



AGENCIJA RS ZA OKOLJE



POTRESI V LETU 2004

LJUBLJANA 2006



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

POTRESI V LETU 2004

EARTHQUAKES IN 2004

AGENCIJA REPUBLIKE SLOVENIJE ZA OKOLJE
URAD ZA SEIZMOLOGIJO IN GEOLOGIJO

ENVIRONMENTAL AGENCY OF THE REPUBLIC OF SLOVENIA
SEISMOLOGY AND GEOLOGY OFFICE

Ljubljana 2006

POTRESI V LETU 2004

EARTHQUAKES IN 2004

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 Cekić
Matjaž Godec
dr. Andrej Gosar
mag. Tamara Jesenko
Peter Sinčič
dr. Barbara Šket Motnikar
mag. Izidor Tasič
Polona Zupančič
mag. Mladen Živčič

TISK – PRINTED BY

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

Mednarodna standardna serijska številka: ISSN 1318 - 4792
--

NASLOVNICA:

Močno poškodovan objekt v vasi Čezsoča (foto: R. Vidrih).

Glej članek R. Vidrih: »Potres 12. julija 2004 v zgornjem Posočju«, str 41.

COVER PAGE:

Destroyed building in the village of Čezsoča (Photo: R. Vidrih).

See R. Vidrih: »The Earthquake of 12 July 2004 in Upper Soča Valley«, page 41.

Kazalo:

<i>Renato Vidrih</i> PREDGOVOR	1
<i>Peter Sinčič, Renato Vidrih, Matjaž Gostinčar, Izidor Tasič, Mladen Živčič</i> POTRESNE OPAZOVALNICE V SLOVENIJI V LETU 2004	1
<i>Ina Cecić, Mladen Živčič, Tamara Jesenko, Janko Kolar</i> POTRESI V SLOVENIJI LETA 2004	16
<i>Renato Vidrih</i> POTRES 12. JULIJA 2004 V ZGORNJEM POSOČJU	41
<i>Vanja Kastelic, Mladen Živčič, Jurij Pahor, Andrej Gosar</i> SEIZMOTEKTONSKE ZNAČILNOSTI POTRESA LETA 2004 V KRNSKEM POGORJU	78
<i>Jurij Pahor, Janko Kolar, Mladen Živčič, Ina Cecić</i> POTRES 12. JULIJA 2004 V KRNSKEM POGORJU (ZGORNJE POSOČJE) IN OPAZOVANJE POPOTRESNE AKTIVNOSTI	88
<i>Matjaž Godec, Barbara Šket Motnikar, Renato Vidrih, Polona Zupančič</i> PREGLED POŠKODB OB POTRESIH LETA 1998 IN 2004 V ZGORNJEM POSOČJU	95
<i>Barbara Šket Motnikar, Tatjana Prosen</i> POSPEŠKI V POSOČJU OB POTRESU 12. 7. 2004	105
<i>Janez Lapajne, Barbara Šket Motnikar, Polona Zupančič</i> POTRESI V POSOČJU IN KARTA POTRESNE NEVARNOSTI SLOVENIJE	114
<i>Izidor Tasič, Matjaž Gostinčar, Igor Pfundner, Marko Mali, Peter Sinčič, Jože Prosen</i> DELOVANJE POTRESNIH OPAZOVALNIC V LETU 2004	132
<i>Matjaž Kobal, Martina Čarman, Janko Kolar, Jurij Pahor, Mladen Živčič</i> ZAJEM IN PROCESIRANJE SEIZMOLOŠKIH PODATKOV S PROGRAMSKIM PAKETOM ANTELOPE	142
<i>Jurij Pahor, Mladen Živčič, Martina Čarman, Janko Kolar</i> UČINKOVITOST PRIDOBIVANJA PODATKOV IZ POTRESNIH OPAZOVALNIC SLOVENSKE MREŽE V LETU 2004	151
<i>Janko Kolar, Jurij Pahor, Mladen Živčič</i> ANALIZA NATANČNOSTI AVTOMATSKIH LOKACIJ POTRESOV ZA LETO 2004	159
<i>Izidor Tasič</i> AKCELEROMETER EPISSENSOR FBA ES-T	165

<i>Izidor Tasič</i> AVTOMATSKA LOKACIJA POTRESOV NA SAMOSTOJNI POTRESNI OPAZOVALNICI.....	171
<i>Izidor Tasič, Marko Mali, Polona Zupančič</i> OCENA LOKACIJE OPAZOVALNICE S POMOČJO LOKALNEGA GPS SPREJEMNIKA	177
<i>Tatjan Prosen</i> AKCELEROGRAFI SLOVENSKE MREŽE POTRESNIH OPAZOVALNIC.....	185
<i>Renato Vidrih</i> OTVORITEV MREŽE POTRESNIH OPAZOVALNIC OKOLI LJUBLJANE	189
<i>Tamara Jesenko, Renato Vidrih</i> MOČNEJŠI POTRESI PO SVETU LETA 2004.....	194
<i>Renato Vidrih</i> POTRES 26. DECEMBRA 2004 V INDONEZIJI - NASTANEK, CUNAMIJI IN POSLEDICE.....	206
<i>Polona Zupančič</i> 29. GENERALNA SKUPŠČINA EVROPSKE SEIZMOLOŠKE KOMISIJE.....	237
<i>Peter Sinčič</i> 100 LET SEIZMOLOŠKE SLUŽBE V AVSTRIJI.....	240

Table of Contents:

<i>Renato Vidrih</i> PREFACE.....	III
<i>Peter Sinčič, Renato Vidrih, Matjaž Gostinčar, Izidor Tasič, Mladen Živčič</i> SEISMIC NETWORK IN SLOVENIA IN 2004.....	1
<i>Ina Cecič, Mladen Živčič, Tamara Jesenko, Janko Kolar</i> EARTHQUAKES IN SLOVENIA IN 2004.....	16
<i>Renato Vidrih</i> THE EARTHQUAKE OF 12 JULY 2004 IN UPPER SOČA VALLEY	41
<i>Vanja Kastelic, Mladen Živčič, Jurij Pahor, Andrej Gosar</i> SEISMOTECTONIC CHARACTERISTICS OF THE 2004 KRN MOUNTAIN-RIDGE EARTHQUAKE.....	78
<i>Jurij Pahor, Janko Kolar, Mladen Živčič, Ina Cecič</i> THE EARTHQUAKE OF 12 JULY 2004 IN THE KRN MOUNTAINS (UPPER SOČA VALLEY) AND MONITORING OF THE AFTERSHOCK ACTIVITY	88
<i>Matjaž Godec, Barbara Šket Motnikar, Renato Vidrih, Polona Zupančič</i> A SURVEY OF DAMAGE CAUSED BY THE 1998 AND 2004 EARTHQUAKES IN THE UPPER SOČA VALLEY	95
<i>Barbara Šket Motnikar, Tatjana Prosen</i> ACCELERATIONS IN POSOČJE JULY 12, 2004	105
<i>Janez Lapajne, Barbara Šket Motnikar, Polona Zupančič</i> EARTHQUAKES IN POSOČJE AND SEISMIC HAZARD MAP OF SLOVENIA.....	114
<i>Izidor Tasič, Matjaž Gostinčar, Igor Pfundner, Marko Mali, Peter Sinčič, Jože Prosen</i> SEISMIC STATIONS OPERATION IN 2004.....	132
<i>Matjaž Kobal, Martina Čarman, Janko Kolar, Jurij Pahor, Mladen Živčič</i> ACQUISITION AND PROCESSING OF SEISMOLOGICAL DATA BY ANTELOPE SOFTWARE	142
<i>Jurij Pahor, Mladen Živčič, Martina Čarman, Janko Kolar</i> SEISMIC DATA ACQUISITION EFFICIENCY FOR SLOVENIAN NETWORK IN 2004	151
<i>Janko Kolar, Jurij Pahor, Mladen Živčič</i> ACCURACY ANALYSIS OF THE AUTOMATIC EARTHQUAKE LOCATIONS IN 2004	159
<i>Izidor Tasič</i> ACCELEROMETER EPISENSOR FBA ES-T.....	165

<i>Izidor Tasič</i> AUTOMATIC QUANTIFICATION OF EARTHQUAKE PARAMETERS AT A SINGLE SEISMIC STATION	171
<i>Izidor Tasič, Marko Mali, Polona Zupančič</i> ESTIMATING SEISMIC STATION GEOGRAPHIC POSITION USING INTERNAL GPS RECEIVER.....	177
<i>Tatjan Prosen</i> SLOVENIAN NETWORK OF ACCELEROGRAPHS	185
<i>Renato Vidrih</i> OPENING OF THE SEISMIC MONITORING STATIONS NETWORK IN LJUBLJANA REGION.....	189
<i>Tamara Jesenko, Renato Vidrih</i> WORLD'S LARGEST EARTHQUAKE IN 2004	194
<i>Renato Vidrih</i> THE 26 DECEMBRE 2004 EARTHQUAKE IN INDONESIA – ORIGIN, TSUNAMIES AND EFFECTS.....	206
<i>Polona Zupančič</i> XXIX GENERAL ASSEMBLY OF THE EUROPEAN SEISMOLOGICAL COMMISSION.....	237
<i>Peter Sinčič</i> 100 YEARS SEISMOLOGICAL SERVICE OF AUSTRIA	240

PREDGOVOR

Izšla je štirinajsta zaporedna publikacija Urada za seizmologijo in geologijo Agencije RS za okolje »Potresi v letu...«. Publikacija predstavlja potresno dejavnost doma in po svetu. Del besedil obravnava spremljajoča dela na državni mreži potresnih opazovalnic ter probleme in izboljšave pri analizi potresnih dogodkov v letu 2004.

Konec leta 2004 je v Sloveniji delovalo 21 potresnih opazovalnic državne mreže, opremljenih z različnimi vrstami analognih in digitalnih seizmografov ter štirinajst opazovalnic z akcelerografi, namenjenih beleženju močnejših potresov. V letu 2004 so instrumenti zabeležili 8451 seizmičnih dogodkov, od tega 905 oddaljenih potresov (oddaljenih več kot 1100 km), 956 regionalnih potresov (oddaljenih med 160 in 1100 km), 5398 lokalnih potresov (oddaljenih manj kot 160 km) in 1167 umetnih potresov.

Osrednji članek opisuje potresno dejavnost v Sloveniji. Ob povečani potresni dejavnosti so prebivalci v različnih predelih države zaznali več kot 75 potresnih sunkov, od katerih je večina žarišč nastala na naših tleh. Najmočnejši potres je bil 12. julija ob 13. uri in 4 minute po svetovnem času oz. dve uri kasneje po srednjeevropskem poletnem času z žariščem v okolici Bovca v zgornjem Posočju. Imel je lokalno magnitudo 4,9, največji učinki pa so bili VI-VII EMS-98 (12-stopenjska evropska potresna lestvica). Prebivalce Slovenije je močno prestrašil tudi potres 24. novembra ob 22. uri in 59 minut po svetovnem času oz. eno uro kasneje po poletnem času, katerega žarišče je nastalo na območju Gardskega jezera v Italiji ($M_L=5,3$). Dvanajst potresov je doseglo intenziteto V EMS-98, osem potresov IV-V EMS-98, štirinajst IV EMS, ostalih 36, ki so jih čutili prebivalci pa III-IV EMS ali manj. Potresna žarišča so nastajala do globine 18 km, največ jih je bilo v globini med 6 in 9 km.

Sledi niz člankov, ki obravnavajo najmočnejši dogodek v letu 2004, to je potres v zgornjem Posočju. Potres 12. julija je povzročil večjo gmotno škodo v nekaterih predelih Bovca in v vasi Čezsoča. Imel je lokalno magnitudo 4,9, dosegel pa je učinke VI-VII EMS-98. Članki obravnavajo poškodbe objektov, narave, seizmotektonske značilnosti, popotresno dejavnost, primerjavo poškodb ob potresih leta 1998 in 2004, pospeške, ki so nastali ob potresu, karte potresne nevarnosti itd. Ob potresu leta 1998 je bilo bolj ali manj poškodovanih 2928 objektov, ob potresu leta 2004 pa 1764. Čeprav je bila sproščena energija potresa 2004 desetkrat manjša od tistega leta 1998, so bili poškodovani tudi objekti, ki so bili po potresu 1998 obnovljeni in ojačani.

Sledijo članki, ki obravnavajo delovanje posameznih sistemov, njihovo kalibriranje, učinkovitost in izboljšave. Podani so rezultati analize delovanja potresnih opazovalnic, izpadi in razlogi zanje. Predstavljen je programski paket Antelope za zajem, obdelavo, arhiviranje in posredovanje seizmoloških podatkov. Učinkovitost pridobivanja podatkov iz potresnih opazovalnic je velika, saj dobimo podatke treh opazovalnic (15% vseh) v manj kot dveh sekundah, po desetih sekundah pa so na voljo podatki iz približno 85% opazovalnic. Analiza natančnosti avtomatskih podatkov lokacij potresov kaže, da je za dokončno oceno avtomatske lokacije še vedno potreben dežurni seizmolog. Naslednji članek opisuje akcelerometer EpiSensor FBA ES-T, s katerim so opremljene nekatere opazovalnice državne

mreže. Sodelavci Urada so razvili avtomatsko določanje osnovnih parametrov potresa na podlagi digitalnega zapisa iz ene same potresne opazovalnice z relativno napako boljšo od 10%. Z vgrajenim GPS sprejemnikom, s katerim so opremljeni sodobni seizmološki digitalni zajemalni sistemi zaradi zahteve po točnem času, je možno tudi ocenjevati koordinate posamezne lokacije. V letu 2004 je bilo v Sloveniji štirinajst opazovalnic za beleženje močnih potresov, od tega deset opremljenih z akcelerografi Etna, tri s SSA-2 in ena z inštrumentom K2; vsi ameriške tvrdke Kinematics.

28. septembra 2004 smo z otvoritvijo mreže potresnih opazovalnic okoli Ljubljane zaključili vse tri lokalne mreže, ki so del državne mreže potresnih opazovalnic. Otvoritev ljubljanske mreže je potekala na Črnem vrhu nad Polhovim Gradcem. Nove opazovalnice pa so še na Vrhu pri Dolskem, Gorenji Brezovici in Možjanci. Peta potresna opazovalnica je observatorij na Golovcu v Ljubljani, ki kontinuirano deluje že od leta 1958 dalje.

Med močnejšimi potresi v letu 2004 po svetu je v preglednici predstavljenih 92 potresov, ki so dosegli ali presegli magnitudo 6,5 oz. povzročili večjo gmotno škodo ter zahtevali človeška življenja. Od teh je natančneje opisanih 49 potresov. Potres z največ smrtnimi žrtvami je bil 26. decembra ob zahodni obali severne Sumatre v Indoneziji. V njem je umrlo najmanj 283 100 ljudi, pogrešanih pa jih je še več kot 140 000. Ob njem se je sprostilo tudi največ energije, povzročil je velik cunami, ki je pustošil po obalah južne Azije in vzhodne Afrike. Imel je navorno magnitudo 9,0 in bil četrti najmočnejši potres po letu 1900. Tudi najgloblji potres v letu 2004 je bil 25. julija na območju južne Sumatre v Indoneziji in je imel žarišče v globini 582 km, navorno magnitudo pa 7,1. Potres z zelo globokim žariščem (566 km) je bil 15. julija v bližini otočja Fidži. Potresi v letu 2004 so zahtevali vsaj 284 012 žrtev.

Zadnji članek je posvečen največji naravni katastrofi v letu 2004, ki sodi tudi med največje katastrofe v zgodovini človeštva, potresu 26. decembra v Indoneziji. Ob potresu z navorno magnitudo 9,0 se je pod morskim dnem aktivirala prelomna cona v dolžini okoli 1000 km. Navpični premik morskega dna je povzročil nastanek cunamija, katerega razsežnosti in posledice so bile katastrofalne.

Na koncu publikacije je predstavljenih nekaj zanimivejših tujih konferenc ter srečanj, kjer smo aktivno sodelovali tudi sodelavci Agencije RS za okolje, Urada za seizmologijo in geologijo s predavanji ali predstavljenimi posterji. Zadnja leta na številnih konferencah uspešno predstavljamo izgradnjo državne mreže potresnih opazovalnic, za katero je precejšnje zanimanje strokovne javnosti.

Tudi ob izidu publikacije »Potresi v letu 2004« se sodelavci Agencije RS za okolje, 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 fourteenth annual publication »Earthquakes in year...« published by Seismology and Geology Office of The Environmental Agency of the Republic of Slovenia comes out. The seismic activity in Slovenia in 2004, as well as an overview of global seismicity is presented. Some papers speak about seismic network of Slovenia and problems and improvements of seismic events analysis in 2004.

At the end of 2004 there were 21 seismic stations equipped with different analogue and digital seismographs in operation, in addition to 14 stations with accelerographs for stronger earthquakes recordings. 8451 seismic events were recorded, among them 905 teleseismic (more than 1100 km away), 956 regional earthquakes (distant between 160 km and 1100 km), 5398 local earthquakes (distant less than 160 km) and 1167 artificial events.

The central paper is on seismic activity in Slovenia in 2004. The inhabitants felt 75 earthquakes, most of them occurred within the Slovenian borders. The strongest event in 2004 happened on 12 July at 13.04 UTC (15.04 local time) in vicinity of Bovec in NW Slovenia. Its local magnitude was 4.9 and the maximum observed intensity was VI-VII EMS-98. The earthquake on 24 November at 22.59 UTC with hypocentre near Lake Garda in Italy ($M_L=5.3$) was strongly felt, too. In 2004 there were twelve earthquakes with maximum intensity V EMS-98, eight with IV-V EMS-98, fourteen with IV EMS-98, and 36 with the intensity lower than IV EMS-98. The focal depths were up to 18 km, most of them in between 6 and 9 km.

Several papers speak about the 12 July earthquake. The strongest event in 2004 in Slovenia caused considerable damage in Bovec and Čezsoča. The damage on the buildings, effects in the nature, seismotectonic characteristics, aftershock activity, the comparison of damage patterns in 1998 and 2004, accelerations, seismic hazard maps – all of that is discussed. Brief comparison: the earthquake in 1998 damaged 2928 buildings, the one in 2004 caused damage on 1764. In spite of the fact that the 2004 event was ten times weaker in terms of energy, it damaged even the buildings retrofitted after 1998.

The papers that follow are about particular seismic systems, their operation, calibration, efficiency and improvement. The results of analysis of the seismic station operation were presented, the loss of data and reasons for that. The software for data acquisition, analysis, archiving and data distribution is presented. The efficiency of gathering data is very high, for data from three stations (15%) are fetched in less than two seconds, and after ten seconds the data from 85% stations are available. The analysis of the accuracy of the automatic earthquake parameters determination shows that the seismologist in duty is still necessary for the confirmation of the final estimation. The accelerometer EpiSensor FBA ES-T, that is installed in some seismic station, is presented in the following paper. The staff of Seismology and Geology Office developed software for automatic earthquake parameters determination with relative error less than 10% using the data of only one station. The GPS receiver that is built in acquisition unit can be used for seismic stations site coordinates estimation. In the year 2004 there were 14 stations for strong motion recording operated by ARSO.

The opening of the seismic network around Ljubljana on 28 September 2004 brought to the end the process of construction of seismic network of Slovenia. The opening took place on Črni Vrh above Polhov Gradec. New stations were built also on Vrh pri Dolskem, Gorenja Brezovica and Možjanca. The fifth station is in the Observatory on Golovec hill above Ljubljana, which has been continuous operating since 1958.

In the year 2004 there were 92 earthquakes in the world that either reached a magnitude of 6.5 or larger, caused major material damage and even claimed human lives respectively. In the paper 49 of them are described. The most devastating earthquake in the year 2003 happened at the west coast of the north Sumatra, Indonesia. More than 283000 people were killed, more than 140000 were missing. Released energy caused big tsunami, devastating south Asian and south African coasts. With its moment magnitude of 9.0 it is the fourth largest earthquake since 1900. The deepest earthquake in 2004 also occurred in region of south Sumatra; it was 582 km deep with moment magnitude 7.1. Another very deep earthquake (566 km below surface) happened on 15 July 2004 near Fiji Islands. In 2004 earthquakes claimed more than 284000 human lives.

The last article is dedicated to the largest natural catastrophe in 2004, the earthquake on 26 December 2003 that is definitely one among the largest in human history. The fault in length of about 1000 km on the sea bottom was activated. The vertical movement caused tsunami with devastating consequences.

In the end of publication two conferences are presented.

On this occasion the staff of Seismology and Geology Office would like to thank 4600 voluntary observers through Slovenia for their patience and cooperation. Without their help it would not be possible to collect valuable seismological data, assess earthquake effects and estimate the intensities.

Renato Vidrih

Editor - In - Chief

POTRESNE OPAZOVALNICE V SLOVENIJI V LETU 2004

SEISMIC NETWORK IN SLOVENIA IN 2004

Peter Sinčič, Renato Vidrih, Matjaž Gostinčar, Izidor Tasič, Mladen Živčić

Izvleček. Konec leta 2004 je na ozemlju Republike Slovenije delovalo 21 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 (BOJS), Dobrini na Kozjanskem (DOBS), v Goričicah pri Cerknici (CEY), Cesti nad Krškim (CESS), v Robiču v zgornjem Posočju (ROBS), na Pernicah (PERS), v Braniku nad Muto (BISS), Grobniku na Pohorju (GROS), v Podkumu (PDKS), Črešnjevcu na Gorjancih (CRES), na Golišah na Bizeljskem (GOLS), na Legarjih na Dolenjskem (LEGS), v Čadrgu nad Tolminom (CADS), Gornjem Cirkniku na Gorjancih (GCIS), v Višnjah v Suhi krajini (VISS), na Javorniku nad Črnim vrhom (JAVS), na Kogu v Slovenskih Goricah (KOGS), na Gorjušah na Pokljuki (GORS) na Vojskem (VOJS) in v Zavodnjah nad Šaleško dolino (ZAVS). V okviru projekta modernizacije mreže potresnih opazovalnic so bile zgrajene in vključene v omrežje tri nove opazovalnice: Kog, Gorjuše in Zavodnje. Na Vojskem in v Bojancih pa smo obstoječi opazovalnici nadgradili z izgradnjo dodatnih jaškov in z namestitvijo nove merilne opreme. Po močnem potresu 12. julija smo postavili mrežo začasnih opazovalnic v zgornjem Posočju in Bohinju.

Abstract. Twentyone permanent seismic stations were recording within the Republic of Slovenia at the end of 2004. The stations were equipped with different types of analogue and digital seismographs. The oldest and central seismic station of the Environmental Agency of the Republic of Slovenia, located at the observatory Golovec in Ljubljana (LJU), 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. The short and long period photographic seismographs stopped recording at the end of the year. A seismic station (CEY) 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 (VOY) 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. In 2004 new site was built up, Guralp CMG-40T seismometer and Q730 data logger were installed and the code of the station was changed to VOJS. In the 1986 the seismic station in Bojanci, Bela krajina, was installed (VBY). 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. As in Vojsko new site was built up, Guralp CMG-40T seismometer and Q730 data logger were installed and the code of the station was changed to BOJS. In order to monitor seismic activity in the Krško - Brežice area, a temporary seismic station was set up in 1990 in Brezje near Senuše (KBZ). It was equipped with a vertical component portable analogue seismograph. A seismic station was set up at Cesta near Krško in 1996 (CESS). Originally, a portable broadband digital seismograph recording data on magnetic tape was installed there. In 1997, 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 (BISS). 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

(DOBS). 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 (HORJ). 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 protocol over an Ethernet-based Wide Area Network. In the 2000 the project "Modernization of the Seismic Network of the Republic of Slovenia" started. In 2002 seven new seismic stations were built up in Pernice (PERS), Grobnik (GROS), Podkum (PDKS), Goliše (GOLS), Črešnjevec (CRES), Legarje (LEGS) and Robič (ROBS). In 2003 the project continued with four new seismic stations in Čadrg (CADS), Višnje (VISS), Gornji Cirknik (GCIS) and Javornik (JAVS). In 2004 the new seismic stations were added to network in Kog (KOGS), Gorjuše (GORS) in Zavodnje (ZAVS). 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. After strong earthquake that occurred on 12 July in upper Soča territory, a few portable instruments were installed in affected area.

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. Oba seizmografa z optično registracijo sta konec leta 2004 prenehala z beleženjem. Leta 1975 je bila zgrajena potresna opazovalnica CEY v Goričicah pri Cerkniskem jezeru. Opremljena je bila z analognim trikomponentnim kratkoperiodnim seizmografom, ki mu je bil leta 1997 dodan digitalni širokopasovni seizmograf. Januarja 1985 je na Slovenskem začela delovati tretja potresna opazovalnica VOY, ki smo jo postavili na Vojskem nad Idrijo (Trnkoczy in Vidrih, 1986). V začetku je bila opremljena z analognim kratkoperiodnim seizmografom z vertikalno komponento, januarja leta 1991 pa sta bili dodani še horizontalni komponenti. Leta 1986 je bila zgrajena potresna opazovalnica VBY v Bojancih v Beli krajini, ki je bila prav tako opremljena z analognim kratkoperiodnim seizmografom z vertikalno komponento. Leta 1996 smo ji dodali širokopasovni digitalni seizmograf s prenosom podatkov po klicni telefonski liniji v središče za obdelavo podatkov (SOP) v Ljubljani. Za opazovanje seizmičnosti Krško - Brežiškega polja je bila leta 1990 postavljena začasna potresna opazovalnica KBZ z enokomponentnim prenosnim analognim seizmografom v Brezju pri Senušah, leta 1996 pa še opazovalnica CESS v Cesti nad Krškim. Tu je bil na začetku nameščen prenosni širokopasovni digitalni seizmograf s shranjevanjem podatkov na magnetni trak, ki smo ga leta 1997 zamenjali s seizmografom s prenosom podatkov po državnem računalniškem omrežju v SOP. Zaradi možnosti povečanja seizmičnosti ob polnjenju akumulacijskega jezera v sosednji Avstriji je bila leta 1991 postavljena začasna potresna opazovalnica BISS z enokomponentnim prenosnim analognim seizmografom v Braniku nad Muto. Leta 1996 ji je bil dodan jašek in postavljen širokopasovni digitalni seizmograf s prenosom podatkov po klicni telefonski liniji v SOP. Leta 1996 je začela delovati potresna opazovalnica DOBS v Dobrini na Kozjanskem.

Opremljena je z enakim digitalnim seizmografom kot v Braniku nad Muto. V Horjulu občasno deluje prenosni digitalni seizmograf s shranjevanjem podatkov na magnetni medij (Sinčič in Vidrih, 1993, 1995). V okviru projekta modernizacije državnega omrežja potresnih opazovalnic 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), Črešnjevca (CRES) in Legarje (LEGS) na širšem območju Krškega, Podkum (PDKS) na Dolenjskem, Grobnik (GROS) na Pohorju, Pernice (PERS) na Kobanskem in Robič (ROBS) v zgornjem Posočju. V letu 2003 so bile v mrežo potresnih opazovalnic vključene opazovalnice v Čadrgu (CADS), Višnjah (VISS), Gornjem Cirkniku (GCIS) in Javorniku (JAVS). Leta 2004 so bile zgrajene in vključene v omrežje opazovalnice na Kogu (KOGS), v Gorjušah (GORS) in Zavodnjah (ZAVS). V Bojancih in na Vojskem smo v neposredni bližini obstoječih opazovalnic zgradili nove jaške in namestili novo merilno opremo (slika 1).

Prenehali smo z opazovanjem na začasnih opazovalnicah v Nadgorici, Rakičanu, Biljah in Novem mestu. Zaradi močnega potresa v zgornjem Posočju smo začasno namestili instrumente v Čezsoči, Srpenici, Lepeni, Vrsniku in Ribčevem Lazu.

Analogne potresne opazovalnice

Urad za seizmologijo in geologijo bo še nekaj časa uporabljal tudi analogne seizmografe za beleženje potresov. Analogni seizmograf sestavljajo seizmometer, seizmografski ojačevalnik z ustreznimi filtri in pisač z zapisom s črnilom na navaden papir ali s svetlobnim žarkom na fotografski papir. Slabost analognih seizmografov je majhno dinamično območje (40 – 45 dB) in resolucija. Šibkih potresov zaradi majhne resolucije ni možno analizirati, močni potresi pa prekrmilijo inštrument in je zapis potresa manj uporaben. Druga, še večja pomankljivost je, da pri obdelavi potresov ne moremo uporabljati računalnika, saj danes večji del analiz temelji na računalniški obdelavi. Analogni seizmografi v letu 2004 še vedno delujejo na potresnih opazovalnicah na observatoriju na Golovcu v Ljubljani, na Vojskem, v Brezju pri Senušah, v Bojancih in Braniku nad Muto. Podatki o opazovalnicah so zbrani v Preglednici 1.

Digitalne potresne opazovalnice

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

V potresni opazovalnici na Golovcu v Ljubljani je leta 1990 začel delovati prvi digitalni inštrument. To je bil šestkanalni digitalni seizmograf s tremi enokomponentnimi širokopasovnimi seizmometri WR-1 in trikomponentnim akcelerometrom FBA-23 podjetja Kinometrics. Seizmograf ima 16-bitni analogno-digitalni pretvornik analognega signala in deluje v prožilnem načinu delovanja in s frekvenco vzorčenja 200 vzorcev na sekundo.

opaz. station	ozn. code	zem. šir. latitude	zem. dolž. longitude	n. viš. elev. [m]	geološka podlaga local geology	seizmometer sensor type	pisač recorder	začetek/konec delovanja start/stop time
		°N	°E					
Ljubljana	LJU	46,0438	14,5277	396	karbonski peščenjak sandstone i	dolgoperiodni longperiod Sprengnether S-5007V&H 3 komp./comp.	galvanometer GL261 pisač/ recorder R-6007 (foto/ photo)	14. 04. 1969/ 21. 12. 2004
						kratkoperiodni shortperiod Lehner Griffith SV215&SH216 3 komp./comp.	galvanometer GS – 250 pisač/ recorder DR – 273 (foto)	02. 07. 1969/ 21. 12. 2004
						kratkoperiodni Willmore MkII 3 komp./comp.	ojačevalnik SO-01 pisač/ recorder Günter-Volk (črnilo)	01. 01. 1974/ še deluje/ operating
Vojsko	VOY	46,0316	13,8882	1073	zgorjnjetriasni dolomit dolomite	kratkoperiodni shortperiod Willmore MkII 3 komp./comp.	ojačevalnik SO-03 pisač/ recorder VR - 2 (črnilo/ ink)	28. 11. 1984/ še deluje/ operating
Brezje pri Senušah	KBZ	45,9405	15,4390	217	pliokvartarna glina clay	kratkoperiodni shortperiod Vegik vertikalna komp. vertical comp.	pisač/ recorder PS - 2	30. 08. 1990/ še deluje/ operating
Bojanci	VBY	45,5042	15,2518	252	kredni apnenec limestone	kratkoperiodni shortperiod Vegik vertikalna komp. vertical comp.	ojačevalnik SO-03 pisač/ recorder Kablar (črnilo/ ink)	29. 10. 1986/ še deluje/ operating
Branik nad Muto	BISS	46,6479	15,1270	490	metamorfne kamnine metamorphic rocks	kratkoperiodni shortperiod Vegik vertikalna komp. vertical comp.	pisač/ recorder PS - 2	11. 09. 1990/ 30. 04. 2004

Preglednica 1. Analogne potresne opazovalnice v Sloveniji.

Table 1. Analogous seismic stations in Slovenia.

Leta 1996 smo postavili prvo omrežje digitalnih seizmografov podjetja Nanometrics s prenosom podatkov v centralni računalnik. V začetku so mrežo tvorile štiri opazovalnice: Ljubljana (LJU), Branik nad Muto (BISS), Dobrina (DOBS), Cerknica (CEY) in Bojanci (VBY). Digitalni seizmograf sestavljajo trikomponentni širokopasovni seizmometer Güralp CMG-40T, trikanalni 16-bitni analogno - digitalni pretvornik s tristopenjskim samonastavljivim predojačevalnikom RD 1639 in osebni računalnik s sprejemnikom točnega časa GPS in programsko opremo, ki skrbi za zajem podatkov, lokalno shranjevanje in komunikacijo s centralnim računalnikom. V začetku je komunikacija potekala po klicnih telefonskih linijah, kasneje pa smo seizmografe vključili v državno računalniško omrežje. V drugi polovici leta 1997 smo v omrežje vključili še šesto opazovalnico na Cesti nad Krškim (CESS). Seizmograf sestavljajo trikomponentni širokopasovni seizmometer Güralp CMG-40T, trikanalni 24 -

bitni analogni - digitalni pretvornik HRD24-2432 z vgrajenim sprejemnikom točnega časa GPS in modemom za prenos podatkov po najeti telefonski liniji do vozlišča državnega računalniškega omrežja v Krškem. Seizmografi delujejo tako, da se neprekinjen zapis nihanja Zemlje shranjuje lokalno v krožni pomnilnik, programska oprema samodejno zazna dogodke in njihove zapise pošlje v centralni računalnik. Programska oprema v centralnem računalniku združuje dogodke s posameznih opazovalnic in izračuna parametre potresa.

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 potrebe na ozemlju Slovenije obveščanje o osnovnih parametrih z ustrezno natančnostjo in zanesljivostjo v realnem času. V Ljubljani smo vzpostavili novo središče za zajem in analizo podatkov. V opazovalnice v Ljubljani, Goričicah, Dobrini in v jedrsko elektrarno v Krškem smo namestili nove digitalne seizmografe. Z gradnjo smo začeli najprej na območju Krškega, nato pa tudi drugod po Sloveniji, tako da smo jih letu 2002 vključili v omrežje sedem: Goliše (GOLS), Črešnjevca (CRES) in Legarje (LEGS) na širšem območju Krškega, Podkum (PDKS) na Dolenjskem, Grobnik (GROS) na Pohorju, Pernice (PERS) na Kobanskem in Robič (ROBS) v zgornjem Posočju. V letu 2003 so bile v mrežo potresnih opazovalnic vključene opazovalnice v Čadrgu nad Tolminom (CADS), v Višnjah v Suhi krajini (VISS), v Gornjem Cirkniku na Gorjancih (GCIS), na Knežjen dolu v snežniškem pogorju (KNDS) in na Javorniku nad Črnim vrhom nad Idrijo (JAVS). V letu 2004 smo v neposredni bližini opazovalnic v Bojancih in na Vojskem zgradili po tipskem projektu nove jaške in vanje namestili novo merilno in komunikacijsko opremo. Opazovalnici sta dobili tudi novo mednarodno oznako: BOJS za Bojance in VOJS za Vojsko. Poleg modernizacije teh dveh opazovalnic so bile zgrajene še tri nove po istem projektu: na Kogu v vzhodnem delu Slovenskih goric (KOGS) (slika 2), v Gorjušah na Pokljuki (GORS) (slika 3) in v Zavodnjah nad Šaleško dolino (ZAVS).

Na vseh opazovalnicah razen v Robiču, Cerknici, Dobrini in Ljubljani je oprema, ki jo sestavljajo senzor, zajemalna enota, komunikacijska oprema za kontinuirani prenos podatkov v središče za obdelavo podatkov (SOP) in brezprekinitveno napajanje, nameščena v dveh jaških. V seizmičnem jašku sta nameščena trikomponentni širokopasovni seizmometer Guralp CMG-40T in zajemalna enota Quanterra Q730. Enota ima na vhodu tri (pri petih opazovalnicah šest) predojačevalnike, neodvisne Delta-Sigma 24-bitne analogno-digitalne (A/D) med seboj galvansko ločene pretvornike, sprejemnik časovnih signalov, lokalni pomnilnik, komunikacijski vmesnik in strojno programsko opremo za nadzor delovanja sistema. Trije podatkovni nizi s frekvencami vzorčenja 200, 20 in 1 vzorec na sekundo se neprekinjeno pošiljajo po podatkovnem omrežju v SOP. V pomožnem jašku je nameščena komunikacijska oprema za vključitev opazovalnice v državno računalniško omrežje, ki jo tvorita usmerjevalnik in modem, 12-voltno baterijsko napajanje s polnilcem in razsmernikom, ki omogoča 24-urno delovanje potresne opazovalnice ob izpadu omrežne napetosti, ter priključek na omrežno napetost 230 V in priključek na najeto linijo za prenos podatkov. Prenos podatkov v središče za obdelavo (SOP) poteka v realnem času. V zračniku je skrita antena GPS sprejemnika točnega časa. Na opazovalnicah Legarje, Goliše, Zavodnje

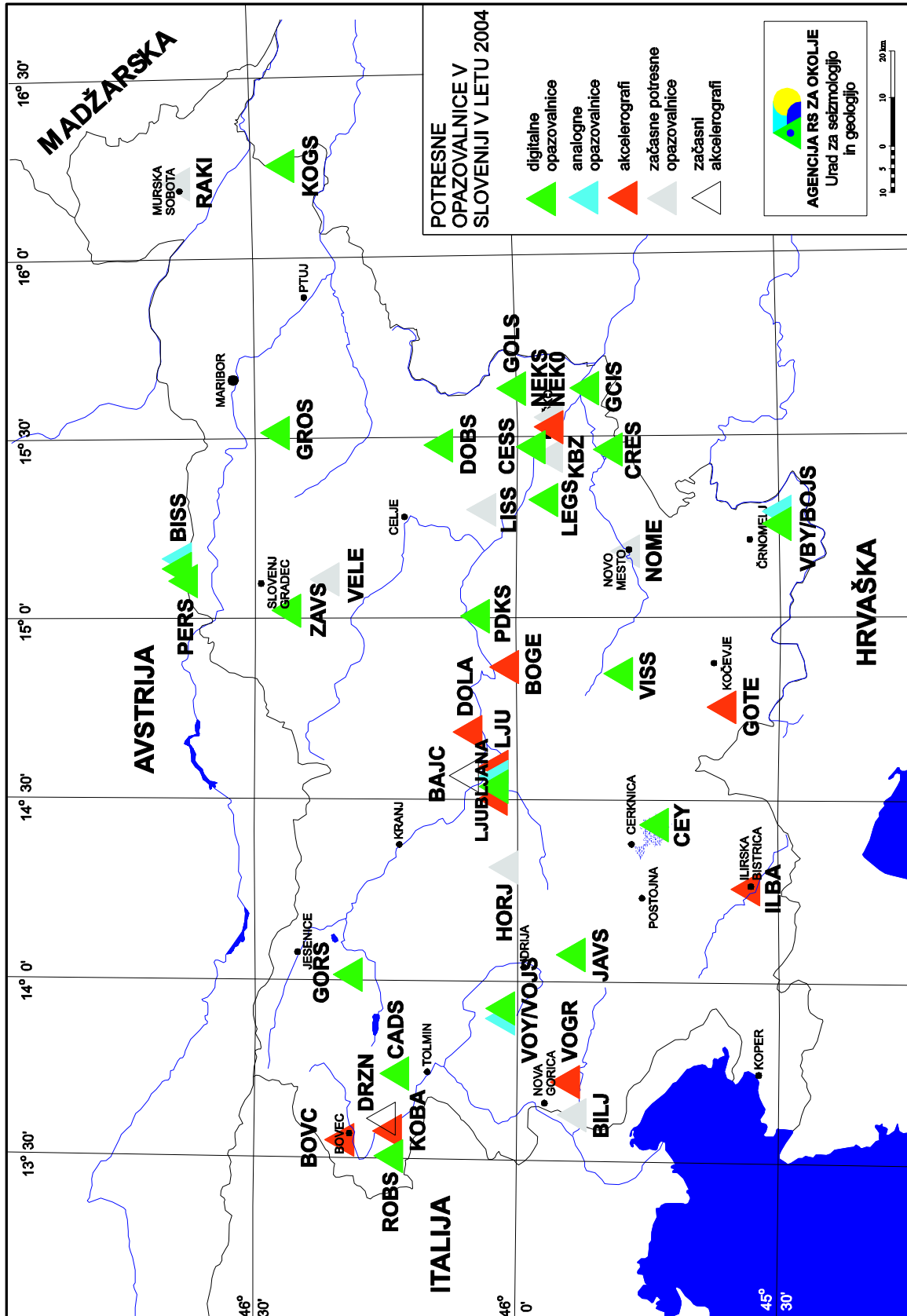
in Podkum je seizmometer nameščen v vrtino. Na potresni opazovalnici Robič je vsa oprema nameščena v skalni votlini, v Ljubljani pa v kleti observatorija na Golovcu. Prenos podatkov z opazovalnic Čadrg, Javornik, Višnje, Gornji Cirknik, Zavodnje in Knežji dol v SOP poteka po GSM omrežju z uporabo HSCSD protokola (preglednica 2).

opaz. station	ozn. code	zem. šir. longitude		n. viš. elev. [m]	geološka podlaga local geology	seizmometer sensor type	zajemalna naprava acquisition unit	začetek delovanja start time
		°N	°E					
Ljubljana	LJU	46,0438	14,5278	396	karbonski peščenjaki sandstone	širokopasovni/ broadband WR-1 3 komp./ comp akcelerometer/ accelerometer 3-komp./ comp FBA-23	SSR-1	20. 12. 1990
						širokopasovni/ broadband CMG-40T 3 komp./ comp.	RD3-1639	22. 05. 1996
						širokopasovni/ broadband CMG-40T 3 komp./ comp. akcelerometer/ accelerometer 3-komp./ comp. EpiSensor	Q 730	30. 03. 2001
Bojanci	VBY	45,5042	15,2518	252	kredni apnenec limestone	širokopasovni/ broadband CMG-40T 3 komp./ comp.	RD3-1639	od 28.05.1996 do 02.06.1999
						širokopasovni/ broadband CMG-40T 3 komp./ comp.	HRD24-2432	od 02.06.1999 do 17.02.2004
Branik nad Muto	BISS	46,6479	15,1270	490	metamorfne kamnine metamorphic rocks	širokopasovni/ broadband CMG-40T 3 komp./ comp.	RD3-1639	28. 08. 1996
Dobrina	DOBS	46,1494	15,4694	427	spodnjetriasni laporji marl	širokopasovni/ broadband CMG-40T 3 komp./ comp.	RD3-1639	16. 10. 1996
						širokopasovni/ broadband CMG-40T 3 komp./ comp.	Q 730	07. 04. 2001
Cerknica (Goričice)	CEY	45,7381	14,4221	579	apnenec limestone	širokopasovni/ broadband CMG-40T 3 komp./ comp.	RD3-1639	14. 01. 1997
						širokopasovni/ broadband CMG-40T 3 komp./ comp.	Q 730	30. 03. 2001
Cesta	CESS	45,9732	15,4631	372	dolomit dolomite	širokopasovni/ broadband CMG-40T 3 komp./ comp.	72A-07/DAT	od 08.05.1996 do 04.09.1997
						širokopasovni/ broadband CMG-40T 3 komp./ comp.	HRD24-2432	04. 09. 1997
Goliše	GOLS	46,0107	15,6249	559	masiven dolomit massive dolomite	širokopasovni/ broadband CMG-40T BH 3 komp./ comp.	Q 730	26. 02. 2002
Črešnjevec	CRES	45,8260	15,4569	431	triasni dolomi	širokopasovni/ broadband CMG-40T 3 komp./ comp.	Q 730	07. 03. 2002
Legarje	LEGS	45,9488	15,3177	390	sivi dolomit dolomite	širokopasovni/ broadband CMG-40T BH 3 komp./ comp.	Q 730	02. 09. 2002
Podkum	PKDS	46,0612	14,9978	679	dolomit dolomite	širokopasovni/ broadband CMG-40T BH 3 komp./ comp.	Q 730	11. 11. 2002

opaz. station	ozn. code	zem. šir. latitude	zem. dol. longitude	n. viš. elev. [m]	geološka podlaga local geology	seizmometer sensor type	zajemalna naprava acquisition unit	začetek delovanja start time
		°N	°E					
Robič	ROBS	46,2445	13,5094	265	apnenec limestone	širokopasovni/ broadband CMG-40T 3 komp./ comp.	Q 730	20. 11. 2002
Pernice	PERS	46,6359	15,1167	795	blestnik schist	širokopasovni/ broadband CMG-40T 3 komp./ comp.	Q 730	11. 12. 2002
Grobnik	GROS	46,4610	15,5018	930	tonalit tonalite	širokopasovni/ broadband CMG-40T 3 komp./ comp.	Q 730	12. 12. 2002
Čadrg	CADS	46,2280	13,7368	700	kredni apneneci limestone	širokopasovni/ broadband CMG-40T 3 komp./ comp.	Q 730	10. 07. 2003
Gornji Cirknik	GCIS	45,8672	15,6275	320	dolomit dolomite	širokopasovni/ broadband CMG-40T 3 komp./ comp.	Q 730	11. 08. 2003
Višnje	VISS	45,8033	14,8393	403	siv apnenec limestone	širokopasovni/ broadband CMG-40T 3 komp./ comp.	Q 730	14. 08. 2003
Javornik	JAVS	45,8934	14,0643	1100	zgornje triasni dolomit dolomite	širokopasovni/ broadband CMG-40T 3 komp./ comp.	Q 730	21. 08. 2003
Knežji dol	KNDS	45,5279	14,3806	1024	zgornje jurski apnenec limestone	širokopasovni/ broadband CMG-40T 3 komp./ comp.	Q 730	14. 10. 2003
dokončane in vključene v omrežje leta 2004/ finished and connected in network in 2004								
Kog	KOGS	46,4482	16,2503	240	glina clay	širokopasovni/ broadband CMG-40T 3 komp./ comp. akcelerator/ accelerometer 3-komp./ comp. EpiSensor	Q 730	22. 01. 2004
Bojanci	BOJS	45,5044	15,2518	252	kredni apnenec limestone	širokopasovni/ broadband CMG-40T 3 komp./ comp. akcelerator/ accelerometer 3-komp./ comp. EpiSensor	Q 730	17. 02. 2004
Gorjuše	GORS	46,3174	13,9999	1048	zg. triasni ploščasti apnenec z roženci platty limestone with chert	3 komp. širokopasovni CMG-40T akcelerator 3-komp./ comp. EpiSensor	Q 730	17. 05. 2004
Vojsko	VOJS	46,0322	13,8877	1073	zgornjetriasni dolomit dolomite	širokopasovni/ broadband CMG-40T 3 komp./ comp.	Q 730	30. 07. 2004
Zavodnje	ZAVS	46,4339	15,0242	750	granodiorit granodiorite	širokopasovni/ broadband CMG-40T BH 3 komp./ comp.	Q 730	07. 09. 2004

Preglednica 2. Digitalne potresne opazovalnice v Sloveniji

Table 2. Digital seismic stations in Slovenia.



Slika 1. Potresne opazovalnice v Sloveniji leta 2004. Začasne opazovalnice v zgornjem Posočju prikazuje slika 4.

Figure 1. Seismic network in Slovenia in 2004. Temporary stations installed in upper Soča Territory are shown on figure 4.

Komunikacijski protokol omogoča uporabniku nastavitve prioritete pri pošiljanju podatkov, na primer samo prenos posameznih dogodkov z manjšo frekvenco vzorčenja ali neprekinjen prenos zajemanega kanala. Tako tudi ob krajši prekinitvi prenosnih linij ne ostanemo brez podatkov. Komunikacija lahko poteka asinhrono preko serijskih vrat ali s TCP/IP protokolom preko vgrajene Ethernet kartice. Komunikacija je dvosmerna, tako da lahko iz osrednjega računalnika daljinsko nastavljamo parametre zajemalnega sistema in kalibriramo sistem. Ura v zajemalnem sistemu je usklajena z GPS sistemom točnega časa, njena napaka pa je manjša od 1 ms.

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



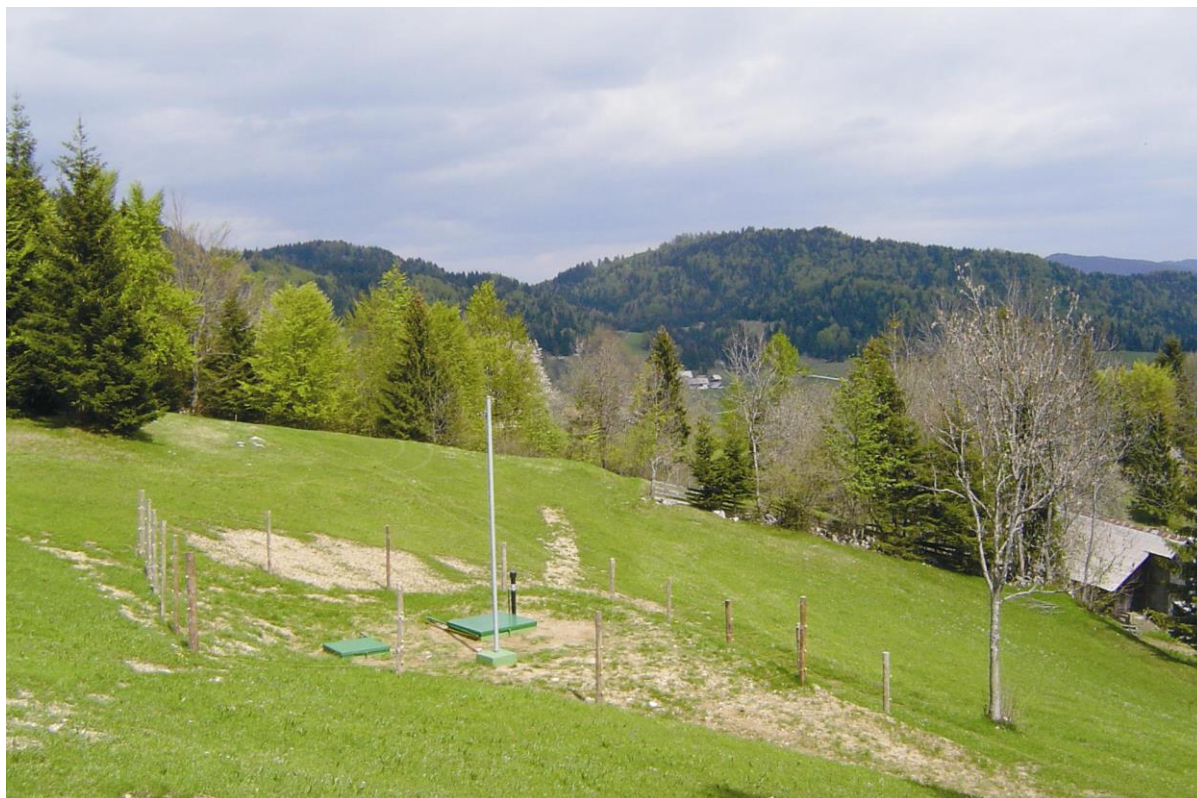
Slika 2. Nova potresna opazovalnica na Kogu (KOGS).

Figure 2. New seismic station in Kog (KOGS).

Začasne potresne opazovalnice

V letu 2004 so prenehale obratovatičasne opazovalnice v Nadgorici (BAJC), Velenju (VELE), Rakičanu (RAKI) in Novem mestu (NOME). Merilna oprema z opazovalnic VELE, RAKI in NOME je bila prenešana in nameščena na novih lokacijah, akcelerograf Etna iz opazovalnice v Nadgorici pa smo uporabili po potresu v zgornjem Posočju.

12. julija 2004 ob 15 uri in 04 minute po lokalnem času (13:04 UTC) je nastal v zgornjem Posočju močan potres z lokalno magnitudo 4,9 M_{LV} . V času potresa je sestavljalo državno seizmološko mrežo 20 potresnih opazovalnic. Da bi pridobili čim več podatkov, ki bi natančneje določili dogajanja v širšem nadžariščnem prostoru, smo postavili mrežo začasnih potresnih opazovalnic (slika 4).



*Slika 3. Nova potresna opazovalnica na Gorjušah na Pokljuki (GORS).
Figure 3. New seismic station in Gorjuše, Pokljuka (GORS).*

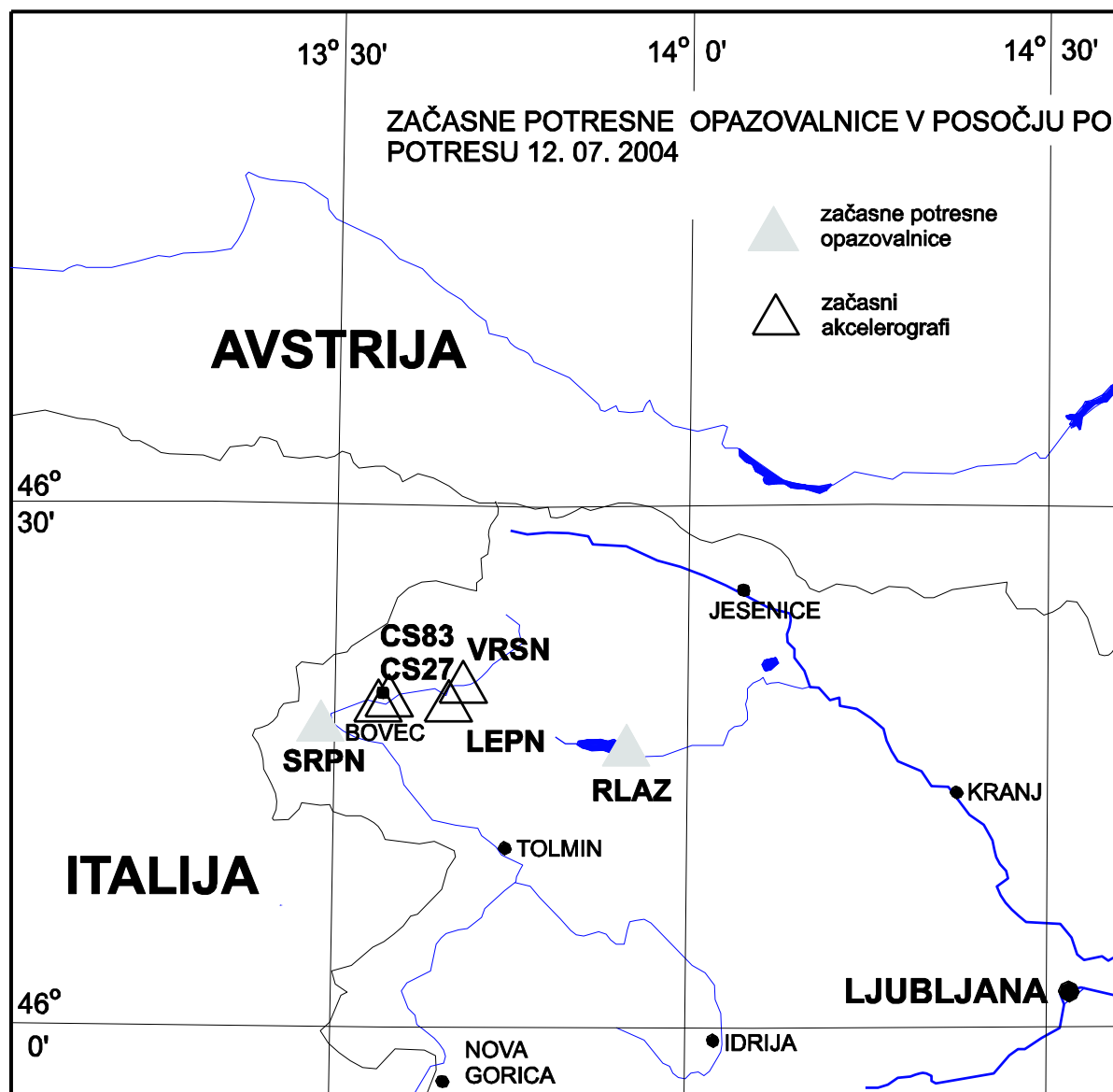
Na dan potresa smo v Vrsniku in Čezsoči postavili prenosna inštrumenta ETNA. Akcelerograf ETNA je instrument za merjenje pospeškov. Klasificiran je kot instrument za merjenje močnejših potresov. Instrument je kompakten, v enem ohišju se nahaja trikomponentni senzor, A/D pretvornik, lokalni pomnilnik in komunikacijska enota. Instrument ima vgrajen tudi GPS sprejemnik za točen čas. Zaradi svoje konstrukcije je primeren za začasne postavitve v urbana okolja ter za beleženje popotresnih sunkov. Senzor FBA-23 ima merilno območje 1g (g je težni pospešek Zemlje). 18 bitna A/D pretvorba omogoča 108 dB veliko dinamično območje registriranja podatkov, ki se shranjujejo na pomnilniško kartico s kapaciteto 40 MB. Zaradi omejene kapacitete diska je bilo beleženje dogodkov nastavljen na sprožilni mehanizem. Dogodek se zabeleži, ko pospešek nihanja tal preseže vnaprej določeno pragovno vrednost. Podatke smo z instrumenta prenašali na prenosni računalnik po serijskem kablu, ali z zamenjavo pomnilniške kartice.

V Čezsoči smo zaradi obnovitvenih del na objektu, kjer je bil postavljen tudi naš instrument, le tega 23. avgusta 2004 prestavili na novo lokacijo v isti vasi. Dan po potresu (13. julij 2004) smo postavili začasno potresno opazovalnico v Srpenici. Namestili smo šestkanalni inštrument EarthData PR6 s 24 bitnim A/D pretvornikom, z vgrajenim GPS sprejemnikom za točen čas in s kontinuiranim shranjevanjem podatkov na prenosni trdi disk. Senzorja sta bila zunanji trikomponentni akcelerometer FBA-23 in trikomponentni seizmometer Lennartz LE-3D/5s. Kombinacija obeh senzorjev omogoča beleženje od najšibkejših pa do najmočnejših potresov. Trdi disk zadostuje pri taki konfiguraciji za 30 dni podatkov.

opaz. station	ozn. code	zem. šir. latitude	zem. dol. longitude	n. viš. elev. [m]	senzor sensor type	zajemalna naprava acquisition unit	začetek delovanja start time	konec delovanja stop time
		°N	°E					
Nadgorica	BAJC	46,1006	14,5578	293	3-komp. vgrajen akcelerometer 3-comp. internal accelerometer EpiSensor	ETNA	27. 07. 2001	26. 07. 2004
Velenje	VELE	46,3659	15,0987	382	3-komp. širokopasovni 3-comp broadband CMG 40T	Q 730	17. 05. 2002	04. 06. 2004
Rakičan	RAKI	46,6509	16,1877	185	3-komp. širokopasovni 3-comp. broadband CMG 40T	Q 730	23. 09. 2002	22. 01. 2004
Bilje	BILJ	45,8951	13,6222	50	3-komp. širokopasovni 3-comp. broadband CMG 40T	Q 730	02. 12. 2002	25. 11. 2004
Novo Mesto	NOME	45,8015	15,1761	211	3-komp. širokopasovni 3-comp. broadband CMG 40T	Q 730	16. 10. 2002	23. 09. 2004
Vrsnik	VRSN	46,3325	13,6917	610	3-komp. vgrajen akcelerometer 3-comp. internal accelerometer FBA-23	ETNA	12. 07. 2004	19. 08. 2004
Čezsoča	CS27	46,3222	13,5513	371	3-komp. vgrajen akcelerometer 3-comp. internal accelerometer FBA-23	ETNA	12. 07. 2004	23. 08. 2004
Srpenica	SRPN	46,2929	13,4985	363	3-komp. akcelerometer 3-comp. accelerometer FBA-23 3-komp. seizmometer 3-comp. broadband L5-3D	PR6	13. 07. 2004	16. 12. 2004
Ribčev Laz		46,4445	13,8897	539	3-komp. akcelerometer 3-comp. acceleromete EpiSensor	PR6	21. 07. 2004	17. 08. 2004
Lepena	LEPN	46,3080	13,6774	662	3-komp. vgrajen akcelerometer 3-comp. internal accelerometer EpiSensor	ETNA	29. 07. 2004	25. 10. 2004
Čezsoča	CS83	46,3197	13,5478	366	3-komp. vgrajen akcelerometer 3-comp. internal accelerometer FBA-23	ETNA	23. 08. 2004	16. 12. 2004
Brezje pri Senušah	KBZ	45,9405	15,4390	217	kratkoperiodni seizm. vertikalna komp. shortperiod vertical comp. Vegik	analogni pisarč PS - 2	11. 09. 1990	konec 2004 še deluje end of 2004 operational
Horjul	HORJ	46,0252	14,305	350	3-komp. širokopasovni 3-comp. broadband CMG 40T	72A-07/DSK	04. 07. 1994	konec 2004 še deluje end of 2004 operational
Lisca	LISS	46,0673	15,2906	948	3-komp. širokopasovni 3-comp. broadband CMG 40T	Q 730	07. 02. 2002	konec 2004 še deluje end of 2004 operational

Preglednica 3. Začasne potresne opazovalnice v letu 2004.

Table 3. Temporary seismic stations in 2004.



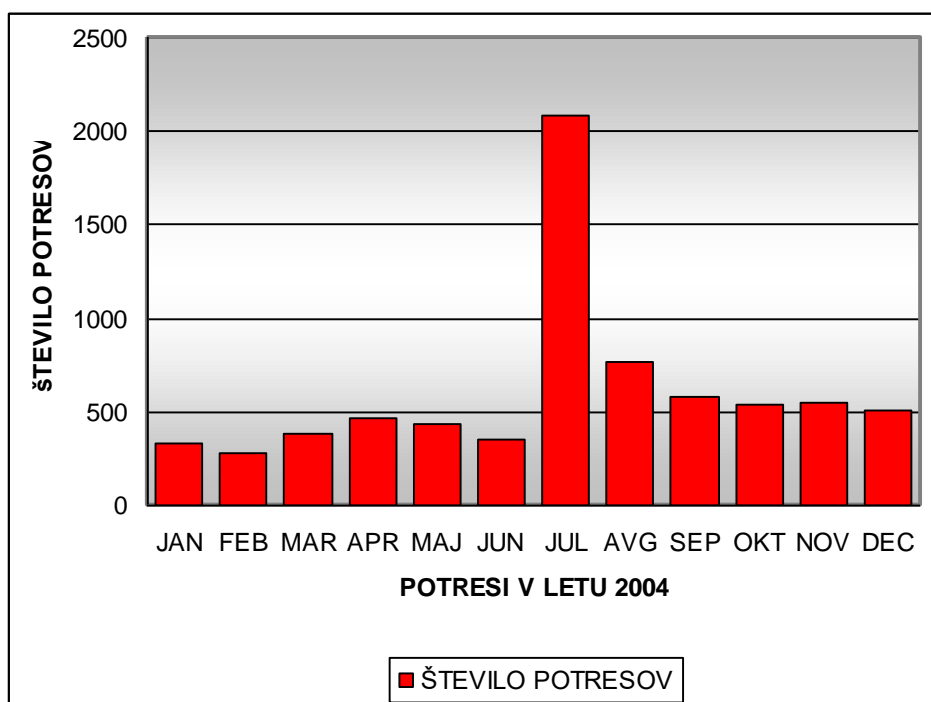
Slika 4. Začasne potresne opazovalnice, postavljene v zgornjem Posočju po potresu 12. julija 2004.
Figure 4. Temporary seismic stations in upper Soča Territory installed after earthquake on 12 July 2004.

Osem dni po potresu (21. 7. 2004) smo začasno postavili inštrument v Ribčevem Lazu v Bohinju. Namestili smo trikanalni inštrument EarthData PR6 s 24 bitnim A/D pretvornikom, z vgrajenim GPS sprejemnikom za točen čas, s kontinuiranim shranjevanjem podatkov na prenosni trdi disk in z zunanjim trikanalnim akcelerometrom EpiSensor. EpiSensor je izboljšana verzija akcelerometra FBA-23, merilno območje je nastavljeno na 2g.

Dne 29. 7. 2004 smo postavili inštrument tipa ETNA v Lepeni. Instrument ima podobne karakteristike kakor tisti v Čezsoči, le da je bil namesto akcelerometra FBA-23 tukaj vgrajen akcelerometer EpiSensor (preglednica 3).

Opazovalnice za beleženje močnih potresov

Urad za seizmologijo in geologijo upravlja tudi z mrežo opazovalnic za beleženje močnih potresov, v katerih so nameščeni akceleroграфи. Opazovalnice so v Ljubljani (na observatoriju na Golovcu in na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo - FGG), v Dolskem, Ilirski Bistrici, Bovcu, Kobaridu, na gradu Bogenšperk in Gotenici. Poleg tega imamo dostop do akceleroграфа v Nuklearni elektrarni Krško. Akceleroграф na observatoriju na Golovcu sestavljata akceleroметр FBA-23 z merilnim območjem 1 g in zajemalna aparatura SSR-1 s 16-bitno analogno digitalno pretvorbo. Akceleroграф na FGG tvorita akceleroметр FBA-23 z merilnim območjem 1 g in zajemalna aparatura SSA-2 z 12-bitnim analogno digitalnim pretvornikom. Enak akceleroграф je nameščen v Dolskem. Akceleroграфа v Ilirski Bistrici in v jedrski elektrarni v Krškem imajo občutljivejši senzor FBA-23 z merilnim območjem 0,25 g. Akceleroграф SSA-2 v Nuklearni elektrarni Krško je bil decembra 1999 zamenjan z akceleroграфom Etna in je vključen v državno računalniško omrežje, po katerem teče prenos podatkov na observatorij. V Gotenici je nameščen akceleroграф Etna z vgrajenim senzorjem FBA-23 z merilnim območjem 1 g in z 18-bitno analogno digitalno pretvorbo, prenos podatkov na observatorij pa poteka po klicni telefonski liniji. Na gradu Bogenšperk je prav tako postavljen akceleroграф Etna z vgrajenim senzorjem FBA-23 s prenosom podatkov po klicni telefonski liniji. V opazovalnicah v Bovcu in Kobaridu sta nameščena akceleroграфа Etna s prenosom podatkov po klicni telefonski liniji. Podatke z ostalih akceleroграфov zbere delavec s pomočjo prenosnega računalnika ob obisku opazovalnice. Na vodni pregradi Vogršček je bil v letu 2004 nameščen akceleroграф K2 z notranjim in dvema zunanjima akcelerometroma EpiSensor. Akceleroграф je nameščen v jašku na kroni pregrade, prvi zunanji akceleroметр je nameščen v jašku ob temelju pregrade, drugi pa prav tako v jašku ob jezeru približno 100 m stran od pregrade (Prosen, 2006).



Slika 5. Skupno število potresnih dogodkov po mesecih.
Figure 5. Distribution of all seismic events by months.

Potresne opazovalnice so v letu 2004 zabeležile 7284 potresov (sliki 5 in 6), od tega 5398 lokalnih potresov, 956 regionalnih in 905 oddaljenih. Seizmografi so zapisali tudi 1167 umetnih potresov (preglednica 4).

mesec	oddaljeni potresi	regionalni potresi	lokalni potresi	umetni potresi	potresi	dogodki
Month	Distant earthquakes	Regional earthquakes	Local earthquakes	Artificial	Earthquakes	Events
januar January	75	63	192	116	331	447
februar February	55	68	152	95	277	372
marec March	71	73	239	105	385	490
april April	87	71	308	142	471	613
maj May	82	81	269	108	435	543
junij June	62	60	223	102	350	452
julij July	72	36	1982	78	2090	2168
avgust August	52	52	665	74	769	843
september September	56	62	459	71	577	648
oktober October	89	70	380	110	542	652
november November	77	197	277	89	553	642
december December	127	123	252	77	504	581
skupaj Total	905	956	5398	1167	7284	8451

Legenda:

Oddaljeni potresi / Distant earthquakes

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

Regionalni potresi / Regional earthquakes

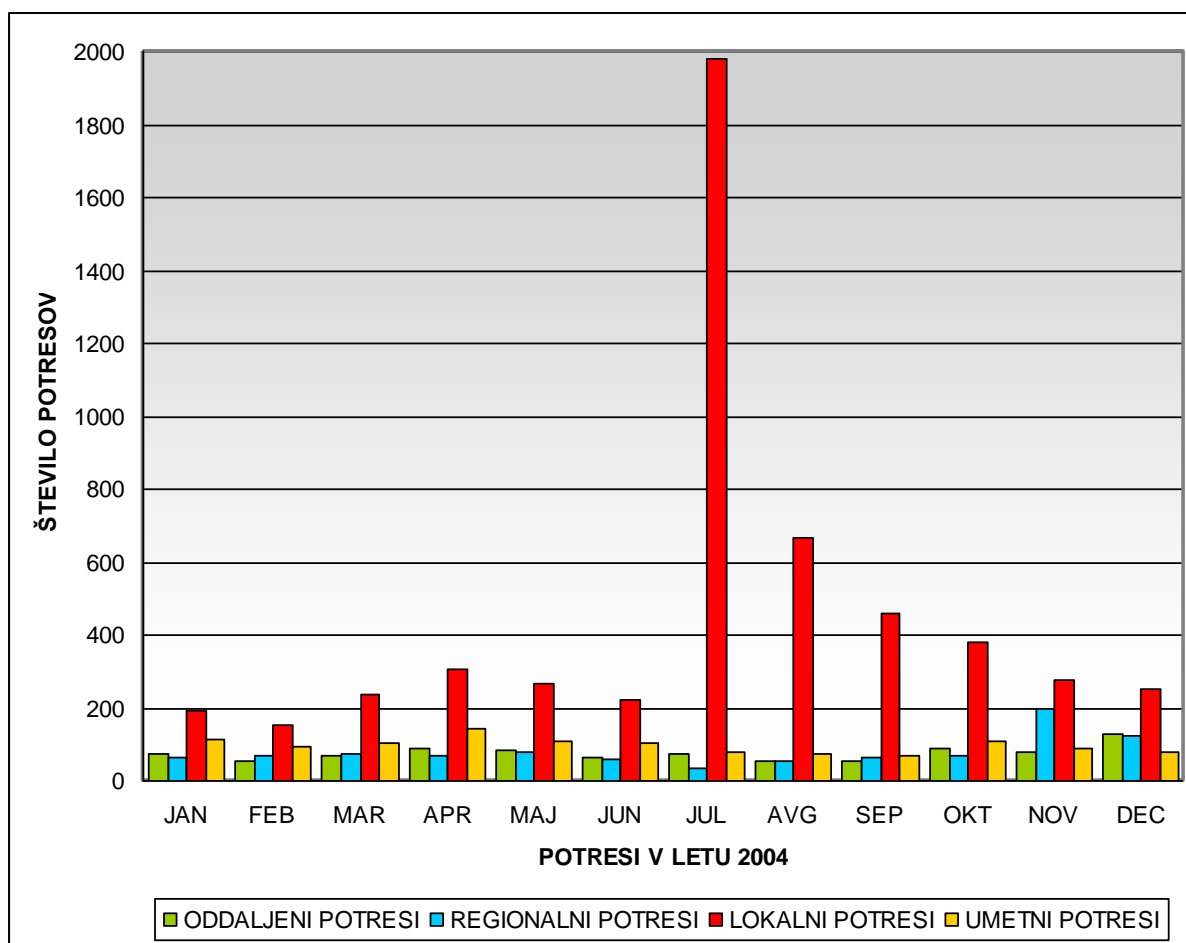
$1,5^\circ < \Delta < 10^\circ$ (< 1.100 km)

Lokalni potresi / Local earthquakes

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

Preglednica 4. Potresi v letu 2004, zabeleženi na slovenskih potresnih opazovalnicah.

Table 4. Earthquakes in 2004 recorded at Slovenian earthquake stations.



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

Literatura

- Prosen, T., 2006. Akcelerografi slovenske mreže potresnih opazovalnic. Potresi v letu 2006 (ur. R. Vidrih), ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 185-188.
- Sinčič P., Vidrih R., 1993. Mreža potresnih opazovalnic v Sloveniji. Ujma 7, 130-137, Ljubljana.
- Sinčič P., Vidrih R., 1995. Gradnja potresne opazovalnice. Ujma 9, 185-189, Ljubljana.
- Trnkoczy, A., Vidrih R., 1986. Seizmološka stanica Vojsko (VOY) u SR Sloveniji. Acta seismologica Iugoslavica 12, 17-34, Beograd.
- Vidrih R., Sinčič P., 1997. Potresne opazovalnice v Sloveniji. Povzetki referatov; 13. posvetovanje slovenskih geologov, 39-40, Ljubljana.
- Vidrih R., Gosar, A., Sinčič P., 2002. Omrežje potresnih opazovalnic okoli jedrske elektrarne Krško. Življenje in tehnika, letnik 53/11, 59-67, Ljubljana.
- Vidrih R., Godec, M., Gosar, A., Sinčič P., Tasič, I., Živčič, M., 2002. Omrežje potresnih opazovalnic okoli NEK. Knjiga povzetkov, 1. slovenski geološki kongres, 100-101, Črna na Koroškem.

POTRESI V SLOVENIJI LETA 2004

EARTHQUAKES IN SLOVENIA IN 2004

Ina Cecić, Mladen Živčić, Tamara Jesenko, Janko Kolar

***Izvleček.** Potresna aktivnost v letu 2004 je bila povečana. Prebivalci so čutili več kot 75 potresnih sunkov, vendar vsa žarišča niso bila na slovenskem ozemlju. Najmočnejši potres je bil 12. julija ob 13. uri in 4 minute po svetovnem času (UTC) oziroma ob 15. uri in 4 minute po srednjeevropskem poletnem času z žariščem v bližini Lepene (okolica Bovca). Njegova lokalna magnituda je bila 4,9 (ARSO, 2004-2005), največja intenziteta pa VI-VII EMS-98. Štiriindvajsetega novembra ob 22. uri in 59 minut po svetovnem času (UTC) oziroma ob 23. uri in 59 minut po srednjeevropskem času se je močno zatreslo območje Gardskega jezera (Italija). Ta potres je bil po lokalni magnitudi (5,3) najmočnejši potres, ki so ga v letu 2004 čutili prebivalci Slovenije.*

***Abstract.** Earthquake activity was moderate in 2004. People felt more than 75 earthquakes, but not all the hypocentres were on Slovene territory. The most powerful earthquake was on 12 July at 13.04 UTC or 15.04 Central European daylight saving time, with hypocentre in the vicinity of Lepena (Upper Soča valley). Its local magnitude was 4.9 (ARSO, 2004-2005), and the highest intensity VI-VII EMS-98. On 24 November at 22.59 UTC or 23.59 Central European time, the area of the Garda lake (Italy) was shaken powerfully. In terms of local magnitude (5.3), this was the most powerful earthquake felt by the inhabitants of Slovenia.*

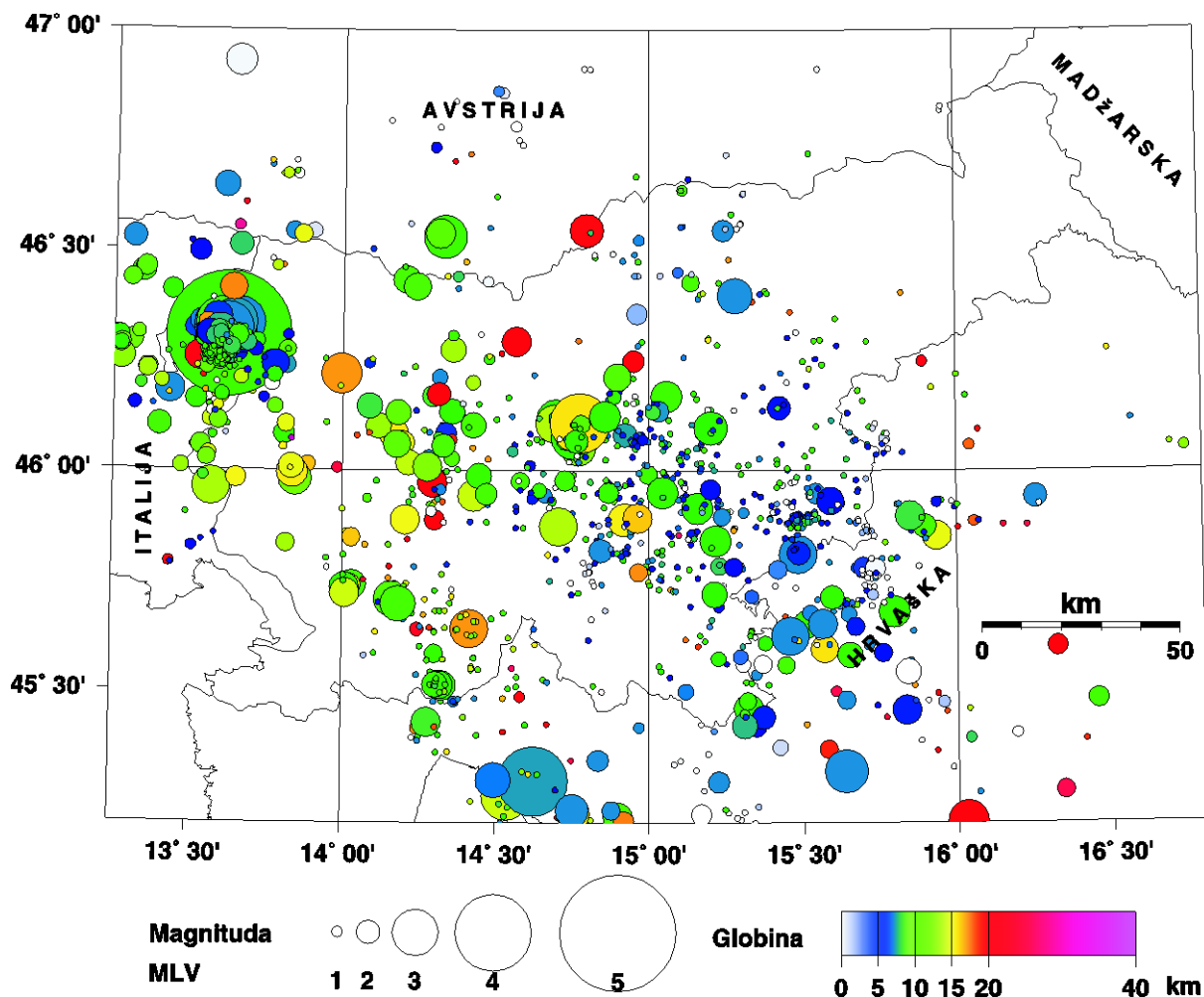
Uvod

Potresna aktivnost v letu 2004 v Sloveniji je bila povečana (ARSO, 2004-2005). Po januarskih potresih pri Soči, Velikem Mraševem, Petrovem Brdu, Polovniku, Šentvidu pri Stični in na italijansko-slovenski meji pri kraju Piuma (Pevma), se je februarja zatreslo najprej pri Lepeni, potem pa še v Gorjancih, na meji z Hrvaško. V marcu ni bilo potresov, ki so jih prebivalci čutili. Aprila so sledili potresi pri Grosupljem (dvakrat v istem dnevu), potem pri Moravčah, Šentvidu pri Stični in Lukovici.

Maja so tresenje tal čutili v okolici Zgornje Jevnice, in potem še pri Ojstrškem prevalu in Vranskem. Tudi junija ni bilo potresov, ki so jih prebivalci čutili, celo magnituda najmočnejšega dogodka ni presegla vrednosti 2,0. Julija se je intenzivna aktivnost dogajala predvsem v Zgornjem Posočju. Najmočnejši potres leta 2004 z žariščem v Sloveniji je bil 12. julija ob 13. uri 4 minute po UTC (oz. ob 15. uri 4 minute po srednjeevropskem poletnem času) z žariščem v bližini Lepene. Njegova lokalna magnituda je bila 4,9 (ARSO, 2004-2005), največja intenziteta v krajih Čezsoča, Vodena in posameznih delih Bovca pa VI-VII EMS-98. EMS je okrajšava za evropsko potresno lestvico (Grünthal, 1998a, 1998b). Glavnemu potresu so sledili številni popotresi, od katerih so nam prebivalci sporočili natančne podatke za le nekaj dogodkov. Dejansko so pa čutili veliko število popotresnih sunkov, zaradi njihove pogostosti pa ni bilo možno zapomniti podrobnosti za vsakega posebej. Edini julijski potres, ki so ga prebivalci čutili in z žariščem zunaj Posočja, je bil pri Gornjem Lenartu.

V avgustu smo poleg popotresov iz Posočja zabeležili potrese pri Mlaki pri Kranju, Cesti in v okolici Zagorja ob Savi. Septembra se je streslo pri Zgornjem Prekarju v okolici Moravč ter pri Jesenicah na Dolenjskem in Vrbljenah. Oktobra so potresa čutili prebivalci Mihalovca pri Dobovi in okoliških krajev. Novembra smo zbirali podatke za potrese v Posočju, kot tudi na

avstrijsko-slovenski meji (Peca) in pri Ločah pri Dobovi. Decembra se je treslo pri Čezsoči, pa še pri Radohi in Logu pri Brezovici.



Slika 1 Nadžarišča potresov v letu 2004, ki smo jim določili žariščni čas, instrumentalni koordinati epicentra in globino žarišča; na simbolih različnih velikosti barva ponazarja žariščno globino, velikost pa vrednost lokalne magnitude M_{LV} .

Figure 1. Distribution of epicentres in 2004, whose focal times, epicentral coordinates and focal depths were calculated; coloured symbols of varying size give information on focal depth and local magnitude M_{LV} .

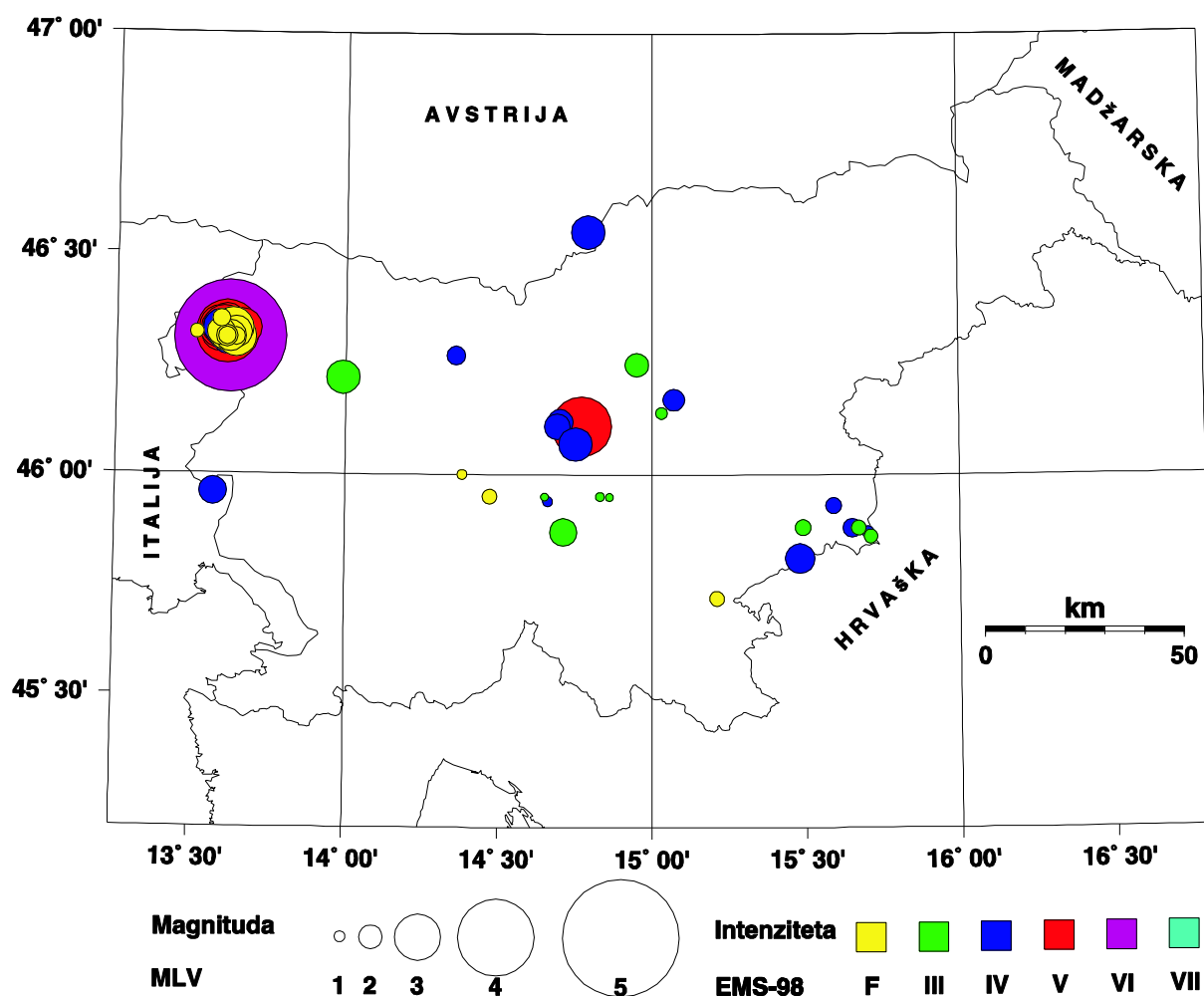
Na različnih območjih Slovenije so prebivalci čutili več kot 75 potresnih sunkov. En potres je dosegel največjo intenziteto VI-VII EMS-98. Karta nadžarišč (epicentrov) potresov leta 2004, ki so jih prebivalci čutili, je na sliki 2.

Poleg potresov z žarišči v Sloveniji so prebivalci v letu 2004 čutili tudi učinke dogodkov, ki so se zgodili daleč zunaj naših meja. Tako se je maja zatreslo pri Imotskem (Hrvaška), septembra še na Hrvaškem v okolici Reke. Novembra sta se zgodila še dva taka potresa, en pri Gardskem jezeru v Italiji in drugi v Jadranskem morju, blizu hrvaškega otoka Jabuka.

Seizmografi državne mreže potresnih opazovalnic so leta 2004 zapisali 5398 lokalnih potresov. Da bi določili, kje je bilo žarišče potresa, potrebujemo podatke najmanj treh

opazovalnic. V preglednici 1 smo podali 358 lokalnih potresov, za katere smo lahko določili lokalno magnitudo in je le-ta bila večja ali enaka 1,5, kot tudi 14 šibkejših, ki so jih prebivalci Slovenije čutili.

Za opredelitev osnovnih parametrov potresov, podanih v preglednici 1, smo uporabili vse razpoložljive analize potresov na potresnih opazovalnicah državne mreže v Sloveniji (ARSO, 2004-2005) ter v Avstriji (ZAMG 2004-2005), Hrvaški (GZAM 2004-2005), Italiji (OGS 2005) in Madžarski (Tóth in sod., 2005). Žariščni čas, to je čas, ko je potres nastal, koordinati nadžarišča in žariščno globino smo opredelili iz časov prihodov vzdolžnega (P) in prečnega (S) valovanja na potresno opazovalnico. Potrese smo locirali s programom HYPOCENTER (Lienert in sod., 1988, Lienert, 1994). Uporabili smo povprečni hitrostni model za ozemlje Slovenije, opredeljen iz tridimenzionalnega modela za prostorsko valovanje (Michelini in sod., 1998) in model za površinsko valovanje (Živčić in sod., 2000). Pri potresih, za katere smo lahko določili le koordinati nadžarišča, smo za žariščno globino privzeli 7 km.



Slika 2. Intenzitete potresov, ki so jih v letu 2004 čutili prebivalci Slovenije. Na simbolih različnih velikosti barva ponazarja maksimalno doseženo intenziteto v Sloveniji, velikost pa vrednost lokalne magnitude M_{LV} .

Figure 2. Intensities of earthquakes felt in Slovenia in 2003. Size of symbols represents local magnitude and colour represents maximal intensity.

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

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

kjer je D oddaljenost nadžarišča v kilometrih.

V preglednici 1 je 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 (I_{max}), ki jo je potres dosegel na ozemlju Slovenije, je opredeljena po evropski potresni lestvici (EMS-98). Kadar podatki niso zadoščali za nedvoumno določitev intenzitete, smo dali razpon možnih vrednosti (npr. IV-V). V stolpcu "Potresno območje" smo za epicentre v Sloveniji v večini primerov podali ime naselja, ki je najbližje določenemu nadžarišču in je navedeno v seznamu naselij Geodetske uprave RS (RGU, 1995).

Preglednica 1. Poleg datuma (dat), žarišnega časa (h:m:s UTC), koordinat nadžarišča (z. šir. °N, z. dolž. °E) in žariščne globine (h km) je podano tudi število opazovalnic (nst), ki so prispevale podatke in vrednost srednje kvadratične napake (RMS) v sekundah.

št.	DAT.	h:m:s	z. šir.	z. dolž.	h	nst	RMS	M_{LV}	M_D	I_{max}	potresno območje
		UTC	°N	°E	km		s			EMS 98	
no.	date	h:m:s	lat	lon	h	NST	RMS	M_{LV}	M_D	I_{max}	epicentral area
		UTC	°N	°E	KM		s			EMS 98	
1	1.1.	2:21:10,2	46,29	13,65	8	29	0,3	1,9	2,2	IV-V	Lepena
2	1.1.	15:03:36,5	45,88	15,49	9	18	0,2	1,5	1,5	III	Veliko Mraševo
3	2.1.	16:14:30,0	46,22	13,99	17	51	0,5	2,5	2,8	III-IV	Petrovo Brdo
4	3.1.	8:32:04,3	46,54	13,90	0	29	0,4	2,2	1,5		Karavanke, meja Avstrija - Slovenija
5	5.1.	23:28:50,9	46,30	13,59	8	13	0,2	1,6	1,9	čutili	Čezsoča
6	10.1.	6:52:13,5	45,99	15,00	9	16	0,2	1,5	1,7		Gabrovka
7	10.1.	10:31:28,1	45,87	15,9	12	15	0,3	1,6	2,0		Medvednica, Hrvaška
8	10.1.	12:55:51,1	45,95	14,86	7	11	0,4	0,7		III-IV	Šentvid pri Stični
9	13.1.	21:02:58,0	46,07	14,75	11	15	0,2	1,5	2,4		Mala Štanga
10	14.1.	3:43:46,1	45,64	14,42	17	34	0,4	2,0	2,7		Škodovnik
11	16.1.	14:01:18,9	46,17	13,60	15	5	0,1	1,5	1,6		Clodig, meja Italija - Slovenija
12	24.1.	12:49:44,1	45,96	13,57	14	33	0,4	2,2	2,7	IV-V	Piuma, meja Italija - Slovenija
13	27.1.	5:27:00,9	46,26	13,26	11	22	0,2	1,7	2,2		Taipana, Italija
14	11.2.	13:30:47,3	46,08	14,16	15	31	0,5	2,1	2,3		Todraž
15	23.2.	16:10:48,3	46,28	13,66	6	20	0,3	1,5	2,0		Lepena
16	25.2.	21:21:04,9	46,31	13,62	9	33	0,3	2,0	2,2	IV	Lepena

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	
17	26.2.	10:24:22,5	46,36	14,96	1	9	0,1	1,6	1,8		Brezje
18	26.2.	23:05:24,6	45,81	15,48	7	27	0,3	2,3	2,7	IV	Gorjanci, meja Hrvaška - Slovenija
19	1.3.	7:27:48,3	46,51	13,66	8	11	0,3	1,7	2,0		Fusine in Valromana, meja Italija - Slovenija
20	7.3.	11:08:50,5	45,74	14,03	12	16	0,4	1,6	2,3		Potoče
21	7.3.	18:09:35,4	46,31	13,65	7	11	0,3	1,5	1,9		Lepena
22	20.3.	5:30:05,0	45,89	14,92	15	42	0,4	2,2	2,5		Log pri Žužemberku
23	3.4.	3:36:06,6	45,95	14,65	6	11	0,3	0,6		III-IV	Grosuplje
24	3.4.	8:53:01,0	46,94	14,66	7	14	0,5	0,9	1,4	IV	Grosuplje
25	3.4.	19:38:05,2	46,12	14,70	10	44	0,4	2,1	2,7	IV-V	Zgornja Javoršica - Moravče
26	4.4.	20:29:33,3	46,82	15,96	0	6	0,2	1,5			St. Anna, meja Avstrija - Slovenija
27	8.4.	23:47:51,0	45,95	14,83	6	11	0,3	0,8		III-IV	Šentvid pri Stični
28	10.4.	9:53:47,2	45,97	14,29	20	34	0,4	1,9	2,3		Stara Vrhnika
29	15.4.	15:25:32,0	46,11	14,69	14	32	0,3	2,1	2,7	IV	Osredke - Lukovica
30	20.4.	0:44:49,0	45,51	14,33	10	25	0,5	1,8	2,3		Trpčane
31	20.4.	1:50:47,2	45,51	14,32	10	21	0,5	1,6	2,2		Nova vas pri Jelšanah
32	22.4.	20:29:05,8	45,51	14,31	11	14	0,3	1,6	2,1		Nova vas pri Jelšanah
33	2.5.	3:50:12,8	46,05	14,77	13	35	0,4	1,9	2,6		Velika Štanga
34	4.5.	1:42:10,8	46,54	13,84	7	12	0,2	1,5	1,6		Karavanke, meja Avstrija - Slovenija
35	7.5.	9:36:50,4	46,06	14,75	16	27	0,4	1,8	2,0		Mala Štanga
36	11.5.	18:12:36,6	46,07	14,75	11	50	0,4	2,5	2,9	IV	Zgornja Jevnica
37	14.5.	1:32:03,3	46,29	14,57	18	29	0,4	1,8	2,2		Klemenčevo
38	14.5.	8:46:10,6	46,07	14,75	10	18	0,4	1,7	1,9		Mala Štanga
39	14.5.	22:44:11,8	46,07	14,75	8	22	0,4	1,5	2,0		Mala Štanga
40	17.5.	3:09:27,0	46,55	15,24	7	13	0,3	2,4	1,9		Zgornja Orlica
41	21.5.	20:03:49,9	46,47	14,96	9	8	0,4	1,5			Zgornji Razbor
42	23.5.	22:56:18,3	45,95	15,04	11	22	0,4	1,8	2,4		Gorenja vas pri Mirni
43	31.5.	13:18:26,4	46,17	15,06	9	21	0,4	1,9	2,4	IV	Ojstrški preval
44	31.5.	20:25:38,6	46,25	14,95	20	24	0,5	2,0	1,9	III-IV	Vransko
45	5.6.	14:27:09,2	46,08	14,77	12	15	0,4	1,6	1,7		Kresniške Poljane
46	12.7.	13:04:06,0	46,31	13,62	11	68	0,6	4,9	5,2	VI-VII	Lepena
47	12.7.	13:06:36,5	46,31	13,60	7	3	0,0	1,7			Čezsoča
48	12.7.	13:07:11,4	46,34	13,59	0	3	0,0	1,5			Kal-Koritnica
49	12.7.	13:08:05,5	46,30	13,59	7	15	0,2	2,6			Čezsoča
50	12.7.	13:08:20,6	46,31	13,61	8	25	0,2	3,0	2,0		Lepena
51	12.7.	13:09:27,0	46,30	13,59	5	7	0,3	1,7	1,1		Čezsoča
52	12.7.	13:10:51,0	46,30	13,56	5	7	0,4	1,5			Čezsoča
53	12.7.	13:11:05,5	46,30	13,63	8	28	0,3	2,4	2,0		Lepena
54	12.7.	13:12:19,8	46,31	13,60	7	14	0,2	1,8	1,6		Kal-Koritnica

št.	DAT.	h:m:s	z. šir.	z. dolž.	h	nst	RMS	M _{LV}	M _D	I _{max}	potresno območje
		UTC	°N	°E	km		s			EMS 98	
no.	date	h:m:s	lat	lon	h	NST	RMS	M _{LV}	M _D	I _{max}	epicentral area
		UTC	°N	°E	KM		s			EMS 98	
55	12.7.	13:13:43,3	46,29	13,61	9	6	0,1	1,5	1,3		Drežniške Ravne
56	12.7.	13:13:57,2	46,30	13,62	10	26	0,3	2,1	1,8		Drežniške Ravne
57	12.7.	13:14:22,1	46,31	13,60	7	16	0,2	1,9	1,5		Čezsoča
58	12.7.	13:17:05,7	46,31	13,62	10	28	0,3	2,1	2,2		Lepena
59	12.7.	13:17:21,7	46,27	13,59	10	3	0,0	1,6			Magozd
60	12.7.	13:17:33,9	46,31	13,60	7	6	0,1	1,7	1,4		Čezsoča
61	12.7.	13:19:28,4	46,31	13,59	6	13	0,1	1,9	1,9		Čezsoča
62	12.7.	13:19:35,9	46,31	13,61	5	4	0,1	1,5			Čezsoča
63	12.7.	13:20:06,5	46,31	13,59	9	9	0,1	1,5	1,1		Čezsoča
64	12.7.	13:20:28,9	46,31	13,59	8	10	0,1	1,8	1,9		Čezsoča
65	12.7.	13:22:15,9	46,31	13,63	7	10	0,3	1,6	1,6		Lepena
66	12.7.	13:22:36,1	46,32	13,59	8	37	0,4	2,5	2,2		Čezsoča
67	12.7.	13:23:53,5	46,30	13,62	7	21	0,2	2,1	1,7		Lepena
68	12.7.	13:24:20,6	46,31	13,59	7	4	0,2	1,7			Čezsoča
69	12.7.	13:24:59,2	46,30	13,59	7	6	0,1	1,5			Čezsoča
70	12.7.	13:26:40,0	46,31	13,61	8	27	0,4	2,1			Kal-Koritnica
71	12.7.	13:27:00,4	46,26	13,59	11	3	0,1	1,5			Magozd
72	12.7.	13:31:15,1	46,31	13,64	10	58	0,5	2,8	3,0	čutili	Lepena
73	12.7.	13:33:32,1	46,30	13,60	8	10	0,1	2,1	1,8		Čezsoča
74	12.7.	13:34:18,1	46,29	13,59	10	5	0,2	1,5	1,9		Magozd
75	12.7.	13:43:51,2	46,32	13,58	7	23	0,3	1,9	2,3		Čezsoča
76	12.7.	13:44:05,2	46,31	13,57	5	5	0,2	1,5			Čezsoča
77	12.7.	13:44:59,1	46,30	13,63	7	13	0,2	1,8	1,8		Lepena
78	12.7.	13:45:47,0	46,28	13,58	15	4	0,3	1,6			Trnovo ob Soči
79	12.7.	13:50:06,2	46,31	13,59	8	25	0,3	2,0	1,5		Čezsoča
80	12.7.	13:50:25,0	46,27	13,60	11	3	0,1	1,8			Magozd
81	12.7.	13:53:29,6	46,30	13,62	7	13	0,2	1,9	1,7		Drežniške Ravne
82	12.7.	13:54:05,2	46,32	13,61	7	21	0,2	2,2	2,0		Kal-Koritnica
83	12.7.	14:07:07,6	46,30	13,60	10	5	0,1	1,5	1,2		Čezsoča
84	12.7.	14:13:01,2	46,30	13,62	7	21	0,1	2,0	1,7		Drežniške Ravne
85	12.7.	14:13:22,5	46,31	13,61	8	12	0,1	2,0	1,8		Lepena
86	12.7.	14:21:15,3	46,31	13,60	9	8	0,2	1,9	1,3		Čezsoča
87	12.7.	14:21:36,9	46,32	13,57	6	18	0,3	2,0	2,3		Čezsoča
88	12.7.	14:25:32,0	46,31	13,59	6	13	0,1	1,8	2,0		Čezsoča
89	12.7.	14:30:40,2	46,30	13,61	9	6	0,1	1,6	1,7		Magozd
90	12.7.	14:42:28,1	46,30	13,63	7	6	0,3	1,8	1,7		Lepena
91	12.7.	14:43:58,5	46,31	13,61	8	6	0,3	1,6	1,4		Lepena
92	12.7.	14:54:28,9	46,30	13,58	10	4	0,1	1,5	1,4		Čezsoča
93	12.7.	14:55:33,2	46,32	13,59	7	14	0,2	2,3	2,0		Čezsoča

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	
94	12.7.	15:02:56,9	46,31	13,63	8	10	0,3	2,1	2,0		Lepena
95	12.7.	15:12:25,2	46,31	13,61	8	8	0,1	1,9	1,6		Lepena
96	12.7.	15:16:33,7	46,31	13,62	10	32	0,4	2,2	2,4		Lepena
97	12.7.	15:25:33,3	46,32	13,57	5	7	0,2	1,5	2,1		Čezsoča
98	12.7.	15:48:16,0	46,31	13,60	7	7	0,3	1,7	2,2		Čezsoča
99	12.7.	15:53:02,8	46,30	13,63	11	13	0,4	2,1	2,2		Lepena
100	12.7.	16:26:58,9	46,33	13,63	11	85	0,5	2,8	3,2	čutili	Lepena
101	12.7.	16:28:30,0	46,30	13,61	10	13	0,3	2,3	2,4		Drežniške Ravne
102	12.7.	17:00:20,3	46,32	13,62	12	28	0,4	2,1	2,4		Lepena
103	12.7.	17:20:10,5	46,30	13,63	7	16	0,2	1,8	2,2		Lepena
104	12.7.	17:26:44,4	46,32	13,61	9	8	0,1	1,8	1,5		Kal-Koritnica
105	12.7.	18:39:19,6	46,31	13,60	7	11	0,1	1,9	2,1		Čezsoča
106	12.7.	18:44:47,4	46,30	13,57	9	5	0,2	1,7	1,7		Čezsoča
107	12.7.	18:50:38,7	46,30	13,61	7	9	0,3	1,8	2,0		Magozd
108	12.7.	18:53:59,5	46,32	13,56	7	20	0,2	2,1	2,3		Čezsoča
109	12.7.	19:03:37,9	46,32	13,63	8	33	0,4	2,1	2,4		Lepena
110	12.7.	19:25:23,7	46,28	13,60	10	3	0,1	1,5			Magozd
111	12.7.	20:25:14,0	46,31	13,59	7	69	0,4	2,6	2,8		Čezsoča
112	12.7.	20:44:23,3	46,30	13,65	7	30	0,3	1,9	2,3		Lepena
113	12.7.	20:49:44,5	46,32	13,58	7	20	0,3	1,9	2,3		Čezsoča
114	12.7.	21:07:19,2	46,30	13,60	10	8	0,1	1,8	1,2		Čezsoča
115	12.7.	21:20:05,4	46,30	13,62	7	18	0,2	1,7	2,2		Lepena
116	12.7.	21:22:28,6	46,31	13,60	7	10	0,1	1,8	2,0		Čezsoča
117	12.7.	21:23:47,5	46,30	13,61	7	12	0,1	1,7	1,9		Čezsoča
118	12.7.	21:41:26,1	46,31	13,59	7	7	0,2	1,5	2,0		Čezsoča
119	12.7.	22:08:31,4	46,48	14,82	11	13	0,4	1,7			Podpeca
120	12.7.	22:32:02,8	46,31	13,58	8	6	0,1	1,5	1,8		Čezsoča
121	12.7.	23:59:04,4	46,31	13,57	9	8	0,2	1,8	2,2		Čezsoča
122	13.7.	0:03:02,3	46,32	13,58	7	13	0,2	1,8	2,0		Čezsoča
123	13.7.	1:21:26,9	46,31	13,63	9	14	0,4	1,8	1,8		Lepena
124	13.7.	1:23:57,5	46,31	13,62	7	6	0,1	1,5			Lepena
125	13.7.	1:38:24,0	46,30	13,61	7	8	0,2	1,5	1,8		Drežniške Ravne
126	13.7.	2:21:58,0	46,30	13,64	9	8	0,2	1,7	2,0		Lepena
127	13.7.	4:03:13,6	46,32	13,64	8	52	0,4	2,4	2,8	čutili	Lepena
128	13.7.	4:38:19,2	46,32	13,60	7	17	0,2	1,8	2,2	čutili	Kal-Koritnica
129	13.7.	5:33:18,6	46,32	13,62	8	11	0,2	1,9	2,2		Lepena
130	13.7.	5:52:47,9	46,31	13,62	10	48	0,4	2,4	2,7	čutili	Lepena
131	13.7.	5:55:54,3	46,31	13,62	7	13	0,2	1,8	2,0		Lepena
132	13.7.	6:23:07,4	46,31	13,61	7	31	0,4	2,4	2,6	zvok	Kal-Koritnica

št.	DAT.	h:m:s	z. šir.	z. dolž.	h	nst	RMS	M _{LV}	M _D	I _{max}	potresno območje
		UTC	°N	°E	km		s			EMS 98	
no.	date	h:m:s	lat	lon	h	NST	RMS	M _{LV}	M _D	I _{max}	epicentral area
		UTC	°N	°E	KM		s			EMS 98	
133	13.7.	6:43:50,5	46,30	13,63	8	24	0,3	2,3	2,4		Lepena
134	13.7.	6:49:34,7	46,31	13,61	9	16	0,3	2,2	2,2		Kal-Koritnica
135	13.7.	6:54:53,8	46,30	13,62	6	10	0,2	2,0	2,0		Drežniške Ravne
136	13.7.	7:22:59,9	46,32	13,63	7	27	0,3	2,2	2,6		Lepena
137	13.7.	7:49:02,4	46,30	13,62	8	12	0,2	1,9	2,0		Lepena
138	13.7.	8:20:37,3	46,31	13,60	7	8	0,1	1,7	1,8		Čezsoča
139	13.7.	10:20:47,3	46,32	13,55	6	6	0,1	1,5	1,6		Čezsoča
140	13.7.	11:40:57,4	46,31	13,63	7	18	0,4	1,9	2,2		Lepena
141	13.7.	13:38:48,6	46,32	13,61	8	36	0,4	2,4	2,6		Kal-Koritnica
142	13.7.	13:40:51,6	46,30	13,60	9	5	0,1	1,6	1,4		Čezsoča
143	13.7.	14:21:43,9	46,31	13,60	7	5	0,1	1,5	1,1		Čezsoča
144	13.7.	15:32:21,8	46,32	13,61	8	53	0,4	2,8	3,0	IV	Kal-Koritnica
145	13.7.	16:11:21,0	46,31	13,63	9	24	0,4	2,2	2,5		Lepena
146	13.7.	16:51:50,4	46,30	13,63	5	9	0,2	1,6	1,8		Lepena
147	13.7.	18:07:57,8	46,32	13,63	7	18	0,3	2,0	2,1		Lepena
148	13.7.	18:32:46,0	46,29	13,62	7	14	0,2	1,8	2,1		Drežniške Ravne
149	13.7.	22:43:18,3	46,31	13,64	9	29	0,3	2,0	2,6		Lepena
150	13.7.	22:53:07,0	46,31	13,62	9	12	0,2	1,8	2,2		Lepena
151	14.7.	0:18:09,4	46,31	13,62	8	18	0,4	1,5	1,9		Lepena
152	14.7.	3:21:37,5	46,31	13,64	10	51	0,5	2,3	2,8	III-IV	Lepena
153	14.7.	4:37:37,2	46,32	13,61	10	77	0,5	3,6	3,6	V	Kal-Koritnica
154	14.7.	4:42:41,0	46,31	13,59	7	17	0,3	1,8	2,5		Čezsoča
155	14.7.	6:29:00,6	46,31	13,59	6	10	0,2	1,5	2,2		Čezsoča
156	14.7.	6:39:28,0	46,30	13,64	8	43	0,5	2,3	2,9	IV-V	Lepena
157	14.7.	7:27:03,3	46,30	13,62	7	8	0,2	1,9	2,2		Drežniške Ravne
158	14.7.	8:48:49,9	46,31	13,60	7	9	0,2	1,7	2,1		Čezsoča
159	14.7.	9:38:46,9	46,29	13,63	6	9	0,3	1,7	1,9	III-IV	Lepena
160	14.7.	9:54:52,6	46,32	13,59	6	26	0,3	2,2	2,5	čutili	Čezsoča
161	14.7.	11:30:21,7	46,31	13,60	7	8	0,1	1,5	1,9		Čezsoča
162	14.7.	11:35:50,7	46,31	13,60	7	8	0,3	1,5	2,0		Čezsoča
163	14.7.	12:26:14,5	46,32	13,63	7	44	0,4	2,4	2,8	III-IV	Lepena
164	14.7.	15:18:31,2	46,30	13,63	5	13	0,3	1,7	2,0		Lepena
165	14.7.	15:38:57,2	46,30	13,61	9	29	0,3	2,2	2,3	IV-V	Lepena
166	14.7.	15:58:52,1	46,32	13,61	9	27	0,4	1,9	2,5		Kal-Koritnica
167	14.7.	20:54:37,2	46,26	13,60	9	3	0,0	1,5			Kobarid
168	14.7.	21:40:18,3	46,31	13,61	9	35	0,3	2,0	2,6		Lepena
169	15.7.	0:30:26,5	46,32	13,59	7	16	0,3	1,7	2,4		Čezsoča
170	15.7.	2:03:57,4	46,31	13,61	8	18	0,3	2,0	2,4		Kal-Koritnica
171	15.7.	2:47:03,1	46,32	13,61	9	54	0,4	2,3	2,9		Kal-Koritnica

št.	DAT.	h:m:s	z. šir.	z. dolž.	h	nst	RMS	M _{LV}	M _D	I _{max}	potresno območje
		UTC	°N	°E	km		s			EMS 98	
no.	date	h:m:s	lat	lon	h	NST	RMS	M _{LV}	M _D	I _{max}	epicentral area
		UTC	°N	°E	KM		s			EMS 98	
172	15.7.	3:23:37,8	46,31	13,59	7	18	0,3	1,8	2,3		Čezsoča
173	15.7.	5:54:11,2	46,30	13,63	7	45	0,5	2,3	2,9		Lepena
174	15.7.	10:49:21,6	46,30	13,61	8	14	0,2	1,9	2,4		Drežniške Ravne
175	15.7.	12:16:59,6	46,32	13,61	4	7	0,2	1,5	2,0		Kal-Koritnica
176	15.7.	15:00:38,9	46,32	13,62	10	39	0,4	2,2	2,7		Lepena
177	15.7.	15:30:24,8	46,32	13,59	7	12	0,3	1,6	2,1		Kal-Koritnica
178	15.7.	18:58:20,9	46,33	13,66	7	90	0,5	2,7	3,2	V	Soča
179	15.7.	21:04:05,9	46,32	13,60	12	6	0,2	1,5	2,0		Kal-Koritnica
180	16.7.	3:56:12,2	46,32	13,61	9	40	0,4	2,3	2,5		Kal-Koritnica
181	16.7.	4:50:04,7	46,31	13,62	7	16	0,5	1,6	2,2		Lepena
182	16.7.	5:29:25,8	46,31	13,62	7	13	0,4	1,8	2,1		Lepena
183	16.7.	6:30:29,4	46,31	13,57	8	7	0,3	1,5	1,4		Čezsoča
184	16.7.	9:33:31,2	46,32	13,60	7	9	0,2	1,5	2,2		Kal-Koritnica
185	16.7.	9:41:53,2	46,31	13,61	9	29	0,3	2,1	2,0		Lepena
186	16.7.	10:39:44,5	46,37	13,59	10	12	0,4	2,1			Bavšica
187	16.7.	10:39:45,4	46,33	13,62	7	20	0,3	1,9	2,2		Kal-Koritnica
188	16.7.	12:23:25,1	46,30	13,63	8	9	0,2	1,8	2,1		Lepena
189	16.7.	12:47:04,7	46,31	13,61	7	21	0,3	2,0	2,1		Čezsoča
190	16.7.	16:52:38,3	46,32	13,60	7	21	0,4	2,0	2,2		Kal-Koritnica
191	16.7.	18:20:14,9	46,32	13,59	7	35	0,4	1,9	2,4		Kal-Koritnica
192	17.7.	6:03:43,5	46,31	13,61	9	8	0,2	1,7	1,6		Lepena
193	17.7.	6:14:29,9	46,32	13,58	8	11	0,2	1,7	2,1		Čezsoča
194	17.7.	8:30:24,4	46,30	13,63	9	16	0,2	2,2	2,0		Lepena
195	17.7.	19:18:48,5	46,33	13,63	9	89	0,5	2,9	3,2		Lepena
196	17.7.	20:50:05,6	46,32	13,62	8	14	0,3	2,0	2,0		Lepena
197	18.7.	1:01:27,6	46,32	13,58	7	27	0,4	1,6	2,5		Čezsoča
198	18.7.	2:31:16,1	46,32	13,59	7	11	0,3	1,6	2,3		Čezsoča
199	18.7.	3:56:44,6	46,33	13,59	9	56	0,4	2,2	2,8		Kal-Koritnica
200	18.7.	7:22:45,6	46,31	13,60	11	4	0,1	1,5	1,7		Kal-Koritnica
201	18.7.	13:51:29,6	46,33	13,62	7	42	0,5	2,0	2,7		Lepena
202	18.7.	16:57:17,0	46,31	13,60	8	44	0,4	2,0	2,6		Čezsoča
203	19.7.	6:58:56,3	46,29	13,66	7	14	0,4	1,9	2,0		Lepena
204	19.7.	7:19:05,5	46,31	13,60	11	6	0,3	1,5	1,7		Čezsoča
205	19.7.	8:06:53,4	46,31	13,63	7	11	0,3	1,8	1,4		Lepena
206	19.7.	8:07:17,0	46,31	13,62	7	12	0,3	2,1	2,0		Lepena
207	19.7.	18:11:37,4	46,30	13,62	9	17	0,3	1,7	2,1		Lepena
208	20.7.	14:05:30,5	46,30	13,61	8	9	0,3	1,5	1,6		Drežniške Ravne
209	20.7.	21:03:35,0	46,30	13,61	7	10	0,2	1,5	2,0		Čezsoča
210	20.7.	22:52:43,9	46,32	13,60	8	11	0,3	1,7	1,9		Kal-Koritnica

št.	DAT.	h:m:s	z. šir.	z. dolž.	h	nst	RMS	M _{LV}	M _D	I _{max}	potresno območje
		UTC	°N	°E	km		s			EMS 98	
no.	date	h:m:s	lat	lon	h	NST	RMS	M _{LV}	M _D	I _{max}	epicentral area
		UTC	°N	°E	KM		s			EMS 98	
211	21.7.	5:29:30,1	46,31	13,60	7	21	0,2	2,2	2,1	zvok	Čezsoča
212	21.7.	9:50:50,1	46,34	13,61	7	84	0,5	2,7	3,1	V	Kal-Koritnica
213	21.7.	9:53:37,3	46,31	13,59	7	18	0,2	1,7	2,4	zvok	Čezsoča
214	22.7.	3:00:21,0	46,31	13,63	12	22	0,4	2,1	2,1		Lepena
215	22.7.	3:00:37,7	46,30	13,61	0	5	0,3	1,5			Čezsoča
216	22.7.	3:28:39,4	46,32	13,57	7	14	0,3	1,9	2,5		Čezsoča
217	22.7.	3:32:52,4	45,93	15,59	6	14	0,3	1,5	2,2	IV	Gornji Lenart
218	22.7.	13:50:12,5	46,31	13,58	11	6	0,2	1,5	1,9		Čezsoča
219	22.7.	21:26:39,7	46,31	13,62	9	31	0,4	1,8	2,6		Lepena
220	22.7.	22:31:28,2	46,18	13,43	7	11	7,2	1,7	2,3		Robidišče
221	23.7.	8:12:51,4	46,34	13,62	6	18	0,4	1,7	2,1		Kal-Koritnica
222	23.7.	13:52:07,6	46,32	13,59	9	67	0,5	2,8	3,2	V	Čezsoča
223	24.7.	4:23:59,3	46,32	13,51	6			1,3		čutili	Polovnik
224	24.7.	4:42:12,7	46,34	13,53	7	7	0,2	1,5	2,0		Plužna
225	24.7.	9:44:03,1	46,40	15,28	7	21	0,4	2,1	2,6		Spodnji Dolič
226	24.7.	15:38:42,1	46,32	13,59	7	18	0,2	2,0	2,3		Čezsoča
227	24.7.	21:07:54,9	46,30	13,63	7	17	0,2	2,1	2,1		Lepena
228	25.7.	8:36:44,7	46,32	13,61	8	9	0,2	1,9	2,0		Kal-Koritnica
229	25.7.	9:22:20,0	46,33	13,62	5	4	0,2	1,8			Kal-Koritnica
230	25.7.	12:44:18,5	46,31	13,63	6	8	0,2	1,7	1,8		Lepena
231	26.7.	1:26:05,5	46,31	13,61	11	11	0,2	1,8	2,0		Čezsoča
232	26.7.	5:11:56,4	46,32	13,61	5	10	0,2	1,5	1,6		Kal-Koritnica
233	26.7.	19:30:22,1	46,30	13,60	8	8	0,2	1,6	1,8		Čezsoča
234	27.7.	12:04:57,0	46,31	13,62	7	8	0,2	1,5	1,7		Lepena
235	27.7.	15:01:34,8	46,30	13,62	8	20	0,2	2,0	2,2		Lepena
236	28.7.	7:17:47,6	46,31	13,63	5	10	0,2	1,6	1,6		Lepena
237	28.7.	8:56:03,3	46,31	13,61	9	24	0,2	1,7	2,3	čutili	Lepena
238	29.7.	6:42:38,1	46,29	13,64	8	12	0,2	1,7	2,0		Lepena
239	29.7.	9:53:06,2	46,29	13,64	7	8	0,2	1,6	1,9		Drežniške Ravne
240	29.7.	9:53:49,0	45,95	14,87	9	16	0,2	1,5			Selo pri Radohovi vasi
241	29.7.	11:11:21,4	46,31	13,64	7	23	0,3	1,6	2,4	čutili	Lepena
242	29.7.	14:14:45,9	46,32	13,61	8	7	0,1	1,5			Kal-Koritnica
243	29.7.	16:09:08,1	46,30	13,62	8	8	0,3	1,5	1,3		Lepena
244	29.7.	20:10:05,2	46,30	13,62	7	9	0,2	1,5	1,9		Lepena
245	30.7.	8:39:09,0	46,31	13,61	9	8	0,1	1,6	1,6		Čezsoča
246	30.7.	13:44:08,2	45,65	15,51	9	9	0,1	1,5	2,2		Krašič, Hrvaška
247	31.7.	10:36:32,7	46,31	13,62	7	7	0,2	1,6	1,8		Lepena
248	31.7.	14:08:54,3	46,32	13,61	9	13	0,2	1,9	1,9		Kal-Koritnica
249	31.7.	20:42:24,5	46,31	13,61	8	36	0,3	2,2	2,4	III-IV	Kal-Koritnica

št.	DAT.	h:m:s	z. šir.	z. dolž.	h	nst	RMS	M _{LV}	M _D	I _{max}	potresno območje
		UTC	°N	°E	km		s			EMS 98	
no.	date	h:m:s	lat	lon	h	NST	RMS	M _{LV}	M _D	I _{max}	epicentral area
		UTC	°N	°E	KM		s			EMS 98	
250	1.8.	0:11:25,0	46,33	13,59	7	42	0,4	2,6	3,0	IV	Kal-Koritnica
251	1.8.	3:06:36,2	46,32	13,57	6	9	0,2	1,5	2,2	T	Čezsoča
252	1.8.	7:27:46,1	46,30	13,61	7	8	0,3	1,5	1,9		Drežniške Ravne
253	1.8.	8:29:38,9	46,33	13,59	7	75	0,4	2,9	3,1	V	Kal-Koritnica
254	1.8.	12:03:55,6	46,27	13,61	10	3	0,1	1,0		III-IV	Srpenica
255	2.8.	14:17:41,9	46,31	13,60	8	11	0,1	1,5	1,8		Kal-Koritnica
256	2.8.	17:09:23,3	46,49	14,82	0	5	0,1	1,5			Podpeca
257	3.8.	9:22:53,1	46,33	13,58	7	55	0,5	2,5	2,9	V	Kal-Koritnica
258	4.8.	22:01:51,7	46,32	13,63	10	19	0,3	1,7	2,2		Lepena
259	5.8.	0:15:11,5	45,91	15,16	11	16	0,2	1,7			Trebelno
260	5.8.	8:32:23,8	46,31	13,60	7	5	0,2	1,6	1,6		Čezsoča
261	5.8.	15:10:16,6	45,98	14,58	12	9	0,3	1,5	1,7		Zalog pri Škofljici
262	6.8.	6:42:46,5	46,31	13,61	7	9	0,1	1,7	1,9		Kal-Koritnica
263	7.8.	4:49:44,4	45,70	15,67	13	15	0,3	1,9			Plešivica, Hrvaška
264	7.8.	6:45:05,9	46,31	13,61	7	13	0,3	1,5	2,1		Kal-Koritnica
265	7.8.	17:13:05,5	46,30	13,61	8	24	0,3	1,6	2,4		Drežniške Ravne
266	8.8.	17:19:36,7	46,31	13,61	7	29	0,3	1,7	2,5		Lepena
267	9.8.	7:57:33,2	46,32	13,60	9	7	0,2	1,7	1,9		Kal-Koritnica
268	9.8.	10:09:02,2	46,31	13,60	9	6	0,1	1,6	1,8		Čezsoča
269	9.8.	11:49:04,5	46,31	13,62	7	6	0,1	1,5			Lepena
270	9.8.	15:58:18,2	46,32	13,62	7	7	0,2	1,7	1,8		Lepena
271	9.8.	19:51:29,0	46,31	13,60	8	16	0,5	1,5	2,1		Čezsoča
272	10.8.	0:34:42,2	46,31	13,60	8	4	0,0	1,5	1,8		Čezsoča
273	11.8.	5:36:45,0	46,33	13,57	8	29	0,3	1,9	2,5		Čezsoča
274	11.8.	17:37:43,7	46,30	13,60	10	6	0,1	1,5	1,8		Magozd
275	11.8.	22:08:37,9	45,91	15,16	10	23	0,3	2,0	2,4		Trebelno
276	12.8.	23:51:22,1	46,30	13,60	7	14	0,1	1,7	2,2		Magozd
277	13.8.	2:25:16,8	45,94	14,43	14	21	0,3	1,7	2,4		Dolenja Brezovica
278	15.8.	9:17:14,7	46,31	13,61	8	19	0,3	1,7	1,9		Kal-Koritnica
279	15.8.	13:57:49,9	46,27	14,36	14	25	0,4	1,7	2,1	IV	Mlaka pri Kranju
280	16.8.	19:24:17,5	46,34	13,60	7	12	0,3	1,7	2,3		Kal-Koritnica
281	16.8.	20:01:28,1	46,30	13,61	8	13	0,3	1,5	2,0		Magozd
282	17.8.	0:15:19,0	46,33	13,57	6	12	0,2	1,6	2,0		Kal-Koritnica
283	17.8.	1:22:14,1	46,31	13,63	7	12	0,3	1,8	2,2		Lepena
284	18.8.	13:28:31,4	46,58	15,27	10	5	0,4	1,9			Zgornji Kozji Vrh
285	18.8.	14:24:23,8	46,33	13,60	8	88	0,5	2,9	3,2	V	Kal-Koritnica
286	20.8.	20:13:45,9	46,26	13,53	23	4	1,2	1,7	2,3		Kred
287	21.8.	1:43:38,4	45,42	15,31	8	6	0,4	1,5	2,1		Zilje
288	21.8.	7:59:42,0	46,32	13,59	7	10	0,2	1,8	2,2		Čezsoča

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	
289	21.8.	18:31:37,4	46,53	14,33	12	66	0,4	2,4	2,9		Ferlach, Avstrija
290	22.8.	7:58:11,5	46,54	14,32	12	22	0,4	1,8	2,3		Ferlach, Avstrija
291	24.8.	22:25:51,7	45,87	14,71	14	37	0,3	2,2	2,7	III-IV	Cesta
292	26.8.	18:56:33,5	46,31	13,62	9	31	0,4	2,1	2,3	V	Lepena
293	27.8.	0:34:00,5	46,32	13,60	9	61	0,4	2,3	2,8	V	Kal-Koritnica
294	27.8.	12:15:16,2	46,31	13,60	7	9	0,2	1,6	1,6		Čezsoča
295	28.8.	1:15:48,6	46,30	13,64	7	15	0,3	1,5	2,0		Lepena
296	28.8.	1:18:08,9	46,32	13,60	7	11	0,3	1,6	1,8		Kal-Koritnica
297	30.8.	0:39:22,7	46,30	13,62	5	11	0,3	1,5	1,9		Lepena
298	31.8.	7:53:45,8	46,31	13,61	8	20	0,2	1,6	2,3		Čezsoča
299	31.8.	15:07:01,1	46,14	15,03	7	14	0,4	1,2	1,8	III	Selo pri Zagorju
300	1.9.	3:18:02,3	46,31	13,61	6	12	0,2	1,5	1,9		Čezsoča
301	2.9.	20:41:20,2	45,89	14,96	16	25	0,3	1,7	2,3		Železno
302	7.9.	11:28:10,6	46,31	13,61	7	10	0,2	1,5	1,6		Kal-Koritnica
303	9.9.	11:28:52,8	46,07	14,73	10	20	0,2	1,5	1,8		Zgornja Jevnica
304	12.9.	1:05:20,6	46,31	13,61	9	11	0,2	1,5	2,2		Čezsoča
305	13.9.	6:23:29,5	46,30	13,61	8	15	0,3	1,8	2,1		Drežniške Ravne
306	14.9.	6:12:35,7	46,32	13,59	7	29	0,3	2,4	2,5		Čezsoča
307	14.9.	14:37:48,1	46,31	13,61	8	12	0,2	1,9	1,5	čutili	Lepena
308	15.9.	10:30:14,9	46,31	13,61	8	15	0,1	1,6	2,0	čutili	Kal-Koritnica
309	18.9.	19:37:48,7	46,32	13,62	9	39	0,3	2,1	2,5	V	Lepena
310	19.9.	8:59:01,2	46,31	13,63	8	29	0,3	1,7	2,1	IV	Lepena
311	21.9.	14:45:10,3	46,31	13,60	7	9	0,2	1,4	1,8	zvok	Polovnik
312	22.9.	2:48:48,9	46,31	13,60	7	18	0,3	1,6	2,2		Čezsoča
313	22.9.	14:55:47,8	46,11	14,77	16	80	0,5	3,5	3,5	V	Zgornji Prekar
314	24.9.	18:38:40,5	46,32	13,64	7	19	0,3	2,3	2,0	zvok	Lepena
315	26.9.	13:13:00,5	45,87	15,70	0	3	0,0	1,2		IV	Jesenice, meja Slovenija - Hrvaška
316	28.9.	7:10:05,0	45,95	14,47	12	13	0,3	1,4	1,9	čutili	Vrbljene
317	5.10.	0:31:13,0	46,31	13,59	10	8	0,1	1,5	1,9		Čezsoča
318	11.10.	23:36:23,8	46,31	13,59	8	13	0,4	1,6	2,0		Čezsoča
319	13.10.	13:48:13,4	46,30	13,56	10	5	0,1	1,5	1,6		Čezsoča
320	14.10.	0:09:27,3	46,32	13,61	8	12	0,2	1,5	1,7		Kal-Koritnica
321	14.10.	19:04:41,6	45,88	15,65	7	16	0,5	1,7		IV-V	Mihalovec
322	15.10.	11:33:59,3	46,31	13,61	9	8	0,1	1,7	1,9		Kal-Koritnica
323	19.10.	20:16:34,1	45,88	15,56	2	10	0,1	1,4		IV-V	Mihalovec
324	23.10.	18:53:28,3	46,31	13,59	8	11	0,3	1,6	2,0		Čezsoča
325	27.10.	14:10:04,9	46,31	13,58	10	7	0,2	1,5	1,9		Čezsoča
326	28.10.	23:28:19,2	46,29	14,57	20	19	0,3	1,6	2,3		Klemenčevo
327	30.10.	1:54:03,2	46,11	14,78	12	21	0,4	1,5	1,7		Ribče

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	
328	30.10.	13:50:08,6	46,32	13,61	9	5	0,1	1,5	1,3		Kal-Koritnica
329	31.10.	23:08:44,0	46,33	13,62	8	39	0,5	1,8	2,4		Kal-Koritnica
330	1.11.	2:18:03,2	46,33	13,64	7	63	0,5	2,5	3,0	IV	Lepena
331	1.11.	2:45:18,6	46,33	13,64	7	29	0,4	1,8	2,3		Lepena
332	1.11.	3:51:50,2	46,33	13,63	7	27	0,4	2,0	2,3		Lepena
333	1.11.	14:36:08,8	46,33	13,64	10	9	0,2	1,5	1,8		Lepena
334	2.11.	6:13:16,2	46,12	14,86	10	29	0,4	1,8	2,4		Klenik
335	6.11.	6:51:30,8	46,31	13,57	5	9	0,1	1,5	1,6		Čezsoča
336	6.11.	17:09:19,7	46,32	13,62	7	91	0,5	2,8	3,2	V	Lepena
337	8.11.	2:15:59,3	46,24	13,78	6	22	0,4	1,5	2,2		Tolminske Ravne
338	8.11.	12:08:10,7	46,32	13,62	8	9	0,2	1,7	1,5		Lepena
339	12.11.	5:53:00,9	46,32	13,61	7	13	0,2	1,8	2,0		Kal-Koritnica
340	15.11.	21:59:03,0	45,57	15,22	10	4	0,1	1,9	1,4		Dolenja vas pri Črnomlju
341	18.11.	16:39:25,1	46,31	13,61	8	7	0,2	1,5	1,7		Kal-Koritnica
342	19.11.	19:45:05,9	46,55	14,79	19	39	0,5	2,5	2,5	IV	Peca, meja Avstrija - Slovenija
343	23.11.	21:18:24,0	46,67	14,96	12	11	0,4	2,2			Ettendorf, Avstrija
344	24.11.	3:27:19,9	46,07	14,76	11	21	0,2	1,5	2,0		Mala Štanga
345	26.11.	19:33:53,4	46,35	13,59	6	30	0,5	1,6	2,3	čutili	Kal-Koritnica
346	27.11.	1:58:04,7	46,31	13,60	13	9	0,3	1,5	1,9		Čezsoča
347	30.11.	23:58:33,2	45,86	15,71	2	6	0,1	1,3		III	Loče pri Dobovi
348	7.12.	13:14:40,1	45,84	15,22	11	11	0,2	1,5	2,4		Jelše pri Otočcu
349	7.12.	13:30:42,0	45,83	15,20	11	21	0,3	2,2			Žihovo selo
350	11.12.	22:13:41,1	45,65	15,56	7	11	0,2	1,5	2,3		Krašič, Hrvaška
351	14.12.	11:07:11,8	46,31	13,60	8	34	0,3	2,1	2,6	IV-V	Čezsoča
352	16.12.	21:18:29,9	46,21	14,90	12	24	0,4	1,6	2,2		Motnik
353	17.12.	2:31:36,2	45,72	15,21	10	10	0,3	1,4	2,1	čutili	Radoha
354	18.12.	11:13:22,0	46,31	13,60	8	5	0,0	1,6	1,9		Čezsoča
355	20.12.	20:38:25,9	46,02	15,17	9	17	0,3	1,5			Srednik
356	21.12.	20:06:51,1	46,00	14,38	10	9	0,2	0,9		čutili	Log pri Brezovici
357	28.12.	2:45:58,1	46,40	15,82	17	20	0,5	1,6			Njiverce
358	30.12.	19:40:25,0	46,10	15,20	10	25	0,4	1,6	2,5		Veliko Širje

V naslednjem poglavju (in na slikah od 3 do 10) so natančneje prikazani le nekateri izmed potresov, ki so jih v zadnjem letu čutili prebivalci Slovenije. Zaradi velikega števila dogodkov ni bilo mogoče predstaviti učinkov prav vseh. Na sliki 11 so največje intenzitete za vse potrese, ki so jih v posameznih krajih čutili prebivalci Slovenije v letu 2004.

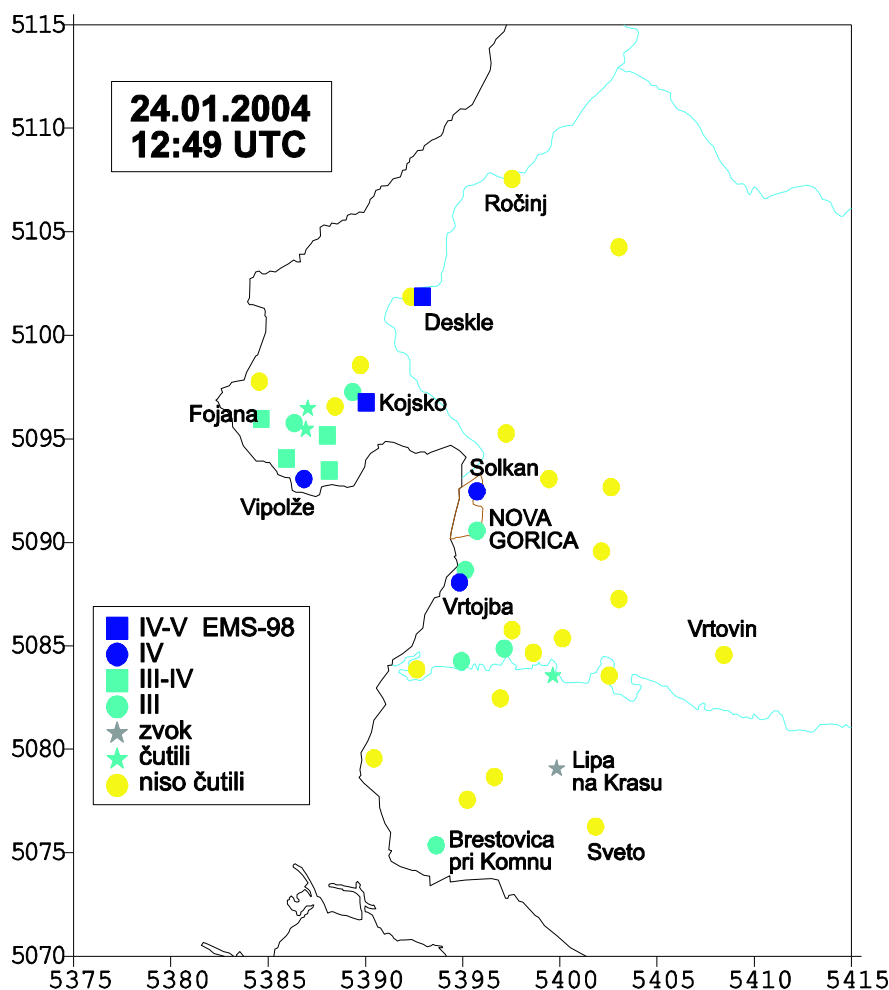
zap. št.	mesec	dan	čas (UTC) h:min	največja intenziteta v Sloveniji (EMS-98)	potresno območje
no.	month	day	time (UTC) h:m	maximum intensity in Slovenia (EMS-98)	earthquake's area
1	5	23	15:19	čutili	Imotski, Hrvaška
2	9	14	18:09	IV-V	Rijeka, Hrvaška
3	11	24	22:59	čutili	Gardsko jezero, Italija
4	11	25	06:21	čutili	otok Jabuka, Hrvaška

Preglednica 2. Seznam potresov z žarišči v drugih državah, ki so jih čutili prebivalci Slovenije v letu 2004. Potresi so na kratko opisani v besedilu.

Table 2. List of earthquakes with origins in other countries that were felt by the inhabitants of Slovenia in 2004. Short descriptions of the events are given in the text.

Podatki o nekaterih močnejših potresih, ki so jih prebivalci čutili

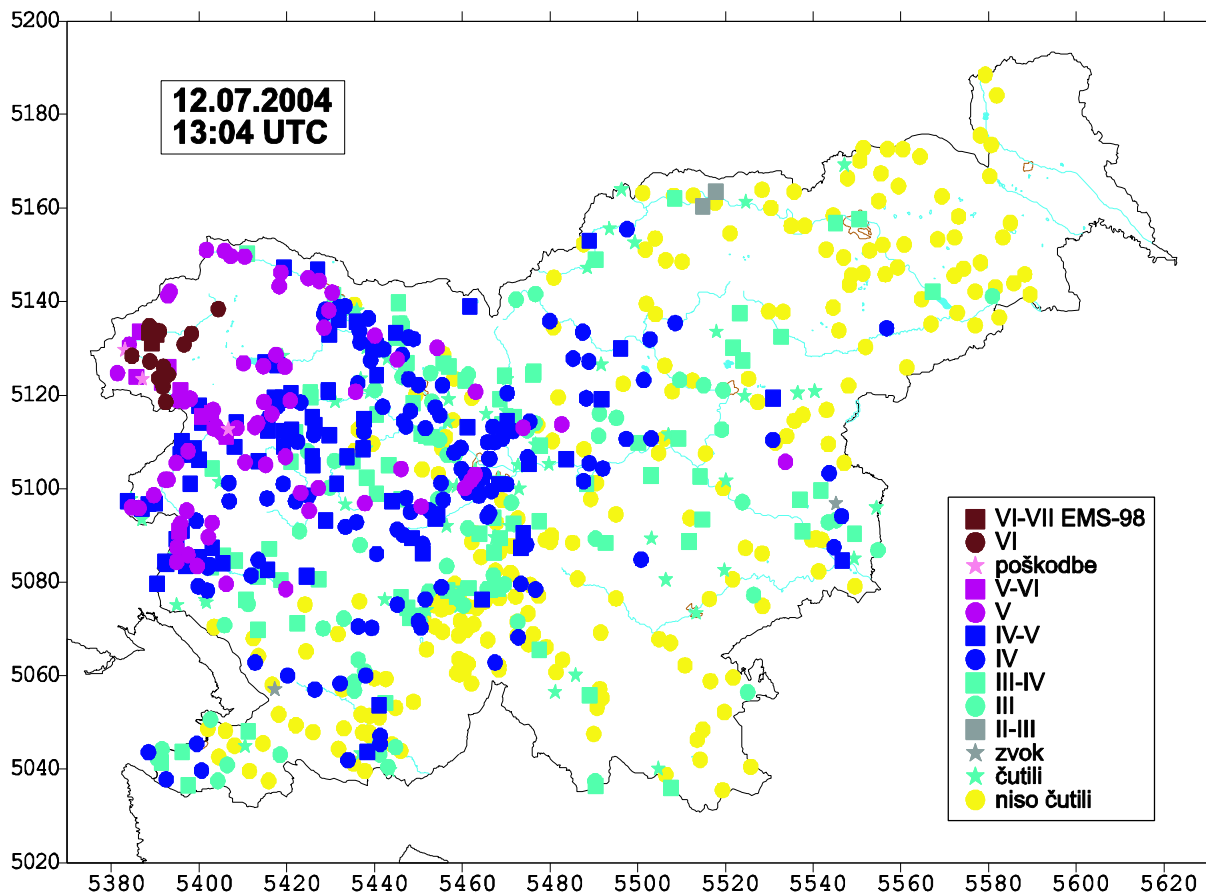
1. januar 2004 ob 2. uri 21 minut po UTC. Zmerno tresenje tal z intenziteto IV-V EMS-98 so čutili prebivalci kraja Soča. Stare lasaste razpoke na nekaterih objektih so se po poročanju opazovalca povečale.



Slika 3. Intenzitete potresa 24. januarja 2004 ob 12. uri 49 minut po UTC v posameznih naseljih.
Figure 3. Intensities of earthquake on 24 January 2003 at 12.49 UTC in individual settlements.

24. januar 2004 ob 12. uri 49 minut po UTC. O zmernem tresenju tal z intenziteto IV-V EMS-98 so poročali prebivalci Deskel in Kojskega (slika 3). V Dolnjem Cerovem so ob potresu slišali močan pok, podoben preletu reaktivnega letala.

3. april 2004 ob 19. uri 38 minut po UTC. Zmeren potres z intenziteto IV-V EMS-98 so čutili prebivalci v Dolskem in Senožetih. Glasno bobnenje tal so čutili med ostalim v Kamnici, na Vinjah in v Jevnici.



Slika 4. Intenzitete potresa 12. julija 2004 ob 13. uri 4 minute po UTC v posameznih naseljih.

Figure 4. Intensities of earthquake on 12 July 2004 at 13.04 UTC in individual settlements.

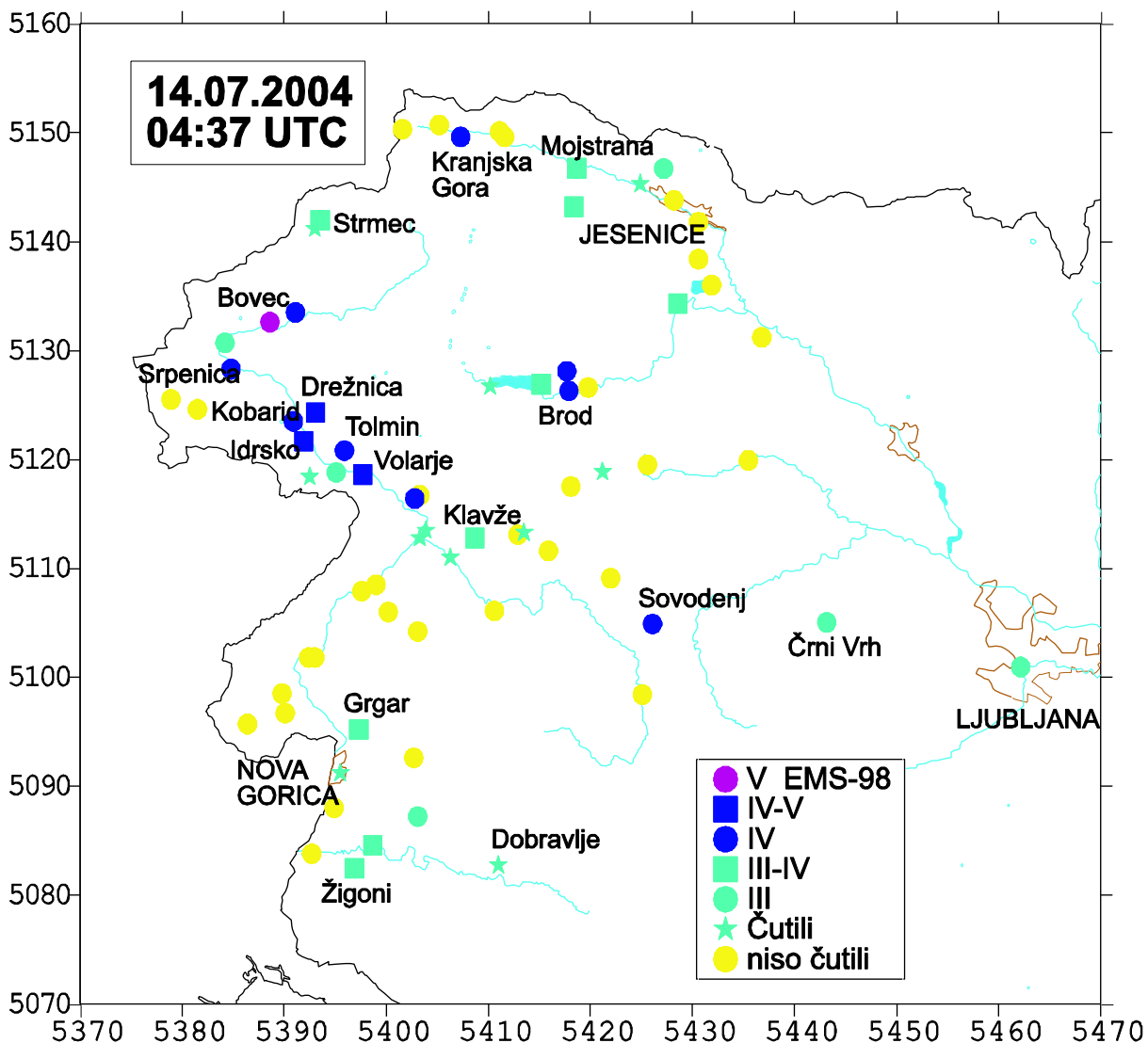
12. julij 2004 ob 13. uri 4 minute po UTC. Najmočnejši potres v letu 2004 v Sloveniji so najbolj (z intenziteto VI-VII EMS-98) čutili v Čezsoči, Vodenci in posameznih delih Bovca (slika 4). V širšem nadzariščnem območju je prišlo do poškodb na številnih zgradbah, kot tudi na tistih, ki naj bi bile obnovljene po predpisih po velikonočnem potresu leta 1998.

Prebivalci so neposredno po glavnem potresu in v naslednjih dnevih čutili zelo veliko število popotresnih sunkov. Zaradi splošne zmede in preplaha večinoma ni bilo možno ločiti, na kateri popotres se nanaša posamezen opis. Najbolj pogosto so podajali splošne ocene (npr. „Čutili smo 6 močnih potresov ta dan, in še nekaj šibkejših.“). Zato v preglednici 1 podajamo le ocene intenzitet za tiste dogodke, za katere smo lahko nedvomno določili, kateri izmed preštevilnih opisov učinkov se nanašajo nanje.

Potres je žal zahteval tudi eno smrtno žrtev – italijanskega planinca je v hribih nad Lepeno pod sabo do smrti pokopalo skalovje. Zaradi plazov je bilo zaprtih nekaj cest, marsikje je prišlo tudi do težav v oskrbi s pitno vodo in elektriko.

Potres so čutili tudi zunaj naših meja, in sicer v Italiji, Avstriji in na Hrvaškem. Več o tem potresu najdete v članku Renata Vidriha v reviji Ujma (Vidrih, 2005).

14. julij 2004 ob 4. uri 37 minut po UTC. Močno tresenje tal z intenziteto V EMS-98 so čutili v Bovcu. Od tam so poročali o škripanju sten in manjši gmotni škodi (slika 5)



Slika 5. Intenzitete potresa 14. julija 2004 ob 4. uri 37 minut po UTC v posameznih naseljih.

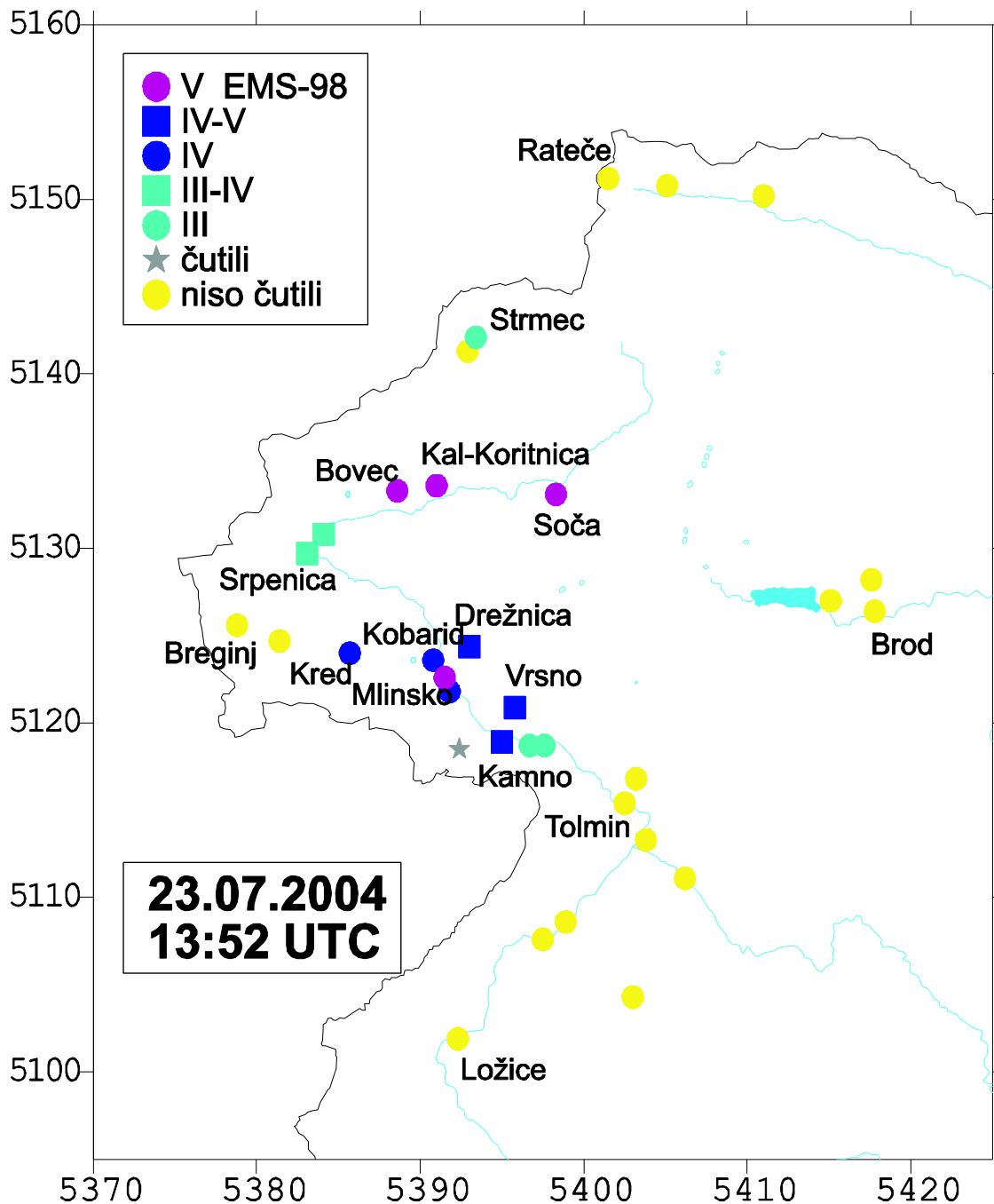
Figure 5. Intensities of earthquake on 14 July 2004 at 04.37 UTC in individual settlements.

14. julij 2004 ob 6. uri 39 minut po UTC. Tla v Posočju so se ta dan večkrat stresla. Potres je intenziteto IV-V EMS-98 dosegel v Volarjah.

14. julij 2004 ob 15. uri 38 minut po UTC. Tudi ta potres so najmočnejše (IV-V EMS-98) čutili v Volarjah.

15. julij 2004 ob 18. uri 58 minut po UTC. Močno tresenje tal z intenziteto V EMS-98 so čutili prebivalci bovškega predela Mala vas. Iz mnogih krajev so prišla poročila o povečevanju razpok in drugih poškodb na zgradbah.

21. julij 2004 ob 9. uri 50 minut po UTC. Žarišče potresa je bilo pri Kalu-Koritnici. Čutili so ga prebivalci Zgornjega Posočja. Najmočnejše učinke (V EMS-98) je imel v naseljih Čezsoča in Vodena. V Čezsoči ga je med ogledom poškodovanih objektov čutila tudi naša terenska ekipa. Poročevalka iz Vodence je, poleg povečanja razpok na hiši, omenila tudi drsenje terena ob hiši, ter razširjanje razpok v zemlji za nekaj centimetrov vsak dan.



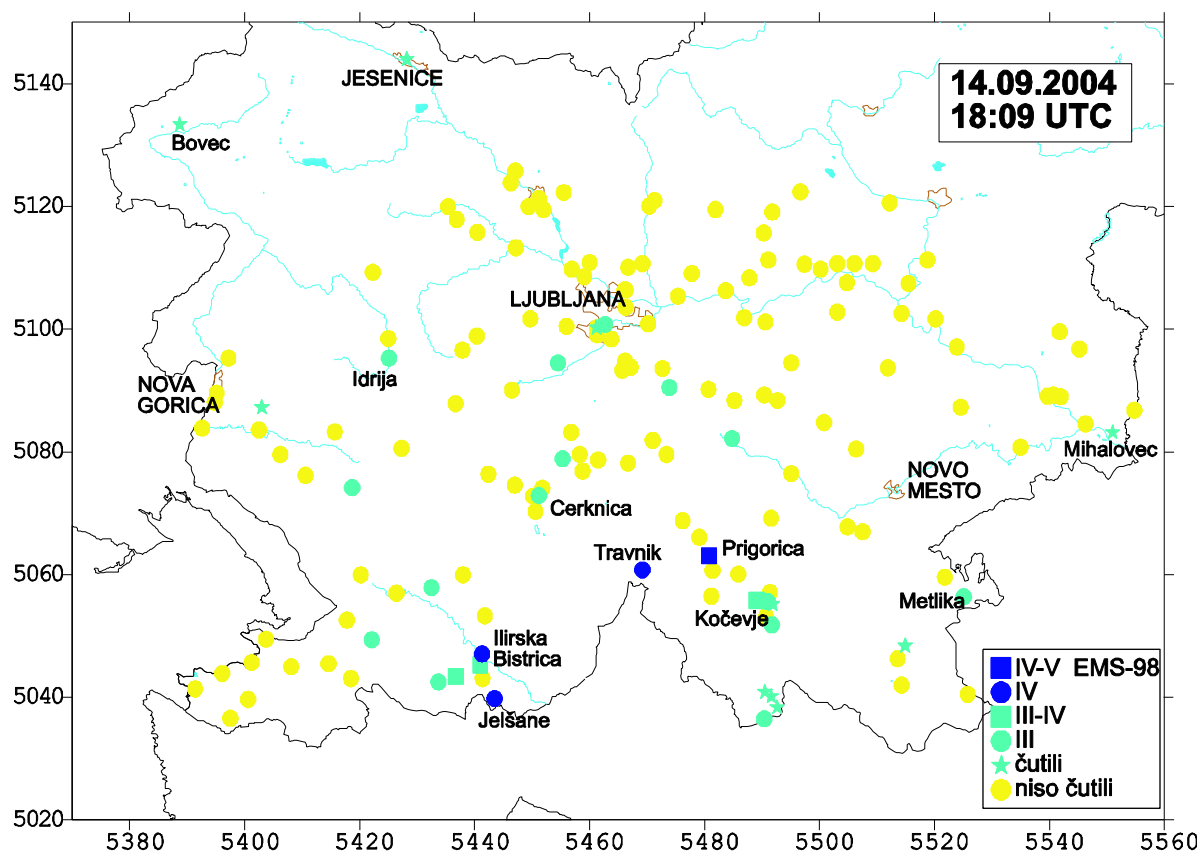
Slika 6. Intenzitete potresa 23. julija 2004 ob 13. uri 52 minut po UTC v posameznih naseljih.

Figure 6. Intensities of earthquake on 23 July 2004 at 13.52 UTC in individual settlements.

23. julij 2004 ob 13. uri 52 minute po UTC. Tudi ta potres je imel žarišče v bližini Čezsoče (slika 6). Čutili so ga najbolj v Minskem, Bovcu, Kalu-Koritnici in Soči, kjer je dosegel intenziteto V EMS-98. Ljubljano je ob tem času zajelo močno neurje, zato je obveščanje javnosti o tem dogodku zaradi popolnega izpada komunikacij nekoliko zamujalo.

1. avgust 2004 ob 8. uri 29 minut po UTC. Ta potres so najmočneje (V EMS-98) čutili v Bovcu in Soči. Iz Bovca so poročali o močnem vertikalnem dvigovanju tal, ki so ga posebej dobro občutili tisti, ki so se sončili leže na tleh.

3. avgust 2004 ob 9. uri 22 minut po UTC. Ta potres je dosegel največjo intenziteto V EMS-98 v Bovcu. Tam so ga čutili med hrupnim delom v tovarni, zaradi potresa so nekateri tudi zapustili stavbo.



Slika 7. Intenzitete potresa 14. septembra 2004 ob 18. uri 9 minut po UTC v posameznih naseljih.
Figure 7. Intensities of earthquake on 14 September 2004 at 18.09 UTC in individual settlements.

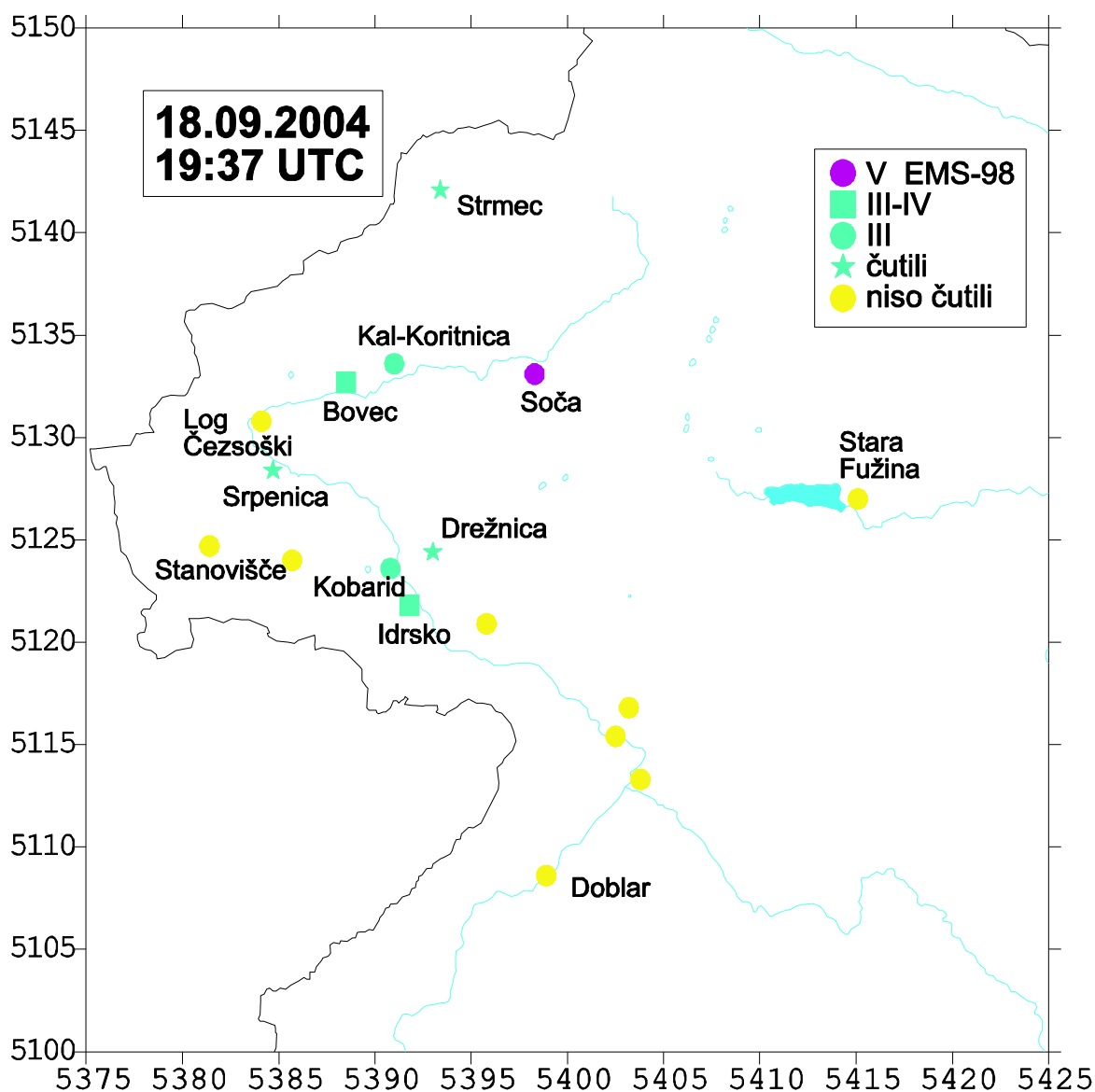
18. avgust 2004 ob 14. uri 24 minut po UTC. Seizmična aktivnost v Posočju se je nadaljevala. Tresenje tal z intenziteto V EMS-98 so čutili prebivalci Mlinskega, Bovca, Vodence in Soče. Opazovalci še naprej poročajo o večanju razpok na zgradbah. Vsak potres pa še vedno sproži veliko preplaha med prebivalci.

26. avgust 2004 ob 18. uri 56 minut po UTC. Žarišče tega potresa je bilo pri Lepeni. Najmočneje so ga čutili v Kobaridu in na Idriškem, kjer se dosegel intenziteto V EMS-98.

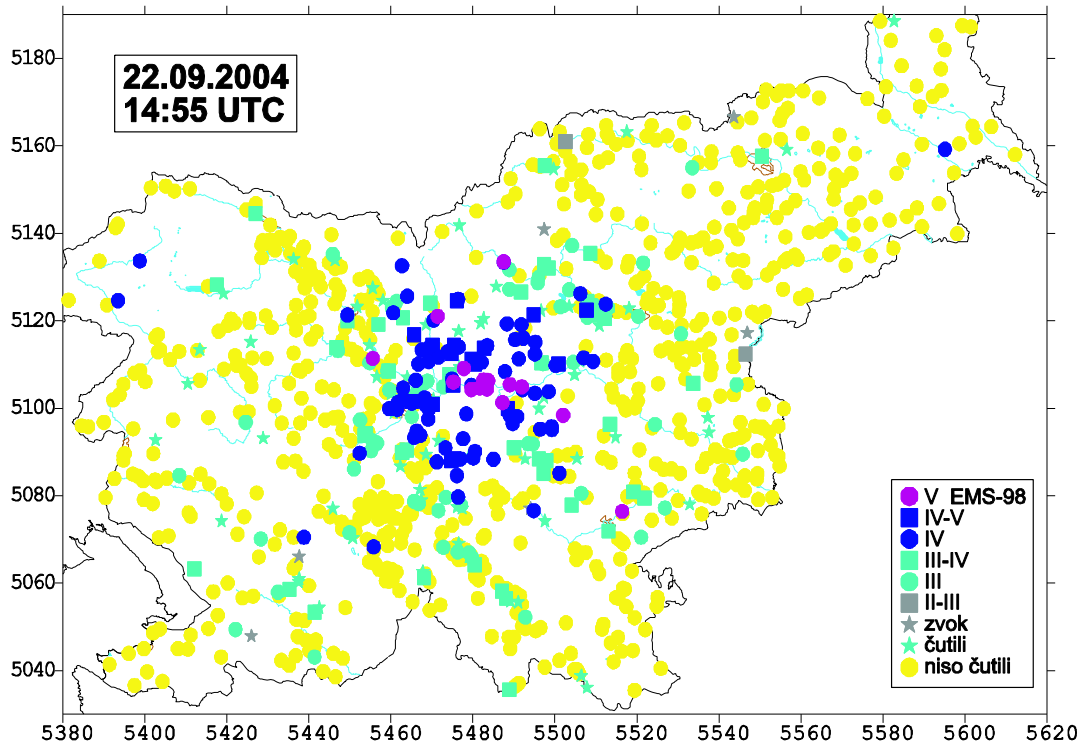
27. avgust 2004 ob 0. uri 34 minut po UTC. Močno tresenje tal z intenziteto V EMS-98 so najmočneje čutili v Bovcu. Iz Male vasi so poročali o precej glasnem hrupu, ki je spremljal tresenje. Zvok, podoben bobnenju, je prebudil prebivalce tudi na Idrskem.

14. september 2004 ob 18. uri 09 minut po UTC. Zmeren potres z intenziteto IV-V EMS-98 so čutili prebivalci v kraju Prigorica (slika 7). Žarišče tega potresa je bilo na Hrvaškem, vzhodno od Reke. Na Reki in v številnih okoliških krajih je potres povzročil manjšo gmotno škodo, predvsem razpoke v stenah, stropovih in na fasadah hiš.

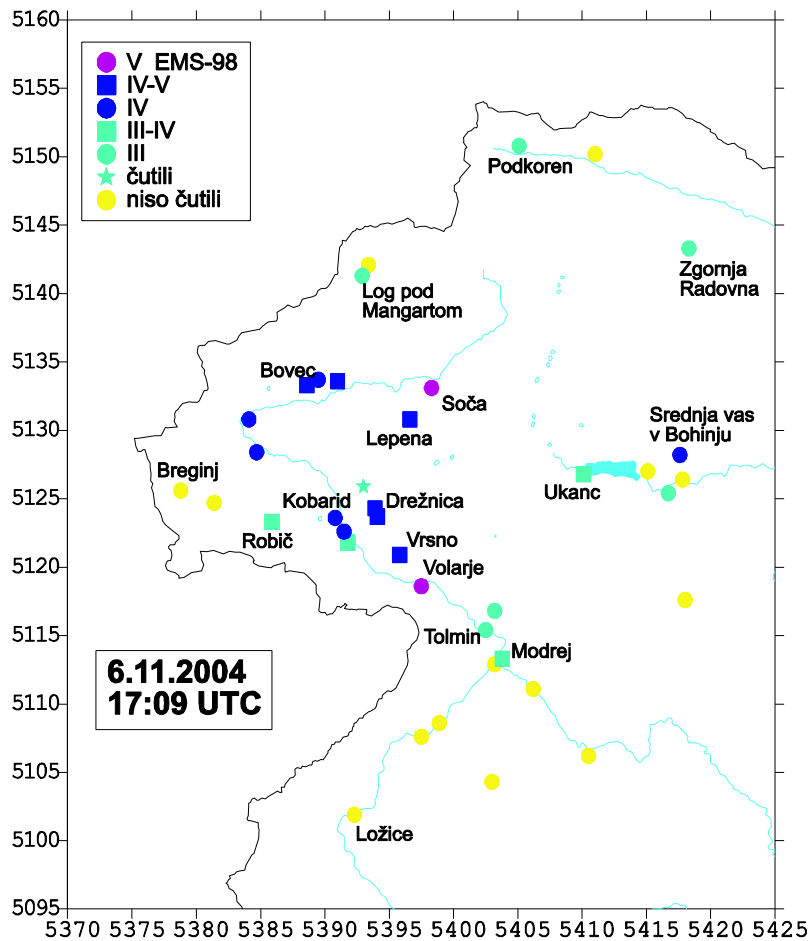
18. september 2004 ob 19. uri 37 minute po UTC. Tokratno tresenje tal z intenziteto V EMS-98 so v kraju Soča čutili tudi tisti, ki so med potresom hodili na prostem (slika 8). Nekajsekundno zamolklo bobnenje ob potresu sta slišala tudi jamarja v Renetovem breznu na Kaninu.



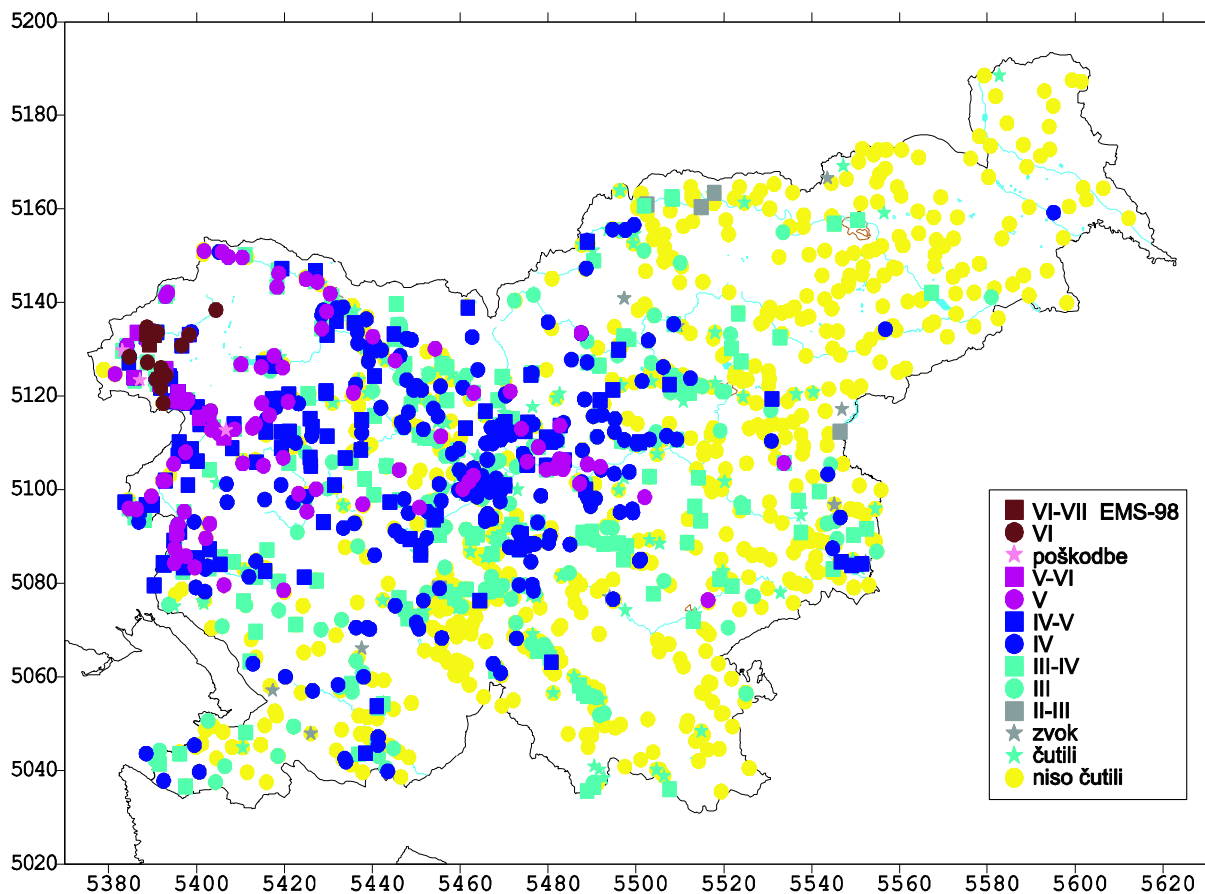
Slika 8. Intenzitete potresa 18. septembra 2004 ob 19. uri 37 minut po UTC v posameznih naseljih.
Figure 8. Intensities of earthquake on 18 September 2004 at 19.37 UTC in individual settlements.



Slika 9. Intenzitete potresa 22. septembra 2004 ob 14. uri 55 minut po UTC v posameznih naseljih.
Figure 9. Intensities of earthquake on 22 September 2004 at 14.55 UTC in individual settlements.



Slika 10. Intenzitete potresa 6. novembra 2004 ob 17. uri 9 minut po UTC v posameznih naseljih.
Figure 10. Intensities of earthquake on 6 November 2004 at 17.09 UTC in individual settlements.



Slika 11. Skupna karta največjih intenzitet vseh potresov v letu 2004, ki so jih v posameznih krajih čutili prebivalci Slovenije.

Figure 11. Overall map of the largest intensities of all earthquakes in 2004 felt by the inhabitants of Slovenia in individual places.

22. september 2004 ob 14. uri 55 minut po UTC. Močan potres v okolici Moravč z intenziteto V EMS-98 so čutili prebivalci krajev Boltija, Dole pri Litiji, Jevnica, Kamnica, Kresnice, Kresniške Poljane, Kresniški Vrh, Lešnica, Litija, Ljubno ob Savinji, Nevlje, Ribče, Sava, Verje in Vrhpolje (slika 9). Kljub dokaj veliki magnitudi (3,5) potres ni povzročil grotne škode, razen nekaj razpok na ometu starejših stavb v širšem nadžariščnem območju.

14. oktober 2004 ob 19. uri 4 minute po UTC. Ta potres z intenziteto IV-V EMS-98 so čutili v krajih v okolici Dobove. Prebivalci so poročali o glasnem zastrašujočem bobnenju, podobnem eksploziji v kamnolomu. Posamezniki v Mostecu so med potresom prestrašeni zapustili hiše.

6. november 2004 ob 17. uri 9 minut po UTC. Močno tresenje tal z intenziteto V EMS-98 so čutili prebivalci krajev Volarje in Soča (slika 10). V Kobaridu so potres opisali kot zelo močan sunek z močnim pokom, ki ga je spremljal občutek, kot da bi celo hišo za trenutek dvignilo.

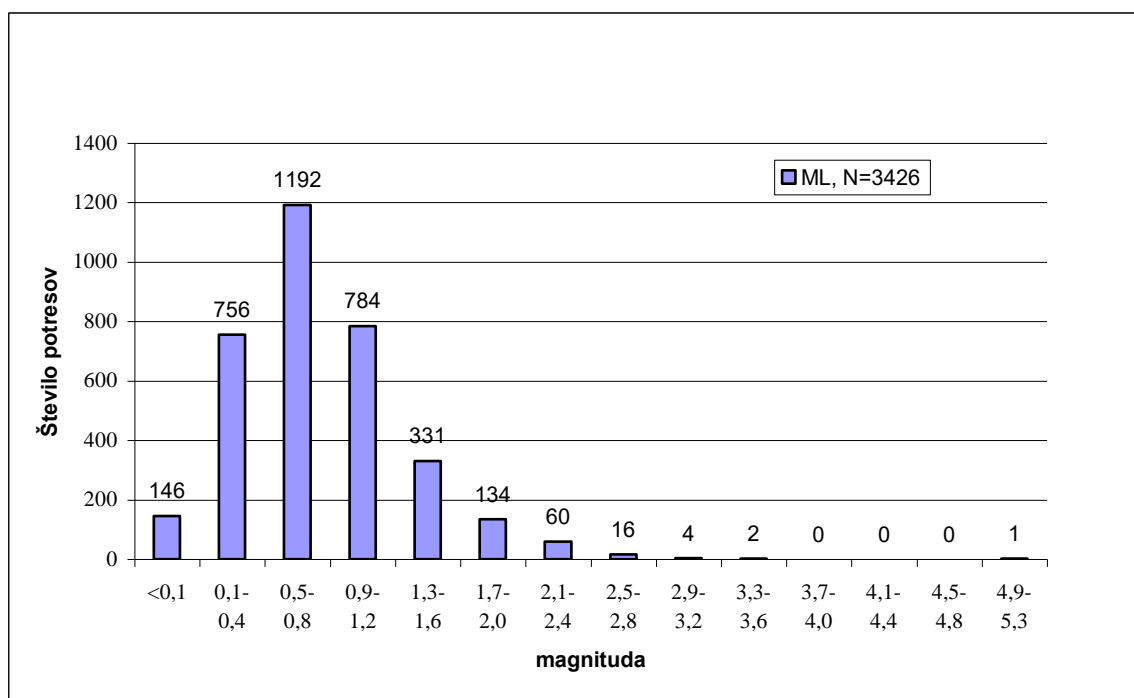
14. december 2004 ob 11. uri 7 minut po UTC. O zmernem tresenju tal z intenziteto IV-V EMS-98 so poročali prebivalci Bovca in okolice. V Drežnici so ponovno opazili večanje obstoječih razpok na stenah hiš.

Zaključek

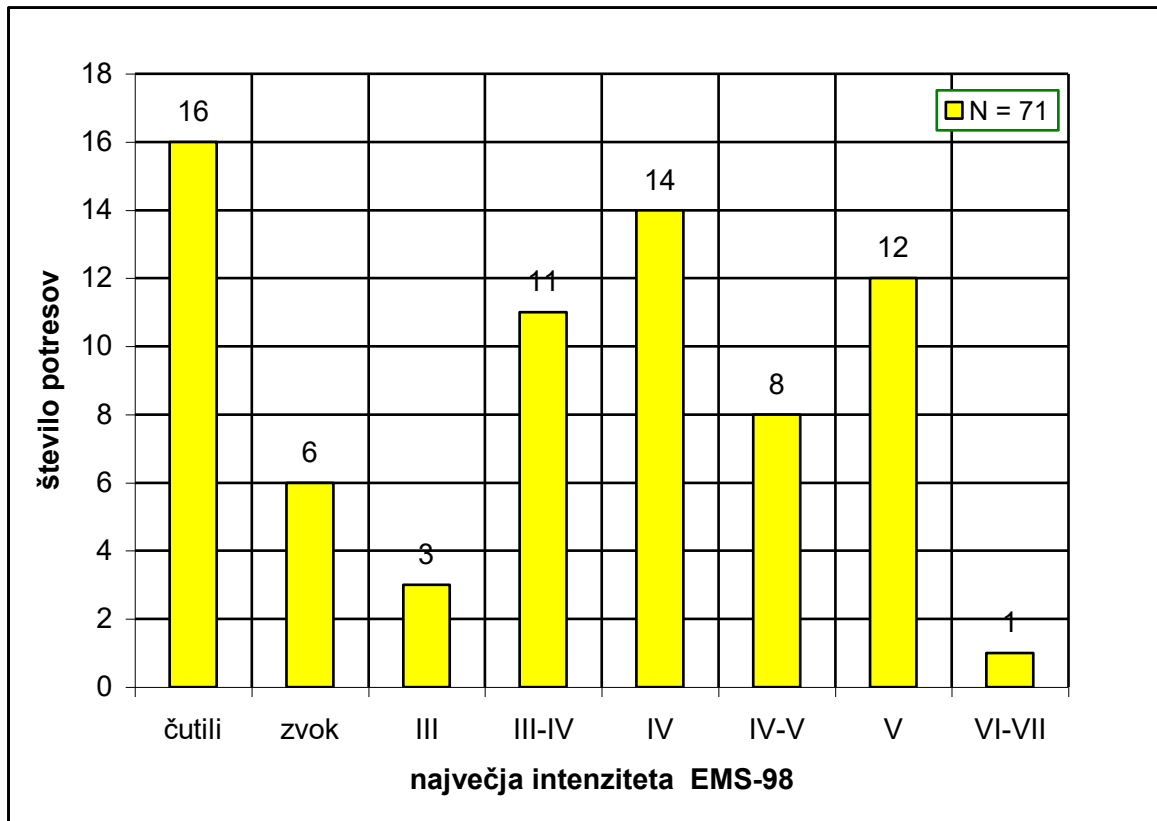
Potresna aktivnost v Sloveniji v letu 2004 je bila povečana, predvsem zaradi potresa, ki je 12. julija prizadel okolico Bovca, in njegovih popotresov. Histogram na sliki 12 kaže porazdelitev lokalnih magnitud (M_{LV}), ki smo jih opredelili za 3426 potresov. Največ potresov je imelo magnitudo med 0,5 in 0,8.

Med potresi, za katere smo razposlali makroseizmične vprašalnike ali opravili terenske raziskave, jih je največjo intenziteto IV EMS-98 doseglo 14, intenziteto IV-V EMS-98 8 in intenziteto V EMS-98 12 potresov. Intenziteto VI-VII EMS-98 je dosegel en potres. Preostali potresi (36) 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 13). Prebivalci so skupno čutili vsaj 71 potresov.

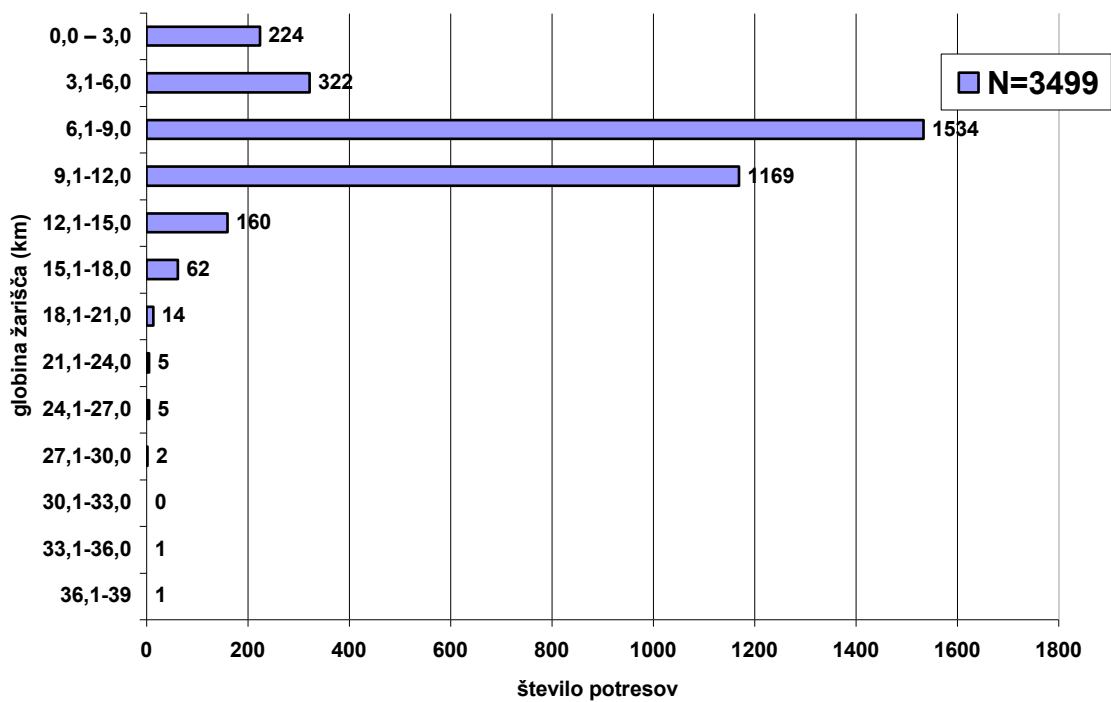
Porazdelitev potresov glede na globino žarišč (slika 14) kaže, da je imela večina od 3499 potresov lociranih na območju Slovenije in bližnje okolice, žarišča do globine 18 km. Največ (1534) potresov je bilo v globini med 6,1 in 9 km. Za 28 potresov smo opredelili večjo žariščno globino od 18 km.



Slika 12. Porazdelitev potresov v Sloveniji v letu 2004 glede na lokalno magnitudo
Figure 12. Distribution of earthquakes in Slovenia in 2004 in relation to local magnitude



Slika 13. Porazdelitev potresov v Sloveniji v letu 2004 glede na največjo intenziteto EMS-98
Figure 13. Distribution of earthquakes in Slovenia in 2004 in relation to maximum intensity EMS-98



Slika 14. Porazdelitev potresov v letu 2004 glede na globino žarišča (v kilometrih)
Figure 14. Distribution of earthquakes in Slovenia in 2004 in relation to focal depth (in kilometres)

Kot doslej bi bili makroseizmični podatki za potrese zelo pomanjkljivi ali celo popolnoma nedostopni, če nam pri tem delu ne bi pomagali številni prostovoljni opazovalci. Leta 2004 je z ARSO aktivno sodelovalo več kot 4800 ljudi, za kar se jim najlepše zahvaljujemo. Za potrese v letu 2004 smo poslali 8317 vprašalnikov.

Tudi v letu 2004 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 in Christiane Ferudenthaler iz Centralnega zavoda za meteorologijo in geodinamiko (ZAMG) na Dunaju in Ivici Soviču iz Seizmološke službe Republike Hrvaške (SSRH) v Zagrebu.

Literatura

Agencija RS za okolje, 2004-2005. Preliminarni tedenski seizmološki bilteni za 2004. Arhiv ARSO, Ljubljana.

GeoRisk - MTA GGKI, Budapest, HU ISSN 1219-963X (English).

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

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

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

GZAM, 2004-2005. Mesečni bilteni za 2004 (online). Geofizički odsjek Prirodoslovno-Matematičnog Fakulteta, Zagreb, Hrvaška. Dostopno na naslovu:

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

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

Lienert, B.R., 1994. HYPOCENTER 3.2 - A Computer Program for Locating Earthquakes Locally, Regionally and Globally, Hawaii Institute of Geophysics & Planetology, Honolulu, 70 pp.

Michelini, A., Živčić, M. in Suhadolc, P., 1997. Simultaneous inversion for velocity structure and hypocenters in Slovenia, Journal of Seismology, 2(3), 257-265.

NEIC, 2004-2005. Monthly bulletin (online). US Department of the Interior. Geological Survey, National Earthquake Information Center. Dostopno na naslovu:

http://neic.usgs.gov/neis/data_services/ftp_files.html

OGS (Osservatorio Geofisico Sperimentale), 2004. Bolletino della Rete Sismometrica del Friuli Venezia Giulia, OGS, Centro ricerche sismologiche, Udine, computer file

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.

Tóth L, Mónus P, Zsíros T, Kiszely M, Czifra T, 2005. Hungarian Earthquake Bulletin 2004.

Wessel, P. in Smith, W.H.F., 1991. Free software helps map and display data, Eos, Trans. Amer. Un., Vol. 72(441), pp. 445-446.

Wessel, P. in Smith, W.H.F., 1998. New, improved version of the Generic Mapping Tools released, EOS Trans. AGU, Vol. 79, p. 579.

ZAMG, 2004-2005. Seizmološki bilteni za 2004. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien

Živčić, M., Bondár, I. and Panza, G.F., 2000. Upper Crustal Velocity Structure in Slovenia from Rayleigh Wave Dispersion. Pure Appl. Geophys., Vol. 157, 131-146.

POTRES 12. JULIJA 2004 V ZGORNJEM POSOČJU THE EARTHQUAKE OF 12 JULY 2004 IN UPPER SOČA VALLEY

Renato Vidrih

Izvleček. Potres 12. julija 2004, ki je po šestih letih ponovno zatresel potresno najnevarnejši konec Slovenije in je bil približno 10-krat šibkejši od potresa 12. aprila 1998, je znova opozoril na potresno nevarnost v Sloveniji. Nastal je ob 13. uri in 4 minute po UTC oz. 15. uri 4 minute po lokalnem času. Preliminarni koordinati epicentra sta 46,31 N in 13,62 E, njegovo žarišče je bilo globoko okoli 11 km. Potres z magnitudo 4,9 je povzročil največje učinke med VI. in VII. stopnjo po EMS-lestovici v vasi Čezsoča in okolici ter nekaterih predelih Bovca. Večji del članka je namenjen posledicam potresa v naravi. Potres je pokazal na nevarnost lokalnih ojačitev potresnih valov, saj so bili ponekod povečani za celo stopnjo. Ob potresu so nastali številni pojavi plitvih porušitev v naravi. Največ je bilo padanja skal, širjenja obstoječih in odpiranja novih razpok, plazjenja ob robu teras in hribinski podori. Analiziranih je bilo 44 hribinskih podorov, od katerih je bilo le pet srednje velikih, kar dokazuje, da je bila moč potresa premajhna, da bi aktivirala zdrse blokov kamnin globlje pod površino. Opisani so tudi pojavi dolgih razpok ob robovih teras, kar je ponekod povzročilo poškodbe objektov. Relativno majhna intenziteta potresa je bila »sreča« tudi za obe veliki plazišči, Log pod Mangartom in Koseč nad Kobaridom, saj potres nanju ni vplival.

Abstract. The earthquake that hit the seismically most vulnerable region in Slovenia on 12 July 2004, upper Soča valley, was approximately ten times weaker than the event in 1998. Nevertheless, the question of seismic risk in Slovenia was stressed once again. The origin time of the earthquake was 13.04 UTC or 15.04 local time, coordinates of the epicentre 46.31 N and 13.62 E, depth 11 km. Its magnitude was 4.9 and the maximum intensity in village Čezsoča and in some parts of Bovec was estimated as VI-VII EMS-98. The major part of this paper is dedicated to the effects in nature. The earthquake pointed out the danger of local amplification of seismic waves that were in some places enlarged for the whole intensity degree. Numerous shallow landslides occurred, mainly as rockfalls, widening and occurrence of cracks and landsliding at the edge of terraces. 44 mountain rockfalls were analysed, five of them being of moderate size. It was established that the earthquake was too weak to activate sliding of the larger stone blocks under the surface. Phenomena of long cracks at the edge of terraces were also described. Due to the relatively small size of the earthquake, it did not affect active landslide areas at Log pod Mangartom and Koseč above Kobarid.

Uvod

Potres, ki je ponovno prizadel zgornje Posočje, je nastal 12. julija 2004. Potresu je v naslednjih tednih sledilo več sto popotresov. Potresni sunek, ki je bil 10-krat šibkejši od potresa leta 1998, je zaradi slabih lokalnih seizmoloških razmer v Čezsoči in nekaterih predelih Bovca, povzročil veliko gmotno škodo. V naravi je nastalo večje število manjših hribinskih podorov in nekaj drugih značilnih pojavov potresa, kot so padanje skal in nastanek razpok ob robovih teras. Na posledice potresa, tako na zgradbah kot v naravi, so vplivale lokalne seizmološke in geološke značilnosti, tipične za alpski teren, ki gradi zgornje Posočje. V članku bodo opisane značilne posledice potresa, ki so bile ugotovljene na terenu in z analizo instrumentalnih podatkov. Preden začnemo opisovati vplive potresa, podajamo zgodovino najmočnejših potresov, ki so povzročali katastrofalno škodo tudi v zg. Posočju.

Zgodovina močnejših potresov zgornjega Posočja

Ko govorimo o potresni dejavnosti posameznega območja, moramo upoštevati potrese, ki so imeli žarišča na tem območju, prav tako pa tudi potrese, ki so nastali drugod, vendar so bili tako močni, da je njihov vpliv zajel tudi obravnavano območje. V potresni preteklosti zg. Posočja ni bilo veliko potresov, ki bi imeli žarišča pri nas, pač pa so naše kraje večinoma prizadeli učinki potresov, ki so nastali v sosednji Italiji in na mejnem območju z Avstrijo. Na to nas v zadnjem času najbolj spominja serija furlanskih potresov leta 1976, ki so razdejali tudi naselja na naših tleh. Večina zgodovinskih potresov, ki so vplivali na zg. Posočje je nastalo na italijanski strani. V kratkem pregledu si oglejmo le najmočnejše potrese v zgodovini, prikazane na slikah 1 in 2. Podatki so povzeti po V. Ribariču (Ribarič, 1980, 1982).

Potres 24. aprila 1279

Potresni sunek z magnitudo 5,3 je nastal v bližini Čedadada (Cividale), kjer je prišlo do rušenja zgradb in do smrtnih žrtev. Potres je zajel celotno severno Italijo, čutili pa so ga tudi prebivalci Posočja. Na Tolminskem je dosegel VII. stopnjo po EMS lestvici, v dolini Soče pa med VI. in VII. stopnjo. Pri nas ni povzročil večje škode.

Potres 25. januarja 1348

Znani koroški ali beljaški potres, kakor so ga opisovali številni avtorji, je bil ena najhujših katastrof v potresni zgodovini Evrope. V preteklosti so strokovnjaki menili, da je njegovo žarišče nastalo v bližini Beljaka, vendar so številne raziskave pokazale, da gre za furlanski potres. Največje učinke je potres z magnitudo 6,5 (za primerjavo naj navedemo, da je bil po sproščeni potresni energiji približno 20x močnejši od potresa 12. aprila 1998 v zgornjem Posočju) dosegel na območju Beljaka in severovzhodne Italije, kjer je dosegel X. stopnjo po EMS lestvici. Zahteval je 20.000 življenj, po nekaterih podatkih celo 40.000 (Ribarič, 1980). Ljudje so umirali ob rušenju kamnitih zgradb, ob številnih požarih, ki so zajeli lesene objekte ter ob poplavih, ki so nastale zaradi zajezev nekaterih rek. Vsemu temu so sledile še kužne bolezni. Najbolj je bilo opustošeno območje med Beljakom (Villach) in Tolmečem (Tolmecco), kjer so bili uničeni vsi gradovi, utrdbe in večina naselij. Mesto Beljak, ki je bilo tedaj pomembno trgovsko središče, je bilo popolnoma uničeno, saj ocenjujejo, da je v njem umrlo več kot 5.000 ljudi. Veliki pospeški tal v nadžariščnem območju so sprožili plaz v dolžini 5 km z južnega pobočja gore Dobrač, ki je zasul več vasi in zajezil reko Ziljo. Voda se je iz nastalega jezera umikala več stoletij, dokler niso za njo ostala le še zamočvirjena tla. Nekateri raziskovalci so izračunali, da je z Dobrača v dolino zgrmela milijarda kubičnih metrov hribine.

Na Kranjskem so nastale najhujše poškodbe v dolini reke Save in v zgornjem Posočju. Uničen je bil tolminski grad in še številni gradovi po deželi (Kolovec pri Radomljah, Čušperk pri Grosupljem, Novi grad pri Podgradu itd). V Posočju je potres dosegel učinke med VIII. in IX. stopnjo po EMS lestvici.

Potres 26. marca 1511

Najmočnejši potres na Slovenskem je nastal v začetku 16. stol. na Idrijskem. Nekateri avtorji (Ribarič, 1980) menijo, da sta v istem dnevu nastala dva potresa, popoldan na Idrijskem, zvečer pa v Furlaniji. Morda bodo nadaljnje raziskave pokazale, da sta bila oba na italijanski strani. Za kratek opis grozot, ki so potresoma sledile, za bralca niti ni pomembno, kje natančno sta obe žarišči nastali. Prvi potres je imel moč 6,9, drugi pa med 7,0 in 7,2 (prvi potres je bil po sproščeni energiji približno 33x močnejši, drugi pa 40x močnejši od potresa 12. aprila 1998 v zgornjem Posočju). Na nadžariščnem območju, ki je segalo od Čedad (Cividale) do Humina (Gemona) in do Idrije, so največji učinki dosegli med IX. in X. stopnjo po EMS-lestvici. Ponekod so lokalni učinki dosegli celo X. stopnjo. Kakšen obseg je imel potres pove že podatek, da je zajel približno 1,7 milijona km² veliko površino. O njegovih učinkih pa dovolj zgovorno priča podatek o 12.000 mrtvih (nekateri avtorji menijo, da je bilo ob popoldanskem potresu na Idrijskem 3.000 mrtvih, ob večernem v Furlaniji pa še 12.000). Med najbolj poškodovanimi so bila naselja Videm (Udine), Tolmeč (Tolmezzo), Čenta (Tarcento), Čedad (Cividale), kjer naj bi bilo 3.000 mrtvih, Pušja vas (Venezona), Humin (Gemona) in še številni kraji na tem območju. Manjše poškodbe so nastale celo na Dunaju in v Benetkah.

Na kratko opišimo najbolj poškodovana naselja na Slovenskem. V Škofji Loki so se porušili vsi kamniti objekti, vključno z gradom. Potres je podrl smledniški grad, Novi grad pri Preddvoru in gradove v okolici Tržiča. Poškodovan je bil grad Kamen nad dolino Drage pri Begunjah, podrl se je tudi blejski grad. Močno poškodovani so bili gradovi v okolici Radovljice in Kamnika. Poškodovan je bil Ljubljanski grad, na Dolenjskem pa turjaški grad in grad Prežek pod Gorjanci. Na Notranjskem je potres podrl gradove v Postojni, Polhovem Gradcu in Planini pri Rakeku.

Zanimivi so učinki v mestu Idriji in njegovem živosrebovem rudniku. V Idriji so vzdržali le leseni objekti. Plazovi so zasuli strugo reke Idrijce, ki je tako narasla, da je vdrla v rudnik in onemogočila nadaljnje izkoriščanje rude. V rudniku je bilo uničeno vse, kar je bilo zgrajeno pod lokalno površino terena. Za nadaljnje delo so rudnik usposobili šele leta 1517. Posočje je bilo v tistem času le malo naseljeno, zato niso znane večje poškodbe, uničeni pa so bili vsi gradovi na Tolminskem.

Kot zanimivost lahko navedemo primerjavo s furlanskimi potresi leta 1976, ko so si majski in septembrski potresi sledili v enakem časovnem razmaku kot potresi marca in avgusta leta 1511.

Potres 4. decembra 1690

Potres z magnitudo 6,2 je po letu 1348 ponovno močno poškodoval Beljak in druge kraje na Koroškem, kjer je dosegel IX. stopnjo po EMS-lestvici. Za nas pomembnejši so njegovi učinki na Kranjskem, saj je v severni Kranjski in v zgornjem Posočju dosegel učinke med VII. in VIII. stopnjo po EMS-lestvici in povzročil gmotno škodo. Ob potresu so nastali na območju

Julijskih Alp in Karavank številni plazovi in skalnati podori, ki so ponekod zajezili struge rek in potokov, kar je povzročilo nastanek poplav.

Potres 3. februarja 1716

Med obravnavanimi potresi je bil to najšibkejši dogodek, saj je bila njegova magnituda "le" 4,8, na območju Gorice in Goriških Brd pa je dosegel učinke VII. stopnje po EMS-lestvici, kar pomeni, da je povzročil gmotno škodo.

Potres 20. oktobra 1788

Žarišče je nastalo v bližini Tolmeča (Tolmezzo). Magnituda je bila 5,6, največja intenziteta na nadžariščnem območju pa med VIII. in IX. stopnjo po EMS-lestvici. Potres je poleg velike gmotne škode zahteval tudi človeška življenja. Na srečo so bili učinki potresa v severozahodni Sloveniji bistveno manjši, saj nikjer niso presegli VI. stopnje po EMS-lestvici. Potresni sunek je med prebivalstvom povzročil predvsem preplah.

Potres 2. maja 1819

Potres z magnitudo 4,6 je dosegel na nadžariščnem območju največje učinke med VI. in VII. stopnjo. Žarišče je nastalo ob idrijskem prelomu južno od Idrije. Podatkov o gmotni škodi ni.

Potres 10. julija 1850

Tudi ta potresni sunek je nastal ob idrijskem prelomu. Imel je magnitudo 4,1, največje učinke VI. stopnje po EMS-lestvici je dosegel v Cerknem in Gorici. Čutili so ga tudi na širšem radovljiškem območju in na Bledu. Podatkov o gmotni škodi ni.

Potres 18. marca 1855

Potres z magnitudo 4,3 je dosegel največje učinke VI. stopnje po EMS-lestvici v skrajnem severozahodnem delu Slovenije, kjer je po zadnjih podatkih nastalo tudi žarišče. Potres po razpoložljivih podatkih gmotne škode ni povzročil.

Potres 7. marca 1857

Zanimiv potres z žariščem, globokim okoli 20 km, je nastal na naših tleh. Imel je magnitudo 5,5 in največje učinke med VII. in VIII. stopnjo po EMS-lestvici na širšem območju Cerknega. Podatkov o tem potresu je malo. Čutili so ga celo v Benetkah.

Potres 14. maja 1872

Potresni sunek z magnitudo 4,3 in največjimi učinki VI. stopnje po EMS-lestvici na nadžariščnem območju med Trnovskim gozdom in Banjščicami ni povzročil večje gmotne škode.

Potres 13. avgusta 1918

Potresno dejavnost idrijskega preloma dokazuje tudi sunek z magnitudo 4,5 in največjimi učinki VI. stopnje po EMS-lestvici, ki so ga čutili tudi v južni Avstriji.

Potres 12. aprila 1942

Žarišče je nastalo severno od Tolmina na območju Julijskih Alp. Magnituda potresa je bila 4,4. Po opisu prebivalcev je največjo intenziteto dosegel v vasi Grant v Baški grapi. Pred leti nas je na ta potres opozoril Ignac Ferjanc iz Nemškega Ruta ob Grahovem ob Bači in nam posredoval naslednje podatke. Vas Grant je štela 23 hiš, od katerih jih je le osem imelo zidane dimnike, ostale so bile krite s slamo. Šest dimnikov je bilo porušenih, dva pa močno poškodovana. Vse hiše so bile močno poškodovane. Na podlagi teh podatkov lahko ocenimo, da je potres dosegel VII. stopnjo po EMS-lestvici.

Potres 11. februarja 1944

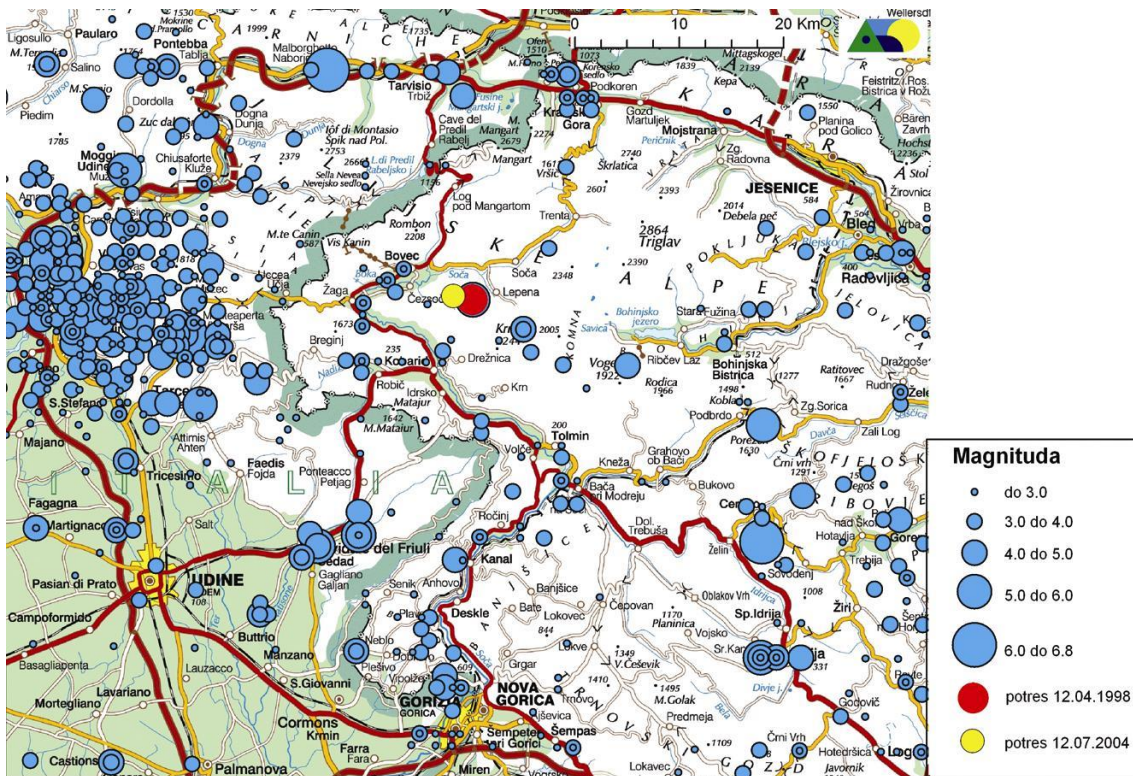
Žarišče potresa je nastalo v skrajnem severozahodnem delu Slovenije. Potres je imel magnitudo 3,7 in največje učinke VI. stopnje po EMS-lestvici. Najbolj so ga čutili na območju Kranjske gore. Povzročil je le manjšo gmotno škodo.

Potres 16. avgusta 1968

Potresni sunek je nastal na severovzhodnem robu Jelovice in je dosegel največje učinke na območju Radovljice. Njegova magnituda je bila 4,5, največja intenziteta na nadžariščnem območju pa VI. stopnje po EMS-lestvici. Potres je dosegel največje učinke v Radovljici, na Bledu, v Gorjah, Bohinjski Beli, Tržiču, Kranju itd. V zgornjem Posočju so bili učinki manjši.

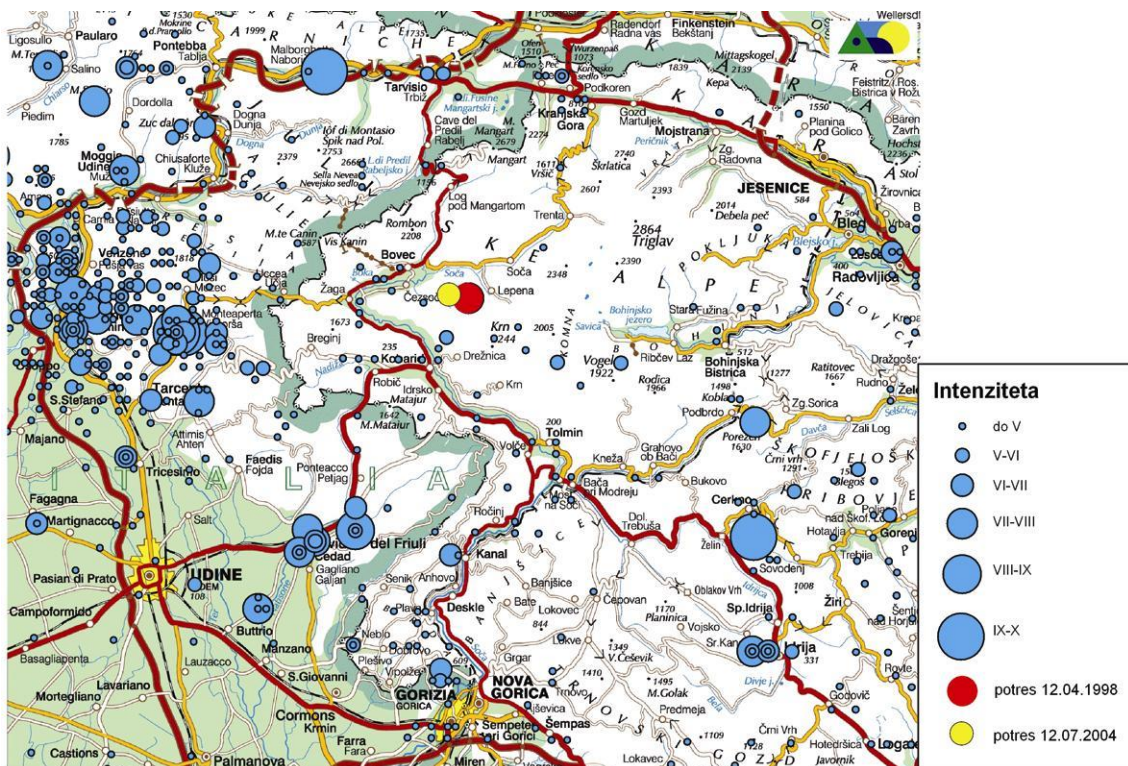
Potresi leta 1976

Potresno zgodovino Posočja zaključimo s potresi, ki so nastali maja in septembra 1976 z žarišči v Furlaniji. Kot smo dosedaj spoznali, se je zgornje Posočje v zgodovini večkrat treslo. Sedanje generacije prebivalcev imajo grenak spomin na katastrofo, ki so jo doživeli leta 1976. Zadnji potresi, leta 1998 in 2004, so jih znova opomnili, da je zgornje Posočje eno od potresno najnevarnejših območij v Sloveniji. Prvi potres je nastal 6. maja ob 20. uri 0 minut po svetovnem času oziroma dve uri kasneje po našem lokalnem času. Imel je magnitudo 6,5 in največje učinke med IX. in X. stopnjo po EMS-lestvici (ponekod je lokalno dosegel tudi X. stopnjo). Sledil mu je potres 9. maja ob 0. uri 53 minut po svetovnem času z magnitudo 5,6 in največjimi učinki med VIII. in IX. stopnjo. Ponovna serija je začela s potresom 11. septembra ob 16. uri 31 minut z magnitudo 5,1 in največjimi učinki med VII. in VIII. stopnjo. Tri minute kasneje je sledil močnejši potres z magnitudo 5,6 in učinki VIII. stopnje. Zadnja močna potresa sta nastala 15. septembra ob 3. uri 15 minut z magnitudo 5,8 in učinki med VIII. in IX. stopnjo in ob 9. uri 21 minut z magnitudo 6,1 in učinki IX. stopnje po EMS-lestvici. Zanimiva je primerjava majske in septembrske serije s potresom leta 1511, kjer so prvi seriji v približno enakem času sledili novi sunki. Ta čas je približno 120 dni (Ribarič, 1980).



Slika 1. Magnitude potresov v severozahodni Sloveniji in Furlaniji v obdobju 792 n. št. dalje. Rdeč in rumen krogec označujeta potresa leta 1998 in 2004 (Ribarič, 1980,1982).

Figure 1. Magnitudes of earthquakes occurred in NW Slovenia and Friuli from 792 A.C. onwards. The earthquakes in 1998 and 2004 are denoted with red and yellow circles (Ribarič 1980,1982).



Slika 2. Intenzitete potresov v severozahodni Sloveniji in Furlaniji v obdobju 792 n. št. dalje. Rumena rdeč krogec označujeta potresa leta 1998 in 2004 (Ribarič 1980, 1982).

Figure 2. Intensities of earthquakes occurred in NW Slovenia and Friuli from 792 A.C. onwards. The earthquakes in 1998 and 2004 are denoted with red and yellow circles (Ribarič 1980, 1982).

Globina potresnih žarišč je bila približno 15 kilometrov. Glavni majski potres je na srečo sledil potresnemu sunku ob 19. uri in 59 minut z magnitudo 4,2 in intenziteto VI. stopnje po EMS-lestevici. Ta minuta je zadostovala, da so ljudje zbežali iz hiš in močnejši sunek pričakali na prostem. V Sloveniji na srečo ni bilo mrtvih, medtem ko je v Furlaniji umrlo 965 ljudi (Ribarič, 1980). Potres so čutili prebivalci na območju, velikem približno milijon kvadratnih kilometrov (polmer občutljivosti je bil približno 570 km). Sunek so poleg Italijanov in Slovencev čutili tudi prebivalci Avstrije, Švice, južne Nemčije, Češke, Slovaške, južne Poljske, jugozahodne Madžarske in severozahodne Hrvaške.

Potres je pri nas najbolj prizadel Breginjski kot, kjer je dosegel učinke VIII. stopnje po EMS-lestevici (za pol stopnje močnejše kot potres 12. aprila 1998). V Kobaridu je dosegel med VII. in VIII. stopnjo, v Tolminu VII., v Bohinjskem kotu med VI. in VII., v Ljubljani, na Goriškem, Idrijskem in Postojnskem VI. stopnjo, v osrednji in južni Sloveniji ter na vzhodu do Maribora V. stopnjo. V severovzhodni Sloveniji je dosegel učinke IV. stopnje. Septembrski potresi so dosegli nekoliko nižje učinke, podobne kot zadnji potres. Razlika je le v tem, da so septembrski potresi močnejše poškodovani že prej poškodovane objekte, ki niso bili popravljeni takoj po majskem potresu.

Največja škoda je nastala v vaseh Breginj, Ladra, Smast, Trnovo in Srpenica. V teh naseljih je že po majskih potresih ostalo brez strehe nad glavo 80% ljudi. Skoraj v celoti je bila porušena vas Podbela. V naseljih Volarje, Borjana, Čezsoča in Žaga je bilo porušeni med 50 in 80% objektov. V Idrijskem, Kredu, Kobaridu, Kamnem, Orehku, Bukovem in Kojskem pa od 30 do 50% vseh zgradb. Ljudje so se prestrašeni ozirali proti Rombonu, od koder je prihajalo bučanje in pokanje. Nekaj ljudi je bilo lažje ranjenih, predvsem zlomi rok in nog. S hribov so se valile skale, številni podori so zapirali dostope. Vse skupaj so oteževale še prekinjene telefonske linije, zaprte ceste in izpadlo električno omrežje. Ljudje so si urejali zasilna prebivališča na prostem, reševali opremo iz bolj ali manj porušeni hiš. V prvih dneh so postavili več kot 700 šotorov in 200 avtomobilskih prikolic. Število se je večalo iz dneva v dan. Najbolj so prebivalce vznemirjali popotresni sunki in močno deževje. Teden dni po majskem potresu (14. maja) je zgornje Posočje zajelo neurje, Soča je poplavlila bregove, v Breginjskem kotu je dvigovalo šotore, v Kobaridu je šotore zalivala voda. Nevihti je sledilo še sneženje.

Največje razdejanje je bilo na Tolminskem in Kobariškem, medtem ko je na Goriškem prebivalce zajela predsem panika. Ob majskih in septemberskih potresih je bilo skupaj zelo poškodovanih okoli 4000 objektov (objekti, ki jih je bilo treba podreti ali so se podrli ob potresih), vsega skupaj pa je bilo poškodovanih več kot 12000 zgradb. Nekaj objektov so morali izprazniti tudi v Bohinjskem kotu. Poškodovanih je bilo veliko kulturnih spomenikov, od gradov do cerkva, seveda pa tudi zanimive vasi, kot na primer Breginj.

Obnova zgornjega Posočja je potekala relativno hitro, saj so septembrski potresi pripomogli k hitrejšemu reševanju in saniranju objektov. Žal je to marsikje povzročilo nestrokovno saniranje. Zanimiva je bila tudi odločitev o postavljanju montažnih objektov, ki se sicer ob

potresih obnašajo dobro, a so pokvarili izgled celotnih naselij, predvsem Breginja. V letu 1976 so postavili več kot 500 montažnih hiš.

Majskim potresom je do konca junija 1976 sledilo še okoli 400 popotresov, od katerih so jih prebivalci čutili več kot 200. Septembrskim potresom je do konca oktobra sledilo še okoli 300 popotresnih sunkov. Žarišča septembrskih potresov so se premaknila proti severu, torej bližje našim krajem. Če seštejemo obe seriji potresov, lahko zaključimo, da so bili skupni učinki v Breginjskem kotu IX. stopnje po EMS lestvici, v drugih delih zgornjega Posočja pa VIII. stopnje. Potres 12. aprila 1998 je bil bistveno šibkejši, čeprav je povzročil veliko gmotno škodo, bolj prizadeti pa so bili drugi kraji. Potres leta 2004 je bil še šibkejši, po prvih izračunih je bilo njegovo žarišče pomaknjeno proti severozahodu, vendar le za nekaj sto metrov.

Potres 12. aprila 1998

Potresi, ki so ponovno prestrašili prebivalce zg. Posočja, so se začeli z najmočnejšim v seriji 12. aprila ob 12. uri 55 minut po našem času, oziroma dve uri prej po svetovnem. Potres je imel magnitudo 5,6 in je bil najmočnejši potres v 20. stol. na ozemlju Slovenije. Njegovi učinki so dosegli med VII. in VIII. stopnjo po EMS lestvici. Žarišče je nastalo pod Krnskimi pogorjem, v globini 8 km. Učinki potresa so zajeli 10 držav, poleg Slovenije so namreč potres čutili v nekaterih predelih Hrvaške, Bosne in Hercegovine, Madžarske, Avstrije, Švice, Italije, Slovaške, Češke in Nemčije.

Potresni sunek je povzročil največjo gmotno škodo v vaseh nad Kobaridom in Tolminom, v Spodnjih Drežniških Ravnah, v Magozdu, v Tolminskih Ravnah, na planini Polog in Javorci. Tu je dosegel med VII. in VIII. stopnjo po EMS lestvici. Nekoliko manjše učinke je dosegel v Bovcu, predvsem v predelu Mala vas, v Kal - Koritnici, Zgornjih Drežniških Ravnah, Jezercih, Krnu itd. Tu je dosegel učinke VII. stopnje po EMS lestvici. Poleg poškodovanih naselij je potres povzročil velike spremembe v naravi. Največji podori so nastali v dolini Lepene, na Lemežu, na jugozahodnih pobočjih Krna, na planini Osojnici in pri izviru Tolminke (Ribičič in Vidrih, 1998a, Ribičič in Vidrih, 1998b, Ribičič, Vidrih, 1999a).

Največje poškodbe, tako na zgradbah kot tudi v naravi, so nastale na slabih kamninah, predvsem na nanosih rek in potokov ter na pobočnih gruščih. Pas z največjimi poškodbami se vleče v dinarski smeri, od severozahoda proti jugovzhodu. Poškodbe so nastale nekoliko vzhodneje kot ob furlanskih potresih leta 1976 (Ribičič in Vidrih, 1999a, 1999b).

Največ poškodb je bilo na starejših stanovanjskih hišah, ki so zgrajene iz lokalnih materialov. Prevladuje lomljen kamen v slabi apneni malti. Zidovi so debeli do 60 cm, hiše imajo večinoma lesene stropove. Tramovi so prosto položeni na zidove in ne ustvarjajo nikakršne povezave med zidovi. Tudi strehe so večinoma težke. Ker so objekti masivni, so ob potresu obremenjeni s silami, sorazmernimi veliki masi zgradbe. Konstrukcije niso sposobne prevzeti velikih obremenitev, zato so bile ob potresu večinoma bolj ali manj poškodovane. Seveda so se mnogo bolje ob potresu obnašali objekti, ki so bili po letu 1976 ojačani. Objekti z

vgrajenimi horizontalnimi vezmi so praviloma vzdržali z manjšimi poškodbami (Godec in sod. 1999a, 1999b).

Pogosto so bili poškodovani vogali hiš, večinoma v primerih, ko so vogali zgrajeni iz med seboj nepovezanega lomljenca. Veliko poškodb je bilo tudi na stikih stropov in nosilnih zidov zaradi medsebojne nepovezanosti. Pri slabo sidranih strehah je prišlo do poškodb zatrefov. Pogoste so bile tudi značilne strižne razpoke, ki so se pojavljale v medokenskih sklopkih. Poškodbe ob potresu leta 2004 so bile podobnega tipa, vendar v manjšem obsegu.

Žarišče potresa je nastalo ob dinarskem prelomu, ki se razprostira v smeri severozahod - jugovzhod, od Rombona, severovzhodno od Bovca, jugozahodno od doline Lepene, severovzhodno od Krnskega pogorja in dalje preko Tolminskih Raven na Cerkljansko in ga imenujemo ravenski prelom (Buser, 1986, Vidrih in Ribičič, 1998b).

Osnovni podatki o potresu 12. julija 2004

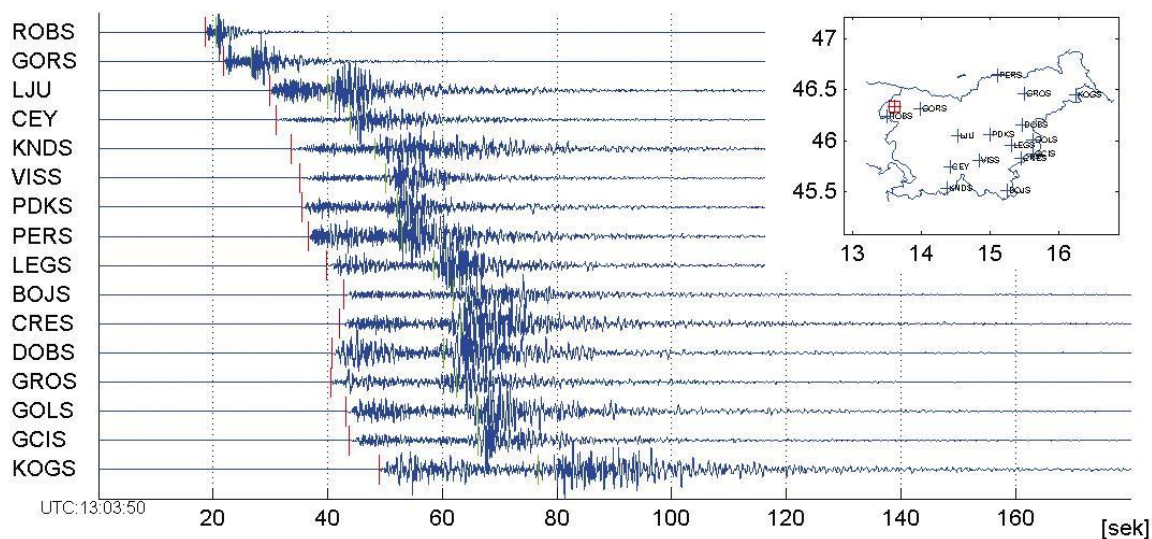
Koordinati epicentra potresa, ki se je sprožil 12. julija 2004 ob 15. uri in 4 minute po lokalnem času sta 46.31N in 13.62E. Njegovo žarišče je bilo globoko okoli 11 km pod površino. Nastalo je ob istem prelomnem sistemu kakor 12. aprila 1998, to je ob ravenskem prelomu, ki je del idrijskega prelomnega sistema (Vidrih, 2004a).

Magnituda ($M = 4,9$) je bila izračunana iz zapisov 11-tih opazovalnic. Preliminarne učinke na zgradbe, naravo, ljudi in predmete smo ocenili z intenziteto med VI. in VII. stopnjo po evropski potresni lestvici (EMS). Preliminarna lokacija epicentra je bila določena iz 38-tih opazovalnic slovenske, avstrijske, italijanske in hrvaške mreže.

Takoj po potresu smo skupaj s kolegi iz italijanskih seizmoloških inštitucij, s katerimi sodelujemo že vrsto let, postavili mrežo 12-tih prenosnih terenskih opazovalnic, ki so nam v prvih tednih po potresu zabeležile v povprečju najmanj 20 popotresnih sunkov na dan. Mreža 12-tih prenosnih terenskih opazovalnic je bila pridružena obstoječi mreži 24-tih slovenskih opazovalnic. Na Primorskem so opazovalnice v Robiču pri Kobaridu, Čadrgu nad Tolminom, Vojskem nad Idrijo, na Javornikih, Knežjem dolu nad Ilirsko Bistrico. Za ta del je pomembna tudi opazovalnica v Goričicah pri Cerkniskem jezeru.

V prvih dneh po glavnem potresu je sledilo nekaj sto popotresnih sunkov, v začetku tudi do pet na minuto. Večinoma so bili šibki, pa vendar je nastalo tudi nekaj popotresov, ki so presegli magnitudo 3. Najmočnejši je bil 14. julija 2004 ob 6. uri 37 minut z magnitudo 3,6. Že tako prestrašene prebivalce so še dodatno vznemirjali in povzročali strah pred novim hujšim potresom.

Potres so najbolj občutili prebivalci na Bovškem, kjer je povzročil tudi gmotno škodo. Čutili so ga po vsej državi, pa tudi v severni Italiji, Avstriji (tudi na Dunaju), na Hrvaškem pa na območju Istre, Gorskega Kotarja, območja Karlovca in Zagreba, v hrvaškem Zagorju in Medžimurju.



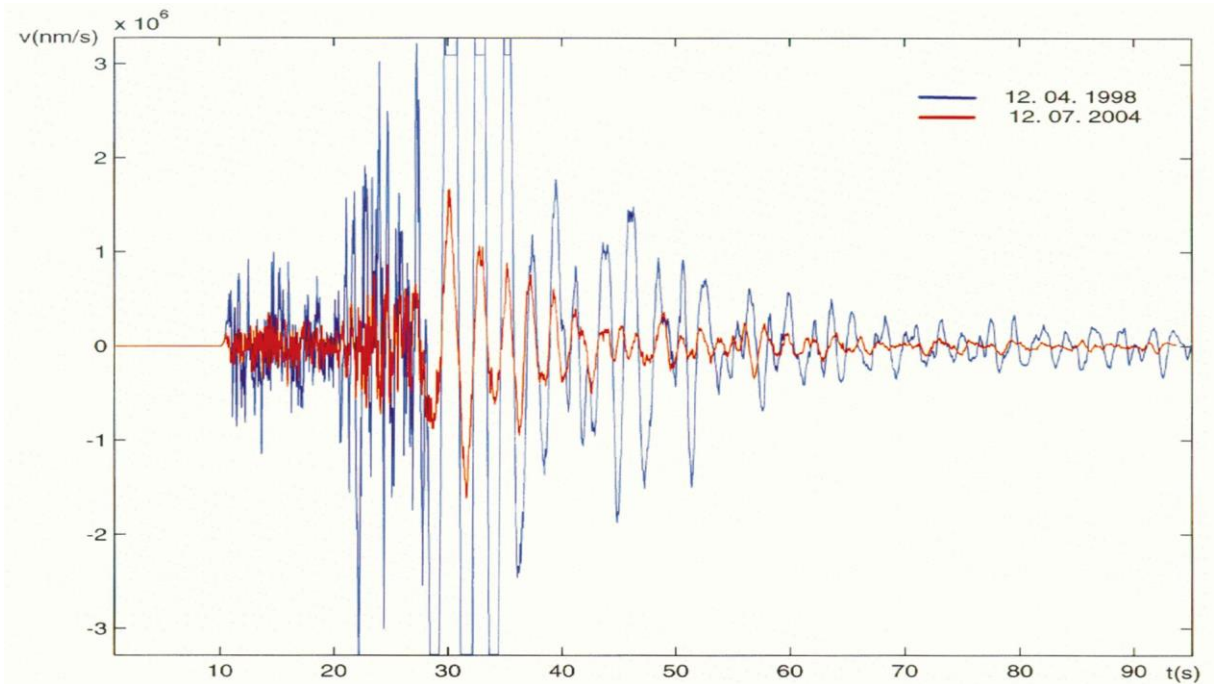
Slika 3. Zapisi glavnega potresa 12. julija 2004 na delujočih opazovalnicah državne mreže potresnih opazovalnic (ROBS-Robič pri Kobaridu, LJU-Golovec v Ljubljani, CEY-Goričice ob Cerkniškem jezeru, KNDS-Knežji dol nad Ilirsko Bistrico, PDKS-Podkum, VISS-Višnje, PERS-Pernice, LEGS-Legarje, DOBS-Dobrina, GROS-Grobnik na Pohorju, CRES-Črešnjevce, BOJS-Bojanci v Beli krajini, GOLS-Goliše, KOGS-Kog). Rdeča črta kaže prihod primarnih valov, zelena pa sekundarnih, avtomatski izračun nadžarišča pa je na sliki desno zgoraj.

Figure 3. Seismograms of the main earthquake of 12 July 2004 at the operating monitoring stations of the national seismic network (ROBS-Robič by Kobarid, LJU-Golovec in Ljubljani, CEY-Goričice by Cerkniškem jezeru, KNDS-Knežji dol above Ilirska Bistrica, PDKS-Podkum, VISS-Višnje, PERS-Pernice, LEGS-Legarje, DOBS-Dobrina, GROS-Grobnik on Pohorje, CRES-Črešnjevce, BOJS-Bojanci in Bela krajina, GOLS-Goliše, KOGS-Kog). The red line shows the arrival of the primary waves, and the green the secondary ones, and the automatic calculation of the epicentre is shown upper right on the picture.

Osnovni podatki kažejo, da se je aktiviralo isto potresno območje kot pred leti, zato je lahko zadnji potres tudi zapoznili popotresni sunek v isti žariščni coni potresa leta 1998, kljub časovni oddaljenosti šestih let. Še en dokaz, da moramo biti na potrese stalno pripravljeni (Vidrih, 2004b). Redko se zgodi, da bi na istem geografskem območju, ki ni v potresno najdejavnejših predelih sveta, s katerimi se potresna dejavnost v Sloveniji ne more primerjati, v slabih tridesetih letih nastalo več potresnih sunkov, ki so povzročili večjo gmotno škodo. Spomniti se moramo na katastrofalne učinke potresov leta 1976 z žarišči v Furlaniji in obsežnimi posledicami tudi v zahodni Sloveniji. Takrat je bilo pri nas uničenih ali poškodovanih skoraj 12000 objektov, leta 1998 je bilo poškodovanih blizu 4000 objektov, od tega jih je skoraj 1500 potrebovalo temeljito prenovo. Tudi zadnji potres je bolj ali manj poškodoval več sto objektov, od katerih jih je bilo treba nekaj porušiti.

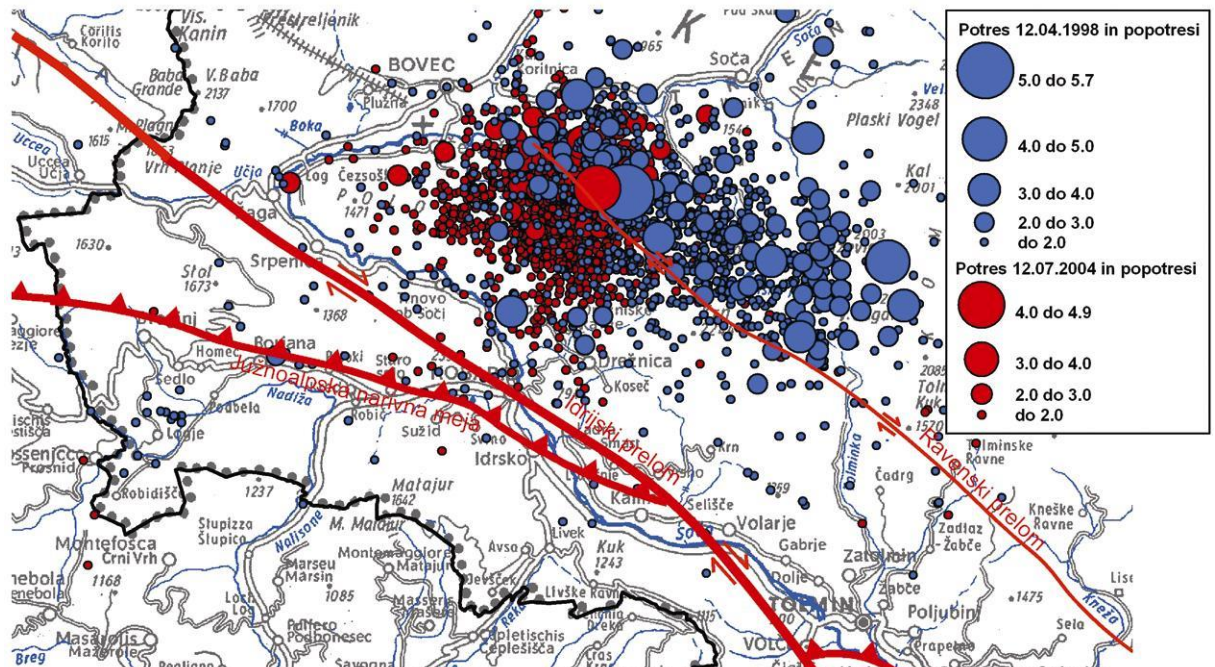
Primerjava sproščene energije

Magnituda potresa leta 2004 je bila 4,9, potresa leta 1998 pa 5,6. Razmerje sproščene energije ob obeh potresih nam kaže, da je bil potres leta 1998 približno 10 - krat močnejši od potresa 12. julija 2004.



Slika 4. Primerjava zapisov potresov vertikalnih komponent (opazovalnica LJU) 12. aprila 1998 (modri seizmogram) in 12. julija 2004 (rdeči seizmogram) nam nazorno kaže, da je bil zadnji potres po sproščeni energiji bistveno šibkejši.

Figure 4. Comparison of vertical components (from LJU seismic station) of the earthquake of 12 April 1998 (blue trace) and 12 July 2004 (red trace) clearly show that the last earthquake was essentially in terms of released energy.



Slika 5. Nadžarišče glavnega potresa in popotresnih sunkov 12. aprila 1998 (modri krogci) in zadnjega potresa 12. julija 2004 (rdeči krogci). Velikost krogcev opredeljuje magnitudo.

Figure 5. Epicentres of the main earthquakes and aftershocks of 12 April 1998 (blue circles) and last earthquake of 12 July 2004 (red circles). The size of the circle indicates the magnitude.

Primer potresov v zg. Posočju leta 1998 in leta 2004:

$$M_1 = 5,6;$$

$$M_2 = 4,9;$$

$$E_{M1} / E_{M2} = 10^{1,44(5,6 - 4,9)} \cup 10$$

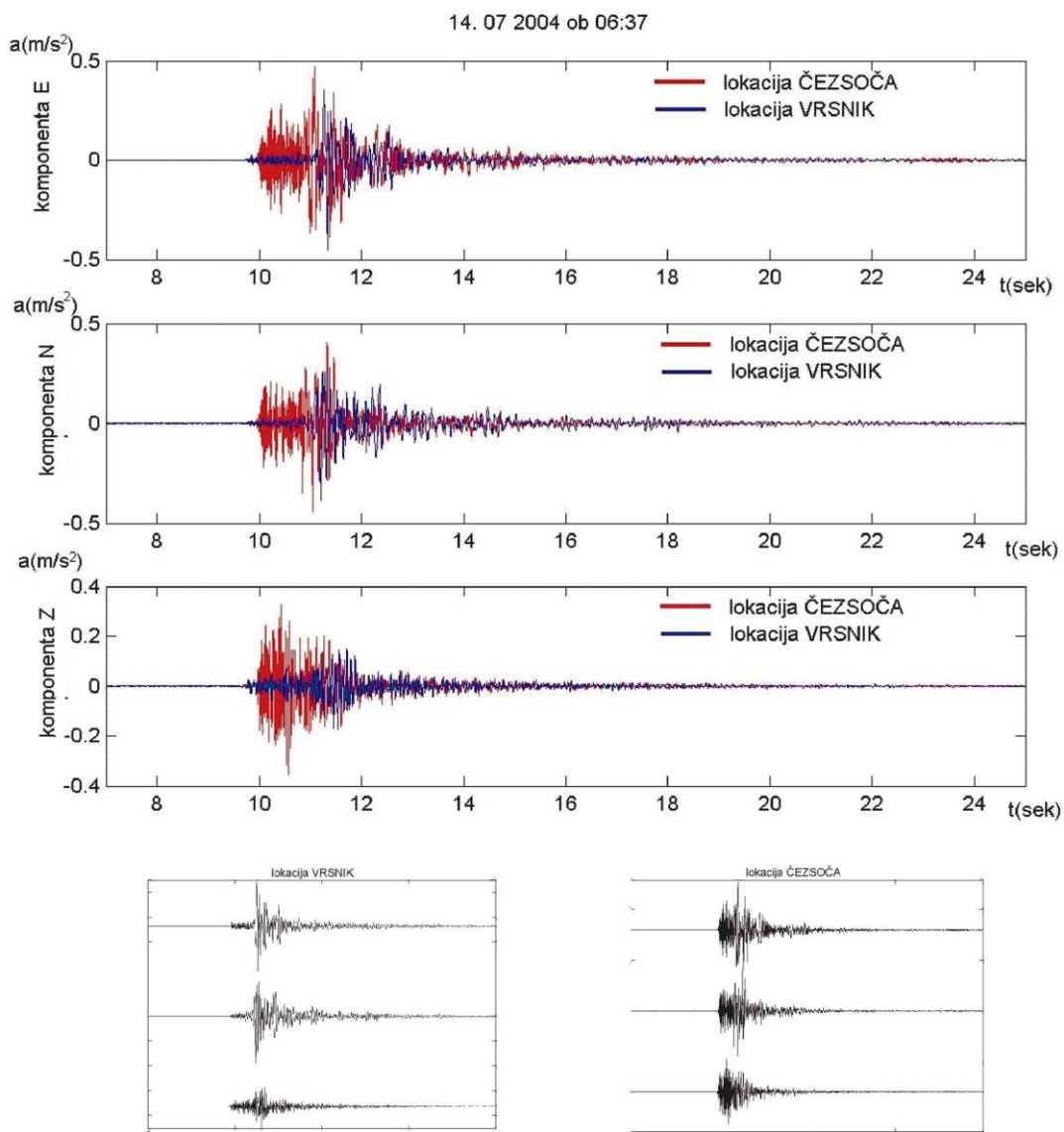
Popotresni sunki nastajajo vzdolž ravskega preloma v smeri severozahod – jugovzhod. Na sliki sicer vidimo, da so nadžarišča popotresnih sunkov zadnjega potresa bolj zahodno, vendar je razlog za to »napako« izračun z nepopravljenim hitrostnim modelom. (Podatki pridobljeni iz začasnih opazovalnic »potegnejo« izračun bolj proti zahodu.) Tako vse kaže, da gre dejansko za isto prelomno strukturo kot leta 1998. Tudi opazovanja poškodb objektov in pregled poškodb v naravi kažejo, da gre za največje poškodbe v dinarski smeri (severozahod – jugovzhod).

Seizmogeološke značilnosti potresnega območja

Na splošno je prirastek seizmičnosti, in s tem povečan učinek na zgradbe, odvisen od vrste tal (njihovih lastnosti). V splošnem ne more spremeniti osnovne stopnje po EMS za več kot 1 do 2 stopnji. Najprej pogledjmo lestvico o vplivih potresa na tla. Primerjava, kakšen je vpliv vrste kamnine na prirastek seizmičnosti, je narejena glede na granit, kot seizmično najmanj občutljivo kamnino:

Kamnina	Prirastek stopnje EMS
Granit	0
Apnenci in peščenjaki	0 – 1
Laporji (polhribine)	1
Prodi, grušči	1 – 2
Peski	1 – 2
Glinasta tla	1 – 2
Nanosi rahlih zemljin	2 – 3

V zgornjem Posočju tako trdnih kamnin, kot je granit nimamo in tudi nanosi zelo rahlih zemljin, takih kot so npr. na Ljubljanskem barju, ni. Za seizmično srednja tla lahko vzamemo na ravnini odložene soške prode in pobočne ledeniške grušče, na katerih je tudi zgrajena večina objektov. Seizmični prirastki ali pojemki v teh tleh so lahko do okoli 1 stopnje po EMS. Na apnencih, ki gradijo celotno obrobje Bovške kotline in Julijske Alpe, so razmere glede na prirastek seizmičnosti najugodnejše, saj so objekti, ki so temeljeni v kompakten apnenec doživeli učinek za najmanj stopnjo manj od povprečne. Teh objektov pa je na Bovškem le malo, saj so v gorovju postavljene le planšarije, lovske kočje, karavle in planinske kočje. Nasprotno je bil prirastek seizmične stopnje za objekte, ki so na rahlejših glinastih tleh ali na glinastih gruščih za okoli eno stopnjo nad povprečjem. Takih tal pa je na obravnavanem območju več in jih bomo kasneje podrobneje opisali (Ribičič in Vidrih, 2004a).



Slika 6. Primerjava zapisov najmočnejšega popotresnega sunka, 14. julija 2004: zapis v Čezsoči (rdeče) in zapis istega potresa v Vrsniku (modro). Zapis na prenosni terenski opazovalnici Vrsnik kaže povsem »klasičen« zapis potresa. Zapis v Čezsoči pa kaže na združevanje (interferenco) potresnih valov, ki so v Čezsoči povzročili povečane lokalne učinke.

Figure 6. Comparison of seismograms of the strongest earth tremor, 14 July 2004: seismogram in Čezsoča (red) and seismogram of the same tremor in Vrsnik (blue). The seismogram at the portable field observatory Vrsnik shows a completely »classical« earthquake seismogram. The seismogram in Čezsoča, though, shows combining (interference) of the seismic waves, which caused increased local effects in Čezsoča.

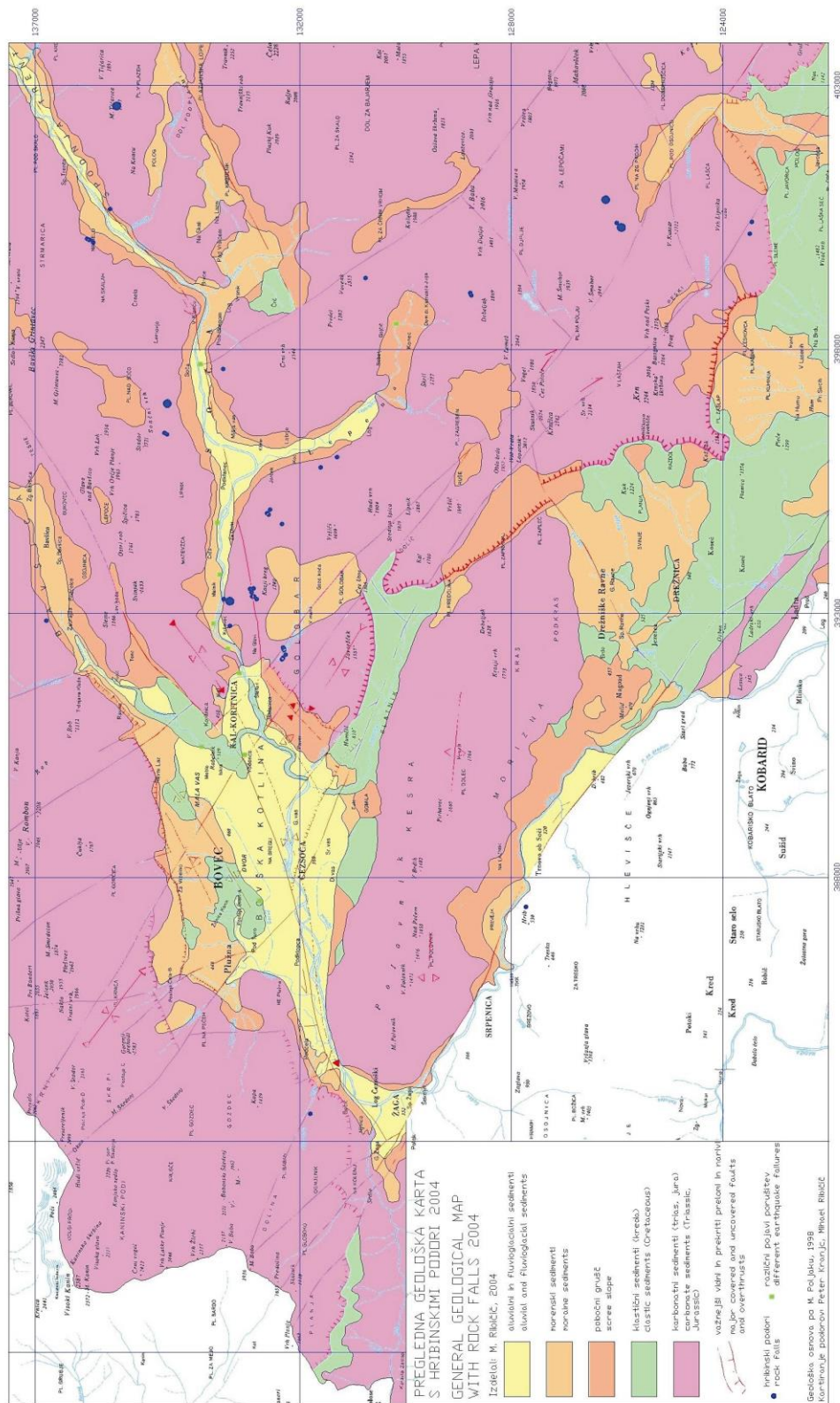
Kadar je podtalnica na površini, je lahko prirastek še za eno stopnjo EMS višji. Za največji del Bovškega velja, da je podtalnica globlje pod površino in zato tega vpliva ob obeh zadnjih potresih ni bilo zaznati.

K prirastku ali zmanjšanju potresne stopnje vplivajo tudi drugi lokalni geološki in morfološki dejavniki:

Negativen vpliv (prirastek seizmične stopnje)	Pozitiven vpliv (zmanjšanje seizmične stopnje)
Močno razčlenjen teren: strma pobočja, globoke grape ipd.	Horizontalen teren.
Tla nanosov sestavljena iz različnih plasti, ki poševno prehajajo med seboj.	Horizontalno pravilno odložene plasti, ali plasti seizmično podobnih zemljin.
Preperinski pokrov, ki po svojih seizmičnih lastnostih močno odstopa od kompaktne podlage.	Debeli preperinski pokrov dobrih geotehničnih lastnosti.
Debel preperinski pokrov slabih geotehničnih lastnosti.	Tanek preperinski pokrov dobrih geotehničnih lastnosti ali kamnina brez preperinskega pokrova.
Območja, ki so na meji stabilnosti (plazovi, labilna preperina, usadi, stropi kraških jam, previsi, skalne stene, robovi teras).	Tereni zgrajeni iz kompaktnih stabilnih hribin, ki ne plazijo.
Cone v bližini litoloških mej kamnin z različnimi seizmičnimi lastnostmi.	Veliki kompleksi zgrajeni iz iste kamnine.
Bližina prelomov, prelomnih con, močno razpokane kamnine.	Območja brez tektonskih linij in con.

Bovška kotlina ima edinstveno geološko zgradbo. Kamnine, ki so v podlagi v dnu kotline, pripadajo mehkejšim krednim flišem – peščenjakom, konglomeratom in laporjem, medtem ko celotno gorato obrobje gradijo jurski in triasni apnenci. Toda te kamnine v podlagi so v pobočjih zaradi burnih dogodkov, ki so večinoma posledica ledenih dob in intenzivnega fizikalnega preperevanja, prekrte z ledeniški nanosi – morenami, ter pobočnimi gruščami in melišči. Ti materiali so med seboj marsikje premešani. V centru Bovške kotline, kjer je teren raven, so odloženi debeli prodni nanosi Soče in njenih pritokov. Tudi med temi nanosi je ugotovljen vpliv ledeniškega delovanja, saj se je odlagala ledeniška jezerska kreda v debelih plasteh.

Če pogledamo podrobneje, na celotnem širšem območju mesta Bovec temeljna tla zgornjih plasti sestavljajo morenski ledeniški sedimenti, ki so iz gruščnatih nanosov. Vlečejo se od Male vasi, preko centra Bovca in preko Brda do bencinske črpalke. Gruščnate morenske sedimente prekriva plast bolj ali manj debele glinaste ali gruščnato-glinaste preperine, ki je nastala pri spiranju drobnih frakcij v najmlajši kvartarni dobi. Le skrajni jugovzhodni del Male vasi zajamejo rečni prodni nanosi Soče, ki drugače zapolnjujejo celotno dolino Soče. Meja med morenskimi in rečnimi nanosi poteka južno od naštetih naselij in približno spremlja potok Gereš. Torej se celotno sklenjeno poseljeno območje Bovca od Male vasi pa do bencinske črpalke nahaja na isti geološki enoti – morenskih ledeniških in pobočnih nanosih. V odvisnosti od moči spiranja ledeniških in drugih pobočnih vod ter nagibov pobočij, so se odlagali na območju sklenjene poselitve manj ali bolj grobi ledeniški in pobočni nanosi. Kjer je nagib pobočja strmejši so se odlagale bolj grobe frakcije, in kjer je položnejši, bolj fine. Tako površinske plasti, v katerih temeljijo objekti območja Male vasi, ki je že v vznožju pobočij, sestavljajo nanosi glin, na prehodu v ravnino pa tudi jezerska kreda. Taka sestava tal je bila vzrok večjih seizmičnih učinkov na območju Male vasi ob velikonočnem potresu 1998. Proti centru Bovca se v pobočnih nanosih vsebnost glinaste komponente zmanjšuje in temeljna tla sestavljajo peščeni gruščni, z apnenčastimi malo zaobljenimi prodniki.



Slika 7. Pregledna karta seizmične mikrorajonizacije dela zg. Posočja z vrisanimi poškodbami narave. Karta temelji na geološki osnovi (avtor: M. Poljak) in predstavlja osnovo za detaljna raziskovanja posameznih mikrolokacij.

Figure 7. Revised geological map of seismic microzonation of the part of upper Soča territory with damages in nature drawn. The map is based upon geological groundwork (author: M. Poljak) and represent the basis for detailed research works on individual microlocations.

Izkopi in vrtina v centru Bovca pa so pokazali, da poleg naravnih nanosov temeljna tla na območju centra sestavljajo tudi umetni nasipi starih porušenih zgradb. Umetni zasipi, za katere smo ugotovili največjo debelino 4 m, sestavljajo različno veliki kosi apnenecv in peščenjakov v grobem pesku. Lokalno se seizmične in temeljne razmere poslabšajo, ker so umetni zasipi večinoma odloženi zelo rahlo. Učinki obeh potresov na posamezne stavbe so bili ravno zaradi večje debeline pobočnih nanosov, predvsem pa umetnih nasipov močno povečani. Proti območju Kota morenski nanosi zopet postajajo bolj glinasti, vendar ni več debelejših umetnih nanosov. Prevladujejo glinasti gruščni in gline s kosi apnenca, laporjev in peščenjakov. Učinki potresa so zaradi glinaste komponente v pobočnih gruščih ojačani. Območje Brda in Dvora gradijo tako glinasti kot gruščnati pobočni nanosi. Menjavanje različnih plasti, ki imajo tudi različne seizmične lastnosti, so lokalno povzročili precej povečane seizmične učinke. Prodni zasip Soče, ki gradi ravninski svet, se odlikuje po enakomerni sestavi in veliki debelini nanosa, kar je bilo z vidika seizmičnih učinkov ugodno (Ribičič in Vidrih, 1999a, 1999b).

Kljub temu, da je bila moč zadnjega potresa 12. julija 2004 bistveno manjša od potresa leta 2004, so bili učinki ponekod v Čezsoči, pa tudi v nekaterih predelih Bovca (Brdo) povečani. Na končno oceno intenzitete posamezni zelo lokalni učinki ne vplivajo, saj gre za statistiko poškodb na večjem območju. Učinki v Čezsoči so dosegli intenziteto med VI. in VII. po EMS-lestvici. Na posameznih območjih so bili učinki preseženi za celo stopnjo. Zapisi seizmogramov začasnih terenskih opazovalnic, ki smo jih takoj po potresu postavili na epicentralnem območju omogočajo primerjavo zapisov. Na sliki 6 je prikazana primerjava zapisov z opazovalnic Vrsnik in Čezsoča najmočnejšega popotresnega sunka 14. julija 2004 ob 6. uri 37 minut z magnitudo 3,7 (Vidrih, Tasič, 2004). Na lokaciji Vrsnik gre za enostaven, lahko rečemo »standardni« zapis, ko šibkemu primarnemu (longitudinalnemu) valu sledi močnejši sekundarni (transverzalni) val. Če pogledamo zapis na seizmografu, ki je bil postavljen v Čezsoči vidimo, da je vstopni primarni val bistveno močnejši. Vzrok očitne ojačitve še ni popolnoma razjasnjen. Eden izmed vplivnih dejavnikov je lahko ojačanje potresnih valov vzdolž močnega preloma. Epicenter potresa 2004 je bil nekoliko bolj proti severozahodu, kot epicenter leta 1998 in verjetno so se ob tem aktivirale tudi nekatere druge lokalne prelomne strukture. Na digitalnem modelu reliefa zgornjega Posočja vidimo, da čez območje Čezsoče in Brda poteka zelo izrazit prelom, ki je bil po vsej verjetnosti nosilec širjenja seizmičnega valovanja vzdolž njega (Ribičič in Vidrih, 2004).

Prirastek seizmične stopnje je bil zaradi tektonike in neugodne sestave tal na območju Čezsoče in Brda še povečan.

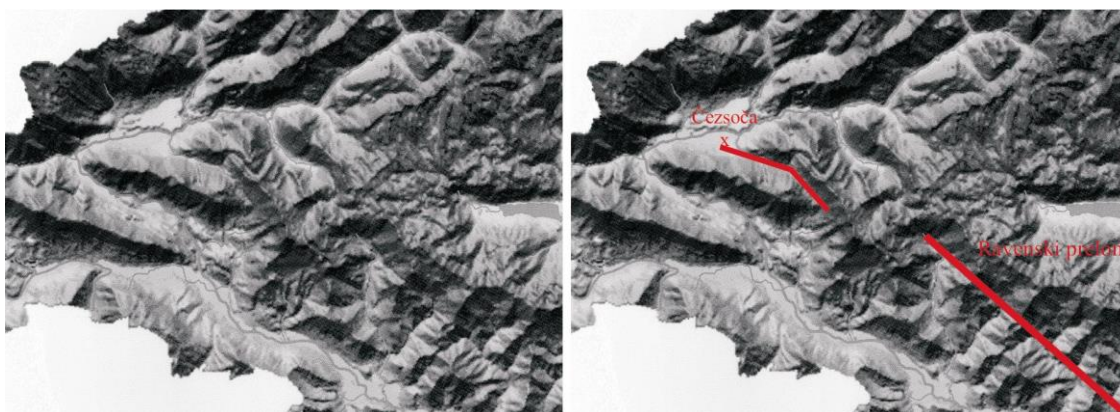
Na območju Čezsoče lahko detajlno sestavo tal podamo na osnovi dveh izvrtanih vrtin leta 1998 (Ribičič, Vidrih, 2004). Prva je bila izvrtana ob mostu na desni strani Soče in ima naslednjo sestavo:

- 0,0. – 0,2 m humus
- 0,2 – 2,7 m debel peščen prod z malo peska
- 2,7 – 5,4 m droben peščen prod s prodniki okoli 3 cm

- 5,4 - 6,5 m droben peščen prod s primesmi glinaste in meljne frakcije
- 6,5 - 6,7 m peščen melj s prodniki
- 6,7 - 9,0 m peščen prod do pesek
- 9,0 - 16,1 m droben peščen prod z malo glinaste primesi
- 16,1 - 20,0 m pesek s prodniki

Druga je bila izvedena na območju žičnice in ima sestavo tal:

- 0,0 - 0,2 m humus
- 0,2 - 1,8 m rjava pusta do mastna glina srednjegnetna
- 1,8 - 2,1 m rjav glinast grušč
- 2,1 - 9,1 m dobro sprijeta apnenčasta breča
- 9,1 - 10,6 m samici apnenca in peščenjaka
- 10,6- 14,0 m fliš - siv lapor



Slika 8. Reliefna karta zgornjega Posočja DMR (levo) in potek lepo vidnega ravenskega preloma, ki poteka tudi čez vas Čezsoča (desno), ob katerem sta nastala potresa 12. aprila 1998 in 12. julija 2004.
Figure 8. Relief map of upper Soča territory DMR (left) and the course of Ravensko fault can be seen running over Čezsoča village, along which earthquakes in 1998 and 2004 occurred.

Manjka nam podatki, kakšna je sestava tal v središču Čezsoče, vendar se iz popisa obeh vrtin vidi, da je zgradba tal na širšem območju Čezsoče zelo kompleksna. V večji globini, na osnovi podatkov obsežnih raziskav iz leta 1954 (Kuščer in sod., 1974), lahko nastopa tudi jezerska kreda, ki se na obrobju Čezsoče izklinja. Skupni vpliv širjenja seizmičnih valov vzdolž močnega preloma in nato dodaten prirastek seizmične stopnje zaradi odbijanja (interference) seizmičnih valov od plasti različne sestave pod naseljem Čezsoče sta lahko vzrok za velike poškodbe objektov v nasprotju s potresom leta 1998, ko je bilo tega dodatnega povečanja potresnih učinkov manj.

Učinki potresa na naravo

Proučevanje učinkov potresov v naravi je pokazalo, da so najpogostejši pojavi, ki se ob potresu zgodijo, porušitve naravnega ravnotežja. V preglednici so podani učinki na naravo, ki so značilni za alpski svet in so bili podrobneje analizirani ob velikonočnem potresu aprila 1998:

pojavi porušitev naravnega ravnotežja v hribinah	intenzitete potresa (EMS)			
	VI	VII	VIII	IX
padanje posameznih kamnov	●			
odpiranje kratkih svežih razpok v hribini	●	○		
padanje posameznih skal	●	○		
manjši hribinski podori	○	●		
zdrsi gruščča	○	●		
krušitev kamnov v večji količini		●		
manjši hribinski planarni in klinasti zdrsi		●		
premikanje skal na položnem ali ravnem terenu		○	●	
veliki hribinski podori		○	●	
odpiranje dolgih svežih razpok		○	●	
padanje skal v večji količini			●	
razklanje skal in prevrnitve			●	○
veliki hribinski planarni zdrsi			●	○
veliki hribinski klinasti zdrsi			●	○
hribinski podori regionalnih dimenzij			○	●
planarni zdrsi regionalnih dimenzij				●
veliki klinasti zdrsi regionalnih dimenzij				●
legenda:				
● območje največje uporabnosti za določitev intenzitete				
○ intenzitete tudi značilne za ta pojav				

Vpliv potresa na naravo je tem večji, čim močnejši je potres. Vpliv potresa se izraža v velikosti in pogostosti pojavov. Potres 12. julija 2004 je imel magnitudo $M_L = 4,9$ in ocenjeno intenziteto med VI. in VII. stopnjo EMS. Temu ustrezno so se v naravi pojavile plitve porušitve. Največ je bilo hribinskih podorov, nekaj pa tudi drugih značilnih pojavov, ki jih v naravi sproža potres. Ostali pojavi so bili odpiranje razpok in plazenje ob robu teras, padanje skal in širjenje obstoječih razpok.

Vplivi na naravo so podrobno opisani v lestvici INQUA (Michetti A.M. in drugi, 2003). Lestvica je splošna za cel svet, zato zajema tudi pojave, ki niso značilni za zgornje Posočje. V preglednici smo za intenziteto VI in VII EMS poudarili tiste učinke v naravi, ki so se zgodili ob potresu 12. julija 2004.

Iz opisa INQUA lestvice je razvidno, da potres 12. julija 2004 po tej lestvici generalno odgovarja opisom za VI. in VII. stopnjo EMS-lestvice, ima pa tudi zaradi pojavljanja v Alpskem svetu nekatere specifične posebnosti, ki v INQUA potresno lestvico niso zajeti. Ena izmed takih značilnosti je padanje skal in kamnov. V nadaljnjem besedilu podrobneje opisujemo vse značilne pojave zadnjega potresa v zgornjem Posočju.

VI Zmeren vpliv na naravo

Lahko se sprožijo hribinski podori in plazovi v volumnu do 103 m³, posebno na labilnih območjih, t.j. na območjih, kjer so sedimenti rahlo odloženi in zasičeni z vodo, ali v močno preperelih/razpokanih hribinah. Območje na katerih se pojavljajo je ponavadi manjše od 1 km².

VII Znaten vpliv na naravo

V rahlo odloženih aluvialnih sedimentih in/ali z vodo zasičenih zemljinah lahko nastanejo razpoke velikosti od 5 do 10 cm; redkeje v suhih peskih, peščenih glinah in v glinastih zemljinah nastanejo razpoke do 1 cm velikosti. Običajno nastajajo centimetrске razpoke na telesu (asfaltnih/makadamskih) cest.

Razpršeni plazovi se sprožajo na nagnjenih labilnih pobočjih (strme brežine rahlo odloženih/z vodo zasičenih zemljinah; hribinski podori v strmih soteskah in obalnih klifih), njihova velikost je lahko včasih pomembna (10 m³ – 105 m³); v suhih peskih, peščenih glinah in glinastih zemljinah je njihov volumen ponavadi večji od 100 m³. Razpoke, zdrsi in odlomi se lahko dogajajo ob rečnih bregovih, umetnih nasipih in izkopih (cestni vkopi, kamnolomi) v rahlih materialih ali prepereli/razpokani hribini. Vplivno območje potresa je ponavadi manjše od 10 km².

VIII Pomemben vpliv na naravo

V rahlo odloženih aluvialnih sedimentih in/ali z vodo zasičenih zemljinah lahko nastajajo od 25-50 cm odprte razpoke; v redkih primerih se pojavijo odprte razpoke do 1 cm v suhih tleh. Običajno se pojavijo decimeterske razpoke na telesu (asfaltnih/makadamskih) cest.

V vplivnem območju potresa lahko nastajajo majhni do srednje veliki (103 - 105 m³) plazovi; redko se sprožijo tudi na položnih brežinah, ki so v labilnem ravnotežju; porušitve strmih brežin iz rahlo odloženih zemljin, podori na brežinah grap in oblalnih klifih včasih z dimenzijami 105 - 106 m³. Plazovi včasih zaprejo doline in lahko povzročijo začasne zaježitve (poplavitve). Razpoke, zdrsi, in odlomi nastopajo na bregovih rek in umetnih nasipih in vkopih (cestni vkopi, kamnolomi) v nevezanih sedimentih ali v preperelih/razpokani hribini.

Ob potresu so nastali številni pojavi plitvih porušitev v naravi. Največ je bilo hribinskih podorov, nekaj pa tudi drugih značilnih pojavov, ki jih sproža potres v naravi. Ostali pojavi so bili odpiranje razpok in plazenje ob robu teras, padanje skal in širjenje obstoječih razpok.

Ob terenskem kartiranju vplivnega območja potresa smo registrirali 44 hribinskih podorov. Za vsak podor smo v bazo podatkov vnesli naslednje značilnosti:

- čas sprožitve
- naziv območja dogodka
- občina
- prostorska koordinata y
- prostorska koordinata x
- velikost podora
- vrsta podora
- debelina podora
- rastje na območju podora
- naklon terena
- številke digitalnih slik podora

Za oceno velikosti podora smo za majhne privzeli podore, ki so imeli prostornino od 100 m³ do nekaj 100 m³, za srednje od 1.000 m³ do nekaj 1.000 m³, velike od 10.000 m³ do nekaj 10.000 m³ in za zelo velike hribinske podore s prostornino preko 100.000 m³.

Kartiranje je pokazalo, da potres 12. julija 2004 ni povzročil nastanka velikih in zelo velikih hribinskih podorov.

Ob potresu je bilo kar 39 majhnih hribinskih porušitev in le 5 srednje velikih. To je dokaz, da je bila intenziteta potresa premajhna, da bi lahko globlje pod površino aktivirala zdrs bloka kamnine. Iz literature je znano, da je velikost podora sorazmerno z intenziteto potresa (INQUA scale). Intenziteta julijskega potresa, ki je bila določena med VI. in VII. stopnjo po EMS-lestvici povzroča le manjše hribinske podore in to se je pokazalo tudi v zg. Posočju (Vidrih, Ribičič & Suhadolc, 2001). Na geološki karti so lokacije ob potresu sproženih podorov prikazane s modro barvo, pri čemer so srednje veliki podori prikazani z večjim krogom. Drugi naravni pojavi sproženi s potresom so prikazani z zelenimi kvadrati (slika 7).

Predvideli smo naslednje možne vrste hribinskih podorov, glede na vrsto porušitve in obliko zalednih zdrsnih ploskev:

- nepravilen
- gruščnat
- planaren
- vertikalni
- klinast

Večina porušitev (28 podorov) je nastala ob več različnih sistemih razpok in plastovitosti v zaledju podora. Nekaj porušitev je nastalo z zdrsom površinskih gruščnatih plasti (7 podorov), ki so prekrivale skalno apnenčasto podlago, medtem ko so bili zdrsi ob vertikalni (3 podori) ali položneje (3 podori) nagnjeni ploskvi redki. Tudi klinasti zdrsi (2 podora) so bili redki.

Poleg hribinskih podorov so nastali še drugi tipični pojavi porušitve naravnega ravnotežja ob potresu. Zelo pogost pojav v svetu ob potresih je nastanek dolge razpoke ob robu terase. Ta pojav smo ugotovili na dveh lokacijah. Prva lokacija je v naselju Vodenca, kjer se nad reko Koritnico nahaja na robu strmega približno 50 m visokega pobočja stanovanjska hiša Vodenca 1. V podlagi terena se nahaja apneni konglomerat, ki je na območju pobočja preperel v peščen gruščnat prod. Na strmem robu terase, ki se spušča v Koritnico, je ob potresu nastal zgornji odlomni rob plaz, oziroma okoli 80 m dolga razpoka. Od razpoke navzdol se je teren v smeri strmega pobočja premaknil za več dm. Posledica tega je bil nagib hiše, ki je zaradi tega močno poškodovana.

Podoben pojav se je zgodil v naselju Soča na levem bregu reke Soče. Ob potresu je nastala vzporedno z zgornjim robom terase dolga razpoka, ki se vleče v dolžino preko 100 m. Razpoka manjših dimenzij se je odprla že ob velikonočnem potresu 1998. Ob potresu leta 2004 pa se je razpoka še dodatno odprla. Za okoli 5 cm, teren ob njej pa se je posedel za okoli 10 cm. Razpoka predstavlja zgornji odlomni rob plitvega plaz. Plazi strma brežina med

zgornjim robom terase in bregom Soče. Podoben pojav se je zgodil tudi na robu ceste, ki poteka tik ob strmem bregu v bližini Golobarske žičnice.

Pregledali smo tudi gruščnat plaz v dolini Lepene, ki je nastal ob potresu 1998. Zanimalo nas je ali se je plaz znova aktiviral ob julijskem potresu. To se je res zgodilo. Zgornji odlomni rob se je odprl za okoli 1 dm in se tudi za toliko posedel.

Naslednji značilni pojavi ob potresu so bili padanje, valjenje in odbijanje skal in kamnov po pobočjih navzdol, ki so se odkrušili iz labilnih skalnih brežin. To je bilo posebno intenzivno na območju ceste od vasi Kal-Koritnice do vstopa v dolino Lepene. Tudi edina smrtna žrtev, toda na območju Krna, je bila posledica padanja skal.

Medtem ko je bila razpoka po potresu 1998 pod objektom v Soči locirana na robu terase, se je ob potresu 12. julija 2004 razširila proti objektu in se dodatno odprla. Ob potresu je zaradi premika zemljine, ki je dajala podporo temeljem hiše prišlo do razbremenitve in celotna hiša se je rahlo nagnila proti Soči.

Ne smemo prezreti dejstva, da bi lahko močnejši potres ponovno aktiviral oba mirujoča plazova, v Logu pod Mangartom in Koseču nad Kobaridom.

Vizualni ogled plazu ni pokazal nobenih posebnosti, ki bi lahko bile posledica potresa. Merilci Gradbenega inštituta ZRMK, ki so bili na plazu ravno v času potresa so potrdili, da razen padanja kamnov v okoliških stenah ni bilo drugih vplivov potresa na tla.

Da potres ni mogel bistveno vplivati na ponovno sprožitev plazu Stovže je razumljivo, saj je dosedanje proučevanje mehanizma nastanka drobirskega toku Stovže pokazalo, da je nastalo kot posledica intenzivnih dolgotrajnih izrednih padavin. V času pred potresom ni bilo takih izrednih vremenskih razmer. Kljub temu bi lahko potres povzročil premike labilnih mas, ki se nahajajo nad območjem, od kjer so zdrsele mase drobirskega toka. Primerjali smo fotografije, ki so bile posnete lansko jesen in dan po potresu, da bi ugotovili, kakšne so bile spremembe na pobočju Stovže. Fotografije so pokazale, da na celotnem pobočju nastopa zelo intenzivna površinska erozija, medtem ko plazenja ni zaznati. Na osnovi vizualnega pregleda je možno ugotoviti, da potres ni poslabšal razmer na Stovžah in se ogroženost za Log pod Mangartom ni povečala.

Ogled plazu Strug nad Kosečem je dal podobne rezultate. Pokazal je, da se hribinski plaz ni aktiviral. V času ogleda, dan po potresu, iz območja hribinskega podora ni bilo zaznati nobenega izpadanja skal in kamenja, ki so najznačilnejši znak, da je hribinski plaz v ponovnem gibanju. Tudi za plaz Strug smo primerjali fotografije, ki so bile posnete pred in po zadnjem potresu.

Tudi na tem plazu so v dveh letih razlike nastale samo zaradi površinske erozije in izpadanja skal iz podora, medtem ko sam podor miruje. Tudi zemljinski plaz se ob potresu ni premaknil. Zaključimo lahko, da potres ni sprožil gibanja hribinskega plazu in se nevarnost za Koseč ni povečala. Inklinometerske meritve v zato narejenih vrtinah na obeh plazovih, ki

so sledile ogledu, so na obeh plazovih pokazale le minimalne premike milimeterskih velikosti.

Poškodbe objektov in narave so prikazane na slikah 9 do 31 (fotografije R. Vidrih).

Zaključek

Zgodovinski pregled potresov in sedanja potresna dejavnost kaže, da je zgornje Posočje seizmično zelo aktivno. Na tem območju se lahko pojavijo tudi mnogo močnejši potresi kot sta bila zadnja dva leta 1998 in 2004. Pri potresu IX. stopnje EMS ali celo močnejšemu bi bile posledice na zgradbah in v naravi mnogo hujše. Medtem ko je za poškodbe na zgradbah znano, kakšne bi bile posledice tako močnega potresa, pa je za pojave v naravi to težje napovedati. Vendar obstaja velika verjetnost, da bi nastali zelo veliki hribinski podori ali druge vrste porušitev naravnega ravnotežja, ki kot sekundarni pojavi potresa lahko prinesejo katastrofalne posledice. Beljaški potres 25. januarja 1348 jasno nakazuje, kako je lahko alpski prostor ranljiv za potrese in kako je podvržen zelo velikim pojavom v naravi.

Večina starejših prebivalcev se še spominja katastrofalnih potresov leta 1976, pa je prišlo novo opozorilo 12. aprila 1998. Miselnost, da enemu močnemu potresu ne bo sledil nobeden več, je zmotna. Majskemu potresnemu dogajanju leta 1976 je sledilo septembrsko, ki je pokazalo na vso neučinkovitost manjših, slabih popravil objektov. Po 22-tih letih je sledil nov močan potres, ki je znova opozoril na aktivnost območje.

Sredi poteka sanacije po potresu leta 1998, pa ponovno potres. Sicer šibkejši sunek je znova opozoril na stalno prisotnost potresne nevarnosti v zg. Posočju. Morda bo to dobra šola za prebivalce, predvsem graditelje objektov, da se je potrebno držati kart potresne nevarnosti in gradbenih predpisov, saj je to edina obramba pred potresi. Na potresni karti Slovenije lahko vidimo, da so v tem delu Slovenije možni potresi VIII. ali celo IX. stopnje po EMS lestvici.

Slika 9. Najpogostejše poškodbe so bili poškodovani ali odpadli dimniki, ki so jih zaradi nevarnosti nadaljnjih poškodb že takoj po potresu odstranjevali gasilci.

Figure 9. The most common damage was damaged or falling chimneys, which firefighters removed immediately after the earthquake because of the danger of further damage.



Slika 10. Ponekod so odpadli dimniki poškodovali strešno kritino. Na sliki je poškodovana cerkev pri kampu v Bovecu, kjer je odpadli zvon poškodoval strešno kritino.

Figure 10. In places falling chimneys damaged roof coverings. The picture shows the damaged church by the camp in Bovec, where a falling bell damaged the roof covering.





Slika 11. Diagonalne razpoke na pošti v Čezsoči.

Figure 11. Diagonal crack on the post office in Čezsoča.



Slika 12. Globoke razpoke v starejših slabo grajenih objektih (Čezsoča).

Figure 12. Deep cracks in older, badly constructed buildings (Čezsoča).



*Slika 13. Močno poškodovana hiša v Čezsoči.
Figure 13. Severely damaged house in Čezsoča.*



*Slika 14. V vasi Čezsoča je bilo poškodovanih veliko starejših objektov.
Figure 14. A large number of older buildings were damaged in the village of Čezsoča.*



*Slika 15. Močno poškodovana hiša v Čezsoči kaže na neprimerno dozidavo prizidka.
Figure 15. Severely damaged house in Čezsoča indicates inadequate construction of the annex.*



*Slika 16. Razdejano pokopališče v Bovecu; nekateri grobovi so se dobesedno odprli.
Figure 16. Devastated cemetery in Bovec; some graves simply opened.*



Slika 17. Razpoke na starejšem objektu v Čezsoči.
Figure 17. Cracks on an older building in Čezsoča.



Slika 18. Zaradi slabih seizmogeoloških razmer so bili učinki potresa v nekaterih predelih za celo stopnjo višji. Nekateri objekte v Čezsoči je bilo treba podreti.
Figure 18. Because of poor seismological conditions, the effects of the earthquake were one whole level higher. It was necessary to demolish some buildings in Čezsoča.



Slika 19. Zaradi lokalnih seizmogeoloških razmer so bile ponekod poškodbe nenavadne. Primer v Čezsoči kaže dve hiši, ki sta bili zgrajeni skupaj; leva je bila ob potresu uničena in so jo morali porušiti (zgoraj), desna pa je potres sorazmerno dobro prestala (spodaj).

Figure 19. Local seismological conditions caused unusual damage in some places. Two houses in Čezsoča that were built together are an example; the one on the left was destroyed by the earthquake and had to be demolished (above), while that on the right survived the earthquake relatively well (below).



Slika 20. Uničena hiša v Mali vasi v Bovecu (zgoraj) po potresu leta 1998 ni bila sanirana. Spodnji del hiše je bil zgrajen iz neobdelanega kamna v slabi apneni malti (spodaj).

Figure 20. Destroyed house in Mala vas in Bovec (above) was not renovated after the 1998 earthquake. The lower part of the house was constructed of unworked stone in weak limestone mortar (below).



Slika 21. Močno poškodovana kapelica v vasi Soča.
Figure 21. Severely damaged chapel in the village of Soča.



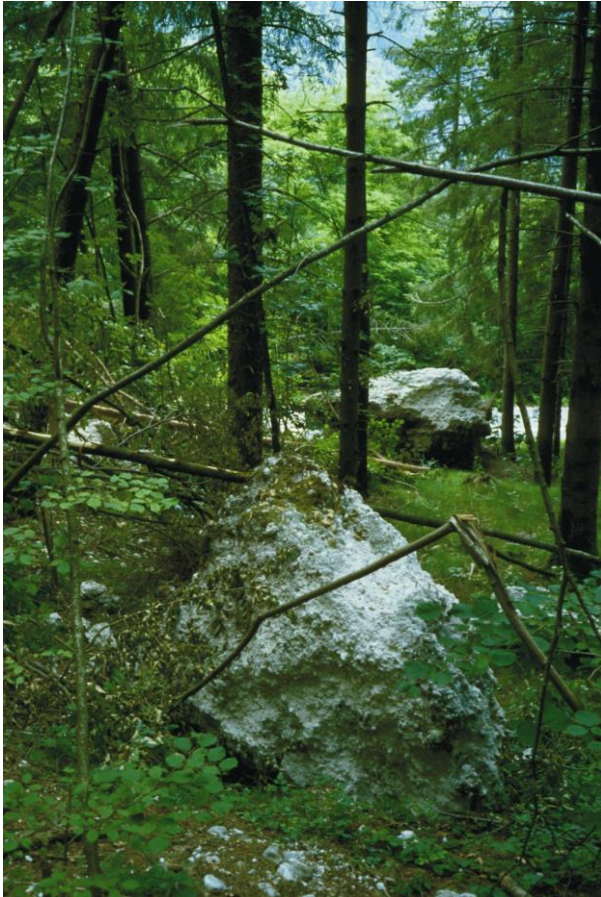
Slika 22. Močno poškodovan objekt v vasi Čezsoča.
Figure 22. Destroyed building in the village of Čezsoča.



*Slika 23. Posedek ob strmem bregu na robu ceste v bližini Golobarske žičnice.
Figure 23. Subsiding of the ground at the roadside near the Golobar cableway.*



*Slika 24. Podrta kamnita ograja ob žičnici pri kraju Kal Koritnice.
Figure 24. Demolished stone wall by the cableway at Kal Koritnice.*



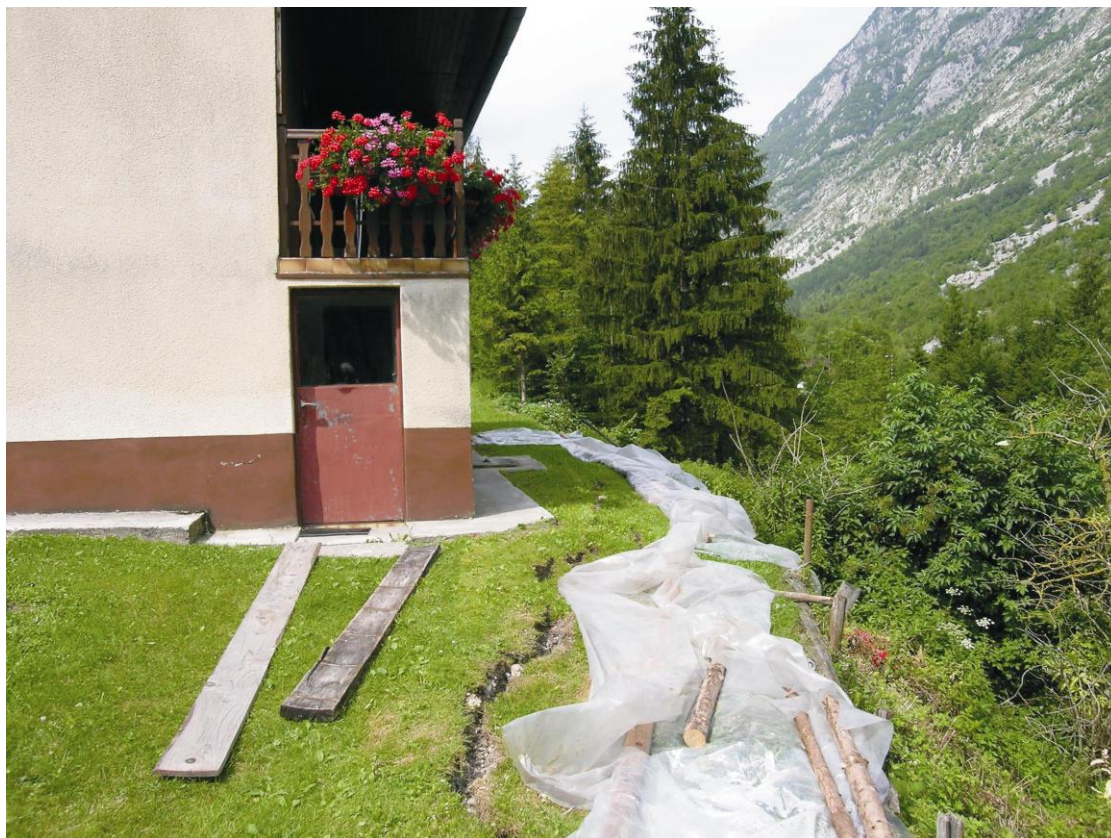
Slika 25. Na več mestih so se odtrgale skale in ogrožale cestišča. Primer na sliki je ob cesti Kobarid – Bovec, tik pred Bovcem.

Figure 25. Individual rock blocks that have fallen down the slope endangered roads. Example shown is by the road Kobarid – Bovec before Bovec.



Slika 26. Potres je sprožil številne manjše skalne podore, ki so ponekod celo zasuli cestišča.

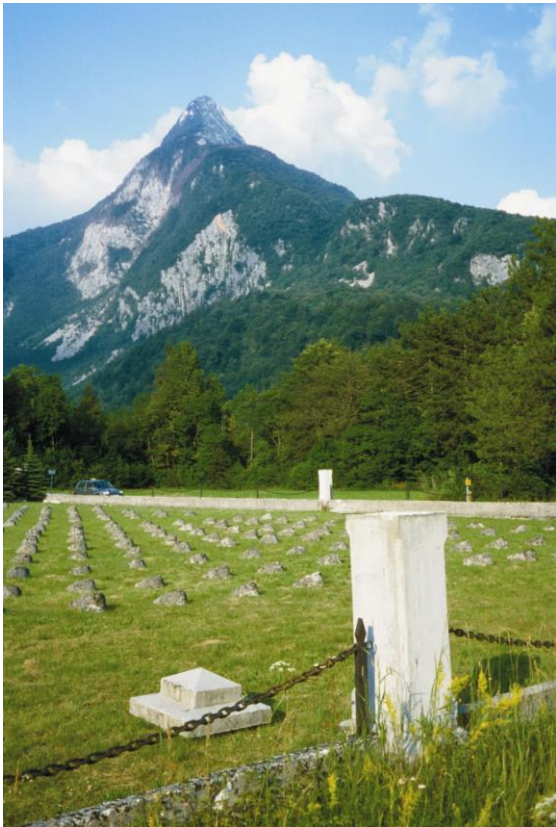
Figure 26. The earthquake triggered a number of minor rockfalls, which in places even buried the road.



*Slika 27. Nastanek dolge razpoke ob robu terase na levem bregu Soče v vasi Soča (Soča 98).
Figure 27. Formation of a long crack on the top of the slope on left bank of Soča river in Soča village.*



*Slika 28. Do podobnega pojava je prišlo v naselju Vodenca, na robu terase, ki se dviguje približno 50 m nad reko Koritnico.
Figure 28. Similar phenomenon occurred in settlement Vodenca, at the edge of terrace that rises about 50 m above Koritnica river.*



Slika 29. Na vojaškem pokopališču iz I. svetovne vojne na križišču cest proti Bovecu, Predelu in Vršiču je bila kamnita ograja v celoti poškodovana. Nihanje tal je povzročilo, da je odpadla vsaka druga plošča na stebru ograje.

Figure 29. In the military cemetery from the First World War at the junction of roads towards Bovec, Predel and Vršič, the stone surrounding wall was damaged in entirety. The oscillation of the ground caused every second plate on the wall to fall.



Slika 30. Največje poškodbe v naravi so bile v Krnskem pogorju, ki ga je močno poškodoval že potres leta 1998. Med najbolj poškodovanimi gorami je Lemež, ki se dviguje nad Krnskim jezerom.

Figure 30. The most damage in nature occurred in the Krn massif, which had already been severely damaged in the 1998 earthquake. Lemež, which rises above Krn lake, was one of the worst damaged mountains.



Slika 31. Podor ob cesti proti Soči ne levem bregu Soče (a) in detajl (b). Gre za tipičen planarni zdrs ob strmo nagnjeni tektonski ploskvi.

Figure 31. Rockfall at the road to Soča on the left bank of Soča river (above) and detail (below).

Literatura

- Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo, 2004. Preliminarni tedenski seizmološki bilten za 2004. Arhiv Urada za seizmologijo in geologijo, Ljubljana.
- Buser, S. 1986. Osnovna geološka karta 1:100 000. Tolmač listov Tolmin in Videm (Udine). Zvezni geološki zavod, 103 p., Beograd.
- Godec, M., Vidrih, R., Ribičič, M., 1999a. The engineering-geological structure of Posočje and damage to buildings. International Conference on Earthquake Hazard and Risk in the Mediterranean Region, 18.-22. October 1999, Nicosia, North Cyprus, EHRMR 99 Abstracts, 228.
- Godec, M., Vidrih, R., Ribičič, M., 1999b. A survey of damage caused by 1998 earthquake in the Soča valley (Slovenia). 12th World Conference on Earthquake engineering, 30. Jan.- 4. Feb. 2000, 447, Auckland.
- Hoek, E. 1997. Rock slope engineering. E & FN Spon, London.
- Kuščer, D. s sodelavci, 1974. Geološke raziskave soške doline med Bovcem in Kobaridom. Geologija, 425-467, Ljubljana.
- Michetti in sod. 2003. An innovative approach for assessing earthquake intensities: the proposed INQUA scale based on seismically-induced ground effects in the environment. XVI INQUA Congress, Reno.
- Ribarič, V., 1980. Potresi v Furlaniji in Posočju leta 1976, kratka seizmološka zgodovina in seizmičnost obrobja vzhodnih Alp. Potresni zbornik, 17-80, Tolmin.
- Ribarič, V. 1987. Seizmološka karta za povratno periodo 500 let. - Zajednica za seizmologiju SFRJ, Beograd.
- Ribarič, V., 1982. Seizmičnost Slovenije. Katalog potresov (792 n. e.-1981 n. e.). Seizmološki zavod SR Slovenije, 649 str., Ljubljana.
- Ribičič, M., 1998. Analiza učinkov potresa v Posočju dne 12.04.1998. (poročilo Gradbeni inštitut ZRMK izdelano po naročilu Ministrstva za okolje in prostor), 5 map, Ljubljana.
- Ribičič, M., Vidrih, R., 1998a. Geološka, seizmološka in gradbena analiza posledic potresa v Posočju. Lep dokaz, da sestava tal lahko zelo ojači ali omili seizmične valove. DELO – priloga Znanost, 14. oktobra 1998, Ljubljana.
- Ribičič, M., Vidrih, R., 1998b. Plazovi in podori kot posledica potresov. Ujma 12, 95-106, Ljubljana.
- Ribičič, M., Vidrih, R., 1999a. "Earthquake on 12 April, 1998 in Posočje-Damage to Nature". International Conference on Earthquake Hazard and Risk in the Mediterranean Region, Nicosia, North Cyprus, 18-22 October, Near East University, pp.227.
- Ribičič, M., Vidrih, R., 1999b. Potresi in pojavi nestabilnosti (podori in plazovi) (potres v Posočju 12. aprila 1998). III. slovensko posvetovanje o zemeljskih plazovih, Rogla.
- Ribičič, M., Vidrih, R., 2004. Geološke primerjave potresov. Sproščene energije manj, posledice hujše.... DELO-priloga Znanost, 29. julija 2004.
- Vidrih, R. & Ribičič, M. 1994. Vpliv potresov na nastanek plazov v Sloveniji. Prvo slovensko posvetovanje o zemeljskih plazovih, Idrija 17.-18.11.1994, Zbornik, 33-46, Idrija.
- Vidrih, R. 1998. Potres v Posočju seizmologov ni presenetil. Vsi kraji, kjer je nastalo največ poškodb so zgrajeni na slabi podlagi na nanosih rek in potokov in na pobočnih gruščih. DELO-priloga Znanost 20. maj, 9, Ljubljana.

- Vidrih, R. & Ribičič, M., 1998. Geološke posebnosti potresa 12. aprila v Posočju. Potres je povzročil ne le veliko škodo na hišah, pospešil je tudi geološko dogajanje. DELO-priloga Znanost 10. junij, 12, Ljubljana.
- Vidrih, R. , Ribičič, M., Lapajne J., 1999. "Earthquake on 12.april, 1998 in Posočje (Slovenia) - Phenomena Occuring in Nature During the Earthquake in the Alpine Region", International Conference on Mountain Natural Hazards, Grenoble, France.
- Vidrih, R., Ribičič, M., 1999. "Slope Failure Effects in Rocks during the April 12, 1998 Posočje Earthquake and Implications for the European Macroseismic Scale (EMS-98)", Geologija, Vol. 41, 365-410. Ljubljana, Slovenia.
- Vidrih, R., Ribičič, M., Suhadolc; P., 2001. Seismogeological effects on rocks during the 12 April 1998 upper Soča Territory earthquake (NW Slovenia). Tectonophysics 330 (3-4), 153-175, Amsterdam.
- Vidrih, R., 2004a. Potres 12. julija 2004 v zgornjem Posočju. Mesečni bilten Agencije RS za okolje, XI, 7, 58-65, Ljubljana.
- Vidrih, R., 2004b. Potres 12. julija 2004 v zgornjem Posočju. Življenje in tehnika LV, september 2004, 20-32, Tehniška založba Slovenije, Ljubljana.
- Vidrih; R., Tasič, I., 2004. Značilnosti potresa v zgornjem Posočju 12. julija 2004. Največ škode so povzročili lokalni učinki. DELO-priloga Znanost 22. julija 2004.

SEIZMOTEKTONSKE ZNAČILNOSTI POTRESA LETA 2004 V KRNSKEM POGORJU

SEISMOTECTONIC CHARACTERISTICS OF THE 2004 KRN MOUNTAIN-RIDGE EARTHQUAKE

Vanja Kastelic, Mladen Živčić, Jurij Pahor, Andrej Gosar

Izvleček. Potres leta 2004 se je zgodil na območju Zgornjega Posočja v bližini epicentralnega območja potresa leta 1998. Popotresni dogodki so v večini razporejeni v smeri proti NW do WWN od niza popotresnih sunkov potresa 1998, vendar za razliko od tega ne kažejo tako prostorske enotne porazdelitve. Večina popotresov se nahaja NW od lokacije glavnega potresa, celoten popotresni niz pa kaže na porazdelitev v dveh smereh. Skupina popotresov s prevladujočim žariščnim mehanizmom ki nakazuje zmične deformacije se nadaljuje v NW – SE smeri, druga skupina popotresov med katerimi po analizi žariščnih mehanizmov prevladuje nariven, oziroma reverzen tip deformacije pa kaže WWN – EES do W – E usmeritev. Taka prostorska in časovna porazdelitev nakazuje na sočasno aktivnost tako NW – SE in WWN – SSE do W – E usmerjenih prelomov.

Abstract. The 2004 earthquake sequence affected the area of Zgornje Posočje in the Upper Soča Valley, NW Slovenia and the main shock occurred close to the 1998 earthquake cluster area. The aftershocks of the 2004 earthquake are mostly distributed in the direction NW to WWN from those of the 1998 earthquake and do not display such an uniform spatial distribution. The majority of the aftershocks occurred in the area NW of the main shock and the whole earthquake cluster shows a less uniform distribution. A group of aftershocks which demonstrate a prevailed strike-slip type of deformation from their focal mechanisms continues in a NW – SE direction, while the aftershocks oriented in a WWN – EES to W – E direction show more of a thrust and reverse sense of deformation. Such temporal and spatial distribution of the aftershocks depicts a contemporary seismic activity on both NW – SE and WWN – EES to W – E oriented faults.

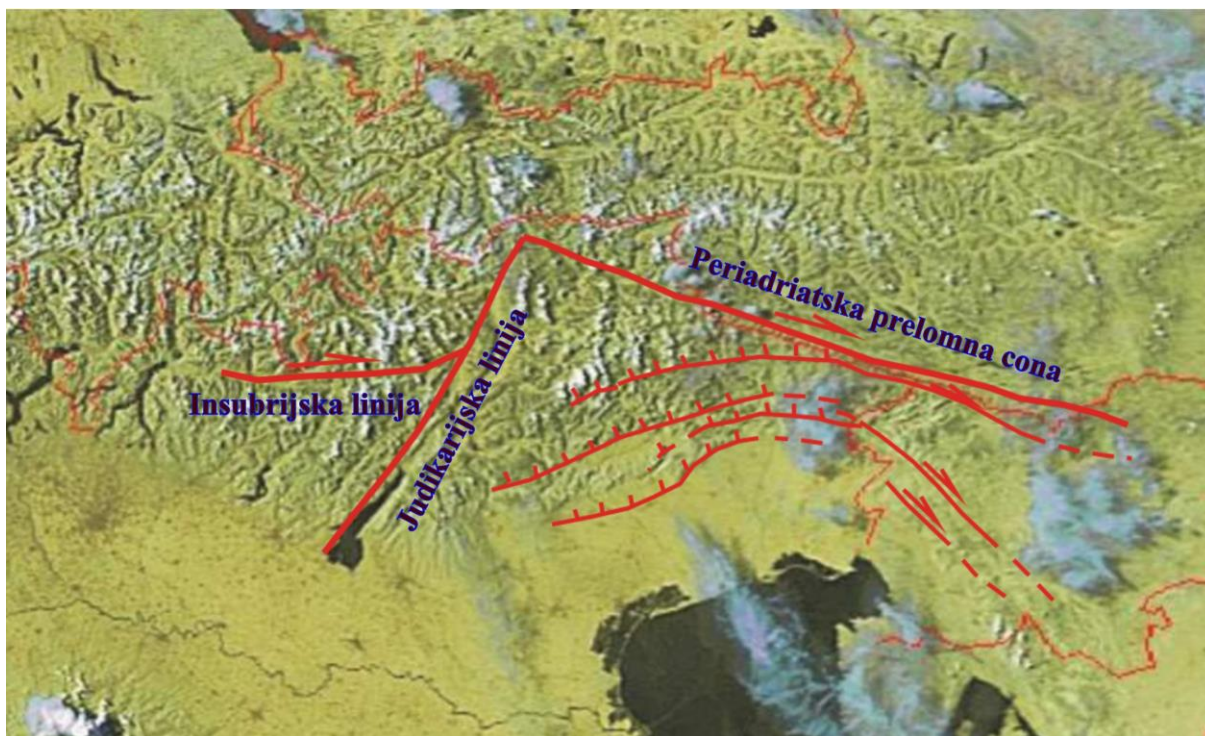
Uvod

Potres v Zgornjem Posočju se je zgodil 12. julija 2004. Epicenter potresa se nahaja na območju Doliča v neposredni bližini epicentra potresa 12. aprila 1998. Magnituda potresa je bila manjša ($M_w=5,2$) od magnitude potresa leta 1998 ($M_w=5,7$), tako da tudi ta potres ni povzročil površinskega koseizmičnega pretrga in s tem povezanega premika obeh strukturnih blokov iz česar bi z gotovostjo lahko določili stopnjo in količino izvedene seizmične deformacije. Seizmično dogajanje med glavnim potresnim sunkom in tekom predvsem močnejših popotresnih dogodkov je povzročilo reaktivacijo struktur ob katerih so bili že leta 1998 sproženi erozijski potresi in tudi nastanek novih površinskih procesov plazenja in podorov. Zaradi pomanjkanja podatkov o količini površinskih deformacij smo se oprli na seizmološke podatke potresnega niza in s pomočjo natančnih lokacij ter rešitev žariščnih mehanizmov za glavni potres in izbrane popotrese ocenili naravo deformacij.

Regionalno geološka zgradba območja

Seizmogeno območje lokacij potresnih dogodkov leta 1998 in 2004 se v širšem strukturno – geološkem smislu nahaja na območju prehoda med Južnimi Alpami in Dinaridi. Območje NW Slovenije je opredeljeno kot prehodno območje med tema dvema tektonskima enotama

prvega reda in skupaj s Furlanijo in Julijsko krajino v Italiji predstavlja seizmično najbolj aktivno območje Alpskega orogena (slika 1).



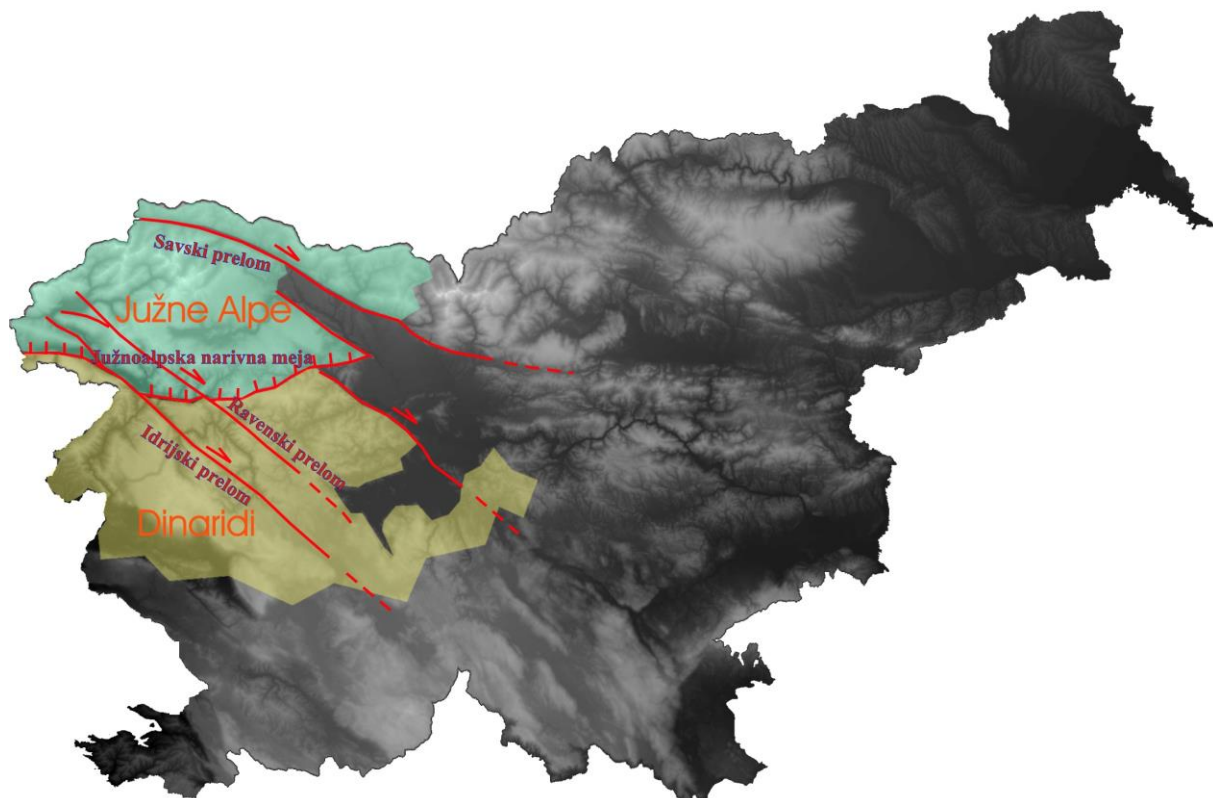
Slika 1. Posplošena skica strukture dela Alpskega orogena na področju NE Italije in NW Slovenije. Črtkan potek prelomov nakazuje njihovo nadaljevanje izven obravnavanega območja.

Figure 1. Simplified map of the Alps in the area of NE Italy and NW Slovenia. Dashed lines indicate a prolongation of the faults outside the area of interest.

Obe omenjeni enoti regionalno sodita v S del orogenetskega pasu, ki je zaznamovan s prevladujočim vpadom glavnih struktur proti N. Glavna prelomna struktura v tem delu je Periadriatski lineament; subvertikalen proti N vpadajoč desnozmičen prelomni sistem, ki med seboj loči enoti Vzhodnih in Južnih Alp. Ob njem je bilo tekom kolizijskih in postkolizijskih procesov izoblikovanja Alpskega gorstva kot posledica proti N vrinjajočega klina Jadranske mikroplošče izvedenega vsaj 100 km desnega zmika kot rezultat proti E usmerjene ekstruzije Vzhodnih Alp (Frish et al., 1998). Prevladujoča smer struktur v Južnih Alpah so prelomi s slemenitvijo v smeri E-W, medtem ko je v enoti Zunanjih Dinaridov prevladujoča smer slemenitve prelomov NW-SE. Na širšem območju Posočja ter naprej proti E predstavlja mejo med Južnimi Alpami in Zunanji Dinaridi t.i. Južnoalpska meja (Placer, 1999). Ob tej so bile Južne Alpe v obdobju med eocenom in zgornjim miocenom v smeri proti S do SSE narinjene preko Dinaridov (Placer in Čar, 1998), kar je znotraj njih povzročilo lokalne rotacije blokov in gubanje ter splošno krčenje ozemlja, ki naj bi znašalo okoli 60 km (Placer, 1981). Proti W se Južnoalpska meja nadaljuje kot t.i. ENE-WSW usmerjeni Valsugana strukturni sistem (Castellarin in Cantelli, 2000), ki se je izoblikoval v obdobju srednjega do zgornjega miocena in bil v obdobju zgornjega miocena in pliocena še večkrat reaktiviran. Valsugana strukturni sistem je zastopan z več močnimi reverznimi in narivnimi prelomi ob katerih je prišlo do vertikalnih premikov in s tem dvigov krovninskih blokov za približno 4 km. Skrčitev ozemlja med Bellunom na jugu in Periadriatskim lineamentom na severu znaša

na nivoju skorje 15 do 25 km, celotna skrčitev območja Južnih Alp na območju E Furlanije pa naj bi od eocena do danes znašala 30 do 45 km (Bertelli et al., 2003; Castellarin in Cantelli, 2000).

Pomembna struktura, ki leži v enoti Zunanjih Dinaridov je Idrijski prelom (slika 2).



Slika 2. Posplošena strukturalna skica Slovenije z nakazanimi glavnimi prelomi in strukturalnimi enotami v NW delu države. Nepravilne meje na E in S dveh strukturalnih enot nakazujeta njuno nadaljevanje izven obravnavanega območja.

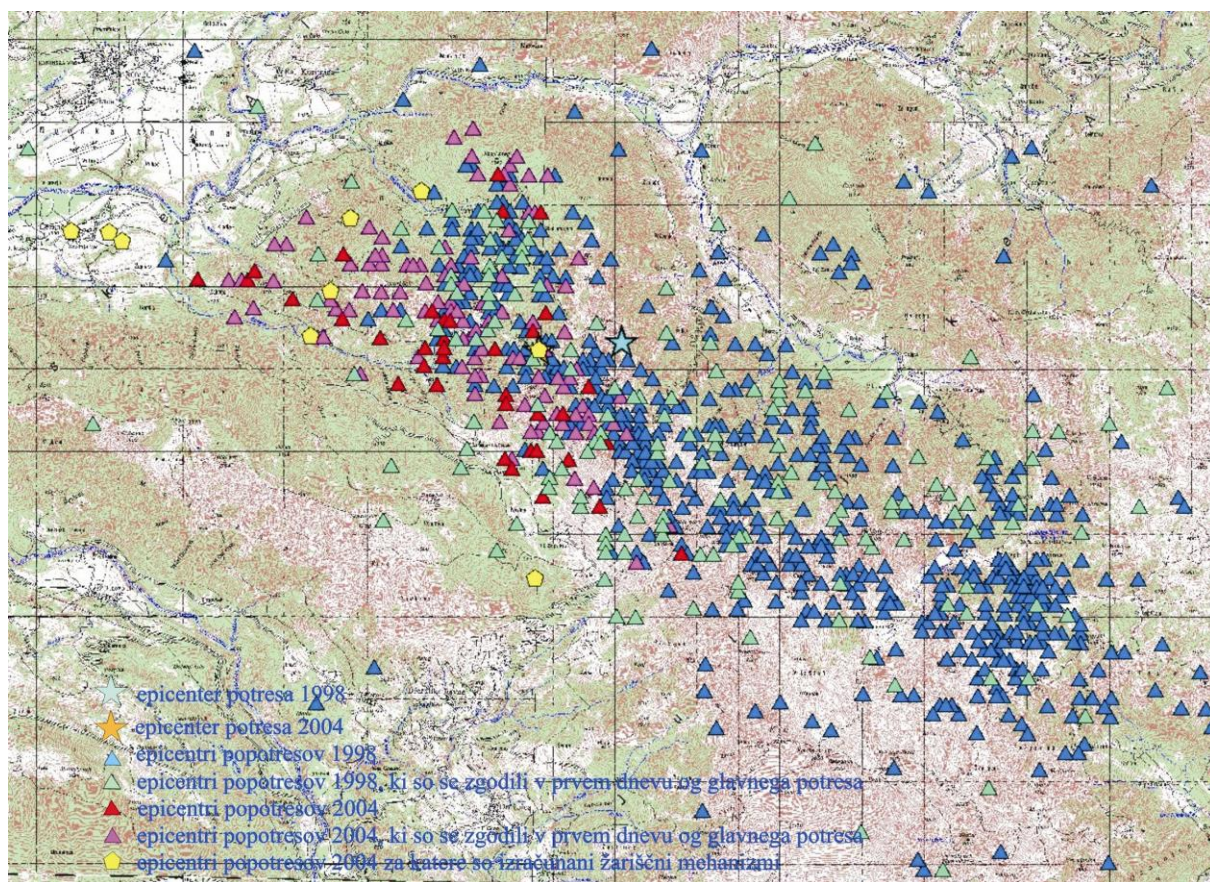
Figure 2. Schematic map of Slovenia with marked main faults and structural units in the NW part. The rough borders of the structural units represent a continuation of the units outside the investigated area.

Gre za NW-SE usmerjeno prelomno cono, ki sestoji iz več vzporednih in subvzporednih prelomov in ki na območju Tolmina seka in razmika Južnoalpsko mejo. Na območju približno 3-5 km zračne črte severno od Idrijskega preloma potekata Kneški in Ravenski prelom v generalno enaki smeri kot Idrijski prelom. Ravno območje obeh omenjenih prelomov, še posebno območja okoli domnevnega poteka Ravenskega preloma je območje potresnih sekvenc potresov leta 1998 in 2004. Dosedaj zbrani terenski podatki ter analiza digitalnega modela reliefa kažejo, da je večina premika izvedenega na območju Ravenskega preloma, desni zmik z komponento premika po vpadu ob srednje strmih do strmih prelomnih ploskvah. Ravenski prelom je najbolj izražen v svojem centralnem delu okoli Izvira Tolminke in v smeri proti SE v okolici Tolminskih in Kneških Raven, kjer se lepo vidijo posamezni prelomni segmenti s prevladujočo smerjo slemenitve 310° do 340° . V smeri proti NW je površinska izraženost preloma vedno slabša s pomanjkanjem izdankov prelomnih sten. Na območju Doliča in Vršiča je prelomu na površju praktično nemogoče slediti, na

njegov potek pa sklepamo glede na stopnjo poškodovanosti kamnin in površinskih procesov erozije in podorov. Po literaturnih podatkih (npr. Buser, 1987; Buser, 1986) se Ravenski prelom proti NW nadaljuje v NW – SE smeri čez sedlo Potoče, območje Doliča, mimo planine Golobar, seka Bovško kotlino ter Kaninsko pogorje ter se nato v nespremenjeni smeri nadaljuje v Furlanijo.

Seizmološki podatki

Glavni potresni sunek z magnitudo $M_W = 5.2$ se je zgodil 12. 7. 2004. Dogodek je zabeležila državna mreža potresnih opazovalnic, kratkoperiodna mreža Furlanije – Julijske krajine, italijanska mreža za beleženje močnih potresov ter potresne opazovalnice na območju Furlanije – Julijske krajine, ki pripadajo italijanski državni mreži za beleženje močnih potresov. Najbližja potresna opazovalnica je bila od epicentra oddaljena manj kot 5 km zračne črte, v razdalji 25 km od epicentra pa so dogodek zabeležile še tri potresne opazovalnice, kar pomeni da je dogodek relativno dobro zabeležen in je s tem natančnost lokacije epicentra dobra. Po glavnem potresu so se v nadžariščnem območju namestile še dodatne začasne potresne opazovalnice in tako je popotrese v radiju 10 km od epicentra glavnega potresa v obdobju do konca meseca avgusta beležilo 19 opazovalnic, nekatere med njimi pa še vse do konca leta 2004 (Živčić et al., 2006).



Slika 3. Prostorska porazdelitev popotresnega niza leta 1998 in 2004.
Figure 3. Spatial distribution of the 1998 and 2004 earthquake clusters.

Za analize v tem prispevku smo uporabili podatke zapisa glavnega potresa ter popotresov, ki so se zgodili do 20. 7. 2004 ter zapise posameznih močnejših popotresov z magnitudami nad $M_L = 2,5$, ki so se zgodili do začetka meseca novembra.

Epicenter glavnega potresa se nahaja na območju Doliča, približno 1,5 km zračne razdalje NE od Planine Predolina nad Drežniškimi Ravnami. Popotresi so razporejeni v pasu med Čezsočo na NWW do W ter do grebena Krnčice na SE. Na N segajo popotresi do severnega pobočja Kozjega brega nad levim bregom reke Soče, na S pa segajo do planine Zapleč nad Drežniškimi ravnami. Epicenter glavnega potresa se nahaja 1 km zahodno od epicentra potresa leta 1998 na območju z nižjo koncentracijo popotresnih sunkov potresnega niza iz tistega leta (slika 3). Del popotresne sekvence potresa 2004 kaže orientacijo v NW - SE smeri in ta smer se ujema z nadaljevanjem smeri popotresov leta 1998. Gre za skupino popotresov ki se iz območja epicentra glavnega potresa nadaljujejo v smeri planine Golobar in Kozjega brega ter skupino popotresov ki se na južnem delu seizmogene cone pojavljajo na južnem pobočju Krnskega grebena. Druga, bolj prevladujoča smer popotresov je smer, ki se iz območja glavnega potresa nadaljuje v WNW - ESE do W - E smeri proti območju Slatenika in naprej proti vasi Čezsoča.

Natančneje smo poleg glavnega potresa analizirali še osem močnejših popotresov, ki so se zgodili v obdobju med 14. 7. in 6. 11. 2004 (preglednica 1). Magnitude teh potresov znašajo med $M_L = 2,6$ in 3,6. Glavni potres se je zgodil na globini 7,0 km, popotresi pa so porazdeljeni na globinah med 3,8 in 8,8 km. Pri obravnavanih popotresih se pokaže povezanost moči potresa z globino njegovega žarišča; močnejši popotresi se načeloma pojavljajo globlje v skorji od šibkejših popotresov.

datum	čas	geografska širina	geografska dolžina	globina	magnituda
(ddmm)	(hhmm)	N	E	(km)	MI
0712	1304	46,308	13,620	7,0	4,9
0714	0437	46,314	13,587	6,0	3,5
0717	1918	46,325	13,601	4,9	2,9
0801	0829	46,320	13,552	4,2	2,7
0803	0922	46,320	13,546	4,0	2,7
0818	1424	46,309	13,584	7,0	3,1
0914	0612	46,319	13,554	8,8	2,4
1101	0218	46,322	13,602	4,8	2,5
1106	1709	46,285	13,623	6,3	2,8

Preglednica 1. Podatki o lokaciji in času glavnega potresa in izbranih popotresov.

Table 1. Location and time data for the main shock and chosen aftershocks.

Žariščni mehanizmi

Žariščne mehanizme smo določili s pomočjo polarnosti prvih prihodov primarnih potresnih valov s pomočjo programa Focmec (Snoke et al., 1984) za glavni potres in skupino osmih močnejših popotresnih sunkov (preglednica 2).

datum	čas	št. uporabljenih	slemenitev	vpad	odklon	slemenitev	vpad	odklon
(ddmm)	(hhmm)	prvih prihodov	f1	d1	l1	f2	d2	l2
0712	1304	34	204	71	-36	307	56	-23
0714	0437	20	34	62	11	299	80	28
0717	1918	18	61	90	20	331	70	0
0801	0829	17	237	31	71	79	61	79
0803	0922	15	208	36	31	92	72	58
0818	1424	20	31	66	33	286	60	28
0914	0612	13	157	79	-49	259	42	-17
1101	0218	13	289	48	48	162	56	53
1106	1709	17	15	66	33	270	60	28

Preglednica 2. Podatki o orientaciji nodalnih ravnin analiziranih popotresov.

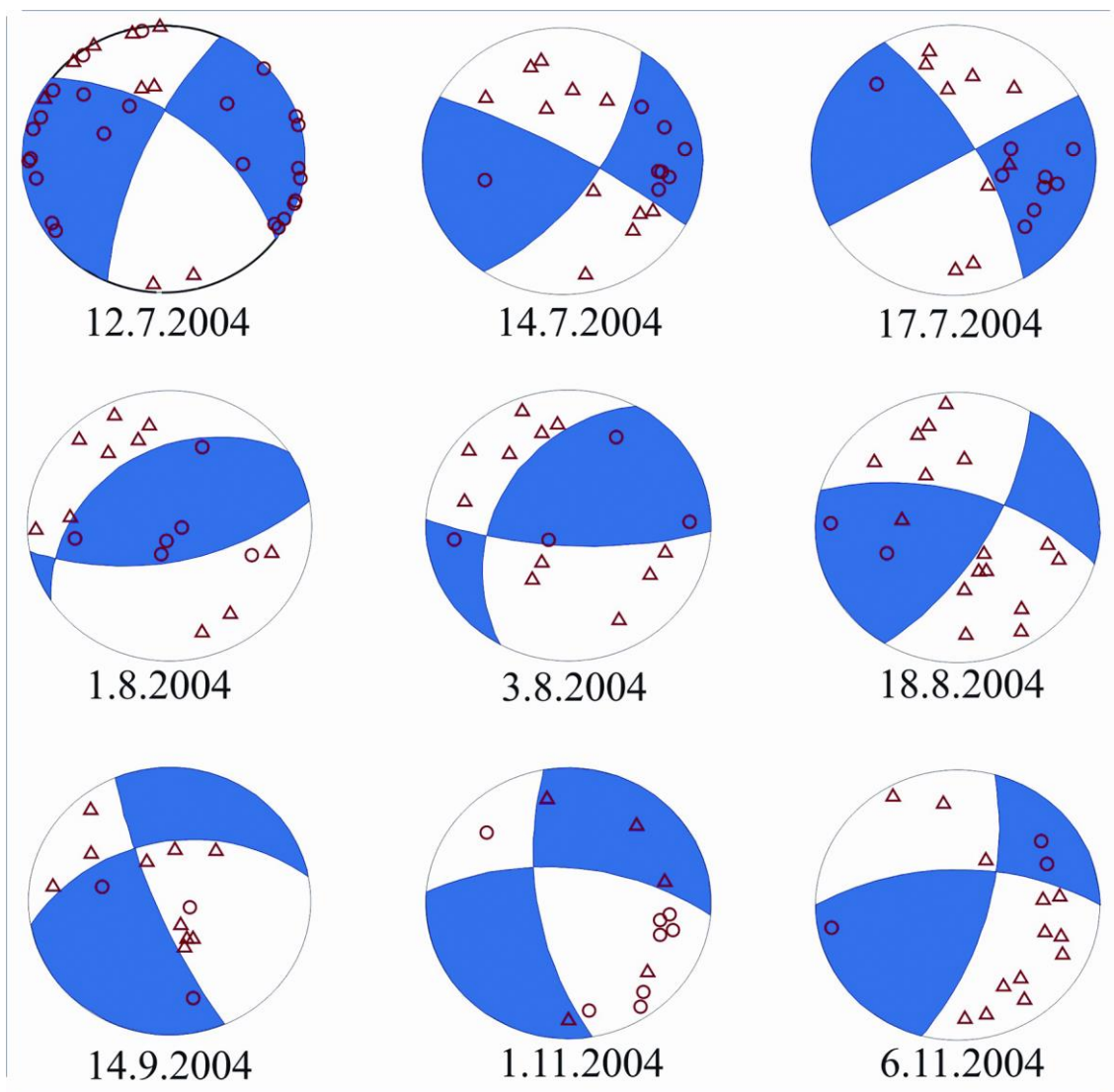
Table 2. Nodal planes orientations data for the analyzed aftershocks.

Za izračun smo uporabili za vsak dogodek le podatke tistih seizmografov za katere je bila polariteta prvega prihoda nedvoumna. Število uporabljenih prvih prihodov se med posameznimi dogodki torej razlikuje (preglednica 2) in predstavlja nadzor nad natančnostjo rešitve posameznega žariščnega mehanizma. Izračunani žariščni mehanizem glavnega potresa je zelo podoben žariščnemu mehanizmu potresa leta 1998 in kaže na skoraj čisti desni zmik ob subvertikalni prelomni ploskvi s slemenitvijo v smeri NW - SE. Žariščni mehanizmi popotresov nakazujejo podobno kinematiko premikov kot glavni potres, vendar pa je komponenta premika po vpadu pri posameznih dogodkih večja kot za glavni potres in kaže na poševne desnoznično - reverzne premike ob strmih do srednjestrmi prelomnih ploskvah NW - SE slemenitve ter v treh primerih do reverznih premikov z desnozmično komponento premika ob srednje strmih W - E usmerjenih prelomih (slika 4). Rešitev žariščnega mehanizma dobljena z omenjeno metodo je vedno dvoumna, saj samo na podlagi seizmoloških podatkov med seboj ne moremo ločevati katera od obeh nodalnih ravnin predstavlja dejansko prelomno ploskev ob kateri je bil izveden premik. Za izbrane ploskve smo se odločili na podlagi prostorske razporeditve popotresov, regionalnih strukturnih razmer ter ujemanjem med regionalnim napetostnim poljem in možnostjo premikov ob prelomnih ploskvah z dano prostorsko orientacijo.

Časovno prva dva popotresna dogodka za katera smo določili žariščni mehanizem, se nahajata v smeri NW od epicentra glavnega potresa v smeri proti planini Golobar in Humskemu potoku in zanj velja, da kažeta podobni slemenitvi prelomne ploskve kot to velja za glavni potres; NW - SE slemenitev strme prelome ploskve s prevladujočim desnim zmikom in majhno komponento reverznega premika (slika 5).

Žariščni mehanizmi treh popotresnih dogodkov, katerih epicentri se nahajajo na območju Čezsoče, kažejo na bolj položne prelomne ploskve s srednje velikimi koti vpadov in slemenitvami v generalni smeri W - E. Kinematsko nakazujejo na desno-zmično reverzne (dogodek 14. 9.), reverzno desno-zmične (3. 8.) ter reverzne (dogodek 1. 8.) premike. Od

ostalih obravnavanih popotresov tudi dogodka 18. 8. in 1. 11. kažeta slemenitve prelomne ploskve v WNW – SSE do W – E smeri s smislom desno-zmično reverznega premika. Zadnji obravnavani popotres (dogodek 6. 11.) leži najbolj izven cone ostalih popotresnih dogodkov S od Planine Zapleč in Zaprikraj in kaže na prevladujoči desni zmik z majhno komponento reverznega premika ob prelomni ploskvi s slemenitvijo W – E.



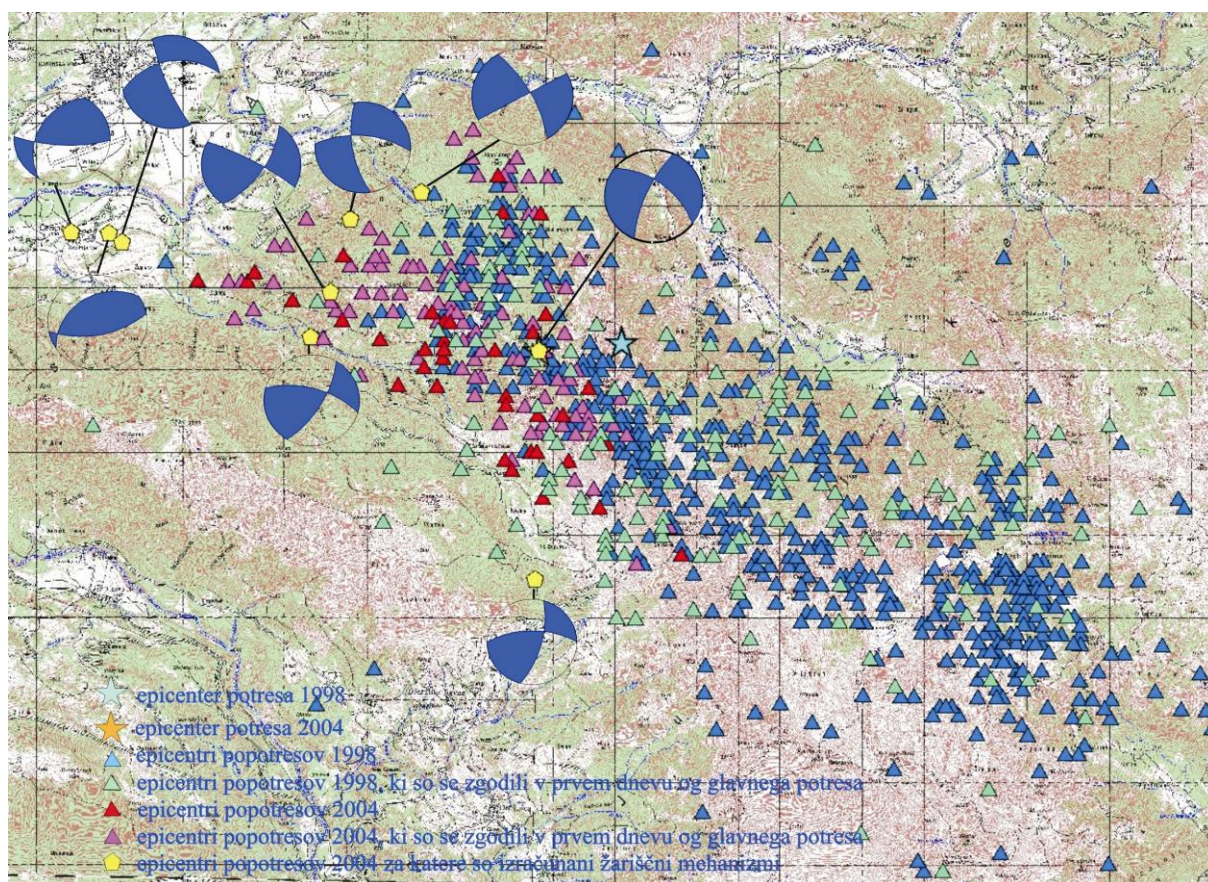
Slika. Žariščni mehanizmi za glavni potres in izbrane popotrese leta 2004. Rdeči krogi na sliki prikazujejo seizmografe, ki so kot prvi prihod zabeležili kompresijo, rdeči trikotniki pa predstavljajo seizmografe s prvimi zabeleženim prihodom kot dilatacijo.

Figure 4. Focal mechanisms of the 2004 main shock and chosen aftershocks. Red circular signs represent seismographs with compression as the first arrival phase, while the red triangular signs depict seismographs with dilatation as the first arrival phase.

Sklepi

Epicenter potresa leta 2004 se nahaja le 1.5 km zahodno od epicentra potresa leta 1998. Za oba je značilno da sta se zgodila v plitvih delih skorje na globini 7,0 in 7,6 km (Bajc et al., 1999) ter da v kinematskem smislu odražata skoraj čisti desno-zmični premik ob strmi prelomni ploskvi z vpadom proti NE in slemenitvijo v NW – SE smeri. Sekvenca popotresa

leta 1998 kaže da so popotresi urejeni v enotni NW – SE smeri (npr. Zupančič et al., 2001) ter da se nahajajo v pasu tako v NW kot tudi v SE smeri od glavnega potresa. Tekom glavnega potresa je kot posledica seizmogenih procesov bil na globini med 3 in 9 km globine aktiviran del prelomne ploskve v dolžini 13 km in širini 7 km, ob kateri je bil izveden povprečen premik v velikosti 18 cm (Bajc et al., 2001). Sekvenca popotresnih dogodkov leta 2004 ne kaže tako enotne prostorske porazdelitev kot tista iz leta 1998. Večina popotresov se je zgodila na območju v smeri NWW do W od epicentra glavnega potresa ter s tem tudi v isti smeri od lokacij popotresov sekvence iz leta 1998. Prav tako ne kaže enotne prostorske usmerjenosti, ampak glede na lokacije epicentrov lahko sklepamo na bivergentno porazdelitev popotresnih dogodkov; del popotresov se nadaljuje od epicentralnega območja v smeri proti NW in prevladujoči smisel premika ob teh dogodkih je desno-zmičen do desno-zmično reverzni. Prevladujoča smer popotresov je tista, ki se v WNW do W nadaljuje od epicentralnega območja v smeri proti Slatneku in Čezsoči. Analizirani žariščni mehanizmi teh popotresov kažejo na prevladujoče reverzno desno-zmične do reverzne premike ob WNW – SSE do W – E usmerjenih prelomih.



Slika 5. Prostorska porazdelitev popotresnih nizov 1998 in 2004 ter rešitev žariščnih mehanizmov potresnega dogodka 2004.

Figure 5. Spatial distribution of the 1998 and 2004 earthquake clusters and focal mechanism solutions for the 2004 earthquake and its aftershocks.

Oba potresa sta se zgodila v širši coni Ravenskega preloma. Omenjeni prelom je površinsko najbolj izražen na območju izvira Tolminke, Tolminskih in Kneških Raven ter naprej v SE

smeri, kjer ga je na površju moč slediti kot NW – SE usmerjen subvertikalni prelom. Kinematski indikatorji vidni na posameznih prelomnih stenah in spremljajoče deformacijske strukture opazovane na terenu potrjujejo desno-zmično do desno-zmično reverzno aktivnost danega preloma. Na območju NW do izvira Tolminke prelom v skoraj nespremenjeni smeri sledimo na območje Šmohorja, Planine na Polju ter sedla Čez Potoče, naprej v smeri proti Bovški kotlini. Na epicentralnem območju potresa in popotresov leta 2004 pa je njegova površinska izraženost vedno slabša. Glede na stopnjo pretrtosti kamnin, površinsko izraženost preloma, geomorfne indikatorje in porazdelitev potresov leta 1998 in 2004 sklepamo, da prelomni sistem aktivno raste v smeri NW do WWN ter, da so lokacije večje pretrtosti kamnin na SE delih omenjenega prelomnega sistema možna območja preteklih potresnih dogodkov (Kastelic in Cunningham, 2006). Celotno območje se nahaja v strukturno kompleksnem območju prehoda med alpskimi in dinarskimi strukturami, kjer razmerje med obema prelomnima sistemoma ni pojasnjeno ali dobro dokumentirano. Lokaciji obeh potresov se nahajata le 40 km od epicentralnega območja Furlanskega potresa leta 1976 (Aoudia et al., 2000), ki v kinematskem smislu kaže na prevladujoče reverzne deformacije ob W – E usmerjenih proti N vpadajočih prelomih. Žariščni mehanizmi obeh potresov v Zgornjem Posočju nakazujejo interakcijo tako NW – SE kot WWN – SSE do W – E prelomov ter njuno sočasno aktivnost.

Iz rešitev žariščnih mehanizmov je poleg na smisel premika ob prelomnih ploskvah moč sklepati tudi na porazdelitev glavnih napetostnih osi. Glavni potres in popotresni dogodki leta 2004 kažejo na dokaj enotno usmerjenost maksimalne osi krčenja, ki je v generalni smeri usmerjena N – S, z rahlimi odkloni v NE – SW ali NW – SE smeri za posamezne popotresne dogodke, na kar vpliva tudi lokalno napetostno polje nastalo kot posledica součinkovanja sosednjih strukturnih blokov in nehomogenost napetostnega polja. Taki rezultati se ujemajo z rezultati usmerjenosti glavnih napetostnih osi dobljenih z obdelavo različnih setov podatkov (npr. Slejko et al., 1999; Bressan et al., 1998; Poljak et al., 2000; Castellarin in Cantelli, 2000).

Literatura

- Bajc, J., Živčič, M., Jesenko, T. & Močnik, G. 1999. Relokacija glavnega potresa in popotresov. Potresi v letu 1998 (ur. J. Lapajne), 71 – 79.
- Bajc, J., Aoudia A., Sarao, A. & Suhadolc, P. 2001. The Bovec – Krn mountain (Slovenia) earthquake sequence. *Geophysical Research Letters*, Vol. 28, No. 9, 1839 – 1842.
- Bertelli, L., Cantelli, L., Castellarin, A., Fantoni, R., Moscon, A., Sella, M. & Sella, L. 2003. Upper crustal style, skortening and deformation age in the Alps along the southern sector of the Transalp Profile. *Memorie di Science Geologiche (speciale) – Transalp conference*, Vol. 54, 123-126.
- Bressan, A., Snidarcig, A. & Venturini, C. 1998. Present state of tectonic stress of the Friuli area. *Tectonophysics* 292, 211-227.
- Buser, S. 1986. Osnovna geološka karta SFRJ 1; 100 000, Tolmač lista Tolmin in Videm, Zvezni geološki zavod, Beograd.
- Buser, S. 1987. Osnovna geološka karta SFRJ 1; 100 000, list Tolmin in Videm, Zvezni geološki zavod, Beograd.

- Castellarin, A. & Cantelli, L. 2000. Neo-Alpine evolution of the Southern Eastern Alps. *Journal of Geodynamics*, 251-274.
- Frisch W., Kuhlemann J., Dunkl I., Brügel A. 1998. Palinspastic reconstruction and topographic evolution of the Eastern Alps during late Tertiary tectonic extrusion. *Tectonophysics*, 297, 1-15.
- Kastelic, V. & Cunningham, D. 2006. Multi-disciplinary investigation of active strike-slip fault propagation in the Julian Alps: The Ravne Fault, NW Slovenia. *Gepophysical Research Abstracts*, 8, 05018.
- Placer L., Čar J. 1998. Structure of Mt. Blegoš between the Inner and Outer Dinarides. *Geologija*, 40, 305-323.
- Placer L. 1999. Contribution to macrotectonic subdivision of the border region between Southern Alps and External Dinarides. *Geologija*, 41, 223-255.
- Poljak, M., Živčič, M. & Zupančič, P. 2000. The Seismotectonic Characteristics of Slovenia. *Pure and Applied Geophysics*, 157, 37 - 55.
- Slejko, D., Neri, G., Orozova, I., Renner, G. & Wyss, M. 1999. Stress Field in Friuli (NE Italy) from Fault Plane Solutions of Activity Following the 1976 Main Shock. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 89, 4, 1037 - 1052.
- Snoke, J. A., Munsey, J. W., Teague, A. G & Bollinger, G. A. 1984. A program for Focal Mechanism Determination by the Combined Use of Polarity of SV - P Amplitude Ratio Data, *Earthquake Notes* 55, No. 3, 15.
- Zupančič, P., Cecić, I., Gosar, A., Placer, L., Poljak, M. & Živčič, M. 2001. The earthquake of 12 April 1998 in the Krn Mountains (Uppar Soča valley, Slovenia) and its seismotectonic characteristics. *Geologija* 44/1, 169-192.
- Živčič, M. & Krn-2004 TEAM. The Krn Mountains (Slovenia) MW 5.2 Earthquake: Data Acquisition and preliminary Results. *Gepophysical Research Abstracts*, 8, 06439.

POTRES 12. JULIJA 2004 V KRNSKEM POGORJU (ZGORNJE POSOČJE) IN OPAZOVANJE POPOTRESNE AKTIVNOSTI THE EARTHQUAKE OF 12 JULY 2004 IN THE KRN MOUNTAINS (UPPER SOČA VALLEY) AND MONITORING OF THE AFTERSHOCK ACTIVITY

Jurij Pahor, Janko Kolar, Mladen Živčić, Ina Cecić

Izvleček. V projektu spremljanja popotresne dejavnosti po potresu 12. julija 2004 so poleg Agencije za Okolje Republike Slovenije sodelovali tudi sorodni inštituti iz Trsta, Vidma in Rima. Trideset ur po potresu je delovalo že 17 potresnih opazovalnic v oddaljenosti manj kot 20 km, v času največje gostote začasne mreže pa 26 opazovalnic. Večina začasnih potresnih opazovalnic je delovala skoraj do konca avgusta 2004. Do konca leta je bilo zbranih za 49 Gb podatkov delno z neprekinjenimi zapisi, delno pa z zapisi močnejših dogodkov. V podatkovni bazi so zbrani zapisi iz 72 različnih potresnih opazovalnic (246 kanalov).

Abstract. The 12. July 2004 earthquake with epicenter in the region of Krn mountains was the strongest earthquake in Slovenia after the one of 1998 in the same region. With the purpose of monitoring the aftershock activity teams from Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO), Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), Dipartimento di Scienze della Terra (DST) from Università di Trieste and Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale (OGS) deployed a number of provisory seismic stations. The first strong motion station began to operate in Vrsnik just few hours after the main shock, followed by another in Čezsoča. The day after the earthquake, INGV in cooperation with OGS deployed ten stations and ARSO another one. DST and Amadej Trnkoczy joined within few days. During the period of maximum density of the provisory network there was 19 seismic stations operating within the radius of 10 km and 26 stations in the radius of 20 km from the epicenter of the main earthquake (Tables 1,2). Using the modified Omori law it has been estimated that in the first 30 hours approx. 50 % of aftershocks with $M_L \geq 1.5$ occurred. By that time there were already 17 seismic stations operating within the radius of 20 km (Picture 3). Most of the provisory stations were operating until the end of August 2004. The collected data amounts to 36 Gb from the provisory stations and 13 Gb more from the stations of the permanent seismic networks of the Republic of Slovenia, Rete Friuli, DST and Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG). The collected database contains records from 72 seismic stations (246 channels). Data from 6 strong motion stations were also used within the INTERREG IIIB Alpine Space project Sismoalp («Seismic Hazard and Alpine Valley Response Analysis»).

Potres 12. julija 2004 ob 13 uri in 4 minute po svetovnem času z žariščem v Krnskem pogorju je bil najmočnejši potres v Sloveniji po potresu 12. aprila 1998 z žariščem v istem območju. Njegova magnituda je bila $M_{LV}=4,9$, $M_{WA}=5,2$, $M_W=5,2$, $M_b=5,0$, $M_m=4,5$, $M_S=4,9$. Nadžarišče potresa je bilo približno 6 km jugovzhodno od Bovca, žariščna globina pa okoli 7 km. Potres je povzročil precejšnjo škodo predvsem v Čezsoči in Bovcu kjer so učinki dosegli intenziteto VI-VII EMS-98. Mnogo starejših hiš je bilo poškodovanih, v nekaterih predelih je padlo veliko dimnikov. Ena oseba je izgubila življenje. Potres so čutili vse do Münchna, Prage, Benetk, Dunaja in Zagreba.

Takoj po potresu so organizacije Agencija Republike Slovenija za okolje (ARSO), Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), Dipartimento di Scienze della Terra (DST), Università di Trieste ter Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale

(OGS) postavile večje število prenosnih potresnih opazovalnic z namenom beleženja popotresov. Do konca avgusta je bilo lociranih več kot šest tisoč popotresov.

organizacija organisation	kraj postavitve site name	oznaka code	seizmometer seismometer	akcelerometer accelerometer	digitalizator digitiser
ARSO	Vrsnik	VRSN		fba23	Etna
	Čezsoča 23	CS27		fba23	Etna
	Srpenica	SRPN	Le3d5s	fba23	EarthData PR6
	Ribčev Laz	RIBL		Episensor	EarthData PR6
	Lepena	LEPN		Episensor	Etna
	Čezsoča 83	CS83		fba23	Etna
DST	Bovec, letališče	BOLE		Episensor	Etna
	Čezsoča, Fejnerjev hlev	FEJN		Episensor	Etna
	Bovec	RUSC		Episensor	Etna
	Trenta	TREN	STS-2	Episensor	Q330
INGV	Trnovo	TRN5	Le3d1s	Episensor	RT130
	Lepena, Dom Klementa Juga	LEP7	Le3d1s	Episensor	RT130
	Soča, Korita	SOC3	Le3d1s	Episensor	RT130
	Bavšica	BAV8	Le3d1s	Episensor	RT130
	Čezsoča, smetišče	CZS6	Le3d1s	Episensor	RT130
	Trenta	TNT1	Le3d1s	Episensor	RT130
	Podčela	PDC4	Le3d1s	Episensor	RT130
	Plužna	PL11	Le3d1s	Episensor	RT130
KMI	Bovec, Kot 12	BKOT		fba23	Etna
OGS	Žapluže	ZAP9	Le3d1s	Episensor	RT130
	Planina, Kuhinja	KUH2	Le3d1s	Episensor	RT130
	Učja	UC10	Le-3Dlite		MarsLITE

Preglednica 1. Kraj postavitve, oznaka ter oprema prenosnih začasnih opazovalnic.

Table 1. Site name, code and equipment of the provisory seismic stations.

V času potresa je bilo v Slovensko mrežo potresnih opazovalnic vključenih 21 potresnih opazovalnic katerih podatki se v stvarnem času samodejno prenašajo in zbirajo v središču za obdelavo podatkov v Uradu za seizmologijo in geologijo v Ljubljani. To število predstavlja večino od predvidenih 26 opazovalnic, ki bodo vključene v modernizirano mrežo potresnih opazovalnic, ki jo je Slovenija začela graditi po potresu 12. aprila 1998. V središču za obdelavo podatkov se v stvarnem času zbirajo tudi podatki iz sosednjih držav: Avstrije, Hrvaške in Italije. Leta 2002 je bil namreč podpisan sporazum med ARSO, DST, OGS in Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) o sodelovanju pri zbiranju in izmenjavi podatkov v področju Alp in Jadrana. Tako so slovenskim seizmologom 12. julija 2004 bili takoj na voljo tudi zapisi nekaterih opazovalnic iz sosednjih držav.

Že nekaj ur po potresu so strokovnjaki urada za seizmologijo in geologijo (USG) postavili prvo opazovalnico za močne potrese v Vrsniku in dve uri pozneje še eno v Čezsoči. Ekipe za mobilne mreže potresnih opazovalnic INGV iz Rima se je oglasila slabo uro po potresu in

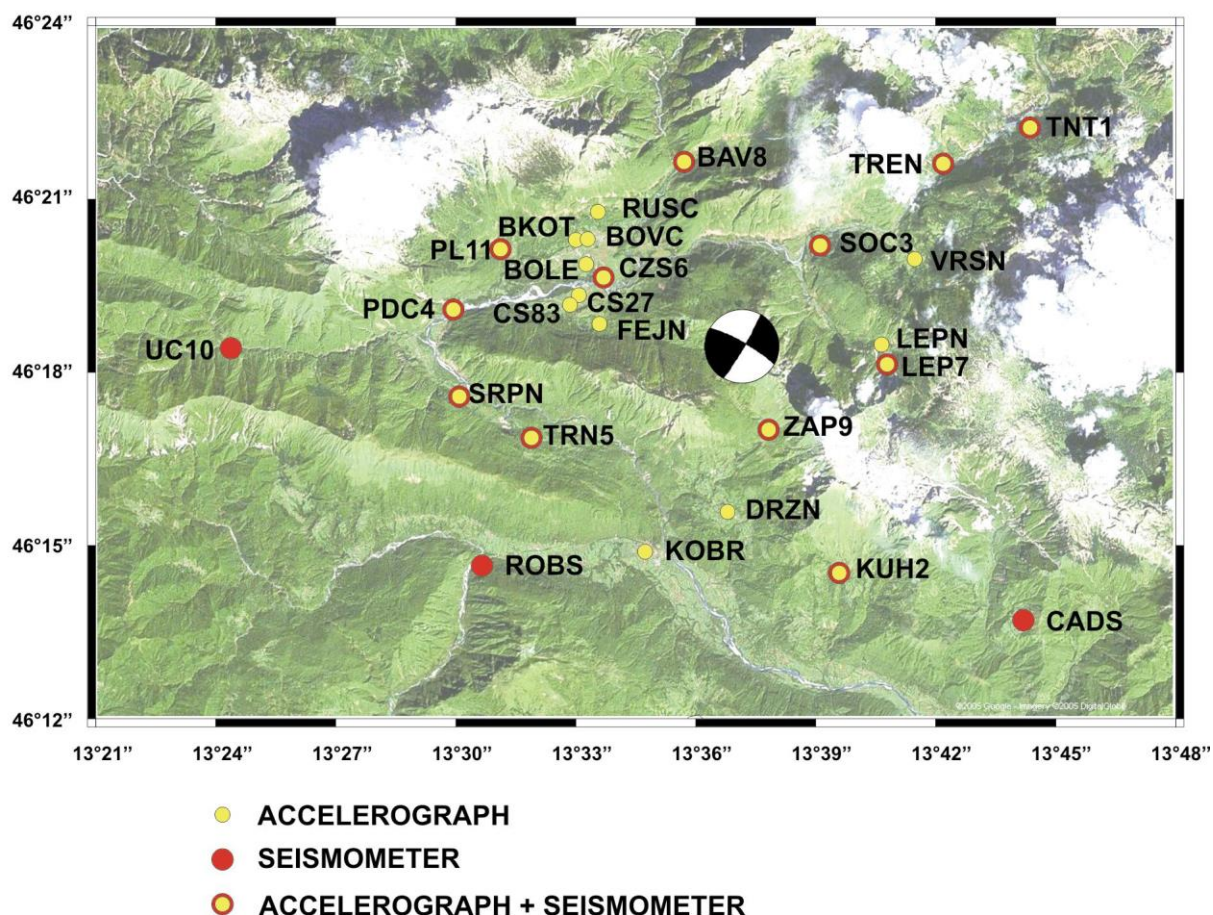
ponudila pomoč pri opazovanju popotresne aktivnosti. Dan po potresu so skupaj s seizmologi iz oddelka Centro di Ricerche Sismologiche (CRS) OGS v Vidmu postavili 10 potresnih opazovalnic, USG ARSO pa še eno. 15. julija so se pridružili še kolegi iz DST, ki so postavili tri opazovalnice za močne potrese in eno širokopasovno opazovalnico. ARSO je 21. in 26. julija postavil še po eno opazovalnico. Amadej Trnkoczy iz Bovca je v sodelovanju s Kinematics Inc. postavil opazovalnico za močne potrese v središču Bovca. V preglednici 1 so zbrani kraj postavitve, oznaka ter oprema začasnih opazovalnic. V preglednici 2 so zbrane zemljepisne koordinate opazovalnic ter čas delovanja. Azimutna pokritost je bila zelo dobra okrog smeri V-Z, nekoliko slabša pa okrog smeri S-J (slika 1). Nekateri inštrumenti so bili postavljeni tudi na prostem (slika 2, levo).

Oznaka	Zem. šir.	Zem. dol.	Nadm. višina	Začetek delovanja	Konec delovanja
Code	Lat. [°N]	Long. [°E]	Elevation [m]	Start time	End time
VRSN	46.3326	13.6915	458	17:16 12.07.2004	08:36 19.08.2004
CS27	46.3223	13.5514	441	19:39 12.07.2004	09:30 23.08.2004
SRPN	46.2929	13.4985	371	16:40 13.07.2004	13:49 22.09.2004
RIBL	46.2778	13.8897	366	09:06 21.07.2004	09:15 17.08.2004
LEPN	46.3080	13.6774	492	06:13 26.07.2004	09:41 05.10.2004
CS83	46.3197	13.5478	438	12:15 23.08.2004	10:27 22.09.2004
BOLE	46.3311	13.5544	480	09:53 15.07.2004	20:00 16.10.2004
FEJN	46.3140	13.5602	971	13:08 15.07.2004	11:05 21.11.2004
RUSC	46.3462	13.5591	735	15:42 15.07.2004	10:22 21.11.2004
TREN	46.3603	13.7027	662	17:06 15.07.2004	14:08 23.12.2004
TRN5	46.2809	13.5319	350	11:25 13.07.2004	02:38 25.08.2004
LEP7	46.3024	13.6796	437	11:29 13.07.2004	05:42 25.08.2004
SOC3	46.3372	13.6517	539	13:24 13.07.2004	04:39 26.08.2004
BAV8	46.3610	13.5944	566	13:29 13.07.2004	21:02 25.08.2004
CZS6	46.3273	13.5614	536	16:19 13.07.2004	03:48 24.08.2004
TNT1	46.3707	13.7395	366	16:39 13.07.2004	18:16 21.07.2004
PDC4	46.3182	13.4987	615	18:48 13.07.2004	18:05 20.08.2004
PL11	46.3357	13.5182	600	19:16 20.07.2004	12:12 25.08.2004
BKOT	46.3382	13.5507	440	10:49 18.08.2004	še deluje
ZAP9	46.2832	13.6306	640	05:42 13.07.2004	10:25 26.08.2004
KUH2	46.2420	13.6597	610	11:18 13.07.2004	00:01 26.08.2004
UC10	46.3068	13.4058	1159	17:28 13.07.2004	23:59 25.08.2004

Preglednica 2. Zemljepisne koordinate ter obdobje delovanja prenosnih začasnih opazovalnic.

Table 2. Geographical coordinates and operation period of the provisory seismic stations.

Skupaj s stalnimi opazovalnicami mreže potresnih opazovalnic republike Slovenije in Rete Friuli je v času največje gostote delovalo 19 opazovalnic (84 kanalov) v oddaljenosti manj kot deset kilometrov (26 opazovalnic v oddaljenosti manjši kot 20 km) od nadžarišč potresov.



Slika 1. Položaj najbližjih začasnih opazovalnic. Nadžarišče glavnega potresa je prikazano s črno-belo žogico, ki predstavlja žariščni mehanizem. Opazovalnici ROBS in CADS sta del stalne mreže potresnih opazovalnic Republike Slovenije (podlaga: <http://maps.google.com/>).

Figure 1. Location of the nearest provisory seismic stations. The epicenter of the main shock is depicted by the focal mechanism ball. The stations ROBS and CADS are part of the seismic network of the Republic of Slovenia (background picture: <http://maps.google.com/>).

USG ARSO sodeluje skupaj s še devetimi raziskovalnimi organizacijami v evropskem INTERREG IIIB projektu Sismoalp katerega cilj je raziskati odziv alpskih dolin na seizmično pobudo. Ena med izbranimi testnimi dolinami je tudi Bovška kotlina. V projektu sodelujejo tudi OGS in DST in pri določanju lokacij za postavitev prenosnih potresnih opazovalnic je bil del teh usmerjen v potrebe zbiranja podatkov za potrebe projekta. 15. julija je bil vzpostavljen profil čez Bovško kotlino, sestavljen iz šestih opazovalnic za močne potrese, ki so v času svojega delovanja zaznale več sto popotresov in s tem prispevale pomembne podatke k proučevanju obnašanja Alpskih dolin v primeru potresa.

Pri postavitvi začasnih opazovalnic za beleženje popotresnih sunkov je zelo pomembno hitro ukrepanje. Po spremenjenem Omorijevem zakonu se pogostost oziroma število popotresnih sunkov v časovni enoti približno recipročno zmanjšuje s pretečenim časom t od glavnega potresa:

$$n(t) \propto \frac{K}{(c+t)^p},$$

pri čemur sta K in C konstanti, eksponent p pa tipično zavzame vrednosti med 0,7 in 1,5. Večina popotresnih sunkov se sproži zelo hitro po glavnem potresu. Za popotresne sunke štejemo tiste potrese, ki so šibkejši od glavnega sunka in se zgodijo v istem žariščnem območju do časa, ko se popotresna dejavnost ne razlikuje več od tiste pred potresom.



Slika 2. Levo: postavoitev začasne potresne opazovalnice na polju (INGV). Desno: postavoitev v zgradbi (Fejnerjev hlev, DST).

Figure 2. Left: field installation of a provisory seismic station by INGV. Right: installation in the buildig (Fejner's barn, DST).

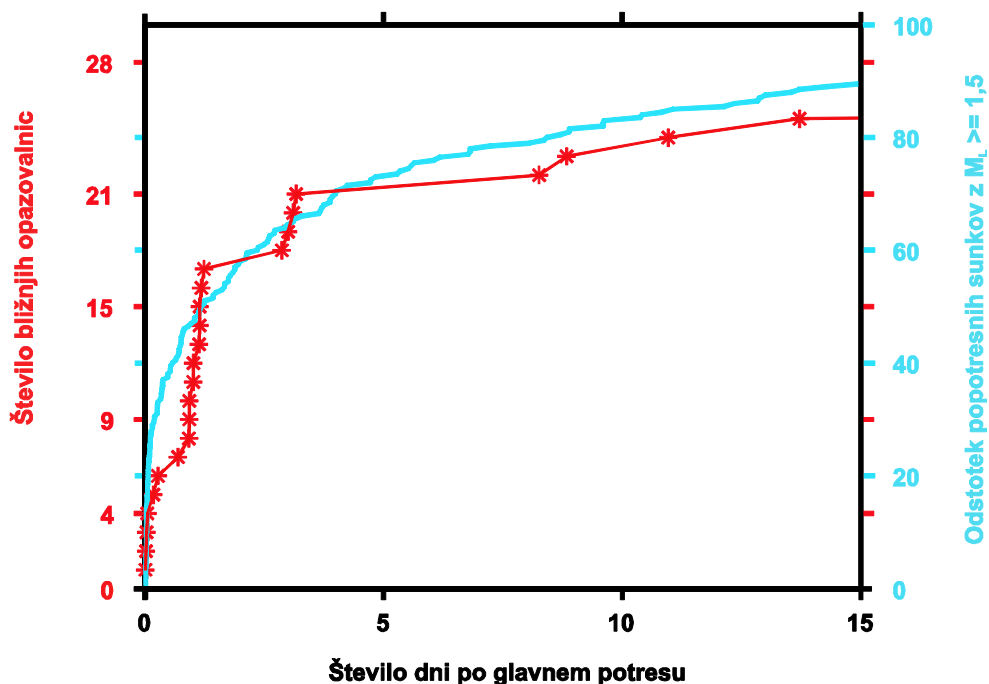
Trideset ur po glavnem potresu je delovalo 17 opazovalnic, oddaljenih manj kot 20 km od nadžarišča potresa. Do takrat se je sprožilo že skoraj 50 odstotkov pričakovanih popotresov z magnitudo 1,5 ali več (slika 3).

Postavitev začasne mreže potresnih opazovalnic za beleženje popotresne dejavnosti omogoča zelo natančno določanje parametrov popotresnih sunkov. Ti podatki pomembno prispevajo k razumevanju lokalne geotektonske strukture potresnega področja. Na sliki 4 je prikazano pribl. 15x11 km veliko področje z glavnim potresom 12.7.2004 (rumena zvezda) ter popotresnimi sunki magnitude $M_L \geq 1,0$ (modri križci) do konca avgusta 2004.

V podatkovni bazi z zapisi potresa 12.7.2004 in njegovih popotresov so zbrani (slika 5):

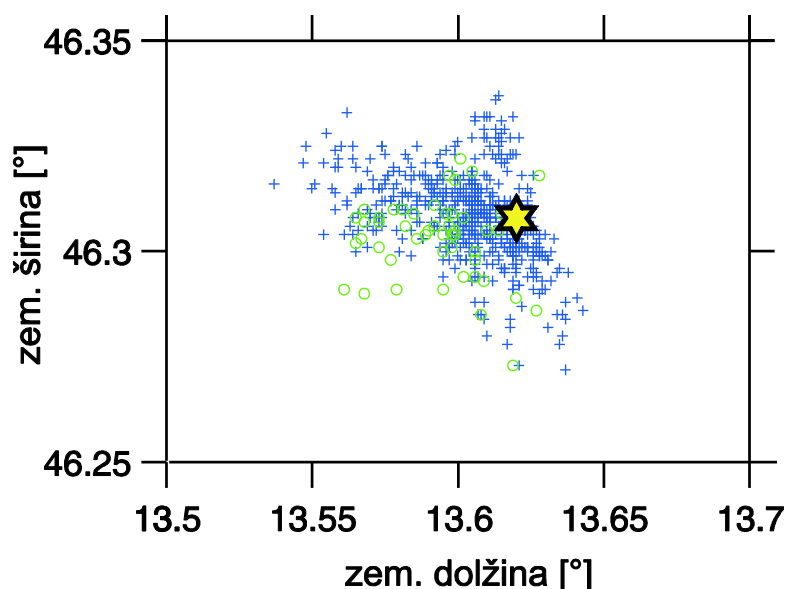
1. neprekinjeni zapisi vseh opazovalnic začasne mreže (22 opazovalnic),
2. vsi proženi zapisi mreže Rete Friuli (19 opazovalnic),
3. vsi proženi zapisi najbližjih opazovalnic za močne potrese (BOVC, DRZN, KOBR),
4. zapisi vseh dogodkov do 26.10.2004 na najbližjih slovenskih stalnih opazovalnicah (CADS, ROBS, GORS),
5. zapisi dogodkov z $M_L = \{1,5 - 2,0\}$ na bližnjih stalnih opazovalnicah (BILJ, JAVS, LJU, OBKA, TRI, VOJS, CEY),

6. zapisi dogodkov z $M_L \geq 2,0$ na vseh stalnih slovenskih opazovalnicah in na nekaterih sosednjih.



Slika 3. Število delujočih opazovalnic v času po glavnem potresu (rdeča črta) in število popotresnih sunkov z $M_L \geq 1,5$ kot odstotek vseh pričakovanih popotresov (modra črta). Število pričakovanih popotresov je ocenjeno s pomočjo spremenjenega Omorijevega zakona.

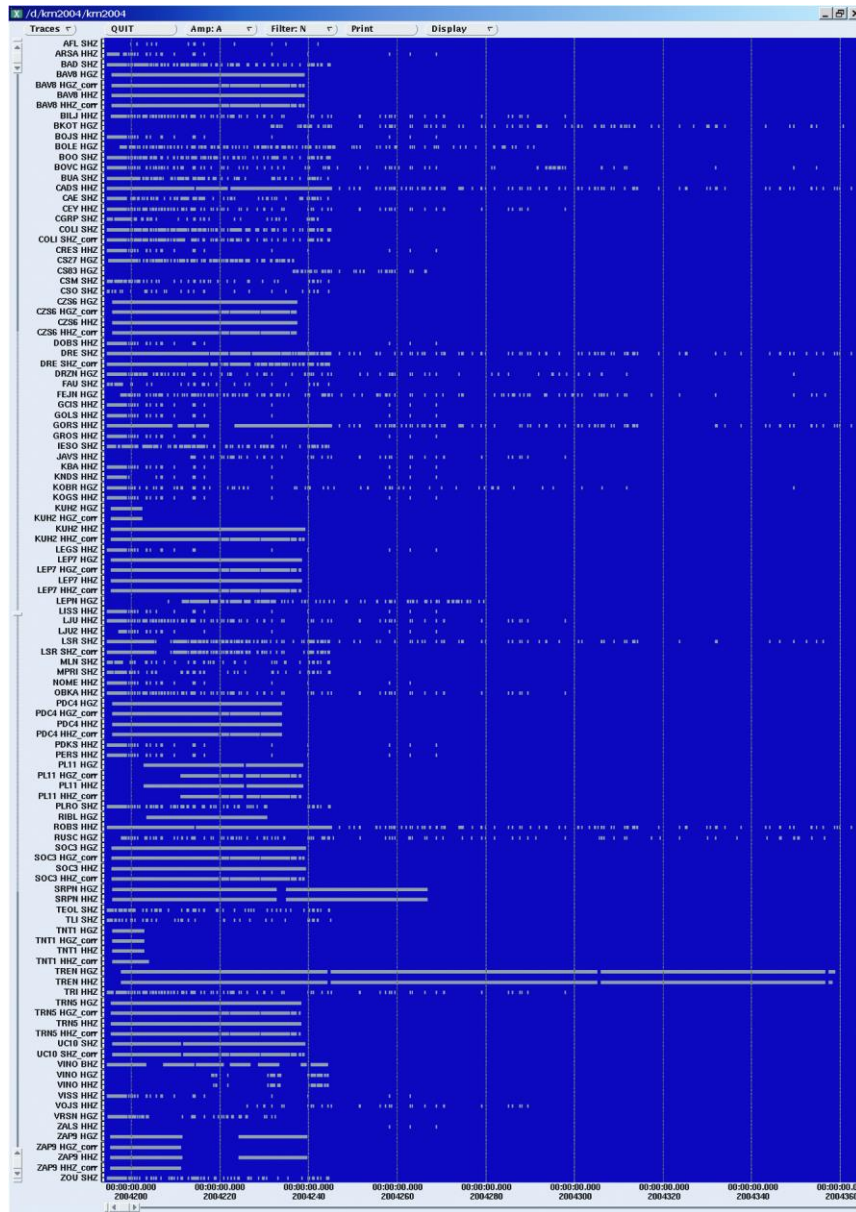
Figure 3. The number of operating seismic stations in time after the main earthquake (red line) and percentage of expected aftershocks with $M_L \geq 1,5$ (blue line). The number of expected aftershocks was evaluated with modified Omori law.



Slika 4. Nadžarišča popotresov v obdobju od glavnega potresa do konca avgusta 2004. Rumena zvezda prikazuje nadžarišče glavnega potresa, modri križci popotrese do globine 9 km, zeleni krogi pa popotrese do globine 18 km.

Figure 4. Epicenters of aftershocks in the period from the main earthquake until the end of August 2004. Main shock epicenter is represented by yellow star, blue crosses are aftershocks with depth less than 9 km and green circles are aftershocks with depth less than 18 km.

Zapisi dogodkov na opazovalnicah začasne mreže, opremljenimi z Reftek in MarsLite digitalizatorjem, ter zapisi kratkoperiodnih inštrumentov stalne mreže Rete Friuli so tudi tako popravljene, da so odstranjeni učinki FIR filtra. V podatkovni bazi je zbranih za 49 Gb podatkov, od tega 35,7 Gb od opazovalnic začasne mreže ter 6,7 Gb s popravljenimi zapisi opazovalnic začasne mreže. Podatkovna baza vsebuje zapise iz 72 različnih potresnih opazovalnic (246 kanalov).



Slika 5. Obseg vseh zapisov v podatkovni bazi (prikazane so le vertikalne komponente) od 12.7.2004 (2004194) do konca leta 2004.

Figure 5. The coverage of data (only vertical components are shown) in the database from 12.7.2004 (2004194) until the end of 2004. The date is written in the form of year and day of the year.

Literatura

Živčić, M. & Krn-2004 TEAM. The Krn Mountains (Slovenia) MW 5.2 Earthquake: Data Acquisition and Preliminary Results. Geophysical Research Abstract, 8, 06439

PREGLED POŠKODB OB POTRESIH LETA 1998 IN 2004 V ZGORNJEM POSOČJU A SURVEY OF DAMAGE CAUSED BY THE 1998 AND 2004 EARTHQUAKES IN THE UPPER SOČA VALLEY

Matjaž Godec, Barbara Šket-Motnikar, Renato Vidrih, Polona Zupančič

Izvleček. Potres leta 1998 v Posočju (12. april 1998, $M_L=5,6$) je povzročil obsežne poškodbe tako v naravi kot na (predvsem starejših) zgradbah. Intenziteta potresa je bila ocenjena na VII. – VIII. stopnjo EMS. Največje in najboljše poškodbe so bile na zgradbah z lesenimi stropovi, ki so bile grajene iz obdelanega ali neobdelanega kamna v slabi malti. Po potresu je bilo pregledanih 3395 objektov in 2928 od teh je bilo poškodovanih. Čeprav se je že ob potresu v Furlaniji leta 1976 ($M=6,4$) poškodovalo mnogo zgradb na tem območju, je bila obnova in ojačitev teh zgradb pogosto slabo ali nepopolno izvedena. Tla pa so se na tem območju zopet močno stresla leta 2004 (12. julij 2004, $M=4,9$). Največja intenziteta v nadžariščnem območju je bila ocenjena na VI. – VII. stopnjo EMS. Po potresu je bilo pregledanih 1863 objektov in od teh jih je bilo 1764 poškodovanih. Potresa 1998 in 2004 imata žarišče na istem območju. Čeprav je bila sproščena energija potresa leta 2004 desetkrat manjša od tistega leta 1998, so bili poškodovani mnogi objekti, ki so bili po potresu 1998 obnovljeni in ojačeni.





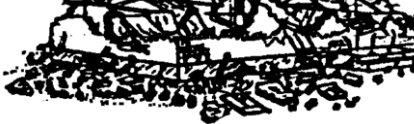
Abstract. The April 12, 1998 earthquake in the Soča Valley, Slovenia had a magnitude of 5.6. It caused significant damage to the natural environment (rock falls, rock slides) as well as to older buildings. The maximum intensity of the earthquake has been estimated to VII – VIII EMS. The older buildings that were made of processed and unprocessed stone in bad mortar with wooden floors suffered most of the damage. 3,395 buildings were inspected after the earthquake and 2,928 of them were damaged. Although the Friulian (Italy) earthquake in 1976 ($M=6.4$) caused a lot of damage in this area, the repair and strengthening of older buildings were often poorly done or not carried out at all. There was another earthquake in the Soča Valley on July 12, 2004. It had a magnitude of 4.9. The maximum intensity was VI –VII EMS. After this earthquake 1,863 buildings were inspected and 1,764 suffered various levels of damage. Although 10 times less energy was released in this earthquake, many buildings strengthened and retrofitted after 1998 earthquake were also damaged.

Uvod

Območje Slovenije leži na stiku med Evrazijsko ploščo in Jadransko mikroploščo. Severozahodna Slovenija je eno potresno aktivnejših območij Slovenije, saj se lahko dogodijo potresi z učinki do IX. stopnje EMS lestvice (Ribarič, 1987).

Potres 12. aprila 1998 je bil eden najmočnejših potresov z žariščem v Sloveniji v zadnjih 100 letih. Magnituda potresa je bila 5,6, največja ocenjena intenziteta pa VII-VIII EMS. Žarišče potresa je bilo locirano med dolino Lepene in pobočja Krna, globina žarišča je bila ocenjena na približno 8 km. V prvih dvajsetih urah je bilo zabeleženo okoli 400 popotresov, katerim je v naslednjih mesecih sledilo še okoli 7000 popotresov. Najmočnejši popotres se je zgodil 6. maja 1998 z magnitudo 4,2.

Šest let kasneje (12. julija 2004) so se tla stresla na istem območju. Potres je imel magnitudo 4,9, največja intenziteta (učinek na zgradbe, naravo, ljudi in predmete) je bila ocenjena na VI - VII EMS.

	<p>stopnja OBJEKT JE UPORABEN</p> <p>Poškodovanost je zanemarljiva do neznatna (na sami konstrukciji ni poškodb): pojav lasastih razpok na malokaterih zidovih, odpadejo le manjši kosi ometa, pri malokaterih zgradbah je opaziti odpadanje majavih kamnov iz zgornjega dela objekta.</p>
	<p>stopnja OBJEKT JE UPORABEN</p> <p>Poškodovanost je zmerna (konstrukcija je neznatno poškodovana, nekonstrukcijski (nenosilni) elementi pa so srednje močno poškodovani), na mnogih zidovih so razpoke, dokaj veliki kosi ometa odpadejo, deli dimnikov se porušijo..</p>
	<p>stopnja OBJEKT JE ZAČASNO NEUPORABEN</p> <p>Poškodovanost je znatna do velika (konstrukcija je zmerno poškodovana, nekonstrukcijski elementi pa so močno poškodovani): na večini zidov so široke in velike razpoke, zdrs opečnih in skrilastih strešnikov, dimniki se odlomijo v višini strehe. Pri teh poškodbah je objekt začasno neuporaben.</p>
	<p>stopnja OBJEKT JE ZAČASNO NEUPORABEN</p> <p>Poškodovanost je zelo velika (znatne poškodbe konstrukcije, zelo obsežne poškodbe na nekonstrukcijskih elementih): resne porušitve zidov, delna porušitev konstrukcije. Pri teh poškodbah je objekt začasno neuporaben.</p>
	<p>stopnja OBJEKT JE NEUPORABEN</p> <p>Uničenje (zelo velika poškodovanost konstrukcije): popolna ali skoraj popolna porušitev. Pri teh poškodbah je objekt neuporaben.</p>

Preglednica 1. Stopnje poškodb pri zidanih zgradbah (Grünthal, 1998).

Table 1. Damage grades on masonry buildings (Grünthal, 1998).

Oba potresa sta nastala ob istem prelomnem sistemu – to je ob ravenskem prelomu, ki je del idrijskega prelomnega sistema. Razdalja med žariščema obeh potresov znaša manj kot 2 kilometra.

Pri obeh potresih so največje poškodbe na zgradbah in v naravi nastale na nevezanih kamninah (nanosi rek in potokov, pobočni grušči). Pas z največjimi poškodbami se vleče v dinarski smeri, od severozahoda proti jugovzhodu ter se razteza od Bovca preko doline Lepene in Drežniških Raven do vasice Krn (Vidrih in Godec, 1998). Dinarska smer je potrjena

(Bajc in drugi, 1999) tudi z geogeografsko porazdelitvijo popotresov, ki pokrivajo približno 12 kilometrov dolg ozek pas na prizadetem območju.

Splošno o objektih

Analiza zbranih podatkov o poškodbah na objektih je bila narejena v skladu z navodili EMS lestvice (Grünthal, 1998), kjer je pet stopenj poškodb (Preglednica 1). Nepoškodovane zgradbe ali pa zgradbe z nepopolnimi podatki so bile uvrščene v skupino zgradb z ocenjeno stopnjo poškodovanosti 0 (Uprava za zaščito in reševanje, 1998).

Potrebno je poudariti, da je bila velika večina zgradb v Posočju popolnoma uničenih med I. svetovno vojno. Cele vasi so bile v kratkem času obnovljene. Takrat so se iskale rešitve, kako z omejenimi sredstvi, ob pomanjkanju materiala in v čim krajšem času zagotoviti bivališča za ljudi. Zato so bile mnoge takrat zgrajene zgradbe zgrajene slabše, kot je velevalo znanje in praksa še pred začetkom I. svetovne vojne.

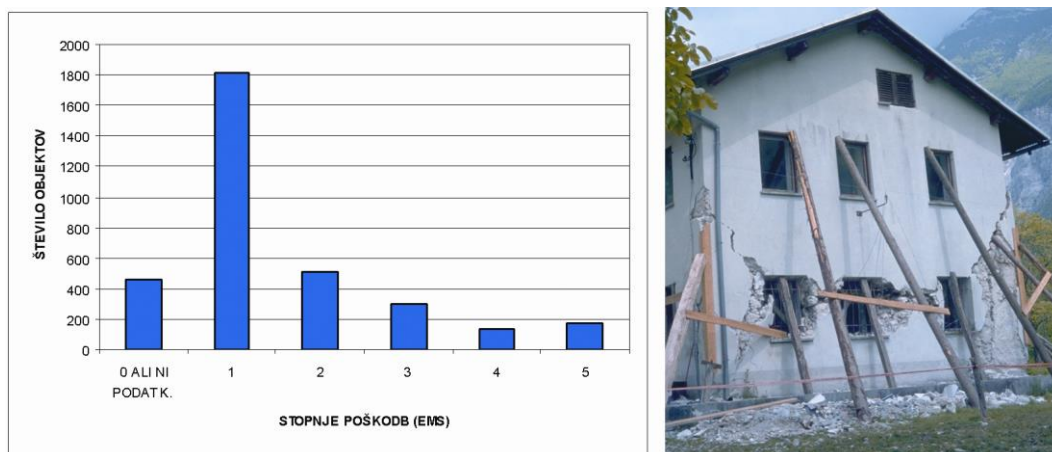
Kot poseben primer lahko omenimo vas Čezsoča. Vas je bila popolnoma porušena med I. svetovno vojno (1914-1918). Vas je bila po vojni obnovljena na obstoječih ruševinah. Marsikatera zgradba je bila grajena brez temeljev, material so bili okrogli, gladki rečni prodniki v slabi apneni malti. Stropovi so bili običajni leseni, zidovje med seboj nepovezano, kritina pa je bila težka.

Vas je bila močno poškodovana tudi med II. svetovno vojno (1939-1945). Del vasi je bil požgan, del je utrpel močna bombardiranja. Zgradbe so bile zopet močno poškodovane, vendar se jih je dalo popraviti (zopet ob pomanjkanju časa, denarja in materiala). Ruševine (z mnogimi nakopičenimi vidnimi in manj vidnimi poškodbami) so predstavljale osnovo za obnovo. Energija predhodnih dogodkov je povzročila tudi manj opazno popuščanje vezi, ki jih je ustvarila slaba apnena malta.

Potresa leta 1988 in 2004 sta bila le še dva dodatna dogodka v tem zgodovinskem nizu.

Potres leta 1998 – poškodbe objektov

Kakšne so splošne značilnosti poškodovanih objektov? Skupno smo obdelali podatke o 3395 objektih, kot je prikazano na Sliki 1. Pri oceni učinkov potresa na gradbene objekte smo uporabili podatke, ki smo jih zbrali sami (Godec, Ribičič in Vidrih, 2000; Godec, Vidrih in Ribičič, 1999), kot tudi podatke (Potres v Posočju, 1998), ki so jih zbrali ocenjevalci poškodb na objektih, ki so delali pod okriljem Ministrstva za okolje in prostor. Kategorije poškodb ocenjevalcev Ministrstva za okolje in prostor se zelo dobro ujemajo z navodili EMS lestvice, zato smo pri statističnem vrednotenju podatkov za opis učinkov lahko uporabili tudi tako pridobljene podatke.



Slika 1. Število poškodovanih objektov ob potresu 1998 in porazdelitev po poškodbenih kategorijah. Močno poškodovana sirarna v Pologu.

Figure 1. Number of damaged buildings during 1998 earthquake and their distribution. Heavy damaged cheese-diary in Polog.

Splošne značilnosti pregledanih objektov:

Temelji: 301 objekt je bil grajen brez temeljev, 2095 objektov je imelo kamnite in 569 betonske temelje. Drugi tipi temeljenja so bili pri 82 objektih, medtem ko pri 348 objektih nismo uspeli pridobiti verodostojnega podatka.

Zidovi: 1931 zgradb je imelo kamnite zidove, 367 zidove iz mešanega materiala, 493 zgradb je imelo opečne zidove in 37 betonske. Zidove iz drugačnega materiala je imelo 213 zgradb, za 354 zgradb pa ni podatkov o sestavi zidovja.

Stropi: 1545 zgradb je imelo lesene stropove, 81 opečne, medtem ko je imelo betonske stropove 1034 zgradb. Stropovi pri 366 zgradbah so drugačni od prej navedenih možnosti, popisovalci pa niso pridobili podatkov o 369 zgradbah.

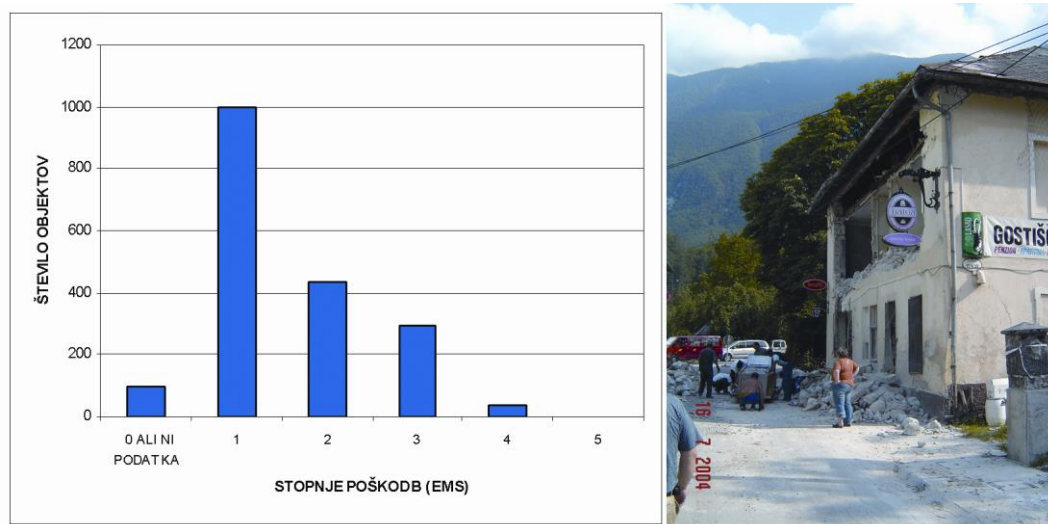
Ostrešje: Večina (2919) zgradb je imela leseno ostrešje.

Kritina: Korce je imelo 406 zgradb, 677 jih je imelo strešnike, 952 salonitke, 930 pa kritino iz drugega materiala. Ni podatkov o 430 zgradbah.

Leto izgradnje: 805 zgradb je bilo zgrajenih pred letom 1914, 1687 pregledanih zgradb je bilo zgrajenih v obdobju med letoma 1914 in 1945, 249 jih je bilo zgrajenih med letoma 1945 in 1964, 291 je bilo zgrajenih med letoma 1964 in 1981. 158 pregledanih zgradb je bilo zgrajenih po letu 1981. Preostanku zgradb ni bilo moč pripisati obdobja izgradnje. Obdobja gradnje so bila določena glede na pomembne mejnike, kot npr. predvojna gradnja, zlpovojne obnove (1914 in 1945) ali pa spremenjena zakonodaja na področju potresno odporne gradnje (1964 in 1981).

Potres leta 2004 – poškodbe objektov

Tudi ob tem potresu je bilo močno poškodovanih nekaj predvsem starejših objektov. Število objektov po stopnji poškodb je prikazano na Sliki 2.



Slika 2. Število poškodovanih objektov med potresom 2004 po poškodbenih kategorijah in poškodovani objekt (5. stopnja poškodb) v Čezsoči.

Figure 2. Number of buildings damaged during 2004 earthquake and a damaged building (grade 5) in Čezsoča.

Po potresu leta 2004 je bilo pregledanih 1863 objektov; od tega jih 99 ni bilo poškodovanih. Na koncu je bilo ocenjeno, da je 230 objektov tako poškodovanih, da so nevarni za bivanje; stanovalci so se morali začasno izseliti. Pregled po poškodbenih stopnjah pa je sledeč: 1 objekt je bil ocenjen kot objekt s poškodbami 5. stopnje, 36 objektov je imelo poškodbe 4. stopnje, 291 objektov je imelo poškodbe 3. stopnje, 435 objektov je imelo poškodbe 2. stopnje in 1001 objekt je imel poškodbe 1. stopnje. Poškodbe starejših objektov pri tako močnem potresu so pričakovane, vendar je presenetljiv obseg poškodb objektov, ki so bili po potresu 1998 potresno utrjeni (kar je prikazano v nadaljevanju).

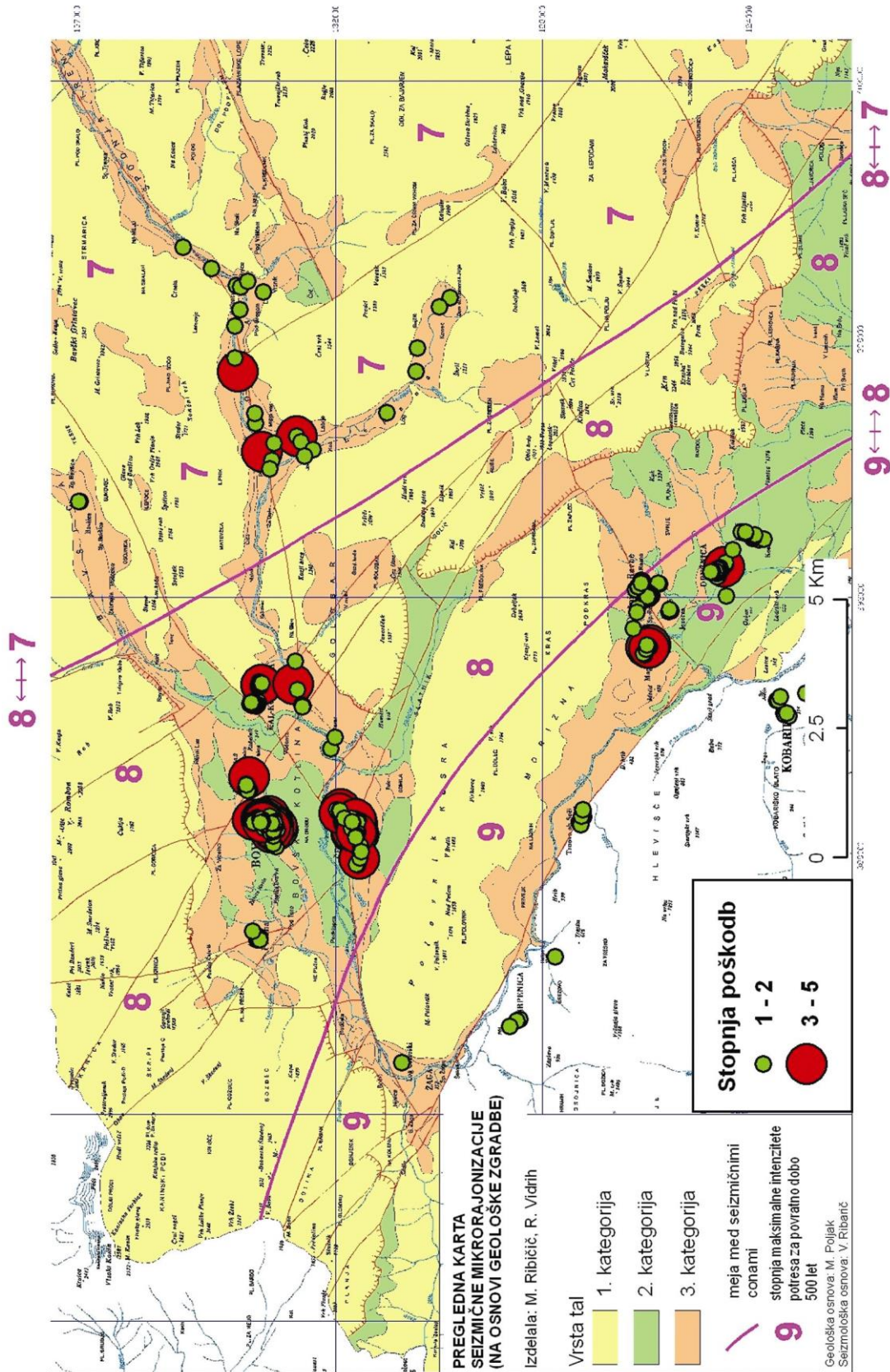
Pregledna karta potresne mikrorajonizacije zgornjega Posočja

Osnova za izdelavo karte seizmične mikrorajonizacije (Ribičič, M., Vidrih, R. in Godec, M., 2000) je bila uradna karta potresne intenzitete za povratno dobo 500 let (Ribarič, 1987).

Na osnovni karti (Slika 3) so prikazane cone intenzitet potresov, in sicer VII., VIII. in IX. stopnje po EMS lestvici. Seizmična mikrorajonizacija vsako od teh con podrobneje razdeli na tri podcone glede na geološko zgradbo terena, in sicer:

1. kategorija (seizmogeološko ugodna tla): kamnine, ki imajo lastnosti hribin (apnenci, dolomiti,...)
2. kategorija (seizmogeološko srednje ugodna tla): goste in srednje goste zemljine, ki so se odložile v debelejših plasteh, ter hribine, ki so prekrte z debelejšo preperino
3. kategorija (seizmogeološko neugodna tla): mehkejše in manj goste zemljine

Pri izdelavi karte so bile upoštevane seizmološke in neotektonske osnove.



Slika 3. Karta potresne mikrorajonizacije in lokacije objektov, ki so utrpeli poškodbe pri obeh potresih (čprav so bili obnovljeni in ojačeni po potresu leta 1998).

Figure 3. General map of seismic microzonation and locations of buildings which have suffered damage from both of the earthquakes (despite of strengthening after 1998).

Poškodovani objekti med potresom 2004, ki so bili ojačeni po potresu leta 1998

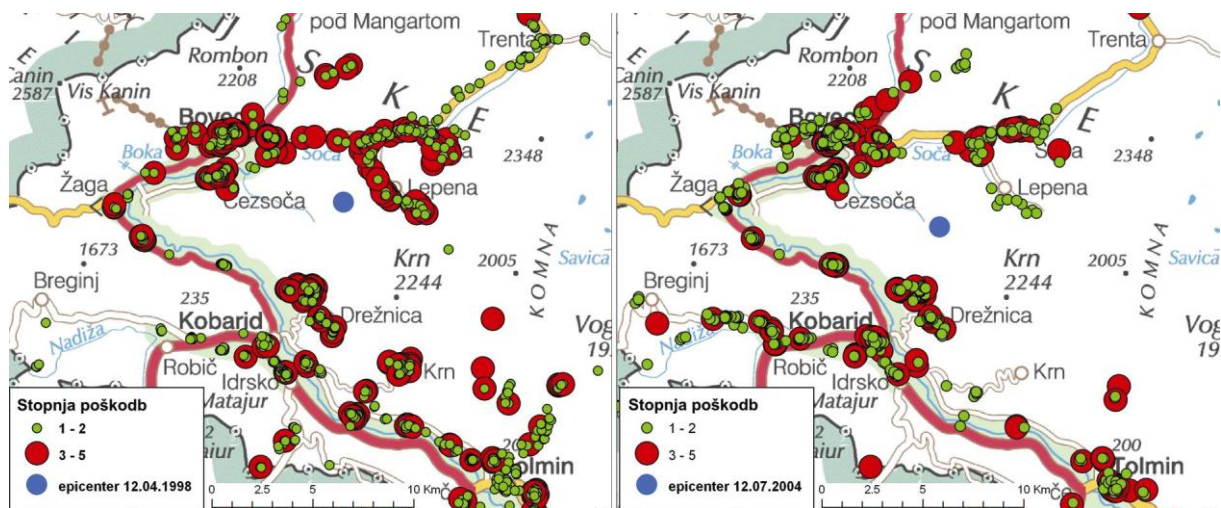
Pri oceni poškodovanih objektov med potresom leta 2004 je bila posebna pozornost namenjena 576 objektom, ki so bili poškodovani že ob potresu leta 1998 (preglednica 2, sliki 4 in 5). Obnova in utrditev objektov, poškodovanih v potresu leta 1998, je bila pred potresom 2004 večinoma že zaključena. Med omenjenimi 576 objekti so bila obnovitvena in utrditvena dela zaključena na 523 objektih, pri 5 objektih so bila tik pred zaključkom, pri 48 objektih pa so dela še potekala.

leto izgradnje	1998 stopnja poškodb	2004 stopnja poškodb				Skupaj
		1	2	3	4	
do leta 1900	1	15	8	4		27
	2	9	5	3		17
	3	7	4	3		14
	4	2		1		3
	5	4	1	2		7
	Skupaj	37	18	13		68
1901-1940	1	96	36	16	2	150
	2	50	12	7	3	72
	3	38	9	8	1	56
	4	15	3	1		19
	5	16	3			19
	Skupaj	215	63	32	6	316
1941-1964	1	10	25	16	2	53
	2	11	5	4	2	22
	3	3	2	5		10
	4	1	1	1		3
	5	1				1
	Skupaj	26	33	26	4	89
1965-1982	1	22	15	6	1	44
	2	1	1		1	3
	3	5	2			7
	4	4				4
	5	2	1			3
	Skupaj	34	19	6	2	61
1983-1998	1	6	5	4	1	16
	3	2				2
	Skupaj	8	5	4	1	18

Preglednica 2. Število zgradb poškodovanih pri potresih 1998 in 2004 po obdobjih izgradnje.
Table 2. Number of same buildings damaged in 1998 and 2004 earthquakes regarding the year of construction.

Posebno pozornost pa moramo nameniti tistim 22 objektom (slika 5), ki so bili v obeh potresih 1998 in 2004 znatno poškodovani (poškodbe 3. ali večje stopnje). Med temi objekti je bilo 20 v vmesnem času ustrezno ojačenih in utrjenih, pri dveh objektih pa obnova še ni bila

zaključena, zato smo jih iz nadaljnje raziskave izločili. Realna pričakovanja so bila, da so obnovljeni objekti zmožni brez znatnih poškodb prestatiti tudi močnejši potres kot je bil leta 2004. V skladu s principi potresno odporne gradnje pa so manjše poškodbe popolnoma sprejemljive tudi na ojačenih objektih.



Slika 4. Območje z največ poškodovanimi objekti in njihova porazdelitev ob potresu 1998 (levo) in ob potresu 2004 (desno) (damage grade – stopnja poškodovanosti objekta).

Figure 4. Damaged area and distribution of the damaged buildings in 1998 (left) and 2004 earthquakes (right).

Pred potresom leta 1998 je v teh 20 objektih živel 56 ljudi, po zaključku del pa se je vrnilo le 21 ljudi v 7 objektov. Ostali so, čeprav obnovljeni, samevali. Podobno je v vseh 576 objektih, poškodovanih v obeh potresih, pred potresom leta 1998 živel 2026 ljudi, po obnovi pa le še 1475. Nekdo bi lahko sklepal, da je šlo za zavestno odločitev o zmanjševanju potresne ogroženosti (ena od metod zmanjševanja potresne ogroženosti je poleg povečevanja potresne odpornosti tudi zmanjševanje števila prebivalcev v ranljivih objektih). Vendar to izseljevanje nima nobene povezave s sistematičnim zmanjševanjem potresne ogroženosti, verjetno pa predstavlja izziv za sociološko raziskavo.

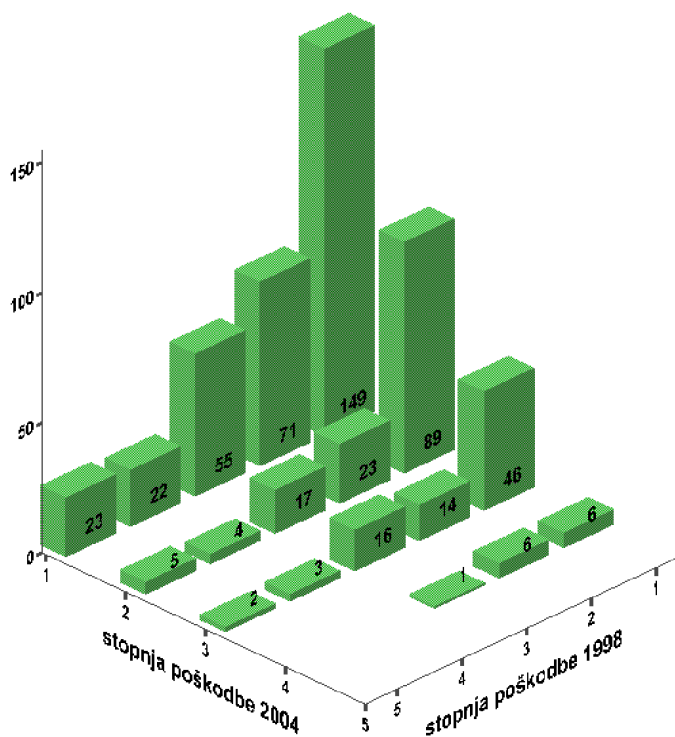
Katere so značilnosti teh dvajsetih znatno poškodovanih objektov (v obeh potresih poškodbe 3. do 5. stopnje)? To so objekti, grajeni večinoma pred letom 1940, površine 60 do 300 m². Pri večini objektov so lastniki vlagali sredstva v rekonstrukcijo oz. obnovo (16 objektov je bilo tako popravljenih že pred letom 1998, sistematično pa vsi po potresu leta 1998). Glede sestave materiala gre za značilne stare objekte na tem območju – 15 objektov ima kamnite temelje, vsi imajo kamnite ali kamnito-opečne stene, stropovi pa so pri polovici armirano-betonski, pri polovici pa leseni.

Zaključek

Potresa 1998 in 2004 pa sta podala nove podatke, ki so temeljili na terenskem ogledu in preučitvi poškodb tako na gradbenih objektih kot tudi v naravi. Nove informacije so tudi osnova za pripravo novih inženirsko geoloških, geotehničnih in seizmoloških podlag.

Iz preučitve učinkov potresov v Posočju je razvidno, da je potrebno posebno pozornost nameniti potresni odpornosti starejših objektov. Ob pregledu poškodb objektov v Posočju smo ugotovili, da je 80% pregledanih objektov grajenih pred letom 1964. Leto 1964 predstavlja mejnik pri potresno odporni gradnji, saj je bil takrat uveljavljen sodoben predpis na tem področju. Vendar to še ne pomeni, da so vsi starejši objekti potresno neodporni; mnogi imajo zadostno potresno odpornost že zaradi svoje arhitektonske zasnove, pa tudi kvalitetno izvedeni nosilni zidovi so sposobni prevzeti potresne sile. Vendar – stalno je potrebno izboljševati potresno odpornost starejših objektov – s povezovanjem zidov v višini stropne konstrukcije in zmanjševanjem nepotrebne mase objekta (kritina, polnila).

Število poškodovanih objektov



Slika 5. Objekti poškodovanih ob potresu 1998, obnovljeni in ojačeni v obdobju od 1998 do 2004 ter ponovno poškodovani pri potresu leta 2004 (ki je bil bistveno šibkejši od potresa 1998).

Figure 5. Buildings that were damaged in 1998 earthquake, strengthened in period from 1998 to 2004, and damaged again in weaker earthquake in 2004.

Posebno pozornost pa je potrebno nameniti temeljenju starejših objektov. Izkopi vzdolž temeljev starejših objektov so pogosto pokazali, da temelji niso kvalitetno izvedeni (narejeni iz nametanih večjih kosov kamena ali betona slabe kvalitete), kot tudi ne dovolj globoki.

Do nove situacije pa je prišlo po potresu leta 2004. Nesprejemljivo je, da so se močno poškodovani objekti, ki so bili že močno poškodovani ob potresu leta 1998 in kasneje ojačeni v skladu z zahtevami zakonodaje na tem področju. Ob tem je potrebno ponovno poudariti, da je bilo ob potresu leta 2004 sproščene 10 krat manj energije, kot ob potresu leta 1998.

Posebno pozornost bi bilo potrebno nameniti 20 ponovno močno poškodovanim objektom in ugotoviti vzrok. Zakaj je ponovno prišlo do močnih poškodb? So bili projekti ojačitve narejeni korektno? Je bila izvedba narejena v skladu z projekti? Je bila ojačitev sploh smiselna ali bi bilo bolj učinkovito objekte zgraditi povsem na novo? Vedno znova se pojavi tudi vprašanje, kateri predpis uporabiti pri zagotavljanju potresne odpornosti poškodovanih objektov. Pogosto je zelo težko in zelo drago z metodami ojačevanja zagotoviti takšen nivo potresne odpornosti, kot ga predpisi zahtevajo (Lagorio, 1990).

Mnogo dela bo še potrebnega, da ne bomo vedno znova presenečeni ob vsakem močnejšem potresu v potresno aktivni Sloveniji. Potresi na tem območju so bili in bodo – tudi močnejši. Najboljša zaščita pa je, ob boljšem poznavanju seizmogeoloških pogojev, potresno odporna gradnja novejših in ojačevanje starejših objektov. Vse to pa zahteva sistematično in dolgotrajno delo, pa čeprav močnejšega potresa na posameznem območju ni bilo že vrsto let.

Ocenjujemo, da ob potresu leta 2004 ne bi smelo priti do takšnega obsega poškodb na obnovljenih in ojačenih objektih. Opravljeno delo predstavlja osnovo za nadaljnje študije, v katerih bomo skušali najti vzroke ranljivosti obnovljenih in ojačenih objektov. Možni vzroki so lahko neustrezna ocena stanja posameznega objekta, neučinkovito ojačevanje objektov ali pa napake pri izdelavi projektne dokumentacije.

Literatura

- Bajc, J., Živčič, M., Jesenko, T. in Močnik, G., 1999. Potres 12. aprila 1998 v zgornjem Posočju: relokacija glavnega potresa in popotresov. Potresi v letu 1998. Uprava RS za geofiziko. 71-79, Ljubljana.
- Godec, M., Vidrih, R. in Ribičič, M., 1999. The earthquake on April 12, 1998 in the upper Soča Territory: The Engineering-Geological Structure and Damage to Buildings, Potresi v letu 1998, 145-168.
- Godec, M., Ribičič, M. in Vidrih, R. 2000. A Survey of Damage Caused by 1998 Earthquake in the Soča Valley (Slovenia), 12th World Conference on Earthquake Engineering, Book of Abstracts, Volume One, 447.
- Grunthal, G., 1998. European macroseismic scale 1998 - EMS-98, Conseil de l'Europe, Vol. 15, Centre Europeen de Geodynamique et de Seismologie, Luxembourg.
- Lagorio, H.J., 1990. Earthquakes – An Architect's Guide to Nonstructural Seismic Hazards. John Willey & sons, London.
- Ribarič, V., 1987. Seizmološka karta za povratno periodo 500 let, Zajednica za seizmologiju SFRJ, Beograd.
- Ribičič, M., Vidrih, R. in Godec, M., 2000. Seizmološki in geotehnični pogoji gradnje v zgornjem Posočju, Geologija 43/1, 115-143.
- Uprava RS za zaščito in reševanje ter Državna komisija za oceno poškodovanosti objektov Potres v Posočju, april 1998 – Izpolnjeni vprašalniki za oceno poškodovanosti in uporabnosti po potresu poškodovanih gradbenih objektov, 1998, Ljubljana – delovno gradivo.
- Vidrih, R. in Godec, M., 1998. Potres v Posočju 12. aprila 1998. Življenje in tehnika XLIX, junij 1998, Ljubljana, 59-68.

POSPEŠKI V POSOČJU OB POTRESU 12. 7. 2004 ACCELERATIONS IN POSOČJE JULY 12, 2004

Barbara Šket Motnikar, Tatjana Prosen

Izvleček. Potres 12. 7. 2004 (M=4,9) v Posočju so zabeležile potresne opazovalnice za močne potrese v Bovecu, Kobaridu in Drežnici, ki so od nadžarišča oddaljene manj kot 10 km. Takoj po potresu so bile postavljene dodatne začasne opazovalnice za merjenje popotresov. Opisane so osnovne značilnosti bližnjih potresnih opazovalnic (vrsta tal, zgradba, pritrditev instrumenta) in podani izmerjeni parametri gibanja tal. Prikazana je primerjava izmerjenih vrednosti pospeška s teoretičnim modelom pojemanja.

Abstract. The earthquake that shook the upper Soča area on July 12, 2004 (M=4.9) was registered by three nearby strong motion stations. Bovec, Kobarid and Drežnica stations are less than 10 km from the epicentre. After the main event, additional stations were set up to measure aftershocks. Main characteristics of the nearby earthquake monitoring stations are presented (soil type, station building, instrument fixation), as well as the ground motion parameters recorded. The comparison of recorded accelerations and theoretical values of attenuation models is given.

Uvod

V času julijskega potresa 2004 v Posočju je v Sloveniji delovalo 10 opazovalnic, opremljenih s pospeškometri. Po glavnem potresu smo v bližino nadžarišča postavili še 3 začasne opazovalnice za beleženje popotresov (Prosen, 2006). Po glavnem potresu je bilo v Posočju do konca leta 2004 zabeleženih še 21 popotresov z lokalno magnitudo večjo ali enako 3. V najbolj poškodovanem predelu (Čezsoči) je bil 23. 7. 2004 zabeležen popotres z magnitudo 3,0.

Zapisi pospeška glavnega potresa in številnih popotresov so bili analizirani v okviru razvojno raziskovalne naloge Uvajanje standarda Evrokod 8 v Sloveniji, Potresna obtežba, ki jo je izvedel Inštitut za konstrukcije, potresno inženirstvo in računalništvo (IKPIR). V poročilu (Fajfar in drugi, 2004) so tabelarično in grafično predstavljeni korigirani časovni zapisi in spektri pospeška, hitrosti in odmika. Analizi je dodan tudi obsežen komentar.

Izmerjene vrednosti pospeška ob glavnem potresu so nepričakovano visoke. Možni vzroki prekoračitve vrednosti projektne pospeška tal na karti potresne nevarnosti Slovenije so prikazani v prispevku (Lapajne in drugi, 2006).

Zaradi popolnejše dokumentacije v tem prispevku navajamo še nekaj novih podatkov:

- pogoji, v katerih so delovale potresne opazovalnice,
- preglednica z vrednostmi parametrov gibanja tal in
- grafična primerjava pospeškov z modeli pojemanja.

Potresne opazovalnice s pospeškomeri

Pospeškomeri so v Sloveniji večinoma nameščeni v objektih. Stavbe morajo biti nizke, toge in čim lažje, instrument pa pritrjen v tla, da zagotovimo čim manjši vpliv na zapise potresov. Poleg tega mora biti instrument čim bližje temeljem, da zabeleži čim manjši odziv stavbe. V praksi to ni vedno izvedljivo, saj moramo pri izbiri lokacije upoštevati še veliko drugih pogojev. Za stalno potresno opazovalnico potrebujemo trdna tla, čimmanj motenj v okolici (promet, hoja ipd.), električno napeljavo in telefonsko linijo za prenos podatkov. Tej se lahko odrečemo v primeru začasnih opazovalnic. Začasne opazovalnice želimo zaradi beleženja popotresov čimprej postaviti, zato pogoje za postavitev opazovalnice omilimo, kar pa lahko vpliva na zapise potresov.

V Posočju so ob prvem, najmočnejšem potresnem sunku v bližini nadžarišča delovale tri stalne potresne opazovalnice, opremljene s pospeškomeri: Bovec, Drežnica in Kobarid. Opisi in slike stavb, v katerih so nameščeni instrumenti, so bili objavljeni v publikaciji Potresi v letu 2001 (Prosen in drugi, 2003). Vrste lokalnih tal pod omenjenimi opazovalnicami so navedene v preglednici 2.

Zapis potresa 12.7.2004, 13:03 UTC s pospeškometra v Bovcu

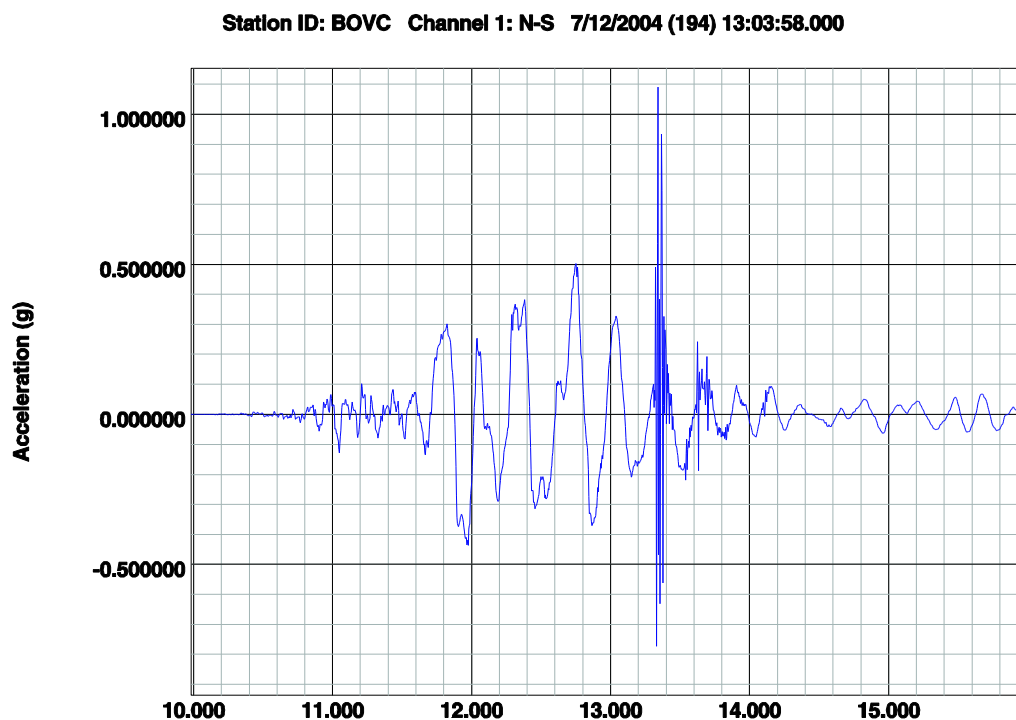
V Bovcu je instrument nameščen v pritličju knjižnice (enonadstropna stavba), kjer začasno shranjujejo odvečne knjige. Instrument je pritrjen na posebej za to zgrajen betonski podstavek.



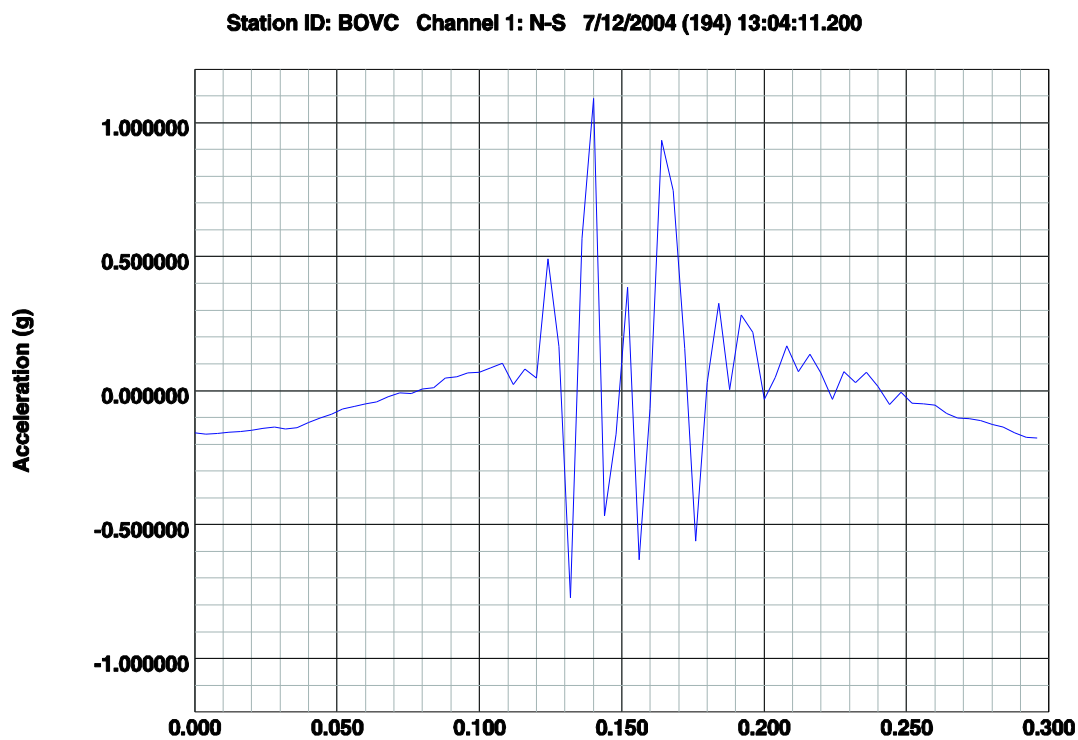
Slika 1. Pospeškometer v bovški knjižnici po potresu 12. 7. 2004. Poleg instrumenta ležijo knjige, ki so padle s polic med potresom.

Figure 1. Accelerograph in Bovec library after the July 12th earthquake. The books around it fell from the shelves during the earthquake.

Ob julijskem potresu je nekaj knjig padlo s polic, s stropa pa je odpadel tudi kos ometa (slika 1). Motnja se jasno vidi na pospeškometeru (slika 2a in 2b): je visokofrekvenčna, vsebuje velike amplitude in je kratkotrajna v primerjavi s potresom.

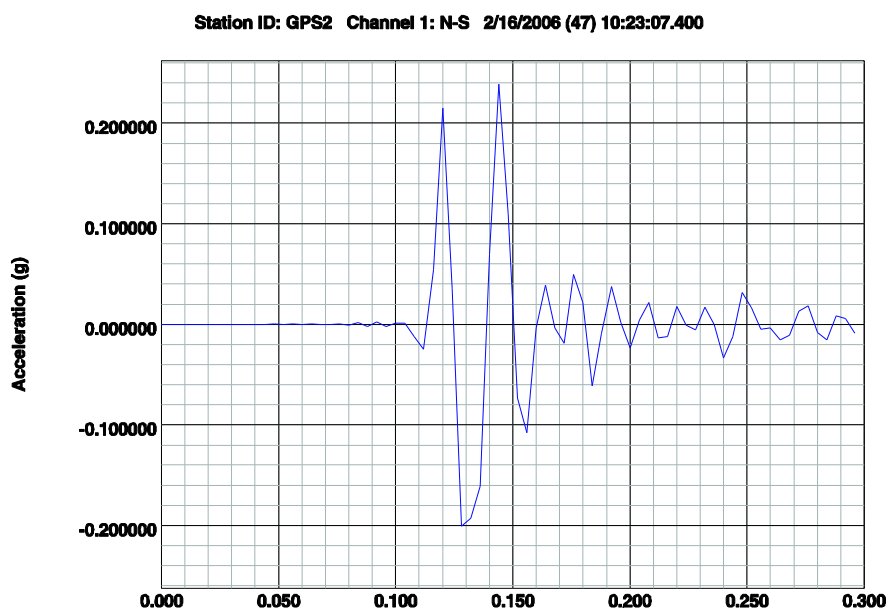


Slika 2a. Originalen zapis potresa v Posočju, zapisan z instrumentom v Bovecu.
Figure 2a. The original accelerogram of the July 12th earthquake recorded with the instrument in Bovec.



Slika 2b. Povečava motnje s slike 2a, ki je nastala ob padcu knjig med potresom 12. 7. 2004.
Figure 2b. A magnified disturbance (book fall) from the Figure 2a.

Da bi bolje razumeli vpliv padca knjige v neposredno bližino ali na instrument, smo izvedli nekaj poskusov v stavbi Astre. Knjigo smo z višine približno enega metra spustili v prvem primeru v bližini instrumenta, v drugem pa na instrument. Merili smo z instrumentom Etna sn 2133 (EpiSensor, 2g), ki je podoben instrumentu v Bovcu. Zapise smo nato obdelali s programom KMI Strong Motion Analyst (Kinematics Inc., 2004). Izkazalo se je, da so oblike in amplitude zapisov padcev knjig podobne motnjam, ki jih vsebuje zapis potresa v Bovcu (slika 3). Tipične frekvence motenj, ki jih je zapisal instrument ob padcu knjige so najbrž povezane z lokalnim odzivom tal (v Astri parket, v Bovcu beton) in ne sovpadajo s frekvencami potresa, ki nas zanimajo. Pokazali smo tudi, da z izbranim filtrom, s katerim smo odstranili motnjo s pospeškometra, zelo malo vplivamo na velikost največjega pospeška potresa.



Slika 3. Zapis pospeškov ob padcu knjig v stavbi Astre (poskus).

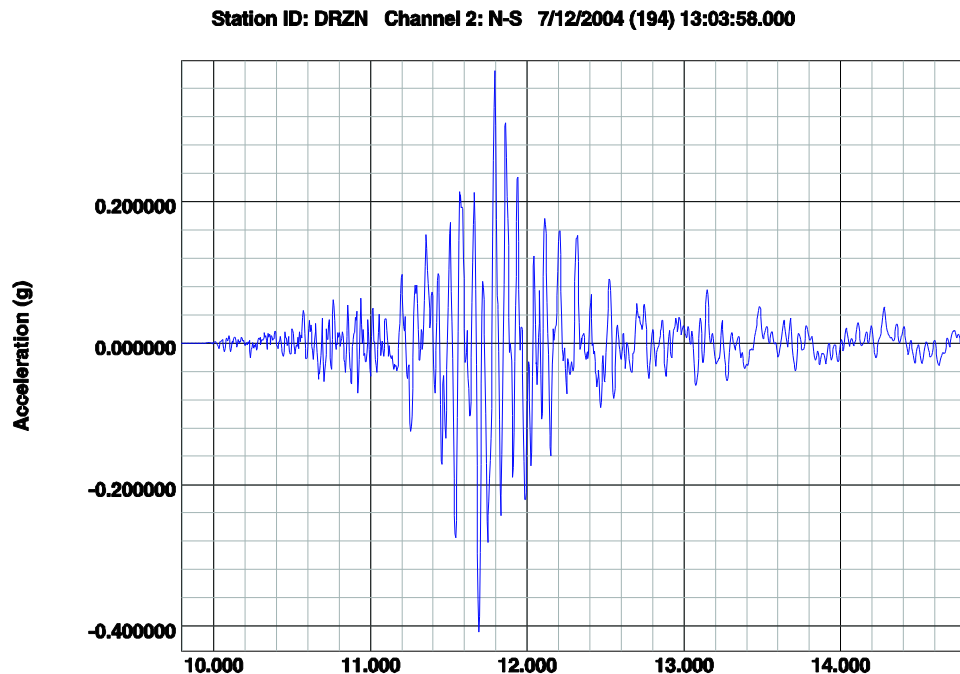
Figure 3. Accelerogram recorded during the book fall in the immediate vicinity of the accelerograph (experiment in Astra).

Zapis potresa 12.7.2004, 13:03 UTC z instrumenta v Drežnici

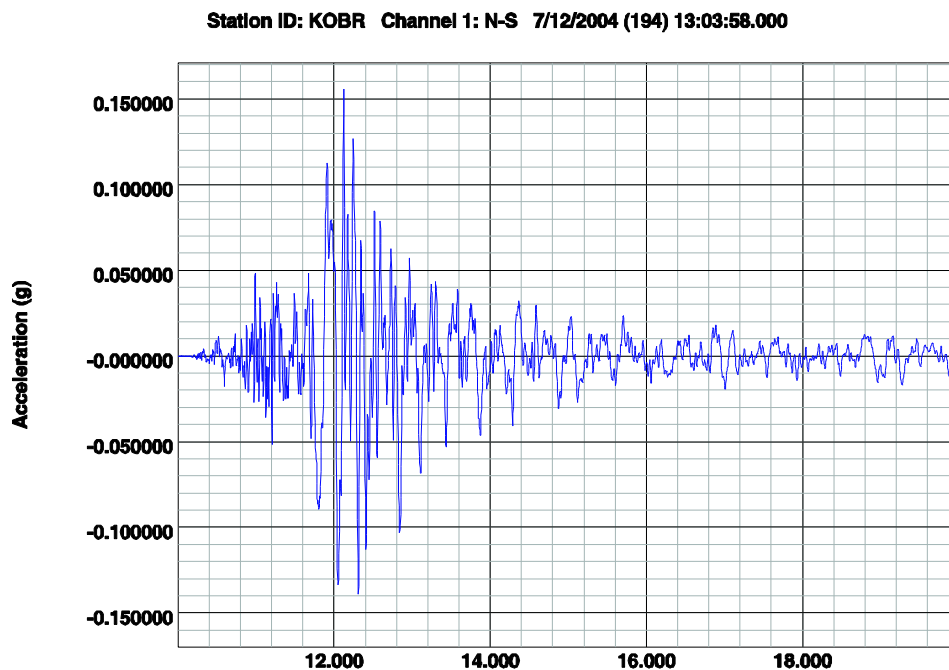
V Drežnici je instrument v mrliški vežici (pritlična stavba), ki še ni v uporabi. Ob potresu instrument ni bil pritrjen na podlago, zato je morda zdrsnil po podlagi. Da bi preverili, kako zdrs vpliva na zapise in spekter pospeškov, smo naredili poskus, pri katerem je instrument večkrat zdrsel po tleh. Poskus je pokazal, da je zdrs težko opaziti na zapisu potresa, v spektru pa povzroči skoraj enakomerno spremembo amplitud. Ne moremo biti prepričani, da do zdrsa instrumenta ob potresu 12. 7. 2004 ni prišlo, niti ne moremo povedati, kako je to vplivalo na zapis potresa. Lahko ocenimo, da visoki pospeški, zabeleženi v Drežnici niso le posledica zdrsa. Po mnenju večine slovenskih seizmologov in predstavnika proizvajalca instrumenta, je malo verjetno, da je instrument res zdrsnil. Originalni zapis potresa 12. 7. 2004, kot ga je zabeležil instrument v Drežnici, je na sliki 4.

Zapis potresa 12.7.2004, 13:03 UTC z instrumenta v Kobaridu

V Kobaridu je instrument Etna nameščen v pritličju dvonadstropne občinske stavbe in je pritrjen v betonska tla. Posebnosti na tem zapisu zato nismo pričakovali in tudi ne opazili. Originalni zapis potresa 12. 7. 2004, kot ga je zabeležil instrument v Kobaridu, je na sliki 5.



Slika 4. Originalni zapis potresa 12.7.2004 v Posočju, zapisan z instrumentom v Drežnici.
Figure 4. The original accelerogram of the July 12th earthquake recorded by the instrument in Drežnica.



Slika 5. Originalni zapis potresa 12.7.2004 v Posočju, zapisan z instrumentom v Kobaridu.
Figure 5. The original accelerogram of the July 12th earthquake recorded by the instrument in Kobarid.

Parametri gibanja tal

V preglednici 1 so podani parametri gibanja tal na bližnjih opazovalnicah, ki so bili izračunani s programom Proshake (EduPro Civil Systems, 2003). Opredelitev parametrov je povzeta iz uporabniškega priročnika.

Vršni pospešek $a(t)$ (hitrost, odmik) je največja absolutna vrednost pospeška (hitrosti, odmika) v zapisu akcelerograma.

Intenziteta odzivnega spektra SI zajame tisto območje pseudo odzivnega spektra hitrosti PSV (pseudo spectral velocity), ki je najbolj pomembno za zgradbe (npr. Reiter, 1990):

$$SI(\xi) = \int_{0.1}^{2.5} PSV(\xi, T) dT$$

Prevladujoč nihajni čas je čas, pri katerem ima Fourierjev spekter največjo vrednost.

Povprečen nihajni čas izračunamo kot uteženo povprečje vrednosti v Fourierjevem spektru med frekvencama 0,25 in 20 Hz.

Trajanje pospeška nad izbranim pragom je časovni interval med prvo in zadnjo prekoračitvijo pospeška 0,05 g.

Trajanje potresa po Trifuncu je časovni interval, ki je opredeljen s točkama, pri katerih se sprosti 5 % in 95 % energije.

RMS pospešek a_{RMS} v enem parametru vključuje tako vpliv amplitude kot tudi frekvenčni sestav akcelerograma:

$$a_{RMS} = \sqrt{\frac{1}{T_d} \int_0^{T_d} [a(t)]^2 dt}$$

, kjer je T_d trajanje potresa po Trifuncu.

Ariasova intenziteta I_a prav tako vsebuje amplitudo in frekvenčni sestav potresa, integriramo pa čez celotni časovni integral:

$$I_a = \frac{\pi}{2g} \int_0^{\infty} [a(t)]^2 dt$$

Karakteristična intenziteta I_c je opredeljena z

$$I_c = a_{RMS}^{1.5} \cdot T_d^{0.5}$$

Primerjava izmerjenih in modelnih vrednosti

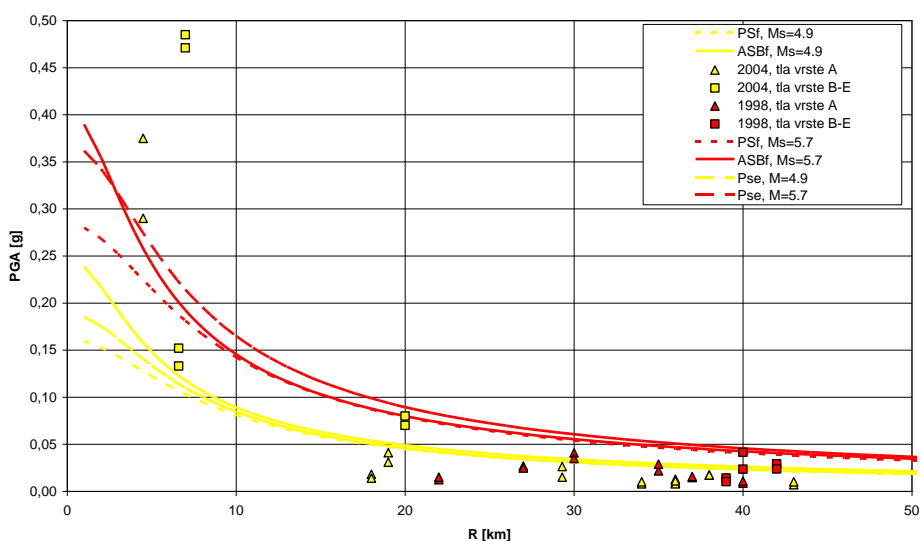
Ob potresu leta 1998 v Posočju ni bilo potresnih opazovalnic. Izmerjeni pospeški na oddaljenih opazovalnicah so bili vsi manjši kot teoretične vrednosti na uveljavljenih modelih

pojemanja (Peruš in sod., 1999), ki prikazujejo povprečno odvisnost med pospeškom in oddaljenostjo pri dani magnitudi. V Sloveniji največkrat uporabljamo model pojemanja PS (Sabetta in Pugliese, 1996), včasih pa tudi evropski model ASB (Ambraseys in drugi, 1996).

potresna opazovalnica / earthquake station:	12. 7. 2004						23. 7. 2004	
	Bovec		Drežnica		Kobarid		Čezsoča	
	E	N	E	N	E	N	E	N
vršni pospešek / peak acceleration (g):	0.47	0.48	0.29	0.38	0.13	0.15	0.07	0.11
vršna hitrost / peak velocity (m/sec)	0.17	0.29	0.06	0.09	0.08	0.06	0.01	0.02
vršni odmik / peak displacement (cm)	0.95	2.08	0.36	0.47	0.57	0.34	0.04	0.04
rms pospešek / rms acceleration (g):	0.21	0.22	0.07	0.10	0.03	0.04	0.02	0.02
ariasova intenziteta / arias intensity (m/sec):	1.22	1.52	0.20	0.30	0.10	0.09	0.01	0.01
intenziteta odzivnega spektra / response spectrum intensity (g2):	1.00	2.13	0.34	0.38	0.56	0.38	0.04	0.03
prevladujoč nihajni čas / predominant period (sec):	0.22	0.31	0.18	0.07	0.30	0.34	0.12	0.18
povprečen nihajni čas / mean period (sec):	0.23	0.32	0.13	0.12	0.31	0.22	0.13	0.11
trajanje pospeška nad izbranim pragom / bracketed duration (sec):	5.58	5.28	2.24	2.29	1.74	1.36	0.13	0.09
trajanje po trifuncu (glede na energijo) / trifunac duration (sec):	1.61	1.87	2.27	1.70	5.71	4.22	1.25	1.00
spektralni pospešek pri 0,3 s / spectral acceleration at 0.3 sec (g):	1.14	1.85	0.14	0.31	0.41	0.30	0.03	0.03
spektralni pospešek pri 1,0 s / spectral acceleration at 1.0 sec (g):	0.07	0.20	0.04	0.04	0.06	0.04	0.00	0.00
karakteristična intenziteta / chracteristic intensity (g1.5 x sec0.5):	0.12	0.14	0.03	0.04	0.01	0.01	0.00	0.00

Preglednica 1. Parametri gibanja tal na bližnjih opazovalnicah.

Table 1. Ground motion parameters recorded on stations in Posočje.



Slika 6. Izmerjene vrednosti vodoravnega pospeška tal ob glavnih potresih v Posočju leta 1998 in 2004 ter primerjava z modeloma pojemanja.

Figure 6. Instrumental values of horizontal ground acceleration at main Posočje events in 1998 and 2004, and comparison with attenuation models.

12. 7. 2004			PGA [g]		
opazovalnica / station	vrsta tal / soil type	razdalja / distance [km]	Z	N	E
DRZN	A	5	0.277	0.375	0.290
VINO	A	18	0.019	0.018	0.014
MASA	A	19	0.016	0.041	0.031
GORS	A	29	0.016	0.026	0.015
MOG	A	34	0.005	0.008	0.010
GEPF	A	36	0.008	0.013	0.008
MOSTE	A	36	0.000	0.009	0.011
SOLKAN	A	38	0.012	0.017	0.017
CESC	A	43	0.008	0.007	0.010
PRAD	A	55	0.004	0.004	0.003
TRI	A	67	0.001	0.001	0.001
DST	A	73	0.002	0.002	0.003
LJU	A	76	0.002	0.013	0.006
BOGE	A	101	0.001	0.003	0.002
GOTE	A	116	0.001	0.001	0.001
BOJS	A	154	0.001	0.001	0.001
KOGS	A	205	0.000	0.001	0.001
KOBR	B	7	0.125	0.152	0.133
FGG	B	73	0.003	0.011	0.009
NEKS	B	153	0.002	0.003	0.003
BOVC	B / E	7	0.211	0.485	0.471
STOL	B / E	20	0.030	0.080	0.070
CARC	B-E	73	0.006	0.006	0.003
DOLA	E	85	0.002	0.004	0.005

Preglednica 2. Izmerjene vrednosti pospeška tal, vrsta tal po EC8 in oddaljenost opazovalnice.

Table 2. Instrumental values of ground acceleration, EC8 soil type and distance.

Pospeski ob potresu 2004 so bili na bližnjih opazovalnicah višji kot modelne vrednosti. Na sliki 6 so prikazane izmerjene vrednosti vršnega pospeška, nadžariščna oddaljenost ter vrsta tal za oba glavna potresa ter oba omenjena modela pojemanja. V modelih pojemanja je upoštevana oddaljenost od preloma (oznaka *f*) oziroma nadžariščna oddaljenost (oznaka *e*). Podatki za potres leta 2004 so prikazani tudi v preglednici 2. Poleg podatkov ARSO smo vključili tudi meritve pospeškov na pregradah, ki jih je posredoval IZIIS in podatke bližnjih italijanskih opazovalnic, ki so objavljeni na svetovnem spletu.

Zaključek

Vrednosti izmerjenih pospeškov na bližnjih opazovalnicah v Posočju ob potresu 12. 7. 2004 so bile glede na zmerno magnitudo potresa nepričakovano visoke in so daleč presegle tudi vrednosti na uveljavljenih modelih pojemanja. Največji pospešek je bil izmerjen v Bovcu v

stavbi knjižnice. Zaradi poškodb stropa stavbe in zaradi padca knjig so izmerjene vrednosti popačene, vendar so poskusi pokazali, da smo nezaželen vpliv večinoma odpravili z običajno korekcijo zapisa. Instrument v Drežnici je postavljen v mrliški vežici, a ni pritrjen v tla. Morebiten zdrs instrumenta ob potresu bi lahko spremenil vrednosti pospeška. Po zagotovilih proizvajalca instrumenta, ki je pregledal zapis pospeška, je bil zdrs sicer malo verjeten, a ga z gotovostjo vendarle ne moremo zanikati.

Zapise pospeška smo ustrezno korigirali, vendar vršne vrednosti pospeška ne moremo enačiti z efektivnim pospeškom tal, ker so bile visoke vrednosti zelo kratkotrajne. Povzročena škoda ni bila sorazmerna pospešku, je pa bila pričakovana glede na zmerno magnitudo potresa.

Literatura

- Ambraseys, N. N., Simpson K. A., Bommer J. J., 1996. Prediction of horizontal response spectra in Europe, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 25, 371-400.
- EduPro Civil Systems Inc., 2003. Proshake, Ground Response Analysis Program, Version 1.12 and User's Manual Version 1.1, Washington.
- Fajfar, P., Dolšek, P., Fischinger, M., Peruš, I., Poljanšek, K., 2004. Uvajanje standarda Evrokod 8 v Sloveniji, Potresna obtežba, Raziskovalno-razvojna naloga, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Inštitut za konstrukcije, potresno inženirstvo in računalništvo.
- Kinematics Inc., KMI Strong Motion Analyst, 2004.
- Lapajne, J., Šket Motnikar, B., Zupančič, P., 2006. Potresi v Posočju in karta potresne nevarnosti Slovenije. Potresi v letu 2004 (ur. R. Vidrih), ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 114-131.
- Peruš, I., Šket, B., Fajfar, P., Lapajne, J., 1999. Potres 12. aprila 1998 v zgornjem Posočju, Analiza gibanja tal, Potresi v letu 1998 (ur. J. Lapajne), Uprava RS za geofiziko.
- Prosen, T., Gostinčar, M., Godec, M., 2003. Akceleroграфи slovenske mreže potresnih opazovalnic. Potresi v letu 2001 (ur. R. Vidrih), ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 47-57.
- Prosen, T. : Akceleroграфи slovenske mreže potresnih opazovalnic v letu 2004. Potresi v letu 2004 (ur. R. Vidrih), ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 185-188.
- Reiter, L., 1990. *Earthquake Hazard Analysis*, Columbia University Press, New York, 254 str.
- Sabetta, F., and A. Pugliese, 1996. Estimation of response spectra and simulation of nonstationary earthquake ground motions, *Bull. Seism. Soc. Am.* 86, 337-352.
- <http://www.dst.units.it/STR2001/SOCA2004/> (podatki italijanskih opazovalnic)

POTRESI V POSOČJU IN KARTA POTRESNE NEVARNOSTI SLOVENIJE

EARTHQUAKES IN POSOČJE AND SEISMIC HAZARD MAP OF SLOVENIA

Janez Lapajne, Barbara Šket Motnikar, Polona Zupančič

Izvleček. V zadnjih treh desetletjih so se tla v zgornjem Posočju močno stresla v letih 1976, 1998 in 2004. Poškodbe hiš v zadnjem, v primerjavi s predhodnimi potresi najšibkejšim potresom, sta pri prizadetem prebivalstvu vzbudila sum v opredeljeno velikost potresa in v ustreznost dotedanje popotresne obnove. O oceni velikosti potresa seveda ne gre dvomiti. Poškodbe hiš, ki so v prejšnjih potresih ostale navidez nepoškodovane, je mogoče ob upoštevanju posebnosti nekaterih vzrokov pojasniti tudi s predpostavko, da se je tem in seveda tudi drugim hišam v preteklih potresih bistveno zmanjšala potresna odpornost, čeprav se to takrat ni odrazilo na vidnih poškodbah. Podoben zaključek velja tudi za nekatere delno utrjene hiše v popotresni obnovi. V strokovnih krogih pa je sicer kratkotrajno, a razmeroma močno gibanje tal, ki so ga zabeležili instrumenti med potresom leta 2004 v Bovcu in Drežnici in pogostost močnih potresov v zadnjem času v zgornjem Posočju, izpostavilo vprašanje o vzrokih takega gibanja in o morebitni potrebi po popravku karte projektne pospeška tal. Glede na opredelitve v evropskem standardu EC8-1, so bile namreč na obeh lokacijah izmerjene vrednosti vršnega pospeška tal in vrednosti spektralnega pospeška pri majhnih nihajnih časih večje od projektnih vrednosti. Zaskrbljujoče je zlasti prekoračenje v Bovcu, kjer se je to zgodilo v območju nihajnega časa med 0,1 s in 0,4 s, ki se ravno prekriva z območjem lastnega nihajnega časa najpogostejših stavb na obravnavanem ozemlju. Kot kažejo analize potresnih zapisov, je velike vrednosti pospeška mogoče pripisati učinku lokalnih tal ter vplivu bližine in še posebej usmerjenosti potresnega prelomnega pretrga. Zaradi postavitve instrumentov v najetih prostorih so možne tudi napake meritev (padec predmetov na instrument, zdrs instrumenta). Ocenjena intenziteta VI-VII EMS, ki temelji na oceni poškodb objektov, pa ne kaže na prekoračenje »efektivnih« vrednosti vršnega pospeška tal, ki so povezane z odzivom konstrukcij zgradb in njihovimi poškodbami.

Abstract. In the last three decades the Upper Soča valley region was affected by earthquakes in 1976, 1998 and 2004. The epicenter of 12 July 2004 earthquake ($M_{LV}=4.9$, intensity VI-VII EMS) almost coincided with the one of 1998 ($M_S=5.7$, intensity VII-VIII EMS) and caused some damage to the buildings reconstructed after the 1998 earthquake and also to some buildings that didn't suffer visible damage by previous stronger earthquakes in 1976 and 1998. Two out of three instruments installed in the epicentral area recorded high accelerations (Bovec N-S component 0.485 g, Drežnica N-S component 0.375 g). Although higher values appeared at short periods, they exceeded the official EC8-1 design ground acceleration values for 475-years return period. Such high values and damage distribution can be explained by several causes: increased vulnerability of buildings, local site effects, near-field and fault directivity effect. Recording high uncertainties and measurement errors are also possible due to the installation of instruments in the rented buildings (objects falling on the instrument, slide of instrument). However, the intensity also does not support the exceedance of effective values of ground acceleration.

Uvod

V zadnjih treh desetletjih se je zahodna Slovenija večkrat močno zatresla. Leta 1976 se je to zgodilo v vrsti potresnih sunkov v maju (najmočnejši 6. maja z magnitudo 6,4) in v septembru (najmočnejši 15. septembra z magnitudo 6,1). Takrat je sicer bilo žarišče potresov v sosednji Furlaniji, kjer je bilo precej smrtnih žrtev, zaradi velike moči glavnega potresa in nekaterih popotresov pa so bila zelo poškodovana tudi mesta in vasi v zgornjem Posočju. 12.

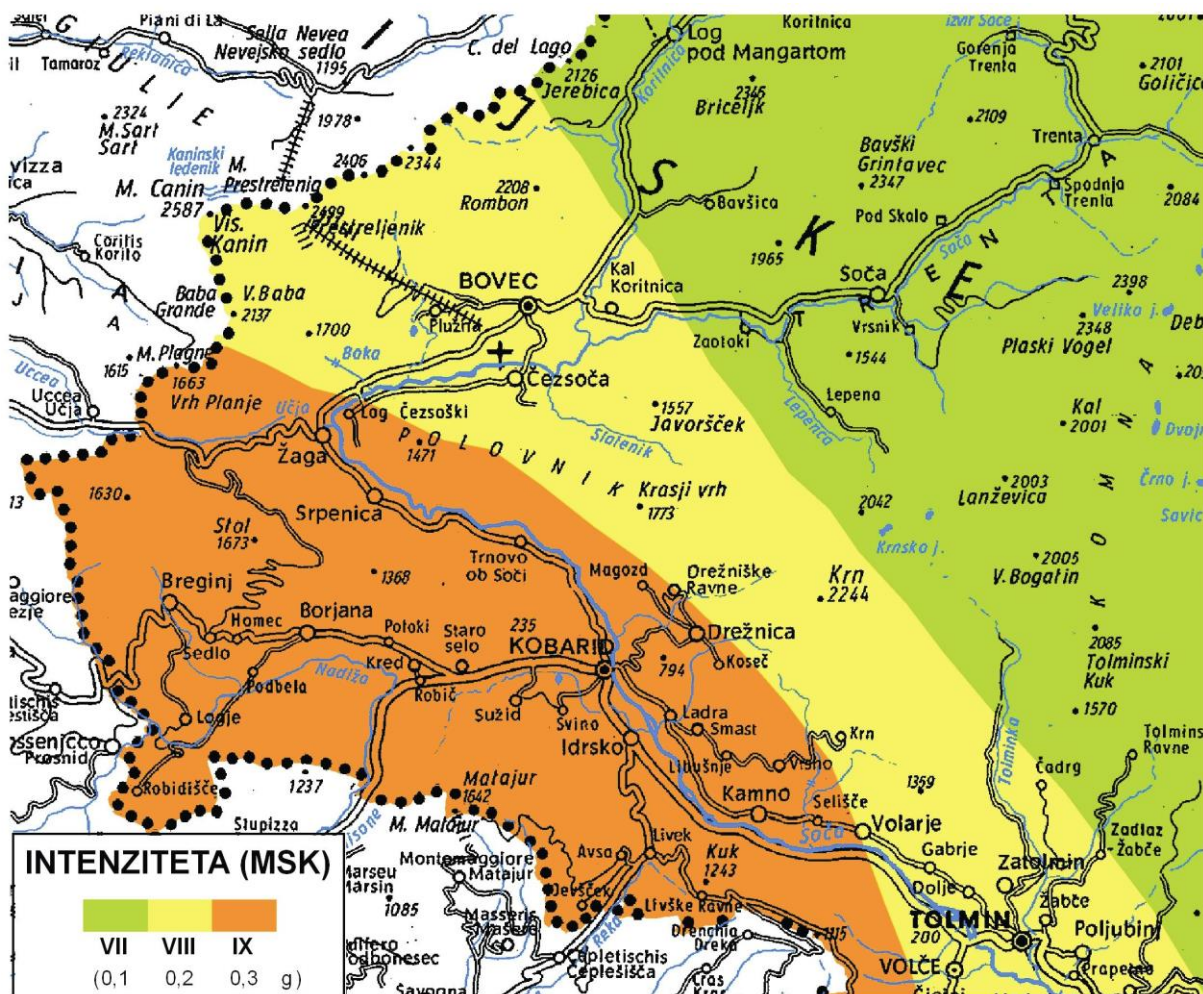
aprila 1998 in 12. julija 2004 je bilo žarišče potresov v globinah Krnskega pogorja, zato sta dva potresa (ki so jima sledili številni popotresi) kljub manjši moči (magnituda 5,7 leta 1998 in 4,9 leta 2004) tudi imela hude posledice v tem delu Posočja. Ti potresi, ki so bili podrobno opisani v številnih člankih, podatke pa je mogoče najti tudi na medmrežju, niso predmet obravnavanja v tem prispevku. Nas zanimajo nekateri pojavi ob potresu leta 2004, ki glede na velikost potresa niso bili v skladu s pričakovanji in so presenetili laično in strokovno javnost. Pojavila so se vprašanja, ki zadevajo razumevanje potresnega dogajanja v bližini potresnega prelomnega pretrga in poškodbe objektov v povezavi z ocenjevanjem potresne nevarnosti na širšem nadžariščnem območju.

Projektiranje navadnih objektov v Sloveniji in s tem tudi v Posočju urejata dva dokumenta: še vedno veljavni Pravilnik o tehničnih normativih za graditev objektov visoke gradnje na seizmičnih območjih (UL SFRJ, 1981) in evropski standard Eurocode 8, 1. del, v nadaljevanju označen kot EC8-1 (CEN, 2004), ki je trenutno v postopku sprejemanja in ki je bil že v različici evropskega predstandarda (CEN, 1994) sprejet leta 1995 kot predstandard po metodi platnice, nato preveden in uradno sprejet kot slovenski predstandard (URSSM, 2000; SIS, 2001). Pravilnik se od leta 1990 (UL SFRJ, 1990) dalje opira na leta 1987 izdelano karto potresne intenzitete (avtor V. Ribarič) po lestvici MSK za povratno dobo 500 let. Intenzitete na karti se nanašajo na povprečne značilnosti tal danega območja intenzitete. EC8-1 pa temelji na karti projektnega pospeška za trdna tla za povratno dobo 475 let (Lapajne in drugi, 2001ab; 2002).

Intenzitete MSK na karti so bile po uveljavitvi nove evropske potresne lestvice EMS - European Macroseismic Scale (Grünthal urednik, 1993; 1998) v praksi privzete tudi kot intenzitete EMS, čeprav so vrednosti EMS zamaknjene; po naši oceni so manjše za približno polovico stopnje. Lestvica EMS je posodobljena lestvica MSK, v kateri je opis posameznih stopenj bolj dodelan, posebej kar zadeva poškodbe objektov. Pred izidom karte projektnega pospeška tal leta 2001 je potresno odporno projektiranje navadnih objektov po slovenskem predstandardu temeljilo na omenjeni karti intenzitete, pri čemer so bile vrednostim intenzitete prirejene ustrezne vrednosti projektnega pospeška tal (URSSM, 2000) in sicer: intenziteti VI pospešek 0,05 g, intenziteti VII pospešek 0,10 g, intenziteti VIII pospešek 0,20 g in intenziteti IX pospešek 0,30 g. Te vrednosti (razen za intenziteto IX, kateri je v lestvici MSK prirejen pospešek 0,4 g) so bile povzete po prireditvi pospeška intenziteti, ki so jo predlagali avtorji lestvice MSK-76 (Medvedev, 1977). Lestvica EMS za razliko od lestvice MSK v svojem opisu ne vključuje povezave med intenziteto in pospeškom. Avtorji posebej poudarjajo, da je povezava med intenziteto in pospeškom le približna; posamezni intenziteti lahko namreč priredimo velik razpon njegovih vrednosti, določitev efektivnih vrednosti pa ni niti preprosta niti enolična. Poleg tega pospešek tal ni najpomembnejša posamezna fizikalna veličina, ki vpliva na intenziteto. Zaradi velikega števila instrumentov, postavljenih v bližini močnejših potresov, je znanje o največjih možnih pospeških v zadnjih dvajsetih letih precej napredovalo.

Potres 12. aprila 1998 in potresna intenziteta

Slika 1 kaže omenjeno uradno karto potresne intenzitete in njej prirejenega projektnega pospeška tal za območje, ki so ga prizadeli potresi leta 1976, 1998 in 2004. Iz slike 1 je razvidno, da je ožjemu območju Bovca pripisana intenziteta VIII MSK oziroma projektni pospešek 0,20 g, širši okolici pa VII-IX MSK oziroma projektni pospešek 0,10-0,30 g. Kot je bilo že omenjeno, se intenziteta nanaša na povprečne značilnosti tal danega območja intenzitete, kar velja tudi za njej prirejeni pospešek.



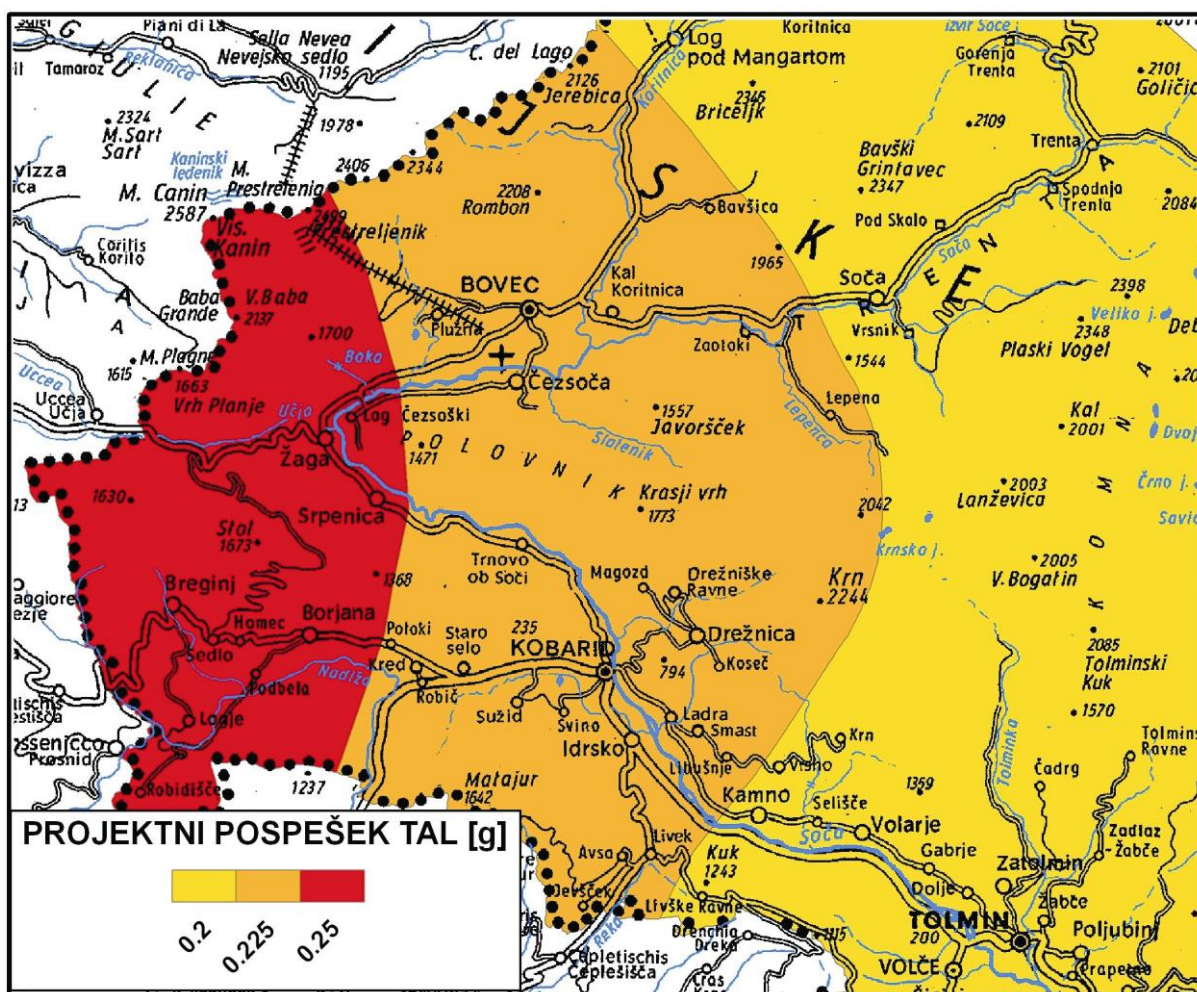
Slika 1. Karta intenzitete in njej prirejenega projektnega pospeška tal za povratno dobo 500 let - izsek za zgornje Posočje (UL SFRJ, 1990).

Figure 1. Upper Soča valley part of intensity map and attributed design ground acceleration for 500 years return period (UL SFRJ, 1990).

Potres 12. aprila 1998 z magnitudo 5,7 je dosegel največjo intenziteto VII-VIII EMS (Zupančič in drugi, 2001; Živčič in drugi, 1999) na območju Bovca in okolice. Instrumentalnih zapisov z ožjega potresnega območja v času glavnega potresa ni, ker takrat ni bilo instrumentov na tem območju. Zato ni podatkov o tem, kakšni so bili fizikalni parametri gibanja tal, npr. vršni pospešek tal (PGA) in spektralni pospešek (S_a). Glede na ocenjeno intenziteto in omenjeno povezavo med intenziteto in efektivnimi vrednostmi vršnega pospeška tal pa naj bi bil ta med 0,10 g in 0,20 g. To domnevo je upravičeval tudi na analizi poškodb neutrujenih stavb

temelječi zaključek, "da vrednosti efektivnih pospeškov tal med potresom 12. aprila 1998 niso presegle vrednosti 0,15 g, kar je nekoliko manj, kot je vrednost računskega pospeška tal, ki ga zahteva Eurocode 8 za preverjanje potresne odpornosti konstrukcij na območjih, kjer lahko pričakujemo potrese VIII. stopnje jakosti po EMS lestvici ($a_g = 0,2 \text{ g}$)." (Tomažević in drugi, 1999). Groba ocena vrednosti efektivnega pospeška v nadžarišču na podlagi ocenjene intenzitete in modeliranja pojemanja je dala prav tako vrednost 0,15 g (Peruš in drugi, 1999).

Potres v zgornjem Posočju leta 1998 zato ni vzpodbudil nobenih kritičnih vprašanj glede učinkov potresa in ocenjenega projektne pospeška tal, ki je bil opredeljen z intenziteto MSK na uradno veljavni karti. Potres tudi ni vnesel dvomov o ustreznosti potresne sanacije hiš po potresu leta 1976, saj so strokovnjaki za sanacije ugotovili: "Analiza obnašanja kamnitih hiš med potresom 12. aprila 1998 je pokazala, da so hiše, ki so bile po potresih leta 1976 v celoti utrjene z upoštevanjem takrat pripravljenih tehničnih navodil, potres leta 1998 prestale brez poškodb ali pa so na njih nastale le manjše, nepomembne poškodbe. Potres leta 1998 pa je bil dovolj močan, da je na območju z največjo jakostjo povzročil hude poškodbe na hišah, ki sploh niso bile utrjene, ali pa ukrepi za utrjevanje niso bili sistematično v celoti izvedeni." (Tomažević in drugi, 1999).



Slika 2. Karta projektne pospeška tal za povratno dobo 475 let - izsek za zgornje Posočje (Lapajne in sod., 2001b).

Figure 2. Upper Soča valley part of design ground acceleration map for 475 years return period (Lapajne et al., 2001b).

Potres 12. julija 2004 in projektni pospešek tal

Slika 2 kaže uradno karto projektnega pospeška tal za območje, ki je bilo prizadeto v potresih v zadnjih treh desetletjih. Iz slike je razvidno, da je ožjemu območju Bovca pripisan projektni pospešek tal 0,225 g, širši okolici pa od 0,200-0,250 g. Pri tem se projektni pospešek tal nanaša na trdna tla tipa A po EC8-1. Za primerjavo karte intenzitete in karte projektnega pospeška so v preglednici 1 prikazane njune glavne lastnosti.

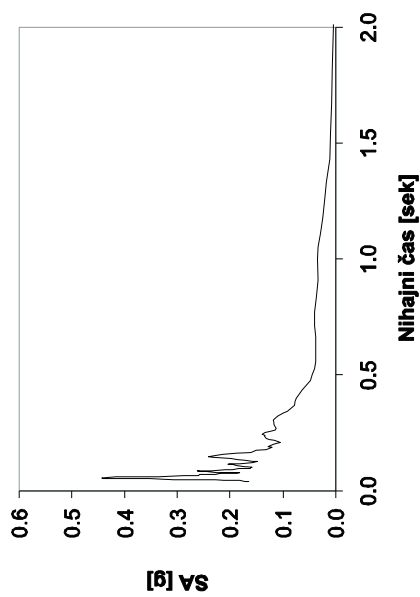
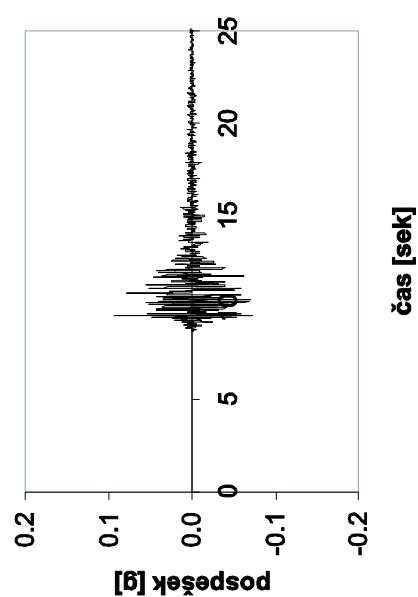
Preglednica 1. Primerjava lastnosti kart intenzitete in projektnega pospeška tal.

	KARTA INTENZITETE MSK	KARTA PROJEKTNEGA POSPEŠKA TAL
POVRATNA DOBA	500 LET	475 LET
LETNA VERJETNOST PREKORAČITVE	0,0020	0,0021
50-LETNA VERJETNOST PREKORAČITVE	9,5 %	10 %
TLA	POVPREČNE ZNAČILNOSTI TAL DANEGA OBMOČJA	TIP A PO EC8-1
PROJEKTNI PARAMETER	INTENZITETA MSK	PROJEKTNI POSPEŠEK TAL
PROJEKTNI PARAMETER NA OBMOČJU BOVCA	INTENZITETA: VIII MSK ALI 0,200 G	PROJEKTNI POSPEŠEK TAL: 0,225 G

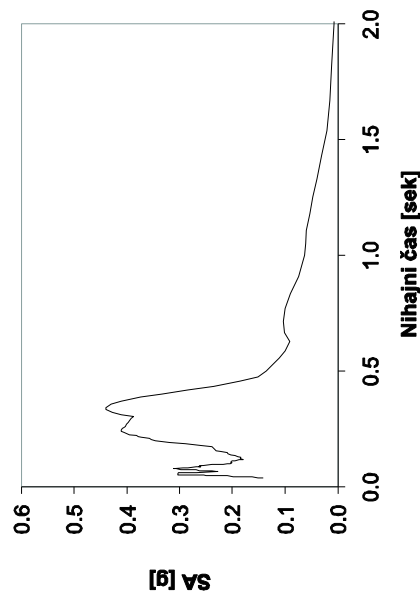
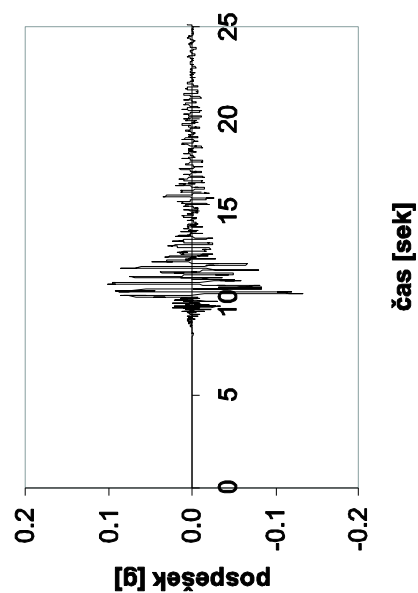
Table 1. Comparison of intensity and design ground acceleration map characteristics.

	MSK INTENSITY MAP	DESIGN GROUND ACCELERATION MAP
RETURN PERIOD	500 YEARS	475 YEARS
ANNUAL PROBABILITY OF EXCEEDANCE	0.0020	0,0021
50-YEAR PROBABILITY OF EXCEEDANCE	9.5 %	10 %
SOIL	AVERAGE SOIL CHARACTERISTIC IN THE GIVEN ZONE	SOIL TYPE A ACCORDING TO EC8-1
PROJECT PARAMETER	MSK INTENSITY	DESIGN GROUND ACCELERATION
PROJECT PARAMETER VALUE IN BOVEC	VIII MSK OR 0.200 G	0.225 G

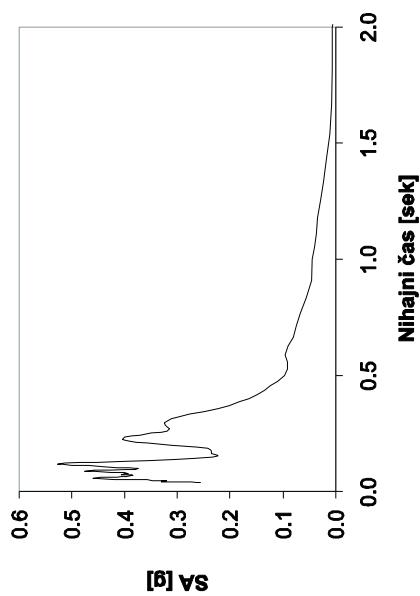
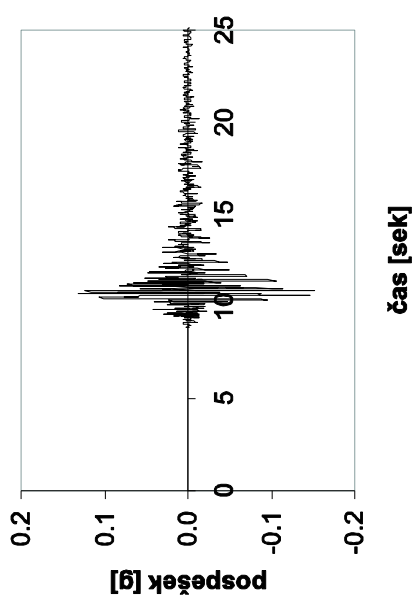
Iz zadnje vrstice v preglednici je razvidno, da je za Bovec vrednost projektnega pospeška tal 0,225 g na varnejši strani kot vrednost intenzitete VIII MSK, saj je slednji prirejena vrednost pospeška 0,200 g. Razlika pa je dejansko še večja, če upoštevamo še različna tla, na katera se nanaša ena in druga karta. V Posočju so najpogostejša tla tipa A, B in E, na katere se nanaša karta intenzitete, karta projektnega pospeška pa je narejena za tla tipa A po EC8-1 (CEN, 2004). Vrednosti faktorja tal v EC8-1 so 1, 1,2 in 1,4 (za A, B in E). Po slovenskem nacionalnem dodatku, ki pa še ni uradno veljaven, je za tip tal E predlagan celo faktor 1,7. Pripadajoč projektni pospešek za različne tipe tal na območju Bovca je torej 0,225, 0,270 in 0,315 (oz. 0.383) g. Te pospeške je torej treba primerjati z vrednostjo 0,200 g, ki izhaja iz karte intenzitete. Vrednost na karti projektnega pospeška tal je torej z upoštevanjem tipa tal dejansko za 12 – 58 % večja od vrednosti, ki izhaja iz karte intenzitete.



Vertikalna komponenta

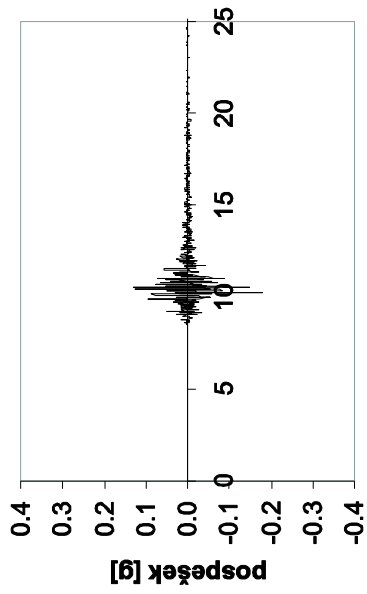


E-W komponenta

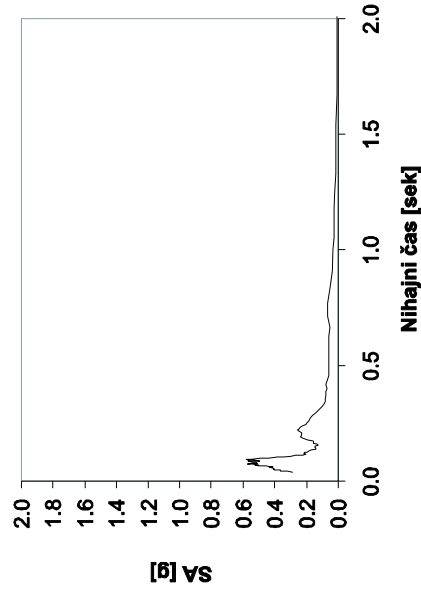


N-S komponenta

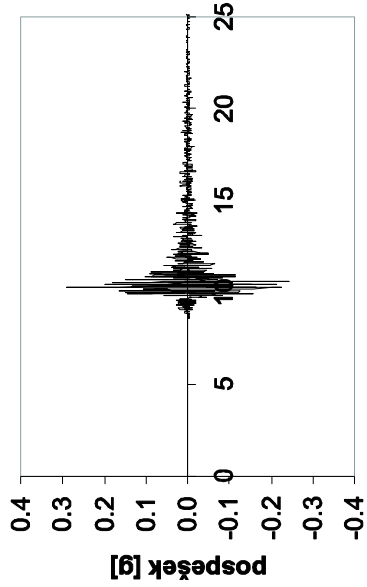
Kobarid



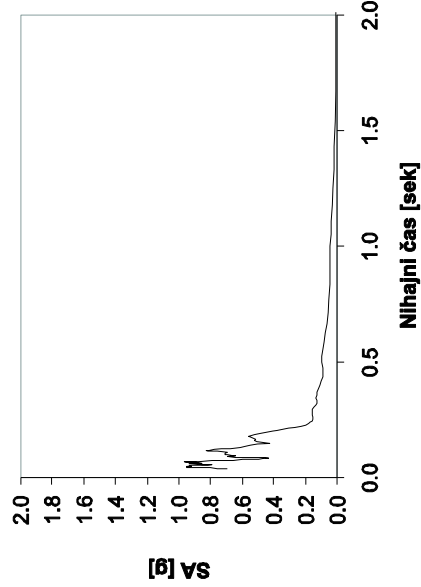
čas [sek]



Vertikalna komponenta

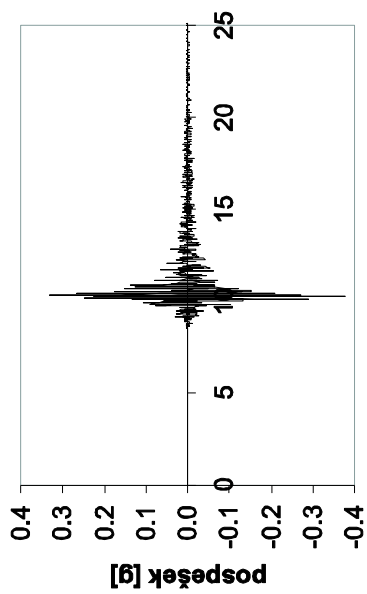


čas [sek]

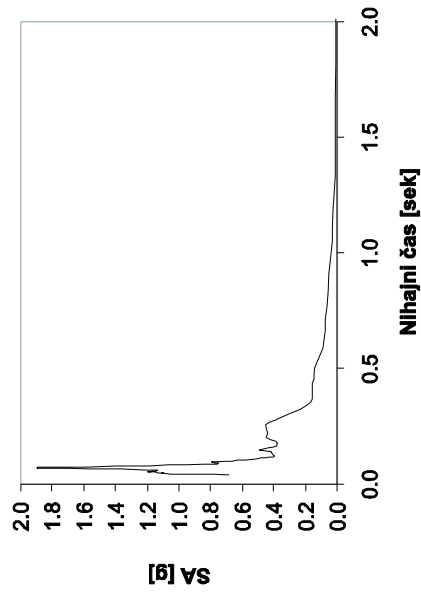


E-W komponenta

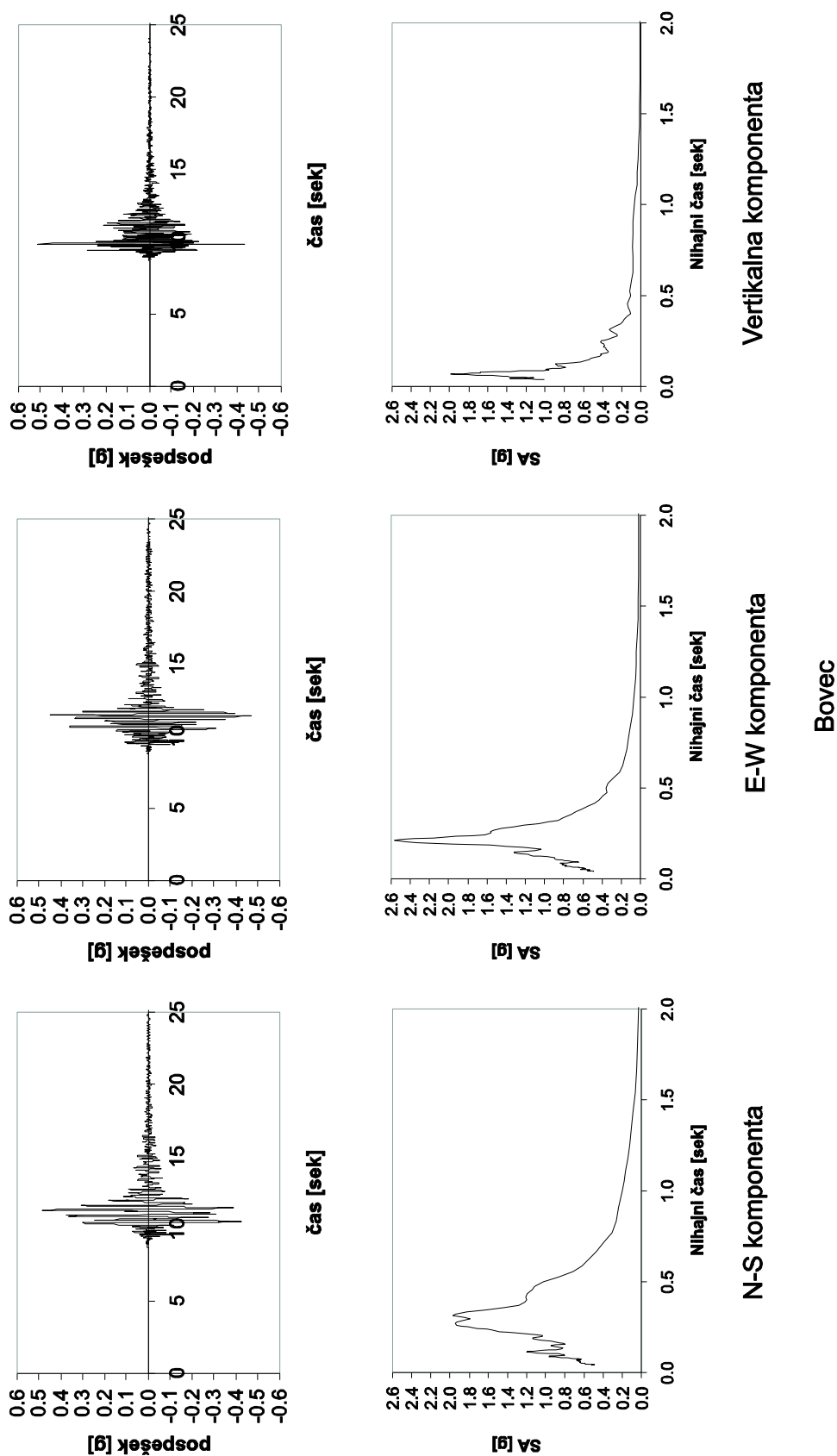
Drežnica



čas [sek]



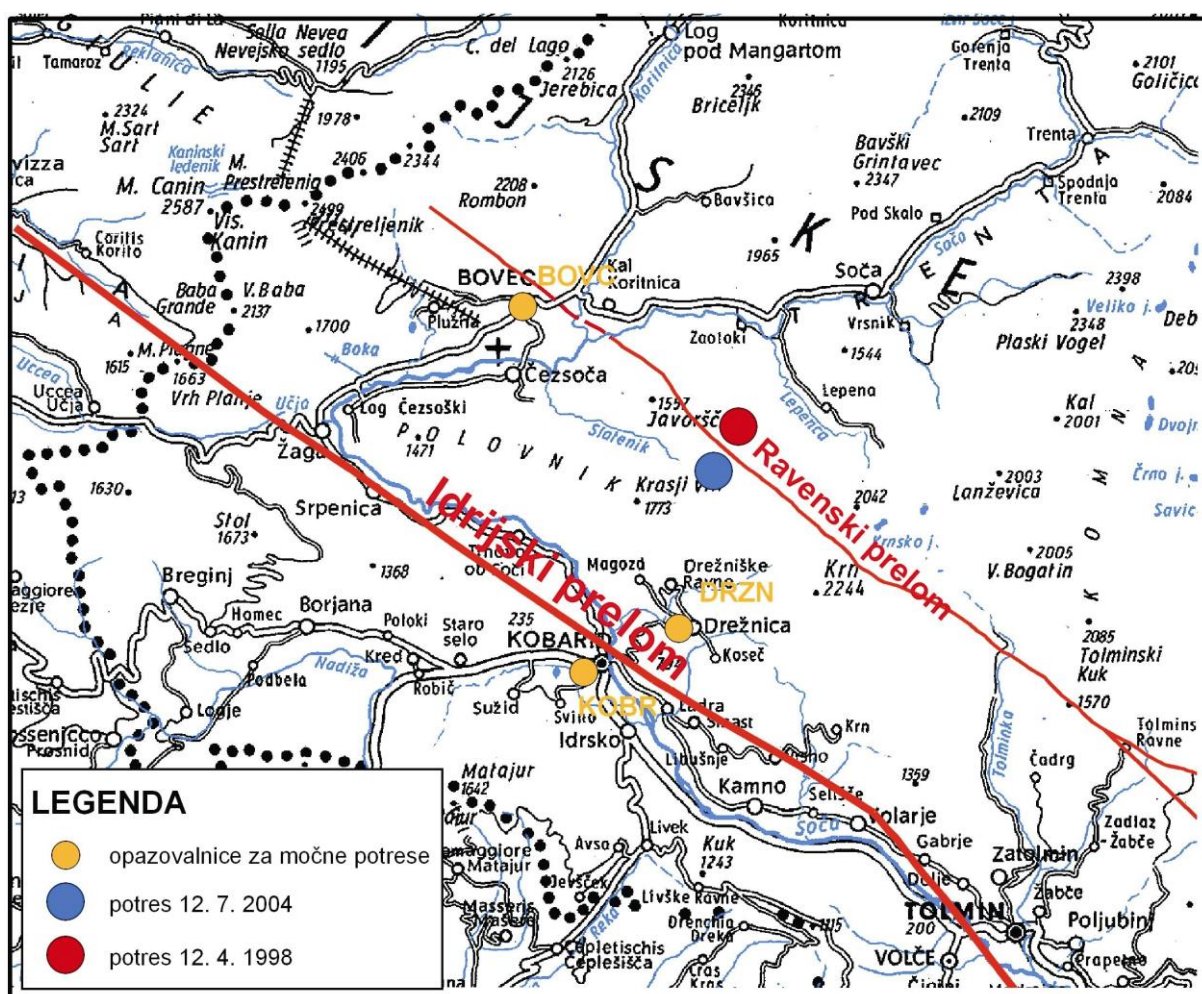
N-S komponenta



Slika 3. Korigirani zapisi potresa na opazovalnicah v Kobaridu, Drežnici in Bovecu: pospešek in spektralni pospešek.

Figure 3. Corrected registrations of the main earthquake from stations in Kobarid, Drežnica and Bovec: acceleration and spectral acceleration.

Po oceni seizmologov je potres 12. julija 2004 z magnitudo 4,9 dosegel največjo intenziteto VI-VII EMS na območju Bovca in okolice, kar je v povprečju eno do dve stopnji manj od projektne stopnje. Učinki potresa so bili torej pod učinki, ki jih predvideva karta potresne intenzitete za povratno dobo 500 let, po čemer bi lahko sklepali, da je tako tudi s projektnim pospeškom tal. Za razliko od razmer ob potresu leta 1998 pa so tokrat potres zapisali instrumenti, ki so bili po potresu leta 1998 postavljeni v Bovcu, Drežnici in Kobaridu (slika 3). Ti zapisi so presenetili nekatere strokovnjake s področja seizmologije in inženirske seizmologije, kot tudi strokovnjake s področja potresnega inženirstva, saj je instrumentalni pospešek tal v Bovcu in v Drežnici dosegel zelo velike vrednosti, kar je razvidno iz preglednice 2. Vrednosti v preglednici so korigirane po običajnem postopku, s čimer naj bi bil odstranjen šum in vpliv instrumenta. Lokacije opazovalnic kaže slika 4.



Slika 4. Karta zgornjega Posočja s prikazom nekaterih prelomov, nadžarišči potresov 12. 04. 1998 in 12. 07. 2004 ter lokacijami potresnih opazovalnic (Bovec, Kobarid, Drežnica, Čezsoča).

Figure 4. Upper Soča valley map showing major faults, epicenters of 12 April 1998 in 12 July 2004 earthquakes and temporary strong motion seismic station locations (Bovec, Kobarid, Drežnica, Čezsoča).

Da bi pojasnili nepričakovano velike vrednosti, so na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo v Ljubljani podrobneje analizirali vpliv tal na vrednosti vršnega pospeška tal in spektre vodoravnih komponent zapisov (predvsem) glavnega potresa v smereh sever-jug in vzhod-

zahod z omenjenih treh lokacij. Pri tem so ugotovili: "Analiza registracij glavnega potresnega sunka bovškega potresa je pokazala, da obstajajo pomembne razlike med značilnostmi gibanja tal na treh lokacijah, kjer so bile dobljene registracije. ...Najmočnejše je bilo gibanje tal v Bovcu, kjer so maksimalne vrednosti pospeškov tal v obeh vodoravnih smereh dosegle skoraj 50 % g. Istočasno so maksimalne hitrosti dosegle vrednosti 29 in 17 cm/s v smereh N-S in E-W. Po teh podatkih bi lahko ocenili, da je bila intenziteta potresa na lokaciji inštrumenta večja od VIII po MSK lestvici. V Drežnici so bili registrirani visoki pospeški (38 in 29 % g v smereh NS in EW, hitrosti pa so bile nižje (9 in 6 cm/s), medtem ko so bili v Kobaridu razmeroma nizki tako pospeški (15 in 13 % g) kot tudi hitrosti tal (6 in 8 cm/s)." (Fajfar in drugi, 2004). S pomočjo registracij potresa so ocenili vrednosti faktorja tal na lokacijah opazovalnic. Razpon ocen je bil zelo velik, vrednosti pa precej večje od tistih, ki jih priporoča EC8-1. Poleg tega so ocenili, da je v Bovcu, Kobaridu in Čezsoči vpliv slojevitih tal največji v območju nihajnega časa 0,1-0,4 s, kar je žal tudi območje lastnega nihajnega časa najpogostejših hiš na obravnavanem ozemlju.

kraj location	vršni pospešek [g] peak acceleration [g]		tip tal soil type	faktor tal po EC8 EC8 soil factor
	sever – jug NS	vzhod – zahod EW		
	Bovec	0,485		
Drežnica	0,375	0,290	A / E	1,0 – 1,4
Kobarid	0,152	0,133	B	1,2

Preglednica 2. Vršne vrednosti vodoravnih komponent pospeška v Bovcu, Drežnici in Kobaridu ob potresu 12. 7. 2004 in faktor tal po EC8-1.

Table 2. Peak horizontal acceleration in Bovec, Drežnica and Kobarid during 12. 7. 2004 earthquake and EC8-1 soil factor.

Podatki so povzeti po raziskavi (Fajfar in drugi, 2004).

Ne glede na velike instrumentalne vrednosti parametrov potresnega gibanja tal pa je pomembno predvsem dejstvo, da so bili učinki potresa na objekte ocenjeni z največ VI-VII EMS. In tudi v raziskavi na Zavodu za gradbeništvo v Ljubljani so ugotovili: "Tako pospeški tal, registrirani med potresom na naplavinem gramoznem sloju kot tudi spekter odziva so močno preseglji vrednosti, ki jih na danem območju za projektiranje konstrukcij predvidevata sodobna karta potresne nevarnosti Slovenije in standard EC8. ... Ne glede na to pa analiza odziva zidanih stavb na potres kaže, da jakost potresa ni preseгла največje pričakovane." (Tomažević in drugi, 2005). Še bolj nedvoumna je izjava, da "ni bilo niti rušenj niti hujših poškodb, številne stavbe pa so ostale nepoškodovane" (Tomažević, 2004).

Je pa potres dejansko poškodoval nekatere hiše, ki so brez vidnejših poškodb prestale tako potres leta 1998 kot tudi potrese leta 1976, in nekatere po potresu leta 1998 deloma utrjene hiše. Zato je potres leta 2004 izpostavil nekaj kritičnih vprašanj, ki so bila namenjena tako seizmologom kot gradbenikom. Posebej pomembni sta naslednji dve vprašanji, na kateri doslej niso bili dani povsem zadovoljivi odgovori: (1) Zakaj so bile v tem potresu močno poškodovane hiše, ki so brez vidnih poškodb prestale močnejši potres leta 1998 in potrese

leta 1976 ter hiše, ki so bile utrjene po potresu leta 1998? (2) Kako je mogoče, da je bil pri razmeroma šibkem potresu na širšem nadžariščnem območju presežen projektni pospešek tal?

Nekaj odgovorov

Odgovor na prvo vprašanje

Odgovor na vprašanje, zakaj so bile v potresu leta 2004 močno poškodovane hiše, ki so navidez nepoškodovane prestale močnejše potrese leta 1998 in 1976, je razmeroma preprost. Nepoškodovanost nekaterih hiš v predhodnih potresih je bila zelo verjetno le navidezna. Dejansko pa je bila že takrat zmanjšana sposobnost sipanja potresne energije in prevzeta potresnih sil in s tem celotna potresna odpornost hiš, čeprav se to še ni pokazalo na zunanjih poškodbah. Zato za nastanek vidnih poškodb ob potresu leta 2004 vsaj na nekaterih hišah z zmanjšano potresno odpornostjo niso bile potrebne posebno velike potresne sile, saj so glavno delo opravili že prejšnji potresi. Seveda pri tem ne smemo zanemariti tudi drugih dejavnikov, ki so bili leta 2004 drugačni kot v prejšnjih potresih: drugačni odboji valovanja zaradi razgibane topografije ter interakcija tal in stavb – resonanca so lokalno lahko ojačili učinek potresa; mikro lokacija in smer prelomnega pretrga lahko pojasnijo obseg poškodb v njegovi neposredni bližini (Čezsoča).

Izčrpen odgovor na prvo zastavljeno vprašanje, ki sicer ne vključuje posebnih učinkov pretrga, pa lahko najde bralec v objavljenih rezultatih že omenjene raziskave Zavoda za gradbeništvo, kjer so objekte analizirali na računskih modelih (Tomaževič, 2004; Tomaževič in drugi, 2005). Ugotovili so, da so *“poškodbe utrpeli tudi nekateri objekti, ki so bili po letu 1998 le deloma utrjeni, ker med potresi leta 1976 in 1998 niso bili poškodovani.”*

Odgovor na drugo vprašanje

Precej bolj zapleten je odgovor na drugo vprašanje. Verjetnost tako velikega projektnega, pospeška tal pri magnitudi 4,9 je v resnici izredno majhna: v modelu pojemanja, ki je najbolj uveljavljen v Sloveniji, pripada točki "4 x mediana".

Najprej je treba poudariti, da so instrumenti postavljeni v zgradbah in ne na prostem površju, zato beležijo tudi odziv stavbe. Stavbi v Bovcu in Kobaridu sta celo dvonadstropni. Instrument v Drežnici tudi ni pritrjen v tla, zato je ob močnem potresu možen zdrs instrumenta, ki lahko povzroči večji vodoravni pospešek. Vrednost v Bovcu je dobljena v stavbi knjižnice, v kateri se je na več mestih porušil del stropa, poleg tega pa so na instrument padle knjige. Vrednost pospeška je sicer korigirana, vendar ne moremo zagotoviti, da so bili dodatni vplivi v resnici odstranjeni.

Zaradi preglednosti in boljšega razumevanja raznih vrst pospeška navajamo njihove opredelitve in lastnosti.

- **Zapis instrumenta:** instrument za merjenje močnih potresov zapiše nihanje ob potresu; dobimo časovni zapis pospeška v treh med seboj pravokotnih smereh.

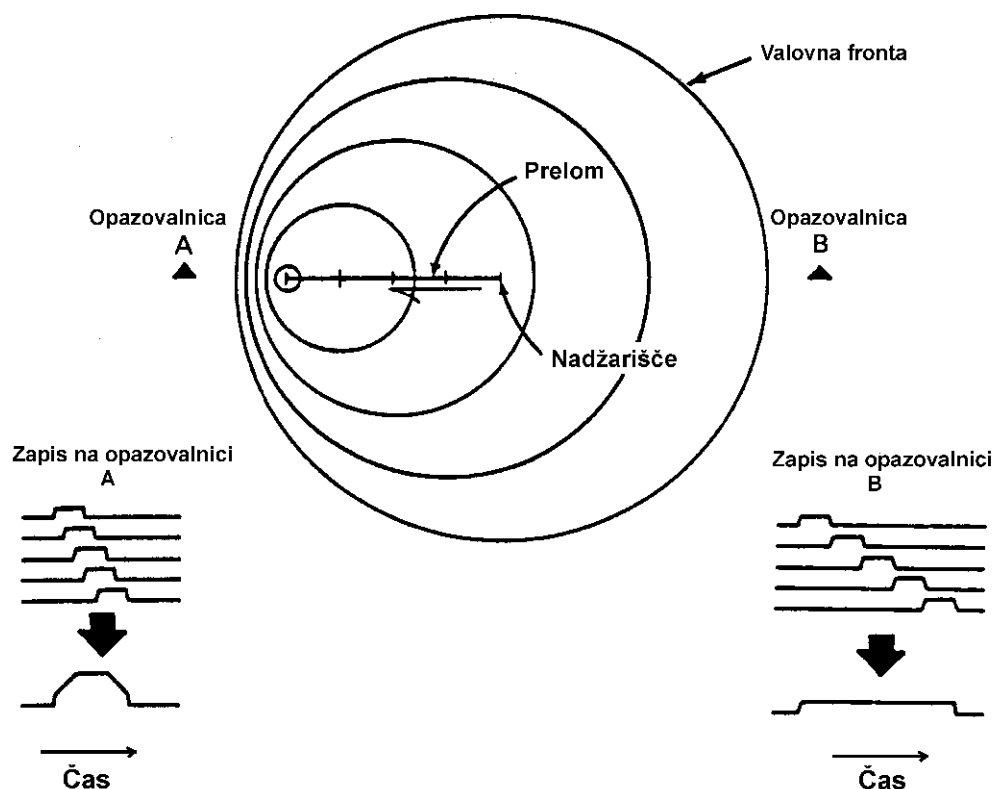
- **Korigiran zapis instrumenta:** s postopkom korekcije (premik, filtriranje...) iz originalnega zapisa izločimo šum in vpliv instrumenta.
- **Vršni pospešek:** je največja absolutna vrednost pospeška (najvišji vrh oz. največji odmik od ničelne lege) v korigiranem zapisu instrumenta.
- **Vršni pospešek tal (maksimalni pospešek tal, angl. peak ground acceleration) PGA:** je največja absolutna vrednost pospeška (najvišji vrh oz. največji odmik od ničelne lege) v korigiranem zapisu instrumenta, če je postavljen na prostem površju.
- **Efektivni vršni pospešek tal EPA:** ne obstaja enotna opredelitev. Je pa za njegovo določitev načeloma treba v korigiranem zapisu pospeška odstraniti kratkotrajne visokofrekvenčne konice, ki ne povzročajo škode na stavbah. Nato je določitev EPA enaka kot za PGA. "Zamisel o EPA je poskus, da bi v splošnem nadomestili neprimernost osamljenih vrhov v zapisu gibanja tal za opis potresnih obremenitev zgradb z maksimalnim pospeškom in/ali hitrostjo." (CEN, 1994).
- **Projektni pospešek tal (angl. design ground acceleration) a_g :** v EC8-1 je opredeljen kot PGA, ki ga ocenimo za izbrano povratno dobo za tla tipa A. V prvotnem dokumentu EC8-1 (CEN, 1994) je bil za projektni pospešek tal predviden EPA, zaradi neenotnosti in težav pri njegovi opredelitvi pa je v sprejetem standardu EC8-1 (CEN, 2004) namesto tega predpisana referenčna vrednost vršnega pospeška tal na tleh tipa A za dano referenčno povratno dobo.

Potres iz leta 2004 in nepričakovano velike vrednosti pospeška v zapisu instrumenta so pokazali na potrebo po previdnosti pri njihovi interpretaciji in na težave zaradi nedorečene opredelitve projektnega pospeška tal v EC8-1.

Omenjena analiza potresnih zapisov na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo je pokazala, da posebnosti teh instrumentalnih zapisov in njihovih razlik ni mogoče pojasniti le z lastnostmi tal: »Samo del teh razlik lahko pripišemo vplivu tal. Glede na to, da ne obstaja bistvena razlika med oddaljenostjo treh lokacij od žarišča, sklepamo, da so na gibanja tal na različnih lokacijah vplivali še drugi dejavniki, ki jih še ne poznamo. Možni dejavniki so različno širjenje potresnih valov v različnih smereh, morebiten vpliv interakcije tal in objektov, v katerih so bili nameščeni inštrumenti, ali pa tudi nenatančnost pri določanju žarišča." (Fajfar in drugi, 2004). Omenili smo že, da je bil ocenjen faktor tal pri šibkih do zmernih potresnih sunkih v območju kratkega nihajnega časa tu precej večji, kot ga priporoča EC8-1. To potrjuje tudi neodvisna raziskava vpliva lokalnih tal v Posočju (Gosar in drugi, 2001).

Pri odgovoru je treba upoštevati tudi dejstvo, da gre za potresne učinke v neposredni bližini potresnega izvora oziroma potresnega prelomnega pretrga in da gre za gorsko območje s strmimi pobočji, visokimi vrhovi in globoko zarezanimi dolinami, ki so zelo neenakomerno zapolnjene s heterogenim materialom. Tla niso zgrajena iz razsežnih vodoravnih plasti enakomerne debeline, zato ne moremo njihovega ojačevalnega učinka preprosto oceniti s pomočjo enodimenzionalnega modela. Glede velike razgibanosti površja je treba upoštevati tudi vpliv topografije. Na gibanje tal v bližini potresnega pretrga bistveno vplivajo mehanizem, smer in hitrost širjenja pretrga (pri pretrgu do površja pa še možen stalen

premik tal). Vpliv smeri in hitrosti pretrga je tolikšen, da govorimo o učinku *usmerjenosti pretrga* (rupture directivity) ali kar o učinku *usmerjenosti* (directivity). To je pojav, pri katerem pride do izrazite razlike v širjenju potresne energije v različnih smereh od izvora, pri čemer je delež energije v smeri pretrga daleč največji. Širjenje pretrga vzdolž preloma namreč poteka s hitrostjo, ki je navadno le nekoliko manjša od hitrosti strižnega valovanja. Zato se strižno valovanje, ki izhaja iz različnih točk na prelomu v smeri trganja preloma natovarja, kar ima v primeru seštevanja valov (konstruktivna interferenca) za posledico kratkotrajne sunke z veliko amplitudo pospeška, hitrosti in pomika tal (slika 5).



Slika 5. Učinek usmerjenosti pretrga na potresno energijo (Reiter, 1990).

Figure 5. Directivity of focusing of seismic energy (Reiter, 1990).

V bližini pretrga (near-field) so fizikalne razmere povsem drugačne kot nekoliko dlje od njega (far-field) in zato tudi fizikalno matematično modeliranje in enačbe, s katerimi sicer obravnavamo potresno valovanje izven ožje okolice pretrga, v bližini pretrga ne dajejo pravih rezultatov. V bližnji okolici pretrga obvladujejo potresno gibanje tal značilnosti potresnega izvora. Potresa v zgornjem Posočju leta 1998 in 2004 ter njune številne popotrese so povzročili pretrgi vzdolž desnozmičnega Ravenskega preloma. Pri takih pretrgih lahko učinek usmerjenosti pretrga zasenči vpliv lokalne sestave tal.

Večina modelov pojemanja, ki se uporabljajo pri izdelavi kart potresne nevarnosti, ne vključuje možnosti upoštevanja usmerjenosti pretrga, kar je razvidno tudi iz naslednje izjave: "Določanje učinkov usmerjenosti in vrste preloma je prednostna naloga v bližnjem območju pretrga, razlike v pojemanju pa postanejo predmet obravnavanja pri večjih razdaljah." (Reiter, 1990). Nekateri modeli pojemanja (npr. Abrahamson in Silva, 1997; Somerville in drugi, 1997) sicer

vključujejo tudi značilnosti pretrga (usmerjenost pretrga, vrsta preloma, učinek krovnine,...), niso pa preprosto splošno uporabni. Za območje Slovenije zaradi pomanjkanja zapisov močnega gibanja tal nimamo niti navadnega modela pojemanja, z vplivom usmerjenosti pretrga pa smo se prvič srečali ob potresu 12. julija 2004.

kraj location	magituda / datum magnitude / date	oddaljenost distance [km]	vršni vodoravni pospešek peak horizontal acceleration [g]	
			večja / larger	manjša / smaller
Breginj	M 5,9 / 15. 9. 1976	41	0,525	0,487
Breginj	M 5,7 / 15. 9. 1976	43	0,420	0,166
Lepena	M 4,2 / 6. 5. 1998	6	0,281	0,103
NEK	M 3,9 / 28. 12. 1989	3	0,424	0,419

Preglednica 3. Velike vršne vrednosti vodoravnih komponent pospeška v Sloveniji.

Table 3. Large peak horizontal accelerations in Slovenia.

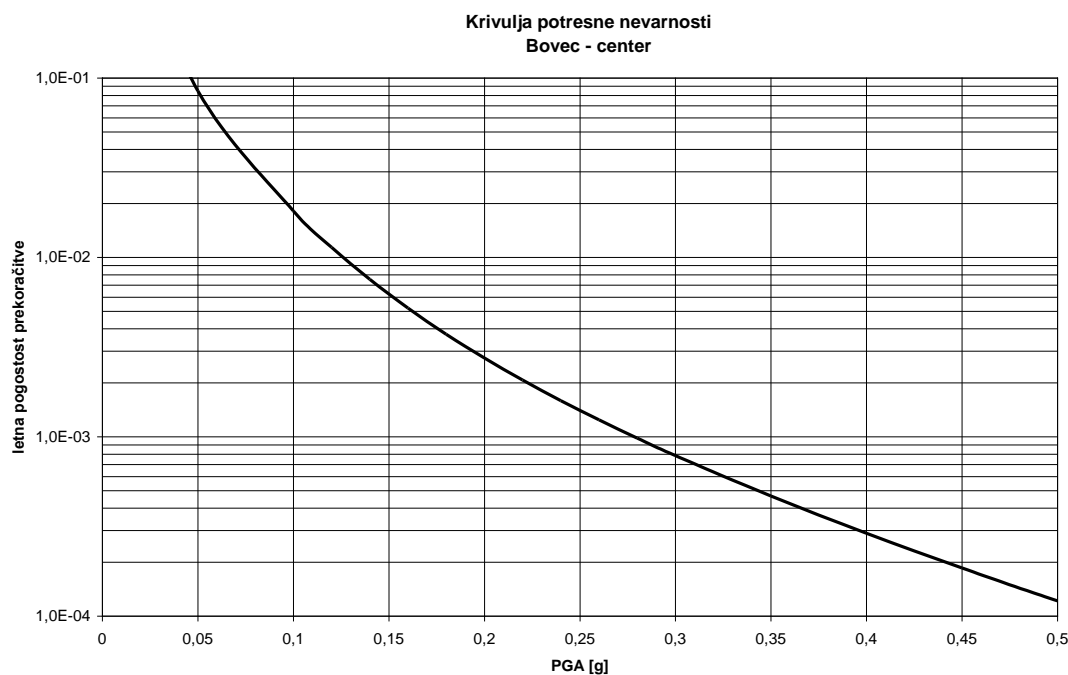
V preglednici 3 so navedene še nekatere druge nepričakovano velike vrednosti pospeška, ki so bile izmerjene v Sloveniji (npr. Fajfar in Peruš, 1999). Potrebno je poudariti, da vrednostim pospeška sorazmerne škode tudi v teh primerih ni bilo. V primeru Lepene in lokacije NEK je šlo za kratkotrajno visokofrekvenčno nihanje tal, o čemer priča tudi analiza, ki so jo naredili na IKPIRu (Fajfar in Peruš, 1999): "Spektri za Lepeno in NEK ustrezajo spektrom za gibanje razmeroma dobrih tal pri potresih z majhno magnitudo in nadžariščem v bližini lokacije. Pri takih gibanjih izrazito prevladujejo visoke frekvence, kar se v spektrih odraža z izrazitimi konicami pri nihajnih časih okrog 0,1 sekunde in manj." Za Breginj pa je ista razisakva ugotovila: "Posebno izstopajo pospeški v Breginju, ki so bistveno večji od pričakovanih vrednosti. Vzrok za to je posebna vrsta tal (tanka plast naplavin). Znano je, da taka vrsta tal precej poveča maksimalne vrednosti pospeškov. EC8 predpisuje povečanje pospeškov za faktor 1,4, če ni narejena posebna analiza."

Ali je bila potresna nevarnost podcenjena?

Na karti iz leta 2001 za povratno dobo 475 let je potresna nevarnost opredeljena z vrednostmi projektne pospeška tal na tleh tipa A po EC8-1, ki je za območje Bovca in Drežnice 0,225 g. Če obravnavamo to vrednost kot vrednost vršnega pospeška tal in privzamemo faktor tal, ki je dan v EC8-1, je bila vrednost projektne pospeška na obeh lokacijah brez dvoma presežena ($0,484 \text{ g} / 1,4 = 0,35 \text{ g}$; $0,375 \text{ g} / 1,4 = 0,27 \text{ g}$). Na krivulji potresne nevarnosti za lokacijo potresne opazovalnice v Bovcu (slika 6) je letna verjetnost pospeška tal 0,35 g enaka 0,00047, kar ustreza povratni dobi dobrih 2100 let.

Velike vrednosti vršnega in spektralnega pospeška pa očitno niso v skladu z magnitudo potresa in obsegom poškodb, zato izmerjenih vrednosti ne smemo preprosto primerjati z vrednostmi projektne pospeška tal na karti. Poleg tega ne vemo, ali so izmerjene vrednosti prevelike zaradi neustrezne postavitve instrumentov v zgradbah. Če ne bi imeli na voljo potresnih zapisov z ožjega potresnega območja, bi ne bilo dileme "velike vrednosti pospeška – sorazmerno majhne poškodbe". Lahko pa na podlagi izkušnje s potresom leta 2004 sklepamo, da bi bili tudi ob potresu leta 1998 instrumenti na nekaterih mestih zabeležili

velike vrednosti pospeška (glede na magnitudo potresa verjetno večje, kot so bile zabeležene leta 2004), če bi bili takrat tam.



Slika 6. Krivulja potresne nevarnosti za lokacijo Bovec – knjižnica.
Figure 6. Seismic hazard curve for site of seismic station in Bovec.

Že v razdelku 4.2 smo navedli možne vzroke za prekoračitev projektnih vrednosti (večji vpliv tal kot je predviden v EC8-1, vpliv bližine in usmerjenosti prelomnega pretrga, lokalna ojačenja zaradi resonance, napake meritve, ...). Teh dejavnikov ne moremo upoštevati na državni karti potresne nevarnosti. Nekatere vplivne dejavnike lahko zmanjšamo (napake meritev), večji vpliv nekaterih tipov tal lahko predvidimo v nacionalnem dodatku EC8-1 (za tip tal E je predviden faktor 1,7), nekatere dejavnike pa je smiselno upoštevati v potresni mikrorajonizaciji. Mikrorajonizacija je verjetno naiprimernejša rešitev za podrobnejše ocenjevanje potresne nevarnosti na posameznih manjših območjih (npr. zgornje Posočje), saj lahko posebne učinke (npr. usmerjenost pretrgov) upoštevamo podobno kot doslej vpliv lokalnih tal.

Zatekanje k verjetnostni karti intenzitete tudi ne rešuje dilem zaradi prekoračitve projektnega pospeška tal. Projektna intenziteta v danem primeru ni bila prekoračena, ker je intenziteta zelo neobčutljiva za kratkotrajne visokofrekvenčne konice v zapisu pospeška tal. V zvezi z uporabo karte intenzitet je pomembna naslednja ugotovitev: »Ujemanje predvidevanj in dejanskega obnašanja sta ob med potresom, predvsem pa tudi glede poškodb, je ponovno opozorilo, da je skrajni čas, da se opusti uporaba jugoslovanskega pravilnika iz leta 1981. Po jugoslovanskem pravilniku je za zidane konstrukcije računsko potresna obtežba, na katero se dimenzionirajo, več kot dvakrat manjša kot obtežba, določena po EC8.« (Tomažević in drugi, 2005). EC8-1 pa seveda predpostavlja karto projektnega pospeška tal in ne karte intenzitete.

Vsekakor pa je treba poudariti, da je prekoračitev projektnih vrednosti na obeh kartah z določeno verjetnostjo pričakovana – to so verjetnostne karte. Žal laična javnost vrednosti na teh kartah večinoma razume deterministično, pogosto pa jih tako jemljejo tudi strokovnjaki, saj marsikdo meni, da predstavlja projektni pospešek tal a_g po definiciji največji pospešek tal, ki lahko nastane med potresom v danem časovnem obdobju (npr. v povratni dobi 475 let) na trdnih tleh. To pa ne drži, saj je verjetnost, da bo projektni pospešek tal presežen v dani povratni dobi, kar dobrih 63 %.

Pri obravnavanju časovnega pojavljanja glavnih potresov (to je brez pred in popotresov) se navadno uporablja Poissonov model, ki je brez »spomina« za čas, velikost ali mesto predhodnega dogodka. Če poznamo letno pogostost λ prekoračitve izbrane vrednosti u_0 nekega parametra potresnega gibanja, lahko izračunamo verjetnost, da bo vrednost u_0 vsaj enkrat presežena v nekem časovnem intervalu t (npr. v življenjski dobi zgradbe), oziroma da bo v času t število prekoračitev N_u večje od 0:

$$P[N_u > 0] = 1 - e^{-\lambda t} = 1 - e^{-t/T}, \quad (1)$$

kjer je $T = 1/\lambda$ povratna doba. Iz enačbe sledi, da je po Poissonovem modelu verjetnost prekoračitve v povratni dobi, torej pri $t = T$, enaka $1 - e^{-1}$, kar je dobrih 63%. Torej je po definiciji le slabih 37 % verjetnosti, da bo na karti dana vrednost projektnega pospeška tal tudi največja v dani povratni dobi. Tudi izbira povratne dobe 475 let izhaja iz Poissonovega modela in sicer ob privzetju 10 % verjetnosti prekoračitve projektnega pospeška tal v 50 letih. Podobno velja tudi za karto intenzitete, da je verjetnost dobrih 63%, da bodo vrednosti na karti presežene v povratni dobi, ki je v tem primeru 500 let (verjetnost prekoračitve v 50 letih pa je približno 9,5%).

Sklep

Zapisi potresa 12. julija 2004 na opazovalnicah v zgornjem Posočju, ki so zabeležile razmeroma močno gibanje tal v neposredni bližini prelomnega pretrga, so povzročili nemajhno vznemirjenje in vnesli nekaj zmede v razumevanje nastalih poškodb objektov in potresnih zapisov. Prispevali pa so neprecenljive podatke za razumevanje potresnega dogajanja v tem in tudi širšem prostoru. Ti podatki so sedaj poleg obstoječih geoloških, geofizikalnih in geodetskih podatkov na voljo za povsem praktične naloge. Karte potresne nevarnosti Slovenije (projektni pospešek tal) ni potrebno spreminjati - dejavnike, ki so povzročili nepričakovano velike pospeške, moramo obravnavati na drugih nivojih (zmanjšati napake meritev s postavitvijo potresnih opazovalnic na prostem površju trdnih tal; večji vpliv tal predpisati v nacionalnem dodatku k EC8-1; heterogenost tal ter vpliv bližine in usmerjenosti prelomnega pretrga pa upoštevati v potresni mikrorajonizaciji). Ponovna potresna mikrorajonizacija Bovca in okolice je potrebna zaradi geoloških in geofizikalnih posebnosti tega prostora ter predvsem zaradi ogroženosti tamkajšnjih naselij in prebivalstva. Vključevati pa bi morala vse omenjene učinke: značilnost lokalnih tal, topografijo, bližino prelomov in še posebej usmerjenost.

Literatura

- Abrahamson, N. A. in Silva, W. J., 1997. Empirical Response Spectral Attenuation Relations for Shallow Crustal Earthquakes, *Seismological Research Letters*, Vol 68/1, 94 - 127.
- CEN, Eurocode 8 – Design provisions for earthquake resistance of structures - Part 1-1, 1994. General rules - Seismic actions and general requirements for structures, European Prestandard (ENV) 1988-1-1, European Committee for Standardization, pp. 25, Bruxelles.
- CEN, Eurocode 8 – Design of structures for earthquake resistance, Part 1, 2004. General rules, seismic actions and rules for buildings, European standard, EN 1998-1: 2004 (E), Stage 64, European Committee for Standardization, Brussels. (Prevod v slovenščino v pripravi)
- Fajfar, P., Dolšek, P., Fischinger, M., Peruš, I., Poljanšek, K., 2004. Uvajanje standarda Evrokod 8 v Sloveniji, Potresna obtežba, Raziskovalno-razvojna naloga, Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Inštitut za konstrukcije, potresno inženirstvo in računalništvo.
- Fajfar, P., Peruš I., 1999. Analiza gibanja tal med potresi v Sloveniji, Raziskovalno-razvojna naloga, Univerza v Ljubljani - Fakulteta za arhitekturo, gradbeništvo in geodezijo - Inštitut za potresno inženirstvo in računalništvo, Ministrstvo za okolje in prostor - Uprava Republike Slovenije za geofiziko.
- Gosar, A., Stopar R., Car M., Mucciarelli M., 2001. The earthquake on 12 April 1998 in the Krn mountains (Slovenia): ground-motion amplification study using microtremors and modelling based on geophysical data, *Journal of Applied Geophysics*, 47(2), 153-167.
- Grünthal, G. (ur.), 1993. European Macroseismic Scale 1992 (up-dated MSK-scale). Cahiers du Centre Europeen de Geodynamique et de Seismologie, 7, Conseil de l'Europe, Luxembourg.
- Grünthal, G. (ur.), 1998. European Macroseismic Scale 1998. Cahiers du Centre Europeen de Geodynamique et de Seismologie, 15, Conseil de l'Europe, Luxembourg.
- Lapajne, J., Šket Motnikar, B., Zupančič, P., 2001a. Karta projektnege pospeška tal Slovenije. Potresi v letu 1999 (ur. R. Vidrih), ARSO, Urad za seizmologijo, 40-49.
- Lapajne, J., Šket Motnikar, B., Zupančič, P., 2001b. Potresna nevarnost Slovenije – Projektni pospešek tal, Karta, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo.
- Lapajne, J., Šket Motnikar, B., Zupančič, P., 2002. Tolmač karte potresne nevarnosti Slovenije, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo.
- Medvedev, S. V., 1977. Seismic intensity scale MSK-76, *Publ. Inst. Geophys. Pol. Acad. Sc.*, A-6 (117), 95-102.
- Peruš, I., Šket, B., Fajfar, P., Lapajne, J., 1999. Potres 12. aprila 1998 v zgornjem Posočju, Analiza gibanja tal, Potresi v letu 1998 (ur. J. Lapajne), Uprava RS za geofiziko, 1999.
- Reiter, L. , 1990. *Earthquake Hazard Analysis*, Columbia University Press, 254 str.
- SIS, Slovenski predstandard Eurocode 8, 2001. Projektiranje potresno odpornih konstrukcij, Slovenski institut za standardizacijo, Ljubljana.
- Somerville, P. G., Smith N. F., Graves R. W., Abrahamson N. A., 1997. Modification of Empirical Strong Ground Motion Attenuation Relations to Include the Amplitude and Duration Effects of Rupture Directivity, *Seismological Research Letters*, Vol 68/1, 199 - 222.
- Tomažević, M., Lutman, M., Klemenc, I., Weiss, P., 2005. Obnašanje zidanih stavb med potresom v Bovcu 12.7.2004, *Gradbeni vestnik* 54, 2-12.

- Tomažević, M., 2004. Ob julijskem potresu na Bovškem – potresne sile in poškodbe, *Gradbenik* 9, 42-45.
- Tomažević, M., Klemenc, I., Lutman, M., 1999. Posledice potresa na kamnitih zidanih hišah: Kaj smo se naučili od potresa, *Ujma* 13, 122-128.
- UL SFRJ, Pravilnik o tehničnih normativih za graditev objektov visoke gradnje na seizmičnih območjih, *Uradni list SFRJ*, 844-855, št. 31, 1981.
- UL SFRJ, Pravilnik o spremembah in dopolnitvah Pravilnika o tehničnih normativih za graditev objektov visoke gradnje na seizmičnih območjih, *Uradni list SFRJ*, stran 1729, št. 52, 1990.
- URSSM, Slovenski predstandard, SIST ENV 1988-1-1, Eurocode 8 – Projektiranje potresno odpornih konstrukcij, *Urad RS za standardizacijo in meroslovje*, 2000.
- Zupančič, P., Cecić, I., Gosar, A., Placer, L., Poljak, M., Živčić, M., 2001. The earthquake of 12 April 1998 in the Krn Mountains (Upper Soča valley, Slovenia and its seismotectonic characteristics (Potres 12. aprila 1998 v Krnskem pogorju in njegove seizmotektonske značilnosti), *Geologija* 44/1, 169-192.
- Živčić, M., Cecić, I., Gosar, A., Zupančič, P., 1999. Potres 12. aprila 1998 v zgornjem Posočju – Osnovne značilnosti, *Potresi v letu 1998* (ur. J. Lapajne), *Uprava RS za geofiziko*, 49-64.

DELOVANJE POTRESNIH OPAZOVALNIC V LETU 2004

SEISMIC STATIONS OPERATION IN 2004

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

***Izvleček.** V prispevku so podani rezultati analize delovanja potresnih opazovalnic državne mreže potresnih opazovalnic v letu 2004. Zanimali so nas izpadi posamezne potresne opazovalnice glede na določen časovni interval, trajanje izpadov posamezne potresne opazovalnice in razlogi za izpade. V prispevku smo podali kratek pregled in kot primer tudi rezultate analize delovanja za potresno opazovalnico CRESS.*

***Abstract.** In this work, the results of analysis of operation for Seismic network of Slovenia in year 2004 are presented. We were interested in the number and duration of out-of-operation periods for particular seismic station. An overview of analysis of operation for Seismic network of Slovenia is presented in a figure and table form. In this work, as an example, also the results of analysis of operation for seismic station CRES are presented.*

Uvod

Posamezna potresna opazovalnica državne mreže potresnih opazovalnic je opremljena z zajemalno enoto Quanterra 730 (Q730) in senzorjem Guralp CMG 40T. Enota Q730 skrbi za zajem seizmičnih podatkov iz seizmometra, pretvorbo teh podatkov v digitalno obliko ter za opremljanje podatkov z natančnim časom s pomočjo GPS sistema. Po pripravi podatkov zajemalna enota izvede kompresijo podatkov (brez izgube informacije) ter jih pošlje v realnem času v središče za obdelavo podatkov (SOP) v Ljubljani. V kolikor pride do izpada komunikacije, Q730 shrani podatke v interni pomnilnik. Če je izpad predolg, se starejši podatki v pomnilniku nadomestijo z novimi in tako pride do izgube podatkov. Proizvajalci opreme zagotavljajo vsaj dve uri (čas je odvisen od kompresije podatkov) dovoljenega izpada. Q730 v statusno datoteko zabeleži vsako spremembo, ki se nanaša na delovanje sistema (prekinitev oziroma vzpostavitev komunikacije, spremembe podatkov v zvezi z GPS-om, ...). To datoteko preberemo štirikrat na dan iz pomnilnika Q730 v SOP. V primeru daljšega izpada na komunikacijah, oziroma če pride do izpada napajanja na Q730, so te statusne datoteke izgubljene. Izgubljene podatke (o delovanju sistema) v takem primeru lahko nadomestimo s podatki, ki jih dobimo s stalnim preverjanjem komunikacije s posamezno potresno opazovalnico iz SOP.

»Izpadi« potresnih opazovalnic

Pod stavčno zvezo 'Izpadi potresnih opazovalnic' pojmuje izgubo povezave med potresno opazovalnico in SOP. Do izpada lahko pride zaradi problemov na komunikacijskih poteh, lahko pa je razlog okvara na potresni opazovalnici. Analizo smo naredili na osnovi podatkov o delovanju posamezne potresne opazovalnice v letu 2004, ki se nahajajo v statusnih datotekah posamezne potresne opazovalnice (datoteke z interno oznako 'log') in statusnih datotekah, ki jih dobimo v SOP (datoteke z interno oznako 'ping' in 'latency'). V primeru, ko podatki v statusnih »log« datotekah niso bili podani za celo leto, smo analizo

naredili na osnovi statusnih »ping« datotek. To predvsem velja za potresne opazovalnice z GSM komunikacijo.

Napisali smo računalniški program, ki na osnovi prej omenjenih podatkov analizira delovanje posamezne potresne opazovalnice, pri čemer nas je zanimalo predvsem število izpadov posamezne potresne opazovalnice ter trajanje posameznega izpada (Mali, 2005). Delovanje programa je shematsko prikazano na sliki 1. Izračunali smo skupen čas izpadov posamezne potresne opazovalnice glede na določen časovni interval ter skupno trajanje izpadov posamezne potresne opazovalnice v določenem mesecu. V primeru, ko v določenem krajšem časovnem obdobju pride do večkratnega izpada na komunikacijah, lahko zaradi omejitve pretoka informacije pride do izgube podatkov (programska oprema pošilja vedno iste podatke). V tem primeru pride do tako imenovanih pogojnih izpadov. S tem izrazom bomo definirali izpade, za katere velja, da je razmerje v določenem časovnem oknu med skupnim časom izpadov in celotnim časom več kot 2/3. V tem primeru privzamemo, da komunikacije z opazovalnico ni bilo celoten čas 'utripanja'. Pogosti kratki izpadi na komunikacijah so značilni predvsem za potresne opazovalnice, ki komunicirajo preko GSM terminala (opazovalnice CADS, GCIS, JAVS, KNDS, VISS, VOJS in ZAVS).



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

Figure 1. Block diagram of software program for analysis of operation for seismic stations.

Analizo smo razdelili na opazovalnice z najetimi linijami in opazovalnice, ki komunicirajo preko GSM terminala. V prvo skupino, obdobje analize podatkov je podano v oklepaju, spadajo opazovalnice z oznakami: BOJS (od februarja do decembra), CEY (od januarja do decembra), CRES (od januarja do decembra), DOBS (od januarja do decembra), GOLS (od januarja do decembra), GORS (od maja do decembra), GROS (od januarja do decembra), KOGS (od januarja do decembra), LEGS (od januarja do decembra), LJU (od januarja do decembra), PDKS (od januarja do decembra), PERS (od januarja do decembra), ROBS (od

januarja do decembra). V drugo skupino pa spadajo opazovalnice: CADS (od februarja do decembra), GCIS (od februarja do decembra), JAVS (od februarja do decembra), KNDS (od februarja do decembra), VISS (od februarja do decembra), VOJS (od oktobra do decembra), ZAVS (od oktobra do decembra).

V nadaljevanju bomo podali primer analize za potresno opazovalnico CRES, nato sledijo rezultati, ki podajajo delovanje oziroma izpade državne mreže potresnih opazovalnic v letu 2004.

Primer analize delovanja za potresno opazovalnico CRES

Rezultati analize so podani za časovno obdobje od meseca januarja do decembra in so opisani v preglednicah 1, 2 in 3 ter na slikah 2, 3 in 4.

Celotno število izpadov v opazovanem obdobju je bilo 365. Njihovo skupno trajanje je bilo pet dni, tri ure in sedeminštirideset minut. Med njimi je bilo enajst takih, ki so trajali dlje kot dve uri. V opazovanem obdobju je bil najdaljši izpad petnajst ur in triintrideset minut in se je začel 21. avgusta 2004, ob uri 14:36 UTC. Število pogojnih izpadov v opazovanem obdobju je bilo 7. Najdaljši med njimi je trajal petinpetdeset minut. Skupno trajanje pogojnih izpadov v opazovanem obdobju je bilo pet ur in osemintrideset minut.

časovni interval*	število izpadov	skupno trajanje izpadov
$t \leq 1m$	1	0h 0m 30s
$1m < t \leq 2m$	89	2h 56m 50s
$2m < t \leq 3m$	122	4h 30m 54s
$3m < t \leq 4m$	5	0h 17m 4s
$4m < t \leq 5m$	18	1h 26m 1s
$5m < t \leq 10m$	40	4h 7m 54s
$10m < t \leq 15m$	22	4h 23m 45s
$15m < t \leq 30m$	19	6h 50m 33s
$30m < t \leq 45m$	16	9h 45m 0s
$45m < t \leq 1h$	7	6h 3m 54s
$1h < t \leq 2h$	15	22h 18m 50s
$2h < t \leq 3h$	3	8h 12m 14s
$3h < t \leq 5h$	5	16h 22m 35s
$5h < t \leq 10h$	1	5h 44m 15s
$10h < t \leq 1d$	2	30h 46m 51s
$t > 1d$	0	0d 0h 0m 0s
Σ	365	5d 3h 47m 10s

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

Table 1. Number and duration of out-of-operation periods and the total out-of-operation time for particular length of period

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

mesec	skupno trajanje izpadov
januar	0d 22h 36m 35s
februar	0d 0h 53m 1s
marec	0d 0h 7m 59s
april	0d 8h 4m 18s
maj	0d 14h 44m 55s
junij	0d 5h 15m 57s
julij	0d 5h 39m 30s
avgust	1d 0h 23m 47s
september	0d 21h 26m 13s
oktober	0d 18h 57m 8s
november	0d 1h 25m 30s
december	0d 0h 12m 17s
Σ	5d 3h 47m 10s

Preglednica 2. Skupno trajanje izpadov v posameznem mesecu.

Table 2. The sum of out-of-operation periods in each month.

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

*Slika 4. Skupno trajanje izpadov glede na časovni interval (vključno s pogojnimi izpadi).
Figure 4. Total out-of-operation periods for particular length of period
(including out-of-operation periods that appear in special conditions).*

časovni interval	število izpadov	skupno trajanje izpadov
$t \leq 15\text{m}$	297	0d 17h 42m 58s
$15\text{m} \leq 1\text{h}$	49	1d 4h 17m 13s
$1\text{h} < t \leq 3\text{h}$	18	1d 6h 31m 4s
$t > 3\text{h}$	8	2d 4h 53m 41s
Σ	372	5d 9h 24m 56s

Preglednica 4. Skupno trajanje izpadov glede na časovni interval (vključno s pogojnimi izpadi).

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

Slika 5. Skupno trajanje izpadov glede na določen časovni interval trajanja izpada za vse potresne opazovalnice z najeto linijo skupaj.

Figure 5. Total of out-of-operation periods for particular duration of period for stations that transmit data using dial up line.

Izpadi potresnih opazovalnic v letu 2004

V tem poglavju podajamo skupne rezultate analize in sicer posebej za potresne opazovalnice, ki komunicirajo z SOP preko najete linije (skupina A), ter za potresne opazovalnice, ki komunicirajo preko GSM terminala (skupina B). Na sliki 5 podajamo skupno trajanje izpadov glede na določen časovni interval trajanja izpada, za vse potresne opazovalnice iz skupine A. Na sliki 6 podajamo skupno trajanje izpadov glede na določen časovni interval trajanja izpada, za vse potresne opazovalnice iz skupine B.

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

Figure 6. Total of out-of-operation periods for particular duration of period for stations which transmit data using a GSM terminal.

Slika 7. Skupno trajanje izpadov vseh potresnih opazovalnic z najeto linijo v posameznem mesecu.

Figure 7. Total of out-of-operation periods per month for stations, that transmit data using dial up line.

oznaka	nastop izpada	ura (UTC)	trajanje izpada	razlog izpada
BOJS	23. nov.	22:07	9d 9h 51m	Nesporazum med izvajalci del pri izgradnji potresne opazovalnice in ELES, ki se je izrazil z izklopom potresne opazovalnice iz omrežne napetosti.
CEY	24. dec.	16:06	2d 16h 7m	Avtomatski izklop glavne varovalke za omrežno napetost.
CRES	24. jan.	23:38	0d 15h 32m	Izpad na komunikacijah med SOP in opazovalnico.
DOBS	18. avg.	09:10	1d 23h 29m	Avtomatski izklop glavne varovalke za omrežno napetost.
GOLS	15 okt.	04:39	6d 4h 26m	Okvara UPS enote na potresni opazovalnici.
GORS	2. jun.	11:37	14d 22h 25m	Okvara modema na opazovalnici in okvara 'paric'.
GROS	25. jul.	17:49	1d 13h 50m	Avtomatski izklop glavne varovalke za omrežno napetost.
KOGS	21. mar.	11:10	8d 22h 54m	Okvara na komunikacijskih poteh med SOP in potresno opazovalnico.
LEGS	4. avg.	04:23	2d 3h 42m	Avtomatski izklop glavne varovalke za omrežno napetost.
LJU	28. okt.	13:30	0d 16h 50m	Izklop sistema zaradi obnovitvenih del na opazovalnici.
PDKS	22. jul.	20:00	0d 10h 7m	Okvara na komunikacijskih poteh med SOP in potresno opazovalnico.
PERS	31. mar.	12:47	7d 0h 34m	Okvara na komunikacijskih poteh med SOP in potresno opazovalnico.
ROBS	3. sep.	09:27	1d 0h 18m	Okvara na komunikacijskih poteh med SOP in potresno opazovalnico.
CADS	7. okt.	06:43	1d 5h 58m	Okvara na komunikacijskih poteh med SOP in potresno opazovalnico.
GCIS	5. maj	22:16	8d 12h 14m	Okvare komunikacijske opreme na opazovalnici.
JAVS	22. jun.	03:58	37d 13h 45m	Zaradi pogostih izpadov omrežne napetosti je bila dana zahteva po zamenjavi zaščitnega elementa v električni omari. Izvajalec del je realiziral dejanje z veliko časovno zamudo.
KNDS	16. okt.	21:15	9d 14h 23m	Napaka v napajalni omarici (omarica z varovalkami), uničen zaščitni element.
VISS	12. jun.	11:30	5d 3h 49m	Okvara na komunikacijskih poteh med SOP in potresno opazovalnico.
VOJS	27. okt	17:01	0d 21h 5m	Okvara na komunikacijskih poteh med SOP in potresno opazovalnico.
ZAVS	22. dec	10:00	0d 5h 11m	Okvara na komunikacijskih poteh med SOP in potresno opazovalnico

Preglednica 5. Pregled najdaljših izpadov za posamezno potresno opazovalnico in razlogi zanje.

Table 5. An overview of the longest out-of-operation periods for particular seismic station and their causes.

Na sliki 7 podajamo skupno trajanje izpadov vseh potresnih opazovalnic v posameznem mesecu, iz skupine A. Slika 8 prikazuje skupno trajanje izpadov vseh potresnih opazovalnic v posameznem mesecu, iz skupine B. V preglednici 5 so povzeti najdaljši izpadi za posamezno potresno opazovalnico in razlogi zanje. V preglednici 6 podajamo povzetek rezultatov za vse opazovalnice.

oznaka opazovalnice	BOJS	CEY	CRES	DOBS	GOLS	GORS	GROS	KOGS	LEGS	LJU
opazovano območje [meseči]	2 – 12	1 – 12	1 – 12	1 – 12	1 – 12	5 – 12	1 – 12	1 – 12	1 – 12	1 – 12
celotno število izpadov	389	301	365	393	520	4052	374	707	404	488
najdaljši izpad	9d 9h 51m	2d 16h 7m	0d 15h 32m	1d 23h 29m	6d 4h 26m	14d 22h 25m	1d 13h 50m	8d 22h 54m	2d 3h 42m	0d 16h 50m
število izpadov t>3h	5	6	8	5	6	20	8	9	9	5
skupno trajanje izpadov t>3h	13d 3h 28m	4d 16h 56m	2d 4h 54m	3d 5h 56m	7d 14h 12m	48d 10h 16m	2d 17h 58m	21d 1h 0m	3d 19h 46m	1d 7h 1m

oznaka opazovalnice	PKDS	PERS	ROBS	CADS	GCIS	JAVS	KNDS	VISS	VOJS	ZAVS
opazovano območje [meseči]	1 – 12	1 – 12	1 – 12	2 – 12	2 – 12	2 – 12	2 – 12	2 – 12	10 – 12	10 – 12
celotno število izpadov	1050	685	513	636	1107	627	414	299	36	172
najdaljši izpad	0d 10h 7m	7d 0h 35m	1d 0h 18m	1d 5h 58m	8d 12h 15m	37d 13h 45m	9d 14h 24m	5d 3h 49m	0d 21h 6m	0d 5h 12m
število izpadov t>3h	12	10	14	31	8	45	26	10	3	2
skupno trajanje izpadov t>3h	2d 4h 37m	8d 14h 18m	3d 3h 7m	10d 8h 31m	16d 20h 24m	82d 16h 12m	30d 8h 52m	9d 0h 28m	1d 6h 9m	0d 9h 38m

Preglednica 6: Povzetek rezultatov o delovanju opazovalnic državne mreže potresnih opazovalnic v letu 2004.

Table 6. An overview of analysis of operation for seismic network of Slovenia in year 2004.

Zaključek

Potresne opazovalnice, ki komunicirajo preko GSM terminala, imajo veliko število krajših izpadov, ki so posledica prekinitve komunikacije. To lahko v primerih, ko si izpadi na komunikacijah sledijo zelo pogosto, povzroči izgubo podatkov. Medtem, ko je vzrok kratkih izpadov ponavadi manjša napaka na komunikacijah, pa so vzroki daljših izpadov raznovrstni. V grobem jih lahko delimo v tri skupine. V prvi skupini so problemi v zvezi z dobavo električne energije, predvsem so bili pogosti izpadi zaradi izklopa varovalk. Za rešitev tega problema smo v najbolj kritične opazovalnice vgradili tako imenovane avtomatske varovalke (avtomatska FIT stikala), ki se ob iznihanju motnje ponovno vklopijo. V drugo skupino spadajo problemi v zvezi s komunikacijo. Sem spadajo napake na modemih in usmernikih, ter pogoste prekinitve na komunikacijah, ki se pojavljajo na opazovalnicah, ki komunicirajo preko GSM terminala. S prenosom sprejemnih GSM terminalov iz lokacije HKOM-a v prostore SOP-a se je tovrstno število izpadov močno zmanjšalo. V tretjo skupino pa uvrščamo okvare na seizmološki opremi (okvare na UPS enotah, okvare na seizmometrih in zajemalnih enotah). Na hitrost odprave napak pogosto vpliva vrsta dejavnikov na katere

sami neposredno ne moremo vplivati, kot recimo slabe vremenske razmere, fizične napake na komunikacijskih poteh, ...

Slika 8. Skupno trajanje izpadov vseh potresnih opazovalnic z GSM komunikacijo skupaj v posameznem mesecu.

Figure 8. Total of out-of-operation periods per month for stations, that transmit data using a GSM terminal.

Še povzetek delovanja mreže leta 2004 ob najmočnejšem lokalnem potresu. 12. julija 2004 ob 15 uri in 04 minut po lokalnem času (13:04 UTC) je nastal v zgornjem Posočju močan potres z lokalno magnitudo 4,9. V tem času opazovalnica z oznako JAVS ni delovala zaradi problemov na napajalniku. Ostale so v realnem času poslale podatke o nihanju tal. Prvo informacijo o preliminarni lokaciji potresa je podal avtomatski sistem PRIKAZ (Tasič, 2001) v treh minutah po dogodku, zatem mu je sledila informacija avtomatskega sistema Antelope.

Na osnovi analize (ne)delovanja potresnih opazovalnic smo lahko izluščili najpogostejše vzroke, ki povzročijo posamezen izpad. S pomočjo teh spoznanj neprestano izboljšujemo delovanje mreže potresnih opazovalnic.

Literatura

<http://www.arso.gov.si/podrocja/potresi/podatki> (citirano 2006-01-30)

Interni arhiv Sektorja za potresna opazovanja za leto 2004-2005, Ljubljana.

Mali, M., 2005. Interno poročilo; poročilo o delovanju oziroma izpadih za leto 2004, Arhiv ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, Ljubljana.

Tasič, I., 2003. Avtomatska lokacija dogodkov na mreži NMX. Potresi v letu 2001 (ur. R. Vidrih), ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 58-65.

ZAJEM IN PROCESIRANJE SEIZMOLOŠKIH PODATKOV S PROGRAMSKIM PAKETOM ANTELOPE

ACQUISITION AND PROCESSING OF SEISMOLOGICAL DATA BY ANTELOPE SOFTWARE

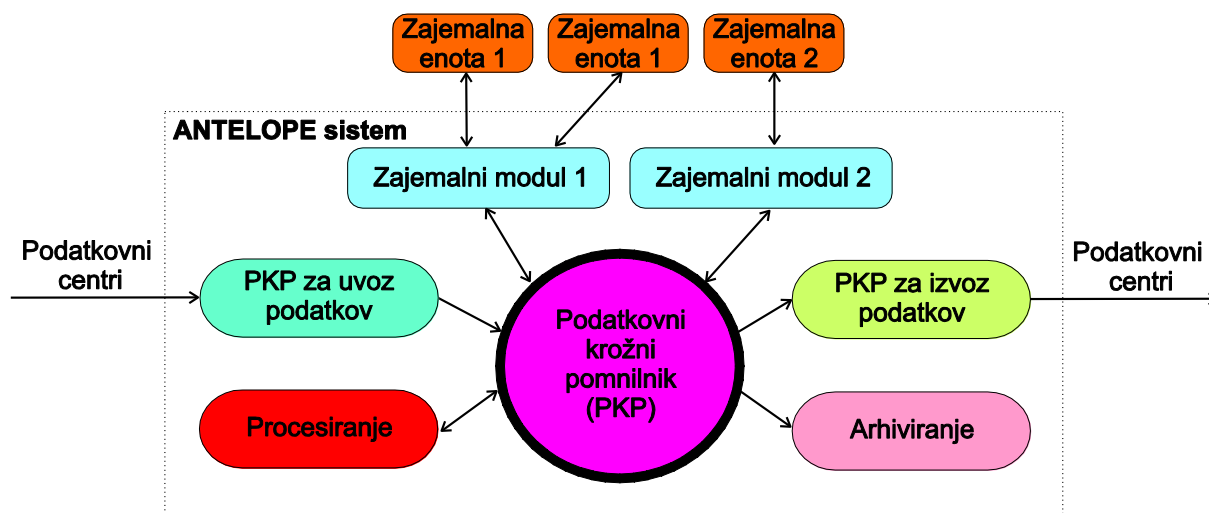
Matjaž Kobal, Martina Čarman, Janko Kolar, Jurij Pahor, Mladen Živčič

Izvleček. Na Uradu za seizmologijo in geologijo od leta 2001 uporabljamo za zajem, obdelavo, arhiviranje in posredovanje seizmoloških podatkov programski paket ANTELOPE. V sestavku je predstavljen ta programski paket ter njegova uporaba na primeru državne mreže potresnih opazovalnic. Dosedanje izkušnje kažejo, da lahko z gradniki programskega paketa ANTELOPE zgradimo zelo zanesljiv sistem, ki je popolnoma prilagojen uporabniku.

Abstract. ANTELOPE software has been used since 2001 at the Seismology and Geology Office, Ljubljana for acquisition, processing, archiving and distribution of seismological data. In this paper the ANTELOPE software and its implementation in the case of Seismic network of Slovenia is presented. It is our experience that by using the ANTELOPE modules one can build a fully customized and a very reliable system.

Programski paket ANTELOPE

Programski paket ANTELOPE (BRTT, 2005) je namenjen zajemanju, obdelavi, arhiviranju in posredovanju podatkov v realnem času. Paket sestavlja okoli 450 modulov, ki jih je mogoče zložiti v sistem, prilagojen vsakemu uporabniku. Čeprav je paket v osnovi namenjen seizmološkemu podatku, ga je mogoče zaradi svoje modularnosti uporabljati tudi na drugih področjih.

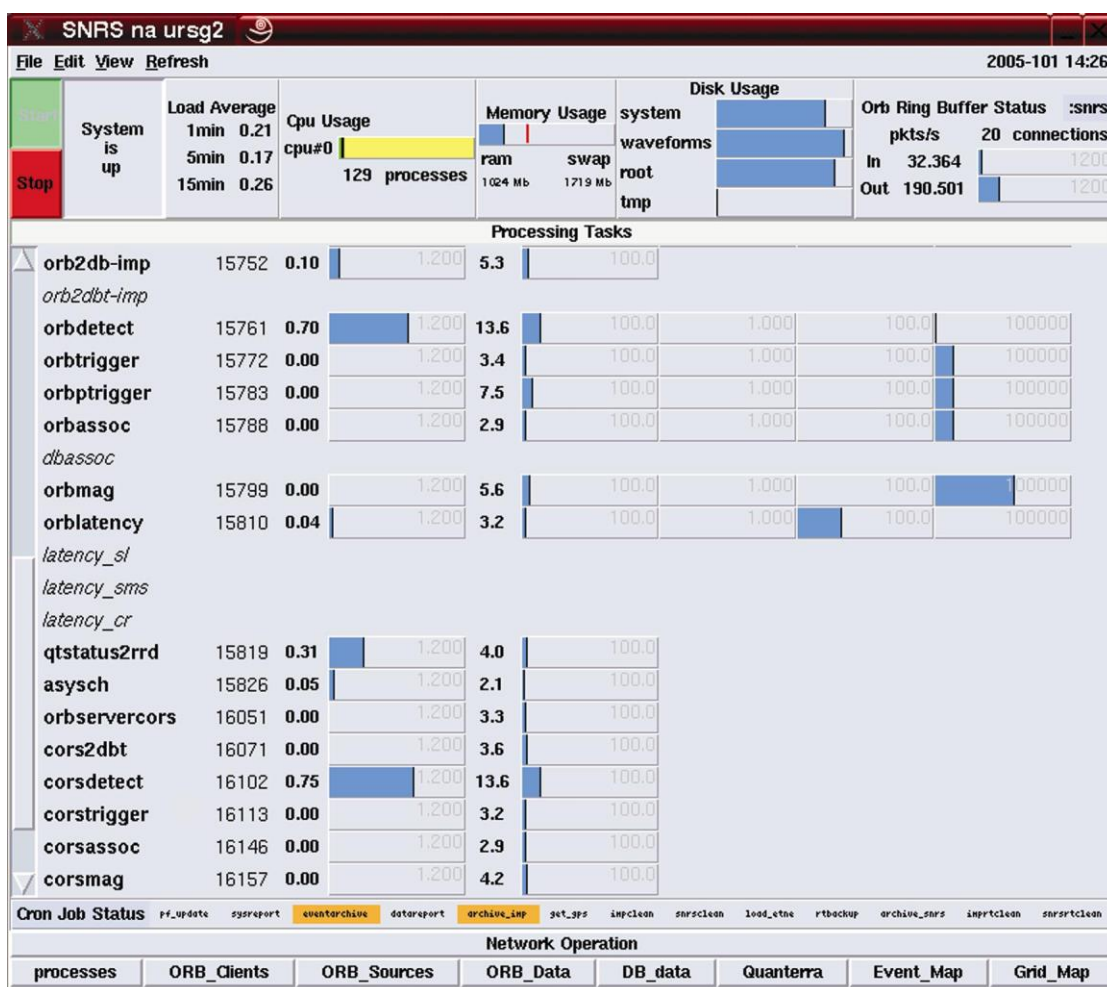


Slika 1. Shematski prikaz sistema ANTELOPE
Figure 1. Schematic representation of the ANTELOPE system

Ker so posamezni moduli dobro dokumentirani, lahko uporabniki sami upravljajo s sistemom in ga tudi nadgrajujejo. Vsak modul ima datoteko s parametri, kar omogoča popolno kontrolo nad sistemom. Medtem, ko so osnovni moduli binarna koda in torej nespremenljivi, pa je številne module mogoče spreminjati. Pisanje dodatnih modulov je močno olajšano z vmesniki za programske jezike C, PERL in TCL/TK.

Zajem podatkov s sistemom ANTELOPE je prikazan na sliki 1. Merilna veriga se začne s senzorji, priključenimi na digitalne zajemalne enote. Te enote podatke digitalizirajo in jih pošiljajo v zbirni center, kjer teče ANTELOPE sistem. ANTELOPE sistem komunicira z zajemalnimi enotami preko zajemalnih modulov. Za vsako vrsto zajemalnih enot potrebujemo ustrezní modul. V paketu obstajajo moduli za celo vrsto zajemalnih enot, lahko pa napišemo tudi svoje. Namen zajemalnih modulov je sprejem podatkov s sensorja in podatkov o stanju zajemalne enote ter njihovo posredovanje v podatkovni krožni pomnilnik.

Podatkovni krožni pomnilnik, PKP, je podatkovni pomnilnik določene velikosti. Podatki se shranjujejo v vrstnem redu prihoda v PKP. Ko se pomnilnik napolni, se s prihajanjem novih podatkov izgublja ustrezna količina starih.



Slika 2. Grafični vmesnik za nadzor posameznih modulov ANTELOPE sistema

Figure 2. Graphical interface for monitoring individual modules of the ANTELOPE system

Poleg podatkov iz zajemalnih modulov, lahko v PKP posredujemo tudi podatke iz drugih PKP ter celo iz podatkovnih sistemov kot so SeisComP [2], EARTHWORM [3], IDA/NRTS [4] in USGS/LISS [5]. V PKP lahko spravimo poleg seizmogramov tudi druge podatke. Tako lahko posebni moduli obdelujejo podatke iz PKP in svoje rezultate tudi pišejo nazaj v PKP, kjer so dostopni za nadaljnjo obdelavo oziroma za obveščanje.

Ker PKP ni namenjen trajnemu shranjevanju podatkov, se surove podatke in rezultate obdelave iz PKP prepisuje v podatkovno bazo, ki je sestavni del ANTELOPE paketa. Čeprav večina obdelave podatkov poteka na podatkih v PKP, pa ANTELOPE paket vsebuje tudi verzije modulov za obdelavo podatkov, ki so shranjeni v bazi. S temi moduli lahko obdelamo iste podatke z uporabo različnih parametrov in tako določimo najustreznejše parametre.

ANTELOPE paket vsebuje tudi številne module za kontrolo delovanja sistema. Nekateri med njimi so grafični, tako da lahko uporabnik enostavno spremlja dotok podatkov v PKP ter nadzira hitrost prenosa podatkov in zamude podatkov s posameznih opazovalnih mest. Nadzirati je mogoče tudi delovanje posameznih modulov s spremljanjem obremenitve procesorja in uporabe diskov (slika 2).

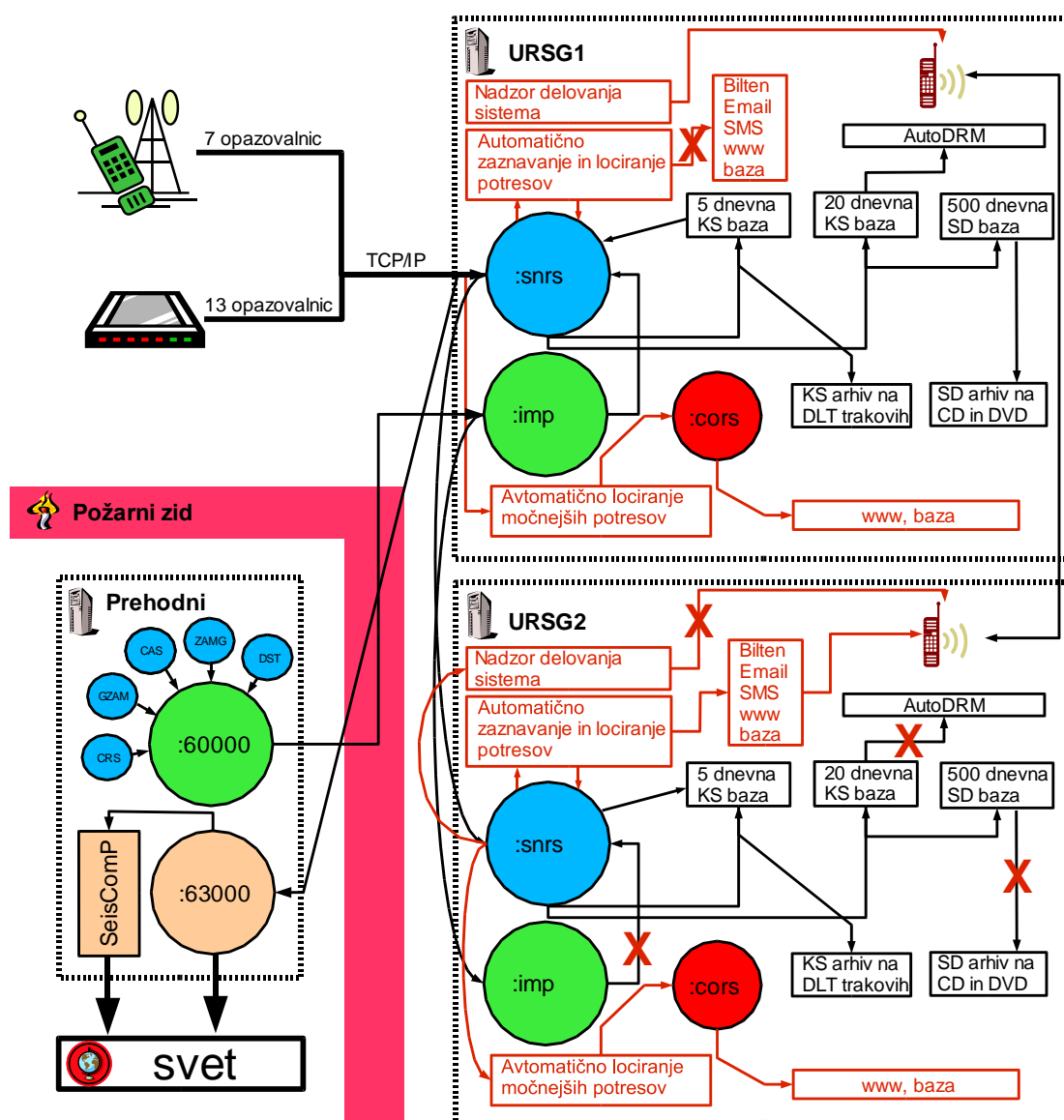
Sistem ANTELOPE na primeru državne mreže potresnih opazovalnic

Ena glavnih nalog Urada za seizmologijo in geologijo je zaznavanje potresov na tleh Republike Slovenije, določanje njihovih lokacij in magnitud ter shranjevanje podatkov. V primeru potresov, ki so jih čutili prebivalci Slovenije, moramo podatke o potresu kar najhitreje posredovati ustreznim službam. Da bi bil odzivni čas čim krajši, se avtomatično pripravijo različni podatki o potresu, ki jih dežurni seizmolog pregleda in potrdi ali pa določi nove.

Ker so močnejši potresi redek in nepredvidljiv pojav, je nedelovanje sistema nesprejemljivo. To pa pomeni, da morajo biti vsi vitalni deli sistema vsaj podvojeni, saj ne moremo pričakovati, da ne bi prišlo do okvar na posameznih delih sistema. Prav tako je nujno stalno nadziranje delovanja sistema.

Zajem podatkov

Na ANTELOPE sistem je bilo v letu 2004 priklopljenih 20 stalnih potresnih opazovalnic državne mreže razporejenih po vsej Sloveniji, prejemamo pa tudi seizmološke podatke iz sosednjih držav. Večina (točni podatki so opisani v [5]) potresnih opazovalnic naše mreže je opremljenih s trikanalnimi širokopasovnimi senzorji Guralp CMG-40T, priklopljenimi na zajemalne enote Quanterra Q730, ki skrbijo za digitalizacijo in pošiljanje podatkov v zbirni center v Ljubljani. Zajemalne enote pošiljajo podatke v podatkovnih nizih s frekvencami vzorčevanja 1 Hz, 20 Hz in 200 Hz, kar nanese okoli 2 Gb podatkov na dan. Analiza lokalnih potresov poteka na podatkovnih nizih s frekvenco 200 Hz. Ostali nizi se uporabljajo pri analizi oddaljenih potresov, služijo pa tudi kot rezerva v primeru izpada komunikacije med postajo in informacijskim omrežjem HKOM. Zajemalne enote lahko namreč shranijo določeno količino podatkov, od frekvence vzorčevanja pa je odvisno, kolikšno časovno obdobje ti podatki predstavljajo.



Slika 3. Shema ANTELOPE sistema državne mreže potresnih opazovalnic. V sistem za zajem lokalnih podatkov sta zaradi varnosti vključena dva identična računalnika. Izmenjava podatkov z drugimi ustanovami poteka preko tretjega računalnika, ki je izven požarnega zidu. Podatkovni krožni pommilniki so označeni s krogi, procesiranje z rdečimi okviri, arhiviranje pa s črnimi. Da ne bi prišlo do podvojevanja, nekateri procesi (povezave označene z X) na nekaterih računalnikih ne tečejo.

Figure 3. ANTELOPE system in Seismic network of Slovenia. For redundancy reasons there are two identical computers included in the data acquisition system. For data exchange, a third computer outside the firewall is used. The object ring buffers are presented by circles, data processing by red frames and archiving by black frames. Some processes are not running on both machines (the connections have an X written over them).

Najpogosteje pride do izpada podatkov zaradi napak v omrežju (Pahor in sod., 2005), na kar nimamo direktnega vpliva. Da bi se izognili izpadu sistema zaradi računalniške okvare, sta v sistem zajemanja vključena dva identična računalnika. V primeru okvare primarnega računalnika, zajemalne enote prenehajo pošiljati podatke, opozorilni sistem pa obvesti ustrezne osebe preko SMS sporočil. Kar najhitreje se potem ročno ustavi še sekundarni sistem, ki na disk zapiše, katere podatke je že prejel, tako da ne pride do izgube ali podvojevanja podatkov pri ponovnem zagonu. Po ustavitvi, ki traja nekaj minut,

sekundarnemu računalniku dodelimo IP številko primarnega in sistem ponovno zaženemo. Ko je sistem ponovno zagnan, začnejo zajemalne enote spet pošiljati podatke. Najprej se z največjim možnim prenosom prenesejo zakasnjeni podatki, potem se zajemanje nadaljuje v realnem času.

Zaradi velike količine podatkov so najpogostejše okvare na računalnikih okvare diskov. Vpliv okvar diskov smo zmanjšali z uporabo RAID 1 sistema oziroma zrcaljenja diskov. To pomeni, da imamo par diskov, na katerih se podatki podvajajo. Ker ju operacijski sistem zazna kot en sam disk, lahko v primeru okvare enega od diskov iz para sistem nemoteno deluje naprej. Na RAID 1 diskih imamo operacijski in ANTELOPE sistem ter petdnevno bazo neprekinjenih seizmogramov (KS baza).

Shema ANTELOPE sistema je prikazana na sliki 3. Podatki prihajajo v center iz zajemalnih enot preko TCP/IP protokola. 13 zajemalnih enot je s centrom povezanih preko najetih telefonskih vodov, 7 pa jih uporablja brezžično telefonijo. Zajemalne enote pošiljajo podatke na določeno IP številko in port. Zato smo tudi posamezne PKP označili z notacijo računalnik:vrata. Na sliki so predstavljeni s krogi. Vsi podatki lokalne mreže se zbirajo v `ursg1:snrs`. Za vrata lahko namesto številke uporabimo tudi imena. Preslikave so zapisane v posebni datoteki.

Da bi zmanjšali možnost vdora v sistem, se podatki iz sosednjih držav zbirajo na računalniku izven notranjega omrežja in se potem prenesejo na `ursg1:imp`. Podatke prejemamo iz Osrednjega instituta za meteorologijo in geodinamiko z Dunaja (ZAMG), tržaške univerze (DST), Centra za seizmološke raziskave, Instituta za oceanografijo in geofiziko iz Trsta (OGS), Geofizikalnega instituta češke akademije znanosti iz Prage (CAS) in Geofizikalnega zavoda Andrije Mohorovičiča Univerze iz Zagreba (GZAM).

Na podatkih tujih postaj ne vršimo avtomatičnega procesiranja potresov, saj je večina zaznanih potresov na teh podatkih izven Slovenije. Nekatere opazovalnice, ki ležijo blizu meje in pošiljajo podatke neprekinjeno, se prepisejo iz `ursg1:imp` v `ursg1:snrs` in jih obravnavamo kot lokalne.

Obdelava podatkov in obveščanje

Procesi samodejne obdelave podatkov in obveščanja so na sliki 3 predstavljeni z rdečimi okvirji. Samodejno zaznavanje potresov uporabljamo v dva namena. Pri dnevni analizi želimo zaznati čim več dogodkov, pri čemer ni pomembno da so vsi samodejno določeni dogodki potresi. Prav tako ni potrebno, da so vsi določeni podatki točni, saj vsak dogodek naknadno pregleda seizmolog. Pri obveščanju je situacija obratna, zanimivi so samo močnejši dogodki, je pa zelo pomembno, da so samodejno določeni podatki kar se da točni. Obdelavo podatkov vršimo torej dvakrat z različnimi parametri. Rezultate obdelave s parametri za šibkejša potresa pišemo v `:snrs`, rezultati obdelave s parametri za močnejša potresa pa gredo v `:cors`.

Ko se v :snrs ali v :cors pojavi paket s parametri potresa, se sprožijo procesi obveščanja. Postopki so v obeh primerih podobni, razlika je le v vstopnih podatkih. Podatki o potresu se zapišejo v datoteko, natisnejo na tiskalnik v kontrolni sobi, razpošljejo po elektronski pošti in s SMS sporočili ter se postavijo na spletno stran (slika 4). Na spletni strani je poleg podatkov o potresu možno videti tudi zapise potresa ter grafično predstavljeno lokacijo s podatki o postajah, ki so potres zaznale. S podatki z domače strani lahko dežurni seizmolog v večini primerov v roku nekaj minut potrdi potres, v katerem delu Slovenije je bilo nadžarišče in poda oceno o magnitudi. Če je potrebno, lahko dežurni seizmolog potres analizira iz seizmogramov, ki so prav tako dostopni preko domače strani.

Arhiviranje in posredovanje podatkov

Arhiviranje je na sliki 3 predstavljeno s črnimi kviri. Seizmogrami in rezultati procesiranja se zaradi varnosti shranjujejo na več mestih. Na obeh računalnikih imamo pet dnevne baze neprekinjenih podatkov (KS baze) na RAID 1 diskih ter 20 dni kontinuiranih podatkov na navadnih diskih. Na navadnih diskih imamo tudi za leto dni surovih podatkov v časovnih intervalih okrog dogodkov (SD baze). Časovni interval se določi glede na lokacijo potresa. Za lokalne potrese shranimo 4 minutni časovni interval, ki se začne 1 minuto pred prvim vstopom. Pri regionalnih potresih shranimo 10 minut podatkov, pri oddaljenih pa je časovni interval odvisen od magnitude in je lahko dolg tudi 3 ure.

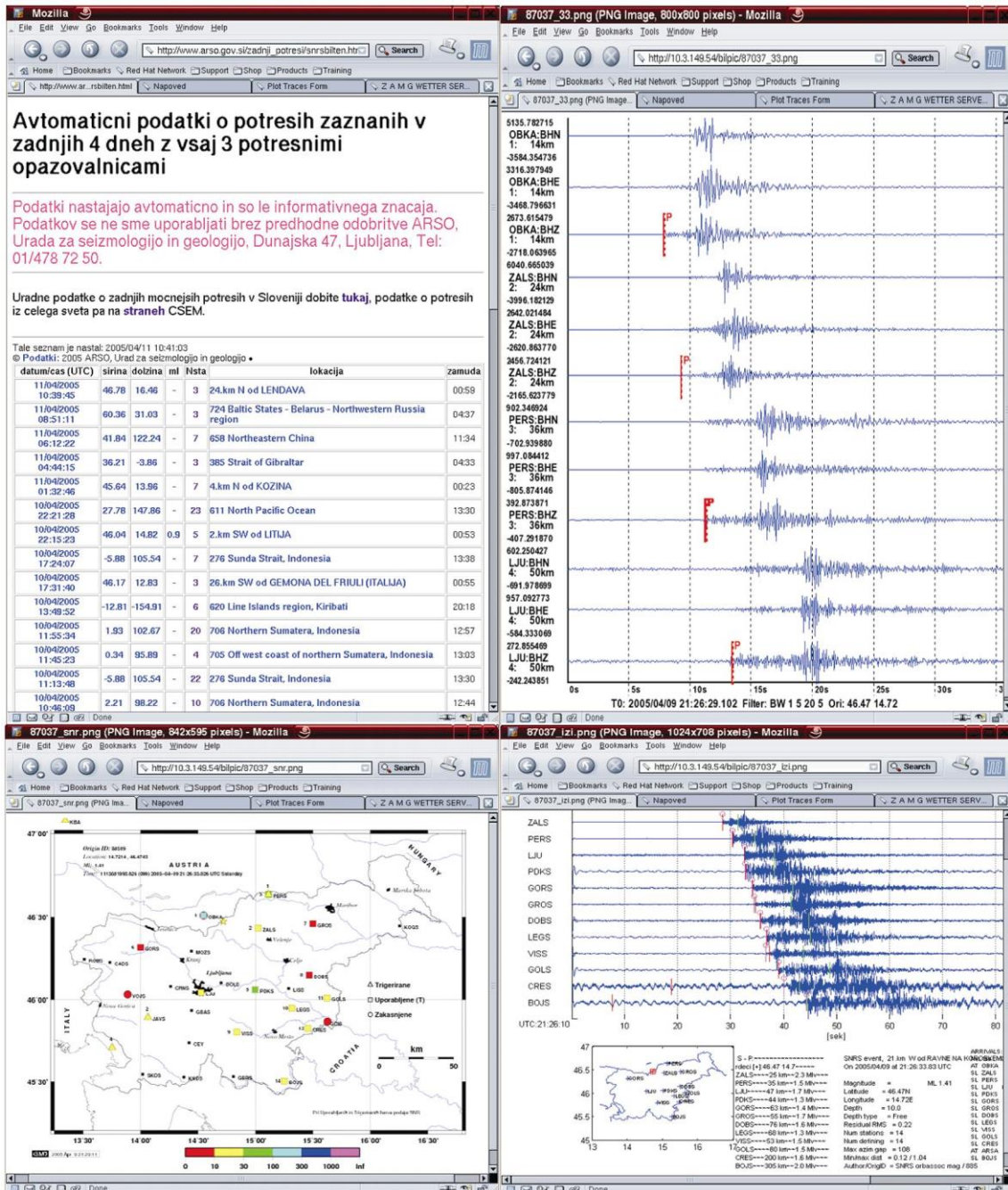
Neprekinjeni podatki se dnevno shranjujejo na DLT trakove, podatki v časovnih intervalih okrog dogodkov pa se mesečno zapisujejo na CD oziroma DVD.

Podatki so dostopni v realnem času zunanjim organizacijam preko ANTELOPE in SeisComP podatkovnih krožnih pomnilnikov na zunanjem računalniku. Podatke iz 20 dnevne kontinuirane baze pa je možno dobiti preko AutoDRM zahtev. To pomeni, da je potrebno poslati elektronsko pošto z ustrezno vsebino na naslov autodrm.lju@gov.si, strežnik pa potem pošlje podatke pošiljatelju tudi preko elektronske pošte. Navodila za AutoDRM dobimo, če pošljemo elektronsko pošto z vsebino "help".

Nadzor delovanja sistema

Parametre kot so zamujanje podatkov z opazovalnic, pomanjkanje prostora na diskih, zaustavitev sistema ali nedelovanje SMS modemov nadzorujemo avtomatično z orodji, ki smo jih razvili sami, obveščanje pa poteka preko elektronske pošte in SMS sporočil. Da bi zmanjšali možnost nedelovanja pošiljanja SMS sporočil, uporabljamo za pošiljanje SMS sporočil dva modema, na dveh računalnikih, ki sta prijavljena pri dveh različnih operaterjih.

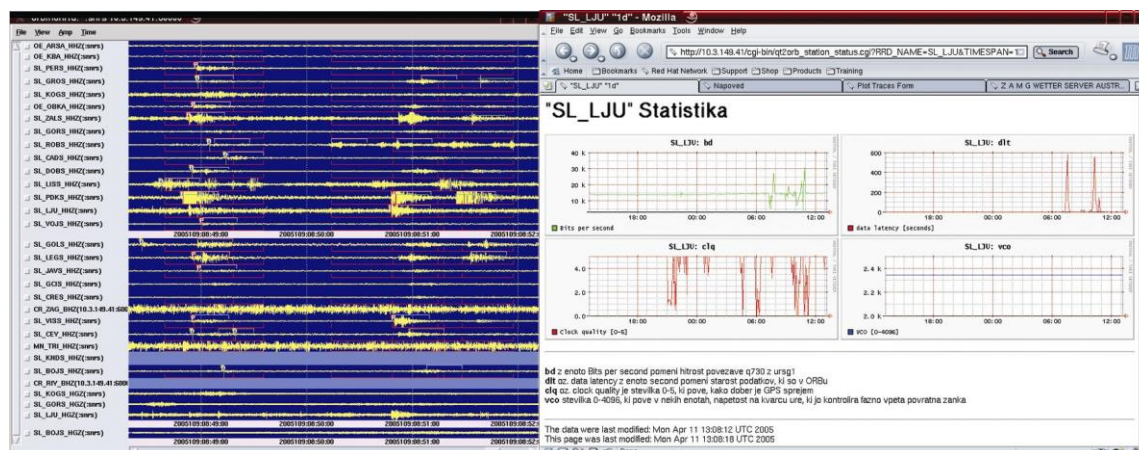
Napake na senzorjih odkrivamo z iskanjem korelacij med podatki različnih kanalov iste opazovalnice. Trikrat mesečno pa opravljamo tudi meritve šuma na vseh opazovalnicah.



Slika 4. Podatke o potresih v zadnjih nekaj dneh je mogoče dobiti na spletu. Poleg osnovnih podatkov o potresu (levo zgoraj) si lahko preko povezav ogledamo tudi zapise vseh komponent štirih najbližjih opazovalnic (desno zgoraj), vertikalnih komponent vseh triggeriranih opazovalnic (desno spodaj) ter zemljevid Slovenije z lokacijo in podatki o postajah, ki so potres zaznale (levo spodaj). Potrese lociramo na dva načina (rdeča krogec in kvadrata na sliki desno spodaj). Če sta dobljeni lokaciji blizu, kot v danem primeru kjer se prekrivata, je to dober pokazatelj o ustreznosti lokacije. Program za dodatno lociranje je napisal I. Tasič (Tasič, 2003).

Figure 4. The data about recent earthquakes can be obtained on the internet. Beside the basic parameters (upper left) links can be used to view waveforms of all components for the four closest stations (upper right), vertical components of all triggered stations (lower right) and country map with location and information about triggered stations (lower left). Two location algorithms are used to determine the location (red square and circle on the lower right figure). If the two locations agree, it is reasonable to assume the location to be correct. The second location program was written by I. Tasič (Tasič, 2003).

Poleg samodejnega nadzora, sistem nadzorujemo tudi prek grafičnih vmesnikov. Na dveh mestih v prostorih Urada za seizmologijo in geologijo imamo nameščena vmesnika za sprotno prikazovanje seizmogramov (slika 5), tako da ne mine več kot nekaj minut ne da bi kdo preveril ali podatki prihajajo. Nadziranje zamude in prenosa podatkov ter kvalitete in stabilnosti ur na zajemalnih enotah je možno preveriti s spletnim brskalnikom (slika 5), kontrola pa se vrši vsaj enkrat dnevno. Najbolj natančen nadzor podatkov je vsakodnevna analiza, ko seizmolog natančno pregleda vse zapise prejšnjega dne.



Slika 5. Levo: Grafični vmesnik namenjen prikazovanju podatkov v podatkovnem krožnem pomnilniku. Na sliki so razločno vidni trije potresi v bližini opazovalnice PDKS. Desno: Nadzor prenosa podatkov (bd), zamude podatkov (dlt), kvalitete (clq) ter stabilnosti (vco) ur preko spletnega brskalnika. Programe za nadzor je napisal N. Horn (ZAMG).

Figure 5. Left: Graphical interface for monitoring data in the object ring buffer. Three events close to the station PDKS are clearly seen. Right: Monitoring of station's baudrate (bd), data latency (dlt), clock quality (clq) and clock stability (vco). The monitoring programs were written by N. Horn (ZAMG).

Sklep

ANTELOPE paket uporabljamo v Uradu za seizmologijo in geologijo že od leta 2001. Sistem zaustavimo nekajkrat letno za približno 5 minut zaradi nadgradnje. Ker se med zaustavitvijo podatki shranjujejo na zajemalnih enotah, sistem pa vodi evidenco o prispelih podatkih, pri zaustavitvi sistema ne pride do izpada podatkov. Sistem smo ustavili tudi že zaradi okvare diskov, vendar je sekundarni računalnik brez težav prevzel nalogo primarnega tako, da se takšna ustavitev za uporabnika ni bistveno razlikovala od normalne. Tudi iz izkušenj drugih uporabnikov lahko trdimo, da je sistem zelo zanesljiv. Kot pri uporabi drugih programskih paketov se tudi pri delovanju ANTELOPE sistema pojavljajo nepravilnosti. Na srečo je del za zajem podatkov v PKP precej robusten in napak v tem delu še nismo odkrili. Zaznali smo nekaj nepravilnosti pri pisanju podatkov v bazo ter pri samodejnem zaznavanju potresov, kar pa ni tako kritično, saj to delo opravlja več računalnikov, napake pa se v večini primerov pojavijo samo na posameznih računalnikih.

Ker je ANTELOPE paket plačljiv, se lahko njegovi uporabniki zanesejo na stabilno delovanje ter dokaj hitro pomoč proizvajalca. Proizvajalec organizira tudi tečaje in srečanja uporabnikov. Nove izboljšane verzije paketa lahko pričakujemo na približno leto dni. Žal se

je, tako kot pri drugih programskih paketih, izkazalo, da nove verzije poleg dodatnih možnosti vsebujejo tudi vse večje število napak.

Predvsem zaradi velikih stroškov uporabe ANTELOPE, se čedalje več inštitucij, ki sisteme šele gradijo, odloča za brezplačen paket SeisComP. Paket zaenkrat omogoča le osnovne funkcije zajema in shranjevanja podatkov. Ena večjih pomanjkljivosti paketa je, da ne vsebuje podatkovne baze, preko katere bi lahko uporabnik enostavno dostopal do podatkov. Glede na to, da se skupnost uporabnikov SeisComP širi, lahko pričakujemo naraščanje števila dodatnih modulov, povečale pa se bodo tudi možnosti svetovanja. Ko in če se bo to zgodilo, bo SeisComP postal resen tekmeč ANTELOPE, vprašanje pa je ali bo ostal neplačljiv. Tudi prve verzije ANTELOPE so bile namreč neplačljive. V Uradu za seizmologijo in geologijo uporabljamo SeisComP za izmenjavo podatkov z ustanovami, ki nimajo ANTELOPE paketa.

Literatura

- BRTT (Boulder Real Time Technologies), inc.(citirano 10.4.2005). Dostopno na nalsovu: <http://www.brnt.com/>.
- Earthworm documentation, (online).(citirano 10.4.2005). Dostopno na naslovu: <http://folkworm.ceri.memphis.edu/ew-doc/>.
- Live internet seismic server, (online).(citirano 10.4.2005). Dostopno na naslovu: <http://www.liss.org/>.
- Pahor J., Čarman M., Kobal M., Kolar J., Živčič M., 2005. Učinkovitost zbiranja podatkov iz potresnih opazovalnic v letu 2003. Potresi v letu 2003 (ur. R. Vidrih), ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 63-68.
- Project IDA, (online).(citirano 10.4.2005). Dostopno na naslovu: <http://ida.ucsd.edu/>.
- Sinčič P., Vidrih R., Gostinčar M. in Živčič M., 2005. Potresne opazovalnice v Sloveniji v letu 2003. Potresi v letu 2003 (ur. R. Vidrih), ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 7-20.
- Tasič I., 2003. Avtomatska lokacija dogodkov na mreži NMX. Potresi v letu 2001 (ur. R. Vidrih), ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 58-65.
- What is SeisComP?, (online).(citirano 10.4.2005). Dostopno na naslovu: <http://www.gfz-potsdam.de/geofon/new/scp.html>.

UČINKOVITOST PRIDOBIVANJA PODATKOV IZ POTRESNIH OPAZOVALNIC SLOVENSKE MREŽE V LETU 2004 SEISMIC DATA ACQUISITION EFFICIENCY FOR SLOVENIAN NETWORK IN 2004

Jurij Pahor, Mladen Živčić, Martina Čarman, Janko Kolar

Izvleček. Izgubo seizmičnih podatkov iz opazovalnic državne mreže potresnih opazovalnic v letu 2004 smo ocenili iz zapisov o shranjenih podatkih na magnetne trakove (wftar tabela). Izguba podatkov iz dvajsetih stalnih opazovalnic znaša 6,2% za podatkovne nize s frekvenco vzorčenja 200 vzorcev v sekundi (HH), 4,6% za podatkovne nize s frekvenco vzorčenja 20 vzorcev v sekundi (BH) ter 4,4% za podatkovne nize s frekvenco vzorčenja 1 vzorec v sekundi (LH). Spremljali smo tudi čas prihoda HHZ podatkovnih nizov, ki so predvsem pomembni za samodejno določanje parametrov potresov. Iz skoraj polletnega beleženja starosti podatkov sledi, da imamo v povprečju na voljo podatke iz treh opazovalnic (15% vseh) po manj kot dveh sekundah, po desetih sekundah pa so na voljo podatki iz približno 85% opazovalnic. Iz porazdelitve oddaljenosti nadžarišč od najbližjih opazovalnic sklepamo, da čas potovanja podatkov iz opazovalnic v povprečju v letu 2004 ni bistveno vplival na hitrost določanja osnovnih parametrov seizmičnih dogodkov.

Abstract. The seismic network of Slovenia was operating twenty seismic stations in 2004 with five of them being put in commission during the year. The dataloss was evaluated from tape-drive backup logs (wftar table in ANTELOPE database) and was found to be 6.2% for 200 sps datastreams (HH), 4.6% for 20 sps datastreams (BH) and 4.4% for 1 sps datastreams (LH). The greatest dataloss is accounted for seismic station GORS, which was deployed in May and was out of order due to technical problems for 63 days. The dataloss from station JAVS is primarily due to power failure. In the second half of the year the data latency for HHZ channels was being logged at intervals of five minutes. A cumulative time distribution of data availability was made which shows, in average, a 15% data availability (three seismic stations) after less than two seconds and almost 85% of data availability after ten seconds. The epicentral solution time is combined from seismic waves travel time, data latency time and computational time. It was found to hold values mostly between 15 and 100 seconds. Since a minimum of three first arrivals are required for a fixed depth epicentral solution, an average estimate for seismic waves travel time for the third nearest station was derived from the distribution of automatically located seismic events by epicentral distance of the n -th nearest station. The estimate yields an average of 40 km for the third nearest seismic station which, amounts to approx. 7 s of P-waves travel time. For larger events, where earthquake signal lasts longer (more than one minute for duration magnitude 3), the most computational time is spent waiting for the trigger to finish or detections to appear on at least ten stations. It is shown that the tenth nearest seismic station is approx. 75 km (13 s for P-waves travel time) distant from the epicentres for the given time period and area, in average. This shows that data latency was a minor factor in the epicentral determination process in 2004, but only in average. In the case of large data latency of the nearest seismic stations there can be substantial decrease in solution determination efficiency and quality.

Uvod

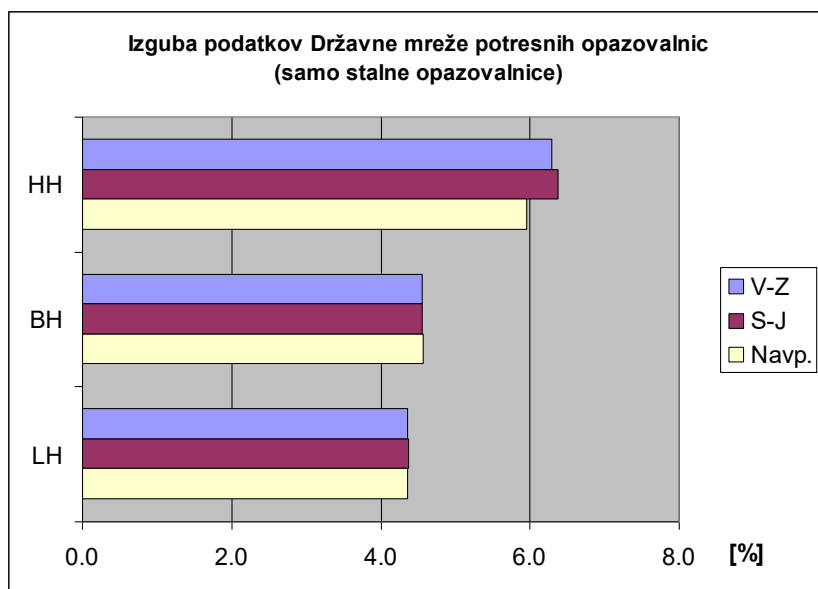
Učinkovitost pridobivanja podatkov iz Državne mreže potresnih opazovalnic smo začeli redno spremljati v letu 2003. Sprva je to potekalo v obliki poročil o količini zbranih podatkov (Pahor in sod., 2005), ki jih dnevno samodejno ustvari Antelope sistem za zajemanje in obdelavo podatkov (Boulder Real Time Technologies, 2005), kasneje pa v obliki preglednice, ki je del podatkovne baze in vsebuje seznam manjkajočih podatkov za posamezne podatkovne nize. Za leto 2004 smo uporabili vrednosti iz preglednice arhiviranih podatkov

na magnetni trak (*wfstar* preglednica). Analiza izgube podatkov iz začasnih potresnih opazovalnic ni zajeta v tem poročilu.

Pri samodejnem določanju parametrov potresov v realnem času je poleg skupne količine pridobljenih podatkov zelo pomemben tudi čas, v katerem ti podatki prispejo do centra za obdelavo. V juliju 2004 smo začeli beležiti starost podatkov, ko prispejo v center za obdelavo. Podatke zajemamo v obliki paketov po TCP/IP protokolu, pri čemur se starost podatkov, ki jo beležimo, nanaša na čas začetka paketa. Paketi podatkovnih nizov s frekvenco vzorčenja 200 vzorcev v sekundi vsebujejo povprečno 480 izmerkov, kar ustreza časovnemu intervalu 2,4 sekunde. Velikosti paketov iz posamezne potresne opazovalnice so približno konstantne, razlike pa so med opazovalnicami. Največji paketi vsebujejo do 2,8 s, najmanjši pa okrog 1,3 s.

Izguba podatkov v letu 2004

V tej analizi je zajetih dvajset stalnih potresnih opazovalnic, od tega jih je bilo pet priklopljenih tekom leta 2004. Poleg teh so delovale še štiri začasne potresne opazovalnice, od katerih smo tri odklopili med letom. Spremljali smo podatkovne nize s frekvenco vzorčenja 200 vzorcev v sekundi (HH), 20 vzorcev v sekundi (BH) ter 1 vzorec v sekundi (LH). Za določanje osnovnih parametrov potresov so pomembni predvsem podatki iz seizmometrov (ki merijo hitrosti premikanja tal), zato so podatki akcelorimetrov izpuščeni iz obravnave.



Slika 1. Izguba seizmičnih podatkov Državne mreže potresnih opazovalnic v letu 2004. Podatki o izgubah so združeni v skupine po podatkovnih nizih (HH, BH, LH), znotraj skupine pa so razdeljeni po komponentah (vzhod-zahod, sever-jug, navpično). Pri senzorjih v vrtinah so vodoravne komponente HH1 štete med HHE, HH2 pa med HHN podatkovne nize.

Figure 1. The data loss of the Seismic Network of the Republic of Slovenia in 2004. The chart shows groups of different datastreams (HH, BH, LH) and in directional components (east-west, north-south, vertical) within a single group. HH1 are accounted as HHE and HH2 are accounted as HHN datastreams for borehole sensors.

	HHE	HHN	HHZ	BHE	BHN	BHZ	LHE	LHN	LHZ	N
BOJS	5,4	5,4	5,5	5,3	5,1	5,3	5,0	5,0	5,0	319
CADS	5,5	5,7	3,2	0,8	0,8	0,6	0,7	0,7	0,7	366
CEY	1,9	1,9	2,1	1,8	1,8	1,4	1,4	1,4	1,4	366
CRES	1,0	1,1	1,2	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	366
DOBS	1,6	1,5	1,7	1,2	1,2	1,4	1,2	1,2	1,2	366
GCIS	7,9	8,0	8,4	4,4	4,4	4,5	3,8	3,8	3,7	366
GOLS	3,7	3,8	3,9	3,3	3,3	3,3	2,9	2,9	2,9	366
GORS	35,0	35,1	24,6	18,7	18,7	18,6	18,6	18,6	18,1	226
GROS	1,4	1,3	1,3	1,3	1,2	1,2	1,4	1,4	1,4	366
JAVS	23,4	23,8	23,7	20,6	20,7	21,0	20,1	20,3	20,1	366
KNDS	10,3	10,6	11,2	8,8	8,8	8,8	8,8	8,8	9,2	366
KOGS	10,2	10,2	10,2	9,8	9,8	9,8	8,0	8,0	7,9	345
LEGS	1,9	2,0	2,0	1,4	1,4	1,4	1,5	1,5	1,5	366
LJU	1,5	1,4	1,6	0,7	0,9	0,7	0,7	0,6	0,6	366
PKDS	1,5	1,7	1,6	1,2	1,2	1,3	1,4	1,4	1,4	366
PERS	2,7	2,8	2,8	2,6	2,6	2,6	2,4	2,4	2,4	366
ROBS	1,8	2,1	2,1	1,3	1,2	1,2	1,4	1,4	1,4	366
VISS	5,5	5,6	4,5	2,7	2,9	2,7	2,3	2,2	2,2	366
VOJS	12,8	12,7	14,1	9,4	9,4	9,9	9,5	9,6	9,6	155
ZALS	3,2	3,8	4,7	2,2	2,2	2,2	3,1	3,1	3,1	116
skupaj: total:	6,3	6,4	6,0	4,6	4,6	4,6	4,4	4,4	4,4	

Preglednica 1. Izguba podatkov v treh komponentah podatkovnih nizov HH, BH in LH po opazovalnicah, izražena v odstotku pričakovanega obratovalnega časa, za leto 2004. V zadnjem stolpcu je navedeno število dni (N) pričakovanega delovanja opazovalnice v letu 2004.

Table 1. Dataloss in percentage of expected operation time for three-channel HH, BH and LH datastreams for each seismic station in 2004. The expected number of operation days (N) in 2004 is given in the last column. The overall values for the seismic network are given in the bottom row.

Izgube podatkov se med HH ter BH in LH podatkovnimi nizi razlikujejo predvsem zaradi nastavitve zajemalnih enot. V primeru, ko se pomnilnik enote zapolni (npr. pri daljšem izpadu komunikacij), najprej izpadejo gosteje vzorčeni podatki. Enako velik paket podatkov vsebuje v redkeje vzorčenih podatkovnih nizih ustrezno daljši časovni interval, kot v gosteje vzorčenih, zato smo nastavili, da LH podatkovni nizi zadnji izpadejo iz pomnilnika zajemalne enote. Razlike pri izgubah podatkov med komponentami znotraj posameznega podatkovnega niza so prav tako posledica nastavitve prioritetenih komponent v zajemalnih enotah seizmičnih opazovalnic. V začetku novembra 2004 smo v nastavitvah zajemalnih enot seizmičnih opazovalnic kot prioritete definirali navpične komponente podatkovnih nizov s frekvenco vzorčenja 200 vzorcev v sekundi (HHZ).

opazovalnica	HH skupaj
BOJS	0,3
CADS	0,3
CEY	0,1
CRES	0,1
DOBS	0,1
GCIS	0,4
GOLS	0,2
GORS	1,1
GROS	0,1
JAVS	1,3

opazovalnica	HH skupaj
KNDS	0,6
KOGS	0,5
LEGS	0,1
LJU	0,1
PDKS	0,1
PERS	0,2
ROBS	0,1
VISS	0,3
VOJS	0,3
ZALS	0,1

Preglednica 2: Izguba podatkov iz HH podatkovnih nizov po opazovalnicah, izražena v odstotku obratovalnega časa celotne mreže, za leto 2004.

Table 2: Dataloss of HH datastreams for each seismic station in percentage of the operation time of the seismic network in 2004.

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

Iz preglednice 1 preberemo, da je izguba podatkov HH (200 vzorcev v sekundi) podatkovnih nizov okrog 6,2%, kar je nekoliko več, kakor v letu 2003 (Pahor in sod., 2005). Odstotek izgubljenih podatkov iz potresne opazovalnice GORS znaša približno 32%, glede na celotno mrežo pa 1,1% (preglednica 2). Opazovalnica je bila priklopljena v maju in zaradi napak na opremi ter izpadov električnega omrežja ni delovala skupno triinšestdeset dni. Nedelovanje potresne opazovalnice JAVS je v glavnem posledica izpadov električnega omrežja, zaradi česar smo izgubili približno 24% podatkov. Odstotek izgube glede na celotno mrežo znaša 1,3% (preglednica 2), kar je največja izguba za posamezno opazovalnico.

Učinkovitost zajemanja podatkov v letu 2004

Samodejno določanje parametrov potresov izvaja sistem ANTELOPE (Kobal in sod., 2006). Podatki iz potresnih opazovalnic prihajajo v krožni medpomnilnik (ang. ORB - Object Ring Buffer) na lokalnem računalniku, kjer se vrši samodejna analiza in določanje parametrov potresov. Kvaliteta in hitrost določanja parametrov potresa je lahko odvisna tudi od hitrosti zajemanja podatkov iz potresnih opazovalnic. Če za določen potres zamujajo podatki iz opazovalnic, ki so najbližje epicentru, potem je možno, da bo lokacija potresa slabše ali celo narobe določena. V izogib temu je proces določanja parametrov potresov nastavljen tako, da poskuša program določiti lokacijo potresa najprej z manjšim naborom podatkov, ki prvi prispejo v center za obdelavo. Ko število zajetih podatkov preseže določen prag, izračun ponovi. Taka nastavitvev omogoča kar najhitrejši izračun lokacije potresa iz podatkov bližnjih opazovalnic, preden seizmični valovi sploh pridejo do oddaljenih opazovalnic.

Longitudinalni seizmični valovi potujejo pribl. 26 s do 150 km oddaljene opazovalnice in pribl. 45 s do 300 km oddaljene potresne opazovalnice.

Na sliki 2 je prikazana kumulativna porazdelitev količine podatkov (HHZ podatkovnih nizov), ki so na voljo po določenem času, za obdobje od 13. julija 2004 do 31. decembra 2004. Vrednosti porazdelitve, to so starosti podatkov, so pridobljene iz beležene starosti zadnjega prispelega HHZ paketa za vsako opazovalnico posebej (čas paketa se vedno nanaša na prvi izmerek – ang. *sample*), zmanjšane za povprečno dolžino paketa. Dolžine paketov za posamezno opazovalnico so skoraj konstantne, saj znaša standardni odklon spreminjanja dolžine paketov okrog 0,1 s, kar je manj kot 5% pri povprečni dolžini paketov 2,4 s.

Starost podatkov se beleži vsakih 5 minut, zato so enolični le izmerki, manjši od te vrednosti. Če bi želeli določiti porazdelitev v večjem časovnem intervalu, bi bilo potrebno izmerjene vrednosti prevzorčiti na nižjo frekvenco, s čimer bi se tudi zmanjšala natančnost porazdelitve. Porazdelitev je normirana s številom vseh možnih izmerkov v obravnavanem obdobju, to je produkt števila pet minutnih intervalov in števila stalnih potresnih opazovalnic, ki so v tem času delovale (preglednica 1).

Čas T , ki je potreben za samodejno določanje lokacije potresa, se giblje med 15 s in 100 s (slika 3). Določen je kot razlika časa vpisa lokacije v bazo podatkov in računsko določenega časa potresa t_0 . Čas T sestavljajo čas potovanja valovanja, čas potovanja podatkov ter čas obdelave podatkov:

$$T = t_{vpisavbazo} - t_0 = t_{potval} + t_{potpod} + t_{obd}$$

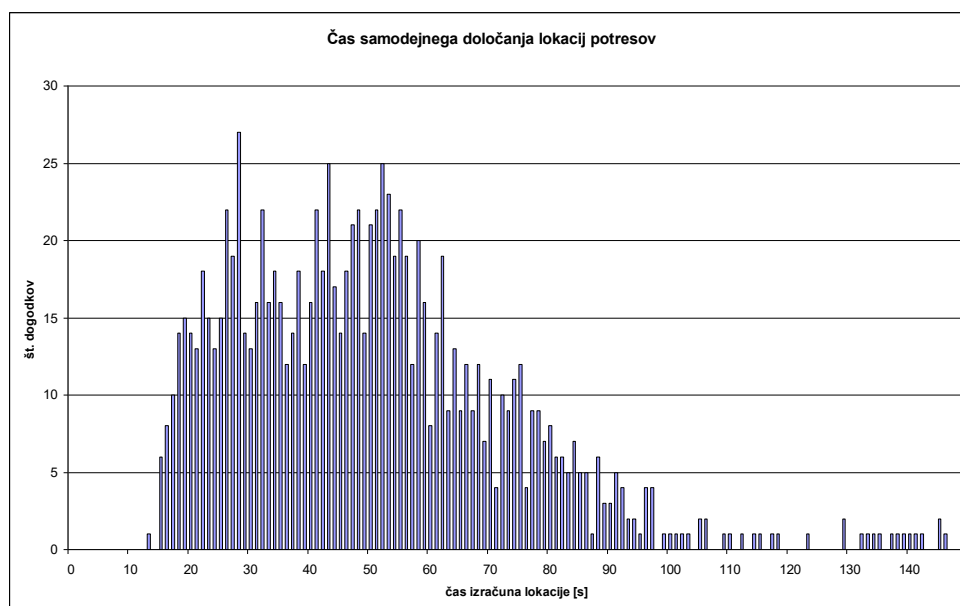
Za primerjavo vpliva posameznih členov v zgornjem izrazu smo napravili porazdelitev števila samodejno lociranih dogodkov po oddaljenostih od prvih treh najbližjih opazovalnic (slika 4) ter od desete. Iz porazdelitve za tretjo najbližjo opazovalnico ocenimo, da je največ dogodkov lociranih približno 40 km od tretje najbližje opazovalnice, kolikor jih najmanj potrebujemo za določitev koordinat nadžarišča dogodka z vnaprej določeno globino. Longitudinalni P valovi premerijo to razdaljo v približno sedmih sekundah. Iz časovnega poteka razpoložljivosti HHZ podatkovnih nizov (slika 2) preberemo čas, po katerem je na voljo 15% podatkov, kolikor znaša odstotek treh opazovalnic od vseh dvajsetih. Ta čas znaša nekaj manj kot dve sekundi. Iz tega sklepamo, da zamujanje podatkov v povprečju manj vpliva na hitrost določanja lokacij kot čas potovanja valovanja do treh najbližjih opazovalnic. Lahko pa se v posameznem primeru zgodi, da zelo zamujajo ravno epicentru najbližje opazovalnice, kar seveda bistveno vpliva tako na hitrost izračuna parametrov, kakor tudi na kvaliteto prve rešitve. Možno je tudi, da ležijo tri najbližje opazovalnice in nadžarišče potresa na približno ravni črti, zato je potrebno več podatkov za določitev lokacije potresa.

Zadnji člen v zgornjem izrazu t_{obd} je sestavljen iz časa, ko program čaka na zaključek detekcije in časa, ki ga porabi za preračun podatkov in vpis v podatkovno bazo. Dolžina detekcije na posamezni opazovalnici je odvisna od oddaljenosti od nadžarišča ter od magnitude potresa.



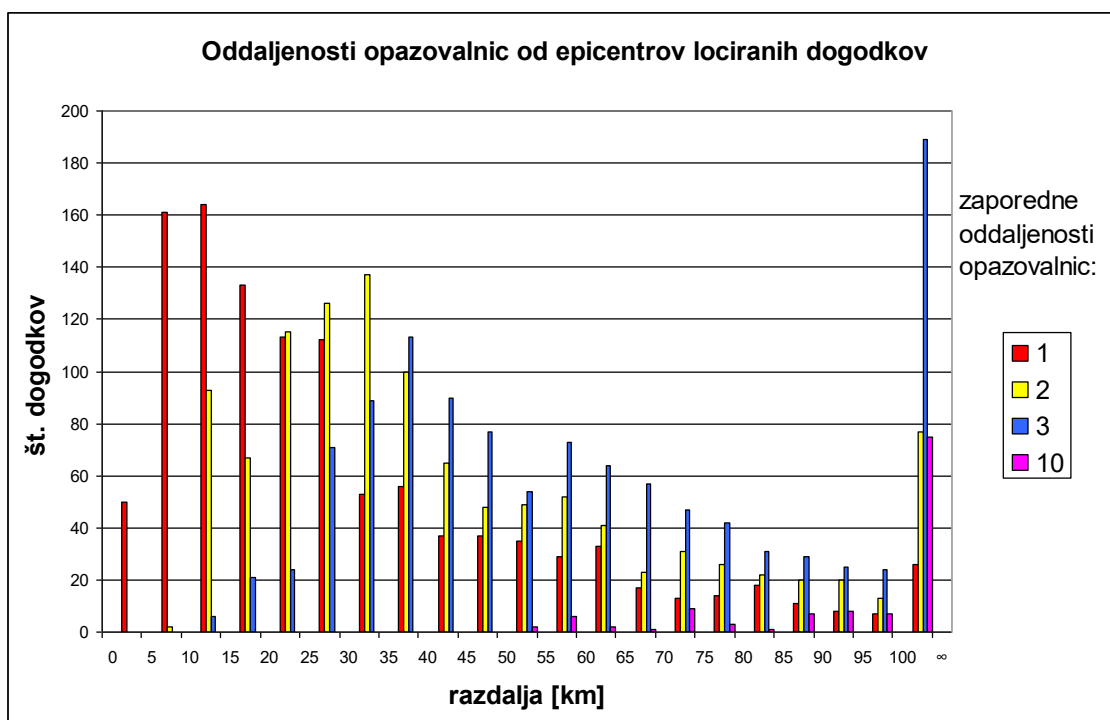
Slika 2. Odstotek seizmičnih podatkov iz HHZ podatkovnih nizov, ki so na voljo po določenem času. Časovno merilo na sliki je logaritemsko. Upoštevani so podatki za 20 stalnih opazovalnic v obdobju 13. julij 2004 – 31. december 2004.

Figure 2. Cumulative time distribution of percentage of available HHZ datastams for 20 permanent seismic stations in the period between 13 July 2004 and 31 December 2004.



Slika 3. Porazdelitev števila samodejno lociranih dogodkov med 7. julijem 2004 in 31. decembrom 2004 v območju zemljepisne širine = $45,4^{\circ}$ - $46,8^{\circ}$ S ter zemljepisne dolžine = $13,4^{\circ}$ - $16,5^{\circ}$ V, po času, ki je pretekel od dogodka do zapisa lokacije v bazo podatkov. Velikost razredov porazdelitve je 1 s.

Figure 3. Distribution of automatically located seismic events in the period between 7 July 2004 and 31 December 2004 in the area with latitude = $45,4^{\circ}$ - $46,8^{\circ}$ N and longitude = $13,4^{\circ}$ - $16,5^{\circ}$ E, by time needed for determining the solution. The binning size is 1 s.



Slika 4. Porazdelitev števila lociranih dogodkov med 7. julijem 2004 in 31. decembrom 2004 v območju zemljepisne širine = $45,4^{\circ}$ - $46,8^{\circ}$ S ter zemljepisne dolžine = $13,4^{\circ}$ - $16,5^{\circ}$ V, po razdaljah do n -te najbližje opazovalnice, za tri najbližje opazovalnice ter za deseto po vrsti. Velikost razredov porazdelitve je 5 km. Zadnji stolpec vsebuje vse vrednosti večje od 100 km.

Figure 4. Distribution of automatically located seismic events in the period between 7 July 2004 and 31 December 2004 in the area with latitude = $45,4^{\circ}$ - $46,8^{\circ}$ N and longitude = $13,4^{\circ}$ - $16,5^{\circ}$ E, by epicentral distance from n -th nearest seismic station, for three nearest stations and for the tenth station. The binning size is 5 km. Values that are greater than 100 km are collected in the last bin.

Tranzverzalni potresni valovi dosežejo opazovalnico, ki je oddaljena 40 km od nadžarišča, po 12 sekundah in če k temu dodamo še čas trajanja potresa, ki znaša 20 sekund za magnitudo 2 ter preko 60 sekund za magnitudo 3 (obe m_d), potem se kaj hitro znajdemo v zgornjem delu porazdelitve na sliki 3. Pri večjih magnitudah je čas trajanja potresa še večji in bi bilo čakanje na konec detekcije predolgo, zato je program za določanje lokacije nastavljen tako, da opravi prvi preračun takoj, ko ima na voljo deset detekcij. Iz porazdelitve na sliki 4 ocenimo, da je deseta opazovalnica po vrsti povprečno 75 km oddaljena od nadžarišč v obravnavanem obdobju, kar da 13 sekund za potovanje potresnih valov do desetih najbližjih opazovalnic.

Zaključek

V letu 2004 smo izgubili 6,2% podatkov iz HH podatkovnih nizov iz potresnih opazovalnic, kar je nekoliko več, kakor v preteklem letu. K temu sta odstotkovno največ prispevali opazovalnici na Javorniku (1,3%) ter na Gorjušah (1,1%). Kljub temu je število shranjenih podatkov precej večje, saj je delovalo več opazovalnic. V novembru smo v zajemalnih enotah seizmičnih opazovalnic nastavili kot prioritete HHZ podatkovne nize, na katerih se vrši samodejna analiza seizmične aktivnosti.

Primerjava časa, ki je potreben za potovanje podatkov iz opazovalnic v središče za obdelavo, potovalnega časa seizmičnih valov ter časa, potrebnega za določitev parametrov potresa kaže, da zamujanje podatkov v letu 2004 v povprečju ni bistveno vplivalo na hitrost samodejnega določevanja potresnih parametrov. Rezultati samodejne analize so pripravljene od 15 do 100 sekund po dogodku, k čemur je čas potovanja podatkov iz opazovalnic najmanj prispeval.

Literatura

- Boulder Real Time Technologies, inc.(online). 2005. (citirano 31.1.2006). Antelope Real Time System. Dostopno na naslovu:
<http://www.brtt.com/>
- Kobal M., Pahor J., Živčič M., Čarman M. in Kolar J. 2006. Zajem in procesiranje seizmoloških podatkov s programskim paketom Antelope. Potresi v letu 2004 (ur. R. Vidrih), ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 142-150.
- Pahor J., Živčič M., Čarman M., Kobal M. in Kolar J. 2005. Učinkovitost zbiranja podatkov iz potresnih opazovalnic v letu 2003. Potresi v letu 2003 (ur. R. Vidrih), ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 63-68.

ANALIZA NATANČNOSTI AVTOMATSKIH LOKACIJ POTRESOV ZA LETO 2004

ACCURACY ANALYSIS OF THE AUTOMATIC EARTHQUAKE LOCATIONS IN 2004

Janko Kolar, Jurij Pahor, Mladen Živčić

Izvleček. Programski paket ANTELOPE, ki ga na Uradu za seizmologijo in geologijo uporabljamo za zajem in obdelavo podatkov, pozna tudi postopke za samodejno določanje žarišč potresov. Primerjali smo lokacije potresov pridobljene s to samodejno metodo in lokacije potresov, ki jih je določil seizmolog analizator iz ročno odčitanih vstopov posameznih faz valovanja.

Abstract. ANTELOPE software, which is used for data acquisition and processing at the Seismology and Geology Office of Environmental Agency of the Republic of Slovenia, allows automatic determination of earthquake hypocenters. The comparison of automatically determined hypocentres with hypocentres determined from hand-picked arrivals is presented.

Uvod

Programski paket ANTELOPE določa samodejne lokacije s pomočjo vnaprej izračunanih časov prihoda valovanja za diskretno množico točk v prostoru. Ob potresu se tako poišče točka v tej množici, ki najbolj ustreza prihodom seizmičnega valovanja na posamezne postaje seizmološke mreže. Pri ročnem določevanju nadžarišča pa seizmolog najprej odčita prihode potresnih valov na seizmološke opazovalnice in nato s pomočjo računalniškega programa reši gibalne enačbe in določi žarišče potresa, ki je lahko katerakoli točka prostora. Zaradi različnih metod določanja samodejnih in ročnih žarišč potresa bo zagotovo prišlo do razlik izračunanih lokacijah potresa. V idealnih razmerah bi bila povprečna razdalja med nadžariščema okoli 1 km.

Za bolj podroben opis določanja avtomatičnih lokacij si preberite članek (Kolar, 2005).

Leto 2004 je najbolj zaznamoval potres v Posočju dne 12. julija in okvara glavnega računalnika za zajem podatkov iz seizmoloških opazovalnic dne 13. julija 2004. Glavni računalnik je bil še isti dan nadomeščen z novim računalnikom, ki je bil po naključju kupljen in dobavljen kak teden prej. Tako smo lahko v enem dnevu prenesli ves sistem na nov računalnik in od 13. julija pozno popoldne je zajemanje podatkov iz opazovalnic potekal na njem. Slaba stran te naglice je bila, da so bile prenešene napačne konfiguracijske datoteke za avtomatično lociranje in avtomatično lociranje je do 15. septembra 2004 delovalo z različnimi parametri, zato sem podatke za to časovno obdobje izločil iz analize.

Ustrezne pare med avtomatičnimi in ročnimi lokacijami sem poiskal tako, da sem primerjal prihod valovanja do postaj za avtomatične in ročne dogodke. Če se čas prvega prihoda ni razlikoval za več kot 10 sekund, sem sklepal, da gre za isti dogodek.

Rezultati primerjave

V preglednici 1 so podani rezultati za posamezne mesece. V preglednici je tako navedeno število dogodkov za katere obstajata ročna in avtomatična lokacija, mediana razdalje med ročno in avtomatično lokacijo in nekaj višjih percentilov te razdalje. Na koncu so dodani še združeni podatki za celo leto 2004.

	januar	februar	marec	april	maj	junij
št. dogodkov	18	8	14	22	25	10
mediana [km]	4.43	6.21	6.06	3.39	3.92	5.15
70% percentil [km]	8.21	7.14	14.63	9.38	5.58	10.3
95% percentil [km]	263.4	3187.5	98.6	41.25	116.97	1119.5

	julij*	september**	oktober	november	december	leto 2004
št. dogodkov	33	7	23	15	28	203
mediana [km]	10.8	8.14	5.19	7.77	4.39	5.46
70% percentil [km]	41.19	18.21	11.05	10.58	11.39	13.02
95% percentil [km]	1198.8	23.86	88.5	32.9	971.41	617.0

Preglednica 1. Percentili porazdelitve razdalj med avtomatično in ročno določenimi epicentrov potresov v letu 2004

* Podatki za julij so od 1. do 13. julija. 13. julija je bil postavljen nov sistem, na katerem so avtomatične lokacije delovale z drugačnimi parametri.

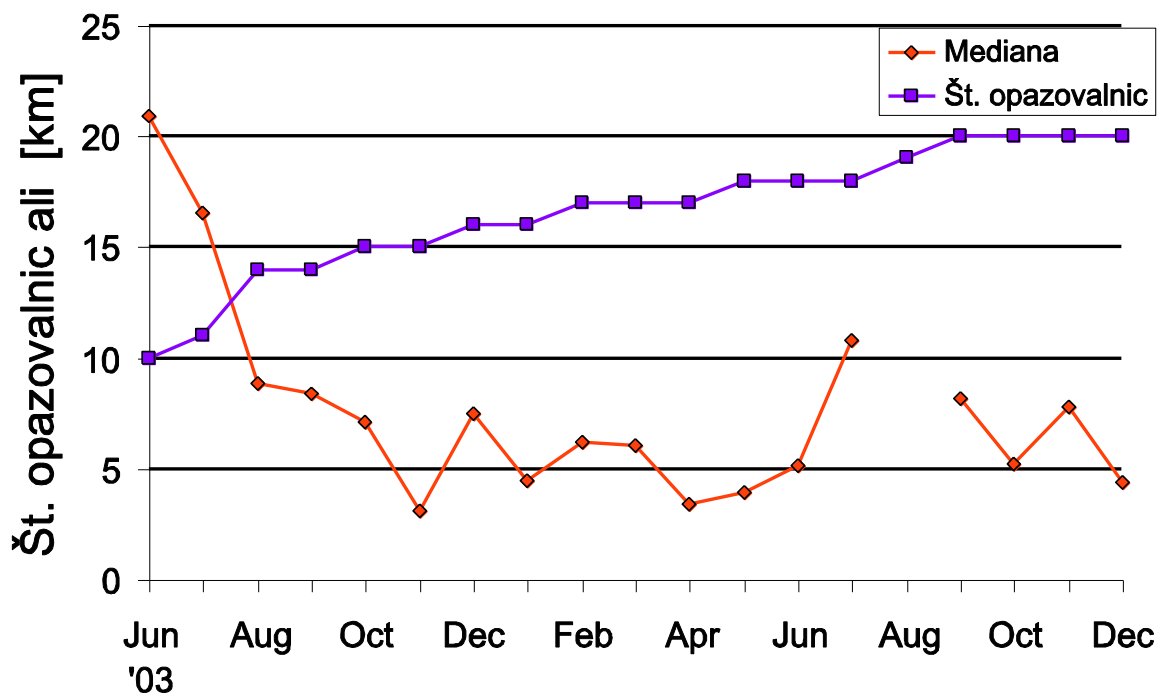
** Podatki za september so od 15. do 30. septembra, ker je do 15. septembra sistem za avtomatično lociranje deloval z drugačnimi parametri.

Table 1. Percentiles of distribution of distances between manually and automatically determined epicentres of earthquakes that happened in 2004.

* Data for July is from 1st till 13th July. On the 13th of July new Antelope sistem was set up, however wrong configuration data for automatic location were transferred to the new system and automatic locations were incorrect. This data is excluded from analysis.

** Data for September is from 15th till 30th. On 15th September configuration data for automatic analysis were corrected.

Na sliki 1 je prikazano, kako je mediana napake odvisna od števila priklopljenih opazovalnic.



Slika 1. Na sliki vidimo, kako se je mediana razdalj med samodejnimi in ročno določenimi epicentri spreminjala z časom (oranžna črta). Na isti sliki je tudi prikazano, kako se je število priklopljenih opazovalnic spreminjalo s časom (vijolična črta). Opazimo lahko, da se je mediana močno zmanjšala do priklopite 14 opazovalnic, nato pa niha okoli 5 km.

Figure 1. Picture shows how median of distances between manually and automatically determined epicenters changes with time. On the same picture there is also presented, how number of connected seismological stations changes with time. As we can see, median had been falling sharply until 14 stations were connected, later more or less oscillates around 5 km.

Izredni dogodki

Posebej pomembne so napake v avtomatičnih lokacijah za dogodke, ki so jih prebivalci čutili in za katere nas je poklical Center za obveščanje Republike Slovenije (CORS) in nas vprašal za podatke o potresih. Takemu dogodku rečemo izredni dogodek.

V letu 2004 je bilo 31 izrednih dogodkov, od teh 7 v času, ko avtomatično lociranje ni pravilno delovalo.

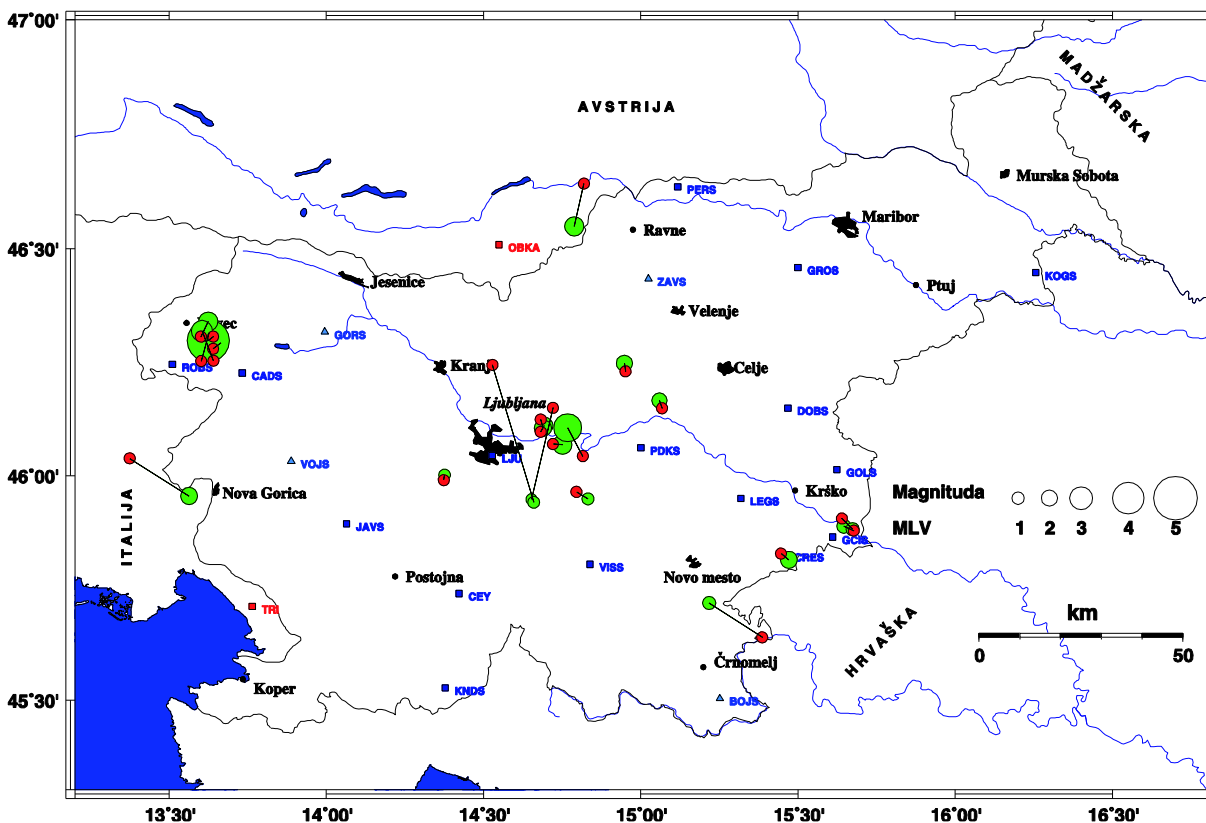
Za 21 izrednih dogodkov smo določili avtomatične lokacije, 3 izredne dogodke pa smo izpustili.

Izpuščeni izredni dogodki so bili:

- 10. 1. 2004 ob 12. uri 55 minut UTC magnitude 0,9 pri Šentvidu pri Stični
- 30. 11. 2004 ob 23 uri in 58 minut UTC magnitude 1,5 v Brežicah
- 14. 12. 2004 ob 11. uri in 7 minut UTC magnitude 2,2 pri Bovcu

V prvem primeru je bil vzrok, da smo alarm izpustili v tem, da je bil potres prešibek. Naš sistem je nastavljen tako, da se odločimo, da je prišlo do potresa takrat, ko vsaj na 6

opazovalnicah STA/LTA razmerje preseže 9. V danem primeru se je to zgodilo samo na treh opazovalnicah.



Slika 2. Zemljevid z vrisanimi lokacijami za izredne dogodke. Z rdečim krogcem je označena avtomatična lokacija, z zelenim pa ročno določena. Velikost zelenega krogca podaja magnitudo dogodka. Ustrezni pari dogodkov so med seboj povezani s črto.

Figure 2. Locations of felt events. Red circle depicts automatic location, green circle represents manual location. The size of green circle is depends upon magnitude of the event. Corresponding epicentres are connected with the line.

Tudi v drugem primeru je bil potres avtomatično zaznan samo na 4 potresnih opazovalnicah. Vzrok temu ni bil prešibek potres, kot je v prvem primeru, ampak je vremensko dogajanje povzročilo, da so bile opazovalnice bolj zašumljene. LTA razmerje je bilo tako večje kot običajno in posledično je bilo razmerje STA/LTA manjše kot bi sicer bilo.

V tretjem primeru je vse skupaj veliko bolj nenavadno. Detekcije sicer obstajajo na kar dvanajstih postajah, vendar iz neznanega razloga niso bile združene zato ne obstaja avtomatična lokacija. Zaenkrat ni znano, kje je prišlo do napake.

Statistična obdelava razdalj med avtomatično in ročno določenimi izrednimi dogodki je podana v preglednici 2.

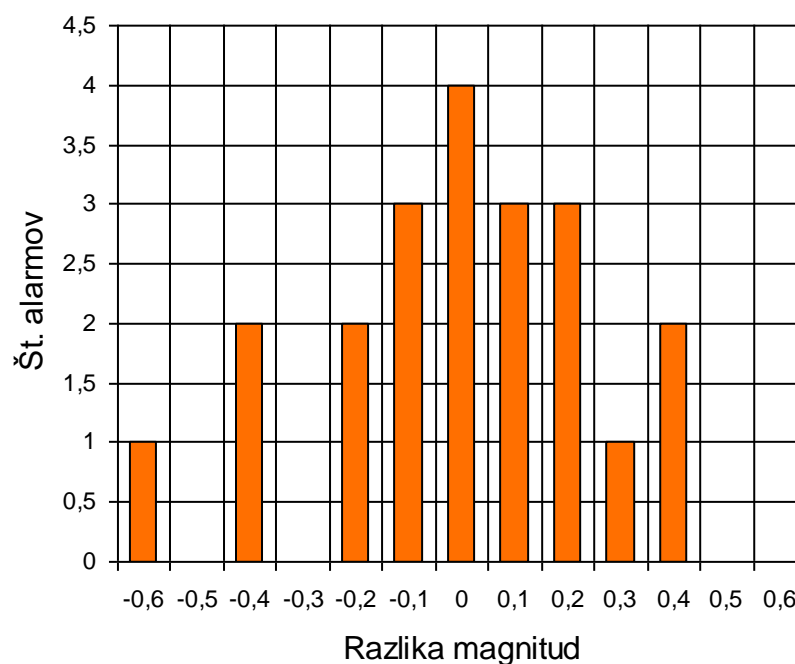
Vidimo, da so rezultati še nekoliko boljši kot za vse potrese v letu 2004. Največja razdalja med avtomatično in ročno lokacijo za izredni dogodek je bila 35,2 kilometra za potres magnitude 0,9 z lokacijo ročno določenega epicentra 45,941° S, 14,659° V.

Za izredne dogodke sem tudi primerjal ročno in avtomatično določene magnitude. Histogram razlik v magnitudah je na sliki 3.

	Izredni dogodki
št. dogodkov	21
mediana [km]	3.3
70% percentil [km]	7.7
95% percentil [km]	23.2

Preglednica 2. Nekateri percentili porazdelitve razdalj med avtomatično in ročno določenimi epicentri za izredne dogodke

Table 2. Percentiles of distribution of distances between manually and automatically determined epicentres for special events in 2004.



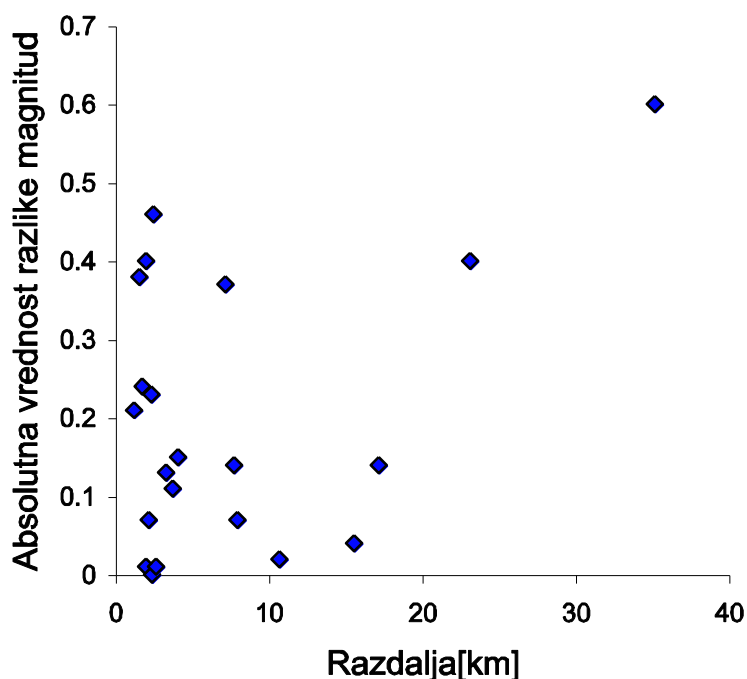
Slika 3. Histogram razlik v magnitudah med ročno in samodejno določenimi potresi.
Figure 3. Histogram of differences in magnitudes between automatically and manually analysed earthquakes

Pozitivna razlika v magnitudi pomeni, da je bila ročno določena magnituda manjša od avtomatične in je tako avtomatična magnituda precenjena in negativna razlika, da smo z avtomatično magnitudo podcenili moč potresa. Od 21 dogodkov je bila v 12 primerih avtomatična magnituda manjša od ročno določene, v 8 primerih je bila avtomatična magnituda večja od ročno določene, v enem primeru pa sta bili magnitudi povsem enaki.

Največja razlika v magnitudi je znašala -0,6, standardna deviacija porazdelitve razlik pa je 0,27. Tako lahko rečemo, da je avtomatična magnituda določena z napako 0,3.

Pri tem je treba poudariti, da pri avtomatičnih analizah določamo magnitudo M_{WA} iz horizontalnih komponent zapisa in uporabljamo originalne Richterjeve popravke za atenuacijo, medtem, ko pri ročnih analizah magnitudo določamo iz vertikalne komponente zapisa potresa upoštevaje popravke za atenuacijo, določene za območje Slovenije.

V enačbi za izračun magnitude nastopa tudi oddaljenost opazovanic od epicentra. Če je epicenter napačno določen, je tudi magnituda napačno izračunana. Pričakovali bi, da bo ob večji napaki v epicetru tudi večja napaka v magnitudi. Vendar je korelacija šibka, znaša 0,4, kar kaže na to, da pri razlikah v magnitudah igrajo pomembno vlogo tudi drugi razlogi.



Slika 4. Odvisnost absolutne vrednosti razlike v magnitudi za ročno in samodejno določen potres od razdalje med ročno in samodejno določenima epicentroma.

Figure 4. Dependence of absolute value of difference in magnitudes for automatically and manually analysed events on distance between automatically and manually determined epicentres.

Zaključek

Avtomatične lokacije so večinoma dokaj dobro določene, za izredne dogodke znaša mediana 3,3 km, še vedno pa v posameznih primerih lahko pride tudi do precejšnjih napak (največja napaka za izredni dogodek je znašala 35,2 km). Dežurni seizmolog mora najprej pregledati zapise potresa in oceniti, če je avtomatična lokacija pravilna, preden jo sporoči Centru za obveščanje Republike Slovenije.

Literatura:

Kolar, J., Čarman, M., Kopal, M., Pahor, J., Živčič, M., 2005. Analiza natančnosti avtomatičnih lokacij potresov v letu 2003, Potresi v letu 2003 (ur. R. Vidrih), ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 55-62.

AKCELEROMETER EPISENSOR FBA ES-T ACCELEROMETER EPISENSOR FBA ES-T

Izidor Tasič

Izvleček. Posamezne potresne opazovalnice državne mreže potresnih opazovalnic so opremljene EpiSensorjem, proizvajalca Kinemetrics Inc. iz ZDA. To je tro-komponentni merilec pospeškov. V pričujočem članku bomo opisali nekatere osnovne značilnosti tega senzorja.

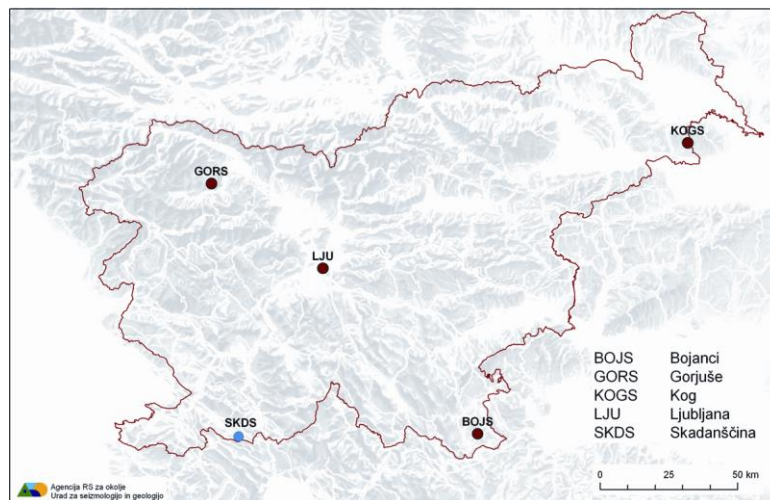
Abstract. Some seismic stations of seismic network of Slovenia are equipped with EpiSensor, made in USA by Kinemetrics Inc.,. This is a three-component accelerometer. In this article, the basic characteristics of sensor will be shown.

Uvod

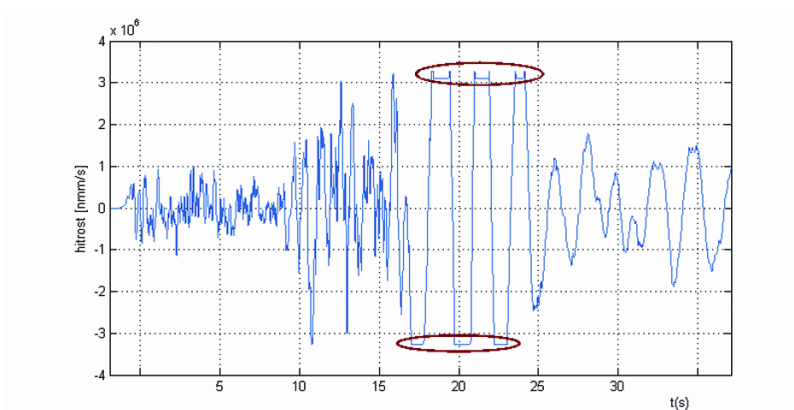
V tem članku bomo nadaljevali z opisovanjem seizmološke merilne opreme, ki jo uporabljamo v državni mreži potresnih opazovalnic oziroma na začasnih potresnih opazovalnicah. V prejšnji publikaciji smo opisali seizmometer Guralp CMG - 40T, ki je sestavni del opreme državne mreže potresnih opazovalnic. Nekatere potresne opazovalnice pa so dodatno opremljene še z merilniki pospeškov EpiSensor (Slika 1). Na ta način povečamo merilni obseg potresne opazovalnice. To so opazovalnice z oznakami LJU, BOJS, KOGS, GORS in SKDS (slika 2). Zakaj je potrebna ta dodatna opremljenost? Razlaga se nahaja v tehničnih karakteristikah instrumentov. Amplitude potresnih valov so lahko od nekaj nanometrov do nekaj centimetrov, periode potresnih valov pa od nekaj stotink sekunde pa do nekaj ur. Za meritev celotnega področja bi potrebovali instrument z izrednimi tehničnimi karakteristikami. Vendar (trenutno) tehnološko ni mogoče narediti senzorja, ki bi lahko pokrili takšen razpon, tako v frekvenci, kakor v amplitudi. Pri natančnem opazovanju, kot je namen nacionalnih seizmoloških mrež, je potrebno zaznati in locirati tudi zelo šibke potrese, ki ne povzročijo nobene škode, veliko pa povejo o seizmičnih značilnostih prelomnih con. Zaradi svoje konstrukcije so za to nalogo najbolj primerni seizmometri, ki so namenjeni za stalno beleženje šibke seizmične aktivnosti in imajo velik dinamični razpon. V ta razred seizmometrov spada Guralp CMG - 40T. Ker lahko, sicer v izredno redkih primerih, pride pri zelo velikih nihanjih tal do prekrmljenja seizmometra, kar se je recimo zgodilo na velikonočni potres leta 1998 na opazovalnici LJU (slika 3), dodatno opremimo nekatere potresne opazovalnice še z merilniki pospeškov EpiSensor. Akcelerometri oziroma merilniki pospeškov so ponavadi manj občutljive naprave, termično manj uravnovešene ter tehnično manj dovršene in namenjene za inženirsko seizmologijo in opazovanje močnejših potresnih sunkov. Na teh potresnih opazovalnicah ima zajemalna enota Quantera 730 za ta namen vgrajena dva sistema vhodnih kanalov, tako da lahko istočasno zajema podatke iz obeh merilnikov, seizmometra CMG - 40T in akcelerometra EpiSensor. Tako seizmometri kakor tudi akcelerometri spadajo med senzorje inercialnega tipa, kjer ima glavno vlogo pri določanju nihanja podlage utež, ki je na ohišje vpeta preko vzmeti. Majhna, vendar pomembna razlika med senzorjema je tudi v postavitvi. Senzor CMG - 40T samo postavimo na podlago, medtem ko EpiSensor še dodatno pritrdimo z vijakom v podlago.



Slika 1. Pospeškometer EpiSensor FBA ES-T
Figure 1. Accelerometer EpiSensor FBA ES-T



Slika 2. Potresne opazovalnice z povečanim merilnim območjem.
Figure 2. Seismic stations with extended measuring range.



Slika 3. Ob potresu 12. aprila 1998 je bilo največje nihanje tal močnejše kot ga je lahko opazovalnica registrirala.

Figure 3. The earthquake 12 April, 1998, record shows that oscillating of the earth was greater than possibility of recording of seismic station.

Akcelerometer EpiSensor

EpiSensor model FBA ES-T je valjaste oblike, visok 6,2 centimetra in premera 13,3 centimetrov. Instrument je težak slaba dva kilograma in deluje na temperaturnem območju od -20°C do $+70^{\circ}\text{C}$. Napaja se z 12 voltno enosmerno napetostjo in rabi tok okoli 35 mA. EpiSensor je trokomponentni merilec pospeškov, s frekvenčnim območjem do 200 Hz in teoretičnim dinamičnim območjem nad 155 dB. Senzor je nastavljen tako, da meri pospeške do $\pm 2g$, pri čemer je g težni pospešek. Senzorju se lahko dinamično območje tudi drugače nastavi, od $\pm 0.25g$ do $\pm 4g$. EpiSensor sestavljajo trije miniaturni senzorji, ki so postavljeni pravokotno drug na drugega z napako pod 1%. Posamezni senzor je merilnik pospeškov, ki deluje na principu ravnovesja sil in jih poznamo pod imenom FBA (ang.: force balance accelerometer). V našem primeru je kondenzatorski merilnik premikov z elektromagnetno povratno zanko. Pri teh merilnikih premik uteži kompenziramo s povratno električno generirano silo. Na ta način ostaja utež v ravnovesni legi, merimo pa tok, ki je potreben za ustvarjanje ravnovesja. Senzor je opremljen še z kalibracijsko tuljavo, vendar Quanterra 730 nima vgrajenega kalibracijskega sistema tudi za dodatni instrument, v našem primeru EpiSensor. Tako lahko preverjamo stabilnost prenosne funkcije EpiSensorja posredno s zabeleženimi dogodki na obeh instrumentih. Akcelerometer je po dogovoru postavljen na podlago tako, da senzorji kažejo v smeri sever-jug, vzhod-zahod in v vertikalni smeri. Pretvorbe premika tal v električni signal ne moremo opisati le z enostavno linearno zvezo, ker vseh sil, ki vračajo maso v ravnovesno lego, ne moremo zanemariti. Zato moramo poznati senzorjeve dinamične lastnosti, ki so ponavadi podane z jezikom Laplaceove transformacije. Lastnosti prenosne funkcije senzorja natančneje opišemo s poli in ničlami. Teoretične vrednosti so podane v preglednici 1.

Preglednica 1. Poli in ničle senzorja.

Table 1. Poles and zeros of sensor.

$$\frac{V(s)}{A(s)} = \frac{k_1 k_2}{(s - p_1)(s - p_2)(s - p_3)(s - p_4)}$$

$k_1 = 2.46 \times 10^{13}$
$k_2 = 5V/g$
$p_1 = -981 + 1009i$
$p_2 = -981 - 1009i$
$p_3 = -3290 + 1263i$
$p_4 = -3290 - 1263i$

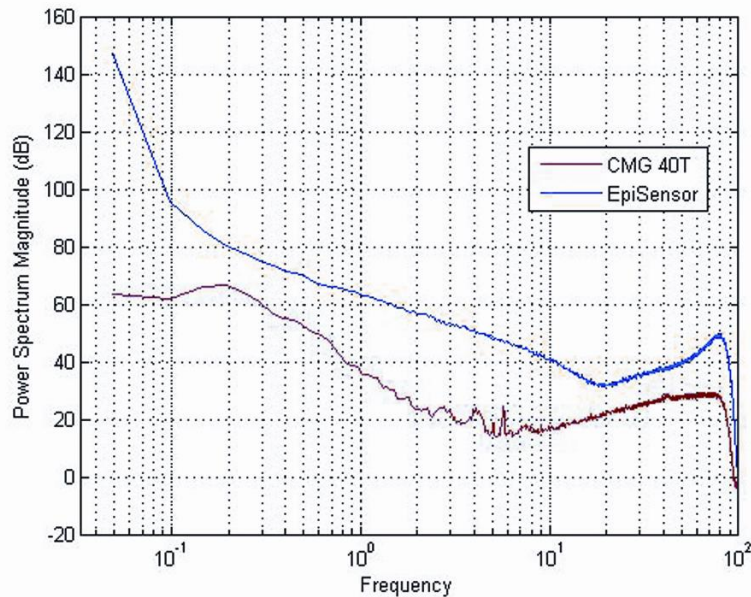
$V(s)$ - the Laplace transform of the output voltage
 $A(s)$ - the Laplace transform of the input acceleration

Kvaliteto meritve moti šum, ki nastane na posameznih komponentah senzorja (elektronika, vzmet, termična nestabilnost). Šum EpiSensorja je večji kot pri seizmometru CMG -40T, kar lahko preverimo na lokacijah, kjer sta oba senzorja postavljena drug ob drugemu.

Primerjava senzorjev EpiSensor in CMG - 40T

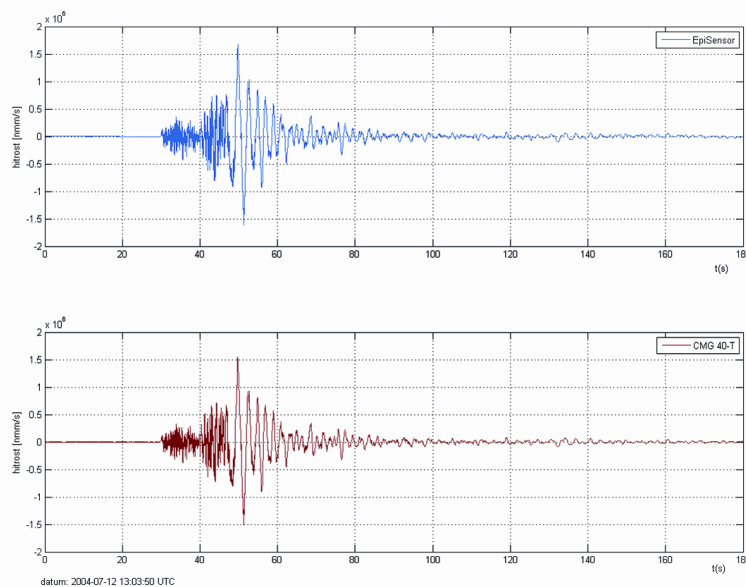
Najbolj zanimiva je neposredna primerjava obeh senzorjev na isti lokaciji. Ker seizmometer CMG - 40T beleži hitrost nihanja podlage, smo podatke, ki smo jih zabeležili z EpiSensorjem, numerično pretvorili (integrirali) v hitrost. Za primerjavo imamo zato na voljo isto informacijo za oba senzorja – hitrost nihanja podlage. Na sliki 4 vidimo spekter moči signala

seizmičnega šuma, zabeleženega na potresni opazovalnici BOJS na obeh tipih senzorjev. Primerjava nazorno pokaže, da je EpiSensor manj občutljiv instrument, saj je lastni šum tega instrumenta večji od seizmičnega šuma podlage. Od tod sledi, da je za šibke potrese bolj primeren seizmometer CMG 40T.



Slika 4: Spekter moči hitrosti nihanj tal seizmičnega šuma za akcelerometer EpiSensor (modra črta) in CMG - 40T (rdeča črta).

Figure 4: Power spectrum of a seismic noise signal for EpiSensor (blue) and CMG - 40T (red).

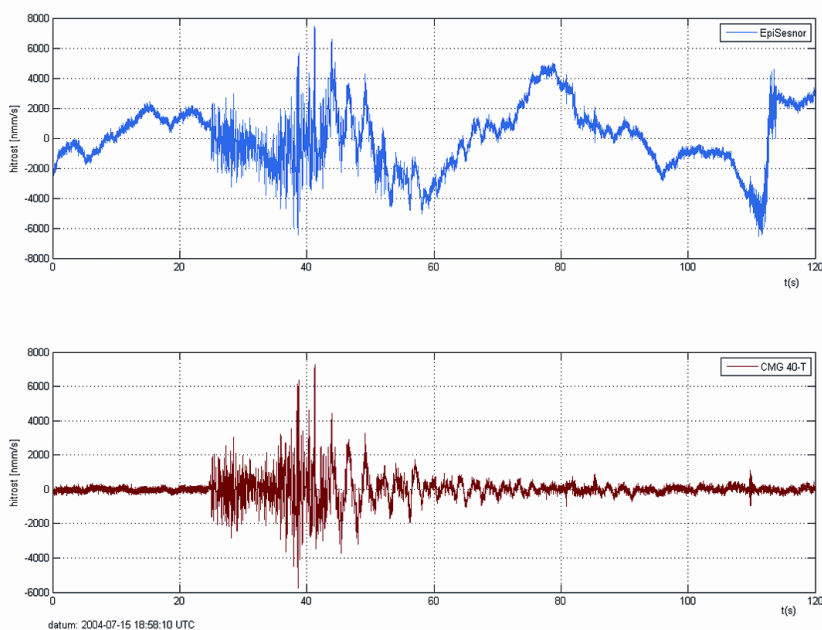


Slika 5: Zapis močnega lokalnega potresa 12. julija ob 15. uri in 4 minute po lokalnem času, z lokalno magnitudo 4,9 zabeležen na potresni opazovalnici LJU (modra – EpiSensor, rdeča – CMG - 40T). Žarišče potresa je bilo oddaljeno približno 80 km od potresne opazovalnice.

Figure 5: A record of a strong local earthquake which occurred on 12 July at 15:04 local time, with a magnitude 4.9 and, at a distance approximately 80 km away of seismic station LJU (blue – EpiSensor, red – CMG - 40T).

Na sliki 5 je prikazan zapis močnega potresa 12. julija 2004 ob uri 13:04 UTC z lokalno magnitudo 4,9. Zapis je nastal na potresni opazovalnici LJU, ki je bila oddaljena od nadžarišča potresa približno 80 kilometrov. Zapis, ki smo ga zabeležili z EpiSensorjem se ujema z zapisom, ki smo ga zabeležili s senzorjem CMG - 40T. Sama neposredna primerjava teh podatkov pokaže, da pri močnih nihanjih tal oba senzorja beležita zelo podobno.

Kaj pa se zgodi v primeru šibkejšega signala? Na sliki 6 je zapis potresa z lokalno magnitudo 2,7. Potres so čutili nekateri prebivalci Posočja. Potresna opazovalnica LJU je bila ravno tako oddaljena približno 80 km od nadžarišča potresa. (Potres je bil popotresni sunek glavnega potresa iz slike 5). Na zapisu, ki smo ga zabeležili s pomočjo EpiSensorja, so vidni parazitski dolgo-periodni pojavi, ki nimajo nobene povezave z nihanjem tal, ampak so posledica instrumentalnega šuma. Ta šum sicer lahko odstranimo z nadaljnjo numerično obdelavo, toda vedno obstaja nevarnost, da bomo 'pokvarili' tudi koristen signal. Pri še šibkejših signalih lahko tak parazitski šum popolnoma prekrije zapis potresa. Tudi od tukaj sledi, da tak senzor ni primeren za beleženje zelo šibke seizmične aktivnosti.



Slika 6: Zapis lokalnega potresa 15. julija ob 18. uri in 58 minuti po UTC z lokalno magnitudo 2,7 zabeležen na potresni opazovalnici LJU (modra – EpiSensor, rdeča – CMG - 40T). Žarišče potresa je bilo oddaljeno približno 80 km od potresne opazovalnice.

Figure 6: A record of a local earthquake which occurred on 15 July at 18:58 UTC, with a magnitude 2,7 and, at a distance approximately 80 km away of seismic station LJU (blue – EpiSensor, red – CMG - 40T).

Zaključek

Kot smo videli, EpiSensor ni namenjen za beleženje šibke potresne dejavnosti. Koristen je pri beleženju močnih potresov, zato so v državni mreži potresnih opazovalnic instrumenti EpiSensorji postavljeni tako, da zadovoljivo pokrivajo celo Slovenijo. Poleg tega so ti instrumenti zaradi svoje neobčutljivosti zanimivi za seizmološki monitoring v urbanih

okoljih, kjer je zaradi raznih dejavnikov (industrija, transportne poti) prisoten večji seizmični nemir in bi bila uporaba bolj občutljivih instrumentov cenovno nesmotrna. V Sloveniji imamo senzorje tega tipa postavljene še na nekaterih opazovalnicah za močne potrese ter za monitoring nekaterih večjih pregrad.

Literatura

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

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

Kinematics, 1998. EpiSensor-User Guide, Document 301900, Kinematics Inc, Pasadena USA.

Tasič. I., 2005. Seismometer CMG - 40T. Potresi v letu 2003 (ur. R. Vidrih), ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 89-94.

AVTOMATSKA LOKACIJA POTRESOV NA SAMOSTOJNI POTRESNI OPAZOVALNICI AUTOMATIC QUANTIFICATION OF EARTHQUAKE PARAMETERS AT A SINGLE SEISMIC STATION

Izidor Tasič

Izvleček. Avtomatsko določanje osnovnih parametrov potresa na podlagi digitalnega zapisa potresa iz ene same potresne opazovalnice je zaradi kompleksnosti pojava izredno zapletena naloga. Razvili smo algoritem, ki smo ga testirali v skoraj realnem času na podatkih iz potresne opazovalnice VBY. Testiranje je potekalo v obdobju od junija 2002 do februarja 2004, ko je bila VBY izklopljena iz omrežja. V tem času smo locirali 41 potresov na področju Slovenije z lokalno magnitudo nad 1,9, z relativno napako v oddaljenosti nadžarišča potresa od potresne opazovalnice manjšo kot 0,4. Najmočnejši potres v tem obdobju je bil potres z magnitudo 3,8 in je bil oddaljen 81 km od potresne opazovalnice. Absolutna napaka za ta potres v avtomatski oceni lokacije je bila 6 kilometrov, relativna pa boljša kot 10%.

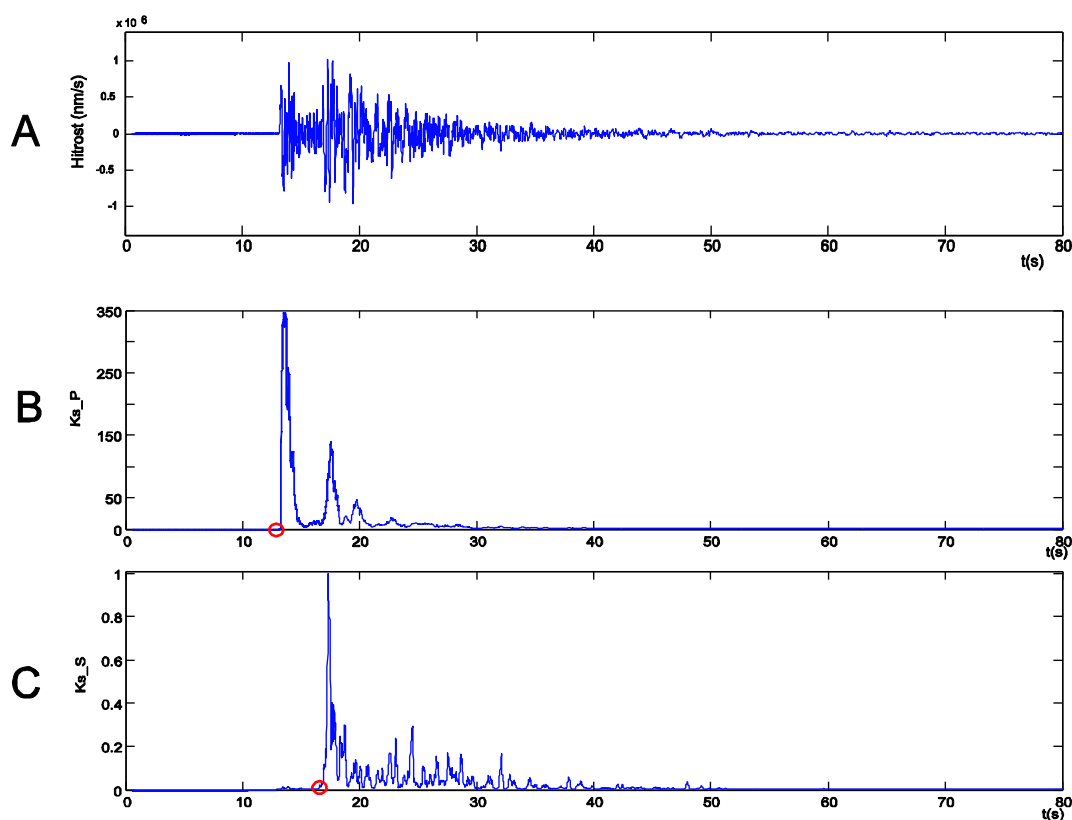
Abstract. Automatic quantification of basic earthquake parameters on the basis of digital records by a single seismic station is a highly complex process. An algorithm has been developed and tested on real time data obtained from VBY seismic monitoring station. Full testing was run from June 2002 to February 2004 when VBY was excluded from network. In Slovenia and its vicinity, 41 earthquakes were recorded during that time, with local magnitude over 1.9 and the relative error of distance between epicentre and seismic station was 0,4 and below. The strongest earthquake with a 3.8 magnitude was 81 km from that station. Error of absolute in automatic estimate of this earthquake location was 6 km, and the relative error was less than 10%.

Uvod

Sodobne potresne opazovalnice so opremljene s trikomponentnimi seizmometri, analogno digitalnimi pretvorniki ter vmesniki, ki digitalizirane seizmične podatki prenašajo v središče za obdelavo podatkov (SOP) v realnem času. V SOP posebni algoritmi, ki temeljijo na STA/LTA postopku (Tasič, 2001a) analizirajo signal iz več potresnih opazovalnic hkrati. Ob prihodu potresnih valov se amplituda nihanja tal nenadoma poveča, kar zaznajo algoritmi, ter na podlagi informacije o času, ko je prišlo do povečane seizmične aktivnosti na potresni opazovalnici, sprožijo postopke za izračun osnovnih parametrov potresa. Osnovni parametri potresa so lokacija žarišča potresa (zemljepisna širina, zemljepisna dolžina, globina), nastanek (čas), ter magnituda potresa. Algoritmi za izračunavanje lokacije delujejo predvsem na prihodu prvih potresnih valov, ki jih označimo s črko 'P'. Vhodni podatki so torej točen čas prihoda potresnih valov do določene potresne opazovalnice in lokacija te potresne opazovalnice. Na osnovi teh podatkov izračunamo z inverznim postopkom čas in lokacijo nastanka potresa. Teoretično minimalno število potresnih opazovalnic, ki sodelujejo pri avtomatskem izračunu, je štiri. Vendar so za natančen izračun potrebni podatki iz več potresnih opazovalnic, ki so čim bolj enakomerno porazdeljene okoli žarišča.

Načeloma lahko lokacijo lokalnega potresa ocenimo tudi s pomočjo ene same trikomponentne potresne opazovalnice (Bormann, 2002). Tri-komponentne pomeni, da imamo seizmometer s tremi med seboj pravokotno postavljenimi senzorji, kar omogoča prostorsko

predstavo prihoda potresnih valov. Analiza lokacije žarišča potresa poteka v dveh fazah. V prvi fazi ocenimo oddaljenost potresne opazovalnice od nadžarišča potresa. To ocenimo tako, da na zapisu potresa poiščemo prihod prvih potresnih valov ('P' oziroma longitudinalnih potresnih valov) ter prihod transverzalnih ('S' potresnih valov). Ker je izvor obeh potresnih valovanj istočasen v žarišču potresa, je oddaljenost žarišča potresa sorazmerna z razliko v času med prihodom obeh potresnih valov. Sorazmernostni faktor lahko ocenimo s pomočjo Poissonovega števila, za slovensko ozemlje je sorazmernostni faktor okoli 8,3. V drugi fazi ocenimo kot prihoda potresnih valov. Ker so P valovi vertikalno in radialno polarizirani, lahko iz prve sinusoide P valovanja (prvega premika tal zaradi potresa), ki jo zabeležimo na vseh treh komponentah, ocenimo prihod potresnih valov (Bormann, 2002). Iz razmerja amplitud na horizontali ocenimo azimut vpadnega valovanja, pri čemer dobimo dve možni rešitvi. Iz smeri prvega premika na vertikalni komponenti pa enolično določimo vpadni kot potresnega valovanja. Te postopke lahko vpeljemo tudi pri avtomatskem lociranju na samostojni trikomponenti opazovalnici.



Slika 1. Zapis potresa (A), karakteristični zapis za P valove (B) in karakteristični zapis za S valove (C). Z rdečim krogom je označen prihod P oziroma S potresnega valovanja.

Figure 1. Earthquake waveform data (A), characteristic sign for P seismic waves (B) and characteristic sign for S seismic waves (C). The red circle marks the beginning of P and S waveforms.

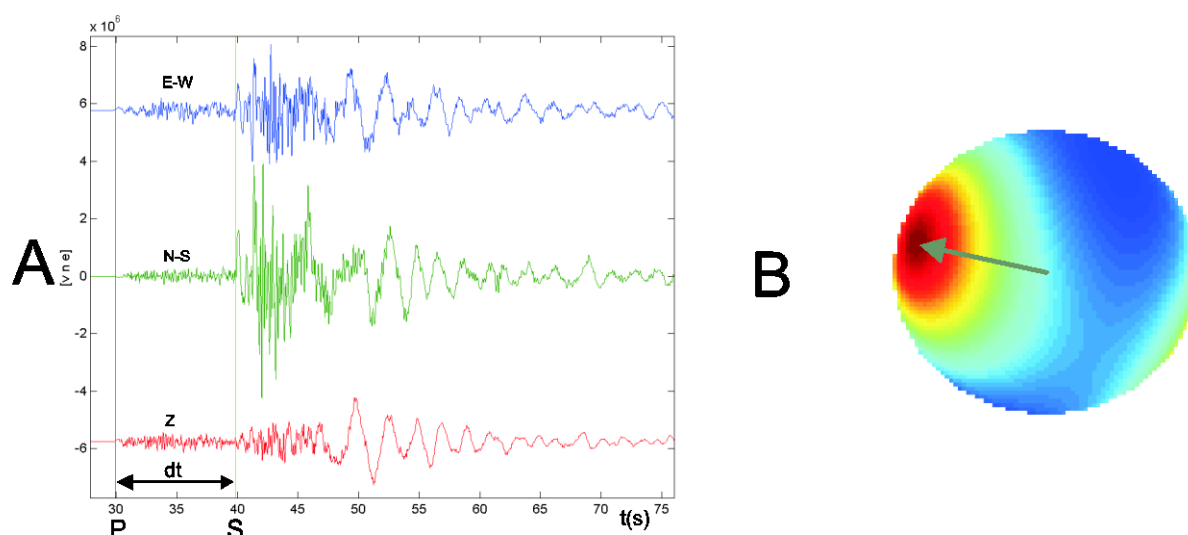
Postopki avtomatskega lociranja na samostojni potresni opazovalnici

Postopek avtomatske analize potresa na eni opazovalnici razdelimo na tri korake. V prvem koraku določimo začetek P potresnega valovanja. Zapis potresa najprej transformiramo v tako imenovani karakteristični zapis za P valove, pri čemer smo za osnovo uporabili

STA/LTA algoritem, in nato z odločitveno funkcijo določimo vstop (Slika 1, B). Nato določimo začetek prihoda S potresnega valovanja. Trikomponenti zapis potresa pretvorimo v karakteristični signal za S valove (Tasič, 2000) in nato z odločitveno funkcijo določimo vstop (Slika 1, C).

Kot smo že prej omenili, ocenimo iz razlike med vstopnimi časi S in P valov oddaljenost nadžarišča potresa.

Natančnost tako določenega začetka P ter S potresnega valovanja je zelo odvisna od kvalitete zapisa potresnega valovanja. Ko smo testirali algoritma na poljubno izbrani množici zapisov in primerjali odstopanja od ročno določenih časov v preliminarnem biltenu (vstop je določil strokovnjak), smo dobili zelo zadovoljive rezultate. Na testni množici je bila razlika med avtomatsko določenem vstopnim časom in podatkom iz preliminarne biltena za P valove v 74% primerov manjša od 0,3 sekunde in za S valove v 65% primerov manjša od 0,3 sekunde. Očitno je tudi bilo, da je avtomatsko določeni vstop bolj natančen, ko je signal potresa močnejši glede na seizmični šum. Veliko razmerje signal-šum dobimo, kadar imamo potresno opazovalnico v bližini žarišča potresa oziroma če je potres močan.

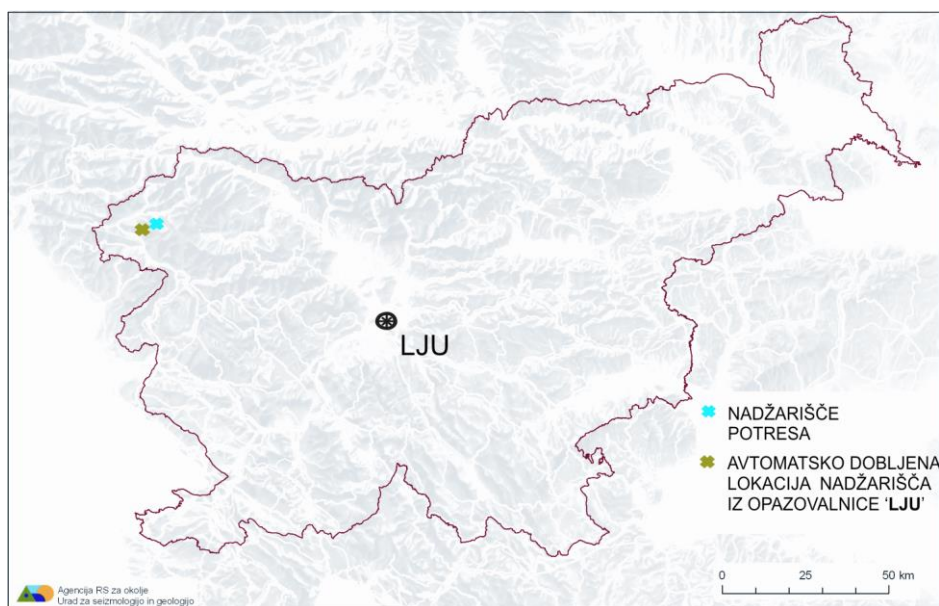


Slika 2. Zapis potresa (A) 12. julija 2004 (lokalna magnituda 4.9) na potresni opazovalnici LJU in polarizacija P valovanja (B).

Figure 2. Waveform of an earthquake on 12 July 2004 (magnitude 4.9) recorded at LJU seismic station (A), and polarization of P seismic waves (B).

Ko imamo določen vstop P potresnega valovanja, lahko določimo še kot vpadnega valovanja. Pri tem si pomagamo z dejstvom, da ostane razmerje amplitud med komponentami relativno konstantno še nekaj nihanj po začetku P potresnega valovanja. (Bormman, 2002). Vpadni kot lahko določimo z koherenčnim postopkom (Roberts in sod., 1989) oziroma z razmerjem moči signala po vseh treh komponentah (Hart in Young, 2004). Sami uporabljamo zadnji postopek. Na sliki (slika 2) je zapis potresa 12. junija 2004 z lokalno magnitudo 4,9 in polarizacija P potresnega valovanja za ta zapis.

Vendar to ni dovolj. Zaradi kompleksnosti razširjanja potresnega valovanja skozi zemeljsko notranjost ter tudi iteracije potresne opazovalnice z okolico lahko pride do razlike med dejansko smerjo nadžarišča potresa in vpadnim kotom. Za natančno določitev lokacije potresa je potrebno potresno opazovalnico še umeriti, vnesti popravke. Vendar umerjanje sploh ni enostavno, je funkcija frekvence potresnega valovanja, oddaljenosti in smeri lokacije žarišča. Primer umerjanja je umerjanje potresne opazovalnice LJU za potrese iz Posočja. Na voljo imamo dva močna potresa, zabeležena na tej opazovalnici: potres iz leta 1998 in potres iz leta 2004. Pri prvem potresu smo pri postopku avtomatske lokacije potres 'napačno' locirali za 6,9 km zahodno in 3,1 kilometer južno. Če vnesemo ta popravek v avtomatsko lokacijo potresa iz leta 2004, se ta avtomatska lokacija potresa iz opazovalnice LJU od podatka v biltenu razlikuje za 4,1 km, kar je zelo zadovoljivo (slika 3).



Slika 3. Lokacija potresa v Posočju (12. julij 2004, lokalna magnituda 4,9) in podatek o lokaciji nadžarišča, pridobljen na podlagi trikomponentnega zapisa samo iz potresne opazovalnice LJU. Podatek je umerjen s pomočjo potresa iz leta 1998 (upošteva napako).

Figure 3. Epicenter location of the earthquake in Posočje (on 12 July 2004, magnitude 4.9) and position of epicenter automatically estimated from a three component record at LJU seismic station. Location includes moderation of data with the earthquake in 1998.

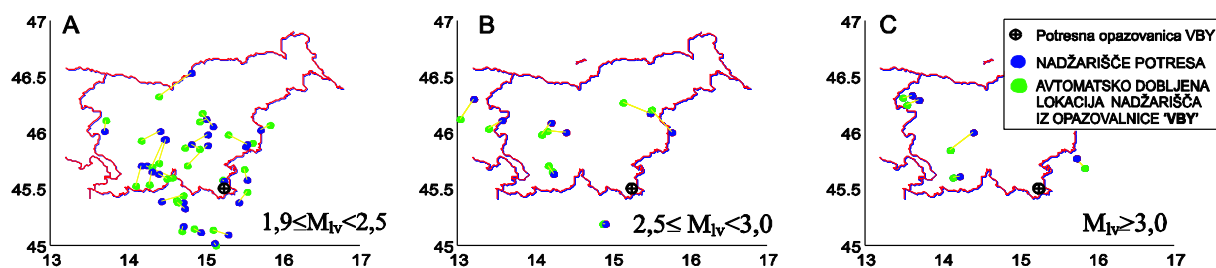
Potresna opazovalnica VBY

Ni vsaka potresna opazovalnica primerna za avtomatsko lociranje potresa. Na kvaliteto rezultatov močno vpliva iteracija potresne opazovalnice z bližnjo okolico, geološka podlaga pod opazovalnico, urbani seizmični šum v neposredni bližini potresne opazovalnice, in še bi lahko naštevali. Leta 2002 je bila v mreži tipa NMX (Tasič, 2001b) za testiranje avtomatskega postopka lociranja nadžarišča potresa z eno potresno opazovalnico najbolj primerna potresna opazovalnica z oznako VBY. Potresna opazovalnica je (bila) locirana v jugovzhodnem delu Slovenije. IBM PC z OS/2 operacijskim sistemom je na lokaciji skrbel za zajem podatkov in prenos proženih podatkov v SOP. Opazovalnica je v SOP pošiljala samo podatke, za katere je lokalni algoritem ocenil, da vsebujejo možen dogodek. Lokalni

algoritem je temeljil na rekurzivnem STA/LTA postopku. V SOP smo na lokalnem računalniku (Pentium 90) poganjali program, ki je prejete podatke iz te opazovalnice analiziral in izračunal osnovne parametre potresa. Zaradi šibke računske moči tega računalnika smo testni program za lokalno analizo poganjali v deset minutnih intervalih. Če sta se v tem intervalu zgodila dva dogodka, oziroma več, so bili vsi razen zadnjega zgubljeni za avtomatsko analizo.

Februarja 2004 je bila temu tipu potresne opazovalnice zaradi posodobitve lokacije ukinjena komunikacija, spremenila se je tudi mikrolokacija opazovalnice.

V obdobju od junija 2002 do februarja 2004 smo locirali 41 potresov na območju Slovenije in v bližnji okolici z lokalno magnitudo nad 1,9 in z relativno napako v oddaljenosti nadžarišča potresa od potresne opazovalnice manjšo kot 0,4. Nadžarišče najbolj oddaljenega potresa je bilo oddaljeno 183 kilometrov od potresne opazovalnice. Najmočnejši potres v tem obdobju je bil potres z magnitudo 3,8 (2. junij 2002) in je bil oddaljen 81 km od potresne opazovalnice. Absolutna napaka v lokaciji nadžarišča za ta potres je bila 6 kilometrov, relativna pa boljša kot 0,1. Pri avtomatskem lociranju potresov potresne opazovalnice nismo »umerili«. Vendar iz rezultatov vidimo, da bi lahko za potrese z žariščem v Posočju za umerjanje uporabili kar podatke iz opazovalnice LJU (slika 4, C).



Slika 4. Lokacije potresov (modra) in podatek o lokaciji nadžarišč (zelena) pridobljen avtomatsko na podlagi trikomponentnega zapisa samo iz potresne opazovalnice VBY za različne magnitude.

Figure 4. Location of earthquakes (blue) and epicenters automatic evaluated from three component records at VBY seismic stations (green).

Zaključek

Določanje parametrov lokalnega potresa s pomočjo ene same potresne opazovalnice je možno, vendar je ta postopek zelo občutljiv na lokalni seizmični šum, na moč signala potresa, na iteracijo seizmometra z bližnjo okolico. Natančnost tega postopka se še ne more primerjati z analizo strokovnjaka na mreži potresnih opazovalnic, vendar pri močnem potresu, in odsotnosti seizmičnega šuma, lahko na »dobrih« potresnih opazovalnicah lociramo potres z nekaj kilometrsko natančnostjo.

Literatura

Bormann P., Bergmann E., 2002. New Manual of Observatory Practice, VOL 1, 2, GFZ Postdam, Germany.

Hart, D., Young, C., 2002. MatSeis User's Manual, Sandia National Laboratories, USA.

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

- Roberts, R. G., Christofferson, A., Cassendy, F., 1989. Real time event detection, phase identification and source location using single station 3 component seismic data and a small PC., *Geophys. J.*, 97,471-480.
- Tasič, I., 2000. Karakterizacija vstopa potresnih valov s simuliranimi nevronskimi mrežami, Magistrsko delo, Fakulteta za Strojništvo, Ljubljana.
- Tasič, I., 2001. Opredelitev vstopa potresnih valov lokalnega potresa, *Potresi v letu 1999* (ur. R. Vidrih), ARSO, Urad za seizmologijo, 83-93.
- Tasič, I., 2001. Digitalna mreža potresnih opazovalnic Nanometrics, *Potresi v letu 1999* (ur. R. Vidrih), ARSO, Urad za seizmologijo, 68-72.
- Tasič, I., 2001. Hitri pregled zadnjih zabeleženih seizmičnih zapisov, Interno navodilo, ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo.

OCENA LOKACIJE OPAZOVALNICE S POMOČJO LOKALNEGA GPS SPREJEMNIKA

ESTIMATING SEISMIC STATION GEOGRAPHIC POSITION USING INTERNAL GPS RECEIVER

Izidor Tasič, Marko Mali, Polona Zupančič

Izvleček. Sodobni seizmološki digitalni zajemalni sistemi so zaradi zahteve po točnem času opremljeni z vgrajenim GPS sprejemnikom. Poleg točnega časa GPS sprejemnik beleži tudi ocene koordinat lokacije GPS antene, ki jih je možno razbrati iz dnevnih statusnih datotek zajemalne enote Q730. V tem prispevku podajamo statistično obdelavo podatkov iz leta 2004 o koordinatah GPS antene za dvanajst potresnih opazovalnic, ter njihovo primerjavo z lokacijami, odčitanimi iz temeljnih topografskih načrtov.

Abstract. Digital data acquisition systems are equipped with GPS receiver, which provides accurate timing. The GPS receiver also determines the location of the GPS antenna. We can acquire the position data from recorded status files, daily stored within the Q730 memory. Statistical results of analysis for GPS positioning data for twelve seismic stations in year 2004 were analyzed and compared to the locations acquired from basic topographic maps.

Uvod

Opremo na sodobni potresni opazovalnici sestavljajo seizmometer, enota za zajemanje podatkov, brezprekinitveni napajalnik in komunikacijski vmesnik. Potresne opazovalnice državne mreže potresnih opazovalnic so opremljene z enoto za zajemanje podatkov tipa Quanterra Q730 (Q730). Njena naloga je skrb za zajem seizmičnih podatkov iz seizmometra, pretvorbo teh podatkov v digitalno obliko, opremljanje podatkov z natančno časovno oznako, ter pošiljanje seizmoloških podatkov v realnem času v središče za obdelavo podatkov (SOP) v Ljubljani. Za natančno usklajevanje digitaliziranih seizmičnih podatkov s svetovnim časom UTC je v Q730 vgrajen GPS (angl. Global Positioning System) sprejemnik. Podatki so usklajeni pod eno milisekundo natančno. V kolikor ni večjih odstopanj pri kvaliteti GPS sprejema, je status GPS-a vpisan v statusno datoteko enkrat na dan. V ta status spada tudi koordinata antene. Statusno datoteko dnevno prenašamo v SOP.

GPS sistem

GPS je sistem za določanje lokacije s pomočjo 24 satelitov, ki krožijo okrog Zemlje na višini 20200 km. Razdalja med GPS satelitom in sprejemnikom se določi z merjenjem časa, ki ga GPS signal porabi za pot. Za določitev geografske širine in dolžine potrebujemo signal z vsaj treh GPS satelitov, za določitev nadmorske višine točke pa potrebujemo vsaj štiri satelite. Natančnost določitve lokacije točke je odvisna od mnogih dejavnikov. Najbolj pogosti vzroki napak, na katere pa uporabnik navadno nima vpliva, so naslednje: nenatančnost ure v satelitih, nenatančnost lokacije satelitov, spremembe hitrosti potovanja signala v ionosferi in troposferi, odboj signala od različnih površin pred prihodom do sprejemnika. Zaradi odboja signala se je treba izogibati tudi lokacijam sprejemnika, ki so postavljene v gosto poraščenem področju (gozd) in v bližini vodnih teles in visokih zgradb. (Corvallis, 1996, Geoservis, 2002).

Ob upoštevanju zgornjih problemov je povprečna napaka lociranja z GPS-om približno 25 metrov. To napako je mogoče precej zmanjšati, če uvedemo t.i. referenčne GPS sprejemnike. Pomembno je tudi število vidnih satelitov in njihova geometrijska porazdelitev. Geometrijsko porazdelitev opisuje faktor DOP (angl. Dilution Of Precision). Najboljša porazdelitev satelitov je v ogliščih namišljenega tetraedra ($DOP = 1$). V ostalih primerih pa je DOP vrednost večja in je enaka razmerju med trenutno obliko telesa, ki ga sateliti oklepajo in idealno. Vrednost DOP se torej časovno spreminja in velja, da vrednost manjša od 3 pomeni zelo dobro razporeditev in posledično majhno napako v lociranju (Cestnik, 2003, Combrinck, 1999).

GPS sistem uporablja koordinatni sistem, katerega izhodišče je v geometričnem središču Zemlje. Sprejemnik potem te koordinate spremeni v zemljepisno dolžino, širino in višino nad elipsoidom. Pri tem navadno uporabimo World Geodetic System 1984 (WGS-84). Ker pa je Zemlja geoid, ki ga je nemogoče opisati z elipsoidom, prihaja do napak, ki so najbolj izrazite pri določitvi nadmorske višine točke. Tudi to napako lahko zmanjšamo z upoštevanjem sferoidov, ki so značilni za manjša območja.

Vir napak je lahko tudi nenatančnost GPS sprejemnika. V Quanterri 730 je vgrajen GPS sprejemnik Motorola GPS 3, model 11, z natančnostjo določanja točnega časa < 1 ms. Ker njegova osnovna funkcija ni določanje lokacije, proizvajalec ne navaja natančnosti lociranja. Vgrajeni GPS tudi nima možnosti korekcije z upoštevanjem lokalnega sferoida.

Ocena koordinat lokacije potresne opazovalnice

Lokacijo potresne opazovalnice določimo s tremi koordinatami: zemljepisno širino, zemljepisno dolžino ter nadmorsko višino. Q730 vpiše GPS podatke v statusno datoteko vsaj enkrat na dan oziroma vsakič, ko pride do izrazite spremembe v kvaliteti GPS sprejema. S pomočjo statusnih datotek za Q730 iz leta 2004 smo naredili oceno teh koordinat. Prikazali bomo rezultate, kjer smo imeli podatke za vsaj 11 mesecev. Teh opazovalnic je dvanajst: BOJS (11 mesecev), CEY (12 mesecev), CRES (12 mesecev), DOBS (12 mesecev), GOLS (12 mesecev), GROS (12 mesecev), KOGS (12 mesecev), LEGS (12 mesecev), LJU (12 mesecev), PDKS (12 mesecev), PERS (12 mesecev), ROBS (12 mesecev).

Koordinate smo ocenili z dvema različnima postopkoma. V prvem primeru (postopek 1) smo izračunali povprečno vrednost, odstranili tiste podatke, ki so vizualno izrazito odstopali od povprečja. V drugem primeru (postopek 2) smo upoštevali samo tiste podatke, kjer je bil DOP manjši od vrednosti 3. Za preračun iz geografskih koordinat v metre smo uporabili razmerji: 1° geografske širine je 111 km, 1° geografske dolžine je 75 km. Za geografsko širino razmerje ni odvisno od lokacije na Zemlji. Pri geografski dolžini pa se razmerje spreminja v odvisnosti od geografske širine. Ker je Slovenija dokaj majhna in se razmerje ne spreminja bistveno, smo za vse izračune uporabili konstantno vrednost. Poglejmo analizo za potresno opazovalnico z oznako BOJS.

Potresna opazovalnica BOJS

Kot primer smo izbrali potresno opazovalnico v Bojancih v Beli Krajini, saj je njena lega zelo ugodna in ima dober sprejem GPS signala in nizek povprečni DOP. Na potresni opazovalnici BOJS smo zabeležili 489 podatkov. V 444 primerih je algoritem za izračun lokacije zasledil in uporabil vsaj štiri satelite, od tega v 173 primerih 8 satelitov, v 170 primerih 7 satelitov v 64 primerih 6 satelitov, v 30 primerih 5 satelitov in v 7 primerih 4 satelite. V 441 primerih je bila vrednost DOP manjša od 3. Razpršenost zabeleženih koordinat je prikazana na slikah 1, 2, 3 in 4, odstopanja od povprečne vrednosti pa na sliki 5. Razpršenost vrednosti DOP je prikazana na slikah 6 in 7. Statistična obdelava podatkov za opazovalnico BOJS je v preglednici 1.

Slika 1. Razpršenost koordinat zemljepisne širine na opazovalnici BOJS, 'n' je številka meritve
Figure 1. Variance of latitude for seismic station BOJS ('n' is the observation number)

Preglednica 1. Rezultati obdelave koordinat za opazovalnico BOJS

Table 1. Results of statistical analysis of GPS recorded positioning data for seismic station BOJS.

Obdobje (meseci)		(2-12)	(2-12)	(2-12)
Postopek 1	gps koordinata	geografska širina	geografska dolžina	nadmorska višina
	poprečna vrednost	45,5043156°	15,2517300°	323 m
	standardna deviacija	0,0000280°	0,0000387°	8 m
Postopek 2 (DOP<3)	število podatkov	441	441	441
	poprečna vrednost	45.5043179°	15.2517290°	323
	standardna deviacija	0.0000373°	0.0000404°	7.8m

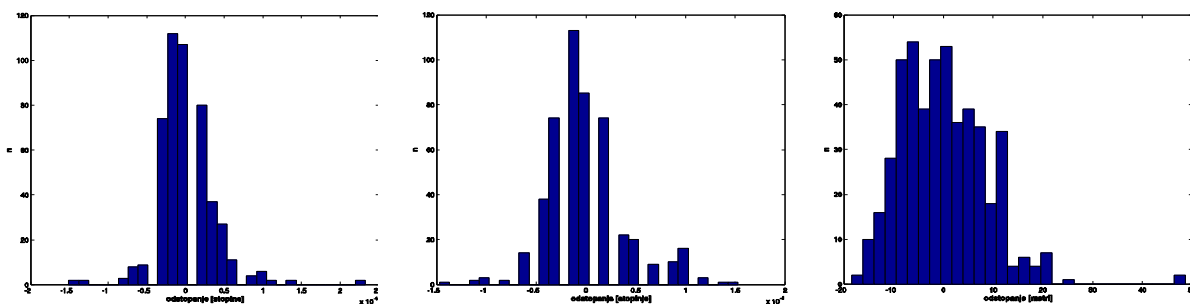
Obdelava za vse potresne opazovalnice

V preglednici 2 je izveček obdelave podatkov za vseh dvanajst potresnih opazovalnic. Meritve lokacij, dobljene z GPS sprejemnikom na opazovalnicah, smo primerjali z lokacijami opazovalnic, ki so bile odčitane iz temeljnih topografskih načrtov v merilu 1: 5000 (oziroma 1:10000 tam, kjer merilo 1:5000 ne obstaja) in jih v nadaljevanju imenujemo "lokacija*" (Preglednica 2). V preglednici 3 je informacija o DOP faktorju ter odstopanja koordinat, izračunalnih po 2. postopku, od uradne lokacije.

*Slika 2. Razpršenost koordinat zemljepisne dolžine, 'n' je številka meritve.
Figure 2. Variance of longitude for sesimic station BOJS ('n' is the observation number).*

*Slika 3. Razpršenost koordinat nadmorske višine na opazovalnici BOJS, 'n' je številka meritve.
Figure 3. Variance of altitude for sesimic station BOJS ('n' is the observation number).*

Slika 4. 3D prikaz razpršenosti GPS koordinat na opazovalnici BOJS
Figure 4. 3D presentation of variation of GPS recorded positioning data for seismic station BOJS



Slika 5. Odstopanje zemljepisne širine, zemljepisne dolžine in nadmorske višine od povprečne vrednosti na opazovalnici BOJS.
Figure 5. Deviation of positioning data for each of its coordinates from its average value for seismic station BOJS.

Slika 6. Vrednost DOP za posamezno meritev na opazovalnici BOJS, 'n' je številka meritve.
Figure 6. DOP factor (Dilution of Precision) values for individual measurement for seismic station BOJS ('n' is the observation number).

	Postopek	Št. podatkov	Zemljepisna širina (°)		zemljepisna dolžina (°)		nadmorska višina (m)	
			povprečna vrednost	Standardna deviacija	povprečna vrednost	standardna deviacija	Povprečna vrednost	standardna deviacija
BOJS	postopek 1	458	45.5043156	0.0000280	15.2517300	0.0000387	323	8
	postopek 2	441	45.5043179	0.0000373	15.2517290	0.0000404	323	8
	lokacija*		45.5043444		15.2518055		273	
CEY	postopek 1	1215	45.7380749	0.0000449	14.4220166	0.0000616	640	9
	postopek 2	521	45.7381088	0.0000971	14.4220531	0.0001239	636	18
	lokacija*		45.7381388		14.4221389		579	
GRES	postopek 1	1044	45.8260078	0.0000307	15.4568321	0.0000237	489	7
	postopek 2	913	45.8260090	0.0000355	15.4568321	0.0000242	489	7
	lokacija*		45.8259722		15.4568889		430	
DOBS	postopek 1	1605	46.1494914	0.0000412	15.4694510	0.0000579	478	9
	postopek 2	1290	46.1494829	0.0000906	15.4694491	0.0001318	478	20
	lokacija*		46.1494675		15.4695325		465	
GOLS	postopek 1	754	46.0107796	0.0000339	15.6245321	0.0000253	616	7
	postopek 2	606	46.0107746	0.0000336	15.6245310	0.0000259	616	6
	lokacija*		46.0107500		15.6245000		559	
GROS	postopek 1	1357	46.4609595	0.0000362	15.5017863	0.0000506	991	8
	postopek 2	1097	46.4609564	0.0000476	15.5017952	0.0000667	992	10
	lokacija*		46.4610083		15.5017500		930	
KOGS	postopek 1	386	46.4481416	0.0000251	16.2503613	0.0000216	301	5
	postopek 2	394	46.4481450	0.0000346	16.2503626	0.0000233	302	6
	lokacija*		46.4480826		16.2503501		245	
LEGS	postopek 1	494	45.9487880	0.0000258	15.3176400	0.0000203	446	5
	postopek 2	484	45.9487881	0.0000252	15.3176403	0.0000204	446	5
	lokacija*		45.9488055		15.3177222		390	
LJU	postopek 1	1163	46.0437648	0.0000382	14.5276108	0.0000553	462	10
	postopek 2	1023	46.0437696	0.0000700	14.5276299	0.0001416	460	21
	lokacija*		46.0438055		14.5277500		396	
PDKS	postopek 1	489	46.0611629	0.0000248	14.9976449	0.0000234	762	6
	postopek 2	443	46.0611630	0.0000243	14.9976453	0.0000232	761	7
	lokacija*		46.0612172		14.9976566		697	
PERS	postopek 1	512	46.6360484	0.0000272	15.1163142	0.0000261	861	6
	postopek 2	457	46.6360484	0.0000278	15.1163140	0.0000266	861	6
	lokacija*		46.6359444		15.1166944		812	
ROBS	postopek 1	1185	46.2444625	0.0000411	13.5094298	0.0000527	317	9
	postopek 2	692	46.2444595	0.0000491	13.5094438	0.0000619	317	15
	lokacija*		46.2445167		13.5094528		245	

Preglednica 2. Statistika meritev lokacij dvanajstih potresnih opazovalnic dobljenih z GPS sprejemniki na opazovalnicah in primerjava z lokacijami, odčitanimi iz temeljnih topografskih načrtov (lokacija* - lokacija po podatkih iz leta 2003).

Table 2. Results of statistical analysis of GPS recorded positioning data for twelve seismic stations compared to the locations acquired from basic topographic maps

*Slika 7. Porazdelitev DOP na opazovalnici BOJS.
Figure 7. Distribution of DOP factor for seismic station BOJS.*

potresna opazovalnica	DOP povprečni	DOP najboljši	DOP najslabši	število (%) DOP < 3	odstopanje povprečne vrednosti koordinate od uradnega podatka	
					v horizontalni ravnini (m)	po vertikali (m)
BOJS	2,3	1,4	9,9	91,1 %	6,4	50
CEY	4,9	1,5	11,0	19,7 %	7,2	57
CRES	2,6	1,1	10,0	84,8 %	5,9	59
DOBS	4,0	1,1	11,0	41,3 %	6,5	13
GOLS	2,7	1,2	9,9	79,8 %	3,6	57
GROS	2,8	1,3	9,9	67,9 %	6,7	62
KOGS	2,2	1,5	8,6	91,4 %	7,0	57
LEGS	2,0	1,5	9,6	98,4 %	6,4	56
LJU	3,7	1,4	11,0	46,9 %	9,8	64
PKS	2,4	1,5	9,0	88,6 %	6,1	64
PERS	2,3	1,1	7,9	89,6 %	30,8	49
ROBS	4,8	1,4	11,0	23,6 %	6,4	72

Preglednica 3. Rezultati analize podatkov o DOP faktorju ter podatki o odstopanju GPS koordinat od lokacij, odčitanih iz temeljnih topografskih načrtov.

Table 3. Results of statistical analysis of DOP factor on 12 seismic stations and comparison between average value of positioning data (individually for horizontal and vertical coordinates) and the values acquired from the basic topographic maps

Zaključek

Na potresnih opazovalnicah CEY, LJU in ROBS ima GPS antena močno omejeno vidno polje. To se vidi v preglednici 3, kjer je podatkov z $DOP < 3$ relativno malo, povprečni DOP pa je večji kot 3. Slabo povprečno vrednost ima tudi opazovalnica DOBS, čeprav bi morala imeti antena dobro vidno polje. Vendar je na tej opazovalnici popustil nosilec antene in antena je bila usmerjena v horizontalno ravnino. GPS antene imajo zelo dobro vidno polje še na opazovalnicah BOJS, LEGS, PDKS in PERS. Pri opazovalnicah z dobrim DOP se podatki, izračunani po obeh postopkih, razlikujejo za manj kot pol metra natančno. Ko primerjamo podatke z uradnimi, lahko opazimo, da so napake sistematske. V vertikalni ravnini je povprečno odstopanje od uradnega podatka 57 metrov, v horizontalni ravnini 6,7 metra. Do izrazitejših odstopanj pride na opazovalnicah DOBS (v vertikalni ravnini) in LJU, CEY, ROBS, GOLS, PERS (v horizontalni ravnini). Za prve štiri opazovalnice smo odstopanja razložili, za zadnji dve opazovalnici pa bo potrebno ponovno preveriti tudi uradne koordinate.

Literatura

Cestnik, M. 2003. GPS. Seminarska naloga, Fakulteta za matematiko in fiziko, Ljubljana.

Corvallis Microtechnology, Inc., 1996. (online), (citirano 2006-01-30), dostopno na naslovu:
<http://www.cmtinc.com/gpsbook/>

Combrinck, L., feb. 1999, (online), (citirano 2006-01-30), dostopno na naslovu:

Geoservis, d.o.o., 2002. (online), (citirano 2006-01-30), dostopno na naslovu:
http://www.geoservis.si/uporabno/info/o_gps.htm

<http://www.hartrao.ac.za/geodesy/gps.html>

AKCELEROGRAFI SLOVENSKE MREŽE POTRESNIH OPAZOVALNIC SLOVENIAN NETWORK OF ACCELEROGRAPHS

Tajana Prosen

Izvleček. V letu 2004 smo imeli na Uradu za seizmologijo in geologijo štirinajst opazovalnic za beleženje močnih potresov, od tega deset opremljenih z akceleroграфи Etna, tri s SSA-2 in eno z inštrumentom K2 (osi Kinematics). Večina akceleroграфov je v letu 2004 ostala na prejšnjih lokacijah, nekaj pa smo jih na novo namestili v skladu s potrebami. V letu 2004 je bilo z akceleroграфih zabeleženih znatno več potresov kot običajno, zaradi potresa v Posočju 12.7.2004, ki mu je sledilo mnogo popotresov.

Abstract. In the year 2004 there were fourteen strong motion stations working within Slovenian Seismic Network. Ten of them were equipped with accelerographs Etna, three with SSA-2 and one with K2 (all Kinematics). There was a significant increase in number of earthquakes recorded in the year 2004 to a few previous years due to the 12th of July earthquake which was followed by many aftershocks.

Uvod

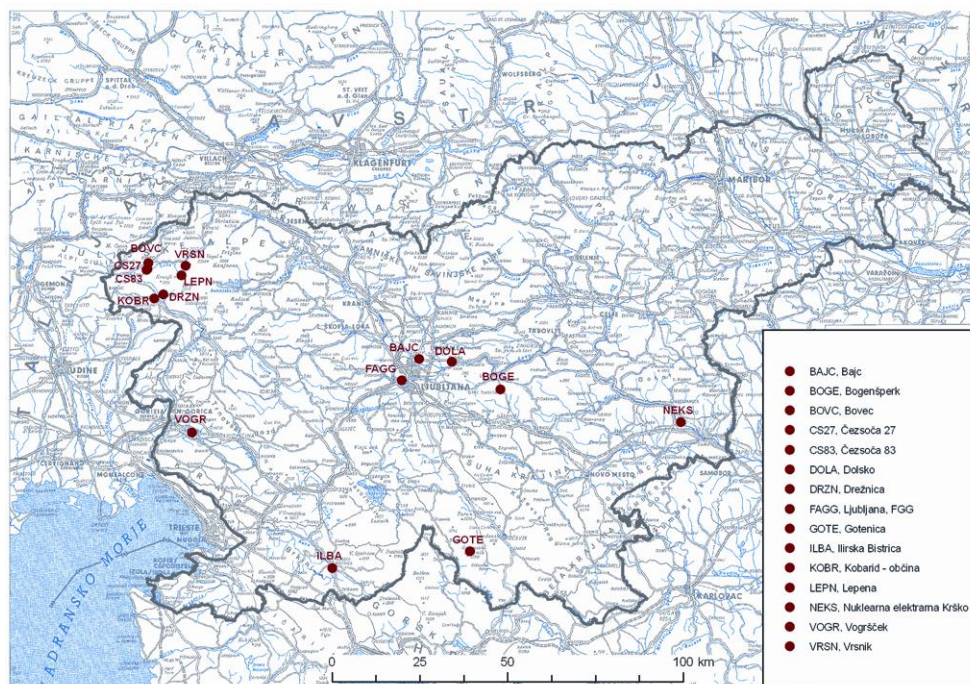
Urad za seizmologijo in geologijo ima več opazovalnic opremljenih z akceleroграфi za beleženje močnih potresov. Vsi so nameščeni v objektih. Lokacije za opazovalnice so izbrane glede na pogostnost močnejših potresov na tem področju.

V letu 2004 je bilo v uporabi štirinajst instrumentov (akceleroграфov) za beleženje močnih potresov. Na Vogršček smo postavili nov inštrument z imenom K2 (Kinematics). Deset opazovalnic je bilo opremljenih z akceleroграфi Etna. V Bovcu, Bogenšperku, Drežnici, Kobaridu, Gotenici in Jedrski elektrarni Krško so delovale potresne opazovalnice vse leto, začasno pa so bili akceleroграфi tipa Etna postavljeni v Čezsočo, Vrsnik, Nadgorico in Lepeno. V Ljubljani, na Dolskem in v Ilirski Bistrici so delovali akceleroграфi SSA-2. Potresne opazovalnice za beleženje močnih potresov so označene na karti (slika 1).

Akceleroграф Etna je instrument za beleženje pospeškov močnih potresov. Vsebuje notranji tri kanalni senzor, ki je pri starejših instrumentih tipa FBA-23, pri novejših pa se imenuje EpiSensor. Na Uradu za seizmologijo in geologijo imamo instrumente Etna z merilnim območjem senzorjev 1 g, 2 g in 4 g. Instrument 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. Tako prenešene dogodke pregledamo, izberemo potrese in jih shranimo. Zapise potresov kasneje obdelamo z različnimi programskimi orodji za obdelavo močnih potresov.

Inštrument K2 deluje kot zajemalna enota in AD pretvornik. Zajema in beleži podatke s 24 bitno resolucijo. Nanj lahko priključimo različne tipe senzorjev (seizmometer, akceleroграф). Notranja ura inštrumenta K2 se usklajuje s sistemom točnega časa GPS. Podatki s senzorjev se na podlagi kriterijev, ki jih določimo, lokalno shranjujejo. Kasneje jih

lahko na osebni računalnik prenesemo neposredno s pomočjo kabla, s kartico PCMCIA, ki jo vstavimo v osebni računalnik ali s pomočjo modema (stacionarno ali GSM omrežje).



*Slika 1. Akcelerografi v Sloveniji v letu 2004.
Figure 1. Accelerographs in Slovenia in the year 2004.*

Opazovalnice za beleženje močnih potresov v letu 2004

Stalne opazovalnice

V letu 2004 so bili instrumenti Etna razmeščeni na 10-ih lokacijah ki so predstavljene spodaj. Podrobnejši podatki o opazovalnicah, pa so zbrani v preglednici 1.

V Nadgorici pri Ljubljani je do 15.7.2004 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. Instrument je bil postavljen v kletne prostore stanovanjske hiše. V letu 2004 je instrument 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 2004 je ta opazovalnica zabeležila 12 potresov.

V Bovcu je vse leto deloval instrument Etna SN 1476 v kleti knjižnice v Bovcu. V Bovcu sta instrumenta v letu 2004 zabeležila 181 potresov.

V Drežnici je vse leto delovala Etna SN 2134 in merilnim obsegom 2g. Instrumenta sta v letu 2004 skupno zabeležila 176 potresov.

V Gotenici je bil vse leto postavljen instrument Etna s serijsko številko SN 1246 s senzorjem FBA-23 in merilnim obsegom 1 g. Podatke z akceleroграфа Etna v Gotenici smo prenašali prek telefonske povezave, vendar avtomatski prenos ni deloval. Instrument je v letu 2004 zabeležil 17 dogodkov.

V Kobaridu je bil vse leto instrument Etna s serijsko številko 1477, ki vsebuje senzor FBA-23 z merilnim območjem 4 g. Instrument stoji v pritličju občinske stavbe. V letu 2004 je zabeležil 13 dogodkov.

1.6.2004 smo na Vogrščeku postavili inštrument K2 (opisan zgoraj) z EpiSensor-jem v pregrado (slika 2). Opazovalnica ime koordinate $45^{\circ} 54,34'$, $13^{\circ} 43,55'$ in nadmorsko višino 106 m. V letu 2004 inštrument ni K2 zabeležil nobenega potresa.



*Slika 2. Inštrument K2 na Vogrščku.
Figure 2. Instrument K2 in Vogršček.*

V Krškem stoji akceleroграф Etna v sklopu Jedrske elektrarne Krško (SN 1334, 2 g). Kljub temu, da je inštrument formalno last elektrarne je vključen v državno mrežo potresnih opazovalnic in priključen na državno računalniško omrežje, prek katerega prejemo podatke s te opazovalnice. Instrument v Krškem je v letu 2004 zabeležil 2 potresa.

Akcelerografi tipa SSA-2 so bili v letu 2004 v Ljubljani pri Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo, na Dolskem in v Ilirski Bistrici. Akceleroграфе SSA-2 sestavljata senzor FBA-23 in zajemalna naprava SSA-2 z 12-bitnim analogno digitalnim pretvornikom. V Ljubljani in na 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. Instrumenti SSA-2 niso več povezani s sistemom točnega časa, zato uporabljamo le podatke o pospeških. Zabeležene dogodke inštrument shranjuje lokalno, kasneje pa jih prenesemo na osebni računalnik s pomočjo

neposredne kableske povezave ob rednih obiskih opazovalnic. Podatki o opazovalnicah so v preglednici 1.

Začasne opazovalnice

V Vrsniku smo začasno namestili inštrument Etna po potresu v Posočju 12.7.2004 v prtljično stanovanjsko hišo. Tam je ostal do 19.8.2004. V tem času je bilo zabeleženih 72 potresov.

Tudi v Čezsoči smo akceleroграф Etna postavili neposredno po potresu v Posočju. Najprej je bil akceleroграф nameščen v Čezsoči 27, nato pa smo ga prestavili v Čezsočo 83 (slika 4). Tam je ostal do 17.12.2004 in v tem času zabeležil 167 potresov.

Začasna opazovalnica v Lepeni je delovala med 29.7. in 25.10.2004. Akceleroграф Etna je bil nameščen v zunanjem kaminu in je v času delovanja zabeležil 82 potresov.

ime opazovalnice	koda	Instr., serijska št.	čas delovanja	merilni obseg [g]	število potresov
Nadgorica pri Ljubljani	BAJC	Etna 2133	do 29.7.	2	2
Bogenšperk	BOGE	Etna 1245	celo leto	1	12
Bovec	BOVC	Etna 1476	celo leto	4	181
Drežnica	DRZN	Etna 2134	celo leto	2	176
Gotenica	GOTE	Etna 1246	celo leto	1	17
Kobarid	KOBR	Etna 1477	celo leto	4	73
Krško (JEK)	NEKS	Etna 1334	celo leto	2	2
Vogršček	VOGR	K2 2228	od 1.6.	1	0
Lepena	LEPN	Etna 2133	29.7. -25.10.	2	82
Čezsoča	CS27	Etna 810	od 12.7. do 17.12.	1	167
Čezsoča	CS83	Etna 810			
Vrsnik	VRSN	Etna 811	12.7. -19.8.	1	72
FGG	FAGG	SSA-2	celo leto	1	2
Dolsko	DOLA	SSA-2	celo leto	1	2
Ilirska Bistrica	ILBA	SSA-2	celo leto	0.25	2

Preglednica 1. Podatki o akceleroграфih v Sloveniji v letu 2004.

Table 1. Information on accelerographs in Slovenia in the year 2004

Literatura

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

OTVORITEV MREŽE POTRESNIH OPAZOVALNIC OKOLI LJUBLJANE OPENING OF THE SEISMIC MONITORING STATIONS NETWORK IN LJUBLJANA REGION

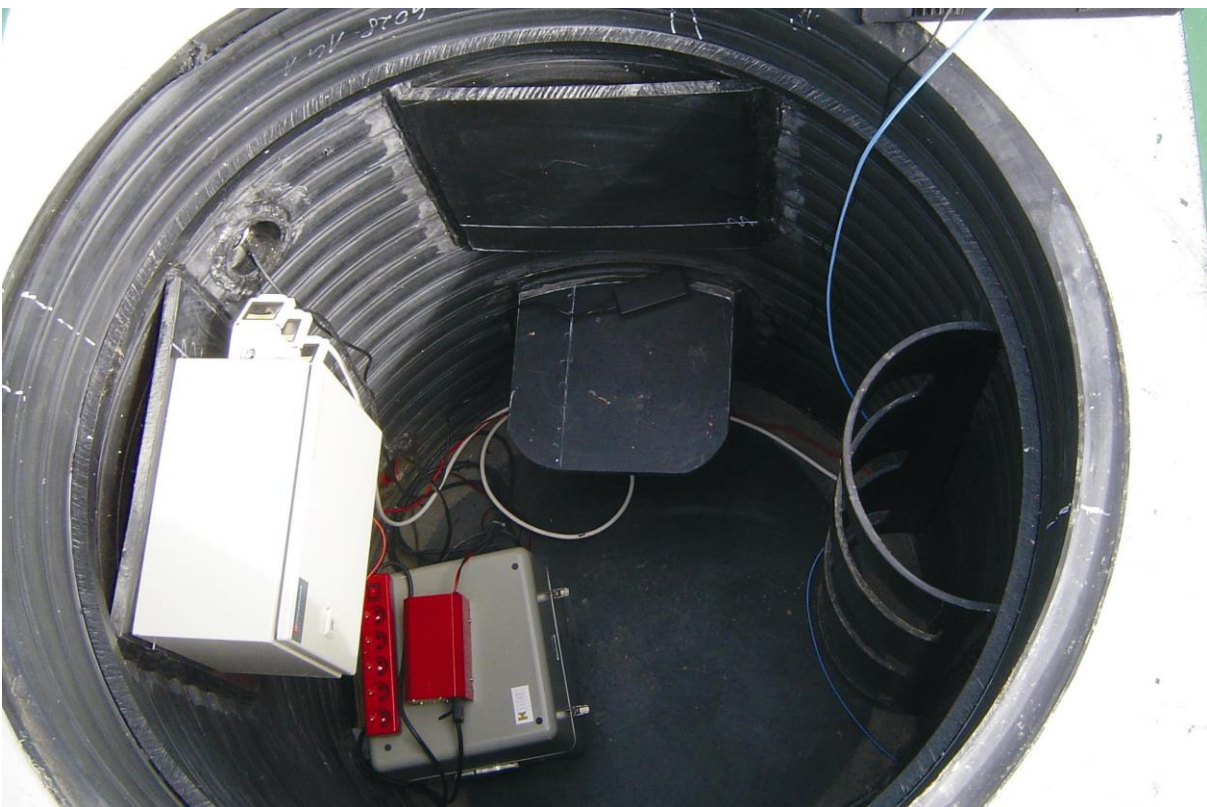
Renato Vidrih

Izvleček. Minister za okolje, prostor in energijo mag. Janez Kopač je 28. septembra 2004 otvoril mrežo potresnih opazovalnic okoli glavnega mesta Ljubljane, ki je eno najbolj potresno ogroženih območij v Sloveniji. Otvoritev je potekala na Črnem vrhu nad Polhovim Gradcem. Nove opazovalnice ljubljanske mreže pa so še na Vrhu pri Dolskem, Gorenji Brezovici in Možjanci. Peta potresna opazovalnica je observatorij na Golovcu v Ljubljani, ki kontinuirano deluje že od leta 1958 dalje. Ministrovemu govoru se je pridružil tudi direktor Agencije RS za okolje dr. Silvo Žlebir.

Abstract. On 28 September 2004, the Minister of the Environment, Spatial Planning and Energy, Janez Kopač, formally opened the Seismic Network around the capital Ljubljana, which is one of the regions in Slovenia most threatened by earthquakes. The opening took place on Črni vrh above Polhov Gradec. There are additional new monitoring stations of the Ljubljana network on Vrh nad Dolskim, Gorenja Brezovica and Možjanca. The fifth seismic monitoring station is the observatory on Golovec in Ljubljana, which has been operating continuously since 1958. The Director of the Environmental Agency of RS, Silvo Žlebir, also spoke.

Na Agenciji RS za okolje že od samega začetka njenega nastanka leta 2001 posodabljammo državno mrežo potresnih opazovalnic, za katero je zadolžen Urad za seizmologijo in geologijo in s tem nadaljujemo delo, ki je bilo zastavljeno že na Upravi RS za geofiziko. Glede na pomembnost potresnega opazovanja na območjih z veliko potresno nevarnostjo in ogroženostjo so bile na ozemlju Republike Slovenije potrebne vsaj tri lokalne mreže, in sicer ena na območju Ljubljane, kot potresno najbolj ogroženega območja, druga v zg. Posočju, kot potresno najbolj nevarnega, pa tudi ogroženega območja in tretja na območju JE Krško zaradi same potresne nevarnosti in ogroženosti, še bolj pa zaradi zahtev evropske skupnosti. 28. maja 2002 je minister mag. Janez Kopač odprl mrežo okoli jedrske elektrarne Krško, 30. julija 2003 primorsko mrežo, 28. septembra 2004 pa je predal namenu mrežo potresnih opazovalnic okoli Ljubljane.

Ljubljansko območje je največje urbanizirano območje v Sloveniji. Tu potekajo za državo pomembne gospodarske, kulturne, znanstvenoraziskovalne, zdravstvene, politične in druge dejavnosti. Zaradi tega in zaradi razmeroma velike potresne nevarnosti je tu potresna ogroženost v Sloveniji največja. Od leta 1958 dalje je nad potresno dejavnostjo Ljubljanske kotline bedela opazovalnica observatorij na Golovcu, sedaj pa so se ji pridružile še štiri nove opazovalnice. Gradbena dela na vseh štirih potresnih opazovalnicah so bila končana do jeseni 2004, priključitve prek državnega računalniškega omrežja s središčem za obdelavo podatkov pa še potekajo. Opazovalnice na Črnem vrhu nad Polhovim Gradcem, Možjanco nad Predvorom, Gorenjo Brezovico pri Podpeči in Vrhu nad Dolskim bodo pripomogle k mnogo boljšemu spremljanju potresnega dogajanja v okolici Ljubljane, hkrati pa so vključene v državno mrežo, ki bo s 25-timi opazovalnicami predvidoma zgrajena v letu 2006.



Slika 1. Pogled na potresno opazovalnico Črni vrh nad Polhovim Gradcem. V seizmičnem jašku sta senzor in zajemalna naprava, v pomožnem jašku pa usmernik, akumulator za napajanje instrumentov in komunikacijska oprema (foto: P. Sinčič).

Figure 1. View of the seismic monitoring station Črni vrh above Polhov Gradec. In the seismic trench are a sensor and receiving equipment, and in the auxiliary trench the direction finder, the battery for running the instruments and the communications equipment (photo: P. Sinčič).

Že sedaj smo začeli poizkusno tudi z avtomatskimi izračuni, ki bodo omogočili mnogo hitrejšo alarmiranje v primeru potresa. Opazovalnice so opremljene na različne načine, ena je šestkanalna, tri so trikanalne, ena pa ima senzor v vrtini.

Seznam opazovalnic in geografske koordinate

- Vrh pri Dolskem 14,7014°E; 46,1017°N; 531m
- Gorenja Brezovica 14,4423°E; 45,9347°N; 538m
- Črni Vrh 14,2613°E; 46,0806°N; 689m
- Možjanca 14,4433°E; 46,2941°N; 660m



Slika 2. Potresno opazovalnico Črni vrh je otvoril minister za okolje in prostor mag. Janez Kopač. O pomembnosti gradnje državne mreže potresnih opazovalnic pa je spregovoril dr. Silvo Žlebir, direktor Agencije RS za okolje (foto: P. Sinčič).

Figure 2. The Črni Vrh seismic monitoring station was formally opened by the Minister of the Environment, Spatial Planning and Energy, Janez Kopač. Silvo Žlebir, the director of the Environmental Agency RS, spoke of the importance of building a national network of seismic stations (photo: P. Sinčič).

Šestkanalna potresna opazovalnica

V mreži potresnih opazovalnic okoli Ljubljane je najstarejša opazovalnica Golovec, ki smo jo opremili le z novimi instrumenti. To je edina šestkanalna opazovalnica v mreži. Na zajemalno enoto Quanterra Q730 z dvema analognima vhodoma sta priključena dva trikomponentna senzorja: seizmometer CMG-40T in akcelerometer EpiSensor. Oba senzorja sta nameščena v seizmični sobi v kleti observatorija na Golovcu v Ljubljani na betonskem stebri.



Slika 3. Omrežje potresnih opazovalnic na širšem območju Ljubljane. MOZS...Možjanca nad Predvorom, CRVS...Črni vrh nad Polhovim Gradcem, VNDS...Vrh pri Dolskem in GBAS...Gorenja Brezovica pri Podpeči.

Figure 3. The network of seismic monitoring stations in the wider vicinity of Ljubljana. MOZS...Možjanca above Predvor, CRVS...Črni Vrh above Polhov Gradec, VNDS...Vrh pri Dolskem and GBAS...Gorenja Brezovica by Podpeč.

Trikanalna potresna opazovalnica

Opazovalnice na Črnem vrhu nad Polhovim Gradcem, Možjanci nad Predvorom in Gorenjo Brezovico pri Podpeči bodo trikanalne. Na zajemalno enoto Quanterra Q730 z enim analognim vhodom je priključen trikomponentni senzor: seizmometer CMG-40T. Senzor je nameščen v dodatno toplotno izoliranem prostoru na betonskem dnu seizmičnega jaška. Zajemalna enota je nameščena na polici v jašku. Baterije za napajanje, polnilec in komunikacijska oprema so nameščeni v pomožnem jašku ali omarici, tako da je vpliv izmenične komponente omrežne napetosti čim manjši.

Potresna opazovalnica s senzorjem v vrtini

Edina opazovalnica v ljubljanski mreži, ki bo imela senzor zaradi slabe geološke podlage v vrtini je v Vrhu pri Dolskem. Na območjih, kjer ni bilo možno najti terena s primerno geološko podlago, je potrebna postavitvev senzorja v vrtino, ki je zvrtna v dno seizmičnega jaška. Če bi finančna sredstva dopuščala, bi bilo potrebno narediti več tovrstnih opazovalnic, saj je marsikje v Sloveniji geološka zgradba seizmogeološko neugodna. S senzorjem v vrtini se izognemo zgornjemu preperinskemu pokrovu, zdrobljeni nekompaktni kamnini, tanjšim plastem seizmogeološko neugodnih sedimentov (glin, peskov, laporjev,...). Zajemalna enota je nameščena na polici v jašku. Baterije za napajanje, polnilec in komunikacijska oprema so nameščeni v pomožnem jašku ali omarici, tako da je vpliv izmenične komponente omrežne napetosti čim manjši.

Središče za obdelavo podatkov

V središču za obdelavo podatkov, ki je v prostorih ARSO, Urada za seizmologijo in geologijo na Dunajski 47, komunikacijska oprema skrbi za vključitev lokalnega omrežja v državno računalniško omrežje. Sprejemnik točnega časa NTS - 90 (Network Time Server) oskrbuje središče s točno časovno bazo (natančnost 1 ms). Prva delovna postaja (Sun Fire V250) predvsem zajema pa tudi obdeluje podatke. Druga delovna postaja je namenjena samo obdelavi podatkov. Varnostno shranjevanje podatkov opravlja tračna enota s kapaciteto 72 GB podatkov, priključena prek SCSI-vmesnika na prvo delovno postajo. Opremo središča za obdelavo dopolnjuje tiskalnik. Vsa oprema dobi napajalno napetost iz brezprekinitvenega napajalnika. Brezprekinitveni napajalnik zagotavlja napajanje središča samo ob kratkotrajnih prekinitvah omrežne napetosti, zato bo za zagotavljanje napajanja ob daljših prekinitvah potreben agregat.

Konec leta 2004 je bilo zgrajenih ali obnovljenih 24 potresnih opazovalnic, vsaj gradbena dela, sedaj pa upamo na čim hitrejšo priključitve v središče za obdelavo podatkov v Ljubljani.

V letu 2006 so gradbena dela zaključena na vseh 25-tih opazovalnicah državne mreže. Pričakujemo, da bo celotna mreža začela poizkusno delovati leta 2006, to pa je seveda odvisno od priključitev v središče za obdelavo podatkov, kar pa ni odvisno od Urada za seizmologijo in geologijo pri Agenciji RS za okolje. Avtomatski izračun osnovnih potresnih parametrov, kot so natančen čas nastanka, oddaljenost žarišča, koordinati epicentra, magnituda, bo omogočal neprimerno hitrejšo obveščanje javnosti in pristojnih organov o potresih. Tudi končni izračuni bodo bistveno natančnejši. S tem bo Slovenija, ki že sedaj redno sodeluje z vsemi pomembnejšimi mednarodnimi seizmološkimi inštitucijami po kvaliteti in gostoti državne mreže v svetovnem vrhu.

Ob otvoritvi potresne opazovalnice na Črnem vrhu, ki je ena od petih opazovalnic postavljenih v okolico Ljubljane, se zahvaljujemo vsem, ki so kakorkoli pomagali pri gradnji.

Literatura

- Vidrih, R., 2004. Mreža potresnih opazovalnic okoli Ljubljane. *Okolje & prostor* 108, oktober 2004. Informativni bilten, Ministrstvo za okolje, prostor in energijo, Ljubljana.
- Vidrih, R., Godec, M., Gosar, A., Sinčič, P., Tasič, I., Živčič, M., 2004. Modernizacija državne mreže potresnih opazovalnic. *Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 2003-2004*. Založba ZRC, str. 203-211, Ljubljana.
- Vidrih, R., 2005. Mreža potresnih opazovalnic okoli Ljubljane. *Ujma* 19, Uprava RS za zaščito in reševanje, 211-214, Ljubljana.

MOČNEJŠI POTRESI PO SVETU LETA 2004 WORLD'S LARGEST EARTHQUAKE IN 2004

Tamara Jesenko, Renato Vidrih

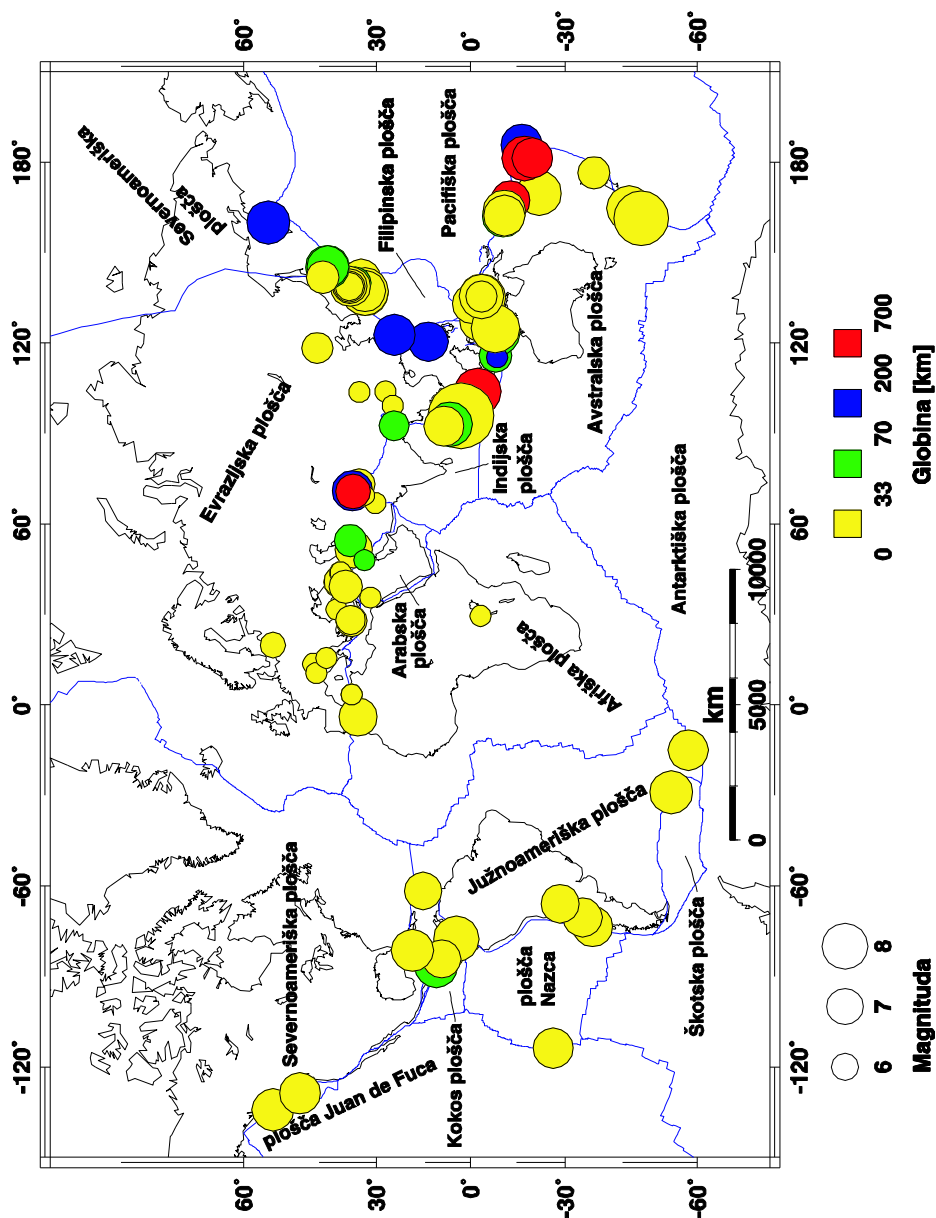
Izvleček. Vsako leto zatrese Zemljo več stotisoč potresov, ki presegajo magnitudo 2,0 (Dolgoff, 1998) in katerih žarišča so razporejena predvsem na stikih večjih geotektonskih plošč. Potresno najdejavnejši območji sta obtihoceanski in sredozemsko-himalajski pas, ki vključuje tudi naše kraje. Večina potresov 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 92 potresi, ki so v letu 2004 dosegli ali presegli magnitudo 6,5 oziroma povzročili večjo gmotno škodo ter zahtevali človeška življenja, smo natančneje opisali 49 potresov. V omenjenem letu je bilo veliko močnejših potresov v Turčiji in v bližini japonskega otoka Honšu. Leto pa je najbolj zaznamoval potres, ki se je zgodil 26. decembra ob zahodni obali severne Sumatre, Indonezija. Potres, pri katerem se je sprostil največ energije, imel je navorno magnitudo 9,0, je zahteval tudi največ človeških življenj. To je bil četrti najmočnejši potres po letu 1900. Ker je bil epicenter potresa pod morsko gladino, je generiral tsunamije, ki so pustošili po obalah južne Azije in vzhodne Afrike. Zaradi potresa in tsunamijev je umrlo najmanj 283 100 ljudi, kar predstavlja večino vseh žrtev zaradi potresov v letu 2004. Vendar pa številka še ni dokončna, saj je pogrešanih in domnevno mrtvih še vsaj 141 800. Končno število verjetno ne bo znano nikoli. Tudi najgloblji potres v letu 2004 je stresel Sumatro, tokrat južno, vendar ni zahteval človeških življenj ali povzročil večje gmotne škode. Zgodil se je 25. julija in je imel žarišče v globini 582 km ter navorno magnitudo 7,1. Potres z zelo globokim žariščem (566 km) se je zgodil tudi 15. julija v bližini otočja Fidži. Potresi v letu 2004 so zahtevali vsaj 284 012 žrtev.

Abstract. Every year the Earth is shaken by several hundred thousand earthquakes with magnitudes over 2.0 (Dolgoff, 1998), mostly originating at the geotectonic plate boundaries. Two well-defined seismic belts, the circum-Pacific and the Mediterranean-Himalayan belts, are subject to the most frequent earthquake shocks. The latter also includes the region of Slovenia. Most earthquakes are weak and do not cause any material damage and do not claim human lives. In addition to these, there are several earthquakes which result in extreme destruction and even death. There were 92 earthquakes in year 2004 that either reached a magnitude of 6.5 or more, caused minor or major material damage, or even claimed human lives. 49 of them are mentioned. In year 2004 there were many strong earthquakes in Turkey and near Honshu Island, Japan. The most devastating earthquake in 2004 happened on 26 Decembre near the west coast of northern Sumatra, Indonesia. It was also ranked first in terms of released energy, with a moment magnitudes of 9.0. That was the fourth largest earthquake in the world since 1900. The tsunami from this earthquake caused extreme destruction in South Asia and East Africa. The Earthquake and tsunami claimed at least 283 100 human lives, but this is not the final number. Mor than 14 100 are still listed as missing or presumed dead. It will never be known how many lives were taken. The deepest earthquake happened on 25 July in South Sumatra, Indonesia, with a hypcentre 582 km below the surface and a moment magnitudes of 7.1. Another very deep earthquake (566 km below the surface) happerned on 15 July near the Fiji Islands. In 2004, earthquakes claimed more than 284 012 human lives.

Potresi in tektonika plošč

Zemljina litosfera je sestavljena iz nekaj večjih in več manjših tektonskih plošč. Najpomembnejše plošče so Pacifiška (Tihooceanska), Severnoameriška in Južnoameriška, Evrazijska, Afriška, Avstralska in Antarktična. Za svetovno potresno dejavnost so pomembne tudi številne manjše plošče. Tektonske plošče so v stalnem, sicer počasnem gibanju. Med seboj se lahko premikajo (premične ali konvergentne meje), razmikajo

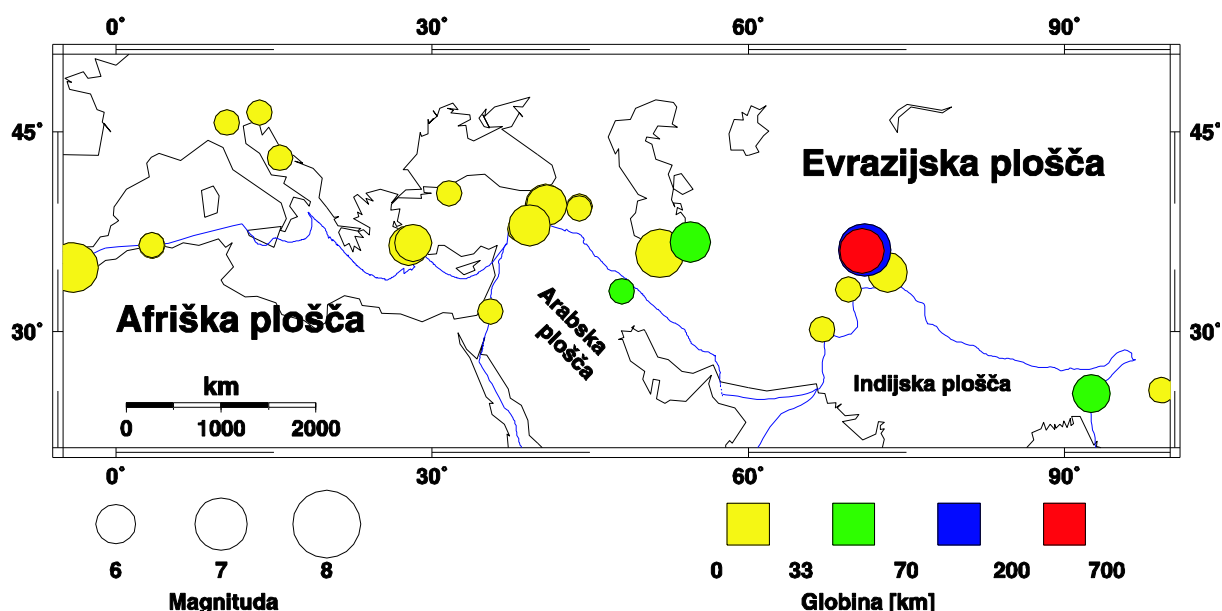
(razmične ali divergentne meje) ali drsijo druga ob drugi (strižne meje plošč). Severnoameriška in Južnoameriška plošča se oddaljujeta od Evrazijske in Afriške plošče. Loči ju razmična meja, ki se kaže v srednjeatlantskem grebenu, za katerega je značilna povečana potresna dejavnost. Na nasprotni strani pa Evrazijska plošča tišči v Severnoameriško in drsi prek Filipinske, pod katero se podriva Pacifiška plošča. Ta se podriva pod več manjših plošč, ki ležijo med Severnoameriško in Filipinsko ploščo. Tu je podpiranje najhitreje na Zemlji in znaša več kot 100 mm/leto. Na območju Kalifornije drsita Pacifiška in Severnoameriška plošča druga ob drugi (znana so številna potresna žarišča). Med Pacifiško in Južnoameriško ploščo je vrinjena plošča Nazca.



Slika 1. Porazdelitev najmočnejših potresov v letu 2004 na Zemlji, njihove globine in magnitudo; velikost krožcev kaže potresno magnitudo, barva pa žariščno globino (3). Narisane so tudi glavne tektonske plošče.

Figure 1. Distribution of the most powerful earthquakes in 2004, their depths and magnitudes. The size of the circle indicates the magnitude and the colour designates the focal depth (3). Main tectonic plates are also shown.

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 2004 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.



Slika 2. Porazdelitev najmočnejših potresov leta 2004 v sredozemsko-himalajskem potresnem pasu, ki je za obtihomorskim drugo najdejavnejše potresno območje na Zemlji.

Figure 2. Distribution of the most powerful earthquakes in 2004 in the Mediterranean-Himalayan belt, which is, after the circum-Pacific belt, subject to the most frequent earthquake shocks.

Pregled najmočnejših potresov

V preglednici 1 so podatki o najmočnejših potresih v letu 2004 (NEIC, 2004, ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 2004). 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. Svet je namreč razdeljen na 729 Flinn-Engdahlovih geometrijskih območij.

datum	čas (UTC)	koordinati		magnituda			globina	območje
	ura min sek	širina	dolžina	Mb	Ms	Mw	km	
date	time (UTC)	coordinates		magnitude			depth	area
	hour min sec	lat	lon	Mb	Ms	Mw	km	
1.1.	20:59:31,5	8,31 S	115,78 E	5,5	5,4	5,8	45	Bali, Indonezija*
3.1.	16:23:21,0	22,25 S	169,68 E	6,4	7,1	7,1	22	severovzhodno od otočja Loyalty
10.1.	18:38:14,8	36,85 N	3,42 E	4,5	4,4		10	severna Alžirija*
25.1.	11:43:11,8	16,83 S	174,19 W	6,4		6,7	130	otočje Tonga
28.1.	22:15:30,7	3,12 S	127,40 E	6,0	6,5	6,7	17	Seram, Indonezija
4.2.	11:59:47,6	8,35 N	82,88 W	5,6	5,9	6,1	29	meja Panama – Kostarika*
5.2.	21:05:02,8	3,61 S	135,54 E	6,1	7,1	7,0	17	Papua, Indonezija*
7.2.	02:42:35,1	4,00 S	135,02 E	6,2	7,5	7,3	10	blizu obale Papue, Indonezija
8.2.	08:58:51,8	3,66 S	135,34 E	5,7	6,9	6,7	26	Papua, Indonezija
11.2.	08:15:03,8	31,67 N	35,55 E	5,1	4,8		27	območje Mrtvega morja*
14.2.	10:30:22,1	34,77 N	73,21 E	5,4	5,2	5,5	11	Pakistan*
16.2.	14:44:39,9	0,47 S	100,66 E	5,2	4,5	5,1	56	južna Sumatra, Indonezija*
21.2.	02:34:42,7	58,43 S	14,96 W	6,0	6,5	6,6	10	vzhodno od otočja South Sandwich
22.2.	06:46:27,0	1,56 S	100,49 E	6,3	5,7	6,0	42	južna Sumatra, Indonezija
24.2.	02:14:34,0	3,39 S	29,56 E	4,7			10	Burundi*
24.2.	02:27:46,2	35,14 N	3,99 W	6,2	6,4	6,4	13	Gibraltarska ožina*
1.3.	23:55:19,0	38,06 N	38,28 E			3,8	5	vzhodna Turčija*
24.3.	01:53:49,4	45,38 N	118,26 E	5,6	5,2	5,5	19	Nei Mongol, Kitajska*
25.3.	19:30:49,0	39,93 N	40,81 E	5,0	5,4	5,6	10	vzhodna Turčija*
28.3.	03:51:10,0	39,85 N	40,87 E	5,3	5,4	5,6	5	vzhodna Turčija
3.4.	23:02:00,8	36,43 N	141,01 E	5,7	5,6	6,0	31	blizu obale Honšuja, Japonska
5.4.	21:24:04,0	36,51 N	71,03 E	6,4		6,6	187	Hindukuš, Afganistan*
9.4.	15:23:35,0	13,17 S	167,20 E	5,8		6,5	228	otočje Vanuatu

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	
13.4.	21:47:23,0	40,73 N	31,63 E	4,1			5	zahodna Turčija*
23.4.	01:50:30,2	9,36 S	122,84 E	6,5		6,7	66	Savujsko morje*
1.5.	07:56:13,6	24,10 N	121,59 E	5,2	5,1		44	Tajvan*
3.5.	04:36:50,1	37,67 S	73,42 W	5,9	6,5	6,6	21	blizu obale osrednjega Čila
8.5.	20:11:44,6	30,17 N	66,98 E	4,4			10	Pakistan*
28.5.	12:38:44,2	36,25 N	51,62 E	6,2	6,4	6,3	17	severni Iran*
29.5.	20:56:09,6	34,25 N	141,40 E	5,6	6,6	6,5	16	blizu obale Honšuja, Japonska
10.6.	15:19:57,7	55,68 N	160,00 E	6,1		6,9	189	Kamčatka
28.6.	09:49:47,0	54,80 N	134,25 W	5,9	6,8	6,8	20	otočje Queen Charlotte
1.7.	22:30:09,3	39,77 N	43,98 E	5,4	4,8		5	vzhodna Turčija*
12.7.	13:04:07,1	46,30 N	13,64 E	5,0	4,9		8	Slovenija*
15.7.	04:27:14,7	17,66 S	178,76 W	6,4		7,1	566	otočje Fidži
18.7.	04:22:22,6	38,00 S	176,51 E	5,1	5,1	5,6	5	Severni otok Nove Zelandije*
18.7.	08:31:45,8	33,42 N	69,52 E	5,1	4,8		10	osrednji Afganistan*
25.7.	14:35:19,0	2,42 S	103,98 E	6,8		7,3	582	južna Sumatra, Indonezija
28.7.	03:56:28,6	0,44 S	133,10 E	6,0	6,3	6,5	13	blizu obale Papue Nove Gvineje, Indonezija
30.7.	07:14:07,8	39,63 N	43,97 E	4,8	4,0		5	vzhodna Turčija
4.8.	03:01:07,5	36,83 N	27,81 E	5,1	5,2	5,5	10	Dodekaneški otoki Grčija*
10.8.	01:47:32,8	36,44 N	70,79 E	5,3		6,0	207	Hindukuš, Afganistan*
10.8.	10:26:14,7	27,27 N	103,87 E	5,1	5,1		6	Sičuan-Junan-Guizhou, Kitajska*
11.8.	15:48:26,8	38,38 N	39,26 E	5,3	5,5	5,7	7	vzhodna Turčija*
28.8.	13:41:27,9	34,93 S	70,38 W			6,5	1	Libertador O'Higgins, Čile
5.9.	10:07:07,8	33,07 N	136,62 E	6,7	7,0	7,2	14	blizu južne obale zahodnega Honšuja, Japonska*
5.9.	14:57:18,6	33,18 N	137,07 E	6,2	7,1	7,4	10	blizu južne obale Honšuja, Japonska
6.9.	12:42:59,3	55,37 S	28,98 W	6,0	6,5	6,9	10	otočje South Sandwich
6.9.	23:29:35,0	33,20 N	137,23 E	6,4	6,3	6,7	10	blizu južne obale Honšuja, Japonska
7.9.	11:53:06,1	28,57 S	65,84 W	6,1	6,1	6,4	22	Catamarca, Argentina*

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	
7.9.	12:15:49,7	34,68 N	103,78 E	5,2			10	Gansu, Kitajska*
15.9.	08:35:10,8	8,77 S	115,36 E	5,2			98	Bali, Indonezija*
21.9.	13:32:30,8	54,84 N	19,91 E	4,9		4,7	10	Poljska*
6.10.	14:40:39,9	35,95 N	139,92 E	5,5		5,8	64	blizu južne obale Honšuja, Japonska*
7.10.	21:46:20,3	37,13 N	54,48 E	5,6	5,4	5,6	35	severni Iran*
8.10.	08:27:53,5	10,95 S	162,16 E	6,1	6,9	6,8	36	Salomonovo otočje
8.10.	14:36:06,1	13,93 N	120,53 E	6,3		6,5	105	Mindoro, Filipini
9.10.	21:26:53,6	11,42 N	86,66 W	6,0	7,0	6,9	35	blizu obale Nikaragve
15.10.	04:08:50,2	24,53 N	122,69 E	6,4		6,7	94	Tajvan*
18.10.	22:11:44,9	25,07 N	99,17 E	4,8	4,4		30	Junan, Kitajska*
23.10.	08:56:00,8	37,23 N	138,78 E	6,4	6,3	6,6	16	blizu zahodne obale Honšuja, Japonska*
27.10.	01:40:50,2	37,28 N	138,89 E	5,7	5,4	6,0	14	blizu zahodne obale Honšuja, Japonska
2.11.	10:02:12,8	49,28 N	128,77 W	5,8	6,4	6,7	10	otok Vancouver, Kanada
3.11.	23:57:28,1	37,43 N	138,75 E	5,4	4,5	5,1	10	blizu zahodne obale Honšuja, Japonska
8.11.	02:15:58,8	37,40 N	138,86 E	5,6	5,0	5,5	10	blizu zahodne obale Honšuja, Japonska
9.11.	18:43:08,4	37,37 N	138,82 E	5,2	4,6	5,1	10	blizu zahodne obale Honšuja, Japonska
9.11.	23:58:23,6	11,15 S	163,71 E	6,6	6,7	6,9	13	Salomonovo otočje
11.11.	17:34:52,0	11,13 S	162,21 E	5,8	6,6	6,7	10	Salomonovo otočje
11.11.	21:26:41,1	8,15 S	124,87 E	6,5	7,3	7,5	10	Kepulauan Alor, Indonezija*
15.11.	09:06:56,5	4,69 N	77,51 W	6,6	7,1	7,2	15	blizu zahodne obale Kolumbije*
17.11.	21:09:13,1	20,07 S	178,71 W	5,9		6,6	623	otočje Fidži
20.11.	08:07:22,0	9,60 N	84,17 W	6,2	6,3	6,4	16	Kostarika*
21.11.	11:41:07,7	15,68 N	61,71 W	6,3	6,1	6,3	14	otočje Leeward*
22.11.	04:01:30,4	33,30 N	47,98 E	5,0	4,0		36	zahodni Iran*
22.11.	20:26:23,9	46,68 S	164,72 E	6,4	7,1	7,1	10	ob zahodni obali Južnega otoka, Nova Zelandija
24.11.	22:59:40,0	45,63 N	10,56 E	5,3	4,6		17	severna Italija*
25.11.	06:21:19,8	43,24 N	15,57 E	5,2	4,9		15	Jadransko morje, pri otoku Jabuka, Hrvaška

datum	čas (UTC)	koordinati		magnituda			globina	območje
	ura min sek	širina	dolžina	Mb	Ms	Mw	km	
date	time (UTC)	coordinates		magnitude			depth	area
	hour min sec	lat	lon	Mb	Ms	Mw	km	
26.11.	02:25:03,3	3,61 S	135,40 E	6,2	7,2	7,1	10	Papua, Indonezija*
28.11.	02:35:13,4	26,52 S	113,83 W	5,6	6,1	6,6	10	Velikonočni otoki
28.11.	18:32:14,1	43,01 N	145,12 E	6,4	6,7	7,0	39	Hokaido, Japonska*
1.12.	17:42:24,7	36,85 N	3,45 E	4,5			10	severna Alžirija*
1.12.	23:17:21,5	3,67 S	135,53 E	5,3	5,3	5,5	10	Papua, Indonezija
5.12.	08:30:59,3	36,87 N	3,42 E	4,5			10	severna Alžirija
6.12.	14:15:11,8	42,90 N	145,23 E	6,5	6,5	6,8	35	Hokaido, Japonska
9.12.	08:49:00,2	24,75 N	92,54 E	5,5	4,7	5,4	35	meja Indija – Bangladeš*
14.12.	05:56:10,0	44,12 N	141,79 E	5,8	5,3	5,8	10	Hokaido, Japonska*
14.12.	23:20:13,2	18,96 N	81,41 W	6,2	6,7	6,8	10	Kajmansko otočje
23.12.	23:02:12,4	37,04 N	28,21 E	5,2	4,7	5,3	5	zahodna Turčija*
23.12.	14:59:04,4	49,31 S	161,34 E	6,5	7,7	8,1	10	severno od otoka Marquarie
26.12.	00:58:53,4	3,29 N	95,98 E	7,0	8,8	9,0	30	ob zahodni obali severne Sumatre*
26.12.	04:21:26,8	6,91 N	92,96 E	6,1	7,5	7,1	39	Nikobari, Indija
26.12.	09:20:01,6	8,88 N	92,38 E	6,0	6,6	6,6	16	Nikobari, Indija

Preglednica 1. Seznam potresov v letu 2004, 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 označeni potresi, ki so opisani v besedilu.

Table 1. List of earthquakes in 2004 with magnitudes of 6.5 and over. Earthquakes with magnitudes below 6.5 that caused material damage, injuries or victims are included. The earthquakes described in the text are marked with asteriks.

Potres 1. januarja (Bali, Indonezija). Na otoku Lombok je potres zahteval vsaj eno žrtev. Ranjenih je bilo vsaj 22 oseb in poškodovanih okoli 2000 zgradb. Na otoku Bali se je ranilo 7 oseb, poškodovanih pa je bilo vsaj 4000 zgradb.

Potres 10. januarja (severna Alžirija). Na območju Alžir-Boumerdes je bilo v potresu ranjenih 300 oseb. Potres je povzročil dodatno škodo na zgradbah poškodovanih v potresu, ki se je na tem območju zgodil 21. maja 2003 ob 18:44 UTC (Mw = 6,8).

Potres 4. februarja (meja Panama - Kostarika). Štiri osebe so bile ranjene. V panamskem mestu Chirique so bile poškodovane tri hiše, en most pa se je zrušil.

Potres 5. februarja (Papua, Indonezija). Vsaj 37 oseb je v potresu izgubilo življenje, še vsaj 682 je bilo ranjenih. Porušenih ali poškodovanih je bilo 2678 zgradb in devet mostov.

Potres 11. februarja (območje Mrtvega morja). V zahodni Jordaniji so bile ranjene štiri osebe. V Ma'ānu se je sprožil zemeljski plaz. Manjše poškodbe so se pojavile tudi na zgradbah v Jeruzalemu, Petah-Tiqwi, Tel Avivu in Nablusu.

Potres 14. februarja (Pakistan). Potres je zahteval vsaj 24 življenj, od tega je bilo 14 posledica zemeljskih plazov. 40 oseb je bilo ranjenih. Na območju Balakot-Batgram-Mansehra je bilo porušenih več kot 1420 zgradb, še 5379 je bilo poškodovanih. Potresu je sledilo več popotresov. Najmočnejši se je zgodil 16. februarja ob 11:56 UTC ($M_w = 5,4$).

Potres 16. februarja (južna Sumatra, Indonezija). V potresu je izbruhlo življenje vsaj 5 oseb, 7 jih je bilo ranjenih. Na območju Padangpanjanga je bilo poškodovanih 100 zgradb. Južna Sumatra se je zatresla tudi 22. februarja ob 06:46 UTC ($M_w = 6,0$), ko je bila v Pesisir Selatanu ranjena ena oseba. Močno poškodovane so bile 4 hiše, več pa jih je bilo lažje poškodovanih.

Potres 24. februarja (Burundi). V Ruyagi so vsaj tri osebe izgubile življenje. Uničenih je bilo 24 hiš. Potres so močno čutili v Bujumburi. Čutili so ga tudi v Kongu, Ruandi in Tanzaniji.

Potres 24. februarja (Gibraltarska ožina). V Maroku, na območju Al-Hoceima-Imzourene-Beni Abdallah, je potres zahteval vsaj 628 življenj, 926 oseb je bilo ranjenih. Uničenih je bilo 2539 domov in več kot 15 000 oseb je ostalo brez strehe nad glavo. Sprožilo se je nekaj zemeljskih plazov. Potres so čutili vzdolž maroške obale do Melille, v južni Španiji in Gibraltaru. Potres se je zgodil v bližini vzhodnega konca gorovja Ar-Rif, na stičišču Afriške in Evrazijske tektonske plošče. Sledilo mu je nekaj popotresnih sunkov, od katerih najmočnejši so zgodili 25. februarja ob 12:44 UTC ($M_w = 5,3$), 26. februarja ob 12:07 UTC ($M_w = 5,0$) in 7. marca ob 06:37 UTC ($M_w = 5,1$). Popotresi so zahtevali vsaj še eno žrtev in povzročili dodatne poškodbe na zgradbah.

Potres 1. marca (vzhodna Turčija). V Celikhanu je vsaj 6 oseb izgubilo življenje, dve pa sta bili ranjeni.

Potres 24. marca (Nei Mongol, Kitajska). Na območju Bayan Ul Hot-Uliastai je bilo ranjenih vsaj 100 oseb. Poškodovanih je bilo 38 000 zgradb.

Potres 25. marca (vzhodna Turčija). V Erzurumu je potres zahteval vsaj 10 žrtev, 46 oseb je bilo ranjenih. 45 poslopij je bilo poškodovanih ali porušenih. Potres je vzhodno Turčijo stresel tudi 28. marca ob 03:51 UTC ($M_w = 5,6$). Takrat je bilo na območju Askale ranjenih vsaj 12 oseb. 50 poslopij in 10 vasi je bilo poškodovanih ali porušenih. Poginilo je tudi veliko glav živine.

Potres 5. aprila (Hindikuš, Afganistan). V Kabulu sta dve osebi izgubile življenje, eno žrtev pa je potres zahteval v Shahr-e Bozorgu. Vsaj pet oseb je bilo ranjenih v Pakistanu. Potres so čutili tudi v Indiji, Kašmirju, Tadžikistanu in Uzbekistanu.

Potres 13. aprila (zahodna Turčija). Potres je povzročil med ljudmi kar nekaj panike. Na območju Bolu-ja se je nekaj oseb ranilo, ko so se s skokom skozi okno hoteli rešiti iz zgradb.

Potres 23. aprila (Savujsko morje). Potres je povzročil nekaj škode v Kupangu, Timor. Potres so čutili tudi v Darwinu, Kununurri in Wyndhamu, Avstralija.

Potres 1. maja (Tajvan). V pokrajini Hua-lien sta zaradi plazov, ki jih je sprožil potres, umrli vsaj dve osebi, ena pa je bila ranjena. V parku Taroko Gorge se je porušil en most.

Potres 8. maja (Pakistan). Na območju Quetta je ena oseba izgubila življenje, 30 jih je bilo ranjenih. Poškodovanih je bilo nekaj zgradb.

Potres 28. maja (severni Iran). V potresu je življenje izgubilo vsaj 35 oseb, 400 jih je bilo ranjenih. Na območju Mazandabada in Qazvina je bilo poškodovanih veliko zgradb. Manjše poškodbe so zabeležili tudi v Teheranu.

Potres 1. julija (vzhodna Turčija). V okolici Dogubayazita je potres zahteval 18 življenj, vsaj 21 ljudi je bilo ranjenih. To območje je potres stresel tudi 30. julija ob 07:14 UTC ($M_b = 4,8$), ko je na območju Dogubayazita v potresu umrla vsaj še ena oseba, 5 je bilo ranjenih. Uničenih je tudi bilo nekaj hiš.

Potres 12. julija (Slovenija). V potresu je zaradi plazov ena oseba izgubila življenje. Vsaj še 5 oseb je bilo ranjenih. Potres so čutili tudi v severovzhodni Italiji vse do Benetk, v Avstriji do Dunaja na severovzhodu in Hrvaški do Zagreba na jugovzhodu.

Potres 18. julija (Severni otok Nove Zelandije). Na območju Rotorua-Tauranga je ena oseba izgubila življenje, dve pa sta bili ranjeni. Pri jezeru Roto Ma je bilo vsaj pet hiš močnejše poškodovanih. Zemeljski plaz je zasul cesto med jezeroma Rotoiti in Roto Ma.

Potres 18. julija (osrednji Afganistan). V provinci Paktika sta dve osebi v potresu izgubile življenje, 40 je bilo ranjenih. Uničenih je bilo več sto hiš.

Potres 4. avgusta (Dodekaneški otoki, Grčija). V turškem mestu Bodrum je bilo ranjenih vsaj petnajst oseb. Potres so čutili tudi na otokih Kos in Rodos.

Potres 10. avgusta (Hindukuš, Afganistan). Vsaj dve osebi sta bili ranjeni v Mansehri, Pakistan. Potres so čutili v Afganistanu in Pakistanu ter ponekod v Tadžikistanu, Indiji, Turkmenistanu in Uzbekistanu.

Potres 10. avgusta (Sičuan – Junan – Guizhou, Kitajska). V pokrajini Ludian so vsaj 4 osebe v potresu izgubile življenje, skoraj 200 je bilo težje ranjenih, še 400 pa lažje ranjenih. Več kot 120 000 oseb je ostalo brez strehe nad glavo. 18 556 hiš je bilo uničenih in 65 601 poškodovanih.

Potres 11. avgusta (vzhodna Turčija). Na območju Elazig-Sirvice je ena oseba izgubila življenje, enajst jih je bilo ranjenih. Nekaj hiš je bilo poškodovanih.

Potres 5. septembra (blizu južne obale Honšuja, Japonska). Na območju Kjota so bile vsaj štiri osebe ranjene. Pri Wakayami se je pojavil lokalni tsunami z višino valov okoli 51 cm. Istega dne ob 14:57 UTC se je v bližini Honšuja streslo še močnejše ($M_w = 7,4$). Vsaj 40 oseb je bilo na območju Kjota ranjenih. Pojavila sta se tsunamija z višino valov 86 cm v Kashimotu in 56 cm v Owasi.

Potres 7. septembra (Catamarca, Argentina). V Catamarci je vsaj ena oseba izgubila življenje, nekaj jih je bilo ranjenih. Poškodovanih je bilo nekaj zgradb. Potres so čutili v Argentini vse do Buenos Airesa in nekaterih delih Čila.

Potres 7. septembra (Gansu, Kitajska). V provinci Gansu je bilo vsaj 9 oseb ranjenih, uničenih 600 zgradb in več kot 3000 poškodovanih zgradb.

Potres 15. septembra (Bali, Indonezija). V Denpasarju je potres zahteval vsaj eno žrtev, dve osebi sta bili ranjeni. Potres so čutili tudi v Matramu na otoku Lobok in v Banyuwangi na Javi.

Potres 21. septembra (Poljska). V Kaliningradu, Rusija, so bile vsaj tri osebe ranjene, poškodovanih je bilo 17 hiš. Poškodovana je bila železniška proga pri Svetogorsku, Rusija. Nekaj manjše škode je bilo tudi v Suwalki, Poljska. Potres so čutili v Belorusiji, Estoniji, Latviji, Litvi in severni Poljski, pa tudi v Kobenhavnu, Danska, Oslu na Norveškem, Helsinkih, Finska, in južni Švedski.

Potres 6. oktobra (blizu južne obale Honšuja, Japonska). Ena oseba je bila ranjena. V mestu Temma sta bili poškodovani dve hiši. Potres so čutili v mestih Chiba, Gumma, Ibaraki, Kanagawa, nagano, Shizuoka in širšem območju Tokija.

Potres 7. oktobra (severni Iran). V Golestanu je bilo ranjenih vsaj 60 oseb. Potres so čutili vse do Teherana na zahodu.

Potres 15. oktobra (Tajvan). Na območju T'ao-yuana je bilo ranjenih nekaj oseb in poškodovanih nekaj zgradb. Potres so čutili tudi na japonskem otočju Ryukyu.

Potres 18. oktobra (Junan, Kitajska). 12 oseb je bilo ranjenih. Na območju Baoshana je bilo poškodovanih ali uničenih več kot 20 000 zgradb.

Potres 23. oktobra (blizu zahodne obale Honšuja, Japonska). Vsaj 39 oseb je izgubilo življenje, 3183 jih je bilo ranjenih. Na območju Niigate je bilo poškodovanih ali uničenih okoli 6000 zgradb. Iztiril je hitri vlak. Poškodovanih je bilo nekaj cest, mostov in železniških prog. Sprožilo se je vsaj 1300 plazov in izbruhnilo 11 požarov. Ponekod so bile prekinjene tudi vodne, električne in plinske povezave. Isto območje je prizadelo še nekaj močnih potresov. Najmočnejša sta se zgodila 27. oktobra ob 01:40 UTC ($M_w = 6,0$) in 8. novembra ob 23:57 UTC ($M_w = 5,5$). V prvem je bilo v okolici Niigate ranjenih vsaj 5 oseb, zrušila se je ena hiša, nekaj pa je bilo poškodovanih, v drugem pa je bilo ranjenih še vsaj osem oseb. Potres je sprožil tudi zemeljski plaz.

Potres 11. novembra (Kepulauan Alor, Indonezija). Potres je zahteval vsaj 28 življenj, 400 oseb je bilo ranjenih. Na otoku Alor je bilo uničenih 781 in poškodovanih 16 712 zgradb. Zemeljski plazovi so prekinili nekaj cestnih povezav.

Potres 15. novembra (blizu zahodne obale Kolumbije). V Bajo Baudu je bilo šest oseb ranjenih, dve od teh huje, uničenih je bilo vsaj 154 in poškodovanih 290 zgradb. V Buenaventuri je bilo ranjenih vsaj sedem oseb, porušenih ali poškodovanih je bilo vsaj 67 hiš. Ena oseba je bila ranjena v Cerritu, poškodbe na zgradbah pa so zabeležili tudi v mestih El Cairo, Jamundi, Restrepo in Cali.

Potres 20. novembra (Kostarika). Na območju San Jose-ja je potres zahteval osem življenj. Poškodovanih ali uničenih je bilo 526 zgradb, veliko cest in mostov. Sprožilo se je tudi nekaj plazov. Poškodbe so se pojavile tudi na vodnih (v Parriti) in električnih (v Queposu) povezavah.

Potres 21. novembra (otočje Leeward). V Trois-Rivieres (Guadeloupe), je ena oseba izgubila življenje, vsaj dve osebi sta bili ranjeni. Poškodovanih ali uničenih je bilo nekaj hiš. 10 lažje ranjenih je bilo tudi na otoku Les Saintes. Nekaj hiš je bilo poškodovanih tudi v severnem delu Dominike. Potres so čutili tudi na Antigvi in Barbudi, Sv. Krištofu in Nevisu, ter na jugu vse do Sv. Lucije.

Potres 22. novembra (zahodni Iran). Zaradi plazov, ki so se sprožili ob cesti med Khorrambadom in Pol-e Dokhtarjem, je bilo ranjenih nekaj oseb in poškodovanih nekaj vozil.

Potres 24. novembra (severna Italija). Na območju Brescie je bilo ranjenih vsaj 9 oseb. Poškodovanih je bilo mnogo zgradb. Potres so čutili tudi v Sloveniji.

Potres 26. novembra (Papua, Indonezija). Na območju mesta Nabire je življenje izgubilo vsaj 32 oseb, 130 jih je bilo ranjenih. Uničenih je bilo 328 zgradb, poškodovano je bilo tudi letališče in pristanišče. Isto območje je stresel močan potres tudi 1. decembra ob 23:17 UTC ($M_w = 5,5$) v katerem je ena oseba izgubila življenje.

Potres 28. novembra (Hokaido, Japonska). Vsaj 24 oseb je bilo ranjenih. Na območju Bekkai-Kushiro- Nemuro so bile poškodovane ceste, železniške proge ter električne in plinske povezave. Pri mestu Nemuro se je pojavil tsunami z maksimalno višino valov 10 cm. V potresu 6. decembra ob 14:15 UTC ($M_w = 6,8$) so bile na območju Kushira štiri osebe ranjene, motena pa je bila tudi oskrba z elektriko.

Potres 1. decembra (severna Alžirija). Na območju Boumerdesa je bilo ranjenih vsaj 15 oseb. Na zgradbah so se pojavile manjše poškodbe, motena je bila oskrba z elektriko.

Še en potres je severno Alžirijo stresel 5. decembra ob 08:30 UTC ($M_b=4,7$). Na območju Zemmora je bilo takrat ranjenih vsaj 46 oseb.

Potres 9. decembra (meja Indija - Bangladeš). V Hailakandi je bilo ranjenih nekaj študentov. Manjše poškodbe so zabeležili tudi v mestu Cachar, Indija.

Potres 14. decembra (Hokaido, Japonska). V Obiru sta bili ranjeni dve, v Haboru pa ena oseba. V mestu Tomamae je bilo poškodovanih nekaj zgradb, cest in vodovodnih napeljav.

Potres 23. decembra (zahodna Turčija). Tri osebe so bile ranjene. Poškodovanih je bilo nekaj zgradb. Zemeljski plazovi so prekinili cesto pri Marmarisu.

Potres 26. decembra (ob zahodni obali severne Sumatre). To je bil četrti najmočnejši potres na svetu po letu 1900 in najmočnejši po potresu na Aljaski leta 1964. Zaradi potresa in cunamija je v Indoneziji (provinci Aceh in Sumatera Utara) umrlo vsaj 108 100 ljudi, pogrešajo pa jih še vsaj 127 000. Vzdolž obale zahodne Sumatre je pustošil tsunami z maksimalno višino valov nad 30 m. Cunamiji, ponekod z maksimalno višino nad 10 m, so zahtevali na Šrilanki več kot 30 900, v Indiji več kot 10 700, na Tajskem vsaj 53 000, na Maldivih vsaj 82, v Maleziji vsaj 68, v Mjanmarju vsaj 90, v Somaliji vsaj 150, v Tanzaniji vsaj 10, na Sejšelih vsaj 3, v Keniji vsaj 1 in v Bangladešu vsaj 2 življenji. Skupaj je pogrešanih ali domnevno mrtvih še vsaj 141 800 oseb. Dokončno število žrtev verjetno ne bo znano nikoli. V predelih južne Azije in vzhodne Afrike je bilo potrebno preseliti vsaj 1 126 900 ljudi. Cunamiji so se pojavili tudi na obalah Madagaskarja, Mozambika, Južne Afrike, Avstralije, Nove Zelandije in Antarktike, pa tudi vzdolž zahodne obale Severne in Južne Amerike.

Literatura

- ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 2004. Preliminarni seizmološki bilten, 2004. Agencija Republike Slovenije za Okolje, Urad za seizmologijo, Ljubljana.
- Dolgoff, A., 1998. Physical Geology. Updated version. Houghton Mifflin co. Boston-New York, str. 638.
- NEIC, 2004. Significant Earthquakes of the World. US Department of the Interior. Geological Survey, National Earthquake Information Center.

POTRES 26. DECEMBRA 2004 V INDONEZIJI - NASTANEK, CUNAMIJI IN POSLEDICE

THE 26 DECEMBRE 2004 EARTHQUAKE IN INDONESIA - ORIGIN, TSUNAMIES AND EFFECTS

Renato Vidrih

Izvleček. Potres 26. decembra 2004 je nastal v seizmogenem območju, ki obkroža Tih ocean in ga imenujemo ognjeni obroč. Njegova magnituda 8,8 (Ms) ga uvršča med najmočnejše potrese zadnjih desetletij. V globinah pod morskim dnom se je aktivirala prelomna cona v dolžini okoli 1000 km. Naopični premik morskega dna je povzročil nastanek cunamija, katerega razsežnosti in posledice so bile katastrofalne. Najmanj 300 000 žrtev bo verjetno predramilo odgovorne, da bodo izgradili alarmni sistem, predvsem pa vzgajali prebivalce o posledicah naravnih nesreč, ki so v teh območjih vsakdanji pojav.

Abstract. The earthquake of 24 December 2004 originated in the seismic region that surrounds the Pacific Ocean and is called the Ring of Fire. Its magnitude of 8.8 (Ms) ranks it among the most powerful earthquakes of recent decades. Deep below the ocean floor it activated a fracture zone around 1000 km in length. The vertical shift of the sea floor caused the occurrence of a tsunami, the extent and effects of which were catastrophic. It will have taken at least 300 000 casualties to persuade those responsible to construct an alarm system, and above all educate the population about the effects of natural disasters that are everyday phenomena in those regions.

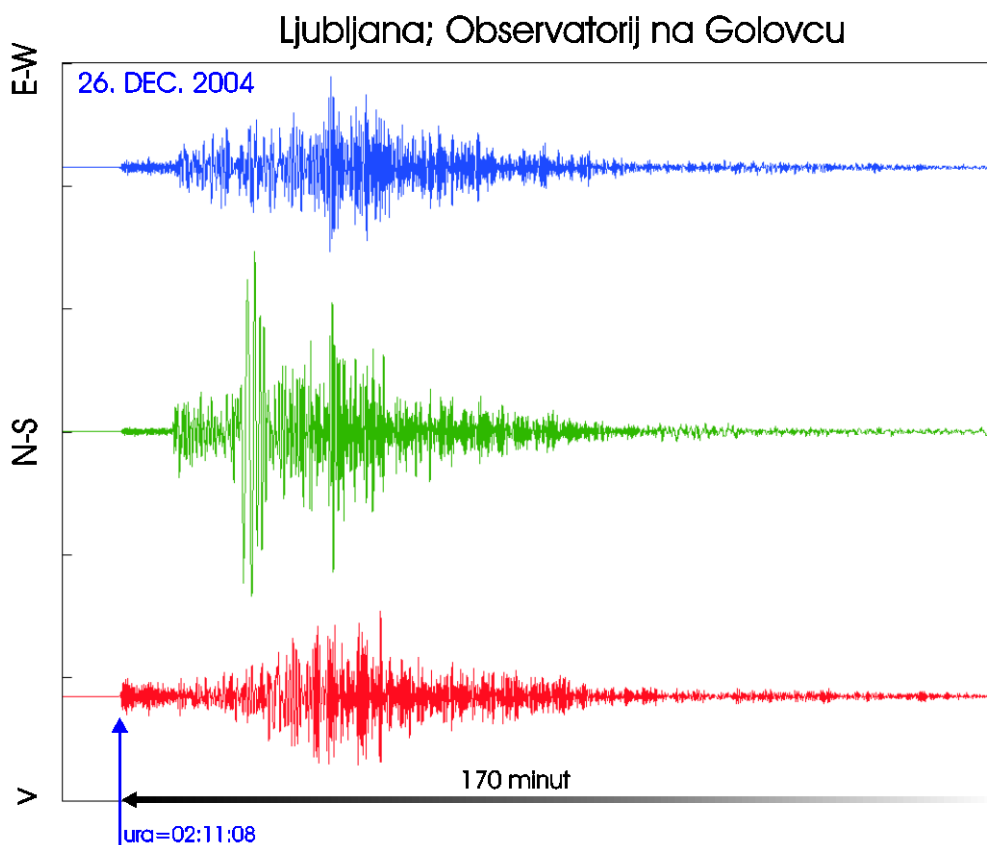
Uvod

Potres je nastal ob 0. uri, 58 minut in 50,7 sekund (6:58 po lokalnem času) v globinah pod oceanskim dnom na območju Javanskega globokomorskega jarka. Preliminarno ocenjena globina žarišča je okoli 10 km, kar je tudi eden glavnih razlogov za tako obsežne posledice. Koordinati epicentra sta 3,50 sev. zem. širine in 95,72 vzh. zem. dolžine (otočje Pulau Simeulue). Do observatorija na Golovcu, ene izmed opazovalnic državne mreže potresnih opazovalnic v Ljubljani, so potresni valovi potovali 12 minut 18 sekund (738 s). Oddaljenost observatorija od žarišča potresa je 81,6 stopinj, kar je približno 9000 km. Enostaven izračun nam pokaže, da so valovi potovali s povprečno hitrostjo 12,2 km/s (to je približno 12200 m/s ali 43900 km/h). Na seizmogramu je prikazanih prvih 170 minut zapisa potresa, kar pomeni, da so potresni valovi večkrat obkrožili planet.

Največje naravne katastrofe v preteklosti

Če pogledamo zgodovino naravnih katastrof na našem planetu od 11. do 19. stol. (preglednica 1) vidimo, da so potresi zahtevali največ žrtev. Tudi pregled katastrof 20. stol. (preglednica 2) potrjuje, da so potresi najbolj uničujoča naravna katastrofa. V preglednici so naštetje samo največje katastrofe, sicer pa je v 20. stol. zaradi potresne dejavnosti umrlo okoli 1,6 milijona ljudi, kar pomeni v povprečju 16 000 žrtev letno. V zadnjih 50-tih letih so prevladovali razni viharji (hurikani, tajfuni, cikloni...) z 38% deležem vseh naravnih katastrof, sledijo potresi z 29%, poplave s 27%, ostalim nesrečam pa pripada 6% od skupnega števila vseh dogodkov. Drugače je s številom žrtev, saj so kar 47% žrtev zahtevali potresi, 45% razni vremenski pojavi, 7% poplave, 1% pa pripada ostalim naravnim nesrečam. Potresi

so povzročili tudi največ gmotne škode – 35%, sledijo poplave s 30%, razne vremenske nesreče z 28%, ostalim naravnim nesrečam pa pripada 7% (slika 2).



Slika 1. Zapis potresa 26. decembra 2004 na opazovalnici državnega omrežja potresnih opazovalnic, na Observatoriju na Golovcu v Ljubljani. Potresni valovi so 9000-km razdaljo od žarišča potresa do seizmografov na Observatoriju prepotovali v 12 minutah in 18 sekundah. Seizmogram prikazuje prvih 170 min zapisa potresa.

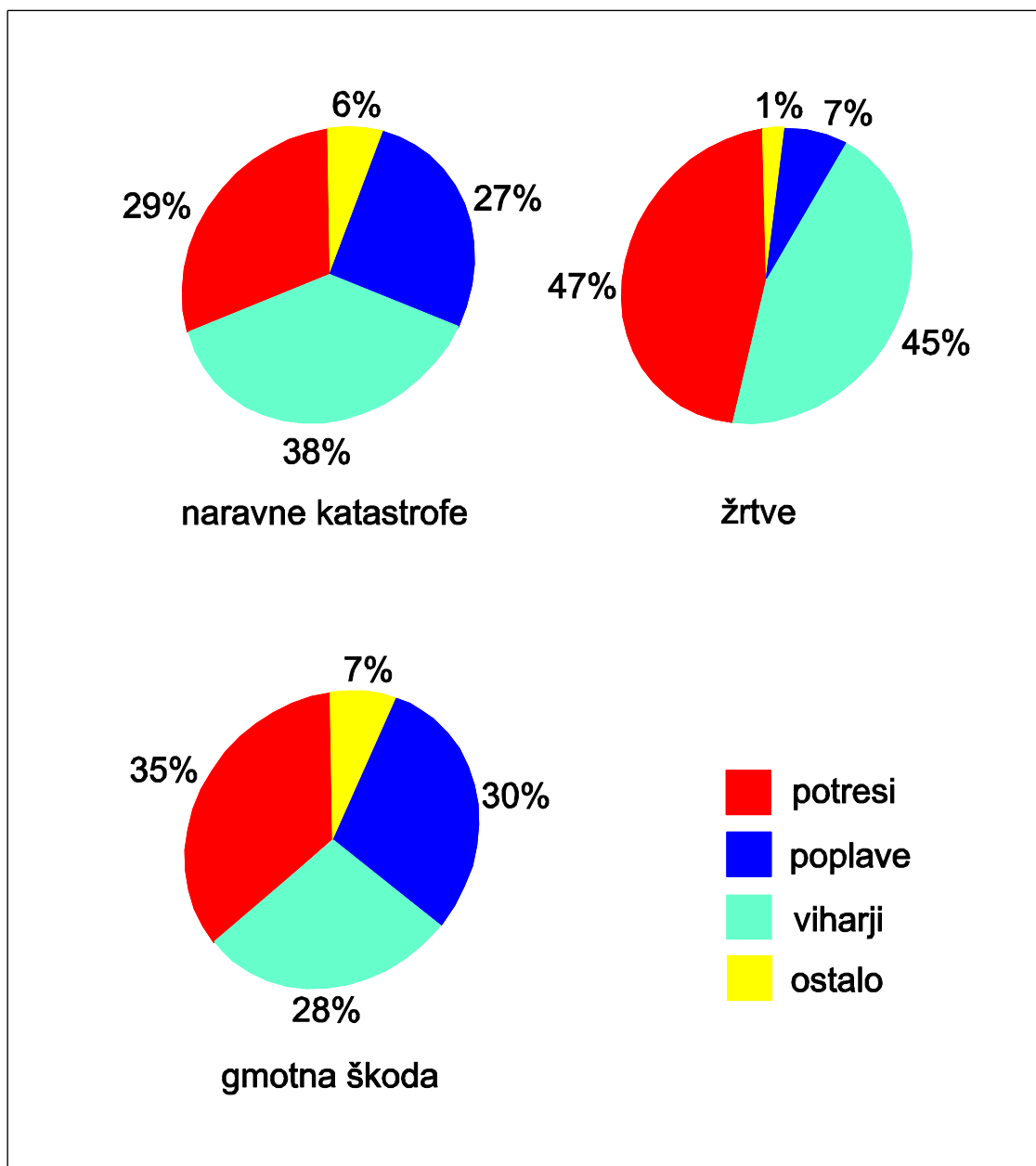
Figure 1. Seismogram of the earthquake on 26 December 2004 at the station of the national seismic network, the Observatory on Golovec in Ljubljana. The seismic waves travelled the 9000 km from the focus of the earthquake to the seismograph at the Observatory in 12 minutes and 18 seconds. The seismogram shows the first 170 minutes of the earthquake.

Zanimiva je primerjava števila žrtev in gmotne škode ob naravnih katastrofah. Vidimo, da je v nerazvitih državah veliko število žrtev, gmotna škoda pa ne dosega vrtoglavih števil. Drugače je z nesrečami v razvitem svetu. Pri potresih je število žrtev relativno majhno, nastane pa ogromna gmotna škoda. Pri potresno odporni gradnji ne pomeni, da ob zelo močnih potresih objekti niso poškodovani, bistveno je ohranjanje življenj. Kljub težkim poškodbam se objekti ne porušijo in tako prebivalci večinoma ostanejo živi, seveda pa je gmotna škoda velika.

datum	kraj, država	dogodek	število žrtev
21. avgust 1042	Palmyra, Sirija	potres	50 000
20. maj 1202	Izrael, Sirija, Libanon, Jordanija,	potres	30 000
1268	Cilicia, Turčija	potres	60 000
januar 1281	IJsseimeer, Nizozemska	vihar na morju	80 000
december 1287	Severno morje, Nemčija	vihar na morju	50 000
27. september 1290	Shangtou, Kitajska	potres	100 000
17. september 1303	Linfen, Kitajska	potres	200 000
januar 1362	Severno morje, Nemčija	vihar na morju	100 000
november 1421	IJsseimeer, Nizozemska	vihar na morju	100 000
20. september 1498	Tokai, Japonska	potres	41 000
26. januar 1531	Lizbona, Portugalska	potres	30 000
23. januar 1556	Shaanxi, Kitajska	potres	830 000
25. oktober 1622	Anxiang, Kitajska	potres	150 000
14. januar 1668	Shemakha, Azerbajdžan	potres	10 000
25. julij 1668	Shandong, Kitajska	potres	50 000
11. januar 1693	Catania, Italija	potres	60 000
26. april 1721	Tabriz, Iran	potres	40 000
30. november 1731	Beijiing, Kitajska	potres	100 000
7. oktober 1737	Calcutta, Indija	ciklon	300 000
3. januar 1739	Ningxia, Yinchuan, Kitajska	potres	50 000
1. november 1755	Lizbona, Portugalska	potres	30 000
8. januar 1780	Tabriz, Iran	potres	50 000
oktober 1780	Zah. Indija: Barbados, Guadeloupe, Martinique	hurikan	24 000
4. maj do 15. julij 1815	Indonezija	izbruh vulkana Tambora	56 000
junij 1822	Bakarganj, Bangladeš	ciklon	50 000
12. september 1850	Sichuan, Kitajska	potres	300 000
1852	Henan, Kitajska	poplava	100 000
5. oktober 1864	Calcutta, Indija	ciklon	50 000
oktober 1876	Bakarganj, Bangladeš	ciklon	215 000
8. oktober 1881	Haiphong, Vietnam	tajfun	300 000
junij 1882	Mumbai, Indija	ciklon	100 000
20. maj do 28. avgust 1883	Java, Sumatra, Indonezija	izbruh vulkana Krakatoa, tsunami	36 400
1887	Henan, Kitajska	poplava	900 000

Preglednica 1. Največje naravne katastrofe od 11. do 19. stol. (vir 1999 REF/Geo, Munich, Re).

Table 1. The biggest world catastrophes from 11th to 19th century (source 1999 REF/Geo, Munich, Re).



Slika 2. Največje naravne katastrofe na Zemlji v obdobju 1950 do danes. Vidimo, da je največ žrtev in največja gmotna škoda posledica potresov.

Figure 2. The largest natural catastrophes since 1950. It can be seen that most victims and damage are caused by earthquakes.

datum	kraj, država	dogodek	žrtve	gmotna škoda (us\$ m)
8. september 1900	Galveston, Teksas, ZDA	hurikan	6 000	30
18. april 1906	San Francisco, ZDA	potres	3 000	524
28. december 1908	Messina, Italija	potres	85 926	116
13. januar 1915	Avezzano, Italija	potres	32 610	25
16. december 1920	Gansu, Kitajska	potres	235 000	25
1. september 1923	Tokio, Yokohama, Japonska	potres	142 800	2 800
julij do avgust 1931	Yangtzekiang, Kitajska	poplava	140 000	
30. maj 1935	Quetta, Pakistan	potres	35 000	25

10 do 22. september 1938	Nova Anglija, ZDA	hurikan	600	300
25. januar 1939	Concepcion, Čile	potres	28 000	100
26. december 1939	Erzincan, Turčija	potres	32 740	20
16. oktober 1942	Bangladeš, Indija	ciklon	61 000	
februar 1953	Nizozemska, Vel. Britanija	vihar na morju	1 932	3 000
avgust 1954	Dongting, Kitajska	poplava	40 000	
26./27. september 1959	Honshu, Japonska	tajfun Vera	5 100	600
29. februar 1960	Agadir, Maroko	potres	12 000	120
7. do 12. september 1965	Florida, ZDA	hurikan Betsy	75	1 420
12. november 1970	Chittagong, Khulna, Bangladeš	ciklon, viharo morje	300 000	63
31. maj 1970	Chimbote, Peru	potres, plazovi	67 000	550
2. do 4. januar 1976	centralna in zahodna Evropa	leden veter	82	1 300
4. februar 1976	Guatemala City, Guatemala	potres	22 084	1 100
27./28. julij 1976	Tangshan, Kitajska	potres	290 000	5 600
19. september 1985	Mexico City, Mehika	potres	10 000	4 000
13./14. november 1985	Armero, Kolumbija	izbruh vulkana Mt. Nevado del Ruiz, lahar	24 740	230
9. do 17. september 1988	Karibi, Centralna Amerika, ZDA	hurikan Gilbert	355	3 000
7. december 1988	Spitak, Armenija	potres	25 000	14 000
17. oktober 1989	San Francisco (Loma Prieta), ZDA	potres	68	6 000
25. januar do 1. marec 1990	zahodna Evropa	zimske nevihte	230	14 800
29./30. april 1991	Bangladeš	ciklon Gorky, nevihtno morje	139 000	3 000
26. do 28. september 1991	Hokaido, Kiušu, Japonska	tajfun Mireille	62	6 000
23. do 27. avgust 1992	Florida, ZDA	hurikan Andrew	62	30 000
30. september 1993	Khillari, Maharashtra, Indija	potres	9 475	280
17. januar 1994	Los Angeles (Northridge), ZDA	potres	61	44 000
17. januar 1995	Kobe (veliki Hanshin), Japonska	potres	6 348	>100 000
od maja do septembra 1998	Songhua, Yangtzekiang, Kitajska	poplave	3 650	30 000
25. oktober do 8. november 1998	Honduras, Nikaragva	hurikan Mitch	9 200	5 500
17. avgust 1999	Koaceli, Izmit, Turčija	potres	>17 000	>13 000
20. september 1999	Taichung, Taivan	potres	2 400	>11 000

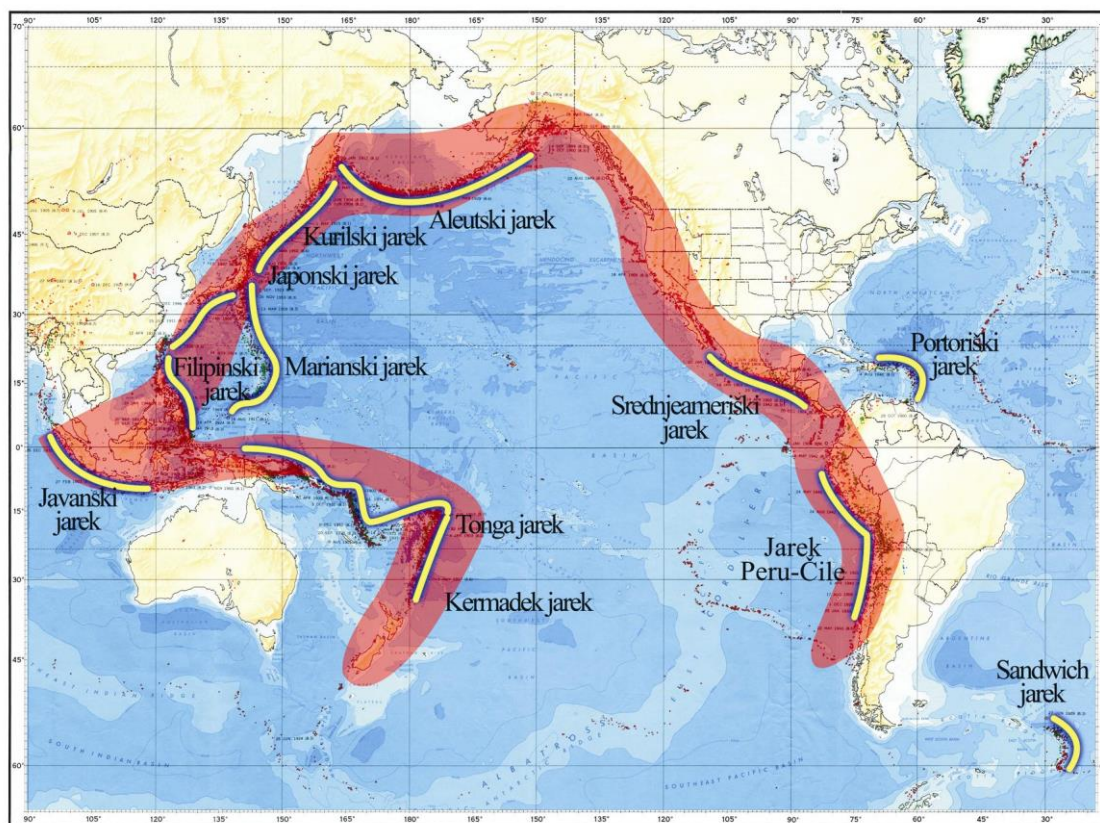
Preglednica 2. Največje naravne nesreče v 20. stol. (vir 1999 REF/Geo, Munich, Re).

Table 2. The biggest world catastrophes in 20th century (source 1999 REF/Geo, Munich, Re).

Nastanek in osnovne značilnosti potresa

Žarišče potresa 26. decembra 2004 je nastalo v vulkansko potresnem pasu, ki obkroža Tihi ocean in ga imenujemo »ognjeni obroč«. Potres je nastal ob zahodni obali severnega dela indonezijskega otoka Sumatre med Indo-avstralsko in Evrazijsko litosfersko ploščo. Indonezijsko otočje uvrščamo v Tihomorski (Pacifiški) potresni pas, ki je po sproščeni potresni energiji daleč na prvem mestu v svetovni seizmičnosti. Tu se sprosti prek 70% celotne potresne energije. V preteklosti in tudi v prihodnosti so bili in bodo tu nastajali močni

potresi. Potresi so posledica podrivanja Indo-avstralske litosferske plošče pod Evrazijsko ploščo. Proces podrivanja poteka še danes in je izražen z javanskim globokomorskim jarkom. Obe plošči imata na stiku celinsko litosfero. Oceanska litosfera Indo-avstralske plošče je tu nastala že pred nekaj milijoni let, obe plošči sta trčili druga ob drugo. Zaradi močnih tektonskih napetosti se to ozemlje počasi dviguje.



Slika 3. Ognjeni obroč, kakor imenujemo potresno vulkanski pas, ki obkroža Tih ocean. Tu se sprosti več kot 70% celotne potresne energije. Rumene linije označujejo globokomorske jarke, kjer se plošče podrivajo druga pod drugo in kjer nastajajo številni močni potresi.

Figure 3. The Ring of Fire, as the volcanic zone that surrounds the Pacific Ocean is called. More than 70 % total seismic energy is released here. The yellow lines mark the oceanic trenches where the tectonic plates are pushing into and being subducted under each other, and where numerous powerful earthquakes occur.

Podrobnejše lahko natanek potresa pripišemo manjšim tektonskim ploščam, ki gradijo to ozemlje. Tektonika tega območja je posledica medsebojnega delovanja Avstralske, Javanske in Evrazijske plošče v kombinaciji z Indijsko in Burmansko ploščo. Indijska in Avstralska plošča se gibljeta proti severovzhodu s približno hitrostjo okoli 6 cm/leto proti Burmanski plošči. Ta dogajanja se odražajo v Javanskem tektonskem jarku. Ponekod nastajajo transformni prelomi in cone razširjanja, ki ločujejo Burmansko ploščo od Javanske plošče. Žarišče potresa je nastalo na stičišču med Indijsko in Burmansko ploščo, vzrok pa je bila sprostitvev napetosti, ki sta jih imeli Indijska plošča zaradi podrivanja, Burmanska pa zaradi nadržavanja nanjo. Indijska plošča se spušča v Zemljin plašč na območju Javanskega tektonskega jarka, ki leži zahodno od žarišča potresa.

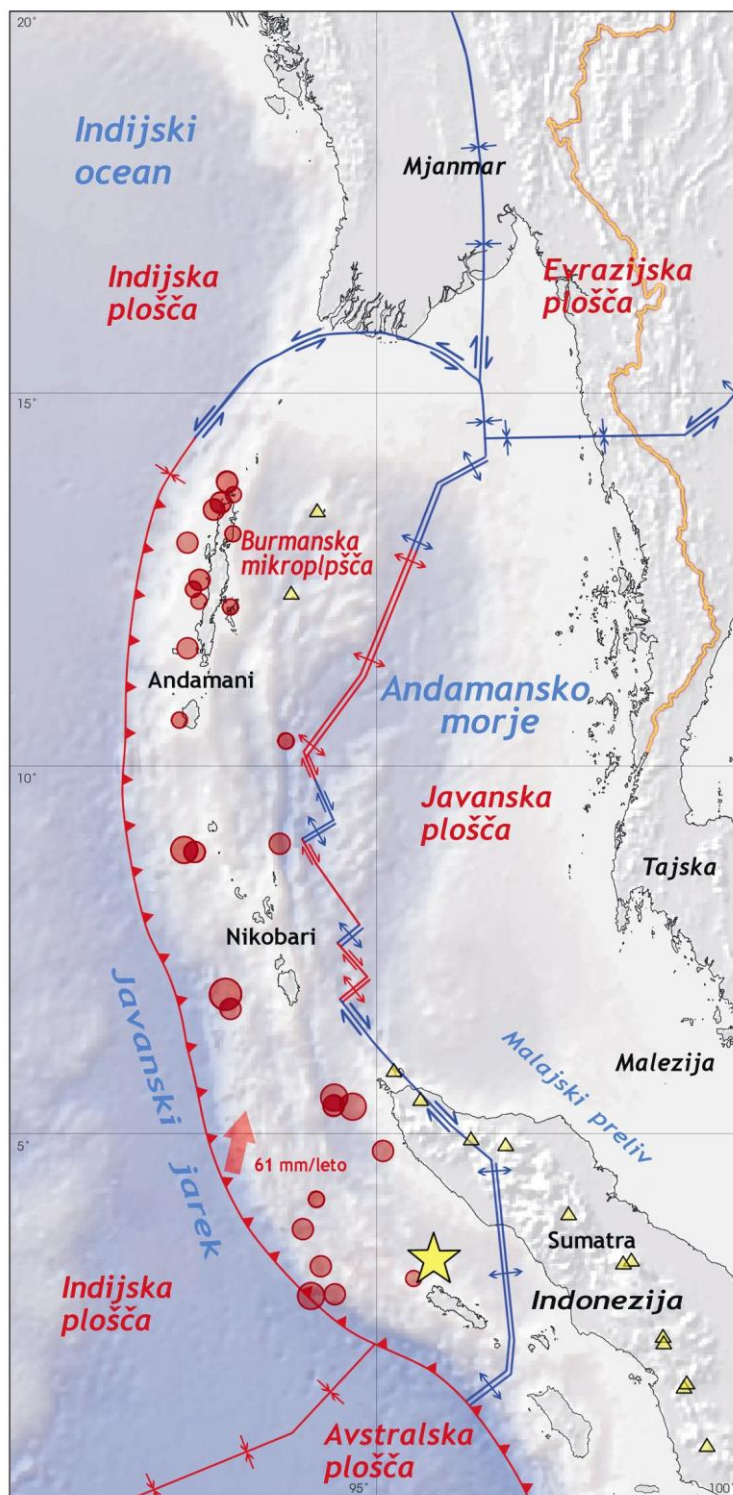


Slika 4. Lega javanskega globokomorskega jarka med Indo-avstralsko in Evrazijsko ploščo. Z zvezdo je označen epicenter potresa 26. decembra 2004 ob zahodni obali severne Sumatre.

Figure 4. The position of the Java oceanic trench between the Indo-Australian and Euroasian tectonic plates. The epicentre of the earthquake on 26 December 2004 by the western coast of northern Sumatra is marked with a star.

Preliminarne lokacije močnejših popotresnih sunkov z magnitudo večjo od 4,5 kažejo, da se je aktivirala meja med ploščama v dolžini 1300 km in širini 200 km. Popotresi so razporejeni vzdolž stičišča plošč in se raztezajo severno od žarišča proti Nikobarskim in Andamanskim otokom. Potres je povzročil nastanek velikega cunamija, ki je zajel več držav v južni in jugovzhodni Aziji in celo Afriki: Indonezijo, Malezijo, Tajska, Myanmar, Šri Lanko, Indijo, Maldive, Bangladeš, Somalijo in Tanzanijo. Cunami je zajel celotni Tih ocean in dosegel obale Južne in Severne Amerike. Opazili so ga tudi na otočju Kokos, v Keniji in na otočjih Mauricius, Reunion in Sejšeli. Potresni sunek so čutili prebivalci Indonezije, Bangladeša, Indije, Malezije, Maldivov, Myanmarja, Singapurja, Šri Lanke in Tajske.

Prve analize potresnega sunka so pokazale, da je žarišče nastalo ob coni podrivanja v smeri severoseverozahod – jugojugovzhod s horizontalnimi pritiski v smeri severoseverovzhod-jugojugozahod. Mehanizem žarišča nastanka kaže, da je šlo za tri dogodke v globinah med 5 in 20 km s skupnim trajanjem 210 sekund. Skupni seizmični moment je bil $7,25 \times 10^{21}$ Nm ($M_w=8,5$), največji zdrs ob prelomu pa 9 m. V prvih 45 sekundah se je pretrg širil proti severozahodu v dolžini okoli 200 km, sledila sta še dva pretrga in sicer drugi 85 sekund, tretji pa 135 sekund za prvim pretrgom. Pretrg se je širil 400 km proti severozahodu in okoli 350 km proti jugovzhodu. Prelomna hitrost je bila 3,0 km/s v času približno 240 sekund.



Slika 5. Tektonska zgradba potresnega območja. Indo-avstralska plošča je razdeljena na Indijsko in Avstralsko, prav tako pa tudi Evrazijsko tvori več manjših plošč. Žarišče je nastalo na stičišču indijske plošče, ki se podriva pod burmansko na območju javanskega tektonskega jarka.

Figure 5. Tectonic construction of the earthquake region. The Indo-Australian plate is divided into the Indian and Australian and, similarly, the Eurasian plate consists of a number of smaller plates. The focus occurred at the point at which the Indian plate is subducted under the Burma plate in the area of the Java tectonic trench.

Legenda

Potresi magnitude:	Meje tektonskih plošč	oceanske:
glavni potres	kontinentalne:	
★ 9,0	✳ konvergentna (primična) meja	✳ konvergentna (primična) meja
popotresi	⊕ divergentna (razmična) meja	⊕ divergentna (razmična) meja
● 7,0-7,4	⇐ levi transformni (zmični) prelom	⇐ desni transformni (zmični) prelom
● 6,5-6,9	⇒ desni transformni (zmični) prelom	→ subdukcija (podrivanje)
● 6,0-6,4		△ vulkani
● 5,5-5,9		vir (USGS)

leto	7,0-7,9	8,0 ali več
1970	20	0
1971	19	1
1972	15	0
1973	13	0
1974	14	0
1975	14	1
1976	15	2
1977	11	2
1978	16	1
1979	13	0
1980	13	1
1981	13	0
1982	10	1
1983	14	0
1984	8	0
1985	13	1
1986	5	1
1987	11	0
1988	8	0
1989	6	1
1990	12	0
1991	11	0
1992	23	0
1993	15	1
1994	13	2
1995	22	3
1996	21	1
1997	20	0
1998	16	0
1999	20	0
2000	12	1
2001	15	1
2002	13	0
2003	14	1
2004	14	1

Preglednica 3. Seznam velikih (magnituda med 7,0 in 7,9) in zelo velikih (magnituda 8,0 ali več) v obdobju 1970 – 2004.

Table 3. List of large (magnitude between 7.0 and 7.9) and very large (magnitude 8.0 or more) earthquakes in the period 1970 -2004 (USGS, 2004).

Moč potresa

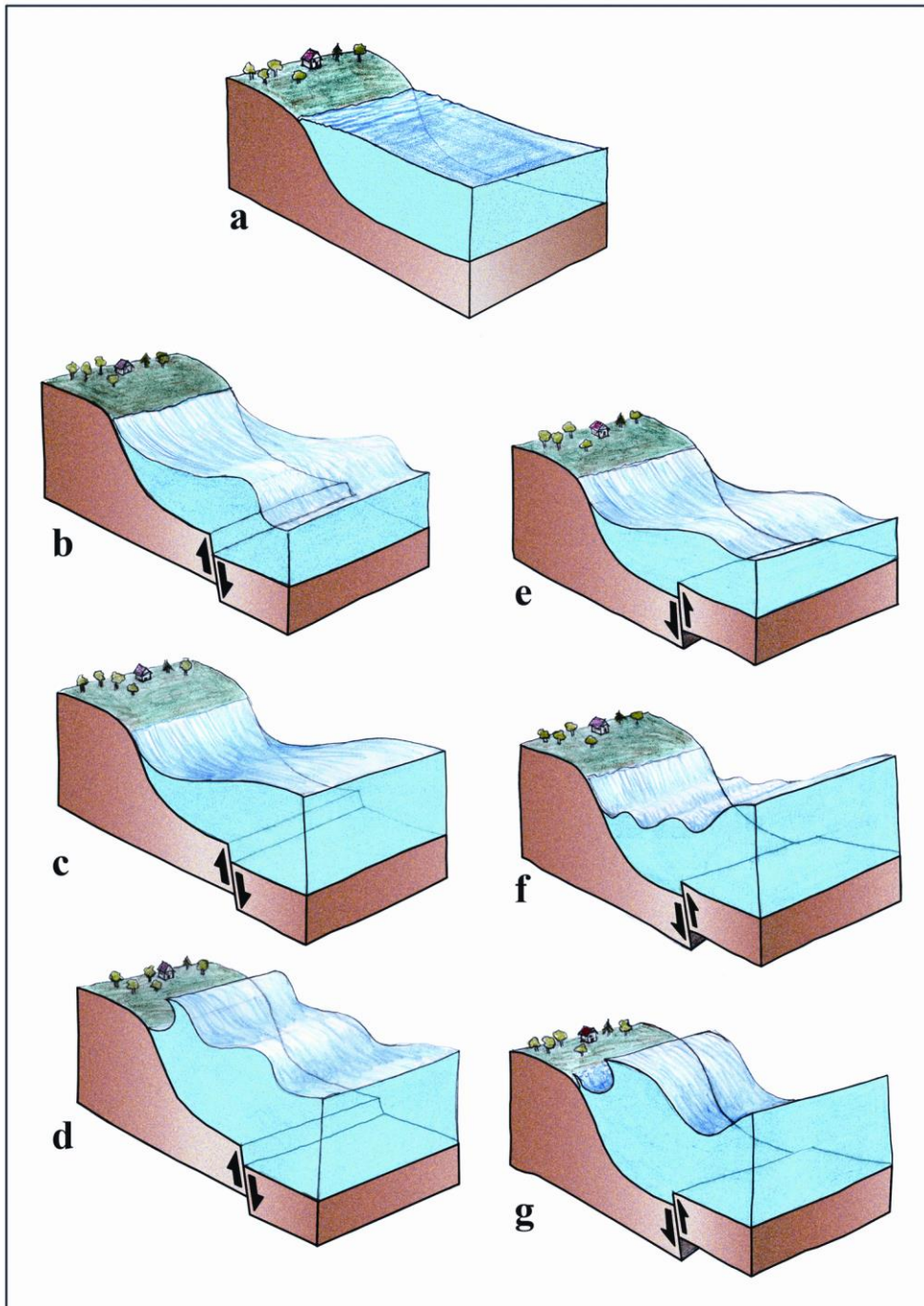
Potresna nevarnost tega območja je zelo velika, saj so seizmologi potrese podobne moči predvideli. Preliminarni izračun magnitude je 8,9, kar uvršča potres po sproščeni energiji med najmočnejše v novejši potresni zgodovini (od leta 1900 dalje). Tako po moči kot po načinu nastanka (cone podrivanja) ga lahko primerjamo le s potresi 22. maja 1960 v Čilu (magnituda 9,5, najmočnejši izmerjen potres v zgodovini, med 4000 in 5000 žrtvami, cunami je povzročil gmotno škodo na Japonskem, Havajih, Filipinih in v ZDA, aktivirala se je cona v dolžini 1600 km), potresom 28. marca 1964 na Aljaski - Prince William Sound (magnituda 9,2, 115 mrtvih, zaradi utekočinjanja tal so nastale v tleh 15 m globoke in 10 m široke razpoke, v prelomni coni so nastali 6-metrski navpični in vodoravni premiki, cunami pa je dosegel višino do 8 m), potresom 9. marca 1957 na Aljaski - otočje Andreanof (magnituda 9,1, brez žrtev, cunami do 15 m, premiki tal do 5 m) in potresom 4. novembra 1952 na Kamčatki (magnituda 9,0, cunamiji do 13 m visoki).

Ti podatki zgovorno pričajo, da je bilo prejšnje stoletje zaradi najmočnejših potresov »srečno«, saj so glede na sedanji indonezijski potres kljub večji moči povzročili manjšo gmotno škodo, predvsem pa niso zahtevali toliko življenj. V preglednici 3 je število velikih in zelo velikih potresov, ki nastajajo vsako leto na našem planetu. Težko si predstavljamo, da bi žarišča teh potresov nastajala na naseljenih območjih, saj bi to pomenilo vsako leto nekaj deset tisoč žrtev, tako pa je povprečno število žrtev ob potresih v 20. stol. približno 16 000 letno.

Cunamiji

Zadnja katastrofa je pokazala, da na morju ne poznamo le valov, ki so posledica delovanja vetra in plimovanja, ampak jih lahko povzročijo tudi potresi. Valovi, ki nastanejo zaradi vetra, nagubajo morsko površino in ustvarijo razmeroma kratke, ponavljajoče se valove, katerih učinki so omejeni le na vrhnjo plast vode.

Nastanek cunamijev pa je vezan na potres, vulkanski izbruh, velik plaz ali padec meteorita. V splošnem cunamiji, ki niso vezani na potres, redko dosežejo oddaljeno obalo. Največkrat nastanejo v Tihem oceanu. Beseda cunami izhaja iz japonščine, kjer so ti pojavi zelo pogosti in dobesedno pomeni "pristaniški val" (cu pomeni pristanišče, nami pa val). S tem lepo opiše, da gre za val, ki je nevaren le v bližini obale. Do nastanka cunamijev pride le redko, saj je za to potrebnih več pogojev. V povprečju nastaneta dva močnejša letno, cel Tihi ocean pa vzvalovi v povprečju enkrat na deset let. Znan je primer cunamija iz leta 1896, ko japonski ribiči, ki so lovili na odprtem morju pred japonsko obalo, cunamija sploh niso zaznali, ko pa so se vrnili, obalnih mest in vasi ni bilo več. Takrat je cunami zahteval 27 000 življenj. Skoraj neverjetna je tudi zgodba ameriške vojne ladje Wateree iz leta 1868 na območju današnjega severnega Čila. Cunami je ladjo vrgel tri kilometre daleč v notranjost, kjer je na pesku pristala praktično nepoškodovana. Kot zanimivost naj navedem primer največjega cunamija, ki je nastal kot posledica velikega zemeljskega plazua, katerega je sprožil potres. Nastal je 9. julija 1958 v zalivu Lituya na Aljaski.



Slika 6. Prikaz nastanka cunamija: a...normalna gladina morja; skice b, c in d kažejo dogajanja pri normalnem prelomu, kjer se eno krilo pogrezne; skice e, f in g pa dogajanja ob reverznem prelomu, kjer se eno krilo dvigne. b...voda se preliva prek preloma in odteka od obale, c...voda se kopiči nad spuščnim delom preloma, d...voda v obliki cunamija zalije kopno, e...voda se nabira nad narivom in odteka od obale, f...voda se kopiči nad dvignjenim delom preloma, g...voda zalije kopnino.

Figure 6. Presentation of the emergence of a tsunami: a...normal sea surface; sketches b, c and d show events with a normal fracture, where one wing is sinking, e, f in g show events with a reverse fault, where one wing is uplifted. b...water flows through the fracture and away from the shore, c...water accumulates above the released part of the fracture, d...water in the form of a tsunami floods the land, e...water collects above the overthrust and flows away from the shore, f... water accumulates above the raised part of the fracture, g... water pours landwards.

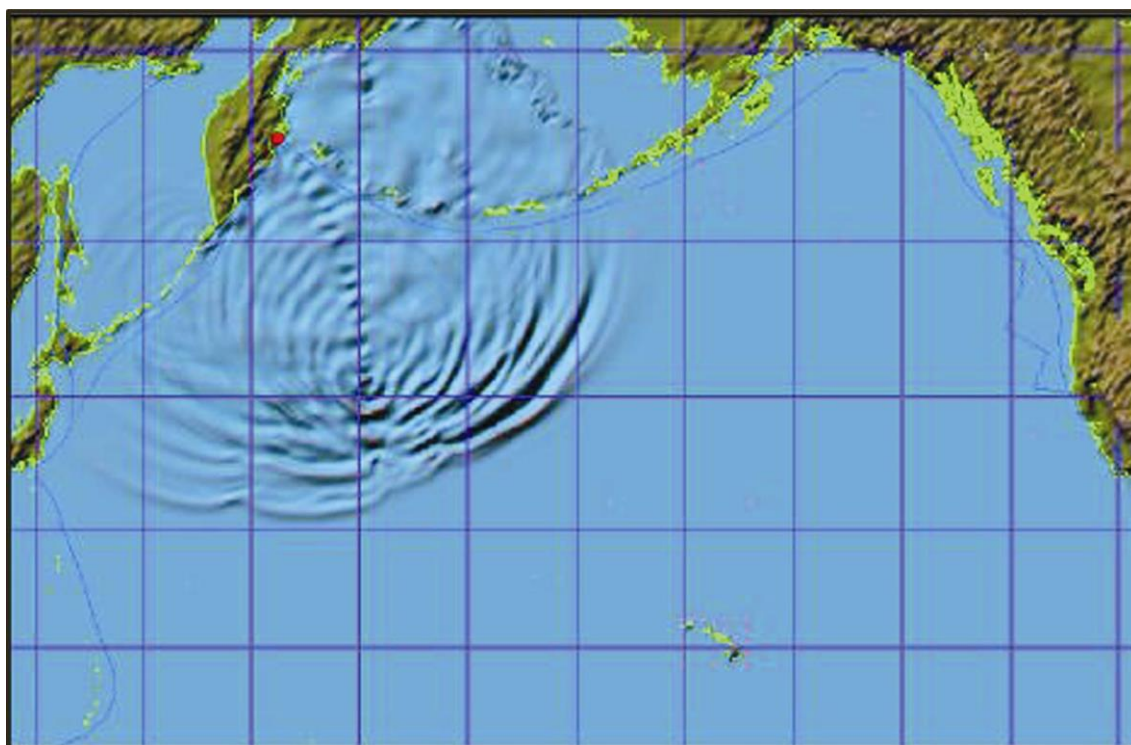
Povzročil je dvig gladine vode za 525 m, na srečo pa se je po uničenju gozdnatih površin razlil v zalivu Aljaske. Največ cunamijev nastane zaradi potresov. Najhujši pa so tisti, pri katerih se je ob potresu morsko dno pretrgalo ob prelomu in sta se dva bloka kamnine, ki ju prelom loči, med seboj navpično premaknila. Takšen je bil tudi tokratni primer, ko se je zahodno od Sumatre morsko dno na območju Javanskega jarka pretrgalo v dolžini okoli 1000 km in je po prvih podatkih nastala do devet metrov visoka stopnica. Cunami pa nastane tudi, če je žarišče potresa globlje in morsko dno zaradi potresnih valov le silovito zaniha.

Nenaden dvig oceanskega dna povzroči, da se dvigne tudi obsežen steber vode v oceanu nad tem območjem. Ker voda ni stisljiva, se na površini poruši težnostno ravnovesje, ki ga sicer zavzema gladina oceana. Morje okoli dvignjenega dela seveda poizkuša vzpostaviti ravnovesno stanje, zaradi česar se od točke na gladini, ki je navpično nad žariščem potresa, pričnejo širiti valovi na vse strani. Valovi imajo precej drugačno obliko kot valovi, ki jih povzroča veter. Imajo majhno valovno dolžino, ki doseže največ od 100 do 200 m, medtem ko imajo valovi cunamija v globokem oceanu valovno dolžino med 200 in 300 km. Podobno je perioda valov, ki jih povzroča veter, med 5 in 20 sekundami, perioda valov cunamija pa med 10 minutami in eno uro. Višina valov (amplituda) močnega cunamija je na odprtem oceanu le od enega do dveh metrov, zato ga pri tako veliki valovni dolžini ladje tam sploh ne zaznajo. Amplituda vala je tako majhna v primerjavi z njegovo valovno dolžino in globino morskega dna, da se njen vpliv na valovanje lahko zanemari. Kljub temu pa se ti valovi širijo s hitrostjo med 500 in 900 km/h, torej s hitrostjo, ki je podobna hitrosti potniških letal. Njihova hitrost je sorazmerna z globino oceana, torej je večja, če je ocean globlji. Npr. v Pacifiku, kjer je povprečna globina vode okoli 4000 m, potujejo cunamiji z hitrostjo nad 700 km/h. Razvoj cunamija obsega tri faze: nastanek zaradi porušenega ravnotežja vode, faza širjenja po oceanu in preplavljanje kopnega. Kako visok val se bo razvil v bližini obale je odvisno od številnih faktorjev. Najpomembnejši je seveda oblika morskega dna. Nepravilnosti na morskem dnu, predvsem v plitvi vodi, vplivajo na spremembo smeri širjenja valov. Valovna fronta teži k temu, da se poravna z obliko obale. V plitvini se valovi upočasnijo, npr. v 10 metrov globoki vodi je hitrost 36 km/h, valovna dolžina pa je 10 km. Ker energija valovanja ostaja tako rekoč konstantna, se zaradi zmanjšanja hitrosti poveča amplituda, razdalje med vrhovi valov se zmanjšajo, poveča pa se tudi gostota energije. Globoka voda blizu obale ovira nastanek visokega vala, nasprotno pa počasno manjšanje globine povečuje val. Če ima zaliv obliko črke V, se bo energija nakopičila v zelo visokem valu, koralni greben pred obalo pa bo del energije izničil. Na razvoj vala vplivajo tudi prelivni, ožine in plitvine.

Kako daleč v notranjost obale bo segalo uničenje, pa je odvisno od njene strmine. Ker so obale Bengalskega zaliva večinoma položne, je tokratni cunami prodril daleč v notranjost. Iz zgodovine pa so pri cunamijih višine 30 in več metrov znani primeri, ko je voda prodrla do 5 km daleč v notranjost.

Ko pa se cunami približuje obali, kjer postaja morje plitvejše, se zaradi trenja z morskim dnom hitrost upočasnjuje. Hitrost valovanja se lahko zmanjša do desetkrat na 70 km/h, valovna dolžina pa na 20 do 40 km. Ker je obenem prostora med dnom in gladino morja vedno manj

in zato prostornina vode, ki je udeležena pri valovanju vedno manjša, se močno poveča njihova višina, ki lahko doseže od 10 do 30 m, kar na obali seveda povzroči katastrofalno uničenje. Zelo pogosto doseže obalo najprej dno vala, kar priče opisujejo, da je morje kar naenkrat odteklo in sicer tako hitro, da ostanejo na dnu celo ribe. Šele potem pa udari deset in več metrov visok vrh vala. Če se na kopnem moč potresnih valov z oddaljenostjo relativno hitro zmanjšuje in je v večini primerov prizadeto omejeno območje, pa je izguba energije pri cunamiju zaradi krožnega razširjanja na vse strani in dušenja bistveno manjša, zaradi česar lahko povzroči cunami uničenje tudi zelo daleč od kraja njegovega nastanka. Izgubljanje energije je obratno sorazmerno z valovno dolžino, zato cunamiji z svojimi izjemnimi valovnimi dolžinami zelo počasi izgubljajo energijo.



Slika 7. Prikaz potovanja cunamija, ki ga je sprožil potres na Kamčatki.

Figure 7. Presentation of the journey of the tsunami triggered by the earthquake in Kamchatka.

globina (m)	hitrost (km/h)	valovna dolžina (km)
7000	943	282
4000	713	213
2000	504	151
200	159	48
50	79	23
10	36	10,6

Preglednica 4. Hitrost in valovna dolžina cunamijev v različnih globinah morja.

Table 4. Speed and wavelength of tsunamis at various depths.

Po preplavitvi kopnega začne val izgubljeni energiji zaradi trenja in vrtnčenja. Če je obala položna in napredovanja valov ne ovira strm relief, lahko valovi prodrejo globoko v notranjost. V primeru zadnjega cunamija so na več mestih intenzivnejše napredovanje cunamijev zaustavili koralni grebeni. Kljub bojazni, da so bili uničeni, danes biologi ugotavljajo, da so še največ poškodb povzročili umikajoči valovi, ki so ob vrnitvi s seboj pobrali pesek in rastlinje z obale ter jih odlagali na koralnih grebenih.

datum	mesto nastanka	učinki	žrtve
7. junij 1692	Portoriko, Karibi	poplavljen Port Royal, Jamajka	2000
1. november 1755	Atlantski ocean 6-metrski valovi	opustošenja ob obalah Portugalske, Lizbona, manj obale Španije in Maroka	60 000
20. februar 1835	jarek Peru – Čile	mesto Concepcion v Čileu uničeno	ni znano
8. avgust 1868	jarek Peru – Čile	uničenih več mest	10 000 – 15 000
27. avgust 1883	vulkan Krakatau 40-metrski valovi	opustošenje vzhodne Indije, Indonezijsko otočje	36 000
15. junij 1896	Japonski jarek 30,5-metrski val	vzhodna obala Japonske, Jošihimama	27 122
28. december 1908	Sicilija	vzhodna obala Sicilije z Messino	58 000
3. marec 1933	Japonski jarek	na otoku Honšu (Sanriko) uničenih 9000 hiš in 8000 ladij	3000
1. april 1946	Aleutski jarek	Škoda na Aljaski in Havajih	159
22. maj 1960	južni centralni Čile 11-metrski val	škoda v Čilu in na Havajih	1500
27. marec 1964	Anchorage, Aljaska	velika škoda na južnih obalah Aljaske	115
23. avgust 1976	morje Celebes	opustošenje jugozahodnih predelov Filipinov	8000
12. december 1992	Flores, Indonezija 26-metrski val	opustošenja ob obalah Indonezije	1000
2. september 1992	Nikaragva, 10-metrski val	Nikaragva	170
12. julij 1993	Japonski jarek 31-metrski val	opustošenje otoka Okuširi	330
2. junij 1994	Java, 14-metrski val	opustošena vzhodna Java	238
17. februar 1996	Irian, 7,7-metrski val	Irian, Jaya	161
17. julij 1998	Papua, Nova Gvineja, Bismarkovo morje, 15- metrski val	opustošena nekatera mesta v papui, Novi Gvineji	2200
26. december 2004	Javanski jarek, Indonezija	opustošeni predeli Tajske, Šri Lanke, Indonezije, Indije, Malezije...	najmanj 300 000

Preglednica 5. Pregled zanimivejših cunamijev, ki so povzročili največ gmotne škode in zahtevali številne žrtve. Prvič je bil cunami opisan že v 4. stol.

Table 5. Review of more interesting tsunamies that caused the most material damage and number of casualties. A tsunami was first describes in the 4th century.

Opozarjanje pred cunami

Napovedovanje in opozarjanje lahko rešuje življenja in zmanjša gmotno škodo samo v primeru, če je pravočasno in če so ljudje ozaveščeni. Če za potrese na splošno velja, da jih ne moremo napovedovati in da zato ne moremo reševati človeških življenj s pravočasno evakuacijo prebivalcev, pa so cunami edini potresni pojav, kjer je za to običajno nekaj ur časa. Cunami, ki nastane na primer na območju Havajev, bo dosegel Japonsko v sedmih do osmih urah, zahodno obalo ZDA v petih do šestih urah, obale Južne Amerike v 12- do 16-tih urah, Avstralije v 10-tih urah itd (slika 8). Najmočnejši potres v zgodovini z magnitudo 9,5, ki se je zgodil leta 1960 pod morjem pri Čilu, je povzročil cunami, ki je potreboval 21 ur, da je dosegel Japonsko, vendar je kljub temu tam zahteval 150 življenj.

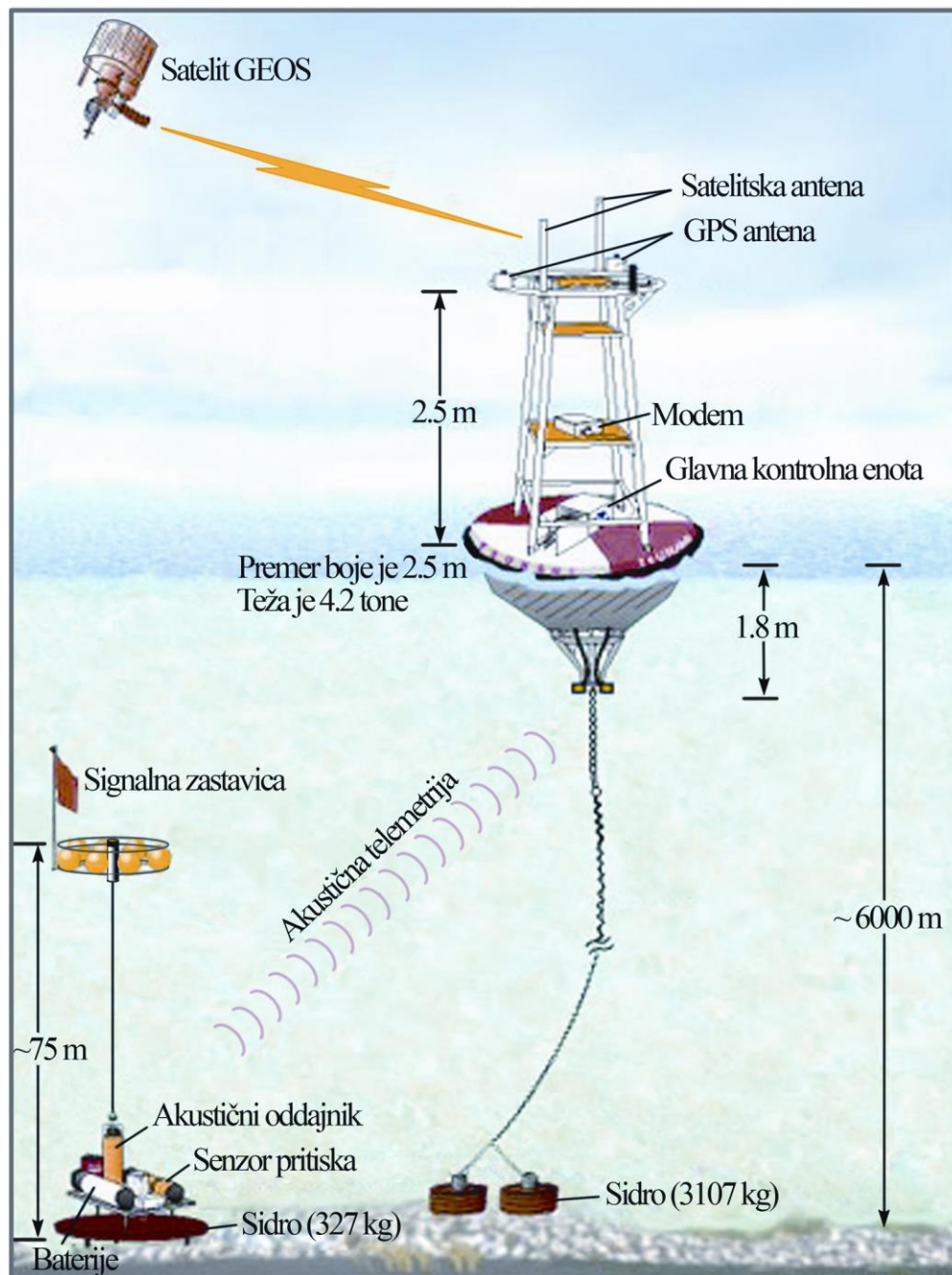


Slika 8. Trajanje potovanja cunamija po Tihem oceanu v primeru potresa na Havajih. Lahko ocenimo, koliko časa rabijo valovi, da prepotujejo Tih ocean.

Figure 8. Duration of journey of tsunami across the Pacific Ocean, in the case of the Hawaii earthquake. How much time the waves need to travel across the Pacific ocean can be estimated.

V Tihem oceanu so najbolj izpostavljena območja Japonske, Havajev, Aljaske, Kamčatke..., najpogosteje pa so izvor cunamijev Aleuti, Japonska, Kamčatka... Prvi sistem za zgodnje opozarjanje pred nevarnostjo cunamija so vzpostavili na Havajih že leta 1946 po cunamiju, ki je prizadel mesto Hilo na tem otočju. Ta sistem je temeljil na obveščanju o močnih potresih v obtihomorskem potresnem pasu. Pomagali so si s podatki o potresih in z merilniki plimovanj v obalnih vodah. Kmalu se je pokazalo, da sistem, ki temelji le na podatkih o močnih potresih, ni učinkovit, ker je bilo več kot 75 % opozoril lažnih. Vzrok je v tem, da vsak močan potres pod morskim dnem ne povzroči nastanek cunamija. Če je povzročil potres vodoravni premik med dvema blokoma kamnine, se cunami ne bo razvil. Naprednejše sisteme so začeli

razvijati po dveh najmočnejših potresih v prejšnjem stoletju v Čilu (1960) in na Aljaski (1964). Cunami slednjega je opustošil obale Aljaske in Havajev. Ustanovili so Tihomorski center za opozarjanje pred cunamiji (Pacific Tsunami Warning Center), v katerem sodeluje 25 držav iz območja Tihega oceana.



Slika 9. Merilec pritiska na dnu oceana zazna spremembo nivoja gladine, ki je manjša od 3 cm in jo posreduje prek plavajoče boje in satelita v zbirni center.

Figure 9. A pressure gauge on the sea floor recognises changes in the sea level of less than 3 cm and sends the data via a floating buoy and satellite to the collection centre.

V sistem so najprej vključili mareografe, ki na morskih obalah spremljajo plimovanje, kar je bilo zadovoljivo za lokalne potrese, na pa tudi za oddaljene. Zato so v Tihem oceanu začeli nameščati posebne boje DART (Deep-ocean Assessment and Reporting). Sistem je leta 1997

finančno podprl ameriški kongres. Do leta 2003 so v globokih predelih Tihega oceana postavili sedem takšnih naprav. Vsaka je sestavljena iz merilca pritiska (tlačni detektor), ki je sidran na morskem dnu in boje na površini. Detektor sestavljajo kremenov kristal, pritrjen na bourdonovo cev, ki je občutljiv na spremembe tlaka v frekvenčnem območju cunamijev. Signali se med sensorjem na dnu in bojo prenašajo s pomočjo akustičnih valov, iz boje pa prek satelita v zbirni center. Senzor lahko zazna spremembo pritiska zaradi cunamija, ki je dvignil morsko gladino za manj kot 3 centimetre pri globini oceana do 6000 m (slika 9).

Sistem obveščanja je večstopenjski. Vsak potres z magnitudo večjo kot 6,5 alarmira osebje centra, ki prične analizirati zbrane podatke iz boj in obalnih mareografov. Če zaznajo, da se je razvil cunami izdajo opozorilo. Razvite države ob obalah Tihega oceana imajo izdelana sisteme za alarmiranje prebivalstva v obalnih predelih in načrte evakuacije.

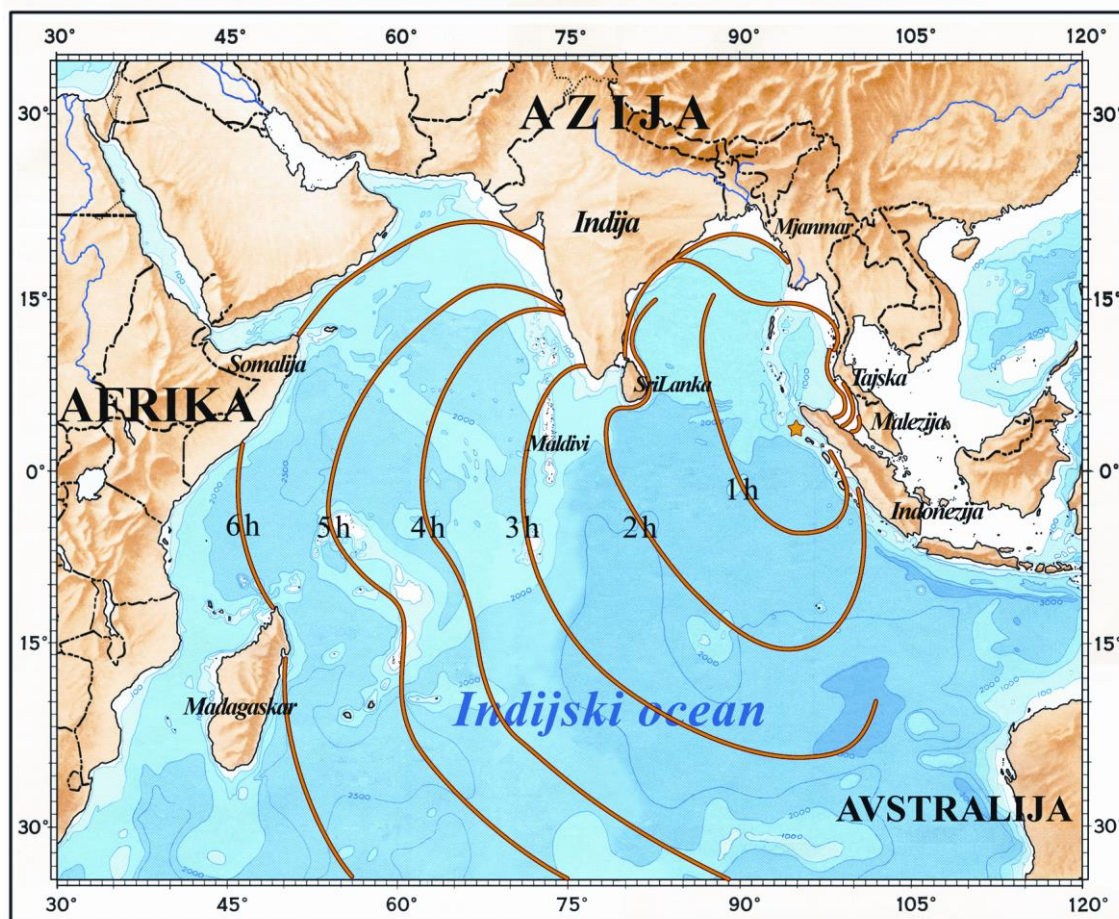
Cunamiji v Jadranu

V Jadranskem morju je več območij z veliko potresno dejavnostjo, kjer lahko nastajajo tudi potresi z magnitudami 6 in več. Med najmočnejšimi potresi v Jadranskem morju je bil potres 15. aprila 1979 z magnitudo 6,8 in žariščem blizu obale v globini 13 km. Ob potresu je nastal premik velikosti 3 m, ki je povzročil premik vode v velikosti 60 x 120 km (model). Vendar pa je nastanek cunamija v Jadranskem morju zelo svojstven, saj je odvisen od morfologije morskega dna, ki je zelo razvejana, prav tako pa je razvejana tudi obala. Valovi se odbijajo in lomijo po enakih zakonih kot v Tihem oceanu, zato teoretični model širjenja valov ocenjuje, da bi val do severnega Jadrana potoval 1 do 3 ure. Ob črnogorskem potresu je bil na mareografski opazovalnici v Baru izmerjen 20 do 25 cm val, nekaj centimetrski pa tudi v Dubrovniku. V potresni zgodovini Jadrana je znanih 20 primerov, da so potresi sprožili cunamije, od tega polovico vzdolž albanske obale. Največje valove je povzročil dubrovniški potres leta 1667, ko kronike opisujejo, da je voda odtekla in so ladje nasedle, zatem pa se je vrnila in prevračala ladje. Zaključimo lahko, da cunamiji v Jadranu so, vendar imajo zaznavne amplitude le v izvornem območju, ki se izgubijo že v majhnih oddaljenostih.

Razmišljanja o posledicah

O potresu 26. decembra, ki je bil po sproščeni energiji eden najmočnejših potresov v zadnjih sto letih, predvsem pa o cunamiju, ki je nastal zaradi navpičnega premika morskega dna, nastajajo po vsem svetu številna mnenja. Kljub temu, da sta v Tihomorski center za opozarjanje pred cunamiji vključeni tudi Indonezija in Tajska, ta sistem v Indijskem oceanu ni razvit. Indija in Šri Lanka, kjer je bilo največ žrtev, vanj tudi nista vključeni. Poročajo pa, da je oceanografska boja južno od žarišča potresa zaznala 60 cm visok val, ki je potoval v smeri Avstralije. Sistem zgodnjega obveščanja pred nevarnostjo seveda ne predstavljajo le naprave, ki bi cunami zaznale. Če je med potresom in trenutkom, ko uničujoči valovi zadenejo obale, na voljo le dve do tri ure, kot je bilo v tokratnem primeru, mora biti izdelan predvsem zelo učinkovit sistem lokalnega alarmiranja prebivalstva in njihova pravočasna vzgoja. Julija 1993 je potres na Japonskem povzročil nastanek cunamija, ki je močno prizadel otok Okuširi. Japonska meteorološka služba je že pet minut po potresu obvestila javnost in s

tem rešila veliko življenj (mrtvih je bilo »le« 330 prebivalcev, ki se jim ni uspelo pravočasno umakniti). Pet let kasneje pa se podobna zgodba v Novi Gvineji ni iztekla tako dobro, saj je zaradi neobveščenosti in nepripravljenosti umrlo 2200 ljudi. Na območjih, kjer je obala položna, je potrebno zgraditi tudi posebna zaklonišča, saj se ni mogoče umakniti na višje ležeča območja, kar je sicer edini učinkovit sistem zaščite. Japonski otroci se učijo pravilnega ravnanja ob potresu ali cunamiju že v vrtcih. Ob potresih se tako stari kot mladi rutinsko zatečejo na vzpetine čim dlje od obale.



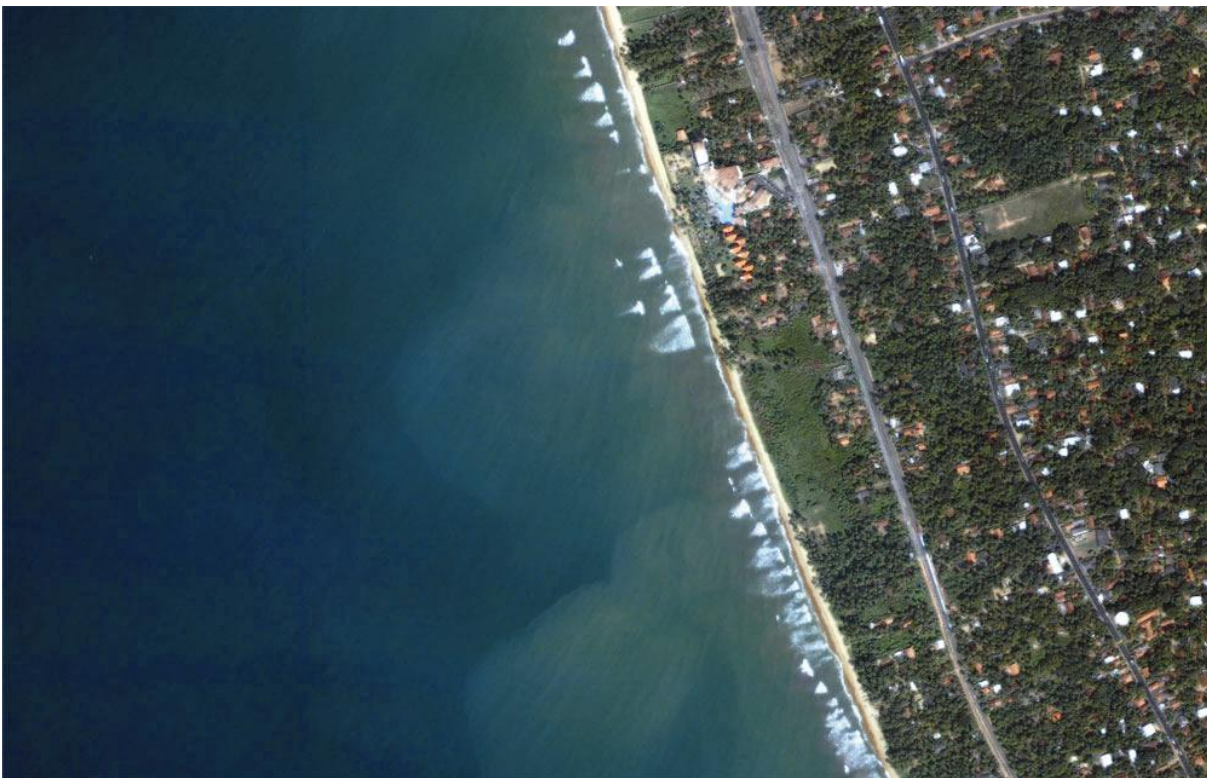
Slika 10. Potovanje cunamija ob potresu 26. decembra 2004 nam kaže, da bi lahko bilo ob pravilnem obveščanju in ozaveščenosti prebivalcev vseh ogroženih območij, žrtev bistveno manj.

Figure 10. Journey of the tsunami at the time of the earthquake of 26 December 2004 shows that there could have been considerably fewer victims if the population of threatened regions had been properly informed and alerted.

Nekaj tednov po potresu so bile novice o žrtvah in ugibanja o tem, če bi bilo mogoče zmanjšati število žrtev, še vedno aktualne. Nekateri menijo, da bi se dalo ljudi obvestiti; toda ali je to dovolj? Če gledamo posnetke, ki po svetovnem spletu in drugih medijih obkrožajo svet, pogosto vidimo nasmejane obraze, ki veselo fotografirajo in čakajo, da jih zalije voda. Ali bi opozorilo, ki bi prišlo nekoliko prej, delovalo na njihovo nevednost, bi se res umaknili ali bi še z »večjim užitkom« čakali na ta nevsakdanji pojav? Odgovor je po vsej verjetnosti pritrđen, saj je bilo ponekod več kot dve uri časa za umik, ob afriški obali pa celo pet ur časa. Če že ni bil možen umik ob obalah Indonezije, pa bi se lahko dobršen del prebivalstva

na Šri Lanki, Indiji, Maldivih ... umaknil v notranjost. Če predpostavimo, da je bila hitrost cunamija približno 700 km/h (hitrost potresnih valov pa okoli 44 000 km/h), vidimo, da je potresni sunek dosegel omenjene obale več kot 63-krat hitreje kot cunami. Prebivalci Šri Lanke, Indije, Maldivov... so potres občutili; če bi bili obveščeni še o prihajajočem cunamiju, bi se mogoče umaknili. Upam pa si trditi, da še tako dober alarmni sistem še zdaleč ni dovolj za preventivo pred cunamiji, ampak je neizogibno potrebno prebivalstvo vzgajati in ga ozaveščati o nesrečah, ki ga lahko doletijo. Upajmo, da je bil cunami dovolj kruto opozorilo, da se bodo prebivalci celega sveta zavedali nevarnosti potresov, cunamijev in številnih drugih naravnih nesreč, ki nas lahko prizadenejo.

Narava katastrof ne pozna, pozamo jih ljudje. Živali v narodnem parku Yala na jugovzhodu Šri Lanke so čutile potresni sunek in se instinktivno umaknile stran od potresnega valovanja.

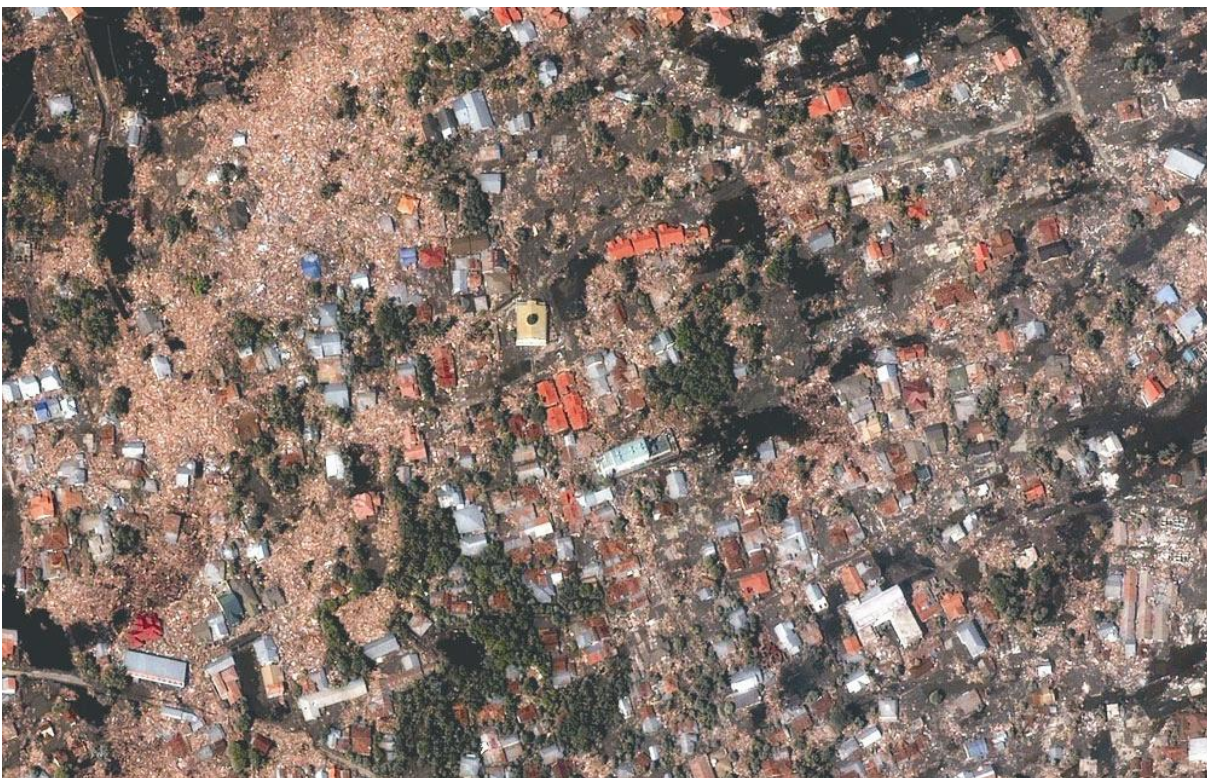


Slika 11a
Figure 11a



Slika 11. Obala pred prihodom cunamija (11a), obala nekaj minut zatem (11b) in umik opustošena obala (11c). Morje se je umaknilo za več kot 340 m (obala Kalutara na Šri Lanki).

Figure 11. The coast before the arrival of the tsunami (11a), the coast a few minutes later (11b) and the shift of the devastated coast (11c). The sea withdrew by more than 340 m (coast of Kalumatra in Sri Lanka).

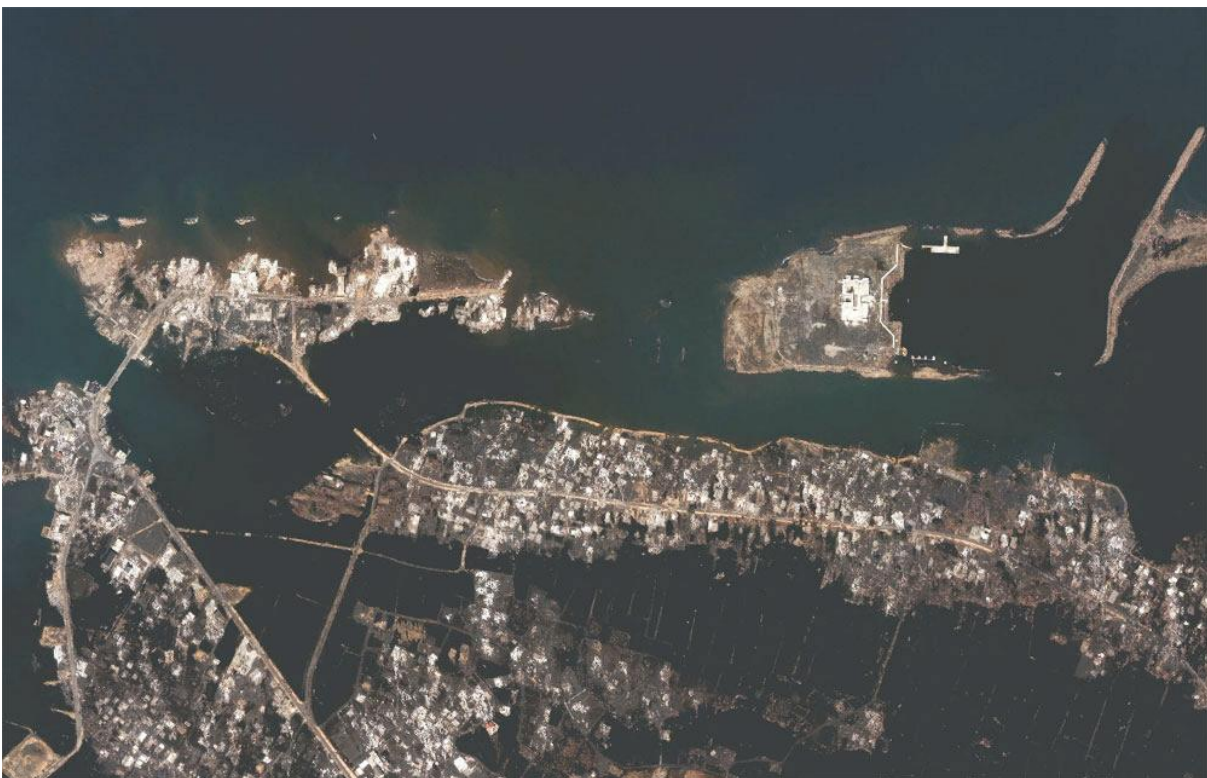


Slika 12. Pogled na mesto pred (12a) in po opustošenju (12b) (Banda Aceh, severna Sumatra, Indonezija).
Figure 12. View of town before (12a) and after devastation (12b) (Banda Aceh, northern Sumatra, Indonesia).



Slika 13. Pogled na predele mesta pred (13a) in po opustošenju (13b) (Banda Aceh, severna Sumatra, Indonezija).

Figure 13. View of town district before (13a) and after devastation (13b) (Banda Aceh, northern Sumatra, Indonesia).



Slika 14. Pogled na pristaniški del in pomole pred (14a) in po cunamiju (14b) (Banda Aceh, severna Sumatra, Indonezija).

Figure 14. View of the harbour and quay before (14a) and after (14b) the tsunami (Banda Aceh, northern Sumatra, Indonesia).



Slika 15. Opustošenje na otoku Phuket (Tajska). Cunami je uničil ali odnesel praktično vse. Največ žrtev je bilo zaradi premetavanja in udarcev v trdne predmete ali zgradbe in udarcev plavajočih predmetov.

Figure 15. Devastation on the island of Phuket (Thailand). The tsunami destroyed or carried off practically everything. Most casualties were a result of those in the water being tossed about and striking solid objects or floating objects.



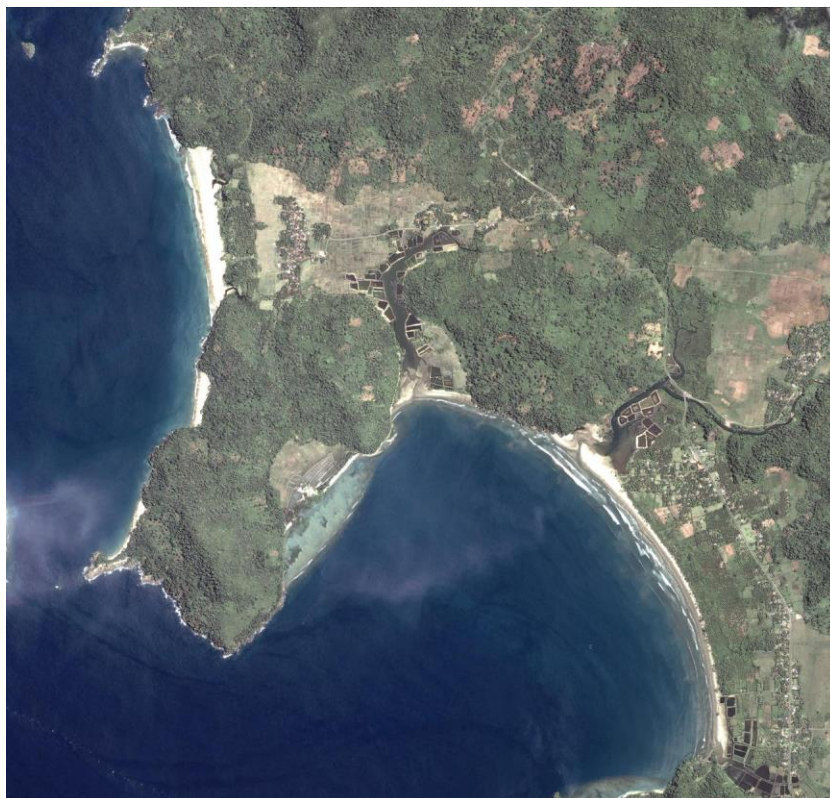
Slika 16. Nekateri so si skušali rešiti življenje, drugi so fotografirali (otok Phuket, Tajska).
Figure 16. Some tried to save life and some took photographs (island of Phuket, Thailand).



Slika 17. Prihajajoča voda je dobesedno »pometla« z vsem, kar ji je bilo na poti (otok Phuket, Tajska).
Figure 17. The incoming water simple »swept up« everything in its path (island of Phuket, Thailand).

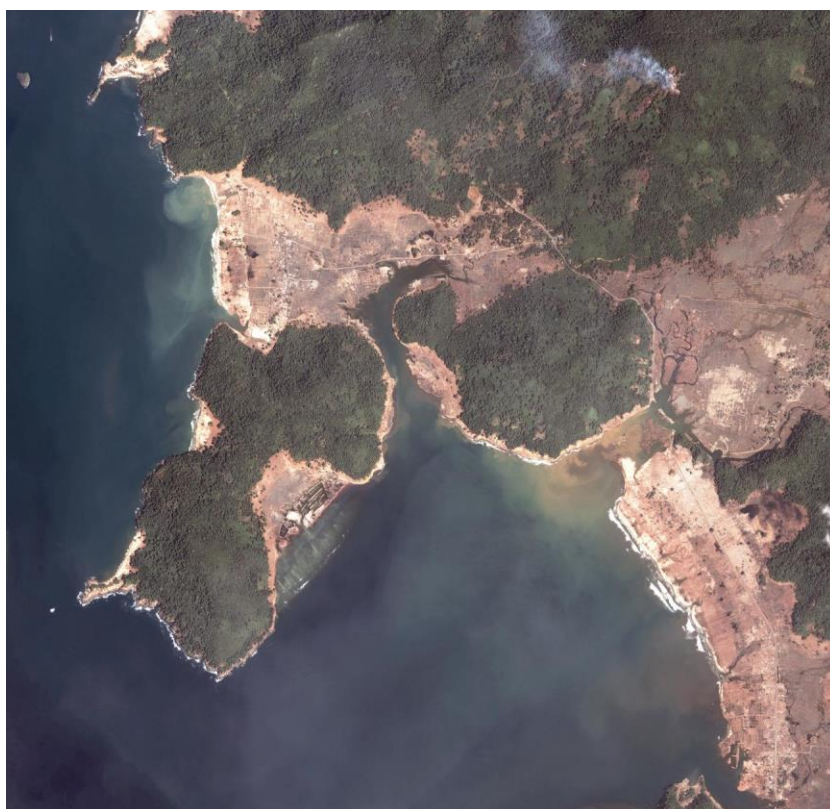


Slika 18. Ladje in čolni na odprtem morju cunamijski valovi ne čutijo, medtem ko zasidrane doleti uničenje.
Figure 18. Vessels on the open sea do not feel a tsunami, while those at anchor are destroyed.



Slika 19. V neposredni bližini žarišča potresa in nastanka cunamija je bilo uničenje popolno. Pogled pred cunamijem (zgoraj) in ostanki gozda na hribu (spodaj) (Gleebruk, zahodna Sumatra, Indonezija).

Figure 19. *In the immediate vicinity of the epicentre and the creation of the tsunami, destruction was total. View before the tsunami (above) and remains of the forest on a hill (below) (Gleebruk, western Sumatra, Indonesia).*





Slika 20. Detajl slike 19 kaže lepo urejene nasade (zgoraj), ki jih po cunamiju ni bilo več (spodaj) (Gleebruk, zahodna Sumatra, Indonezija).

Figure 20. Detail of Figure 19 shows the well laid out plantations (above), which no longer existed after the tsunami (below) (Gleebruk, western Sumatra, Indonesia).



Slika 21. Ponekod so naravne bariere, kot so koralni grebeni, nasadi dreves, pa tudi urejene obale nekoliko ublažili moč valov.

Figure 21. In places, natural barriers such as coral reefs, tree plantations or the layout of the shore somewhat alleviate the power of the wave.



Slika 22. Ljudje so spremljali razdejanje, ne da bi vedeli za kaj gre.
Figure 22. People followed the destruction without knowing what it was.



Slika 23. V ozadju vidimo pagodo, ki jo je prekrila voda.
Figure 23. A pagode covered by the water can be seen in the background.



Slika 24. Val pripotuje na obalo s hitrostjo 30 km/h ali več. Umika ni.
Figure 24. The wave travels towards the shore at speeds of 30 km/h or more. There is no escape.



*Slika 25. Pred 10-metrskim valom ni rešitve.
Figure 25. There is no salvation from a 10-metre wave.*



*Slika 26. Dobesedno »dvignjeno« morje se približuje obali.
Figure 26. The literally »raised« sea approaches the shore.*

Vse fotografije so povzete s spletnih strani (avtorji niso znani):

www.digitalglobe.com

www.noaanews.noaa.gov

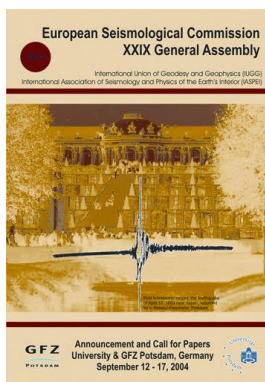
neic.usgs.gov

Zaključek

Skupni učinki potresa 26. decembra 2004 predstavljajo eno največjih katastrof v zgodovini človeštva. Večkrat smo zapisali, da potres sam po sebi ne zahteva žrtev, ampak ubijajo podirajoče zgradbe. Tokrat je ubijala voda. Cunamiji so nevarni za vse prebivalce, živeče v obalnih mestih, predvsem ob Tihem oceanu, pa tudi drugod. Po letu 1990 je ob desetih velikih cunamijih izgubilo življenje več kot 4000 ljudi. 80% vseh cunamijev nastane v Pacifiku, ostali pa v Indijskem oceanu, Sredozemskem morju, na območju Karibov in Atlantskem oceanu. Cunamije povzročijo le tisti potresi, ki nastanejo ob prelomih v oceanih in povzročijo nekaj metrski navpičen premik plasti (morskega dna) ob prelomu. Aktivirati se mora območje večje od tisoč kvadratnih kilometrov. Največ cunamijev povzročijo potresi z žarišči v globinah manjših od 70 km, vzdolž subdukcijskih con (con podrivanja ene tektonske plošče pod drugo). Upajmo, da bo ta katastrofa pozitivno vplivala na prebivalstvo in politike, da bodo čimprej namestili po vseh ogroženih območjih sveta alarmne sisteme in hkrati začeli ozaveščati prebivalstvo o naravnih nesrečah, ki jim pretijo. Nanje je treba biti vedno pripravljen.

Literatura

- Čampa, T., 1999. Nevarnost, imenovana cunami. Življenje in tehnika 1999/10. Tehniška založba Slovenije, str. 31-36.
- Orlić, M., 1984. Ima li »tsunamija« u Jadranskom moru? Priroda, svibanj-lipanj, 1984, str. 310-311.
- Vidrih, R., Gosar, A., 2005. Potres 26. decembra 2004 v Javanskem globokomorskem jarku. Tokrat je ubijala voda. DELO - Znanost, 3. januar 2005.
- Vidrih, R., 2005. Potres 26. decembra 2004 v Indoneziji - nastanek, cunamiji in posledice. Ujma 19. Uprava RS za zaščito in reševanje, 121-134, Ljubljana.
- Vidrih, R., Potres 26. decembra 2004 v Indoneziji - nastanek, cunamiji in posledice, Življenje in tehnika LVI, Tehniška založba Slovenije, 29-43.



29. GENERALNA SKUPŠČINA EVROPSKE SEIZMOLOŠKE KOMISIJE XXIX GENERAL ASSEMBLY OF THE EUROPEAN SEISMOLOGICAL COMMISSION

POTSDAM, NEMČIJA

Polona Zupančič

***Izvleček.** Od 12. do 17. septembra 2004 je v Potsdamu potekala 29. generalna skupščina Evropske seizmološke komisije. Udeležilo se je več kot 500 strokovnjakov z vseh področij seizmologije iz 47 držav, predvsem iz Evrope. Konference smo se aktivno udeležili tudi sodelavci Agencije za okolje, Urada za seizmologijo in geologijo.*

***Abstract.** On 12 – 17 September 2004 Potsdam, Germany hosted the 29th General Assembly of the European Seismological Commission. More than 500 participants from 47 countries discussed the problems of all fields of seismology and related topics in many scientific sessions. Among the active participants were also four representatives from the Environmental Agency of the Republic of Slovenia – Seismology and Geology Office.*

Evropska seizmološka komisija (ESC) je del Mednarodne organizacije za seizmologijo in fiziko notranjosti Zemlje (IASPEI), ki je hčerinska organizacija Mednarodne organizacije za geodezijo in geofiziko (IUGG). Njen osnovni cilj je spodbujanje seizmoloških raziskav in projektov v Evropi, državah Sredozemlja in neposredni okolici. Član ESC lahko postane vsaka država, ki geografsko ustreza kriterijem ter plačuje letno članarino IUGG. Vsaka država članica ima svojega predstavnika, ki ima pravico glasovanja na skupščini. Države opazovalke imajo svoje predstavnike, ki pa nimajo pravice glasovanja. Trenutno ima ESC 37 polnopravnih članic ter 3 opazovalke (slika 1). Znanstveno delo ESC poteka v sedmih podkomisijah, ki imajo številne delovne skupine. Več o ESC si lahko preberete na <http://www.esc.bgs.ac.uk/>.

Generalna skupščina ESC poteka vsaki dve leti. Tokrat so jo organizirali v sodelovanju z raziskovalno organizacijo GeoForschungsZentrum (GFZ Potsdam) in Univerzo v Potsdamu. Udeležilo se je več kot 500 strokovnjakov z vseh področij seizmologije iz 47 držav, predvsem iz Evrope. V okviru sedmih podkomisij (Seizmičnost Evropsko-Mediterranskega območja, Pridobivanje podatkov, teorija in interpretacija, Fizika potresnega žarišča, Struktura Zemljine skorje in zgornjega plašča, Raziskave napovedovanja potresov, Inženirska

seizmologija, Terenske ekipe za hitro posredovanje ob močnem potresu v Evropi in Sredozemlju) so organizirali mnoge sekcije z zanimivimi predavanji.



Slika 1. Države polnopravne članice (temno zelena) in opazovalke (svetlo zelena) v Evropski seizmološki komisiji (ESC) (vir <http://www.esc.bgs.ac.uk/>).

Figure 1. European Seismological Commission (ESC) member and observer countries (from <http://www.esc.bgs.ac.uk/>).

Slovenski predstavniki iz Urada za seizmologijo in geologijo Agencije za okolje smo se konference udeležili zelo aktivno: v petih različnih sekcijah smo predstavili 3 predavanja in 9 posterjev. Ina Cecić je v sekciji *Terenske ekipe za hitro posredovanje ob močnem potresu v Evropi in Sredozemlju* predavala o aktivnostih v ekipi za posredovanje v letih 2002 do 2004 ter v sekciji *Inženirska seizmologija* o Makroseizmičnih raziskavah v teoriji in praksi ter predstavila dva posterja s soavtorji: Zgodovinski potresi v zapisih Arhiva Slovenije ter Metodologija zbiranja makroseizmičnih podatkov za srednje močne potrese v Sloveniji. Izidor Tasič je v sekciji *Praktična seizmologija: Mreže, instrumenti in interpretacija* predaval o Avtomatskem določanju parametrov potresa s trikomponentnim digitalnim seizmografom ter predstavil tri posterje s soavtorji: Kalibracija senzorjev slovenske mreže potresnih opazovalnic, Prenos seizmičnih

podatkov s pomočjo GSM tehnologije ter Nova slovenska mreža potresnih opazovalnic v severozahodni Sloveniji. Mladen Živčić je v isti sekciji predstavil dva posterja s soavtorji (Projekt Interreg IIIA: meddržavne seizmološke mreže v jugovzhodnih Alpah, Zmogljivost slovenske mreže potresnih opazovalnic) ter poster s soavtorjem v sekciji *Skorja in strukture v zgornjem plašču* z naslovom Ločevanje sipanja in atenuacije lokalnih potresov v Sloveniji z metodo MLTW. Polona Zupančič s soavtorji je predstavila poster Potresna mikrorajonizacija Ljubljane v sekciji *Inženirska seizmologija*. Kolega Ina Cecić in Mladen Živčić sta bila tudi sklicatelja več sekcij.

Tovrstna srečanja so na zelo visoki strokovni ravni, predvsem pa omogočajo srečanje in izmenjavo mnenj z najboljšimi strokovnjaki s področja seizmologije v Evropi.

Predstavljena predavanja in posterji so objavljeni v knjigi povzetkov ter na zgoščenki.



100 LET SEIZMOLOŠKE SLUŽBE V AVSTRIJI 100 YEARS SEISMOLOGICAL SERVICE OF AUSTRIA

Peter Sinčič

***Izvleček.** Avstrijska seizmološka služba, ki deluje v okviru Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG), je 23. septembra 2004 praznovala 100-letnico svojega delovanja. V okviru počastitve obletnice so potekala predavanja o razvoju seizmologije v Avstriji, mreži potresnih opazovalnic in o bodočih projektih. Prvi dan so predavanja potekala na Avstrijski akademiji znanosti, drugi dan pa na Conradovem geofizikalnem observatoriju.*

***Abstract.** The Austrian Seismological Service, the department of Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (Central Institute for Meteorology and Geodynamics) celebrated hundredth anniversary on 23 September, 2004. Several presentations about austrian seismic service development, seismic networks and future projects and took place at The Austrian Academy of Sciences and Conrad Observatory.*

Avstrijska seizmološka služba, ki deluje v okviru Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG), je 23. septembra 2004 praznovala 100-letnico svojega delovanja. Začetek delovanja sega v leto 1851, ko je cesar Franc Jožef podpisal ustanovitev inštituta »k.k. Centralanstalt für Meteorologie und Erdmagnetismus«. 14 dni po potresu v Ljubljani leta 1895 je bila na Akademiji znanosti ustanovljena Komisija za potrese. Ker pa je opazovanje potresov že potekalo na inštitutu, je bila seizmološka služba leta 1904 uradno predstavljena na inštitut, ki se je ob tem preimenoval v Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik.

Slovesnost ob stoletnici je potekala na avstrijski Akademiji znanosti. Po uvodnih nagovorih generalnega sekretarja Akademije znanosti Herwiga Friesingerja, direktorja ZAMG Fritza Neuwirtha in vodje Oddelka za geofiziko Petra Melicharja, je sledilo več predavanj o razvoju seizmološke službe v Avstriji, o sedanji organiziranosti, o bodočih projektih in povezavah z mednarodno skupnostjo.

Peter Suhadolc, generalni sekretar IASPEI z Univerze v Trstu je v svojem predavanju International Cooperation – a Must for Research poudaril, da je seizmologija dobesedno globalna znanost, ki je ne obremenjujejo politične meje, saj jih tudi potresi ne poznajo in je mednarodno sodelovanje seizmologov nujno. Z začetki instrumentalne seizmologije je postala potreba po sodelovanju še bolj jasna: potreba po inštrumentih nameščenih v različnih državah, potreba po medsebojni izmenjavi podatkov, potreba po medsebojnih srečanjih in izmenjavi mnenj.

Gerardo Suarez, direktor International Monitoring System pri CTBTO (Comprehensive Test Ban Treaty Organization) na Dunaju je predstavil dejavnost organizacije CTBTO, njene službe, mrežo seizmoloških, hidroakustičnih in infrazvočnih opazovalnic, telekomunikacijsko infrastrukturo in način predstavitve podatkov ter povezavo z ZAMG, saj izvajajo vrsto izobraževanj za CTBTO v Conradovem observatoriju.



*Slika 1. Peter Melichar je predstavil avstrijsko mrežo potresnih opazovalnic.
Figure 1. The seismic network of Austria was presented by Peter Melichar.*

Christa Hammerl je v svojem predavanju Victor Conrad and the Seismological Service of Austria naredila zgodovinski pregled delovanja avstrijske seizmološke službe. V svojem pregledu je podala tudi kratke življenjepise pomembnejših avstrijskih seizmologov s posebnim poudarkom na delovanju Victorja Conrada.

Wolfgang Lenhardt je v predavanju The Seismological Service of Austria predstavil organizacijo seizmološke službe v Avstriji, organizacijsko strukturo, področja delovanja in tudi potresno aktivnost na območju Avstrije.

V zadnjem predavanju tega dne nas je Peter Melichar seznanil s seizmološkim omrežjem, vrstami opazovalnic in njihovo zgradbo in programsko opremo za zajem podatkov in analizo.

Naslednji dan smo si ogledali Conradov observatorij, kjer so bila po ogledu še ostala predavanja. Geofizikalni observatorij je zgrajen okrog 50km jugozahodno od Dunaja v

hribovju Trafelberg na približno 1000 m nadmorske višine in se v celoti nahaja pod zemeljsko površino. Namenjen je raziskavam in preiskovanjem inštrumentov različnih geofizikalnih področij in tudi seizmologiji. Značilnost lokacije je nizek naravni šum ozadja, postavitve pod zemeljsko površino pa še dodatno zmanjša površinske motnje. Konstantna temperatura v tunelu in v vrtinah pripomore k idealnim razmeram za opravljanje različnih merjenj.

Wolfgang Lenhardt je v predavanju *Dinamical Induced Deformations in the Alps* opisal intenziteto učinkov zemeljskih pojavov, na primer plazov, ki niso potresi, jih pa prav tako zabeležijo potresne opazovalnice.

Peter Melichar je v predavanju *Das Projekt FASTLINK-Tyrol* predstavil projekt postavitve nove mreže potresnih opazovalnic v severni in južni Tirolski. V južni Tirolski naj bi bilo 7 potresnih opazovalnic s kontinuiranim prenosom podatkov v središče za obdelavo v Bolzanu, na servernem delu pa bi bile tri opazovalnice s prenosom podatkov v ZAMG. Obe središči pa bi bili medsebojno povezani za izmenjavo podatkov. V prihodnosti pa je načrtovana medsebojna povezanost s središči v Vidmu (Udine), Trstu, Rimu, Zürichu in Ljubljani.

V zadnjem predavanju *Historical Earthquakes in Lower Austria – Source investigation* je Christa Hammerl prikazala rezultate projektov *Historical Earthquakes in Styria*, *Historical Earthquakes in the SW of Lower Austria* in *Historical Earthquakes in Lower Austria*, katerih cilj je bil ponovno ovrednotenje zgodovinskih potresov, izpopolnitev kataloga potresov in izboljšanje ocene ocene potresne nevarnosti Avstrije.