of the hypocentres occurred inside the area of size $2 \times 2 \text{ km}^2$ among Šoštanj, Gaberke, Hrastovec and Velenje, in the depths between 0.5 – 1 km. The accuracy of determination of these parameters could be larger than 1 km. For the exact determination of depth and location (error less than 100m) standard methods of seismic observations on a regional scale are not enough. For obtaining this a dense local seismic network and an accurate 3-D velocity model would be necessary.

The following paper is a description of installation of the borehole sismometers on some seismic stations of the national seismic network. Boreholes were drilled up to the depth in which the characteristics of the rocks were favorable. For this type of stations special

seismometers were used. The installation of these instruments is far more complex than the installation of freefield instruments.

The article about characteristics and operation of the communication connections in the national seismic network described theoretical characteristics of the TCP/IP protocol and the process of communications in real life. An overview of the results of monitoring communications of three Quanterra type instruments from the Golovec observatory to the centre for data analysis in Head Office and typical errors is given.

In the following paper 78 of the strongest earthquakes that reached or exceeded magnitude of 6.5 or caused significant damage and took human lives are described. 35 of them in detail. Earthquake with the largest number of victims was on 25 March in Afghanistan. It killed at least 1000 people. Earthquake on 22 June in West Iran took at least 261 lives. Most energy was released by the earthquake on 3 November in Central Alaska. Its magnitude was 7.9. The deepest earthquake happened on 19 August near Fiji Islands and its hypocenter was 575 km. Earthquakes in the year 2002 took more than 1700 lives.

Special attention was given to the earthquake on 6 September on Sicily, Italy. This was interesting event because of the effects observed in nature; the event with the magnitude of 5.6 and maximum acceleration of 0.13g caused a big landslide in the city of Creda.

Some of the most interesting meetings and conferences in Slovenia and abroad are represented at the end of the publication.

On behalf of the authors (all employees of the Environmental Agency – Seismology Office) I hope that every reader will find something to one's taste in this publication. On this occasion we would like to thank 4600 voluntary observers throughout Slovenia for their co-operation, which helped us to assess the earthquake effects and estimate the intensities.

Renato Vidrih

Editor - In - Chief

POTRESNE OPAZOVALNICE V SLOVENIJI V LETU 2002

SEISMIC NETWORK IN SLOVENIA IN 2002

Peter Sinčič, Renato Vidrih, Matjaž Gostinčar in Mladen Živčić

***Izvleček.** Konec leta 2002 je na ozemlju Republike Slovenije delovalo štirinajst stalnih potresnih opazovalnic, opremljenih z različnimi vrstami analognih in digitalnih seizmografov. Omrežje potresnih opazovalnic z digitalnimi seizmografi, s katerih poteka avtomatski prenos podatkov v središče za obdelavo podatkov Urada za seizmologijo in geologijo v Ljubljani, sestavljajo potresne opazovalnice v Ljubljani na Golovcu (LJU), v Bojancih v Beli krajini (VBY), Dobrini na Kozjanskem (DOBS), v Goričicah pri Cerknici (CEY), Cesti nad Krškim (CESS), v Robiču v zgornjem Posočju (ROBS), na Pernicah (PERS) in v Braniku nad Muto (BISS), Grobniku na Pohorju (GROS), v Podkumu (PDKS), Črešnjevcu na Gorjancih (CRES), na Golišah na Bizeljskem (GOLS) in na Legarjah na Dolenjskem (LEGS). Stalna opazovalnica na Vojskem (VOY) ter začasna v Brezjah pri Senušah (KBZ) na obrobju Krško - Brežiškega polja sta opremljeni z analognimi seizmografi. V okviru projekta modernizacije mreže potresnih opazovalnic je bilo zgrajenih in vključenih v omrežje sedem novih opazovalnic. Na območju cele Slovenije smo postavili več začasnih potresnih opazovalnic in akcelerografov. Zaradi povečane seizmične aktivnosti v Šaleški dolini smo postavili potresni opazovalnici v Gaberkah (GABR) in Velenju (VELE) ter akcelerograf v Šoštanju. Po potresu na območju Koritnic smo postavili akcelerograf v Koritnicah (KRTS). Začasno smo postavili inštrumente še v Biljah pri Novi Gorici (BILJ), Horjulu (HORJ), Lukovici (LUKO), Lipah (LIPE), Brežicah (BREZ), Novem mestu (NOME), Rakičanu pri Murski Soboti (RAKI) in na Lisci (LISS).*

***Abstract.** Fourteen permanent seismic stations were working within the Republic of Slovenia at the end of 2002. The stations were equipped with different types of analogue and digital seismographs. The oldest and central monitoring station of the Environmental Agency of the Republic of Slovenia, located at the observatory Golovec in Ljubljana, is equipped with three-component analogue long-period and short-period seismographs with optical recording on photographic paper, a short-period seismograph with ink recording and with broad band digital seismographs. A seismic station was built in Goričice near Lake Cerknica in 1975. A broad band digital seismograph was supplied in 1997 to supplement the existing three-component short-period analogue seismograph. In 2001 the Quanterra Q730 high resolution acquisition system with Guralp CMG 40T broadband seismometer was installed for testing purposes with real time data transmission to data centre in Ljubljana. At the beginning of 2002 three-component short-period analogue seismograph stopped recording. In January 1985, the third seismic station in Slovenia, located at Vojsko near Idrija, started to operate. It was initially equipped with an analogue short-period seismograph with a vertical component. The horizontal components were added in January 1991. During the following year the seismic station in Bojanci, Bela krajina, was installed. Similarly, it was equipped with an analogue short-period seismograph with a vertical component. In 1996, a broadband digital seismograph was added together with a facility to transmit data to the main office in Ljubljana using dial up line. In order to monitor seismic activity in the Krško - Brežice area, a temporary seismic station was set up in 1990 in Brezje (Senuše area). It was equipped with a vertical component portable analogue seismograph. A seismic station was set up at Cesta near Krško in 1996. Originally, a portable broadband digital seismograph recording data on magnetic tape was installed there. In 1998, this was replaced with a seismograph, transmitting data to the main office using the governmental communication network. Because of the possibility of induced seismic activity caused by accumulation lake in neighbouring Austria, a temporary seismic station was installed at Branik near Muta in 1991. It was equipped with a vertical component portable analogue seismograph. A shaft was built and a broad band digital seismograph was installed, transmitting data to the main office using dial up lines in 1996. In the same year, a seismic station at Dobrina in Kozjansko area started to operate. It was equipped with the same type of digital seismograph as at Branik. From time to time a portable digital seismograph recording data on hard disk operates also in Horjul. Within the scope of*

modernization of the national seismic network, new data centre was set up in Ljubljana in 2001 consisting of two UNIX-based host computers running Antelope system software. Host computers provide command and control of remote seismic stations. The same year new broadband Quanterra Q730 acquisition systems were installed in seismic stations in Ljubljana, Goričice, Dobrina and in Nuclear Power Plant Krško with real-time data transmission in to data center using TCP/IP protocols over an Ethernet-based Wide Area Network. In the 2002 the project "Modernization of the Seismic Network of the Republic of Slovenia" was continued. Seven new seismic stations were built up in Pernice (PERS), Grobnik (GROS), Podkum (PDKS), Goliše (GOLS), Črešnjevce (CRES), Legarje (LEGS) and Robič (ROBS). Q730 data loggers and CMG 40T broadband sensors were installed in seismic shafts. The data acquisition systems are recording continuous time-series sampled at 200 sps, 20 sps and 1sps. The data is transmitted using TCP/IP protocol over the governmental communication network. Five temporary seismic stations with the same type of instruments and data transmission were set up in Novo Mesto, Bilje, Rakičan, Velenje and Lisca. Because of increased seismic activity temporary stations equipped with digital seismographs or accelerographs were set up in Šoštanj, Gaberke, Horjul, Lipe, Brežice, Lukovica and Koritnice.

Uvod

Najstarejša in osrednja opazovalnica Agencije RS za okolje se nahaja na observatoriju na Golovcu v Ljubljani (LJU) in je opremljena s trikomponentnim analognim dolgoperiodnim seizmografom in trikomponentnim analognim kratkoperiodnim seizmografom z optičnim zapisom na fotografski papir, 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 v 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 ljubljansko centralo. 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 centralo. 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 dodan jašek in postavljen širokopasovni digitalni seizmograf s prenosom podatkov po klicni telefonski liniji v centralo. 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 smo v Ljubljani vzpostavili novo središče za zajem in analizo podatkov. V opazovalnice v Ljubljani, Goričicah, Dobrini in jedrsko elektrarno v Krškem smo namestili nove digitalne seizmografe. Začeli smo 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: Goliše (GOLS), Črešnjevec (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. Začasno smo postavili inštrumente na meteoroloških opazovalnicah v Novem mestu, Biljah, Rakičanu in na Lisci. Zaradi povečane potresne aktivnosti smo postavili mrežo začasnih opazovalnic v Šaleški dolini: 2 v Šoštanju, Gaberkah in Velenju. Prenosni inštrumenti so bili zaradi povečane potresne aktivnosti postavljeni tudi v Koritnicah, Lukovici in Brežicah.

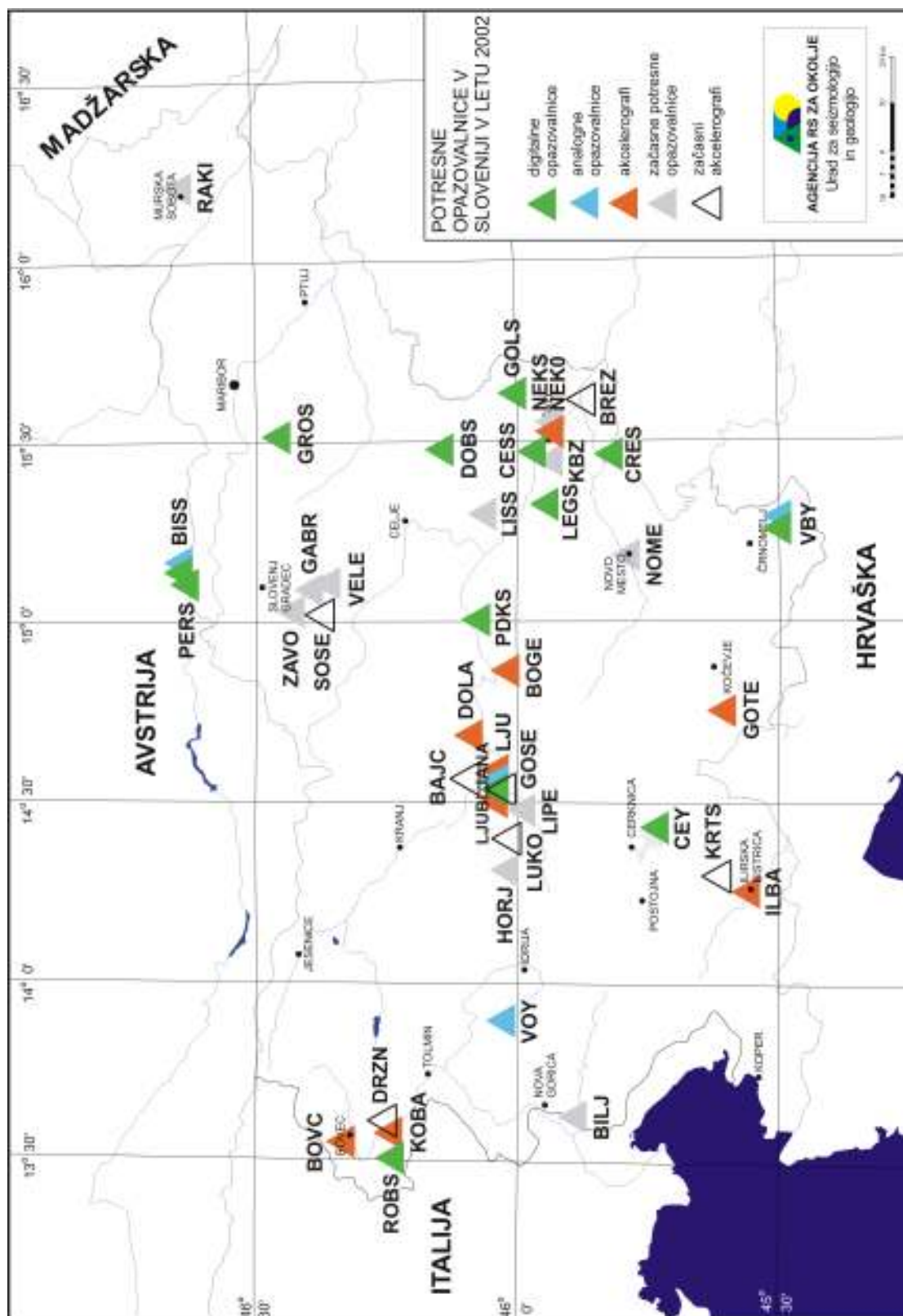
Opis potresnih opazovalnic

V Ljubljani (LJU) so inštrumenti za beleženje potresov postavljeni v observatoriju na Golovcu. Opazovalnica je zgrajena v karbonskih peščenjakih, ki v seizmogeološkem smislu pomenijo srednje ugodna tla. Opazovalnica ima koordinati 46,04° N in 14,53° E, leži pa na nadmorski višini 396 m. Spada med potresne opazovalnice prvega reda, kar pomeni, da beleži kratkoperiodne in dolgoperiodne potresne valove na velikih razdaljah ter je del svetovnega omrežja. Da bi bili podatki zanimivi za svetovno mrežo, morajo ustrezati svetovnim standardom. Enako velja za opremo in njeno delovanje. Dolgoperiodni sistem sestavljajo vertikalni in dva horizontalna seizmometra Sprengnether, galvanometri Lehner & Griffith pa zapisujejo signale s svetlobnim žarkom na fotopapir na pisaču Sprengnether. Povečava sistema je 1300 pri periodi 1 s (vertikalna komponenta). Poleg njiju deluje tudi kratkoperiodni sistem Lehner & Griffith z zapisom na fotopapir. Povečava tega sistema je 12000 pri periodi 1 s (vertikalna komponenta). Zapis poteka samo na vertikalni komponenti. Sistem z vidljivimi zapisi sestavljajo seizmometri Willmore MK-II, seizmografski ojačevalniki SO-01, ki so jih razvili strokovnjaki Urada za seizmologijo in geologijo Agencije RS za okolje ter pisači Günter Volk z galvanometri Astromed. Največja povečava vidljivega sistema je 46 700 pri periodi 0,4 s (vertikalna komponenta). Vsi zapisi so opremljeni s časovnimi signali, ki jih beleži natančna elektronska ura UK-03. To so prav tako skonstruirali in izdelali strokovnjaki Urada za seizmologijo in geologijo Agencije RS za okolje, njeno natančnost pa nadzorujemo s sprejemnikom časovnih signalov DCF 77.

V potresni opazovalnici na Golovcu je leta 1990 začel delovati šestkomponentni digitalni seizmograf SSR-1 s tremi enokomponentnimi širokopasovnimi seizmometri WR-1 in trikomponentnim akcelerometrom FBA-23 Kinometrics. Seizmograf ima 16-bitno analogno - digitalni pretvornik analognega signala in deluje v prožilnem načinu delovanja in s frekvenco vzorčenja 200 vzorcev v sekundi.

Leta 1996 postavljeni digitalni seizmograf Nanometrics sestavljajo širokopasovni trikomponentni seizmometer Guralp CMG-40T, 16-bitni analogno - digitalni pretvornik s tristopenjskim samonastavljivim predojačenjem RD 1603 in osebni računalnik s sprejemnikom točnega časa GPS in programska oprema, ki skrbi za zajem podatkov in za komunikacijo s centralnim računalnikom. Programska oprema na centralnem računalniku zbira podatke iz oddaljenih opazovalnic (Vidrih in Sinčič, 1997). V marcu 2001 smo namestili še nov širokopasovni digitalni sistem, ki ga sestavljajo širokopasovni trikomponentni seizmometer Guralp CMG-40T, akcelerometer EpiSensor in šestkanalni širokopasovni zajemalni sistem Quanterra Q730. Sistem ima na vhodu šest neodvisnih 24-bitnih analogno-digitalnih (A/D) med seboj galvansko ločenih pretvornikov, vgrajen DSP (procesor digitalnega signala), GPS sprejemnik točnega časa in RAM pomnilnik za začasno

shranjevanje podatkov. Komunikacijski protokol omogoča paketni prenos podatkov v središče za zajem in obdelavo podatkov.



Slika 1. Potresne opazovalnice v Sloveniji leta 2002

Figure 1. Seismic network in Slovenia in 2002

Potresna opazovalnica v Cerknici (CEY) stoji na spodnjejurskih apnencih, ki so ugodna seizmogeološka podlaga. Koordinati opazovalnice sta $45,74^{\circ}$ N in $14,43^{\circ}$ E, nadmorska višina

pa je 579 m. Analogni merilni sistem so sestavljali en vertikalni in dva horizontalna seizmometra Willmore MK-II, seizmografski ojačevalniki SO-01 in pisači Günter Volk z galvanometri Astromed ter uro UK-03. Povečava je bila zaradi mirnejše lokacije večja kot v Ljubljani in je znašala 82200 pri 0,5 s (vertikalna komponenta). Januarja leta 2002 smo analogni merilni sistem izklopili. V začetku leta 1997 postavljeni digitalni seizmograf podjetja Nanometrics sestavljajo širokopasovni trikomponentni seizmometer Guralp CMG-40T, 16-bitni analogno - digitalni pretvornik s tristopenjskim samonastavljivim predojačenjem RD 1603 in osebni računalnik s sprejemnikom točnega časa GPS in programsko opremo, ki skrbi za zajem podatkov in za komunikacijo s centralnim računalnikom. Leta 2000 smo seizmograf vključili v državno računalniško omrežje, po katerem teče prenos podatkov na centralni računalnik na observatoriju na Golovcu v Ljubljani. Marca 2001 smo na tej opazovalnici začasno vključili v omrežje nov digitalni sistem, ki ga sestavljata seizmometer Guralp CMG-40T in zajemalna naprava Quanterra Q730 z neprekinjenim prenosom podatkov po računalniškem omrežju v središče za obdelavo podatkov.

Opazovalnica na Vojskem (VOY) leži na seizmogeološko zelo ugodni podlagi, ki jo sestavlja zgornjetriasni dolomit, na koordinatah $46,03^{\circ}$ N in $13,89^{\circ}$ E. Nadmorska višina opazovalnice je 1073 m. Opazovalnica je opremljena z vertikalnim in dvema horizontalnima seizmometroma Willmore MK-II, s seizmografskimi ojačevalniki SO-03, pisači Kinometrics VR-2 in uro UK-03. Povečava seizmografa na Vojskem je 557000 pri 0,1 s (vertikalna komponenta).

Četrta opazovalnica v Bojancih (VBY) je bila do leta 1996 analogna z eno komponento. Zgrajena je na krednem apnencu, ki je zelo dobra seizmogeološka podlaga. Koordinati opazovalnice sta $15,26^{\circ}$ E in $45,50^{\circ}$ N, nadmorska višina pa je 252 m. Seizmograf sestavljajo vertikalni seizmometer Vegik, seizmografski ojačevalnik SO-03, pisar Kablar I z galvanometrom Astromed ter ura UK-03. Sistem deluje s povečavo 116600 pri 0,5 s. Opremo opazovalnice smo leta 1996 dopolnili s trikomponentnim digitalnim seizmografom Nanometrics s širokopasovnim trikomponentnim senzorjem Guralp CMG-40T. Pošiljanje podatkov iz opazovalnice v centralni računalnik v Ljubljani je potekalo po klicni telefonski liniji na zahtevo centralnega računalnika. V juniju 1999 smo zamenjali opremo opazovalnice, in sicer 16-bitni analogno - digitalni pretvornik RD3-1605 s 24-bitnim HRD24-2432 z vgrajenim GPS sprejemnikom, klicno telefonsko linijo pa z najeto linijo do Geodetske uprave v Črnomlju, kjer smo se vključili v državno računalniško omrežje. S tem je zagotovljen hitrejši in kvalitetnejši prenos podatkov do centralnega računalnika na observatoriju na Golovcu v Ljubljani.

Potresna opazovalnica v Braniku nad Muto (BISS), ki beleži seizmične pojave v bližini jezua HE Golica, je bila leta 1990 nameščena v objektu, zgrajenem v metamorfih kamninah, ki so v seizmogeološkem pogledu ugodne. Koordinati opazovalnice sta $15,13^{\circ}$ E in $46,65^{\circ}$ N, nadmorska višina pa je 480 m. Na travniku nad objektom smo zgradili jašek in vanj postavili seizmometer Vegik, leta 1996 pa še seizmometer Guralp CMG-40T. Vertikalni kratkoperiodni seizmometer Vegik je priključen na prenosni analogni pisar PS-2 Kinometrics. Trikomponentni širokopasovni seizmometer Guralp CMG-40T je sestavni del digitalnega seizmografa Nanometrics, ki ga sestavljajo še analogno-digitalni pretvornik RD3-1605 in osebni računalnik s programsko opremo za zajem in posredovanje podatkov in z dodatno vgrajenimi moduli: vhodno enoto, GPS sprejemnikom točnega časa in nadzorno enoto delovanja sistema. Seizmograf smo leta 2000 vključili v državno računalniško omrežje, po katerem teče prenos podatkov na centralni računalnik na observatoriju na Golovcu v Ljubljani.

Potresna opazovalnica v Dobrini na Kozjanskem (DOBS), zgrajena leta 1996, je opremljena z digitalnim seizmografom Nanometrics in tudi ta opazovalnica je zaradi zanesljivejšega in hitrejšega prenosa podatkov ter nastavljanja parametrov leta 2000 vključena v državno računalniško omrežje. Seizmometer je nameščen skupaj z analogno - digitalnim pretvornikom v jašku, osebni računalnik z GPS sprejemnikom točnega časa pa je nameščen v hišici. Opazovalnica je zgrajena na laporjih, ki prehajajo v apnenec in dolomit ladinijske starosti (srednji trias). Njeni koordinati sta $46,15^{\circ}$ N in $15,47^{\circ}$ E, nadmorska višina pa 425 m. Aprila 2001 smo namestili novi sistem s seizmometrom Guralp CMG-40T in zajemalno napravo Quanterra Q730 z neprekinjenim prenosom podatkov po računalniškem omrežju v središče za obdelavo podatkov.



Slika 2. Nova potresna opazovalnica Podkum (PDKS)

Figure 2. New seismic station Podkum (PDKS)

Potresna opazovalnica CESS je bila zgrajena leta 1996 v vasi Cesta nad Krškim. V drugi polovici leta 1997 je prenosni digitalni seizmograf 72A-07/DAT Reftek s shranjevanjem podatkov na DAT-kasete zamenjal digitalni seizmograf Nanometrics. Sestavljajo ga širokopasovni trikomponentni seizmometer Guralp CMG-40T, 24-bitni analogni - digitalni pretvornik HRD-2432 z vgrajenim GPS sprejemnikom točnega časa in modemom za prenos podatkov po najeti telefonski liniji do vozlišča državnega računalniškega omrežja na Geodetski upravi v Krškem. Tu je nameščen osebni računalnik s programsko opremo, ki skrbi za zajem podatkov in za komunikacijo s centralnim računalnikom v Ljubljani. Seizmograf je nameščen v omarici, postavljeni na podlago iz svetlo sivega neplastnatega dolomita ladinijske starosti (zgornji trias). Napajanje seizmografa je avtonomno s sončnimi celicami. Koordinati opazovalnice sta $45,97^{\circ}$ N in $15,46^{\circ}$ E. Opazovalnica leži na nadmorski višini 382 m.

Leta 2001 smo začeli v okviru projekta posodobitve državne mreže potresnih opazovalnic z gradnjo novih opazovalnic. Osnovni namen posodobitve je vzpostavitev takega državnega potresnega opazovalnega omrežja, ki bo omogočilo za vse potrese na ozemlju Slovenije

obveščanje o osnovnih parametrih z ustrezno natančnostjo in zanesljivostjo v realnem času. V letu 2002 so bile zgrajene in vključene v državno mrežo tri opazovalnice mreže potresnih opazovalnic okrog Krškega polja: Legarje (LEGS), Črešnjevce (CRES) in Goliše (GOLS). Do konca leta pa so bile dokončane in vključene v omrežje še potresne opazovalnice Podkum (PDKS, slika 2) na Dolenjskem, Robič (ROBS) v zgornjem Posočju, Pernice (PERS) na Kobanskem in Grobnik (GROS) na Pohorju (preglednica 1) (Vidrih in sod., 2002).

Preglednica 1. Podatki o potresnih opazovalnicah, zgrajenih v letu 2002

Table 1. Data about seismic stations installed in 2002

opaz.	ozn.	zem. šir.	zem. dolž.	n. višina [m]	geološka podlaga	začetek delovanja
		°N	°E			
station	code	latitude	longitude	elevation [m]	local geology	operational
		°N	°E			
Goliše	GOLS	46,0113	15,6239	550	plastovit dolomit / bedded dolomite	26. 02. 2002
Črešnjevce	CRES	45.8260	15.4578	433	triasni dolomi / triassic dolomite	07. 03. 2002
Legarje	LEGS	45,9485	15,3177	391	sivi dolomit / gray dolomite	02. 09. 2002
Podkum	PDKS	46,0791	14,9976	705	dolomit / dolomite	11. 11. 2002
Robič	ROBS	46,2450	13,5103	280	apnenec / limestone	20. 11. 2002
Pernice	PERS	46,6359	15,1167	795	filiti / phyllite	11. 12. 2002
Grobnik	GROS	46,4608	15,5017	930	tonalit / tonalite	12. 12. 2002

Na vseh opazovalnicah razen v Robiču je nameščena oprema v dveh jaških (slika 2). V seizmičnem jašku sta nameščena seizmometer Guralp CMG-40T in zajemalna enota Quanterra Q730 (slika 3). V pomožnem jašku sta napajalna enota za napajanje aparatov z električno energijo v primeru izpada omrežne napetosti in komunikacijska oprema za prenos podatkov v središče za obdelavo podatkov v Ljubljani po državnem računalniškem omrežju, ki jo sestavljata usmerjevalnik in modem (slika 4). V zračniku je skrita antena GPS sprejemnika točnega časa. Na opazovalnicah Legarje, Goliše in Podkum je seizmometer nameščen v vrtino. Na potresni opazovalnici Robič je vsa oprema nameščena v skalni votlini.

Urad za seizmologijo in geologijo ima že dalj časa dve začasni potresni opazovalnici. Prva je postavljena v Brezjah pri Senušah (KBZ). Opremljena je s prenosnim analognim enokomponentnim seizmografom Kinometrics Ps-2. Postavljena je v objektu, ki je zgrajen na krednih apnencih v izmenjavi z laporji, kar je dovolj ugodna seizmogeološka podlaga. Koordinati opazovalnice sta 45,94° N in 15,44° E, nadmorska višina pa je 215 m.

Druga začasna opazovalnica je v Horjulu (HORJ). V njej beležita potrese digitalni prenosni seizmograf 72A-07/DAT s shranjevanjem podatkov na trdi disk ali akcelero graf SSA-2. Opazovalnica leži na lapornatem apnencu, ki ponekod prehaja v dolomit in peščen skrilavec skitske starosti (spodnji trias). Njeni koordinati sta 46,02° N in 14,30° E, nadmorska višina je 350 m.



Slika 3. Seizmični jašek s seizmometrom in zajemalno enoto
Figure 3. Seismometer and acquisition unit are set up in seismic shaft



Slika 4. Napajalna enota in komunikacijska oprema sta nameščeni v pomožnem jašku
Figure 4. Power supply and communication equipment are placed in auxiliary shaft

Na širšem območju Ljubljane sta nameščena dva prenosna akcelero grafa Etna s prenosom podatkov v središče za zajem in obdelavo podatkov po klicni telefonski liniji. Prvega smo namestili 25. julija 2001 na Rudniku, drugega pa dan kasneje v Podgorici. Inštrument, postavljen na Rudniku, smo v aprilu prestavili v Šoštanj zaradi občasnega tresenja tal. Na območju Šaleške doline se je opazovalnici v Zavodnjah, ki smo jo postavili leta 2001,

pridružila še ena začasna opazovalnica in akcelerograf v Šoštanju ter začasna opazovalnica v Velenju. Seizmograf smo 16. maja prestavili iz Šoštanja v Gaberke. Opazovanje seizmičnosti v Šaleški dolini je opisano v posebnem članku.

Po potresu 2. junija v okolici Koritnic smo še isti dan postavili akcelerograf Etna v Koritnicah za beleženje popotresne aktivnosti. Inštrument je deloval do 7. julija 2002.

Za meritve v okviru projekta Alp2002 smo začasno postavili seizmografe Q730 s seizmometri CMG40T v Škofji Loki, Cerkljah na Gorenjskem in v Brežicah ter Reftek 72A-07/DSK v Lipah.

Oktobra smo zaradi povečane potresne aktivnosti na Ljubljanskem Barju začasno postavili akcelerograf Etna v Lukovici.

Začasno smo namestili seizmografe Q730 s seizmometri CMG40T na meteoroloških opazovalnicah Urada za meteorologijo v Biljah pri Novi Gorici, Novem mestu, Rakičanu pri Murski Soboti in na Lisci. Te opazovalnice so vključene v državno računalniško omrežje.

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 Gotenici. Poleg tega imamo dostop do akcelerografa v Nuklearni elektrarni Krško. Akcelerograf na observatoriju na Golovcu sestavljata akcelerometer FBA-23 z merilnim območjem 1 g in zajemalna aparatura SSR-1 s 16-bitno analogno digitalno pretvorbo. Akcelerograf na FGG tvori 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 opazovalnicah v Bovcu in Kobaridu sta nameščena akcelerografa Etna s prenosom podatkov po klicni telefonski liniji. Podatke z ostalih akcelerografov zbere delavec s pomočjo prenosnega računalnika ob obisku opazovalnice.

Potresne opazovalnice so v letu 2002 zabeležile 4514 seizmičnih dogodkov, od tega 1786 lokalnih potresov, 928 regionalnih in 611 oddaljenih. Seizmografi so zapisali tudi 1189 umetnih potresov (preglednica 2). Prebivalci Slovenije so čutili 41 potresov z žarišči na območju Slovenije in 6 potresov z žarišči v sosednjih državah.

Preglednica 2. Potresi v letu 2002, zabeleženi na slovenskih potresnih opazovalnicah.

Table 2. Earthquakes in 2002 recorded at Slovenian earthquake stations.

mesec	oddaljeni potresi	regionalni potresi	lokalni potresi	umetni potresi	potresi	dogodki
Month	Distant earthquakes	Regional earthquakes	Local earthquakes	Artificial	Earthquakes	Events
januar January	63	62	70	32	195	227
februar February	24	71	98	61	193	254
marec March	55	47	122	62	224	286
april April	38	90	103	112	231	343
maj May	56	62	141	145	259	404
junij June	65	97	183	190	345	535
julij July	44	66	154	168	264	432
avgust August	66	52	173	79	291	370
september September	45	89	164	120	298	418
oktober October	47	94	220	92	361	453
november November	56	135	141	86	332	418
december December	52	63	217	42	332	374
skupaj Total	611	928	1786	1189	3325	4514

Oddaljeni potresi / Distant earthquakes

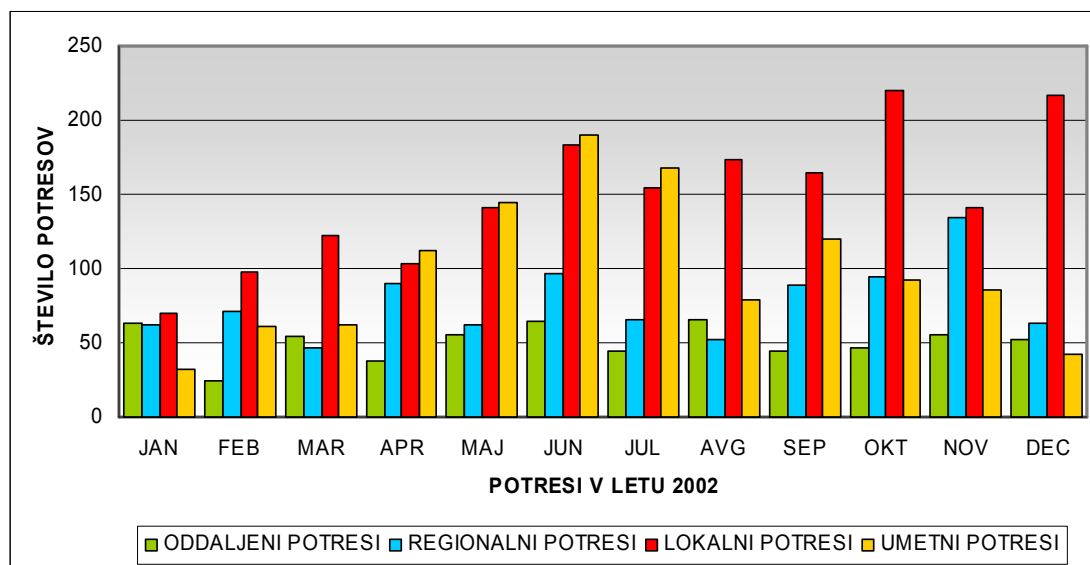
$\Delta > 10^\circ$ (> 1.100 km)

Regionalni potresi / Regional earthquakes

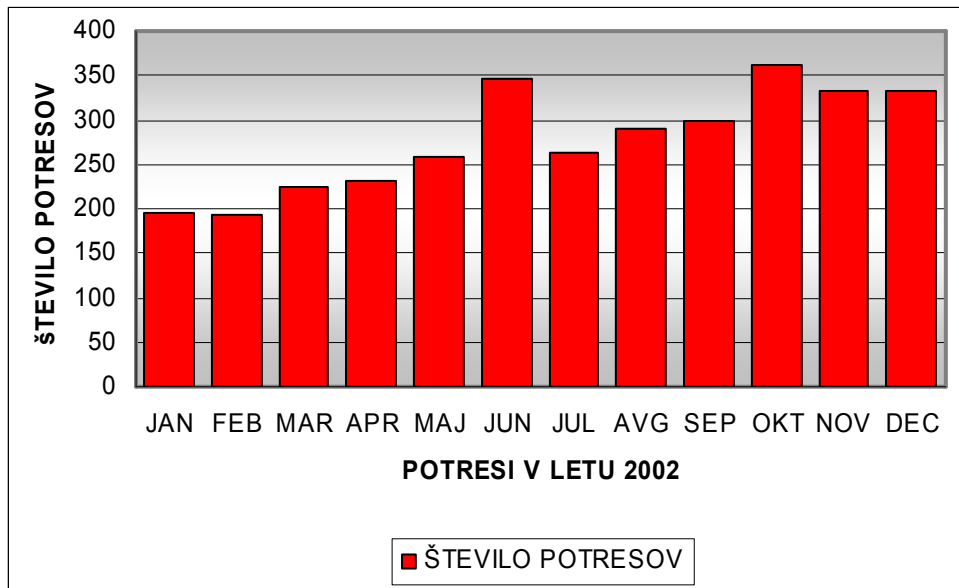
$1,5^\circ < \Delta < 10^\circ$ (< 1.100 km)

Lokalni potresi / Local earthquakes

$\Delta \leq 1,5^\circ$ (≤ 160 km)



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



Slika 6. Skupno število potresnih dogodkov po mesecih
Figure 6. Distribution of all seismic events by months

Literatura

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.

POTRESI V SLOVENIJI LETA 2002

EARTHQUAKES IN SLOVENIA IN 2002

Ina Cencić, Mladen Živčić, Tamara Jesenko in Janko Kolar

***Izvleček.** Leto 2002 je bilo potresno srednje dejavno. Prebivalci so čutili več kot 47 potresnih sunkov, vendar vsa žarišča niso bila na slovenskem ozemlju. Najmočnejši potres je bil 2. junija ob 13. uri 37 minut po svetovnem času (UTC) oziroma ob 15. uri 37 minut po srednjeevropskem poletnem času z žariščem v bližini Koritnic. Njegova lokalna magnituda je bila 3,8 (ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 2002-2003), največja intenziteta pa pete stopnje po evropski potresni lestvici (EMS-98). Štirinajstega februarja ob 3. uri 18 minut po svetovnem času (UTC) oziroma ob 4. uri 18 minut po srednjeevropskem času se je močno zatresel Moggio Udinese (v Furlaniji). Ta potres je bil po lokalni magnitudi (4,5) najmočnejši potres, ki so ga v letu 2002 čutili prebivalci Slovenije.*

***Abstract.** Year 2002 was a year of moderate seismic activity in Slovenia. The inhabitants of Slovenia have felt more than 47 earthquakes, but all of them didn't have their foci in Slovenia. The strongest earthquake in Slovenia in 2002 happened on June 2, at 13h 37 m UTC (15h 3m local time) near Koritnice. Its local magnitude was 3,8 (ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 2002-2003) and the maximum intensity observed was V EMS-98. The strongest earthquake outside our borders felt in Slovenia occurred on 14 February at 3h 18m UTC. The epicentre was in Italy in Moggio Udinese (in Friuli) and its local magnitude was 4,5.*

Uvod

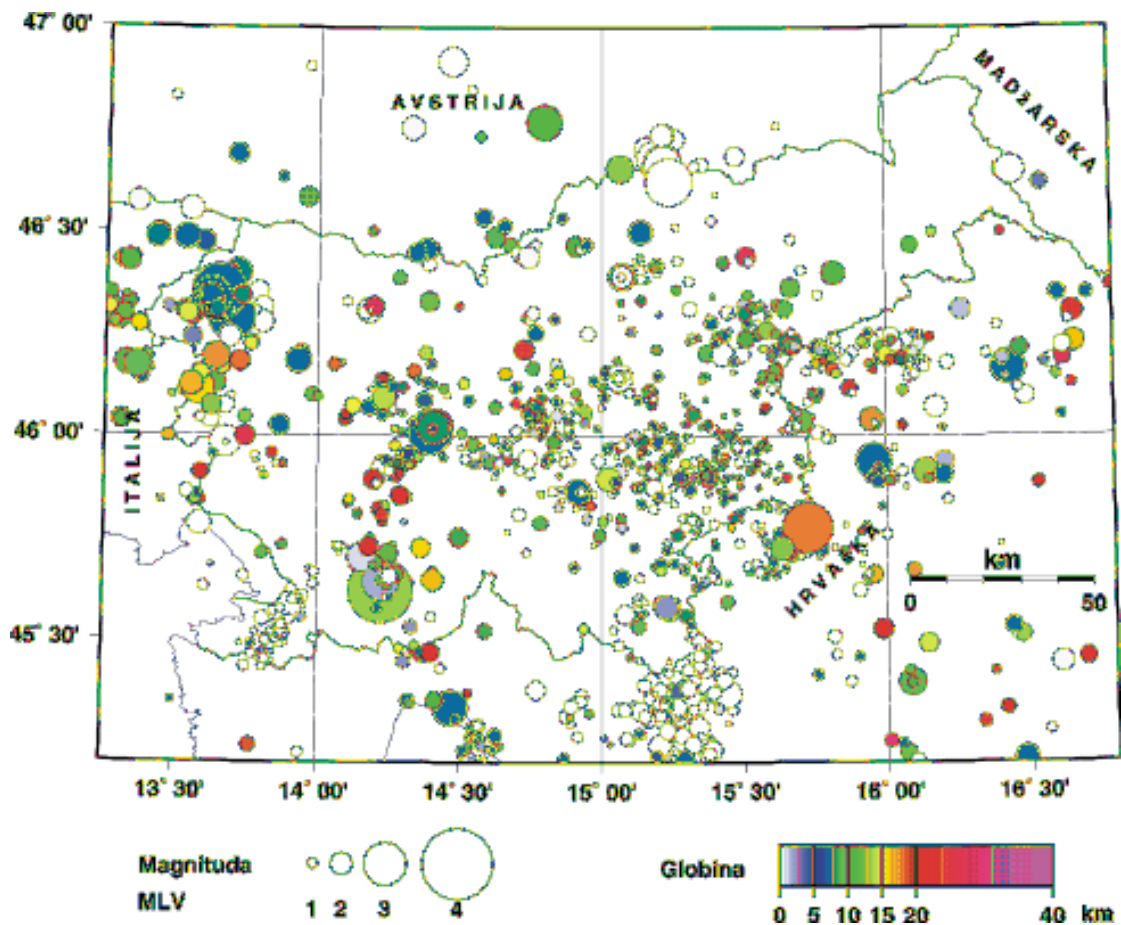
Leto 2002 je bilo potresno srednje dejavno (Slika 1). Po januarskih potresih pri Zagorju ob Savi, Soči in Lepeni se je februarja močno zatresel še Moggio Udinese (v Furlaniji), dober teden pozneje pa še enkrat zgornje Posočje. Potres v Furlaniji je bil po svoji lokalni magnitudi (ki je znašala 4,5) tudi najmočnejši potres, ki so ga v letu 2002 čutili prebivalci Slovenije. Temu je marca sledil potres pri Žirovskem Vrhu, aprila so se ponovno tresli v Zagorju ob Savi.

Maja so se tresla tla v okolici Črnomlja. Junija so prebivalci Slovenije čutili potrese z žarišči pri Muti in Koritnicah. Najmočnejši potres leta 2002 z žariščem v Sloveniji je bil 2. junija ob 13. uri 37 minut po svetovnem času UTC (oziroma ob 15. uri 37 minut po srednjeevropskem poletnem času) z žariščem v bližini Koritnic. Njegova lokalna magnituda je bila 3,8 (ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 2002-2003), največja intenziteta pa V EMS-98. EMS je okrajšava za evropsko potresno lestvico (Grünthal, 1998a, 1998b). Julija se je dokaj močno tresel še Tolmin.

Septembra se je po potresu pri Stregni (v Furlaniji) ponovno močno stresel Bovec. Oktobra so potrese čutili prebivalci zgornjega Posočja, kot tudi Ljubljanskega barja in Hrastnika. Novembra smo zbirali podatke za potrese pri Ravenni (v Italiji), Pivki, Hajdini in Hrastniku. Decembra se je treslo pri Žužemberku, pri Brežicah in večkrat v Beli krajini.

Na različnih območjih Slovenije so prebivalci čutili 41 potresnih sunkov z žarišči v Sloveniji in šest potresov z žarišči na sosednjih ozemljih. Sedem potresov je doseglo največjo intenziteto V EMS-98. Karta nadžarišč (epicentrov) potresov leta 2002, ki so jih prebivalci čutili, je na sliki 2.

V letu 2002 smo zabeležili večje število dogodkov v okolici Šoštanja, od katerih so mnoge čutili tudi prebivalci. Ker ne gre za naravne potrese, ti dogodki tukaj niso obravnavani.



Slika 1. Nadžarišča potresov leta 2002, ki smo jim določili žariščni čas, inštrumentalni koordinati epicentra in globino žarišča; krogi različnih velikosti ponazarjajo vrednosti lokalne magnitude M_{LV} .

Figure 1. Distribution of epicenters in 2002, whose focal times, epicentral co-ordinates and focal depths were calculated; circles of varying sizes give information on local magnitude M_{LV} .

Seizmografi državne mreže potresnih opazovalnic so leta 2002 zapisali več kot 2600 lokalnih potresov. Da bi določili, kje je bilo žarišče potresa, potrebujemo podatke najmanj treh opazovalnic; če nas zanima še globina, je nujno imeti zapise najmanj štirih. V preglednici 1 smo podali 32 lokalnih potresov, za katere smo lahko določili lokalno magnitudo in je bila večja kot 1,5, ter 22 šibkejših, ki so jih čutili prebivalci Slovenije.

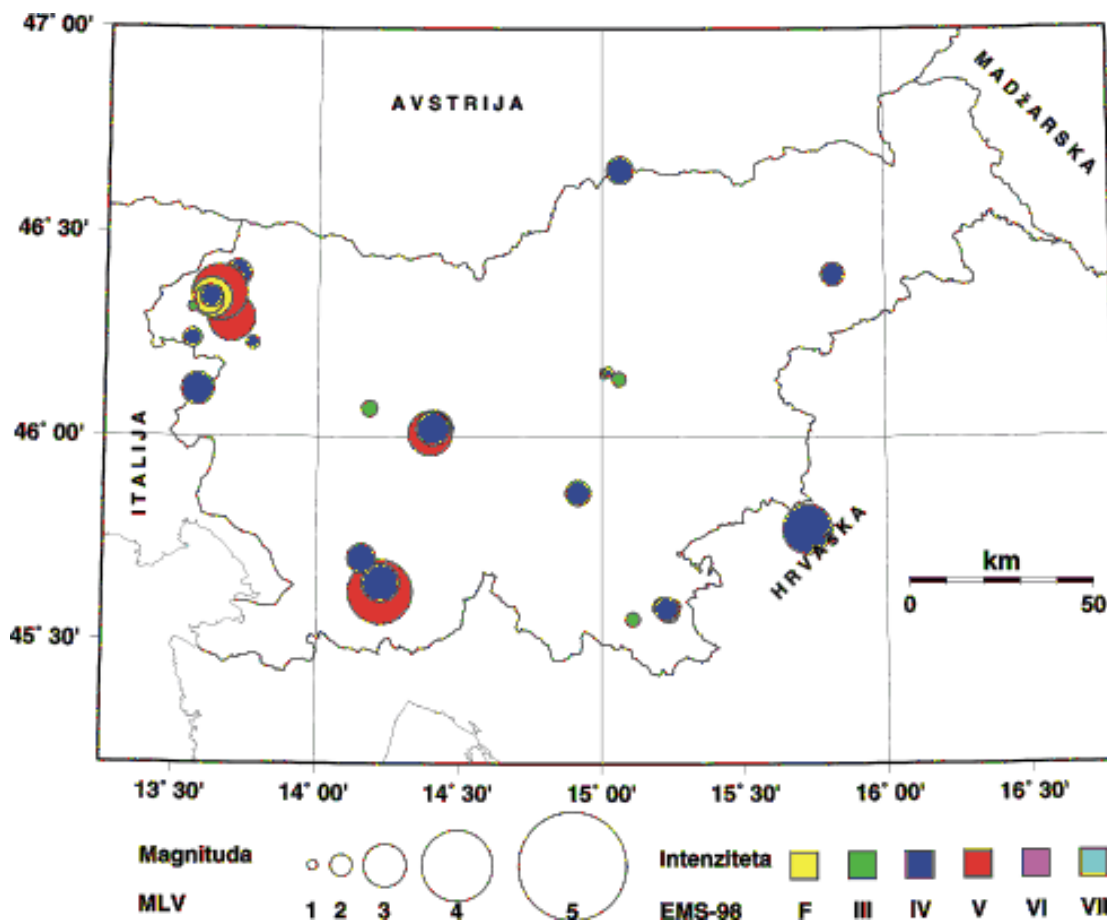
Za opredelitev osnovnih parametrov potresov podanih v preglednici 1 smo uporabili vse razpoložljive analize zapisov potresov na potresnih opazovalnicah državne mreže v Sloveniji ter v Avstriji, Hrvaški, Italiji in na Madžarskemi. Žariščni čas, to je čas, ko je potres nastal, koordinati nadžarišča in 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., 1998) 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.



Slika 2. Intenzitete potresov, ki so jih leta 2002 čutili prebivalci Slovenije.

Figure 2. Earthquakes felt in Slovenia in 2002.

V preglednici 1 je dana povprečna vrednost M_{LV} za opazovalnice v Sloveniji. Magnitudo M_D smo opredelili iz trajanja zapisov potresov na opazovalnicah v Sloveniji in v Furlaniji. Pri tem smo uporabili enačbo:

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

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

Največja intenziteta, ki jo je potres dosegel na ozemlju Slovenije, je opredeljena po evropski potresni lestvici (EMS-98). Kadar podatki niso zadoščali za nedvoumno določitev intenzitete, smo dali razpon možnih vrednosti (npr. IV-V). V stolpcu "potresno območje" smo podali ime naselja, ki je najbližje določenemu nadžarišču in je navedeno v seznamu naselij Geodetske uprave RS (RGU, 1995).

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

Preglednica 1. Seznam potresov leta 2002, ki so imeli lokalno magnitudo 1,5 ali več in smo jim lahko izračunali žariščni čas, inštrumentalni koordinati nadžarišča (epicentra) in globino žarišča. Pri nekaterih potresih je navedena še največja intenziteta. V preglednici je tudi 22 potresov manjše lokalne magnitude, ki so jih čutili prebivalci Slovenije.

Table 1. Earthquakes with $M_{LV} > 1.5$ in 2000 for which the hypocentral time, co-ordinates of epicentre and focal depth were calculated; the maximum intensity of some earthquakes is also provided. Information about 22 earthquakes with lower magnitude, that were felt by inhabitants of Slovenia, is also included.

št.	dat.	h:m:s	z. šir.	z. dolž.	h	nst	RMS	M_{LV}	M_D	I_{max}	potresno območje
		UTC	°N	°E	km		s			EMS 98	
no.	date	h:m:s	lat	lon	h	nst	RMS	M_{LV}	M_D	I_{max}	epicentral area
		UTC	°N	°E	km		s			EMS 98	
1	7. 1.	20:30:30,5	46,16	15,01	13	8	0,3	0,9	1,3	III-IV	Zagorje ob Savi
2	7. 1.	20:37:56,7	46,15	15,01	7	5	0,4	0,7		III	Zagorje ob Savi
3	22. 1.	15:56:27,7	46,40	13,71	8	34	0,6	2,3	2,6	IV-V	Trenta - Bovec
4	23. 1.	21:08:17,7	46,23	13,77	16	18	0,3	1,4	2,4	IV	Tolmin
5	24. 1.	08:29:22,4	46,40	13,69	11	11	0,5	1,4	2,1	čutili	Lepena
6	22. 2.	14:16:24,4	46,24	13,56	3	20	0,6	1,8	2,4	IV	Sužid - Kobarid
7	8. 3.	21:49:53,5	46,23	15,66	8	14	0,5	2,1	2,3		Ježovec, Hrvaška
8	11. 4.	17:56:05	46,16	15,02	19	10	0,4	1,1	1,6	IV	Zagorje ob Savi
9	27. 4.	16:08:09	46,07	14,18	7	16	0,5	1,6	2,3	III-IV	Brebovnica
10	10. 5.	14:44:43,5	45,56	15,11	1	7	0,3	1,5	2,7	III	Črnomelj
11	1. 6.	18:22:11,9	46,65	15,06	13	26	0,5	2,3	2,5	IV-V	Mlake, meja Slovenija - Avstrija
12	2. 6.	13:19:17,4	45,64	14,22	8	44	0,5	2,5	3,0	IV-V	Zagorje
13	2. 6.	13:37:18,1	45,62	14,22	13	96	0,5	3,8	3,7	V	Ratečevo Brdo - Koritnice
14	2. 6.	13:40:06,1	45,63	14,24	9	8	0,3	2,0			Knežak
15	2. 6.	13:41:1,2	45,64	14,24	10	11	0,3	2,3			Zagorje
16	2. 6.	13:42:7,7	45,64	14,23	2	61	0,5	2,8	3,3	IV	Zagorje
17	15. 7.	9:04:53	46,29	13,69	7	77	0,5	3,2	3,5	V	Lepena - Tolmin
18	19. 7.	0:17:6,5	46,04	15,70	12	17	0,5	2,1	2,7		Bukovje - Bizeljsko
19	2. 9.	11:42:39,7	46,46	14,38	7	18	0,5	2,0	2,1		Gorski Kotar, Hrvaška
20	12. 9.	9:12:22,1	46,44	14,74	0	10	0,4	2,0	1,9		Koprivna, meja Slovenija - Avstrija
21	30. 9.	2:48:31,4	46,35	13,65	7	68	0,5	3,5	3,8	V	Soča - Bovec
22	30. 9.	2:51:7,5	46,32	13,63	8	18	0,3		2,0	čutili	Bovec
23	30. 9.	2:52:46,9	46,33	13,59	7	13	0,2		1,8	čutili	Bovec
24	30. 9.	2:55:56,5	46,34	13,62	7	56	0,5	2,9	3,1	čutili	Kal-Koritnica
25	30. 9.	9:47:54	46,33	13,61	8	17	0,4	1,5	2,2	čutili	Bovec
26	30. 9.	13:58:13,7	46,33	13,61	6	26	0,5	2,4	2,3	čutili	Kal-Koritnica
27	1. 10.	2:39:3,3	46,32	13,56	7	7	0,4		1,6	III-IV	Mala Vas - Bovec
28	1. 10.	18:10:59,1	46,34	13,62	7	36	0,5	1,8	2,4	IV	Bovec

št.	dat.	h:m:s	z. šir.	z. dolž.	h	nst	RMS	M _{LV}	M _D	I _{max}	potresno območje
		UTC	°N	°E	km		s			EMS 98	
no.	date	h:m:s	lat	lon	h	nst	RMS	M _{LV}	M _D	I _{max}	epicentral area
		UTC	°N	°E	km		s			EMS 98	
29	8. 10.	22:24:38,8	46,34	13,62	7	42	0,5	2,0	2,8	IV	Kal-Koritnica
30	20. 10.	17:42:55,6	46,03	14,42	11	36	0,6	2,5	2,7	V	Brezovica pri Ljubljani
31	20. 10.	17:44:12,7	46,02	14,41	11	37	0,5	2,7	3,0	V	Brezovica pri Ljubljani
32	20. 10.	17:46:0,9	46,02	14,41	7	34	0,6	2,4	2,9	IV	Lukovica pri Brezovici
33	20. 10.	17:49:19,2	46,03	14,40	9	17	0,5	1,8	2,2	III	Lukovica pri Brezovici
34	20. 10.	18:21:54,3	46,01	14,40	7	79	0,5	3,1	3,5	V	Podplešivica
35	23. 10.	16:30:11,9	46,01	14,38	3	5	0,1	0,6	0,4	čutili	Log pri Brezovici
36	23. 10.	21:21:38,2	46,02	14,41	8	40	0,5	2,6	3,1	IV-V	Lukovica pri Brezovici
37	30. 10.	7:20:37,4	46,14	15,06	0	12	0,7	1,1	1,8	III	Hrastnik
38	8. 11.	1:31:26,7	46,09	14,23	14	21	0,4	2,1	2,4		Rovt
39	10. 11.	14:19:1,2	45,70	14,16	1	37	0,5	2,4	2,7	IV-V	Slavina - Pivka
40	15. 11.	9:15:40,2	46,13	13,55	16	14	0,2	2,1	2,3		Ukanje, meja Slovenija - Italija
41	15. 11.	23:36:19,7	46,40	15,82	10	15	0,3	2,1	2,0	IV	Njiverce - Kidričevo
42	22. 11.	12:06:1,1	45,65	14,41	16	22	0,5	2,0	2,6		Škodovnik
43	25. 11.	9:51:38,1	46,14	15,06	0	8	0,3	1,5		III	Hrastnik
44	4. 12.	5:46:57,8	45,90	15,02	14	23	0,5	2,1	2,5		Repče
45	11. 12.	18:39:17,6	45,59	15,21	0	11	0,5	1,6	2,3	IV	Vojna vas - Bedenj
46	11. 12.	19:30:42,2	45,59	15,26	0	6	0,5	1,2	1,2	III	Bedenj
47	11. 12.	19:53:36,9	45,59	15,25	0	5	0,5	1,4	1,7	čutili	Sadež
48	11. 12.	20:22:52	45,58	15,20	0	7	0,3	1,3	1,8	IV	Bedenj
49	17. 12.	20:5:36,7	45,86	14,92	7	27	0,5	2,2	2,6	IV-V	Vrtače - Žužemberk
50	22. 12.	15:09:53,8	45,72	15,63	13	23	0,4	2,1	2,6		Japetič, Hrvaška
51	23. 12.	18:58:43	45,57	15,24	7	17	0,4	1,8	2,3	III-IV	Čudno selo - Črnomelj
52	24. 12.	12:05:45,2	45,58	15,23	2	15	0,5	2,1	2,2	IV	Dolenja vas pri Črnomlju

Preglednica 2. Seznam potresov z žarišči v drugih državah, ki so jih čutili prebivalci Slovenije. Potresi so na kratko opisani v besedilu.

Table 2. Earthquakes with origins in other countries that were felt by the inhabitants of Slovenia. Short descriptions of the events are given in the text.

zap. št.	mesec	dan	čas (UTC) h:min	največja intenziteta v Sloveniji (EMS-98)	nadžarišče
no.	month	day	time (UTC) h:m	maximum intensity in Slovenia (EMS-98)	epicentre
1	02	14	03:18	V	Moggio Udinese, Italija
2	02	14	03:36	III	Moggio Udinese, Italija
3	02	14	04:45	III	Moggio Udinese, Italija
4	09	20	12:19	IV	Stregna, Italija
5	11	02	10:58	II	Ravenna, Italija
6	18	12	09:04	IV-V	Samobor, Hrvaška

Podatki o nekaterih močnejših potresih, ki so jih prebivalci čutili

22. januar 2002 ob 15. uri 56 minut UTC. Zmerno tresenje tal z intenziteto IV-V EMS-98 so čutili prebivalci kraja Soča (slika 3). Od tam so poročali celo o manjših poškodbah na stavbah, kot tudi o manjših zdrsih zemljin v hribovitih predelih. Potres je spremljalo bobnenje, podobno močni podzemski eksploziji.

23. januar 2002 ob 21. uri 08 minut UTC. O zmernem tresenju tal z intenziteto IV EMS-98 so poročali prebivalci Lepene. O bobnenju so poročali iz Kamnega, Idrskega, Žabč, Volarij, Selišč, kot tudi iz približno 15 km oddaljenega Tolmina.

14. februar 2002 ob 3. uri 18 minut UTC. Najmočnejši potres s žariščem v tujini, ki so ga čutili prebivalci Slovenije v letu 2002, je na Valentinovo prebudil in dodobra prestrašil ljudi v celotni zahodni polovici naše države (slika 4), kot tudi v Furlaniji, Režiji in na avstrijskem Koroškem. Lokalna magnituda tega potresa je bila po izračunih slovenske mreže 4,5. To je bil najmočnejši potres v Furlaniji po rušilnih potresih leta 1976. Močno tresenje tal z intenziteto V EMS-98 so čutili v krajih Volarje, Kobarid, Breginj, Bovec, Vodenca in Soča. Čutili so ga tudi posamezniki v bolj oddaljenih krajih, kot so Velenje, Krško, Brežice, Celje itd. Povzročil je premike na kakšnih 40 km oddaljenem plazu Koseč nad Kobaridom, čeprav hujših posledic ni bilo. Italijanskih makroseizmičnih podatkov za ta potres žal nimamo. Nekaj popotresov so šibko čutili tudi prebivalci na naši strani meje.

22. februar 2002 ob 14. uri 16 minut UTC. Zmeren potres z intenziteto IV EMS-98 so čutili prebivalci zgornjega Posočja, in sicer v krajih Volarje, Mlinsko in Vrsno. V Vrsnem so opazili tudi vznemirjenost domačih živali.

11. april 2002 ob 17. uri 56 minut UTC. Potres so najmočneje (z intenziteto IV EMS-98) čutili v Zagorju ob Savi. Poleg tresenja tal in škripanja pohištva so nekateri prebivalci slišali tudi zvok podoben eksploziji. Bobnenje so slišali tudi v Trbovljah.

1. junij 2002 ob 18. uri 22 minut UTC. Zmerno tresenje tal z intenziteto IV-V EMS-98 so čutili na Muti (slika 5). Posamezni prebivalci so zapuščali domove, predvsem zaradi strahu pred morebitno poškodbo jezua HE Golica. V Podvelki in Slovenj Gradcu so slišali bučanje, podobno oddaljenemu grmenju. Potres so čutili tudi ponekod v Avstriji. Podatke o tem nam je posredoval Edmund Fiegweil iz Centralnega zavoda za meteorologijo in geodinamiko (ZAMG) na Dunaju.

2. junij 2002 ob 13. uri 19 minut UTC, 13. uri 37 minut UTC in 13. uri 42 minut UTC. Tla v južni Sloveniji so se ta dan večkrat stresla. Prvič ob 13. uri in 19. minut, ko so o tresenju tal z intenziteto IV-V EMS-98 poročali iz Velike Bukovice. Dobre četrt ure kasneje, ob 13. uri in 37 minut, je sledil močen sunek, ki so ga čutili v celotni jugozahodni Sloveniji, pa tudi v Italiji in na Hrvaškem (slika 6). Podatke o tem sta nam posredovala Calvino Gasparini iz Nacionalnega instituta za geofiziko in vulkanologijo (INGV) v Rimu in Ivica Sović iz Seizmološke službe Republike Hrvaške (SSRH) v Zagrebu. Potres je intenziteto V EMS-98 dosegel v naslednjih krajih: Loško, Planina pri Rakeku, Sabonje, Jasen, Novokračine, Velika Bukovica, Zabiče, Zarečje, Bač, Knežak, Koritnice, Šembije, Gradec, Klenik, Nadanje Selo, Palčje, Petelinje, Pivka, Šmihel in Trnje. Temu je sledilo še nekaj šibkejših popotresov, od katerih so prebivalci čutili tistega ob 13. uri in 42 minut. Po terenskem ogledu epicentralnega območja smo ugotovili, da potresi niso povzročili gmotne škode, le veliko preplaha v širšem

epicentralnem območju. Potres ob 13. uri in 37 minut je bil najmočnejši potres z žariščem v Sloveniji v letu 2002.

15. julij 2002 ob 9. uri 4 minute UTC. Ta potres so najmočneje (V EMS-98) čutili v krajih Volarje, Srpenica, Trnovo ob Soči in Soča (slika 7), kjer so se na posameznih hišah pokazale lasaste razpoke. Sunek je spremljal močan pok in zamolklo hrumenje, podobno miniranju. Veliko prebivalcev je pohitelo na prosto. Potres so čutili tudi v Italiji, v Avstriji pa ne. Podatke o tem sta nam posredovala Calvino Gasparini iz Nacionalnega instituta za geofiziko in vulkanologijo (INGV) v Rimu in Edmund Fiege Weil iz Centralnega zavoda za meteorologijo in geodinamiko (ZAMG) na Dunaju.

20. september 2002 ob 12. uri 19 minut UTC. Zmerno tresenje tal z intenziteto IV EMS-98 so čutili prebivalci Kanala. Žarišče potresa je bilo v Furlaniji pri kraju Stregna. Italijanskih podatkov za ta potres nimamo.

30. september 2002 ob 2. uri 48 minut UTC. Žarišče potresa je bilo v Zgornjem Posočju. Povzročil je nekaj manjših poškodb na slabše zgrajenih hišah. Čutili so ga prebivalci severozahodne Slovenije (slika 8). Najmočnejše učinke (V EMS-98) je potres imel v naslednjih naseljih: Idrsko, Kred, Srpenica, Bovec, Čezsoča, Kal-Koritnica, Mala vas, Vodenca in Lepena. Iz Soče so poročali o plazenju kamenja iz hribov. Ta dan so prebivalci Posočja čutili še pet šibkejših potresov iz istega nadžariščnega območja.

1. oktober 2002 ob 18. uri 10 minut UTC. Tudi ta potres je imel žarišče v Zgornjem Posočju. Čutili so ga najbolj v Kobaridu in Soči, kjer je dosegel intenziteto IV EMS-98. Ljudje so zaznali tudi rahlo hrumenje in bučanje ob tresenju tal, ki je trajalo manj kot 10 sekund.

8. oktober 2002 ob 22. uri 24 minut UTC. Potres so čutili le v sedmih naseljih, od tega najmočneje (IV EMS-98) v Bovcu, Vodenci in Soči. Posamezniki so se prebudili iz spanja in čutili sunek, ki ga je spremljalo škripanje sten in postelj.

20. oktober 2002 ob 17. uri 42 minut UTC, 17. uri 44 minut UTC, 17. uri 46 minut UTC, 17. uri 49 minut UTC in 18. uri 21 minut UTC. Pet potresov na južnem obrobju Ljubljanskega barja, ki jih je spremljalo močno bobnenje, je povzročilo veliko preplaha med prebivalci, in posledično tudi ogromno število telefonskih klicev na Urad za seizmologijo in geologijo. Trije potresi (17:42, 17:44 in 18:21) so dosegli največjo intenziteto V EMS-98 (slika 9). Najmočnejši je bil zadnji potres, ki je dosegel intenziteto V EMS-98 v štirinajstih krajih. Ponekod so se v ometu starejših hiš pokazale lasaste razpoke. Prebivalci so množično zapuščali hiše in na prostem čakali, da se tresenje umiri.

23. oktober 2002 ob 21. uri 21 minut UTC. Seizmična aktivnost na Barju se je nadaljevala tudi tri dni po glavnem potresu. Tresenje tal z intenziteto IV-V EMS-98 so čutili prebivalci Vnanjih Goric (slika 10). Prebivalci kraja so v paniki zapustili domove, potres pa ni povzročil trajnih posledic.

2. november 2002 ob 10. uri 58 minut UTC. Rahlo, komaj občutno tresenje tal z intenziteto II EMS-98 so čutili redki prebivalci visokih nadstopij ljubljanskega naselja Fužine. Žarišče potresa je bilo v Italiji v bližini kraja Ravenna.

10. november 2002 ob 14. uri 19 minut UTC. Zmerno tresenje tal z intenziteto IV-V EMS-98 so najmočnejše čutili v krajih Gradec, Šmihel in Zagorje (slika 11). Iz Pivke so poročali o močnem, 2-3 sekunde trajajočem hrupu, ki mu je sledilo kratko tresenje. Prebivalci Slavine so mislili, da je to eksplozija na strelišču Poček.

15. november 2002 ob 23. uri 36 minut UTC. Potresi v okolici Ptuja niso prav pogosti. Tokratno tresenje tal z intenziteto IV EMS-98 je prebudilo in nekoliko prestrašilo prebivalce Spodnje Hajdine, Dravinjskega Vrha in Stogovcev. Čeprav je bilo žarišče potresa blizu meje s Hrvaško, od tam ni poročil, da bi ga prebivalci čutili. Podatek za Hrvaško nam je posredoval Ivica Sović iz Seizmološke službe Republike Hrvaške (SSRH) v Zagrebu.

11. december 2002 ob 18. uri 38 minut UTC. Tresenje tal z intenziteto IV EMS-98 in spremljajoče bobnenje so čutili le prebivalci Lokev in Tribuč v Beli krajini. Na Hrvaškem potresa niso čutili. Podatke za Hrvaško je posredoval Ivica Sović iz Seizmološke službe Republike Hrvaške (SSRH) v Zagrebu.

17. december 2002 ob 20. uri 05 minut UTC. Potres z intenziteto IV-V EMS-98 so čutili v krajih Dvor pri Žužemberku in Lašče (slika 12). Iz Dvora so učenci in učiteljice poročali, da so z omar padle igrače, zažvenketalo je steklo in slišalo se je, kot bi minirali v bližnjem peskokopu.

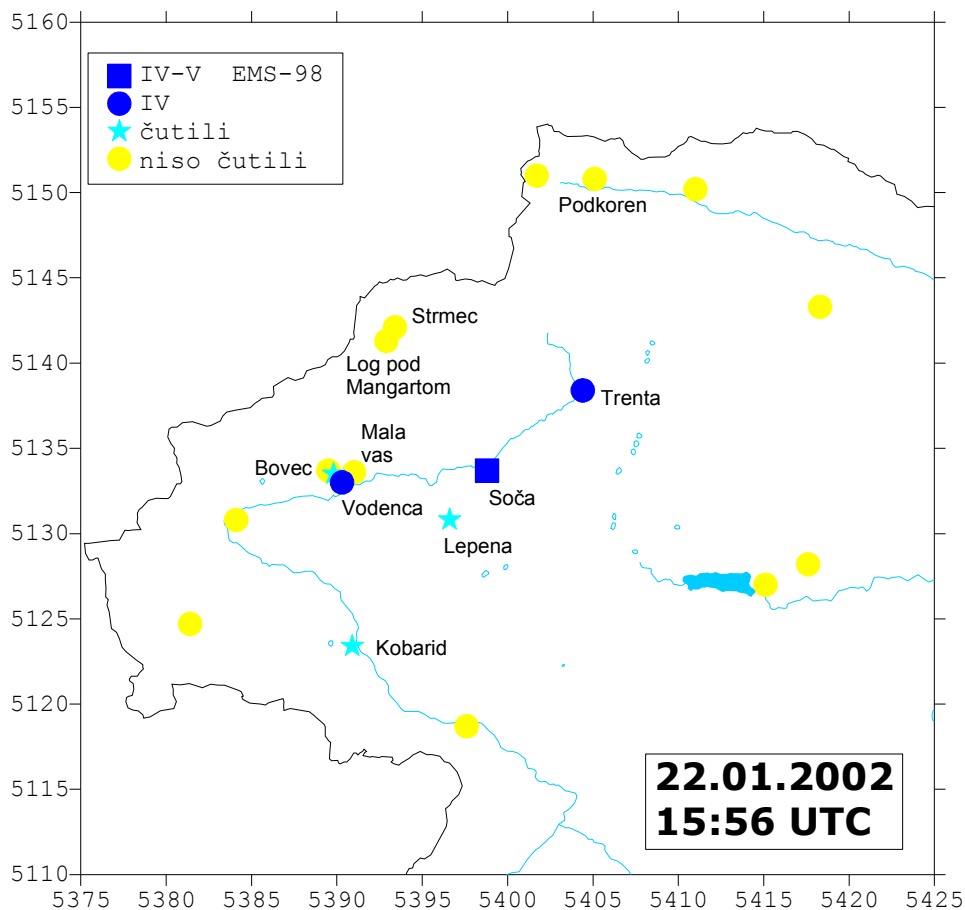
18. december 2002 ob 9. uri 4 minut UTC. Dokaj močno tresenje tal so z intenziteto IV-V EMS-98 čutili prebivalci krajev Bukošek, Gabrje in Velike Malence ob slovenski vzhodni meji (slika 13). V Brežicah, Dobovi in številnih drugih krajih so ob tresenju tal prebivalci slišali še močno bobnenje. Žarišče potresa je bilo na Hrvaškem, v bližini Samobora. Potres je v šestih hrvaških krajih (Grdanjci, Konjščica, Molvice, Plešivica, Sječevac in Sveti Martin pod Okićem) dosegel intenziteto V EMS-98. Podatke za Hrvaško nam je posredoval Ivica Sović iz Seizmološke službe Republike Hrvaške (SSRH) v Zagrebu.

24. december 2002 ob 12. uri 5 minut UTC. Zmerno tresenje tal z intenziteto IV EMS-98 so čutili v Tribučah v Beli Krajini. Ponekod so prebivalci slišali zamolkel pok.

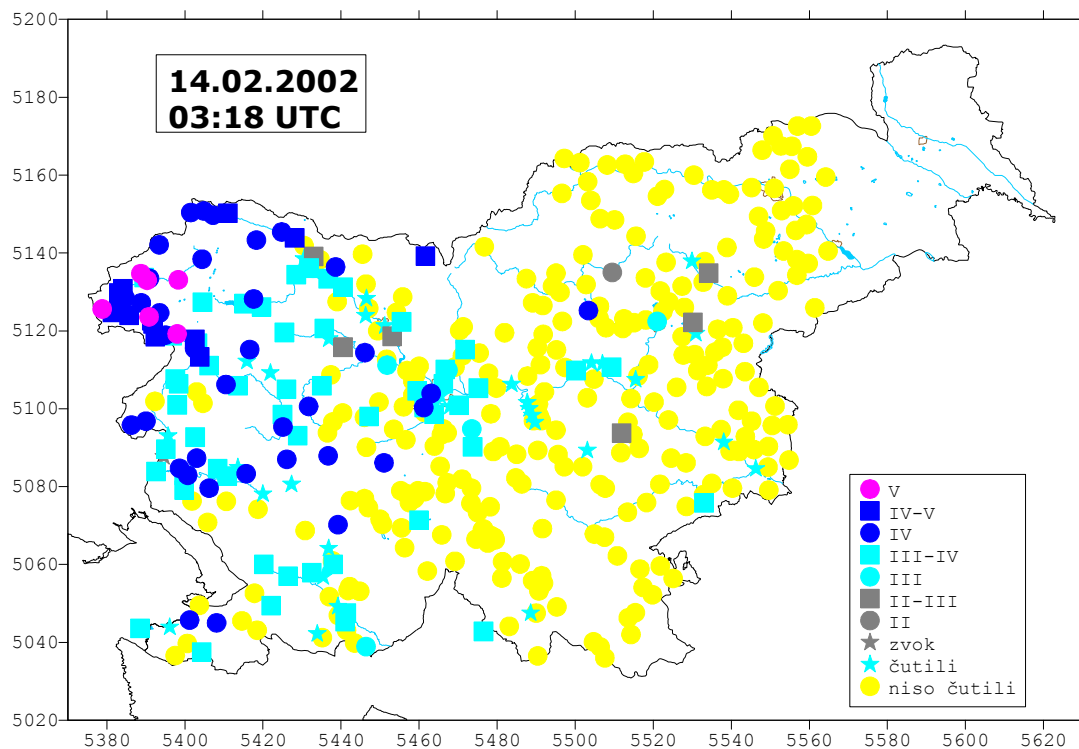
***Slike 3-13.** Na slikah 3-13 so prikazani učinki nekaterih potresov, ki so jih v letu 2002 čutili prebivalci Slovenije. Na nekaterih kartah, ki kažejo učinke na manjših območjih, je uporabljena Gauss-Krügerjeva mreža oz. kilometersko merilo, ki olajša ocenjevanje medsebojne oddaljenosti prikazanih krajev.*

***Figures 3-13.** The effects of some earthquakes that were felt by the inhabitants of Slovenia are given. EMS-98 was used for estimating the intensities for all earthquakes.*

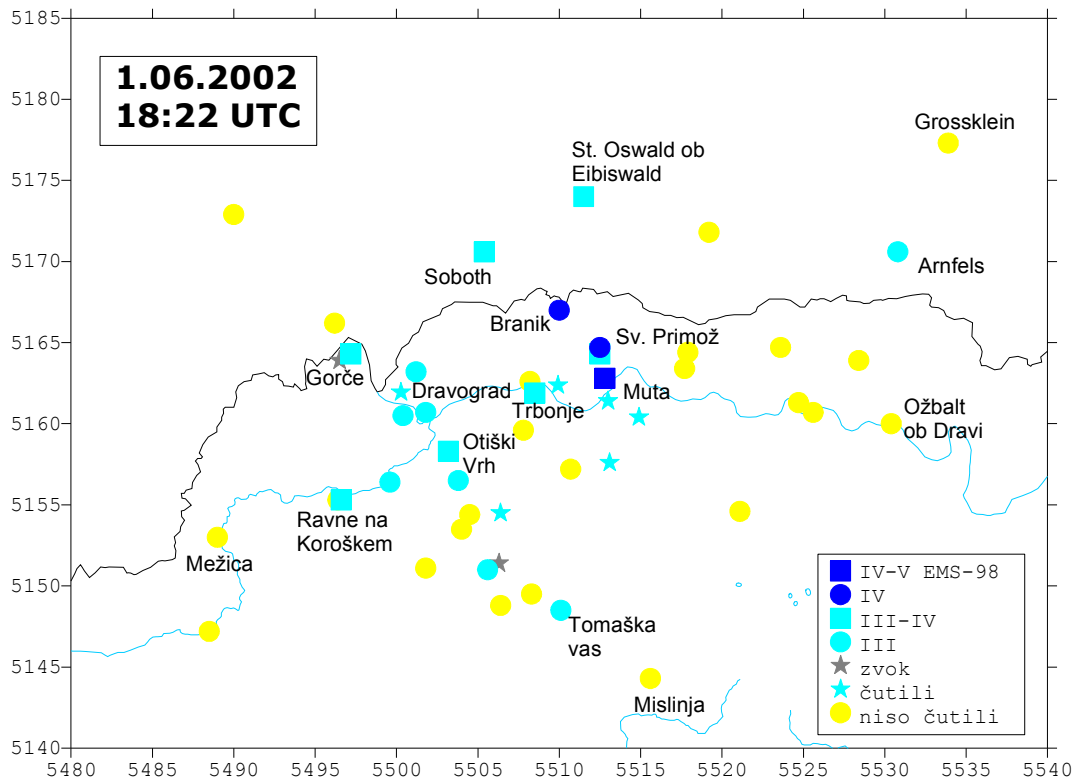
Translation of map legends: bobnenje, zvok = sound; čutili = felt; niso čutili = not felt.



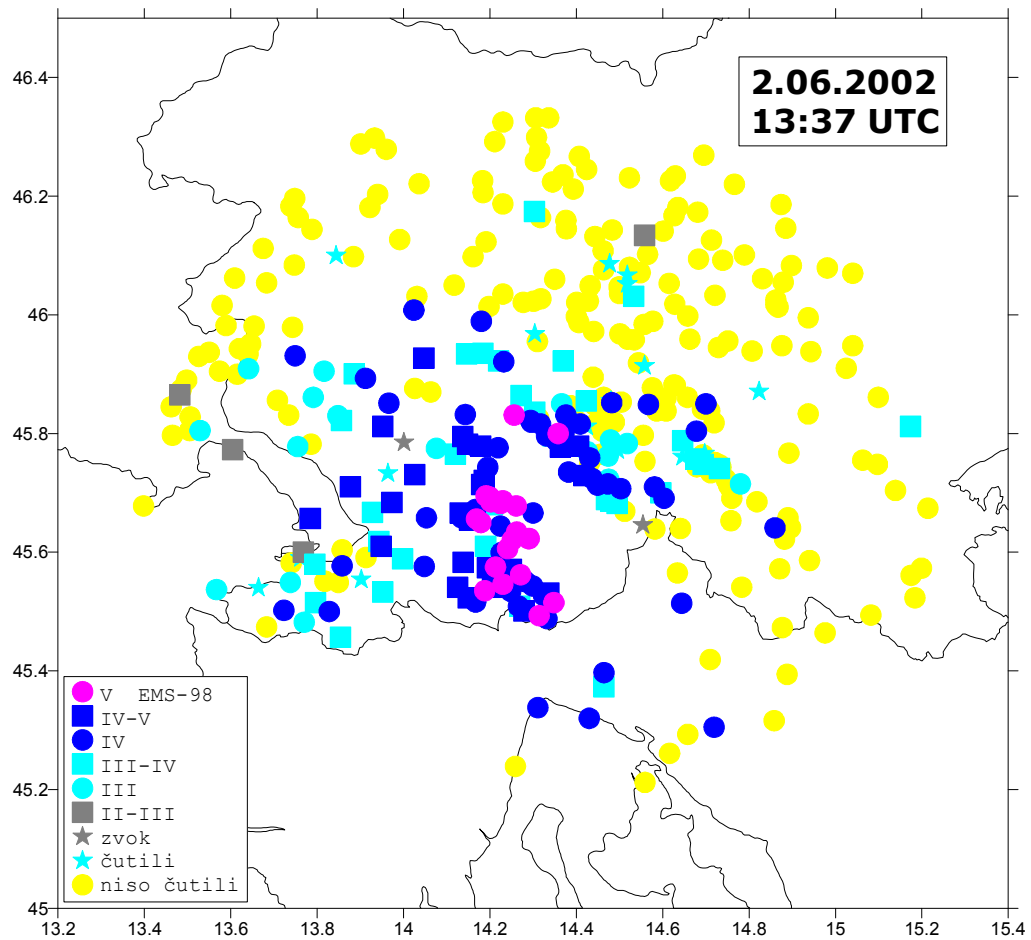
Slika 3. Intenzitete potresa 22. januarja 2002 ob 15. uri 56 minut po UTC v posameznih naseljih
Figure 3. Observed intensities of the earthquake on 22 January 2002 at 15.56 UTC



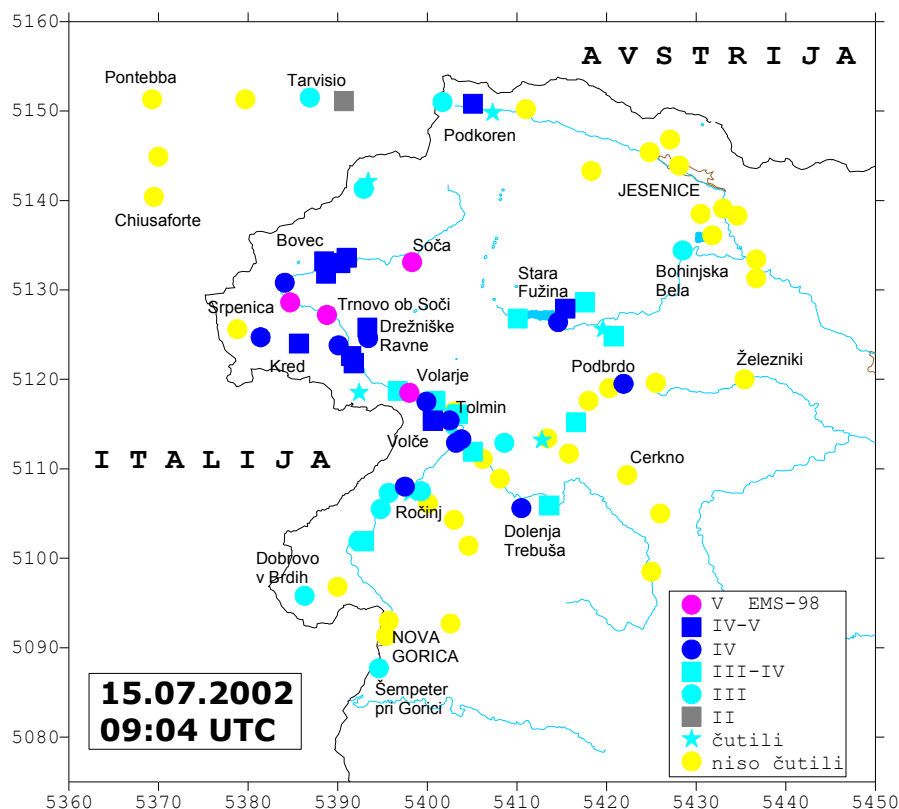
Slika 4. Intenzitete potresa 14. februarja 2002 ob 3. uri 18 minut po UTC v posameznih naseljih
Figure 4. Observed intensities of the earthquake on 14 February 2002 at 03.18 UTC



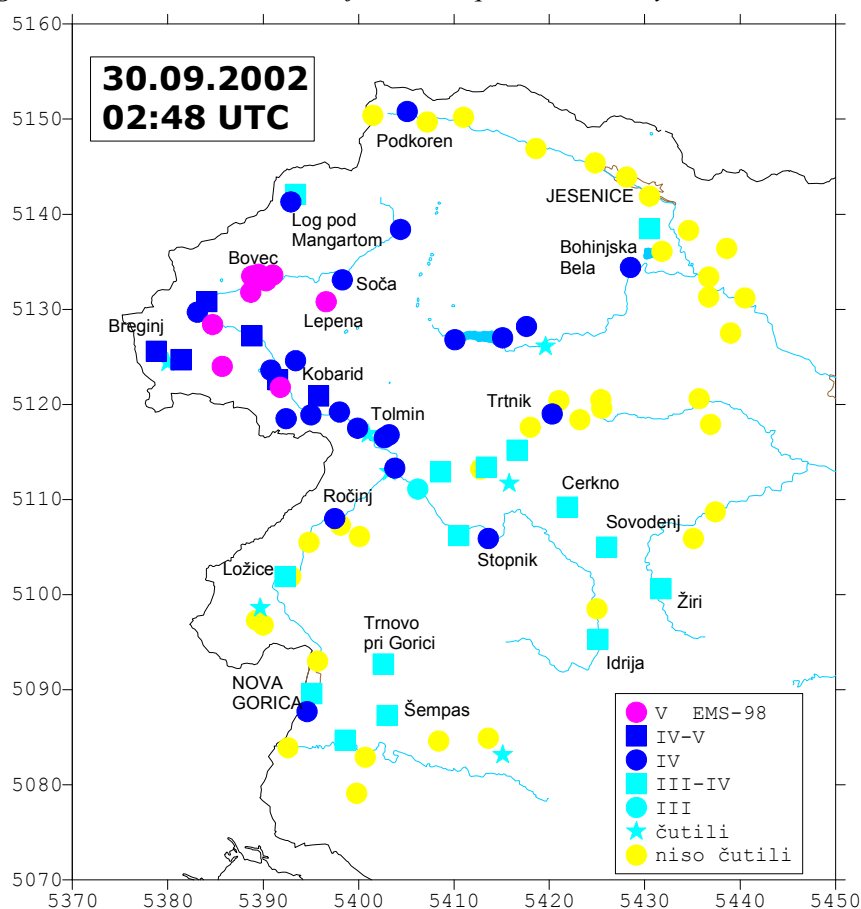
Slika 5. Intenzitete potresa 1. junija 2002 ob 18. uri 22 minut po UTC v posameznih naseljih
Figure 5. Observed intensities of the earthquake on 1 June 2002 at 18.22 UTC



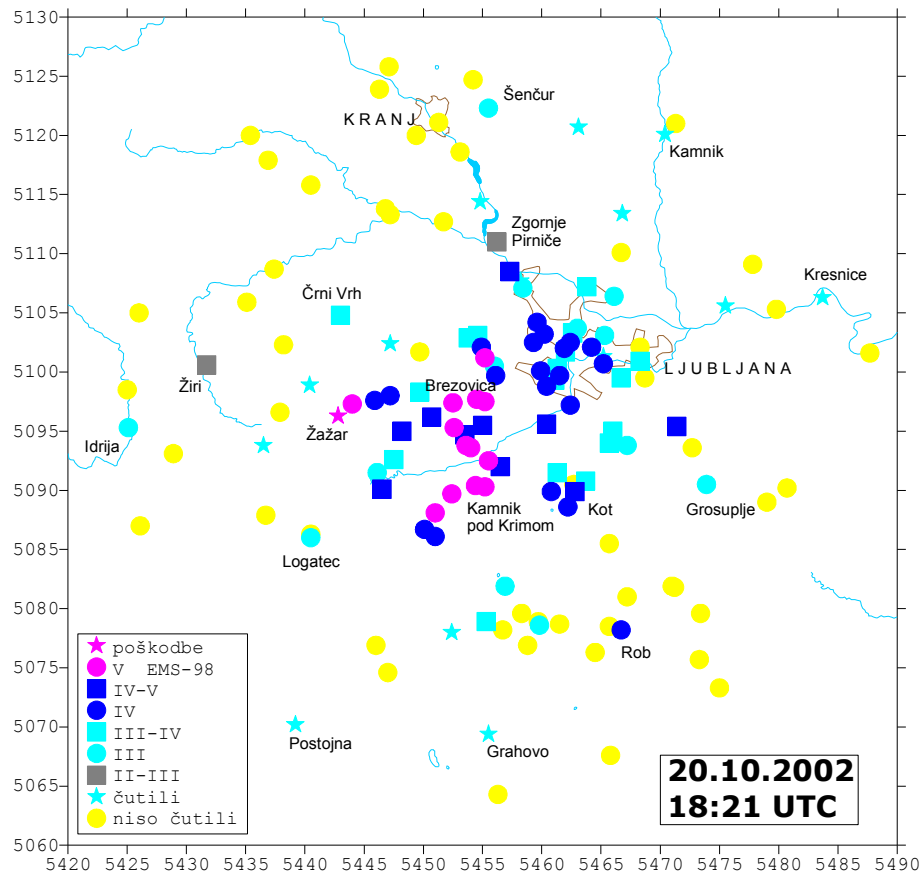
Slika 6. Intenzitete potresa 2. junija 2002 ob 13. uri 37 minut po UTC v posameznih naseljih
Figure 6. Observed intensities of the earthquake on 2 June 2002 at 13.37 UTC



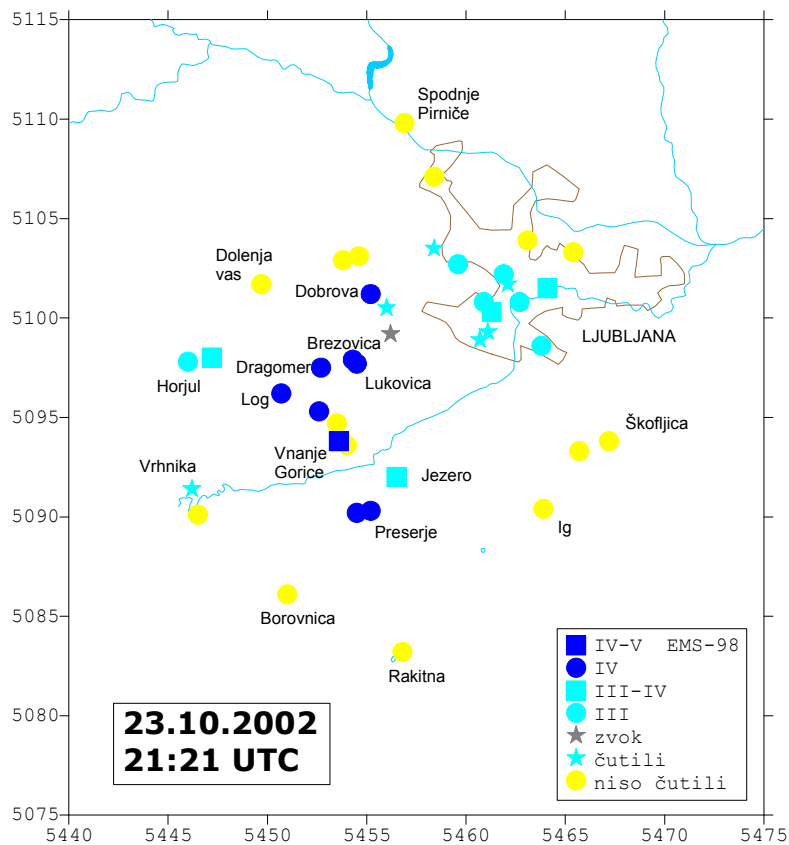
Slika 7. Intenzitete potresa 15. julija 2002 ob 9. uri 4 minute po UTC v posameznih naseljih
Figure 7. Observed intensities of the earthquake on 15 July 2002 at 09.04 UTC



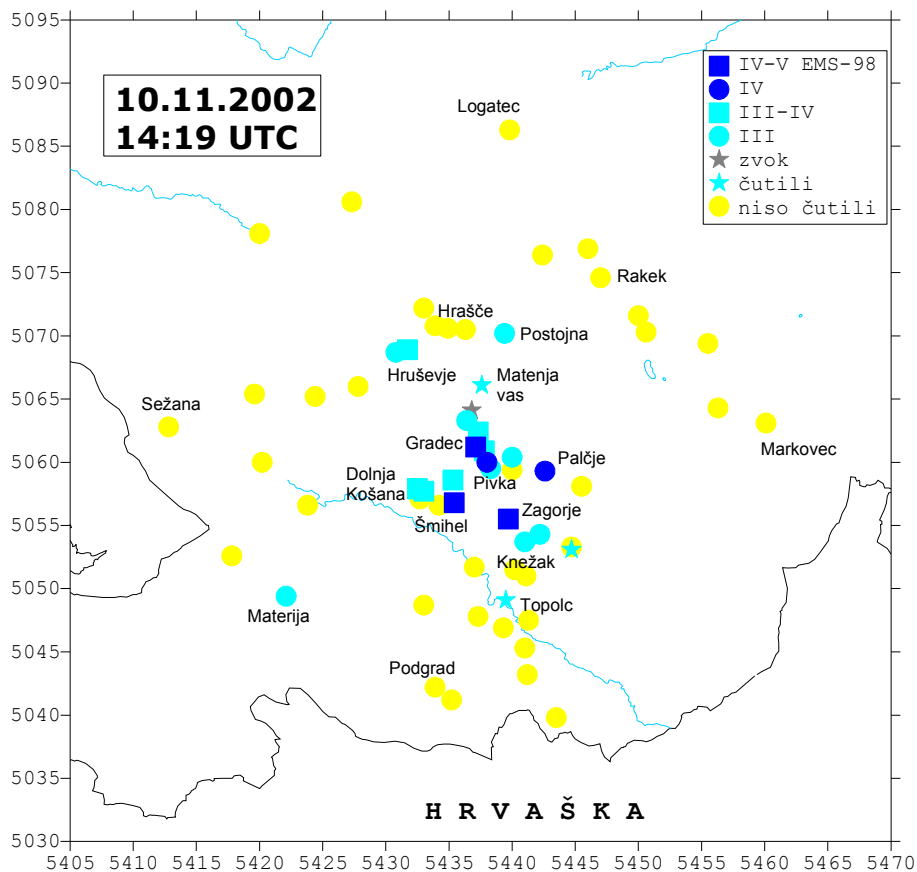
Slika 8. Intenzitete potresa 30. septembra 2002 ob 2. uri 48 minut po UTC v posameznih naseljih
Figure 8. Observed intensities of the earthquake on 30 September 2002 at 02.48 UTC



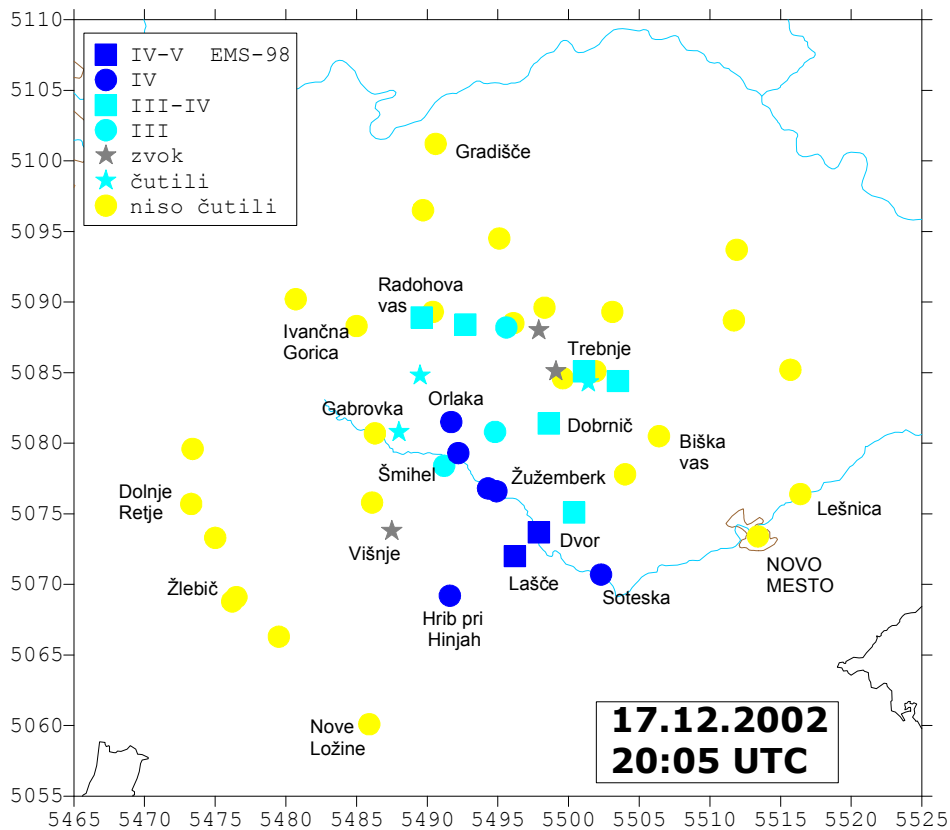
Slika 9. Intenzitete potresa 20. oktobra 2002 ob 18. uri 21 minut po UTC v posameznih naseljih
 Figure 9. Observed intensities of the earthquake on 20 October 2002 at 18.21 UTC



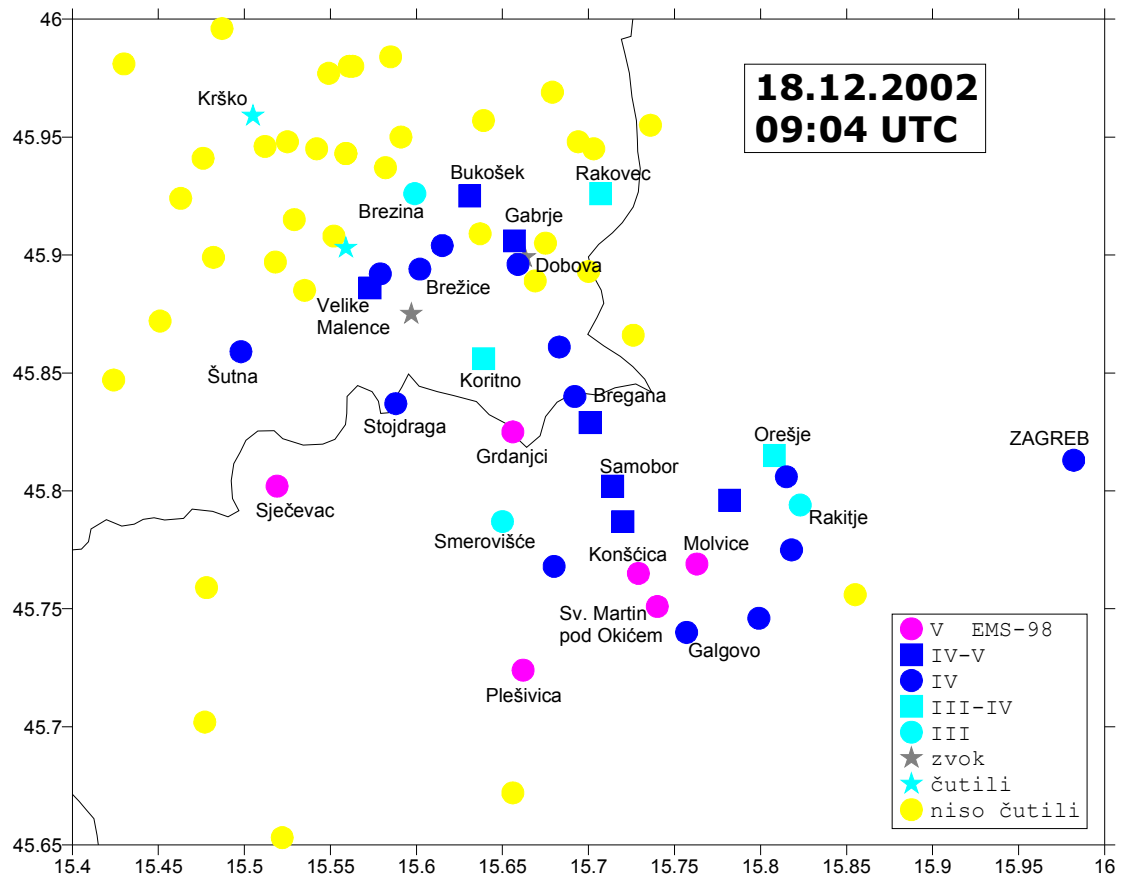
Slika 10. Intenzitete potresa 23. oktobra 2002 ob 21. uri 21 minut po UTC v posameznih naseljih
 Figure 10. Observed intensities of the earthquake on 23 October 2002 at 21.21 UTC



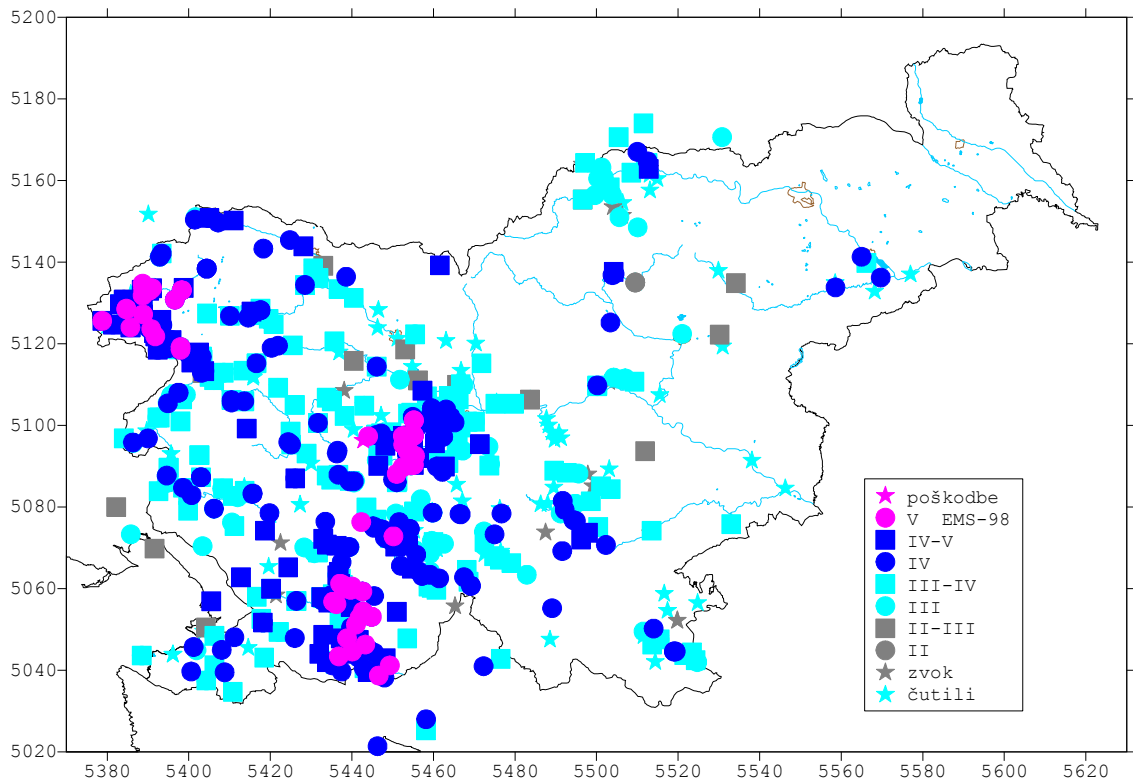
Slika 11. Intenzitete potresa 10. novembra 2002 ob 14. uri 19 minut po UTC v posameznih naseljih
Figure 11. Observed intensities of the earthquake on 10 November 2002 at 14.19 UTC



Slika 12. Intenzitete potresa 17. decembra 2002 ob 20. uri 5 minut po UTC v posameznih naseljih
Figure 12. Observed intensities of the earthquake on 17 December 2002 at 20.05 UTC



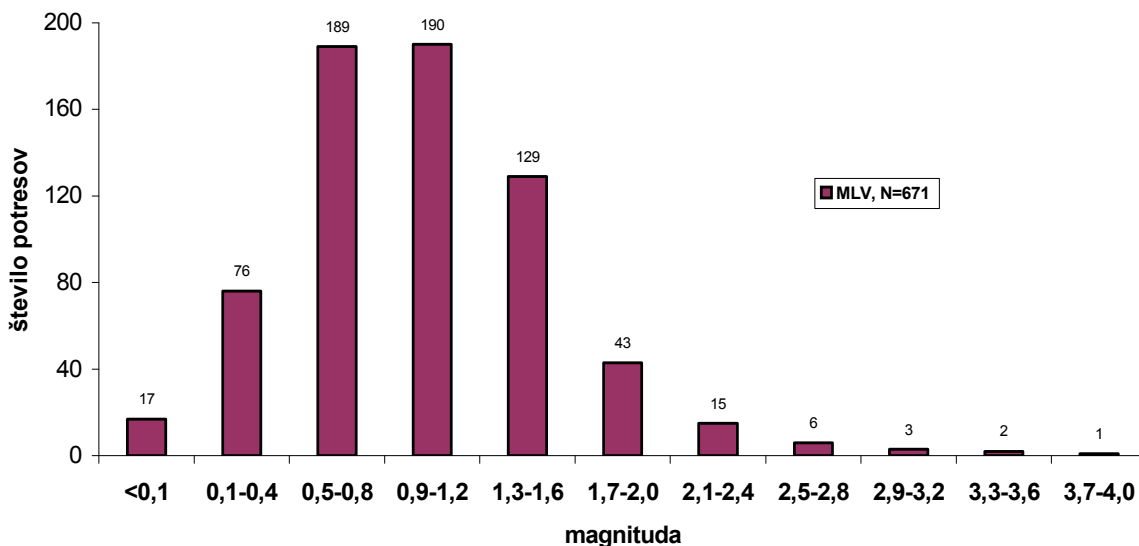
Slika 13. Intenzitete potresa 18. decembra 2002 ob 9. uri 4 minute po UTC v posameznih naseljih
Figure 13. Observed intensities of the earthquake on 18 December 2002 at 09.04 UTC



Slika 14. Intenzitete vseh potresov, ki so jih prebivalci Slovenije čutili v letu 2002
Figure 14. All intensities for earthquakes felt in Slovenia in 2002

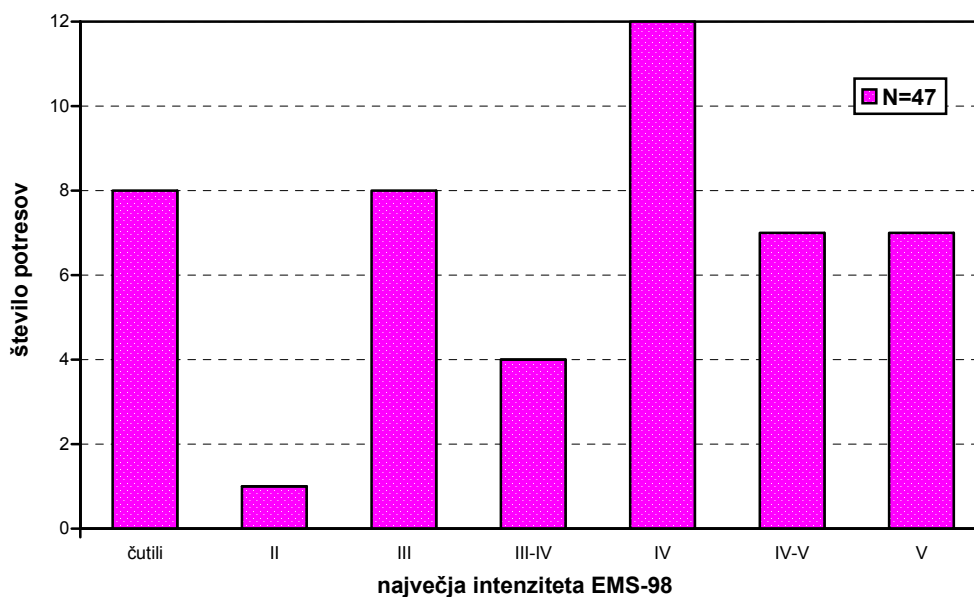
Sklep

Med potresi, za katere smo razposlali makroseizmične vprašalnike ali opravili terenske raziskave, jih je največjo intenziteto IV EMS-98 doseglo 12, intenziteto IV-V EMS-98 7 in intenziteto V EMS-98 7 potresov. Ostali potresi (21) so imeli največjo intenziteto nižjo od IV EMS-98 ali pa so jih ljudje le čutili in stopnje ni bilo mogoče opredeliti (sliki 2 in 16). Prebivalci so skupno čutili 47 potresov.

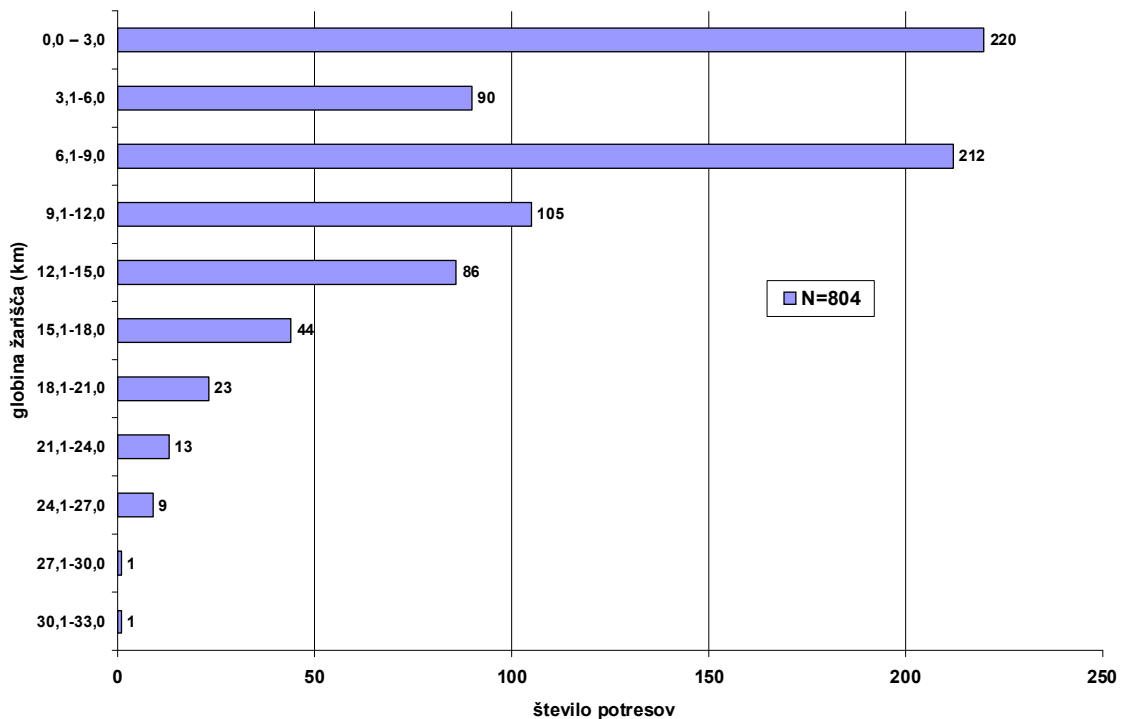


Slika 15. Porazdelitev potresov glede na lokalno magnitudo
Figure 15. Distribution of earthquakes with respect to local magnitude

Makroseizmični podatki za potrese bi bili zelo pomanjkljivi ali celo popolnoma nedostopni, če nam pri tem delu ne bi pomagali številni prostovoljni opazovalci. Leta 2002 je z Uradom za seizmologijo in geologijo aktivno sodelovalo več kot 4800 ljudi, za kar se jim najlepše zahvaljujemo. Za potrese v letu 2002 smo skupno poslali 4689 vprašalnikov.



Slika 16. Porazdelitev potresov glede na največjo intenziteto EMS-98 v Sloveniji
Figure 16. Distribution of earthquakes with respect to maximum EMS-98 intensity in Slovenia



Slika 17. Porazdelitev potresov glede na globino žarišča (v kilometrih)
Figure 17. Distribution of earthquakes with respect to focal depth (in km)

Tudi v letu 2002 smo pri zbiranju in izmenjavi podatkov uspešno sodelovali s seizmologi iz sosednjih držav. Za poslane makroseizmične podatke pa se posebej zahvaljujemo Calvinu Gaspariniju iz Nacionalnega inštituta za geofiziko in vulkanologijo (INGV) v Rimu, Edmundu Fiegweilu iz Centralnega zavoda za meteorologijo in geodinamiko (ZAMG) na Dunaju in Ivici Soviću iz Seizmološke službe Republike Hrvaške (SSRH) v Zagrebu.

Literatura

- 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, 99 str, Luxembourg.
- Grünthal, G. (ur.), 1998b: European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98). http://www.gfz-potsdam.de/pb1/pg2/ems_new/INDEX.HTM
- 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, 70 str, Honolulu.
- Michelinì, 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.
- RGU (Republiška geodetska uprava), 1995: Centroidi naselij (geografske koordinate), računalniški seznam.
- Urad za seizmologijo in geologijo, Agencija RS za okolje, 2002-2003. Preliminarni tedenski seizmološki bilteni za 2002. Arhiv ARSO, Ljubljana.
- Živčić, M., Bondár, I. in Panza, G.F., 2000: Upper Crustal Velocity Structure in Slovenia from Rayleigh Wave Dispersion. Pure Appl. Geophys., Vol. 157, 131-146.

AKCELEROGRAFI DRŽAVNE MREŽE POTRESNIH OPAZOVALNIC V LETU 2002 STRONG MOTION NETWORK IN SLOVENIA IN 2002

Tatjana Prosen

***Izvleček.** V letu 2002 smo imeli na Uradu za seizmologijo in geologijo trinajst akceleroagrafov, od tega deset akceleroagrafov Etna in tri SSA-2. Nekaj jih je ostalo na lokacijah iz prejšnjih let, nekaj pa smo jih v skladu s potrebami premestili na nove lokacije. Akceleroagrafi so namenjeni predvsem beleženju močnih potresov. Te izberemo iz zbirke vseh zabeleženih potresov in jih obdelamo s primernimi programskimi orodji, da iz njih pridobimo različne parametre potresa (npr. največji pospešek tal ob potresu) in spektre odziva.*

***Abstract.** In the year 2002 Seismology and Geology office had thirteen accelerographs, ten of them of type Etna and three of type SSA-2. Some of accelerographs remained at the same locations they occupied as in previous years and some of them were moved to the new locations, according to new needs. Accelerographs are instruments that register strong motion events in seismology. This strong events are chosen from the complete base of registred events and then processed with suitable software, to gain different parameters of an earthquake (for instance PGA) and earthquake response spectra.*

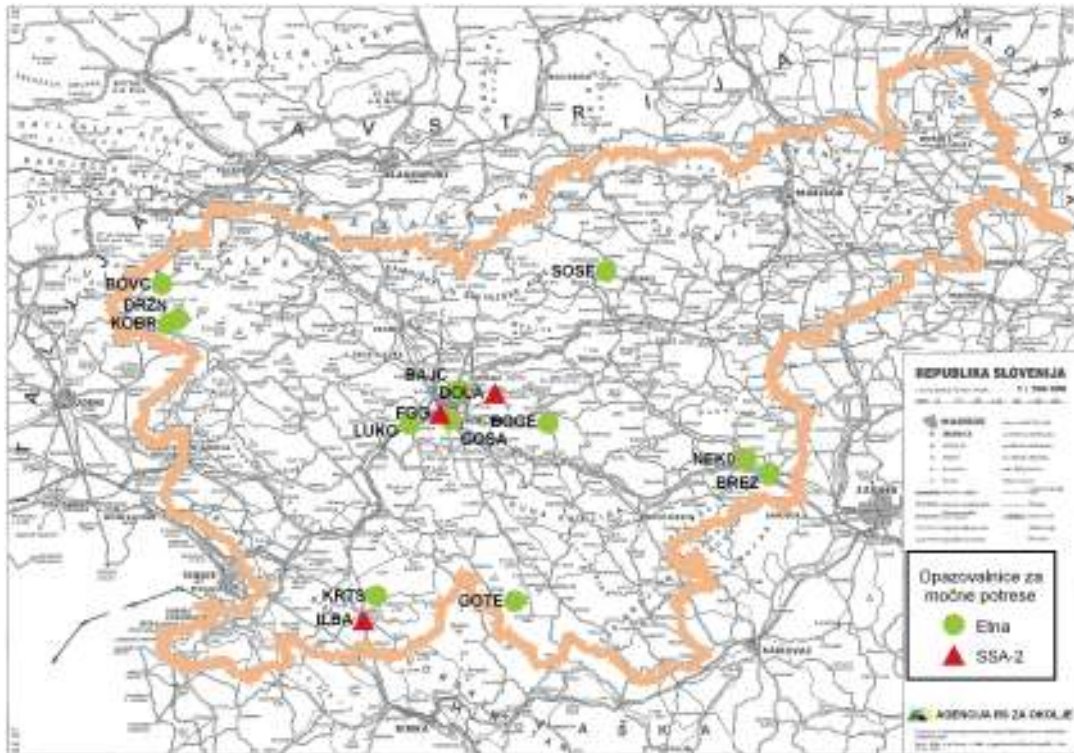
Uvod

Urad za seizmologijo in geologijo ima več opazovalnic opremljenih z akceleroagrafi za beleženje močnih potresov. Postavljeni so v objektih. Lokacije opazovalnic so izbrane glede na pogostnost močnejših potresov na določenem območju.

V letu 2002 je bilo v uporabi trinajst inštrumentov (akceleroagrafov) za beleženje močnih potresov. Na desetih opazovalnicah so bili postavljeni akceleroagrafi tipa Etna: v Bovcu, na gradu Bogenšperk, v Nadgorici, Drežnici, Kobaridu, Gotenici in v jedrski elektrarni v Krškem. Te potresne opazovalnice so delovale vse leto. Začasno so bili akceleroagrafi tipa Etna postavljeni v Koritnicah, Brežicah, na Barju (Galjevica), v Lukovici in Šoštanj. V Ljubljani (FGG in observatorij na Golovcu), Dolskem in Ilirski Bistrici so stalno delovali akceleroagrafi SSA-2. Vse potresne opazovalnice za beleženje močnih potresov so označene na karti (slika 1).

Akceleroagraf Etna je inštrument za beleženje pospeškov močnih potresov. Vsebuje notranji trikomponentni senzor, ki je pri starejših inštrumentih tipa FBA-23, pri novejših pa EpiSensor. Na Uradu za seizmologijo in geologijo imamo inštrumente Etna z merilnim območjem senzorjev 1 g, 2 g in 4 g. Inštrument Etna zajema in beleži podatke z 18 bitno resolucijo. Notranja ura se usklajuje z GPS sistemom točnega časa. Podatki s treh senzorjev se na podlagi kriterijev, ki jih določimo, lokalno shranjujejo, kasneje pa jih lahko prenesemo prek modema (avtomatsko ali ročno), prek osebnega računalnika ali neposredno s prenosom PCMCIA pomnilniške kartice. Prenešene dogodke pregledamo, izberemo potrese in jih shranimo. Zapise potresov kasneje obdelamo z različnimi programskimi orodji za obdelavo močnih potresov. Ponavadi uporabimo podatke z akceleroagrafov, kot bi bili postavljeni na prostem površju. Zato za lokacije akceleroagrafov poskušamo izbirati čim nižje in čim lažje stavbe, da

čim manj vplivajo na zapisane pospeške, z geološkega stališča pa so najbolj ugodne lokacije, pri katerih je kamnita podlaga čim bolj na površju.



Slika 1. Akceleroграфи v Sloveniji v letu 2002
Figure 1. Accelerographs in Slovenia in the year 2002

Inštrumenti in njihove lokacije

Sledi predstavitev lokacij z nameščenimi akceleroграфi Etna. Podrobnejši podatki o opazovalnicah, pa so zbrani v preglednici 1.

V Nadgorici pri Ljubljani je vse leto delovala Etna s serijsko številko 2133 in senzorjem EpiSensor, ki ima obseg delovanja 2 g. Podatki z opazovalnice so prihajali avtomatsko po klicni telefonski povezavi. Inštrument je bil postavljen v kletne prostore stanovanjske hiše. V letu 2002 je inštrument zabeležil 14 potresov.

V gradu Bogenšperk je ves leto deloval akceleroграф Etna s serijsko številko 1245 in senzorjem tipa EpiSensor, katerega območje delovanja sega do 1 g. Podatki z opazovalnice so prihajali avtomatsko po klicni telefonski povezavi. V letu 2002 je ta opazovalnica zabeležila 17 potresov.

V Bovcu je 9. 1. 2002 inštrument Etna s serijsko številko 1476 zalila voda iz počene vodovodne cevi. V prostoru takrat ni bilo elektrike. 13. 3. 2003 so bili v prostoru zopet pogoji za postavitev inštrumenta in prejšnji inštrument smo zamenjali z akceleroграфom Etna s serijsko številko 2134, ki ima merilni obseg 2 g. Inštrument Etna SN 1476, ki je bil v tem obdobju na popravilu smo 17. 7. 2002 zopet postavili v klet knjižnice v Bovcu. V Bovcu sta inštrumenta v letu 2002 zabeležila 26 potresov.

V Drežnici smo 13. 3. 2002 ponovno postavili akcelerograf Etna SN 811 v pritličju stavbe mrliških vežic. Priključena je bila na klicno telefonsko linijo in povezana z Ljubljano. 15. 5. 2002 smo inštrument ponovno ozemljili, ker so podatki z inštrumenta kazali na morebitno slabo ozemljitev. 24.9.2002 smo akcelerograf Etna s/n 811 zamenjali z inštrumentom Etna s/n 2134 in merilnim obsegom 2g. Inštrumenta sta v letu 2002 skupno zabeležila 24 potresov.

V Gotenici je bil vse leto postavljen inštrument Etna s serijsko številko SN 1246 s senzorjem FBA-23 in merilnim obsegom 1 g. Podatke z akcelerografa Etna v Gotenici smo prenašali prek telefonske povezave, vendar avtomatski prenos ni deloval. Inštrument je v letu 2002 zabeležil 14 dogodkov.

Na Ljubljanskem barju je bil inštrument Etna s serijsko številko 810, s senzorjem FBA-23 in merilnim območjem 1 g postavljen v pritličju stanovanjske hiše. Do ukinitve opazovalnice 10. 4. 2002 je akcelerograf zabeležil 1 potres.

V Kobaridu je bil vse leto inštrument Etna s serijsko številko 1477, ki vsebuje senzor FBA-23 z merilnim območjem 4 g. Inštrument stoji v pritličju občinske stavbe in je bil 15. 5. 2002 ponovno vključen. V letu 2002 je zabeležil 13 dogodkov.

V Krškem stoji akcelerograf Etna v sklopu Nuklearne elektrarne Krško (s/n 1334, 2 g). Inštrument je last elektrarne, vendar je vključen v državno mrežo potresnih opazovalnic in priključen na državno računalniško omrežje, prek katerega prejemamo podatke s te opazovalnice. Inštrument v Krškem je v letu 2002 zaznal 1 dogodek.

V Šoštanj smo inštrument Etna postavili na predlog občine zaradi tamkajšnjega rudnika. Inštrument Etna s/n 810 z merilnim območjem 1 g (prej na Ljubljanskem barju) smo postavili v klet stanovanjskega bloka 10. 4. 2002. Inštrument je do 20. 6. 2002, ko smo inštrument odstranili, zabeležil 218 prej opisanih dogodkov.

V Koritnice smo inštrument Etna namestili po potresu 2. 6. 2002 ob 15:37 uri po lokalnem času, ki je imel nadžarišče v bližini Knežaka. Inštrument smo namestili v garažo v pritličju stanovanjske hiše. V obdobju delovanja opazovalnice od 2. 6. 2002 do 1. 7. 2002 je inštrument zabeležil 6 potresov.

V Lukovico smo inštrument Etna s/n 810 namestili po močnejšem potresu 20. 10. 2002 z nadžariščem v okolici Brezovice. Opazovalnica ni bila priključena na telefonsko omrežje, zato je bilo treba v času delovanja podatke zajemati ročno. Opazovalnica je bila ukinjena 2. 11. 2002 in je v času svojega delovanja zabeležila 7 potresov.

V Brežicah smo postavili začasno potresno opazovalnico po močnejšem potresu 18. 12. 2002. Inštrument Etna SN 810 je stal v kletnih prostorih stanovanjske hiše in je do ukinitve opazovalnice 7. 1. 2003 zapisal 1 potres.

Akcelerografi tipa SSA-2 so bili v letu 2002 v Ljubljani pri Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo, v Dolskem in Ilirski Bistrici. Akcelerografe SSA-2 sestavljata senzor FBA-23 in zajemalna naprava SSA-2 z 12-bitnim analogno digitalnim pretvornikom. V Ljubljani in v Dolskem imata senzorja FBA-23 merilno območje 1 g, v Ilirski Bistrici pa je nameščen bolj občutljiv senzor FBA-23 z merilnim območjem 0,25 g. Inštrumenti SSA-2 niso več vezani na

sistem točnega časa, zato uporabljamo le podatke o pospeških in časovno razliko prvih vstopov faz potresnih valov. Podatke, ki se na podlagi vpisanih parametrov lokalno shranjujejo, ob rednih obiskih opazovalnic prenesemo na osebni računalnik prek kableske povezave (podatki o opazovalnicah so v preglednici 1).

Preglednica 1. Podatki o akceleroGRAFIH v Sloveniji v letu 2002.

Table 1. Information on accelerographs in Slovenia in the year 2002.

opaz.	ozn.	zem. šir.	zem. dolž.	n. viš. [m]	tip inšt. ser.št	merilni obseg	čas delovanja	št. potr.
		°N	°E					
station	code	latitude	longitude	elev. [m]	instr. type S/N	full scale range	operational	no. earthq
		°N	°E					
Nadgorica	BAJC	46,1006	14,5578	293	Etna 2133	2 g	1. 1. – 31. 12.	14
Bogenšperk	BOGE	46,0237	14,8572	422	Etna 1245	1 g	1. 1. – 31. 12.	17
Bovec	BOVC	46,3382	13,5543	455	Etna 1476	4 g	1-9.1./17.7.-31.12.	26
Bovec	BOVC				Etna 2134	2 g	13. 3. - 17. 7.	
Drežnica	DRZN	46,2586	13,6126	544	Etna 811	1 g	13. 3. -24. 9.	24
Drežnica	DRZN				Etna 2134	2 g	24. 9. -31. 12.	
Gotenica	GOTE	45,6095	14,7464	670	Etna 1246	1 g	1. 1. – 31. 12.	14
Lju. barje	GOSA	46,0310	14,5279	290	Etna 810	1 g	1. 1. - 10. 4.	1
Kobarid	KOBR	46,2474	13,5786	234	Etna 1477	4 g	1. 1. - 15. 5.	13
NEK	NEK0	45,9391	15,5185	156	Etna 1334	2 g	1. 1. – 31. 12.	1
Šoštanj	SOSE	46,3774	15,0515	360	Etna 810	1 g	10. 4. -20. 6.	218
Koritnice	KORI	45,6192	14,2877	643	Etna 1476	4 g	2. 6. - 1. 7.	6
Lukovica	LUKO	46,0206	14,3921	290	Etna 810	1 g	20. 10. - 2. 11.	7
Brežice	BREZ	45,9019	15,6000	160	Etna 810	1 g	18. 12. -7. 1.	1
FGG	FGG	46,0459	14,4944	295	SSA-2	1 g	1. 1. – 31. 12.	2
Dolsko	DOLA	46,0938	14,6781	265	SSA-2	1 g	1. 1. – 31. 12.	2
Ilirska Bistrica	ILBA	45,5638	14,2445	404	SSA-2	0.25 g	1. 1. – 31. 12.	0

Literatura

Altus Etna High Dynamic Range Accelerograph Operations Manual, 1995. Kinematics, Pasadena, ZDA

KARTA POTRESNE MIKRORAJONIZACIJE MESTNE OBČINE LJUBLJANA SEISMIC MICROZONATION MAP OF THE MUNICIPALITY OF LJUBLJANA

Polona Zupančič, Barbara Šket Motnikar, Andrej Gosar in Tatjana Prosen

***Izvleček.** Po naročilu Oddelka za zaščito, reševanje in civilno obrambo Mestne občine Ljubljana (MOL) smo izdelali karto potresne mikrorajonizacije na območju MOL. Karta je namenjena izključno uporabi v sistemu varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami. Potresna mikrorajonizacija MOL je predstavljena s pospeškom tal (PGA). Pospešek na trdnih tleh smo privzeli iz Karte potresne nevarnosti Slovenije in ga pomnožili z ustreznim faktorjem tal in faktorjem povratne dobe. Tla smo klasificirali po evropskem standardu Eurocode 8, za območje Ljubljanskega barja pa smo faktor tal določili z modeliranjem.*

***Abstract.** The Municipality of Ljubljana seismic microzonation map was made for the Disaster Management Department of the Municipality of Ljubljana, for exclusive use in the system of protection from natural and other disasters. The seismic microzonation is represented with a peak ground acceleration map. Ground acceleration for rock was adopted from the official Seismic hazard map of Slovenia and multiplied with the appropriate soil coefficient and return period coefficient. The soil classification was prepared in accordance with the European standard Eurocode 8, and the soil coefficient for the Ljubljansko barje area was determined by modelling.*

Uvod

Poznavanje potresne zgodovine ter geologije in tektonike ozemlja je podlaga za ocenjevanje potresne nevarnosti na raznih območjih in v državi kot celoti. Karte potresne nevarnosti so sestavni del predpisov o potresno odporni gradnji in so poleg podatkov o ogrožencih (prebivalci, gradbeni objekti, kulturni spomeniki, proizvodnja ipd.) in njihovi potresni ranljivosti tudi osnovni podatek za ocene potresne ogroženosti, na katerih temeljijo ukrepi civilne zaščite. Civilna zaščita in potresno odporna gradnja pa sta glavni sestavini potresne preventive oz. zaščite.

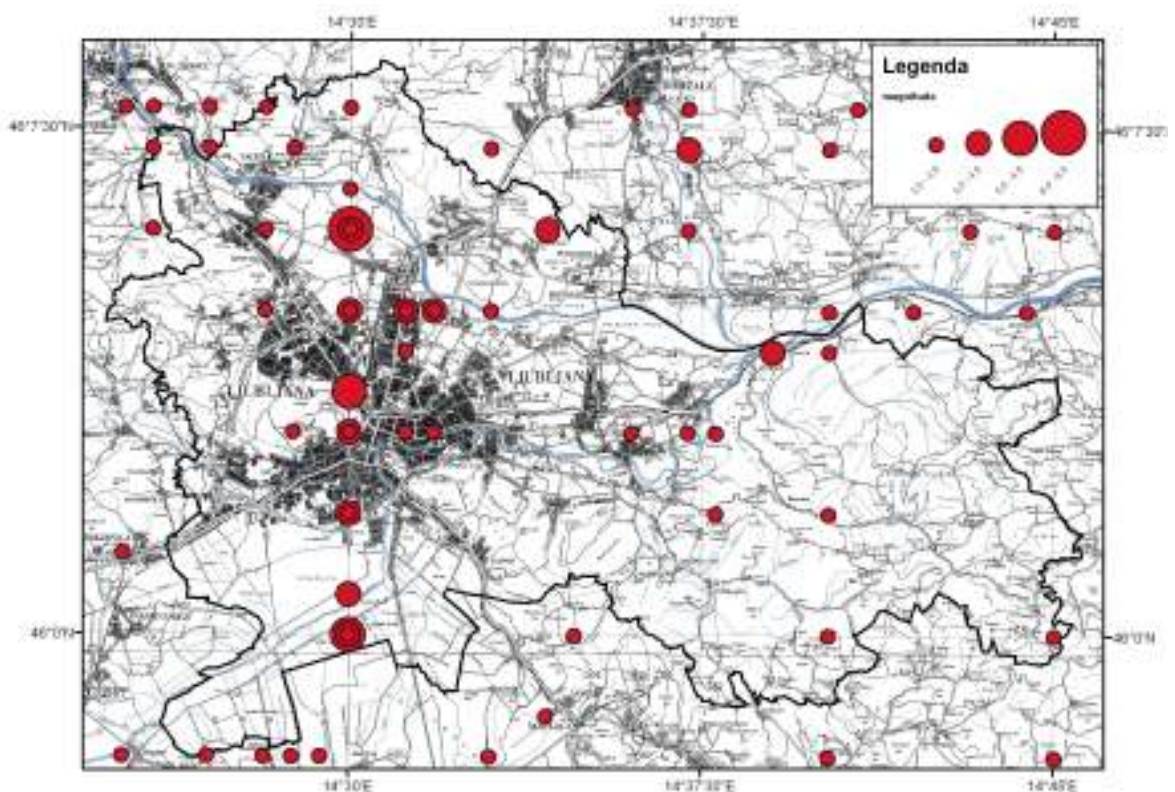
Vpliv lokalne geološke zgradbe na nihanje tal in na poškodbe zgradb ob potresu je že dolgo znan, vendar se je v preteklosti obravnaval predvsem kvalitativno ali s pomočjo empiričnih enačb. Razvoj inženirske seizmologije in prenosnih digitalnih potresnih opazovalnic pa je omogočil razvoj modernih kvantitativnih metod za oceno tega vpliva. Potresna (mikro)rajonizacija oziroma (mikro)coniranje je izraz za postopke, ki razdelijo območje na manjše dele z enakimi ali vsaj podobnimi lastnostmi in parametri.

Na območju Ljubljane se srečujemo z zelo različnimi seizmogeološkimi pogoji, od zelo dobrih na obrobju, kjer izdanjajo permski in karbonski peščenjaki in skrilavci prek srednje dobrih na območju, ki ga prekrivajo prodni nanosi reke Save, do najslabših na območju, kjer so na površini barjanski sedimenti. Poleg podatkov o litološki zgradbi območja in geomehanskih lastnostih kamnin, ki smo jih dobili iz literaturnih virov, smo pri izdelavi karte potresne mikrorajonizacije MOL (Zupančič in sod., 2003) upoštevali naslednja dva dokumenta:

- Eurocode 8 (EC8, 2003): Design of structures for earthquake resistance. Part 1: General rules for seismic actions and rules for buildings (Draft No. 6 – Version for translation, 2003).
- Potresna nevarnost Slovenije – projektni pospešek tal in Tolmač (Lapajne in sod., 2001): karta za povratno dobo 475 let je izdelana za trdna tla v skladu z zahtevami evropskega standarda EC8. Uporablja se skupaj s slovenskim predstandardom Eurocode 8 – Projektiranje potresno odpornih konstrukcij, ki ga je izdal Slovenski inštitut za standardizacijo (2001). Slovenski predstandard EC8, Karta projektne pospeška tal in Tolmač skupaj dopolnjujejo predpise o potresno odporni gradnji v Sloveniji. Geodetska osnova Karte projektne pospeška tal je pregledna karta Slovenije v merilu 1 : 500.000.

Potresna zgodovina

Potresi nastajajo pretežno na stikih velikih tektonskih plošč. Največ potresov se zgodi v pasu okoli Tihega oceana, kjer se Tihoceanska in nekatere manjše oceanske plošče stikajo z Indoavstralsko, Evrazijsko, Severnoameriško in Južnoameriško ploščo. Tu so zabeleženi tudi potresi z največjimi magnitudami. Drugo veliko območje nastajanja potresov je Azijsko-evropski pas, ki poteka od Indonezije in Kitajske prek osrednje in južne Azije do Alp in prek Sredozemlja. Ta pas je za nas posebej pomemben, saj se Slovenija nahaja na njegovem severozahodnem koncu. Tektonske razmere v alpskem in sredozemskem predelu, ki so pomembne za potresno dejavnost na ozemlju Slovenije, so precej zapletene.



Slika 1. Karta nadžarišč potresov z magnitudo ≥ 3 za obdobje od leta 567 na širšem območju MOL. Lokacije predvsem starejših potresov so manj zanesljive, zato so koordinate zaokrožene.

Figure 1. Map of earthquake epicentres with magnitude ≥ 3 from 567 AD to nowadays, originated in the area of Municipality of Ljubljana. The locations of historical earthquakes are uncertain, so their coordinates are rounded up.

Največja globina potresnih žarišč pri nas je okoli 40 km, večina pa je plitvejših od 10 km. To pomeni, da so vsi potresni pojavi v vrhnjem delu Zemljine skorje, ki je na ozemlju Slovenije debela od 28 do 43 km. V Evropi so najpogostejši in najmočnejši potresi v Italiji, Grčiji in Turčiji. Velika potresna dejavnost pa je še v nekaterih balkanskih državah. Slovenija sodi med potresno srednje dejavna območja Evrope. Približno velja, da je potresna dejavnost v srednji, severni, zahodni, jugozahodni in deloma vzhodni Evropi manjša kot v Sloveniji, v južni, jugovzhodni in deloma vzhodni pa večja.

Potresi, ki so bili v preteklosti na slovenskem ozemlju, so zbrani v katalogu potresov avtorja V. Ribariča (1982) in zajemajo dogodke od leta 792 dalje. Katalog je bil dopolnjen s podatki iz katalogov sosednjih dežel, kjer so zajeti potresi od leta 567 dalje (Živčić, 1994) ter v zadnjih letih s podatki iz biltenov in letnih poročil o potresih. V dopolnjenem katalogu so nekateri potresi na novo locirani, na novo pa so preračunane tudi magnitude. V tem približno 1500-letnem obdobju je zabeleženih prek 4900 dogodkov, ki so jih prebivalci čutili, od katerih ima magnitudo 3,0 ali več okoli 2960 potresov. Številki bi morali biti v resnici nekajkrat večji, saj mnogih potresov ni nihče zabeležil.

Močnejši potresi na območju Mestne občine Ljubljana od leta 567 dalje so prikazani na sliki 1. Opise močnejših potresov povzamamo po Vidrihu (2002). Najmočnejši zabeležen potres v okolici Ljubljane je bil veliki ljubljanski potres 14. aprila 1895 ob 22. uri in 17 minut po svetovnem času. Žarišče je nastalo v globini 16 km, njegova magnituda pa je ocenjena na 6,1. Največje učinke, VIII.-IX. stopnje po EMS-92, je dosegel na območju mesta Ljubljane, Ljubljanskega barja, do Vodice na severu. Potresni sunek so čutili v oddaljenosti približno 350 km. Najhujše poškodbe so nastale od Iga do Vodice, manjše poškodbe pa tudi v oddaljenosti do 50 kilometrov. Njegovo moč ponazarjajo tudi podatki, da so potres čutili prebivalci Dunaja, Splita ter v italijanskih mestih Assisi, Firence in Alessandria. Ljubljana je imela takrat približno 31000 prebivalcev, ki so živeli v okoli 1400 zgradbah. Potres je huje poškodoval približno 10 % zgradb, ki so jih kasneje večinoma porušili. Na srečo mrtvih ni bilo veliko. V Ljubljani naj bi pod ruševinami umrlo sedem ljudi, v Vodicih pa je zasulo tri otroke. Smrtne poškodbe so večinoma povzročili odpadli deli dimnikov in strešnikov, nekatere pa so zasuli podrti stropi. Nekaj jih je umrlo med reševanjem. V Posavju so potresni sunki sprožili zemeljske in skalne plazove. Tresljaje so močno čutili v rudnikih Trbovlje, Zagorje, Hrastnik in Ojstro. V Dolenjskih Toplicah se je neposredno po potresu temperatura vode znižala za 2,5 stopinje. Glavnemu sunku je v naslednjih desetih dneh sledilo več kot 100 popotresov, ki so prebivalce še bolj begali, občasno pa so se potresi pojavljali še več kot dve leti. Potres je povzročil veliko gmotno škodo. Posledice niso imele le negativnih učinkov, saj se je v Ljubljani po potresu marsikaj spremenilo na bolje. Ob ideji o urbanistični in arhitektonski obnovi Ljubljane je nastala tudi raziskava o gradbenotehničnih normativih, ki je pripeljala do prvih smernic za potresno odporno gradnjo. Velike učinke na Ljubljano in okolico so imeli tudi naslednji potresi:

- Najmočnejši potres na Slovenskem je nastal 26. 3. 1511 ob 14. uri po svetovnem času. Nekateri avtorji menijo, da sta bila v kratkem časovnem razmiku dva močna sunka. Prvi naj bi ob omenjenem času nastal na Idrijskem, drugi pa okoli 21. ure v Furlaniji. Magnituda prvega je ocenjena na 6,8, za drugega pa nekateri avtorji ocenjujejo vrednost magnitude med 7 in 7,2. Globina prvega je bila 15 km, drugega pa okoli 20 km. Na obsežnem epicentralnem območju, ki je segalo od Čedadada (Cividale) do Humina

(Gemona) pa tja do Idrije, so najmočnejši učinki potresa dosegli IX.-X. stopnjo EMS. Po nekaterih avtorjih so ponekod lokalni učinki dosegli X. stopnjo EMS. Potres je imel pomembne družbene in politične posledice, saj je pospešil zamenjavo lesenih hiš z zidanimi. Tudi zasnova ljubljanskega gradu je dobila takrat današnji obseg. Ocenjena intenziteta v Ljubljani in okolici je bila VIII-IX EMS.

- Potres 19. 5. 1963 na litijskem so močno čutili tudi prebivalci Ljubljane. Magnituda potresa je bila 4,9, največja intenziteta pa VII. stopnje po EMS. Čutili so ga do 140 km daleč. Na območju mesta Ljubljana so učinki dosegli VI.-VII. stopnjo po EMS lestvici.
- Potresna sunka 6. 5. ter 15. 9. 1976 v Furlaniji sta imela magnitudo 6,4 in 6,1. Prvi je dosegel največje učinke IX.-X. stopnje EMS (ponekod z dodatnimi lokalnimi učinki celo X. stopnjo), drugi pa IX. stopnjo EMS (skupni učinki so dosegli X. stopnjo). Globina žarišč je bila med 10 in 15 km. Na srečo pri nas smrtnih žrtev ni bilo (v Italiji 987), nastala pa je ogromna gmotna škoda tako v Posočju kot tudi drugod v severozahodni Sloveniji. Na območju mesta Ljubljana so učinki dosegli V. stopnjo po EMS-98 lestvici.
- Potres 12. 4. 1998 v Zgornjem Posočju je imel magnitudo 5,7 in največjo intenziteto VII.-VIII. stopnje EMS-98. Žarišče potresa je bilo v Krnskem pogorju, v globini okoli 8 km. Potres je poleg velike gmotne škode na objektih na Bovškem, Kobariškem in Tolminskem povzročil tudi precejšnje spremembe v naravi. Na območju mesta Ljubljana in okolice je po EMS-98 dosegel naslednje učinke:
V: Center, Rakovnik, Moste, Vič, Bežigrad, Dravlje, Koseze, Podutik, Srednje Gameljne;
IV-V: BTC, Zalog, Zgornje Gameljne, Polje, Novo Polje;
IV: Šiška, Stanežiče, Šentvid, Brod, Tacen, Spodnje Gameljne, Šmartno pod Šmarno Goro, Črnuče, Zgornji Kašelj, Dobrunje.

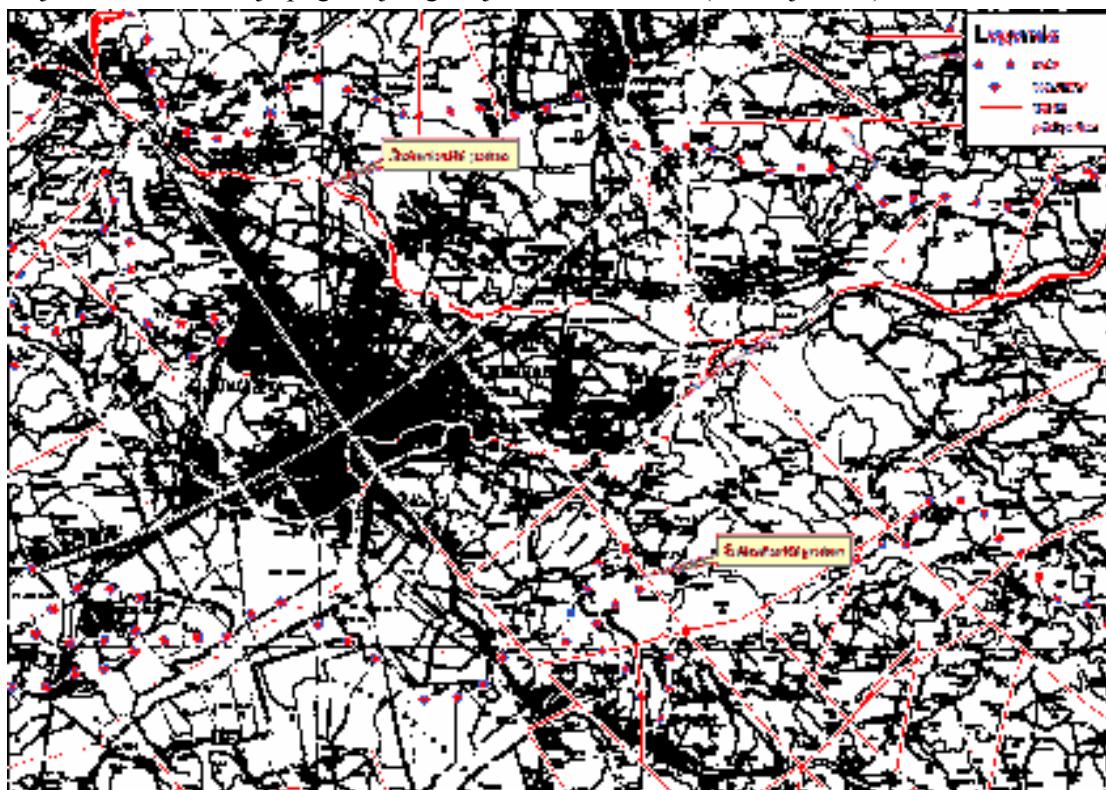
Tektonske značilnosti

Potresno dogajanje v tem delu Evrope opredeljujeta Afriška in Evropska (Evrazijska) plošča, med njima pa leži še manjša Jadranska plošča. Nedeformiran del Jadranske plošče obsega približno območje celotnega Jadranskega morja, obdajajo pa ga večje gorske verige, ki so vzdignjene zaradi medsebojnega vpliva plošč (Helenidi, Dinaridi, Alpe, Apenini). Raziskave kažejo, da se Jadranska plošča vrti v nasprotni smeri urinega kazalca, kar povzroča gubanje in narivanje na vzhodni in severni strani plošče ter deloma na severozahodni strani. Večji del Slovenije (njen južni in zahodni del) predstavlja severni del Jadranske plošče, ki je zelo deformiran in narinjen na osrednji, manj deformiran del Jadranske plošče. Premikanje plošč ustvarja na ozemlju Slovenije napetostno polje, ki kaže kompresijo približno v smeri sever-jug. Napetost se sprošča vzdolž prelomov in tako povzroča potrese. Prelomi imajo v Sloveniji več značilnih smeri. Potresno dejavni so prelomi dinarske (severozahod-jugovzhod) in prečnodinarske smeri (severovzhod-jugozahod), pa tudi narivi, ki potekajo približno v smeri vzhod-zahod (Poljak in sod., 2000).

Raziskovano ozemlje leži v Zunanjih Dinaridih, ki obsegajo večji del jugozahodne Slovenije. Severno od Ljubljanske kotline mejijo Zunanji Dinaridi na Južne Alpe. Kamniško-Savinjske Alpe so proti jugu narinjene na Posavske gube, ki ležijo zahodno od Ljubljanske kotline. Južni del Posavskih gub spada že v Zunanje Dinaride.

Prelomi na tem območju imajo v glavnem smer SZ-JV (dinarska smer) ter SV-JZ (prečnodinarska smer). Najizrazitejši regionalni prelom je Žužemberški prelom (slika 2). Prelomi potekajo po Ljubljanski kotlini ali po njenih robovih in so v kotlini prekriti s kvartarnimi sedimenti. Ljubljansko barje predstavlja kotlino, ki je pliocenske do kvartarne

starosti in se je pogreznila ob prelomih dinarske smeri SZ-JV. Z vrtnami in geofizikalnimi raziskavami je dokazano, da je skalna podlaga pod Barjem valovita in razrezana v številne kotanje in globeli, ki so zapolnjene s prodom in rečnimi sedimenti. Zanesljivo je ugotovljeno, da je vzhodni del Barja pogreznjen globlje kot zahodni del (Mencej, 1989).



Slika 2. Tektonski strukturalni elementi na področju Mestne občine Ljubljana in okolice (prirejeno po Poljaku, 2000)

Figure 2. Tectonic structural elements within the area of Municipality of Ljubljana (after Poljak, 2000)

Vpliv lokalnih tal

Vpliv lokalne geološke zgradbe na nihanje tal in na poškodbe zgradb ob potresu je že dolgo znan, vendar se je v preteklosti obravnaval predvsem kvalitativno ali s pomočjo empiričnih enačb. Razvoj inženirske seizmologije in prenosnih digitalnih potresnih opazovalnic je omogočil razvoj modernih kvantitativnih metod za oceno tega vpliva. Učinki potresa na izbrani lokaciji so odvisni od:

- žariščnih lastnosti potresa (magnituda, globina, oddaljenost, smer preloma in smer premika ob prelomu),
- regionalne geološke zgradbe (hitrost širjenja valovanja, dušenje), ki vpliva na potresnega valovanja med žariščem in bližino lokacije,
- lokalne geološke zgradbe (mehanske lastnosti, debelina in oblika sedimentacijskega bazena ter relief površja).

V strokovni literaturi je vpliv teh dejavnikov znan pod imenom »site effects«, mi pa ga imenujmo »vpliv lokalnih tal«. Kvantitativno ga upoštevamo s faktorjem tal S (soil coefficient), s katerim pomnožimo vrednosti, ki veljajo za referenčno trdno kamnino (včasih namesto faktorja tal uporabljajo tudi prirastek intenzitete).

Vpliv lokalne geološke zgradbe lahko ocenimo z modeliranjem, z meritvami seizmičnega šuma ali s primerjavo zapisov potresov na različnih tleh. V primeru, ko so na voljo bolj podrobni geološki podatki o plastoviti zgradbi podpovršja, lahko odziv tal pri različnih frekvencah izračunamo z modeliranjem. Večinoma se uporablja enodimenzionalno modeliranje, pri katerem predpostavimo vodoravno plastovitost. V zadnjem desetletju je razvoj računalnikov omogočil dvodimenzionalno modeliranje učinkov z upoštevanjem oblike podlage sedimentnih bazenov in topografije površja. Razvoj pa gre še naprej v smeri pravih tridimenzionalnih modelov. Z meritvami naravnega in umetnega seizmičnega šuma in analizo spektra navpične in vodoravnih komponent lahko neposredno merimo odziv tal pri različnih frekvencah, ne da bi podrobneje poznali zgradbo podpovršja. Povečanje amplitude nihanja tal (ojačenje) najbolj realno ocenimo s primerjavo zapisov potresov in njihovih spektrov na lokaciji, prekri s sedimenti, in na lokaciji, kjer podlaga teh sedimentov izdaja na površju. Redkeje se uporablja primerjava z zapisi seizmometra, nameščenega v vrtini, ki je dosegla podlago. Iz spektralnega razmerja med zapisi na površju sedimentov in tistimi na podlagi lahko izračunamo vpliv sedimentne plasti.

Eurocode 8

Preglednica 1. Vrste tal in faktor tal po Eurocode 8.

Vrsta tal faktor tal S	Opis stratigrafskega profila	Parametri		
		$v_{s,30}$ (m/s) (hitrost strižnega valovanja)	N_{SPT} (standardni penetracijski preizkus) (udarci / 30 cm)	c_u (strižna trdnost tal) (kPa)
A 1,0	Skala ali druga skali podobna geološka formacija, na kateri je največ 5 m slabšega površinskega materiala	>800	-	-
B 1,2	Sedimenti zelo gostega peska, proda ali zelo goste gline, debeli vsaj nekaj 10 m, v katerih se mehanske lastnosti izboljšujejo z globino	360-800	>50	>250
C 1,15	Globoki sedimenti gostega ali srednje gostega peska, proda ali zbite gline z debelino od nekaj 10 m do več 100 m	180-360	15-50	70-250
D 1,35	Sedimenti rahle do srednje nevezane (z ali brez posameznih mehkih vezanih plasti) ali večinoma mehke do trdne vezane zemljine	<180	<15	<70
E 1,4	Profil zemljine sestoji iz površinskega aluvija, ki ima vrednost $V_{s,30}$ tipa C ali D in debelino med 5 in 20 m pod tem pa leži trdnejši material z $V_{s,30} > 800$ m/s			
S ₁ --	Sedimenti sestavljeni iz (ali pa vsebujejo plast debelo vsaj 10 m) mehkih glin/muljev z visoko vrednostjo plastičnosti ($PI > 40$) in veliko vsebnostjo vode	<100	-	10-20
S ₂ --	Sedimenti zemljin in glin, dovzetnih za utekočinjenje ali katera koli druga zemljina, ki ni bila vključena v vrste tal od A do E ali S ₁			

Table 1. Ground types in EC8.

Ground type Soil factor S	Description of stratigraphic profile	Parameters		
		$v_{s,30}$ (m/s)	N_{SPT} (Standard Penetration Test) (blows/30cm)	c_u (kPa)
A 1.0	Rock or other rock-like geological formation, including at most 5 m of weaker material at the surface	>800	-	-
B 1.2	Rock or other rock-like geological formation, including at most 5 m of weaker material at the surface	360-800	>50	>250
C 1.15	Deep deposits of dense or medium - dense sand, gravel or stiff clay with thickness from several tens to many hundreds of m	180-360	15-50	70-250
D 1.35	Deposits of loose-to-medium cohesionless soil (with or without some soft cohesive layers), or of predominantly soft-to-firm cohesive soil	<180	<15	<70
E 1.4	A soil profile consisting of a surface alluvium layer with $v_{s,30}$ values of type C or D and thickness varying between about 5 m and 20 m, underlain by stiffer material with $v_{s,30} > 800$ m/s			
S_1 --	Deposits consisting – or containing a layer at least 10 m thick – of soft clays/silts with high plasticity index (PI \square 40) and high water content	<100	-	10-20
S_2 --	Deposits of liquefiable soils, of sensitive clays, or any other soil profile not included in types A –E or S_1			

Z raziskavami na podlagi omenjenih metod so vpliv lokalnih tal na učinke potresa ocenili za nekatere značilne vrste tal in faktor tal predpisali v evropskem standardu EC8 (2003). EC8 določa sedem vrst temeljnih tal: A, B, C, D, E, S_1 in S_2 , ki so opisane s stratigrafskim profilom in tremi parametri: hitrost strižnega valovanja, rezultat standardnega penetracijskega preizkusa in strižna trdnost tal. Za vrste tal B, C, D in E je vpliv lokalnih tal na potresne učinke predpisan s faktorjem tal S glede na tla vrste A (preglednica 1). Za posebni vrsti tal S_1 in S_2 faktor tal ni podan in ga je potrebno določiti z raziskavami.

Povprečna hitrost strižnega valovanja $v_{s,30}$ je izračunana po enačbi

$$v_{s,30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{v_i}},$$

kjer h_i in v_i označujeta debelino (v metrih) in hitrost strižnega valovanja i -te formacije ali plasti, od skupno N , ki obstajajo v zgornjih 30 metrih. Vrsta tal na lokaciji je določena glede na vrednost $v_{s,30}$, če to ni mogoče, pa uporabimo vrednost standardnega penetracijskega preizkusa.

Klasifikacija tal MOL po EC8

Na območju Ljubljane se srečujemo z zelo različnimi seizmogeološkimi pogoji, od zelo dobrih na obrobju, kjer izdajajo permski in karbonski peščenjaki in skrilavci, prek srednje dobrih na območju, ki ga prekrivajo prodni nanosi reke Save, do najslabših na območju, kjer so na površini barjanski sedimenti.

Geološko in litološko zgradbo Mestne občine Ljubljana smo povzeli po Osnovni geološki karti 1:100.000 (OGK 100), listi Kranj, Ljubljana, Postojna in Ribnica (Buser, 1965, 1969; Buser in sod., 1967; Grad in Ferjančič, 1968, 1974; Pleničar, 1963; Premru 1980, 1982). Območje občine je geološko precej razgibano: Ljubljansko polje je zapolnjeno s kvartarnimi sedimenti (konglomerat, prod, pesek), Ljubljansko barje v globini s prodom in peskom, na površini pa z jezerskimi sedimenti, obrobno hribovje pa v veliki meri sestavljajo permokarbonski skrilavi glinovci, peščenjaki in konglomerati ter mezozojske karbonatne kamnine. Ker so geološke karte (OGK 100) nastajale v daljšem časovnem obdobju, so metodološko zelo različne in jih težko primerjamo. Pri samem delu smo uporabili računalniške verzije omenjenih geoloških kart, ki jih je pripravil Geološki zavod Slovenije. Karti Ljubljana in Kranj imata med seboj usklajene robove, Postojno in Ribnico pa smo prilagodili za potrebe projekta.

Ob upoštevanju EC8 smo na podlagi geološke karte OGK 100 klasificirali kamnine, kot je navedeno v preglednici 2. Združevanje oziroma klasifikacijo tal smo naredili na digitaliziranih kartah OGK 100, ki jih je izdelal Geološki zavod Slovenije v letih 1997 do 2003. Ker je tiskana karta OGK narejena na slabi geodetski podlagi, je tudi njena natančnost v digitalni obliki slabša. Zato smo se odločili, da bomo na končni karti privzeli natančnost tematskega sloja 50 m.

Preglednica 2. Klasifikacija tal na podlagi OGK 100 in EC8.

Litostratigrafska enota	Starost	OGK list	vrsta tal EC8
nanosi rek in potokov	Hc	Kranj	C
melišča	Hc	Kranj	D
deluvij	Hc	Kranj	D
jezerski in barjanski sedimenti	Q ₁ , Q ₂	Kranj	S ₁ , E
prod, pesek – prodni zasip	Q ₁	Kranj	C
konglomerat, slabo sprijet prod, glina - konglomeratni zasipi	Q ₁	Kranj	C
glinast lapor, plastovit apnenec, apnenčeva breča	K _{1,2}	Kranj	A
debeloskladovit apnenec, dolomitiziran apnenec, ponekod dolomit	T ₃ , J	Kranj	A
plastovit in pasovit dolomit, redko apnenec - glavni dolomit	T ₃ ²⁺³	Kranj	A
pisan peščenjak, argilit, tufit, apnenec, ponekod z rožencem	T ₃ ¹	Kranj	A
svetlo siv neplastovit apnenec	₂ T ₂ ²	Kranj	A
neplastovit dolomit	T ₂	Kranj	A
laporni apnenec, dolomit, peščen skrilavec, oolitni apnenec	T ₁	Kranj	A
groedenski skladi - rdeč peščenjak, meljevec, prehodi v skrilavec in konglomerat	P ₂ ²	Kranj	A

Litostratigrafska enota	Starost	OGK list	vrsta tal EC8
glinast skrilavec, meljevec, peščenjak in konglomerat	C, P	Kranj	A
aluvij v splošnem	Q	Ljubljana	C
proluvij-vršaj in spralina s pobočij	Q	Ljubljana	C
deluvij-ilovica in jerina	Q	Ljubljana	D
glinast prod, peščena glina in glina	Q	Ljubljana	D
glina in peščena glina	Q	Ljubljana	D
mlajši prodni zasip	Q	Ljubljana	C
konglomerat, peščenjak, lapor, glina, apnenec	Ol ₂	Ljubljana	D
fliš: glinasti skrilavec, lapor, peščenjak, breča, konglomerat	K _{1,2}	Ljubljana	A
apnenec	T, J	Ljubljana	A
apnenec, dolomit, glinasti skrilavec, oolit in tuf	T ₃ ¹	Ljubljana	A
dolomit	T ₂ ²	Ljubljana	A
lapor, meljevec, skrilavec, apnenec, roženec, dolomit, tuf in tufit	T ₂ ^{1,2}	Ljubljana	A
dolomit, lapor, apnenec, oolit, skrilavec, meljevec in peščenjak	T ₁	Ljubljana	A
peščenjak, meljevec, skrilavec	P ₂	Ljubljana	A
peščenjak, meljevec, skrilavec z vložki dolomita	P ₂	Ljubljana	A
peščenjak, meljevec, skrilavec in konglomerat	C, P	Ljubljana	A
glinasti skrilavec	C, P	Ljubljana	A
kremenov peščenjak	C, P	Ljubljana	A
kremenov konglomerat	C, P	Ljubljana	A
jezerski in barjanski sedimenti	Hc	Ribnica	S ₁ , E
pasast in zrnat dolomit	T ₃ ²⁺³	Ribnica	A
glinavec, peščenjak, breča, ooliten boksit, tuf; v zgornjem delu dolomit s plastmi laporja	T ₃ ¹	Ribnica	A
svetlo siv apnenec	² T ₂ ²	Ribnica	A
bel zrnat dolomit z vložki apnenca	² T ₂ ²	Ribnica	A
belo siv dolomit	T ₂ ¹	Ribnica	A
dolomit s plastmi sljudnatega skrilavca; skrilavec in peščenjak z oolitnim apnencem	T ₁	Ribnica	A
rdeč peščenjak, argilit in meljevec	P ₂ ²	Ribnica	A
glinast skrilavec, peščenjak in konglomerat	C, P	Ribnica	A
jezerski in barjanski sedimenti	Q ₁ , Q ₂	Postojna	S ₁

Table 2. Classification of soil according to OGK (Basic Geological Map of SFRY 1:100000) and EC8 ground types.

Lithostratigraphic unit	Age	OGK sheet	Ground type EC8
Alluvium: river and stream deposits	Q ₂	Kranj	C
Scree (talus)	Q ₂	Kranj	D
Deluvium	Q ₂	Kranj	D

Lithostratigraphic unit	Age	OGK sheet	Ground type EC8
Lacustrine and paludal deposits	Q ₁ , Q ₂	Kranj	S ₁ , E
Gravel, sand – gravel dams	Q ₁	Kranj	C
Conglomerate, weakly cemented gravel, clay - conglomerate dams	Q ₁	Kranj	C
Clay marl, stratified limestone, limestone breccia	K _{1,2}	Kranj	A
Thick-bedded limestone, dolomitized limestone, partly dolomite	T ₃ , J	Kranj	A
Bedded and banded dolomite, rarely limestone	T ₃ ²⁺³	Kranj	A
Variegated sandstone, argillite, tuffite, limestone, partly with chert	T ₃ ¹	Kranj	A
Light - grey unstratified limestone	2 T ₂ ²	Kranj	A
Unstratified dolomite	T ₂	Kranj	A
Marly limestone, dolomite, sandy schists, oolitic limestone	T ₁	Kranj	A
Groeden layers - red sandstones, aleurolites, schist and conglomerate	P ₂ ²	Kranj	A
Clay schist, aleurolite, sandstone and conglomerate	C, P	Kranj	A
Alluvium in general	Q	Ljubljana	C
Proluvium: fan, talus slope	Q	Ljubljana	C
Deluvium: loam and terra rossa	Q	Ljubljana	D
Clay gravel, sandy clay and clay	Q	Ljubljana	D
Clay and sandy clay	Q	Ljubljana	D
Younger gravel dam	Q	Ljubljana	C
Conglomerate, sandstone, marl, clay and limestone	Ol ₂	Ljubljana	D
Flysch: clay shale, marl, sandstone, brecciaconglomerate	K _{1,2}	Ljubljana	A
Limestone	T, J	Ljubljana	A
Limestone, dolomite, clay shale, oolite and tuff	T ₃ ¹	Ljubljana	A
Dolomite	T ₂ ²	Ljubljana	A
Marl, siltstone, shale, limestone, chert, dolomite, tuff and tuffite	T ₂ ^{1,2}	Ljubljana	A
Dolomite, marly limestone, oolite, shale siltstone and sandstone	T ₁	Ljubljana	A
Sandstone, siltstone, shale	P ₂	Ljubljana	A
Sandstone, siltstone, shale with interbeds dolomite	P ₂	Ljubljana	A
Sandstone, siltstone, shale and conglomerate	C, P	Ljubljana	A
Clay shale	C, P	Ljubljana	A
Quartz sandstone	C, P	Ljubljana	A
Quartz conglomerate	C, P	Ljubljana	A
Lacustrine and paludal deposits	Q ₂	Ribnica	S ₁ , E
Banded and grained dolomite	T ₃ ²⁺³	Ribnica	A
Argillite, sandstone, breccia, oolitic bauxite, tuff; in the upper part dolomite with beds of marl	T ₃ ¹	Ribnica	A
Light-grey limestone	2 T ₂ ²	Ribnica	A
White grained dolomite with limestone intercalations	2 T ₂ ²	Ribnica	A
White-grey dolomite	T ₂ ¹	Ribnica	A

Lithostratigraphic unit	Age	OGK sheet	Ground type EC8
Dolomite with micaceous slate; slate and sandstone with oolitic limestone	T ₁	Ribnica	A
Red sandstone, argillite and alevrollite	P ₂ ²	Ribnica	A
Clay schist, aleurolite, sandstone and conglomerate	C, P	Ribnica	A
Lacustrine and paludal deposits	Q ₁ , Q ₂	Postojna	S ₁

Mikrorajonizacija tal na območju MOL temelji na uporabi obstoječih geoloških, geofizikalnih in seizmoloških podatkov, ki so bili večinoma pridobljeni za druge namene ali pa za uporabo drugačne metode izračuna prirastkov intenzitete. Obsežna zbirka podatkov je nastala z raziskavami »Seizmična mikrorajonizacija Ljubljane«, ki so potekale od leta 1960 do 1971 in so zajele ožje območje mesta Ljubljana (manjši del današnje Mestne občine Ljubljana). V okviru te dolgoletne naloge so v več poročilih raznih avtorjev zbrali mnoge podatke iz plitvih vrtin, gradbenih razkopov, geofizikalnih meritev ter hidrogeološke podatke. Za nas so bili predvsem zanimivi podatki meritev plitve refrakcijske seizmike, ki jih je izvedel Geološki zavod Ljubljana v letih 1969-70 (Lapajne, 1970). V okviru teh raziskav so izmerili 441 refrakcijskih seizmičnih profilov z registracijo vzdolžnih (longitudinalnih) valov v_p in 70 geoelektričnih sond. Za izračun prirastkov seizmične stopnje (prirastek intenzitete) so uporabili metodo Medvedeva (1965). Na žalost so od študije leta 1971 ohranjene le karte z vrednostmi prirastkov za privzeti globini 10 in 20 m in izrisane izolinije, ne pa tudi rezultati refrakcijskih meritev (seizmične hitrosti in debeline plasti). Zato smo se odločili, da bo mikrorajonizacija slonela predvsem na litoloških lastnostih enot, v manjši meri pa pa so nam pomagale tudi iz seizmičnih prirastkov izračunane hitrosti v_s . Za natančnejšo in boljšo mikrorajonizacijo bi vsekakor potrebovali več meritev hitrosti strižnega valovanja.

Določitev faktorja tal za območje Ljubljanskega barja

Večina tal na območju MOL spada v vrste A, C, D in E. Južno obrobje Ljubljane pa leži na jezerskih in barjanskih sedimentih, ki po EC8 spadajo v vrsto tal S₁, zato smo faktor tal določili s posebno raziskavo. Za analizo vpliva lokalnih tal na odziv med potresom smo uporabili računalniški program Shake oz. Shake 91 (Schnabel in sod., 1972; Idriss in Sun, 1992). Program računa odziv za poljuben paket vodoravnih, idealizirano neomejenih plasti (1D modeliranje) na strižno valovanje, ki izhaja navpično iz skalnate podlage - polprostora pod podanimi plastmi. Vsaka plast je določena z vrednostmi geomehanskih parametrov (strižni modul oz. hitrost strižnega valovanja, faktor dušenja, gostota in debelina). Strižno valovanje podamo z vhodnim akcelerogramom, kjer so vrednosti pospeška zapisane v enakomernih časovnih intervalih.

Izbrali smo tri lokacije na južnem delu Ljubljane, ki ležijo na jezerskih in barjanskih usedlinah: Mestni log – Mali graben (ML), Pot na Rakovo jelšo (RJ) in Športni park Svoboda (PS). Za določitev sestave tal na teh lokacijah smo uporabili podatke iz literature. Uporabili smo predvsem podatke iz plitvih vrtin in gradbenih razkopov, ki so bili zbrani v raziskavi »Seizmična mikrorajonizacija Ljubljane« od leta 1960 do 1971. Podatke o geomehanskih in geofizikalnih lastnostih tal smo povzeli tudi iz naloge »Geofizikalne raziskave lokacij monitoringa močnih potresov na območju mesta Ljubljane« (Živanović in Stopar, 1995).

Za izbrane tri lokacije (ML, RJ in PS) smo določili geomehanske profile, t.j. parametre, ki jih zahteva program Shake (preglednica 3). Oznake CL (glina / clay), S (pesek / sand) in R (kamnina / rock) pomenijo vrsto materiala, za katerega so uporabljene dinamične relacije.

Preglednica 3. Geomehanski profili izbranih lokacij na Ljubljanskem barju.

Table 3. Geotechnical profiles for three selected locations on the Ljubljansko barje.

tip	globina [m]	debelina [m]	v_s [m/s]	ρ [g/cm ³]
type	depth [m]	thickness [m]	v_s [m/s]	ρ [g/cm ³]
Mestni log - Mali graben				
CL	0	3	100	1.3
CL	3	13	180	1.6
S	16	64	700	1.7
R	80		2000	2.2
Pot na Rakovo jelšo				
CL	0	3	110	1.3
CL	3	10	370	1.5
CL	13	15	550	1.6
CL	28	2	370	1.5
S	30	30	550	1.6
R	60		2000	2.2
Športni park Svoboda				
CL	0	2	110	1.5
CL	2	14	180	1.6
S	16	74	1000	1.8
R	90		2000	2.2

Akcelerogrami

Za izračun odziva tal potrebujemo akcelerogram, s katerim simuliramo gibanje tal na skalnati podlagi pod navedenimi plastmi opazovane lokacije. Idealen akcelerogram za vzburjanje je zapis močnega potresa, ki je nastal blizu potresne opazovalnice. Zaželeno je, da je opazovalnica na trdnih tleh, saj le tako dobimo verodostojne podatke o pomikih tal med potresom. Če tla niso trdna, lahko pride do močnih ojačitev posameznih frekvenc potresa, ki v akcelerogramu povzročijo vrhove. V programu Shake potrebujemo akcelerogram po ničelni korekciji in korekciji zaradi vpliva inštrumenta na zapis potresa, ne smemo pa odstraniti seizmičnega šuma.

Za analizo odziva tal smo izbrali štiri zapise potresov z dvema vodoravnima komponentama. Osnovne lastnosti izbranih akcelerogramov in potresov so opisane v preglednici 4. Podana je tudi največja vrednost pospeška tal (PGA – peak ground acceleration), vzorčna frekvenca DT , magnituda M , razdalja med nadžariščem in opazovalnico R ter odsek originalnega akcelerograma, ki je bil uporabljen pri izračunu tal. Zaradi omejitve števila opazovanj n (točk akcelerograma) v programih je bilo namreč potrebno večino zapisov skrajšati. Akcelerogrami

so zbrani v Slovenski bazi močnih potresov (SSMD) (Fajfar in Lapajne, 2000) in v Evropski bazi močnih potresov (ESMD) (Ambraseys in sod., 2000) ter v arhivu ARSO.

Preglednica 4. Osnovni podatki o akcelerogramih in potresih.

Table 4. Basic data about accelerograms and recorded earthquakes.

opazovalnica	E opazovalnica	N opazovalnica	potres	datum	E potres	N potres	M	R [km]
station	E station	N station	earthquake	date	E earthquake	N earthquake	M	R [km]
Lepena	13,677	46,308	Krn aft.	06.05.98	13,696	46,280	4,4	3,4
Valle	13,394	46,158	Krn	12.04.98	13,632	46,309	5,7	24,9
Ljubljana, Golovec	14,528	46,044	Trebnje	31.08.98	14,875	45,929	4,2	29,6
Tolmezzo	12,982	46,382	Furlanija	06.05.76	13,320	46,320	6,5	26,9

opazovalnica	komp.	DT [/s]	n	čas [s]	vir	odsek	PGA [g]	inštrument
station	comp.	DT [/s]	n	time [s]	source	section	PGA [g]	instrument
Lepena	EW NS	0,004	3751	15	SSMD	10 s-25 s	0,115 0,311	Kinematics ETNA
Valle	EW NS	0,008	4087	32,688	ESMD	10s-42,7s	0,025 0,024	GURALP CMG-5T
Ljubljana	EW NS	0,005	4061	20,3	ARSO	9,7s-29,7s	0,005 0,005	Kinematics SSR-1
Tolmezzo	EW NS	0,02	752	15,04	ESMD	ves	0,315 0,348	RFT-250

Faktor tal na Ljubljanskem barju

Na izbranih treh lokacijah Ljubljanskega barja (ML, PS, RJ) smo s programom Shake izračunali odziv tal na 8 akcelerogramov (4 opazovalnice, obe vodoravni komponenti): opazovalnica v Tolmezzu je zapisala furlanski potres (1976), opazovalnica v Ljubljani potres v Trebnjem (1998), opazovalnica Valle je zapisala krnski potres (1998), v Lepeni pa njegov popotres.

Na vsak akcelerogram smo izračunali štiri odzive tal glede na štiri različne nivoje normiranja. Največji pospešek tal vhodnega akcelerograma smo normirali na 0,1 g, 0,25 g (kar v Ljubljani ustreza povratni dobi 475 let), 0,3 g (1000 let) ali pa 0,55 g (10,000 let). Za vsako od štirih normiranj smo izračunali faktor tal kot razmerje med največjim vhodnim in izhodnim pospeškom tal, nato pa še povprečno vrednost faktorja tal ter njegovo mediano (srednjo vrednost) glede na osem vhodnih akcelerogramov. Razlike med akcelerogrami so precejšnje, zato je prav, da jih v izračunu upoštevamo več. Končna vrednost faktorja tal za Ljubljansko barje je povprečna vrednost treh median vseh treh lokacij. V preglednici 5 je prikazan največji izhodni pospešek tal ter pripadajoč faktor tal za vse tri lokacije in vsa štiri normiranja (največji vhodni pospešek).

Preglednica 5. Največji vhodni in izhodni pospešek tal ter faktor tal na treh lokacijah Ljubljanskega barja. Odziv tal je izračunan z normiranimi zapisi obeh vodoravnih komponent štirih potresnih opazovalnic.

Table 5. Maximum input and output ground acceleration and soil factor for three locations on Ljubljansko barje. Ground response on normalised horizontal components is calculated from four seismic stations.

Mestni log								
	pospešek tal (acceleration) [g]				FAKTOR TAL za PGA (PGA SOIL FACTOR)			
		475 let	1000 let	10000 let		475 let	1000 let	10000 let
normiran akceleroگرام	0.1	0.25	0.3	0.55				
normalised acceleroگرام		475 years	1000 y.	10000 y.		475 years	1000 y.	10000 y.
	0.1	0.25	0.3	0.55				
TOEW	0.438	0.928	1.09	1.71	4.38	3.71	3.63	3.11
TONS	0.352	0.692	0.8	1.157	3.52	2.77	2.67	2.10
LJNS	0.439	0.819	0.933	1.364	4.39	3.28	3.11	2.48
LJEW	0.329	0.686	0.796	1.274	3.29	2.74	2.65	2.32
VAEW	0.305	0.677	0.776	1.175	3.05	2.71	2.59	2.14
VANS	0.298	0.519	0.578	0.905	2.98	2.08	1.93	1.65
LEEW	0.218	0.383	0.429	0.741	2.18	1.53	1.43	1.35
LENS	0.233	0.446	0.488	0.78	2.33	1.78	1.63	1.42
Povprečje (average):					3.27	2.58	2.45	2.07
Mediana (median):					3.17	2.73	2.62	2.12

Športni park Svoboda								
	pospešek tal (acceleration) [g]				FAKTOR TAL za PGA (PGA SOIL FACTOR)			
		475 let	1000 let	10000 let		475 let	1000 let	10000 let
normiran akceleroگرام	0.1	0.25	0.3	0.55				
normalised acceleroگرام		475 years	1000 y.	10000 y.		475 years	1000 y.	10000 y.
	0.1	0.25	0.3	0.55				
TOEW	0.361	0.828	0.966	1.569	3.61	3.31	3.22	2.85
TONS	0.341	0.676	0.751	1.053	3.41	2.70	2.50	1.91
LJNS	0.27	0.568	0.655	0.998	2.70	2.27	2.18	1.81
LJEW	0.265	0.511	0.587	0.929	2.65	2.04	1.96	1.69
VAEW	0.249	0.496	0.595	0.924	2.49	1.98	1.98	1.68
VANS	0.23	0.49	0.567	0.861	2.30	1.96	1.89	1.57
LEEW	0.318	0.625	0.703	0.92	3.18	2.50	2.34	1.67
LENS	0.316	0.62	0.699	0.975	3.16	2.48	2.33	1.77
Povprečje (average):					3.27	2.58	2.45	2.07
Mediana (median):					3.17	2.73	2.62	2.12

Pot na Rakovo jelšo								
	pospešek tal (acceleration) [g]				FAKTOR TAL za PGA (PGA SOIL FACTOR)			
normiran akcelorogram		475 let	1000 let	10000 let		475 let	1000 let	10000 let
	0.1	0.25	0.3	0.55				
normalised accelerogram		475 years	1000 y.	10000 y.		475 years	1000 y.	10000 y.
	0.1	0.25	0.3	0.55				
TOEW TONS	0.293 0.316	0.653 0.605	0.718 0.707	1.017 0.993	2.93 3.16	2.61 2.42	2.39 2.36	1.85 1.81
LJNS LJEW	0.435 0.428	1.035 0.951	1.246 1.096	1.954 1.752	4.35 4.28	4.14 3.80	4.15 3.65	3.55 3.19
VAEW VANS	0.384 0.325	0.768 0.617	0.856 0.72	1.332 1.318	3.84 3.25	3.07 2.47	2.85 2.40	2.42 2.40
LEEW LENS	0.283 0.268	0.546 0.573	0.604 0.664	0.867 1.039	2.83 2.68	2.18 2.29	2.01 2.21	1.58 1.89
Povprečje (average):					3.42	2.87	2.75	2.33
Mediana (median):					3.21	2.54	2.40	2.14
povprečje treh povprečij (average of three averages):					3.21	2.62	2.50	2.09
Končni faktor tal za PGA je povprečje treh median: Final soil factor is an average of three medians:					3.10	2.55	2.42	2.00

Potresna mikrorajonizacija MOL

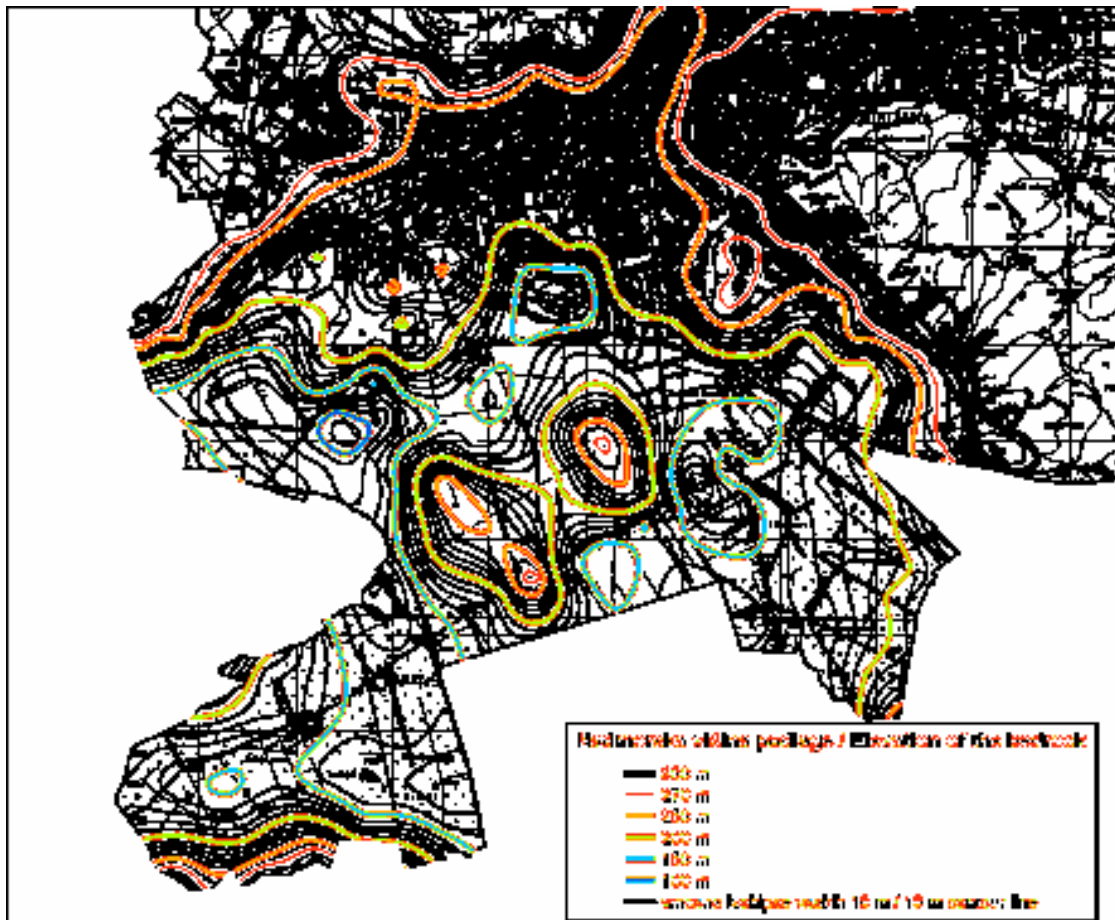
Poenotena karta tal na območju MOL

Večino tal na območju MOL smo uvrstili v vrsto A, C, D ali E. Jezerski sedimenti Ljubljanskega barja spadajo v vrsto tal S₁, kar smo posebej opisali. Severno obrobje Ljubljanskega barja smo obravnavali kot posebno enoto in jo uvrstili v vrsto tal E zaradi literarnih podatkov o globini do podlage (Mencej, 1989; Prestor, 1988). Podlago v tem primeru sestavljajo skrilavi glinavci, peščenjaki in konglomerati permokarbonske starosti (ocenjene hitrosti v_s so 2000 m/s). Vrednosti globine do podlage smo interpolirali in zrisali karto izohips podlage (slika 3). EC8 za tla vrste E predvideva do 20 m slabšega materiala, pod njim pa leži trdnejši material. Na severnem robu Ljubljanskega barja je povprečna nadmorska višina površja približno 290 m, zato smo upoštevali izohipso podlage 270 m in z njo omejili območje vrste tal E.

Faktor tal za vrste A, C, D in E je določen v EC8, faktor tal za vrsto S₁ pa smo ocenili sami. Poenotena karta tal MOL s pripadajočim faktorjem tal je prikazana na sliki 4.

Temeljna karta potresne nevarnosti Slovenije je karta projektnega pospeška tal za povratno dobo 475 let, ki je izdelana v skladu z zahtevami evropskega standarda EC8. Uporablja se skupaj s slovenskim predstandardom EC8 – Projektiranje potresno odpornih konstrukcij, ki ga je izdal Slovenski inštitut za standardizacijo (2001). Slovenski predstandard EC8, Karta

projektnege pospeška tal in Tolmač skupaj dopolnjujejo predpise o potresno odporni gradnji v Sloveniji.



Slika 3. Nadmorska višina podlage (permokarbonski glinovci in peščenjaki, triasni in jurski apnenci in dolomiti) pod Ljubljanskim barjem. Podatki so povzeti po Menceju (1989) in Prestorju (1988).

Figure 3. The elevation of the bedrock (Carboniferous-Permian shale and sandstone, Triassic and Jurassic limestone and dolomite) under the Ljubljansko barje (after Mencej, 1989, and Prestor, 1988).

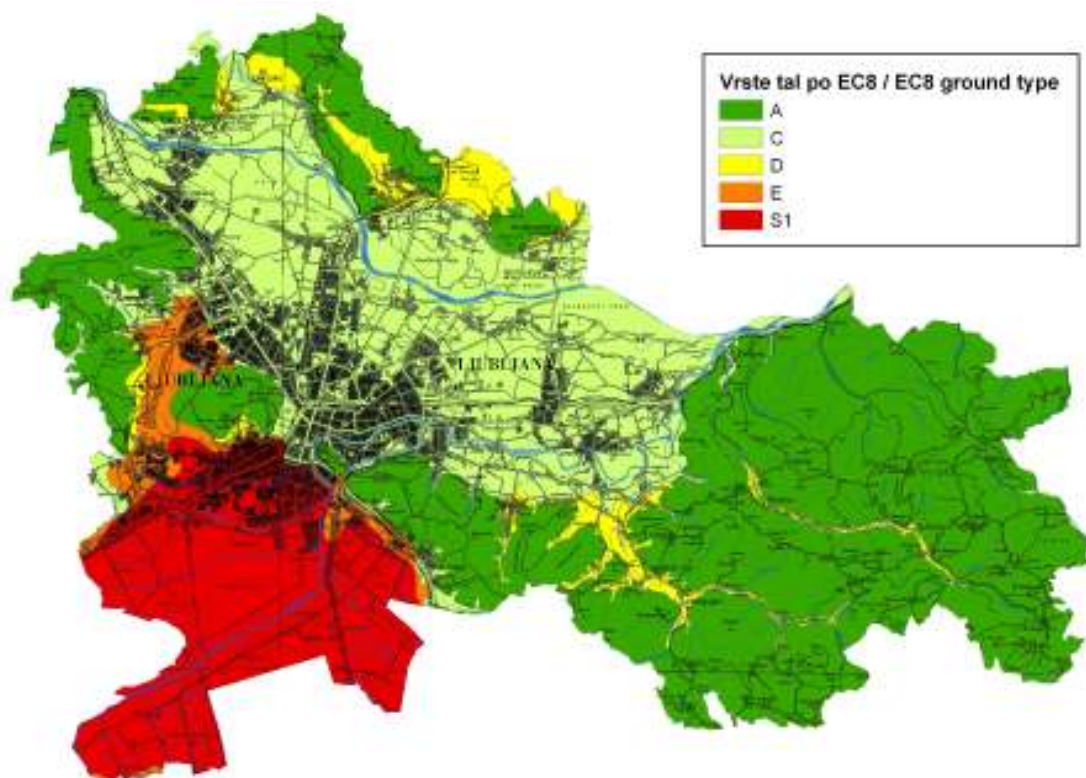
Projektni pospešek tal na trdnih tleh

Karta projektnege pospeška tal ima na območju Mestne občine Ljubljana tri različne vrednosti. Severozahodni del občine spada v območje, kjer so ocenjeni pospeški do 0,250 g, vzhodnjeje pa sta coni s pospeški do 0,225 g in 0,200 g. Omenjeni pospeški so izračunani za trdna tla, ki so definirana kot skala ali druga geološka formacija z največ 5 metrov slabšega površinskega materiala.

Faktor za različne povratne dobe

V EC8 je priporočena povratna doba 475 let, kar ustreza verjetnosti 90 %, da vrednosti projektnege pospeška tal v 50 letih ne bodo presežene. Privzeto je, da je 50 let predvidena življenjska doba običajnih objektov, medtem ko za objekte posebne pomembnosti (npr. zdravstvene ustanove, šole, vrtci,...) zahtevamo izračun nevarnosti za povratno dobo 1000 let ali (npr. za jedrske objekte) celo 10000 let. Povprečno razmerje med projektним pospeškom

tal na karti Slovenije za povratno dobo 1000 (oz. 10000) let in 475 let je 1,25 (oz. 2,50), kar privzamemo za faktor ustrezne povratne dobe.



Slika 4. Klasifikacija tal po EC8
Figure 4. Map of EC8 ground types

Karta potresne mikrorajonizacije

Končne vrednosti pospeška tal na območju MOL so zaokroženi zmnožki projektnega pospeška tal na trdnih tleh z ustreznim faktorjem tal in faktorjem povratne dobe. Vrednosti so prikazane v preglednici 6 in na slikah 5a in 5b.

Sklep

Na podlagi klasifikacije tal, evropskega standarda EC8 ter Karte potresne nevarnosti Slovenije smo izdelali karto potresne mikrorajonizacije Mestne občine Ljubljana.

Po EC8 so tla razvrščena glede na geomehanske lastnosti, predvsem glede na hitrost strižnega valovanja v vrhnjih 30 m tal. Ker so neposredni podatki o strižnih hitrostih na območju MOL zelo redki, smo v izračunih uporabili podatke iz nekaterih drugih raziskav in iz njih posredno izračunali zelene parametre. Tla smo klasificirali na podlagi geološke karte OGK 100. Združevanje tal smo naredili na digitaliziranih kartah OGK 100. Upoštevali smo napako digitalizacije ter slabo geodetsko podlago originalnih OGK 100 in se odločili, da bomo na končni karti privzeli natančnost tematskega sloja 50 m.

Faktor tal smo določili po EC8, za območje Ljubljanskega barja pa smo izvedli posebno raziskavo. Tla na območju MOL smo razdelili v pet območij z ustreznim faktorjem tal:

- vrsta tal A: faktor tal 1,00;
- vrsta tal C: faktor tal 1,15;
- vrsta tal D: faktor tal 1,35;
- vrsta tal E: faktor tal 1,40;
- vrsta tal S₁: faktor tal 2,55.

Preglednica 6. Faktor tal, faktor povratne dobe in končne vrednosti pospeška tal.

Table 6. Soil factor, return period factor and final ground acceleration values.

vrsta tal ground type	faktor tal soil factor	faktor povratne dobe return period factor	projektni pospešek tal na skali [g] design ground acceleration on rock [g]		
			0.250	0.225	0.200
			POSPEŠEK TAL [g] GROUND ACCELERATION [g]		
A	1.00	475 let, years	0.250	0.225	0.200
C	1.15		0.285	0.260	0.230
D	1.35	1.00	0.340	0.305	0.270
E	1.40		0.350	0.315	0.280
S ₁	2.55		0.635	0.575	0.510
A	1.00	1000 let, years	0.315	0.280	0.250
C	1.15		0.360	0.325	0.285
D	1.35	1.25	0.420	0.380	0.340
E	1.40		0.440	0.395	0.350
S ₁	2.40		0.750	0.675	0.600
A	1.00	10000 let, years	0.625	0.565	0.500
C	1.15		0.720	0.645	0.575
D	1.35	2.50	0.845	0.760	0.675
E	1.40		0.875	0.790	0.700
S ₁	2.00		1.250	1.125	1.000

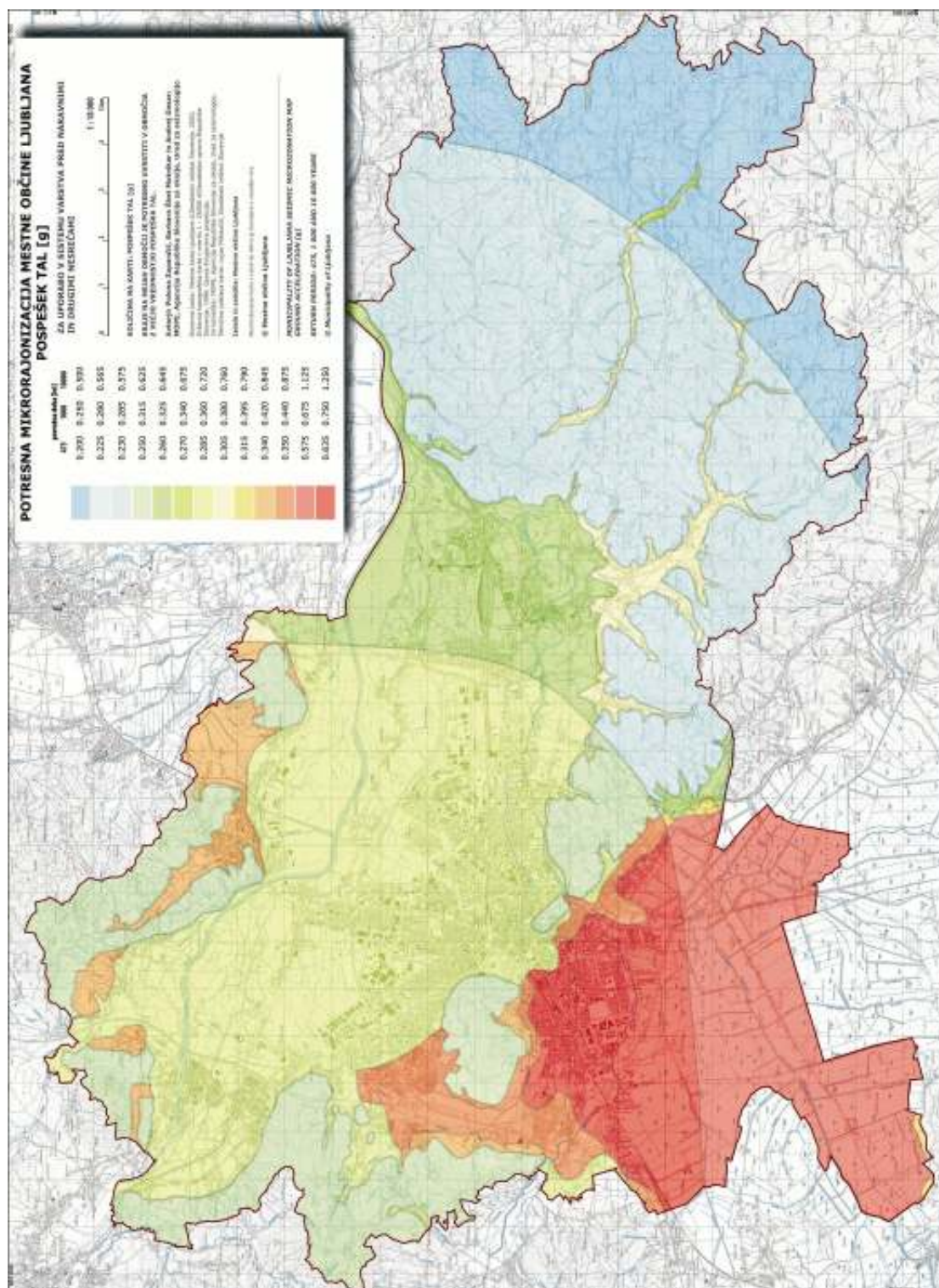
Glede na povratno dobo smo upoštevali naslednji faktor:

- povratna doba 475 let: faktor 1,0;
- povratna doba 1000 let: faktor 1,25;
- povratna doba 10.000 let: faktor 2,50.

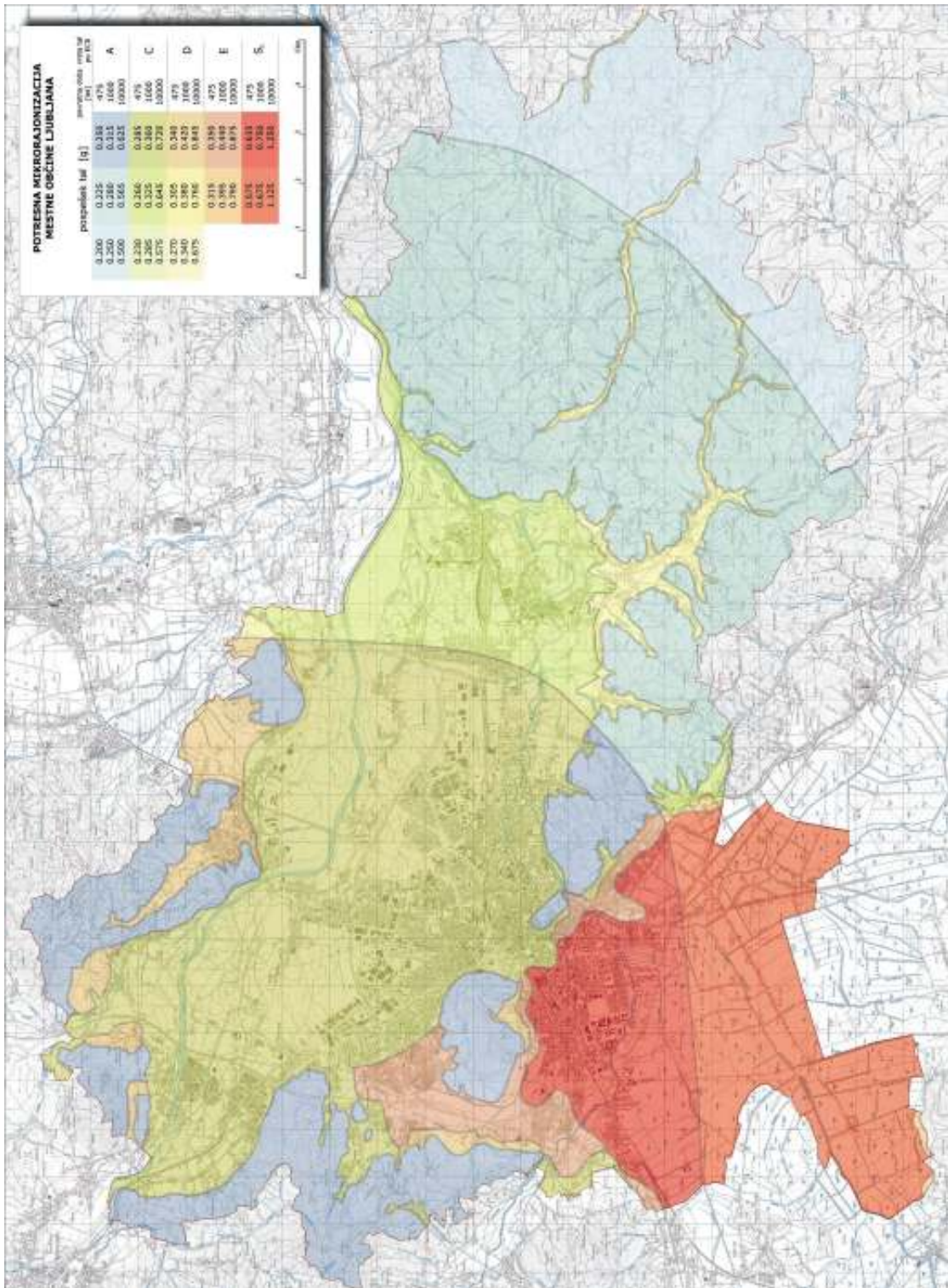
Potresno mikrorajonizacijo smo predstavili s karto pospeška tal (*PGA*) in je namenjena za izključno uporabo v sistemu varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami. Poleg pospeška tal je vpliv lokalnih tal pomemben tudi pri spektralnih vrednostih pospeška oz. hitrosti, predvsem ko nas zanimajo določene vrste objektov. Za potrebe projektiranja ali ko preučujemo potresno varnost že zgrajenega objekta, pa je potrebno natančneje analizirati njegovo lokacijo.

Mikrorajonizacija območja MOL temelji na uporabi obstoječih geoloških, geofizikalnih in seizmoloških podatkov, ki so bili večinoma pridobljeni za druge namene ali pa za uporabo drugačne metode izračuna prirastkov intenzitete (študija iz let 1960 - 1971). Za natančnejšo in boljše mikrorajonizacijo bi potrebovali več meritev hitrosti strižnega valovanja na območju MOL. V zadnjih tridesetih letih so metode potresne rajonizacije zelo napredovale, ker je v seizmologiji in potresnem inženirstvu vedno bolj prevladovalo spoznanje o pomembnosti

vpliva lokalne geološke zgradbe na učinke potresa oz. poškodbe objektov. V nadaljevanju zato podajamo nekaj možnih smeri nadaljnjih raziskav za izboljšanje mikrorajonizacije območja MOL z metodami, ki smo jih v okviru različnih študij uporabili tudi že v Sloveniji.



Slika 5a. Karta potresne mikrorajonizacije na območju Mestne občine Ljubljana
Figure 5a. Seismic microzonation map of the Municipality of Ljubljana



Slika 5b. Karta potresne mikrorajonizacije na območju Mestne občine Ljubljana. Območja PGA so prikazana glede na vrste tal.

Figure 5b. Seismic microzonation map of the Municipality of Ljubljana. The PGA values are shown with respect to the ground type.

V okviru UNESCO-vega projekta Mednarodnega geološkega korelacijskega programa (IGCP) z naslovom Realistično modeliranje potresne nevarnosti v velemestih in velikih urbanih

območjih (IGCP 414) smo osvojili eno od trenutno vodilnih numeričnih metod za modeliranje lokalnega valovnega polja. Gre za hibridno metodo, ki združuje sumacijo modov za enodimenzionalni regionalni model in metodo končnih elementov za dvodimenzionalni model sedimentnega bazena. Zaradi zelo izrazite topografije skalne podlage sedimentov Ljubljanskega barja in njihove heterogenosti, lahko namreč za potresne izvore, ki ležijo južno od Ljubljane, pričakujemo velik vpliv tega bazena na potresne valove (Gosar in sod., 1999). S to metodo bi lahko izračunali tudi vpliv na drugih območjih MOL (Ljubljansko polje), vendar ne poznamo dovolj dobro geološke podlage pod sedimenti in bi zato potrebovali dodatne geofizikalne raziskave (npr. refrakcijska seizmika).

Neposredno oceno vpliva lokalnih tal lahko dobimo s primerjavo zapisov potresov, zabeleženih na lokaciji, prekri s sedimenti, z zapisom na skalni podlagi doseženi v vrtini, kar je redko izvedljivo, ali z zapisom na čim bližji točki, kjer se skalna podlaga nahaja na površju. Če primerjamo zapise dovolj oddaljenih potresov, lahko majhno razliko v poti zanemarimo. Manjša študija (Gosar in Živčič, 1998) ojačenja nihanja tal zaradi vpliva lokalnih tal je bila izvedena leta 1998 s primerjavo zapisov močnejših regionalnih potresov v Grčiji in Italiji, zapisanih na dveh potresnih opazovalnicah na Rakovi jelši (barjanski sedimenti) in observatoriju na Golovcu (permokarbonski skrilavci, peščenjaki in konglomerati). Pomanjkljivost te sicer zelo zanesljive metode je, da moramo postaviti akcelerografe na različne lokacije za daljši čas in čakati na primerne zapise potresov. Zato bi bilo smiselno, da bi v prihodnosti postavili več stalnih opazovalnic za močne potrese na različnih geoloških podlagah na širšem območju mesta Ljubljana.

V zadnjih 15-ih letih so se zelo uveljavile analize seizmičnega nemira (mikrotremorjev), predvsem Nakamura metoda razmerja spektrov zapisa vodoravne in navpične komponente, ki je povezana s spektrom ojačenja tal. Čeprav je fizikalno ozadje metode nekoliko nejasno in predmet številnih diskusij, je uspešnost metode pri določanju frekvenčnih območij ojačenja dokazana, bolj vprašljivi pa so sami koeficienti ojačenja. Metodo smo uspešno uporabili pri študiji, ki smo jo opravili po potresu leta 1998 v Posočju (Gosar, 1999; Gosar in sod., 2000). Prednost metode so predvsem relativno enostavne in kratkotrajne meritve, ki ne zahtevajo trajnejše postavitve inštrumentov, zato bi bila zelo primerna tudi za območje MOL.

Za izračun vpliva lokalnih tal je še vedno najbolj razširjeno enodimenzionalno modeliranje s programi, kot je Shake (Idriss in Sun, 1992), pri čemer je sestava tal podana s paketom vodoravnih plasti z različnimi fizikalnimi lastnostmi. Ključni so dobri vhodni podatki, ki zahtevajo geofizikalne raziskave, predvsem z metodo refrakcijske seizmike in meritvami hitrosti seizmičnih valov v vrtinah. Na območju Ljubljane je bilo nekaj takšnih raziskav opravljenih za izbor lokacij monitoringa močnih potresov (Živanović in Stopar, 1995), vendar bi za boljšo mikrorajonizacijo vsekakor potrebovali več takšnih meritev.

Pri nadaljnjih študijah za izboljšanje mikrorajonizacije območja Ljubljane bi bilo koristno uporabiti večino od opisanih metod v ustreznem razmerju. S tem bi namreč močno zmanjšali nezanesljivost ocen in pomanjkljivost posameznih metod, obenem pa bi ostali stroški študije dovolj nizki.

Literatura

- Ambraseys N., Smit P., Berardi R., Rinaldis D., Cotton F., Berge-Thierry C., 2000: ESMD, European Strong Motion Database, 2000: Dissemination of European Strong Motion Data. CD-ROM collection. European Council, Environment and Climate Research. (<http://www.isesd.cv.ic.ac.uk/>)
- Buser, S., 1965: Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000, Tolmač lista Ribnica. Zvezni geološki zavod, 60 str., Beograd.
- Buser, S., 1969: Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000, list Ribnica. Zvezni geološki zavod, Beograd.
- Buser, S., Grad, K., Pleničar, M., 1967: Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000, list Postojna. Zvezni geološki zavod, Beograd.
- Eurocode 8, 2001: Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij – Del 1-1: Splošna pravila – Potresna obtežba in splošne zahteve za konstrukcije (SIST ENV 1998-1-1) in 5. del: Projektiranje konstrukcij na potresnih področjih: Temelji, oporne konstrukcije in geotehnični vidiki (SIST ENV 1998-5), Slovenski inštitut za standardizacijo.
- Eurocode 8, 2003: Design of structures for earthquake resistance. Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings (Draft No. 6, Version for translation, January 2003), European Committee for Standardization.
- Fajfar P., Lapajne J., 2000: Projektni parametri za potresno odporno projektiranje gradbenih objektov po EUROCODE 8, Vzpostavitev baze podatkov močnejših potresov v Sloveniji. Inštitut za konstrukcije, potresno inženirstvo in računalništvo in Uprava RS za geofiziko, Ljubljana.
- Gosar, A., Živčič, M., 1998: Ojačanje nihanja tal zaradi lokalne geološke zgradbe na južnem obrobju Ljubljane (Rakova jelša). Potresi v letu 1997, 59-66, MOP - Uprava RS za geofiziko, Ljubljana.
- Gosar, A., 1999: Rezultati raziskav o vplivih lokalne geološke zgradbe na poškodbe objektov (Potres 12. aprila 1998 v Krnskem pogorju). Ujma 13, 102-106, Uprava RS za zaščito in reševanje – Ministrstvo za obrambo, Ljubljana.
- Gosar, A., Živčič, M., Suhadolc, P., Marrara, F., 1999: Seismic ground motion modelling for the Ljubljana basin (Slovenia). XXII General Assembly of the IUGG, Abstracts, B.186, Birmingham.
- Gosar, A., Stopar, R., Car, M., Mucciarelli, M., 2000: The earthquake on 12 April, 1998 in Krn mountains (Slovenia): ground motion amplification study using microtremors and modelling based on geophysical data. *Journal of Applied Geophysics*, 47/2, 153-167, Elsevier, Amsterdam.
- Grad, K., Ferjančič, L., 1968: Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000, Tolmač lista Kranj. Zvezni geološki zavod, 70 str., Beograd.
- Grad, K., Ferjančič, L., 1974: Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000, list Kranj. Zvezni geološki zavod, Beograd.
- Idriss I. M., Sun J., I., 1992: User's Manual for Shake91, a Computer Program for Conducting Equivalent Linear Seismic Response Analysis of Horizontally Layered Soil Deposits. Center for Geotechnical Modeling, Department of Civil & Environmental Engineering, University of California, Davis, California.
- Lapajne, J., 1970: Seizmična mikrorajonizacija Ljubljane. Geofizikalne raziskave 1969-1970. Tipkano poročilo. Geološki zavod Ljubljana, Ljubljana.
- Lapajne, J., Šket Motnikar, B., Zupančič, P., 2001: Karta potresne nevarnosti Slovenije – projektni pospešek tal in Tolmač. Ministrstvo za okolje, prostor in energijo, Uprava RS za geofiziko oz. Agencija RS za okolje, Ljubljana.
- Medvedev, S. V., 1965: Inženjerska seizmologija (prevod v srbohrvaščino), Građevinska knjiga, 268 str., Beograd.

- Mencej, Z., 1989: Prodni zasipi pod jezerskimi sedimenti Ljubljanskega barja. *Geologija* 31, 32, 517-553, Ljubljana.
- Pleničar, M., 1963: Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000, Tolmač lista Postojna. Zvezni geološki zavod, 62 str., Beograd.
- 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.
- Premru, U., 1980: Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000, Tolmač lista Ljubljana. Zvezni geološki zavod, 75str., Beograd.
- Premru, U., 1982: Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000, list Ljubljana. Zvezni geološki zavod, Beograd.
- Prestor, J., 1988: Hidrogeološka zgradba kvartarnega zasipa južnega območja Ljubljane. Diplomski naloga, Fakulteta za naravoslovje in tehnologijo, 46 str., Ljubljana.
- Ribarič, V., 1982: Seizmičnost Slovenije - Katalog potresov, Seismicity of Slovenia – Catalogue of earthquakes. Seizmološki zavod SR Slovenije, Ljubljana.
- Schnabel P., Lysmer J., Seed H. B., 1972: Shake, a computer program for earthquake response analysis of horizontally layered sites, Report No. EERC 72-12, College of Engineering, University of California, Berkeley, California.
- Vidrih, R., 2002: Potresi. Zbornik Nesreče in varstvo pred njimi (urednik B. Ušeničnik), Uprava za zaščito in reševanje Ministrstva za obrambo, Ljubljana.
- Zupančič P., Šket Motnikar B., Gosar A., Prosen T. (2003), Karta potresne mikrorajonizacije Mestne občine Ljubljana, Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo, Ljubljana.
- Živanovič, M., Stopar, R., 1995: Geofizikalne raziskave lokacij monitoringa močnih potresov na območju mesta Ljubljane, Tipkano poročilo, arhiv Geoinženiringa.
- 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.

SEIZMIČNA AKTIVNOST V ŠALEŠKI DOLINI SPOMLADI 2002 SEISMIC ACTIVITY IN THE ŠALEK VALLEY IN THE SPRING OF 2002

Jure Bajc, Mladen Živčić in Matjaž Gostinčar

***Izvleček.** V letih 2000 in 2001 smo zaradi vključitve novih potresnih opazovalnic v državno mrežo potresnih opazovalnic Urada za seizmologijo in geologijo Agencije RS za okolje zabeležili več dogodkov na relativno majhnem geografskem območju vzhodnih Savinjskih Alp. Septembra 2001 smo zato postavili dodatno začasno potresno opazovalnico blizu Zavodnj, spomladi 2002 pa še nekaj potresnih opazovalnic v in okoli Šoštanja in Velenja. V prispevku povzemamo najpomembnejše značilnosti izmerjene seizmične aktivnosti od aprila do junija 2002.*

***Abstract.** Seismic activity in the small area of the eastern Savinjske Alpe has been detected in the years 2000 and 2001, mainly as an additional effect of the setting up of new seismic stations in the framework of the modernization of the Seismic network of the Republic of Slovenia, carried out by the Seismology and Geology Office at the Environmental Agency of the Republic of Slovenia. In September 2001 an additional temporary station has been set up close to Zavodnje. In the spring 2002 a few temporary stations have been set up in and around Šoštanj and Velenje. The most significant characteristics of the recorded seismic activity in the period from April to June 2002 are reported.*

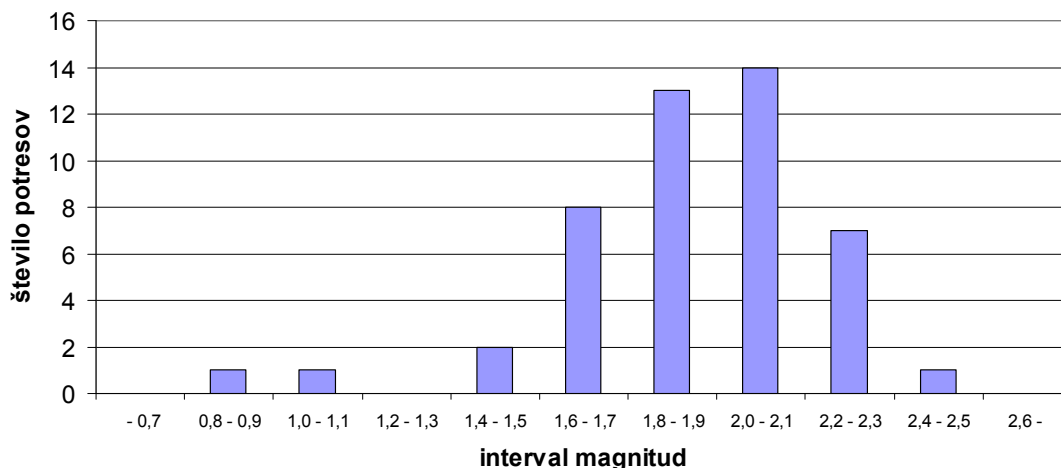
Uvod

Motivacija za meritev seizmične aktivnosti v širši okolici Šaleške doline¹ izvira iz dveh razlogov.

Prvič smo s posodabljanjem državne mreže potresnih opazovalnic v Uradu za seizmologijo in geologijo Agencije RS za okolje dosegli večjo občutljivost in začeli beležiti večje število šibkih potresnih dogodkov, med drugim tudi na območju vzhodnih Savinjskih Alp oziroma Šaleške doline. Število in oddaljenost naprav državne mreže potresnih opazovalnic pred letom 2002 ni omogočalo dovolj natančne opredelitve lokacij teh dogodkov. Najbližja je bila opazovalnica Bistriški Jarek (BISS), ki je od nadžarišč zabeleženih potresov oddaljena približno 30 km proti severu. V letih 2000 in 2001 smo s podatki državne mreže potresnih opazovalnic v območju med 46,25°N in 46,55°N ter 14,85°E in 15,30°E (približno 33 km x 34 km) zabeležili približno 100 dogodkov. Najmočnejši je imel lokalno magnitudo 2,4 in so ga zabeležile tudi potresne opazovalnice v Avstriji, na Hrvaškem in v Italiji. Porazdelitev teh potresov po magnitudi kaže slika 1.

In drugič, v začetku leta 2002 so prebivalci Šoštanja opazili (po njihovem mnenju) pogostejše tresenje tal in izrazili sum, da je tresenje povezano z delovanjem Premogovnika Velenje. Na Urad so se obrnili s prošnjo po strokovnem opazovanju teh dogodkov. Po razgovorih med občino Šoštanj, Premogovnikom in Uradom za seizmologijo in geologijo smo zato poleg začasnih opazovalnic v Zavodnjah postavili dodatne začasnih potresnih opazovalnic v Šaleški dolini. Podatki meritev v času delovanja teh začasnih opazovalnic so predstavljeni v prispevku.

¹ Kadar bomo želeli poudariti, da nas zanimajo lastnosti, ki so povezane z bazenom, napolnjenim s sedimenti, bomo uporabili izraz "Velenjska udorina" (Brezigar in sod., 1987), ki dejansko obsega le del Šaleške doline.



Slika 1. Porazdelitev dogodkov v okolici Šoštanja v letu 2000 po lokalnih magnitudah M_{LV} .
Figure 1. Local magnitude (M_{LV}) distribution of the events around Šoštanj in the year 2000

Po dostopnih podatkih je videti, da so v obdobju 2000-2001 na tem področju čutili 5 potresov, najmočnejšega z intenziteto IV-V EMS-98. Podrobnosti so zbrane v preglednici 1.

Preglednica 1. Dogodki v okolici Šoštanja, ki so jih prebivalci čutili v letih 2000-2001. Lokacije nadžarišč potresov so izražene z zemljepisno širino (Lat) in dolžino (Lon). Dodani sta lokalna magnituda (M_L) in magnituda na podlagi časa trajanja zapisa potresa (M_D), kraj, kjer so dogodek najmočnejše čutili (Kraj), ter največji opaženi učinki oziroma intenziteta potresa (I_{max} EMS-98).

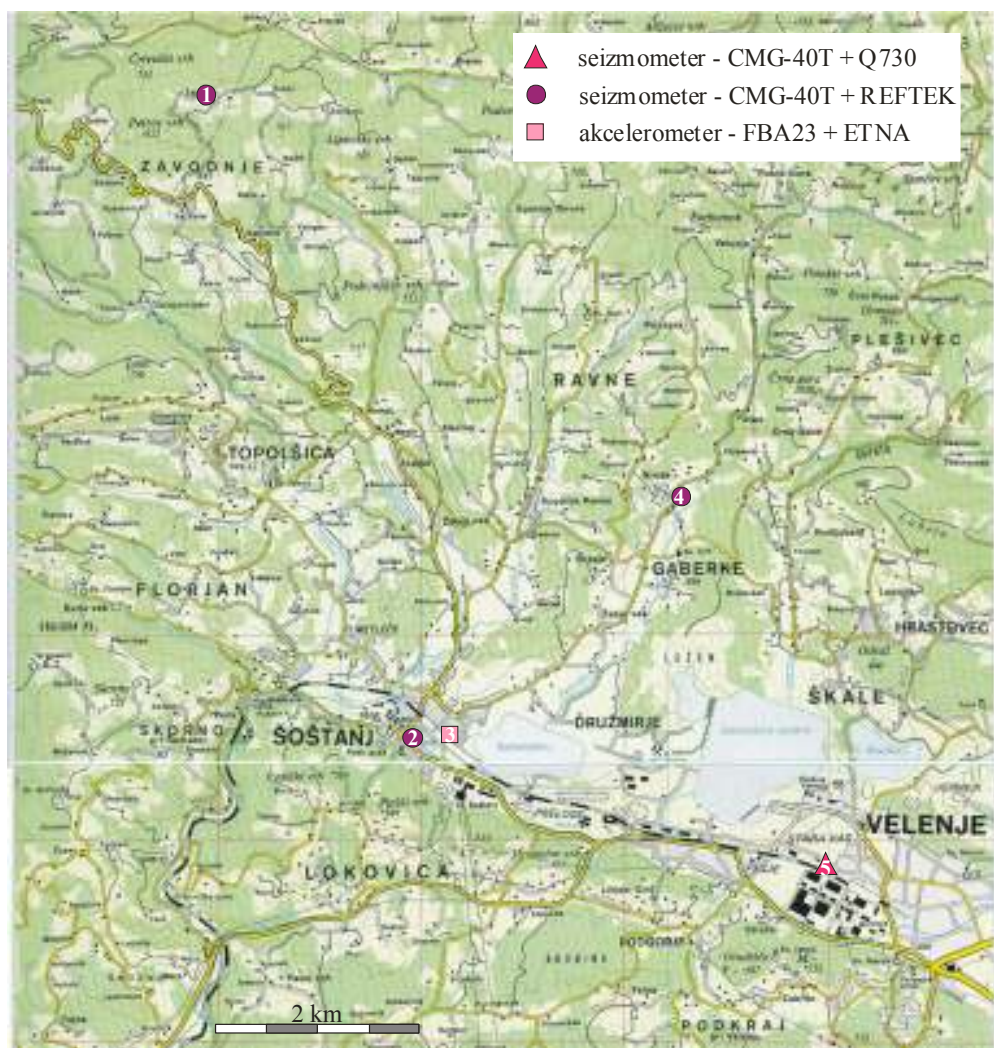
Table 1. Events that have been felt near Šoštanj during the years 2000-2001 by the inhabitants. The coordinates are expressed in geographic latitude (Lat) and longitude (Lon). The local (M_L) and duration (M_D) magnitudes are added, as well as the locality, where the event has been felt (Kraj) and the maximum intensity for the event (I_{max} EMS-98).

leto	mesec	dan	ura UTC	minuta	širina	dolžina	M_L	M_D	kraj	I_{max} EMS-98
year	month	day	hour UTC	minute	lat	lon	M_L	M_D	locality	I_{max} EMS-98
2000	5	31	23	42	46,40	15,12		2,2	Gotovlje	čutili (felt)
2000	6	2	15	28	46,37	15,07	0,6	2,2	Gotovlje	čutili (felt)
2001	1	18	15	4	46,35	15,12	2,4	2,4	Galicija	IV-V
2001	2	11	20	42	46,44	15,04	2,2	2,1	Sele	IV-V
2001	7	24	1	0	46,39	15,07	1,0	1,8	Šoštanj	III

Začasne opazovalnice na območju Šaleške doline

Natančnost določanja lege nadžarišča iz zapisov državne mreže potresnih opazovalnic v večjem delu Slovenije ni boljša od nekaj kilometrov. Določanje žariščne globine je še manj natančno. Z namenom natančneje opredeliti območje znotraj Šaleške doline, kjer potresi nastajajo, je Urad za seizmologijo in geologijo 12. septembra 2001 postavil začasno opazovalnico v zasebni hiši v vasi Zavodnje severozahodno od Velenja. Do 31. maja 2002 je prenosni inštrument na opazovalnici zabeležil več kot 700 dogodkov na območju Šaleške doline.

Po pogovorih v Premogovniku Velenje in na občini Šoštanj je Urad za seizmologijo in geologijo 4. aprila postavil prenosno opazovalnico v kleti zgradbe občine Šoštanj, 10. aprila 2002 pa še eno potresno opazovalnico v kleti stanovanjskega bloka na Cankarjevi 19 v Šoštanju. V prostorih Carinske izpostave Velenje je 16. maja začela delovati potresna opazovalnica, priključena na državno računalniško omrežje, ki je podatke sproti pošiljala na centralni računalnik v Ljubljano. Zaradi boljšega določanja lokacij morebitnih dogodkov znotraj Velenjske udorine je bila istega dne začasna opazovalnica iz kleti zgradbe občine Šoštanj prestavljena v klet gasilskega doma v Gaberkah (slika 2).

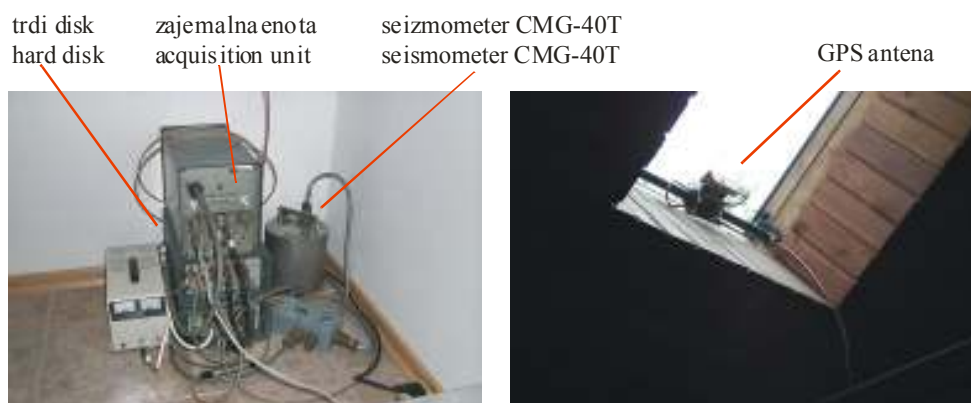


Slika 2. Pregledna karta lokacij začasnih opazovalnic. Za vsak tip opazovalnice je pripisana vrsta senzorja in zajemalnega sistema. Časi delovanja in kratice posameznih oštevilčenih začasnih opazovalnic so zbrani v preglednici 2.

Figure 2. Locations of the temporary stations. For every type of the station, the sensor type and the acquisition system is written as well. The times of operation and the abbreviations for each enumerated temporary station are given in table 2.

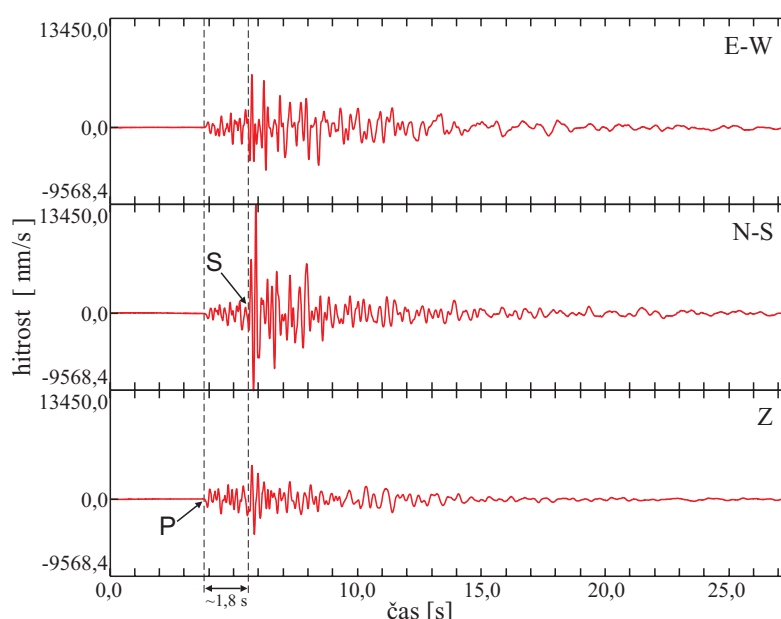
Potresna opazovalnica v Zavodnjah

Začasna potresna opazovalnica je delovala od 12. septembra 2001 do 20. junija 2002.



Slika 3. Začasna potresna opazovalnica v Zavodnjah: seizmometer in zajemalna enota (levo) ter GPS antena (desno), ki zagotavlja točen merjenega časa.

Figure 3. The temporary seismic station in Zavodnje: the seismometer and the acquisition unit (left) and the GPS antenna (right), providing the accurate time marking.



Slika 4. Tipičen zapis dogodka iz Šaleške doline na seizmografu v Zavodnjah. Dogodek se je zgodil 17. 4. 2002 ob 00:41 po UTC. S puščicama sta označena časa prihoda longitudinalnih (P) in transverzalnih (S) potresnih valov.

Figure 4. A typical seismogram recorded at the Zavodnje temporary station for the event in the Šaleška valley. The origin time of the event is: 17 April, 2002 at 00.41 UTC. Arrows show the arrival times of longitudinal (P) and transversal (S) seismic waves.

Opremljena je bila s 24-bitnim analognim digitalnim pretvornikom in trikomponentnim širokopasovnim seizmometrom Guralp CMG 40T, ki beleži hitrosti nihanja tal. Uporabljeni seizmograf RefTek je sestavljen iz trikomponentnega širokopasovnega seizmometra Guralp CMG 40T, 24 bitnega analognim digitalnega pretvornika, GPS sprejemnika in antene, trdega diska kapacitete 2,1 Gb ali 0,5 Gb, kamor se shranjujejo podatki, 12 V akumulatorja kapacitete 14 Ah in usmernika, ki izmenično omrežno napetost 220 V pretvori v enosmerno napetost (slika 3). Inštrument je deloval v prožilnem načinu – beležil je dogodke, pri katerih je razmerje kratko-časovnega in dolgo-časovnega povprečja amplitude signala večje od določene vrednosti. Tako doseže večjo občutljivost kot pri inštrumentih, ki se prožijo, ko je presežena točno določena vrednost amplitude hitrosti nihanja tal. Hkrati to pomeni, da je občutljivost

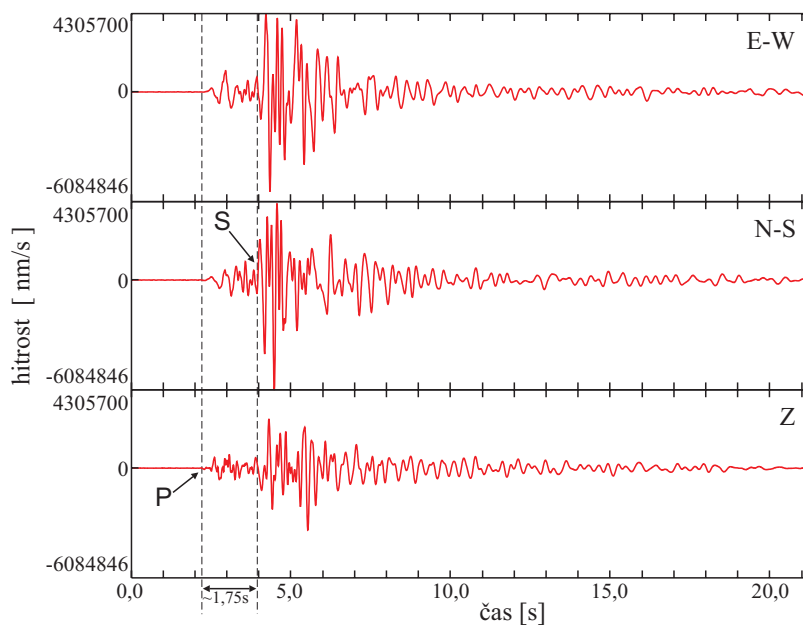
potresne opazovalnice pogojena z nivojem šuma in je praviloma večja ponoči, ko je šum v okolju manjši kot podnevi.

Opazovalnica v Zavodnjah je med 12. septembrom 2001 in 31. majem 2002 zabeležila prek 700 dogodkov iz Šaleške doline. Tipičen zapis dogodka iz Šaleške doline je podan na sliki 4.

Potresna opazovalnica v stavbi Občine Šoštanj



Slika 5: Prenosna opazovalnica s seizmometrom v šoštanjski občinski stavbi
Figure 5: The temporary station with a seismometer in the town hall in Šoštanj

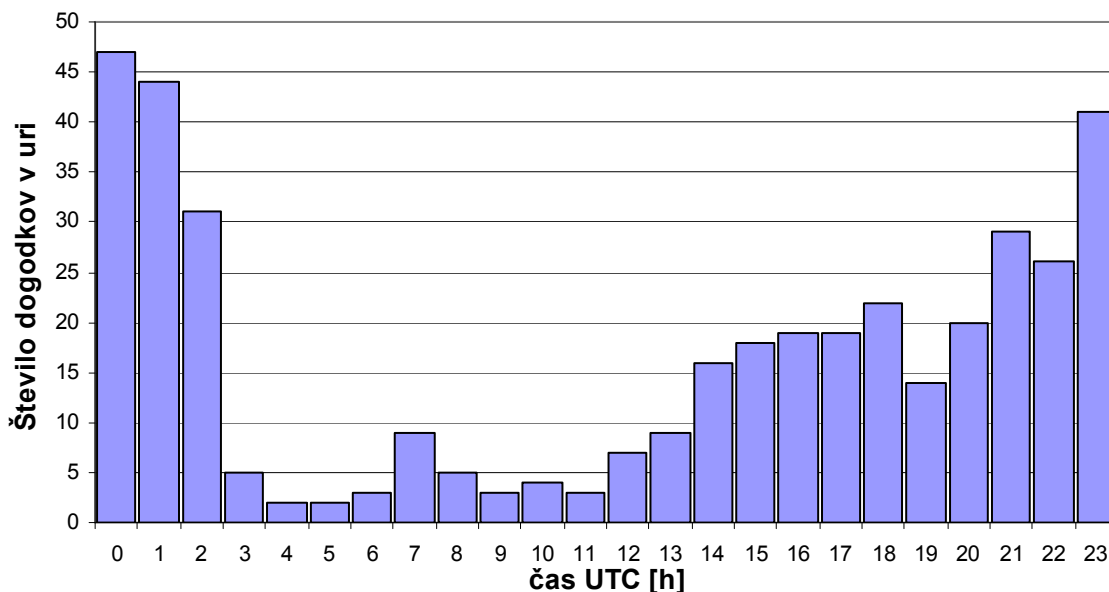


Slika 6: Tipičen zapis dogodka iz Šaleške doline na seizmografu v mestni hiši v Šoštanju. Dogodek se je zgodil 17. 4. 2002 ob 00:41 po UTC času. S puščicama sta označena časa prihoda longitudinalnih (P) in transverzalnih (S) potresnih valov.

Figure 6: A typical seismogram recorded at the temporary station in the town hall in Šoštanj for the event in the Šalek valley. The event origin time is: 17 April, 2002 at 00:41. UTC. Arrows show the arrival times of longitudinal (P) and transversal (S) seismic waves.

Potresna opazovalnica je delovala od 4. aprila do 16. maja 2002. Opremljena je bila podobno kot opazovalnica v Zavodnjah, z RefTekovim seizmografom s senzorjem Guralp CMG-40T in 24 bitnim analogno digitalnim pretvornikom. Inštrument je bil postavljen v kleti občinske stavbe v Šoštanju, Trg svobode 12 (slika 5).

V času med 4. aprilom in 16. majem 2002 je opazovalnica v občinski stavbi zaznala okoli 400 dogodkov z žarišči v razdalji do nekaj kilometrov. Tipičen zapis tresenja kaže slika 6. Občutljivost opazovalnice je bila med delovnim časom zelo zmanjšana, ker je bil senzor postavljen v samem središču mesta, v stavbi s pisarniškim poslovanjem. Zato je opazovalnica večino dogodkov zaznala v poznih popoldanskih in nočnih urah (slika 7).



Slika 7. Porazdelitev dogodkov, ki jih je zaznal inštrument v mestni hiši v Šoštanju, preko dneva (po univerzalnem času UTC). Lokalni poletni čas dobimo tako, da UTC času prištejemo dve uri.

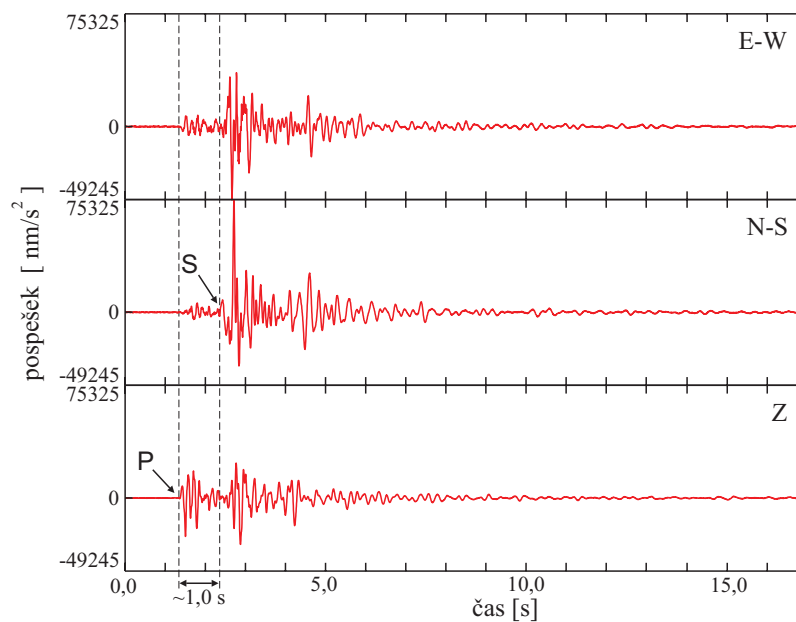
Figure 7. Event distribution over a day (universal time UTC) for the events that have been detected by the instrument in the town hall in Šoštanj. The local daylight saving time is the UTC time plus two hours.

Potresna opazovalnica na Cankarjevi ulici v Šoštanju

Potresna opazovalnica je delovala od 10. aprila 2002 do 20. junija 2002. Postavljena je bila v kleti stanovanjskega bloka na Cankarjevi 19 v Šoštanju (slika 8). Opremljena je bila z 18-bitnim analogno digitalnim pretvornikom ETNA in trikomponentnim širokopasovnim akcelerometrom FBA23, ki beleži pospeške nihanja tal. Inštrument deluje v prožilnem načinu – beleži dogodke, pri katerih pospešek preseže določeno vrednost. To pomeni, da se, ko enkrat določimo optimalne nastavitve, občutljivost potresne opazovalnice ne spreminja z nivojem šuma v okolici. Opazovalnica na Cankarjevi ulici 19 je med 10. aprilom in 20. junijem 2002 zaznala približno 200 dogodkov v neposredni bližini. Tipičen zapis tresenja tal kaže slika 9.



Slika 8. Akceleroğraf ETNA v zasebni kleti na Cankarjevi 19 v Šoštanjju
Figure 8. The accelerometer ETNA in a private cellar at Cankarjeva 19 in Šoštanj



Slika 9. Tipičen zapis dogodka iz Šaleške doline na akcelerografu v kleti bloka na Cankarjevi 19 v Šoštanjju. Dogodek se je zgodil 17. 4. 2002 ob 00:41 po UTC. S puščicama sta označena časa prihoda longitudinalnih (P) in transversalnih (S) potresnih valov.

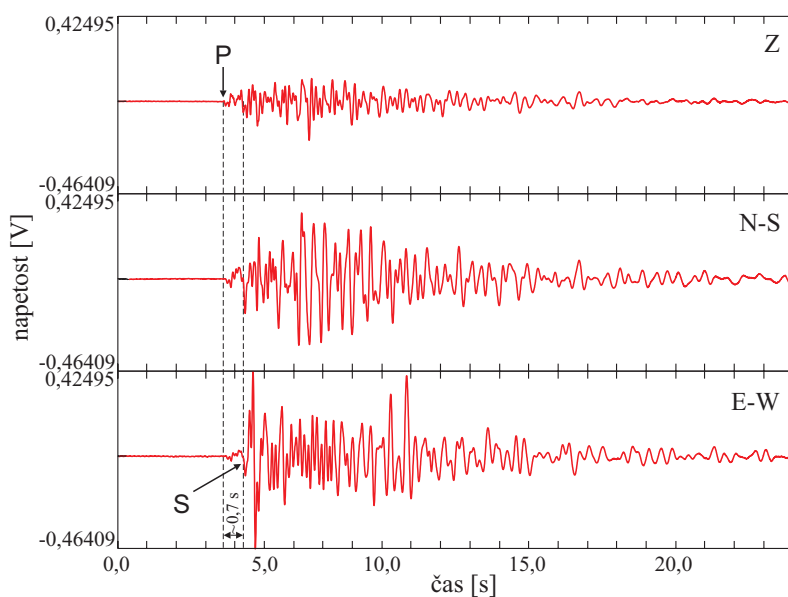
Figure 9. A typical waveform recorded on the accelerometer in Šoštanj (basement of the apartment building at Cankarjeva 19) for the event in the Šalek valley. The origin time of the event is: 17 April, 2002 at 00.41 UTC. Arrows show the arrival times of longitudinal (P) and transversal (S) seismic waves.

Potresna opazovalnica v Gaberkah

Začasna potresna opazovalnica je delovala od 16. maja 2002 do 20. junija 2002.



Slika 10. Prenosna opazovalnica s seizmometrom v kleti gasilskega doma v Gaberkah
Figure 10. The temporary station with a seismometer in the cellar of the Firebrigade station in Gaberke



Slika 11. Tipičen zapis dogodka iz Šaleške doline na seizmografu v gasilskem domu v Gaberkah. Dogodek se je zgodil 17. 5. 2002 ob 07:04 po UTC. Hitrosti 1 m/s približno ustreza napetost 800 V. S puščicama sta označena časa prihoda longitudinalnih (P) in transverzalnih (S) potresnih valov.

Figure 11. A typical seismogram recorded at the Gaberke temporary station for the event in the Šaleška valley. The origin time of the event is: 17 May, 2002 at 07.04 UTC. A velocity 1 m/s roughly corresponds to 800 V. Arrows show the arrival times of longitudinal (P) and transversal (S) seismic waves.

Oprema opazovalnice v Gaberkah je bila prestavljena iz občinske stavbe v Šoštanju v Gaberke. Inštrument je bil nameščen v kleti gasilskega doma Gaberke (slika 10). Na žalost

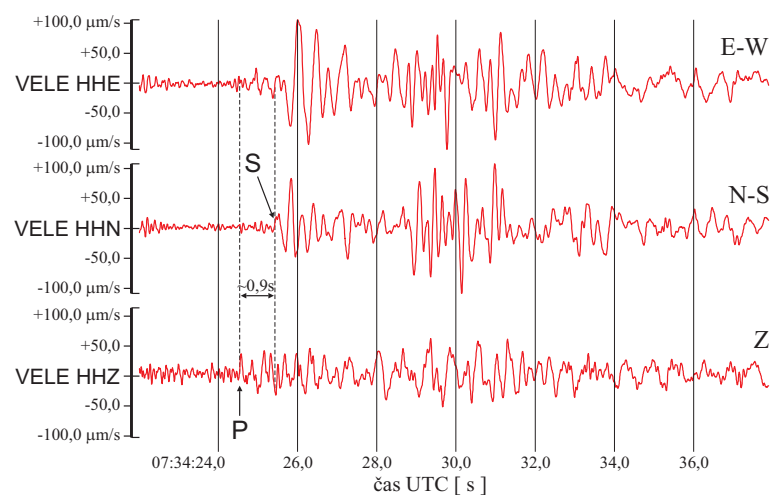
zaradi prevelikega nadstreška GPS antena v času delovanja ni sprejemala signala točnega časa. V času od 16. maja do 11. junija 2002 je bilo zabeleženih 290 dogodkov. Tipičen zapis tresenja tal kaže slika 11.

Potresna opazovalnica v prostorih Carinske izpostave v Velenju



Slika 12. Začasna opazovalnica s seizmometrom in direktnim prenosom podatkov v kleti Carinske izpostave v Velenju.

Figure 12. The temporary station with a seismometer and on line data transmission via internet in the basement of the customs house in Velenje.



Slika 13. Tipičen zapis dogodka iz Šaleške doline na seizmografu v Carinski izpostavi Velenje. Dogodek se je zgodil 13. 6. 2002 ob 07:34 po UTC. S puščicama sta označena časa prihoda longitudinalnih (P) in transverzalnih (S) potresnih valov.

Figure 13. A typical seismogram recorded at the Velenje temporary station for the event in the Šaleška valley. The origin time of the event is: 13 June, 2002 at 07.34 UTC. Arrows show the arrival times for longitudinal (P) and transversal (S) seismic waves.

Potresna opazovalnica deluje od 16. maja 2002 naprej. Seizmograf je postavljen v kleti Carinske izpostave v Velenju, Cesta Simona Blatnika 11 (slika 12). Opazovalnica je opremljena s 24-bitnim analognim digitalnim pretvornikom Quantero Q730 in s trikomponentnim širokopasovnim seizmometrom Guralp CMG-40T, ki beleži hitrosti nihanja tal. Po državnem računalniškem omrežju (HKOM) se podatki sproti prenašajo v Ljubljano, v središče za obdelavo podatkov Urada za seizmologijo in geologijo, kjer jih sproti obdelujemo skupaj z zapisi opazovalnic državnega omrežja. Zaradi bližine industrijske cone Velenje je nivo šuma na opazovalnici velik. Kvalitetno je mogoče analizirati le močnejše dogodke. Tipičen zapis tresenja tal je na sliki 13.

Preglednica 2. Seznam začasnih potresnih opazovalnic z osnovnimi podatki.

Table 2. The list of the temporary stations with the abbreviations and the time of operation.

številka	kratica	čas delovanja	
		od	do
number	code	operating	
		from	till
1	ZVOD	12.09.2001	20.06.2002
2	OBSO	04.04.2002	16.05.2002
3	CKSO	10.04.2002	20.06.2002
4	GBRK	16.05.2002	20.06.2002
5	VELE	16.05.2002	31.05.2004

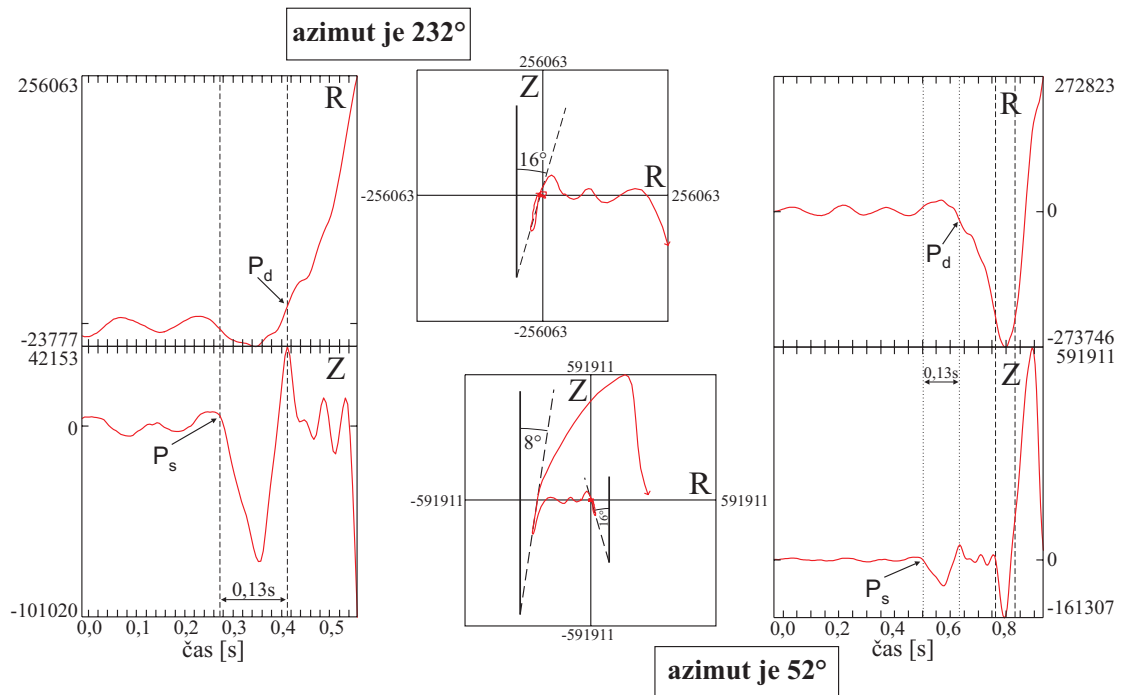
Posebnost seizmogramov na opazovalnici v stavbi Občine Šoštanj

Stavba Občine Šoštanj leži na obrobju Šaleške doline oziroma Velenjske udorine. Na opazovalnici smo opazili precejšnja odstopanja smeri prihoda najhitrejših primarnih (P) potresnih valov glede na ostale opazovalnice, ki so imele smeri prihodov medsebojno usklajene. Pojem "usklajen" na tem mestu pomeni, da je smer prihoda bolj ali manj skladna s smerjo zveznice med ocenjenim mestom nastanka potresa in opazovalnico. V nasprotju z ostalimi opazovalnicami je videti, kot da bi najhitrejši primarni (P) potresni valovi prišli celo iz ravno nasprotne smeri. Predstavimo eno od mogočih razlag.

Od nastanka potresa (ali eksplozije, ali kake druge motnje, ki sproži razširjanje potresnih valov) se potresni valovi širijo na vse strani. Na svoji poti se valovanje lomi in odbija od meja med različnimi predeli Zemljine skorje. Del tega valovanja prispe do seizmometra izbrane potresne opazovalnice in ga na opazovalnici zabeležimo v obliki seizmograma. Prvo zabeleženo valovanje je tisto, ki je potrebovalo najmanj časa, kar seveda ni nujno tisto, ki je potovalo po najkrajši poti. Zemljina skorja je v enostavnem približku sestavljena iz planparalelnih plasti. V splošnem hitrost potresnih valov v Zemlji z globino narašča, zato na bolj oddaljene opazovalnice najprej pride valovanje, ki se je del poti širilo po globljih delih skorje. Dejanska zgradba skorje je bolj zapletena in bi jo, če bi imeli dovolj geoloških in geofizikalnih podatkov, morali opisati s tridimenzionalnim modelom.

Čeprav natančne tridimenzionalne geološke strukture v Velenjski udorini in širši okolici ne poznamo, je očitno, da je bazen napolnjen s sedimenti, med njimi tudi s premogonosno

plastjo, pod sedimenti pa je matična, trša, kamnina (karbonati), po kateri se potresno valovanje razširja precej hitreje kot po sedimentnih kamninah (Brezigar, 1985/86).

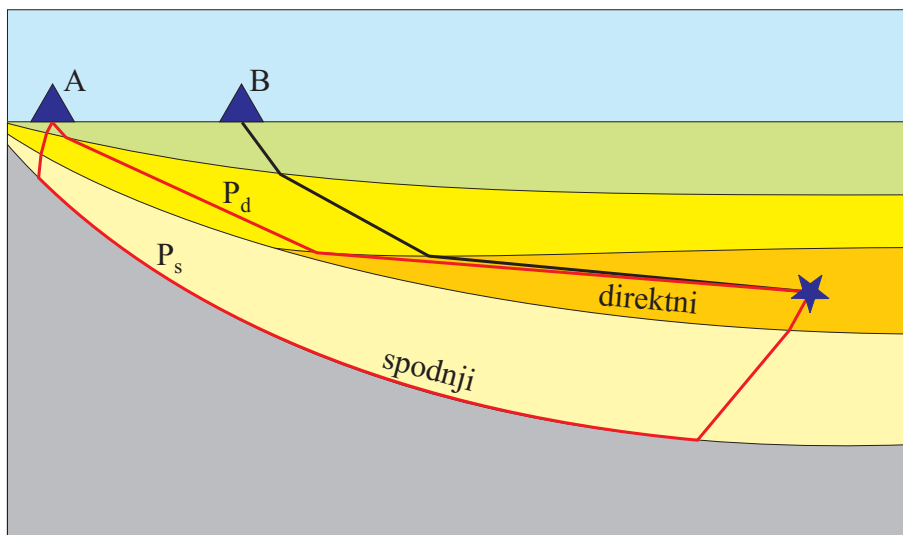


Slika 14. Določanje smeri prihoda longitudinalnega (P) valovanja na seizmometer v mestni hiši v Šoštanj. Levo in v sredini zgoraj vidimo naklon (16°) proti navpičnici za P_s fazo, ki ga odčitamo na 2D diagramu hitrosti v radialni (R) in navpični (Z) smeri. Radialno komponento dobimo z rotacijo N-S in E-W seizmogramov v smeri azimuta smeri opazovalnica-nadžarišče (232°). Podobno na desni in v sredini spodaj odčitamo naklon (8°) proti navpičnici za P_d fazo, ki doseže opazovalnico 0,13 s pozneje, kjer smo R komponento dobili z zasukom za 52° . Na desni sliki je lepo viden prihod P_s faze "od zadaj", ker je zaradi nasprotnega azimuta ($232^\circ - 52^\circ = 180^\circ$) naklon P_s faze nasprotnega predznaka kot na levi sliki. Analizirani dogodek se je zgodil 17. 4. 2002 ob 00:41 po UTC (slika 6). Analiza je bila narejena s programom PITSA 5.0 [Scherbaum in drugi, 1999].

Figure 14. Inclination angle determination at the seismometer in the town hall in Šoštanj. The inclination 16° for the P_s phase (left and middle above) and 8° for the P_d phase (right and middle below) is shown. It is determined from a 2D velocity diagram using radial (R) and vertical (Z) velocity components. The radial component is obtained by the rotation of the N-S and E-W seismograms in the direction of the station-epicenter azimuth (232°). For the P_d phase, the azimuth is 52° . The arrival of the P_s phase "from behind" is evident on the right figure, where the sign of the P_s inclination is reversed due to the opposite azimuth ($232^\circ - 52^\circ = 180^\circ$) with respect to the left figure. The origin time of the analysed event is: 17 April, 2002 at 00.41 UTC (figure 6). The analysis has been done with the software package PITSA 5.0 [Scherbaum et al., 1999].

Ponuja se razlaga, da smo na opazovalnici v stavbi Občine najprej zaznali valovanje, ki se je širilo po matični kamnini v podlagi bazena in je zato smer prvega prihoda "od zadaj" glede na ocenjeno lokacijo potresa. Podrobnejša analiza seizmogramov za nekaj močnejših dogodkov resnično dopušča tako interpretacijo (slika 14). Valovanje, ki je prvo prišlo do opazovalnice (recimo mu spodnje, ker se je verjetno širilo po globljih predelih skorje, torej P_s valovanje), je tipično prehitelo direktno (označimo ga s P_d) prispelo primarno valovanje za okoli 0,1 s. To kaže na bližino dogodkov. Iste potrese smo zabeležili tudi na opazovalnici v stanovanjskem

bloku na Cankarjevi 19, ki je pomaknjen v Šoštanjski bazen bližje ocenjeni lokaciji izbranih potresov. Na teh zapisih nismo opazili prihoda P_s valov, temveč so prvi prispeli direktni primarni (P_d) valovi. P_s valovi so bili očitno prešibki, da bi jih opazili in ločili od P_d valov (Slika 15).



Slika 15. Shematska slika preseka tipičnega bazena in hipotetične poti P_s in P_d valov od žarišča (zvezda) do opazovalnice A, ki je na robu bazena, ter do opazovalnice B, ki je odmaknjena od roba v notranjost bazena. Do opazovalnice A najprej pridejo spodnji P_s valovi, ki so večji del poti prepotovali skozi hitrejše plasti v večji globini in se potem lomili "nazaj" proti opazovalnici. Do opazovalnice B bi spodnji P_s valovi prišli za direktnimi.

Figure 15. Schematic cross-section of a typical basin and the hypothetical rays of the P_s and P_d phases from the hypocentre (star) to the station A at the border of the basin or to the station B, which is shifted from the edge toward the center of the basin. The lower (P_s) waves reach the station A first, because they traverse their path mostly through faster layers in larger depth. At the end they are refracted "backwards" to the station A. The lower (P_s) waves would reach the station B later than the direct ones.

To dvoje skupaj je skladno s hipotezo, da dogodki nastajajo znotraj bazena ali pa v zelo plitvih delih matičnih karbonatov, saj bi v nasprotnem primeru težko konstruirali tako geometrijo bazena, da bi P_s valovi prehiteli P_d valove, ki imajo krajšo pot.

Lokacije zabeleženih dogodkov in lastnosti sedimentov v Šoštanjskem bazenu

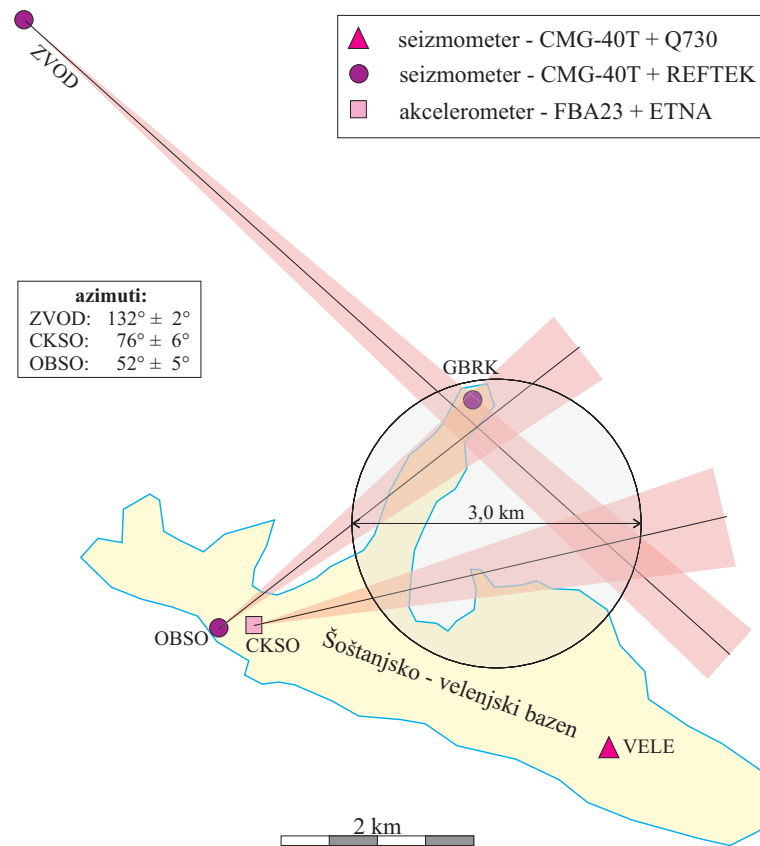
Na primeru dogodka 17. aprila 2002 ob 00:41 UTC lahko ocenimo hitrost potresnih valov v sedimentnih plasteh. Ob tem dogodku sproženi direktni longitudinalni valovi (P_d) so dosegli mestno hišo 0,12 s kasneje kot blok na Cankarjevi 19. Pri tem so prihajali iz skoraj iste smeri (77° in 52°), ki je povrh tega blizu smeri, ki povezuje stavbi ($\sim 85^\circ$). Ocenimo lahko, da je smer potovanja od zveznice med inštrumentoma okoli 20° , razdalja med hišama je okoli 330 m, torej je razlika v poti okoli 300 m. Ocena hitrosti P valov v sedimentih, po katerih se P valovi širijo med inštrumentoma, je torej okoli 2,5 km/s. Podobno je razlika med časi prihodov direktnih S valov do obeh senzorjev 0,38 s, kar nam da za hitrost S valov v sedimentih oceno 0,8 km/s. Razmerje P in S hitrosti (~ 3) je precej večje od vrednosti okoli 1,7, ki je značilna za kompaktnije, gostejše kamnine. Iz elastičnih lastnosti, ki jih za apnenec

(kot primer karbonatov) poiščemo v standardnem fizikalnem priročniku (Koškin in Širkevič, 1984), dobimo po vrsti vrednosti 3,8 km/s in 2,4 km/s za P in S valovanje (Preglednica 3).

Preglednica 3. Primerjava hitrosti potresnih valov v apnencu in šoštanjskih sedimentih.

Table 3. Comparison of the seismic wave velocity in a limestone and Šoštanj sediments.

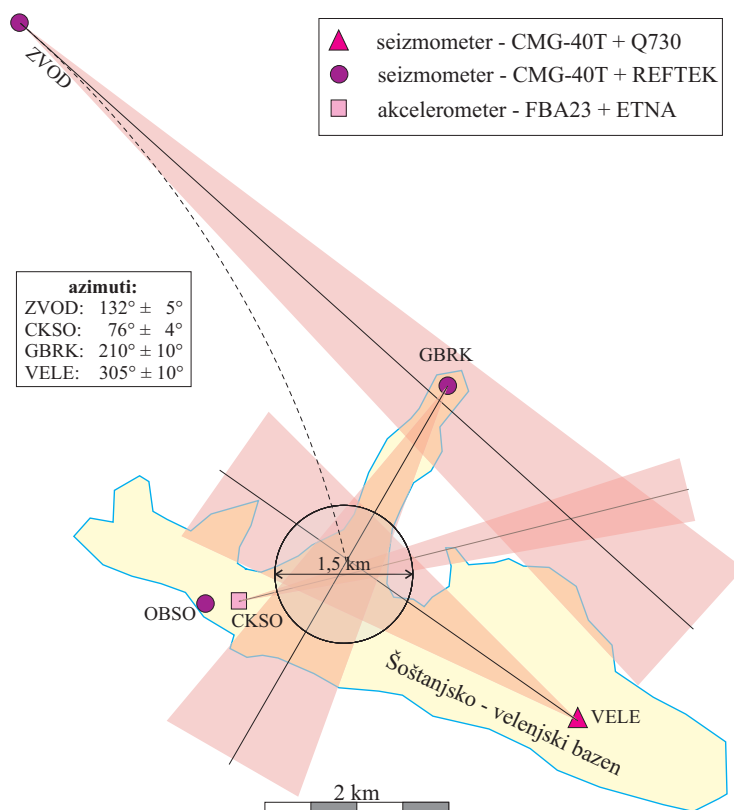
	sedimenti (groba ocena)	apnec (Koškin in Širkevič, 1984)
	sediments (rough estimate)	limestone (Koškin in Širkevič, 1984)
hitrost P valov [km/s] P wave velocity [km/s]	2,5	3,8
hitrost S valov [km/s] S wave velocity [km/s]	0,8	2,4
razmerje P in S hitrosti P/S velocity ratio	3,1	1,6



Slika 16. Približno določanje območja nadžarišča za potres 17. aprila 2002 ob 00:41 UTC. Črte od opazovalnic označujejo smer, od koder naj bi prišli longitudinalni (P) valovi, širina obarvanega trikotnika pa označuje mersko napako pri določanju te smeri. Velikost kroga označuje grobo oceno, kjer bi najverjetneje lahko bilo nadžarišče potresa.

Figure 16. Estimation of the epicentre for the event on 17 April 2002 at 00.41 UTC. The lines from the stations denote the direction of the longitudinal (P) waves. The uncertainty of the measured directions is indicated by the coloured triangles. The circle denotes a rough estimation of the area in which the epicenter could most likely be.

Še nekaj besed o določanju kraja nastanka zabeleženih dogodkov. Ker ne vemo dovolj o lokalni geološki zgradbi skorje oziroma je ta preveč raznolika, da bi jo lahko dobro opisali z modelom planparalelnih plasti (tako imenovani 1D model, podoben tistemu, ki ga uporabljamo za rutinsko iskanje lokacij potresov po Sloveniji), se problema ne moremo lotiti po standardnih poteh.



Slika 17. Približno določanje nadžarišča za potres 21. maja 2002 ob 14:37 UTC. Neprekinjene črte od opazovalnic označujejo smer, od koder naj bi prišli longitudinalni (P) valovi, širina obarvanega trikotnika pa označuje mersko napako pri določanju te smeri. Velikost kroga označuje grobo oceno območja, kjer bi najverjetneje lahko bilo nadžarišče potresa; omejimo ga na območje znotraj rožnatih trikotnikov. S črtkano črto je shematsko označena ena od možnih poti, po kateri potuje potresno valovanje do opazovalnice v Zavodnjah v najkrajšem času.

Figure 17. Estimation of the epicenter for the event on 21 May 2002 at 14.37 UTC. The full lines from the stations denote the direction of the longitudinal (P) waves. The uncertainty of the measured directions is indicated by the coloured triangles. The circle denotes a rough estimation of the area in which the epicenter could most likely be; it is limited by the intersection of the coloured triangles. One of the possible rays, along which the seismic waves reach the temporary station in Zavodnje in the shortest time, is sketched with a dashed line.

Zato se iskanja nadžarišča lotimo drugače. Za močnejše potrese smo uspeli dokaj natančno določiti smeri prihodov longitudinalnih valov do seizmometra. To pa je ocena za smer, kjer naj bi bil potres, če se je longitudinalno valovanje na svoji poti dovolj malo odklanjalo oz. se je širilo po dovolj ravni poti. Poglejmo, kaj pokaže taka analiza za dva izbrana potresa, prvi je bil 17. aprila 2002 ob 00:41 UTC (slike 4, 6 in 9), drugi pa 21. maja 2002 ob 14:37 UTC. Nadžarišče prvega potresa je iz azimutov treh opazovalnic (slika 16), ki so takrat delovale,

nemogoče določiti, le ugibamo lahko, da je nekje med vsemi divergentnimi smermi, nedoločenost pa je očitno zelo velika. Prav na podlagi take preliminarne analize smo prišli do sklepa, da potrebujemo dodatnečasne opazovalnice. Eno smo postavili v Carinski izpostavi v Velenju, kot drugo pa smo prestavili opremo iz občinske hiše v Šoštanju v gasilski dom v Gaberke. Če pogledamo sliko 17, je očitno, da za drugi primer (21. maj 2002 ob 14:37 UTC) trije azimuti postaj, ki so v ali na robu bazena, lepo konvergirajo v mnogo bolj natančno določeno območje, kjer bi lahko iskali dejansko nadžarišče. Videti je, da se v tem primeru potresni valovi do opazovalnic širijo precej premo, kar pomeni, da se struktura v prečni smeri ne spreminja znatno.

Kaj lahko še zaključimo iz teh dveh primerov? Seizmogrami na opazovalnici v Zavodnjah imajo sistematično vsi zelo podoben azimut ($132^{\circ} \pm 3^{\circ}$), ki pa ni skladen z ocenjenim območjem nastanka dogodkov. To najenostavneje pojasnimo z ukrivljeno potjo potresnih valov. Videti je, da se zaradi heterogene strukture potresno valovanje (najverjetneje pri prehodu iz bazena v bolj kompaktno podlago) lomi proti zahodu. Podobno vidimo, da so azimuti na seizmometru v mestni hiši, ki je na samem robu bazena neskladni s položajem nadžarišča, ki ga dobimo za drugi dogodek (21. maja 2002). Poudariti velja, da so azimuti na vseh opazovalnicah med seboj le malo različni. Podobno so časovne razlike med prihodi različnih potresnih valov na posamezne opazovalnice le malo različne med seboj. To govori v prid hipotezi, da dogodki nastajajo blizu skupaj.

Sklep

Dogodki v Šaleški dolini imajo nekaj značilnih skupnih lastnosti. Do sedaj opisana dejstva, meritve in njih interpretacijo lahko povzamemo v nekaj točkah:

1. Dogodki se dogajajo v kompleksnih geoloških mikrostrukturah, ki otežujejo seizmološko analizo.
2. Tako zapisi tresenja tal na eni sami opazovalnici, kot tudi zapisi enega dogodka na več opazovalnicah so si med seboj zelo podobni (glej slike 4, 6, 9, 11 in 13). Izraziti so dalj časa trajajoči nihaji, povzročeni s površinskim valovanjem. Taki zapisi so značilni za žarišča v majhnih globinah.
3. Oddaljenosti dogodkov od opazovalnice lahko ocenimo na podlagi razlike v času prihoda transverzalnih in longitudinalnih valov. Tako je, denimo, na opazovalnici na Cankarjevi ulici v Šoštanju časovna razlika med prihodom primarnih (P) in sekundarnih (S) potresnih valov tipično med 1,0 in 1,2 s, na opazovalnici v Zavodnjah med 1,4 in 1,7 s, na opazovalnici v Občini med 1,4 in 1,7 s, na opazovalnici v Carinski izpostavi v Velenju med 0,9 in 1,5 s in na opazovalnici Gaberke med 0,7 in 1,0 s.
4. Najmočnejši dogodek v opazovanem obdobju je imel magnitudo 1,5 in je dosegel intenziteto IV-V stopnje po EMS. Za ponazoritev dodajmo, da energija sproščena pri takem potresu ustreza energiji sproščeni pri razstrelitvi 10 do nekaj deset kg TNT razstreliva.
5. Analiza močnejših dogodkov je pokazala, da najhitrejši potresni valovi potujejo po matični kamnini (podlagi) bazena, kar onemogoča standardno določanje lokacij potresov in hkrati kaže na majhno hitrost razširjanja potresnih valov po sedimentih (premog, ilovice, prodi, ...) v samem bazenu.
6. S standardnimi seizmološkimi metodami ne moremo natančno opredeliti lokacije in globine dogodkov. Z gotovostjo lahko trdimo le, da dogodki nastajajo v območju

omejenem s potresnim opazovalnicam in da žariščne globine ne presegajo 4 kilometrov.

7. Precej verjetno je, da se vsa žarišča dogodkov, ki smo jih podrobneje obdelali, nahajajo v območju velikosti približno 2 x 2 km, omejenem s kraji Šoštanj, Gaberke, Hrastovec in Velenje. Žarišča so na globinah med pol in enim kilometrom, vendar je nenatančnost pri določanju teh parametrov lahko še vedno tri kilometre ali več.
8. Za točno (z napako, ki ne presega nekaj sto metrov) določanje lokacije in globine dogodkov ne zadoščajo standardne metode seizmološkega opazovanja v regionalnem merilu - potrebna je gosta lokalna mreža inštrumentov in natančen tridimenzionalni hitrostni model.

Literatura

- Koškin, N. I., Širkevič, M. G., 1984: Priročnik elementarne fizike, (prevod in priredba: M. Gros, M. Hribar in Z. Trontelj), Tehniška založba Slovenije, 39, Ljubljana.
- Brezigar, A., 1985/86: Premogonosna plast Rudnika lignita Velenje. Geologija, številka 28/29, 319-336, Ljubljana.
- Brezigar, A., Ogorelec, B., Rijavec, L. in Mioč, P., 1987: Geološka zgradba predpliocenske podlage Velenjske udorine in okolice. Geologija, številka 30, 31-65, Ljubljana.
- Scherbaum, F., Johnson, J., Rietbrock, A., 1999: PITSA 5.0 manual.

SEIZMIČNE REFRAKCIJSKE RAZISKAVE LITOSFERE NA PROFILU ALP02 PROJEKTA ALP 2002

SEISMIC REFRACTION INVESTIGATIONS OF THE LITHOSPHERE ALONG ALP02 PROFILE OF THE ALP 2002 PROJECT

Vanja Kastelic¹, Andrej Gosar

Izvleček. S projektom Alp 2002 smo raziskali stično območje večjih tektonskih enot Alp, Dinaridov in Panonskega bazena. V mreži dvanajstih globokih refrakcijskih/širokokotno refleksijskih profilov skupne dolžine 4100 km, ki so potekali prek sedmih držav, smo namestili 1055 prenosnih seizmografov in sprožili 31 močnih eksplozij. Čez območje Slovenije je potekalo 5 profilov skupne dolžine 575 km, vzdolž katerih je bilo nameščenih 127 seizmografov. Točki miniranja sta bili pri Vojniku in pri Gradinu. V članku obravnavamo rezultate raziskav na 540 km dolgem profilu Alp02, ki poteka v smeri SZ - JV prek Avstrije, Slovenije in Hrvaške. Podatke smo interpretirali z metodo presečnega časa, tomografsko inverzijo in modeliranjem s sledenjem žarkov. Rezultati potrjujejo postopen dvig Mohorovičičeve diskontinuitete iz območja Alp, kjer je na globini tudi prek 50 km do globine 35 km na območju Panonskega bazena. V vzhodni Sloveniji smo ugotovili nizkohitrostno strukturno poglobitev, ki sega do globine 21 km, medtem ko je na ostalih odsekih profila na globini največ 8 km. Na območju med strelnima točkama pri Vojniku in Ivanić Gradu (Hrvaška) je iz rezultatov modeliranja razvidna poglobitev v zgornjem delu skorje iz globine 2 na 5 km. Omenjena poglobitev je prekinjena z visokohitrostno cono nekaj km SZ od Ivanić Grada, ki verjetno ustreza strukturi Medvednice. Do sedaj zbrani podatki potrjujejo rezultate predhodnih globokih seizmičnih raziskav, dajejo pa tudi veliko novih informacij o strukturnih razmerah na tem območju.

Abstract. The contact zone between major tectonic units of the Alps, the Dinarides and the Pannonian basin was investigated in the frame of Alp 2002 project. In the network of 12 deep refraction/wide angle reflection profiles of 4100 km total length running over 7 different countries, 1055 portable seismic stations were deployed and 31 strong explosions were fired. In Slovenia, 127 seismic stations were deployed along five profiles of 575 km total length. Two explosions were fired, one in the vicinity of Vojnik and the other near Gradin. We hereby present the results of investigations along profile Alp02 (540 km long), which is running in NW-SE direction across Austria, Slovenia and Croatia. Data were elaborated and interpreted using intercept time method, tomographic inversion and raytracing modelling. The results confirm the uplift of the Mohorovičić's discontinuity from the depths above 50 km in the Alps region, to the depths around 35 km in the Pannonian basin. In eastern Slovenia, there is up to 21 km deep low velocity zone, seen in the other parts of the profile at maximum depth of 8 km. In the area between Vojnik and Ivanić Grad (Croatia) shoot points, a horizon in the upper crust lowers from 2 to 5 km in depth. This structure is interrupted by a high velocity zone NW of Ivanić Grad, that probably represents the Medvednica structure. Preliminary model along the Alp02 line gives fairly good agreement with the previous results of deep seismic investigations, but it also revealed some new structural relationships that were not known before.

Uvod

K poznavanju strukture Alp so v veliki meri pripomogle raziskave globljih delov Zemljine skorje, predvsem globoki seizmični profili, ki so podali odgovore na vprašanja o naravi stika

¹ Naravoslovnotehniška fakulteta, Aškerčeva 12, Ljubljana

litosferskih plošč in globini do Mohorovičićeve diskontinuitete (Moho). Prvi seizmični profili (refrakcijske/širokokotno refleksijske raziskave) so bili na območju Vzhodnih Alp izmerjeni že v drugi polovici sedemdesetih let (Aric in sod., 1987; Scarascia in Cassinis, 1997). Nadalje so v drugi polovici osemdesetih let sledili nacionalni projekti refleksijskih seizmičnih raziskav na območju Zahodnih in Centralnih Alp ter refrakcijske meritve v okviru mednarodnega projekta Evropske geotraverze (slika 1). Leta 1997 in leta 2000 sta bila pod imenoma Polonaise in Celebration 2000 na območju severnega dela Srednje Evrope in Vzhodne Evrope izvedena še dva projekta refrakcijskih/širokokotnih refleksijskih meritev, v letih 1998-2000 pa je bil med Münchnom in Bellunom izmerjen refleksijski seizmični profil Transalp. Ti profili potrjujejo strukturo vrivanja Jadranske mikroplošče v Evropsko ploščo, ki se podriva proti jugu. Mohorovičićeve diskontinuiteta se pod severnim alpskim predgorjem nahaja na globini okoli 30 km, pod Južnimi Alpami pa doseže globino tudi do 65 km.



Slika 1. Položaj globokih seizmičnih profilov prek Zahodnih in Centralnih Alp (vijolična) in profilov, izmerjenih v okviru projekta Alp 2002. Profili gostejših meritev so rdeče, redkejših meritev pa oranžne barve.

Figure 1. Position map of main deep crustal seismic profiles in Western and Central Alps (purple), and the profiles measured within the framework of the Alp 2002 project. High-density lines are shown in red and low-density lines in orange.

Na območju bivše Jugoslavije je bilo v letih med 1964 in 1983 izmerjenih devet refrakcijskih/širokokotnih refleksijskih profilov v prečnodinarski smeri, od katerih je najbolj severozahoden potekal tudi čez naše ozemlje. Skrajni točki profila sta bili Pulj (Hrvaška) in Maribor, strelni točki pa sta bili v morju pri Pulju in v Vidmu pri Velikih Laščah. Podatki, dobljeni s tem projektom, so bili uporabljeni za izdelavo karte globine do Mohorovičićeve diskontinuitete in karte debeline sedimentov (Dragašević in sod., 1990). Obe karti sta služili kot osnova pri

modeliranju podatkov projekta Alp 2002. Največja globina do Moha znaša po podatkih omenjene karte okoli 42 km. Dosežena je pod Julijskimi Alpami, in se v pasu širokem nekaj 10 km vleče v dinarski smeri proti Gorskemu Kotarju (slika 2). Najplitveje se na območju Slovenije nahaja na obrobju Panonskega bazena ob meji z Madžarsko, kjer doseže globino 28 km. Dokaj strmo se Moho iz najglobljega dela dvigne proti Tržaškem zalivu, kjer se nahaja na globini 35 km (Aljinović in sod., 1987).

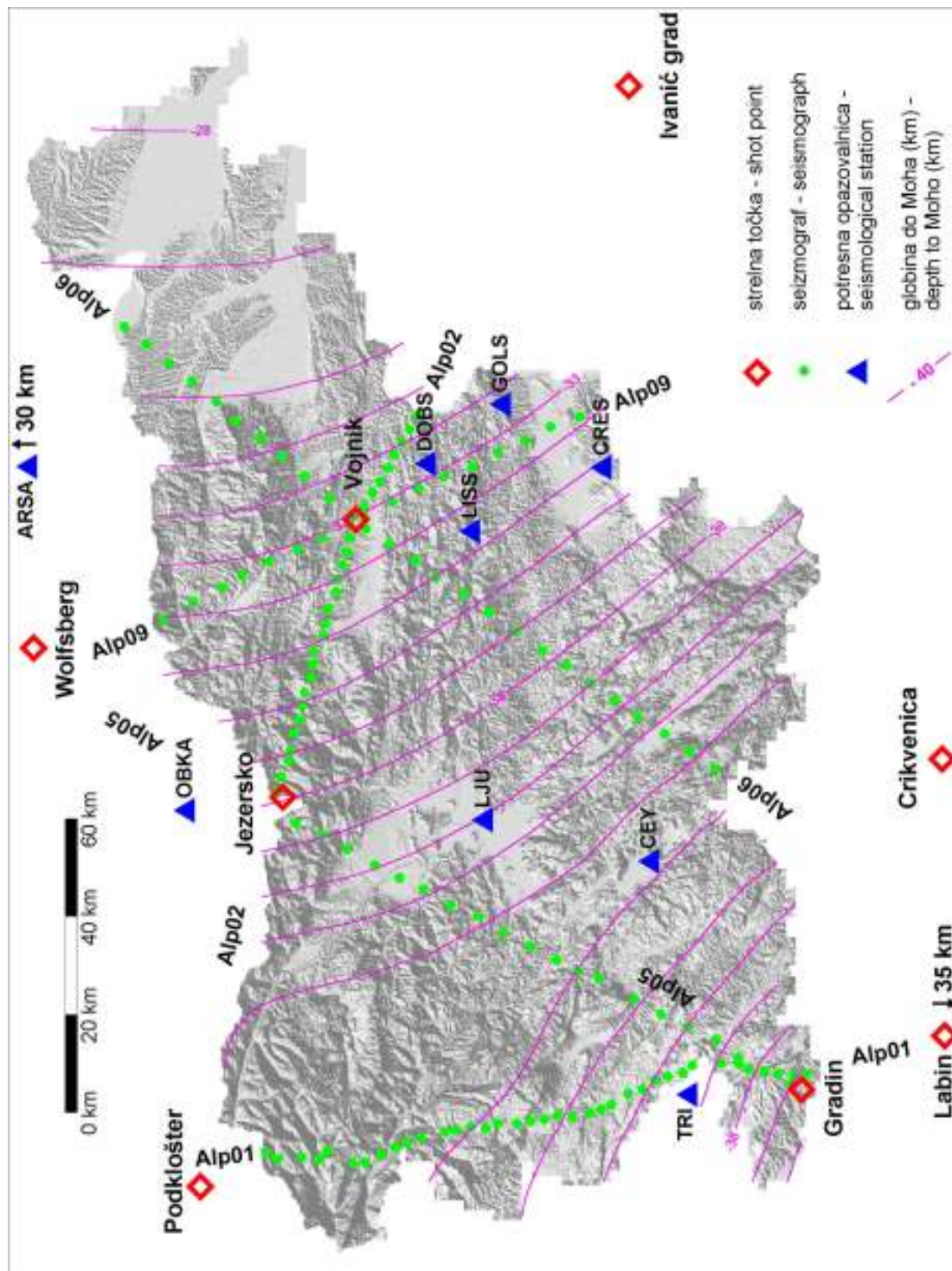
Medtem, ko so bile globoke strukture območja Vzhodne in Centralne Evrope ter delov Zahodnih Alp že dokaj dobro raziskane, pa stik med Alpami, Dinaridi in Panonskim bazenom s seizmičnimi profili še ni bil raziskan. Po prevladujočem mnenju raziskovalcev naj bi na območju Vzhodnih Alp strukturne razmere zapletla t. i. lateralna ekstruzija (bočno izrivanje) Tisa plošče. Ta je posledica vrivajoče se Jadranske plošče proti severu in prostega vzhodnega boka, ki je dovoljeval neovirano premikanje mase iz cone kolizije. Južno mejo izrivanja predstavlja Periadriatski lineament. Osvetlitev globokih struktur na tem območju bi tako pripomogla k boljšemu razumevanju dinamike procesov in razložila medsebojne odnose treh pomembnih tektonskih enot. Zato so po uspešnem zaključku meritev v sklopu projekta Celebration 2000 njegovi izvajalci podali pobudo za nov mednarodni projekt z naslovom 3D refrakcijske seizmične raziskave litosfere jugovzhodnih Alp (Alp 2002), v katerem sodeluje 11 držav (Brueckl in sod., 2003).

V okviru projekta Alp2002 smo po enoletnih pripravah v začetku julija 2002 vzdolž dvanajstih profilov na območju Avstrije, Češke, Madžarske, Hrvaške, Slovenije, Italije in Nemčije postavili 1055 seizmografov RefTek Texan, namenjenih aktivnim meritvam, vzdolž dveh profilov pa še dodatnih 70 seizmografov za pasivne meritve naravne potresne dejavnosti (slika 1). Smeri in lokacije profilov so bile izbrane upoštevajoč potek glavnih struktur, prehodnost terena ter položaj profilov predhodnih raziskav. Kot vir seizmičnega valovanja je bilo uporabljenih 31 močnih eksplozij (približno 300 kg eksploziva na strel), katerih lokacije so bile praviloma izbrane na koncih in na sečiščih posameznih profilov. Pri izbiri lokacije strelne točke je bilo potrebno upoštevati primernost geološke podlage in dovolj veliko oddaljenost od naseljenih območij. Pomembna prednost tokratnih meritev je v tem, da so vsi seizmografi zapisovali signal vseh eksplozij in ne le eksplozij na profilu, vzdolž katerega so bili postavljeni. To bo poleg klasične dvodimenzionalne (2D) omogočalo tudi tridimenzionalno (3D) analizo podatkov.

Projekt Alp 2002 v Sloveniji

Prek Slovenije je potekalo 5 od skupno 12 profilov, ki so bili v Sloveniji skupaj dolgi 575 km (slika 2). Lokacije seizmografov so bile v prvi fazi izbrane na podlagi nominalne razdalje med posameznimi točkami, upoštevajoč čim manjše odstopanje od izbrane linije profila. Na profilih Alp01 in Alp02 so bili seizmografi postavljeni na vsakih 3 km, na ostalih treh profilih pa na 6 km. V Sloveniji smo uporabili 127 seizmografov Texan. Največ, 37 seizmografov, je bilo postavljenih vzdolž profila Alp01. Sledi profil Alp02 s 27 seizmografi, Alp06 s 26 in Alp05 z 20 seizmografi, na najkrajšem profilu Alp09 pa je bilo postavljenih 17 inštrumentov. Mikrolokacije posameznih merskih točk smo izbrali na terenu v zadnjih dveh mesecih pred meritvami. Pri izboru je bilo potrebno upoštevati kriterije, ki vplivajo na kakovost seizmičnega zapisa in so v veliki meri odvisni od lokalne podlage in virov seizmičnega

nemira. Tako smo se izogibali prometnic, visokonapetostnih daljnovodov, industrijskih obratov, dreves in potokov ter rek. Da bi omogočili čim hitrejšo postavitev, je bilo potrebno upoštevati tudi dostopnost lokacije. Najtežji pogoji glede dostopnosti in prehodnosti terena so bili na območju zgornjega Posočja in na severnem delu profila Alp09.



Slika 2. Karta lokacij seizmografov in strelnih točk na območju Slovenije in bližnje okolice s konturami globine do Mohorovičićeve diskontinuitete (Dragaševićin sod., 1990)

Figure 2. Map of seismograph and shot points locations in Slovenia and nearby vicinity. Magenta lines depict Moho depths contours (Dragašević et al., 1990)

Po določitvi mikrolokacije vsake točke na terenu, kjer smo si pomagali tudi z ročnimi GPS sprejemniki, smo točke nanesti na topografske karte, določili koordinate in izrisali skice dostopa do lokacije. Vse to je devetim dvočlanskim ekipam, ki so seizmografe postavljale, omogočalo hitro in neproblematično postavitve. Postavitve je bila opravljena v dveh dnevih. Sledili so trije dnevi meritev, ko so seizmografi registrirali signale eksplozij, ki so bile sprožene v nočnem ali zgodnjem jutranjem času, ker je takrat nivo seizmičnega nemira najmanjši. Po končanih meritvah smo seizmografe v enem dnevu zopet zbrali in podatke prenesli na računalnik. S tem je bil terenski del projekta tudi zaključen.

V Sloveniji sta bili dve strelni točki: prva na območju Vojnika v Celjski kotlini, na sečišču profilov Alp02, Alp06 in Alp09, druga pa na sečišču profilov Alp01 in Alp05 pri Gradinu v Slovenskem Primorju (slika 2). Na vsaki strelni točki je bilo potrebno predhodno izvrtati pet vrtin globine 35 m, v katere je bilo vstavljenih po 60 kg eksploziva (skupaj 300 kg).

Meritve so bile uspešne, saj so bile vse načrtovane eksplozije tudi realizirane, delež izpadlih podatkov zaradi inštrumentalnih ali drugih vzrokov pa je bil pri celotnem projektu pod 4 %. V Sloveniji sta le dva seizmografa predčasno prenehala zapisovati podatke, vse pa smo po meritvah uspeli ponovno sinhronizirati s časovnim signalom GPS sistema (Gosar, 2003). Zajeti podatki so večinoma kvalitetni. Signal je praviloma boljši pri eksplozijah, ki so bile sprožene v slabše konsolidiranih sedimentih, kot pri tistih v karbonatnih, magmatskih in masivnih metamorfnih kamninah. Ob ugodnih pogojih (nizek nivo seizmičnega nemira na lokaciji seizmografa in dober stik geofona s tlemi), je po primerni obdelavi podatkov signal viden tudi še na razdalji do 250 km. Med strelnima točkama v Sloveniji, je bil signal eksplozije pri Vojniku boljši v primerjavi s tisto pri Gradinu in ga je bilo zato moč zaznati tudi na bolj oddaljenih sprejemnikih.

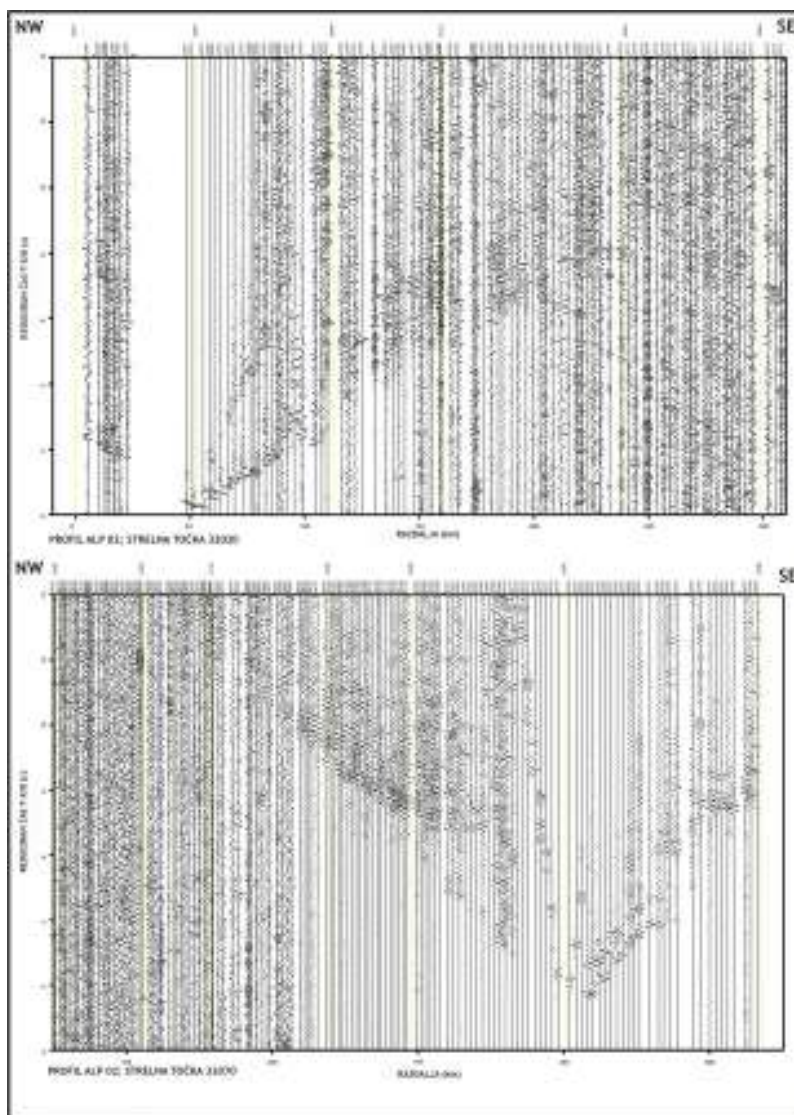
Obdelava podatkov bo dolgotrajna in po izkušnjah prejšnjih projektov bodo končni rezultati znani šele čez nekaj let. V tej fazi interpretacije podatkov smo se osredotočili na interpretacijo profila Alp02. Zanj smo se odločili zato, ker je potekal prek različnih struktur vse od Alp pa do Panonskega bazena. Ker je bilo na profilu kar 8 strelnih točk, je pokritje s signalom dobro, prav tako tudi kvaliteta podatkov, z izjemo skrajnega severo-zahodnega dela.

Interpretacija podatkov profila Alp02

Profil Alp02 je s 540 km dolžine drugi najdaljši med vsemi izmerjenimi profili v projektu Alp 2002. Profil poteka v generalni smeri SZ - JV od Tirolske prek Slovenije in Hrvaške do meje z Bosno in Hercegovino (slika 1). Začetek profila je pri Lermosu na Tirolskem, nato pa poteka mimo Innsbrucka, prečka del Visokih Tur in Ziljskih Alp, nato poteka po dolini reke Zilje in Drave in pri Pavličevem sedlu vstopi v Slovenijo. Od tam poteka mimo Solčave in Polzele do Vojnika, kjer spremeni smer rahlo proti jugu, naprej do Podčetrka in nato po Hrvaškem prek Zagorja in Medvednice do Ivanić Grada, nato pa po Slavoniji do Slavonskega Broda. Vzdolž profila je bilo na vsake 3 km postavljenih 151 seizmografov. Strelnih točk je bilo 8 ali povprečno po ena na vsakih 67 km.

Omenili smo že razliko v kvaliteti zapisov eksplozij, ki so bile sprožene v Alpah (predvsem strelne točke 32010, 32020 in 32030) in tistih, ki so bile sprožene v manj konsolidiranih

kamninah in sedimentih (32060, 32070, 32080). Pri zadnjih je signal viden tudi do 250 km od strelne točke, medtem, ko je ta razdalja za strele iz začetka profila le 100-150 km, pri nekaterih pa celo pod 100 km (slika 3).



Slika 3. Primerjava kvalitete seizmičnega zapisa na delu profila Alp02 za strela 32020 na Tirolskem in 32070 pri Ivanić Gradu

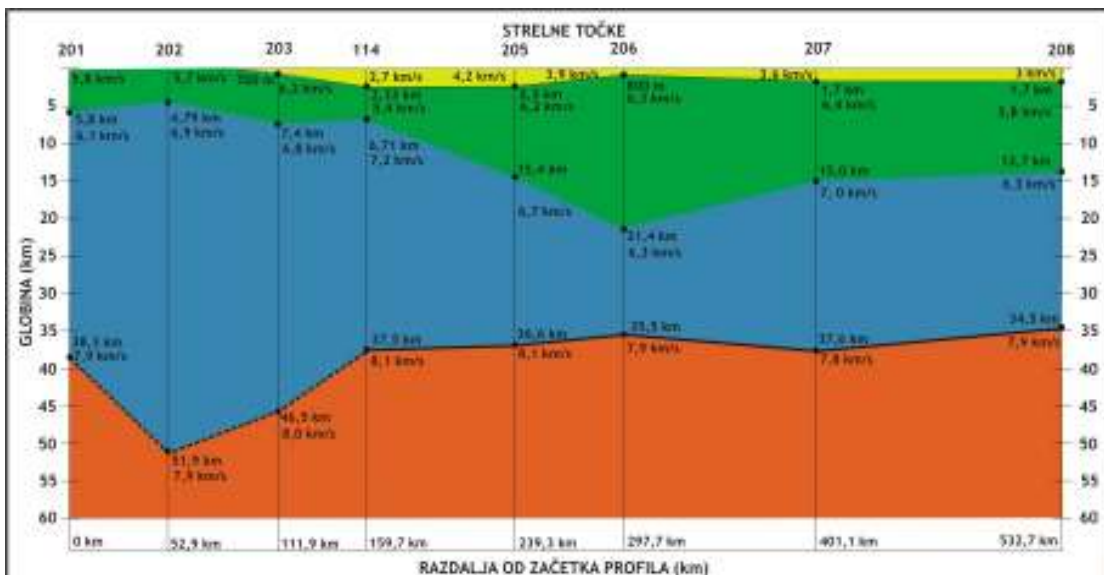
Figure 3. Seismic record quality comparison done for a section of Alp02 profile for shoot points 32020 in Tyrol and 32070 near Ivanić Grad

Geofizikalna interpretacija podatkov

Podatke smo interpretirali s tremi različnimi metodami: metoda presečnega časa, tomografska inverzija in modeliranje z metodo sledenja žarkov. Vse tri metode uporabljajo podatke o časih prihodov posameznih seizmičnih faz, ki smo jih odčitali v programu ZPLOT (Zelt, 1992). Pri tem smo se najprej osredotočili predvsem na prihode refraktiranih valov na strukturah v zgornjem delu Zemljine skorje (Pg) ter na Mohorovičičevi diskontinuiteti (Pn). Kasneje pa bomo v interpretacijo vključili tudi različne reflektirane valove.

Metoda presečnega časa

Metoda temelji na izračunu debelin plasti iz podatkov o seizmični hitrosti v posamezni plasti in vrednosti presečnega časa za premico, ki na t-x diagramu poteka skozi točke prvih prihodov, ki ustrezajo refraktiranim valovom. Predhodno smo za vsakega od osmih strelav določili čase prihodov Pg in Pn faz in jih nanesli na diagram odvisnosti čas-oddaljenost od strelne točke (t-x). Prvi prihodi na seizmogramih, ki so bili bližje strelni točki, ustrezajo seizmičnim valovom refraktiranim na horizontih v vrhnjem delu Zemljine skorje (Pg faza). Na določeni razdalji (razdalja prehitevanja) od strelne točke, seizmično valovanje refraktirano na Mohu, ki sicer potuje po daljši, vendar hitrejši poti, prehiti valovanje, refraktirano na horizontih v zgornjem delu skorje. Časi prvih prihodov od te točke naprej pripadajo torej valovom refraktiranim na Mohu (Pn faza). Med omenjenimi skrajnimi prihodi žarkov so lahko tudi posamezne točke, ki predstavljajo valovanje refraktirano od drugih horizontov v globljih delih Zemljine skorje. To valovanje sicer na seizmogramih običajno ne predstavlja prvih prihodov, ker ga prehiti valovanje refraktirano na Mohu.



Slika 4. Globinski profil interpretiranih hitrostnih mej z metodo presečnega časa za profil Alp02. S črtno linijo je označen potek Mohorovičičeve diskontinuitete pod Alpami, kjer je kvaliteta podatkov slabša (Kastelic, 2003).

Figure 4. Depth profile of velocity boundaries interpreted using the time intercept method. Dashed line represents the Moho discontinuity in the Alps, where the data quality is lower (Kastelic, 2003).

Globinski profil na podlagi podatkov metode presečnega časa (slika 4) kaže globino Mohorovičičeve diskontinuitete med 34 km v Panonskem bazenu in 52 km pod Alpami. Ker je bil signal strelnih točk v Alpah šibkejši in posamezne faze slabše izražene, je tam izračun manj zanesljiv.

Pod strelnima točkama 201 in 202 ni vrhnje plasti sedimentov, kar je v Alpah tudi pričakovano (slika 4). Nadaljnje strelne točke so bile postavljene v alpskih dolinah, strelji s konca profila pa so se nahajali v Panonskem bazenu. Tu vrhnja plast z nižjo hitrostjo ustreza slabše konsolidiranim sedimentom (rumena). Naslednja plast (zelena) pripada karbonatnim in magmatskim kamninam. Na SZ delu profila se omenjena plast nahaja do globine približno

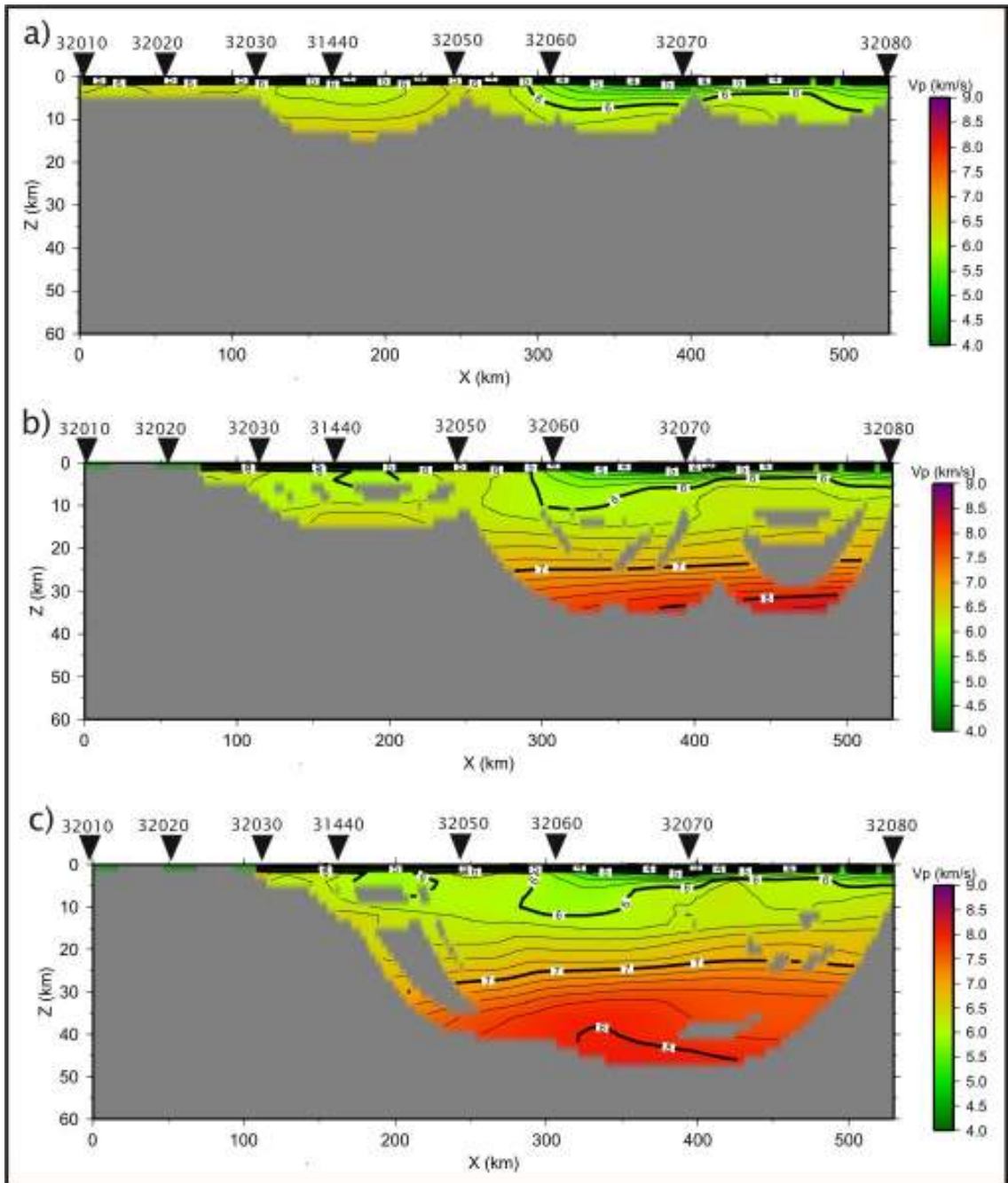
5,5-7 km. Od strelne točke pri Podkloštru se spodnja meja plasti spusti strmo iz globine 6,7 km na globino 21,4 km pod strelno točko pri Vojniku. Od te največje dosežene globine se plast karbonatov v smeri proti strelni točki pri Ivanić Gradu in naprej proti Slavonskem Brodu zopet postopoma dviga in pod lokacijo zadnje strelne točke doseže globino 13,7 km (Kastelic, 2003). Večja debelina te plasti v vzhodni Sloveniji je po vsej verjetnosti povezana s sedimentacijskimi in strukturnimi razmerami na tem območju (sedimentacija v Slovenskem bazenu, ugrezanje Celjske kotline v transpresivni zmični coni Periadriatskega lineamenta med Savskim in Labotskim prelomom). Pod plastjo karbonatnih, magmatskih in metamorfni kamnin, ki pripada zgornjemu delu skorje, leži plast opredeljena kot spodnji del Zemljine skorje (modra barva). Glede na seizmične hitrosti (6,5-7,9 km/s) se znotraj te plasti pojavljajo metamorfne in bazične magmatske kamnine. Plast se pod strelnimi točkami v Alpah pojavlja že na globini od 5 km pa do okoli 30 km, v Panonskem bazenu pa jo zasledimo na globinah med 6,7-7 in 35 km. Z rdečo barvo je predstavljen vrhnji del plašča, ki je z Mohorovičićevo diskontinuiteto ločen od spodnjega dela Zemljine skorje. Vrednosti seizmične hitrosti se ujemajo s pričakovanimi (7,9-8,1 km/s).

Tomografska inverzija

Na osnovi podatkov o časih prvih prihodov za fazi Pg in Pn smo izvedli dvo-dimenzionalno tomografsko inverzijo s programom Iterative backprojection tomography (Hole, 1992). Rezultat je porazdelitev seizmičnih hitrosti v izbranem profilu. V začetni fazi je bil na osnovi eksperimentalnih podatkov postavljen 1D model, določeni pa so bili tudi osnovni parametri inverzije (npr. velikost celice, ki je v našem izračunu znašala 2 km). Izračun tomografske inverzije temelji na postopnem (iterativnem) popravljanju začetnega modela in sicer od površine v globino. Tako se v začetnih fazah inverzije upoštevajo podatki o časih prihodov za bližnje sprejemnike, z nadaljevanjem inverzije pa se postopno upoštevajo podatki vedno bolj oddaljenih sprejemnikov. Ker s seizmično tomografijo ne moremo ugotavljati ostrih hitrostnih diskontinuitet, dobimo zglajeno sliko strukturnih razmer. Strukture preiskanega območja so pri tomografski inverziji prikazane z obliko in potekom hitrostnih izolinij in z barvno lestvico.

Na sliki 5 so predstavljene tri iteracije tomografske inverzije za profil Alp02. Pri prvi so vidne le plitvejše strukture, pri drugih dveh pa tudi strukture v večjih globinah. Med strelnima točkama pri Vojniku (32060) in Ivanić Gradu (32070) se lepo vidi strukturna poglobitev izolinije seizmične hitrosti 6 km/s, ki približno ustreza meji sedimentnih kamnin. JV od strela 32070 se pojavlja visokohitrostna cona s seizmično hitrostjo med 6 in 7 km/s, na globini manjši od 5 km, kar je precej plitveje kot na preostalem delu profila, in lahko nakazuje intruzije magmatskih kamnin. Izolinija 8 km/s približno ustreza poteku Mohorovičićeve diskontinuitete. Med streloma pri Vojniku in Ivanić Gradu se ta, po podatkih inverzije, nahaja na globini do 40 km, medtem ko se proti strelni točki pri Slavonskem Brodu spusti na globino 45 km. To se ne ujema z do sedaj znanimi podatki, ki za to območje kažejo manjše globine Mohorovičićeve diskontinuitete. Razlog za tako odstopanje je verjetno v tem, da metoda seizmične tomografije v teh globinah ni več tako zanesljiva. Tomografska inverzija ni pojasnila strukturnih razmer pod prvimi tremi strelnimi točkami, kjer je gostota seizmičnih žarkov premajhna, do strela 32050 (Jezerško) pa je ugotovljena le struktura v plitvejših delih. Vzrok je v slabši kvaliteti podatkov zaradi večjega dušenja tistih strelnih točk, ki so bile

sprožene v karbonatnih kamninah, kar je omogočalo določanje prihodov Pg faze le na krajših razdaljah.



Slika 5. Rezultat tomografske inverzije za profil Alp02; a) 20. iteracija, b) 40. iteracija, c) 80. iteracija. S sivo barvo so prikazana območja, ki niso bila dovolj pokrita s seizmičnimi žarki. S črnimi trikotniki in številkami so označene lokacije strelnih točk. Izolinije predstavljajo hitrosti P valov v km/s.

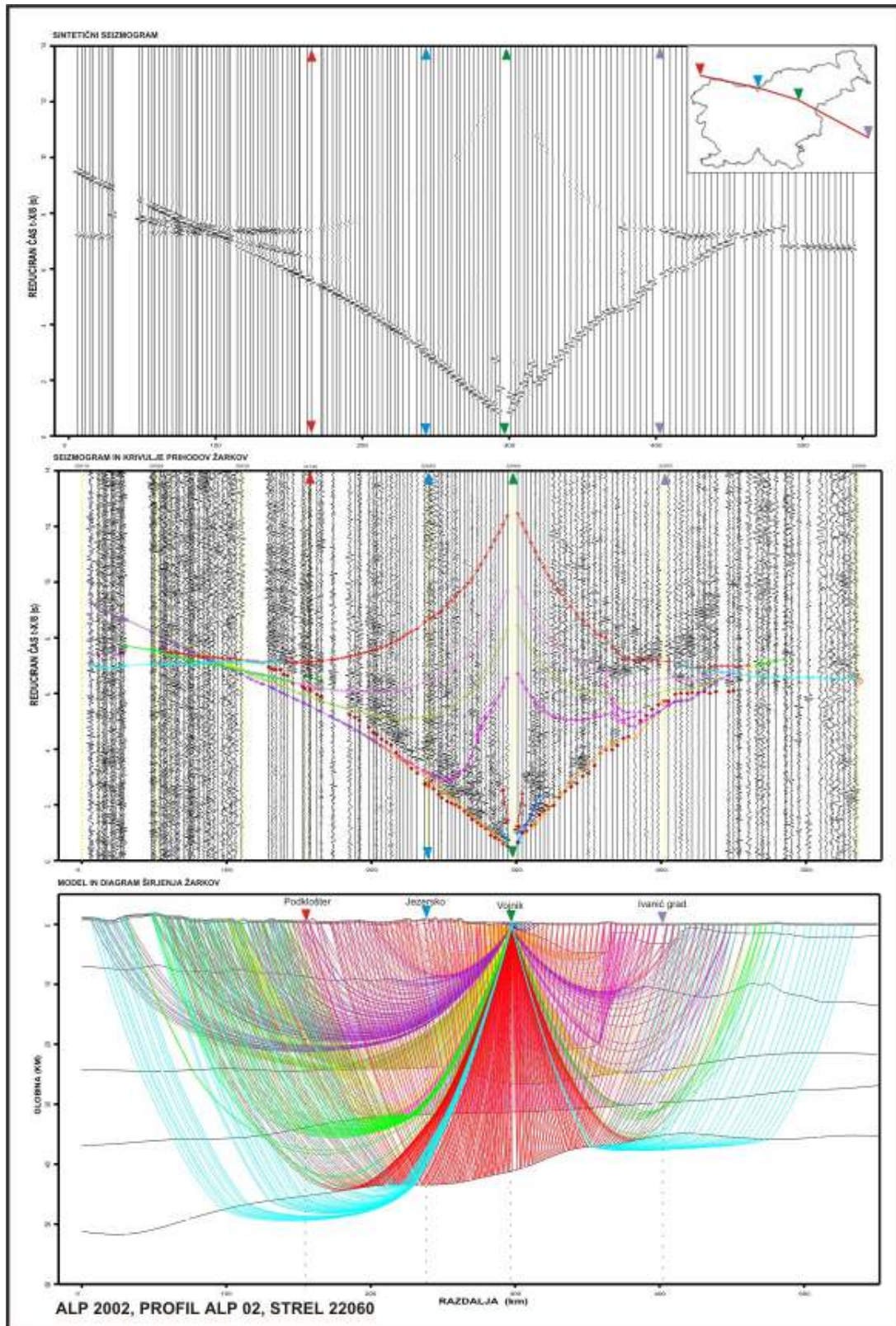
Figure 5. Results of the tomographic inversion done for Alp02 line; a) 20. iteration, b) 40. iteration, c) 80. iteration. The areas with deficient ray coverage are shown in grey colour. Shoot point locations are shown with black triangles. The isolines represent P wave velocities in km/s.

Modeliranje z metodo sledenja žarkov

Dvodimenzionalno seizmično modeliranje smo izvedli z računalniškim programom Seis83 (Červený in Pšenčík, 1983; Komminaho, 1997), ki temelji na metodi sledenja žarkov. Začetni model smo postavili na osnovi podatkov prejšnjih raziskav (npr. Scarascia in Cassinis, 1997; Dragašević et al., 1990) ter podatkov tomografske inverzije. Na modelu smo definirali šest hitrostnih mej, ki ločujejo glavne strukture v Zemljini skorji (površinska plast, plast slabše konsolidiranih sedimentnih kamnin, plast masivnih sedimentnih kamnin, plast magmatskih kamnin, srednji del skorje, spodnji del skorje in vrhnji del plašča). Za vsako od plasti, ki jih omejujejo našteje meje, smo določili mejne vrednosti seizmičnih hitrosti na štirih ogliščih, ki opredeljujejo vertikalni in horizontalni hitrostni gradient v posamezni plasti. Na osnovi teh podatkov program izračuna žarke, ki se lomijo in/ali odbijejo na posamezni meji, število žarkov v vsaki skupini, pot njihovega širjenja skozi 2D profil in amplitude posameznih valov. Velika prednost nadgradnje programa Seis83 je grafični vmesnik (Komminaho, 1997) za vnos in popravljanje modela ter možnost prenosa izračunanih parametrov (žarki, časi prihodov, sintetični seizmogrami) v program ZPLOT, kjer rezultate modeliranja primerjamo z izmerjenimi podatki.

Na sliki 6 je predstavljen rezultat modeliranja za strelno točko pri Vojniku. Prikazani so sintetični seizmogram, seizmogram s krivuljo časov modeliranih prihodov in žarki skozi postavljeni model. Različne barve označujejo različne faze - poti valov skozi model. Oranžna barva odraža refraktirane žarke na bazi klastičnih sedimentov, temno modra barva pa reflektirane žarke od te meje. Vijolična barva predstavlja refrakcijo od baze sedimentnih kamnin, medtem ko so refleksi od te plasti predstavljeni z rožnato barvo. Turkizno modra barva pripada refrakciji na Mohorovičičevi diskontinuiteti, refleksi od meje med skorjo in plaščem pa so predstavljeni z rdečo barvo. Druge barve pripadajo refraktiranim in reflektiranim žarkom na ostalih hitrostnih mejah.

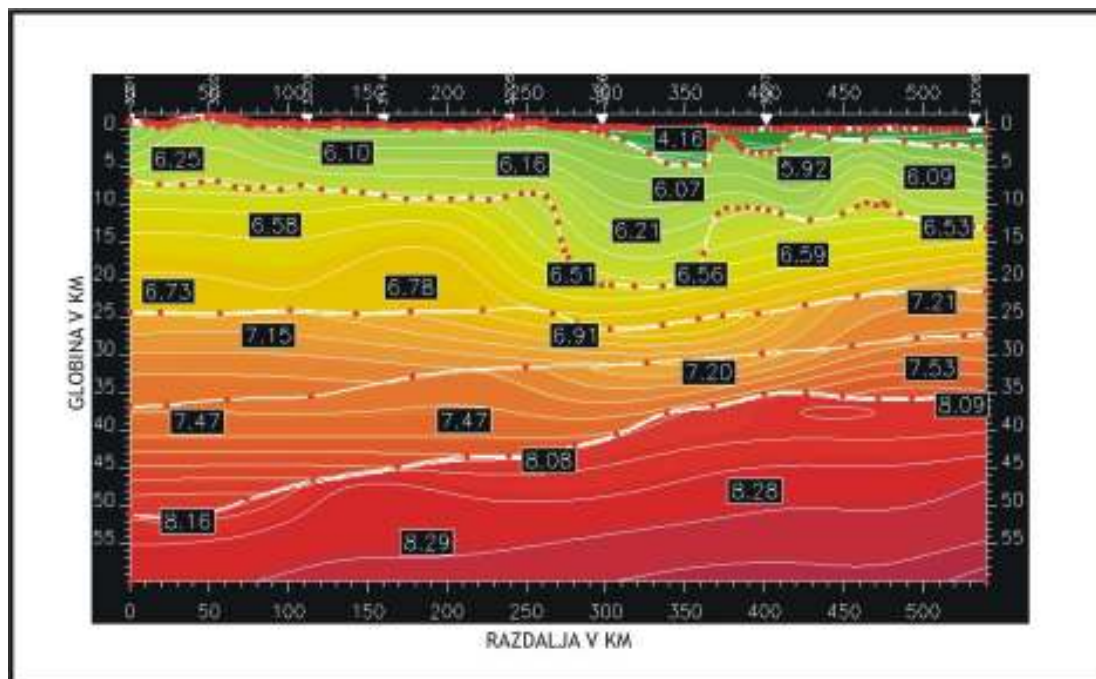
V tej fazi smo se pri modeliranju osredotočili na strukture zgornjega dela Zemljine skorje in na Mohorovičičevo diskontinuiteto, za ostale hitrostne meje pa smo podali le bolj splošen potek (slika 7). V zelo redkih primerih pripada čas prvega prihoda na seizmografu, ki je bil najbližji strelni točki, refrakciji od spodnje meje površinske plasti, oziroma na plasti nekonsolidiranih ali slabo konsolidiranih sedimentov z vrednostmi seizmične hitrosti od 2-3 km/s. Časi prvih prihodov žarkov z vrednostmi seizmične hitrosti okoli 4-4,5 km/s, ki so kot prvi prihodi opazni na seizmografih, ki so bili oddaljeni 4-60 km, se pojavljajo na delu profila JV od strelne točke 32050 ter predstavljajo spodnjo mejo plasti slabše konsolidiranih sedimentnih kamnin. Na oddaljenosti med 5 in 115 km od strelnih točk, ustrezajo časi prvih prihodov žarkom refraktiranim na bazi sedimentnih kamnin (faza Pg) na SZ delu profila, medtem ko so ti prihodi opazni kot prvi prihodi na odseku profila JV od strelne točke 3114 na oddaljenosti 10-100 km, na skrajnem JV profila pa na oddaljenosti do 80 km od strelne točke. Na oddaljenosti 100-120 km od posamezne strelne točke pripadajo, na odseku profila, ki poteka prek Alp, prvi prihodi žarkom, refraktiranim na Mohorovičičevi diskontinuiteti. Na območju Celjske kotline se opazi, da so ti prihodi bolj zgodnji in so na seizmogramih prisotni že na oddaljenosti 90 km, medtem ko so na območju Panonskega bazena vidni že na oddaljenosti okoli 75 km.



Slika 6. Rezultati modeliranja vzdolž profila Alp02 za strelno točko 32060 (Vojnik); zgoraj: sintetični seizmogram; v sredini: seizmični zapis s časi prihodov P faz modeliranih žarkov; spodaj: diagram sledenja žarkov.

Figure 6. Modelling results for Alp02 line calculated for 32060 (Vojnik) shoot point; top: synthetical seismogram; middle: seismic record with time arrivals for P seismic phases of modeled rays; bottom: ray-tracing diagram.

Geološka interpretacija



Slika 7. Model pod površja vzdolž profila Alp02 izdelan z modeliranjem v programu Seis83. Bele črte so hitrostne izolinije, na nekaterih mestih pa so v kvadratih podane vrednosti seizmične hitrosti (km/s).

Figure 7. Subsurface model along Alp02 line done in Seis83 modelling program. White lines represent velocity isolines. Seismic velocity values (km/s) are shown in black boxes.

V nadaljevanju podajamo geološko interpretacijo šestih plasti modela profila Alp02 (slika 7), ki je rezultat modeliranja z metodo sledenja žarkov. Vrhnja plast ustreza pretežno klastičnim sedimentom. Na območju Alp je ta plast izredno tanka in ne presega debeline 150-200 m, razen v alpskih dolinah, kjer so plasti holocenskih ledeniških in rečnih sedimentov debelejšje. V samih Alpah pa gre verjetno za območje bolj preperelih karbonatnih kamnin. Omenjena plast se močno odebeli na delu profila JV od strelne točke pri Vojniku, torej na območju Celjske kotline. Ta poglobitev je verjetno povezana s sedimentacijskim bazenom. Debelina plasti na tem območju znaša do 5 km. Na območju Medvednice med streloma pri Vojniku in Ivanič Gradu se debelina plasti zmanjša na 1,5 km (Kastelic, 2003). Zmanjšanje debeline plasti sedimentov na tem delu je povezano s pojavljanjem višje hitrostne cone v večjih globinah, ki jo geološko predstavljajo magmatske intruzije ter kompleksi metamorfni kamnin Medvednice. JV od strela 32070 se debelina plasti zopet poveča in ostane do konca profila skoraj konstantna. Naslednja plast ustreza predvsem karbonatnim kamninam, po vrednostih seizmičnih hitrosti pa so v tej plasti lahko prisotne tudi magmatske kamnine kisle sestave. Na območju Alp se ta plast pojavlja le nekaj kilometrov od površja pa vse do globine 13 km. Med streloma 32020 in 32030 je na območju Turskega okna hitrostna anomalija z vrednostmi hitrosti do 6,2 km/s. Debelina plasti je vse od začetka profila pa do strelne točke 32050 večinoma konstantna, približno pri Solčavi pa pride do velike poglobitve, ki jo omejuje strma cona. Poglobitev je široka približno 100 km in je SZ od strela 32070 zopet omejena s strmo cono. Na tem območju sega omenjena plast vse do globine 20 km, kar predstavlja poglobitev za 10 km v primerjavi z njeno povprečno globino. Vrednost seizmične hitrosti v tej coni

znašajo 6,2 km/s, kar je za take globine nizka vrednost. To nakazuje globoko cono sedimentnih kamnin, ki so bile pogreznjene ob tektonskih strukturah, ali pa so se že sedimentirale na območju, ki je bilo v prejšnjih procesih deformirano v tako stanje. JV od omenjene poglobitve se plast ponovno nahaja na povprečni globini 13 km z rahlimi dvigi na območju Medvednice in Papuka, verjetno zaradi že pri prejšnji plasti opisanih struktur.

Strukture v globljih delih skorje so nakazane le približno, vidne pa so posamezne anomalije višje hitrosti ter spremembe debelin posameznih struktur. Za bolj podrobno sliko pa bo potrebno z modeliranjem nadaljevati. Struktura Mohorovičićeve diskontinuitete kaže na dvig iz globine 51 km na območju pod Alpami na globino 35 km pod Panonskim bazenom.

Sklepi

Rezultati opravljenih analiz so pokazali, da je za dobro interpretacijo zelo pomembna kvaliteta merskih podatkov. Tako lahko podatke z dobrim razmerjem signal/šum pričakujemo le pri streljih v manj kompaktnih sedimentnih kamninah, kjer se le manjši del pri eksploziji sproščene energije porabi za drobljenje kamnine.

V celotnem profilu Alp02 se globina do Mohorovičićeve diskontinuitete postopoma dviga od približno 51 km na zahodu do približno 36 km na vzhodu. Na območju med Mozirjem in Medvednico je na dolžini 100 km vidna večja strukturna poglobitev baze sedimentov iz sicer dokaj stalne globine 8 km na 21 km. Omenjeno anomalijo lahko potrdimo z vsemi metodami določitve hitrostnih kontrastov. Med Mozirjem in Medvednico se anomalija odraža tudi v višjih plasteh, kot poglobitev plasti najnižje hitrosti, ki predstavlja pretežno klastite in karbonatne kamnine nižjih gostot. Cona se pojavi v Celjski sinklinali in poteka preko pretežno miocenskih in pliocenskih klastitov do Medvednice, kjer se podobno kot baza sedimentov dvigne praktično do površja. V območju med Medvednico in Papukom v Panonskem bazenu dosega globino okoli 2 km. Omenjena globina klastitov sovпада s podatki globokih vrtin na Hrvaškem. Anomaliji Medvednice in Psunja sta opazni le pri rezultatih modeliranja in tomografske inverzije, medtem ko je anomalija med Mozirjem in Medvednico zaradi večjega obsega vidna tudi na kontrastno šibkejšem izračunu presečnih časov.

Za natančnejšo strukturno podobo in 3D model poteka Mohorovičićeve diskontinuitete ter sestave skorje bo potrebno analizirati tudi ostale profile projekta Alp 2002. Dobljeni podatki bodo omogočili povezavo interpretacije z večjimi strukturnimi enotami.

Zahvala

Predstavljeni rezultati predstavljajo le del aktivnosti delovne skupine projekta Alp 2002 (Alp 2002 Working Group), ki jo vodi prof. Ewald Brueckl iz Tehnične univerze na Dunaju. Izvedba projekta ne bi bila mogoča brez pomoči številnih sodelavcev Urada za seizmologijo in geologijo Agencije RS za okolje in študentov geologije in fizike, ki so opravili večino terenskega dela. Vsem prisrčna hvala. Raziskave v Sloveniji je financirala Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo.

Literatura

- Aljinović, B., Prelogović, E., Skoko, D. 1987: Novi podaci o dubinskoj geološkoj građi i seizmotektonski aktivnim zonama u Jugoslaviji. *Geološki vjesnik*, 40, 255-263, Zagreb.
- Aric, K., Gutdeutsch, R., Klinger, G., Lenhardt, W. 1987: Seismological studies in the Eastern Alps. In: Fluegel, H.W., Faupl, P. (eds): *Geodynamics of the Eastern Alps*, 325-333, Deuticke, Vienna.
- Brueckl, E., Gosar, A., Hegedus, E., Hrubcova, P., Sumanovac, F. 2003: Alp 2002 - seismic experiment and first results. *Geophysical Research Abstracts*, Vol. 5, 10872, Katlenburg.
- Červený, V., Pšenčík, I. 1983: SEIS83 – numerical modelling of seismic wave fields in 2-D laterally varying layered structure by the ray method. World data center, Boulder.
- Dragašević, T., Andrić, B., Joksović, P. 1990: Strukturna karta Mohorovičićevog diskontinuiteta Jugoslavije sa tumačem, 1: 500 000. *Zvezni geološki zavod*, 46 str., Beograd.
- Gosar, A. 2003: Raziskave litosfere jugovzhodnih Alp s 3D refrakcijsko seizmiko (projekt Alp 2002) – meritve v Sloveniji. *Geologija* 46/1, 103-113.
- Hole, J.A. 1992: Nonlinear high-resolution three-dimensional seismic travel time tomography. *Journal of Geophysical Research*, 97, 6553-6562, Washington.
- Kastelic, V. 2003: Refrakcijske seizmične raziskave litosfere na območju jugovzhodnih Alp. Diplomsko delo, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo, 126 str.
- Komminaho, K. 1997: Software manual for programs MODEL and XRAYS – s graphic interface for SEIS program package. University of Oulu, rep. no. 20, 31 pp.
- Scarascia, S., Cassinis, R. 1997: Crustal structures in the central-eastern Alpine sector: a revision of available DSS data. *Tectonophysics*, 271, 157-188, Amsterdam.
- Zelt, C.A., Smith, R.B. 1992: Seismic travelttime inversion for 2-D crustal velocity structure. *Geophys. J. Int.*, 108, 16-34.

SEIZMOMETER V VRTINI BOREHOLE SEISMOMETER

Izidor Tasič

***Izvleček.** Pri postavljanju novih opazovalnic državne mreže je bilo potrebno na nekaterih potresnih opazovalnicah izvrtati vrtino, ki je segala globlje od geološko neugodnih preperelih kamnin. Le tako smo lahko seizmometer postavili na seizmogeološko ugodno podlago. Za take opazovalnice smo uporabili posebne seizmometre. Namestitev in orientacija seizmometrov v vrtini je bolj zapletena od klasične namestitve.*

***Abstract.** In order to set up a seismometer on a suitable rock (from a seismological point of view) during the process of installation of new seismic stations in Slovenia, we had, on some locations, to drill a borehole through a weathered rock. For these observation points special seismometers were used. The installation and orientation of the seismometers in the borehole is rather more complicated than the classical method.*

Uvod

Potresno opazovalnico sestavljajo seizmometer, zajemalna enota s sistemom točnega časa in komunikacijski vmesnik. Priporočljivo je, da je seizmometer v neposrednem stiku s trdno kamnino, ki ima ugodne geofizikalne lastnosti (visoko seizmično impedanco). Da se izognemo prepereli kamnini, ki je ponavadi na površini in je v seizmološkem smislu neugodna, postavimo senzor v nekaj metrov globok jašek. Kadar je debelina neugodne geološke podlage prevelika (stroški izdelave jaška bi postali izredno veliki), potem uporabimo vrtino z ustrežno globino. Pri izboru lokacij potresnih opazovalnic so strokovnjaki-geologi predvideli, da bomo v državni mreži potresnih opazovalnic glede na dane finančne in tehnične zmožnosti potrebovali štiri senzorje v vrtini.

Vrtinski senzor

Seizmometri, ki jih uporabljamo v državni mreži potresnih opazovalnic, so tipa CMG-40T angleškega proizvajalca Guralp System. To pomeni, da imajo vsi senzori enake tehnične lastnosti, vendar so senzori za vrtino nekoliko drugače oblikovani (Guralp, 1995). Vrtinski senzor se od običajnega sensorja za namestitev na prostem površju, ki je primeren za postavitve v jašku, razlikuje predvsem po obliki. Oba sensorja sta valjaste oblike, le da ima senzor za jašek večji premer (168 mm) in manjšo višino (210mm). Premer vrtinskega sensorja je 90 mm, višina je 942 mm. Pri sensorjih, ki jih uporabljamo, je razlika tudi v nastavitvi občutljivosti. Senzorji za vrtino imajo dvakrat večjo izhodno napetost, ki je funkcija hitrosti.

Oba sensorja imata na vrhu priključek za kabel. Vrtinski senzor ima še dodatno ojačevalno enoto, ki je v bližini zajemalne enote. Za prenos signalov in napajanje sensorja uporabljamo samonosilni kabel.

Namestitev senzorjev

Do konca leta 2002 so bile zgrajene tri opazovalnice, na katerih je bila predvidena namestitev senzorjev v vrtini. Na njih je bila nameščena oprema in vzpostavljena komunikacija s središčem za obdelavo podatkov v Ljubljani. To so potresne opazovalnice z oznakami GOLS (Goliše), LEGS (Legarje) in PDKS (Podkum). Te potresne opazovalnice so podobno grajene kot ostale tipske opazovalnice državne mreže potresnih opazovalnic, le da je na dnu jaška še vrtina s premerom cevi 11,5 cm. Na opazovalnici PDKS je vrtina globoka 15,7 m, na lokaciji GOLS 16,8 metra, na lokaciji LEGS 15,5 metra. Namestitev in primarno orientacijo senzorjev so opravili strokovnjaki podjetja Kinometrics.

Vrtina mora biti suha in v njej ne sme biti ostankov vrтанja oziroma gradbenega materiala. Pri namestitvi senzorjev v vrtino potrebujemo zelo kvaliteten in izredno suh kremenčev pesek (s čim manjšim premerom zrn). V vrtino najprej nasujemo nekaj peska, tako da se podlaga na dnu vrtine izravna. Nato se začne spuščanje seizmometra. Pri spuščanju senzor navežemo na jekleno vrv (Slika 1), ki ostane na senzorju tudi po namestitvi, da ga lahko ob morebitni okvari ponovno izvlečemo. Na senzor pritrdimo priključni kabel dolžine 20 m (Slika 2), ki vodi do predojačevalne enote v jašku. Ker se lahko zgodi, da se kasneje vrtina napolni z vodo, mora biti pruključek vodotesen. Celoten sklop naj bi zdržal vodni stolp velikosti 100 metrov. Nato z jeklenico počasi spuščamo senzor na dno vrtine (Slika 3). Ko je na dnu, prostor med cevjo in inštrumentom zapolnimo s kremenčevim peskom do višine 30 cm. Istočasno se s pomočjo ročne nadzorne enote HCU (Hand Control Unit) preverja naklon senzorja (Slika 4). Senzor mora biti postavljen navpično. Ko je seizmometer v pravi legi, ga s peskom zasujemo skoraj do roba.



Slika 1. Vrh seizmometra z jeklenico

Figure 1. The top of the seismometer with a steel-wire



Slika 2. Pritrjevanje konektorja na seizmometer
Figure 2. The connector is fastened to the seismometer



Slika 3. Spuščanje seizmometra v vrtino
Figure 3. Lowering of the seismometer in the borehole



Slika 4. Kontrola lege seizmometra s HCU enoto
Figure 4. The control of the seismometer's position with an HCU unit

Orientacija senzorjev

Seizmometri so trikomponentni; vsak seizmometer vsebuje tri senzorje premikov, ki so postavljeni v treh pravokotnih straneh. Po dogovoru postavljamo seizmometre tako, da so posamezne komponente seizmometra postavljene v smeri vzhod - zahod (oznaka E-W), v smeri sever-jug (oznaka N-S) in navpično. Vendar seizmometra CMG-40T po namestitvi v vrtino ni mogoče več fizično obrniti, saj jeklenica ni toga. Vrtenja seizmometra okoli svoje osi v času spuščanja v vrtino ne moremo nadzorovati, zato označimo vodoravni komponenti z oznakama 1 in 2. Orientacija seizmometra v vrtini se določi naknadno s pomočjo senzorja na površini, ki ga postavimo začasno in je »pravilno« orientiran. Za orientacijo seizmometra v vrtini moramo poznati kot, ki ga komponenta 1 oklepa s smerjo vzhod - zahod in komponenta 2 s smerjo sever - jug. Ko poznamo orientacijo seizmometra v vrtini, podatke, ki jih beleži seizmometer, v središču za obdelavo podatkov v Ljubljani pretvorimo programsko iz lastnega v novi koordinatni sistem.

Primarno orientacijo senzorjev so opravili strokovnjaki podjetja Kinometrics. Za oceno smeri senzorjev so uporabili postopek koherence dveh signalov, imenovan AZ (Holcomb, 2001). Referenčni senzor naj bi bil na trdni kamnini. Pri tem postopku uporabljamo zajemalno enoto Q730, ki vzorči signal s frekvenco 1 vzorec na sekundo. Pri tako nizki frekvenci vzorčenja lahko določimo smer seizmometra s pomočjo seizmičnega nemira, ki ga povzroča morje oziroma ocean, in se širi daleč v notranjost celine. Ker lahko Q730 zajema samo signal iz treh komponent, lahko uporabljamo za primerjavo samo eno komponento seizmometra na površini. Seizmometer, ki je bil v času meritve nameščen na površini, je pošiljal v Q730 signal iz komponente v smeri vzhod - zahod.

Program AZ numerično »obrne« senzor v vrtini za kot 1° . Ko se zavrti za 360° , poišče kot z največjim ujemanjem signalov obeh seizmometrov.

Preglednica 1. Orientacija senzorjev v vrtini (Kinematics, 2002).

oznaka opazov.	azimut (v smeri ure od severa)	ujemanje	pripombe
GOLS	194 193	0.6597 0.3802	referenčni senzor ni bil postavljen na stabilni podlagi, zato smer ni zanesljiva
LEGS	24 20 23	0.6870 0.6695 0.6197	referenčni senzor ni bil postavljen na stabilni podlagi, zato smer ni zanesljiva
PDKS	153 or 333 336 or 156 344 or 164	0.0849 0.0687 0.0536	referenčni senzor ni bil postavljen na stabilni podlagi in ni bil toplotno izoliran, zato smeri ni bilo možno določiti

Table 1. The orientation of the borehole sensors (Kinematics, 2002)

Station Code	Azimuth (clockwise from North excl. magnetic deviation)	Coherence	Comments
GOLS	194 193	0.6597 0.3802	Reference sensor was not installed on stable surface; therefore azimuth not reliable
LEGS	24 20 23	0.6870 0.6695 0.6197	Reference sensor was not installed on stable surface; therefore azimuth not reliable
PDKS	153 or 333 336 or 156 344 or 164	0.0849 0.0687 0.0536	Reference sensor was not installed on stable surface and thermal isolation was not given; therefore azimuth could not be defined

S svojo oceno orientacije senzorjev strokovnjaki iz Kinematicsa niso bili zadovoljni, ker gradbena izvedba opazovalnice za tako meritev ni bila predvidena.



Slika 5. Referenčni senzor je postavljen na rob jaška

Figure 5. The reference sensor is set up on the edge of the shaft

Ker na opazovalnicah ni bilo primerne podlage za namestitev referenčnega seizmometra, rezultati nastavitve smeri senzorja v vrtini niso bili najboljši. Izvleček poročila podjetja Kinometrics je v preglednici 1. Referenčni senzor so namreč položili ali na PVC podlago na dnu jaška opazovalnice (Slika 6), ali pa na betonski rob jaška (Slika 5). Ko je bil seizmometer na robu jaška, ni bil termično zaščiten in je bil zato občutljiv na vremenske pojave, kot so sprememba temperature in veter. PVC podlaga pa je termično nestabilna ravno v frekvenčnem območju, ki je zanimivo za meritve. Zato je referenčni senzor beležil dodatne motnje, ki so vplivale na natančnost pri orientaciji senzorjev.

Zato smo kasneje, ko smo dodatno opremili dve potresni opazovalnici s stebričkom za površinski senzor, ponovno opravili meritve. Pri teh meritvah smo imeli dve zajemalni enoti Q730. Na prvo je bil priključen seizmometer v vrtini, na drugo pa referenčni senzor. Enoti Q730 sta vzorčili izhodni signal senzorjev s frekvenco dvesto vzorcev na sekundo. Ob takem vzorčenju je bilo možno uporabiti zapise regionalnih potresov za določitev orientacije senzorja v vrtini. Pri obdelavi podatkov sem iskal največjo korelacijo signalov med komponento senzorja v vrtini in komponento senzorja na površini.



Slika 6. Referenčni senzor je postavljen na dno jaška
Figure 6. The reference sensor is set up on the bottom of the well

Izdelali smo program, ki je numerično »vrtel« seizmometer v vrtini za 360° s korakom $0,1^\circ$ in določili kot, ki ustreza največji korelacije med zapisoma potresa na obeh seizmometrih (Pavešič, 1992; Bradley, 1997). Rezultati meritev so v preglednici 2.

Prednost uporabe dveh zajemalnih enot Q730 je v tem, da lahko med seboj primerjamo zapise iz dveh pravokotno postavljenih senzorjev, komponenti E-W in N-S. V kolikor je kot med E-W komponento seizmometra na površini in komponento 1 seizmometra v vrtini enak kotu

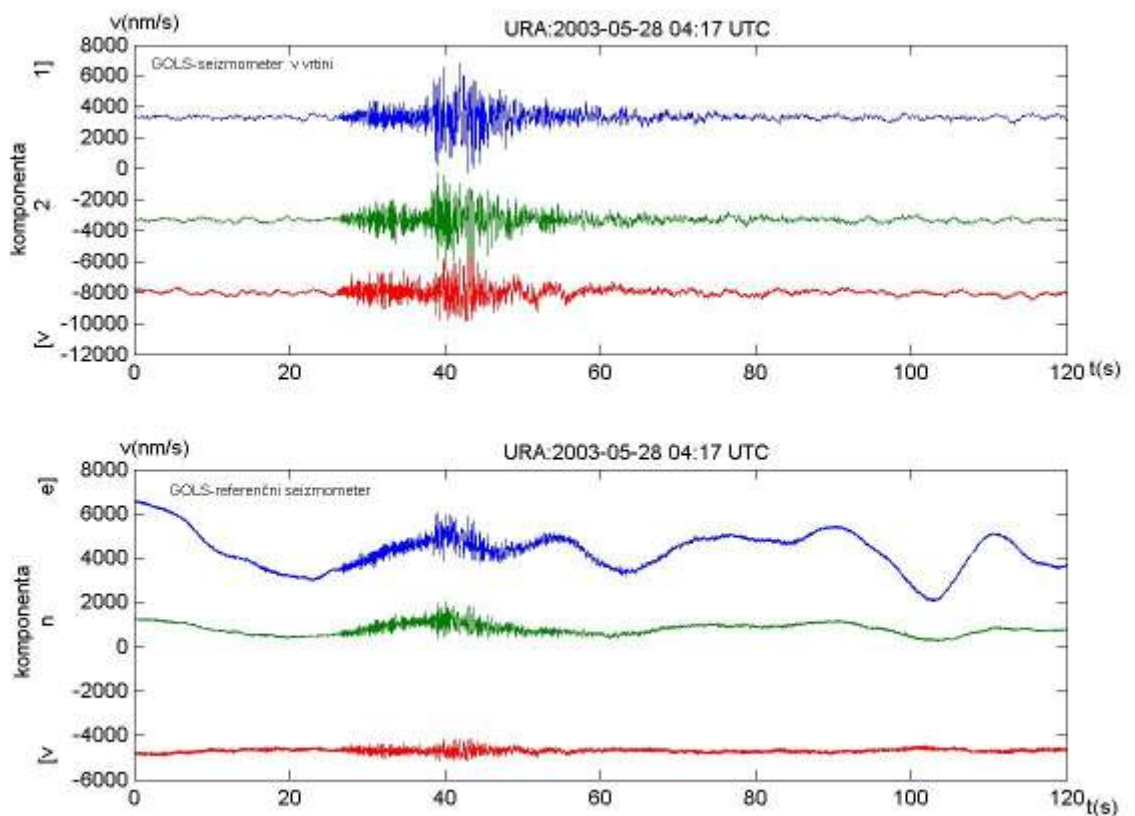
med komponento N-S seizmometra na površini in komponento 2 seizmometra v vrtini, je ocena kota seizmometra v vrtini zadovoljiva.

	GOLS ° v smeri urnega kazalca	LEGS ° v smeri urnega kazalca	PDKS ° v smeri urnega kazalca
ZASUK	188,4°	19,4°	155,3°
OCENA NAPAKE	± 1,0°	± 0,2°	± 0,5°



Slika 7. Zasuk senzorjev v vrtini glede na referenčni senzor

Figure 7. The turn of the borehole sensor according to the reference sensor



Slika 8: Opazovalnica GOLS, zapis dogodka s seizmometrom v vrtini (zgoraj) in s seizmometrom na površini (spodaj)

Figure 8: The event recorded on GOLS seismic station with the borehole (above) and the freefield (below) seismometer

Meritve so bile opravljene v maju in juniju 2003. Pred tem smo na potresnih opazovalnicah PDKS in LEGS naknadno zgradili stebrička v jašku, kamor smo lahko postavili referenčni senzor. Na vsaki opazovalnici je meritev potekala teden dni. V tem času smo zagotovo zabeležili vsaj dva regionalna potresa na vsaki opazovalnici. Za vsako opazovalnico sem analiziral več zapisov potresov. V končnem poročilu sem uporabil samo en zapis za vsako opazovalnico – tisti zapis, ki je za posamezno opazovalnico prinesel največjo vrednost v korelaciji med signaloma. Na opazovalnici GOLS smo postavili senzor na dno jaška s PVC podlago.

Na opazovalnici GOLS je prihajalo do okvar napajalnika in prekinitve omrežne napetosti 230 V, tako, da se je občasno izklopil referenčni sistem. Za izračun smeri senzorja v vrtini so bili uporabljeni samo zapisi šibkih lokalnih potresov, zato je pri izračunu določitve kota prišlo do večjih napak. Z uporabo različnih filtrov smo prišli do zadovoljivih rezultatov.

Preglednica 2. Orientacija seizmometrov v vrtini glede na referenčni seizmometer

Table 2. The orientation of the borehole seismometers in the according to the reference sensor

		GOLS	LEGS	PDKS
DOGODEK	datum	2003-05-28	2003-06-09	2003-06-11
	ura UTC	04:17	07:08	20:21
ORIENTACIJA				
	kot zasuka E-W	-171,6° (188,4°)	-340,6° (19,4°)	-204,5° (155,5°)
	korelacija E-W	0.949	0.999	0.998
	kot zasuka N-S	-171,7° (188,3°)	-340,6° (19,4°)	-204,9° (155,1°)
	korelacija N-S	0.964	0.999	0.998
filter*	frekvenca	[2.5 12.5] Hz	[0.5 12.5] Hz	[0.5 12.5] Hz
	časovno okno	73.56 s	578.59 s	115.89 s

*pri vseh zapisih sem uporabil Butterworth filter tretjega reda.

Napake pri oceni orientacije senzorjev

- napaka v amplitudi: amplitudi med površinskim senzorjem in senzorjem za vrtino sta se razlikovali za faktor 2. Kasneje se je izkazalo, da so bile napačne nastavitve za senzorje v vrtini v središču za obdelavo podatkov (programska oprema ANTELOPE).
- napaka pri določitvi severa: sever so določili zunanji izvajalci pri čemer pa je sama označba severa nenatančna. Tudi ni znan podatek, ali je to magnetni ali geografski sever
- napaka zaradi slabe podlage: največja napaka je na lokaciji GOLS. Na opazovalnici GOLS smo postavili senzor na dno jaška, na PVC podlago. PVC dno ni dobro vklopljeno z betonskim ovojem in vnaša v meritev dolgoperiodno motnjo (Slika 8), ki pa pri našem postopku le delno vpliva na rezultate. Na ostalih dveh opazovalnicah so prebili PVC dno in naredili dodatni betonski stebriček, kar je povečalo natančnost meritve.
- napaka v sinhronizaciji GPS ure: ker uporabljamo dve enoti Q730, lahko pride do zamika vzorčenja signalov. Ocenjujemo, da je natančnost obeh ur Q730 večja od 0,05 sekunde in je zato napaka zaradi zamika signala zanemarljiva.
- napaka zaradi slabih podatkov: pri tem postopku želimo imeti zapisane regionalne potrese s čim večjimi amplitudami nihanja tal. Žal je imela lokacija GOLS slab napajalnik, ki je občasno izklopil referenčni merilni sistem. Zato imamo v času meritev zabeležene samo šibke lokalne dogodke.

Pri ponovljeni meritvi za določitev orientacije senzorjev so sodelovali:

- postavljanje referenčnih senzorjev na opazovalnicah: Matjaž Gostinčar, Jože Prosen, Igor Pfundner, Peter Sinčič, Izidor Tasič,
- priprava baze v središču za obdelavo podatkov in zajem podatkov: Martina Torkar, Griša Močnik,
- izračun in obdelava meritev: Izidor Tasič.

Literatura

Bradley. J., 1997: Matlab statistics toolbox. The MathWorks Inc., Natick, USA

Guralp System, 1995: CMG-40T Broadband seismometer Operator's guide. Guralp System Limited, Berks, England.

Holcomb, L., G., 2002: Experiments in Seismometer Azimuth Determination by Comparing the Sensor Signal Outputs with the Signal Output of an Oriented Sensor. Albuquerque Seismological Laboratory, Open-File Report 02-183, Albuquerque Seismological Laboratory, USA.

Pavešič, N., 1992: Razpoznavanje vzorcev, Fakulteta za elektrotehniko in računalništvo, Slovenija, Ljubljana.

Ribarič, V., 1984: Potresi. Cankarjeva Založba, Ljubljana.

ZNAČILNOSTI IN DELOVANJE KOMUNIKACIJSKIH POVEZAV V OMREŽJU POTRESNIH OPAZOVALNIC

CHARACTERISTICS AND PERFORMANCE OF COMMUNICATIONS IN THE SEISMIC NETWORK

Bojan Uran

***Izvleček.** Potresne opazovalnice državne omreže uporabljajo za povezavo in prenos podatkov v središče za obdelavo podatkov TCP/IP protokol. Ogleдали si bomo teoretične značilnosti TCP/IP protokolnega sklada in kako deluje komunikacija v praksi. Opisane so ugotovitve spremljanja komunikacij treh inštrumentov Quanterra Q730 z observatorija Golovec s središčem za obdelavo podatkov in tipične napake, ki se pri tem pojavljajo.*

***Abstract.** Communications in Seismic Network of the Republic of Slovenia are founded on TCP/IP protocol. We will discuss theoretical background of the TCP/IP protocol stack, its implementation and performance in the system. Detailed network traffic analysis between three Quanterra Q730 instruments at Golovec Observatory and the centre for data acquisition and analysis at the Head Office are also described.*

Uvod

Na delovanje komunikacij in prenosa podatkov znotraj omrežja potresnih opazovalnic vpliva precej različnih parametrov. Mreža potresnih opazovalnic je sistem za beleženje potresov s središčem za obdelavo podatkov (SOP) v prostorih Urada za seizmologijo in geologijo pri Agenciji RS za okolje in potresnimi opazovalnicami v raznih krajih Slovenije. Za povezovanje med njimi in prenos podatkov uporabljamo prostrano omrežje Centra Vlade za informatiko - hitro komunikacijsko hrbtenico državnih organov (HKOM), ki temelji na IP protokolu. Posamezne opazovalnice so kot krajevna računalniška omrežja prek usmerjevalnika povezane na HKOM. Ponavadi je tam samo en inštrument, lahko pa jih je tudi več. Posebno pozornost bomo posvetili observatoriju Golovec, kjer je več inštrumentov nove mreže in tudi center starega omrežja inštrumentov Nanometrics.

Na HKOM se priključujemo v vozliščih, ki so razporejena po vsej Sloveniji. Povezava do najbližjega vozlišča je običajno z najeto linijo in ustreznim modemom. HKOM si lahko predstavljamo kot oblak, saj za razliko od klicnega dostopa nimamo vzpostavljene neposredne povezave med računalnikoma. Zaradi vgrajene redundance povezav lahko na primer poteka povezava s seizmografom na Muti preko Maribora ali preko Dravograda in se usmerjevalnik sam odloči, kam bo poslal paket.

Osnove TCP/IP protokolnega sklada

Za lažje razumevanje modela komunikacij vzemimo ISO/OSI referenčni model za povezovanje odprtih sistemov. Odprti sistemi so računalniški sistemi, ki temeljijo na odprtih standardih in omogočajo prosto povezljivost. Posamezna opravila pri komunikaciji so razdeljena na sedem plasti, ki komunicirajo na točno določen način samo s sosednjima plastema. To omogoča spreminjanje funkcionalnosti v določeni plasti, ne da bi bilo zato potrebno spreminjati ostale.

V prvi plasti, ki jo imenujemo fizična plast, nastopajo električni signali, ki jih prenašamo po določenem sredstvu med opazovalnicama, ki sodelujeta v komunikaciji. Naprave, ki sodelujejo pri povezovanju v tej plasti, so koncentratorji (hub), ki so v bistvu obnavljalniki signalov z več vhodnimi vrati. Druga plast je podatkovna plast, ki skrbi recimo za osnovne pakete z informacijami. V njej najdemo premoščevalnike (bridge) in stikala (switch), s katerimi omejujemo kolizijske domene in s tem razdelimo omrežje glede na dovoljene MAC naslove. V tretji plasti, ki jo imenujemo omrežna, so definirani protokoli, ki skrbijo za pošiljanje paketov podatkov in njihovo usmerjanje glede na IP naslove. Z usmerjevalniki (router) ločimo krajevni promet od prometa v druga omrežja. Četrta ali prenosna plast skrbi za to, da paketi podatkov dejansko pridejo do naslovnika in za odpravljanje napak pri prenosu. Peta plast skrbi za vzpostavitev seje med odjemalcem in strežnikom. Šesta ali predstavitevna plast spravi podatke v obliko, ki jo lahko ostale plasti razumejo. Sedma plast je uporabniška plast, v kateri so definirane aplikacije za prenos podatkov, terminalski strežnik, elektronsko pošto, nadzor delovanja in drugi. Za povezovanje omrežij, ki nimajo nič skupnega, se uporabljajo omrežni prestopniki (gateway).

TCP/IP protokolni sklad ima enako funkcionalnost, le da ima samo štiri plasti, kar pomeni, da določene funkcionalnosti združuje v posamezni plasti. Povezovalna plast združuje plasti 1 in 2 OSI referenčnega modela. Pri krajevnih omrežjih je to običajno Ethernet IEEE 802.3. Viri napak pri ethernet tehnologiji so trki, oddajni čas signala, ki je daljši ali krajši od dovoljenega, napaka pri prenosu okvirja, premajhno ali preveliko število oddanih ali sprejetih bitov, število sprejetih bitov in polje »length« se ne ujemata in predolga sekvenca preambule okvirja.

Omrežna plast in IP protokol

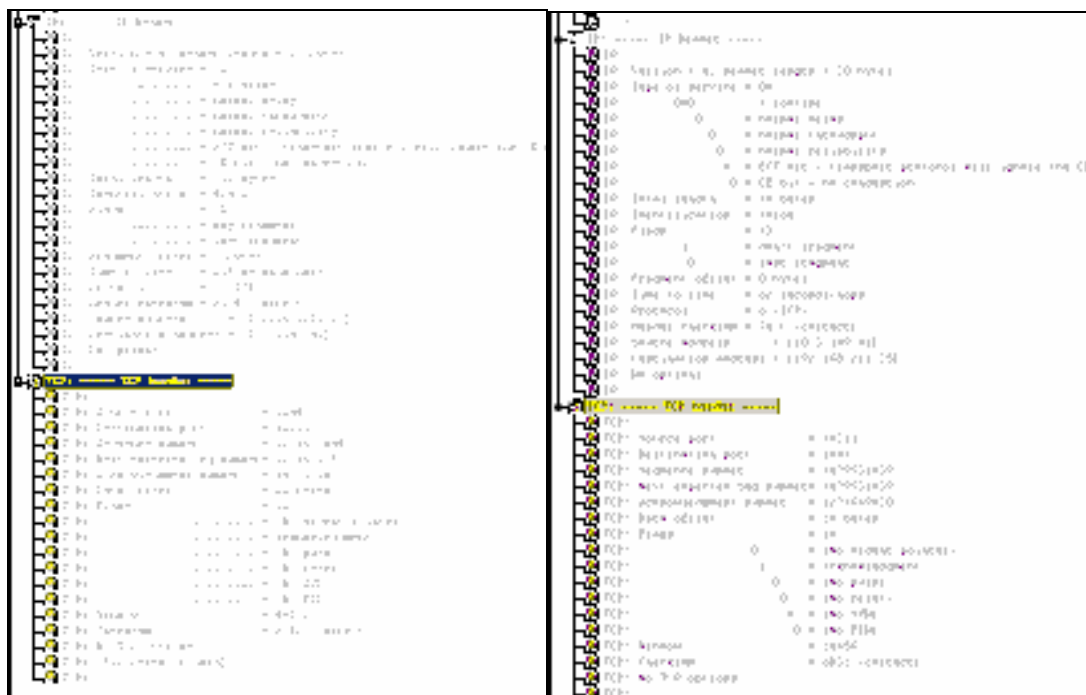
V omrežni plasti imamo IP (internet protokol), ki skrbi za prenos paketov ali datagramov, to je blokov podatkov po omrežju in njihovo usmerjanje. Vsak paket je enota zase in ga usmerja ne glede na sosednje pakete, ki so lahko z njim povezani. IP protokol prav tako ne preverja, ali so paketi dejansko prišli do naslovnika, oziroma če so prišli v pravilnem zaporedju. V paketih ni informacije o tem, da je paket mogoče del večjega zaporedja. IP protokol ne ve, ali je bil paket izgubljen, oziroma je prišel izven pravilnega zaporedja. Zaradi tega je IP nezanesljiv protokol in potrebujemo protokol v višji plasti, ki poskrbi za zanesljivost dostave paketov.

IP doda paketku, ki ga dobi od višje plasti, še svoje zaglavje, ki vsebuje IP naslova obeh in nekaj kontrolnih polj, od katerih je zanimivo polje TTL (time to live). Oddajnik postavi polje TTL na določeno vrednost (običajno 64), potem pa se ta vrednost zmanjša za eno pri prehodu vsakega usmerjevalnika, ki je na poti do sprejemnika. Če traja prehod čez usmerjevalnik več kot 1 sekundo, se zmanjša vrednost še za število sekund, potrebno za prenos. V praksi se uporablja polje TTL za določanje števila usmerjevalnikov, ki so na poti, recimo s programom Traceroute. TTL predstavlja tudi varnostni mehanizem, ki preprečuje, da bi paket večno taval po spletu. Ko postane TTL enak nič, je paket odstranjen in se pošlje oddajniku obvestilo z uporabo protokola ICMP (internet control message protocol) iz TCP/IP protokolnega sklada.

Prenosna plast in TCP protokol

V prenosni plasti TCP/IP sta pravzaprav dva protokola: protokol TCP (transmission control protocol) in UDP (user datagram protocol). UDP je zelo preprost protokol, ne zahteva vzpostavljene povezave in tudi ne dodaja pravzaprav kakšne dodatne zanesljivosti IP. Uporablja se pri prenosu zvoka in videa, kjer je bolje, da se kakšen datagram izgubi, kot da bi zaradi ponovnega pošiljanja prišel izven pravega vrstnega reda. Pogosto se uporablja tudi pri seizmoloških omrežjih zaradi svoje preprostosti in delovanja v realnem času. Inštrument samo pošilja podatke in se ne obremenjuje s tem, ali so podatki dejansko prispeli na cilj. Morebitne izgubljene datagrame naknadno zahteva program v računalniku, ki zbira podatke, se pravi aplikacija nad OSI referenčnim modelom. Tako se zagotovi celovitost podatkov ob čim boljši učinkovitosti.

Inštrumenti Quanterra Q730 imajo možnost izbire TCP ali UDP protokola, kar je odvisno seveda od programa v SOP. Ta pri nas uporablja le TCP protokol. TCP protokol je po svoje bolj zanimiv za razvijalce, saj vsebuje vrsto mehanizmov za odpravo napak pri komunikaciji. Uporablja se pri večini internetnih aplikacij, kot so HTTP, FTP, telnet, ...



Slika 1. IP in TCP zaglavje paketa (levo) in potrditev tega paketa (desno)
Figure 1. IP and TCP header of a package (left) and its acknowledgement (right)

Komunikacija z uporabo TCP protokola se prične z vzpostavitvijo povezave med dvema računalnikoma, od katerih je en strežnik in drugi odjemalec. Potem pričneta s prenosom podatkov. Program, ki uporablja TCP ve, ali so bili vsi podatki, ki so bili poslani, tudi sprejeti na drugi strani in da če so bili sprejeti brez napak. Zaradi stalnega potrjevanja prejetih paketov je manj učinkovit kot UDP. V primeru težav pri komunikaciji se lahko precej podaljša čas potovanja paketa. TCP uporablja kontrolno vsoto v glavi paketa in na podatkih v paketih. Ko je paket sprejet, TCP pošlje potrditev pošiljalcu. Če ta ne dobi potrditve v določenem času po odposlanju paketa, ponovi pošiljanje.

Večjo datoteko razdeli TCP protokol na manjše bloke, ki jih opremi z zaglavjem. Za TCP je značilna uporaba portov, tako da vemo, kateri protokol je poslal oziroma pričakuje podatke. Standardni porti so recimo 20 in 21 za FTP, 23 za telnet, 80 za HTML. Temu sledi v zaglavju številka sekvence in naslednja pričakovana številka sekvence, kar označuje lego v zaporedju podatkov. Ta številka omogoča TCP, da ohranja pravilni vrstni red tudi v primeru, da kakšen paket zamudi. Na sliki 1 je prikazan tipičen paket s podatki ene od Quanterra z opisanimi polji in potrditev prejema tega paketa s strani strežnika v SOP.

V naslednjem polju je številka potrditve (acknowledgment number), ki obvesti pošiljalca, da so bili podatki pravilno prenešeni. Sledijo zastavice, od katerih je SYN (synchronise sequence number) uporabljena pri vzpostavljanju povezave, FIN (finished sending data) pa pri prekinitvi povezave. Če je ACK zastavica (acknowledgment flag) postavljena, je v tem polju lega naslednje besede podatkov, ki jih pošiljatelj segmenta pričakuje.

Pri TCP ni nujno, da potrdimo vsak paket podatkov, temveč lahko potrjujemo več paketov skupaj, pri čemer je ACK zastavica znak za zahtevek potrditve pravilnega prenosa vseh podatkov od zadnjega potrjenega paketa do tega paketa. To prihrani pasovno širino, saj vsak ACK zahteva 60 znakov dolgo sporočilo, v primerjavi s 566 znaki, kolikor je velik paket s podatki z instrumenta Quanterra Q730. Pri težavah na liniji pa to po drugi strani pomeni, da je v primeru napake pri prenosu potrebno ponovno poslati večje število paketov, od katerih so mogoče nekateri že itak bili pravilno sprejeti.

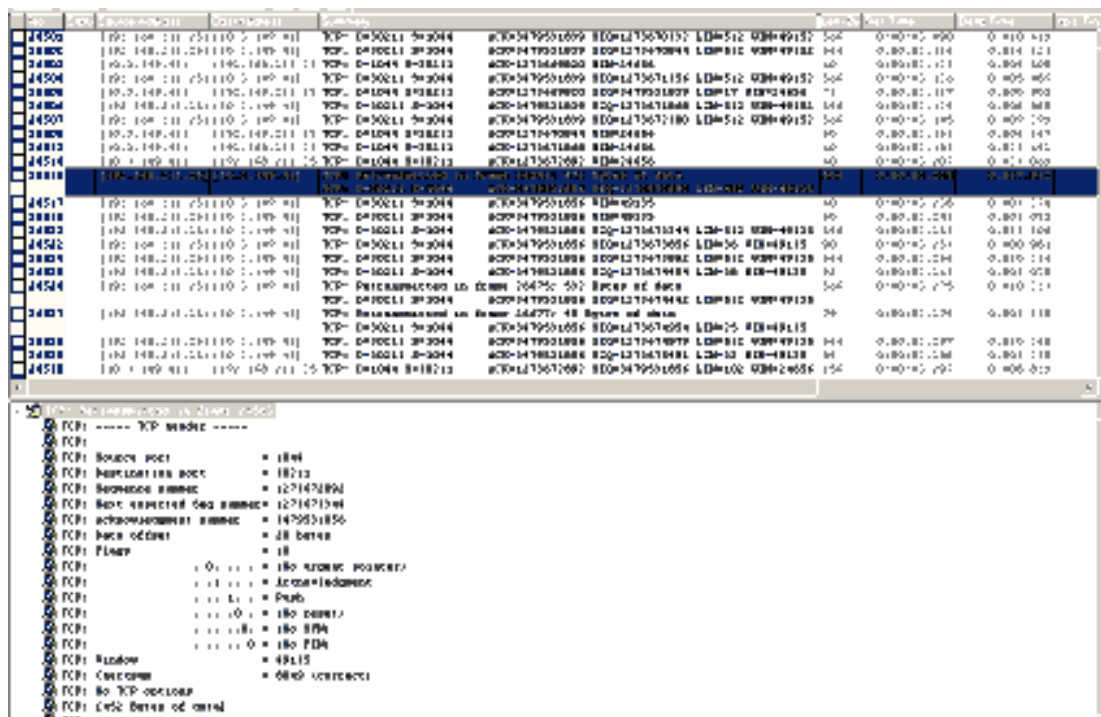
Za nadzor toka podatkov je uporabljeno polje window, ki prikazuje velikost razpoložljivega vmesnega pomnilnika sprejemnika. Če je vrednost enaka nič, pošiljatelj preneha s pošiljanjem, dokler ne dobi od sprejemnika paket z zastavico ACK in od nič različno vrednostjo polja window.

Pri prenosu enega samega znaka ali nekaj znakov postane TCP neučinkovit, saj se pri prenosu doda temu še zaglavje. Za izboljšanje učinkovitosti se uporablja Nagleov algoritem, ki poskrbi, da se posamezni znaki združijo v en paket, preden se pošljejo, razen, če ni prej prišla potrditev o sprejemu prejšnjega segmenta s strani sprejemnika in do nastavljenega časovnega okna do dolžine 500 ms.

Najbolj običajna težava pri TCP je, da je posamezni segment izgubljen ali vsebuje napako. Če ni potrdila o sprejemu s strani sprejemnika v določenem času, pošiljatelj še enkrat pošlje paket. Na sliki 2 je prikazano zaporedje paketov, ki vsebuje tudi ponovno poslane pakete. Ta čas je odvisen od hitrosti povezave. Protokol nadzoruje čas, ki je običajno potreben od pošiljanja paketa do njegove potrditve. Ta čas uporabi kot zakasnitev pred ponovnim pošiljanjem paketa. Če spet ni potrditve v določenem času, poveča zakasnitev in poskuša, dokler ne dobi odziva ali bolj običajno, dokler ne pride do zakasnitve, ki je določena v aplikaciji.

Za razumevanje delovanja TCP je zanimiv še podatek, da se paketki pošiljajo samo takrat, ko je potrebno prenesti podatke in ni nikakršnega pretoka paketov samo zato, da bi se preizkušal status povezave. Če komunikacijska linija pade, tega ne bo opazil noben od povezanih računalnikov, dokler ne bosta spet poskušala prenesti podatke. Od težav, ki lahko nastopijo, pa še tale. Lahko se zgodi, da ima sprejemnik zapolnjen vmesni pomnilnik (vrednost polja

window enak nič), vendar se po sprostitvi pomnilnika izgubi paket z informacijo o tem, da lahko spet sprejema. V takšnem primeru nastane pat položaj, v katerem oba čakata na potezo drugega.



Slika 2. Promet v omrežju v primeru napak in ponovnega pošiljanja paketov

Figure 2. Network traffic and data retransmission

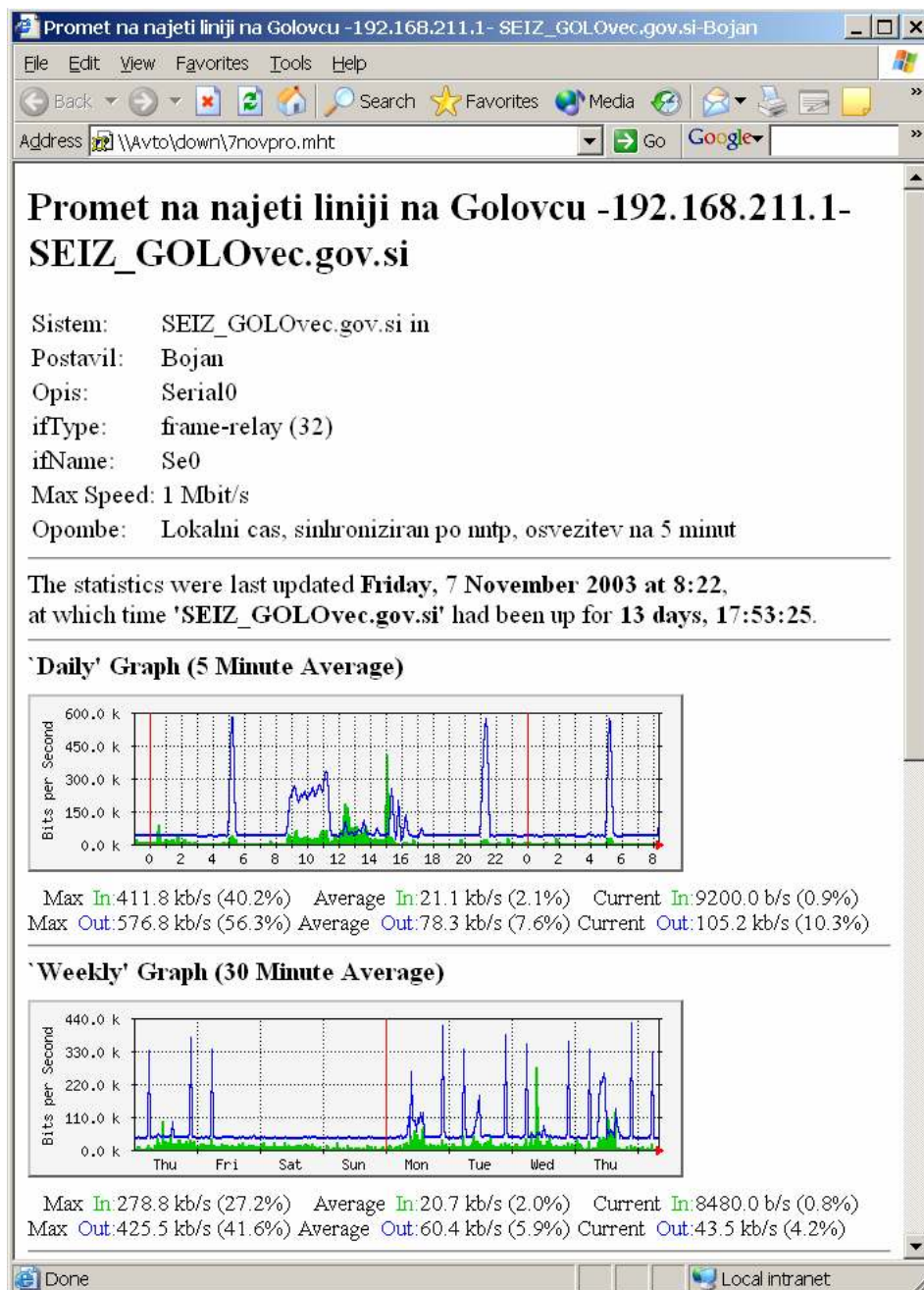
Omrežje na Golovcu

Krajevno računalniško omrežje na Golovcu ima zvezdasto topologijo na podlagi Ethernet tehnologije. Sestavljeno je iz štirih segmentov, ki so med seboj povezani na stikalu. V prvem segmentu so seizmološki inštrumenti (trije inštrumenti Quanterra Q730, opazovalnica LJU podjetja Nanometrics in računalnik za nadzor tega omrežja, ki sta na preostanku koaksialnega omrežja). V drugem segmentu so uporabniki v merilni sobi. Tretji del je namenjen seizmološki obdelavi podatkov. V četrtem segmentu stikala je usmerjevalnik, ki je prek modema in najete linije naša zveza s svetom. Promet med posameznimi uporabniki v segmentu ne vpliva na delovanje drugih segmentov.

Po ureditvi povezave med obema deloma hiše z optičnim kablom in obnovitvi hišne napeljave za najeti vod v letu 2002 deluje krajevno računalniško omrežje brez napak. Na žalost ni bilo dokončano ožičenje po vseh prostorih in zamenjana dotrajana električna inštalacija, tako da smo imeli v preteklem letu dve okvari. Pokvaril se je koncentrator, ki je imel že prej težave z napajanjem. Nadomestili smo ga z drugim, ki pa ni spoznal inštrumentov Quanterra Q730 in drugih uporabnikov na 10 Mbit/s. Zaradi tega je bilo potrebno improvizirati nekaj prevezav. Boljša rešitev bi sicer bila kupiti ustrezno stikalo.

Druga težava je bila s stikalom 3COM, ko so se na njem pokvarila ena od vrat. Verjetno je šlo za udar strele, ki je povzročila prenapetost, zaradi katere so pričele čudno delovati tudi druge aparature na observatoriju. Nekaj več o tem in vplivu na delovanje omrežja potresnih

opazovalnic si bomo ogledali v nadaljevanju. Stikalo deluje s hitrostjo 10 Mbit/s, z dodatnim vhodom za 100Base-TX, kjer je prek optičnega kabla in pretvornikov na 100Base-FX priključen preklopni koncentrador 10Base-T/100Base-TX iz drugega dela hiše.



Slika 3. Prikaz prometa po najeti liniji
Figure 3. Network traffic on the leased line

Redundanco povezav zagotavljamo z usmerjevalnikom Cisco z dodatnim ISDN vmesnikom. V primeru izpada najete linije usmerjevalnik sam preklopi na oba kanala ISDN linije, ki je tako kot najeta linija povezana v HKOM. Delovanje najete linije se je po težavah v letu 2002 in prej izboljšalo. Razlogi so trije. Težave so bile že z hišno telefonsko inštalacijo na Golovcu, kar smo v sodelovanju s CVI uredili po veljavnih standardih. Nekaj vzdrževalnih del je bilo na kablu ob Hradeckega cesti, kjer je včasih ob močnih nalivih prihajalo do težav. Dolžina najete

linije se je zmanjšala, ker je CVI vzpostavil novo vozlišče v Mostah. Tako se je dolžina najetega voda prepolovila in ni več na meji dometa našega SDSL modema. Prej je šla najeta linija mimo Most naprej do središča na Cigaletovi. Tudi hitrost prenosa smo povečali na 1 Mbit/s.

Za rezervno napajanje za krajše izpade omrežne napetosti skrbijo brezprekinitveni napajalniki. Po potrebi se zažene agregat, ki zagotavlja dolgotrajno oskrbo z električno energijo.

Pri izboljšanju stanja komunikacij velja omeniti še postavitev repetitorja za signal Mobitela. Zaradi izpostavljenosti lege na Golovcu imamo premočan signal GSM iz velikega števila baznih postaj, tako da se signali različnih oddajnikov med seboj ne ločijo po moči. Zaradi tega je bila pri komunikaciji večkrat motena in prekinjena zveza. Z repetitorjem smo s signalom pokrili notranje prostore. Ob močnih potresih so telefonske linije na observatoriju stalno zasedene in potrebujemo dodatni sistem za komunikacijo.

Delovanje računalniškega omrežja na observatoriju stalno spremljamo. Sproti nadzorujemo promet na usmerjevalniku in najeti liniji z uporabo SNMP protokola z grafi v realnem času. Na grafu takoj opazimo, če so prekinitve, preobremenjenost ali kakšne druge težave na najeti liniji, saj se spremeni količina podatkov, ki jih trije inštrumenti Quanterra Q730 stalno pošiljajo v SOP. Tipični promet po najeti liniji prikazuje slika 3. Največji promet je dvakrat dnevno, ko prenašamo podatke iz sistema Nanometrics v SOP in doseže okrog 60 % prepustnosti linije. Promet s treh inštrumentov Quanterra Q730 predstavlja manj kot 10 % zmogljivosti linije.

Za bolj podroben nadzor in merjenje prometa v krajevnem omrežju je potrebno uporabiti programe kot so Tcpdump, TracePlus, Netmonitor, ..., ki omogočajo spremljanje posameznih paketkov po omrežju in pokažejo vse napake in kritične točke pri komunikaciji. Za razumevanje delovanja si bomo pogledali nekaj tehničnih osnov TCP/IP protokolnega sklada.

Komunikacija v omrežju seizmoloških inštrumentov

Sedaj, ko bolje poznamo podrobnosti TCP/IP komunikacije, si pogledajmo, kako to poteka v primeru mreže potresnih opazovalnic. V SOP je računalnik SUN, na katerem teče sistem Antelope, katerega najpomembnejši del je program Orbserver. Ta program skrbi za komunikacijo z opazovalnicami na podlagi TCP/IP protokolnega sklada.

Komunikacija med Orbserver-jem in inštrumenti Quanterra Q730 je preprosta, saj za večino dela in zanesljivosti poskrbi TCP protokol sam. Quanterra Q730 pokliče Orbserver in vzpostavi povezavo na določenem vhodu na eni in drugi strani. Zatem Quanterra Q730 pošilja pakete s podatki, ki jih sprejemnik potrjuje, če so seveda prenešeni brez napak. Manjše napake pri prenosu odpravi TCP protokol sam. Če podatkov ni v prednastavljenem časovnem oknu, konča Orbserver povezavo s Quanterra Q730 na določenem portu. Zatem posluša zahteve za ponovno povezavo od Quanterra in vzpostavi po določenem času novo TCP povezavo na naslednjem portu na Quanterra, za eno višjem kot prej. Možno je nastaviti nekaj parametrov, npr. po koliko paketih je potrebno potrjevanje, razne zakasnitve, ...

Nadzor prenosa podatkov iz observatorija na Golovcu v SOP

Za nadzor komunikacij obstaja vrsta programov, ki poslušajo promet po krajevnem omrežju in beležijo nepravilnosti pri delovanju. Na observatoriju na Golovcu občasno spremljamo delovanje omrežja.

Večjih napak, padca najete linije ali drugih resnejših napak ali izpadov komunikacij pravzaprav v celem letu nismo imeli. Izjemi sta le dve okvari na napravah. Pokvaril se je koncentrator, ki smo ga nadomestili z drugim. Poleg tega se je pokvaril vhod na stikalu 3COM, na katerega je bil priključen usmerjevalnik. Izgubljali so se posamezni paketi. Delež izgubljenih paketov je bil okrog 20 % pri velikosti 512 znakov, pri manjših velikostih pa seveda manjši. Zanimivo je bilo, da so se občasno videli paketi iz drugega segmenta omrežja, kar se ne bi smelo zgoditi. Stikalo je kljub svoji nezanesljivosti še vedno v uporabi, seveda razen pokvarjenih vrat.

First Time	Duration	Severity	Description	Object
18/12/0005 11:05:32.75	<1ms	Minor	Ack: Too Long (3083ms)	TCP: [30.3.148.41] - [192.168.211.25] Port 30211 - 3043
18/12/0005 11:05:32.75	<1ms	Minor	Ack: Too Long (3093ms)	TCP: [30.3.148.41] - [192.168.211.25] Port 30211 - 3043
18/12/0005 11:05:34.493	<1ms	Minor	Ack: Too Long (2478ms)	TCP: [30.3.148.41] - [192.168.211.25] Port 30211 - 3043
18/12/0005 11:05:34.493	<1ms	Minor	Ack: Too Long (3490ms)	TCP: [30.3.148.41] - [192.168.211.25] Port 30211 - 3043
18/12/0005 11:05:48.210	<1ms	Minor	Ack: Too Long (3043ms)	TCP: [30.3.148.41] - [192.168.211.25] Port 30211 - 3043
18/12/0005 11:05:48.210	<1ms	Minor	Ack: Too Long (3054ms)	TCP: [30.3.148.41] - [192.168.211.25] Port 30211 - 3043
18/12/0005 11:05:48.210	<1ms	Minor	Ack: Too Long (3106ms)	TCP: [30.3.148.41] - [192.168.211.25] Port 30211 - 3043
18/12/0005 11:05:51.438	<1ms	Minor	Ack: Too Long (2290ms)	TCP: [30.3.148.41] - [192.168.211.25] Port 30211 - 3043
18/12/0005 11:05:51.438	<1ms	Minor	Ack: Too Long (2299ms)	TCP: [30.3.148.41] - [192.168.211.25] Port 30211 - 3043
18/12/0005 11:05:51.438	<1ms	Minor	Ack: Too Long (3318ms)	TCP: [30.3.148.41] - [192.168.211.25] Port 30211 - 3043
18/12/0005 11:06:20.754	<1ms	Minor	Ack: Too Long (3018ms)	TCP: [30.3.148.41] - [192.168.211.25] Port 30096 - 1775
18/12/0005 11:06:26.703	4m 50s 305ms	Minor	Retransmission	TCP: [30.3.148.41] - [192.168.211.25] Port 30096 - 1775
18/12/0005 11:06:26.815	<1ms	Minor	Ack: Too Long (953ms)	TCP: [30.3.148.41] - [192.168.211.25] Port 30096 - 1775
18/12/0005 11:06:28.368	<1ms	Minor	Ack: Too Long (2055ms)	TCP: [30.3.148.41] - [192.168.211.300] Port 30311 - 1038
18/12/0005 11:06:28.368	<1ms	Minor	Ack: Too Long (1399ms)	TCP: [30.3.148.41] - [192.168.211.300] Port 30311 - 1038
18/12/0005 11:06:44.571	<1ms	Minor	Ack: Too Long (4080ms)	TCP: [30.3.148.41] - [192.168.211.25] Port 30096 - 1775
18/12/0005 11:06:44.708	<1ms	Minor	Ack: Too Long (3097ms)	TCP: [30.3.148.41] - [192.168.211.25] Port 30096 - 1775
18/12/0005 11:06:44.708	<1ms	Minor	Ack: Too Long (3106ms)	TCP: [30.3.148.41] - [192.168.211.25] Port 30096 - 1775
18/12/0005 11:06:44.708	<1ms	Minor	Ack: Too Long (3207ms)	TCP: [30.3.148.41] - [192.168.211.25] Port 30096 - 1775
18/12/0005 11:06:44.708	<1ms	Minor	Ack: Too Long (4099ms)	TCP: [30.3.148.41] - [192.168.211.25] Port 30096 - 1775
18/12/0005 11:06:44.708	<1ms	Minor	Ack: Too Long (4154ms)	TCP: [30.3.148.41] - [192.168.211.25] Port 30096 - 1775
18/12/0005 11:06:44.708	<1ms	Minor	Ack: Too Long (4207ms)	TCP: [30.3.148.41] - [192.168.211.25] Port 30096 - 1775
18/12/0005 11:07:04.832	<1ms	Minor	Ack: Too Long (4003ms)	TCP: [30.3.148.41] - [192.168.211.25] Port 30096 - 1775
18/12/0005 11:07:04.832	<1ms	Minor	Ack: Too Long (4090ms)	TCP: [30.3.148.41] - [192.168.211.25] Port 30096 - 1775
18/12/0005 11:07:04.908	<1ms	Minor	Ack: Too Long (3399ms)	TCP: [30.3.148.41] - [192.168.211.25] Port 30096 - 1775
18/12/0005 11:07:04.908	<1ms	Minor	Ack: Too Long (3407ms)	TCP: [30.3.148.41] - [192.168.211.25] Port 30096 - 1775
18/12/0005 11:07:04.908	<1ms	Minor	Ack: Too Long (3457ms)	TCP: [30.3.148.41] - [192.168.211.25] Port 30096 - 1775
18/12/0005 11:07:34.341	<1ms	Minor	Ack: Too Long (3153ms)	TCP: [30.3.148.41] - [192.168.211.300] Port 30311 - 1038
18/12/0005 11:07:43.0	<1ms	Minor	Ack: Too Long (741ms)	TCP: [30.3.148.41] - [192.168.211.300] Port 30311 - 1038
18/12/0005 11:07:43.0	<1ms	Minor	Ack: Too Long (2603ms)	TCP: [30.3.148.41] - [192.168.211.300] Port 30311 - 1038
18/12/0005 11:07:43.11	1m 35s 125ms	Minor	Fast Retransmission	TCP: [30.3.148.41] - [192.168.211.300] Port 30311 - 1038
18/12/0005 11:07:47.308	<1ms	Minor	Ack: Too Long (514ms)	TCP: [30.3.148.41] - [192.168.211.25] Port 30096 - 1775
18/12/0005 11:07:52.998	2m 29s 281ms	Minor	Fast Retransmission	TCP: [30.3.148.41] - [192.168.211.25] Port 30096 - 1775
18/12/0005 11:08:03.252	<1ms	Minor	Ack: Too Long (3485ms)	TCP: [30.3.148.41] - [192.168.211.25] Port 30096 - 1775
18/12/0005 11:08:03.252	<1ms	Minor	Ack: Too Long (3486ms)	TCP: [30.3.148.41] - [192.168.211.25] Port 30096 - 1775
18/12/0005 11:08:03.252	<1ms	Minor	Ack: Too Long (3563ms)	TCP: [30.3.148.41] - [192.168.211.25] Port 30096 - 1775
18/12/0005 11:08:36.342	<1ms	Minor	Ack: Too Long (2064ms)	TCP: [30.3.148.41] - [192.168.211.300] Port 30311 - 1038
18/12/0005 11:08:36.342	<1ms	Minor	Ack: Too Long (1388ms)	TCP: [30.3.148.41] - [192.168.211.300] Port 30311 - 1038
18/12/0005 11:08:36.371	<1ms	Minor	Ack: Too Long (3205ms)	TCP: [192.168.211.56] - [193.2.237.28] Port 1398 - 80
18/12/0005 11:08:36.628	<1ms	Minor	Ack: Too Long (2279ms)	TCP: [30.3.148.41] - [192.168.211.25] Port 30211 - 3044
18/12/0005 11:08:36.628	<1ms	Minor	Ack: Too Long (2277ms)	TCP: [30.3.148.41] - [192.168.211.25] Port 30211 - 3044

Slika 4. Primer simptomov povezave v času, ko je Quanterra SL_LJU (IP 192.168.211.25) zamenjala vrata s 1043 na 1044

Figure 4. Symptoms of the connection in the time of the Quanterra SL_LJU (IP 192.168.211.25) port change from 1043 to 1044

V času napake pri dostopu do spleta ni bilo opaziti večjih komunikacijskih težav, saj je vse delovalo, mogoče le nekaj počasneje kot običajno. Povsem drug učinek je imela napaka na delovanje treh instrumentov Quanterra Q730, ki so na observatoriju na Golovcu. Opazovalnica z oznako LJU je imela zakasnitev 10.000 s, medtem ko sta ostali dve delovali

normalno! Prometa na najeti liniji je bilo v vsem tem času manj kot 100 kbit/s, kar je le 10% zmogljivosti hitrosti prenosa najete linije.

Če pogledamo običajne napake po ISO/OSI plasteh, opazimo pri komunikacijah nasploh, ne le z inštrumenti Quanterra Q730, da v nobeni plasti ni resnejših, temveč samo manjše napake. V aplikacijski plasti je včasih počasen prenos podatkov s FTP protokolom v omrežju Nanometrics, vendar se pri Quanterrah Q730 ne uporabljajo protokoli iz te plasti, zato tudi ni možnosti napak.

Pogoste, a manj pomembne napake so v prenosni plasti, se pravi pri TCP protokolu. Na primer, da se kakšna postaja ne odziva dovolj hitro in da je potrebno kakšen paket ponovno poslati. Vzrok za to je lahko preprosto povečan promet po omrežju, zaradi česar pride do daljših časov med oddajo paketa in potrditvijo dostave. Možen razlog je tudi prezaseden strežnik ali neprimerne nastavitve parametrov komunikacij. Običajno je pri napakah Orbserver pošiljatelj, kar se vidi tudi v spreminjanju števila paketkov s potrditvijo, ki se zaradi svoje velikosti 60 znakov ločijo od ostalih paketov. Običajno je število malih in velikih paketov podobno, ko pa so težave, se število malih zmanjša, lahko tudi samo na polovico velikih. V nižjih plasteh ISO/OSI modela ni opaziti napak.

Na sliki 4 so prikazani simptomi pri komunikaciji v času, ko je ena od Quanterr spremenila svoja vrata za komunikacijo. Vsi simptomi spadajo med manj pomembne. Ne gre za izpad linije, temveč za nekaj večje zakasnitve pri komunikaciji, ki ne predstavljajo nič nenavadnega.

Zaključimo lahko, da prenos podatkov med inštrumenti Quanterra z Golovca in Orbserver-jem z uporabo TCP/IP deluje brez resnejših napak. Napake so manjše, zgolj v prenosni plasti in jih TCP sam odpravlja. Zaradi različne obremenjenosti povezav in usmerjevalnikov ter strežnikov lahko pride do zakasnitev pri dostavi, oziroma izgubljenih paketov. V povprečju se povezava med posameznim inštrumentom Quanterra na Golovcu in Orbserver-jem prekine in ponovno vzpostavi skoraj vsak dan, kar se vidi iz številke vhoda, ki se povečuje. Tudi pri dostopu do intranetnih spletnih strani s statusom opazovalnic s strežnika v SOP pogosto ni odziva v predvidenem času.

Za bolj natančen opis posamezne težave bi seveda potrebovali vsaj podatek o obremenjenosti najete linije do SOP. Tu je težava, ker je na skupno linijo priključeno veliko število uporabnikov na MOPE in SOP, tako da se zasedenost linije in s tem odzivnost sistema lahko hitro spreminja.

Zamuda prihoda podatkov (data latency)

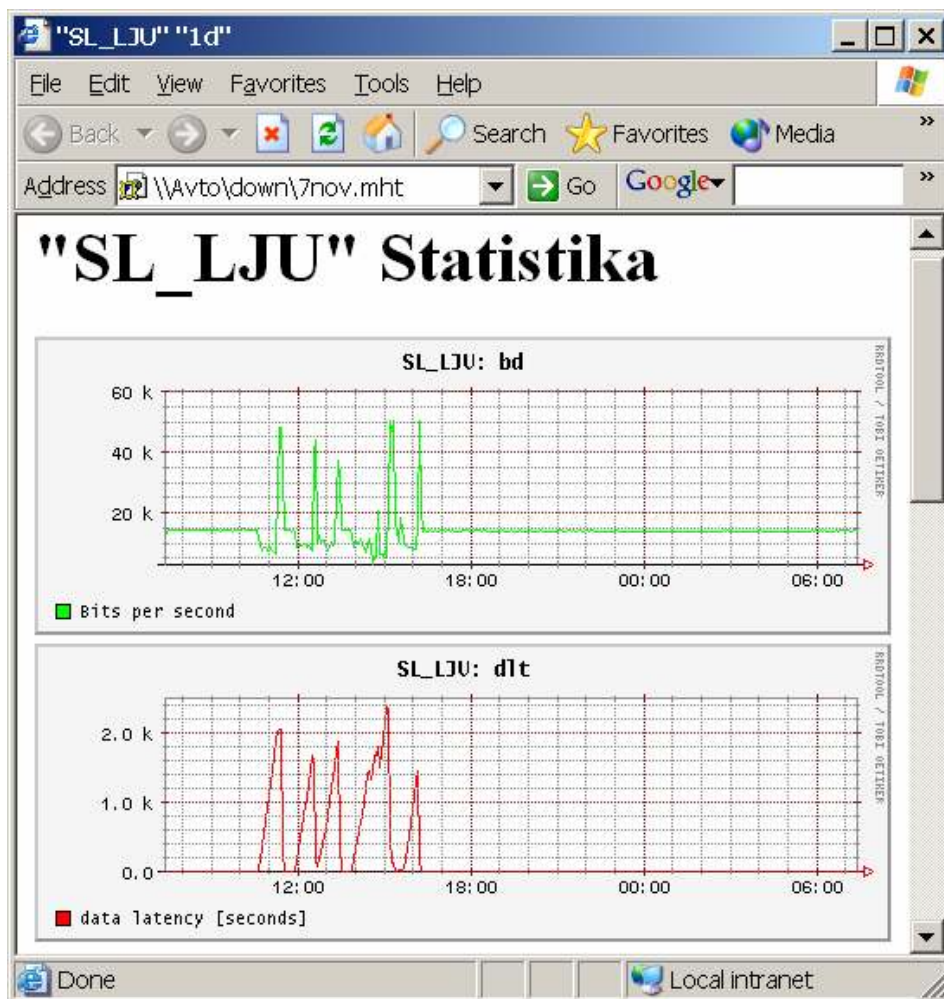
V računalniku SUN v SOP teče poleg Orbserver-ja še nekaj procesov. Med drugimi je tudi Orblatency, ki opazuje zamude pri prihodu podatkov (data latency). Kaj nam povedo zamude? Kažejo na težave pri delovanju sistema, nastavitvah parametrov komunikacij, medtem ko prave informacije o morebitnih izpadih komunikacij iz njih ne moremo dobiti. Običajno se zamude same zmanjšajo na običajne vrednosti. Uporabne so kot indikator in ne za morebitno opozarjanje na nedelovanje sistema. Zakasnitve je potrebno spremljati in analizirati z ostalimi podatki, kot so obremenjenost linij, usmerjevalnikov, inštrumentov, ... Pri tem je smiselno

uporabiti običajna računalniška orodja za nadzor računalniških omrežij, ki običajno uporabljajo SNMP protokol.

Dogodki, na katere je potrebno biti pozoren, so predvsem izpadi ali moteno delovanje najetih linij in komunikacijskih naprav (usmerjevalniki, modemi, ...). V takšnem primeru je potrebno ukrepanje in odprava napak.

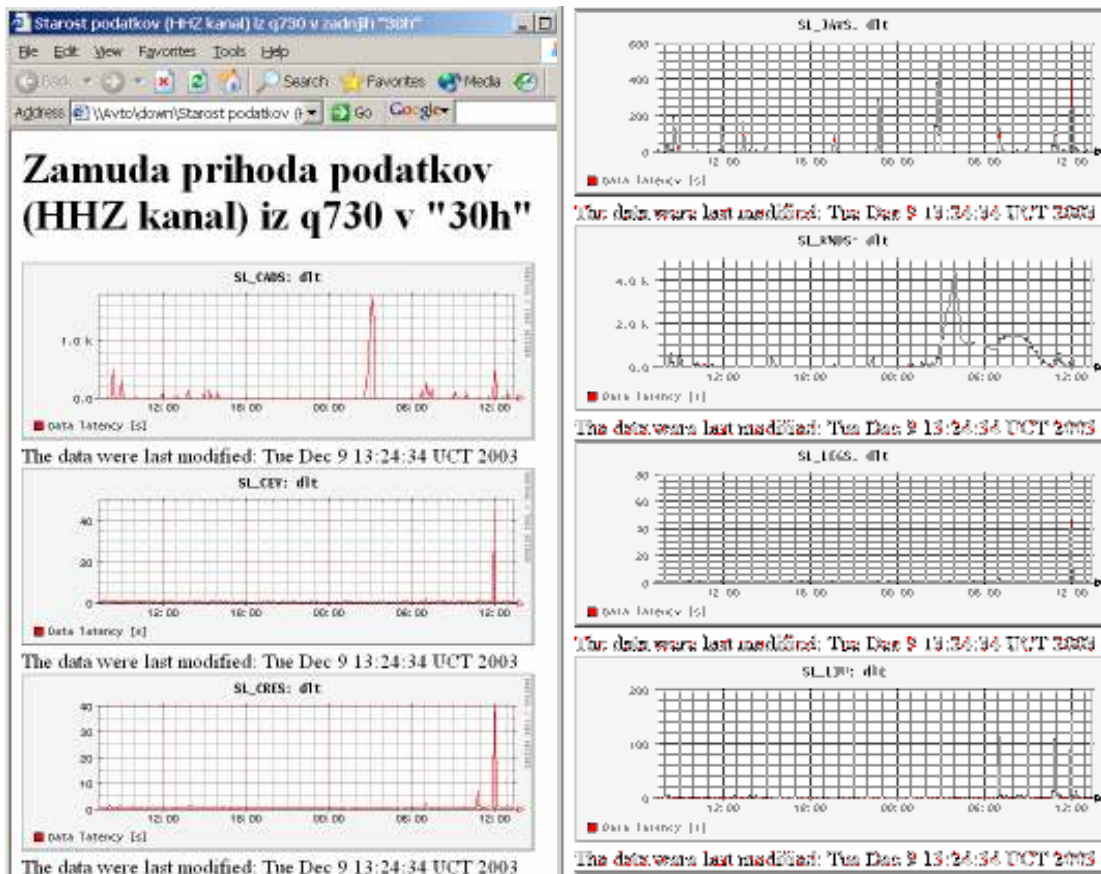
Za nadzor omrežij obstajajo razna orodja, na primer brezplačni Transcend network analyzer podjetja 3COM. Ta program avtomatsko meri odzivni čas za različne aplikacije, kot so http, ftp ali telnet. Pri opazovanju primerov daljših zamud pri prenosu podatkov z inštrumentov z Golovca se odzivni čas posameznega inštrumenta Quanterra Q730 na ftp ali http ni spremenil, kaj šele, da se takrat posamezna Quanterra Q730 ne bi javila. Promet po segmentu krajevnega omrežja z inštrumenti je bil majhen, prav tako promet prek usmerjevalnika. Težava torej ni bila na strani inštrumenta ali napake na prenosni liniji.

Slika 5 prikazuje zamude za Quanterro Q730 SL_LJU (IP številka 192.168.211.25). Zamude so zelo velike, čeprav promet po najeti liniji na sliki 3, ki prikazuje isto časovno obdobje, ne kaže na prekinitve linije.



Slika 5. Hitrost prenosa (zgoraj) in zamude (spodaj) podatkov s Quanterre SL_LJU
Figure 5. Bit rate (above) and data latency (below) for Quanterra SL_LJU

Zanimiva je tudi primerjava zamud med različnimi inštrumenti Quanterra Q730, kar je za 9. december 2003 prikazano na sliki 6. Zamude se lahko pojavijo na eni od opazovalnic, kar pomeni, da so težave omejene. Pogosto se sočasno pojavijo na vseh opazovalnicah, kar daje slutiti, da so težave med HKOM in SOP ali v SOP samem. Različen način priključitve na HKOM in tudi različne povezave v okviru HKOM vplivajo na to, kako hitro se z neko motnjo povzročene zamude spet normalizirajo.



Slika 6. Primer zamud podatkov z različnih Quanterra Q730. Opazimo sočasnost nekaterih zamud in njihovo različno velikost.

Figure 6. Data latency for different Quanterra Q730. Similar pattern and different values can be seen.

Sklep

Ogledali smo si osnove TCP/IP protokolnega sklada, na katerem sloni komunikacija med seizmološkimi inštrumenti Quanterra Q730 podjetja Kinemetrics in SOP v mreži potresnih opazovalnic. Mreža deluje brez večjih težav. Javljajo se le manjše zamude v podatkih, kar je opisano v članku. Analize smo delali za primer inštrumentov na opazovalnici Golovec.

Zamude niso posledica neodzivnosti posameznega inštrumenta Quanterra Q730 ali najete linije na opazovalnici, temveč verjetno preobremenjenost povezave SOP na HKOM, kar se na žalost ob sedanjih nastavitvah usmerjevalnika v SOP ne da potrditi ali ovreči. Nekaj optimizacije parametrov komunikacij bi verjetno odpravilo te zamude. Večje koristi podatek o zamudi sam po sebi ne predstavlja. V veliki večini primerov ni šlo za izpad ali omembe vredno napako na liniji, temveč za manjše motnje v delovanju, ki so se same odpravile.

Potrebno je vzpostaviti sistem nadzora na podlagi analize ranljivosti sistema in njegovih šibkih točk. V primeru ugotovljene napake je potrebno podati pripravljenemu delavcu točne podatke, da začne z akcijo za odpravo napake.

Za vsako opazovalnico bi bilo potrebno občasno narediti analizo prometa, odstraniti morebitne vzroke napak in optimirati njeno delovanje glede na značilnosti njene priključitve na HKOM in v mreže potresnih opazovalnic.

Literatura

Transmission Control Protocol, DARPA Internet Program, Protocol Specification, 1981.
www.rfc-editor.org/rfc/rfc793.txt

International Organization for Standardization: Open systems interconnection

<http://www.iso.ch/iso/en/CatalogueListPage.CatalogueList?ICS1=35&ICS2=100>

BRTT: Antelope System Manual, www.brtt.com/docs/ARTS.html

MOČNEJŠI POTRESI PO SVETU LETA 2002 WORLD'S LARGEST EARTHQUAKES IN 2002

Tamara Jesenko, Renato Vidrih

***Izvleček.** Vsako leto zatrese Zemljo več stotisoč potresov, ki presegajo magnitudo 2,0 (Dolgoff, 1998) in katerih žarišča so razporejena predvsem na stikih večjih geotektonskih plošč. Potresno najdejavnejši območji sta obtihoceanski in sredozemsko-himalajski pas, ki vključuje tudi naše kraje. Večina potresov je šibkih, ne povzročajo gmotne škode in ne zahtevajo človeških življenj, med njimi pa je vsako leto nekaj deset takih, ki povzročijo veliko razdejanje in zahtevajo smrtne žrtve. Med 78 potresi, ki so v letu 2002 dosegli ali presegli magnitudo 6,5 oziroma povzročili večjo gmotno škodo ter zahtevali človeška življenja, smo natančneje opisali 35 potresov. Potres z največ smrtnimi žrtvami je bil 25. marca v Afganistanu. V njem je umrlo najmanj 1000 ljudi. Potres 22. junija v zahodnem Iranu je zahteval vsaj 261 žrtev. Največ energije se je sprostito pri potresu 3. novembra v osrednji Aljaski. Imel je navorno magnitudo 7,9. Najgloblji potres je bil 19. avgusta blizu otočja Fidži in je imel žarišče v globini 675 km. Potresi v letu 2002 so zahtevali več kot 1700 žrtev.*

***Abstract.** Every year the Earth is shaken by several hundred thousand earthquakes with magnitudes larger than 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, do not cause any material damage and do not claim human lives. In addition to these, each year there are several earthquakes that result in extreme destruction and even death. There were 78 earthquakes in 2002 that either reached a magnitude of 6.5 or more, caused minor or major material damage, or even claimed human lives. 35 of them are mentioned in this paper. The most devastating earthquake in 2002 happened on 25 March in Afganistan, where at least 1000 people were killed. Earthquake that occurred on 22 June in Western Iran claimed 216 human lives. The 3 November earthquake in Central Alaska ranks first in terms of released energy, with a moment magnitudes of 7.9. The deepest earthquake happened on 19 August near Fiji Islands, with a hypocentre 675 km below the surface. In 2002, earthquakes claimed more than 1700 human lives.*

Potresi in tektonika plošč

Zemljina litosfera je sestavljena iz nekaj večjih in več manjših tektonskih plošč. Najpomembnejše plošče so Pacifiška (Tihooceanska), Severno- 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 primikajo (primitične 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 podiranje 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.

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 2001 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 bolje 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 2002 (NEIC, 2002, ARSO, 2002). 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. M_w je navorna magnituda, ki velja tudi za najmočnejše potrese in je določena s potresnim navorom. Globina potresov je izražena v kilometrih, preglednica pa je zaključena z imenom širšega nadžariščnega območja potresa. Seizmologi zaradi lažje interpretacije geografskih koordinat uporabljajo razdelite sveta na 729 Flinn-Engdahlovih geometrijskih območij.

Preglednica 1. Seznam potresov v letu 2002, 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. Earthquakes in 2002 with magnitudes of 6.5 and over. Events with magnitudes below 6.5 which caused material damage, injuries or victims are included. The earthquakes described in the text are marked (*).

datum	čas (UTC)	koordinati		magnituda			globina	območje
	ura min sek	širina	dolžina	Mb	Ms	Mw	km	
date	time (UTC)	coordinates		magnitude			depth	area
	hour min sec	lat	lon	Mb	Ms	Mw	km	
02. 1.	17:22:48,76	17,60 S	167,85 E	6,3	7,5	7,3	21	otočje Vanuatu*
03. 1.	07:05:27,6	36,08 N	70,68 E	5,8		6,2	129	Hindukuš, Afganistan*
03. 1.	10:17:36,3	17,66 S	168,00 E	5,8	6,4	6,7	10	otočje Vanuatu
09. 1.	06:45:57,5	38,67 N	69,90 E	5,2	5,2		33	Tadžikistan*
10. 1.	11:14:56,93	3,21 S	142,42 E	6,0	6,6	6,7	11	blizu obale Nove Gvineje, Papua Nova Gvineja*
21. 1.	04:39:21,6	1,77 S	29,04 E	4,9	4,5		10	jezero Tanganjika*
22. 1.	04:53:52,7	35,79 N	26,61 E	6,2		6,3	88	Kreta, Grčija*
03. 2.	07:11:28,4	38,57 N	31,27 E	5,7	6,4	6,5	5	Turčija*
03. 2.	09:26:43,3	38,63 N	30,90 E	5,8		6,0	10	Turčija
03. 2.	11:39:55,3	38,55 N	31,18 E	5,3			10	Turčija
05. 2.	13:27:24,6	5,34 S	151,25 E	5,8	6,3	6,6	39	Nova Britanija, Papua Nova Gvineja
17. 2.	13:03:52,7	28,09 N	51,76 E	5,6	5,0	5,4	33	južni Iran*
20. 2.	11:27:43,6	51,56 N	16,08 E	4,9			1	Poljska*
03. 3.	12:08:19,7	36,50 N	70,48 E	6,6		7,4	226	Hindukuš, Afganistan*
05. 3.	21:16:09,1	6,03 N	124,25 E	6,3	7,2	7,5	31	Mindanao, Filipini*
25. 3.	14:56:33,8	36,06 N	69,31 E	5,9	6,2	6,1	8	Hindukuš, Afganistan*
27. 3.	08:52:51,9	36,02 N	69,33 E	5,9	5,4	5,6	10	Hinduhuš, Afganistan
28. 3.	04:56:22,4	21,66 S	68,32 W	6,1		6,5	125	meja Čile-Bolivija
31. 3.	06:52:50,4	24,27 N	122,18 E	6,4	7,4	7,1	33	Tajvan*
01. 4.	06:14:15,2	6,19 S	147,42 E	5,0			81	vzhodna Nova Gvineja, Papua Nova Gvineja*
12. 4.	04:00:23,5	35,95 N	69,41 E	5,8	5,9	5,9	10	Hindukuš, Afganistan
18. 4.	16:08:36,6	27,54 S	70,58 W	6,2		6,7	62	v bližini obale severnega Čila
22. 4.	04:57:02,4	12,38 S	76,52 W	4,4			67	v bližini Perujske obale*
24. 4.	10:51:50,9	42,43 N	21,46 E	5,6		5,7	10	južna Srbija in Črna gora*
24. 4.	19:48:07,1	34,64 N	47,40 E	5,2	5,2		33	zahodni Iran*
25. 4.	17:41:21,5	41,76 N	44,96 E	4,8	4,3		33	severni Kavkaz*
26. 4.	16:06:07,0	13,08 N	144,61 E	6,5		7,1	86	otočje Mariana
15. 5.	03:46:05,7	24,63 N	121,92 E	5,5	6,2	6,2	10	Tajvan

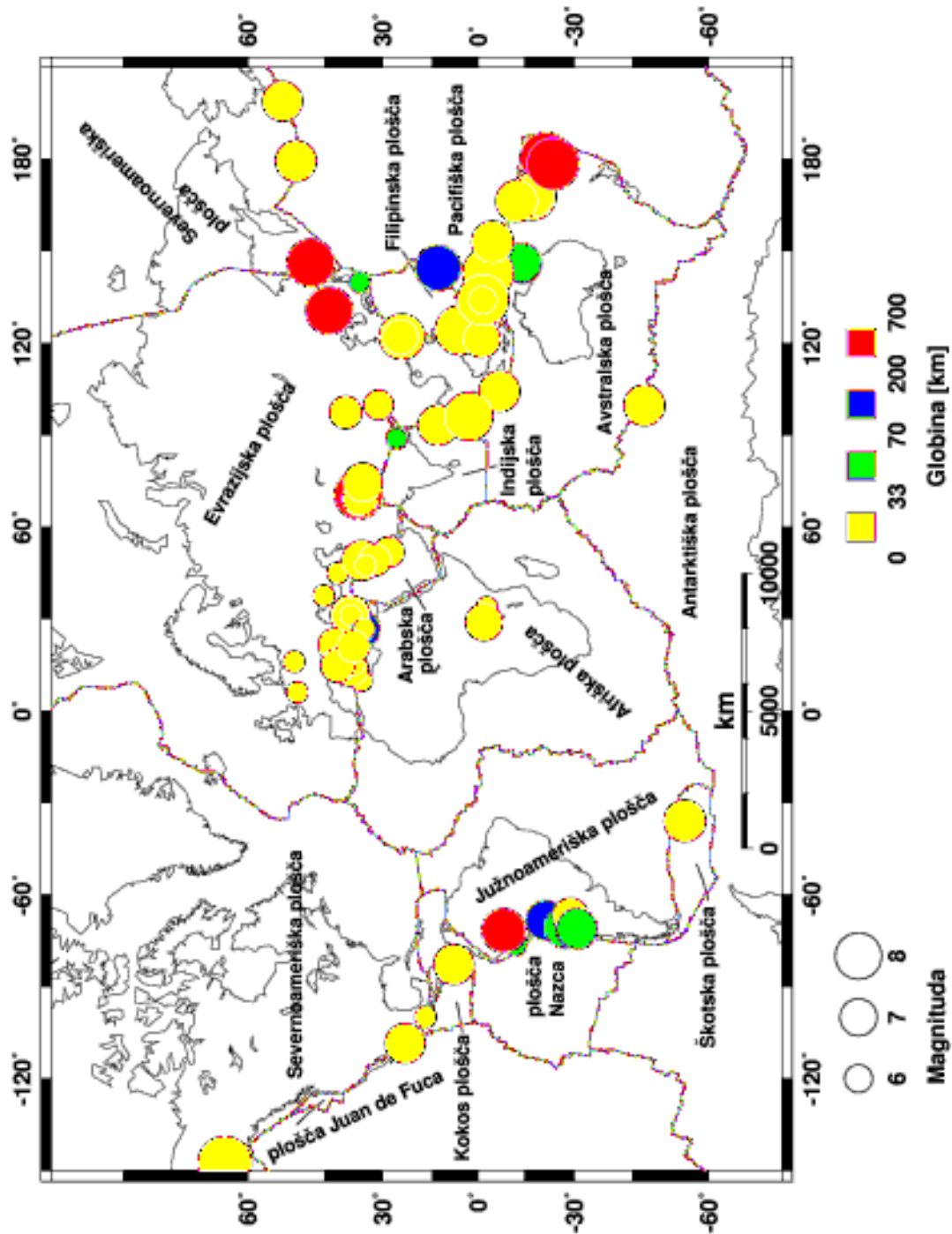
datum	čas (UTC)	koordinati		magnituda			globina	območje
	ura min sek	širina	dolžina	Mb	Ms	Mw	km	
date	time (UTC)	coordinates		magnitude			depth	area
	hour min sec	lat	lon	Mb	Ms	Mw	km	
18. 5.	15:15:08,8	2,91 S	33,73 E	5,2	5,5		10	jezero Victoria, Tanzanija*
21. 5.	20:53:30,0	36,57 N	24,33 E	5,4			96	južna Grčija
25. 5.	05:36:31,9	53,81 N	161,11 W	5,5	6,1	6,5	33	Aljaska
28. 5.	04:04:22,5	28,93 S	66,79 W	6,0	5,7	6,0	22	Catamarca, Argentina*
06. 6.	22:35:43,8	35,65 N	26,22 E	5,1			93	Kreta, Grčija
13. 6.	01:27:19,4	47,80 S	99,75 E	5,5	6,6	6,6	10	jugovzhodni indijski greben
14. 6.	02:42:47,2	36,22 N	139,85 E	4,9			52	vzhodni Honšu, Japonska
17. 6.	21:26:22,9	12,59 S	166,38 E	6,0	6,7	6,7	33	otočje Santa Cruz
18. 6.	13:56:22,8	30,80 S	71,12 W	6,0		6,6	54	blizu obale osrednjega Čila
20. 6.	05:40:43,3	25,85 N	88,93 E	4,5			33	meja Indija Bangladeš
22. 6.	02:58:20,8	35,62 N	49,05 E	6,2	6,4	6,5	10	zahodni Iran*
24. 6.	01:20:35,6	35,77 N	9,87 E	5,0	4,7		10	Tunizija
27. 6.	05:50:33,4	6,96 S	104,18 E	6,0	6,9	6,6	11	ožina Sunda, Indonezija
28. 6.	17:19:30,3	43,75 N	130,66 E	6,7		7,3	566	meja vzhodna Rusija severovzhodna Kitajska
30. 6.	21:29:36,7	22,20 S	179,25 E	5,5		6,5	620	otočje Fidži
22. 7.	05:45:03,0	50,86 N	6,08 E	4,9	4,3		17	Nemčija*
31. 7.	00:16:44,6	7,92 N	82,79 W	6,0	6,4	6,5	10	južno od Paname*
08. 8.	11:42:05,0	30,91 N	99,92 E	5,4	4,7	5,2	33	Sečuan, Kitajska
14. 8.	13:57:56,4	14,10 N	146,19 E	6,1	6,4	6,5	65	otočje Mariana
15. 8.	05:30:26,2	1,19 S	121,33 E	5,7	5,8	6,2	33	Sulavezi, Indonezija
19. 8.	11:01:01,1	21,69 S	179,51 W	6,7		7,6	580	otočje Fidži
19. 8.	11:08:24,3	23,88 S	178,49 E	7,0		7,7	675	južno od otočja Fidži
02. 9.	09:24:42,1	34,97 N	26,65 E	5,1			18	Kreta, Grčija
06. 9.	01:21:27,5	38,37 N	13,70 E	5,8	5,5	5,9	10	Sicilija, Italija*
08. 9.	18:44:23,7	3,30 S	142,94 E	6,5	7,8	7,6	13	ob obali Nove Gvineje, Papua Nova Gvineja*
13. 9.	22:28:29,4	13,03 N	93,06 E	6,2	6,7	6,5	33	Andamanski otoki*
25. 9.	18:14:48,6	16,87 N	100,11 W	5,1	4,7		33	Guerrero, Mehika
25. 9.	22:28:11,9	31,99 N	49,32 E	5,5	5,1	5,5	33	zahodni Iran

datum	čas (UTC)	koordinati		magnituda			globina	območje
	ura min sek	širina	dolžina	Mb	Ms	Mw	km	
date	time (UTC)	coordinates		magnitude			depth	area
	hour min sec	lat	lon	Mb	Ms	Mw	km	
3. 10.	16:08:29,6	23,32 N	108,53 W	5,4	6,2	6,5	10	Kalifornijski zaliv
10. 10.	10:50:20,5	1,75 S	134,29 E	6,5	7,7	7,6	10	Irian Jaya, Indonezija*
10. 10.	12:28:25,8	1,51 S	133,97 E	6,2	6,7		10	Irian Jaya, Indonezija
12. 10.	20:09:11,4	8.29 s	71,73 W	6,5		6,9	534	zahodna Brazilija
23. 10.	11:27:19,3	63,51 N	147,91 W	6,0	6,7	6,7	4	osrednja Aljaska
24. 10.	06:08:37,9	1,88 S	29,00 E	5,9	6,3	6,2	11	Demokratska Republika Kongo*
29. 10.	10:02:21,5	37,67 N	15,26 E	4,3			10	Sicilija, Italija
31. 10.	10:32:58,7	41,78 N	14,87 E	5,3	5,6	5,9	10	južna Italija*
01. 11.	15:09:01,4	41,78 N	14,87 E	5,5	5,6	5,8	10	južna Italija
01. 11.	22:09:29,2	35,51 N	74,65 E	5,3	5,3		33	severozahodni Kašmir*
02. 11.	01:26:11,5	2,99 N	96,08 E	6,2	7,7	7,4	33	severna Sumatra, Indonezija*
03. 11.	22:12:41,0	63,52 N	147,44 W	7,0	8,5	7,9	5	osrednja Aljaska*
06. 11.	09:12:44,3	37,38 N	20,91 E	5,0	4,3		10	Jonsko morje
07. 11.	15:14:06,7	51,19 N	179,33 E	5,9	6,4	6,6	33	otočje Rat, Aleuti
09. 11.	02:18:11,2	45,03 N	37,63 E	5,0	4,4		10	Ukrajina
15. 11.	19:58:31,7	56,05 S	36,40 W	6,1	6,6	6,7	10	južna Georgija
17. 11.	04:53:53,5	47,82 N	146,20 E	6,9		7,3	459	severovzhodno od Kurilskega otočja
20. 11.	21:32:30,9	35,41 N	74,51 E	5,7	6,5	6,4	33	severnozahodni Kašmir*
02. 12.	04:58:55,1	37,74 N	21,08 E	5,2	5,4	5,6	10	južna Grčija
12. 12.	08:30:43,2	4,66 S	153,05 E	6,0	6,6	6,7	33	Nova Irska, Papua Nova Gvineja
14. 12.	13:27:30,8	39,76 N	97,42 E	5,6	5,3	5,6	33	Gansu, Kitajska*
24. 12.	17:03:02,6	34,53 N	47,37 E	5,0	4,4		33	zahodni Iran*

Potres 2. januarja (Otočje Vanuatu). V potresu je bilo nekaj oseb ranjenih. Na otoku Efate sta bila uničena dva mostova in poškodovanih nekaj zgradb ter cest. Zemeljski plazovi so prekinili cestno povezavo s pristaniščem Port Vila.

Potres 3. januarja (Hindukuš, Afganistan). Vsaj ena oseba je bila v potresu ranjena. Čutili so ga tudi v Tadžikistanu, severnem Pakistanu in severozahodni Indiji.

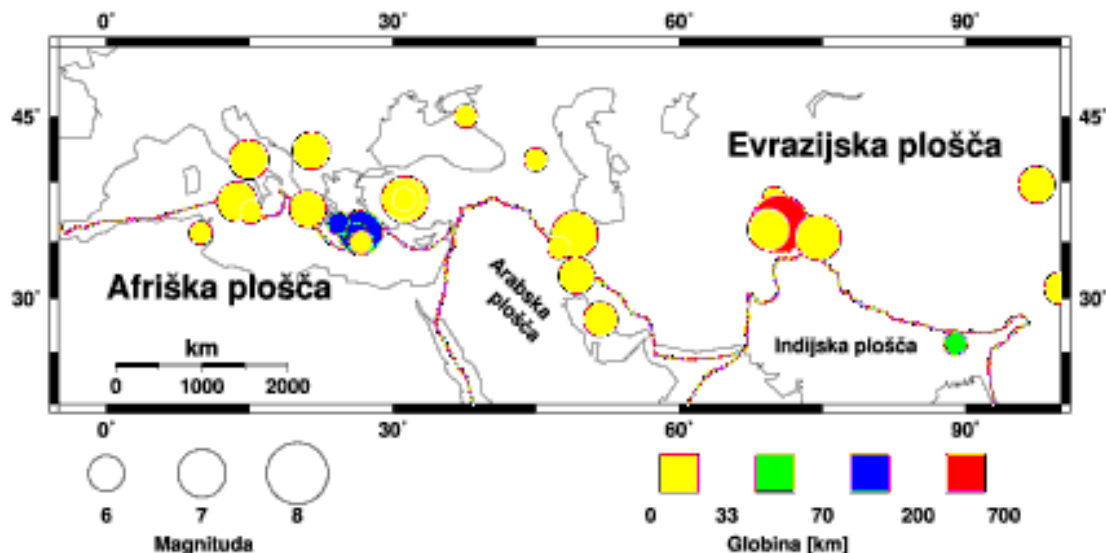
Potres 9. januarja (Tadžikistan). Vsaj tri osebe so v potresu izgubile življenje, 50 je bilo ranjenih. Na območju Roghuna je bilo poškodovanih vsaj 200 hiš, 2 šoli in 4 bolnišnice.



Slika 1. Porazdelitev najmočnejših potresov v letu 2002 na Zemlji, njihove globine in magnitude; velikost krogov kaže magnitudo, barva pa žariščno globino (NEIC, 2002). Narisane so tudi glavne tektonske plošče.

Figure 1. Distribution of the most powerful earthquakes in 2002, their depths and magnitudes. The size of the circle indicates the magnitude and the colour designates the focal depth (NEIC, 2002). Main tectonic plates are also shown.

Potres 10. januarja (blizu severne obale Nove Gvineje, Papua Nova Gvineja). Potres je zahteval eno žrtev. Na območju mesta Aitape je bilo uničenih vsaj 200 hiš in 250 vodnih zbiralnikov.



Slika 2. Porazdelitev najmočnejših potresov leta 2002 v sredozemsko-himalajskem potresnem pasu, ki je za ohtihomorskim drugo najdejavnejše potresno območje na Zemlji.

Figure 2. Distribution of the most powerful earthquakes in 2002 in the Mediterranean-Himalayan belt, which is, the second most seismically active region on the Earth.

Potres 21. januarja (jezero Tanganjika). To je bil najmočnejši potres v tem obdobju iz serije potresov povezanih z izbruhom vulkana Nyiragongo v Kongu. Zahtevali so nekaj žrtev. Na območju mesta Gisenyi v Ruandi je bilo porušenih okoli 307 zgradb. Lava je uničila 14 vasi in polovico mesta Goma v Demokratični Republiki Kongo.

Potres 22. januarja (Kreta, Grčija). Ena oseba je v mestu Antalya v Turčiji umrla zaradi srčne kapi. Potres so čutili v severozahodni Turčiji, vzhodni in južni Grčiji, na Cipru, v Kairu in Libanonu.

Potres 3. februarja (Turčija). Na območju Afyona je umrlo vsaj 44 ljudi, 318 jih je bilo ranjenih. Porušenih je bilo tudi 622 poslopij. Pojavila sta se dva nova topla vrelca. Potres so čutili v zahodni in centralni Turčiji ter tudi na Dodekaneških otokih.

Potres 17. februarja (južni Iran). V Baghanu je bilo poškodovanih 80 % hiš, ena oseba je izgubila življenje, 30 pa jih je bilo ranjenih.

Potres 20. februarja (Poljska). Gorski udar. Zahteval je vsaj tri žrtve. V rudniku Rudna se je zrušilo nekaj rovov. Manjše poškodbe so nastale tudi na hišah v Polkowicach.

Potres 3. marca (Hindukuš, Afganistan). Vsaj 150 mrtvih, nekaj ranjenih in 400 poškodovanih ali porušenih hiš je bilo posledica plazov, ki so zasuli dolino Surkundara v provinci Samangan. V Kabulu in Rustaqu je umrlo vsaj 13 ljudi. Tri žrtve so bile tudi v Bajauau (Pakistan). Vsaj 300 hiš je bilo poškodovanih na območju Badahšana in Tahara. Potres so čutili tudi v Indiji, Kazahstanu, Kirgistanu, Tadžikistanu, Uzbekistanu in v Sinkiangu, Kitajska.

Potres 5. marca (Mindanao, Filipini). V južnem in centralnem Mindanau je umrlo vsaj 15 ljudi, več kot 100 je bilo ranjenih. Poškodovanih je bilo tudi večje število poslopij. Lokalni

tsunami z višino valov okoli 3 metrov je povzročil škodo v mestih Kiamba, Maitum in Palimbang.

Potres 25. marca (Hindukuš, Afganistan). V provinci Baglan je umrlo vsaj 1000 ljudi, več sto je bilo ranjenih, več tisoč jih je ostalo brez strehe nad glavo. V mestu Nahrin je bilo uničenih ali poškodovanih vsaj 1500 hiš. Veliko poškodb so zabeležili tudi drugje v provinci Baglan. Zemeljski plazovi so zasuli nekaj cest. Potres so čutili tudi v Pakistanu in Tadžikistanu. Potres 27. 3. na istem območju je povzročil dodatno škodo in sprožil nove zemeljske plazove, potres 12. 4. pa je poleg dodatne škode zahteval še vsaj 50 življenj.

Potres 31. marca (Tajvan). Potres je zahteval vsaj 5 žrtev. 200 ljudi je bilo ranjenih, na območju Taipeija so se zrušila tri poslopja, 100 pa je bilo poškodovanih. Več zemeljskih plazov je za promet zaprlo nekaj avtocest v vzhodnem Tajvanu. Poškodovanih je bilo tudi nekaj mostov ter vodnih in plinskih povezav.

Potres 1. aprila (vzhodna Nova Gvineja, Papua Nova Gvineja). V bližini Morobe se je sprožil zemeljski plaz, ki je zahteval 36 žrtev.

Potres 22. aprila (v bližini Peruske obale). Potres je povzročil paniko v Limi, kjer je zaradi srčne kapi umrla ena deklica.

Potres 24. aprila (južna Srbija in Črna gora). Na jugu Srbije v okolici Gnjiljana na Kosovu je umrla ena oseba, 60 pa je bilo ranjenih. Potres je povzročil manjšo gmotno škodo na območju južne Srbije in severne Makedonije. Potres so čutili po vsej Srbiji, Črni gori, v Makedoniji in Sofiji, Bolgarija.

Potres 24. aprila (zahodni Iran). V okolici Kermašaha sta življenje izgubili vsaj dve osebe, ranjenih je bilo vsaj 56. 10 vasi je bilo popolnoma uničenih, 50 je bilo močno poškodovanih.

Potres 25. aprila (severni Kavkaz). Na območju Tbilisija je umrlo vsaj 5 ljudi, 52 je bilo ranjenih. Poškodovanih ali uničenih je bilo 2400 poslopij. Prekinjeno je bilo omrežno električno napajanje in pretrgane telefonske povezave. Sprožilo se je tudi nekaj zemeljskih plazov, ki so zasuli cestne povezave s Tbilisijem.

Potres 18. maja (jezero Victoria, Tanzanija). Dve osebi sta v potresu umrli, 690 koč se je porušilo, 700 je bilo poškodovanih. Več kot 400 družin je na območju mesta Bunda ostalo brez strehe nad glavo. Potres so čutili tudi v mestih Nairobi, Nakuru in Kericho, Kenija.

Potres 28. maja (Catamarca, Argentina). V potresu je bilo ranjenih vsaj 27 oseb. Na področju Aminga, Anillaca in Aque Blanco se je porušilo 40 do 60 hiš. Potres so močno čutili na območju Catamarca, La Rija, Santiaga del Estero in Tucumana.

Potres 22. junija (zahodni Iran). V potresu je na področju mest Abgarm in Abhar umrlo vsaj 261 ljudi, najmanj 1300 je bilo ranjenih. Na tisoče zgradb je bilo porušeni ali poškodovanih. Poškodovane so bile vodne in namakalne povezave. Potres so močno čutili po vsem zahodnem Iranu, tudi v Teheranu.

Potres 22. julija (Nemčija). Potres je povzročil manjše poškodbe na območju Aachna. Potres so čutili v severozahodni Nemčiji, severni Belgiji in na jugu Nizozemske.

Potres 31. julija (južno od Paname). Na območju Baruja je bilo ranjenih vsaj 11 ljudi. Poškodovanih je bilo veliko hiš, nekaj se jih je porušilo. Štiri osebe so bile ranjene na območju Laurela, Kostarika. Poškodovano je bilo pristanišče v Puertu Armuelles. Potres so močno čutili v mestih Buenos Aires, Corredores, Coto Brus in Golfito Cantons, Kostarika.

Potres 6. septembra (Sicilija, Italija). V potresu je bilo okoli dvajset ljudi ranjenih, dve osebi pa sta umrli zaradi srčne kapi. Na območju Palerma je bilo poškodovanih nekaj zgradb. Potres so čutili tudi v mestih Agrigento, Caltanissetta, Catania, Enna, Messina in Trapani.

Potres 8. septembra (blizu obale Nove Gvineje, Papua Nova Gvineja). Na otokih Kairiru, Muschu in v okolici mesta Wewak so v potresu izgubile življenje vsaj štiri osebe, 70 je bilo ranjenih. Poškodovanih je bilo veliko domov, vodnih zbiralnikov in mostov. Tsunami, z največjo višino valov okoli enega metra, je na prizadetih otokih povzročil kar nekaj škode. Otoka Mushu in Kairiru sta se dvignila za približno pol metera, na slednjem se je pojavil nov topli vrelec.

Potres 13. septembra (Andamanski otoki). Potres je zahteval vsaj dve žrtvi. Okoli 40 hiš je bilo poškodovanih. V bližini otokov Ross in Smith so opazili lokalni tsunami.

Potres 10. oktobra (Irian Jaya, Indonezija). V potresu je umrlo vsaj osem ljudi, 632 je bilo ranjenih. Na območju Manokwari-Oranbari-Ranski je bilo porušenih ali poškodovanih več kot 1000 zgradb. Sprožilo se je nekaj zemeljskih plazov. Pretrg je viden tudi na površini.

Potres 24. oktobra (Demokratska Republika Kongo). V Gomi sta umrli dve osebi. Potres je povzročil poškodbe v Gomi, Lwiru in Mugeru. Nekaj poškodb je bilo tudi v mestu Kigali, Ruanda.

Potres 31. oktobra (južna Italija). V mestu San Giuliano di Puglia je umrlo vsaj 29 ljudi. Od tega je bilo 26 otrok, ki so ostali vkleščeni v šoli, ki se je zaradi neprimerne gradnje popolnoma zrušila. Ranjenih je bilo vsaj 135 ljudi. Potres so čutili na sever vse do Rima in do Potenze na jugu. Sledilo mu je veliko popotresnih sunkov. Najmočnejši se je zgodil 1. 11., ki je povzročil še dodatno škodo.

Potres 1. novembra (severozahodni Kašmir). Vsaj 11 ljudi je v potresu umrlo, 40 je bilo ranjenih. Povzročil je veliko gmotne škode. 4000 ljudi je ostalo brez strehe nad glavo. Sprožilo se je tudi nekaj zemeljskih plazov, ki so zasuli ceste in pomorili na stotine glav živine.

Potres 2. novembra (severna Sumatra, Indonezija). Umrlo je vsaj 30 oseb, 65 pa je bilo ranjenih. Na otoku Simeulue je potres povzročil večjo gmotno škodo, saj je bilo poškodovanih 994 zgradb. Potres so čutili tudi v Maleziji.

Potres 3. novembra (osrednja Aljaska). Potres se je zgodil na neobljudenem območju. Povzročil je poškodbe na cestah in naftovodu, katerega delovanje so zaradi tega prekinili.

Potres 20. novembra (severozahodni Kašmir). Potres je zahteval vsaj 30 žrtev, veliko je bilo tudi ranjenih. Povzročil je ogromno škode. Zemeljski plazovi so prekinili številne cestne povezave. Brez strehe nad glavo je ostalo več kot 15.000 ljudi.

Potres 14. decembra (Gansu, Kitajska). V provinci Gansu je potres zahteval dve žrtvi, poškodovanih je bilo 13.380 hiš, 5 avtocest in trije mostovi.

Potres 24. decembra (zahodni Iran). V okolici Kermanshaha je bilo ranjenih vsaj 15 oseb, uničenih je bilo 3000 hiš. Te so bile poškodovane že v potresu, ki se je na istem območju zgodil 24. aprila 2002.

Literatura

ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 2002: Preliminarni seizmološki bilten, 2002. Agencija Republike Slovenije za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo, Ljubljana.

Dolgoft, A., 1998: Physical Geology. Updated version. Houghton Mifflin co. str. 638, Boston-New York.

NEIC, 2002: Significant Earthquakes of the World. US Department of the Interior. Geological Survey, National Earthquake Information Center.

POTRES NA SICILIJI 6. SEPTEMBERA 2002 THE 6 SEPTEMBRE 2002 EARTHQUAKE IN SICILY

Matjaž Godec, Renato Vidrih

***Izvleček.** Potres je nastal 6. septembra 2002 ob 01:21 UTC oz. 03:21 po lokalnem času. Žarišče je bilo na srečo v morju, približno 40 km oddaljeno od kopnega. Državni inštitut za geofiziko in vulkanologijo s sedežem v Rimu, ki upravlja preko 300 inštrumentov po Italiji je že v 40 sekundah po potresu objavil prve preliminarne podatke o potresu. Le ti so se od končno izvedenih pri določitvi žarišča razlikovali le za nekaj km, medtem ko je izračun magnitude ostal nespremenjen ($M_L=5.6$). Največji izmerjeni pospešek je znašal 0.13 g. Žarišče potresa je bilo v globini 10 km. Potres je povzročil le manjše poškodbe na objektih, strokovno zelo zanimive pa so bile poškodbe v naravi. V kraju Cerda je prišlo do sekundarnih posledic v naravi, kjer je nastal velik zemeljski plaz. V članku je natančneje predstavljen plaz.*

***Abstract.** The earthquake occurred on 6 September, 2002 at 01:21 UTC (03:21 local time). The epicentre was about 40 km off-shore. The INGV in Rome, which runs more than 300 instruments throughout Italy, issued first preliminary data just 40 seconds after the earthquake. This data differed from the final values only by several kilometres. Magnitude values remained the same ($M_L=5.6$). The recorded PGA was 0.13 g and depth 10 kilometres. The earthquake caused only minor damage to the structures. For scientists, more interesting were secondary earthquake effects, such as enormous landslide in village Cerda.*

Prizadeto območje smo si ogledali skoraj tri tedne po potresu, tako da je bila večina poškodb na gradbenih objektih že odstranjena. Potres je zahteval dve žrtvi, ki pa sta umrli zaradi srčne kapi, dvajset pa je bilo ranjenih. Osnovni podatki o potresu so predstavljeni v izvlečku, zato jih tu ne bi ponavljali. Na objektih ni bilo večje gmotne škode. Skupna škoda zaradi potresa (tu je všteta tudi posredna škoda) znaša okoli 500 milijonov USD.

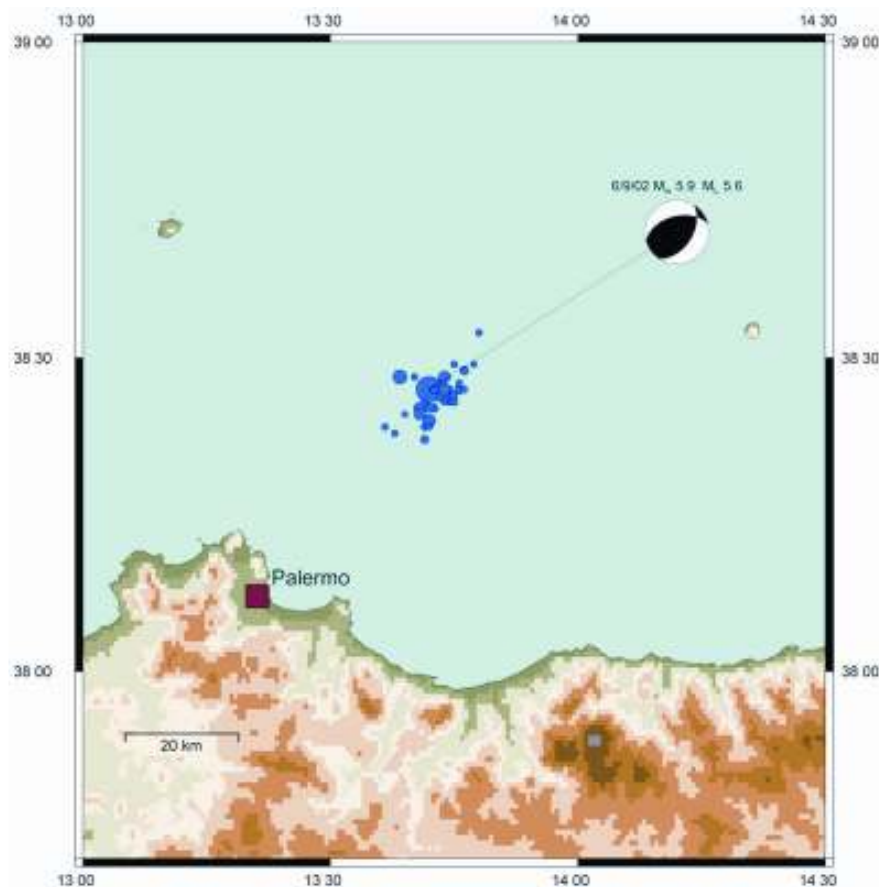
Najzanimivejši so bili učinki potresa v naravi. Na lokaciji okoli 30 km vzhodno od Palerma je pri kraju Sv. Agostino pri Cerdi prišlo do velikega zemeljskega plaz. Na brežini z rahlim (približno 10^0) nagibom so nastale obsežne, večmeterske razpoke v zemlji. Zaradi potresa je v dolžini okoli 3 km prišlo do pretrga in polzenja zgornje plasti prsti (premik pete plaz). Premiki zemljine so povzročili nastanek prečnih razpok. Nastale so stopnice do 30 cm višine in 70 cm širine. Ob tem je prišlo tudi do poškodbe cestišča čez katerega gre pretrg ter do prelomov manjših opornih zidov ter lokalnega napajališča za živali. Na srečo na tem območju ni bilo objektov, saj bi bili po vsej verjetnosti uničeni. Opis plaz. Opis plaz. Opis plaz je podan z bogatim slikovnim gradivom, kjer nastanek in poškodbe dopolnjujejo besedila k slikam.

Poškodbe na objektih so bile opažene le v Palermu in kraju Ficarazzi, ki leži 6 km vzhodno od Palerma. Potresni sunek so čutili še prebivalci v mestih Agrigento, Caltanissetta, Catania, Enna, Messina in Trapani. Šibkeje so ga čutili prebivalci celega otoka.

V Ficarazziju so bile posledice potresa vidne v vzhodnem delu mesta. Italijanski seizmologi so ocenili, da je mesto utrpelo poškodbe VII. stopnje po EMS lestvici (v Italiji sicer uporabljajo MCS lestvico in so določili največje učinke VII. stopnje po tej lestvici). Glede na poškodbe objektov in predvsem poškodbe v naravi pa lahko ocenimo učinke na enako stopnjo

tudi po EMS lestvici). Največ poškodb je bilo na stanovanjskih objektih in to v pritličju. Pogoste so bile lasaste razpoke v ometu, ponekod so odpadli tudi večji kosi ometa. V nekaterih klasično grajenih hišah (zidovi iz opeke) so se pojavile značilne križne razpoke. Poškodbe so nastale tudi na novejših armirano betonskih zgradbah. Potresne sile so bile tako velike, da so odstopala polnila v okvirnih elementih. Kot konstrukcijsko težje poškodbe pa lahko ocenimo lasaste poškodbe v vozliščih posameznih skeletov, kjer je v stiku stebrov in gred prišlo do lasastih razpok. Vzrok teh poškodb je pomanjkanje stremenske armature v vozlišču.

V Palermu so italijanski seizmologi ocenili učinke z VI. stopnjo po MCS, kar lahko v tem primeru primerjamo s VI. stopnjo po EMS lestvici. Podobne poškodbe kot v Ficarazziju so nastale v zgodovinskem centru mesta, na slabo vzdrževanih in zapuščenih hišah. Dve stanovanjski hiši v ulici Lampianelli sta bili tudi delno porušeni. Vendar sta bili obe hiši že dalj časa pred potresom zaradi dotrajanosti nevdrževani in nenaseljeni.



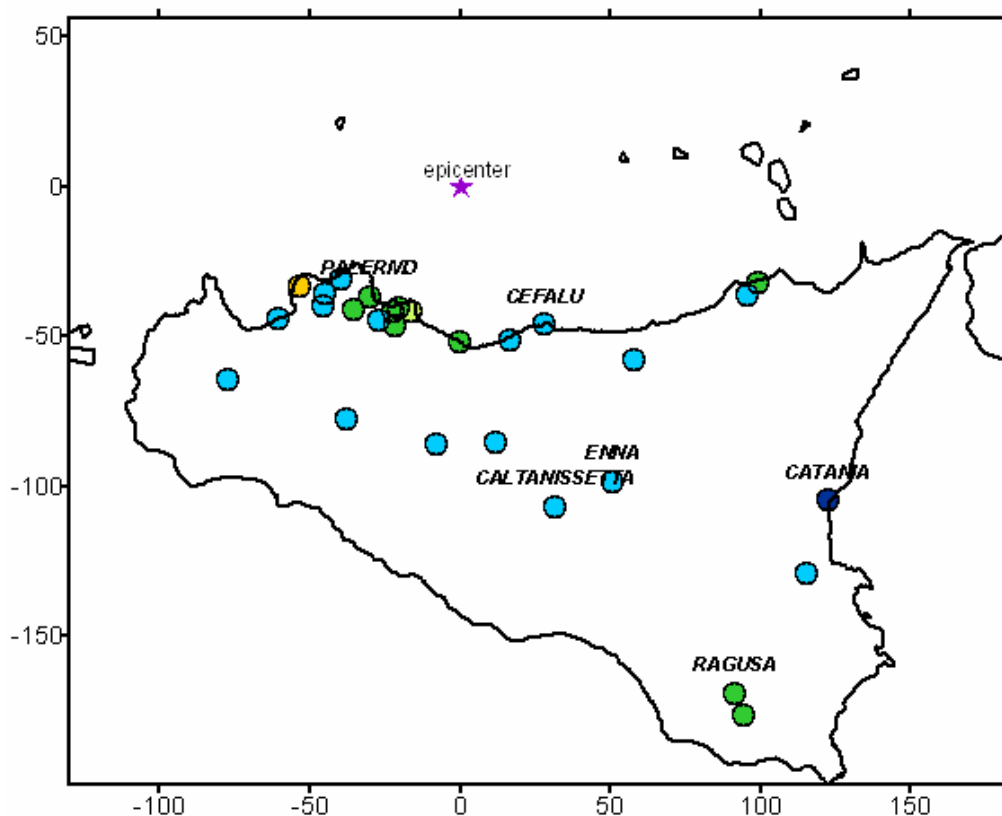
Slika 1. Geografski prikaz epicentra glavnega potresa in popotresnih sunkov. Žarišče je nastalo ob prelomni strukturi s smerjo severovzhod – jugozahod.

Figure 1. Geographical review of the earthquake and aftershocks. The hypocenter was near northeast – southwest orientated fault structure.

Zgradbe, ki pomenijo del kulturnega bogastva tega območja, so prestale močna potresa leta 1726 in 1940, ki sta prizadela Palermo. V posameznih primerih so še vidna popravila. Poškodbe na kulturnih spomenikih so bile predvsem odpadanje ometa, dekoracijskih elementov in nadstreškov na fasadah starejših cerkva in palač. Največ podatkov je bilo posredovanih o palači Normani, kjer je sedež Sicilijanske skupščine. Palača je bila zgrajena v

9. stoletju. Vendar je bilo tudi tu opaziti le odpadanje koščkov ometa in štukatur ter razpoke v ometu. Poškodbe so pritegnile veliko pozornost, ker je odpadel del štukatur nad vhodom v palačo. Najhujše poškodbe so bile v cerkvi Sv. Ane. Poškodbe so bile ocenjene kot tako velike, da je bila cerkev začasno neuporabna. Prišlo je do odpadanja nekaterih zunanjih dekorativnih elementov, do globokih razpok v obokih in do premika dela loka pri stranski ladji.

Potres na Siciliji je ponovno pokazal, da je edina preventiva na tem področju potresno odporna gradnja in njen pomemben del ojačevanje starejših objektov. Le na ta način lahko potrese pričakujemo pripravljeni, ne pa da nas vsak dogodek vedno znova preseneti. Tako kot drugod po svetu, je tudi v Italiji zanemarjeno preučevanje učinkov potresov v naravi, dokler ni ogrožen človek. Korak naprej je bil narejen pri obdelavi podatkov potresa v zgornjem Posočju, kjer smo plazenje, podore in podobne poškodbe narave sistematično obdelali in jih razvrstili v stopnje evropske potresne lestvice (EMS).



Slika 2. Makroseizmični učinki potresa. Rumeni krogci označujejo območja, kjer je potres dosegel učinke VII stopnje po EMS (Italijani še vedno uporabljajo MCS, kar pa lahko v tem primeru enačimo z evropsko potresno lestvico - EMS). Svetlo oziroma temno zeleni krogci označujejo območje z največjimi učinki V, oziroma VI stopnje EMS, svetlo modri IV stopnjo, temno modri pa III stopnjo po EMS lestvici.

Figure 2. Earthquake's intensity. Yellow circles indicate intensity VII EMS (the Italians still use MCS, but in this case we can easily equate it with the European Macroseismic Scale – EMS). Light green and dark green circles indicate intensities V and VI respectively, light blue circles indicate intensity IV and dark blue circles indicate intensity III EMS.



Slika 3. Letalski posnetek plazovitega območja v vasi Cerda kaže območje premikov velikega plazu. Z rdečimi puščicami je označena smer plazenja.

Figure 3. Aerial snap-shot of the landslide area in the Cerda village shows movements of the great landslide. Red arrows indicate landslide movement.



Slika 4. Detaljniji posnetek plazenja s smermi gibanja plazeče mase (plazine). Ob napajališču je prišlo do pretrga na cestišču, zamaknil pa se je tudi most.

Figure 4. A detailed snap-shot of the landslide direction. On the road at the watering place a rupture occurred and the bridge stirred.



Slika 5. Plazenje je zajelo celoten grič v dolžini 3 kilometre. Na sliki vidimo sekundarni odlomni rob (foto: R. Vidrih).

Figure 5. The landslide extended over the entire hill and was 3 kilometres long. The picture shows secondary break off edge (photo: R. Vidrih).

Slika 6. Do nekaj metrov globoke razpoke. Zaradi prečne razpoke je na plazu nastala stopnica višine 70 cm (foto: R. Vidrih).

Figure 6. Several meters deep ruptures. The transverse rupture caused a 70 cm high step (photo: R. Vidrih).





Slika 7. Detajl razpoke. Poškodbe na plazu (foto: R. Vidrih).

Figure 7. A rupture detail. Damage to the landslide (photo: R. Vidrih).



Slika 8. Sekundarni odlomni rob. Plazenje je zajelo tudi most, na srečo nobena zgradba ni bila poškodovana (foto: R. Vidrih).

Figure 8. Secondary break off edge. The landslide crossed the bridge, fortunately none of the other buildings was damaged (photo: R. Vidrih).



Slika 9. Nastale so razpoke dolžine 3 kilometre, globoke več metrov in široke do enega metra. Na sliki vidimo prečno razpoko na plaz (foto: R. Vidrih).

Figure 9. The ruptures which occurred due to earthquake were 3 km long, up to several meters deep and up to one meter wide. The picture shows a transverse rupture in the landslide (photo: R. Vidrih).



Slika 10. Pretrg je presegal cestišče, kjer se je ena stran plazišča pogreznila za 20-30 cm (foto: R. Vidrih).

Figure 10. Transverse section on the road, where one side of the landslide descended 20 to 30 cm (photo: R. Vidrih).



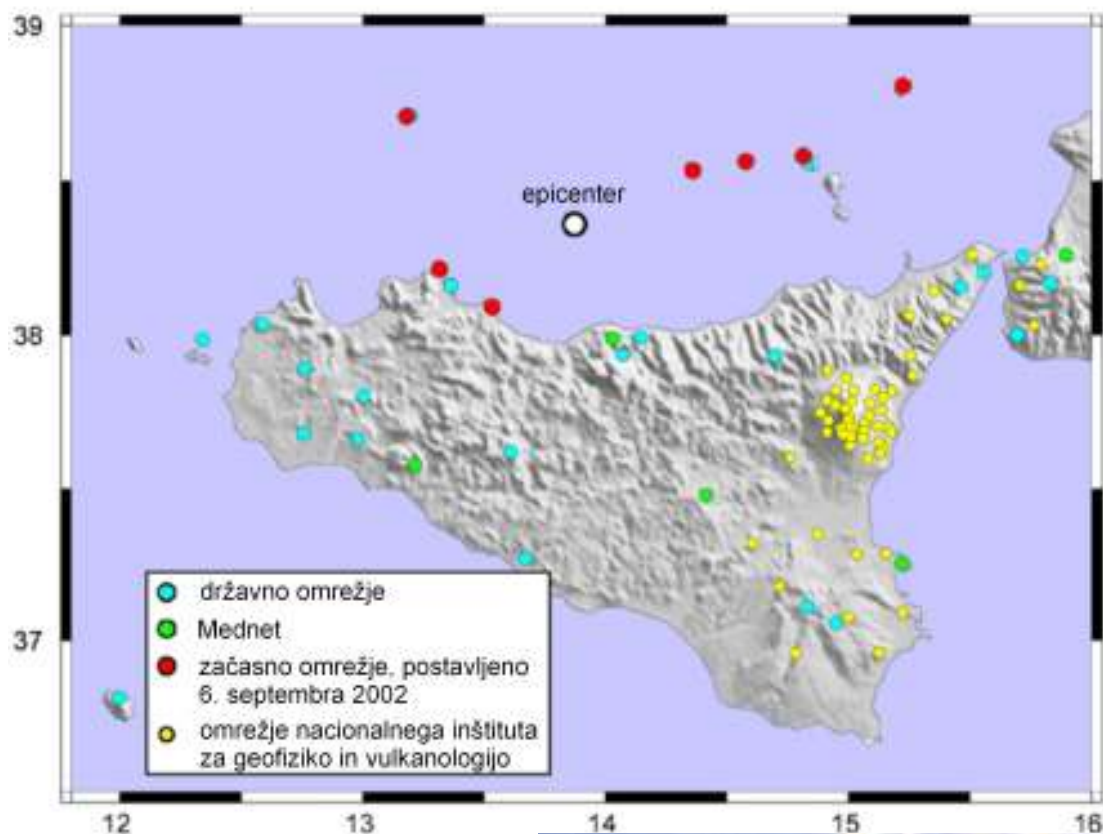
Slika 11. V nekaterih predelih se je cestišče pogreznilo za več metrov. V zgornjem delu plazu so vzdolžni premiki po pobočju največji, zaradi tega so poškodbe največje (foto: R. Vidrih).

Figure 11. In some places, the road descended several meters. The movement along the landslide is the most intensive in its upper part, which therefore suffers the heaviest damage (photo: R. Vidrih).



Slika 12. Plaz je premaknil betonski most za približno 20 cm, cestišče pa se je pogreznilo za približno pol metra (foto: R. Vidrih).

Figure 12. The landslide shifted the bridge for approximately 20 cm and the road descended approximately 50 cm (photo: R. Vidrih).



Slika 13. Razpored potresnih opazovalnic na Siciliji (zgoraj)
Figure 13. Map of seismic monitoring stations in Sicily (above)

Slika 14. Detajl premaknjenega mostu (desno) (foto: R. Vidrih).
Figure 14. A detail of the shifted bridge (right) (photo: R. Vidrih).



Literatura

<http://www.serviziosismico.it>

<http://emidius.mi.ingv.it>

<http://www.gte.it>

PRVI SLOVENSKI GEOLOŠKI KONGRES THE FIRST SLOVENIAN GEOLOGICAL CONGRESS

Črna na Koroškem, 9 - 11 oktober 2002

Andrej Gosar

***Izvleček.** Prvi slovenski geološki kongres je podal celovit pregled stanja slovenske geologije na področjih geofizike, geokemije, geološke naravne dediščine, hidrogeologije, inženirske geologije in geomehanike, mineralnih surovin in tehnične mineralogije, osnovne geološke karte, paleontologije, petrologije in mineralogije, regionalne geologije, sedimentologije, tektonike in uporabe računalniških tehnik v geologiji. Na njem je bilo v dveh dneh predstavljenih 112 predavanj in 39 posterjev, zadnji dan pa sta bili organizirani dve ekskurziji.*

***Abstract.** First Slovenian geological congress has given a detailed overview on state of Slovenian geology in the following fields: geophysics, geochemistry, geologic heritage, hydrogeology, engineering geology and geomechanics, mineral raw materials and technical mineralogy, basic geological mapping, paleontology, petrology and mineralogy, regional geology, sedimentology, tectonics and application of computer techniques in geology. In two days 112 talks and 39 posters were presented, followed by one day of field trips.*

Prvi slovenski geološki kongres so skupaj organizirali: Geološki zavod Slovenije, Slovensko geološko društvo in Rudnik svinca in cinka Mežica v zapiranju oz. organizacijski odbor, ki ga je vodil dr. Mihael Brenčič. Kongres je potekal v prostorih hotela Krnes v Črni na Koroškem. Na njem je 227 avtorjev in soavtorjev predstavilo 149 prispevkov, kongresa pa se je udeležilo 147 slovenskih in 16 tujih strokovnjakov s področja geologije in sorodnih znanosti. Po uvodnem predavanju dr. Bojana Ogorelca o stanju in perspektivah geologije v Sloveniji, dveh plenarnih predavanjih Suzane Fajmut-Štrucl o mežiškem rudišču in Ladislava Placerja o zgradbi severnih Karavank in mežiških rudišč, je delo potekalo v treh vzporednih sekcijah. Predstavitve so bile razporejene v naslednje sklope:

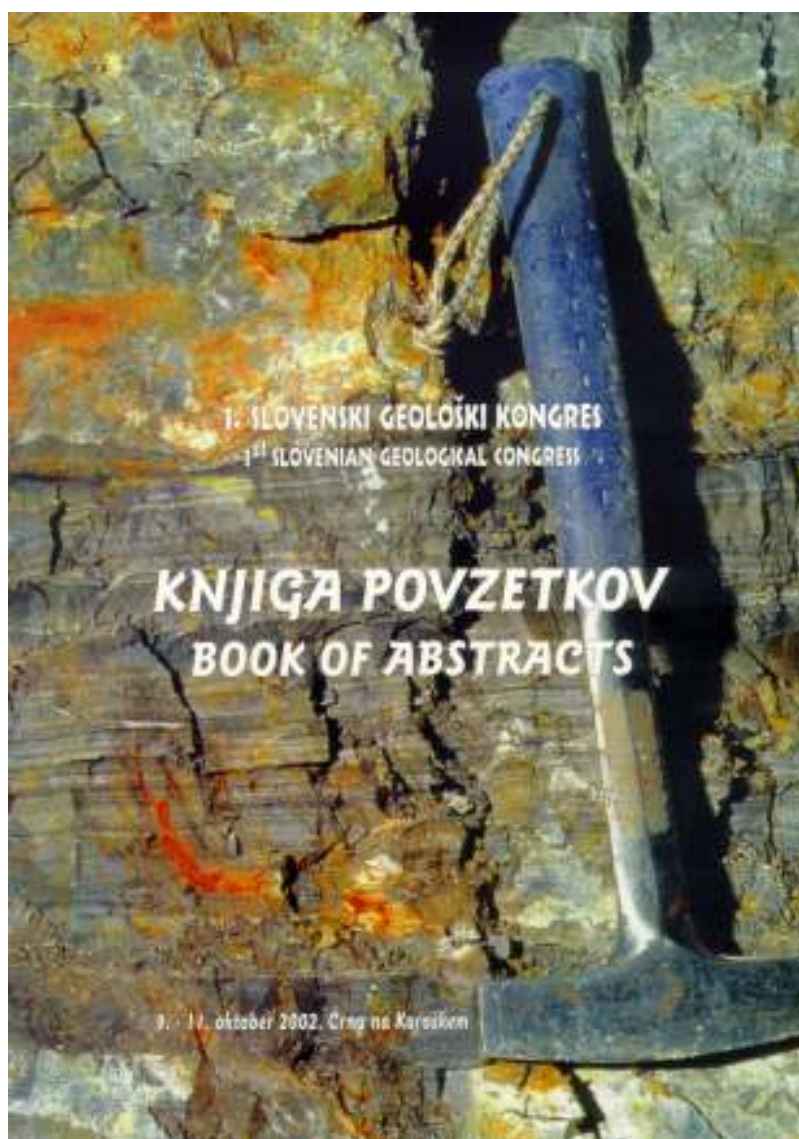
- geofizika,
- geokemija,
- geološka naravna dediščina,
- hidrogeologija,
- inženirska geologija in geomehanika,
- mineralne surovine in tehnična mineralogija,
- osnovna geološka karta,
- paleontologija,
- perspektive in razvoj geološke stroke,
- petrologija in mineralogija,
- plaz Stože pod Mangartom,
- regionalna geologija,
- sedimentologija,
- tektonika in
- uporaba računalniških tehnik v geologiji.

Zadnji dan kongresa sta bili dve ekskurziji. Prvo (v rudnik Mežica in na območje Pece) so pripravili in vodili M. Pungartnik, L. Placer, D. Skaberne in B. Jurkovšek, drugo (na kamnine

v alpsko-dinarski mejni coni in v coni Periadriatskega lineamenta v dolini Tople) pa M. Dobnikar, M. Trajanova, M. Vrabc, M. Pungartnik in L. Placer, ki so pripravili tudi zelo lep Vodnik po ekskurzijah. Žal je zelo slabo vreme preprečilo izvedbo ekskurzij v celoti.

Sodelavci Urada za seizmologijo in geologijo smo v sekciji Geofizika imeli predavanji o rezultatih globokih seizmičnih raziskav litosfere (projekt Alp 2002) na območju jugovzhodnih Alp (A. Gosar) in o novi mreži potresnih opazovalnic v okolici JE Krško (R. Vidrih, M. Godec, A. Gosar, P. Sinčič, I. Tasič in M. Živčič) ter v sekciji Plaz Stože pod Mangartom poster o vplivu potresa 12. aprila 1998 na nastanek velikih porušitev naravnega ravnotežja (M. Ribičič in R. Vidrih).

Povzetki predavanj in posterjev so objavljeni v lični Knjigi povzetkov, obsežnejši članki večine predstavitev pa v Geologiji 45/2 (2002). Vsi udeleženci so se strinjali, da je tovrstno strokovno druženje zelo koristno. Naslednji kongres bo organiziran leta 2006 v Idriji.



Slika 1. Naslovnica Knjige povzetkov 1. slovenskega geološkega kongresa
Figure 1. Cover page of Book of Abstracts



OTVORITEV CONRADOVEGA OBSERVATORIJA CONRAD OBSERVATORY OPENING

Izidor Tasič in Peter Sinčič

Izvleček. Avstrijski Centralni inštitut za meteorologijo in geodinamiko je zgradil prvo fazo geofizikalnega observatorija v kraju Muggendorf, Pernitz (Avstrija). Poimenovali so ga po Viktorju Conradu. 23. 05. 2002 smo Peter Sinčič, Mladen Živčič in Izidor Tasič prisostvovali na njegovi otvoritvi.

Abstract. ZAMG finished with the first phase of building of geophysical observatory near Muggendorf, about 60 km from Vienna. The observatory is named Conrad Observatory after well known austrian seismologist and climatologist Joseph Conrad (1876 - 1962).

Uvod

Na povabilo Avstrijskega Centralnega inštituta za meteorologijo in geodinamiko smo prisostvovali otvoritvi prve faze geofizikalnega observatorija, poimenovanega po svetovno znanem seizmologu in klimatologu Viktorju Conradu (1876-1962). Po otvoritvi je sledil ogled observatorija, zgrajenega na nadmorski višini 1046 m pod vrhom Trafelberga (1146 m), ki leži v območju Alp na Spodnjem Avstrijskem, približno 60 km jugovzhodno od Dunaja.

Govorniki na otvoritvi so bili (med drugimi):

- Univ. Prof. Dr. Peter Steinhauser, Direktor Centralnega inštituta za meteorologijo in geodinamiko,
- Elisabeth Gehrer, Ministrica za šolstvo, znanost in kulturo
- HR Dipl. Ing. Peter Melichar, Vodja oddelka za geofiziko na Centralnem inštitutu za meteorologijo in geodinamiko.

Na otvoritvi so bili prisotni tudi mnogi strokovnjaki iz drugih držav.

Osnovni podatki

Nekaj podatkov o gradnji:

- | | |
|-----------------------------|--------------------|
| • uporabna površina objekta | 729 m ² |
| • celotni stroški gradnje | 2,3 Mio Euro |
| • začetek gradnje | 13. 7. 1998 |
| • zaključek gradbenih del | 19. 10. 2000 |

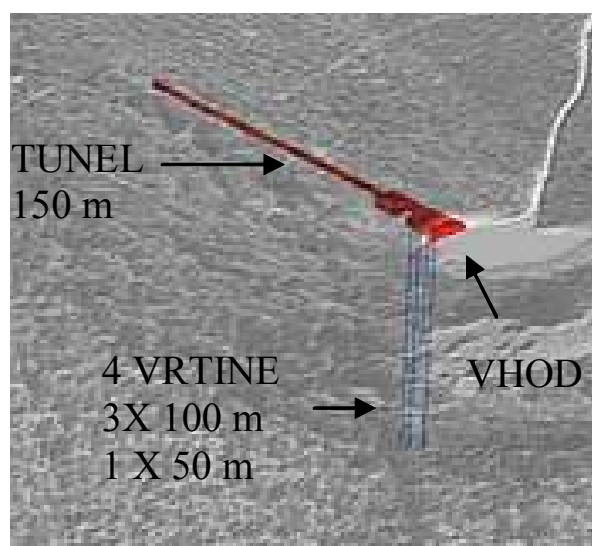
Observatorij bo služil za seizmološka in gravimetrična opazovanja, kot tudi v znanstvene namene razvoja inštrumentov. Je edini te vrste na območju Alp, sama lokacija pa se odlikuje po izredno majhnem naravnem in tehnološkem šumu. Ker je celoten observatorij zgrajen pod

zemeljsko površino, so zmanjšana tudi površinska nihanja. Skoraj konstantna temperatura v 150 m dolgem predoru in v štirih sosednjih vrtinah, od katerih so tri globoke 100m ena pa 50m, povečuje kvaliteto meritev. Objekt ima lasten napajalni sistem, komunikacijsko pa je povezan s sedežem Oddelka za geofiziko Centralnega inštituta za meteorologijo in geodinamiko na Dunaju. Obratovanje vseh inštrumentov, napajalnega sistema in regulacije temperature, je možno daljinsko nadzirati in upravljati.

Druga faza predvideva izgradnjo še dveh predorov in treh vrtin namenjenih za geomagnetna opazovanja.



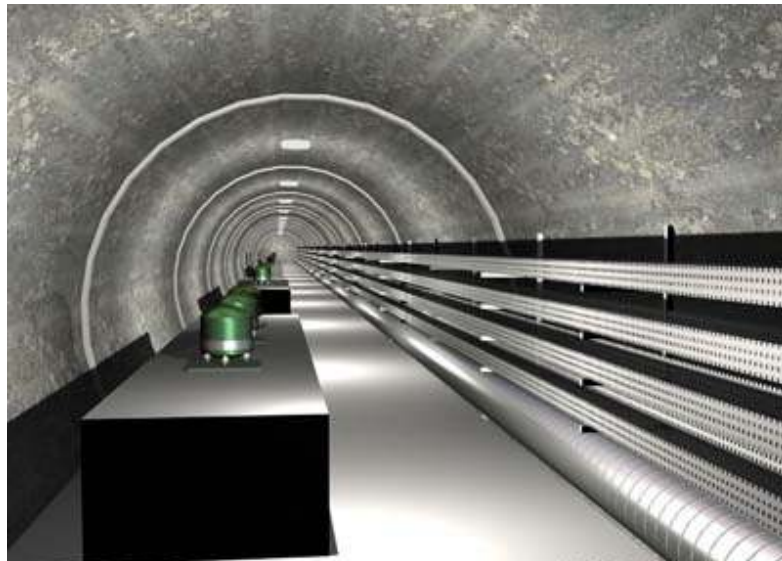
Slika 1. Vhod v observatorij
Figure 1. Entrance into the building



Slika 2. Objekt "Observatorij Conrad" se nahaja pod zemeljsko površino
Figure 2. The whole building is placed under the top of Trafelberg hill (1146 m)

Na kvaliteto meritev vpliva veliko parametrov. Predvsem v seizmologiji je za meritve pomembna mirna lokacija, oddaljena od vseh površinskih virov motenj. Zato se lahko na observatoriju Conrad zelo natančno, pod kontroliranimi pogoji, izvajajo vse seizmološke dejavnosti:

- opazovanje in merjenje potresov iz celega sveta,
- monitoring podzemnih eksplozij atomskih bom,
- umerjanje seizmometrov,
- razvoj in testiranje novih, zelo občutljivih sistemov,
- primerjava kvalitete različnih seizmoloških sistemov med seboj.



Slika 3. Tunel omogoča temperaturno stabilno okolje in kot tako povečuje natančnost seizmičnih meritev

Figure 3. The temperature in the tunnel is constant, which increases the accuracy of the measurements.



Slika 4. Laboratorij za seizmološke inštrumente za v vrtino bo omogočal primerjalne meritve
Figure 4. Comparative measurements of borehole seismometers will be possible in seismic laboratory



Slika 5. Laboratorij za gravimetrične meritve
Figure 5. Laboratory for gravimetric measurements



XXVIII GENERALNA SKUPŠČINA ESC THE XVIII ESC GENERAL ASSEMBLY

Genova, Italija, 1-6. september 2002

Ina Cecić, Izidor Tasič in Mladen Živčić

Povzetek. Od 1. do 6. septembra 2002 je potekalo v Genovi srečanje evropskih seizmologov – XXVIII. generalna skupščina Evropske seizmološke komisije (ESC). Srečanja se je udeležilo približno štiristo strokovnjakov, predvsem iz evropskih in sredozemskih dežel. ESC je bila do skupščine v Genovi sestavljena iz šestih podkomisij. Na skupščini je bila predlagana in potrjena nova, sedma podkomisija; ukvarjala se bo z organizacijo skupne evropske terenske ekipe, ki bo v primeru močnega potresa v Evropi ali Sredozemlju na terenu zbrala vse podatke, s poudarkom na makroseizmičnih. Slovenijo smo na skupščini zastopali trije uslužbenci Agencije RS za okolje, Urada za seizmologijo in geologijo, ki smo predstavili štiri prispevke.

Abstract. The XXVIII General Assembly of the European Seismological Commission took place in Genoa, Italy, on 1-6 September 2002. Four hundred Earth scientists from European and Mediterranean countries gathered to discuss the main issues in developments in seismology in the past two years. The structure of ESC consisted of six Sub-commissions, but on the Genoa meeting a seventh Sub-commission was formed, with the task of preparing a post-earthquake rapid intervention European field investigation team.

Evropska seizmološka komisija (ESC) je regionalna komisija mednarodnega združenja za seizmologijo in fiziko Zemljine notranjosti (IASPEI) in krovna organizacija evropskih seizmologov. Njen namen je promocija in izboljšava seizmoloških raziskav in projektov v Evropi, sredozemskih državah in neposrednih sosedah le-teh; pokriva območje od Srednjeatlantskega grebena do Urala ter od Arktičnega oceana do severne Afrike.

Od 1. do 6. septembra 2002 je potekalo v Genovi srečanje evropskih seizmologov – XXVIII. generalna skupščina Evropske seizmološke komisije (ESC). Številna predavanja, simpoziji, posterji, seje delovnih skupin ter organizacijske seje so potekali v kompleksu Palazzo Ducale v centru Genove. Srečanja se je udeležilo približno štiristo strokovnjakov, predvsem iz evropskih in sredozemskih dežel. Poleg rednih tem, s katerimi se ukvarjajo podkomisije in delovne skupine, so bili na konferenci tudi poudarki na naslednjih področjih: korelacija med potresi in drugimi pojavi, seizmogeno območja v Sredozemlju, potresi in s tem povezane dejavnosti civilne zaščite ter vključevanje seizmologije v izobraževanje.

ESC je bila do skupščine v Genovi sestavljena iz šestih podkomisij:

- A: Seizmičnost evropsko-sredozemskega področja
- B: Zajem podatkov, teorija in razlaga
- C: Fizika potresnih izvirov
- D: Struktura skorje in vrhnjega plašča
- E: Raziskovanje napovedovanja potresov
- F: Inženirska seizmologija

Na skupščini je bila predlagana in potrjena nova, sedma podkomisija (G), ki se bo ukvarjala z organizacijo skupne evropske terenske ekipe, ki bo v primeru močnega potresa v Evropi ali Sredozemlju na terenu zbrala vse podatke, s poudarkom na makroseizmičnih. Za predsednico podkomisije je bila izbrana Ina Cecić.

Slovenijo smo na skupščini zastopali trije uslužbenci Agencije RS za okolje, Urada za seizmologijo in geologijo. V sekciji SCB-0 "Zajem podatkov, teorija in razlaga" sta I. Tasič in M. Živčič predstavila poster "Postavljanje mreže potresnih opazovalnic okrog jedrske elektrarne Krško" (avtorji R. Vidrih, M. Godec, A. Gosar, P. Sinčič, I. Tasič, M. Živčič). V sekciji SCD-0 "Struktura skorje in vrhnjega plašča" je M. Živčič predstavil poster "Anizotropija hitrosti P_g valovanja v žariščnem prostoru Krnskega potresnega niza" (avtorji M. Herak, M. Živčič in D. Herak). V sekciji SC-F4 "Metode in praksa rutinskih makroseizmičnih raziskovanj v 21. stoletju" je I. Cecić predstavila prispevek "FITESC – Terenska ekipa za hitro posredovanje po močnem potresu v Evropi in Sredozemlju" (avtorji I. Cecić in pripravljalna skupina za FITESC). V sekciji SS-4 "Pripravljenost na potrese in civilna zaščita" je bil predstavljen prispevek "Priprave za terensko ekipo za hitro posredovanje po močnem potresu v Evropi in Sredozemlju" (avtorji R. Musson, I. Cecić, D. Mayer-Rosa in A. Tertulliani).

Znanstvena in strokovna dogajanja je spremljala razstava seizmoloških inštrumentov, kot tudi kulturni dogodki. Na srečanju so svoje sestanke imele tudi številne strokovne organizacije in ustanove, kot so Evropsko-sredozemski seizmološki center (EMSC) in Združenje observatorijev in raziskovalnih ustanov za evropsko seizmologijo (ORFEUS).