

POTRESI V LETU 1999

POTRESI V LETU 1999
EARTHQUAKES IN 1999

AGENCIJA REPUBLIKE SLOVENIJE ZA OKOLJE
URAD ZA SEIZMOLOGIJO

ENVIRONMENTAL AGENCY OF THE REPUBLIC OF SLOVENIA
SEISMOLOGICAL OFFICE

Ljubljana 2001

POTRESI V LETU 1999 EARTHQUAKES IN 1999

IZDALA IN ZALOŽILA – PUBLISHED BY

Ministrstvo za okolje in prostor – Ministry of the Environment and Spatial Planning
Agencija RS za okolje - Environmental Agency of the Republic of Slovenia
Urad za seizmologijo – Office for Seismology

DIREKTORICA – DIRECTOR

dr. Andreja Čerček Hočevar

UREDNIŠKI SVET – EDITORIAL BOARD

dr. Andreja Čerček Hočevar

mag. Renato Vidrih

Aleksander Brezigar

Ina Cecić

Matjaž Godec

dr. Andrej Gosar

dr. Barbara Šket - Motnikar

mag. Mladen Živčić

UREDNIK – EDITOR - IN - CHIEF

mag. Renato Vidrih

RAČUNALNIŠKO OBLIKOVANJE – COMPUTER DESIGN

Peter Sinčič

OBLIKOVANJE NASLOVNICE – COVER PAGE DESIGN

Teo Spiller

TISK – PRINTED BY

Formatisk

Bobenčkova 4

Ljubljana

<p>CIP – Kataložni zapis v publikaciji Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana UDK 550.34.100 »1999« ISSN 1318 - 4792 Potresi v letu 1999/ur. R. Vidrih – Ljubljana Agencija RS za okolje, 2001</p>

naslovnica:

KARTI POTRESNE NEVARNOSTI SLOVENIJE

zgoraj:

URADNA KARTA POTRESNE NEVARNOSTI SLOVENIJE KARTA POTRESNIH INTENZITET (avtor: Vladimir Ribarič)

Za potresno odporno gradnjo je v Sloveniji še vedno v veljavi Pravilnik (z dopolnitvami) o tehničnih normativih za graditev objektov visoke gradnje na seizmičnih območjih (Ur. l. SFRJ 31/1981, 49/1982, 52/1990), ki predpisuje za projektiranje "navadnih stavb" uporabo karte potresne intenzitete za povratno dobo 500 let (Seizmološka karta SFR Jugoslavije in Tolmač, 1987). Ta karta se z ustrezno empirično zvezo med vrednostmi intenzitete in projektnege pospeška tal lahko uporablja tudi kot karta projektnege pospeška tal skupaj s slovenskim predstandardom, ki ga je leta 1995 izdal Urad RS za standardizacijo in meroslovje kot vzporedno in priporočeno možnost za projektiranje in ki je z metodo platnice privzet del evropskega predstandarda Eurocode 8 iz leta 1994 (CEN, 1994).

spodaj:

NOVA KARTA POTRESNE NEVARNOSTI SLOVENIJE KARTA PROJEKTNEGA POSPEŠKA TAL (avtorji: Janez Lapajne, Barbara Šket Motnikar, Polona Zupančič)

Uprava RS za geofiziko (zdaj Urad za seizmologijo v Agenciji RS za okolje) je izdala novo karto projektnege pospeška tal za povratno dobo 475 let. Člani delovne skupine Potresno odporne konstrukcije pri Slovenskem inštitutu za standardizacijo so se s predlagano novo karto potresne nevarnosti Slovenije strinjali in sklenili, da se bo uporabljala skupaj z evropskim oz. slovenskim predstandardom EC 8. Nova karta bo objavljena v nacionalnem dokumentu slovenskega predstandarda. Člani so se dogovorili, da bo nova karta veljala od izdaje slovenskega predstandarda, predvidoma od 1. januarja 2002 naprej.

COVER PAGE:

SEISMIC HAZARD MAPS OF SLOVENIA

Above:

OFFICIAL SEISMIC HAZARD MAP OF SLOVENIA SEISMIC INTENSITY MAP

(author: Vladimir Ribarič)

In Slovenia, earthquake-resistant design remains regulated by the Rules (together with amendments) on the Seismic Building Code (Official Gazette of the SFRY, 31/1981, 49/1982, 52/1990). They prescribe the use of a seismic intensity map with a return period of 500 years (Seismologic Map of SFR Yugoslavia and Commentary, 1987) when designing “ordinary buildings”. With an appropriate empirical relation between the values of intensity and design ground acceleration, this map can also be used as a map of design ground acceleration together with the Slovenian pre-standard issued in 1995 by the Standards and Metrology Institute of the Republic of Slovenia as a parallel and recommended way of designing. It is part of the European pre-standard Eurocode 8 of 1994 (CEN, 1994), adopted through the envelope method.

Below:

NEW SEISMIC HAZARD MAP OF SLOVENIA DESIGN GROUND ACCELERATION MAP

(authors: Janez Lapajne, Barbara Šket Motnikar, Polona Zupančič)

The Geophysical Survey of Slovenia (now the Office for Seismology within the Environmental Agency of the Republic of Slovenia) issued a new design ground acceleration map for a return period of 475 years. Members of the “earthquake-resistant design” working team at the Slovenian Institut for Standardization agreed with the new seismic hazard map of Slovenia and decided it will be used together with the European and Slovenian pre-standard EC 8. The new map will be published in the Slovenian national pre-standard document. The members agreed that the new map will take effect when the Slovenian pre-standard is issued, which is expected on 1 January 2002.

VSEBINA

PREDGOVOR.....	I
<i>Peter Sinčič, Renato Vidrih, Manfred Deterding</i>	
POTRESNE OPAZOVALNICE V SLOVENIJI V LETU 1999	1
<i>Ina Cecič, Mladen Živčič, Martina Torkar, Manfred Deterding</i>	
POTRESI V SLOVENIJI LETA 1999.....	8
<i>Renato Vidrih</i>	
POTRES V ZGORNJEM POSOČJU IN KARTE POTRESNE NEVARNOSTI SLOVENIJE ...	33
<i>Janez Lapajne, Barbara Šket Motnikar, Polona Zupančič</i>	
KARTA PROJEKTNEGA POSPEŠKA TAL SLOVENIJE	40
<i>Andrej Gosar, Polona Zupančič, Renato Vidrih</i>	
IZBOR LOKACIJ ZA NOVO MREŽO POTRESNIH OPAZOVALNIC V SLOVENIJI: GEOLOŠKE IN GEOFIZIKALNE RAZISKAVE.....	50
<i>Tamara Jesenko, Mladen Živčič</i>	
MERJENJE SEIZMIČNEGA NEMIRA NA LOKACIJAH BODOČIH SEIZMOLOŠKIH OPAZOVALNIC	61
<i>Izidor Tasič</i>	
DIGITALNA MREŽA POTRESNIH OPAZOVALNIC NANOMETRICS	68
<i>Jure Ravnik, Mladen Živčič, Amadej Trnkoczy</i>	
MODELIRANJE ZMOGLJIVOSTI MREŽE POTRESNIH OPAZOVALNIC.....	73
<i>Izidor Tasič</i>	
OPREDELITEV VSTOPA POTRESNIH VALOV LOKALNEGA POTRESA.....	83
<i>Martina Torkar, Mladen Živčič</i>	
DOLOČANJE HITROSTI P_n VALOVANJA IN NAKLONA MOHOROVIČIČEVE DISKONTINUITETE V VZHODNI SLOVENIJI	94
<i>Bojan Uran</i>	
SAMODEJNI SISTEM ZA ZBIRANJE PODATKOV Z AKCELEROGRAFOV V POSOČJU.....	102

Marjeta Car, Andrej Gosar, Mladen Živčić

**GEOFIZIKALNE IN SEIZMOLOŠKE RAZISKAVE TEMELJNIH TAL IN SEIZMIČNEGA
ODZIVA LOKACIJE KULTURNO - ZGODOVINSKEGA OBJEKTA - PRIMER
GRACARJEVEGA TURNA PRI ŠENTJERNEJU 109**

Tatjana Prosen, Jure Bajc, Mladen Živčić

OBČUTLJIVOST POTRESNE OPAZOVALNICE NA VELIKI ŠTANGI 120

Renato Vidrih, Matjaž Gostinčar, Peter Sinčič

DELO NARAVOSLOVCA ALBINA BELARJA V SEIZMOLOGIJI..... 131

Griša Močnik, Renato Vidrih

MOČNEJŠI POTRESI PO SVETU LETA 1999..... 145

Renato Vidrih, Matjaž Godec

POTRES 17. AVGUSTA 1999 V TURČIJI 154

Renato Vidrih, Matjaž Godec

POTRES 7. SEPTEMBRA 1999 V ATENAH 175

Renato Vidrih, Matjaž Godec

POTRES 20. SEPTEMBRA 1999 NA TAJVANU 185

CONTENTS

PREFACE.....	II
<i>Peter Sinčič, Renato Vidrih, Manfred Deterding</i> SEISMIC NETWORK IN SLOVENIA IN 1999.....	1
<i>Ina Cecič, Mladen Živčič, Martina Torkar, Manfred Deterding</i> EARTHQUAKES IN SLOVENIA IN 1999.....	8
<i>Renato Vidrih</i> EARTHQUAKE IN THE UPPER SOČA TERRITORY AND THE SEISMIC HAZARD MAPS OF SLOVENIA.....	33
<i>Janez Lapajne, Barbara Šket Motnikar, Polona Zupančič</i> DESIGN GROUND ACCELERATION MAP OF SLOVENIA.....	40
<i>Andrej Gosar, Polona Zupančič, Renato Vidrih</i> SITE SELECTION FOR THE NEW SEISMIC NETWORK IN SLOVENIA: GEOLOGICAL AND GEOPHYSICAL INVESTIGATIONS.....	50
<i>Tamara Jesenko, Mladen Živčič</i> MEASUREMENTS OF SEISMIC NOISE FOR SEISMIC STATION SITE SELECTION	61
<i>Izidor Tasič</i> NANOMETRICS' S DIGITAL SEISMIC NETWORK	68
<i>Jure Ravnik, Mladen Živčič, Amadej Trnkoczy</i> MODELLING LOCATION CAPABILITY OF SEISMIC NETWORK	73
<i>Izidor Tasič</i> CLASSIFICATION OF ARRIVAL TIMES OF LOCAL EARTHQUAKE SEISMIC WAVES..	83
<i>Martina Torkar, Mladen Živčič</i> P_n VELOCITIES AND THE DIP OF THE MOHOROVIČIĆ DISCONTINUITY IN EASTERN SLOVENIA	94
<i>Bojan Uran</i> AUTOMATIC SYSTEM FOR DATA COLLECTION FROM ACCELEROGRAPHS ETNA IN POSOČJE REGION.....	102

<i>Marjeta Car, Andrej Gosar, Mladen Živčić</i>	
GEOPHYSICAL AND SEISMOLOGICAL INVESTIGATIONS OF THE FOUNDATION SOIL AND SEISMIC RESPONSE OF A LOCATION OF CULTURAL-HISTORICAL BUILDING - AN EXAMPLE OF GRACARJEV TURN NEAR ŠENTJERNEJ.....	109
<i>Tatjana Prosen, Jure Bajc, Mladen Živčić</i>	
SENSITIVITY OF THE SEISMIC STATION AT VELIKA ŠTANGA.....	120
<i>Renato Vidrih, Matjaž Gostinčar, Peter Sinčič</i>	
NATURAL SCIENTIST ALBIN BELAR AND HIS WORK IN SEISMOLOGY.....	131
<i>Griša Močnik, Renato Vidrih</i>	
WORLD'S LARGEST EARTHQUAKES IN 1999.....	145
<i>Renato Vidrih, Matjaž Godec</i>	
THE 17 AUGUST 1999 EARTHQUAKE IN TURKEY.....	154
<i>Renato Vidrih, Matjaž Godec</i>	
THE 7 SEPTEMBER 1999 EARTHQUAKE IN ATHENS	175
<i>Renato Vidrih, Matjaž Godec</i>	
THE 20 SEPTEMBER 1999 EARTHQUAKE ON TAIWAN	185

Pred nami je že deveta publikacija o potresih, ki je tokrat prvič izšla pod okriljem novo nastale Agencije Republike Slovenije za okolje. Agencija, ki je organ v sestavi Ministrstva za okolje in prostor, združuje zelo širok spekter dejavnosti. V petih uradih, -za okolje, meteorologijo, seizmologijo, monitoring in splošne zadeve, je zaposlenih več kot 400 ljudi, ki opravljajo najrazličnejše upravno strokovne naloge s področja varstva narave in naravnih dobrin, pa tudi evidentiranje različnih naravnih pojavov.

Prvih osem števil publikacije je izdala Uprava RS za geofiziko, katere delo v agenciji nadaljuje Urad za seizmologijo. Glavni del je namenjen potresni dejavnosti doma in po svetu, vedno večje zanimanje za publikacijo pa nas je vzpodbudilo k njeni širitvi z nekaterimi drugimi seizmološkimi temami.

This is the ninth publication on earthquakes, this time issued for the first time within the newly-founded Environmental Agency of the Republic of Slovenia. The Agency is part of the Ministry of the Environment and Spatial Planning and brings together a very wide spectrum of activities. Five offices - for the environment, meteorology, seismology, monitoring and general affairs - employ more than 400 people, perform various administrative and expert tasks in the area of protecting nature and natural resources, as well as keep records of different natural phenomena.

The first eight issues of the publication were issued by the Geophysical Survey of Slovenia, whose work is continued by the Office for Seismology within the Agency. The core part is dedicated to seismic activity at home and abroad. However, increasing interest in the publication in Slovenia has encouraged us to extend it with some other seismological topics.

PREDGOVOR

Leto 1999 sodi glede na potresno dejavnost med povprečna leta. Prebivalci različnih predelov Slovenije so čutili več kot 60 potresov. Najmočnejši, z magnitudo 3,0 in največjo intenziteto med V in VI EMS, je nastal 13. maja ob 18. uri in 6 minut po srednjeevropskem poletnem času v zgornjem Posočju. Med potresi, za katere smo razposlali makroseizmične vprašalnike ali opravili terenske raziskave, jih je poleg najmočnejšega še 21 doseglo največjo intenziteto IV EMS, 12 med IV in V EMS in 7 V EMS. Vsi ostali so bili šibkejši. Večina potresov je nastala v globini, manjši od 10 km.

V svetovnih razsežnostih je imel največ žrtev potres 17. avgusta v Turčiji. Po zadnjih podatkih je zahteval 17.840 žrtev. Potres z največ sproščene energije pa je bil 20. septembra na Tajvanu. Zahteval je okoli 2100 življenj. Njegova magnituda je bila 7,7. Leta 1999 je po uradnih podatkih po svetu zaradi potresne dejavnosti umrlo skoraj 25.000 ljudi, če pa prištejemo še vse pograšane, je bilo žrtev več kot 40.000.

Upamo, da boste z zanimanjem prebrali številne podatke o potresih doma in po svetu. Sedem stalnih potresnih opazovalnic je v letu 1999 zabeležilo 3123 naravnih in umetnih potresov, od tega 527 oddaljenih, 937 regionalnih, 1148 lokalnih in 511 umetno povzročenih potresov. Natančnejši opisi najpomembnejših potresov v Sloveniji so opisani v posebnem članku. Sledi članek o kartah potresne nevarnosti v preteklosti in danes ter predstavitev karte projektnega pospeška tal. Najnovejša karta je bila izdelana v skladu z zahtevami evropskega predstandarda Eurocode 8 in je izračunana po uveljavljenih verjetnostnih metodah za ocenjevanje potresne nevarnosti.

Drugi del publikacije predstavljajo članki o izboru lokacij za državno mrežo potresnih opazovalnic, ki bo zajemala 25 opazovalnic. Raziskave za izbor lokacij so obsegale geološke, geofizikalne in seizmološke analize. Meritve seizmičnega nemira smo opravili na več kot 40-tih lokacijah. Nadalje je natančneje opisana digitalna mreža potresnih opazovalnic Nanometrics. Modeliranje zmogljivosti opazovalnic je pokazalo, da je pričakovana nedoločena opredelitve žarišča potresa magnitude $M_{LV}=1,5$ z novo mrežo v večjem delu Slovenije manjša od 3km, kar je bistveno boljše od dosedanje mreže.

V nadaljevanju lahko preberemo prispevka o opredelitvi vstopa potresnih valov lokalnega potresa ter določanju hitrosti Pn valov in naklonu Mohorovičičeve diskontinuitete v vzhodni Sloveniji. Opis samodejnega sistema za zbiranje podatkov z akceleroagrafov kaže, da lahko seizmolog dobi podatke iz opazovalnic že v nekaj minutah.

Pomen geofizikalnih in seizmoloških raziskav temeljnih tal in seizmičnega odziva v primerih obnovitvenih del kulturno zgodovinskih spomenikov je prikazan v primeru obnove Gracarjevega turna pri Šentjerneju. Ta del publikacije pa zaključuje članek o občutljivosti potresnih opazovalnic, predvsem v dnevnem in nočnem času.

Bogato slikovno gradivo predstavlja delo slovenskega seizmologa in naravoslovca dr. Albina Belarja, ki je v svojem času sodil v sam vrh svetovne seizmologije. Zadnji del publikacije pa je namenjen dogajanju po svetu. Pregledu najmočnejših svetovnih potresov sledijo natančnejši opisi potresov 17. avgusta v Turčiji, 7. septembra v Grčiji in 20. septembra na Tajvanu.

Tudi letošnja izdaja je namenjena šolam, knjižnicam, strokovnim in znanstvenim inštitucijam, pa tudi najbolj prizadevnim prostovoljnim opazovalcem, saj vidimo, da se odzivi iz leta v leto večajo. Ob koncu se več kot 4500 opazovalcem iz vseh koncev Slovenije zahvaljujemo, saj s svojimi podatki pripomorejo k boljši obdelavi posameznih potresov.

Renato Vidrih
urednik

PREFACE

With regard to seismic activity, 1999 was an average year. Inhabitants of different parts of Slovenia felt more than 60 earthquakes. The strongest, with a magnitude of 3.0 and highest intensity of between V and VI of the EMS, appeared in upper Posočje on 13 May, at 6 p.m. and 6 minutes (Central European Summer Time). Among earthquakes for which we distributed macroseismic questionnaires or conducted field research, besides the strongest one, a further 21 earthquakes achieved the highest intensity of IV of the EMS, 12 between IV and V of the EMS with 7 at level V of the EMS. All other earthquakes were weaker. Most earthquakes appeared at a depth of less than 10 km.

In global terms, the earthquake on 17 August in Turkey led to the greatest number of victims. According to the latest information, it took 17,840 lives. The earthquake releasing the most energy occurred on 20 September in Taiwan, taking around 2,100 lives. Its magnitude was 7.7. In 1999, almost 25,000 people around the world died because of seismic activity according to official information, but if all the missing are taken into account there were more than 40,000 victims.

We hope you will find it interesting to read the many facts and figures on earthquakes in Slovenia and abroad. Seven permanent seismic stations recorded 3,123 natural and human-caused earthquakes in 1999, 527 of which were distant ones, 937 were regional, 1,148 were local while 511 were human-caused earthquakes. More detailed descriptions of the most important earthquakes in Slovenia are found in a special article. This is followed by an article on the seismic hazard maps of the past and today, and a presentation of the design ground acceleration map. The latest map was prepared in line with the requirements of the European pre-standard Eurocode 8 and calculated according to the established probability methods for assessing seismic hazard.

The second part of the publication includes articles on selecting the locations for the national network of seismic stations, which is set to include 25 stations. The research for the selection of locations involved geological, geophysical and seismological analyses. We carried out measurements of seismic noise at more than 40 locations. Further on, there is a detailed description of the digital network of seismic stations Nanometrics. Modelling of the stations'

capacities showed that the expected indefiniteness of defining the hypocentre of an earthquake of a magnitude $M_{LV}=1.5$ with the new network is lower than 3 km in the majority of Slovenia, which is considerably better than the previous network.

Later one can read two articles on defining the entry of seismic waves of local earthquakes and measuring the speed of Pn waves, as well as the inclination of the Mohorovičić discontinuity in eastern Slovenia. The description of the automatic systems for collecting accelerograph data shows that information from the stations can be obtained in just a few minutes.

The significance of geophysical and seismological studies of the basic ground and seismic response during renovation works on cultural historical monuments is presented through the case of renovating the Gracar Tower near Šentjernej. This part of the publication concludes with an article on the sensitivity of seismic stations, above all during the day and in the night.

The rich graphic material is the work of the Slovenian seismologist and natural scientist Dr Albin Belar, who was in his time at the top of world seismology. The last part of the publication is dedicated to events around the world. An overview of the strongest world earthquakes is followed by more detailed descriptions of the earthquakes in Turkey on 17 August, Greece on 7 September and Taiwan on 20 September.

This year's publication is also aimed at schools, libraries, expert and scientific institutions, as well as the most passionate voluntary observers, as it is obvious that responses are increasing every year. At the end, we thank the more than 4,500 observers from around Slovenia for contributing their information leading to improved processing of individual earthquakes.

Renato Vidrih
Editor - in - chief

POTRESNE OPAZOVALNICE V SLOVENIJI V LETU 1999

SEISMIC NETWORK IN SLOVENIA IN 1999

Peter Sinčič¹, Renato Vidrih¹, Manfred Deterding²

Izveček. Konec leta 1999 je na ozemlju Republike Slovenije delovalo sedem stalnih potresnih opazovalnic, opremljenih z različnimi vrstami analognih in digitalnih seizmografov. Omrežje potresnih opazovalnic z digitalnimi seizmografi, s katerih poteka avtomatski prenos podatkov v centralni računalnik v observatoriju na Golovcu v Ljubljani, sestavljajo potresne opazovalnice v Ljubljani (LJU), v Bojancih v Beli krajini (VBY), Dobrini na Kozjanskem (DOBS), v Goričicah pri Cerknici (CEY), Cesti nad Krškim (CESS) in v Braniku nad Muto (BISS). Prenos podatkov v ljubljanski centralni računalnik poteka po državnem računalniškem omrežju iz seizmografa, ki beleži potrese v observatoriju na Golovcu v Ljubljani in s seizmografa v Cesti, iz drugih opazovalnic pa po klicnih telefonskih linijah. Stalna opazovalnica na Vojskem (VOY) ter začasna v Brezjah pri Senušah (KBZ) na obrobju Krško - Brežiškega polja sta opremljeni z analognimi seizmografi. V prvi polovici leta smo nadaljevali z opazovanjem popotresnih sunkov v Posočju z začasnimi potresnimi opazovalnicami v Plužni, Lepeni in Mali vasi. Zaradi večjega števila potresov v okolici Litije smo postavili začasno opazovalnico v Veliki Štangi.

Abstract. There were seven permanent earthquake monitoring stations within the Republic of Slovenia at the end of 1999. The stations are equipped with different types of analogue and digital seismographs. The oldest and central monitoring station of the Republic of Slovenia's Environmental Agency, located at the observatory in Golovec in Ljubljana, is equipped with three-component analogue long-period and short-period seismographs with optical recording on photographic paper, a short-period seismograph with ink recording and with broad band digital seismographs. An earthquake monitoring station was built in Goričice at Cerknisko jezero in 1975. A broad band digital seismograph was supplied in 1998 to supplement the existing three-component short-period analogue seismograph. In January 1985, the third seismic station in Slovenia, located at Vojsko near Idrija, started to operate. It was initially equipped with an analogue short-period seismograph with a vertical component. The horizontal components were added in January 1991. The following year, the earthquake monitoring station at Bojanci in Bela Krajina was installed. Similarly, it was equipped with an analogue short-period seismograph with a vertical component. In 1996, a broad band digital seismograph was added together with a facility to transmit data to the main office in Ljubljana via a telephone line. In order to monitor seismic activity in the Krško - Brežice area, a temporary earthquake monitoring station was set up in 1990. It was equipped with a vertical component portable analogue seismograph at Brezje pri Senušah. An seismic station was set up at Cesta near Krško in 1996. Originally, a portable broad band digital seismograph recording data on magnetic tape was installed there. In 1998, this was replaced with a seismograph transmitting data to the main office using the state administration's computer network. Because of the possibility of increased seismic activity due to an electricity power plant lake in neighbouring Austria, a temporary earthquake monitoring station was installed at Branik near Muta in 1991. It was equipped with a vertical component portable analogue seismograph. A shaft was built and a broad band digital seismograph was installed, transmitting data to the main office via telephone lines in 1996. In the same year, an earthquake monitoring station at Dobrina on Kozjansko commenced operation. It is equipped with the same type of digital seismograph as Branik. A portable digital seismograph recording data on magnetic tape also operates from time to time at Horjul. The monitoring of aftershocks in upper Soča territory was continued in the first half of the year in Plužna, Lepena and Mala vas. Because of increased seismic activity in the vicinity of Litija, portable digital seismograph was set up in Velika Štanga.

¹ Agencija RS za okolje, urad za seizmologijo, Dunajska 47, Ljubljana

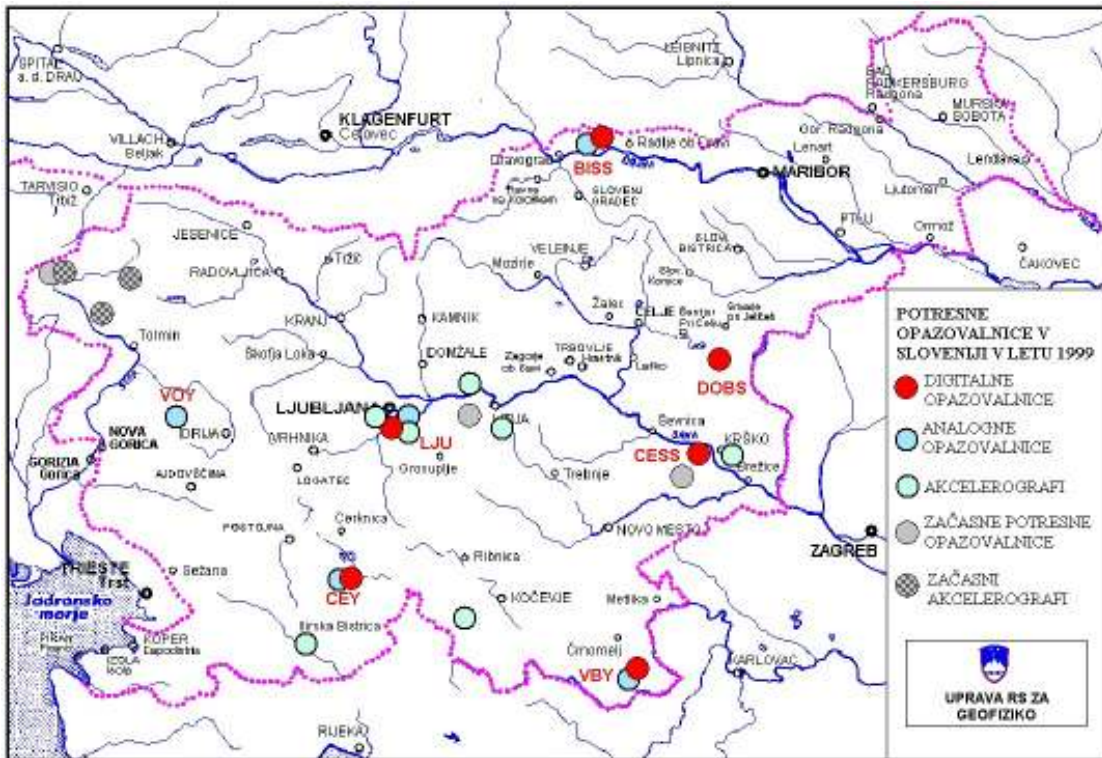
² Agencija RS za okolje, urad za seizmologijo, Pot na Golovec 25, Ljubljana

Uvod

Najstarejša in osrednja opazovalnica Agencije RS za okolje v observatoriju na Golovcu v Ljubljani (LJU) je opremljena s trikomponentnim analognim dolgoperiodnim seizmografom in trikomponentnim analognim kratkoperiodnim seizmografom z optičnim zapisom na fotografski papir, s kratkoperiodnim seizmografom z vidljivim zapisom ter s širokopasovnimi digitalnimi seizmografi. Leta 1975 je bila zgrajena potresna opazovalnica CEY v Goričicah pri Cerkniskem jezeru. Opremljena je z analognim trikomponentnim kratkoperiodnim seizmografom, ki mu je bil leta 1997 dodan digitalni širokopasovni seizmograf. Januarja 1985 je začela delovati tretja potresna opazovalnica VOY na Slovenskem, ki smo jo postavili v Vojskem nad Idrijo (Trnkoczy in Vidrih, 1986). V začetku je bila opremljena z analognim kratkoperiodnim seizmografom z vertikalno komponento, januarja leta 1991 pa sta bili dodani še horizontalni komponenti. Leta 1986 je bila zgrajena potresna opazovalnica VBY v Bojancih v Beli krajini, prav tako opremljena z analognim kratkoperiodnim seizmografom z vertikalno komponento. Leta 1996 smo ji dodali širokopasovni digitalni seizmograf s prenosom podatkov po klicni telefonski liniji v ljubljansko centralo. Za opazovanje seizmičnosti Krško - Brežiškega polja je bila leta 1990 postavljena začasna potresna opazovalnica z enokomponentnim prenosnim analognim seizmografom v Brezju pri Senušah, leta 1996 pa še v Cesti nad Krškim. Tu je bil na začetku nameščen prenosni širokopasovni digitalni seizmograf s shranjevanjem podatkov na magnetni trak, ki smo ga leta 1997 zamenjali s seizmografom s prenosom podatkov po državnem računalniškem omrežju v centralo. Zaradi možnosti povečanja seizmičnosti ob polnjenju akumulacijskega jezera v sosednji Avstriji je bila leta 1991 postavljena začasna potresna opazovalnica BISS z enokomponentnim prenosnim analognim seizmografom v Braniku nad Muto. Leta 1996 ji je bil dodan jašek in postavljen širokopasovni digitalni seizmograf s prenosom podatkov po klicni telefonski liniji v centralo. Leta 1996 je začela delovati potresna opazovalnica DOBS v Dobrini na Kozjanskem. Opremljena je z enakim digitalnim seizmografom kot v Braniku nad Muto. V Horjulu deluje občasno prenosni digitalni seizmograf s shranjevanjem podatkov na magnetni medij (Sinčič in Vidrih, 1993, 1995).

Opis potresnih opazovalnic

V Ljubljani (LJU) so instrumenti za beleženje potresov postavljeni v observatoriju na Golovcu. Opazovalnica je zgrajena v karbonskih peščenjakih, ki v seizmogeološkem smislu pomenijo srednje ugodna tla. Opazovalnica ima koordinati 14,53°E in 46,04°N, leži pa na nadmorski višini 396 m. Spada med potresne opazovalnice prvega reda, kar pomeni, da beleži kratkoperiodne in dolgoperiodne potresne valove na velikih razdaljah ter je del svetovnega omrežja. Da bi bili podatki zanimivi za svetovno mrežo, morajo ustrezati svetovnim standardom. Enako velja za opremo in njeno delovanje. Dolgoperiodni sistem sestavljajo vertikalni in dva horizontalna seizmometra Sprengnether, galvanometri Lehner & Griffith pa zapisujejo signale s svetlobnim žarkom na fotopapir na pisaču Sprengnether. Povečava sistema je 1 300 pri periodi 1 s (vertikalna komponenta). Deluje tudi kratkoperiodni sistem Lehner & Griffith z zapisom na fotopapir. Povečava tega sistema je 12 000 pri periodi 1 s (vertikalna komponenta). Sistem z vidljivimi zapisi sestavljajo seizmometri Willmore MK-II, seizmografski ojačevalniki SO-01, ki so jih razvili strokovnjaki Agencije RS za okolje ter pisači Günter Volk z galvanometri Astromed. Maksimalna povečava vidljivega sistema je 46 700 pri periodi 0,4 s (vertikalna komponenta).



Slika 1. Potresne opazovalnice v Sloveniji leta 1999.

Figure 1. Seismic network in Slovenia in 1999.

Vsi zapisi so opremljeni s časovnimi signali, ki jih beleži natančna elektronska ura UK-03. To so prav tako skonstruirali in izdelali strokovnjaki Agencije RS za okolje, njeno natančnost pa nadzorujemo s sprejemnikom časovnih signalov DCF 77. V potresni opazovalnici na Golovcu je leta 1990 začel delovati trikomponentni digitalni seizmograf SSR-1 s širokopasovnimi seizmometri WR-1 podjetja Kinometrics. Leta 1993 smo vključili 6-kanalni digitalni seizmograf Reftek 72A-02. Na prvih treh kanalih so izmenoma priključeni trikomponentni akcelerometer FBA-23 in širokopasovni seizmometri Sensonics, na drugih treh pa širokopasovni trikomponentni seizmometer Guralp CMG-40T. Oba seizmografa imata 16-bitno analogno-digitalno pretvorbo. Medtem ko deluje seizmograf SSR-1 v prožilnem načinu delovanja in s frekvenco vzorčenja analogno - digitalnega pretvornika 200 vzorcev v sekundi, pa seizmograf 72A-02 omogoča sočasno zajemanje podatkov v prožilnem načinu in sicer s frekvenco vzorčenja 125 vzorcev v sekundi pri zapisovanju kratkoperiodnih pojavov ter v kontinuiranem načinu s frekvenco vzorčenja 5 vzorcev na sekundo pri beleženju dolgoperiodnih pojavov.

Leta 1996 postavljeni digitalni seizmograf podjetja Nanometrics sestavljajo širokopasovni trikomponentni seizmometer Guralp CMG-40T, 16-bitni analogno - digitalni pretvornik s tristopenjskim samonastavljivim predojačenjem RD 1603 in osebni računalnik s sprejemnikom točnega časa GPS in programsko opremo, ki skrbi za zajem podatkov in za komunikacijo s centralnim računalnikom. Programska oprema na centralnem računalniku zbira podatke iz oddaljenih opazovalnic. Centralni računalnik po določenem nastavljenem urniku kliče oddaljene opazovalnice in od njih zahteva podatke o proženjih. Na podlagi teh podatkov poskuša določiti dogodke, nato pa pošlje zahtevo za prenos zapisov o dogodkih v centralno opazovalnico. Komunikacija deluje na principu elektronske pošte (Vidrih in Sinčič, 1997).

Potresna opazovalnica v Cerknici (CEY) stoji na spodnjepjurskih apnencih, ki so ugodna seizmogeološka podlaga. Koordinati opazovalnice sta $14,43^{\circ}\text{E}$ in $45,74^{\circ}\text{N}$, nadmorska višina pa je 579 m. Merilni sistem sestavljajo vertikalni in horizontalna seizmometra Willmore MK-II, seizmografski ojačevalniki SO-01 in pisači Günter Volk z galvanometri Astromed ter uro UK-03. Povečava je zaradi mirnejše lokacije večja kot v Ljubljani in znaša 82 200 pri 0,5 s (vertikalna komponenta). V začetku leta 1997 postavljeni digitalni seizmograf podjetja Nanometrics sestavljajo širokopasovni trikomponentni seizmometer Guralp CMG-40T, 16-bitni analogno - digitalni pretvornik s tristopenjskim samonastavljivim predojačenjem RD 1603 in osebni računalnik s sprejemnikom točnega časa GPS in programsko opremo, ki skrbi za zajem podatkov in za komunikacijo s centralnim računalnikom.

Opazovalnica na Vojskem (VOY) leži na seizmogeološko zelo ugodni podlagi, ki jo sestavljajo zgornjetriasni dolomiti, na koordinatah $13,89^{\circ}\text{E}$ in $46,03^{\circ}\text{N}$. Nadmorska višina opazovalnice je 1073 m. Opazovalnica je opremljena z vertikalnim in dvema horizontalnima seizmometroma Willmore MK-II, s seizmografskimi ojačevalniki SO-03 (razvila jih je Agencija RS za okolje), pisači Kinometrics VR-2 in uro UK-03. Povečava seizmografa na Vojskem je 557 000 pri 0,1 s (vertikalna komponenta).

Četrta opazovalnica v Bojancih (VBY) je bila do leta 1996 enokomponentno analogna. Zgrajena je bila v krednem apnencu, ki je zelo dobra seizmogeološka podlaga. Koordinati opazovalnice sta $15,26^{\circ}\text{E}$ in $45,50^{\circ}\text{N}$, nadmorska višina pa je 252 m. Seizmograf sestavljajo vertikalni seizmometer Vegik, seizmografski ojačevalnik SO-03, pisar Kablar I z galvanometrom Astromed ter ura UK-03. Sistem deluje s povečavo 116 600 pri 0,5 s. Opremo opazovalnice smo dopolnili leta 1996 s trikomponentnim digitalnim seizmografom podjetja Nanometrics s širokopasovnim trikomponentnim senzorjem Guralp CMG-40T. Pošiljanje podatkov iz opazovalnice v centralni računalnik v Ljubljani je potekalo po klicni telefonski liniji na zahtevo centralnega računalnika. V maju 1996 smo zamenjali opremo opazovalnice. 16-bitni analogno - digitalni pretvornik RD3-1605 smo zamenjali s 24-bitnim HRD24-2432 z vgrajenim GPS sprejemnikom, klicno telefonsko linijo pa z najeto linijo do Geodetske uprave v Črnomlju, kjer smo se vključili v državno računalniško omrežje. S tem smo pridobili na hitrosti in kvaliteti prenosa podatkov do centralnega računalnika.

Potresna opazovalnica v Braniku nad Muto (BISS), ki beleži seizmične pojave v bližini jezua HE Golica, je bila leta 1990 nameščena v objektu zgrajenem v metamorfnih kamninah, ki so v seizmogeološkem pogledu ugodne. Koordinati opazovalnice sta $15,13^{\circ}\text{E}$ in $46,65^{\circ}\text{N}$, nadmorska višina pa je 480 m. Na travniku nad objektom smo zgradili jašek in vanj postavili seizmometra Vegik, leta 1996 pa Guralp CMG-40T. Vertikalni kratkoperiodni seizmometer Vegik je priključen na prenosno analogno opazovalnico PS-2 podjetja Kinometrics. Trikomponentni širokopasovni seizmometer Guralp CMG-40T pa je priključen na digitalni seizmograf firme Nanometrics in na omrežje opazovalnic. Komunikacija s centralnim računalnikom poteka po klicni telefonski liniji.

Potresna opazovalnica v Dobrini na Kozjanskem (DOBS), zgrajena leta 1996, je opremljena z enakim digitalnim seizmografom in ima enak način prenosa podatkov kot prejšnji dve. Seizmometer leži skupaj z analogno - digitalnim pretvornikom v jašku, osebni računalnik s sprejemnikom točnega časa GPS pa je nameščen v hišici. Opazovalnica je zgrajena na laporjih, ki prehajajo v apnenc in dolomit ladinjske starosti (srednji trias). Njeni koordinati sta $15,47^{\circ}\text{E}$ in $46,15^{\circ}\text{N}$, nadmorska višina pa 425 m.

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

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

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

Povečalo se je število opazovalnic z digitalnimi akcelero grafi za beleženje močnih potresov. Nova opazovalnica je na gradu Bogenšperk. Ostale opazovalnice so v Ljubljani (v observatoriju na Golovcu in na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo - FGG), na Dolskem, Krškem, Ilirski Bistrici in Gotenici. Akcelero graf na observatoriju na Golovcu sestavljata akcelero meter FBA-23 z merilnim območjem 1 g in zajemalna aparatura SSR-1 s 16-bitno analogno digitalno pretvorbo. Akcelero graf na FGG tvorita akcelero meter FBA-23 z merilnim območjem 1 g in zajemalna aparatura SSA-2 z 12-bitnim analogno digitalnim pretvornikom. Enak akcelero graf je nameščen v Dolskem. Akcelero grafi v Goričicah pri Cerknici, v Ilirski Bistrici in v Krškem v jedrski elektrarni imajo občutljivejši senzor FBA-23 z merilnim območjem 0,25 g. Akcelero graf SSA-2 v Jedrski elektrarni Krško je bil decembra 1999 zamenjan z akcelero grafom Etna in je vključen v državno računalniško omrežje, po katerem teče prenos podatkov na observatorij. V Gotenici je nameščen akcelero graf 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 akcelero graf Etna z vgrajenim senzorjem FBA-23 s prenosom podatkov po klicni telefonski liniji. Podatke z ostalih akcelero grafov zbere delavec s pomočjo prenosnega računalnika ob obisku opazovalnice.

Do konca junija 1999 so delovali instrumenti na začasnih opazovalnicah v Plužni, Lepeni in Mali vasi v Bovcu v Posočju, ki so bili namešчени prejšnje leto. Nova začasna opazovalnica je bila postavljena v Veliki Štangi nad Litijo. Tu je bil nameščen digitalni seizmograf Reftek 72A-07/DSK s seizmometrom Guralp CMG-40T.

Potresne opazovalnice so v letu 1999 zabeležile 3123 seizmičnih dogodkov, od tega 1148 lokalnih potresov, 937 regionalnih in 527 oddaljenih. Seizmografi so zapisali tudi 511 umetnih potresov (preglednica 1).

Preglednica 1. Potresi v letu 1999, zabeleženi na slovenskih potresnih opazovalnicah.

Table 1. Earthquakes in 1999 recorded at Slovenian earthquake stations.

mesec	oddaljeni potresi	regionalni potresi	lokalni potresi	umetni potresi	skupaj
Month	Distant earthquakes	Regional earthquakes	Local earthquakes	Artificial	Total
januar January	53	51	148	13	265
februar February	41	71	94	8	214
marec March	40	50	93	40	223
april April	48	71	90	41	250
maj May	45	99	111	43	298
junij June	45	108	91	62	306
julij July	47	134	107	73	361
avgust August	62	89	88	49	288
september September	55	76	87	53	271
oktober October	28	62	111	54	255
november November	35	72	71	44	222
december December	28	54	57	31	170
skupaj Total	527	937	1148	511	3123

Oddaljeni potresi / Distant earthquakes

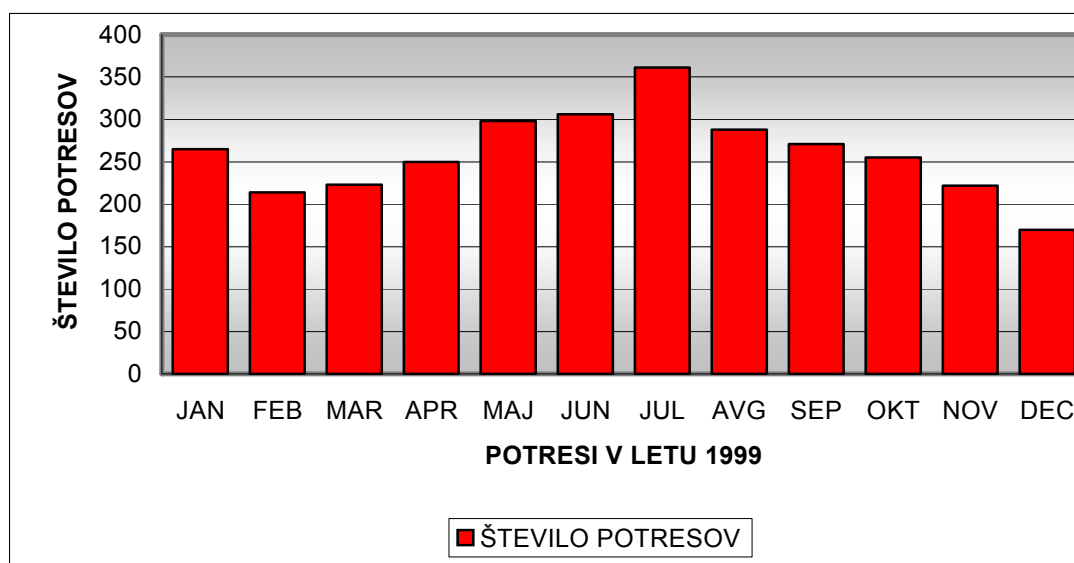
$\Delta > 10^\circ$ (> 1100 km)

Regionalni potresi / Regional earthquakes

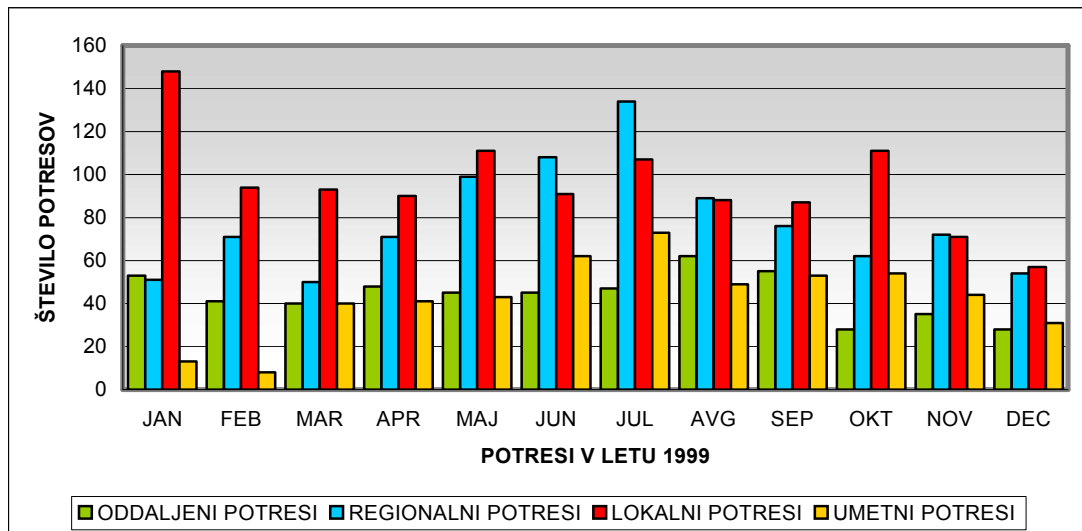
$\Delta < 10^\circ$ (< 1100 km)

Lokalni potresi / Local earthquakes

$\Delta \leq 1,5^\circ$ (≤ 160 km)



Slika 2. Porazdelitev naravnih in umetnih potresov
Figure 2. Distribution of earthquakes and artificials by months.



Slika 3. Skupno število potresnih dogodkov po mesecih
 Figure 3. Distribution of all seismic events by months.

Literatura

- Digital Seismograph System, User Guide and Reference Manual, 1995. Nanometrics, Kanata, Kanada.
- Operations Reference Manual for 72A Series Data Acquisition System, 1994. Reftek, Dallas, Združene države Amerike.
- Operation Instructions for Model SSR-1 Solid State Recorder, 1989. Kinometrics, Pasadena, Združene države Amerike.
- 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.

POTRESI V SLOVENIJI LETA 1999

EARTHQUAKES IN SLOVENIA IN 1999

Ina Cecić¹, Mladen Živčić¹, Martina Torkar¹ in Manfred Deterding²

***Izvleček.** Po potresni dejavnosti sodi leto 1999 med povprečno aktivna v tem stoletju. Prebivalci so čutili najmanj 61 potresnih sunkov, toda nekatera žarišča niso bila na slovenskem ozemlju. Leta 1999 je bil najmočnejši potres v Sloveniji 13. maja ob 16. uri 6 minut po svetovnem času UTC (oziroma ob 18. uri 6 minut po srednjeevropskem poletnem času) z žariščem v Krnskem pogorju. Njegova lokalna magnituda je bila 3,0, največja intenziteta pa V-VI EMS-98. Najmočnejši potres z žariščem zunaj naših meja je bil v Italiji in so ga prebivalci Slovenije čutili 21. marca ob 4. uri 7 minut UTC. Njegova lokalna magnituda izračunana iz zapisov seizmografov državne mreže potresnih opazovalnic je bila 2,8.*

***Abstract.** Year 1999 was among the average in this century according to seismicity in Slovenia. The strongest earthquake happened on 13 May 1999 at 16h 06m UTC (16.06 local time) in Krn Mountains, NW Slovenia. Its local magnitude was 3.0 and the maximum intensity V-VI EMS-98 was observed in villages Idrsko and Drežniške Ravne. The strongest earthquake outside our borders was felt on 21 March at 04.07 UTC. Its epicentre was in Friuli, NE Italy, and its local magnitude was 2.8. In total the inhabitants of Slovenia have felt at least 61 earthquakes.*

Uvod

Po potresni dejavnosti sodi leto 1999 med povprečno aktivna v tem stoletju. Po januarских potresih pri Brezovem (okolica Sevnice), pri Trebnjem, na Volarjih, v Lepeni, pod Snežnikom in Drežnici se je februarja večkrat zatreslo Posočje ter okolica Litije in Metlike. Marca je sledil potres pri Radohovi vasi, prebivalci so čutili še učinke potresov pri Šmatevžu, Kal-Koritnici, Lepeni, Mali Ligojni (okolica Vrhnike), Ravnah pri Velikem Trnu, v Savinjski dolini, pri Litiji in Novem mestu, kot tudi potres iz Furlanije. Aprila so potrese čutili v Beli Krajini, na Gorjancih ter pri Litiji.

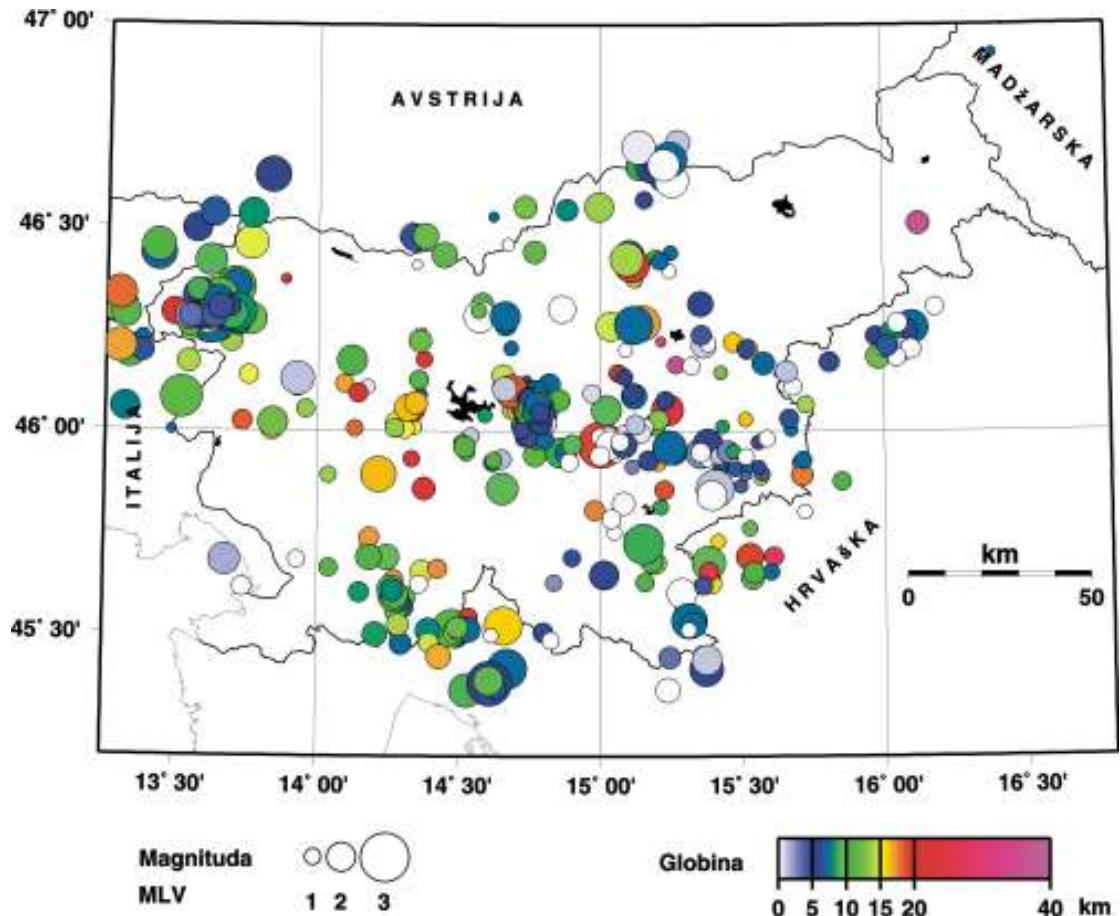
Maja se je nadaljevalo tresenje tal v Posočju. Najmočnejši potres leta 1999 v Sloveniji je bil 13. maja ob 16. uri 6 minut po svetovnem času UTC (oziroma ob 18. uri 6 minut po srednjeevropskem poletnem času) z žariščem v Krnskem pogorju. Njegova lokalna magnituda je bila 3,0 (URSG, 1999-2000), največja intenziteta pa V-VI EMS-98. EMS je okrajšava za evropsko potresno lestvico (Grünthal, 1998a, 1998b). Junija so prebivalci Slovenije čutili potres z žariščem pri Logatcu. V začetku julija je bil potres pri Lepeni, pozneje so se tresli še okolica Litije, Trebnjega in Kobarida. Tudi avgust je bil predvsem v znamenju Posočja, z izjemo enega potresa na avstrijski meji pri Kranjski Gori in dveh pri Žalcu. Septembra se je stresla Dobrepoljska dolina, nadaljevali pa so se tudi popotresi v Posočju. Oktobra so potrese čutili prebivalci Posočja, kot tudi Šentjerneja in Litije s širšo okolico. Novembra smo zbirali podatke za potrese pri Litiji, Uršnih selih, Metliki in Radečah. Ljudje so čutili tudi učinke potresa z žariščem pri Huminu (Gemoni) v Furlaniji. Decembra se je treslo v okolici Tržišča in Čepovana.

Seizmografi državne mreže potresnih opazovalnic so leta 1999 zapisali več kot 1100 lokalnih potresov. Da bi določili, kje je bilo žarišče potresa, potrebujemo podatke najmanj treh

¹ Agencija RS za okolje, urad za seizmologijo, Dunajska 47, Ljubljana

² Agencija RS za okolje, urad za seizmologijo, Pot na Golovec 25, Ljubljana

opazovalnic; če nas zanima še globina, je nujno imeti zapise najmanj štirih. V preglednici 1 smo podali 137 lokalnih potresov, za katere smo lahko določili lokalno magnitudo in je le-ta bila večja kot 1,5, kot tudi 12 šibkejših, ki so jih prebivalci Slovenije čutili. To so le močnejši lokalni potresi, ki jih je zabeležila državna mreža potresnih opazovalnic. Začasno postavljene opazovalnice v zgornjem Posočju pa so jih zabeležile še več – dobrih petsto. Karta nadžarišč (epicentrov) potresov v Sloveniji leta 1999 z opredeljeno magnitudo je na sliki 1.



Slika 1. Nadžarišča potresov leta 1999 v Sloveniji in ozkem obmejnem območju, ki smo jim določili žariščni čas, instrumentalni koordinati epicentra in globino žarišča; barvni simboli različnih velikosti ponazarjajo vrednosti lokalne magnitude M_{LV} ter globine.
Figure 1. Distribution of epicentres in 1999 in Slovenia and narrow border area, whose focal times, epicentral co-ordinates and focal depths were calculated; coloured symbols of varying sizes give information on local magnitude M_{LV} and depth.

Za opredelitev osnovnih parametrov potresov podanih v preglednici 1 smo uporabili vse razpoložljive analize potresov na potresnih opazovalnicah državne mreže v Sloveniji ter v Avstriji, Italiji, na Hrvaškem in Madžarskem. Žariščni čas, to je čas, ko je potres nastal, koordinati nadžarišča in žariščno globino smo opredelili iz časov prihodov vzdolžnega (P) in prečnega (S) valovanja na potresno opazovalnico. Potrese smo locirali s programom HYPOCENTER (Lienert in sod., 1988, Lienert, 1994). Uporabili smo povprečni hitrostni model za ozemlje Slovenije opredeljen iz tridimenzionalnega modela za prostorsko valovanje (Michellini in sod., 1998) in modela za površinsko valovanje (Živčić in sod., 1999). Pri potresih, za katere smo lahko določili le koordinati nadžarišča, smo za žariščno globino privzeli 7 km.

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

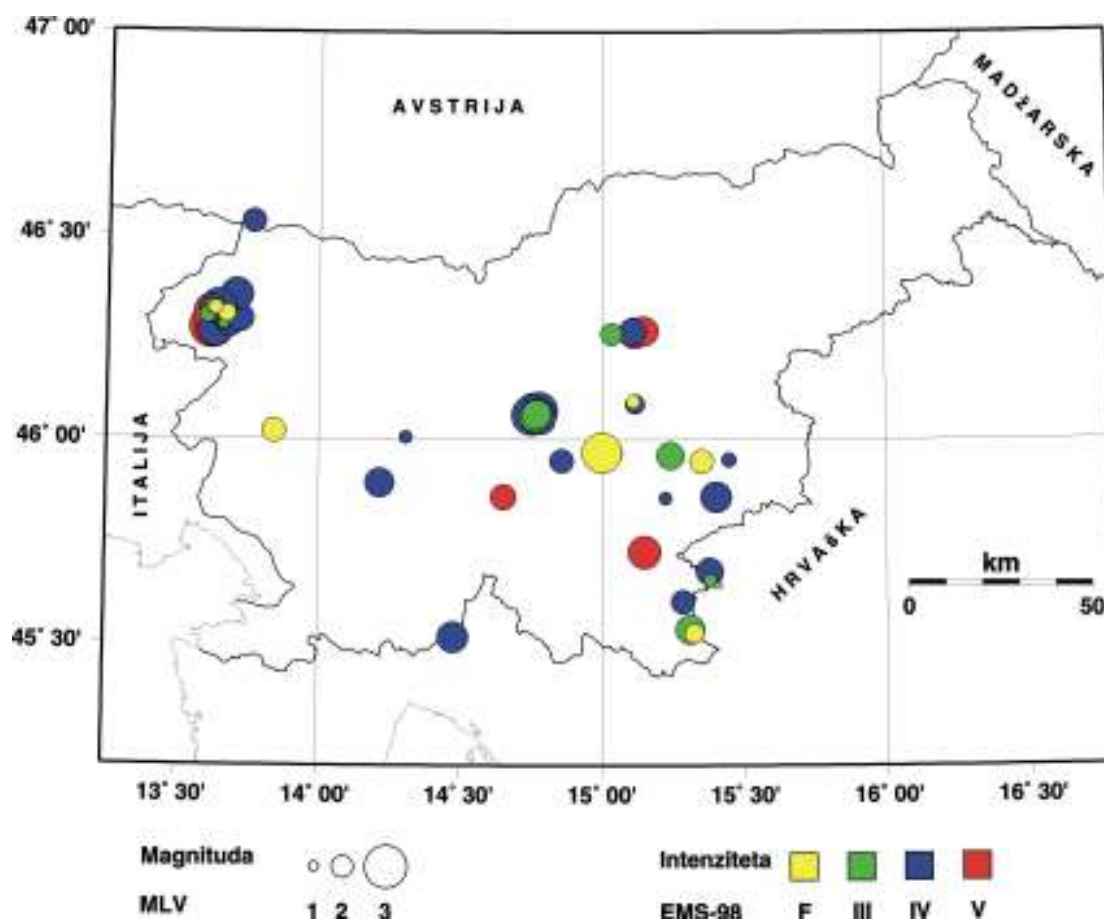
$$M_{LV} = \log(A/T) + 1,52 * \log D - 3,2$$

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 analognih 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).



Slika 2. Intenzitete potresov, ki so jih leta 1999 čutili prebivalci Slovenije.

Figure 2. Earthquakes felt in Slovenia in 1999.

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

Preglednica 1. Seznam potresov leta 1999, ki imajo lokalno magnitudo večjo od 1,5 in ki smo jim lahko izračunali žariščni čas, instrumentalni koordinati nadžarišča (epicentra) in

globino žarišča. Pri potresih, ki so jih ljudje čutili, je navedena še največja intenziteta. V preglednici je tudi 12 potresov manjše lokalne magnitude, ki so jih prebivalci Slovenije čutili.

Table 1. List of earthquakes with $M_{LV} > 1.5$ in 1999 for which the hypocentral time, coordinates of epicentre and focal depth were calculated; the maximum intensity for all felt earthquakes is also provided. Information about 12 earthquakes with weaker magnitude, that were felt by inhabitants of Slovenia, is also included.

št.	dat.	h:m:s	šir	dolž	h	nst	RMS	M_{LV}	M_D	Imax	potresno območje
		UTC	°N	°E	km		s			EMS 98	
no.	date	h:m:s	lat	lon	h	nst	RMS	M_{LV}	M_D	Imax	epicentral area
		UTC	°N	°E	km		s			EMS 98	
1	1.1.	11:50:30,7	45,946	15,351	2	16	0,4	2,1	2,5	čutili	Brezovo
2	1.1.	17:01:20,6	45,970	15,378	6	10	0,7	2,0	2,1		Smečice
3	1.1.	17:27:01,8	45,967	15,000	19	21	0,5	2,9	2,8	čutili	Gornje Ravne
4	4.1.	01:48:16,5	45,498	14,491	12	8	0,4	1,8	2,1		Škurina, meja Hrvaška-Slovenija
5	5.1.	04:05:35,0	46,086	14,751	19	12	0,6	1,9	1,9		Kresniške Poljane
6	7.1.	20:07:26,5	45,521	14,657	16	25	0,8	2,5	2,7		Skednari, meja Hrvaška-Slovenija
7	8.1.	17:48:42,7	46,080	14,756	13	12	0,5	1,8	1,9		Kresniške Poljane
8	9.1.	02:54:20,7	46,295	13,718	9	27	0,5	2,3	2,8	IV	Veliki Bogatin
9	9.1.	03:50:05,6	46,306	13,670	8	3	0,1		1,7	zvok	Lepena
10	12.1.	23:20:02,6	46,441	14,764	12	9	0,6	1,6	1,6		Bistra, meja Slovenija-Avstrija
11	13.1.	05:39:37,3	45,415	14,671	7	30	0,5	2,6	2,8		Crni Lug, meja Hrvaška-Slovenija
12	18.1.	22:41:23,2	45,515	14,476	11	29	0,5	2,5	1,8	IV	Smrekovac, meja Hrvaška-Slovenija
13	20.1.	10:19:43,1	45,506	14,490	13	6	0,3	1,7	2,3		Škurina, meja Hrvaška-Slovenija
14	24.1.	18:49:25,4	46,552	14,994	13	5	0,6	2,0	1,4		Dobrije, meja Slovenija-Hrvaška
15	26.1.	15:40:12,0	46,651	15,137	8	8	0,5	1,9	1,6		Branik nad Muto, meja Slovenija-Avstrija
16	31.1.	21:52:20,8	46,031	14,774	7	10	0,5	1,9	2,0		Gozd-Reka
17	2.2.	20:17:40,9	46,433	14,445	10	15	0,5	1,8	2,0		Košuta, meja Avstrija- Slovenija
18	4.2.	18:07:58,2	46,301	13,648	8	29	0,5	1,9	2,5	IV	Lepena
19	5.2.	08:10:08,5	46,049	14,783	16	21	0,6	2,4	2,7	IV	Dragovšek
20	5.2.	15:36:43,0	46,062	14,767	7	11	0,6	1,8	1,9		Mala Štanga
21	5.2.	15:37:39,6	46,060	14,752	16	33	0,6	2,9	3,2	IV-V	Mala Štanga
22	5.2.	17:00:05,6	46,059	14,777	1	11	0,6	1,8	1,8		Velika Štanga
23	15.2.	19:34:51,9	46,071	14,777	13	36	0,5	2,8	3,0	IV-V	Golišče
24	21.2.	04:11:28,4	46,061	14,779	10	11	0,4	1,6	1,9		Golišče
25	21.2.	19:18:04,7	46,281	13,658	7	9	0,2	1,2	2,4	III-IV	Lepena
26	24.2.	20:21:18,9	45,601	15,284	0	13	0,6	2,1	2,4	IV	Škrilje, meja Slovenija-Hrvaška
27	27.2.	02:37:54,3	46,286	13,648	11	19	0,4	1,3	2,2	IV	Lepena
28	5.3.	18:30:24,2	45,947	14,857	8	18	0,5	2,1	2,6	IV	Radohova vas
29	6.3.	19:29:03,8	45,638	15,532	9	8	0,3	1,6	1,7		Brezarič, meja Hrvaška-Slovenija

št.	dat.	h:m:s	šir	dolž	h	nst	RMS	M _{LV}	M _D	lmax	potresno območje
		UTC	°N	°E	km		s			EMS 98	
no.	date	h:m:s	lat	lon	h	nst	RMS	M _{LV}	M _D	lmax	epicentral area
		UTC	°N	°E	km		s			EMS 98	
30	8.3.	11:52:49,2	46,258	15,033	14	15	0,6	2,0	2,1	III-IV	Šmatevž
31	10.3.	02:03:59,7	46,323	13,617	7	15	0,2	1,4	2,3	III-IV	Kal-Koritnica
32	13.3.	00:41:07,6	46,286	13,657	7	22	0,5	1,8	2,1	IV	Lepena
33	13.3.	19:20:36,8	46,005	14,307	15	8	0,2	1,3	2,1	IV	Mala Ligojna
34	15.3.	05:54:39,9	45,950	15,447	3	6	0,4	1,5	1,6	IV	Kobile
35	15.3.	19:19:16,3	46,059	14,753	17	13	0,5	2,0	2,1		Mala Štanga
36	17.3.	22:26:10,4	46,266	15,148	17	26	0,6	2,4	2,8	V	Podlog v Savinjski dolini
37	18.3.	11:53:53,3	46,293	13,681	7	19	0,5	1,8	2,5		Lepena
38	20.3.	09:25:46,4	45,689	14,245	9	17	0,4	1,8	2,0		Trnje
39	21.3.	23:57:52,9	46,060	14,782	7	10	0,6	1,8	2,0		Golišče
40	22.3.	00:03:11,4	46,069	14,759	7	49	0,5	2,8	3,0	IV-V	Mala Štanga
41	27.3.	10:05:35,5	46,314	15,352	6	4	0,1	1,8	1,7		Male Dole
42	30.3.	08:40:00,6	45,508	14,394	8	6	0,3	1,8	2,0		Zabiče, meja Slovenija-Hrvaška
43	31.3.	21:57:54,3	45,856	15,224	19	9	0,3	1,3	1,9	IV-V	Vrh pri Pahi
44	7.4.	22:18:54,7	45,533	15,310	7	30	0,5	2,4	2,7	III-IV	Dolenjci, meja Slovenija-Hrvaška
45	8.4.	11:01:24,0	45,524	15,323	7	9	0,6	1,8	2,5	čutili	Mrzljaki, meja Hrvaška-Slovenija
46	11.4.	21:51:16,2	45,676	15,379	10	19	0,5	2,3	2,6	IV-V	Železniki, meja Slovenija-Hrvaška
47	13.4.	06:54:22,3	46,058	14,763	19	22	0,3	2,5	2,8	III-IV	Mala Štanga
48	15.4.	08:27:41,2	46,053	15,236	24	13	0,7	2,2	2,0		Radež
49	20.4.	23:52:28,4	45,513	14,506	12	12	0,4	1,8	1,7		Škurina, meja Hrvaška-Slovenija
50	20.4.	23:52:50,0	45,511	14,535	7	6	0,4	1,7	2,2		Škurina, meja Hrvaška-Slovenija
51	24.4.	14:47:55,6	46,245	16,078	5	10	0,5	1,7	2,5		Bedenec, meja Hrvaška-Slovenija
52	9.5.	05:26:57,8	45,948	15,258	7	11	0,8	1,7	2,0		Jeperjek
53	12.5.	03:41:55,9	46,265	13,626	6	61	0,5	2,6	3,3	IV-V	Drežnica
54	13.5.	16:06:52,3	46,273	13,613	10	77	0,5	3,0	3,8	V-VI	Drežniške Ravne
55	23.5.	14:23:27,5	46,268	13,626	7	66	0,5	2,8	3,3	V	Drežniške Ravne
56	29.5.	09:00:25,4	46,054	14,757	17	18	0,4	2,2	2,8		Mala Štanga
57	29.5.	16:04:25,4	46,241	16,029	8	12	0,5	1,6	2,4		Bednja, meja Hrvaška-Slovenija
58	6.6.	13:54:09,7	46,045	14,789	7	11	0,6	1,8	2,2		Dragovšek
59	8.6.	19:46:50,0	45,893	14,215	16	32	0,4	2,4	2,9	IV	Kalce
60	11.6.	15:52:03,8	46,624	15,222	7	7	0,6	1,9	2,1		Radlje ob Dravi, meja Slovenija-Avstrija
61	14.6.	12:12:10,6	46,510	16,127	36	3	0,3	1,6			Vidanovci
62	16.6.	13:07:22,9	46,301	14,861	0	3	0,5	1,9	1,2		Bočna
63	20.6.	18:57:58,0	45,414	15,368	6	24	0,5	2,3	2,6		Bosiljevo, meja Hrvaška-Slovenija
64	21.6.	03:18:10,4	46,480	14,377	12	10	0,5	1,8	1,8		Zell Pfarre, meja Avstrija-Slovenija

št.	dat.	h:m:s	šir	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	
65	22.6.	11:23:36,1	46,052	15,019	9	13	0,9	2,1	2,4		Zavrh
66	22.6.	21:03:05,0	46,005	13,837	15	16	0,3	1,6	2,3		Gorenja Trebuša
67	1.7.	07:25:32,0	46,315	13,656	7	31	0,3	2,0	2,6	IV	Lepena
68	6.7.	02:25:41,8	45,859	14,376	21	8	0,3	1,6	1,5		Dobec
69	13.7.	13:49:00,0	45,499	14,207	8	6	0,6	1,7	1,8		Starod, meja Slovenija-Hrvaška
70	17.7.	21:50:07,1	46,053	14,778	10	24	0,4	2,3	2,9	IV	Velika Štanga
71	22.7.	08:02:37,5	46,042	14,778	10	13	0,4	1,8	2,0		Dragovšek
72	24.7.	12:04:41,7	45,966	15,033	0	13	0,6	2,0	2,4	IV	Sajenice
73	25.7.	13:40:44,2	45,676	15,189	13	7	0,4	1,6	2,1		Podreber
74	25.7.	14:48:18,3	46,058	14,774	7	23	0,5	2,3	2,7	V	Velika Štanga
75	25.7.	21:07:11,1	46,306	13,623	8	73	0,6	2,9	3,3	V	Lepena
76	29.7.	17:49:44,0	45,363	15,234	0	4	0,5	1,7	2,1		Osojnik, meja Hrvaška-Slovenija
77	1.8.	19:52:52,6	46,711	15,274	1	4	0,4	1,7	1,3		Eibiswald, meja Avstrija-Slovenija
78	4.8.	15:12:19,1	46,649	15,180	5	9	0,4	2,1			Brezovec, meja Slovenija-Avstrija
79	5.8.	19:32:26,4	45,654	14,370	14	7	0,3	1,6	2,0		Škodovnik
80	12.8.	15:10:36,6	46,183	15,981	12	9	0,6	1,7	2,7		Gregurovec, meja Hrvaška-Slovenija
81	13.8.	15:54:13,2	46,534	13,764	8	26	0,3	2,1	2,7	IV-V	Krainberg, meja Avstrija-Slovenija
82	15.8.	02:21:03,2	45,691	15,524	19	12	0,8	1,9	2,4		Kostanjevac, meja Hrvaška-Slovenija
83	17.8.	02:21:31,3	45,362	14,527	9	23	0,5	2,3	2,8		Kamenjak, meja Hrvaška-Slovenija
84	18.8.	14:30:58,3	46,310	13,611	8	20	0,5	1,7	2,4	IV	Lepena
85	18.8.	22:37:34,2	46,303	13,603	6	26	0,5	1,6	2,4	III-IV	Čezsoča
86	22.8.	15:54:41,6	46,264	15,107	11	21	0,5	2,3	2,6	IV-V	Ločica ob Savinji
87	25.8.	10:33:32,5	46,262	15,115	7	15	0,5	2,5	2,7	V	Dobrteša vas
88	25.8.	16:11:37,2	46,659	15,197	6	16	0,5	1,8	2,5		Grebin, meja Avstrija-Slovenija
89	27.8.	17:08:58,3	46,311	13,639	7	33	0,6	2,2	2,6	IV-V	Lepena
90	27.8.	19:02:19,9	46,305	13,677	12	9	0,4	1,3	2,3	IV	Lepena
91	28.8.	23:27:41,4	45,689	14,184	10	19	0,5	1,8	2,5		Gradec
92	3.9.	02:04:00,8	46,071	14,782	7	11	0,7	1,8	2,2		Golišče
93	8.9.	14:23:30,4	45,859	14,651	9	22	0,5	2,2	2,9	V	Ponikve
94	10.9.	08:24:06,6	45,942	14,767	11	8	0,2	1,6	1,8		Polje pri Višnji Gori
95	10.9.	12:49:16,2	46,190	16,045	3	9	0,4	1,6	2,5		Lepoglava, meja Hrvaška-Slovenija
96	10.9.	15:54:09,7	46,198	16,056	1	12	0,5	1,8	2,5		Lepoglava, meja Hrvaška-Slovenija
97	14.9.	10:44:30,0	45,822	15,080	0	6	0,5	1,6	2,4		Goriška vas
98	16.9.	02:57:36,5	46,318	13,621	12	39	0,5	2,3	2,9	IV	Lepena
99	16.9.	17:17:03,4	46,074	14,761	10	13	0,5	1,7	1,9		Golišče

št.	dat.	h:m:s	šir	dolž	h	nst	RMS	M _{LV}	M _D	lmax	potresno območje
		UTC	°N	°E	km		s			EMS 98	
no.	date	h:m:s	lat	lon	h	nst	RMS	M _{LV}	M _D	lmax	epicentral area
		UTC	°N	°E	km		s			EMS 98	
100	16.9.	21:46:54,8	46,353	13,705	10	43	0,5	2,6	3,0	IV	Soča
101	16.9.	21:47:43,7	46,357	13,708	7	20	0,5	2,1	2,5		Soča
102	20.9.	06:46:43,0	46,430	13,440	8	21	0,5	1,7	2,6		Curtissov, meja Italija-Slovenija
103	21.9.	13:07:51,9	46,015	14,765	6	3	0	2,0	1,0		Gozd-Reka
104	29.9.	07:44:06,6	46,029	14,746	6	3	0	1,9	0,8		Malo Trebeljevo
105	1.10.	07:08:58,3	46,323	13,641	11	54	0,5	2,7	3,0	IV-V	Lepena
106	3.10.	08:17:43,6	46,320	13,630	9	20	0,5	1,4	2,4	čutili	Lepena
107	4.10.	11:47:54,2	45,966	15,082	6	10	0,2	1,8	1,9		Straža
108	5.10.	01:02:37,0	46,222	14,360	12	6	0,5	1,6	1,6		Kranj
109	6.10.	13:13:29,8	45,592	14,270	11	7	0,2	2,1	2,1		Šembije
110	6.10.	15:11:14,1	45,612	14,263	11	7	0,2	1,9	2,0		Šembije
111	6.10.	16:32:39,0	45,597	14,275	10	4	0,2	1,9	1,7		Šembije
112	6.10.	16:45:31,7	45,842	15,390	0	5	0,3	2,1	2,5	IV-V	Gruča
113	9.10.	01:24:07,0	46,058	14,772	12	47	0,5	2,7	3,2	IV	Mala Štanga
114	9.10.	23:58:13,2	46,279	13,684	6	17	0,2	1,6	2,4		Lepena
115	10.10.	04:08:18,5	45,987	14,772	10	8	0,2	1,7	1,3		Poljane pri Stični
116	18.10.	13:12:55,9	46,056	14,766	8	8	0,5	1,6	1,7		Mala Štanga
117	19.10.	11:24:35,6	45,437	15,370	1	6	0,2	2,1	2,4		Vodena Draga, meja Hrvaška-Slovenija
118	20.10.	07:54:19,5	46,167	15,575	7	3	0	1,6			Sopote
119	23.10.	17:29:03,6	45,992	14,754	4	3	0	1,8	0,8		Leskovec
120	23.10.	21:50:59,2	46,551	14,731	13	4	0,4	1,6	1,3		Janče
121	24.10.	11:43:35,2	46,282	13,680	7	33	0,6	2,3	2,9	IV-V	Lepena
122	26.10.	15:10:57,0	46,288	13,664	10	35	0,6	2,0	2,7		Lepena
123	28.10.	15:06:38,2	46,669	15,242	7	9	0,5	2,4	1,9		Radelca
124	29.10.	21:50:34,2	46,318	13,644	7	34	0,5	2,0	2,6	IV	Lepena
125	30.10.	03:36:04,7	46,098	14,686	19	13	0,5	2,3	2,0		Kamnica
126	30.10.	03:36:39,4	46,094	14,770	7	9	3,1	1,7	1,5		Ribče
127	30.10.	18:37:20,6	46,076	14,752	6	4	0,1	1,9	0,8		Jevnica
128	6.11.	13:55:30,1	46,279	13,678	7	23	0,4	1,7	2,3		Lepena
129	7.11.	09:06:14,3	45,445	14,431	17	5	0,6	1,7	2,1		Klana, meja Hrvaška-Slovenija
130	9.11.	14:04:00,5	46,062	14,769	10	20	0,5	2,4	2,6	III	Mala Štanga
131	19.11.	04:35:30,2	45,608	14,266	8	3	0	1,6	1,4		Šembije
132	20.11.	02:10:56,8	45,723	15,149	9	30	0,4	2,6	2,7	V	Uršna sela
133	23.11.	13:16:04,0	45,654	15,380	25	4	0,4	1,3		III-IV	Božakovo
134	23.11.	21:45:30,9	46,087	15,116	7	17	0,5	1,8	2,1	IV	Čimerno
135	23.11.	22:03:31,9	46,093	15,111	6	9	0,4	1,4	1,4	čutili	Čimerno
136	25.11.	18:14:39,2	46,211	15,363	1	4	0,1	1,7	1,8		Krajncica

št.	dat.	h:m:s	šir	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	
137	26.11.	13:10:24,2	46,104	14,660	1	3	0,6	1,7	0,4		Zajelše
138	3.12.	07:04:01,1	46,045	14,794	6	9	0,3	1,6	1,6		Dragovšek
139	4.12.	14:13:15,6	45,646	15,011	6	19	0,6	2,0	2,2		Rajhenav
140	8.12.	19:40:25,5	46,054	14,333	21	13	0,3	1,8	2,0		Srednja vas pri PolhGradcu
141	9.12.	02:32:07,8	46,057	14,319	16	18	0,5	1,9	2,2		Polhov Gradec
142	11.12.	07:55:25,4	45,960	15,241	7	22	0,5	2,3	2,4	III-IV	Zgornje Vodale
143	14.12.	15:20:10,0	46,699	15,135	0	3	0,1	2,3	1,6		St. Oswald, meja Avstrija-Slovenija
144	16.12.	07:01:00,3	45,379	14,609	6	56	0,5	2,8	2,9		Mrzla Vodica, meja Hrvaška-Slovenija
145	16.12.	15:06:16,1	46,655	15,223	0	3	0,1	2,2	2,7		Silberberg, meja Avstrija-Slovenija
146	17.12.	01:22:04,2	46,068	14,775	7	11	0,5	1,8	1,6		Golišče
147	17.12.	21:57:27,0	45,386	14,605	10	22	0,5	2,1	2,4		Mrzla Vodica, meja Hrvaška-Slovenija
148	21.12.	06:11:30,9	46,069	14,346	16	6	0,2	1,6	1,4		Dvor pri Polhovem Gradcu
149	23.12.	05:36:47,7	46,021	13,841	12	10	0,2		2,1	čutili	Gorenja Trebuša

Na različnih območjih Slovenije so prebivalci čutili več kot 59 potresnih sunkov, za dva dogodka imamo podatke le o zvoku in ne tudi o samem tresenju tal. En potres je dosegel največjo intenziteto V-VI EMS-98 in 7 potresov intenziteto V EMS-98. Najmočnejši potres leta 1999 je bil 13. maja v Posočju.

V naslednjem poglavju (in na slikah 3 do 20) so natančneje opisani najmočnejši in le nekateri šibkejši potresi, ki so jih v letu 1999 čutili prebivalci Slovenije. Zaradi velikega števila dogodkov ni bilo mogoče predstaviti učinkov prav vseh. Slika 2 kaže nadžarišča in največje intenzitete teh potresov. Potresa 21. marca in 2. junija tu nista predstavljena, ker sta bili njihovi žarišči zunaj Slovenije (v Italiji). Sliki 1 in 2 sta bili narejeni s programom GMT (Wessel and Smith, 1991 in 1998). Na sliki 21 so izrisane intenzitete za slovenske kraje v letu 1999. Če je bilo za kak kraj več podatkov o intenziteti za različne potrese, je na karti podana maksimalna dosežena intenziteta.

Preglednica 2. Seznam potresov z žarišči v drugih državah, ki so jih v letu 1999 čutili prebivalci Slovenije.

Table 2. List of earthquakes in 1999 with origins in other countries that were felt by the inhabitants of Slovenia.

zap. št.	mesec	dan	ura (UTC)	min.	največja intenziteta v Sloveniji (EMS-98)	nadžarišče
no.	month	day	hour (UTC)	min.	maximum intensity in Slovenia (EMS-98)	epicentre
1	3	21	04	07	III-IV	Furlanija, Italija
2	11	22	16	16	III	Furlanija, Italija

Preglednica 3. Potresa v letu 1999, ki so ju čutili nekateri prebivalci določenih predelov Slovenije, pa jima nismo mogli določiti potresnih parametrov.

Table 3. Events in 1999 felt by some observers in Slovenia for which the parameters could not be estimated.

zap. št.	mesec	dan	ura (UTC)	min.	največja intenziteta v Sloveniji (EMS-98)	nadžarišče
no.	month	day	hour (UTC)	min	maximum intensity in Slovenia (EMS-98)	epicentre
1	1	22	04	04	čutili	Drežnica
2	11	20	02	23	zvok	Vinja vas

Podatki o nekaterih potresih, ki so jih prebivalci čutili

9. januar 1999 ob 2. uri 54 minut UTC. Zmerno tresenje tal z intenziteto IV EMS-98 so čutili prebivalci enajstih krajev v Posočju. Iz sna jih je zbudil sunek in ropot tal, podoben eksploziji. V Kobaridu so opazili odpiranje priprtih vrat. Vsi opazovalci so trdili, da je bil potres izredno kratek.

18. januar 1999 ob 22. uri 41 minut UTC. O zmernem tresenju tal z intenziteto IV EMS-98 so poročali prebivalci Novokračin (pri Ilirski Bistrici). Potres so v Sloveniji čutili le redki ljudje v Koritnicah in Šmihelu pri Pivki. Zadnji so slišali tudi rahlo bobnenje. Na Hrvaškem so potres čutili na Reki, kot tudi v krajih Dramalj, Dražice in Kraljevica.

4. februar 1999 ob 18. uri 7 minut UTC. Zmeren potres z intenziteto IV EMS-98 so čutili prebivalci Posočja, in sicer v krajih Volarje, Kobarid, Bovec, Soča in Trenta. Predhodnemu močnemu hrumenju v podzemlju, ki je prestrašilo prebivalce, je sledilo kratko tresenje tal. Na že poškodovanih objektih so se razpoke ponovno povečale.

5. februar 1999 ob 8. uri 10 minut in 15. uri 37 minut UTC. Prvi potres so najmočneje (z intenziteto IV EMS-98) čutili v Moravčah in Stari Gori pri Velikem Gabru. Drugi potres je imel nekoliko močnejše učinke (IV-V EMS-98) in sicer v krajih Dob, Dolsko in Podpeč (slika 3). V Dobu so stanovalci čutili močno tresenje, ki jih je pregnalo iz sob. Ponekod so slišali še rahel šum podoben močnejšemu vetru.

15. februar 1999 ob 19. uri 34 minut UTC. Precej močno tresenje tal z intenziteto IV-V EMS-98 so čutili v krajih Dolsko, Dvor pri Bogenšperku, Kresniški Vrh in Ponoviče (slika 4). Naslednji dan so na starejši zgradbi v Ribčah opazili, da je skupaj s snegom iz strehe zdrnil tudi dimnik. Zaradi večkratnih potresov je nad stanovanjskimi vrati opazovalca iz Kresnic nastala razpoka. V Dolskem so slišali močno bobnenje, ki je prihajalo od spodaj navzgor.

24. februar 1999 ob 20. uri 21 minut UTC. O zmernem tresenju tal z intenziteto IV EMS-98 so poročali opazovalci iz Metlike, Dolnjega Suhorja in Vrhovcev. Potres so opisali kot enkratni stres, ki ga je spremljal kratkotrajen hrup. Tudi v drugih krajih so prebivalci slišali bolj ali manj močan zvok. Na Hrvaškem potresa niso čutili.

5. marec 1999 ob 18. uri 30 minut UTC. Zmerno tresenje tal z intenziteto IV EMS-98 so najmočneje čutili v Dolnjih Praprečah (okolica Trebnjega). Prebivalce je prebudil zamolkel pok in istočasno tresenje hiš. V drugih krajih so bili učinki šibkejši in so jih zato opazili le posamezniki, ki so bili v stanovanjih, predvsem v višjih nadstropjih.

13. marec 1999 ob 0. uri 41 minut UTC. Tresenje tal z intenziteto IV EMS-98 so čutili prebivalci Drežnice, Magozda in Mlinskega (v Posočju). Potresni sunek je, po njihovih poročilih, trajal zelo kratek čas. Ponekod so slišali značilno zamolklo bobnenje.

13. marec 1999 ob 19. uri 20 minut UTC. O tresenju tal z intenziteto IV EMS-98 so poročali iz Horjula. Ob potresu je močno počilo. Tisti, ki živijo v hišah z lesenim stropom, so ob poku menili, da se je na streho nekaj zrušilo. V Zaklancu je bilo slišati pok podoben eksploziji v kamnolomu.

15. marec 1999 ob 5. uri 54 minut UTC. Ta potres je bil tako šibek, da so ga čutili le v dveh naseljih: Ravni pri Velikem Trnu (IV EMS-98) in Gorenja vas pri Leskovcu. V Ravneh ni bilo nihanja, temveč so krajani čutili potres le kot bi nekdo hišo dvignil in jo spustil na tla z vso silo.

17. marec 1999 ob 22. uri 26 minut UTC. Močno tresenje tal z intenziteto V EMS-98 so čutili prebivalci Zgornjih Roj v okolici Žalca (slika 5). Ljudi je zbudil iz spanja in prestrašil močan pok in tresenje tal. Imeli so občutek, da je bilo tresenje tal kratkotrajno, kot pri kakšni eksploziji. Nekateri so slišali večkratno ponovitev bobnenja, vendar do tresenja tal ni prišlo. V Preboldu so se zbudili posamezni otroci, živali pa so postale nemirne.

21. marec 1999 ob 4. uri 7 minut UTC. Potres je imel žarišče v Italiji, v pogorju Montaža v Furlaniji (Jof di Montasio, Friuli). V Sloveniji so tresenje tal z intenziteto III-IV EMS-98 čutili prebivalci Kobarida, Srpenice, Žage in Soče. V Srpenici so tik pred potresom opazili nemir psa.

22. marec 1999 ob 0. uri 3 minut UTC. Tresenje tal z intenziteto IV-V EMS-98 so čutili prebivalci Kresnic (slika 6). Tam se je stresla zemlja za kratek hip, vmes je zabobnelo. Ljudje so prižigali luči in se pogovarjali o potresu. V Ribčah so čutili tresenje kot eksplozijo. Tudi v Mali Loki pri Grosupljem so slišali bobnenje, nato je precej močno streslo.

31. marec 1999 ob 21. uri 57 minut UTC. Dokaj močno tresenje tal z intenziteto IV-V EMS-98 so čutili v Šmarjeti, nekoliko šibkeje pa v Šmarjeških Toplicah in Lešnici (okolica Otočca ob Krki). Potres je prebivalce prebudil iz spanja. Močno se je zatreslo in močno zabobnelo. V montažnih hišah je bilo tresenje še bolj izrazito.

11. april 1999 ob 21. uri 51 minut UTC. Ta potres je imel žarišče v Gorjancih, na meji s Hrvaško (slika 7). Najmočnejše (IV-V EMS-98) so ga čutili prebivalci Metlike, ki so med tresenjem tal slišali močan pok, kot bi se nekaj zrušilo.

12. maj 1999 ob 3. uri 41 minut UTC. Dokaj močno tresenje tal so z intenziteto IV-V čutili prebivalci Idrskega in Kobarida (slika 8). Ponekod je na poškodovanih hišah ponovno popokal omet. Sunek je bil kratek in močan, spremljalo ga je hrumenje. Potres je nekatere ljudi močno vznemiril, saj so zapustili hiše in se razburjeno pogovarjali o tem.

13. maj 1999 ob 16. uri 6 minut UTC. Najmočnejši potres leta 1999 z intenziteto V-VI so EMS-98 čutili na Idrskem in v Drežniških Ravnah (slika 9). Krajani, ki so bili na prostem so slišali hrup pločevinastih streh in bobnenje, opazili so tudi premikanje slabo pritrjene pločevinaste strešne kritine. Marsikdo, ki je bil med potresom v stavbi, je zbežal na prosto. Ljudi se je polotila manjša panika. Obstoječe poškodbe na objektih so se povečale, iz nepopravljenih hiš pa je odpadel omet. V Bovcu so slišali pok iz smeri Rombona.

23. maj 1999 ob 14. uri 23 minut UTC. Tresenje tal z intenziteto V EMS-98 so čutili prebivalci Kobarida in Idrskega (slika 10). Krajanka v Idrskem, ki je bila na prostem, je imela občutek, da se ji tla pod nogami izmikajo. V Kobaridu je bil sunek kratek in precej močan, čutili so ga kot navpičen udar. Tudi luči niso zanihale. Ljudje na prostem so slišali hrumenje.

8. junij 1999 ob 19. uri 46 minut UTC. Zmerno tresenje tal z intenziteto IV EMS-98 so čutili v petih krajih: Laze, Logatec, Medvedje Brdo, Idrija in Planina pri Rakeku. V Logatcu je bilo slišati močno bobnenje podobno grmenju. Nekateri so menili, da gre za miniranje v peskokopu. Bobnenje so slišali tudi drugje. Tako so v Idriji najprej slišali bobnenje, nato pa so zažvenketale šipe in zanihala tla.

1. julij 1999 ob 7. uri 25 minut UTC. Tla na Seliščih, na Žagi in v Bovcu so se stresla z intenziteto IV EMS-98. V Kobaridu so potres zaznali le redki. Na Livku je zmerno tresenje tal spremljalo bobnenje. Tudi v Bovcu so istočasno s potresom slišali kratkotrajno hrumenje.

17. julij 1999 ob 21. uri 50 minut UTC. Zmerno tresenje tal z intenziteto IV EMS-98 so čutili v vasi Vrata (okolica Litije). Tudi tokrat so opazovalci poročali o bobnenju, ki ga je spremljalo tresenje tal.

24. julij 1999 ob 12. uri 4 minut UTC. Ta potres so z intenziteto IV EMS-98 čutili v Trebnjem. Leseni stropi so glasno zaškripali, kar je vznemirilo posamezne občane.

25. julij 1999 ob 14. uri 48 minut UTC. O močnem tresenju tal z intenziteto V EMS-98 so poročali prebivalci Velike Kostrevnice. Potres so čutili le še v Litiji (IV EMS-98) in na Vevčah v Ljubljani (III EMS-98). Zanimivo je, da je ob navedenem času nenavaden zvok slišala tudi občanka na precej oddaljenem Kokrskem sedlu.

25. julij 1999 ob 21. uri 7 minut UTC. Močan potres z intenziteto V EMS-98 so čutili v Bovcu in Soči (slika 11). V Bovcu so z nočnih omaric popadale lučke, s polic so padle knjige, slike na stenah so se premaknile, obešene luči so močno nihale. Pred sunkom je ljudi prebudilo bobnenje, ki je postajalo vedno močnejše, končalo pa se je z močnim stresom tal. Pri tem so ljudje imeli občutek zaviranja in nenadne ustavitve vozila pri hitri vožnji.

13. avgust 1999 ob 15. uri 54 minut UTC. Precej močno tresenje tal z intenziteto IV-V EMS-98 so čutili v Kranjski Gori in Ratečah (slika 12). V Ratečah so zaslišali čudno bobnenje, zaropotale so strehe, nekateri so šli na prosto, vendar niso vedeli, da gre za potres. V Kranjski Gori se je slišal močan pok podoben eksploziji. Po podatkih avstrijskega Centralnega inštituta za meteorologijo in geodinamiko (ZAMG) potresa na avstrijski strani niso čutili.

18. avgust 1999 ob 14. uri 30 minut in 22. uri 37 minut UTC. Zmerno tresenje tal z intenziteto IV EMS-98 so ob pol petih popoldan po lokalnem času čutili prebivalci Bovca, Trnovega ob Soči in Drežnice. Posebej močno so ga čutili tisti, ki so se takrat nahajali v lesenih barakah. Potres je spremljal močan hrup, kot pri zagonu močnega dizel motorja. Nočni potres so čutili v Bovcu (III EMS-98) le tisti, ki so kljub pozni uri še bedeli.

22. avgust 1999 ob 15. uri 54 minut UTC. Ta potres so najmočnejše (z intenziteto IV-V EMS-98) čutili v Žalcu (slika 13). Potres so čutili tudi ljudje, ki so bili na prostem. Slišati je bilo bobnenje iz notranjosti zemlje. Psi so lajali. Opazovalci iz drugih krajev so poročali

predvsem o zvoku podobnem eksploziji. Prebivalci so odhajali na prosto, ker so se bali močnejšega sunka.

25. avgust 1999 ob 10. uri 33 minut UTC. Močno tresenje tal z intenziteto V EMS-98 so čutili prebivalci Šempetra v Savinjski dolini (slika 14). Opisali so ga kot enkratni sunek s tresenjem in z zvokom. Tudi v številnih drugih krajih so slišali močno bobnenje. Krajanka iz Prebolda je potres zaznala v kleti, kjer so se stresla tla in zažvenketali kozarci. V Šeščah so opazili vznemirjenje živali.

27. avgust 1999 ob 17. uri 8 minut in 19. uri 2 minuti UTC. Prvi potres so najmočneje (IV-V EMS-98) čutili na Idrskem (slika 15). Najprej so zaslišali bučanje, nato so se stresle hiše. V Bovcu so potres najbolj čutili tisti, ki so bili v zaprtih prostorih. Naslednji potres so z intenziteto IV EMS-98 čutili prebivalci Volarij. Potres je spremljal močan pok iz notranjosti zemlje in hrumenje.

8. september 1999 ob 14. uri 23 minut UTC. Prebivalci Ponikev in Predstrug so čutili močno tresenje tal z intenziteto V EMS-98 (slika 16). Prebivalci so obenem slišali močen pok, kot bi v bližini minirali. Primerjali so ga tudi s prebojem zvočnega zidu.

16. september 1999 ob 2. uri 57 minut in 21. uri 46 minut UTC. Tla v Posočju so se zopet zatresla; prvič zgodaj zjutraj, ko so zmerno tresenje (IV EMS-98) čutili v Kobaridu, na Volarjah, v Žagi, Drežnici in Bovcu; in drugič pozno zvečer, ko je vnovično tresenje zbudilo in prestrašilo prebivalce Volarij in Tolmina. V primerih, ko se v istem dnevu zgodita dva ali več približno enako močnih potresov, se pogosto zgodi, da opazovalci na vprašalniku pozabijo pripisati, na kateri potres se nanaša njihov opis. Zato je tak vprašalnik neuporaben.

1. oktober 1999 ob 7. uri 8 minut UTC. Dokaj močno tresenje tal z intenziteto IV-V EMS-98 so čutili v Srpenici in Bovcu (slika 17). V Bovcu so opazili, da so se ponekod knjige na policah premaknile. V poškodovanih hišah je po tleh padal omet. Prebivalce je tresenje tal ponovno prestrašilo, tudi zato, ker ga je spremljalo grmenje. Slišalo se je škripanje strešnih konstrukcij.

6. oktober 1999 ob 16. uri 45 minut UTC. Dokaj močno tresenje tal z intenziteto IV-V EMS-98 so čutili prebivalci Šmarjete (slika 18). V Kartuziji Pleterje so potres čutili kot močan enkratni sunek. Temu sta sledila dva ali trije rahlo zaznavni popotresi, vendar se ni več slišalo žvenketa šip. Slabo sekundo pred glavnim dogodkom je v istem žarišču nastal približno petkrat šibkejši predhodni potres.

9. oktober 1999 ob 1. uri 24 minut UTC. Zmerno tresenje tal z intenziteto IV EMS-98 so čutili prebivalci štirinajstih naselij, od Zgornjega Kašlja na zahodu do Vrat (okolica Litije) na vzhodu ter od Vrhpolj na severu do Višnje Gore na jugu. Prebivalce je iz sna zbudilo škripanje pohištva in tramovja. Nekateri so slišali tudi hrumenje, kot da bi se bližal težek tovornjak.

24. oktober 1999 ob 11. uri 43 minut UTC. Prebivalci Volarij so kljub slabemu vremenu in grmenju čutili tresenje tal z intenziteto IV-V EMS-98 (slika 19). Zelo močno je zabobnelo, nato je sledil sunek. Tega so čutili tudi tisti, ki so bili na prostem. Potres je zopet povzročil povečanje razpok na že poškodovanih objektih.

29. oktober 1999 ob 21. uri 50 minut UTC. Tresenje tal z intenziteto IV EMS-98 so čutili prebivalci Drežnice, Kobarida, Bovca in Soče. Pred potresom se je slišal močan šum. Tresenje je zelo vznemirilo prebivalce, zato so se odpravili k počitku pripravljeni na morebitno hujšo ponovitev.

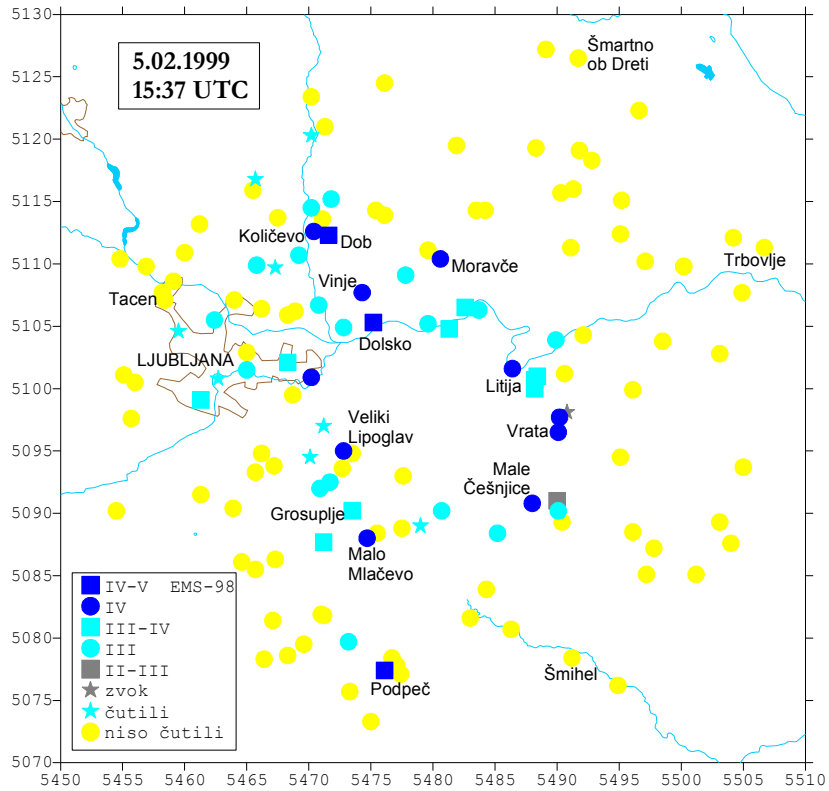
20. november 1999 ob 2. uri 10 minut UTC. Močno tresenje tal z intenziteto V EMS-98 so čutili prebivalci Vinje vasi in Laz pri Uršnih selih (slika 20). Marsikoga je potresni sunek zbudil iz spanja. Opazovalci so poročali o bobnenju ali zelo močnem grmenju, ki so ga slišali. Veliko jih je pomislilo, da je sneg zdrsnil s strehe. V Lazah so se odprla vrata omar. V Novem mestu naslednjega dne niso mogli uporabljati vode iz nekega vodnjaka, ker je bila le-ta kalna. Zanimiv opis je poslala opazovalka iz Podgrada: "V okolici so se sprožili 4 snežni plazovi. Vsa okolica vasi je bila zasnežena, zasnežena so bila vsa pobočja in gozdovi. Le en hrib je bil zjutraj po potresu brez snega na drevju".

23. november 1999 ob 21. uri 45 minut UTC. Zmerno tresenje tal z intenziteto IV EMS-98 so čutili v Zidanem Mostu. Poročali so o kratkem močnem sunku v vodoravni smeri, ki je prišel iz jugovzhoda. Pri tem je nastal zvok podoben poku v kamnolomu. Tudi v Radečah so slišali bobnenje podobno padanju snega s strehe.

Slika 3-20. Na slikah 3-20 so prikazani učinki nekaterih potresov, ki so jih v letu 1999 čutili prebivalci Slovenije. Na nekaterih kartah, ki kažejo učinke na manjših območjih, je uporabljena Gauss-Krügerjeva mreža oz. kilometersko merilo, ki olajša ocenjevanje medsebojne oddaljenosti prikazanih krajev.

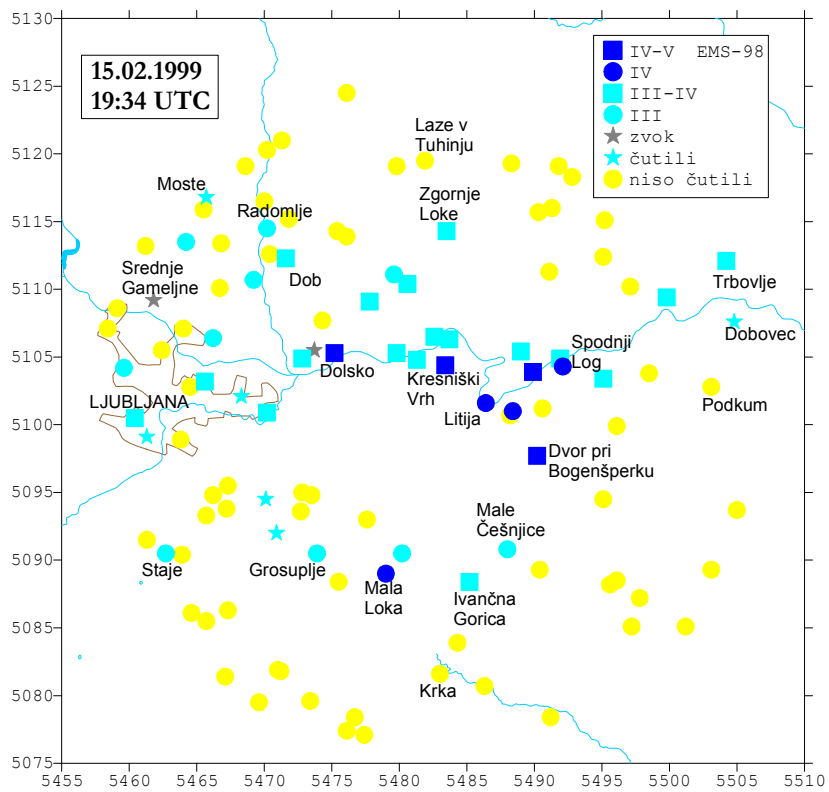
Description of the figures 3-20. The effects of some earthquakes that were felt by the inhabitants of Slovenia are given. EMS-98 was used for estimating the intensities for all earthquakes.

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



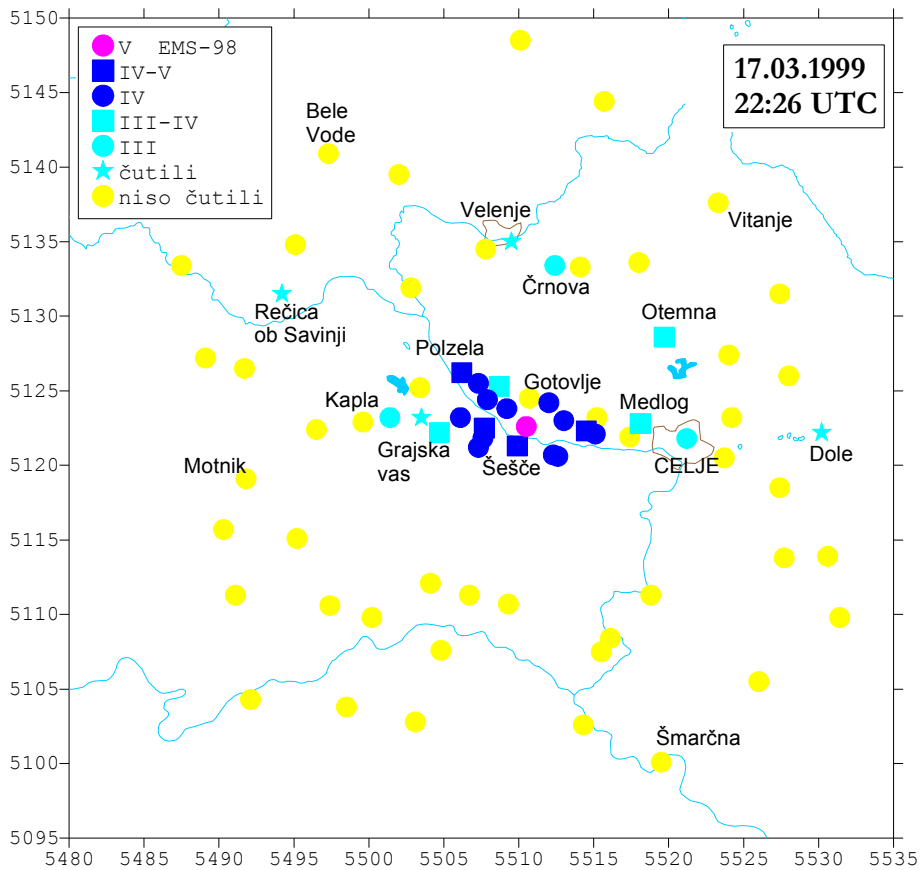
Slika 3. Intenzitete potresa 5. februarja 1999 ob 15. uri 37 minut po UTC v posameznih naseljih.

Figure 3. Observed intensities of the earthquake on 5 February 1999 at 15.37 UTC.



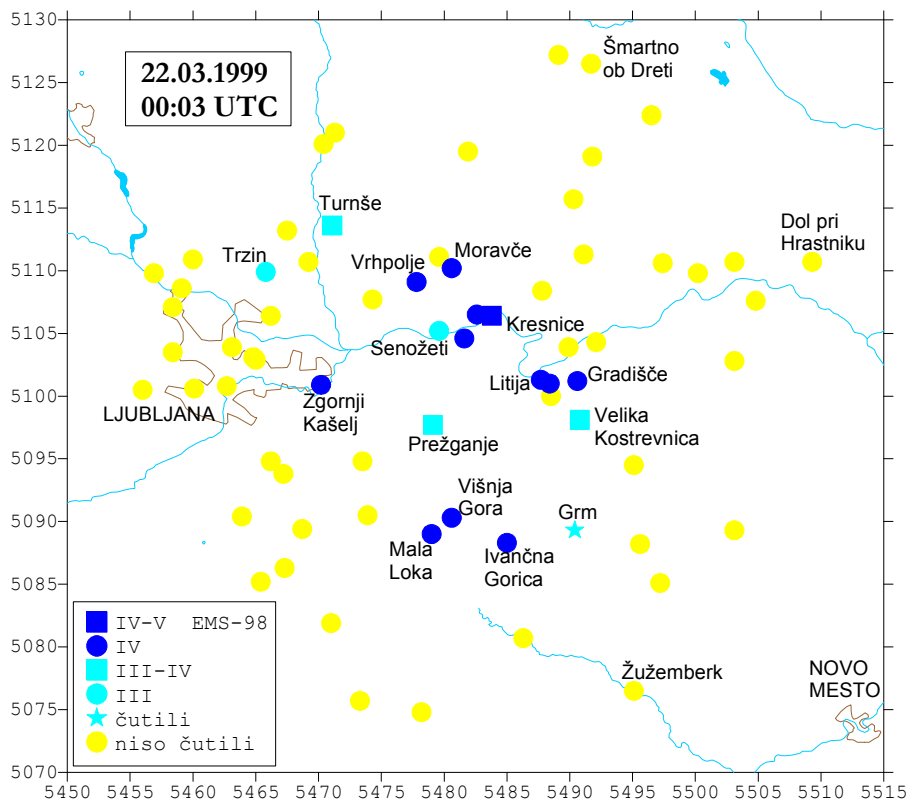
Slika 4. Intenzitete potresa 15. februarja 1999 ob 19. uri 34 minut po UTC v posameznih naseljih.

Figure 4. Observed intensities of the earthquake on 15 February 1999 at 19.34 UTC.



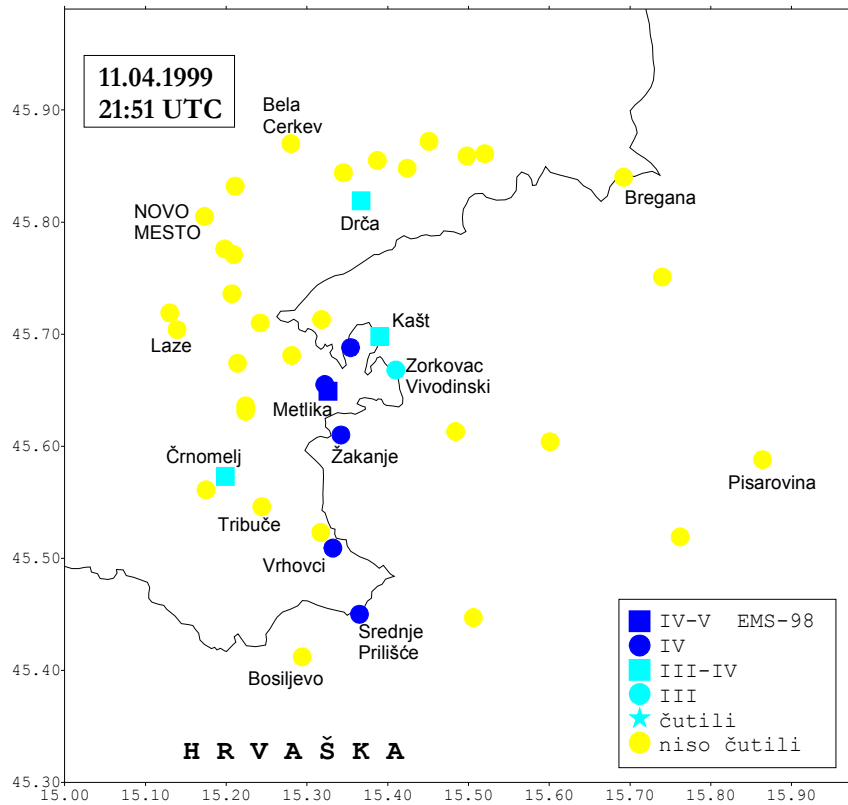
Slika 5. Intenzitete potresa 17. marca 1999 ob 22. uri 26 minut po UTC v posameznih naseljih.

Figure 5. Observed intensities of the earthquake on 17 March 1999 at 22.26 UTC.



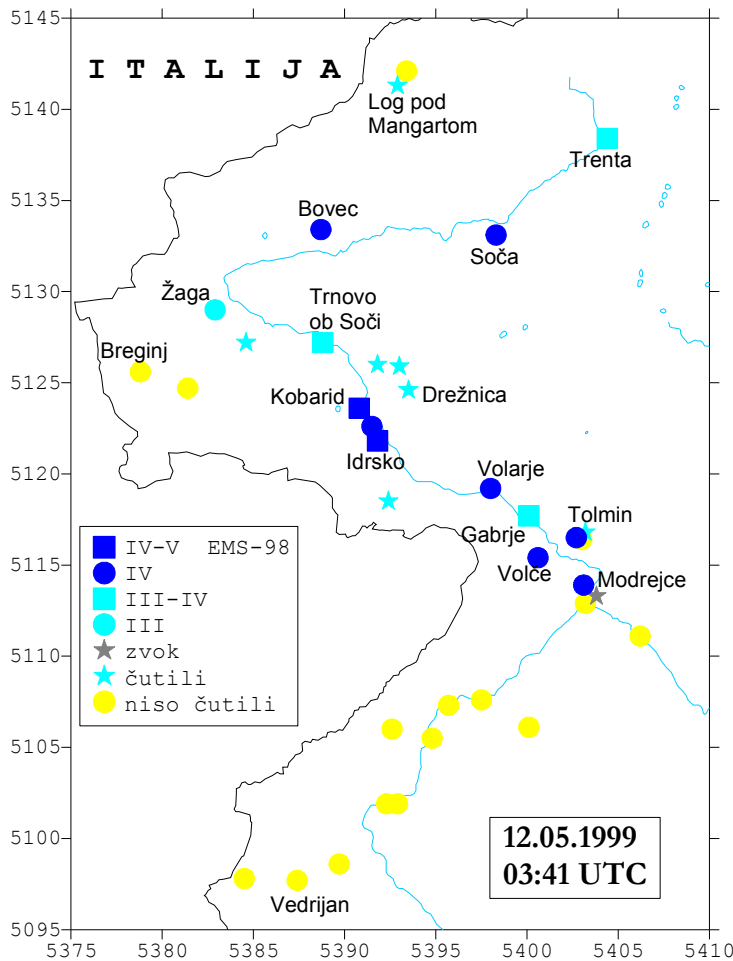
Slika 6. Intenzitete potresa 22. marca 1999 ob 0. uri 3 minut po UTC v posameznih naseljih.

Figure 6. Observed intensities of the earthquake on 22 March 1999 at 00.03 UTC.



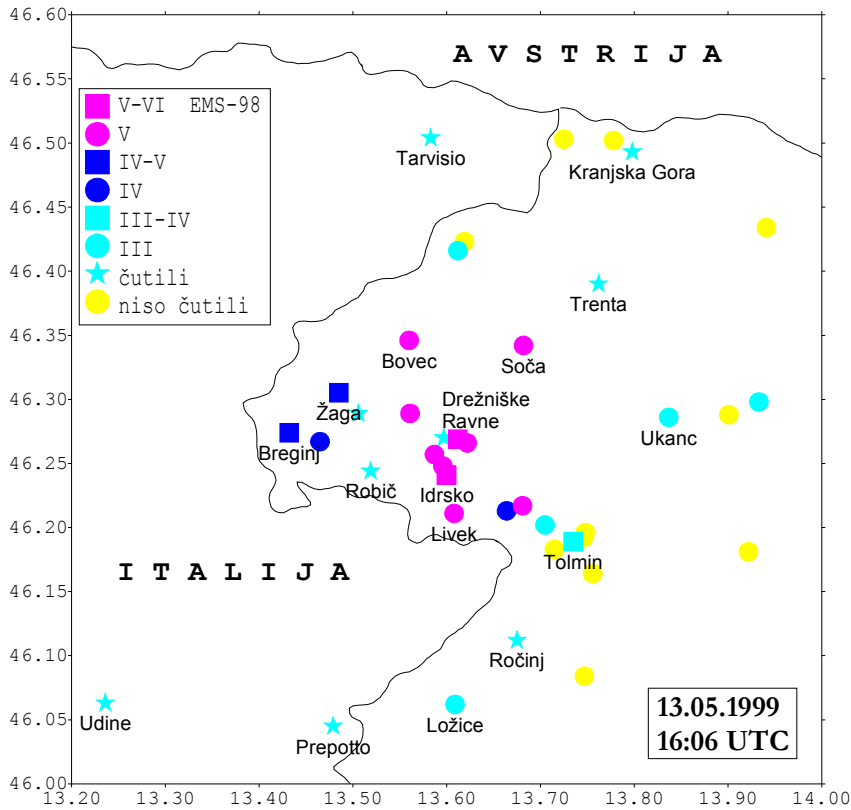
Slika 7. Intenzitete potresa 11. aprila 1999 ob 21. uri 51 minut po UTC v posameznih naseljih.

Figure 7. Observed intensities of the earthquake on 11 April 1999 at 21.51 UTC.

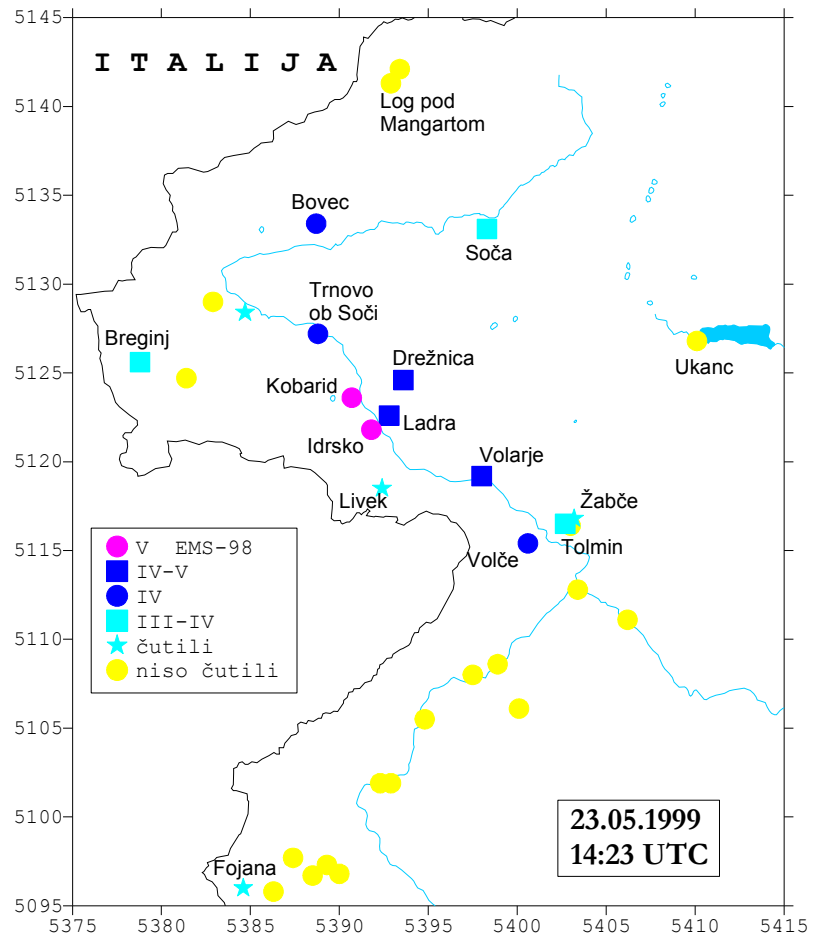


Slika 8. Intenzitete potresa 12. maja 1999 ob 3. uri 41 minut po UTC v posameznih naseljih.

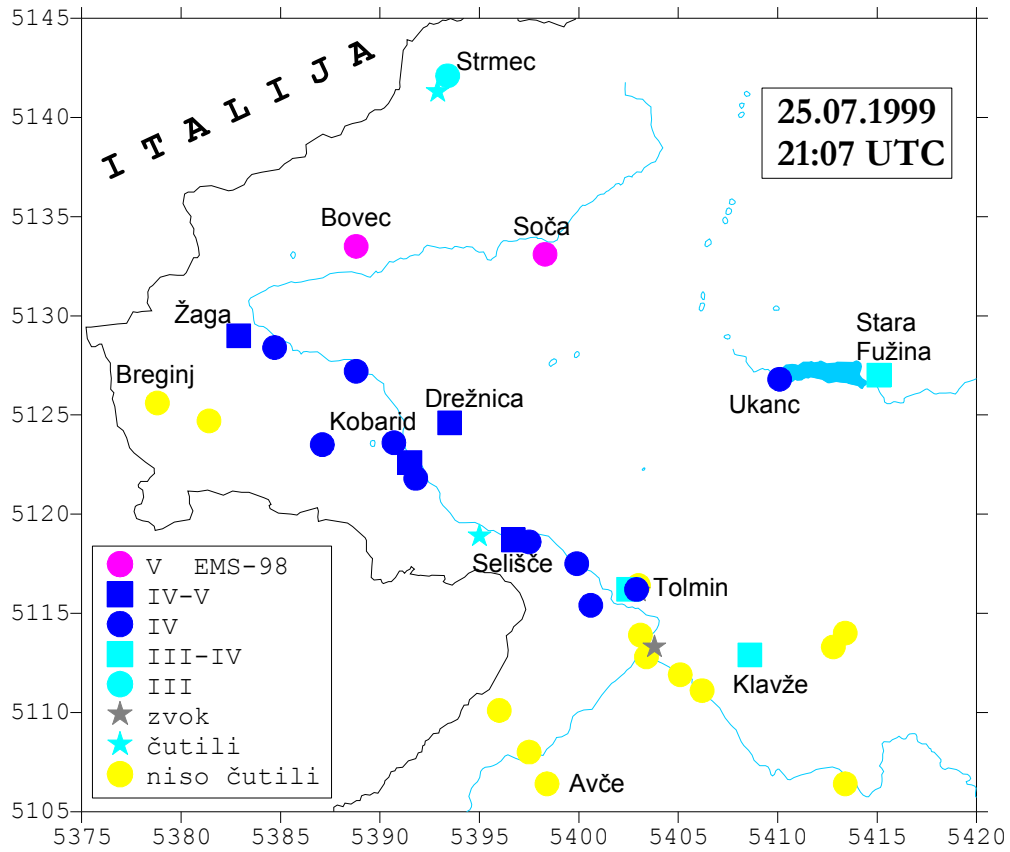
Figure 8. Observed intensities of the earthquake on 12 May 1999 at 03.41 UTC.



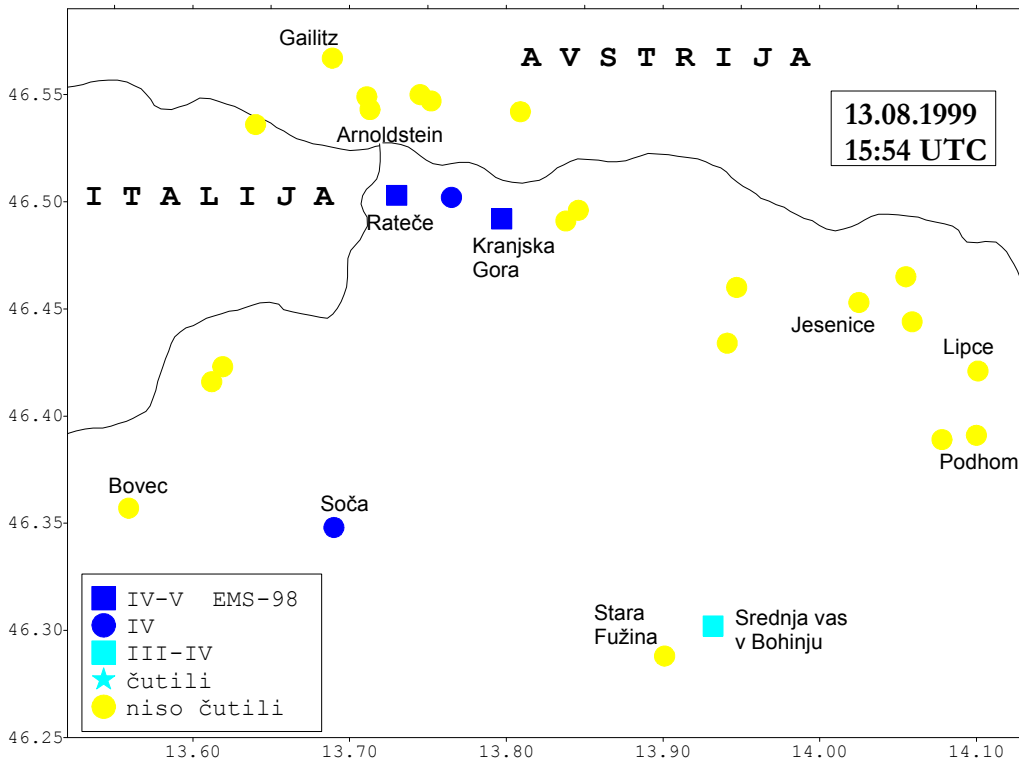
Slika 9. Intenzitete potresa 13. maja 1999 ob 16. uri 6 minut po UTC v posameznih naseljih.
 Figure 9. Observed intensities of the earthquake on 13 May 1999 at 16.06 UTC.



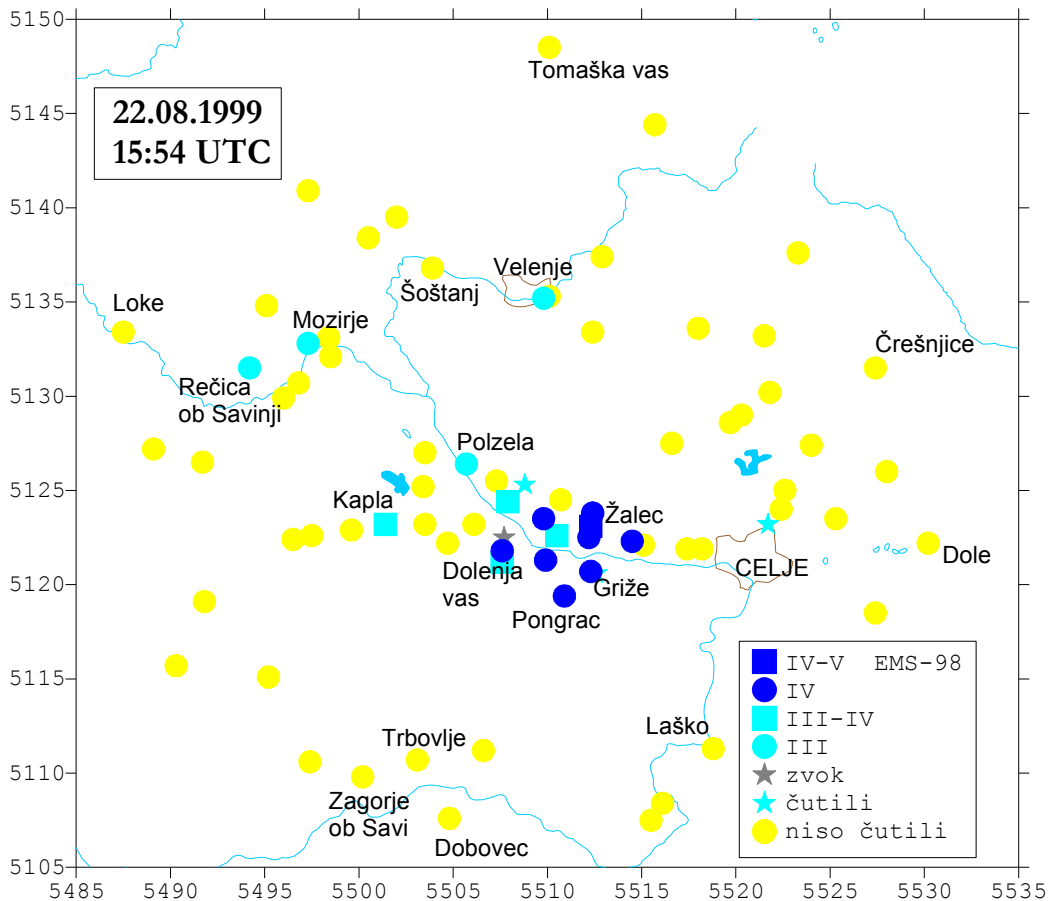
Slika 10. Intenzitete potresa 23. maja 1999 ob 14. uri 23 minut po UTC v posameznih naseljih.
 Figure 10. Observed intensities of the earthquake on 23 May 1999 at 14.23 UTC.



Slika 11. Intenzitete potresa 25. julija 1999 ob 21. uri 7 minut po UTC v posameznih naseljih.
 Figure 11. Observed intensities of the earthquake on 25 July 1999 at 21.07 UTC.

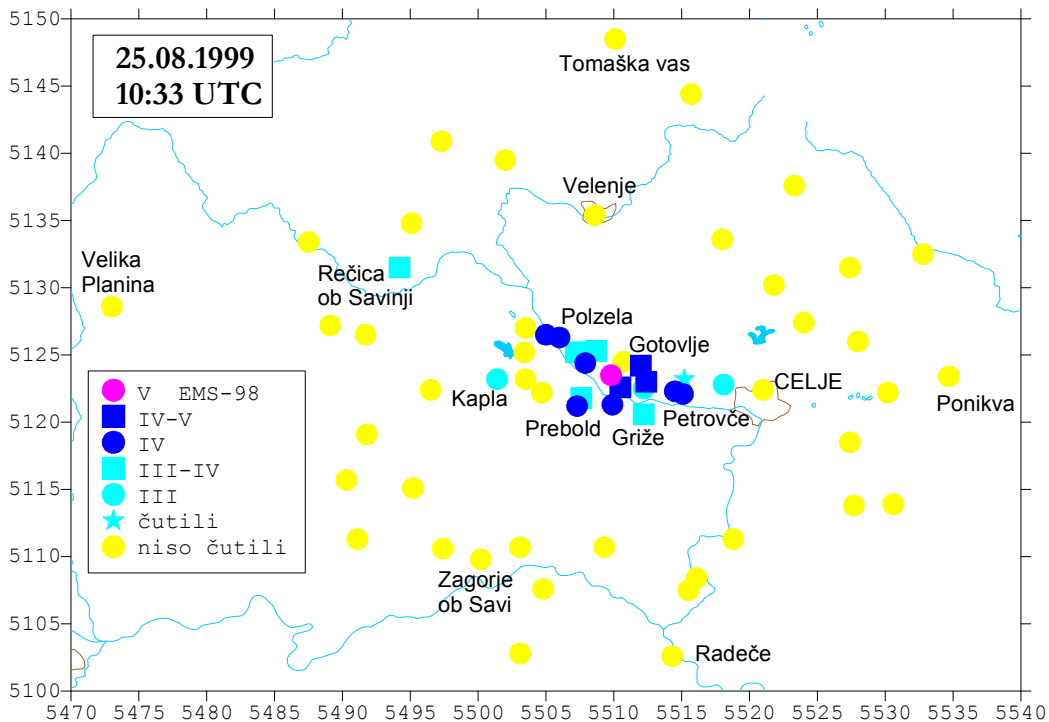


Slika 12. Intenzitete potresa 13. avgusta 1999 ob 15. uri 54 minut po UTC v posameznih naseljih.
 Figure 12. Observed intensities of the earthquake on 13 August 1999 at 15.54 UTC.



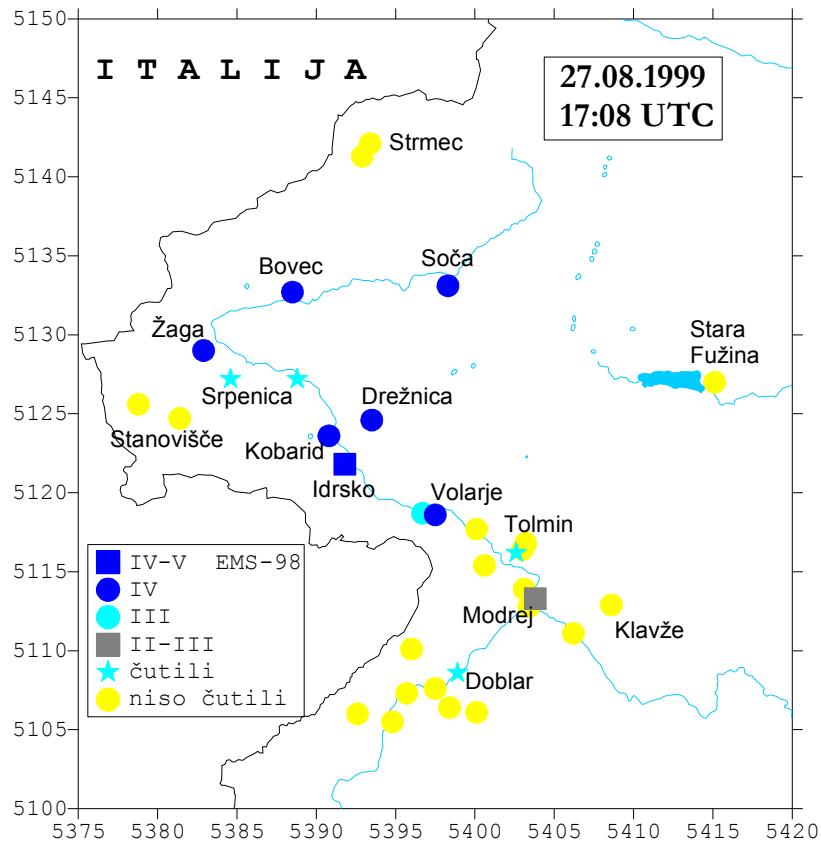
Slika 13. Intenzitete potresa 22. avgusta 1999 ob 15. uri 54 minut po UTC v posameznih naseljih.

Figure 13. Observed intensities of the earthquake on 22 August 1999 at 15.54 UTC.



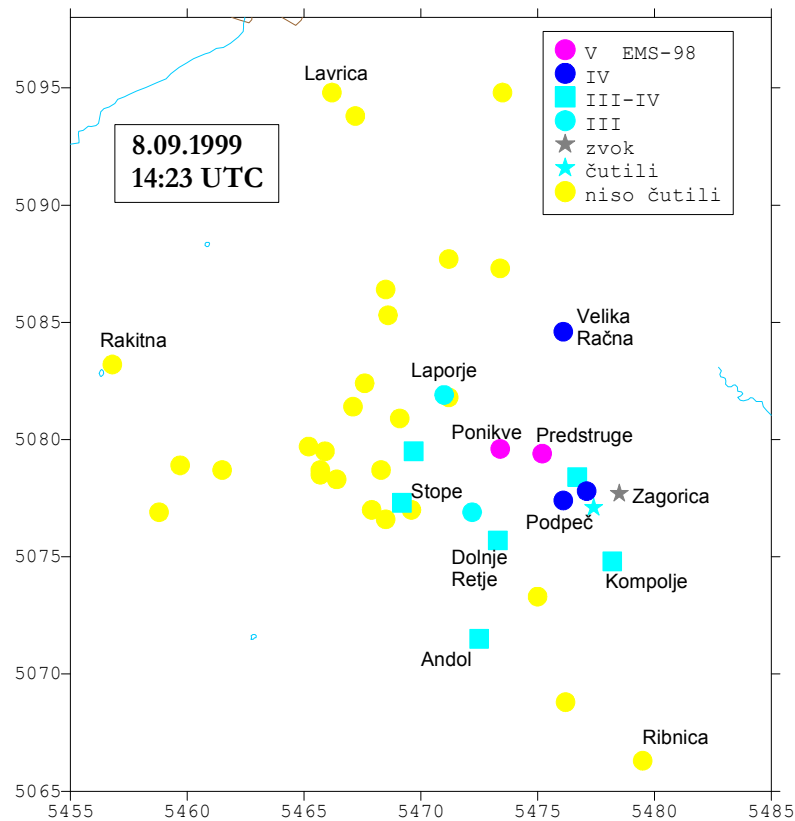
Slika 14. Intenzitete potresa 25. avgusta 1999 ob 10. uri 33 minut po UTC v posameznih naseljih.

Figure 14. Observed intensities of the earthquake on 25 August 1999 at 10.33 UTC.



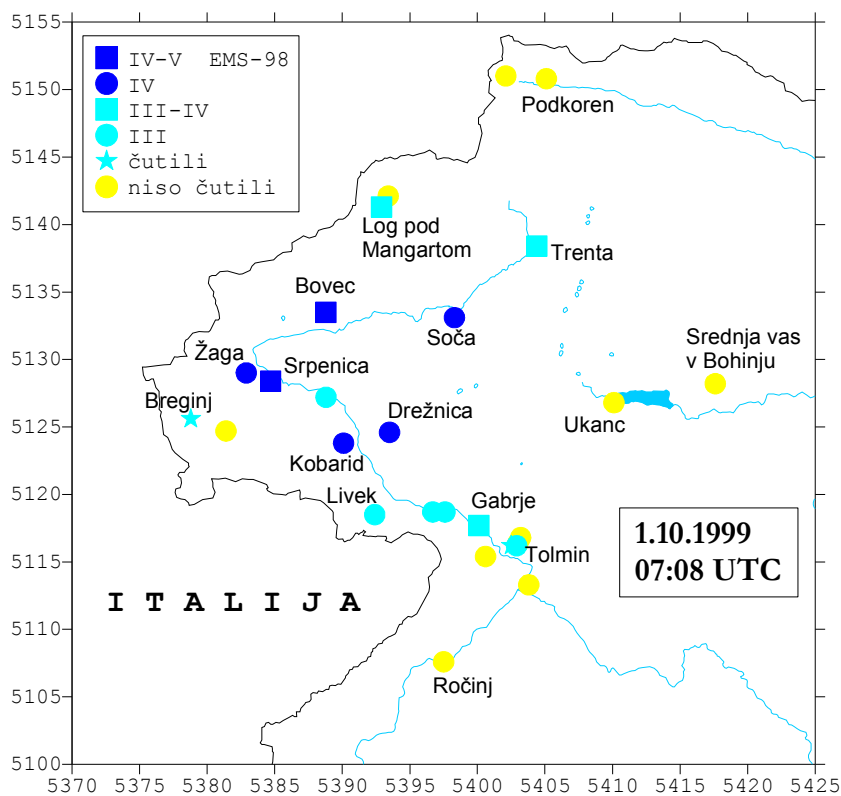
Slika 15. Intenzitete potresa 27. avgusta 1999 ob 17. uri 8 minut po UTC v posameznih naseljih.

Figure 15. Observed intensities of the earthquake on 27 August 1999 at 17.08 UTC.

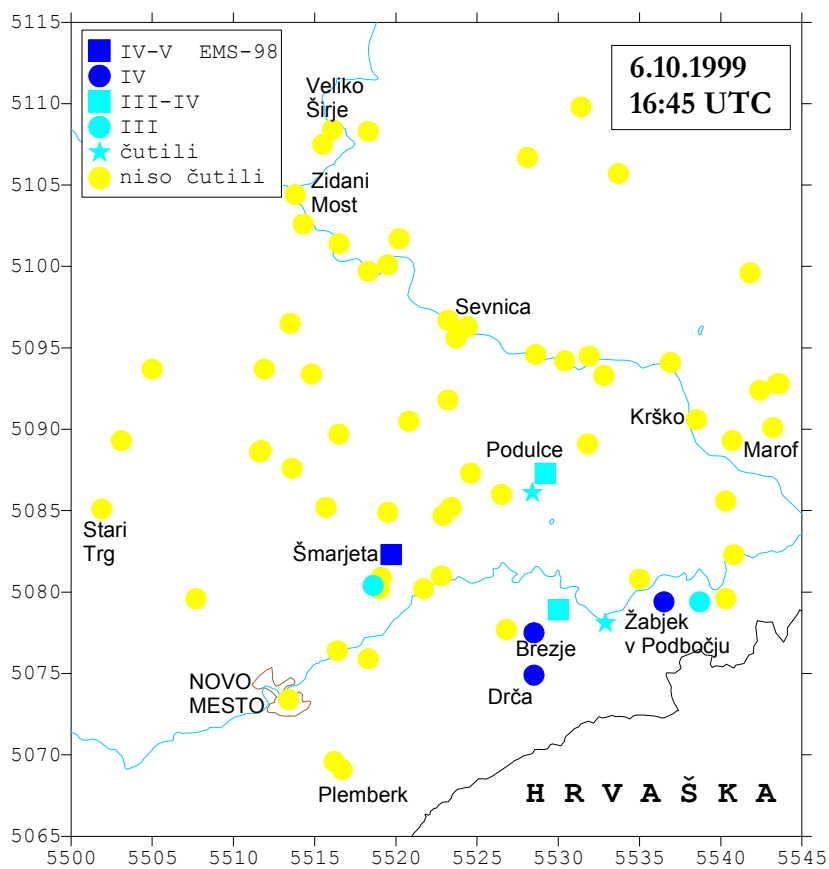


Slika 16. Intenzitete potresa 8. septembra 1999 ob 14. uri 23 minut po UTC v posameznih naseljih.

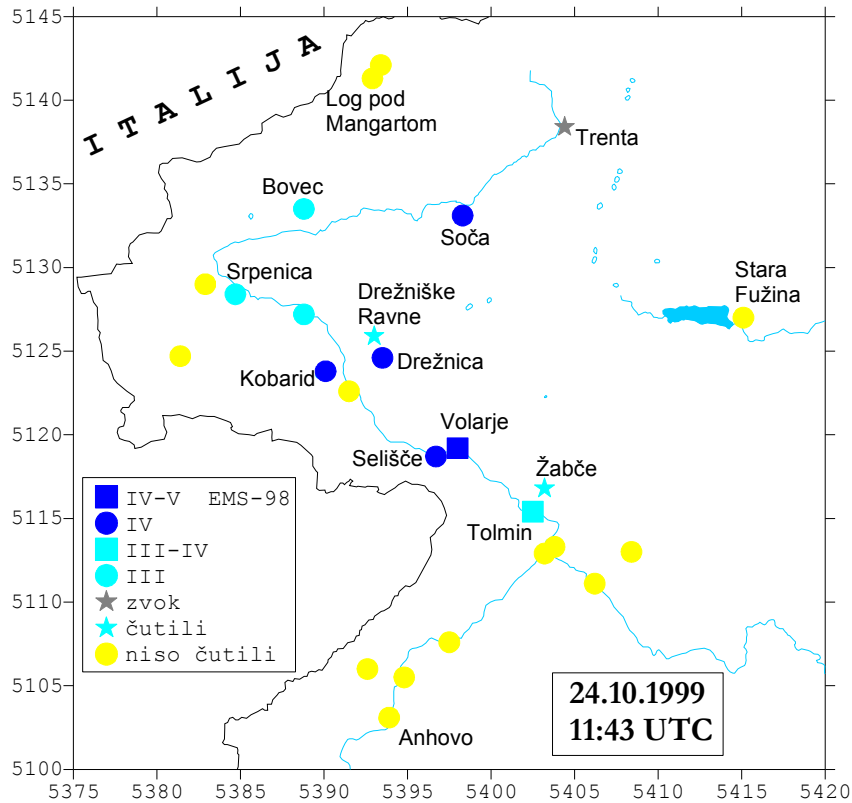
Figure 16. Observed intensities of the earthquake on 8 September 1999 at 14.23 UTC.



Slika 17. Intenzitete potresa 1. oktobra 1999 ob 7. uri 8 minut po UTC v posameznih naseljih.
Figure 17. Observed intensities of the earthquake on 1 October 1999 at 07.08 UTC.

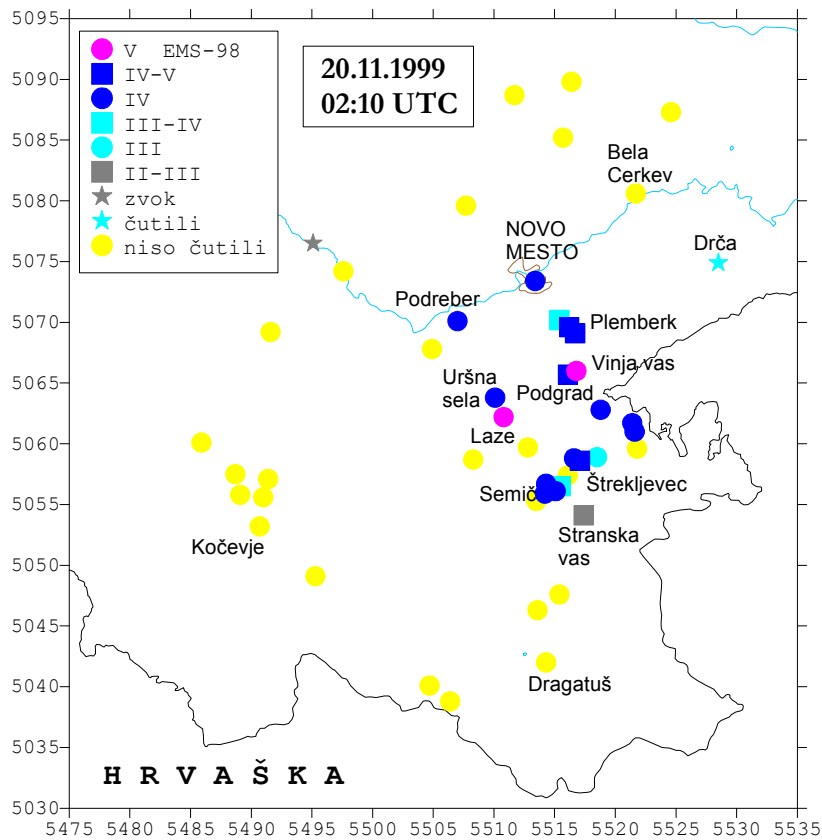


Slika 18. Intenzitete potresa 6. oktobra 1999 ob 16. uri 45 minut po UTC v posameznih naseljih.
Figure 18. Observed intensities of the earthquake on 6 October 1999 at 16.45 UTC.



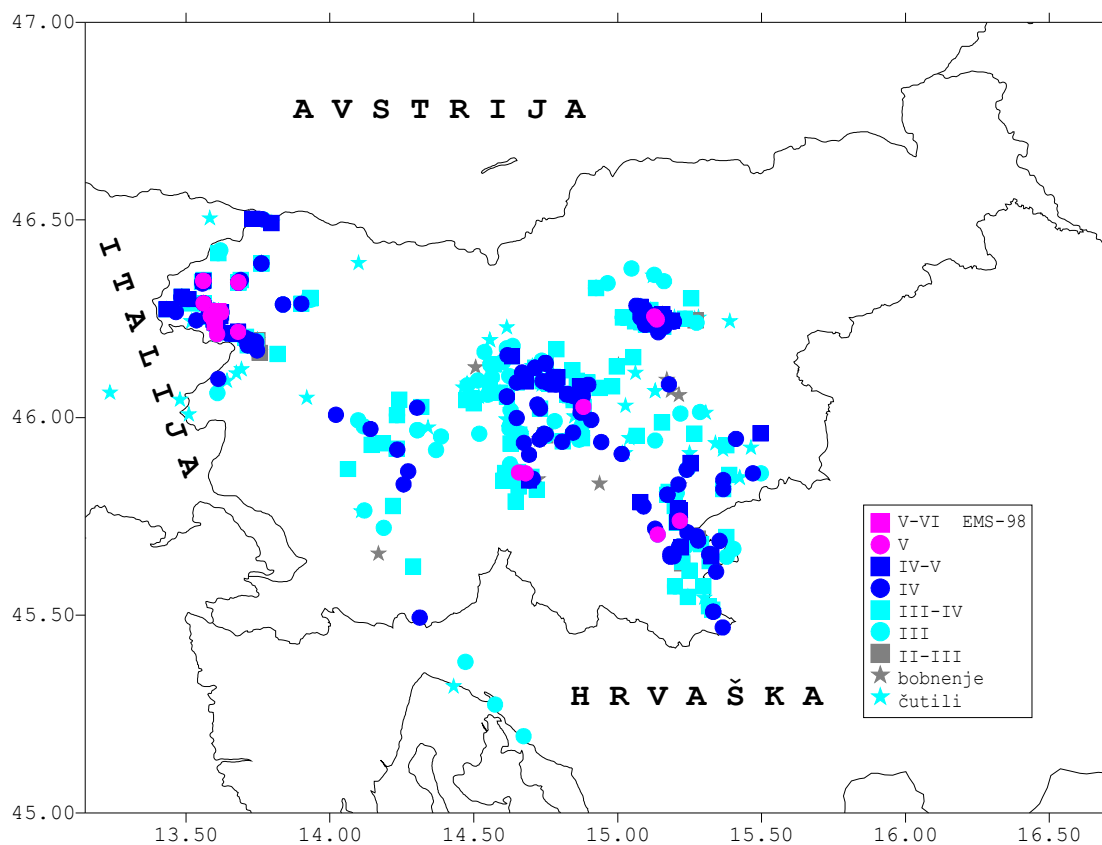
Slika 19. Intenzitete potresa 24. oktobra 1999 ob 11. uri 43 minut po UTC v posameznih naseljih.

Figure 19. Observed intensities of the earthquake on 24 October 1999 at 11.43 UTC.



Slika 20. Intenzitete potresa 20. novembra 1999 ob 2. uri 10 minut po UTC v posameznih naseljih.

Figure 20. Observed intensities of the earthquake on 20 November 1999 at 02.10 UTC.

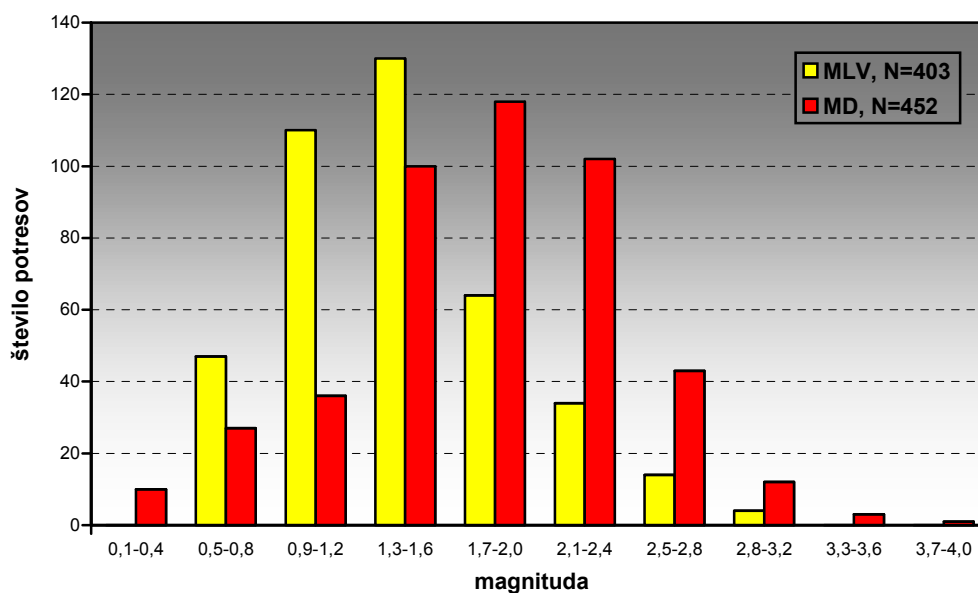


Slika 21. Največje intenzitete v letu 1999.

Figure 21. Maksimum intensities for localities in Slovenia in 1999.

Sklep

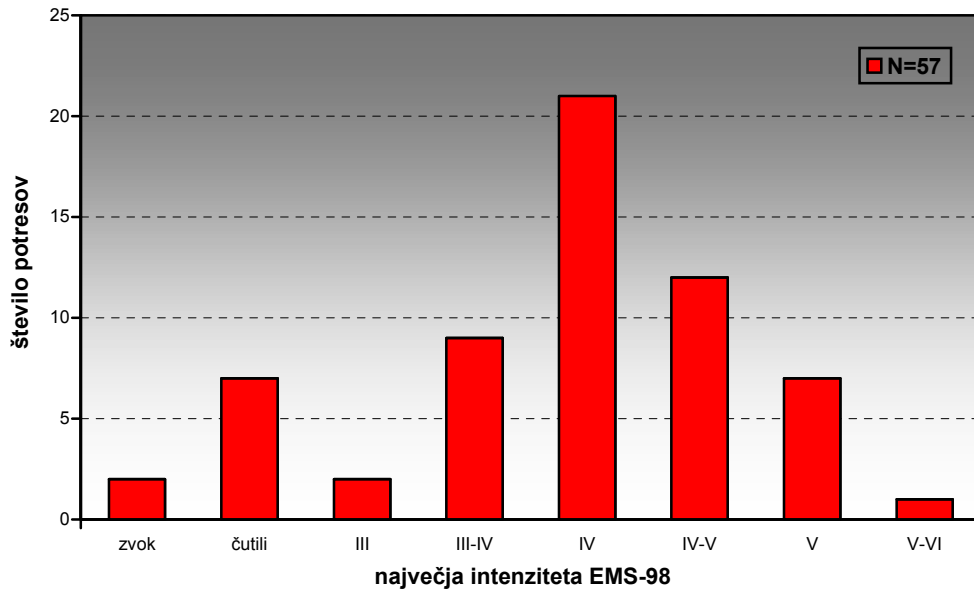
V letu 1999 je bila potresna aktivnost v Sloveniji zmerna. Histogram na sliki 22 kaže porazdelitev lokalnih magnitud (M_{LV}), ki smo jih opredelili za 403 potrese. Največ potresov (130) je imelo magnitudo med 1,3 in 1,6.



Slika 22. Porazdelitev potresov glede na lokalno magnitudo.

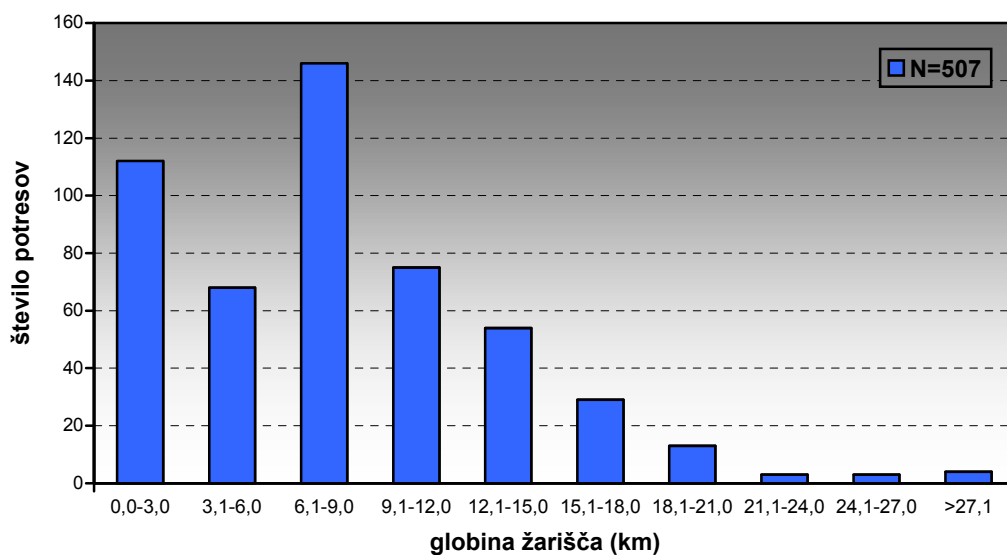
Figure 22. Distribution of earthquakes with respect to local magnitude.

Med potresi, za katere smo razposlali makroseizmične vprašalnike ali opravili terenske raziskave, jih je največjo intenziteto IV EMS-98 doseglo 21, največjo intenziteto IV-V EMS-98 12 in največjo intenziteto V EMS-98 7 potresov. Le en potres je dosegel največjo intenziteto V-VI EMS-98. Ostali potresi (20) so imeli največjo intenziteto nižjo od IV EMS-98 ali pa so jih ljudje le čutili in stopnje ni bilo mogoče opredeliti. Prebivalci Slovenije so skupno čutili 61 potresov (sl. 2 in 23).



Slika 23. Porazdelitev potresov glede na največjo intenziteto EMS-98 v Sloveniji.
Figure 23. Distribution of earthquakes with respect to maximum EMS-98 intensity in Slovenia.

Porazdelitev potresov glede na globino žarišč (sl. 24) kaže, da je imela večina od 507-ih lociranih lokalnih potresov žarišča do globine 18 km. Največ potresov (146) je bilo med 6,1 in 9,0 km in med 0 in 3,0 km (112 potresov). Le za 23 potresov smo opredelili žariščno globino večjo od 18 km.



Slika 24. Porazdelitev potresov glede na globino žarišča (v kilometrih).
Figure 24. Distribution of earthquakes with respect to focal depth (in km).

Makroseizmični podatki za potrese bili bi zelo pomanjkljivi ali celo popolnoma nedostopni, če nam pri tem delu ne bi pomagali številni prostovoljni opazovalci. Leta 1999 jih je z URSG aktivno sodelovalo več kot 4500, za kar se jim najlepše zahvaljujemo. Za potrese v letu 1999 smo poslali 5206 vprašalnikov.

Tudi v letu 1999 smo pri zbiranju in izmenjavi podatkov uspešno sodelovali s seizmologi iz sosednjih držav. Za poslane makroseizmične podatke pa se posebej zahvaljujemo Andrei Tertullianiju iz Nacionalnega inštituta za geofiziko in vulkanologijo (INGV) v Rimu, Edmundu Fiegweilu iz Centralnega zavoda za meteorologijo in geodinamiko (ZAMG) na Dunaju in Ivici Soviču iz Seizmološke službe Republike Hrvaške (SSRH) v Zagrebu.

Literatura

- Grünthal, G. (ur.), 1998a. European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98). Conseil de l'Europe, Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, 15, 99 pp, Luxembourg.
- Grünthal, G. (ur.), 1998b. European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98).
http://www.gfz-potsdam.de/pb1/pg2/ems_new/INDEX.HTM
- Lienert, B.R., Berg, E. and Frazer, L.N., 1988. HYPOCENTER: An earthquake location method using centered, scaled, and adaptively least squares. Bull. Seism. Soc. Am., 76, 771-783.
- Lienert, B.R., 1994. HYPOCENTER 3.2 - A Computer Program for Locating Earthquakes Locally, Regionally and Globally, Hawaii Institute of Geophysics & Planetology, 70 pp, Honolulu.
- Michellini, A., Živčić, M., Suhadolc, P. (1997). Simultaneous inversion for velocity structure and hypocenters in Slovenia, Journal of Seismology, 2(3), 257-265.
- Rebez, A., Renner, G., 1991. Duration magnitude for the northeastern Italy seismometric network. Boll. Geof. Teor. Appl., 33, 130-131, 177-186, Trst.
- RGU (Republiška geodetska uprava), 1995. Centroidi naselij (geografske koordinate), računalniški seznam, Ljubljana.
- Uprava RS za geofiziko, 1999-2000. Preliminarni tedenski seizmološki bilteni za 1999. Arhiv URSG, Ljubljana.
- Wessel, P., Smith, W.H.F., 1991. Free software helps map and display data, Eos, Trans. Amer. Un., 72(441), 445-446.
- Wessel, P. and Smith, W.H.F., 1998. New, improved version of the Generic Mapping Tools released, EOS Trans. AGU, 79, pp. 579
- Živčić, M., Bondár, I., Panza, G.F., 1999. Upper Crustal Velocity Structure in Slovenia from Rayleigh Wave Dispersion. Pure appl. geophys., 157, 131-146.

POTRES V ZGORNJEM POSOČJU IN KARTE POTRESNE NEVARNOSTI SLOVENIJE

EARTHQUAKE IN THE UPPER SOČA TERRITORY AND THE SEISMIC HAZARD MAPS OF SLOVENIA

Renato Vidrih¹

***Izvleček.** Močni potresi navadno spremenijo vedenje o seizmičnosti posameznih območij ali vsaj zahtevajo revizijo kart potresne nevarnosti. Najmočnejši potres 20. stoletja na naših tleh je nastal 12. aprila 1998 v zgornjem Posočju. Njegova magnituda je bila 5,8, največji učinki pa so dosegli med VII. in VIII. stopnjo po EMS lestvici. Ta potres je veljavno karto potresne nevarnosti Slovenije (Ribarič in sod., 1987) potrdil, kaj pa so menili avtorji nekaterih drugih kart, ki so veljale v preteklosti, pa si pogledjmo v kratkem pregledu obstoječih kart potresne nevarnosti.*

***Abstract.** Strong earthquakes usually change knowledge about seismicity of effected regions or at least cause a revision of the seismicity maps. The 20th century's strongest earthquake on the Slovenian territory occurred on 12th April, 1998 in Upper Soča Territory. It's magnitude was 5.8 and the maximum intensity VII – VIII EMS-98. The earthquake confirmed the official seismic hazard map (Ribarič in sod., 1987). This article concerns alternative seismic hazard maps from different authors.*

Uvod

Območje severozahodne Slovenije spada med potresno najnevarnejši del Slovenije (predvsem zaradi vplivov močnih potresov z žarišči v Furlaniji). Tu lahko učinki potresov dosega do IX. stopnje po EMS lestvici. Glavni razlog za nastanek tako močnih potresov so premiki velikih tektonskih plošč. Za potresno dejavnost našega ozemlja sta ključni afriška in evrazijska plošča. Afriška plošča pritiska na evrazijsko, kar je v geološki zgodovini povzročilo dvig alpskega gorovja. Med obema velikima ploščama je manjša jadranska plošča, na obrobju katere leži Slovenija. Zaradi takih geoloških razmer je celotno ozemlje Slovenije potresno nevarno. Epicentralno območje potresa 12. aprila 1998 je prav na stičišču naravnih struktur Alp in Dinaridov. Alpe potekajo v smeri zahod - vzhod in so narinjene od severa proti jugu na dinarske strukture, ki potekajo v smeri severozahod – jugovzhod (Ribičič, Vidrih, 1998, Vidrih, 1998).

Pregled kart potresne nevarnosti

Karte potresne nevarnosti nam kažejo kakšno je bilo poznavanje potresne nevarnosti v zgornjem Posočju in seveda tudi v ostalih delih Slovenije v preteklosti in kakšno je danes. Prva seizmološka karta Slovenije je izšla, tako kot večina drugih, v okviru Karte Jugoslavije že leta 1950. Naredil jo je prof. Jelenko Mihailović na osnovi intenzitet potresov od leta 360 n. št. do leta 1950, izdal pa Seizmološki zavod F. N. R. J. v Beogradu (1950). Karta je bila priložena prvim tehničnim predpisom za graditev objektov na potresnih območjih iz leta 1964. Podatki o potresih so bili zbrani iz raznih kronik in starih zapisov, konec 19. stol. pa so ponekod organizirali njihovo sistematsko zbiranje. Prvi je s tem začel prof. Mišo Kišpatić že leta 1879 v Zagrebu, kasneje so jih začeli zbirati v Sloveniji, po letu 1893 pa v Srbiji. Podatki na karti, ki so bili zbrani do leta 1950, so bili večinoma nezadovoljivo ali napačno interpretirani. Prof. Mihajlović je na karto vnesel največje intenzitete v posameznih krajih, ni

¹ Agencija RS za okolje, urad za seizmologijo, Dunajska 47, Ljubljana

pa upošteval razširjanja energije (izoseist). Tako so na karti prehodi iz IX. stopnje v VI., otoki velikih intenzitet, ki enostavno preidejo v mnogo nižjo stopnjo in podobno. Ocena seizmičnosti Posočja je zaradi pomanjkanja ali napačnih podatkov nepravilna. Vidimo, da je Posočje ogroženo do V. ali VI. stopnje (J. Mihajlović je uporabljal neimenovano 12-stopenjsko lestvico, ki jo lahko primerjamo s sedaj veljavnimi). Karta ima za ozemlje Slovenije zgolj zgodovinski pomen (slika 1).

Pri izidu Inženirskogeološke karte SFR Jugoslavije (Čubrilović s sod., 1967), ki jo je izdal Zvezni geološki zavod v Beogradu leta 1967, je izšla tudi karta maksimalnih intenzitet potresov. Avtorji karte P. Čubrilović, L. Palavestrić in T. Nikolić so zbrali tudi podatke o seizmičnosti celotne Jugoslavije. Za slovensko ozemlje jih je posredoval prof. Vladimir Ribarič iz takratnega Astronomsko - geofizikalnega observatorija v Ljubljani. Karta je veliko boljša kot Mihajlovićeva, še vedno pa vsebuje nekaj napak. Na območju Ljutomera je npr. prikazana intenziteta VIII. stopnje, na Kozjanskem VI. stopnje, na Idrijskem VII. stopnje ipd.). Območje Posočja je ocenjeno z VIII. stopnjo, kar ustreza obstoječi veljavni karti. Intenzitete so podane v stopnjah MCS lestvice, zato jih lahko primerjamo z MSK in EMS lestvico (slika 2).

Izpopolnjevanje pravilnikov o tehničnih predpisih za gradnjo na seizmičnih območjih in dodatne raziskave zgodovinskih potresov so privedle do izdelave nove začasne karte: Privremena seizmološka karta SFRJ (Ribarič, 1982), ki je izšla leta 1982 (Ur. l. SFRJ, št. 49/82), (slika 3). Ta karta je bila narejena na podlagi statistične analize potresov iz preteklosti. Večji del Posočja uvršča v IX. stopnjo po MCS lestvici. Za slovensko ozemlje je karto izdelal prof. Vladimir Ribarič. Istega leta je za Slovenijo izšla še popravljena in dopolnjena karta maksimalnih intenzitet potresov v MCS, ki jo je spet pripravil prof. V. Ribarič. Na tej karti ni velikih sprememb, območje Posočja pa je uvrščeno v IX. stopnjo MCS (slika 4).

Seizmološki podatki, na katerih je temeljila Privremena seizmološka karta SFRJ in karta, ki jo je V. Ribarič izdelal kasneje, niso zadovoljevali za izdelavo sodobnih seizmoloških kart. Zato so seizmologi začeli z izdelavo sodobne seizmološke karte na osnovi kompleksnih seizmoloških, geoloških in geofizikalnih raziskavah. Leta 1987 je Zajednica za seizmologiju SFR Jugoslavije v Beogradu izdala sodobne seizmološke karte, avtor za slovensko ozemlje je bil spet prof. V. Ribarič. Te karte z določeno verjetnostjo prekoračitve predvidevajo največje potresne učinke. Prva faza izdelave karte predstavlja žariščne cone možnih potresov z njihovimi maksimalnimi magnitudami, druga faza pa intenzitete pričakovanih potresov za različna območja in za različne povratne dobe potresov. Karte za območje Slovenije so izdelane po teoriji ekstremov. Maksimalne intenzitete so izračunane za obdobje 10 000 let. Za gradnjo objektov in prostorsko rabo pa so morali izračunati parametre za krajša časovna obdobja, za 50, 100, 200, 500 in 1000 let. Izolinije na kartah so izdelali s povezovanjem točk enakih vrednosti intenzitet. Izolinije obkrožajo območja enakih stopenj predvidenih intenzitet potresov. Napake pri izolinijah so lahko do ± 5 km. Kraji na izolinijah pripadajo območju z večjo intenziteto. Karta za povratno dobo 10 000 let predstavlja maksimalne možne intenzitete, ki bi lahko prizadele posamezno območje. V skladu z navodili za uporabo karte je na območju, kjer je možna intenziteta $I \geq VII$. stopnje MSK (kar ustreza $I \geq VII$. stopnji po EMS lestvici), potrebno opraviti dodatne seizmološke raziskave in mikrorajonizacijo terena skladno s tehničnimi predpisi za graditev na seizmičnih območjih. Po močnejših potresih, ki prizadenejo posamezno območje in lahko spremenijo dosedanje vedenje o njem ali na vsakih pet let, je potrebno karto revidirati. V splošnem so seizmološke karte namenjene predvsem za

potrebe gradbenikov in za izdelavo pravilnikov o tehničnih normativih za graditev objektov na seizmičnih območjih. Koristne pa so še za namene prostorskega in urbanističnega planiranja in projektiranja.

Z objavo opisanih kart leta 1990 (Ur. l. SFRJ, št. 52/90) so vse dotedanje karte izgubile pomen. Za projektiranje zgradb, razvrščenih v II. kategorijo (to so predvsem stanovanjske hiše in tisti industrijski in javni objekti, ki niso uvrščeni v I. kategorijo), velja karta s povratno dobo 500 let. Za to obdobje obstaja približno 90% verjetnost, da v 50. letih ne bodo presežene vrednosti na karti (slika 5).

Žarišče potresa 12. aprila 1998 je nastalo na območju, kjer so po edini veljavni državni karti največji pričakovani potresi do IX. stopnje po MSK, kar ustreza IX. stopnji po EMS lestvici. Lahko zaključimo, da potres v Posočju seizmologov ni presenetil (Vidrih, 1998).

V želji po še boljšem poznavanju seizmičnosti Slovenije in izdelavi sodobnejše karte potresne nevarnosti, se je v zadnjih letih izkazala potreba po izdelavi nove karte, ki bi bila narejena z osnovnimi fizikalnimi količinami. Na podlagi pretvorbe pospeškov v intenzitete je leta 1995 izšla zloženka Potresna nevarnost Slovenije (Lapajne, Ribarič, 1995), ki jo je izdala in založila Uprava RS za zaščito in reševanje. Avtor karte dr. Janez Lapajne iz tedanje Uprave RS za geofiziko je potresno nevarnost Posočja nekoliko podcenil, saj so na karti predvideni potresi z maksimalno intenziteto VII. stopnje po MSK, kar ustreza VII. stopnji po EMS lestvici (slika 6). Razlike v oceni nastajajo v splošnem zaradi tega, kateri katalog potresov uporabljamo, različnih metodologij izračuna potresne nevarnosti, različnih subjektivnih ocen in različnih predstavljenih količin na karti (intenzitet ali pospeškov).

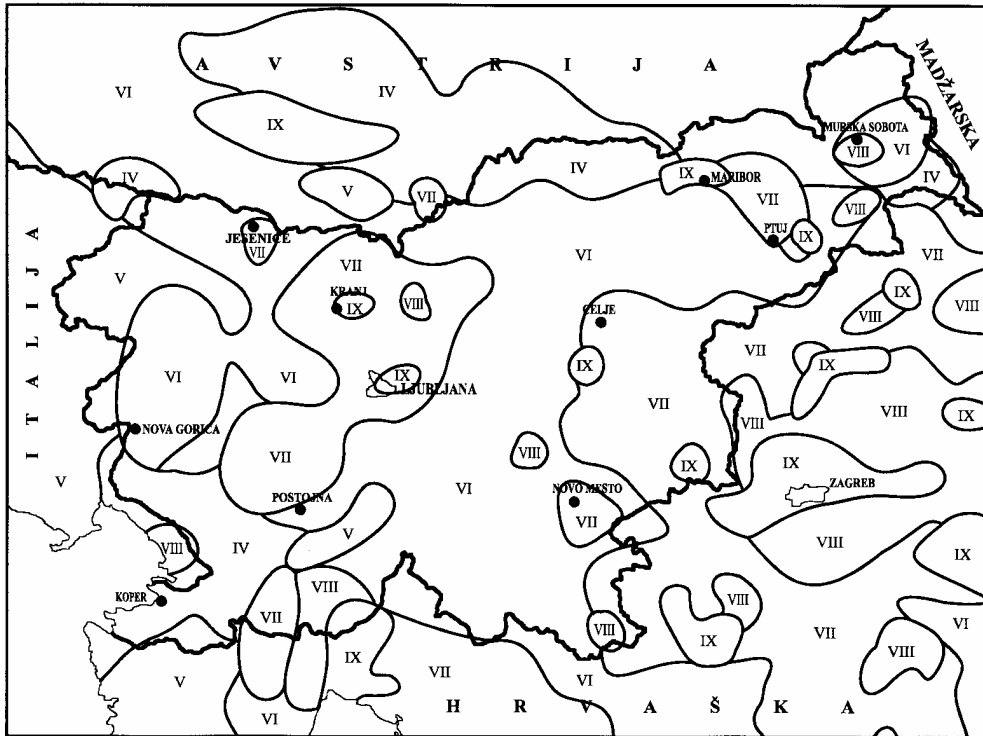
Sklep

V članku te publikacije je predstavljena nova karta potresne nevarnosti Slovenije (Lapajne s sod., 2001). Bistvo nove karte je, da namesto maksimalnih intenzitet potresov podaja projektni pospešek tal in prožnostne spektre odziva za različne vrste tal, kot jih opredeljuje Eurocode 8 (Lapajne s sod., 1995). Vrednosti pospeškov so izračunane po metodologiji verjetnostne analize potresne nevarnosti. Karta temelji na katalogu (različno opredeljene magnitude so večinoma poenotene, le pri nekaterih najmočnejših zgodovinskih potresih se lahko razlikujejo) in podatkih o porazdelitvi in sproščeni energiji potresov v preteklosti (le deloma na seizmotektonski študiji).

Če primerjamo veljavno karto potresne nevarnosti Slovenije (Ribarič, 1987) z novo karto projektnega pospeška tal (Lapajne s sod., 2001) vidimo, da razlike niso velike, saj se območja majhne in velike potresne nevarnosti na obeh kartah približno ujemajo (glej naslovnico).

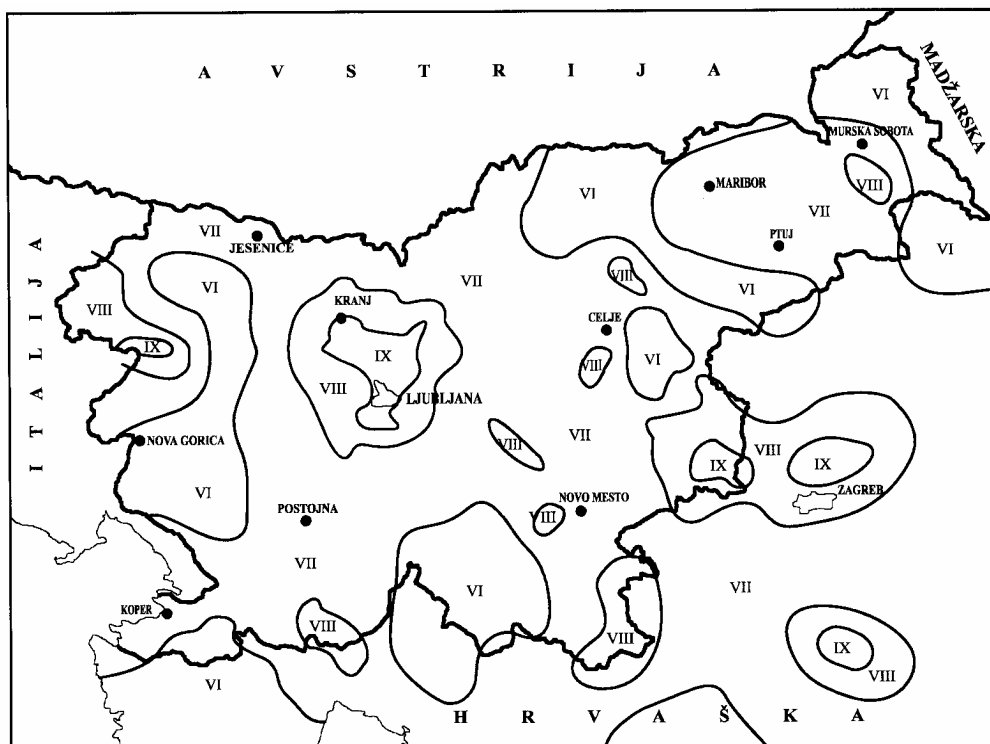
Zahvala

Za grafično obdelavo vseh kart potresne nevarnosti se zahvaljujem Matjažu Gostinčarju, sodelavcu ARSO.



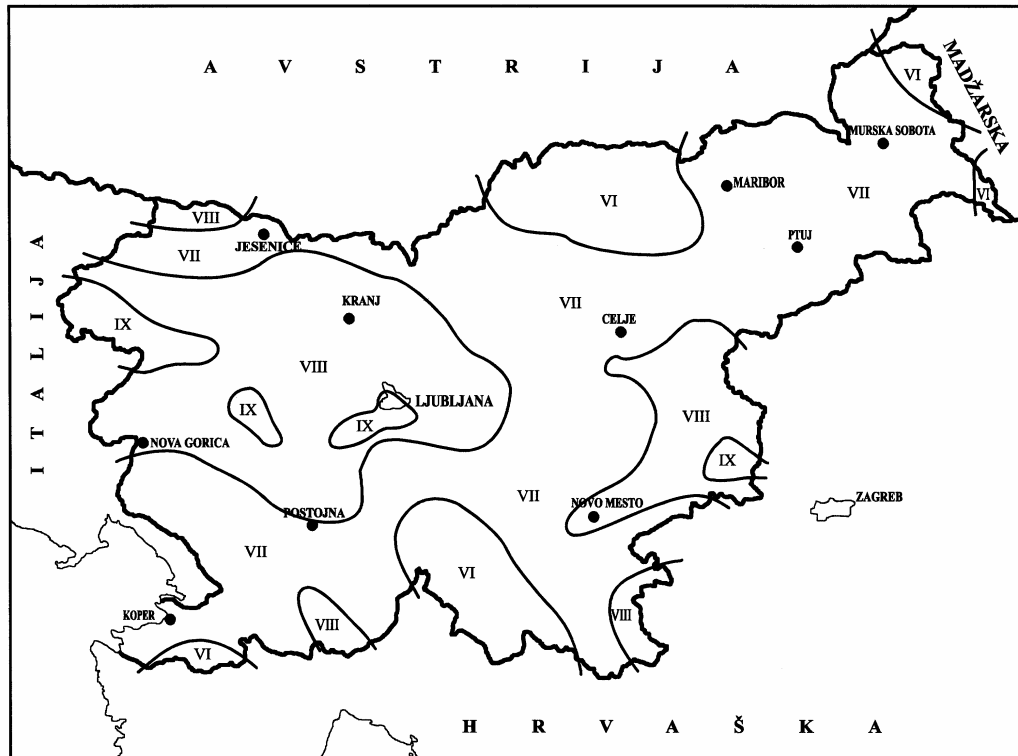
Slika 1. Seizmološka karta F. N. R. Jugoslavije, ki jo je leta 1950 izdelal prof. Jelenko Mihajlovič, temelji na razporeditvi intenzitet potresov v obdobju od leta 360 - 1950 po krajih. Karta je bila priložena prvim predpisom, ki so izšli leta 1964.

Figure 1. Seismological map of FNR Yugoslavia, prepared by prof. Jelenko Mihailović in 1950, based on distribution of earthquake's intensities from 360 a.d. to 1950 a.d. The map was attached to first regulations, issued in 1964.



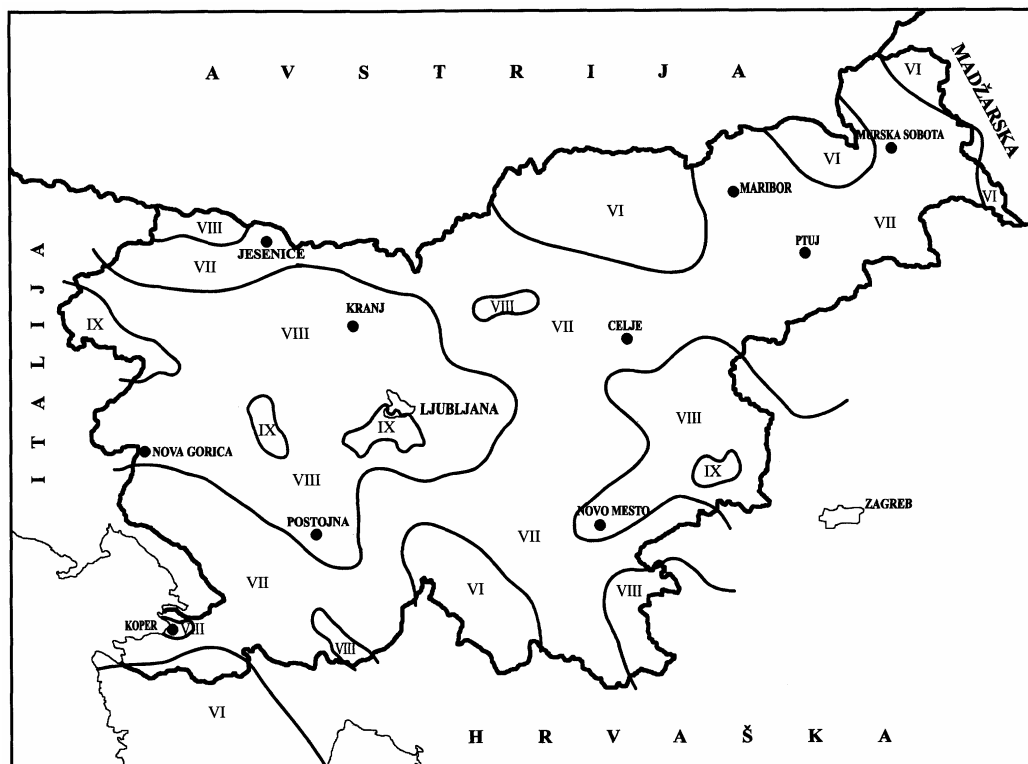
Slika 2. Maksimalne intenzitete potresov prikazane na Inženirsko geološki karti SFRJ, ki je izšla leta 1967. Avtor karte za slovensko ozemlje je prof. Vladimir Ribarič.

Figure 2. Maximum earthquake intensities, shown on Engineering – Geological map of SFRY, issued in 1967. Author of the map of slovenian territory is prof. Vladimir Ribarič.



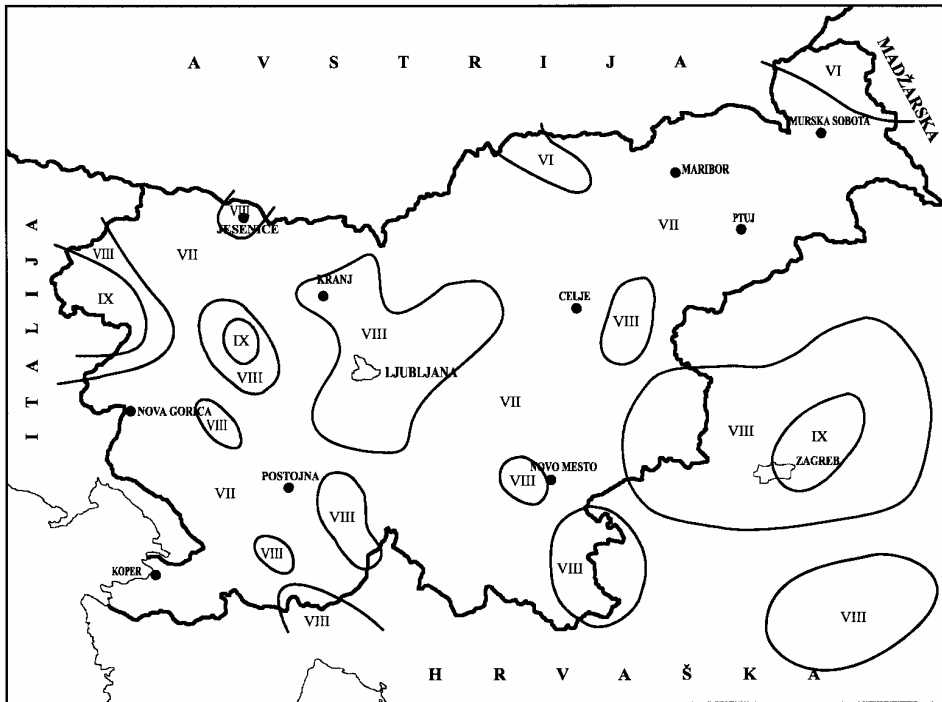
Slika 3. Karta maksimalnih intenzitet potresov, ki je izšla leta 1982 v Uradnem listu SFRJ (št. 49/82). Avtor je prof. V. Ribarič.

Figure 3. The map of maximum earthquake intensities, published in the National gazette of the SFRY (No. 49/82) in 1982. Author: prof. V. Ribarič.



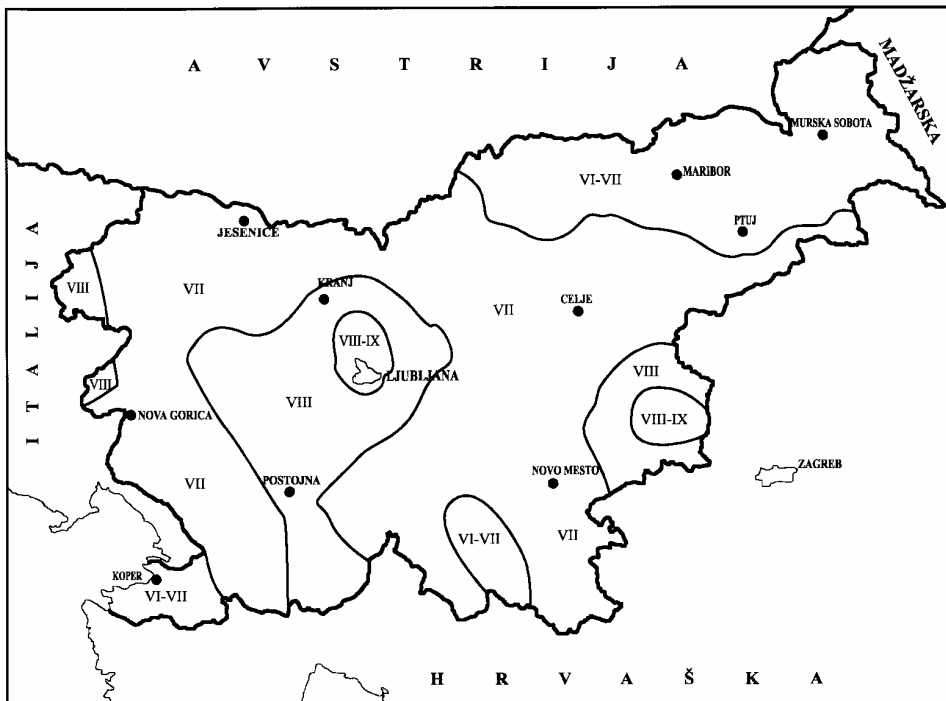
Slika 4. Začasna karta maksimalnih intenzitet potresov, ki jo je leta 1982 dopolnil V. Ribarič ni bila nikoli uradno v veljavi.

Figure 4. Temporary map of maximum earthquake's intensities, improved by prof. V. Ribarič in 1982, was never officially valid.



Slika 5. Seizmološka karta za povratno dobo potresov 500 let je še v veljavi. Izšla je v okviru karte Jugoslavije leta 1987, v Uradnem listu SFRJ pa tri leta kasneje (št. 52/90). Avtor karte je prof. V. Ribarič.

Figure 5. Official seismological map for return period of 500 years, published in 1987. Three years later it was validated in the national gazette SFRY (No. 52/90). Author: prof. V. Ribarič.



Slika 6. Leta 1995 je izšla zloženka Potresna nevarnost v Sloveniji, ki jo je izdala in založila Uprava RS za zaščito in reševanje. Avtor karte potresne nevarnosti je dr. Janez Lapajne.

Figure 6. In Administration of the Republic of Slovenia for Civil protection and disaster relief published and issued a seismic hazard map. Author: dr. J. Lapajne.

Literatura

- Čubrilović, P. in sod., 1967. Inženirskogeološka karta SFR Jugoslavije, M 1:500 000, Zvezni geološki zavod, Beograd.
- Lapajne, J., Šket-Motnikar, B., Zupančič, P., 1995. Eurocode 8 in potresna nevarnost v Sloveniji. Zbornik seminarja (ur. M. Fischinger): Ob 100-letnici potresnega inženirstva na Slovenskem. Uvajanje sodobnih evropskih standardov "Eurocode" v Sloveniji, 182-197, Postojna.
- Lapajne, J., Ribarič, V., 1995. Potresna nevarnost v Sloveniji (zloženko). Uprava RS za zaščito in reševanje, Ljubljana.
- Lapajne, J., Šket Motnikar, B., Zupančič, P., 2001. Karta projektnega pospeška tal Slovenije. Potresi v letu 1999. Uprava RS za geofiziko, 43-54, Ljubljana.
- Pravilniki o tehničnih normativih za graditev objektov na seizmičnih območjih; spremembe in dopolnitve (Ur. l. SFRJ, št. 31/81, 49/82, 29/83, 21/88 in 52/90).
- Ribarič, V., 1982. Začasna karta maksimalnih intenzitet potresov v MCS. Seizmološki zavod R Slovenije, Ljubljana.
- Ribarič, V. et al., 1987. Seizmološke karte Jugoslavije za povratne dobe 50, 100, 200, 500, 1000 in 10 000 let, 1987. Zajednica za seizmologiju SFR Jugoslavije, Beograd.
- Ribičič, M., Vidrih, R., 1998. Poškodbe v naravi ob potresu 12. aprila v Posočju. Življenje in tehnika, 49, september 1998, 48-56, Ljubljana.
- Seizmološka karta F. N. R. Jugoslavije, 1950. Izdanje Seizmološkega zavoda F. N. R. J., Beograd.
- 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 1998, Ljubljana.

KARTA PROJEKTNEGA POSPEŠKA TAL SLOVENIJE DESIGN GROUND ACCELERATION MAP OF SLOVENIA

Janez Lapajne¹, Barbara Šket Motnikar¹, Polona Zupančič¹

Izvleček. Uprava RS za geofiziko (zdaj Agencija RS za okolje) je izdala novo karto potresne nevarnosti Slovenije: karto projektnega pospeška tal za trdna tla za povratno dobo 475 let. Karto smo izdelali v skladu z zahtevami evropskega predstandarda Eurocode 8 in je izračunana po uveljavljenih verjetnostnih metodah za ocenjevanje potresne nevarnosti. Člani delovne skupine za potresnoodporne konstrukcije pri Uradu za standardizacijo in meroslovje so karto strokovno podprli in sprožili postopek za dopolnitev predpisov o potresno odporni gradnji v Sloveniji. Še vedno je namreč v veljavi Pravilnik o tehničnih normativih za graditev objektov visoke gradnje na seizmičnih območjih [Ur. l. SFRJ št. 31/81], ki za projektiranje "navadnih stavb" predpisuje uporabo karte potresne intenzitete za povratno dobo 500 let (Seizmološka karta SFR Jugoslavije in Tolmač, 1987). Kot priporočeno možnost za projektiranje bomo novo karto projektnega pospeška tal uporabljali skupaj z novim slovenskim predstandardom, ki bo temeljil na Eurocode 8 in bo predvidoma stopil v veljavo 1. 1. 2002.

Abstract. According to the current legislation, the official seismic hazard map of Slovenia is the intensity map for return period of 500 years (1987). As suggested by Slovenian prestandard based on Eurocode 8 (CEN, 1994), the intensity map may also be used to determine design ground acceleration. For this purpose an empirical relationship between intensity and design ground acceleration is applied. It is expected, that the improved version of the Slovenian prestandard will come into force in the beginning of the next year. As enclosure, it will include the new design ground acceleration map for rock and for the return period of 475 years, which is presented in this paper. The new map is prepared by the improved approach of spatially smoothed seismicity modelling originally developed by Frankel (1995).

Uvod

Za potresno odporno gradnjo je v Sloveniji še vedno v veljavi Pravilnik o tehničnih normativih za graditev objektov visoke gradnje na seizmičnih območjih (Ur. l. SFRJ št. 31/81, 49/82, 52/90), ki za projektiranje "navadnih stavb" predpisuje uporabo karte potresne intenzitete za povratno dobo 500 let (Seizmološka karta SFR Jugoslavije in Tolmač, 1987). Ta karta se z ustrežno zvezo med vrednostmi intenzitete in projektnega pospeška tal lahko uporablja tudi kot karta projektnega pospeška tal skupaj s slovenskim predstandardom, ki ga je leta 1995 izdal Urad RS za standardizacijo in meroslovje kot vzporedno in priporočeno možnost za projektiranje in ki je z metodo platnice privzet del evropskega predstandarda Eurocode 8 (EC 8) iz leta 1994 (CEN, 1994). V začetku leta 2002 bo predvidoma začel veljati na popravljenem evropskem predstandardu temelječi slovenski predstandard, ki bo pretvorbo intenzitete v projektni pospešek tal zamenjal z neposredno uporabo nove karte projektnega pospeška tal, objavljene v tem prispevku. Namen objave nove karte je tudi ta, da projektante predhodno seznanimo za pripravo novih projektov.

Pri izdelavi karte potresne nevarnosti Slovenije smo izhajali iz priporočil evropskega predstandarda EC 8. Temeljna priporočila tega predstandarda so.

- Karta potresne nevarnosti naj bo razdeljena na območja potresne nevarnosti. Na posameznem območju naj bo potresna nevarnost po predpostavki povsod enaka.

¹ Agencija RS za okolje, urad za seizmologijo, Dunajska 47, Ljubljana

- Potresno nevarnost na karti naj določa ena sama veličina: projektni pospešek tal, ki naj bo praviloma enak vršnemu pospešku tal.
- Vrednosti projektnega pospeška tal na karti naj se nanašajo na trdna tla (vrsta tal A).
- Priporočajo se vrednosti projektnega pospeška tal, ki v 50 letih ne bodo presežene z verjetnostjo 90 %, kar ustreza povratni dobi 475 let.

Vršni (ali maksimalni) pospešek tal določa največja amplituda potresnega zapisa na določenem mestu. Povratna doba je povprečen čas med potresnimi pojavi, ki dosežejo ali presežejo vrednosti veličine na karti. Potresno gibanje tal na dani lokaciji je med drugim odvisno tudi od kamnin in zemljin, ki sestavljajo lokalna tla. Trdna tla opredeljuje EC 8 kot vrsto tal A, ki jo predstavljajo trdna tla, v kateri je hitrost strižnega valovanja vsaj 800 m/s in na kateri je največ 5 m slabšega površinskega materiala.

Pri izdelavi karte potresne nevarnosti smo izhajali iz postopka prostorskega glajenja, ki je bil razvit in uporabljen pri izdelavi kart potresne nevarnosti ZDA (Frankel, 1995). Metodološko smo ga dopolnili ter matematično in numerično izboljšali. Modelom prostorske porazdelitve števila nadžarišč potresov, po katerih je velika potresna nevarnost na območjih s pogostimi potresi, med katerimi navadno prevladujejo številni manjši potresi, smo dodali modele prostorske porazdelitve sproščene potresne energije. Ti izrazito poudarjajo vpliv velikih in posebej največjih zgodovinskih potresov (npr. potresa leta 1511). Prav taki potresi pa nas dejansko najbolj ogrožajo. Primer: pri potresu magnitude 7 se sprosti približno tisočkrat več energije, kot pri potresu magnitude 5. Na ta način smo matematično simulirali subjektivno upoštevanje tega pomembnega dejavnika, ki je sestavni del uradno veljavne karte intenzitete. Posebna metodološka dopolnitev je statistična obdelava tektonskih struktur in neposredna vključitev preprostega količinskega seizmotektonskega modela v izračun vršnega pospeška tal.

Vhodni podatki

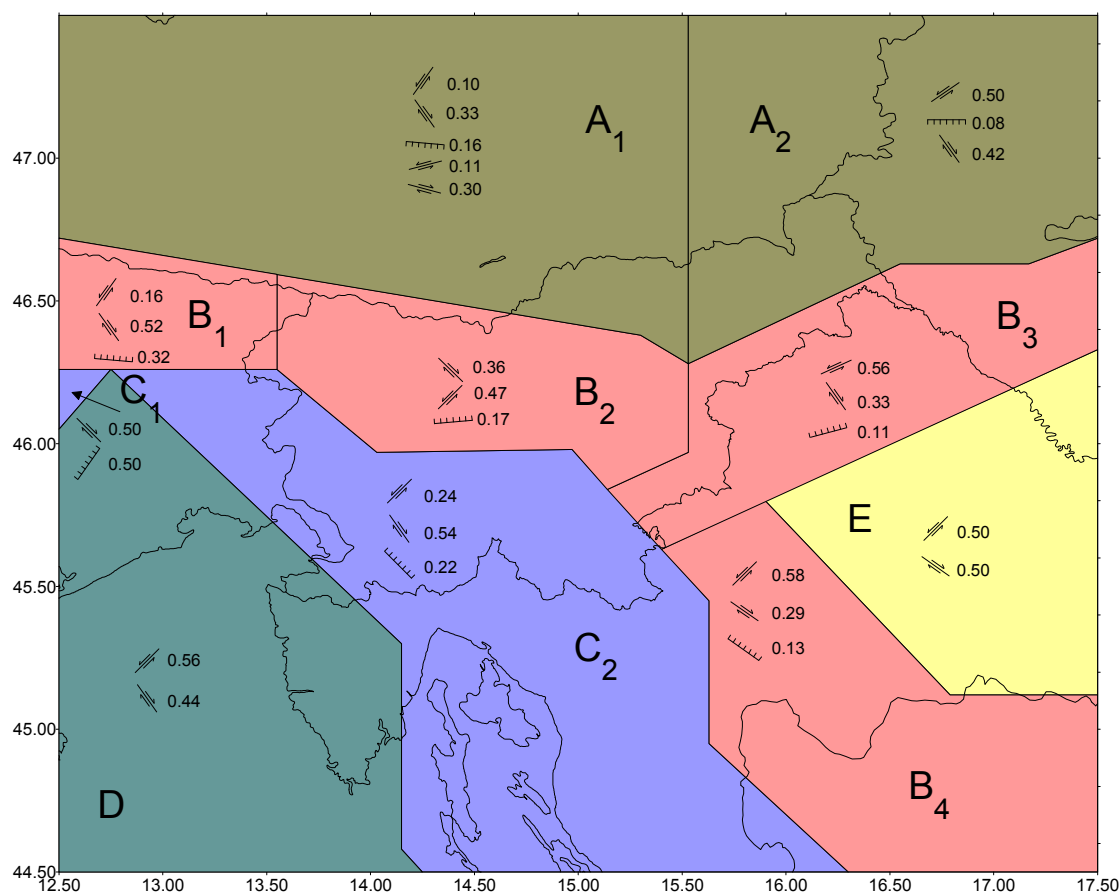
Temeljni vir seizmoloških podatkov je poenoten katalog Slovenije in sosednjih dežel (Ribarič, 1982, 1992, 1994; Živčič, 1992, 1996), ki zajema obdobje od leta 567 do leta 1998 in površino okoli 100.000 km². Skrajne meje tega ozemlja so približno 100 km od meja Slovenije. Za zvezo med magnitudo in pogostostjo potresov smo privzeli dvojno odrezano eksponentno odvisnost (Reiter, 1990), ki se dobro prilega podatkom iz potresnega kataloga:

$$N(m) = N(m_0) \frac{10^{-b(m-m_0)} - 10^{-b(m_u-m_0)}}{1 - 10^{-b(m_u-m_0)}}, \quad (1)$$

kjer je $N(m)$ letno število potresov z magnitudo, večjo ali enako m , m_0 je spodnja meja magnitude, m_u je zgornja meja magnitude, $N(m_0)$ je letno število vseh potresov z magnitudo večjo ali enako m_0 , parameter b pa določa naklon krivulje, ki smo ga ocenili z metodo največje zanesljivosti (Weichert, 1980).

Geološko tektonski vhod izračuna je količinski seizmotektonski model obravnavanega ozemlja (slika 1) oziroma model možnih potresno dejavnih prelomov in narivov (Poljak s sod., 2000). Med modeli pojemanja vršnega pospeška tal smo izbrali model italijanskih avtorjev (Sabetta in Pugliese, 1996):

$$\ln u = c_1 + c_2 m + c_3 \ln \sqrt{d^2 + h^2} + \varepsilon, \quad (2)$$



Slika 1. Preprost količinski seizmotektonski model obravnavanega območja.
Figure 1. Simple quantitative seismotectonic model of the observed area.

kjer so c_1 , c_2 , c_3 in h koeficienti regresije, d je razdalja od »površinskega potresnega izvora« do lokacije, ε pa je normalno porazdeljena napaka s standardnim odklonom σ . Površinski potresni izvor je pri danem modelu pojemanja lahko ali nadžarišče potresa oziroma središče celice mreže glajenja ali projekcija prelomnega pretrga na površju. Karto potresne nevarnosti smo izračunali za obe vrsti razdalje. V predlagani končni karti pa smo v vsaki celici mreže uporabili večjo od obeh vrednosti projektnega pospeška tal.

Modeliranje potresne dejavnosti

Karta potresne nevarnosti je verjetnostna karta, ki kaže pričakovane vrednosti izbrane potresne veličine (v tem primeru projektnega pospeška tal), ki z določeno verjetnostjo (v tem primeru 90 %) ne bodo presežene v izbranem obdobju (v danem primeru v 50 letih). Pri njeni izdelavi smo izhajali iz predpostavke, da nastajajo potresi v širši okolici znanih lokacij preteklih potresov in lokacij preteklega sproščanja potresne energije. Pri tem smo statistično upoštevali tudi seizmotektonske značilnosti ozemlja Slovenije in njene širše okolice.

Podatki o potresih, ki so nastali pred velikim ljubljanskim potresom leta 1895, so zelo skromni in nezanesljivi, pa tudi podatki o potresih po letu 1895 so dokaj nenatančni (stanje se izboljšuje s postavljanjem novih potresnih opazovalnic), so tudi statistične in verjetnostne raziskave zelo nezanesljive in mnogolične. Zato smo izdelali pet po naši oceni reprezentativnih modelov preteklega prostorske porazdelitve potresne dejavnosti (Lapajne in Šket Motnikar, 2000). Nivo potresne dejavnosti smo določili glede na število potresov (modela M 1 in M 2) ali glede na sproščeno energijo potresov (modeli M 1e, M 2e in M 3e) v

časovno različnih podkatalogih. Temeljne značilnosti vseh petih modelov so prikazane v preglednici 1.

Preglednica 1: Značilnosti modelov potresne dejavnosti.

Table 1: Characteristics of seismicity models.

model	M1	M1e	M2	M2e	M3e
obdobje [leta]	119	119	309	309	1438
največja napaka lokacije [km]	22	22	33	33	56
korelacijska razdalja c	7	7	11	11	19
G-R naklon b	0,84	0,84	0,84	0,84	0,85
spodnja meja magnitude m_o	3,7	3,7	5,0	5,0	3,7
zgornja meja magnitude m_u	6,5	6,5	6,5	6,5	7,0
normirni faktor	1	1,25	2,33	2,47	8,27

Vsi modeli potresne dejavnosti so glajeni z dvostopenjskim postopkom in normirani na referenčni model M1, tako da je skupna potresna dejavnost vplivnega območja v vseh modelih enaka (slika 2).

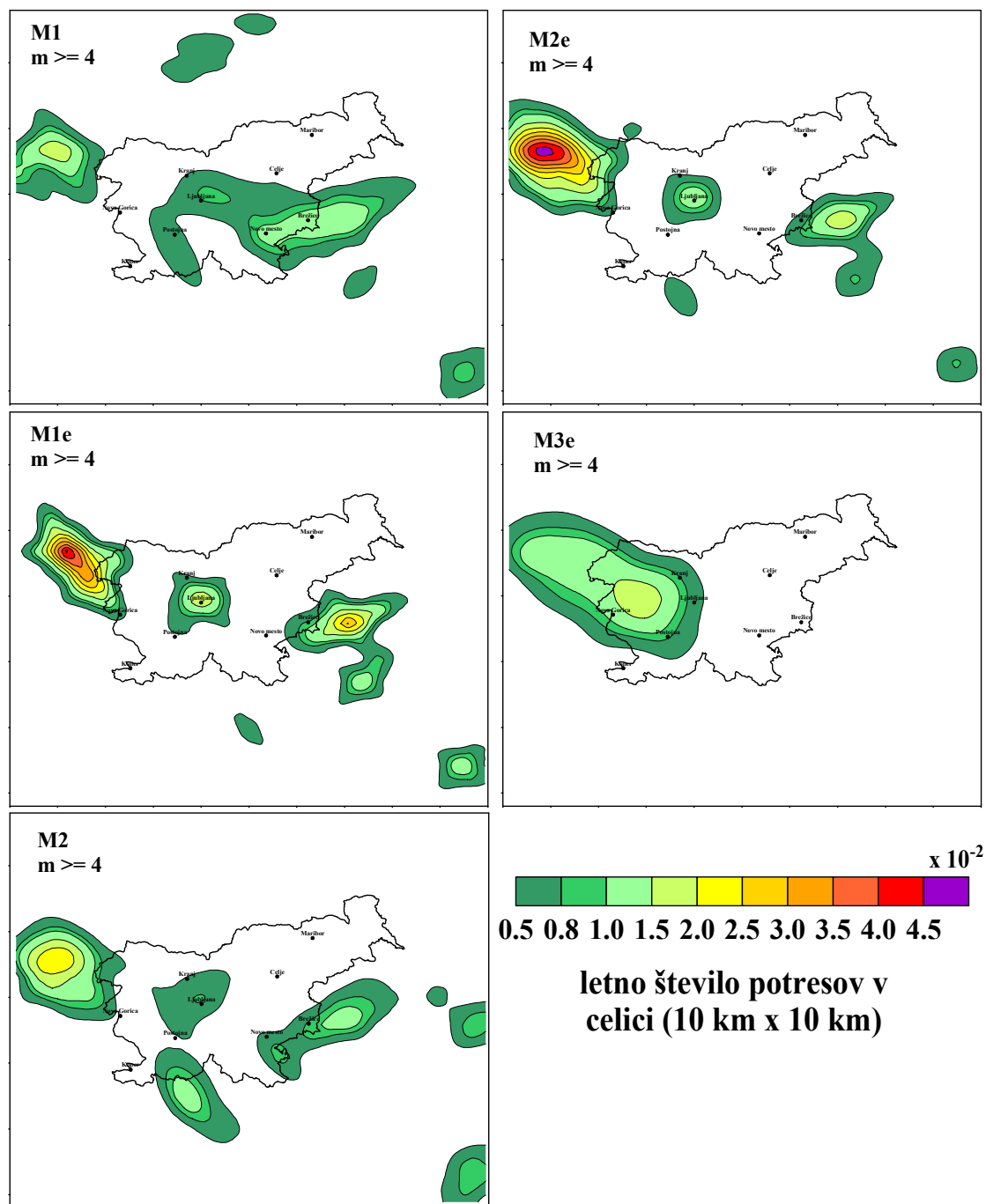
Prostorsko glajenje potresne dejavnosti

Zaradi velike nenatančnosti določitve lokacij preteklih potresov ter slabega poznavanja globinske tektonske zgradbe in pokritosti geoloških prelomov z mlajšimi geološkimi plastmi ne moremo neposredno povezati prelomov in drugih tektonskih struktur s potresi. Izjema je le potres, ki je dne 12. 4. 1998 nastal v Krnskem pogorju. Številni zapisi popotresov tega potresa z začasno postavljenimi potresnimi opazovalnicami na širšem nadžariščnem območju so omogočili izdelavo modela prelomnega pretrga, ki je povzročil enega od dveh največjih potresov na ozemlju Slovenije v 20. stoletju (Bajc in sod., 2001; Lapajne, 1990).

Prav za območja s pomanjkljivim poznavanjem seizmotektonike je za izračun potresne nevarnosti primeren postopek prostorskega glajenja, ki ga je razvil Frankel (1995) in ki, podobno kot postopek ploskovnih potresnih izvorov izhaja, iz Cornellove metodologije (Cornell, 1968). Zaradi predpostavke o Poissonovi časovni porazdelitvi potresov izločimo iz potresnega kataloga predpotrese in popotrese. Namesto klasične opredelitve potresnih izvorov obravnavano območje le razdelimo na celice primerne velikosti (v našem primeru smo uporabili dve različici: kvadratne celice z robom dolžine 5 km in 10 km). Nivo potresne dejavnosti v i -ti celici $n_i(m_0)$ določa število ali sproščena energija potresov z nadžariščem v tej celici. Napako lokacije nadžarišča in predpostavko, da se bodo tudi v prihodnje potresi pojavljali v bližini preteklih lokacij, je Frankel upošteval s krožnim Gaussovimi glajenjem:

$$\tilde{n}_i(m_0) = \frac{\sum_j n_j(m_0) e^{-\Delta_{ij}/c^2}}{\sum_j e^{-\Delta_{ij}/c^2}}, \quad (3)$$

kjer je c korelacijska razdalja in Δ_{ij} razdalja med i -to in j -to celico. Polmer glajenja je $3c$. Frankel je določil korelacijsko razdaljo s poskušanjem na podlagi subjektivnih kriterijev.



Slika 2. Prostorski modeli potresne dejavnosti (dvostopenjsko glajenje).
Figure 2. Spatially smoothed seismicity models (second stage smoothing).

Zaradi objektivnejše določitve območja glajenja smo glajenje razdelili v dva koraka. V prvem koraku smo s krožnim glajenjem po enačbi (3) upoštevali napako lokacije, v drugem pa smo z eliptičnim glajenjem upoštevali smeri prelomov in dolžine prelomnih pretrgov, pri čemer smo uporabili v ta namen posebej izdelan količinski seizmotektonski model (Poljak s sod., 2000). Za eliptično glajenje smo izpeljali naslednjo enačbo:

$$\tilde{n}_{ij}(m_0) = \frac{e^{-\frac{1}{2}\delta_{ij}^p V^T R V \delta_{ij}^p}}{\sum_j e^{-\frac{1}{2}\delta_{ij}^p V^T R V \delta_{ij}^p}}, \quad (4)$$

kjer je $\tilde{n}_{ij}(m_0)$ število potresov celice i , ki jih med eliptičnim glajenjem prestavimo v celico j .

Oznaka T pomeni transponiranje, vektor δ_{ij}^T pa določa razdaljo med celicama i in j .

Korelacijska matrika R

$$R = \begin{bmatrix} \frac{1}{\sigma^2} & 0 \\ 0 & \frac{1}{\tau^2} \end{bmatrix} \quad (5)$$

določa dolžini obeh polosi elipse (σ in τ), njen pomen pa je podoben pomenu korelacijske razdalje c ; polmera glajenja sta 3σ in 3τ . Azimut α v matriki V določa smer prve polosi σ elipse:

$$V = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix} \quad (6)$$

Hkrati je to tudi smer seizmogenega preloma. Za dolžino polosi smo privzeli kar dolžino pretrga L in jo izračunali iz empirične regresijske zveze (Wells in Coppersmith, 1994) med dolžino pretrga in zgornjo magnitudo:

$$\log L = a_1 + b_1 m_u \quad (7)$$

Druga polos elipse τ predstavlja širino seizmogenega pretrga in je po predpostavki sorazmerna dolžini L (mi smo privzeli $\tau = 0,2 L$).

Tako smo s seizmotektonskim modelom zgladili preteklo potresno dejavnost (modelirano v petih različicah) in izračunali pet modelov pričakovane prostorske porazdelitve potresne dejavnosti.

Izračun karte potresne nevarnosti

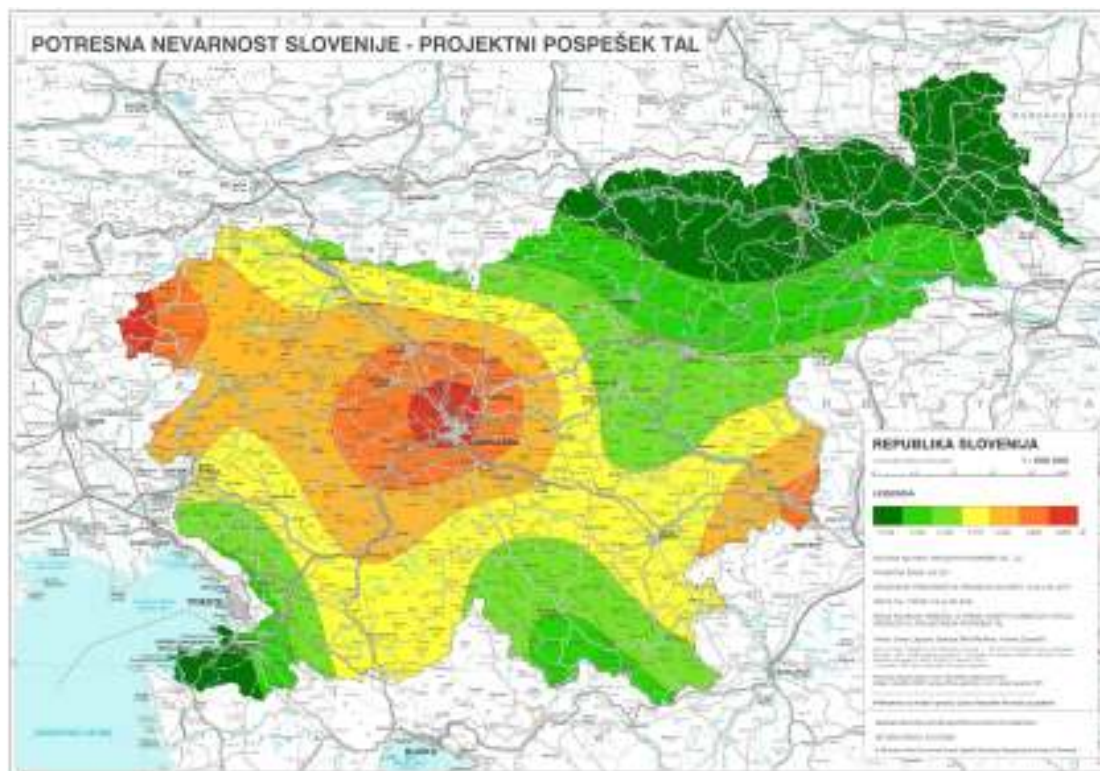
Letno pogostost prekoračitve (to je pričakovano letno število prekoračitev) izbrane vrednosti parametra gibanja tal u_0 izračunamo iz enačbe (Lapajne s sod., 1997):

$$\lambda(u > u_0) = \sum_i \tilde{n}_i \int_{m_{\min}}^{m_u} P[u > u_0 | d_i, m] p_m(m) dm, \quad (8)$$

kjer je \tilde{n}_i povprečno letno število potresov z vrednostjo magnitude med m_{\min} in m_u v i -ti celici prostorskega modela pričakovane seizmičnosti. Začetna magnituda $m_{\min} \geq m_0$ je določena tako, da lahko zanemarimo prispevke potresov vseh manjših magnitud ($m_{\min} = 4,0$). Indeks i teče po vseh celicah. Pogojna verjetnost $P[u > u_0 | d_i, m]$ pomeni verjetnost, da je vrednost u_0 presežena na lokaciji, ki je za razdaljo d_i oddaljena od projekcije prelomnega pretrga na površju, ki ima središče v celici i in ustreza potresu z magnitudo m . V enačbi za pogojno verjetnost je zajet tudi model pojemanja (2). Gostoto verjetnosti magnitude $p_m(m)$ pa dobimo iz enačbe (1) za dvojno odrezano eksponentno odvisnost.

Z interpolacijo smo izračunali vrednosti pospeška za dano povratno dobo 475 let. Za izračun smo uporabili lasten računalniški program (Zabukovec, 2000). Pomembni prednosti našega postopka in pripadajočega računalniškega programa pred nekaterimi v svetu uveljavljenimi načini ocenjevanja potresne nevarnosti, za katere je značilno več subjektivne »inženirske presoje«, sta večja preglednost in ponovljivost izračunov.

S petimi modeli pričakovane prostorske porazdelitve števila nadžarišč potresov in privzetim modelom pojemanja smo izračunali pet različnih kart vršnega pospeška tal. Povprečje vseh petih kart vršnega pospeška tal smo privzeli za karto projektnega pospeška tal. Priporočilo evropskega predstandarda Eurocode 8, da mora biti karta razdeljena na homogena območja potresne nevarnosti, smo upoštevali tako, da smo za vrednost projektnega pospeška tal na določenem območju določili zgornjo vrednost na tem območju (slika 3).



Slika 3. Karta potresne nevarnosti Slovenije: projektni pospešek tal [g] za povratno dobo 475 let za trdna tla (avtorji: J. Lapajne, B. Šket Motnikar, P. Zupančič, tehnična izdelava: Geodetski inštitut Slovenije). Tiskano karto v merilu 1:500.000 je možno dobiti na MOP - Agenciji za okolje, Dunajska 47/VII, Ljubljana.

Figure 3. Design ground acceleration map of Slovenia for rock or firm soil for return period 475 years (authors: J. Lapajne, B. Šket Motnikar, P. Zupančič). Printed map (scale 1:500.000) can be obtained at the Ministry of the environment and spatial planning - Environmental Agency of the Republic of Slovenia, Dunajska 47/VII, Ljubljana.

Karta kaže večjo potresno nevarnost v pasu, ki poteka od severozahoda proti jugovzhodu države. Z oddaljevanjem od tega pasu proti severovzhodu in jugozahodu se potresna nevarnost zmanjšuje. V omenjenem osrednjem pasu izstopajo tri območja z največjo potresno nevarnostjo.

1. Območje zahodne Slovenije, kjer sicer manjši potresi niso pogosti, so se pa tla v preteklosti najmočneje tresla. Potresi v Furlaniji v letu 1976 in potres leta 1998 v zgornjem Posočju so še v živem spominu. Razmeroma velike vrednosti projektnega pospeška tal na tem območju so predvsem posledica tako velikih kot tudi pogostih potresov v bližnji Furlaniji, saj na tem območju potresna žarišča na naši strani meje niso bila prav pogosta pred potresom leta 1998 in njegovimi številnimi popotresi. Leta 1511 je na tem območju tudi nastal doslej največji potres z žariščem na slovenskih tleh.

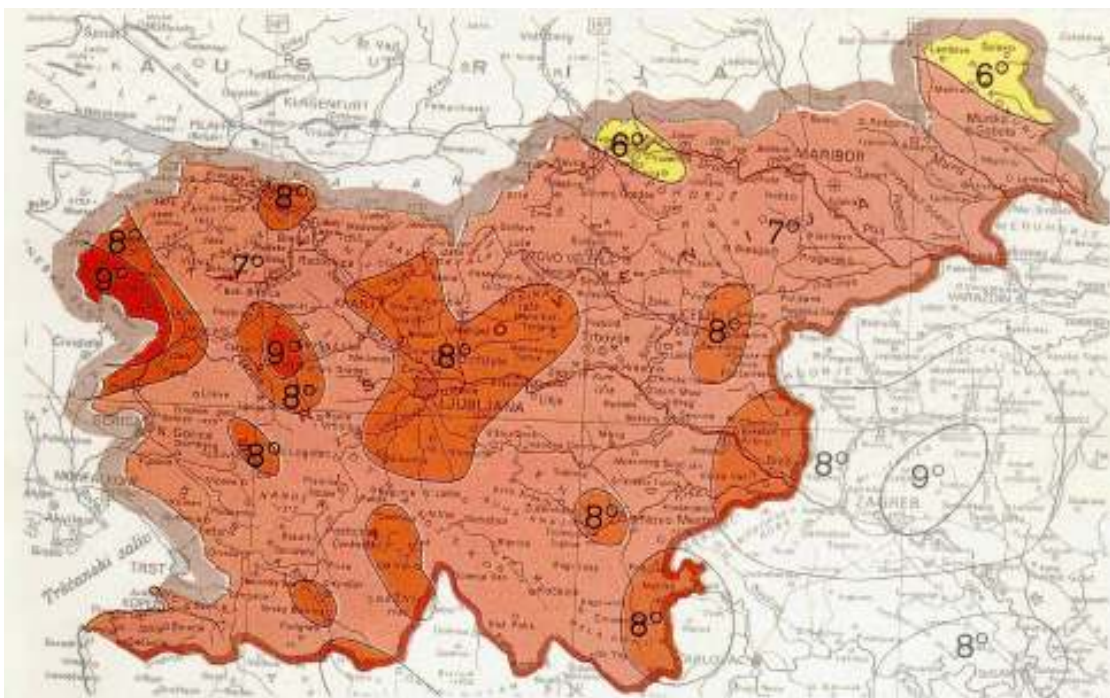
2. Območje Ljubljane in njene bližnje okolice, kjer so šibkejši potresi razmeroma pogosti, pa tudi nekoliko močnejši potresi (najmočnejši znani potres se je tu zgodil leta 1895) niso

redkost. Zato oboji prispevajo k razmeroma veliki potresni nevarnosti. Tudi k izračunu potresne nevarnosti na tem območju precej prispeva potres iz leta 1511, posebej na njegovem zahodnem delu.

3. Tretje potresno nevarnejše območje je območje Brežic. K dokaj veliki vrednosti projektnega pospeška tal prispevajo tu predvsem številni razmeroma šibki potresi in redki močnejši potresi (najmočnejši znani potres je bil tu leta 1917, ki je po velikostni stopnji primerljiv s potresom leta 1998 v Posočju). Nekoliko manjši vpliv na potresno nevarnost tega območja imajo potresi na hrvaški strani meje in močnejši potresi severno od Zagreba.

Primerjava z uradno seizmološko karto

Karta projektnega pospeška tal (slika 3) kaže večje in manjše razlike glede na uradno veljavno karto potresne intenzitete (slika 4), ki je skupaj s tolmačem (Tumač seizmološke karte SFR Jugoslavije, 1987) priloga Pravilniku o tehničnih normativih za graditev objektov visoke gradnje na seizmičnih območjih (Ur. l. SFRJ 31/81, 49/82, 52/90). Te razlike lahko razložimo z nekoliko različnimi vhodnimi podatki, različno računsko metodologijo, različnimi subjektivnimi ocenami in predvsem z različnima veličinama, ki ju kažeta karti.



Slika 4. Uradna seizmološka karta: potresna intenziteta za povratno dobo 500 let (avtor za ozemlje Slovenije: V. Ribarič).

Figure 4. Official seismic hazard map: intensity map for return period 500 let (author: V. Ribarič).

Veličina na uradno veljavni seizmološki karti oziroma karti potresne nevarnosti je potresna intenziteta, ki kaže stopnje potresnih učinkov. Karta je izdelana za "srednja tla" (kot so opredeljena v pravilniku iz leta 1981) in za povratno dobo 500 let. Izračun temelji na podatkih o preteklih potresih ob subjektivnem upoštevanju seizmotektonskih značilnosti ozemlja in avtorjevih strokovnih izkušenj. Na karti izstopa vpliv velikih zgodovinskih in močnih nedavnih potresov, kar se kaže npr. v „otočkih” 8. in 9. stopnje na nadžariščnem območju

največjega znanega slovenskega potresa (Idrijsko 1511) in na območjih večjih potresov v bližnji preteklosti (npr. Kozjansko 1974 in Furlanija 1976).

Nova karta potresne nevarnosti kaže vrednosti projektnega pospeška tal. Karta je izdelana za trdna tla in za povratno dobo 475 let. Pri njeni izdelavi je uporabljen dopolnjen postopek prostorskega glajenja potresne dejavnosti. Poleg potresnega kataloga (v katerega so vključeni tudi potresi, ki jih avtor karte intenzitete še ni imel na voljo) je vhodni podatek še količinski seizmotektonski model. Izračun je narejen z lastnim računalniškim programom.

Najpomembnejša razlika med kartama je potresna veličina, s katero je opredeljena potresna nevarnost. Za razliko od intenzitete je projektni pospešek tal fizikalna veličina, ki omogoča neposreden izračun potresnih sil oziroma obremenitev. Uporaba karte intenzitete za določanje projektnega pospeška je bil le zasilni izhod, ker leta 1995 karte projektnega pospeška še ni bilo. Prirejanje vrednosti projektnega oziroma vršnega pospeška tal vrednostim intenzitete in obratno namreč ni enolično. Stopnjam intenzitete ustrezajo veliki razponi vrednosti pospeška, ki se prekrivajo preko več intenzitetnih stopenj.

Sklep

Ocenjevanje potresne nevarnosti in izdelava pripadajočih kart je ena od temeljnih podlag vseh oblik zaščite pred potresi. Nova karta projektnega pospeška tal bo uporabna na raznih področjih: npr. za prostorsko in urbanistično načrtovanje, za ocene potresne ogroženosti pri pripravi ukrepov zaščite in reševanja, v zavarovalništvu ter v raznih raziskavah. S predvideno izdajo nove različice slovenskega predstandarda pa se bo predvidoma po 1. 1. 2002 uradno uporabljala tudi za projektiranje »navadnih stavb«. Za projektiranje gradbenih objektov, ki zahtevajo večjo potresno varnost, bomo po potrebi izdelali karte za večje povratne dobe in karte spektralnega pospeška. Za projektiranje pomembnejših objektov bodo dajale karte le orientacijske vrednosti, za določitev projektnih potresnih veličin pa bodo podobno kot doslej potrebne podrobne raziskave lokacije bodočega objekta.

Pri nas in tudi v svetu obstaja zaradi pomanjkljivih in nezanesljivih vhodnih podatkov ter glede metodologije ocenjevanja potresne nevarnosti še precej odprtih vprašanj, ki jih bomo tudi v prihodnje reševali v okviru evropskih in svetovnih smernic ob upoštevanju slovenskih seizmoloških, seizmotektonskih in geoloških značilnosti. Trenutno nadaljujemo raziskovalno delo na posplošitvi postopka in izdelavi uporabniku prijaznega računalniškega programa.

Morebitni novi močnejši potresi in natančnejše določitve potresnih veličin bodo zahtevale novo modeliranje pričakovane prostorske porazdelitve potresov, poleg tega bodo zapisi takih potresov na več opazovalnicah omogočili izdelavo za naše ozemlje značilnega modela pojemanja, natančnejša opredelitev in morebitno odkritje danes še nepoznanih seizmogenih struktur pa prevrednotenje seizmotektonskega modela. Novi in natančnejši podatki bodo poleg boljših verjetnostnih ocen omogočili tudi zanesljivejše fizikalno modeliranje in deterministično določanje projektnih potresnih veličin. Zato se ocenjevanje potresne nevarnosti stalno izpopolnjuje in posodablja, karte projektnih potresnih veličin pa naj bi se praviloma preverjale vsakih pet let in po potrebi zamenjale.

Literatura

Bajc J., Aoudia A., Sarao A., Suhadolc P., 2001. The 1998 Bovec-Krn mountain (Slovenia) earthquake sequence.

- Geophysical Research Letters, 28, 9, 1839-1842.
- CEN, European Committee for Standardization, Eurocode 8, 1994. Design provisions for earthquake resistance of structures - 1-1: General rules - Seismic actions and general requirements for structures, European Prestandard, ENV 1998 1-1, 25 str.
- Cornell, C. A., 1968. Engineering seismic risk analysis, Bull. Seism. Soc. Am. 58, 1583–1606.
- Frankel, A., 1995. Mapping seismic hazard in the Central and Eastern United States, Seismological Research Letters, 66, 4, 8-21.
- <http://geohazards.cr.usgs.gov>.
- Lapajne, J., 1990. Veliki potresi na Slovenskem – IV, Brežiški potres leta 1917, Ujma 4, 72-75.
- Lapajne, J. K., Šket Motnikar B., Zabukovec B., Zupančič P., 1997. Spatially-smoothed seismicity modelling of seismic hazard in Slovenia, Journal of Seismology, 1, 1, 73-85.
- Lapajne, J. K., Šket Motnikar B., 2000. Jalovišče Boršt – verjetnostna ocena vršnega pospeška tal, Gradbeni vestnik 49, 171-184.
- Poljak, M., Zupančič, P., Lapajne, J. K., Šket Motnikar, B., 2000. Seismotectonic input for spatially smoothed seismicity approach. Proceedings of Workshop Seismicity modelling in seismic hazard mapping, 117-124, Poljče.
- Pravilnik o tehničnih normativih za graditev objektov visoke gradnje na seizmičnih območjih, Ur. l. SFRJ, 844-855, št. 31/81.
- Pravilnik o spremembi pravilnika o tehničnih normativih za graditev objektov visoke gradnje na seizmičnih območjih, Ur. l. SFRJ, 1249-1251, 1729, št. 49/82.
- Reiter, L., 1990. Earthquake Hazard Analysis. Columbia University Press, 254 str., New York.
- Ribarič, V., 1982. Seizmičnost Slovenije - Katalog potresov, Seizmološki zavod SR Slovenije, 649 str., Ljubljana.
- Ribarič, V., 1992. Seizmičnost Slovenije - Katalog potresov, Dodatek 1, Seizmološki zavod SR Slovenije, 145 str., Ljubljana.
- Ribarič, V., 1994. Seizmičnost Slovenije - Katalog potresov, Dodatek 2, Seizmološki zavod SR Slovenije, 91 str., Ljubljana.
- Sabetta, F., Pugliese A., 1996. Estimation of response spectra and simulation of nonstationary earthquake ground motions. Bull. Seism. Soc. Am. 86, 2, 337-352.
- Seizmološka karta SFRJ za povratni period od 500 godina, Zajednica za seizmologiju SFRJ, Beograd, 1987.
- Tumač seizmološke karte SFR Jugoslavije, Zajednica za seizmologiju SFRJ, Beograd, 1987.
- Wells, D. L., Coppersmith, K. J., 1994. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area and surface displacement. Bull. Seism. Soc. Am. 84, 4, 974-1002.
- Weichert, D. H., 1980. Estimation of the earthquake recurrence parameters for unequal observation periods for different magnitudes. Bull. Seism. Soc. Am., 70, 1337-1346.
- Zabukovec B., 2000. OHAZ – A computer program for spatially smoothed seismicity approach, Proceedings of Workshop Seismicity modeling in seismic hazard mapping, 135-140, Poljče.
- Živčić, M., 1992. Katalog potresov, Projekt NEK-PSHA92, Univerza v Ljubljani, FAGG – IKPIR, Ljubljana.
- Živčić, M. (urednik), 1996. Quantitative Seismic Zoning of the Circum Pannonian Region, QZEZ-CIPAR, Scientific report on Task A: Seismicity and Geodynamics. Comm. Eur. Comm., Project CIPA CT 94-0283, Ministrstvo za okolje in prostor - Uprava RS za geofiziko, Ljubljana.

IZBOR LOKACIJ ZA NOVO MREŽO POTRESNIH OPAZOVALNIC V SLOVENIJI: GEOLOŠKE IN GEOFIZIKALNE RAZISKAVE SITE SELECTION FOR THE NEW SEISMIC NETWORK IN SLOVENIA: GEOLOGICAL AND GEOPHYSICAL INVESTIGATIONS

Andrej Gosar¹, Polona Zupančič¹, Renato Vidrih¹

Izvleček. Postavitev sodobne mreže potresnih opazovalnic je zahteven interdisciplinarni projekt. Kriteriji za izbor lokacije potresne opazovalnice vključujejo splošne pogoje (geometrija mreže), naravne danosti (seizmogeološke lastnosti, seizmični nemir, relief, klimatske razmere) in izvedbene pogoje (možnost odkupa ali uporabe zemljišča, zagotovitev vira energije in komunikacij za prenos podatkov, izvedljivost gradbenih del, dostopnost in zaščita pred vandalizmom). Na izbiro vplivajo geološka zgradba tal v širši okolici bodoče opazovalnice, oddaljenost lokacije od večjih urbaniziranih okolij, predvsem večjih naselij, prometnejših cest in železnic ter ostalih možnih virov nemira. Raziskave za izbor lokacij potresnih opazovalnic za novo državno mrežo so s stališča naravnih danosti obsegale geološke, geofizikalne in seizmološke analize. Na nove in nekatere že obstoječe opazovalnice po vsej Sloveniji bomo postavili petindvajset novih inštrumentov.

Abstract. The planning of the new Slovenian seismic network is an interdisciplinary project. Criteria for selecting the seismic station location are divided into general (geometry of the network), natural resources (seismogeological conditions, seismic noise, topography, climatic conditions) and realisation resources (the possibility to buy or lease the land, capability to provide electricity and communication, the construction possibilities and access to the site, protection from vandalism). The selection of new seismic station site is influenced by geological conditions in wider surroundings, its distance from larger urban areas, busy roads, railways, etc. To obtain the knowledge about natural resources of the site, geological, geophysical and seismological analyses were performed. The goal of the project is to install 25 new instruments on existing and new locations in Slovenia.

Uvod

Izkušnje zadnjih let, predvsem pa potres leta 1998 v zgornjem Posočju, so pokazali, da je v Sloveniji potrebna temeljita posodobitev opazovanja potresov. Nova državna mreža potresnih opazovalnic bo skrajšala čas posredovanja podatkov ustreznim državnim službam in javnosti ter izboljšala kvaliteto določitve potresnih parametrov. Vlada RS je zato že jeseni 1998 odobrila načrt posodobitve državne mreže potresnih opazovalnic. Ker gre za finančno in izvedbeno zahteven projekt, bo trajal najmanj pet let. Predvidena je postavitev petindvajsetih novih inštrumentov državne mreže potresnih opazovalnic (Lapajne in sod., 1998).

Postavitev sodobne mreže potresnih opazovalnic je zahteven interdisciplinarni projekt, za katerega je potrebno izpolniti pogosto nasprotujoče si zahteve glede seizmogeološke ustreznosti lokacije, možnosti gradbene izvedbe, zagotovitve vira energije in povezave s središčem za zbiranje in vrednotenje podatkov. Da ima mreža opazovalnic željene lastnosti, je glede na naravne in druge danosti pogosto potrebna optimizacija kompromisnih rešitev.

Raziskave za izbor lokacij potresnih opazovalnic s stališča naravnih danosti so obsegale geološke, geofizikalne in seizmološke analize. Namen raziskav je bil izbrati 20 novih lokacij,

¹ Agencija RS za okolje, urad za seizmologijo, Dunajska 47, Ljubljana

ki bodo skupaj z že delujočimi opazovalnicami, gradile novo državno mrežo (Gosar, 1999). Vse opazovalnice bodo opremljene s trikomponentnimi širokopasovnimi seizmometri, pet opazovalnic pa bo imelo dodatno še akcelerometre, ki zapisujejo nihanja tal ob močnih potresih. Predvideno je zvezno zajemanje podatkov in njihov prenos v realnem času v središče za obdelavo podatkov v Ljubljani. Za prenos podatkov je predvidena kombinacija najetih telefonskih vodov in državnega računalniškega omrežja.

V prispevku so predstavljene opravljene raziskave za izbor lokacij potresnih opazovalnic v letih 1999-2000. Obravnavali bomo predvsem naravne danosti in sicer geološke in geofizikalne pogoje, omenili pa bomo tudi vse druge pomembne kriterije, ki vplivajo na izbor lokacij.

Kriteriji za izbor lokacij potresnih opazovalnic

Kriteriji za izbor lokacije potresne opazovalnice vključujejo splošne pogoje (geometrija mreže), naravne danosti (seizmogeološke lastnosti, seizmični nemir, relief, klimatski pogoji) in izvedbene pogoje (možnost odkupa ali uporabe zemljišča, zagotovitev vira energije in komunikacij za prenos podatkov, izvedljivost gradbenih del, dostopnost in zaščita pred vandalizmom). Večino naštetih kriterijev obravnavajo npr. Willmore (1979), Trnkoczy in Živčič (1992), Bormann in Trnkoczy (1998), Bormann in sod. (1998) ter Živčič (1999). Izbor lokacij potresnih opazovalnic vključuje analizo že obstoječih podatkov (karte, literatura) in terenske raziskave.

Najprej bomo na kratko predstavili splošne in izvedbene pogoje, ki najpogosteje zmanjšujejo možnosti, ki jih nudijo naravne danosti. Številni od teh kriterijev so namreč izločilni, kar pomeni, da jih tudi vse ostale prednosti lokacije ne morejo preseči (npr. ni možnosti odkupa ali uporabe zemljišča). Pri neizločilnih faktorjih poizkušamo kvantitativno oceniti njihov delež v skupni oceni.

Splošni in izvedbeni pogoji

Geometrija mreže

Glede na seizmičnost Slovenije je smiselno dokaj enakomerno pokriti ozemlje celotne države, z izjemo severovzhodnega dela (Dravsko polje, Haloze, Slovenske gorice in Prekmurje), kjer je potresov manj, obenem pa imajo tam kamnine, ki so na površju, tudi slabše seizmogeološke lastnosti. S petindvajsetimi opazovalnicami bi pri enakomerni gostoti v večjem delu Slovenije dosegli medsebojno oddaljenost okoli 30 km in okoli 50 km v njenem severovzhodnem delu (slika 1 in preglednica 1). Večja gostota opazovalnic bo okrog Ljubljane in Krškega (slika 1). Raziskave na teh lokacijah še potekajo, zato le-te v članku niso obravnavane. Projekt se je sčasoma spreminjal, zato si tudi številke opazovalnic v preglednici 1 in na sliki 1 ne sledijo v po vrstnem redu.

Preglednica 1. Glavni seizmogeološki podatki na izbranih lokacijah nove državne mreže potresnih opazovalnic v Sloveniji.

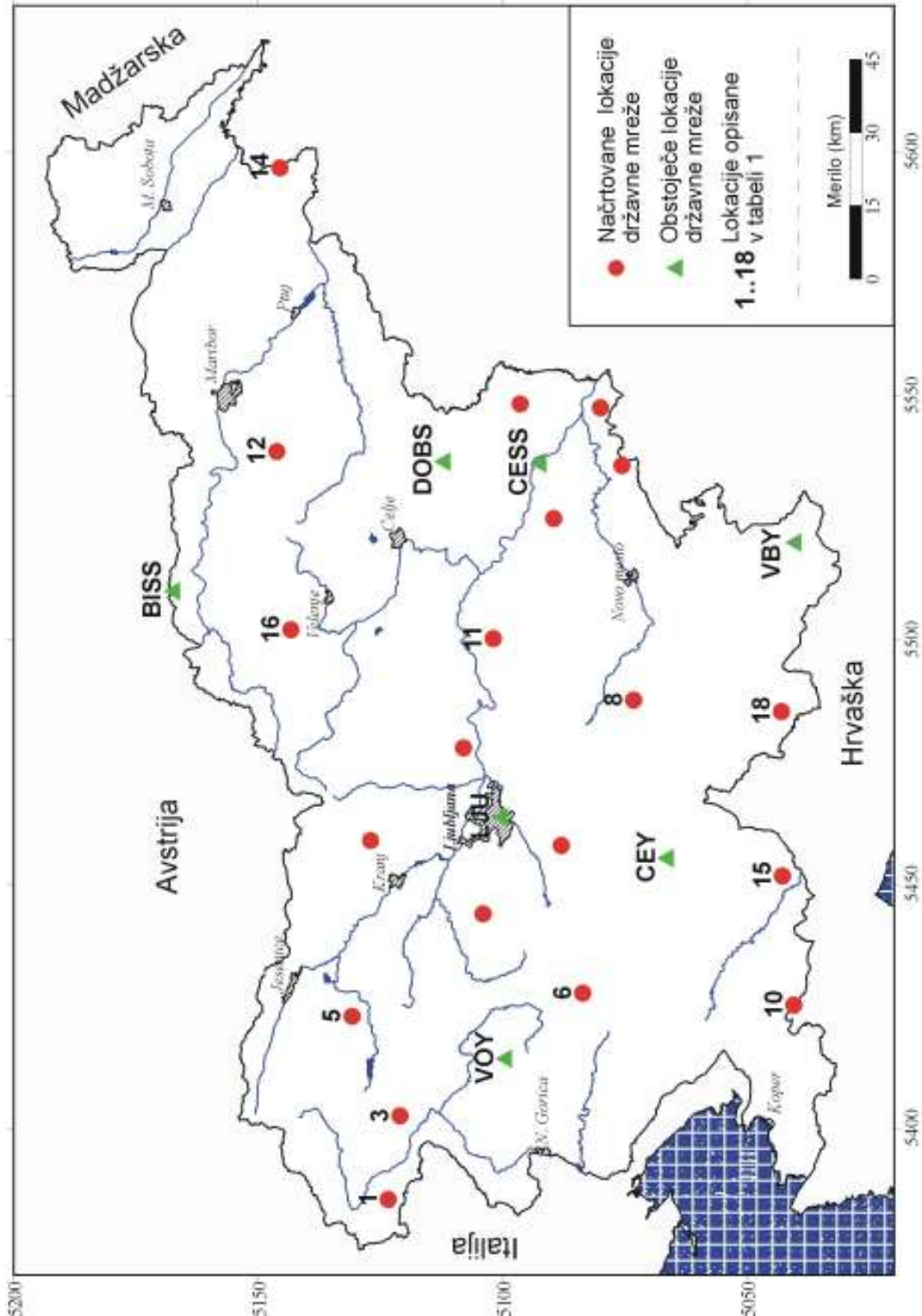
Table 1. Seismogeological data for selected locations of the new Slovenian seismic network.

Zap. št.	Lokacija	Geološki podatki		Pedološki podatki	Raba tal	Podatki refrakcijske seizmike			Ocena seizmogeol. pogojev
		Litologija	Starost			Deb. preperine (m)	Vp (m/s)	Vs (m/s)	
1	Robič (Kobarid)	skladovit apnec	T ²⁺³ ₃	distrična rjava tla na ledenodobnih naplavinah	redki gozd				ugodni
3	Čadrg (Tolmin)	apnec z roženci	K ³ ₂	distrična rjava tla na ledenodobnih naplavinah	pašnik				srednje ugodni
5	Gorjuše (Pokljuka)	sklad. apnec z roženci	J _{1,2}	distrična rjava tla na različnih silikatnih tleh	pašnik, travnik	3,3 +/- 0,8	2660 +/- 350	1670 +/- 200	ugodni
6	Javornik (Hrušica)	dolomit	T ²⁺³ ₃	rendzine na apnencu in dolomitu	pašnik				ugodni
8	Višnje (Ambrus)	apnec z vložki roženca	K _{1,2}	rendzine na apnencu in dolomitu	travniki				ugodni
10	M. Plešivica (Golac)	apnec	K ² ₂	rendzine na apnencu in dolomitu	gozd				srednje ugodni
11	Podkum	skladovit in masiven dolomit	T ²⁺³ ₃	distrična rjava tla na različnih silikatnih tleh	njiva	8,8 +/- 1,4 ali 11,0 +/- 2,9	2850 +/- 80 ali 3140 +/- 80	1840 +/- 50	ugodni
12	Bojtina (Pohorje)	tonalit	Tc	distrična rjava tla na različnih silikatnih tleh		4,5 +/- 1,3	4190 +/- 420	2080 +/- 290	srednje ugodni
14	Kog (Sl. Gorice)	lapor, litofam. apnec	M ² ₂	evtrična rjava tla na laporju in flišu		2,6 +/- 0,9	2120 +/- 80	1240 +/- 95	manj ugodni
15	Knežji dol (Snežnik)	apnec	J ²⁻³ ₃	rendzine na apnencu in dolomitu	gozd				ugodni
16	Zavodnje (Velenje)	granit	P,T	distrična rjava tla na različnih silikatnih tleh	travniki	10,5 +/- 2,8	2030 +/- 345	940 +/- 110	ugodni
18	Gornja Briga (Osilnica)	dolomit	T ²⁺³ ₃	rendzine na apnencu in dolomitu	travniki				srednje ugodni

Možnost odkupa ali uporabe zemljišča

Možnost odkupa ali uporabe zemljišča je izločilen kriterij, za katerega se je med izborom lokacij izkazalo, da ima odločujočo vlogo pogosteje, kot smo pričakovali. Čas, ki smo ga imeli na voljo, je bil večinoma prekratek za izpeljavo postopka uvrstitve potresnih opazovalnic v prostorske načrte občin, ki so podlaga za spremembo namembnosti zemljišča.

Kljub temu, da smo se izogibali boljšim kmetijskim zemljiščem, se je namreč izkazalo, da je v zemljiški knjigi tudi danes zaraščena gmajna pogosto zavedena kot zemljišče I. kategorije. Postopek spremembe namembnosti je v takem primeru večinoma predolg. Drug velik problem je pogosta razdrobljenost lastništva. Z večjim številom lastnikov pa je še težje doseči dogovor o odkupu.



Slika 1. Obstoječe in načrtovane potresne opazovalnice državne mreže v Sloveniji. Številke označujejo izbrane lokacije v preglednici 1.

Figure 1. Existing and planned seismic stations of the new Slovenian seismic network. The station numbers are explained in table 1.

Zagotovitev energetskega vira in komunikacij

Tehnične lastnosti seizmološke opreme, ki bo nameščena na opazovalnicah, zahtevajo na lokacijah omrežno napetost 220 V in telefonski priključek. Ta dva pogoja sta omejila izbor lokacij na relativno kratko oddaljenost od obstoječih vodov (največ 2 km, v večini primerov pa nekaj sto metrov). V okviru projekta so bile sicer preučene različne možnosti prenosa podatkov med opazovalnicami in središčem za obdelavo podatkov v Ljubljani. Tehnološke rešitve za prenos podatkov, ki se bodo zvezno zajemali na treh ali šestih kanalih s frekvenco do 200 Hz so: internet ali drugo računalniško omrežje (intranet), zakupljen telefonski vod, mobilna telefonija GSM, radijski ali satelitski prenos (Bormann in sod., 1998). Glede na to, da v Sloveniji satelitski prenos še ni dovolj uveljavljen, smo to možnost opustili, radijski prenos pa smo zaradi težav pri pridobitvi frekvenc ocenjen za manj primerne. Glede na izkušnje pri že obstoječi mreži opazovalnic, smo kot najbolj primerno izbrali kombinacijo zakupljenega telefonskega voda med lokacijo opazovalnice in najbližjim vozliščem državnega računalniškega omrežja, ki nato posreduje podatke do središča za obdelavo podatkov. V primeru, da na lokaciji ni mogoče zagotoviti telefonskega priključka, smo preverili možnost uporabe GSM mobilne telefonije. Za to vrsto prenosa podatkov se v splošnem načrtuje znatno povečanje prepustnosti pri prenosu podatkov v nekaj letih, obenem pa tudi znižanje cen. Pogoj je dovolj močan GSM signal na lokaciji.

Dostopnost lokacije in izvedljivost gradbenih del

V času gradnje potresne opazovalnice mora imeti dostop na lokacijo lahka gradbena mehanizacija. Za vzdrževalna dela tak dostop kasneje ni več nujen. Lokacija, za katero iz kakršnih koli razlogov ni mogoče urediti projektno-gradbene dokumentacije v primernem času, je neustrezna. Kljub temu, da je jašek s seizmološko opremo v ograjenem prostoru velikosti 15 krat 15 metrov z dvema metroma visoko ograjo, je potrebno pri načrtovanju misliti tudi na zaščito pred vandalizmom. Zato je zaželeno, da je opazovalnica v bližini naseljenih hiš, saj ljudje dodatno varujejo in lahko v primeru potrebe opozorijo upravljalca. Nasprotno pa človeške vsakodnevne aktivnosti ne smejo povzročati preveč seizmičnega nemira.

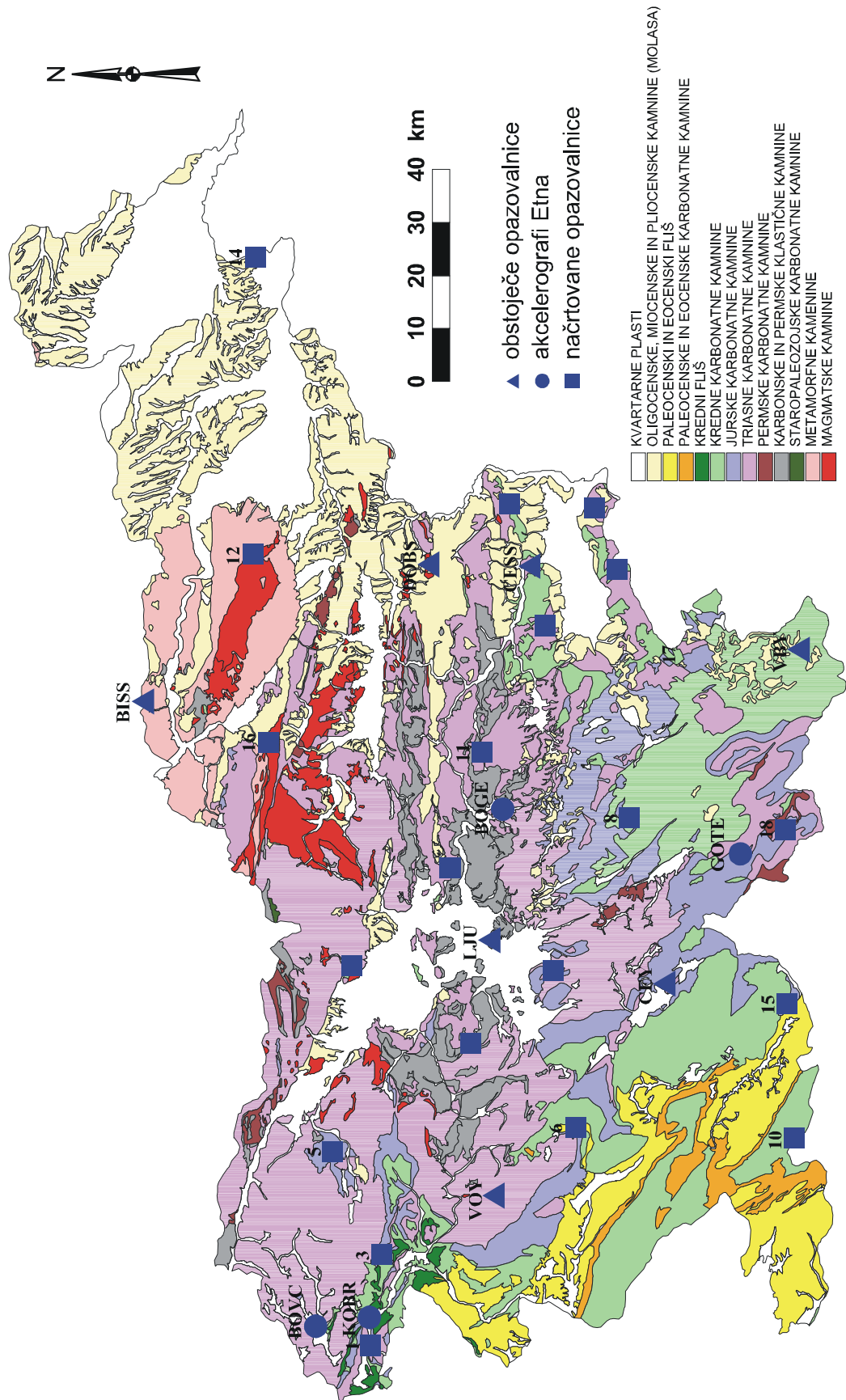
Izbor lokacij na podlagi naravnih danosti

Kot smo že omenili, so naravni pogoji, ki jih je pri izboru lokacije potrebno upoštevati, naslednji: seizmogeološke lastnosti, relief, klimatski pogoji in seizmični nemir. V postopku je prvi del izbora obsegal analizo različnih kart in literaturnih podatkov, drugi del pa terenske raziskave na lokacijah.

Analiza seizmogeoloških lastnosti

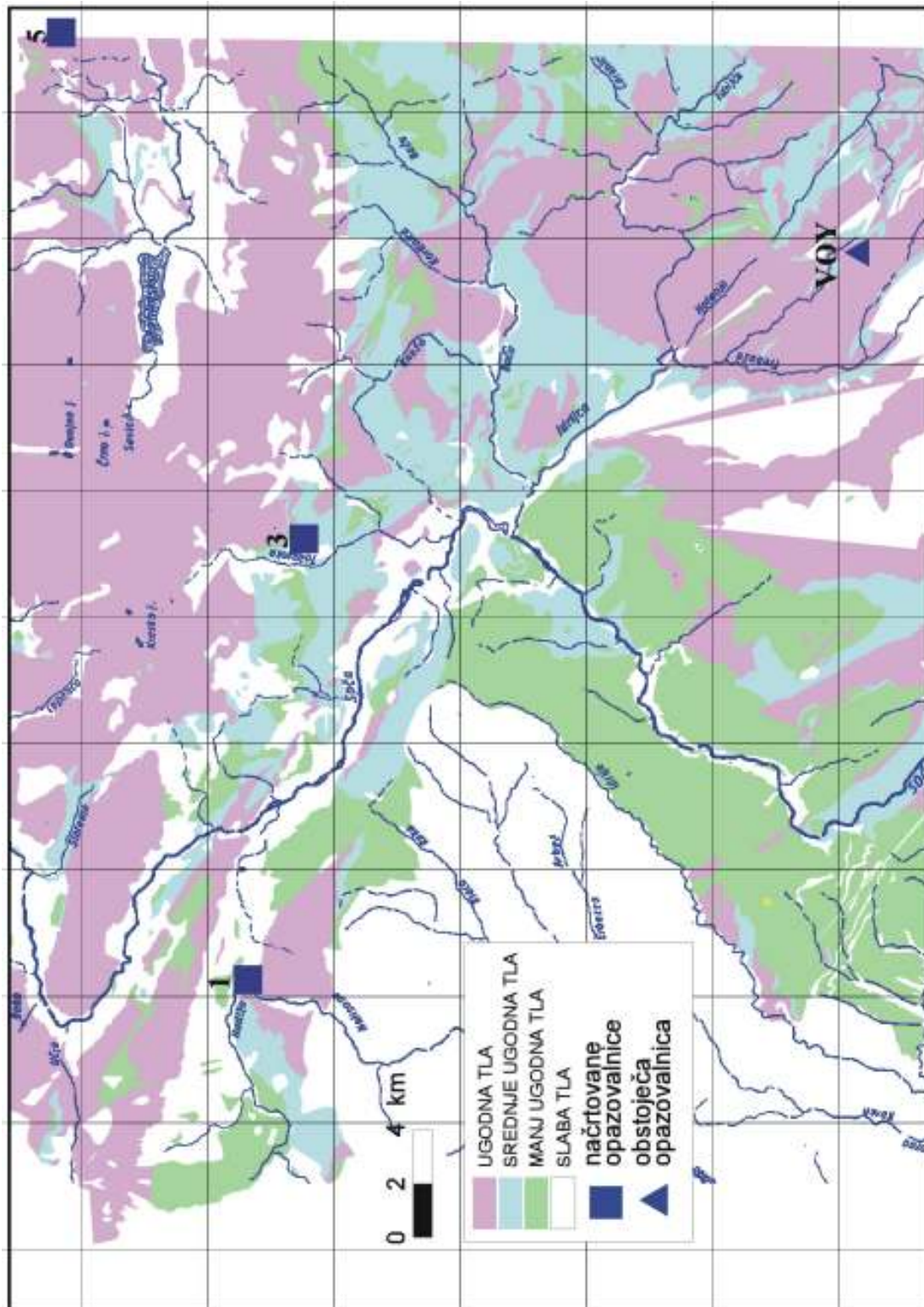
Zaželeno je, da je potresna opazovalnica nameščena na čim trši kamnini, ki ima ugodne geotehnične lastnosti in visoko seizmično impedanco. Seizmometer mora biti v stiku z nepreperelo kamnino, zato ga postavljamo v nekaj metrov globok jašek ali, če je preperina predebela, v vrtino (Sinčič in Vidrih, 1995).

Analiza seizmogeoloških pogojev je obsegala analizo osnovnih in tematskih geoloških kart (npr. inženirskogeološke in tektonske). Kamnine smo glede na njihove seizmogeološke lastnosti razvrstili v štiri razrede (preglednica 1), in sicer v: ugodna tla, srednje ugodna tla, manj ugodna tla in slaba tla (Gosar in sod., 1999). V ožji izbor smo uvrstili lokacije, ki so ležale na ugodnih in srednje ugodnih tleh (magmatske in metamorfne kamnine, apnenci,



Slika 2. Poenostavljena geološka karta Slovenije (Buser in Draksler, 1993; računalniška priredba Geološki zavod Slovenije) z obstoječimi in načrtovanimi opazovalnicami državne mreže. Številke označujejo izbrane lokacije v preglednici 1.

Figure 2. Simplified geological map of Slovenia (Buser in Draksler, 1993; computer design Geological Survey of Slovenia). The station numbers are explained in table 1.



Slika 3. Seizmogeološka razvrstitev kamnin na listu Osnovne geološke karte 1 : 100.000 Tolmin in Videm (po Buserju, 1986) z lokacijami obstoječe (VOY) in treh novih potresnih opazovalnic državne mreže (računalniška obdelava Geološki zavod Slovenije, 1999). Številke označujejo izbrane lokacije v preglednici 1.

Figure 3. Seismogeological classification for Basic geologic map in scale 1:100.000, sheet Tolmin and Videm (Buser, 1986). Three locations of planned seismic stations are marked. (Computer design Geological Survey of Slovenia). The station numbers are explained in table 1.

dolomiti in konsolidirane klastične kamnine – peščenjak in skrilavec. Le izjemoma smo izbirali tudi manj ugodne kamnine, npr. v SV Sloveniji, kjer geološka zgradba ne omogoča izbora ustrežnejših kamnin. Upoštevali smo tudi oddaljenost od močnejših prelomov in bližino litoloških stikov. Debelino preperine smo ocenili s pomočjo geološkega opisa kamnine in s pomočjo pregledne pedološke karte Slovenije (BTF, 1999). Zaželeno so večje (manj tektonizirane) in enostavnejše avtohtone geološke enote, vendar tega nismo mogli povsod upoštevati zaradi ohranjanja približno enakomerne gostote opazovalnic.

Kot primer je na sliki 3 podana seizmogeološka razvrstitev kamnin na listu Osnovne geološke karte (OGK) merila 1 : 100.000 Tolmin in Videm (Buser, 1986), kjer se stikajo tri večje tektonske enote in sicer po Buserju (1986): Zunanji Dinaridi, Notranji Dinaridi in Južne Alpe, kar se odraža v zelo pestri geološki zgradbi. Na območju tega lista ležijo tri izbrane lokacije in sicer Robič (1), Čadrg (3) in Gorjuše (5), poleg teh pa še obstoječa analogna opazovalnica na Vojskem (VOY), ki bo prav tako spremenjena v digitalno opazovalnico nove mreže (slika 3). Kamnine na tem listu OGK smo po seizmogeoloških lastnostih razdelili v štiri razrede. Med ugodna tla sodijo predvsem mezozojski masivni in skladoviti apnenci in dolomiti ter diabaz in keratofir. V srednje ugodna tla smo uvrstili ploščate in lapornate apnenice, grōdenski peščenjak in kredni lapor. V razred manj ugodnih tal pa smo uvrstili skrilave glinovce, breče in fliš. Med slaba tla sodijo aluvijalni in deluvijalni nanosi, pobočni grušč ter rečni sedimenti v terasah (Kastelic in Gosar, 2000). Izbrana lokacija Robič (1) se nahaja na skladovitem dachsteinskem apnencu s plastmi in vložki dolomita norijsko-retijske starosti (T^{2+3}_3), ki ga uvrščamo med ugodna tla. Lokacija Čadrg (3) se nahaja na plasteh ploščatega mikritnega in kalkarenitnega volčanskega apnenca z roženci senonijske starosti (K^3_2), ki tudi sodi med ugodna tla. Lokacija Gorjuše na Pokljuki (5) leži na ploščatem do skladovitem apnencu z vložki roženca liasno-doggerske starosti ($J_{1,2}$), ki predstavlja ugodna tla.

Kabinetnim analizam je sledil geološki ogled terena, pri katerem pa smo poleg geoloških zbrali še številne druge podatke, kot je raba tal, lastništvo, možni viri seizmičnega nemira, možnost zagotovitve komunikacij (Godec in sod., 1999). Z geološkim ogledom smo tudi natančneje ocenili debelino preperine in se odločili, ali so potrebne seizmične refrakcijske meritve. Izogibali smo se vrednejšim kmetijskim zemljiščem in gozdu. Z vetrom povzročeno nihanje dreves, ki se prek korenin prenaša v tla, predstavlja namreč močan vir seizmičnega nemira.

Večina lokacij (9) leži na mezozojskih karbonatnih kamninah (apnenci in dolomiti), kjer prevladujejo distrična tla ali rendzine in je debelina preperine razmeroma majhna (preglednica 1). Seizmogeološki pogoji so na teh lokacijah praviloma ugodni. Dve opazovalnici ležita na magmatskih kamninah (granit, tonalit), kjer je debelina preperine praviloma večja, pedološki podatki pa kažejo na distrična rjava tla. Seizmogeološki pogoji so na takih kamninah lahko zelo ugodni, če preperela plast ni predebela. Ena opazovalnica pa je na konsolidiranih klastičnih sedimentih (fliš, lapor), kjer so tla distrična ali evtrična, debelina preperine pa spremenljiva. Takšna podlaga je seizmogeološko srednje do manj ugodna.

Geofizikalne raziskave z metodo refrakcijske seizmike

Z refrakcijsko seizmično metodo smo preiskali pet lokacij (preglednica 1), kjer so geološki podatki in terenski ogled nakazali debelejšo preperino in slabše seizmogeološke lastnosti kamnine. Na vsaki lokaciji smo izmerili dva profila dolžine okoli 100 m v pravokotnih smereh in sicer ločeno z longitudinalnimi (P) in transverzalnimi (S) valovi (Stopar, 1999).

Cilj teh raziskav je bil natančna določitev debeline preperine in hitrosti seizmičnih valov v osnovni kamnini. Iz tega lahko sklepamo na kakovost osnovne kamnine in načrtovano globino izkopa. Če je bila debelina preperine večja kot 5 metrov, smo se odločili za postavitev senzorjev v vrtino ali za novo lokacijo. Vrtine bomo uporabili na lokacijah 11 (Podkum) in 12 (Bojtina) (preglednica 1 in slika1). Na podlagi rezultatov refrakcijskih raziskav smo zaradi zelo nizke hitrosti seizmičnih valov v podlagi in debele preperine prestavili lokacijo pri Velenju na Zavodnje (16). Hitrosti longitudinalnih valov v podlagi preperile plasti so povsod nad 2000 m/s, v karbonatnih kamninah okoli 3000 m/s, v tonalitu na Pohorju (12) pa celo prek 4000 m/s. Hitrosti transverzalnih valov je v karbonatnih kamninah med 1600 in 1900 m/s, v tonalitu nad 2000 m/s in v laporju okoli 1200 m/s. Presenetljivo nizke vrednosti hitrosti so v Zavodnjah (16), kjer je v podlagi granit, vendar očitno zelo preperel ali tektonsko porušen.

Analiza reliefa

Zelo razgibana topografija površja razprši potresne valove kratkih valovnih dolžin, zato se takšnim območjem pri izboru lokacij izogibamo. Izogibamo se tudi velikim strminam ter vrhovom, ki so bolj izpostavljeni strelam. V ozkih dolinah je lahko otežen sprejem signala točnega časa, ki ga oddaja globalni satelitski sistem pozicioniranja (GPS). Kvaliteto satelitskega signala smo zato preverjali z GPS meritvami na posameznih lokacijah. Relief je seveda zelo pomemben tudi v primeru radijskega prenosa podatkov, ki na slovenskih opazovalnicah zaenkrat ni predviden.

Klimatski pogoji

Pri pravilni izvedbi potresne opazovalnice klimatski pogoji ne vplivajo na kakovost opazovanja. Ker pa so širokopasovni senzorji zelo občutljivi na spremembe temperature in pritiska, je nujno zagotoviti ustrezno mikrookolje za njihovo delovanje. Podatki o maksimalnih padavinah so pomembni za dimenzioniranje drenaže, podatki o atmosferskih razelektritvah pa za načrtovanje protistrelne zaščite inštrumentov. Prav poškodbe zaradi strele so zaradi občutljivosti elektronskih naprav eden najpogostejših vzrokov okvar potresnih opazovalnic. Vremenske razmere lahko vnašajo v seizmične zapise tudi motnje, in sicer zelo močni nalivi, predvsem pa veter. S pomočjo klimatskih podatkov ocenjujemo dostopnost opazovalnice, ker je ta v območjih z visoko snežno odejo lahko v zimskih mesecih otežena ali celo onemogočena. Osončenost lokacije, ki je odvisna od klimatskih pogojev in reliefa, je pomembna v primeru napajanja s sončnimi celicami, ker pri nas ni predvideno.

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

Analiza seizmičnega nemira

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

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

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

Sklep

V prispevku je predstavljeno trenutno stanje (maj 2001) pri izboru lokacij za novo mrežo potresnih opazovalnic v Sloveniji. Ker so upravni postopki v zvezi s spremembo namembnosti in odkupom zemljišča, pridobitvijo soglasij za električni in telefonski priključek ter pridobitvijo gradbene dokumentacije zelo dolgotrajni, so spremembe nekaterih lokacij še možne, če se bo izkazalo, da postopkov ni mogoče dokončati v željenem roku ali se bodo pojavile druge nepremostljive ovire. Glede na trenutno dinamiko in razpoložljiva sredstva predvidevamo izgradnjo prvih šestih potresnih opazovalnic nove mreže v letu 2001.

Literatura

- Bormann, P., Hanka, W., Trnkoczy, A., 1998. Seismic station site preparation. In: Bergman, E., Bormann, P. (eds.), New manual of seismological observatory practice, <http://www.seismo.com/msop/nmsop/nmsop.html>
- Bormann, P., Trnkoczy, A., 1998. Factors Affecting Seismic Site Quality and the Site Selection Procedure. In: Bergman, E., Bormann, P. (eds.), New manual of seismological observatory practice, <http://www.seismo.com/msop/nmsop>
- Buser, S., 1986. Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100.000, list Tolmin in Videm. Zvezni geološki zavod Beograd.
- Buser, S., Draksler, V., 1993. Poenostavljena geološka karta Slovenije, 1 : 500.000. Geo ZS, Ljubljana.
- BTF, Center za pedologijo in varstvo okolja, 1999. Pregledna pedološka karta Slovenije, 1 : 400.000, <http://www.bf.uni-lj.si/cgi-bin/slo/cpvo/xshxp006.html>
- Godec, M., Gosar, A., Vidrih, R., Zupančič, P., 1999. Zapisniki terenskih ogledov lokacij potresnih opazovalnic. Arhiv URSG, Ljubljana.
- Gosar, A., 1999. Poročilo o izboru lokacij za izgradnjo potresnih opazovalnic državne mreže. Tehnično poročilo, URSG, 3 str., Ljubljana.
- Gosar, A., Kastelic, V., Zupančič, P. 1999. Geološki pogoji na izbranih lokacijah potresnih opazovalnic prenovljene državne mreže. Tehnično poročilo, URSG, 36 str., Ljubljana.
- Gosar, A., Živčič, M., Jesenko, T., 2000. Raziskave za izbor lokacij nove mreže potresnih opazovalnic v Sloveniji. Zbornik predavanj posvetovanja Raziskave s področja geodezije in geofizike – 2000, 87-97. Slovensko

- združenje za geodezijo in geofiziko, Ljubljana.
- Jesenko, T. in Živčič, M., 2000. Meritve seizmičnega šuma za izbiro lokacij potresnih opazovalnic. Potresi v letu 1999 (ta številka), ARSO, Ljubljana.
- Kastelic, V., Gosar, A., 2000. Razdelitev stratigrafskih členov po seizmogeoloških značilnostih za list OGK Tolmin in Videm. Tehnično poročilo, URSG, 4 str., Ljubljana.
- Lapajne, J., Sinčič, P., Živčič, M., 1998. Načrti za posodobitev opazovanja opotresov v Sloveniji. Ujma 12, 153-155, Ljubljana.
- Lesar, R., 1999. Analiza klimatskih pogojev za izbor lokacij potresnih opazovalnic v Sloveniji. Tehnično poročilo, arhiv URSG, 26 str., Ljubljana.
- Sinčič, P., Vidrih, R., 1995. Gradnja potresne opazovalnice. Ujma 9, 185-189, Ljubljana.
- Stopar, R., 1999. Seizmične preiskave na lokacijah načrtovanih seizmoloških opazovalnic. Tehnično poročilo, Geoinženiring, 12 str., Ljubljana.
- Trnkoczy A., Živčič M., 1992. Design of Local Seismic Network for NPP Krško. Proceedings of the workshop "Local and national seismic networks: on line processing with microcomputer facilities", November 18th-20th 1991, Cahiers du Centre Europeen de Geodynamique et de Seismologie, 5, 31-41, Luxembourg.
- Willmore, P.L. (ed.), 1979. Manual of seismological observatory practice (*Report SE-20*), World Data Centre A for Solid Earth Geophysics.
- Živčič, M., 1999. Kriteriji za izbiro mikrolokacije potresne opazovalnice. Rokopis, URSG, 6 str., Ljubljana.

MERJENJE SEIZMIČNEGA NEMIRA NA LOKACIJAH BODOČIH SEIZMOLOŠKIH OPAZOVALNIC MEASUREMENTS OF SEISMIC NOISE FOR SEISMIC STATION SITE SELECTION

Tamara Jesenko¹, Mladen Živčić¹

Izvleček. V letu 1999 smo na 43 različnih lokacijah po vsej Sloveniji izvedli meritve seizmičnega šuma, ki so potekale v sklopu raziskav v okviru projekta posodobitve državnega potresnega omrežja. Ker je seizmični šum zelo moteč dejavnik pri opazovanju potresov, je pomembno, da stojijo potresne opazovalnice na čim mirnejših lokacijah. Seizmični šum je prisoten povsod in je naravnega izvora ali pa ga povzroči človek s svojim delovanjem (promet, hoja,...). Zapise, ki smo jih dobili pri meritvah, smo obdelali in spektre primerjali z globalnim modelom šuma (angl. new low noise model, NLNM). Za vsako lokacijo smo poiskali možne vire seizmičnega šuma (prometnice, industrija,...) in analizirali, kako se nivo seizmičnega šuma pri različnih frekvencah spreminja z oddaljenostjo lokacije od le-teh.

Abstract. In year 1999 we have made seismic noise measurements at 43 locations throughout Slovenia. That was one part of the project of modernisation of Slovenian seismic network. It is very important, that the station location is as quiet as possible, because seismic noise can obscure the records. Seismic noise is present everywhere and has many different causes. The source can be natural or antropogen (traffic, walking,...). Spectra were computed from the records and compared with new low noise model (NLNM). For every location we searched for possible sources of seismic noise and then analysed how the level of noise at different frequencies changes with its distance.

Uvod

V letu 1999 je Uprava Republike Slovenije za geofiziko začela izvajati projekt posodobitve državnega potresnega omrežja. Sedmim trenutno delujočim potresnim opazovalnicam, od katerih je šest digitalnih in ena analogna, se bo pridružilo še 18 opazovalnic. Posodobljena mreža potresnih opazovalnic bo enakomerno pokrivala celotno ozemlje Slovenije in bo omogočala hitrejše in natančnejše obveščanje slovenske javnosti z osnovnimi informacijami ob morebitnem potresu.

Izbor primernih lokacij je ena izmed najpomembnejših stvari, ki jih moramo upoštevati, ko postavljamo nove opazovalnice (Báth, 1979). Še tako moderna in draga oprema nam ne bo dala ustreznih rezultatov, če lokacija, na kateri bo postavljena opazovalnica, ne bo pravilno izbrana. Dobra lokacija mora imeti zelo stabilno, trdno podlago (najbolje nezdroljen granit) in mora biti čim bolj oddaljena od vseh možnih virov nemira (promet, industrija, slapovi, visoka drevesa,...), ki nam lahko motijo zaznavanje šibkih potresov. Zato je pomembno, da postavimo opazovalnice v čim bolj mirno okolje.

Seizmični šum

Že od začetka opazovanja zemeljske potresne aktivnosti je znano, da je vedno in povsod prisotno gibanje oz. nihanje tal, ki pa ni posledica potresa, in mu pravimo seizmični šum. Viri šuma so lahko naravnega izvora ali pa so posledica človeškega delovanja, kot so promet (cestni ali železniški), industrija ali hoja (Preglednica 1).

¹ Agencija RS za okolje, urad za seizmologijo, Dunajska 47, Ljubljana

K naravnim izvirov štejemo valovanje vode oceanov, reke, slapove in tudi lokalne atmosferske efekte (veter, spremembe zračnega tlaka, razelektritve,...). Veter, kot primer, posredno povzroči šum preko vegetacije. Vpliva na nihanje dreves in njihovih vej, gibanje pa se preko korenin prenaša v zemljo.

Kratkoperioden šum (periode manjše od 1s) nastane tudi zaradi človeškega delovanja in je navadno večji na horizontalnih komponentah kot na vertikalnih. Valovanje oceanov, ki se prenaša na dno in kot seizmični valovi razširja skozi kamnine, prevladuje pri srednjih periodah (2 do 20s). Amplitude so tu podobne v horizontalni in vertikalni smeri. Ta šum je večji na obalnem pasu ter manjši na sredinah kontinentov in ga povzročajo stoječi valovi, ki nastanejo na odprtem morju kot posledica valov, ki potujejo v nasprotni smeri. Pri velikih periodah (periode večje od 20 s) je lahko horizontalni šum tudi do 300 krat večji od vertikalnega. Pri ekstremno velikih periodah je šum posledica 'upogibanja' celotne Zemlje s periodo 12 in 24 ur in je posledica gravitacijskih efektov Sonca in Lune na Zemljino maso. Zaznamo ga le s senzorji, ki so stabilni v tako dolgem časovnem intervalu (Báth, 1979, Bormann s sod., 1991, Shearer, 1999).

Nivo seizmičnega šuma se spreminja tudi s časom. Tako so dnevna nihanja povezana s spreminjanjem gostote prometa (dopoldne-popoldne-ponoči) in industrijo. Ravno tako poznamo tudi tedenske in letne spremembe, če primerjamo med seboj delovne dni z vikendi in s časom počitnic.

Preglednica 1. Preglednica s parametri seizmičnega šuma povzročene s človeško dejavnostjo (prevzeto po Kowalle, 1991).

Table 1. Signal characteristics of man made seismic noise (traffic), after Kowalle, 1991.

Izvor	Max. spektra	Trajanje signala	Amplitude
Avto	28-35Hz 58-65Hz	dolgo časa	velike, odvisne od tipa avtomobila in kvalitete ceste
Vlak	15-17Hz 12-25Hz 30Hz, 50Hz	zelo dolgo časa	zelo velike, odvisne od teže vlaka
Človek	30-45Hz	kratak čas	majhne, včasih periodične

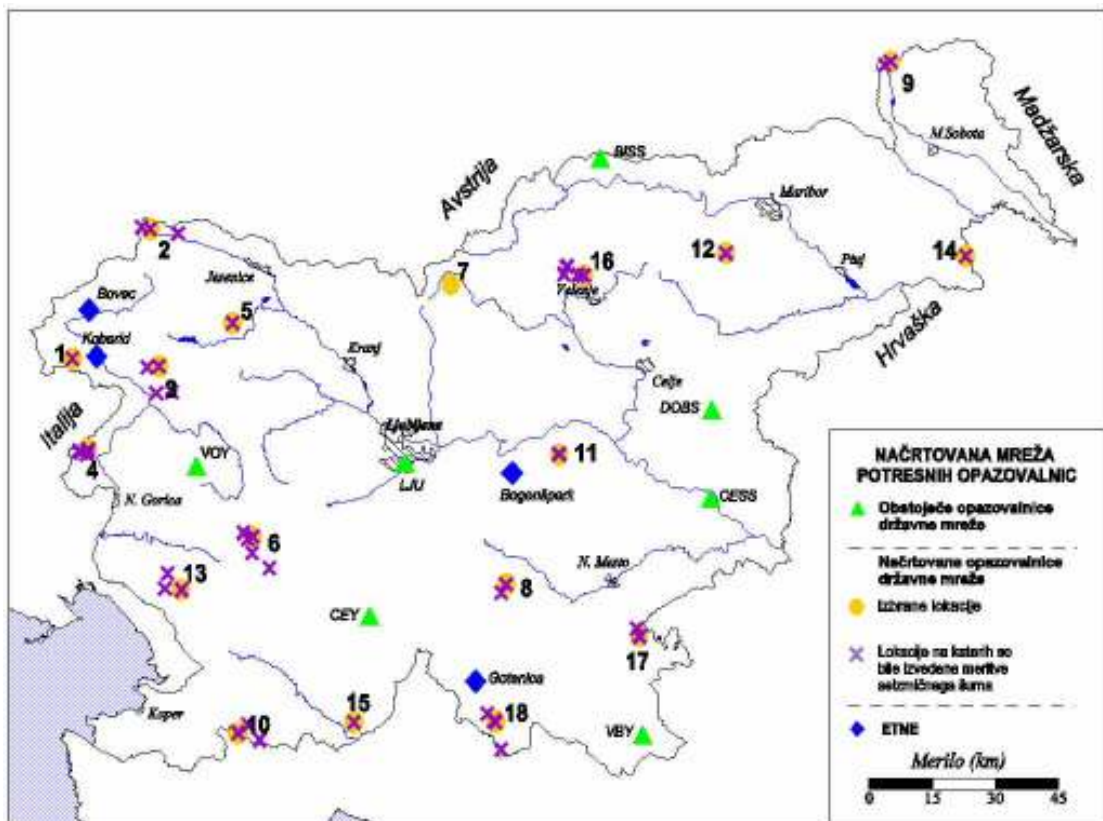
Za doseganje čim večje občutljivosti potresne opazovalnice je pomembno, da je ta čim bolj oddaljena od virov šuma. Tako so priporočljive najmanjše oddaljenosti za analogno opazovalnico največje občutljivosti podane v preglednici 2.

Možne lokacije za postavitev novih potresnih opazovalnic smo določili na podlagi geoloških pogojev (Gosar in sod., 2001), enakomerne razporeditve mreže, oddaljenosti od obstoječih in načrtovanih možnih virov nemira (naselja, prometnice, industrija...). Meritve smo izvedli na 43 točkah (slika 1).

Preglednica 2. Preglednica priporočljivih oddaljenosti od virov šuma za analogno opazovalnico največje občutljivosti. Razdalja je odvisna tudi od tega ali sta seizmometer in vir na isti geološki formaciji ali ne (prirejeno po Willmore, P.L. (ed.)).

Table 2. Recommended minimal distances from sources of disturbance to seismograph station – analog seismograph (high sensitive) from Willmore, P. L. (ed.)

Viri šuma	Seizmometer na trdi podlagi kot je skala, granit,...	Seizmometer na trdi ilovici
Kamnolomi, industrija	15-50km	20-40km
Majhna jezera	20-50km	20-50km
Majhni slapovi, brzice večjih rek.	5-15km	15-25km
Železnica	6-15km	10-20km
Letalski promet in letališča	6km	6km
Avtocesta in ostale zelo prometne ceste	1km	6km
Navadna lokalna cesta, visoke zgradbe	300m	2km
Nizke zgradbe, visoka drevesa	100m	300m
Visoke ograje, nizka drevesa, velike skale, velika grmovja	50m	100m



Slika 1. Karta Slovenije z lokacijami delujočih potresnih opazovalnic in z lokacijami, kjer so bile opravljene meritve seizmičnega šuma.

Figure 1. Map of Slovenia with existent seismic network and all locations where noise measurements have been made.

Meritve seizmičnega šuma

Za podrobno ugotavljanje seizmičnega šuma v določeni točki bi potrebovali dolgotrajne meritve, ki bi nam podale podatke za oceno šuma v različnih dnevnih in letnih obdobjih ter v

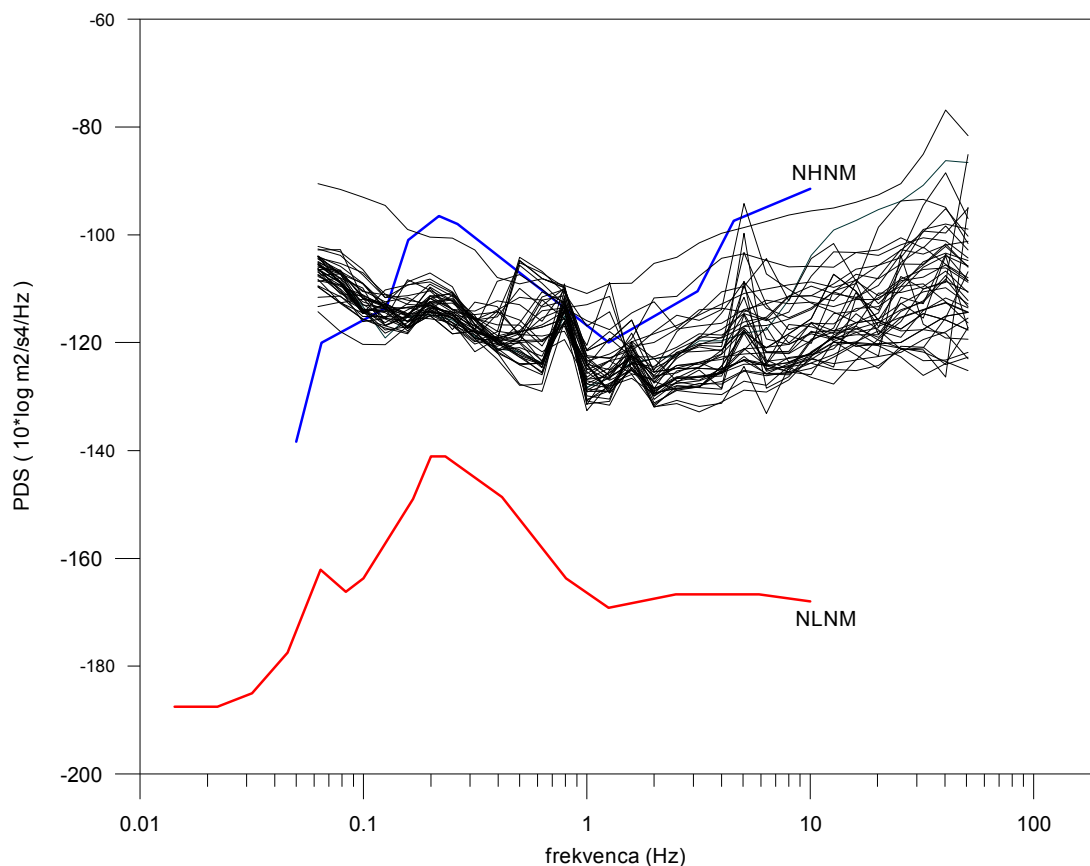
različnih vremenskih pogojih. Za tako obsežne meritve na velikem številu lokacij nismo imeli ne sredstev ne časa.

Vse meritve smo izvedli ob delavnikih med 9 in 19 uro in sicer v devetih zaporednih 80 sekundnih posnetkih in enem posnetku daljšem od 5 minut. Ker se pri postavitvi potresnih opazovalnic odstrani zgornja plast prsti in preperela kamnine ter seizmometer namesti na matično kamnino (ali celo v vrtino, če je preperela plast predebela), smo tudi pri meritvah šuma seizmometer položili na kamen, če je to bilo mogoče. V času meritev smo beležili vse dogodke, ki bi lahko vplivali na meritve (promet, hoja, močnejši veter, delovanje merilnih naprav, napajalna napetost,...). Za primerjavo smo z vseh delujočih digitalnih potresnih opazovalnic državne mreže shranili 5 minutne zapise nastale v času meritev.

Same meritve seizmičnega šuma smo izvedli z naslednjo opremo:

- trikomponentni seizmometer Lennartz LC-3D/5s lastne periode 5 s, dušenja 0.7 in občutljivosti 400 Vs/m,
- trije enokomponentni vertikalni seizmometri Vegik lastne periode 1 s, dušenja 0.7 in občutljivosti 75 Vs/m,
- šest kanalno zajemalno enoto SSR-1 s 16 bitno analogno-digitalno pretvorbo z 200 vzorcev v sekundi, ter nastavljivim predožajanjem in
- dva prenosna računalnika, Dewetron in Siemens.

Po opravljenih meritvah smo vse zapise pregledali in izločili tiste, ki so kakorkoli bili neprimerni za kasnejšo obdelavo.



Slika 2. Izmerjeni spektri z vseh lokacij, kjer so bile izvedene meritve, v primerjavi z NLNM modelom.

Figure 2. An overlay of spectra from all locations in comparison with NLNM model.

Iz zbranih zapisov smo izračunali Fourierjevo transformiranko za 16 384 vzorcev. Dobljene amplitudne spektre smo popravili za prevajalne funkcije seizmometrov in za vsak kanal izračunali povprečje vseh izmerjenih amplitudnih spektrov. Za grafično predstavitev smo te še zgladili in preračunali v močnostni spekter gostote (angl. power density spectra, PDS, Trnkoczy, 1999). Rezultate meritev smo primerjali z globalnim modelom NLNM (angl. new low noise model), ki združuje najnižje izmerjene seizmične šume na mreži svetovnih širokopasovnih, digitalnih opazovalnic v vertikalni smeri skozi frekvenčni interval od 0,01 do 10 Hz (Peterson, 1993). Ta model je zelo uporaben kot referenca pri ocenjevanju kvalitete seizmičnih opazovalnic, za napovedovanje občutljivosti postaj za šibke signale in pri načrtovanju novih senzorjev.

Na vseh lokacijah je bil nivo šuma nad nivojem modela. Pojavil se je tudi vrh pri 0,8 Hz za katerega sklepamo, da je posledica napake na merilni opremi.

Za detekcijo lokalnih potresov so pomembne vrednosti šuma med frekvenca 1 in 10 Hz.

Odvisnost seizmičnega šuma od oddaljenosti vira

Seizmičen šum je potresno valovanje, ki se kot vsako drugo potresno valovanje zmanjšuje z oddaljenostjo od vira. To še posebno velja za frekvence nad 1 Hz, ki so najbolj moteče za opazovanje lokalnih potresov.

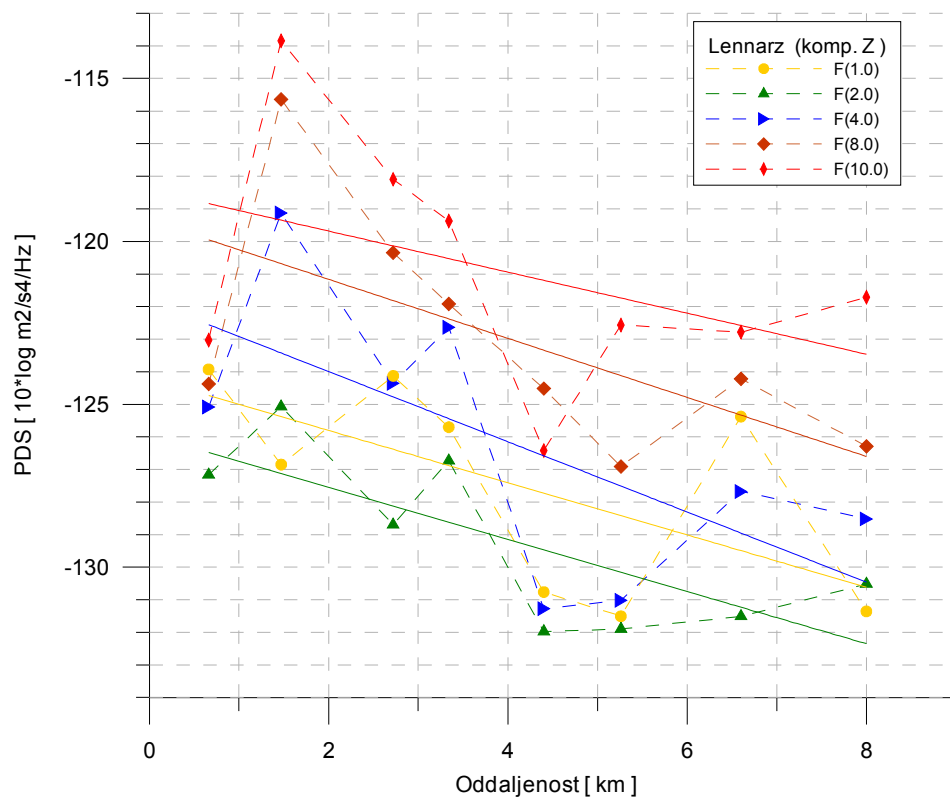
Nivo seizmičnega šuma smo poskušali opredeliti že s tem, da smo za vsako lokacijo, kjer smo izvedli meritve, ocenili njeno oddaljenost od znanih zunanjih virov motenj kot so ceste, železnica, industrijski obrati in naselja. Podatke so nam posredovale Upravne enote, oddaljenost od prometnic pa smo ocenili s pomočjo poročila o prometnih obremenitvah državnega cestnega omrežja v Republiki Sloveniji za leto 1999 (PROMET 99), ki ga izdaja Ministrstvo za promet in zveze – Direkcija za ceste Republike Slovenije.

Tako smo za vsako lokacijo ocenili oddaljenost od:

- ceste s povprečnim dnevnim številom motornih vozil nad 7000,
- ceste s povprečnim dnevnim številom motornih vozil med 3001 in 7000,
- ceste s povprečnim dnevnim številom motornih vozil med 1001 in 3000,
- železnice,
- najbližjega večjega industrijskega obrata,
- najbližjega naselja,
- najbližje hiše.

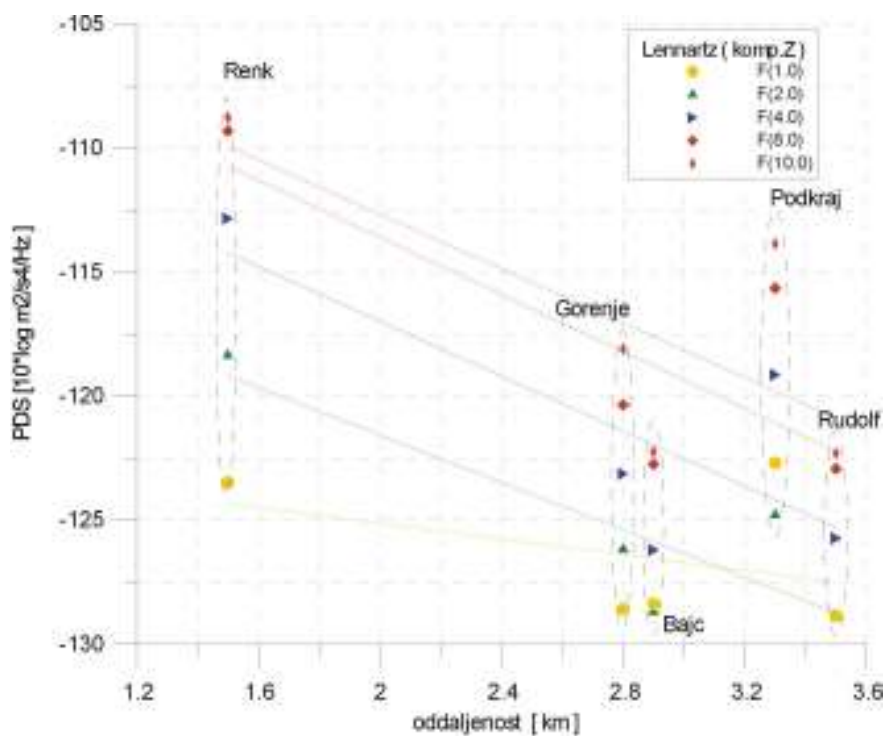
Na sliki 3 smo ponazorili nivoje seizmičnega šuma za različne frekvence v odvisnosti od oddaljenosti od najbližje večje prometnice ali industrijskega obrata. Izločili smo lokacije, pri katerih meritev ni bila izvedena na kamnu, nato pa smo jih združili glede na oddaljenost. Za vse merjene točke, ne glede na različne geološke pogoje, poda linearna regresija dušenje nemira za povprečno 6 dB, če oddaljenost povečamo z enega na osem kilometrov. Ta vpad je nekoliko večji pri 4 Hz in je okoli 8 dB na istem intervalu.

V področju Javornika smo naredili meritve na petih lokacijah. Za te lokacije, ki so vse na približno enaki geološki podlagi, je ta vpad še bolj izrazit pri frekvencah 2, 4, 8, in 10 Hz in znaša približno 11 dB na dva kilometra (od 1,5 do 3,5), medtem ko je pri frekvenci 1 Hz vpad manjši (3,5 dB), še vedno pa večji kot smo ga dobili pri zgornji analizi, kjer se nismo ozirali na geološko podlago (slika 4).



Slika 3. Primerjava PDS pri različnih frekvencah in različnih oddaljenostih od izvirov seizmičnega šuma.

Figure 3. Comparison of PDS (Power Density Spectra) for different frequencies and distances from sources of seismic noise.



Slika 4. Primerjava PDS za 5 lokacij v okolici Javornika.

Figure 4. Comparison of PDS for five locations in the region of Javornik.

Zaključek

Analize so pokazale, da se seizmični šum z razdaljo med opazovalnico in svojim virom manjša. Torej, če hočemo opazovati tudi zelo šibke potrese, moramo postaviti opazovalnice na lokacije, ki so čim bolj oddaljene od virov šuma, še posebno od cest, železniških prog in industrijskih obratov.

Zbrali smo veliko število zapisov, vendar pa se pri tej analizi nismo podrobneje poglobili v geološko sestavo podlage. Tako smo vse meritve obravnavali enako. Izločili smo le tiste, pri katerih seizmometer ni bil položen na tršo kamnino. V prihodnosti bomo morali, če bomo želeli še natančneje raziskati spreminjanje šuma z razdaljo, upoštevati tudi te podatke.

Literatura:

- Báth, M., 1979. Introduction to seismology, Birkhäuser, 249 pp, Basel, Boston, Stuttgart.
- Bormann, P., Wylegalla, K., Klinge, K.-D. 1991, Variability of seismic noise, seismic signals and signal detectability at the Potsdam seismological network in the frequency range between 0.03 and 10Hz, Proceed. XXII General Assembly of ESC, Barcelona, 17-22 1990 (1991).
- Gosar, A., Zupančič, P., Vidrih, R., 2001. Izbor lokacij za novo mrežo potresnih opazovalnic v Sloveniji: Geološke in geofizikalne raziskave, Potresi v letu 1999, ARSO, Ljubljana.
- Kowalle, G. 1991. Short period seismic noise. Proceed., 32 General Assembly of ESC, 17-22 Sept. 1990, Barcelona
- Peterson, J. 1993. Observation and modelling of seismic background noise. U.S. Department of Interior, Geological Survey, Albuquerque, New Mexico.
- Shearer, P.M., 1999. Introduction to seismology, Cambridge University Press, 214 pp, Cambridge.
- Trnkoczy, A. 1999, Conversion formulas for ground motion interpretation, Kinematics SA, Technical report.
- Willmore, P. L. (ed.), 1979. Manual of seismological observatory practice. (Report SE-20), World Data Centre A for Solid Earth Geophysics, Boulder, Colorado.

DIGITALNA MREŽA POTRESNIH OPAZOVALNIC NANOMETRICS NANOMETRICS' S DIGITAL SEISMIC NETWORK

Tasič Izidor¹

Izvleček. Digitalna mreža potresnih opazovalnic podjetja Nanometrics omogoča prenos zapisov potresa iz opazovalnice doavtomatskega centra za analizo podatkov. Komponente sistema so bile nameščene v letih 1996 in 1997 (Sinčič in sod., 1996 in 1997). Kasneje smo sistem zaradi pohitritve prenosa podatkov in večje stabilnosti delovanja posodobili s strojno in programsko opremo. Potresne opazovalnice, ki so opremljene z Nanometricsovo opremo, so v Cerknici, Muti, Dobrini, Bojancih, v Ljubljani na Golovcu in v Cesti pri Krškem.

Abstract. In Slovenia, from 1995 to 1997, Geophysical Survey of Slovenia installed six broad band digital seismographs with automatic waveform data transfer over the telephone lines or computer network into the central computer in the Center for Data Analysis (CDA). This seismic network has been designed by Nanometrics Inc. From 1997 to the beginning of 2000 we gradually made the transfer faster. We changed and added some new software and hardware in the acquisition systems and in the CDA as well. We also changed communications between some stations and CDA. Seismic stations, equipped by Nanometrics systems, are in Cerknica, Muta, Dobrina, Bojanci, Golovec in Ljubljana and in Cesta near Krško.

Opis delovanja sistema

Digitalna mreža potresnih opazovalnic podjetja Nanometrics je sestavljena iz več enot strojne in programske opreme, ki je nameščena na potresnih opazovalnicah in skrbi za neprekinjeno zajemanje in obdelavo seizmičnih podatkov ter centralne enote, ki je postavljena v centru za obdelavo podatkov v Observatoriju na Golovcu v Ljubljani. Programska in strojna oprema v centralni enoti je samodejna, povezana s potresnimi opazovalnicami in preko različnih logičnih in matematičnih postopkov določa, kateri podatki iz lokalni potresnih opazovalnic se bodo avtomatsko prenesli v center, kjer bodo na voljo strokovnjaku pri nadaljnjem delu.

Potresna opazovalnica tipa Nanometrics je opremljena z naslednjo opremo:

- trikanalni širokopasovni seizmometer CMG 40-T s frekvenčnim območjem med 50 in 0.03 Hz podjetja Guralp iz Velike Britanije,
- analogno digitalni pretvornik podjetja Nanometrics (16 bitni RD 3 ali 24 bitni HRD 24),
- GPS sistem točnega časa,
- IBM osebni računalnik z OS/2 operacijskim sistemom in programsko in strojno opremo za zajemanje in shranjevanje podatkov ter povezavo s centralno enoto.

Različne potresne opazovalnice se med seboj razlikujejo v tehničnih podrobnostih, ki so že bile opisane v prejšnjih publikacijah.

Center za obdelavo podatkov je opremljen z naslednjo opremo:

- IBM osebni računalnik z OS/2 operacijskim sistemom in programsko in strojno opremo za komunikacijo s potresnimi opazovalnicami in analizo ter shranjevanjem podatkov.

Vse potresne opazovalnice so opremljene z osebnim računalnikom z večopravilnim operacijskim sistemom OS/2. Večopravilnost omogoča, da lahko istočasno zajemamo

¹ Agencija RS za okolje, urad za seizmologijo, Dunajska 47, Ljubljana

podatke, z njimi manipuliramo, jih matematično obdelujemo in shranjujemo na disk. Osebni računalniki so na nekaterih potresnih opazovalnicah opremljeni še z procesorji 66 Mhz 486, vendar OS/2 operacijski sistem deluje tudi na teh sistemih zadovoljivo. Osnovna programska oprema za obdelavo in transport seizmičnih podatkov je:

- NAQS
- TCP/IP
- WASP.

Programska oprema NAQS

Programsko opremo NAQS (Nanometrics AcQuisition Software) so razvili v kanadskem podjetju Nanometrics in se nahaja samo na računalnikih, ki neprekinjeno zajemajo seizmične podatke. Naloga programske opreme NAQS je, da upravlja z digitaliziranimi seizmičnimi podatki.

Digitalizirani seizmični podatki prihajajo v računalnik preko vmesnika FEPI v paketih z dolžino ene sekunde. Podatki iz 16 bitnega analogno digitalnega pretvornika RD 3 se nato uskladijo z GPS sistemom točnega časa, za kar skrbi programska oprema NAQS. Natančnost podatka je ± 3 milisekunde. Podatki iz 24 bitnega analogno digitalnega pretvornika HRD24 se uskladijo z GPS sistemom točnega časa že v samem analogno - digitalnem pretvorniku takoj po pretvorbi.

Naloga programske opreme NAQS je tudi, da prispele digitalizirane podatke shranjuje na disk. Velikost diska je omejena, zato se podatki shranjujejo zgoščeni na disk v krožnem pomnilniku, ki omogoča neprekinjeno zajemanje podatkov brez nevarnosti, da bi se disk zapolnil. Krožni pomnilnik je sestavljen iz blokov. Pri vzorčenju 200 vzorcev na sekundo je blok dolg približno dve minuti. Toliko časa podatki niso na voljo.

Programski paket NAQS ima vgrajen tudi detektor za zaznavanje dogodkov. Dogodek pomeni, da se je povprečno nihanje tal nenadoma povečalo. To lahko povzroči potres, lahko pa je tudi motnja, ki je povzročena zaradi različnih drugih izvorov, kot so eksplozije, hoja človeka in drugo. Zaznavanje dogodkov temelji na rekurzivnem postopku STA/LTA. Algoritem STA/LTA deluje na vseh treh kanalih senzorja na potresni opazovalnici neodvisno. Merilni sistem določi dogodek, ko je vsaj na dveh kanalih istočasno vrednost STA/LTA večja od pragovne vrednosti. Dogodek je zaključen, ko razmerje STA/LTA pade pod pragovno vrednost na vseh kanalih.

Programska oprema zapisuje informacijo o dogodku v datoteko z imenom NASQ.ELF. S pomočjo tega podatka strokovnjaku ni potrebno preveriti celotnega zapisa. V tej datoteki sta datum in ura nastanka dogodka ter dolžina trajanja dogodka. Istočasno zapisuje NAQS v krožni pomnilnik za vsak kanal posebej čas proženja, vrednost največje amplitude, frekvenco, dolžino dogodka, vrednosti STA in LTA. Izhod programske opreme NAQS so torej tri datoteke:

- neprekinjen zapis digitaliziranih podatkov iz seizmometra v krožnem pomnilniku,
- zapis o proženjih za vsak kanal posebej prav tako v krožnem pomnilniku,
- in zapis o dogodkih.

Programska oprema TCP/IP

Programska oprema TCP/IP (Transmission Control Protocol/ Internet Protocol) rokuje z vsemi telekomunikacijskimi sistemi med opazovalnicami in centralnim računalnikom. Protokol, ki ga računalniki v mreži uporabljajo za pošiljanje sporočil iz enega računalnika do drugega, se imenuje Internet Protokol (IP). IP je omrežni protokol in njegova naloga je upravljanje z logistiko pošiljanja sporočil iz računalnika, ki sporočilo oddaja, in računalnika, ki sporočilo sprejema.

Sporočila, ki jih dostavlja IP protokol, so v paketih, ki so manjši od velikosti datoteke z zapisom potresa. Zato je za prenos ponavadi potrebnih več paketov. Zbiranje povezanih paketov, njihovo razvrščanje in preverjanje pravilnosti zapisa so naloge TCP protokola. Znotraj programskega paketa IBM TCP/IP obstajajo še programski sistemi, ki skrbijo za formatiranje zahtev ter vzpostavitve komunikacije. To so SLIP, SENDMAIL, FTP in drugi.

Protokol SLIP (Serial Line Internet Protocol) omogoča povezavo preko modemov. SLIP izmenjuje IP pakete preko serijske linije ob minimalnem preverjanju napak in minimalnem dodatnem kodiranju. Slabost SLIP protokola je, da je občutljiv na šum linije in prekinitve, ki so značilne za serijske linije.

Protokol FTP (File Transfer Protokol) je program za prenašanje datotek med dvema računalnikoma. V trenutku prenašanja sporočil morata biti računalnika med seboj povezana. Če pride med prenosom do prekinitve na zvezi, je potrebno prenos ponoviti od začetka.

Program SENDMAIL je ravno tako program za prenašanje datotek med dvema računalnikoma. Delovanje je podobno regularni poštni službi. Ko z elektronsko pošto pošljemo sporočilo, si računalniki podajajo datoteko, dokler le-ta ne doseže svojega cilja. Za razliko od FTP protokola ne zahteva trenutne povezave med dvema računalnikoma, zato pri kreiranju sporočila iz potresne opazovalnice za računalnik v centrali ni potrebno imeti takoj vzpostavljene (telefonske) zveze. V primeru, do je pošta pripravljena za pošiljanje, ni pa povezave med računalniki, SENDMAIL shrani pošto v odložišče. Sporočilo odda šele tedaj, ko je zveza vzpostavljena.

Programska oprema WASP

Programska oprema WASP (Wide Area Seismic Processing) deluje tako na računalnikih na potresni opazovalnici, kakor tudi na računalniku v centrali. Njegova naloga je, da skrbi za izmenjavo seizmoloških podatkov med potresno opazovalnico in centralo. WASP, ki deluje na centralnem računalniku, zahteva od lokalne potresne opazovalnice informacijo o dogodkih na posameznem kanalu, ki jih je le-ta zabeležila v določenem času. Če v trenutku zahteve potresna opazovalnica nima vzpostavljene povezave s centralo, zahtevo postavi v odložišče, v čakalno vrsto. Sistem pošlje zahtevo na opazovalnico tedaj, ko je vzpostavljena zveza. Izmenjava sporočil poteka po sistemu elektronske pošte. Ko sistem na potresni opazovalnici sprejme zahtevo, jo obdela ter pošlje informacijo o proženjih nazaj v centralo. Če je zveza s centralo že prekinjena, odloži pošto v odložišče. Ko centralni računalnik informacijo o proženjih sprejme, jo obdela. Sistem pripravi datoteko o proženjih iz vseh opazovalnic. Programski paket ASSOC nato po principu koincidence dogodkov v določenem časovnem intervalu določi dogodek in pošlje potresnim opazovalnicam zahtevo po zapisih dogodka.

Posodobitve sistema

Ob koncu leta 1997 so bile štiri od šestih potresnih opazovalnic povezane s centralno postajo preko telefonske klicne linije. To so bile potresne opazovalnice v Cerknici, Muti, Dobrini in Bojancih. Centralni računalnik je z njimi poizkušal vzpostaviti zvezo vsakih dvajset minut, neodvisno od tega, ali se je zgodil kakšen dogodek ali ne. Uspešnost klica je bila odvisna predvsem od prepustnosti in kvalitete telefonskih linij. Ostali potresni opazovalnici sta bili povezani s centralno enoto neposredno preko državne računalniške mreže oziroma lokalne mreže. Da je centrala za posamezni dogodek sprejela zapis potresa, je morala uspešno opraviti štiri vzpostavitev zveze s posamezno potresno opazovalnico. Najprej je centrala poslala zahtevo za informacije o proženjih, nato je sprejela informacije o proženjih, za tem je zahtevala zapis potresa in na koncu je ta zapis prejela. Zaradi povezovanja računalnikov po klicnih telefonskih linijah, so bili zapisi potresa strokovnjaku na voljo v povprečno petinsedemdesetih minutah po nastanku.

Ta relativno velika razlika med časom nastanka potresa in časom prihoda zapisa potresa do centralnega računalnika je bila glavna slabost sistema. Razlog za to so bile klicne linije, kakor tudi filozofija algoritmov Nanometricsove programske opreme, kjer je bil poudarek na avtomatskem prenosu podatkov in ne na hitrosti pri prenosu. Ker naj bi glede na načrt Centra za obveščanje in alarmiranje uprava RS za geofiziko posredovala podatke o osnovnih parametrih potresa najkasneje v eni uri po dogodku, smo si delavci URSG zadali nalogo, da sistem prenosa podatkov pospešimo.

Prve korake smo naredili že ob koncu leta 1997. Napisali smo programsko opremo, ki je nadzorovala vsebino in velikost datoteke NAQS.ELF. Ko se je vsebina datoteke spremenila, smo s pomočjo dodatne programske opreme takoj prevedli dogodek iz krožnega spomina in ga po postopku e-pošte postavili v odložišče. Dogodek je bil nato poslan na centralo, ko je le ta vzpostavila telefonsko zvezo.

Ker je potresna opazovalnica, ki je nameščena na Golovcu v Ljubljani, povezana z ostalimi računalniki preko državne računalniške mreže in je od vseh potresnih opazovalnic najbolj v središču Slovenije, smo ji določili alarmno funkcijo. Spomladi leta 1998 smo na njej napisali in instalirali dodatno programsko opremo z nalogo, da za vsak dogodek, ki ga zazna potresna opazovalnica, preveri največjo amplitudo na vertikalni komponenti. Ko je vrednost amplitude prešla določen prag, se je sprožil proces, ki je poslal obvestilo na pozivnik dežurnemu seizmologu. Kasneje so taka obvestila prihajala tudi preko SMS sistema na mobilne telefone. Vrednost praga je morala biti tako velika, da sistem ni alarmiral strokovnjaka že zaradi seizmičnih motenj, ki so posledice dejavnosti človeka.

Močan potres v Posočju leta 1998 je pokazal, da je poglobljena slabost še vedno prepustnost telefonskih linij, saj so prebivalci tedaj množično uporabljali telefon in tako močno obremenili telefonske centrale. Zaradi tega je centrala težje vzpostavljala komunikacije s potresnimi opazovalnicami. Vse to je vplivalo na kvaliteto in hitrost izračuna parametrov potresa.

V začetku 1998 je centrala s potresno opazovalnico, ki je bila z njo povezana preko klicnih linij, vzpostavila zvezo vsakih dvajset minut. Če se je potres zgodil takoj po prekinitvi zveze, je bil zapis potresa na voljo strokovnjaku šele ob naslednji uspešni vzpostavitvi zveze. Želeli smo, da bi centrala začela komunicirati z opazovalnicami vedno takoj po potresu. Zaradi tega

smo potresno opazovalnico, ki je nameščena na Golovcu v Ljubljani, določili kot prožilno. Kadar je programska oprema na tej potresni opazovalnici zaznala dogodek, se je sprožil proces, ki je povzročil takojšnje povezovanje centrale s potresnimi opazovalnicami.

Izkoristili smo tudi dejstvo, da so na potresnih opazovalnicah shranjeni podatki o času začetkov dogodkov. Iz časov proženja, lahko preliminarno izračunamo osnovne parametre potresa. Tako je centrala najprej zahtevala informacijo o proženjih. S temi podatki in s pomočjo programske opreme ASSOC smo dobili izračunane preliminarne podatke o potresu že okvirno dve minuti po potresu. Seveda je bila natančnost tako dobljene lokacije nadžarišča odvisna od natančnosti vstopnih časov oziroma od STA/LTA algoritma.

Ko je sistem izračunal dogodek, je od potresnih opazovalnic zahteval še zapise potresov. Tako smo imeli zapise potresov iz vseh opazovalnic na voljo v povprečju prej kot v dvajsetih minutah. Tak sistem je začel delovati v jeseni leta 1998. Še vedno pa so bile šibka točka sistema klicne telefonske linije, saj se je pogostokrat dogajalo, da so modemske zveze odpovedale. Zato smo v obdobju do marca 2000 vse opazovalnice priključili na državno računalniško mrežo. Tako so zapisi potresov na voljo strokovnjaku že tri minute po koncu potresa.

Zaključek

Mreža potresnih opazovalnic še vedno neprekinjeno zbira seizmične podatke. Na večini potresnih opazovalnic so nameščeni računalniki IBM PC s procesorji 66 Mhz 486. Hitri razvoj v informacijski tehnologiji je povzročil, da za te računalnike vse težje dobimo rezervno opremo. Prenovitev računalnikov pa skoraj ni možna, ker vgrajena strojna oprema ni primerna za vgradnjo v nove računalniške sisteme. Isto velja tudi za programsko opremo. Izvirne kode nimamo na voljo, operacijski sistem OS/2 je zastarel. Tudi proizvajalec seizmološke opreme ne podpira več tega operacijskega sistema. Šest potresnih opazovalnic ne omogoča avtomatske lokacije potresov v Sloveniji, kakor tudi ne podaja dovolj informacij za nadaljnje geofizikalne študije. Prav zaradi zastarelosti na centralno enoto težko priključimo nove seizmološke sisteme.

Literatura

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

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

Sinčič, P., Vidrih, R., Cecič I., 1996, Potresne opazovalnice v Sloveniji, Potresi v letu 1995, Uprava RS za Geofiziko, 1-10, Ljubljana.

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

Tasič, I., 2000, Karakterizacija vstopa potresnih valov s simuliranimi nevronskimi mrežami, Magistrsko delo, 95 str., Fakulteta za Strojništvo.

MODELIRANJE ZMOGLJIVOSTI MREŽE POTRESNIH OPAZOVALNIC MODELLING LOCATION CAPABILITY OF SEISMIC NETWORK

Jure Ravnik¹, Mladen Živčić², Amadej Trnkoczy³

Izvleček. Z uporabo predikcijske analize smo modelirali zmogljivosti načrtovane državne mreže potresnih opazovalnic v Sloveniji in je primerjali z zmogljivostimi obstoječe mreže potresnih opazovalnic. Ugotovili smo, da bomo z novo mrežo dosegali precej boljše rezultate za šibke potrese na meji občutljivosti ($M_{LV}=1,5$), kot jih sedaj dosežemo za potrese, ki lahko že povzročajo manjše poškodbe ($M_{LV}=3,0$). Pričakovana nedoločenost opredelitve žarišča potresa magnitude $M_{LV}=1,5$ z novo mrežo je v večjem delu Slovenije manjša od 3 km, medtem, ko je s podatki obstoječe mreže nedoločenost opredelitve nadžarišča za potrese magnitude $M_{LV}=3,0$ v večjem delu Slovenije slabša od 5 km.

Abstract. Using prediction analysis we modelled capabilities of the planned national network of seismic stations in Slovenia and compared it with the capabilities of the existing network. We found that the new network will achieve considerably better results for weak earthquakes at the human perception threshold ($M_{LV}=1.5$) than the existing network gives for the earthquakes that can already cause some damage ($M_{LV}=3.0$). Expected uncertainty of the hypocenter determination for earthquake of magnitude $M_{LV}=1.5$ with new network is better than 3 km in the larger part of Slovenia while the existing network has uncertainties larger than 5 km for earthquakes of magnitude $M_{LV}=3.0$ in larger part of Slovenia.

Uvod

Dobro in skrbno načrtovanje nekega projekta je polovica uspeha. Postavitev potresnih opazovalnic za spremljanje seizmične aktivnosti nekega področja ni izjema. Uspešnost te naloge se pokaže šele po daljšem času. Potresov ne moremo napovedati, vendar na podlagi dogodkov v preteklosti lahko naredimo statistične analize, ki kažejo na verjetnost pojavljanja potresov v določenem okolju. Za to analizo pa potrebujemo natančne in čim številnejše podatke o seizmični aktivnosti.

Pri načrtovanju mreže potresnih opazovalnic je potrebno upoštevati naloge, ki naj bi jih mreža opravljala. Tako smo za bodočo državno mrežo potresnih opazovalnic predvideli, da bo večnamenska. Mreža mora:

- zajemati, podatke o potresih, ki jih prebivalci Slovenije čutijo pa hitro posredovati v center; pri tem ne sme biti prekrmljena tudi pri najmočnejših možnih potresih,
- v najkrajšem možnem času zagotoviti zadostno natančnost določitve osnovnih potresnih parametrov za potrebe obveščanja in ukrepanja po potresu,
- zagotoviti točnost določanja osnovnih potresnih parametrov šibkih potresov z natančnostjo, ki jo potrebujejo sodobne seizmotektonske študije; praviloma za lego nadžarišča in žariščno globino napaka opredelitve ne sme presežati enega kilometra,
- zagotoviti kakovosten zapis seizmičnih signalov v dovolj širokem frekvenčnem pasu, ki omogoča določanje dinamičnih parametrov potresnih žarišč in izračun parametrov potresne nevarnosti.

¹ Inštitut za ekološki inženiring d.o.o., Ljubljanska 9, Maribor

² Agencija RS za okolje, urad za seizmologijo, Dunajska 47, Ljubljana

³ Svetovanje v seizmologiji s.p., Kot 12, Bovec

V pričujočem prispevku bomo pozornost namenili točnosti določanja lege potresnega žarišča, to je točke v kateri se potres začne.

Sodobne metode določanja koordinat in žariščnega časa slonijo na modeliranju časa, ki ga posamezno potresno valovanje potrebuje za pot od žarišča do potresne opazovalnice. V ta namen moramo z veliko natančnostjo poznati:

- koordinate in nadmorsko višino opazovalnic,
- točen čas na vseh opazovalnicah,
- hitrostno strukturo Zemlje, skozi katero se potresno valovanje razširja.

Če te parametre poznamo, lahko za poljubno izbrano žarišče (točko pod površjem Zemlje) izračunamo teoretični čas potovanja potresnih valov od žarišča do opazovalnic. Teoretične čase na vseh opazovalnicah primerjamo s časom odčitanim iz zapisov potresov na posameznih opazovalnicah. Z uporabo ustrezne numerične metode določimo žarišče potresa kot točko, za katero so razlike izmerjenih in izračunanih časov najmanjše. Najpogosteje uporabimo eno od različic metode najmanjše vsote kvadratov odstopanj.

Relativna ocena napake določitve žarišča je odvisna od točnosti, s katero smo odčitali vstopne čase na pozameznih opazovalnicah. Absolutna točnost (ob upoštevanju dejstva, da točne lege žarišča potresa nikoli ne poznamo, lahko pa postopek določitve žarišča preverimo npr. z razstreljevanji v kamnolomih) pa je odvisna tudi od točnosti, s katero smo zagotovili zgornje pogoje in od relativnega geometrijskega položaja potresnih opazovalnic v odnosu do žarišča potresa. Danes ni težko določiti lege opazovalnice z natančnostjo nekaj metrov že z ročnim GPS sprejemnikom, ali zagotoviti na milisekundo točen čas s GPS sprejemnikom točnega časa. Odločilna dejavnika zato ostaneta hitrostna struktura in porazdelitev opazovalnic.

Hitrostne strukture ne moremo spreminjati, lahko jo le preučujemo in s tem postopno izboljšujemo naše poznavanje le-te. Žal so za podrobno določitev hitrostne strukture potrebne zelo drage seizmične in geofizikalne raziskave ali pa dalj časa delujoča gosta mreža potresnih opazovalnic. V področjih, v katerih šele načrtujemo postavitev mreže, pa teh praviloma ni v zadostnem številu. Tako ostaja načrtovanje porazdelitve potresnih opazovalnic na ozemlju, katerega imamo namen opazovati, praktično edini dejavnik na katerega lahko vplivamo, da zagotovimo čimboljše rezultate pri določanju potresnih parametrov.

Pri takem, čisto geometrijskem pristopu, se v poseljenem in precej urbaniziranem in industrializiranem okolju, kot je Slovenija in njej sosednje države, hitro pojavi težava z občutljivostjo seizmičnih opazovalnic. Če želimo določiti položaj aktivnih prelomnih con za potrebe ocene potresne nevarnosti in postopno izboljševati hitrostno strukturo področja, moramo analizirati veliko število potresov. Močni potresi so (na srečo) redki. Da bi jih analizirali dovolj, bi potrebovali preveč časa. Zato je nujno, da mrežo načrtujemo tako, da omogoča tudi beleženje šibkih potresov. Če želimo beležiti le-te, pa moramo opazovalnice postaviti v okolja, kjer je seizmični šum najmanjši. Seizmične naprave so zelo občutljive in lahko merijo tresljaje tal, ki so po velikosti primerljivi s premerom molekul. Zato morajo biti nameščene v okolju, v katerem je seizmični šum ozadja čim manjši. Tla se ves čas tresejo, ne le zaradi potresov, temveč tudi zaradi številnih drugih dejavnikov, tako naravnih kot tudi povzročenih s človeško dejavnostjo. Spremembe zračnega pritiska povzročajo deformiranje zemeljske skorje, valovanje morja se preko dna in kamnin razširja kot seizmično valovanje, veter niha drevesa in stavbe in ti tresljaji se razširjajo kot potresno valovanje. Reke in še posebej slapovi imajo podoben učinek – udarci vode ob dno in bregove se razširjajo kot

elastično valovanje. Nenazadnje se tudi zvočni valovi, ki nastanejo pri atmosferskih razelektritvah prenesajo v tla in so zaznavni na seizmoloških instrumentih. K temu je treba dodati še številne generatorje tresljajev, ki jih povzroča človek, kot so stroji, npr. žage, turbine, generatorji, batni stroji in druga industrija, ter promet po železnici in cestah (Jesenko in Živčič, 2001). Državna mreža potresnih opazovalnic v Sloveniji obsega sedem opazovalnic: šest digitalnih s prenosom podatkov v Ljubljano in eno analogno z zapisom s črnilom na papir (VOY). Vse so trikomponentne (zapisujejo nihanje tal v treh medseboj pravokotnih smereh). Poleg tega ARSO upravlja še manjše število prenosnih digitalnih in analognih opazovalnic ter naprav za beleženje močnih potresov. Že večkrat, a posebej po potresu z žariščem v Krnskem pogorju 12. aprila 1998, se je pokazalo, da število in opremljenost opazovalnic ne zadošča niti zahtevam sodobne družbe po hitrem in kakovostnem obveščanju niti potrebam raziskovalnega dela in iz tega izhajajočih upravnih nalog. Zato je Vlada RS sprejela štiriletni program posodobitve mreže potresnih opazovalnic v Sloveniji. Po tem programu bo v Sloveniji nameščenih 25 opazovalnic državnega omrežja, ki bodo z računalniško mrežo povezane s središčem v Ljubljani. Ocena zmogljivosti te mreže je predmet pričujočega članka.

Podobne analize natančnosti določanja položaja nadžarišč za področje Slovenije za enostavnejše modele so že izdelali Prelovšek, 1983, Prelovšek in Bonča, 1984 in Vilfan in sod. 1985, ter za območje Krškega Trnkoczy in Živčič, 1992.

Opis metode

Najmanjša vsota kvadratov odstopanj se pogosto uporablja pri določanju parametrov funkcijskih odvisnosti, ki povezujejo odvisne in neodvisne spremenljivke. V seizmologiji uporabljamo vsoto najmanjših kvadratov pri določanju lokacij žarišč in žariščnega časa lokalnih potresov.

Zapišimo čas prihoda potresnega valovanja na i -to opazovalnico kot funkcijo lokacije postaje, strukture zemljine skorje in lokacije žarišča :

$$T_i = f(X_{i1} \dots X_{im}, a_1 \dots a_3) \quad (1)$$

Tu so X_{ij} koordinate opazovalnice in parametri modela zemljine skorje, a_i pa lokacija žarišča. Metoda najmanjših kvadratov določi vrednosti a_i tako, da je utežena vsota kvadratov razlik (S) izmerjenih in izračunanih vrednosti najmanjša. Minimiziramo torej

$$S = \sum_{i=1}^N \left[w_{ii} \{T_i - t_i\}^2 + \sum_{j=1}^m w_{xij} \{X_{ij} - x_{ij}\}^2 \right], \quad (2)$$

kjer velika T_i in X_{ij} predstavljata izmerjene oziroma ocenjene parametre, mala t_i in x_{ij} pa izračunane parametre.

Parametri so določeni bolj ali manj natančno, zato v (2) uporabimo uteži w_{ii} in w_{xij} . Pri lociranju potresov predpostavimo, da poznamo lokacijo opazovalnice brez napak (utež je nič), medtem ko moramo napako modela strukture zemljine skorje upoštevati.

Normalne enačbe za iterativni izračun žariščnih parametrov prek minimizacije (2) zapišemo tako (Peters in Crosson, 1972), da iz (1) napišemo pogojno funkcijo

$$F_i = t_i - f(x_{i1} \dots x_{im}, a_1 \dots a_3) \quad (3)$$

Enačbo (3) razvijemo v Taylorjevo vrsto okoli začetne vrednosti in zanemarimo člen drugega in višjih redov. Če naj bo S v (2) najmanjši, mora biti neobčutljiv na majhne variacije parametrov. Uporabimo še nedoločene Lagrangeove multiplikatorje, poenostavimo in dobimo normalne enačbe v matrični obliki :

$$CA = B \quad (4)$$

kjer velja

$$C_{jl} = \sum_{i=1}^N \frac{\frac{\partial F_i}{\partial a_j} \frac{\partial F_i}{\partial a_l}}{L_i}, \quad B_j = \sum_{i=1}^N \frac{\frac{\partial F_i}{\partial a_j} F_{i0}}{L_i}, \quad L_i = \frac{\left(\frac{\partial F_i}{\partial t_i}\right)^2}{w_{ii}} + \sum_{j=1}^m \frac{\left(\frac{\partial F_i}{\partial x_{ij}}\right)^2}{w_{xij}}.$$

F_{i0} je vrednost pogojne funkcije v začetni točki. Rezultat shranjen v vektorju A vsebuje popravek lokacije žarišča glede na obstoječ približek.

Če postavimo σ_{a_l} kot napako določitve l -tega parametra lokacije žarišča, lahko pokažemo, da velja (Wolberg, 1967; Borchardt and Healy, 1968)

$$\sigma_{a_l}^2 = C_{ll}^{-1} \quad (5)$$

Matrika C in njen inverz C^{-1} sta odvisna samo od parcialnih odvodov funkcije za izračun časa prihoda potresnega valovanja do postaje in prek utežnih faktorjev od predpostavljenih napak parametrov. Rezultat (5) kaže, da napako določitve žariščnih parametrov lahko ovrednotimo brez dejanskega iterativnega izračuna lokacije potresa.

Del matrike C^{-1} , ki vsebuje informacijo o napaki določitve žarišča je ranga 3x3 in geometrijsko predstavlja rotacijski elipsoid. Napaka določitve žarišča, prikazana na slikah, je najdaljša os elipsoida, napaka določitve nadžarišča pa najdaljša projekcija osi elipsoida na horizontalno ravnino.

Rezultati

Da bi raziskali, kolikšno točnost določevanja žarišča lahko pričakujemo v posameznih delih Slovenije, smo področje razdelili z mrežo 39 x 19 vozlišč, ki so medseboj oddaljena 0.1 stopinje zamljepisne širine in zemljepisne dolžine. Za vsako tako vozlišče smo izračunali točnost, s katero bo mreža bodočih potresnih opazovalnic določila osnovne potresne parametre. Ta izračun smo naredili za več različnih magnitud hipotetičnega potresa in za v Sloveniji najpogostejšo globino žarišča 7 km.

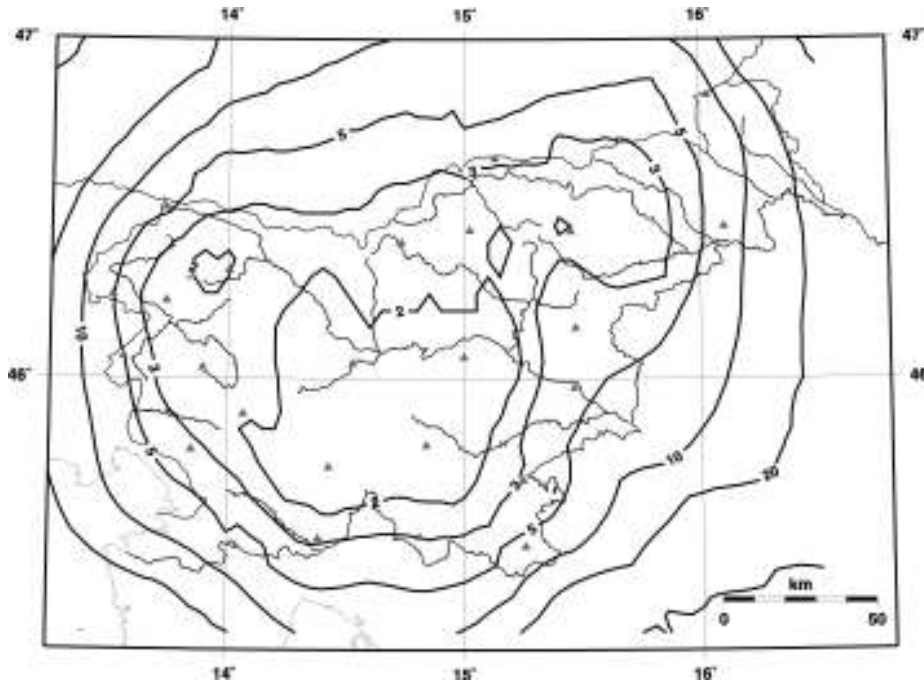
Da lahko zapis določene opazovalnice uporabimo pri izračunu žarišča, moramo biti prepričani, da bo ta opazovalnica potres dejansko zabeležila (pri tem ne upoštevamo morebitnih tehničnih težav z opremo). Bolj, kot je opazovalnica oddaljena od žarišča, manjša bo amplituda potresnega valovanja na njeni lokaciji zaradi geometrijskega razširjanja in

dušenja in večja bo verjetnost, da le-ta ne bo preseгла amplitude seizmičnega šuma na tej lokaciji. Da bi lahko predvideli, ali bo določena opazovalnica zabeležila potres, moramo torej poznati nivo seizmičnega šuma na njeni lokaciji. V študiji smo uporabili izmerjene vrednosti seizmičnega šuma na potencialnih lokacijah opazovalnic bodoče slovenske državne mreže (Jesenko in Živčič, 2001).

Odgovor na vprašanje, ali bo neka opazovalnica zabeležila potres ali ne, je v določeni meri odvisen tudi od tehničnih lastnosti in nastavitve opreme na opazovalnici. V tej študiji smo predpostavili, da je za prožilni način delovanja opazovalnice pomemben nivo seizmičnega šuma v frekvenčnem pasu med 1 in 10 Hz. Večina moči signala šibkejših lokalnih potresov je namreč v tem frekvenčnem pasu. Predpostavili smo tudi, da bo prožilni algoritem opazovalnice nastavljen tako, da bo potres zabeležila, če bo trenutna amplituda valovanja za štirikrat ali več preseгла srednjo kvadratično vrednost (RMS) amplitude seizmičnega šuma.

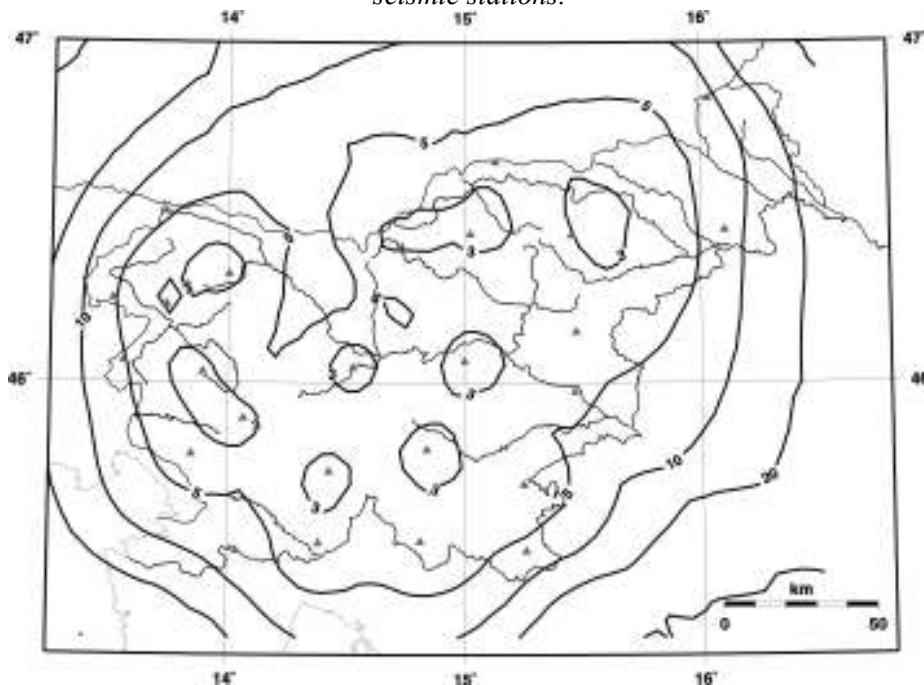
Izračun smo naredili po dveh možnih scenarijih: za primer, da deluje avtomatsko računalniško določanje potresnih parametrov na osnovi avtomatičnega določanja časov vstopa longitudinalnih potresnih valov z izjemo opazovalnice VOY in za primer, ko seizmolog naredi analizo zapisov potresa in pri tem upošteva tako longitudinalne kot tudi transverzalne potresne valove. Pri tem smo predpostavili, da je točnost s katero seizmolog določi vstopni čas P valov 0,1 s, pri avtomatičnem določanju pa 0,25 s. Za točnost odčitavanja časa S valov smo predpostavili 0,2 s. Za primerjavo smo naredili izračun tudi za opazovalnice državne mreže, kakršna deluje v Sloveniji v letu 2000.

Rezultati so prikazani na slikah 1 do 7. Slika 1 kaže pričakovane nedoločenosti nadžarišča za potrese magnitude $M_{LV}=1,5$, določene iz avtomatično včitanih vstopnih časov longitudinalnih valov. To magnitudo smo ocenili kot spodnjo mejo, pri kateri prebivalci lahko čutijo potres, če je nadžarišče v poseljenem področju. Vidimo, da je pričakovana nenatančnost v večjem delu Slovenije manjša od 5 km. Izjema so le skrajni severovzhodni del in nekatera manjša obmejna področja. Slika 2 kaže nedoločenost žariščne globine za isti primer. Za primerjavo je na sliki 3 podana ocenjena nedoločenost lokacije nadžarišča na osnovi avtomatično odčitanih vstopov P valov za obstoječo mrežo sedmih opazovalnic za potres magnitude $M_{LV}=3,0$. Vidimo, da je ta le v manjšem delu Slovenije manjša od 5 km, v skrajnem severovzhodnem in obmejnem območju je lahko tudi nekaj deset kilometrov. Magnitudo 3,0 smo izbrali kot magnitudo, pri kateri potres s žariščem v poseljenem območju že lahko povzroči manjše poškodbe. Na sliki 4 so podane ocenjene nedoločenosti lokacije nadžarišča v primeru, ko uporabimo še vstopne čase transverzalnih valov. Sedaj je večji del Slovenije v področju z nedoločeno manjšo od 10 km. Tudi nedoločenost žariščne globine (slika 5) je nesprejemljivo velika za uporabo v seizmotektonskih analizah. Sliki 6 in 7 kažeta pričakovane nedoločenosti lokacije nadžarišča, oziroma žariščne globine za potrese magnitude $M_{LV}=1,5$ po postavitvi nove mreže potresnih opazovalnic. Precejšen del osrednje Slovenije je v območju z nedoločeno nadžarišča manjšo od 1,5 km, skoraj celotna (razen skrajnjega severovzhodnega dela) v območju do 3 km. Tudi nedoločenost opredelitve žarišča je v večjem delu Slovenije sprejemljiva – manjša od 3 km. Izjema so le obmejna področja, v katerih lahko izboljšamo natančnost z vključitvijo podatkov iz sosednjih držav. V letu 1999 je bilo v Sloveniji 137 potresov z magnitudo večjo od 1,5 (Cecić in sod., 2001). Z novo mrežo bo mogoče določati položaj žarišča takih potresov z natančnostjo, ki bo omogočala osnovne seizmotektonske raziskave.



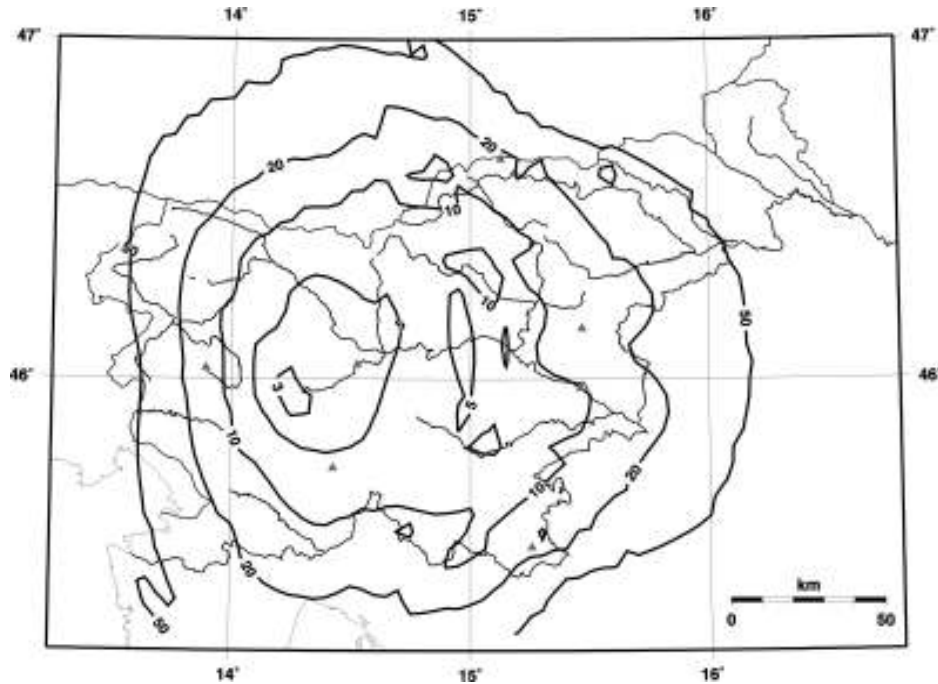
Slika 1. Pričakovane nedoločenosti lokacije nadžarišča (v kilometrih) za potrese magnitude $M_{LV}=1,5$ opredeljene iz avtomatično odčitanih vstopnih časov longitudinalnih valov za načrtovano državno mrežo potresnih opazovalnic. Trikotniki označujejo lokacije bodočih opazovalnic.

Figure 1. Predicted uncertainties of epicenter determination (in kilometres) for earthquakes of magnitude $M_{LV}=1.5$ determined from automatically picked arrival times of longitudinal waves on seismic stations of planned national network. Triangles mark locations of planned seismic stations.



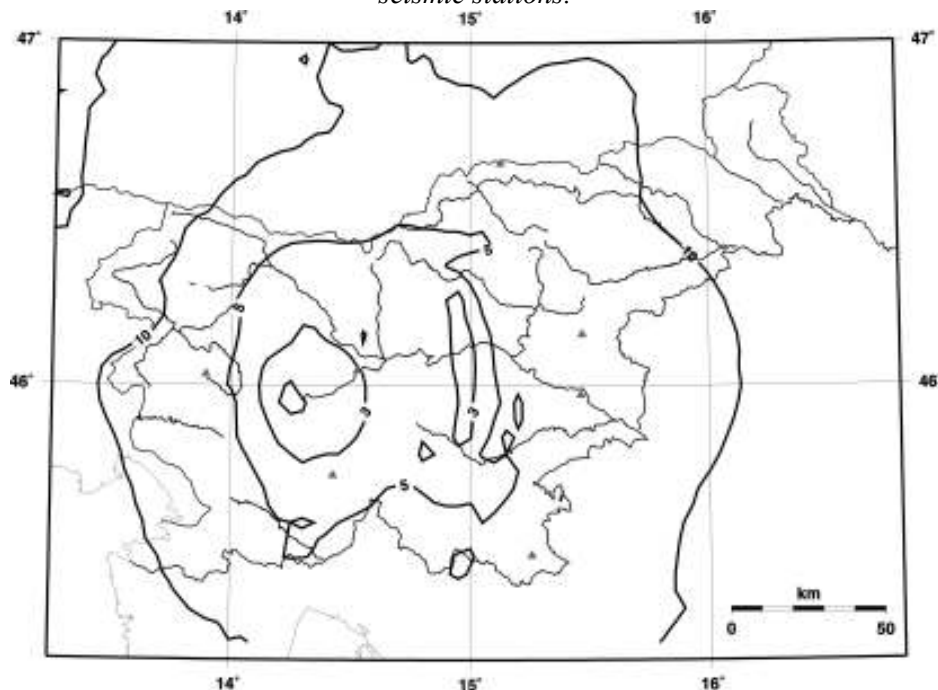
Slika 2. Pričakovane nedoločenosti lokacije žarišča (v kilometrih) za potrese magnitude $M_{LV}=1,5$ opredeljene iz avtomatično odčitanih vstopnih časov longitudinalnih valov za načrtovano državno mrežo potresnih opazovalnic. Trikotniki označujejo lokacije bodočih opazovalnic.

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

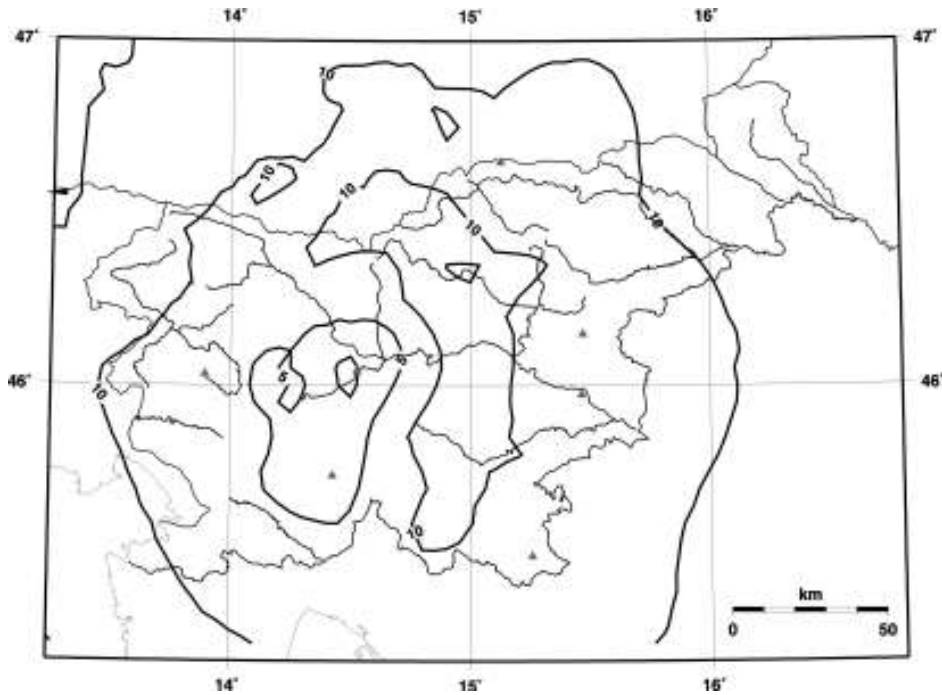


Slika 3. Pričakovane nedoločenosti lokacije nadžarišča (v kilometrih) za potrese magnitude $M_{LV}=3,0$ opredeljene iz avtomatično odčitanih vstopnih časov longitudinalnih valov za obstoječo državno mrežo potresnih opazovalnic. Trikotniki označujejo lokacije obstoječih opazovalnic.

Figure 3. Predicted uncertainties of epicenter determination (in kilometres) for earthquakes of magnitude $M_{LV}=3.0$ determined from automatically picked arrival times of longitudinal waves on seismic stations of existing national network. Triangles mark locations of existing seismic stations.

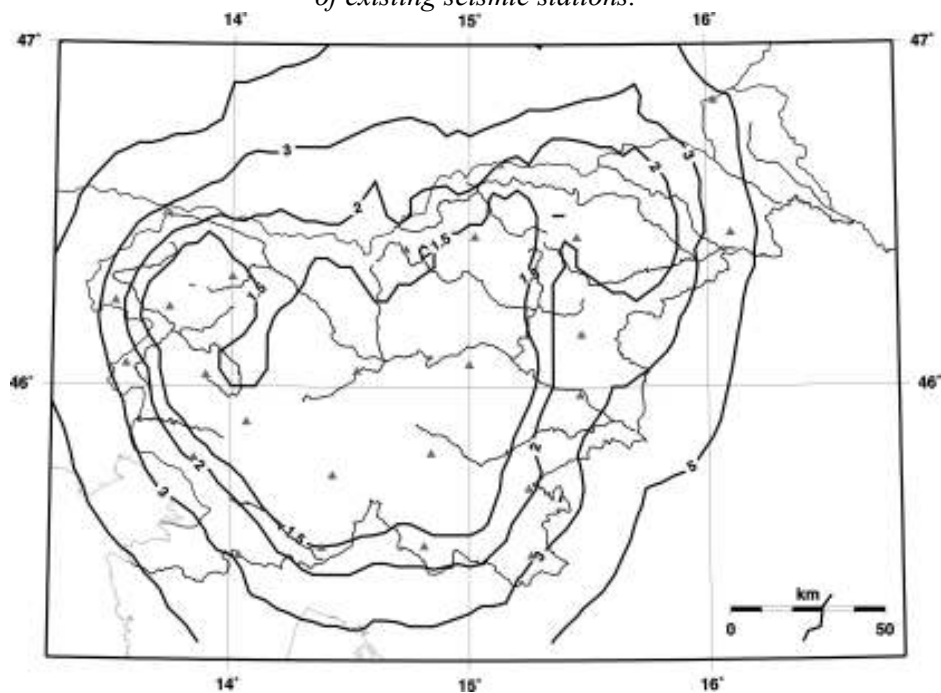


Slika 4. Pričakovane nedoločenosti lokacije nadžarišča (v kilometrih) za potrese magnitude $M_{LV}=3,0$ opredeljene iz vstopnih časov longitudinalnih in transverzalnih valov za obstoječo državno mrežo potresnih opazovalnic. Trikotniki označujejo lokacije obstoječih opazovalnic.
Figure 4. Predicted uncertainties of epicenter determination (in kilometres) for earthquakes of magnitude $M_{LV}=3.0$ determined from arrival times of longitudinal and transversal waves on seismic stations of existing national network. Triangles mark locations of existing seismic stations.



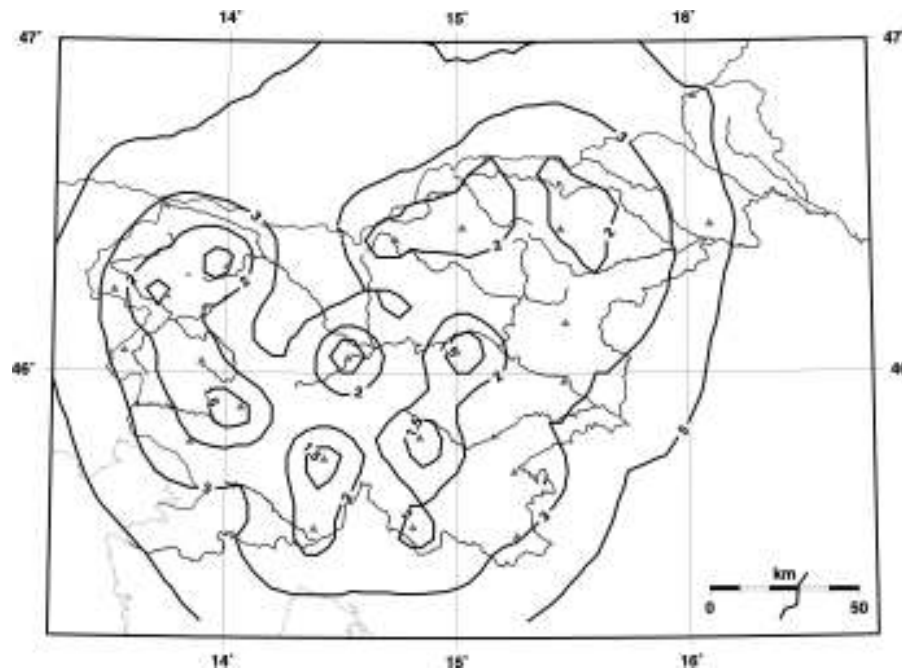
Slika 5. Pričakovane nedoločenosti lokacije žarišča (v kilometrih) za potrese magnitude $M_{LV}=3,0$ opredeljene iz vstopnih časov longitudinalnih in transverzalnih valov za obstoječo državno mrežo potresnih opazovalnic. Trikotniki označujejo lokacije obstoječih opazovalnic.

Figure 5. Predicted uncertainties of hypocenter determination (in kilometres) for earthquakes of magnitude $M_{LV}=3.0$ determined from arrival times of longitudinal and transversal waves on seismic stations of existing national network. Triangles mark locations of existing seismic stations.



Slika 6. Pričakovane nedoločenosti lokacije nadžarišča (v kilometrih) za potrese magnitude $M_{LV}=1,5$ opredeljene iz vstopnih časov longitudinalnih in transverzalnih valov za načrtovano državno mrežo potresnih opazovalnic. Trikotniki označujejo lokacije bodočih opazovalnic.

Figure 6. Predicted uncertainties of epicenter determination (in kilometres) for earthquakes of magnitude $M_{LV}=1.5$ determined from arrival times of longitudinal and transversal waves on seismic stations of planned national network. Triangles mark locations of planned seismic stations.



Slika 7. Pričakovane nedoločenosti lokacije žarišča (v kilometrih) za potrese magnitude $M_{LV}=1,5$ opredeljene iz vstopnih časov longitudinalnih in transverzalnih valov za načrtovano državno mrežo potresnih opazovalnic. Trikotniki označujejo lokacije bodočih opazovalnic.

Figure 7. Predicted uncertainties of hypocenter determination (in kilometres) for earthquakes of magnitude $M_{LV}=1.5$ determined from arrival times of longitudinal and transversal waves on seismic stations of planned national network. Triangles mark locations of planned seismic stations.

Zaključki

S primerjavo nedoločenosti položaja nadžarišča opredeljenega iz podatkov, ki jih bo podala načrtovana mreža potresnih opazovalnic z nedoločenostima ki ji pogojuje obstoječa mreža potresnih opazovalnic (v začetku leta 2001) smo ugotovili, da bomo z novo mrežo dosegali precej boljše rezultate za šibke potrese na meji občutljivosti, kot jih sedaj dosežemo za potrese, ki lahko že povzročajao manjše poškodbe. Tako smo ocenili, da bo pričakovana napaka določitve nadžarišča pri samodejnem delovanju seizmološke opreme za potrese magnitude 1,5 v večjem delu Slovenije manjša od 5 km. Ob upoštevanju naknadnih analiz vstopnih časov longitudinalnih in transverzalnih valov je pričakovana nedoločenost manjša od 1,5 km za nadžarišča in 3 km za žarišča. Ob izboljšavi hitrostnega modela in uporabi podatkov iz opazovalnic v sosednjih državah bo ta rezultat še boljši. Lahko sklepamo, da bo nova državna mreža potresnih opazovalnic zadostila zahtevam glede točnostno opredelitve osnovnih potresnih parametrov.

Literatura

- Borcherdt, R. D., Healy, J. H., 1968. A method for estimating the uncertainty of seismic velocities measured by refraction techniques. Bull. Seism. Soc. Am., 58, 6, 1769-1790.
- Cecić I., Torkar, M., Živčič, M., Deterding, M., 2001. Potresi v Sloveniji v letu 1999. Potresi v letu 1999. Publikacija ARSO, Ljubljana.
- Jesenko, T., Živčič, M., 2001. Meritve seizmičnega šuma za izbiro lokacij potresnih opazovalnic. Potresi v letu 1999. Publikacija URSG, Ljubljana.
- Peters, D.C., Crosson, R. S., 1972. Application of prediction analysis to hypocenter determination using local

array. Bull. Seism. Soc. Am., 62, 3, 775-788.

Prelovšek, P., 1983. Optimizacija seizmološke mreže. IJS delovno poročilo 3313, Ljubljana.

Prelovšek, P., Bonča J., 1984. Ločljivost seizmometrične mreže pri lokalnih potresih na območju Slovenije. IJS delovno poročilo 3742, Ljubljana.

Trnkoczy, A., Živčić, M., 1992. Design of Local Seismic Network for NPP Krško. Proceedings of the workshop "Local and national seismic networks: on line processing with microcomputer facilities"., November 18th-20th 1991. Cahiers du Centre Europeen de Geodynamique et de Seismologie, 5, 31-41, Luxembourg.

Vilfan, I., Bonča, J., Prelovšek, P., 1985. Ločljivost seizmometrične mreže pri lokalnih potresih na območju Slovenije. IJS delovno poročilo 4178, Ljubljana.

Wolberg, J. R., 1967. Prediction Analysis. D. Van Nostrand Co. Inc., Princeton, N.J.

OPREDELITEV VSTOPA POTRESNIH VALOV LOKALNEGA POTRESA CLASSIFICATION OF ARRIVAL TIMES OF LOCAL EARTHQUAKE SEISMIC WAVES

Izidor Tasič¹

***Izvleček.** Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO) mora v primeru potresnega sunka na slovenskem ozemlju v čim krajšem času posredovati pristojnim službam in občanom podatke o kraju in času nastanka potresa ter o njegovi moči. Osnovni podatek za izračun položaja potresa je čas prihoda P in S potresnih valov do potresne opazovalnice. Te podatke določi strokovnjak tako, da na zapisu potresnega valovanja opredeli mesto, kjer se začne potresno valovanje določenega tipa. Pri tem si pomaga s svojimi izkušnjami in znanjem. Seveda se vedno poraja vprašanje, kako natančno označi strokovnjak vstop določenega tipa potresnih valov na zapisu potresa. V pričujočem delu bomo primerjali opredelitve vstopov med strokovnjaki ter nekaterimi avtomatskimi sistemi za določanje vstopa.*

***Abstract.** In the case of earthquake on the territory of Slovenia, the Environmental Agency of Slovenia has to inform people and organizations about the location, time and power of the earthquake as soon as possible. The calculation of the location of earthquake is based on the time of arrival of P and S waveforms to a seismic station. These data are determined by an expert who on the earthquake record marks the beginning point of a certain waveform type. There is always a question, how exactly the beginning location can be marked by an expert. In the following part we are going to compare definitions made by experts and those made by some automatic phase pickers.*

Potresno valovanje 'P' in 'S'

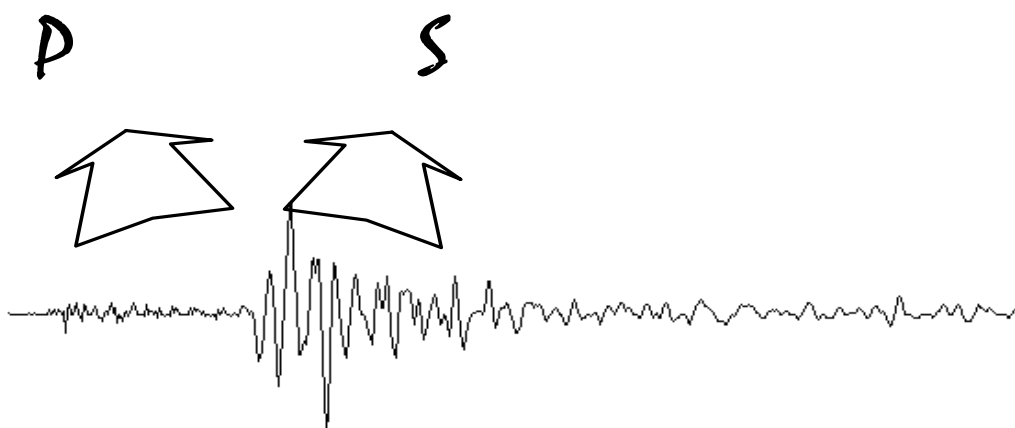
Lizbonski potres leta 1755, zahteval je okoli 60 000 mrtvih, so čutili po celi Evropi ter delu severozahodne Afrike. Ta potres je pomenil prelomnico v razmišljanju o nastankih potresov, saj tedaj prvič zasledimo razlago, da je potres povezan z razširjanjem potresnih valov skozi notranjost Zemlje (Skoko, Mokrović, 1982, Ribarič, 1984). Prve naprave za beleženje tal – seizmoskopi, so pokazali samo smer nihanja. Šele sredi 19 stoletja so instrumente toliko izboljšali, da so lahko podali časovno sliko nihanj tal med potresom. Leta 1982 je J. Milne skupaj s sodelavci uspel razviti prvi seizmograf, s katerim so lahko merili vse karakteristike nihanj tal: čas nastanka zapisa, periodo, amplitudo (Ribarič, 1984). Nihanje tal so zapisovali na papirju, ki se je enakomerno premikal izpod pisača. Že pri prvih preprostih zapisih so opazili, da je zapis lokalnega potresa sestavljen iz signalov z majhnimi amplitudami, katerim sledi skupina signalov, kjer se amplituda izrazito poveča. Prvo skupino valov so poimenovali primae in jih označili s črko P. Drugo skupino valov so poimenovali secundae in jih označili s črko S. Pred tem, leta 1828, sta A.L. Cauchy in S.D. Poisson izpeljala enačbe, ki analitično opisujejo razširjanje valov skozi elastično sredstvo (Skoko, Mokrović, 1982). Poisson je pokazal, da se v neomejenem elastičnem sredstvu razširjata dva tipa valov, en je hitrejši, drugi počasnejši. Tako so kmalu povezali teorijo z zapisi potresov. Ugotovili so, da so P valovi longitudinalni ali vzdolžni in S valovi transverzalni ali prečni. V kamninah je razmerje hitrosti P in S potresnih valov približno konstantno z vrednostjo $c_p/c_s \approx 1,73$. Pri potresu je izvor obeh tipov potresnih valov v žarišču potresa istočasen. Če torej poznamo čas prihoda P

¹ Agencija RS za okolje, urad za seizmologijo, Dunajska 47, Ljubljana

potresnih valov in čas prihoda S potresnih valov do potresne opazovalnice, lahko iz razlike v času ocenimo oddaljenost nadžarišča lokalnega potresa od te potresne opazovalnice

$$D \approx c \cdot (t_s - t_p) \quad (1)$$

S t_p in t_s označimo čas prihoda P in S potresnih valov do potresne opazovalnice, konstanta c je navidezna hitrost z enoto km/s . Vrednost konstante je $8,3 km/s$ in smo jo ocenili iz 109 zapisov lokalnih potresov iz leta 1997 in leta 1998 zabeleženih na potresni opazovalnici tipa Nanometrics v Ljubljani (Sinčič in sod., 1996). Za natančnejše določanje lokacije si pomagamo z večjim številom opazovalnic, pri tem izračuni najpogosteje temeljijo na inverzni ali Geigerjevi metodi (Gubbins, 1992). Kvaliteta izračuna je odvisna tudi od poznavanja hitrostne porazdelitve za P in S potresne valove (Cecić in sod., 1998).



Slika 1. Primer zapisa lokalnega potresa. Zapis sestavlja najprej skupina potresnih valov z razmeroma majhnimi amplitudami, ki jim sledi druga skupina valov, kjer se amplituda in perioda izrazito povečata. Prvo skupino valov imenujemo P potresni valovi (Primae), drugo skupino pa S potresni valovi (Secundae).

Figure 1. Record of a local earthquake. The record is composed of a group of seismic waves with relatively small amplitude and the subsequent group of waves with considerably increased amplitude and period. In the first group of waves are P seismic waves, and S seismic waves are in the second.

»Ročna« opredelitev vstopa potresnih valov

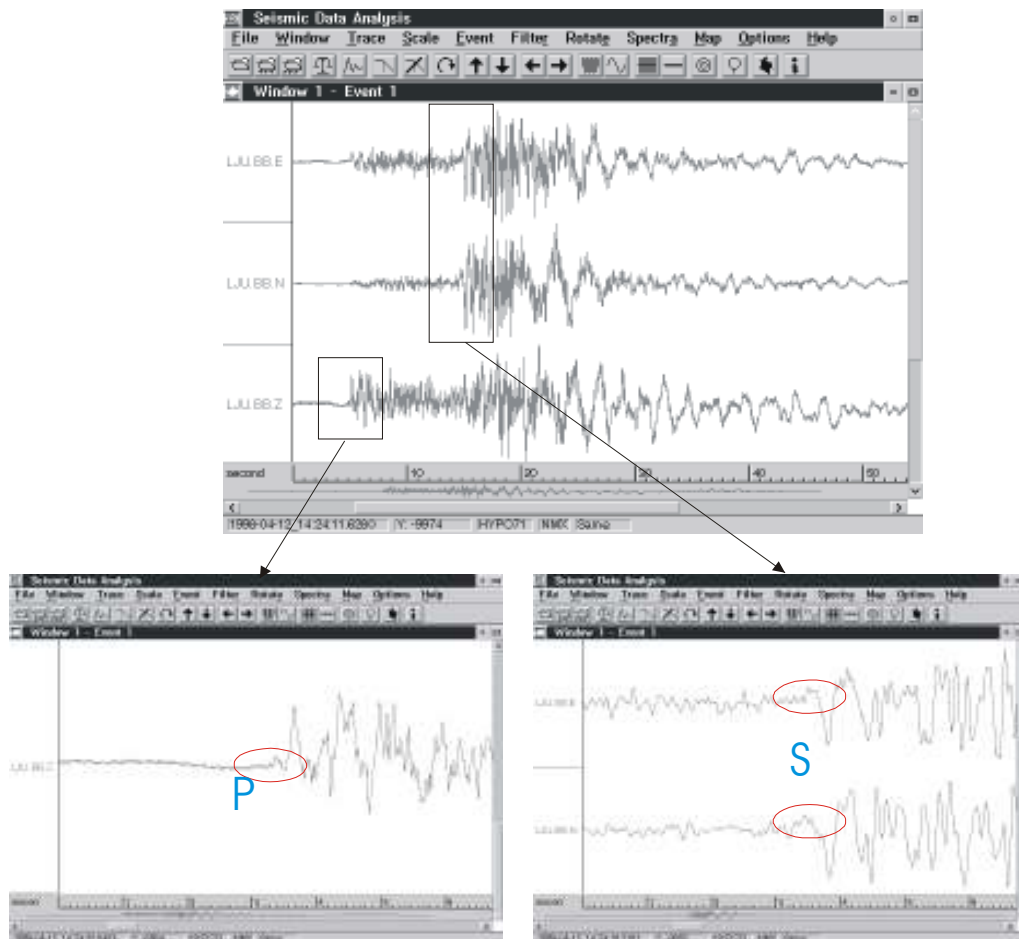
Začetek potresnega valovanja na zapisu potresa opredeli strokovnjak. Ker so zapisi potresov opremljeni s časom (Sinčič in sod., 1996), dobimo na ta način podatek o času prihoda potresnih valov do potresne opazovalnice. Zapisi lokalnega potresa na sodobnih seizmografih so sestavljeni iz treh sledi, ki jih dobimo iz treh med seboj pravokotno postavljenih senzorjev. En senzor je postavljen v vertikalni smeri, dva pa v horizontalnih smereh pravokotno drug na drugega. Na ta način dobimo prostorsko predstavbo o nihanju tal.

Najpogosteje označimo prihod P potresnega valovanja na vertikalni komponenti in S potresnega valovanja na horizontalnih komponentah. Vstop S se nahaja v sisanem P valovanju in je manj očiten, zato moramo biti pri razpoznavanju pozorni na nenadno spremembo amplitude in frekvence, na spremembe smeri premika in na to, kje se nahaja največja amplituda v zapisu itd. Lahko se zgodi, da vstop potresnih valov ni izrazit in težko

označimo vstop potresnega valovanja. Glede na to, da analizo zapisa opravlja človek in da je začetek potresnega valovanja lahko prekrit s šumom, je odločitev, kje natančno se na zapisu začne valovanje določenega tipa, subjektivna in je odvisna od številnih činiteljev, kot so izkušnje, zbranost itd. Seveda se poraja vprašanje, kako se razlikujejo odčitki različnih analizatorjev, ko na zapisu določijo vstop potresnega valovanja. Za ta primer smo pripravili sistem za analiziranje zapisov ter 65 trokomponentnih zapisov potresnega valovanja z nadžarišči v Sloveniji ali njeni bližnji okolici.



Slika 2. Shema P in S valov (Ribarič, 1984). Valovi P so longitudinalni ali vzdolžni valovi (a). Valovi S so transverzalni ali prečni (b). Puščica označuje smer potovanja valov.
Figure 2. Model of P and S waves (Ribarič, 1984). P wave are longitudinal (fig. a), S waves are transverse (fig. b). The arrow signifies their direction.



Slika 3. Zapis potresa, ki je nastal na sodobni trokomponentni opazovalnici LJU. Senzorji so postavljeni v smeri vzhod-zahod (oznaka E), sever-jug (oznaka N) in vertikalni smeri (oznaka V). Seizmolog označi čas prihoda P potresnega valovanja na vertikalni komponenti in čas prihoda S potresnega valovanja na horizontalnih komponentah.

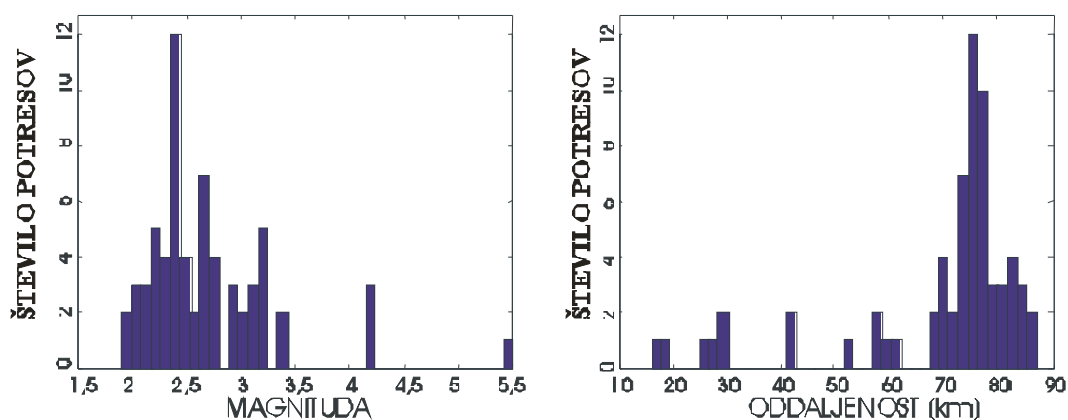
Figure 3. Records of an earthquake picked up at a modern three-component station LJU. Sensors are directed East-West (mark E), North-South (mark N) and Perpendicularly (mark V). Arrival times of P seismic waves are usually registered on a vertical component but those of S waves on horizontal ones.

Za te zapise velja:

- zapis mora vsebovati potres,
- za vsak zapis potresa moramo imeti podatke o lokaciji in moči ter vstopnih časih P in S valov, ki jih med redno analizo določi strokovnjak,
- zapis potresa mora biti popoln, vidni morajo biti vstopi P in S valov in morebiti »konec« potresa,
- v zapisu potresa je lahko zabeležen le en lokalni potres.

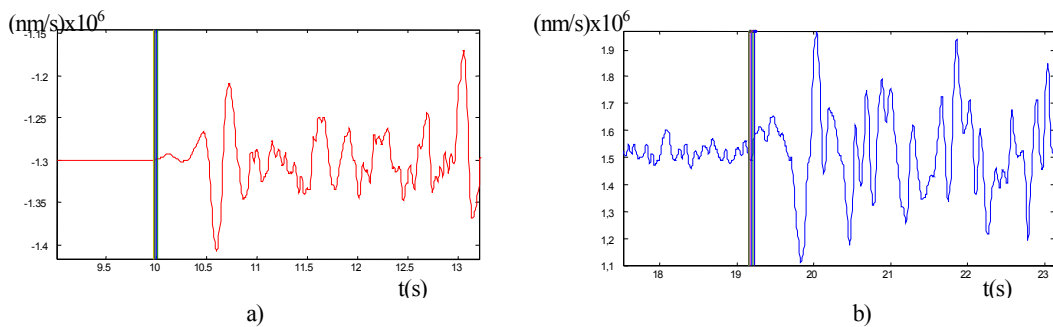
Vsi izbrani zapisi lokalnih potresov so nastali leta 1998 na potresni opazovalnici tipa Nanometrics v Ljubljani. Imajo ocenjeno magnitudo M_{LV} od 1,9 do 5,5 in oddaljenost nadžarišča od potresne opazovalnice od 16 do 89 kilometrov. Zapis potresa z magnitudo 5,5 je popačen, kar pomeni, da je bila amplituda hitrosti nihanja tal večja, kakor jo je lahko zabeležil seizmograf. Vzorčenje zapisa je 200 vzorcev na sekundo. Vstop P potresnega valovanja se nahaja v časovnem intervalu med 1,5 sekunde in 15 sekundami od začetka zapisa.

Najpogosteje označimo prihod P potresnega valovanja na vertikalni komponenti in S potresnega valovanja na horizontalnih komponentah. Vstop S se nahaja v sipanem P valovanju in je manj očiten, zato moramo biti pri razpoznavanju pozorni na nenadno spremembo amplitude in frekvence, spremembe smeri premika, na to, kje se nahaja največja amplituda v zapisu itd. Lahko se tudi zgodi, da vstop potresnih valov ni izrazit in težko označimo vstop potresnega valovanja. Glede na to, da je analiza zapisa potresa človeško delo in da je začetek potresnega valovanja lahko prekrit s šumom, je odločitev, kje se na zapisu začne valovanje določenega tipa, subjektivna in je odvisna od številnih faktorjev, kot so izkušnje, zbranost itd. Seveda se poraja vprašanje, kako se razlikujejo odčitki različnih analizatorjev, ko določijo vstop potresnega valovanja na zapisu. Za ta primer smo pripravili sistem za analiziranje zapisov ter 65 trokomponentnih zapisov potresnega valovanja z nadžarišči v Sloveniji ali njeni bližnji okolici.



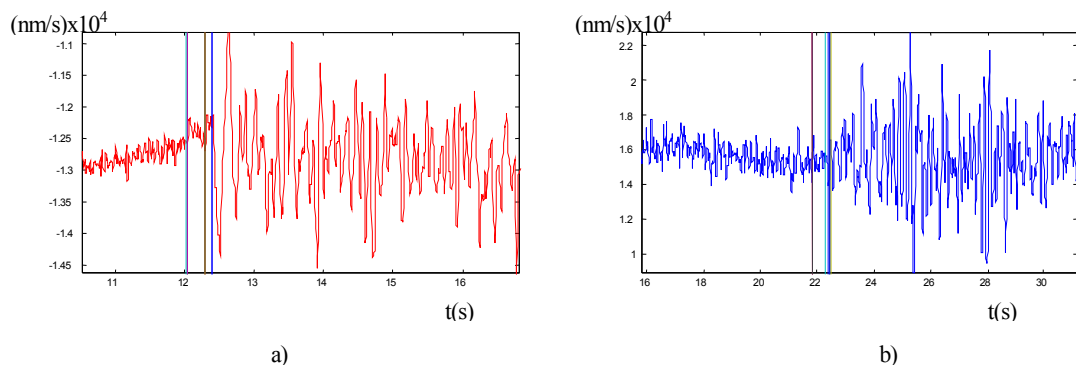
Slika 4. Porazdelitev izbranih zapisov potresov glede na oceno magnitude in glede na oceno oddaljenosti od potresne opazovalnice LJU. Podatki so iz preliminarnih tedenskih biltenov.
Figure 4: Distribution of the chosen records with respect to magnitude estimation and the distance of epicenters from Ljubljana. Data are taken from preliminary weekly bulletins.

Pri analizi zapisov je sodelovalo 7 analizatorjev. Analiza zapisov je bila narejena s programskim orodjem, s katerim smo leta 1998 pripravili sistem za hitro predhodno določanje lokacije potresov. Programska oprema za analizo potresa omogoča določanje vstopa P in S potresnih valov, zapis je mogoče filtrirati (5 polni Butterworth filter na frekvenčnem območju med 0,5 Hz in 30 Hz) in s tem odstraniti dolgoperiodne komponente. Strokovnjaki so za pregled 65 zapisov potresov in opredelitev vstopnih časov za P in S valove potrebovali dobre pol ure do okoli dveh ur. Pri analizi zapisov si posamezni strokovnjak ni smel pomagati z zapisi za isti potres iz ostalih opazovalnic in ni imel na voljo parametrov potresa za zapis, ki ga je analiziral. Analizatorje smo prosili, da čim natančneje opredelijo vstopa P in S potresnih valov in kasneje niso mogli spreminjati svoje določitve. Za primerjavo smo uporabili še podatke iz preliminarnega biltena. Te podatke so določili strokovnjaki med rednim opravljanjem vsakodnevnih analiz zapisov dogodkov.



Slika 5. Zapis prihoda P (a) in S (b) potresnih valov pri potresu z oceno magnitude 4,2 in oddaljenostjo 76 kilometrov. Prihod P potresnih valov so vsi strokovnjaki označili na časovnem intervalu manjšem od 0,05 sekunde (sl. a, navpične črte) in prihod S potresnih valov na časovnem intervalu manjšem od 0,07 sekunde (sl. b, navpične črte).

Figure 5: Arrival of P seismic waves (fig. a) and S waves (fig. b) from an earthquake with 4.2 local magnitude and the distance of 76 km from station. Each analyst placed the arrival time of P seismic waves within the interval shorter than 0,05 sec. (fig. a, vertical line) and of S seismic waves within the interval shorter than 0,07 sec. (fig. b, vertical line).



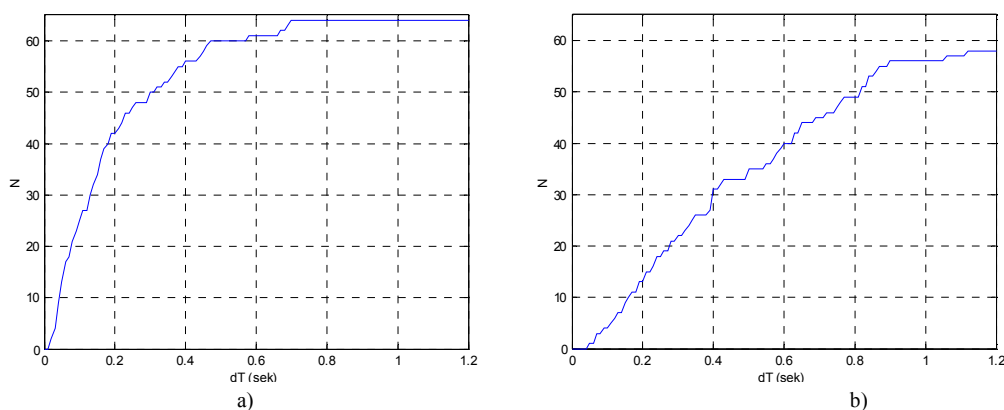
Slika 6. Določitev prihoda P in S potresnih valov na zapisu potresa z oceno magnitude 2,7 in oddaljenostjo 47 kilometrov. Strokovnjaki so označili začetek P potresnih valov (sl. a, navpične črte) na časovnem intervalu 0,4 sekunde in začetek S potresnih valov (sl. b, navpične črte) na časovnem intervalu 0,7 sekunde.

Figure 6: Determination of position of P and S arrival times. The earthquake magnitude is 2,7 and the distance of epicenter 47 km from the station. Experts determined the beginning of P seismic waves within 0,4 sec time interval (fig. a, vertical lines) and the beginning of S waves within 0,7 sec. time interval (fig. b, vertical lines).

Kadar se nihanje tal zaradi potresnih valov izrazito razlikuje od seizmičnega šuma, je opredelitev začetka potresnega valovanja dokaj preprosto. Takšen primer vidimo na sliki 5, kjer je zapisan potres z oceno magnitude 4,2 in oddaljenostjo 76 kilometrov od potresne

opazovalnice. Vsi strokovnjaki so določili prihod P potresnega valovanja na časovnem intervalu manjšem od 0,05 sekunde in vstop S potresnega valovanja na časovnem intervalu pod 0,07 sekunde. Z upoštevanjem enačbe (1) ocenimo napako v izračunu oddaljenosti nadžarišča potresa na 1 kilometer. V primerih, ko amplituda potresnih valov ne odstopa močno od amplitude šuma ozadja, so odstopanja med določitvami strokovnjakov večja. Primer vidimo na sliki 6. Na tem zapisu so strokovnjaki določili vstop P potresnega valovanja na časovnem intervalu 0,4 sekunde in vstop S potresnih valov na časovnem intervalu 0,7 sekunde. Z upoštevanjem enačbe (1) ocenimo napako v izračunu oddaljenosti na okoli 9 kilometrov.

Zanima nas, koliko je takih zapisov iz dane testne množice, kjer vsi strokovnjaki določijo vstop P oziroma S potresnega valovanja znotraj nekega določenega časovnega intervala. Rezultati so grafično prikazani na sliki 7. Časovni interval se razteza od 0,01 sekunde do 1,2 sekunde. Kot smo pričakovali, se z večanjem časovnega intervala, povečuje število zapisov, kjer so vsi strokovnjaki določili vstop potresnega valovanja. Ravno tako velja, da so rezultati za S potresne valove slabši od rezultatov za P potresne valove. Za P potresne valove ocenimo, da se krivulja na sliki 7 začne ravnati tam nekje na časovnem intervalu okoli 0,6 sekunde, za S valove pa na časovnem intervalu okoli 1 sekunde.



Slika 7. Grafični prikaz, kako se število zapisov, kjer vsi strokovnjaki določijo vstop, povečuje z večanjem časovnega intervala dT . Na grafu a) je prikaz za P potresne valove in na grafu b) za S potresne valove. Število vseh zapisov je 65. časovni interval se razteza od območja 0,01 sekunde do 1,2 sekunde.

Figure 7: Determination of position of P and S arrival times. The earthquakes magnitude is 2,7 and the distance of epicenter 47 km from the station. Experts determined the beginning of P seismic waves within 0,4 sec time interval (fig. a, vertical lines) and the beginning of S waves within 0,7 sec. time interval (fig. b, vertical lines).

Poglejmo, za koliko odstopa določitve izbranega strokovnjaka od povprečne vrednosti. Povprečna vrednost pove, kje se v zapisu potresa začne valovanje določenega tipa. To nazorno vidimo na primeru (Slika 6a), kjer so strokovnjaki določili prihod P potresnega valovanja v treh različnih točkah. Povprečni čas ne predstavlja nobena od teh točk. Rezultati so prikazani v preglednici 1. Če predpostavimo, da je vstop določen tam, kjer so vsi strokovnjaki označili prihod P potresnega valovanja na intervalu 0,05 sekunde, je takih zapisov 15. Za ostale pa povprečna vrednost ne označuje pravega začetka za oceno »prave« opredelitve vstopa pri večjih časovnih intervalih bi bilo boljše uporabljati mediano, saj bi na ta način zagotovo določil strokovnjak vstop in to ne bi bila statistična vrednost ali sredina med dvema določenima možnima vstopoma.) Iz vrednosti v preglednici lahko ocenimo, da nihče izmed analizatorjev izrazito ne izstopa. Vsi približno enako dobro označujejo vstop. Rezultati

se ne spremenijo, če povprečno vrednost modificiramo tako, da za izračun nove povprečne vrednosti odstranimo tisti čas, ki najbolj odstopa od povprečja. Rezultati so v preglednici 2.

Preglednica 1. Primerjava, koliko se ugotovitve strokovnjaka ujemajo znotraj določenega časovnega intervala s povprečno vrednostjo za vstopni čas v procentih.

Table 1. Comparison between assessments of a single analyst expressed in percentages and the mean values of arrival times within a definite interval.

	vstop P potresnih valov					vstop S potresnih valov				
$t_{\text{strokovnjak}} - \bar{t} \leq$ [sek]	$\pm 0,01$	$\pm 0,05$	$\pm 0,10$	$\pm 0,30$	$\pm 0,50$	$\pm 0,01$	$\pm 0,05$	$\pm 0,10$	$\pm 0,30$	$\pm 0,50$
strokovnjak A	25%	65%	85%	97%	98%	14%	37%	65%	92%	95%
strokovnjak B	31%	66%	80%	94%	97%	6%	31%	52%	86%	95%
strokovnjak C	29%	65%	86%	98%	98%	17%	52%	71%	91%	95%
strokovnjak D	28%	74%	85%	98%	98%	12%	35%	66%	88%	94%
strokovnjak E	29%	72%	82%	98%	98%	9%	32%	52%	75%	86%
strokovnjak F	25%	63%	89%	97%	98%	9%	34%	58%	85%	91%
strokovnjak G	29%	65%	83%	98%	98%	9%	31%	51%	71%	85%
redna analiza	15%	60%	77%	97%	98%	6%	35%	55%	85%	94%

Preglednica 2. Primerjava, koliko se ugotovitve strokovnjaka ujemajo znotraj določenega časovnega intervala z modificirano povprečno vrednostjo za vstopni čas v procentih.

Table 2. Comparison between assessments of a single analyst expressed in percentages and the modified mean values of arrival times within a definite interval.

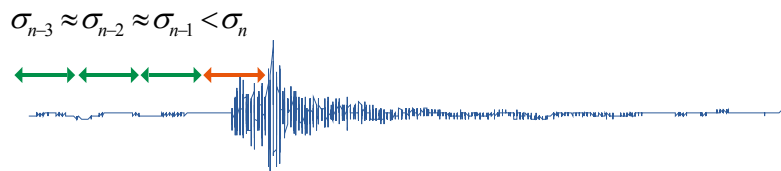
	vstop P potresnih valov					vstop S potresnih valov				
$t_{\text{strokovnjak}} - \bar{t}_m \leq$ [sek]	$\pm 0,01$	$\pm 0,05$	$\pm 0,10$	$\pm 0,30$	$\pm 0,50$	$\pm 0,01$	$\pm 0,05$	$\pm 0,10$	$\pm 0,30$	$\pm 0,50$
strokovnjak A	23%	66%	88%	98%	100%	5%	31%	49%	88%	95%
strokovnjak B	14%	63%	80%	94%	100%	6%	29%	45%	78%	95%
strokovnjak C	34%	72%	83%	100%	100%	14%	51%	75%	92%	95%
strokovnjak D	35%	71%	88%	100%	100%	12%	38%	58%	82%	94%
strokovnjak E	31%	69%	80%	97%	98%	8%	29%	54%	85%	86%
strokovnjak F	34%	69%	88%	97%	100%	11%	37%	54%	86%	91%
strokovnjak G	26%	72%	85%	100%	100%	5%	29%	52%	78%	85%
redna analiza	14%	54%	77%	95%	100%	5%	25%	42%	74%	94%

Avtomatska opredelitev vstopa potresnih valov

Za hitro izračunavanje lokacij potresov uporabljajo seizmološki sistemi tudi avtomatsko določen vstopni čas. V svetu že več kot 35 let raziskujejo avtomatske sisteme za določevanje časa vstopa potresnih valov, vendar še vedno velja, da ne morejo v celoti nadomestiti človeka.

Pionirsko delo na področju avtomatskega zaznavanja potresnih valov je s svojim teoretičnim delom opravil Freiberg leta 1963 (Joswing, 1990). Predpostavil je seizmični model, kjer je amplituda seizmičnega šuma Gaussovo porazdeljena z neko konstantno vrednostjo standardnega odmika. Če pri takem modelu zapis šuma razdelimo na kratke enakomerne časovne intervale in potem izračunamo za vsak tak interval standardne odmike, so le-ti

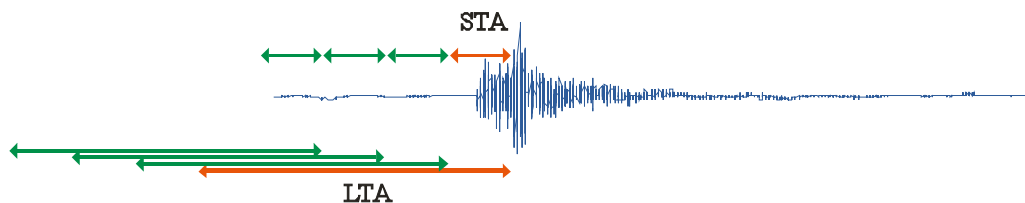
približno enaki. Ob prihodu potresnih valov pa se amplituda nihanj tal nenadoma poveča. To velja tudi za standardni odmik amplitude. Vstop potresa je torej tam, kjer izračunan standardni odmik preide določen prag. Ker do potresne opazovalnice najprej pridejo P potresni valovi, je detektor vstopa, kot si ga je zamislil Freiberg, namenjen detekciji P potresnih valov.



Slika 8. Določanje vstopa potresnih valov po Freibergu. Ko standardna napaka, ki jo izračunamo na časovnem intervalu, preide določeno predpostavljeno vrednost, detektor določi vstop potresnega valovanja.

Figure 8: Determination of seismic waves recording to Freiberg. When the standard deviation calculated from a definite time interval exceeds a hypothetic value, a detector determines the entry of seismic waves.

Nekoliko spremenjeni sistem so prvič namestili in preizkusili leta 1965 na mreži potresnih opazovalnic v zvezni državi Montana v ZDA (Large Aperture Seismic Array, LASA). Ker zajemalne enote v šestdesetih letih niso premogle velike računske moči, so namesto standardnega odmika raje izračunavali povprečno vrednost amplitude nihanj tal. Veliko težavo pa je predstavljal seizmični šum. Izvire seizmičnega šuma delimo v dve glavni skupini. K prvi spada seizmični šum, ki je posledica človeške dejavnosti (šum urbanega okolja), k drugi skupini pa spada seizmični šum, ki je posledica naravnih povzročiteljev. Standardna napaka seizmičnega šuma ni konstantna, ampak se s časom spreminja. Zato so vpeljali postopek, kjer so izračunavali povprečno vrednost amplitude nihanja tal v dveh različnih časovnih intervalih. Vrednost, ki so jo dobili pri izračunu kratkega časovnega intervala so poimenovali STA (Short Time Average), izračunano vrednost v daljšem časovnem intervalu pa LTA (Long Time Average). Z izračunavanjem LTA so vpliv spreminjanja amplitude seizmičnega šuma zmanjšali. Ko je razmerje STA/LTA prešlo določeno vrednost, je algoritem določil vstop potresnega valovanja. Tak postopek za določanje vstopa imenujemo STA/LTA.

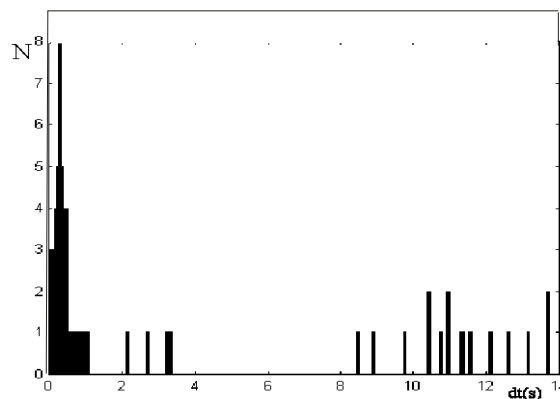


Slika 9. Določanje vstopa potresnih valov s STA/LTA postopkom. Ko razmerje STA/LTA preide določeno predpostavljeno vrednost, določi detektor vstop potresnega valovanja. Na območju seizmičnega šuma (zelene oznake) so vrednosti STA in LTA približno enake in je njuno razmerje približno ena, medtem, ko je na območju prihoda potresnih valov to razmerje večje.

Figure 9. STA/LTA determination method and seismic waves entries. The entry of seismic waves is determined by detector, when ration between STA and LTA exceeds a hypothetic value. In the scope of seismic noise, the values of STA and LTA are approximately equal and the ratio is one, but the ratio is higher in the scope of entry of seismic waves.

S povečanjem zmogljivosti računalnikov so postopki za določanje vstopa potresnih valov postajali vse bolj izpopolnjeni. Omenimo samo nekatere. Allen (1978) je kot prvi razvil detektor, ki je naknadno obdelal zapis potresa po preliminarno določenem dogodku. Detektor je temeljil na ovojnici signala. Transformiran signal je za določanje faze potresnih valov in časa prihoda podvrjel skupini logičnih in matematičnih testov (Allenov detektor je močno razširjen, uporabljajo ga seizmološki sistemi, ki temeljijo na eatrhworm sistemu). Joswing je leta 1990 pri pretvorbi zapisa uporabil časovno odvisno Fourierjevo transformacijo in nato prepoznava zapis potresa iz spektrograma (Joswing, 1990). Leta 1995 sta Dai in MacBeth za določanje vstopa potresnih valov uporabila postopek z nevronske mreže s sigmoidnimi funkcijami (Dai, MacBeth, 1995). Leta 1999 je Tasič razvil postopek za določanje vstopa potresnih valov z nevronske mreže z radialnimi baznimi funkcijami (Tasič, 2000). Vendar še vedno velja, da znani postopki delujejo zadovoljivo samo za nekatere izbrane zapise potresov, niso pa primerni za splošno uporabo.

Ker je zapis potresnega valovanja kompleksen, so avtomatski sistemi, ki neodvisno določajo vstop S potresnih valov na zapisu potresa, po svetu redki. Večina postopkov za ugotavljanje vstopa S potresnih valov na zapisu potresa potrebuje informacijo o vstopu P valov. Leta 1993 pa je Chichowitz razvil postopek zaznavanja vstopa S valov, ki ne zahteva predhodne informacije o P valovih (Chichowitz, 1993). Enako velja tudi za postopek z nevronske mreže s sigmoidnimi funkcijami, ki sta ga leta 1997 razvila Wang in Teng (Wang in Teng, 1997). Leta 1999 je Tasič razvil neodvisni postopek za določanje vstopa S valov, ki je prav tako temeljil na nevronske mreži.



Slika 10. Graf porazdelitve razlike med avtomatsko določenimi vstopnimi časi za prihod P potresnih valov Nanometricsovega sistema in vstopnimi časi za P potresne valove, ki so jih med rednim opravljanjem vsakodnevni analiz zapisov dogodkov določili strokovnjaki. Vstopni časi, ki se razlikujejo za več sekund, najverjetneje predstavljajo prihod S potresnih valov oziroma prihod površinskih valov.

Figure 10: Graph showing the distribution of differences between automatic location of P arrival times and those determined by expert while doing their daily record analysis. When automatically determined arrival times differ from those determined by experts from some seconds, they are likely to be S seismic waves or surface waves.

Komercialni sistemi za določanje vstopa potresnih valov, ki so instalirani na sodobnih digitalnih potresnih opazovalnicah v Sloveniji, temeljijo na STA/LTA algoritmu in so omejeni na določanje časa prihoda P potresnih valov (Kinematics, 1990, Ref Tek, 1994, Nanometrics, 1995a,b). Različni proizvajalci seizmološke opreme za ohranjanje večje moči procesorja uporabljajo različne približke te formule. Na potresni opazovalnici tipa Nanometrics deluje sistem, ki določa prihod potresnih valov z rekurzivnim izračunom

STA/LTA vrednosti. Ta sistem ne more nadomestiti strokovnjaka, zadovoljivo deluje samo v primerih, ko amplituda potresnega valovanja izrazito izstopa od seizmičnega šuma. Za primerjavo primerjajmo vstopne čase, ki jih je določil avtomatski sistem potresne opazovalnice LJU z vstopnimi časi, ki so jih med rednim opravljanjem vsakodnevnih analiz zapisov dogodkov določili strokovnjaki in se nahajajo v preliminarnem biltenu. Rezultati so prikazani v preglednici 3 in na sliki 10.

Preglednica 3. Primerjava, v koliko procentih se znotraj določenega časovnega intervala odčitki avtomatskega sistema ujemajo z vrednostmi iz preliminarnega biltena. Za primer imamo podano še povprečno odstopanje sedmih strokovnjakov od podatkov iz preliminarnega sistema.

Table 3. A match between arrival times of automatic records within a definite time interval and the values from preliminary bulletin express in percentages. For the sake of credibility, the comparison of the average of arrival time determination from seven experts with those from preliminary bulletin is added.

	vstop P potresnih valov		vstop S potresnih valov	
	$\pm 0,30$	$\pm 0,50$	$\pm 0,30$	$\pm 0,50$
$t_{AUTO} - t_{PRELIMINARN} \leq [\text{sek}]$	$\pm 0,30$	$\pm 0,50$	$\pm 0,30$	$\pm 0,50$
rekurzivni STA/LTA	25%	66%	/	/
sigmoidna NN	58%	85%	52%	80%
radialna NN	60%	80%	69%	91%
povprečje 7. strokovnjakov	94%	98%	80%	88%

Bolj izpopolnjeni sistemi lahko bolj natančno določijo vstop potresnih valov od klasičnega STA/LTA postopka. Poglejmo primer. Leta 1999 smo razvili avtomatska sistema za opredelitev vstopa potresnih valov, ki sta temeljila na nevronski mreži s sigmoidnimi prenosnimi funkcijami in nevronski mreži z radialnimi prenosnimi funkcijami. Procesiranje z nevronskimi mrežami se povsem razlikuje od klasičnih von Neumanovih računalnikov, za katere je značilna stroga odvisnost od algoritma. Simulirane nevronske mreže so kot matematični model nastale na osnovi študija delovanja živčnega sistema živih organizmov. Osnovna celica živčnega sistema je nevron. Simulirane nevronske mreže so sestavljene iz več med seboj povezanih osnovnih procesnih enot. Vsaka procesna enota je sestavljena iz vhoda, spomina, prenosne funkcije in izhoda. Odziv nevronske mreže na vhodne podatke je odvisen od "znanja", ki ga nevronska mreža pridobi v fazi učenja. To pomeni, da nevronska mrežo najprej učimo z znanimi vhodnimi in izhodnimi vrednostmi. Parametre v procesni enoti z različnimi adaptivnimi postopki prilagajamo tako, da se izhodi za dane podatke čim manj razlikujejo od podanih željenih vrednosti. Za analizo vstopa P in S potresnih valov smo uporabili dva tipa nevronskih mrež, ki se med seboj razlikujejo v prenosnih funkcijah. Nevronski mreži smo učili na 44 zapisih potresov iz leta 1997, ki so bili zabeleženi na potresni opazovalnici tipa Nanometrics v Ljubljani. Za vstopne čase P in S potresnih valov smo uporabili podatke iz preliminarnega biltena.

Kako natančno z njimi opredelimo vstop potresnega valovanja, je prikazano v preglednici 3. Za primerjavo so podane še povprečne vrednosti odstopanj strokovnjakov od podatkov, ki so v preliminarnem biltenu. Vsekakor tudi tukaj velja, da avtomatski sistemi še ne morejo v popolnosti nadomestiti človeka.

Zaključek

Vstopni časi so pomemben podatek, tako za ocenjevanje osnovnih parametrov potresa, kakor tudi pri študiju notranjosti zemlje. Zato se moramo neprestano zavedati, da strokovnjak, ki analizira zapise potresov, ni nezmožljiv, ampak so lahko njegovi odčitki tudi napačni. Še vedno velja, da učinkovitega avtomatskega sistema za odčitavanje vstopov potresnih valov še ni in je prisotnost strokovnjaka pri obveščanju javnosti še vedno potrebna.

Zahvala

Zahvaljujem se Davidu Dolencu za pomoč pri pripravi datotek. Zahvaljujem se sodelavcem, ki so mi pomagali pri analizi zapisov: Andreju Gosarju, Ini Ceci, Manfredu Deterdingu, Tamari Jesenko, Tatjani Prosen in Griši Močniku.

Literatura

- Allen, R. V., 1978. Automatic earthquake recognition and timing from single traces, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 68, 1521-1532.
- Ceci, I., Živčič, M., Gosar, A., Ravnik, J., 1998. Potresi v Sloveniji leta 1997, Potresi v letu 1997, Uprava RS za Geofiziko, 11-42, Ljubljana.
- Cichowicz, A., 1993, An automatic S-phase picker, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 83, 180-189.
- Dai, H., MacBeth, C., 1995. Automatic picking of seismic arrivals in local earthquake data using an artificial neural network. *Geophysical Journal International*, 120, 758-774.
- Gubbins, D., 1992. *Seismology and plate tectonics*, Cambridge University Press, 340 pp, Cambridge.
- Joswing, M., 1990, Pattern recognition for earthquake detection, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 80, 170-186.
- Kinometrics, 1990. *Solid State Recorder Reference Manual*, Kinometrics System Inc., Pasadena.
- Nanometrics, 1995a. *Digital Seismograf System Reference Manual*, Nanometrics Inc., Kanata.
- Nanometrics, 1995b. *Digital Seismograf System User Guide*, Nanometrics Inc., Kanata.
- Ref Tek, 1994. *Technical Reference Documentation Set*, Refraction Technology Inc., Dallas.
- Ribarič, V., 1984. *Potresi*, Cankarjeva Založba, 276 str., Ljubljana.
- Sinčič, P., Vidrih, R., Ceci I., 1996. *Potresne opazovalnice v Sloveniji*, Potresi v letu 1995, Uprava RS za Geofiziko, I-VI, Ljubljana.
- Sinčič, P., Vidrih, R., Deterding, M., 1998, *Potresne opazovalnice v Sloveniji v letu 1997*, Uprava RS za Geofiziko, Ljubljana.
- Skoko, D., Mokrović, J., 1982. *Andrija Mohorovičić*, Školska knjiga, 148 str., Zagreb.
- Tasič, I., 2000. *Karakterizacija vstopa potresnih valov s simuliranimi nevronske mrežami*, Magistrsko delo, Fakulteta za Strojništvo, 95 str., Ljubljana.
- Wang, J., Teng, T., 1997. Identification and picking S phase using an artificial neural network, *Bulletin of the seismological Society of America*, 87, 1140-1149.

DOLOČANJE HITROSTI P_n VALOVANJA IN NAKLONA MOHOROVIČIČEVE DISKONTINUITETE V VZHODNI SLOVENIJI

P_n VELOCITIES AND THE DIP OF THE MOHOROVIČIČ DISCONTINUITY IN EASTERN SLOVENIA

Martina Torkar¹, Mladen Živčić¹

***Izvleček.** Dosedanje seizmološke, geološke in geofizikalne raziskave kažejo, da so razlike v debelini Zemljine skorje na slovenskem ozemlju precejšnje, tudi do 15 kilometrov. Skorja ima največjo debelino na območju zunanjih Dinaridov v dinarski smeri Snežnik – Trenta, v prečni smeri pa se njena debelina tanjša. Za določanje naklona Mohorovičićeve diskontinuitete in povprečne hitrosti P_n valovanja smo uporabili vstopne čase P_n faz regionalnih potresov, zapisanih na opazovalnicah državne mreže potresnih opazovalnic v Sloveniji.*

V primeru, ko se nadžarišče potresa in dve opazovalnici nahajajo na isti veliki krožnici, je mogoče določiti navidezno hitrost P_n valovanja. Pri tem predpostavimo, da je meja med plaščem in skorjo horizontalna. Če imamo dve opazovalnici in nadžarišči dveh potresov na isti veliki krožnici, pri čemer sta potresa na različnih straneh glede na opazovalnici, je ob predpostavki homogene zgradbe skorje možno določiti hitrost P_n valovanja in naklon Mohorovičićeve diskontinuitete. Za štiri pare opazovalnic v Sloveniji smo tako določili hitrosti P_n valovanja in razlike v debelini skorje.

***Abstract.** The differences in the depth of the Earth's crust on Slovenian territory are significant. Previous seismological, geophysical, and geological investigations have shown the maximum thickness of the crust in the area of External Dinarides, while in the transverse NE - SW direction the crust is thinning. The dip of Mohorovičić discontinuity and the average P_n velocity were determined using of the first arriving phases of regional earthquakes recorded on the stations of the Slovenian seismological station network.*

The average P_n velocity can be determined if the epicentre of the earthquake lies on the same great circle path as two of our stations, and the Mohorovičić discontinuity is assumed to be horizontal. In case that Mohorovičić discontinuity is inclined, the P_n velocity can be still determined if we have two earthquakes and two stations on the same great circle, and if these earthquakes are on different sides of the stations. In addition, homogenous structure of the crust is assumed.

We determine P_n velocity and the difference in the thickness of the crust for four paths of P_n rays in the eastern part of Slovenia.

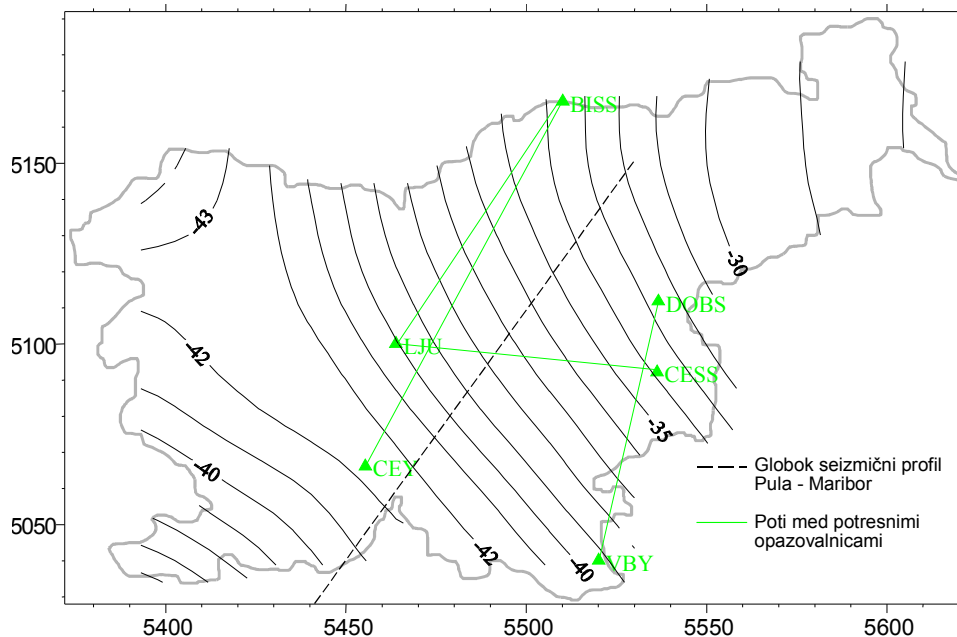
Uvod

Notranjo strukturo Zemlje so seizmologi začeli raziskovati že ob koncu devetnajstega stoletja. Danes vemo, da lahko Zemljino notranjost najpreprosteje opišemo z »lupinskim« modelom. Glavne lupine so skorja, plašč ter zunanje in notranje jedro. Po izbrani lupini se hitrosti transverzalnega in longitudinalnega potresnega valovanja zvezno spreminjajo z globino, pri prehodu v drugo plast pa se skokovito spremenijo. Ta sprememba je lahko posledica spremenjenega agregatnega stanja, spremenjenega pritiska ali temperature, drugačne sestave kamnin in mineralov ter mnogih drugih dejavnikov. Kot prva je bila odkrita meja med skorjo in plaščem.

¹ Agencija RS za okolje, urad za seizmologijo, Dunajska 47, Ljubljana

Odkril jo je Andrija Mohorovičić leta 1909 in se po njemu imenuje Mohorovičićeve diskontinuiteta. Globina te meje je pod celinami ocenjena na 30 do 50 kilometrov, pod oceani pa le na 5 do 12 kilometrov. Pri prehodu iz skorje v plašč se hitrost longitudinalnega potresnega valovanja poveča s približno 5,6 km/s na 7,9 km/s, hitrost transverzalnega potresnega valovanja pa s 3,4 km/s na 4,4 km/s (Ribarič, 1984).

Prve karte globine Mohorovičićeve diskontinuitete za področje Slovenije so s pomočjo seizmoloških in gravimetričnih podatkov sestavili na Osservatorio Geofisico Sperimentale v Trstu leta 1960. Te raziskave so že pokazale glavne tendence v obliki Mohorovičićeve diskontinuitete na našem ozemlju. Kasneje so karto dopolnjevali in popravljali s pomočjo novih seizmoloških podatkov ter z geološkimi in geofizikalnimi raziskavami, kot so gravimetrija, magnetometrija in geotermija (Ribarič, 1986; Ribarič, 1987).



Slika 1. Strukturna karta Mohorovičićeve diskontinuitete na področju Slovenije (po Dragašević s sod., 1990). Na karti je prikazan potek globokega seizmičnega profila Pulj-Maribor ter štiri poti med opazovalnicami, za katere smo poskusili oceniti hitrost Pn valovanja in naklon Mohorovičićeve diskontinuitete. Uporabljena je Gauss - Krügerjeva mreža oz. kilometrsko merilo.

Figure 1. The map of Mohorovičić discontinuity depth in Slovenia (after Dragašević et al., 1990). Deep seismic profile is marked red. Seismic stations and paths along which Pn velocities were determined are marked green on the map. The Gauss - Krüger co-ordinate system is used.

V okviru projekta »Prognozne karte globinskega položaja geoloških elementov Jugoslavije, Strukturna karta Mohorovičićeve diskontinuitete« je bilo v letih 1964 – 1983 posnetih devet globokih seizmičnih profilov (Dragašević s sod., 1990). Izvajalca projekta sta bila Geofizički institut iz Beograda in Geofizika iz Zagreba. Eden izmed teh profilov je potekal od Pulja do Maribora čez ozemlje Slovenije. Na podlagi globokega seizmičnega profiliranja in drugih geoloških ter geofizikalnih raziskav je bila kasneje izdelana strukturalna karta Mohorovičićeve diskontinuitete za celotno ozemlje takratne Jugoslavije (Gosar s sod., 1994). Na sliki 1 je prikazan izsek te karte, ki prikazuje globino skorje na ozemlju Slovenije. Vidimo lahko, da ima diskontinuiteta na območju Zunanjih Dinaridov jarek. Globina jarka oziroma debelina skorje je na območju Snežnika približno 42 kilometrov. Od tu se širi v dinarski smeri preko

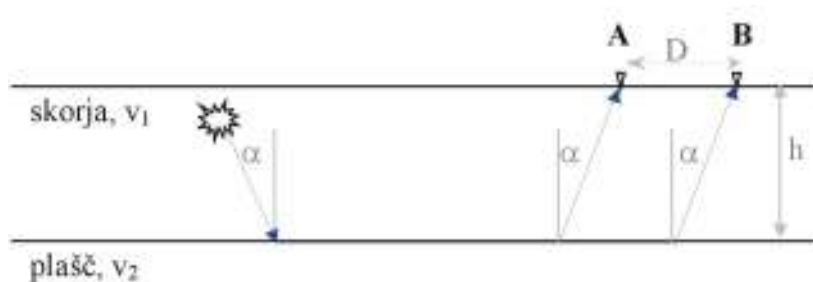
Cerkniškega ter Planinskega jezera do Postojne. Na območju Julijskih Alp se nekoliko razširi in spusti na globino 44 kilometrov. V smeri prečno na jarek se Mohorovičičeva diskontinuiteta počasi dviga in sicer v eno smer proti severovzhodu, kjer na območju Goriškega doseže globino 29 kilometrov in v drugo smer proti jugozahodu, kjer ima pri Sečovljah globino 36 kilometrov.

V tem članku smo poskusili oceniti hitrost Pn valovanja in nagib Mohorovičičeve diskontinuitete za štiri poti v vzhodnem delu Slovenije, ki so označene tudi na sliki 1. Pri tem nismo uporabili metode globokega seizmičnega profiliranja, temveč smo našo nalogo oprli na nam dostopne podatke in sicer vstopne čase nekaterih regionalnih potresov zapisanih na opazovalnicah državne mreže potresnih opazovalnic v Sloveniji. V nadaljevanju je opisana metoda, po kateri smo prišli do željenih vrednosti. Ocenili smo tudi dejavnike, ki lahko povzročijo napačno oceno nagiba Mohorovičičeve diskontinuitete in hitrosti Pn valovanja. Dobljene vrednosti smo primerjali s Strukturno karto Mohorovičičeve diskontinuitete (slika 1) ter poiskali razloge za razlike med rezultati ene in druge metode.

Teorija

Globino in obliko Mohorovičičeve diskontinuitete lahko proučujemo s pomočjo Pn valovanja. To je longitudinalno oz. vzdolžno valovanje, ki se od žarišča potresa v skorji širi navzdol proti plašču. Ko doseže Mohorovičičevo diskontinuiteto, se valovanje niti ne odbije nazaj v skorjo niti ne lomi v plašč. Širi se kot tako imenovano »čelno valovanje« neposredno pod mejo in sicer s hitrostjo, ki bi jo imelo v plašču. Na opazovalnico pride potem, ko se pod istim kritičnim kotom od meje odlepi.

Pri določanju hitrosti longitudinalnega valovanja v plašču uporabimo preprost model Zemljine skorje, v katerem je skorja sestavljena iz ene same enakomerno debele, ravne in homogene plasti, omejene med površje in Mohorovičičevo diskontinuiteto. Skorja leži na plašču, ki je homogen. Na sliki 2 je prikazana pot tega valovanja od žarišča potresa do dveh seizmoloških opazovalnic.



Slika 2. Širjenje Pn valovanja vzdolž enakomerno debele skorje od žarišča potresa do dveh opazovalnic, A in B.

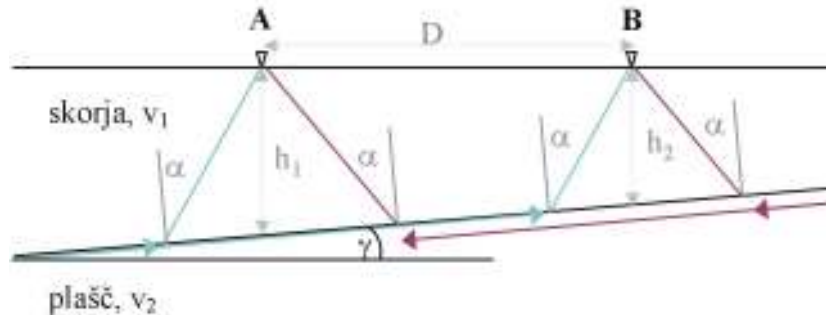
Figure 2. The ray path of Pn from the earthquake hypocenter to the seismic stations A in B through uniformly thick crust.

Časovna razlika prihoda potresnih valov na dve oddaljeni postaji je enak času, ki ga valovanje potrebuje, da po plašču prepotuje razdaljo med opazovalnicama. To časovno razliko izrazimo kot

$$\Delta t = \frac{D}{v_2}, \quad (1)$$

kjer je D razdalja med opazovalnicama, v_2 pa hitrost širjenja valovanja v plašču. Enako časovno razliko bi dobili tudi v primeru, ko bi potres prišel iz nasprotno smeri.

Zgodba se spremeni, ko debelina skorje ni enakomerna in je Mohorovičićeve diskontinuiteta nagnjena glede na površje (slika 3).



Slika 3. Širjenje Pn valovanja do opazovalnic A in B, ko je Mohorovičićeve diskontinuiteta nagnjena glede na površje.

Figure 3. The ray path of Pn phase to the stations A and B when Mohorovičić discontinuity is inclined.

V tem primeru postane pomembna smer prihoda Pn valovanja do obeh izbranih postaj. Ko se skorja tanjša in se Pn valovanje širi v plašču navzgor (na sliki 3 označeno modro), je časovna razlika manjša, kot v primeru, ko se skorja debeli in zato valovanje potuje navzdol (na sliki 3 označeno rdeče). Časovna razlika je odvisna tudi od nagiba diskontinuitete

$$\Delta t_{\uparrow} = \frac{D}{v_1} \sin(\alpha - \gamma) \quad \Delta t_{\downarrow} = \frac{D}{v_1} \sin(\alpha + \gamma), \quad (2)$$

kjer Δt_{\uparrow} (Δt_{\downarrow}) pomeni časovno razliko pri širjenju valovanja po plašču navzgor (navzdol) vzdolž diskontinuitete, v_1 je hitrost valovanja v skorji, kot α je vpadni kot merjen od pravokotnice na Mohorovičićevo diskontinuiteto in zanj velja zveza $\sin \alpha = v_1/v_2$. Kot γ predstavlja naklon diskontinuitete glede na površje. Opisano metodo uporabljajo tudi v refrakcijski seizmiki, ko za vir potresnega valovanja uporabljajo razstreljevanja (Sjögren, 1984).

Za rešitev zgornjih enačb potrebujemo dva potresa, ki imata nadžarišče na isti veliki krožnici kot dve izbrani opazovalnici. Nadžarišči potresov morata biti na nasprotnih straneh glede na opazovalnici. Poleg tega morata biti žarišči potresov v skorji od opazovalnic oddaljeni vsaj 200 km, ker pridejo pri manjših oddaljenostih na opazovalnico najprej direktni valovi Pg in je zato čas vstopa Pn valov težko določiti. Za hitrost longitudinalnega valovanja v skorji (v_1) privzamemo vrednost 6,0 km/s. Razdaljo med izbranimi opazovalnicama lahko izračunamo s pomočjo njunih geografskih koordinat, vendar pa moramo v primeru, ko nadžarišče potresa ni natanko vzdolž obeh opazovalnic, narediti korekcijo razdalje D med opazovalnicama. Popravljen razdalja je v tem primeru enaka razliki epicentralnih oddaljenosti prve in druge opazovalnice.

Iz zgornjih enačb lahko izračunamo vrednosti α in γ . Ti dve vrednosti pa nam posredno povedata hitrost valovanja v plašču (v_2) in razliko v debelini skorje pod opazovalnicama (Δh):

$$v_2 = \frac{v_1}{\sin \alpha} \quad \Delta h = D \cdot \operatorname{tg} \gamma \quad (3)$$

Rezultati

Na težave naletimo, ko je treba poiskati primerne potrese. Pogoji, da morata biti nadžarišči potresov vzdolž velike krožnice na kateri ležita tudi opazovalnici, nas pri tem zelo omejuje. Za dvojico opazovalnic v Sloveniji lahko npr. brez težav najdemo potrese z nadžariščem v smeri jugozahod in jugovzhod, potresov na severozahodu in severovzhodu pa je izredno malo. Tako smo ustrezne potrese našli le za naslednje poti med opazovalnicami:

1. Cerknica ↔ Bistriški Jarek (CEY ↔ BISS),
26.03.1998, 16:26UTC, Lat=43,26°N, Lon=12,97°E, $M_L=5,5$
2.05.1999, 00:27UTC, Lat=47,71°N, Lon=16,06°E, $M_L=3,7$
2. Ljubljana ↔ Bistriški Jarek (LJU ↔ BISS),
26.03.1998, 16:26UTC, Lat=43,26°N, Lon=12,97°E, $M_L=5,5$
11.07.2000, 02:50UTC, Lat=48,17°N, Lon=16,37°E, $M_L=4,5$
3. Bojanci ↔ Dobrina (VBY ↔ DOBS),
15.08.1998, 05:18UTC, Lat=42,41°N, Lon=12,98°E, $M_L=4,5$
30.05.1997, 19:28UTC, Lat=47,71°N, Lon=15,94°E, $M_L=3,4$
4. Ljubljana ↔ Cesta nad Krškim (LJU ↔ CESS),
26.04.1999, 02:54UTC, Lat=45,82°N, Lon=11,06°E, $M_L=3,5$
12.10.1998, 22:32UTC, Lat=44,25°N, Lon=20,07°E, $M_L=4,1$

Za vsako smer smo poiskali dva primerna potresa in odčitali njuna vstopna časa Pn valovanja na obeh opazovalnicah. V preglednici 1 so podane razlike v vstopnih časih Δt ter »popravljen« razdalje D med opazovalnicama (preglednica 1).

Preglednica 1. Razdalja D med opazovalnicama ter časovna razlika Δt vstopa Pn valovanja za izbrani opazovalnici.

Table 1. Distance D between two seismic stations and time delay Δt of the Pn arrival.

Navzgor	D_{\uparrow} [km]	Δt_{\uparrow} [s]
CEY→BISS	114,49	14,25
LJU→BISS	80,97	9,51
VBY→DOBS	72,01	8,74
LJU→CESS	71,64	8,52

Navzdol	D_{\downarrow} [km]	Δt_{\downarrow} [s]
CEY←BISS	114,63	15,31
LJU←BISS	81,77	10,81
VBY←DOBS	74,08	9,36
LJU←CESS	69,40	9,21

Iz zgoraj navedenih podatkov lahko izračunamo hitrosti valovanja v plašču v_2 ter razlike v debelini skorje Δh med opazovalnicama. Rezultati so prikazani v preglednici 2.

Preglednica 2. Hitrosti v_2 longitudinalnega valovanja v plašču in razlika v debelini skorje Δh .
Table 2. Velocities v_2 of longitudinal waves in the mantle and the difference in the thickness Δh of the crust.

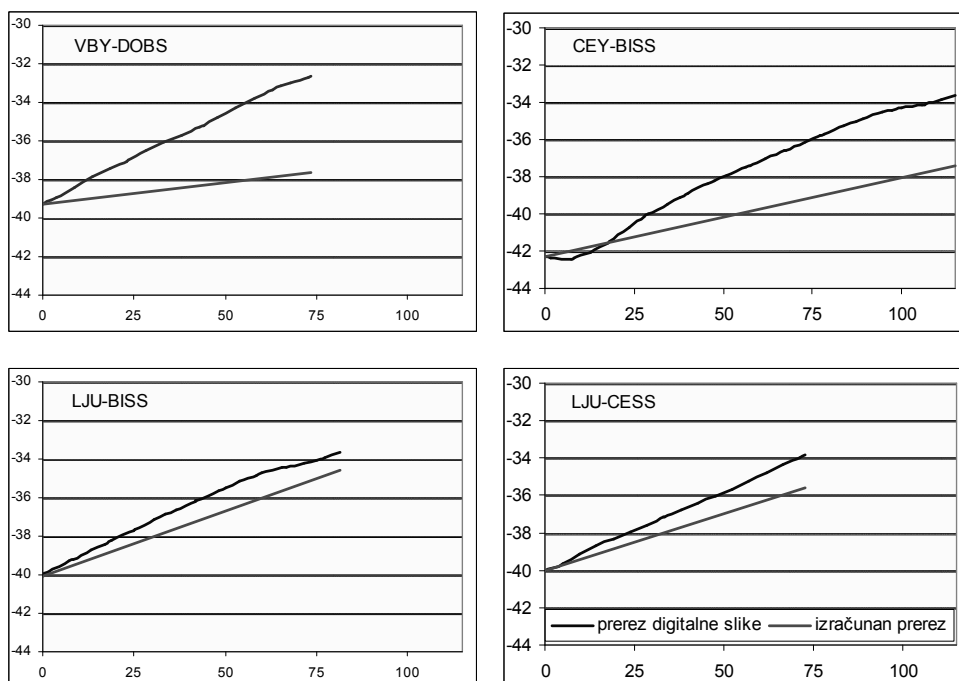
	v_2 [km/s]	Δh [km]
CEY↔BISS	7,74	4,95
LJU↔BISS	7,99	5,46
VBY↔DOBS	8,07	1,63
LJU↔CESS	7,93	4,46

Za hitrost longitudinalnega valovanja v plašču smo dobili vrednosti, ki se gibljejo med 7,7 km/s in 8,1 km/s. Za poti LJU↔BISS in LJU↔CESS se razlike v debelini skorje dobro ujemajo z rezultati projekta "Prognozne karte globinskega položaja geoloških elementov Jugoslavije, Strukturna karta Mohorovičićeve diskontinuitete" (slika 1), medtem ko je za poti CEY↔BISS in VBY↔DOBS ujemanje slabo (slika 4).

Zavedati se moramo, da je bil naš model Zemljine skorje preprost, zato moramo nujno oceniti, kolikšen pogrešek lahko prinesejo poenostavljanja.

Pogrešek 0,1 sekunde pri odčitavanju vstopnega časa Pn faze spremeni hitrost valovanja v plašču za 0,03 km/s, razliko v debelini skorje pa za 500 metrov. Pogrešek lokacije potresa 10 km pravokotno na veliko krožnico na razdalji 200 kilometrov stran od bližje opazovalnice spremeni hitrost v_2 za 0,03 km/s, razliko v debelini skorje pa le za 100 metrov. Tudi razlika v nadmorski višini opazovalnic ne prinese omembe vrednega pogreška, saj so opazovalnice postavljene na približno enakih nadmorskih višinah med 250 in 580 metri.

Večji vpliv imajo lahko topografija Mohorovičićeve diskontinuitete in razlike v hitrosti longitudinalnega valovanja v skorji.



Slika 4. Prečni prevez skorje vzdolž poti med izbranimi postajami. Prevez strukturne karte Mohorovičićeve diskontinuitete – modra črta; izračunan prevez – rdeča črta. Uporabljeno je kilometrsko merilo.

Figure 4. The cross-section of the crust along paths between seismic stations. The profile of the map of Mohorovičić discontinuity depth in Slovenia – blue line; calculated profile – red line. The co-ordinate system is in kilometres.

Pot Pn valovanja po Mohorovičičevi diskontinuiteti, ko valovanje pride iz ene smeri, ne sovпада popolnoma s potjo tega valovanja iz nasprotnne smeri. Za primer vzemimo opazovalnici BISS in CEY. Zanima nas samo tisti del poti longitudinalnega valovanja v plašču, ki prinese časovno razliko (Δt_{\uparrow} , Δt_{\downarrow}). Med opazovalnicama BISS in CEY je ta pot dolga približno 115 kilometrov, od tega je valovom iz nasprotnih si smeri skupnih le 34 kilometrov. Vse to je nepomembno, dokler imamo idealen model, v katerem je površina Mohorovičičeve diskontinuitete ravna ter hitrost longitudinalnega valovanja v plašču povsod enaka. V resnici tako kot površje, tudi diskontinuiteta običajno ni ravna ploskev, temveč ima lahko jame in izbokline. V najslabšem primeru se lahko zgodi, da valovanje v plašču na delu poti, ki ni skupen obema dogodkoma, naleti na veliko spremembo v globini Mohorovičičeve diskontinuitete. Tako lahko nevede dobimo hitrost v_2 in nagib diskontinuitete, ki sta daleč od resničnih vrednosti. Pogrešek bi lahko v tem primeru zmanjšali le tako, da bi povečali število opazovalnic na tem območju in preučili, kako se valovanje obnaša v različnih smereh. Ta naloga je težko izvedljiva, ker potresov na nekaterih območjih ni ali so izjemno redki. Tako nam lahko oblika diskontinuitete v tej smeri ostane neznanka kljub velikemu številu opazovalnic.

Privzeli smo tudi, da je hitrost longitudinalnega valovanja v skorji povsod 6,0 km/s. Vendar se lahko zaradi krajevnega spreminjanja lastnosti kamnin v Zemljini skorji krajevno spreminja tudi hitrost longitudinalnega valovanja v njej. Dobljeni rezultati se v primeru poti med opazovalnicama LJU in BISS ter med opazovalnicama LJU in CESS skladajo z razlikami v debelini skorje določenimi z uporabo drugih metod (slika 4). Sklepamo lahko, da razlike v povprečni hitrosti longitudinalnih valov v skorji pod temi opazovalnicami niso velike. Nasprotno pa je razlika v debelini skorje med opazovalnicama VBY in DOBS ter med opazovalnicama CEY in BISS precej manjša, kot jo kaže Strukturna karta Mohorovičičeve diskontinuitete (slika 1). Če pogrešek pripišemo različni hitrosti longitudinalnega valovanja v skorji pod opazovalnicama, dobimo v primeru opazovalnic VBY in DOBS hitrostno razliko 0,3 km/s, med opazovalnicama CEY in BISS pa je ta razlika le 0,1 km/s. Iz tega lahko sklepamo, da je naša metoda zelo občutljiva na hitrostne spremembe potresnega valovanja v skorji. Če teh razlik ne poznamo in so le-te večje od 0,3 km/s, postane metoda neuporabna za določanje nagiba Mohorovičičeve diskontinuitete.

Sklep

Za štiri različne poti v vzhodnem delu Slovenije smo določili hitrost longitudinalnih valov v plašču. Te se gibljejo med 7,7 km/s in 8,1 km/s. Največjo razliko v debelini skorje, približno 5 kilometrov, pa smo dobili med opazovalnicama LJU in BISS.

Ugotovili smo, da pogreški pri odčitavanju vstopnih časov Pn valovanja, pogreški pri določanju žarišča potresa ter razlike v nadmorski višini potresnih opazovalnic nimajo velikega vpliva na določanje hitrosti longitudinalnega Pn valovanja. Nasprotno pa moramo pri določanju hitrosti Pn valovanja in pri določanju razlik v debelini skorje zelo dobro poznati obliko (topografijo) Mohorovičičeve diskontinuitete in krajevno spreminjanje hitrosti longitudinalnih valov v skorji.

Literatura

- Dragašević, T., Andrić, B., Joksović, P., 1990. Karta i tumač za prognoznu kartu dubinskog položaja geoloških elemenata Jugoslavije, Strukturna karta Mohorovičićeveg diskontinuiteta 1:500 000, Savezni geološki zavod, Beograd.
- Gosar, A., Rižnar, I., Poljak, M., 1994. Končno poročilo o delu v okviru razvojnega projekta – Globoki seizmični profili Slovenije, Inštitut za geologijo, geotehniko in geofiziko, 86 str.
- Ribarič, V., 1984. Potresi, Cankarjeva založba, 270, Ljubljana.
- Ribarič, V., 1986. Prilozi proučavanju seizmičnosti i seizmičkog zoniranja Slovenije, Disertacija, Prirodoslovno matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, 337, Zagreb.
- Ribarič, V., 1987. On the Mohorovičić discontinuity in the region of Slovenia. Prirodoslovna istraživanja 55, Acta Geologica, , 17, 1-2, 21-29.
- Sjögren, B., 1984. Shallow Refraction Seismics, Chapman and Hall, 268 pp, London - NewYork.

SAMODEJNI SISTEM ZA ZBIRANJE PODATKOV Z AKCELEROGRAFOV V POSOČJU AUTOMATIC SYSTEM FOR DATA COLLECTION FROM ACCELEROGRAPHS ETNA IN POSOČJE REGION

Bojan Uran¹

***Izvleček.** Samodejni sistem za zbiranje podatkov z akceleroografov Kinometrics Etna temelji na tehničnih možnostih inštrumentov, da lahko sami pokličejo, ko zabeležijo potres. Informacija o zabeleženem dogodku je pri danih nastavitvah inštrumentov dosegljiva na observatoriju že štirideset sekund po začetku potresa, zapis potresa pa v dveh minutah. Tako ima seizmolog na razpolago podatke z akceleroografov v najkrajšem možnem času. Opisana je tehnična rešitev in meritve delovanja sistema.*

***Abstract.** Five accelerographs Kinometrics Etna in Posočje region are linked by modems and PSTN to Observatory. I present technical solution for the automatic transfer of triggered data to the central computer. The first information about the event is available in 40 seconds after the beginning and the waveform within 2 minutes. Results of testing the performance of the system and some ideas for it's improving are also given.*

Uvod

Po potresu aprila 1998 smo imeli v Posočju postavljenih več začasnih opazovalnic za opazovanje popotresov. Kasneje je ostal v Drežnici samo akcelerograf. Poleti 2000 smo postavili še akceleroografa v Kobaridu in Bovcu. Novembra 2000 smo dodali še akceleroografa v Logu pod Mangartom in v vasi Soča.

Po plazu v Logu pod Mangartom sredi novembra 2000 je bilo spet uvedeno 24 urno dežurstvo seizmologov, ki so imeli sicer na razpolago 5 naprav za beleženje močnih potresov v Posočju, vendar kljub temu niso vedeli, ali se je kaj zgodilo. Pri močnejših potresih je potres viden na vidljivem zapisu na observatoriju. Zabeleži ga tudi omrežje opazovalnic Nanometrics, vendar to traja nekaj časa. Izpolnjeni pa morajo biti še drugi pogoji, da je obvestilo o potresu odposlano. Pri šibkejših potresih, ki pa jih ljudje še čutijo, takšen sistem odpove. Tako je bila navadno prva informacija o potresu telefonski klic iz Posočja. Potem je moral dežurni seizmolog poklicati opazovalnice in prenesti podatke, kar je bilo seveda zamudno.

Kmalu po pričetku dežurstev vpeljali avtomatski sistem za prenos podatkov, ki smo ga prej že nekaj časa preiskovali. Prej je bila vključena le opazovalnica na Drežnici, od novembra 2000 pa so vključene vse posoške opazovalnice. Sistem samodejno prenese podatke, tako da tega ni potrebno opraviti dežurnemu seizmologu, ki se lahko takoj posveti svojemu poslu, saj ima potrebne informacije že na razpolago. V članku je opisana tehnična rešitev in izkušnje, ki smo jih dobili pri obratovanju.

Tehnični opis

Akcelerograf Etna

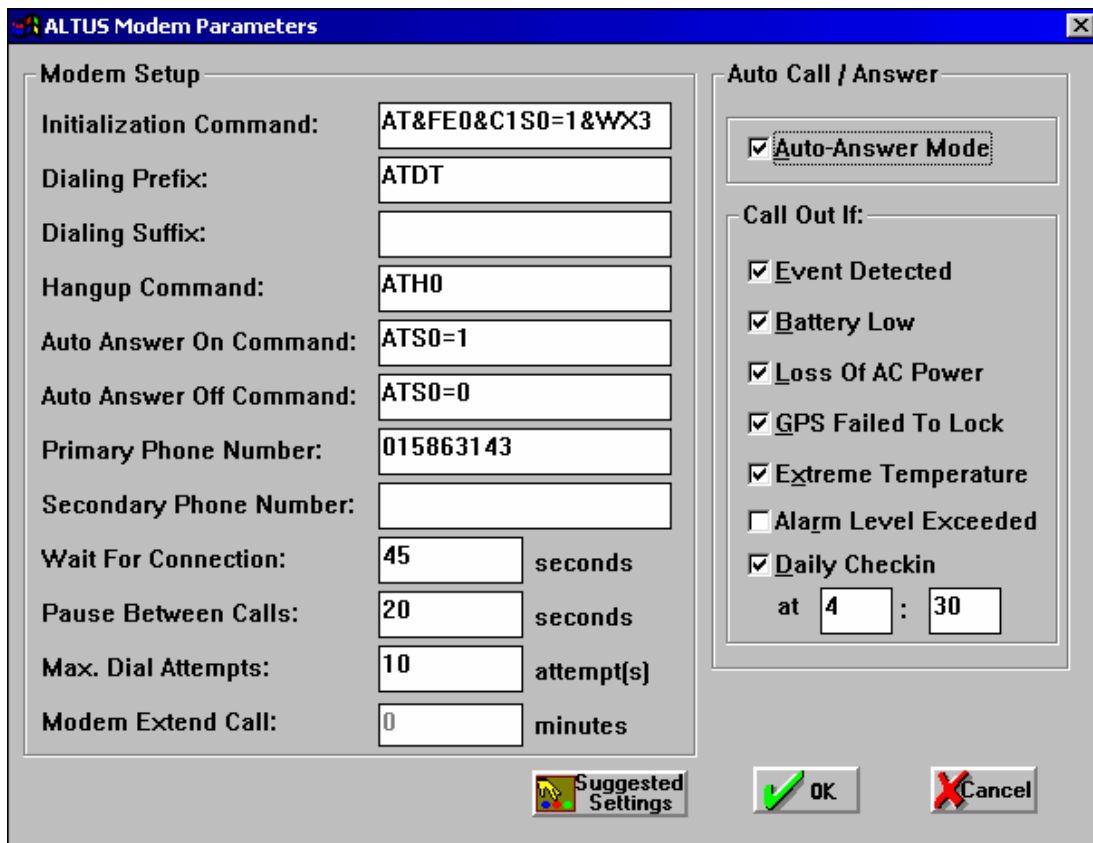
Akcelerograf Etna ameriškega proizvajalca Kinometrics je namenjen beleženju močnejših potresov. V njem je akceleroimeter z območjem 1, 2 ali 4 g, stopnja za ojačanje in prilagoditev

¹ Agencija RS za okolje, urad za seizmologijo, Dunajska 47, Ljubljana

signalov, analogno digitalni pretvornik in spominski medij, kamor se shranjujejo podatki. Vse skupaj upravlja mikroprocesor. Časovna sinhronizacija naprave je zagotovljena z uporabo GPS sprejemnika, ki ima vgrajen analogni modem in dodatni RS-232 serijski vmesnik. Vgrajeni akumulator z zunanjim polnilcem skrbi za samostojno delovanje.

Inštrument stalno meri pospeške. Ker deluje v prožilnem načinu, shrani samo dogodke, pri katerih je signal višji od s posebnimi postopki izračunanega praga. Dogodki so shranjeni na spominskem mediju. Prenos podatkov lahko sprožimo ročno, tako da z računalnikom in modemom pokličemo inštrument in zahtevamo podatke. To možnost smo uporabljali v preteklosti. Je zamudna, saj lahko ob večjem številu dogodkov traja več ur, da prenesemo vse predhodne dogodke.

Druga možnost je, da inštrument, ko je že shranil podatke, pokliče in pove, da je nekaj zabeležil. Potem samodejno prenese podatke. Ta lastnost inštrumenta je osnova za avtomatski sistem opisan v članku.



Slika 1. Klicne nastavitve inštrumenta. Na desni strani so prikazani različni vzroki, zaradi katerih lahko inštrument pokliče.

Figure 1. Modem setup parameters. On right hand are different events that can initiate the call.

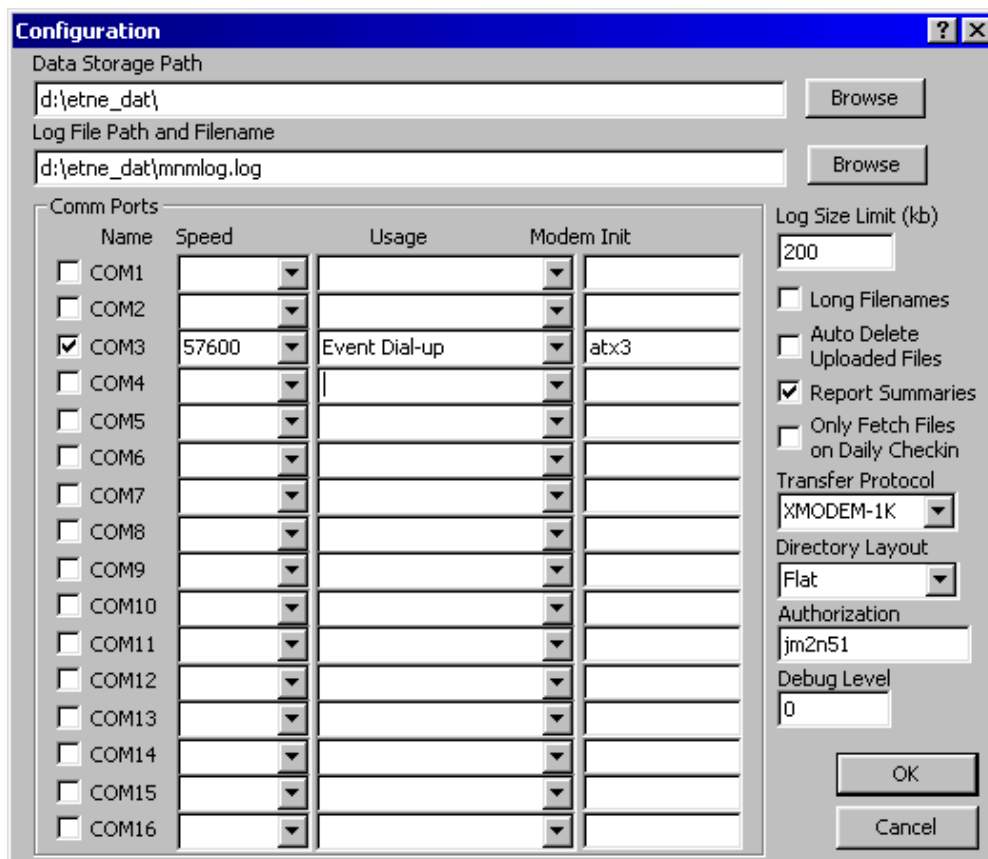
Poleg poziva v primeru dogodka lahko inštrument pokliče še v drugih primerih, prikazanih na sliki 1. Za nadzor delovanja je priporočljivo, da inštrument pokliče ob določenem času in pove svoj status. Čas smo nastavili na šesto uro zjutraj. Tako imamo ob prihodu v službo dovolj sveže podatke o stanju opazovalnic. Druge možnosti so povezane z napakami, kot so izpad GPS sprejemnika, zaradi česar inštrument ni časovno sinhroniziran. Zaradi izpada napajalne napetosti, inštrument začne delovati na akumulator, ki vzdrži nekaj časa, ko pa pade

napetost na akumulatorju pod 10 V, izklopi inštrument. Kliče lahko v primeru ekstremnih temperatur, ki bi lahko vplivale na delovanje inštrumenta.

Računalnik

Na osebem računalniku je nameščen Kinemetricsov program KNMS za komunikacijo z Etnami. Povezava poteka preko kartice z osmimi serijskimi porti proizvajalca Digi International in zunanjega modema Courier I-modem proizvajalca 3COM, ki omogoča sprejemanje ISDN in analognih klicev po standardu V.34. Modem je priključen preko interne digitalne ISDN telefonske centrale, ker trenutno nimamo razpoložljivih direktnih linij. Hitrost komunikacije med računalnikom in modemom je nastavljena na 56 kb/s.

Program



Slika 2. Nastavitve programa KNMS.

Figure 2. Configuration parameters of the Kinemetrics Network Management System.

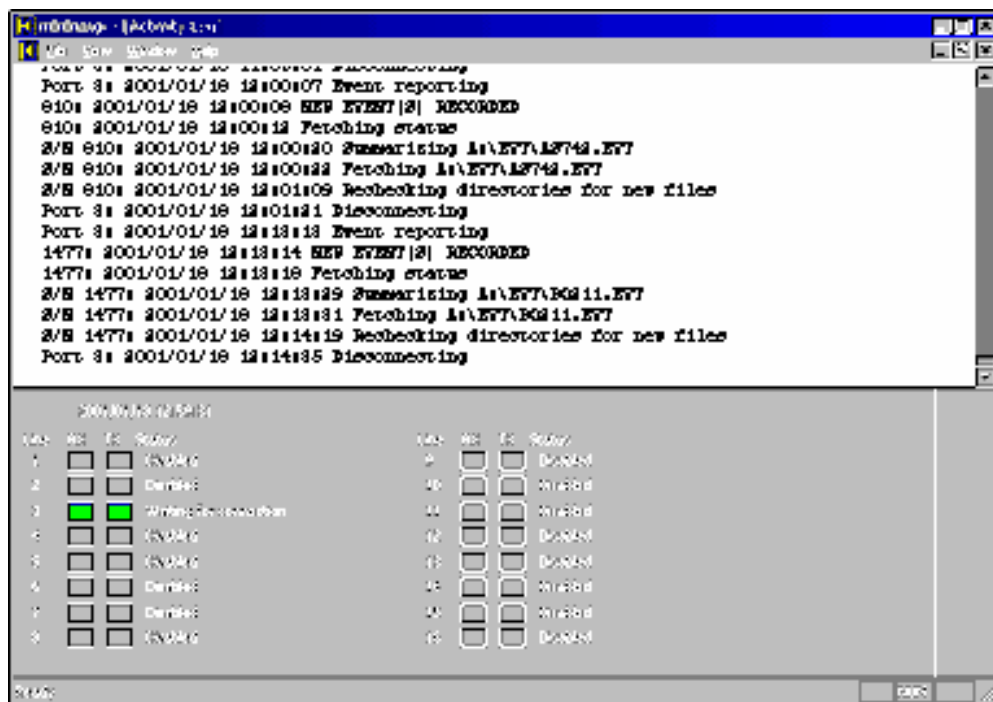
Kinemetricsov program KNMS začne delovati ob nalaganju operacijskega sistema in mora seveda biti vključen, če hočemo, da deluje. Primer nastavitve programa je na sliki 2. Ko inštrument pokliče, program z njim vzpostavi povezavo in pošlje inštrumentu zaporedje ukazov. Najprej prenese podatke o statusu inštrumenta, iz česar ugotovi, zakaj je inštrument klical. Vse povezave in vzroki zanje so zapisane v oknu programa, zabeleženi pa so tudi v datoteki, iz katere razberemo delovanje sistema in morebitne napake. Na sliki 3 je prikazano zaporedje sporočil, ki jih dobimo v primeru prenosa dogodka. Računalnik je preko računalniškega omrežja prav tako kot inštrument časovno sinhroniziran po UTC, kar omogoča primerjavo časov in izračun zakasnitev za posamezne operacije pri prenosu. Natančnost sinhronizacije je okrog desetinke sekunde, kar je dovolj za izračun zakasnitev.

Podatki o potresih se avtomatsko prenesejo iz inštrumenta na osebni računalnik na Golovcu. Na inštrumentu se pravilno preneseni dogodek označi s posebno oznako. Brisanje podatkov z inštrumenta še vedno poteka zaradi varnosti ročno, vendar redkeje, kot v preteklosti, saj imajo spominski mediji dovolj veliko zmogljivost za normalno stopnjo seizmičnosti. Ker vemo, koliko prostega spomina je še na mediju, lahko pravočasno ukrepamo tudi v primeru močnega povečanja aktivnosti.

Meritve hitrosti delovanja

Dnevno preverjanje

Vsak dan med peto in šesto uro zjutraj inštrumenti pokličejo in povejo svoj status. Iz meritev zakasnitev dobimo najkrajši čas, ki je potreben za vzpostavitev zveze in prenos statusa. Podobno je tudi pri prenosu podatkov.



Slika 3. Statusno okno programa KNMS.

Figure 3. Status window.

Približno 40 sekund po začetku klicanja inštrumenta je zveza vzpostavljena. Prenos statusa traja še 10 sekund. Tolikšna je zakasnitev pri vsaki zvezi z inštrumentom. Vsaj 30 sekund zakasnitve gre na račun analogne klicne linije, čemur bi se lahko izognili, če bi priključili inštrument na ISDN linijo.

Prenos podatkov

Ob trenutnih nastavitvah akceleroagrafov Etna je najmanjša dolžina zapisa 26 sekund ali 72 kB, kar je dovolj za šibkejše potrese. Močnejši potresi se dalj časa iznihavajo, zato je ta čas nekaj daljši, saj inštrument opazuje, kdaj je signal spet pod določenim pragom.

Po potresu traja vsaj 40 sekund po prožilcu (oziroma še 10 sekund več od časa v zaglavju datoteke), da se vzpostavi zveza in dobimo podatek, da se je zatreslo. Prenos podatkov uporablja Xmodem-1k protokol za paketni prenos podatkov, pri čemer je velikost paketa

1024 znakov. Pri tem protokolu se prenašajo posamezni paketi, na koncu katerih je podatek CRC, ki nam pove, ali je blok prenesen brez napak. Če se CRC v bloku in izračunani CRC ne ujemata, se blok prenese še enkrat.

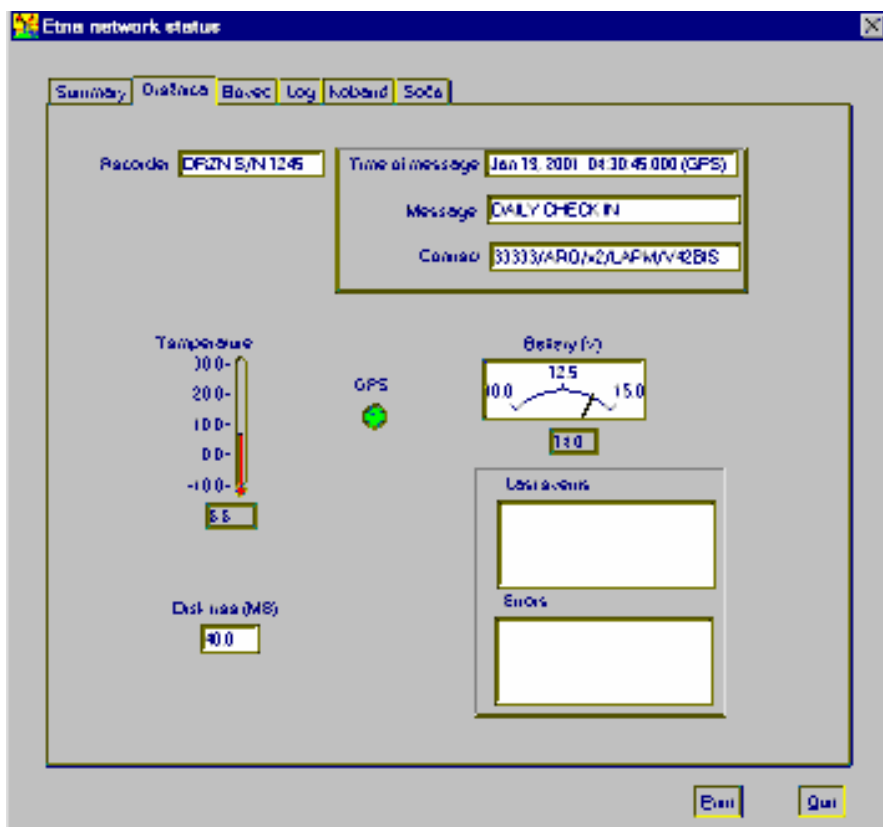
Prenos datoteke omenjene velikosti traja okrog 60 do 70 sekund, odvisno od kvalitete linije in s tem povezanih ponovljenih prenosov paketkov. Običajno imamo celotno datoteko na razpolago po dveh minutah po času, ko se je sprožil potres.

Etna in KNMS uporabljata Xmodem-1k protokol. Pri tem je velikost blokov 1024 znakov. Možna sta še Xmodem protokol (128 znakov) in Kinematicsov BLOCK protokol (velikost bloka je 256 znakov). Pri boljši kvaliteti linije je Xmodem-1k najhitrejši, ker je relativno najmanj dodatnih znakov za prenos. Pri slabih linijah je večja verjetnost, da bo prišlo med prenosom do napake, zato je lahko protokol z manjšim blokom učinkovitejši. Po digitalizaciji telefonskega omrežja med telefonskimi centralami je kvaliteta linije odvisna predvsem od povezave med centralo in inštrumentom. Za opazovalnice v Posočju kvaliteta telefonskih linij ni vprašljiva.

Iz časa prenosa in dolžine datoteke lahko ocenimo hitrost prenosa iz inštrumenta na okrog 2 kB/s ali okrog 20 kbit/s. Tolikšna hitrost je zelo blizu največje hitrosti, ki jo lahko dosežemo pri prenosu podatkov z inštrumenta, priključenega s kablom na računalnik.

Nadzor

Dodatni program skrbi za nadzor delovanja sistema. Status delovanja inštrumentov je viden v posebnem oknu, kjer so zbrani vsi najpomembnejši parametri za inštrument in zadnji klic. Primer izpisa za opazovalnico je na sliki 4.



Slika 4. Status posamezne opazovalnice.
Figure 4. Status window of a single accelerograph.

Možno je obveščanje pripravljene o morebitnih nepravilnostih na inštrumentih. Strokovnjak lahko pokliče z računalnikom in modemom tudi od doma in preveri inštrument, ter za kakšno napako gre. Zgodilo se je, da so v bližini inštrumenta nekaj delali, zato se je ta neprestano prožil. V takšnem primeru je potrebno začasno povišati prag proženja. V načelu bi to lahko naredil od koderkoli z GSM aparatom Nokia Communicator ali podobnim.

Z dodatnimi programi lahko ločimo potrese od motenj in na zapisih potresov izračunamo seizmične parametre.

Izkušnje

Podatki iz akceleroagrafa Etna so na računalniku na observatoriju v dveh minutah po potresu. Od tega odpade okrog 30 sekund za vzpostavitev zveze po analogni klicni liniji, čemur bi se lahko izognili z uporabo ISDN linij.

Na sistemu v Posočju je sedaj pet opazovalnic. Pri delovanju ni bilo večjih nepredvidljivih napak. Dogajale se se predvidljive napake, ker ni ustrezno urejene infrastrukture.

Nekaj težav je bilo zaradi tega, ker je modem priključen preko centrale, kjer sta hkrati možna dva vhodna klica. Tako inštrumenti včasih ne dobijo zveze, še posebej, če je bil potres močnejši in ga je zabeležilo vseh pet inštrumentov. Iste telefonske linije uporabljamo tudi za telefonske pogovore. Največja časovna razlika med časom prvih prihodov potresnih valov na akceleroagrafi v Posočju je okrog 2 sekundi, zato pričnejo inštrumenti klicati skoraj sočasno. Izkušnje po močnejših potresih, zabeleženih na vseh petih inštrumentih kažejo, da dobimo vse podatke v desetih minutah po potresu. Sistem omogoča sočasno uporabo več telefonskih linij, kar pomeni, da bi lahko imeli podatke z vseh inštrumentov že v dveh minutah po potresu.

Če inštrument ne dobi zveze po 10 poskusih, neha klicati in tako ne dobimo obvestila o potresu. Teh deset poskusov traja približno 13 minut. To se zgodi v povprečju na vsakih deset klicev pri trenutni nastavitvi parametrov proženja, zmerni potresni aktivnosti in običajni uporabi telefonov. Če dobi zvezo prej, kot v desetih poskusih, normalno prenese podatke. V povprečju je takšnih klicev okrog 20 odstotkov.

Računalnik, na katerem teče program, se je že večkrat ustavil, ali večkrat izklopil, zaradi česar lahko pride do napak pri komunikaciji. Prenese samo del podatkov, inštrument pa kasneje ne poskuša ponovno s prenosom. V podobno kategorijo spadajo tudi prekinitve delovanja sistema, ker je nekdo preprosto izklopil program.

Dodatne možnosti priključitve

V inštrumente je vgrajen analogni modem, kar predstavlja najbolj preprost način priključitve in zveze z njim. Inštrument bi se dalo priključiti tudi na ISDN modem, kar bi skrajšalo čas vzpostavljanja zveze za pol minute in bi imeli podatke že po minuti in pol po potresu. Za začasno postavitve bi lahko inštrument priključili na GSM modem, da ne bi bilo potrebno čakati na priključitev fiksne telefonske linije. Obratovalni stroški bi bili sicer nekaj višji, vendar ne bi plačevali priklopa telefonske linije.

Akceleroagrafi so namenjeni beleženju močnih potresov, zato jih postavljamo v urbana okolja, kjer je tudi več motenj. Center vlade za informatiko skrbi za hitro komunikacijsko omrežje

državnih organov, kamor so priključena računalniška omrežja raznih državnih inštitucij po celi Sloveniji. Z uporabo asinhronnega komunikacijskega vmesnika lahko na računalniško omrežje priključimo katero koli napravo, ki ima serijski vmesnik. Po testiranjih, ki sem jih opravil z vmesnikom Lantronix, je takšna povezava zelo stabilna. Inštrument v Jedrski elektrarni Krško bi lahko priključili na takšen način.

Zaključek

Sistem za avtomatski prenos podatkov z akceleroagrafov Etna v Posočju se je izkazal kot zanesljiv. Napake nastanejo predvsem zaradi neurejene infrastrukture, kar bomo v prihodnosti odpravili. Pomembno je, da se kljub morebitnim napakam podatki ne izgubijo, saj ostane kopija na inštrumentu, dokler podatkov ne pregledamo.

Ko so podatki na observatoriju, jih lahko vključimo v avtomatsko obdelavo.

Literatura

Altus Etna Operations Manual, 2000. Kinematics, Pasadena.

Altus Monitor Mode Communications, 2000. Kinematics, Pasadena.

KMI Network Management System, 2000. Kinematics, Pasadena.

Digi International, <http://www.dgii.com/>.

3Com Corporation, <http://www.3com.com/>.

**GEOFIZIKALNE IN SEIZMOLOŠKE RAZISKAVE TEMELJNIH
TAL IN SEIZMIČNEGA ODZIVA LOKACIJE KULTURNO -
ZGODOVINSKEGA OBJEKTA - PRIMER GRACARJEVEGA
TURNA PRI ŠENTJERNEJU**

**GEOPHYSICAL AND SEISMOLOGICAL INVESTIGATIONS OF
THE FOUNDATION SOIL AND SEISMIC RESPONSE OF A
LOCATION OF CULTURAL - HISTORICAL BUILDING - AN
EXAMPLE OF GRACARJEV TURN NEAR ŠENTJERNEJ**

Marjeta Car¹, Andrej Gosar², Mladen Živčić²

***Izyleček.** Obnovitvena in konzervatorska dela na kulturno-zgodovinskih spomenikih so največkrat zasnovana na neusklajenih inženirsko-geoloških, seizmoloških in gradbeniških študijah. Tla, temelji in objekt pa niso izolirani, temveč medseboj vplivajo na drugega, zato je za uspešno izvedbo utrditve in obnove objekta te vplive smiselno preveriti. To je zamisel projekta "Innovative Techniques to Increase Resistance to Earthquakes of Cultural Heritage Buildings and to Reduce the Impact", ki poteka v okviru programa INCO-Copernicus. Za eno od testnih lokacij je bil izbran Gracarjev turn pri Šentjerneju. Ker lokalni dejavniki v potresno ogroženem območju odločilno vplivajo na obnašanje temeljev in zgradbe, je bil naš namen pridobiti geološke in geofizikalne podatke za izračun karseda realnega seizmičnega odziva preiskane lokacije. Okoli grajske zgradbe smo izvedli geofizikalne raziskave z geoelektričnimi in seizmičnimi metodami, izvrtali dve vrtini in izvedli štiri razkope. Ojačenje nihanja tal smo ocenili z enodimenzionalnim modeliranjem in z metodo spektralnega razmerja zapisov razstreljevanja v bližnjem kamnolomu med sedimenti in kamninsko podlago. Z uporabo različnih geofizikalnih in geotehničnih metod smo ugotovili heterogeno geološko zgradbo ter opredelili različne fizikalne in geotehnične parametre ter stanje temeljev. Izvesti bo potrebno določene ukrepe za preprečitev preperevanja materiala in zdrsa temeljnih tal. Ugotovljeni spektri ojačenja bodo uporabljeni za numerično analizo odziva objekta na potresno obtežbo.*

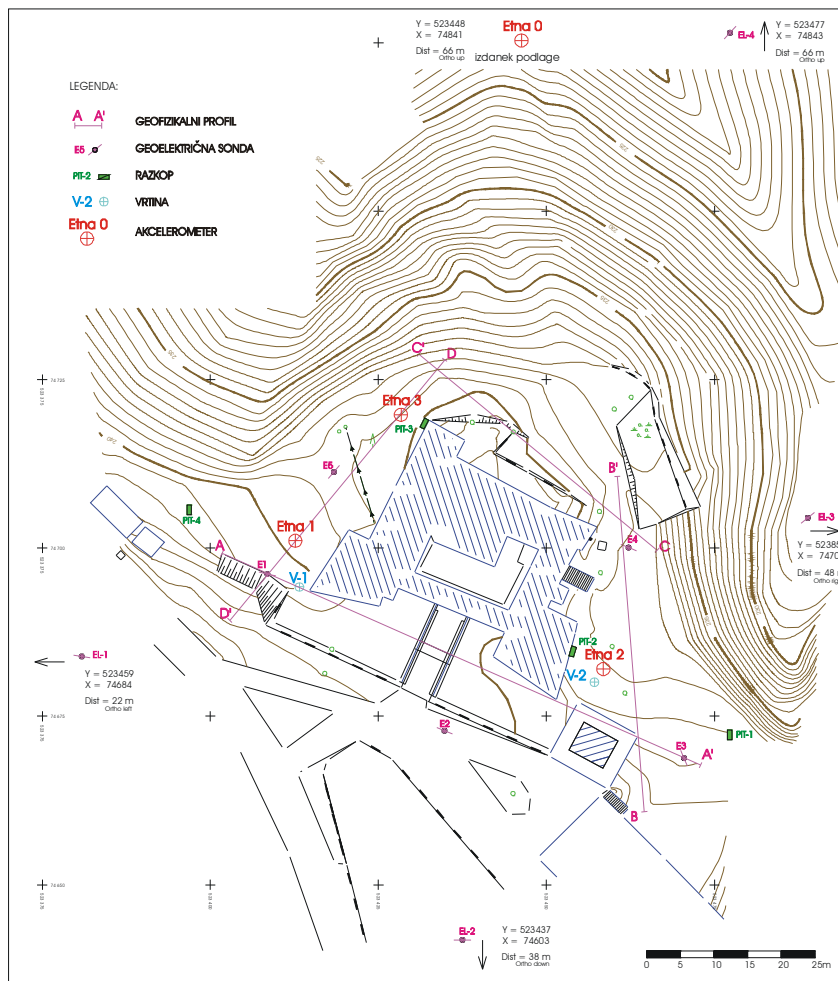
***Abstract.** The conservation and reconstruction of monuments of historical value is generally studied by means of partial engineering-geological, geophysical, seismological and civil engineering analysis. Taking into account the interaction between the ground/foundations and the building itself is necessary for a proper reinforcement and/or recovery techniques for specific monument. This is the idea of INCO-Copernicus project "Innovative Techniques to Increase Resistance to Earthquakes of Cultural Heritage Buildings and to Reduce the Impact". One of the test site locations is the castle Gracarjev turn near Šentjernej in SE Slovenia. Since local site effects have strong influence on building and foundation behaviour, our aim was to define geological and geophysical features and to obtain as realistic seismic response of the location as possible for our specific location. To define the geological structure we performed geophysical electrical and refraction seismic investigations, dig two boreholes and opened four trial pits. For estimation of ground motion amplification one-dimensional modeling was applied and sediment to bedrock spectral ratios estimated from quarry blasting records. By using geophysical and geotechnical methods, we were able to identify heterogeneous geological structure of the area, physical and geotechnical characteristics of the sediments and the foundation conditions. Specific measures are to be taken in order to avoid deterioration of the material and expunction of the foundations. The calculated amplification spectrum will be used for numerical analysis of the building behaviour.*

¹ Geoinženiring d.o.o., Dimičeva 14, 1000 Ljubljana

² Agencija RS za okolje, urad za seizmologijo, Dunajska 47, Ljubljana

Uvod

V okviru geoloških raziskav povezanih z ohranitvijo in obnovo kulturno-zgodovinskih objektov na potresnih območjih običajno ugotavljamo inženirsko-geološke pogoje, stanje temeljev, analiziramo katalog potresov, ocenimo potresno nevarnost, izvedemo statično analizo in strukturne dinamične teste. V vsakdanji praksi se omenjene preiskave največkrat izvajajo nepovezano. Iz izkušenj vemo, da je za ohranitev objekta medsebojno učinkovanje tal, temeljev in samega objekta zelo pomembno. Če upoštevamo tak celovit pristop, je rezultat lahko optimalna utrditev in/ali obnova določenega kulturno-zgodovinskega objekta. Še posebej je pomembno, da pri terenskih preiskavah uporabljamo nedestruktivne metode in tehnike, pri izračunih pa sodobne numerične analize. To je osnovna zamisel, ki smo jo želeli preveriti italijanski, romunski, grški in slovenski raziskovalci v projektu "Innovative Techniques to Increase Resistance to Earthquakes of Cultural Heritage Buildings and to Reduce the Impact", ki ga je v letih 1998-2000 financirala Evropska unija v okviru programa INCO-Copernicus. Za projekt smo izbrali tri testne lokacije, ena od njih je grad Gracarjev turn pri Šentjerneju na Dolenjskem (Car in sod., 2000). Ker lahko lokalna geološka zgradba v veliki meri vpliva na obnašanje objekta in temeljev, je bil naš namen ugotoviti geološke razmere in geofizikalne parametre na lokaciji gradu in kar najbolj realistično oceniti njen seizmični odziv.



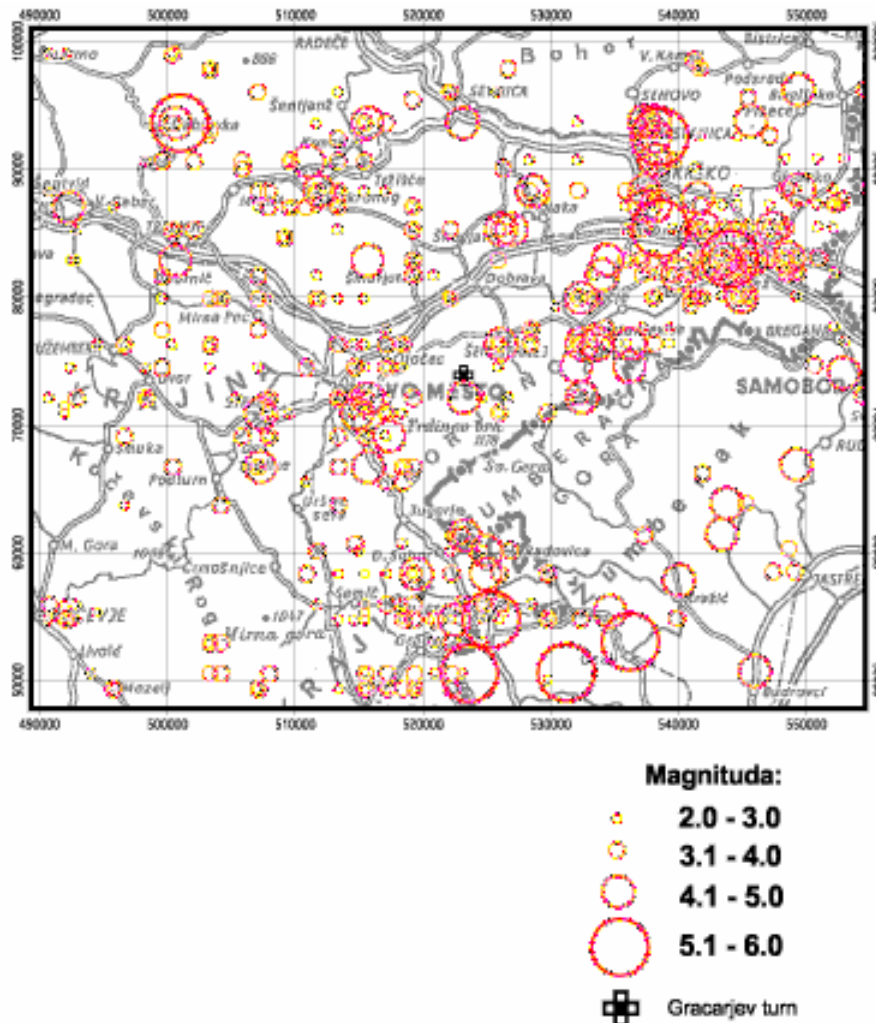
Slika 1. Pregledna karta geofizikalnih, geotehničnih in seizmoloških preiskav okoli gradu Gracarjev turn.
Figure 1. Situation map of geophysical, geotechnical and seismological investigations in the vicinity of the castle Gracarjev turn.

Gracarjev turn stoji v vnožju Gorjancev v Hrastju pri Šentjerneju, približno 15 km vzhodno od Novega mesta. Grad so začeli graditi konec 13. stoletja in ga nato dograjevali v več fazah.

Današnja podoba (tloris na sliki 1) je dobil v 16. stoletju (Stopar, 1986). Prevladujoč gradbeni material je iz delno obdelanih kosov apnenca in meljevca iz bližnje okolice, za kasnejše rekonstrukcije pa so uporabljali tudi opeko.

Geološke in seizmološke razmere

Krška kotlina je del Posavskih gub. Na tem območju se srečujejo tri pomembne tektonske enote: Zunanji Dinaridi, Notranji Dinaridi in Panonski bazen. Ozemlje sekajo številni prelomi dinarske, prečnodinarske in alpske smeri (Pleničar in Premru, 1970).



Slika 2. Karta seizmičnosti širše okolice Krške kotline za obdobje 567-1998. Podatki iz kataloga potresov Agencije RS za okolje.

Figure 2. Seismicity map of wider area around Krško basin for the period 567-1998. Data from earthquake catalogue of the Environmental Agency of Slovenia.

V primerjavi s sosednjimi območji je Krška kotlina seizmično nekoliko bolj aktivna (slika 2). V preteklosti je bilo več močnih potresov, ki so povzročili večjo škodo (npr. leta 1628, 1632 in 1640), vendar so njihove lokacije precej negotove. Najmočnejši znan potres se je zgodil 29. januarja 1917. Makroseizmično žarišče je imel nekaj kilometrov severno od Brežic (Poljak in Živčič, 1995). V zahodnem delu Krške kotline je bolj aktiven južni del, kjer se nahaja tudi Gracarjev turn. Od potresnih izvorov definiranih v okviru študije potresne nevarnosti jedrske elektrarne Krško je Gracarjevemu turnu najbližji potresni izvor Gorjanci, za katerega je bilo ocenjeno, da lahko v povprečju generira potres magnitude 5,9 vsakih tisoč let (Poljak in

Živčič, 1994). Na veljavni seizmološki karti Slovenije (ZASEJ, 1987) za povratno dobo 500 let se Gracarjev turn nahaja na območju VII stopnje po MSK lestvici. Po predhodni državni karti projektnega pospeška tal (Lapajne s sod., 1997) pa leži grad v območju z $a = 0,25$ g za povratno dobo 475 let.

Geofizikalne raziskave

Z geofizikalnimi metodami smo raziskali neposredno okolico gradu v polmeru okrog 300 m. V štirih profilih (slika 1) smo izvedli električne tomografske meritve in seizmično refrakcijsko profiliranje.

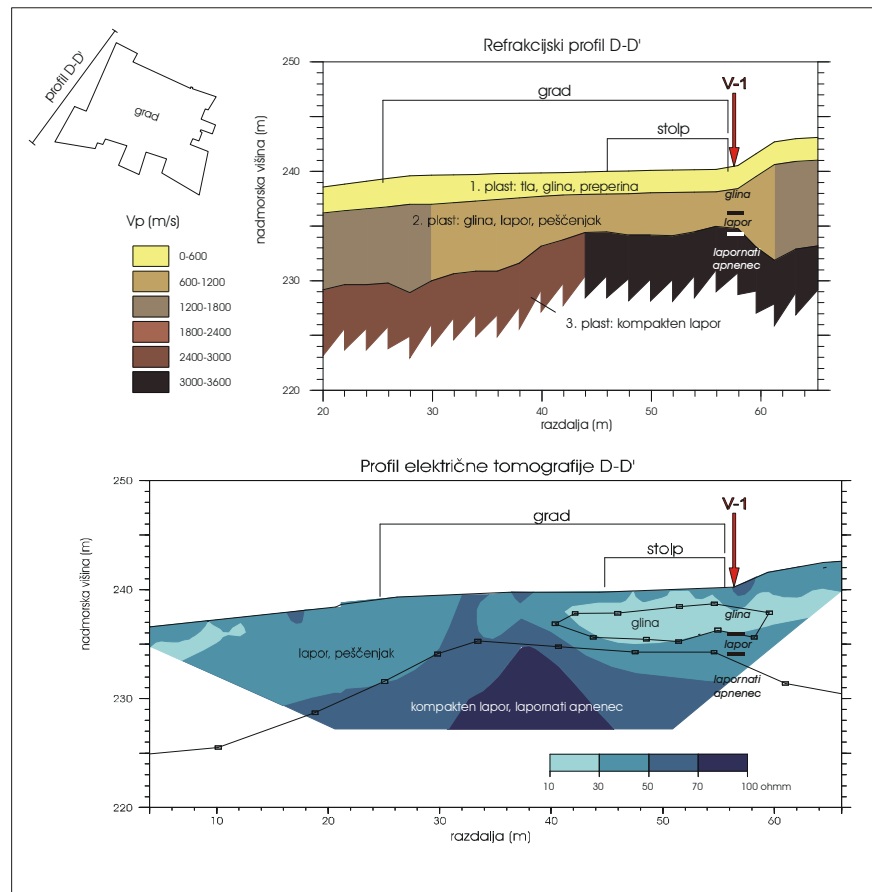
Pri električni tomografiji smo uporabili Wennerjevo elektrodno razvrstitev z enotno medelektrodno razdaljo 2 m na prvih osmih nivojih meritev. Podatke smo obdelali in interpretirali z inverznim modeliranjem. Rezultat je prerez podpovršja, v katerem nizke električne specifične upornosti ustrezajo glini in preperelemu laporju, visoke električne specifične upornosti pa kompaktnemu laporju, peščenjaku in lapornemu apnencu (slika 3). Na profilih ali v njihovi neposredni bližini smo izmerili 5 električnih upornostnih sond s plitvim dosegom, v bližnji okolici gradu pa še 4 sonde s srednjim globinskim dosegom. V obeh primerih smo uporabili Schlumbergerjevo elektrodno razvrstitev in največjo polovično razdaljo tokovnih elektrod $AB/2 = 100$ m, oziroma 500 m. Interpretirani model je bil največkrat štiriplasten in sicer tip HA. Ugotovljene električne specifične upornosti širšega območja Gracarjevega turna lahko razdelimo v šest razredov, kot kaže preglednica 1.

Preglednica 1. Električne specifične upornosti sedimentov okolice Gracarjevega turna in njihovi litološki ekvivalenti.

Table 1. Resistivities of sediments from the Gracarjev turn area and their lithological equivalents.

Elek. spec. upornost Resistivity (ohmm)	Plast/Layer
< 30	glina clay
30 – 60	lapor, lapornat meljevec marl, marly siltstone
60 – 100	lapor, meljevec, grušč, vložki apnene breče marl, siltstone, rubble material, intercalations of limestone breccia
100 – 300	grušč, kompakten meljevec, lapornat apnenec rubble material, compact siltstone, marly limestone
300 – 600	lapornati apnenec prevladuje marly limestone prevails
> 600	dolomit, apnenec dolomite, limestone

Pri seizmičnem refrakcijskem profiliranju z longitudinalnimi (P) in transverzalnimi (S) valovi smo uporabili 24-kanalni seizmograf in kot seizmični vir težko kladivo. Medgeofonska razdalja je bila 2 m. Z "mean-minus-T" metodo (Sjögren, 1984) smo ocenili povprečno hitrost P- in S-valov za najglobljo seizmično plast (refraktor). Sicer smo podatke interpretirali po generalizirani recipročni metodi - GRM (Palmer, 1980). Primer profila D-D' je na sliki 3. Ugotovili smo tri različne seizmične plasti z lastnostmi, ki so podane v preglednici 2. Iz seizmičnih hitrosti in gostote smo izračunali Poissonov količnik in ostale dinamične elastične parametre za vse plasti. Prostorninske gostote so bile določene laboratorijsko na vzorcih jedra iz vrtin.



Slika 3. Rezultati geofizikalnih meritev vzdolž profila D-D'.
Figure 3. Results of geophysical measurements along the profile D-D'.

Globina do kompaktne plasti je 5 - 8 m, razen na enem profilu, kjer je okoli 10 m globoko. Profil vzdolž severnega pobočja kaže izrazito heterogenost sedimentov v zgornjih nekaj metrih, kar je verjetno posledica nasipavanja različnega materiala v času številnih prezidav.

V dveh 8 m globokih vrtinah, ki sta bili izvrtani v neposredni bližini objekta, smo opravili meritve seizmičnih hitrosti z "up-hole" metodo. Vir valovanja so predstavljale eksplozije električnih detonatorjev v vrtini na vsak meter globine. Seizmični signal pa so zaznavali vertikalni in horizontalni geofoni na površini, razporejeni radialno okoli vrtine. Intervalne hitrosti P- in S-valov, ki posredno kažejo na litološke značilnosti kamnin vzdolž vrtine, smo izračunali iz razlik časov prihodov signala od posamezne strelne točke. Na enak način smo izračunali Poissonov količnik in elastične dinamične parametre. Le-ti se le malo razlikujejo od tistih, izračunanih iz podatkov seizmičnega refrakcijskega profiliranja.

Geotehnične preiskave

Geotehnične preiskave za določitev morfološko - geoloških značilnosti lokacije so vključevale inženirsko - geološko kartiranje okolice, odpiranje štirih razkopov in vrtanje dveh vrtin. Poleg tega smo uporabili podatke pridobljene s predhodnimi geofizikalnimi raziskavami. Na vzorcih jeder iz vrtin ter na vzorcih iz razkopov smo opravili tudi standardne laboratorijske geomehanske in mineraloške analize. Trije razkopi od štirih so bili izvedeni neposredno ob grajskih zidovih, tako da smo lahko ugotovili tudi stanje temeljev. Vrtine niso dosegle podtalnice.

Končni rezultat je stabilnostna analiza, ki je bila opravljena za dva profila na najbolj izpostavljenem severnem delu objekta. Obdelan je primer, ko so sedimenti a) pretežno suhi, b) vlažni in c) v namočenem stanju, pri tem pa pride do potresa (Nikolaou in sod., 2000). V primeru suhih in vlažnih sedimentov brez dodatnih dinamičnih obremenitev je pobočje stabilno (varnostni faktor je v vseh obdelanih primerih večji kot 1,22). V primeru, ko so sedimenti namočeni in pride do močnejšega potresa, je izračunani varnostni faktor za oba profila 0,97 oziroma 1,11, kar pomeni, da lahko pride do splazitve pobočja.

Seizmološke raziskave za oceno spektra ojačenja nihanja tal ob potresu

Na lokaciji gradu Gracarjev turn smo uporabili dva različna pristopa za oceno vpliva lokalne geološke zgradbe na ojačenje potresnih valov:

- enodimenzionalno modeliranje,
- metodo spektralnega razmerja zapisov razstreljevanja v bližnjem kamnolomu na različnih geoloških podlagah.

Preglednica 2. Seizmične plasti in njihove fizikalne lastnosti.

Table 2. Seismic layers and their physical parameters.

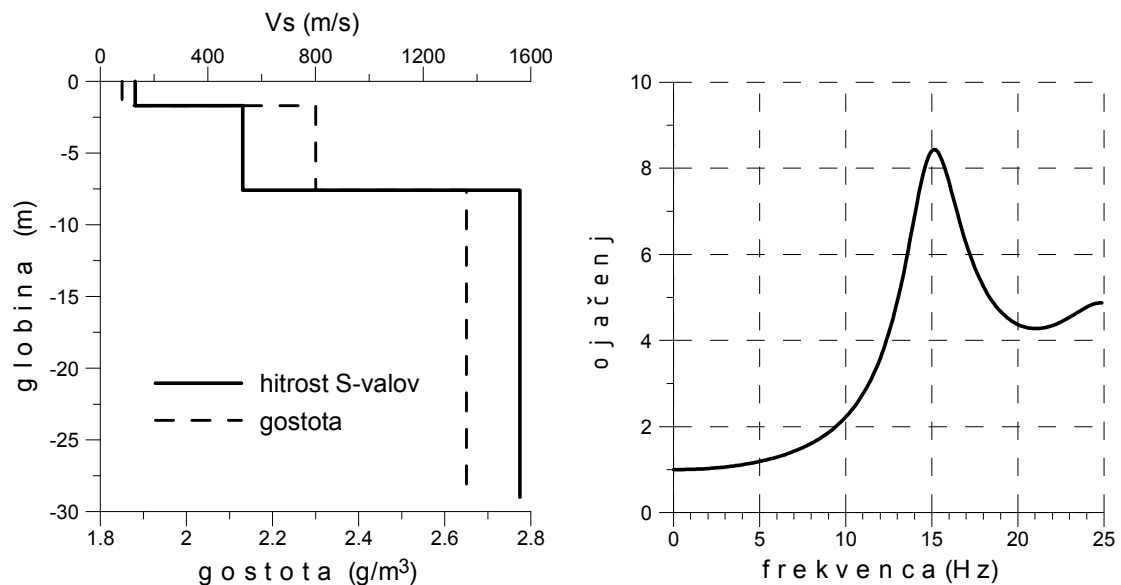
Štev.	No.	1	2	3
Plast	Layer	humus, preperela glina in lapor soil, weathered clay and marl	glinast lapor, grušč, preperel lapor in meljevec clayey marl, rubble material, weathered marl and siltstone	kompakten lapor in meljevec, lapomati apnenec compact marl, siltstone, marly limestone
V_p	(m/s)	320+/-60	1280+/-250	3180+/-320
V_s	(m/s)	130+/-30	530+/-160	1560+/-150
Povprečna debelina (P) Average thickness (P)	(m)	1,7+/-0,5	6,3+/-2,1	-
Povprečna debelina (S) Average thickness (S)	(m)	1,7+/-0,7	5,9+/-1,4	-
Poissonov količnik Poisson's ratio	(-)	0,40	0,40	0,34
Youngov modul Young's modulus	(MPa)	90	1800	17300
Strižni modul Shear modulus	(MPa)	31	650	6450
Modul stisljivosti Bulk modulus	(MPa)	148	2900	18199
Gostota Density	(kg/m^3)	1850	2300	2650

Pri enodimenzionalnem modeliranju smo kot vhodni podatek za debelino plasti, hitrost strižnih valov in gostoto uporabili povprečne vrednosti iz rezultatov geofizikalnih in geotehničnih raziskav (delno so zbrani v preglednici 2). Spekter ojačenja smo računali za strižno valovanje, ki potuje v navpični smeri skozi niz vodoravnih plasti (Idriss in Sun, 1992), pri čemer je vsaka plast definirana s strižnim modulom (ali hitrostjo strižnega valovanja), dušenjem, gostoto in njeno debelino. Spekter ojačenja je pri tej metodi definiran kot razmerje

med amplitudami nihanja na površini in na referenčni podlagi pri različnih frekvencah. Povprečen model hitrosti in gostote ter izračunan spekter ojačenja za lokacijo Gracarjevega turna sta na sliki 4.

Primerjava seizmičnih zapisov naravnih ali umetnih potresov izmerjenih na različnih geoloških podlagah je eden najbolj uveljavljenih načinov za oceno ojačenja nihanja tal zaradi lokalne geološke zgradbe pod objektom (Atakan, 1995; Bard, 1995; Gosar in Živčič, 1998). Ta vpliv se pogosto označuje z angleškim izrazom "site effects". Primerjalna metoda temelji na domnevi, da so lastnosti seizmičnega vira in "poti" valovanja do lokacije identični ter da na referenčni točki ni nobenih lokalnih vplivov. Na ta način lahko iz razmerja spektrov dveh zapisov potresov, prvi je posnet na lokaciji, ki leži na "mehkejših" sedimentih, drugi pa na "trdnejši" kamninski podlagi, na kateri so odloženi sedimenti, ocenimo ojačenje potresnih valov zaradi mehkejših sedimentov pri različnih frekvencah valovanja. Metoda se zato pogosto imenuje tudi metoda spektralnega razmerja med sedimenti in podlago ("sediment to bedrock spectral ratio"). Poleg tega se uporabljajo tudi metode, ki temeljijo na analizi lastnosti seizmičnega nemira ali mikrotremorjev (Gosar, 1999).

Če pri metodi spektralnega razmerja kot "vir" valovanja uporabljamo naravne potrese, so navadno potrebne dolgotrajne meritve, da zabeležimo ustrezen potres, kar precej omejuje njeno uporabnost (Gosar in Živčič, 1998). Zato je zelo ugodno uporabiti potresne valove, ki nastanejo pri miniranju, če se le-to izvaja v primerni bližini in ima dovolj veliko moč.

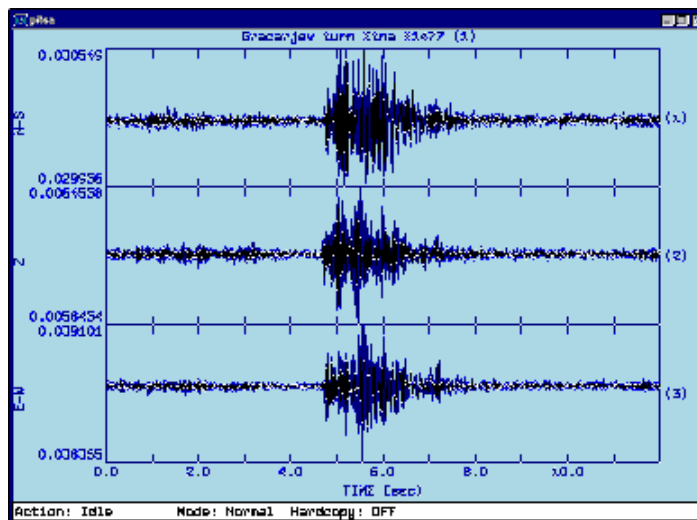


Slika 4. Povprečen model hitrosti in gostote uporabljen v enodimenzionalnem modeliranju in izračunan spekter ojačenja.

Figure 4. Average velocity and density model used in one-dimensional modeling and computed amplification spectrum.

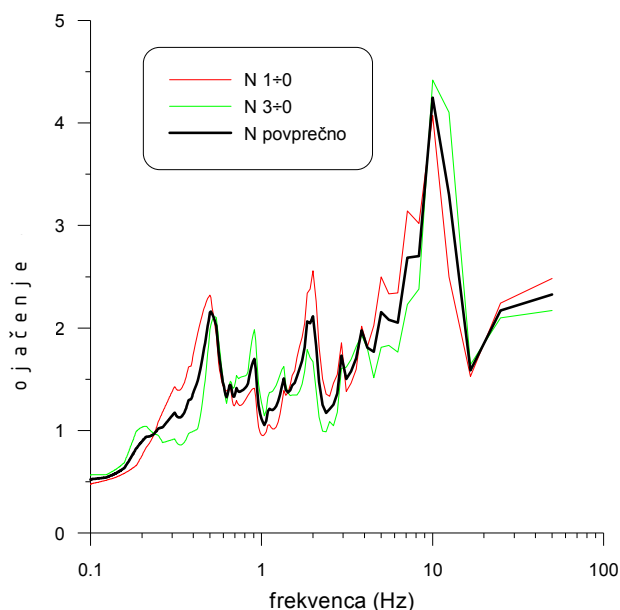
Seizmične meritve pospeškov nihanja tal na lokaciji Gracarjev turn zaradi masovnega miniranja v kamnolomu dolomita Cerov log Cestnega podjetja Novo mesto smo izvedli dne 7. junija, 2000. Kamnolom leži približno 3 km južno od Gracarjevega turna ob vznožju Gorjancev. Tega dne so minirali s 1400 kg eksploziva v 41 vrtnah razporejenih v dveh vrstah. V okolici gradu smo postavili štiri trikomponentne akcelerometre Etna ameriškega proizvajalca Kinometrics. Tri inštrumente smo postavili ob samem gradu, v bližini treh vogalov, četrtega pa na izdanek miocenskega lapornega apnenca 150 m severno od gradu

(slika 1). Laporni apnenec, ki tvori podlago pod mehkejšimi sedimenti, smo izbrali kot referenčno kamnino, za katero smo ocenili ojačenje nihanja tal na nevezanih sedimentih, na katerih stoji sam grad. Nihanje tal smo zapisovali 6 minut s frekvenco vzorčevanja 200 Hz. Pri analizi smo uporabili 12 sekund dolg izsek zapisov (primer je podan na sliki 5). Zapis je nekoliko "raztegnjen" zaradi zakasnilcev, ki se uporabljajo pri masovnih miniranjih v kamnolomih. V tem primeru je bilo sproženje vseh 41-ih nabojev raztegnjeno na 280 ms, zakasnitve med sosednjimi vrtnami pa so bile med 13 in 20 ms. Pospeški, ki so jih instrumenti zaznali so v območju 1,8 do 4,8 mm/s² na vertikalni komponenti in od 1,6 do 5,8 mm/s² na horizontalni komponenti. Kot je bilo pričakovati, so bili najmanjši pospeški zabeleženi na lapornem apnencu (Etna 0), ki smo ga izbrali za referenčno podlago.



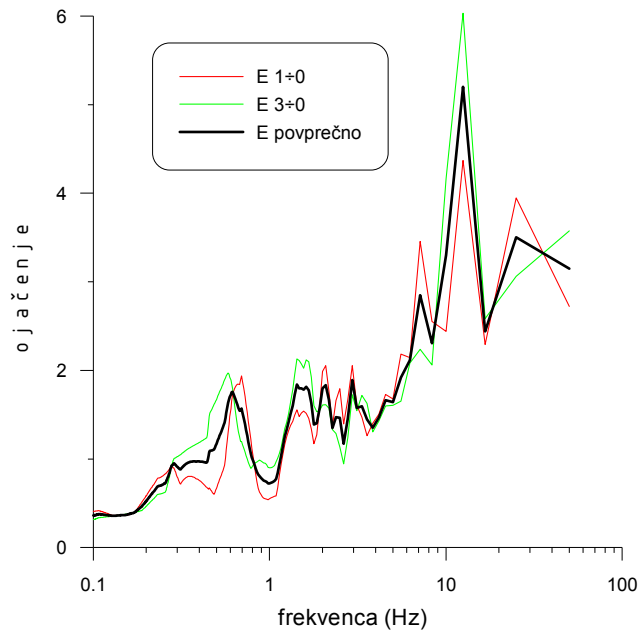
Slika 5. Trikomponentni zapis pospeška na jugozahodnem vogalu gradu (Etna 1).
Figure 5. Three component record of acceleration at southwestern corner of the castle (Etna 1).

Zapisi akceleroografa Etna na lokaciji 2 in na vertikalni komponenti na lokaciji 3 so bili zaradi instrumentalne napake popačeni in jih zato nismo upoštevali pri obdelavi. Razstreljevanje so zabeležile tudi opazovalnice državne mreže potresnih opazovalnic vse do oddaljenosti 40 km.



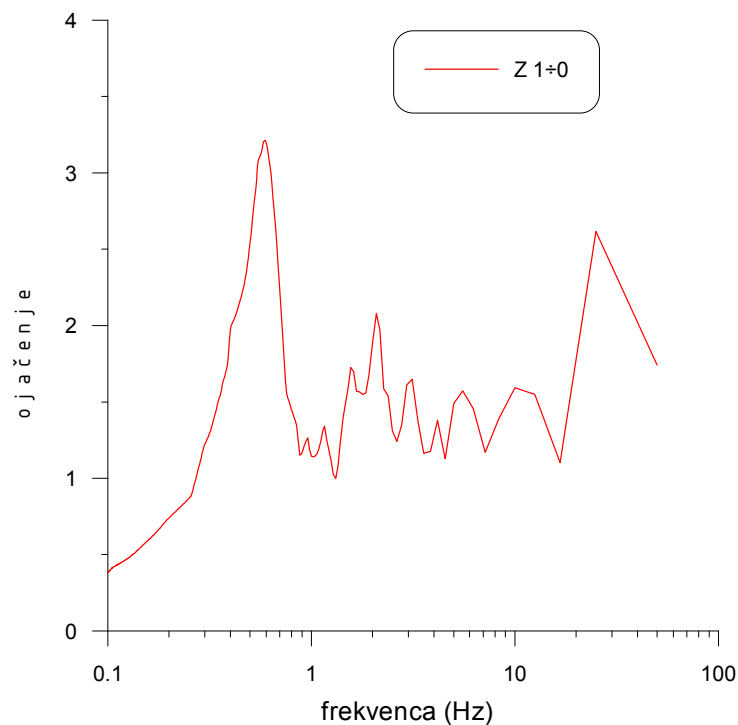
Slika 6. Spektri ojačenja za N-S komponento dobljeni iz razmerja spektrov odziva med tremi lokacijami v bližini gradu (1, 2, 3) in referenčno podlago (0). S črno linijo je prikazan povprečen spekter ojačenja.

Figure 6. Amplification spectra for N-S component estimated from response spectral ratio between three locations in castle vicinity (1, 2, 3) and the reference bedrock (0). Average amplification spectrum is represented in black.



Slika 7. Spektri ojačenja za E-W komponento dobljeni iz razmerja spektrov odziva med dvema lokacijama v bližini gradu (1, 3) in referenčno podlago (0). S črno linijo je prikazan povprečen spekter ojačenja.

Figure 7. Amplification spectra for E-W component estimated from response spectral ratio between two locations in castle vicinity (1, 3) and the reference bedrock (0). Average amplification spectrum is represented in black.



Slika 8. Spektri ojačenja za vertikalno (Z) komponento dobljeni iz razmerja spektrov odziva med lokacijo 1 v bližini gradu in referenčno podlago (0).

Figure 8. Amplification spectra for vertical (Z) component estimated from response spectral ratio between location 1 in castle vicinity and the reference bedrock (0).

Po korekciji za odziv inštrumenta smo izračunali spektre odziva za frekvenčno območje med 0,1 in 50 Hz. Z deljenjem spektrov odziva na dveh inštrumentih pri gradu in tistega na referenčni podlagi smo izračunali spektre ojačenja za vse tri komponente. Spektri ojačenja so

podani na slikah 6-8. Na obeh horizontalnih komponentah je amplituda povprečnega spektra ojačenja med 1 in 4 v frekvenčnem območju med 0,5 in 20 Hz. Območja, pri katerih se pojavljajo v spektru vrhovi, se dokaj dobro ujemajo z vrednostmi dobljenimi z modeliranjem. Izmerjene amplitude pa so nekoliko manjše od modeliranih.

Zaključek

Rezultati kompleksnih preiskav predstavljajo dobro osnovo za določitev stanja temeljnih tal kot tudi litoloških značilnosti okolice Gracarjevega turna. Te podatke in pa spektre ojačenja bodo uporabili strokovnjaki za numerično analizo objekta, ki jo bodo še izvedli v okviru predstavljenega projekta v letu 2001.

Kot smo lahko ugotovili, vpliva na stabilnost objekta in na degradacijo njegovih temeljev predvsem različno preperevanje sedimentov, na katerih je grajen objekt. To je povzročilo različne posedke že v preteklosti. Sistem odvodnjevanja meteorne vode ni ustrezen, kar dodatno prispeva k poslabševanju stanja temeljev in temeljnih tal. Celotno severno pobočje pod gradom je potrebno zaščititi pred erozijo, da bi zmanjšali možnost nadaljnjih premikov in zdrsra pobočja. Tega je možno pričakovati, ko so sedimenti namočeni in pride do močnejšega potresa.

Glavna prednost predstavljenega pristopa je v tem, da vsi izračuni in zaključki temeljijo na meritvah, ki so bile izvedene in-situ in na vzorcih vzetih na lokaciji. Vhodni podatki tako odražajo realne značilnosti lokacije in upoštevajo prostor kot celoto z vsemi heterogenostmi. Projekt utrditve in/ali obnove kulturno-zgodovinskega objekta, ki temelji na in-situ kvantitativnih podatkih, je zato bolj verodostojen.

Zahvala

Zahvaljujemo se Francu Šinkovcu iz Cestnega podjetja Novo mesto za sodelovanje pri meritvah miniranja v kamnolomu Cerov log ter Matjažu Gostinčarju in Igorju Pfundnerju iz URSG za tehnično podporo meritev.

Literatura

- Atakan, K., 1995. A review of the type of data and the techniques used in empirical estimation of local site response. Proc. 5th International Conference on Seismic Zonation, 2., 1451-1459, Nice.
- Bard, P. Y., 1995. Effects of surface geology on ground-motion: Recent results and remaining issues. 10th European Conference on Earthquake Engineering, 305-323, Balkema, Rotterdam.
- Car, M., Nikolaou, N., Poyiadji, E., Gosar, A., Živčič, M., 2000. Engineering geological and geophysical investigations at Gracarjev turn castle, Slovenia. Proceedings of the 6th meeting on Environmental and Engineering Geophysics, EEGS, Bochum, P-EG08, 4pp.
- Gosar, A., Živčič, M. 1998. Ojačenje nihanja tal zaradi lokalne geološke zgradbe na južnem obrobju Ljubljane (Rakova jelša). Potresi v letu 1997, URSG, 59-66, Ljubljana.
- Gosar, A. 1999. Rezultati raziskav o vplivih lokalne geološke zgradbe na poškodbe objektov. Potres 12. aprila 1998 v Krnskem pogorju. Ujma 13, 102-106, Ljubljana.
- Idriss, I. M., Sun, J. I. 1992. SHAKE91. A computer program for conducting equivalent linear seismic response analyzes of horizontally layered soil deposits. Univ. of California, Davis.
- Lapajne, J. K., Zabukovec, B., Šket Motnikar, B., Zupančič, P., 1997. Državna karta projektnega pospeška tal.

- Potresi v letu 1996, URSG, 63-73, Ljubljana.
- Nikolaou, N., Poyiadji, E., Nappi, A., Sofronie, R., Zugravescu, D., Mandrescu, N., Car, M., Tomažević, M., Pečar, B., 1998-2000. Interna fazna poročila za INCO-Copernicus projekt ERBIC15CT960208 (uredil A. Nappi).
- Palmer, D., 1980. Generalized reciprocal method of seismic refraction interpretation. Soc. Explor. Geoph., 101 pp., Tulsa.
- Pleničar, M., Premru, U., 1970. Osnovna geološka karta 1:100.000, list Novo mesto. Zvezni geološki zavod, Beograd.
- Poljak, M. and Živčić, M., 1994. Seismic Sources. In: P. Fajfar and J.Lapajne (Eds), Probabilistic Assessment of Seismic Hazard at Krško Nuclear Power Plant, Rev. 1, FAGG, Ljubljana.
- Poljak, M., and Živčić, M., 1995. Tectonics and seismicity of the Krško basin. First Croatian Geological Congress, Institute of Geology, 475-479, Zagreb.
- Sjögren, B., 1984. Shallow refraction seismics. Chapman and Hall, 268 pp, London.
- Stopar, I., 1986. Gradovi na Slovenskem. Cankarjeva založba, str. 281-284, Ljubljana.
- Zajednica za seizmologiju SFRJ 1987. Tumač seizmološke karte SFR Jugoslavije, 6 pp, Beograd.

OBČUTLJIVOST POTRESNE OPAZOVALNICE NA VELIKI ŠTANGI

SENSITIVITY OF THE SEISMIC STATION AT VELIKA ŠTANGA

Tatjana Prosen¹, Jure Bajc¹, Mladen Živčić¹

Izvleček. Predstavljena je analiza potresov v okolici Velike Štange pri Litiji, kjer je Uprava RS za geofiziko (URSG) avgusta 1999 postavila začasno potresno opazovalnico, ki je v desetih mesecih delovanja zabeležila nekaj sto potresov. Naš cilj je bila določitev razlike med občutljivostjo opazovalnice v dnevnem in v nočnem času. Občutljivost je odvisna od seizmičnega nemira, ki je v veliki meri posledica človeške dejavnosti in je zato podnevi običajno večji kot ponoči. Problema smo se lotili na zanimiv, a nekoliko nestandarden način – uporabili smo model naključne hoje, ki ima fizikalno ozadje v Brownovem gibanju. Najpomembnejši rezultat raziskave je, da lahko z veliko statistično gotovostjo trdimo, da so bili potresi, ki so imeli na opazovalnici na Veliki Štangi amplitudo odmikov nad 32 nm, zabeleženi enakomerno prek celega dneva, medtem ko so bili šibkejši potresi pogosteje zabeleženi ponoči kot podnevi. Za opazovalnico na Veliki Štangi smo poiskali tudi semiempirično formulo za lokalno magnitudo bližnjih potresov, ki nam da ustrezno magnitudno mejo 0,3.

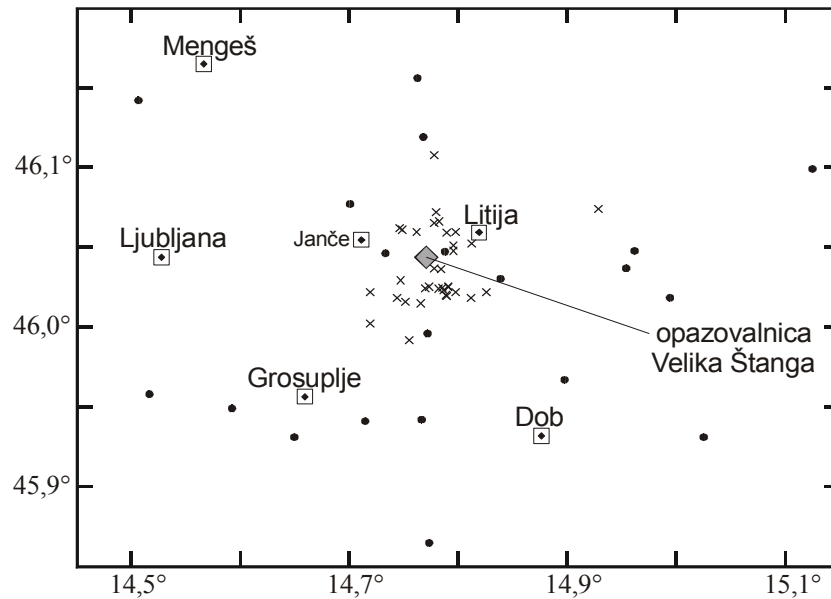
Abstract. We study the seismic activity around the Velika Štanga near Litija, where we (the Geological Survey) have set up a temporary station in August 1999. It recorded several hundreds of earthquakes in 10 months of operation. The aim of the study is to determine the difference in the sensitivity of the station during daytime and night time. As the sensitivity depends on the seismic noise, which is often manmade, it is reasonable to expect it to be smaller during the night. We used an interesting, though a bit non-standard approach, based on so called “random walk”, mathematical generalization of the Brownian motion. Our most important statistically confident result is that the earthquakes, recorded by the temporary station Velika Štanga with the displacement amplitude exceeding 32 nm, were recorded evenly throughout the entire day, whereas weaker events were recorded more frequently over night time. In addition, we derived a semiempirical local magnitude formula for the nearby events recorded by the station Velika Štanga. The local magnitude limit, corresponding to displacement 32 nm, is 0.3.

Uvod

V bližini Litije je mreža slovenskih potresnih opazovalnic od avgusta 1998 zaznala precej potresov z lokalnimi magnitudami do 4 (najmočnejši, 31.8.1998, $M_{LV} = 4,2$, pri Dobu na Dolenjskem (slika 1) je bil nekoliko bolj oddaljen, Cecić s sod., 1999). Potresna aktivnost v tem delu Slovenije ni novost, vendar pa je število potresov po potresu konec avgusta 1998 precej večje, kot je bilo pred tem. Zato se je URSG odločila v bližini postaviti instrument, da bi te potrese bolje zaznali in da bi zabeležili tudi šibkejše med njimi. Seizmometer smo postavili v klet kmečkega turizma na Veliki Štangi ($46^{\circ} 2,62' N$, $14^{\circ} 46,23' E$, $z: 460$ m).

Analizirali smo potresno aktivnost od avgusta 1999 do maja 2000. V tem času je opazovalnica zaznala prek tristo potresov, od tega smo več desetim lahko določili koordinate žarišča (slika 1). Tako smo zbrali zadostno količino podatkov za statistično obdelavo, s katero smo želeli preveriti domnevo, da ponoči zaznamo več potresov kot podnevi. Domneva je razumljiva, saj je seizmični nemir ponoči bistveno manjši kot podnevi in je razmerje signala proti šumu podnevi manjše kot ponoči. Za preverjanje domneve se nam je zdel najbolj primeren model naključne hoje (random walk), ki smo ga preslikali na naš problem.

¹ Agencija RS za okolje, urad za seizmologijo, Dunajska 47, Ljubljana



Slika 1. Epicentri bližnjih (×) in bolj oddaljenih (•) potresov v okolici opazovalnice na Veliki Štangi. Med bližnje potrese smo šteli le take, ki imajo žarišče od opazovalnice oddaljeno manj kot 8 km (glej tekst).

Figure 1. The epicenters of near (×) and more distant (•) earthquakes around the station Velika Štanga, “near” meaning the hypocentral distances smaller than 8 km (see text for details).

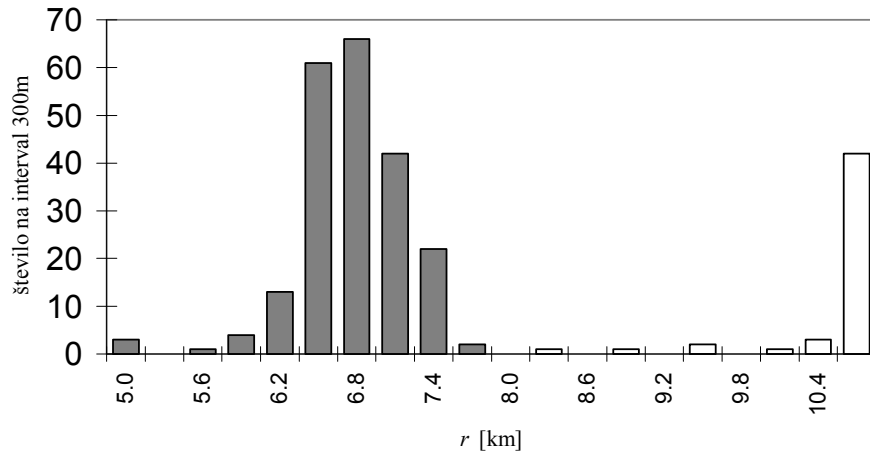
Podatki

V seizmologiji je definiranih več magnitud, katerih namen je podati oceno moči potresa. Magnituda naj bi v logaritemski skali odražala med potresom sproščeno elastično energijo. Na URSG uporabljamo za lokalne in regionalne potrese oddaljene do 800 km *lokalno* magnitudo (M_{LV}). Maksimalno fazo za izračun lokalne magnitudo (M_{LV}) poiščemo na *vertikalni* komponenti zapisa tresenja tal v skupini transverzalnih (S) ali površinskih valov

$$M_{LV} = \log\left(\frac{A}{T}\right)_{MAX} + 1,52 \log\left(\frac{d}{111}\right) - 2,9 ,$$

kjer je A amplituda odmikov v nanometrih, T nihajni čas v sekundah ter d nadžariščna oddaljenost v kilometrih.

Zabeležene potrese na opazovalnici na Veliki Štangi lahko v grobem ločimo v dve skupini: na tiste, ki so bili zabeleženi le na tej opazovalnici ter na tiste, katere so zabeležile tudi nekatere opazovalnice stalne državne mreže potresnih opazovalnic (7 opazovalnic). V raziskavi smo uporabili le osnovne količine, ki jih določimo iz seizmograma: čas prihoda faze P (longitudinalni valovi) in faze S ter maksimalno fazo M. V grobem velja, da je oddaljenost r sorazmerna s časovno razliko prihodov S in P valov: $r = c(t_s - t_p)$, kjer sta t_s in t_p časa prihodov S in P valov, parameter c pa lahko predstavimo kot nekakšno navidezno hitrost, ki se izraža s hitrostmi P in S valov v posameznih plasteh Zemljine skorje. Potresom iz druge skupine smo zato lahko določili osnovne parametre: koordinate žarišča, žariščni čas in lokalno magnitudo M_{LV} dobljeno iz več opazovalnic. Takih potresov je bilo premalo za dovolj zanesljivo statistično analizo, zato smo uporabili vse potrese, a upoštevali le podatke opazovalnice na Veliki Štangi.



Slika 2. Porazdelitev potresov zabeleženih na Veliki Štangi glede na oddaljenost r od opazovalnice. Opazovalnica je poleg bližnjih zabeležila tudi nekaj bolj oddaljenih potresov (beli stolpci), ki ne sodijo v gručo, ki jo raziskujemo. Z izbiro potresov, ki so od opazovalnice oddaljeni do 8,0 km (temni stolpci), se omejimo le na potrese iz gruče.

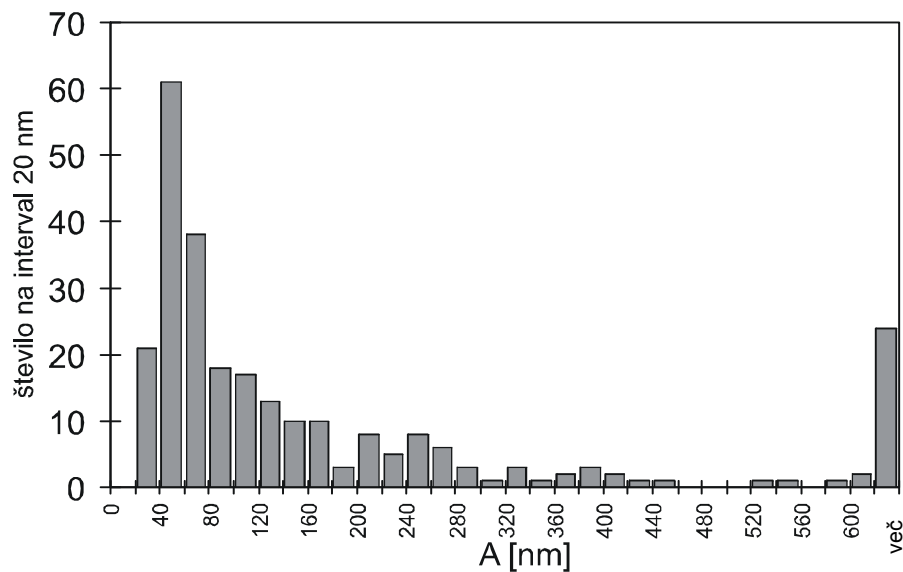
Figure 2. Distribution of earthquakes, recorded by Velika Štanga, with respect to the distance r from the station. Besides the near by events the station recorded several distant earthquakes (white bars), which does not belong to the investigated group. By selecting only the events, not further than 8 km away from the station (dark bars), we restrict the study to the chosen group.

Na podlagi tomografske raziskave Slovenije (Michelini s sod., 1998) smo uporabili ustrežnejši enodimenzionalni hitrostni model in za navidezno hitrost c dobili vrednost 7,5 km/s. Iz podatkov odčitanih le na opazovalnici na Veliki Štangi smo ocenili oddaljenost r žarišča od opazovalnice. Izkazalo se je, da je porazdelitev potresov po oddaljenosti izrazito neenakomerna (slika 2), saj je večina potresov od opazovalnice oddaljena za 6,0 do 8,0 km. Po drugi strani je porazdelitev po amplitudah pričakovana; dogodkov z majhno amplitudo je več kot tistih z veliko (slika 3), vendar je število zabeleženih potresov z amplitudo pod 40 nm majhno, ker vseh ne zaznamo. Primerjava seizmogramov pokaže, da si je večina bližnjih potresov med seboj zelo podobnih. V nadaljnji obravnavi smo upoštevali le potrese, ki so od opazovalnice oddaljeni manj kot 8,0 km (polni stolpci na sliki 2). To je 214 potresov, od tega smo 36-im lahko določili lokacijo žarišča, 30-im pa še lokalno magnitudo M_{LV} iz opazovalnic stalne državne mreže. Pri izračunu semiempirične amplitudne formule smo uporabili 47 potresov, poleg gornjih 30 bližnjih potresov še 17 magnitud bolj oddaljenih potresov (do 30 km), za katere smo imeli podatek o magnitudi M_{LV} stalne državne mreže.

Občutljivost

Občutljivost opazovalnice razumemo kot opredelitev spodnje meje amplitude nihanja tal, ko je potres na opazovalnici še zabeležen. Poleg kvalitete seizmografa na občutljivost vpliva tudi nivo seizmičnega nemira. Ker je znaten del tega nemira posledica človeške dejavnosti, je nemir ponoči običajno precej manjši kot podnevi. Kako seizmični nemir vpliva na občutljivost, je odvisno tudi od načina delovanja opazovalnice. Ta lahko bodisi neprekinjeno shranjuje podatke o tresenju tal, ali pa deluje proženo in shrani določen časovni segment le, če so izpolnjeni izbrani kriteriji. V prvem primeru je (ne)identifikacija potresa odvisna od nivoja nemira in metode analiziranja seizmogramov, v drugem pa je veliko odvisno že od nastavitvev proženja, saj neproženih dogodkov ne moremo naknadno preiskati, ker jih nimamo

shranjenih. Prag za proženje je lahko nastavljen na izbrano vrednost merjene količine (pospešek, hitrost ali odmik) ali pa na vrednost razmerja STA/LTA med kratkotrajnim in dolgotrajnim povprečjem amplitud signala (Short Time Average = STA, Long Time Average = LTA). Izbira praga je kompromis med željo, da bi bilo zabeleženih čim več potresov (nizek prag), in omejenim pomnilnikom instrumenta. Opazovalnica na Veliki Štangi je beležila hitrosti nihanja tal in je bila prožena po metodi razmerja STA/LTA. Uporabljeni širokopasovni senzor Guralp GMT-40T naj bi dobro deloval v frekvenčnem območju od nekaj deset Hz do nihajnih časov okoli 10 sekund, zajemalni sistem RefTek pa ne omogoča spremenljivega filtriranja pred uporabo prožilnega algoritma STA/LTA (prag proženje je bil $STA/LTA > 5$, STA čas 0,25 sekunde in LTA čas 120 sekund).



Slika 3. Porazdelitev potresov zabeleženih na Veliki Štangi glede na amplitudo odmikov. Močnejših potresov je relativno malo. Opazimo, da je zabeleženih potresov za amplitude pod 40 nm manj, ker jih je del prekrit s šumom.

Figure 3. Distribution of earthquakes, recorded by Veliki Štanga, with respect to the displacement amplitude. The number of strong events is small. Note that the number of the events with the recorded amplitudes below 40 nm is small due to seismic noise.

Za analizo občutljivosti, predvsem za določitev razlik v občutljivosti opazovalnice podnevi in ponoči je izbrani izbor potresov zelo primeren. Kljub temu, da za določitev magnitude na tako majhnih razdaljah ne poznamo semiempirične formule, vemo, da bo ta vsebovala odvisnost od amplitude maksimalne faze premika v neki izbrani skupini valov, od nihajnega časa te faze in od oddaljenosti opazovalnice od žarišča potresa. Po drugi strani vemo, da naj bi bila magnituda logaritemsko odvisna od energije, torej $M \propto \log(A_0)$, kjer je A_0 amplituda nihanja na dovolj majhni oddaljenosti od potresa. Ker so potresi iz gruče na Veliki Štangi približno enako oddaljeni od opazovalnice (6 do 7 km) in so nihajni časi maksimalnih faz med seboj le malo različni (0,08 s do 0,13 s), vzamemo kot merilo za jakost potresa kar amplitudo A maksimalne faze oziroma za magnitudo njen logaritem, $\log A$.

Model naključne hoje

Naključno hojo iz osebnih izkušenj pozna vsak, ki se je že kdaj pošteno napil in poskušal kot tak peš priti do domačih vrat. Matematična definicija naključne hoje je še bolj splošna, saj sta tako dolžina kot smer koraka povsem naključni. Model podobnega naključnega gibanja je v

fiziki znan kot Brownovo gibanje. Primer za tako gibanje je delec, ki se giblje s hitrostjo, katere smer in velikost se spreminjata ob naključnih trkih s sosednjimi delci. Seveda ne znamo napovedati, kje je delec po dovolj dolgem času t , vendar pa lahko gibanje obravnavamo statistično in izračunamo povprečno (oziroma pričakovano) dolžino poti ali pa pričakovano oddaljenost od izhodišča po času t . In kakšno zvezo ima to s potresi?

Osnovna predpostavka je, da so potresi naključni dogodki, ki se pojavljajo ob kateremkoli času dneva z enako verjetnostjo. Če jih, denimo, zabeležimo med drugo in peto uro popoldne več (seveda z zadostno statistično gotovostjo) kot ob drugih delih dneva, potem je to po vsej verjetnosti problem izbrane metode detekcije in ne dejanska nepravilnost v pojavljanju potresov. Zanimajo nas ravno take spremembe v sposobnosti detekcije (občutljivosti) ob različnih časih, zato moramo izbrati tak model, da bomo z njim lahko v statističnem smislu zaznali neenakomernost v porazdelitvi števila potresov prek dneva. Kot čas nastanka potresa razumemo del žariščnega časa brez datuma. Čase nastanka potresov zato preslikamo na premikanje po ravnini. Vsakemu potresu ustreza en korak. Model naključne hoje je parametriziran z dvema naključnima spremenljivkama, z dolžino koraka d in njegovo smerjo φ . Pri preslikavi je pomemben le čas nastanka potresov v okviru posameznega dneva, zato model poenostavimo in določimo, da je dolžina koraka d za vse potrese enaka ena, čas nastanka potresa pa bijektivno preslikamo na smer koraka:

$$\varphi = \frac{t}{t_0} 2\pi = \frac{t}{t_0} 360^\circ$$

kjer je $t_0 = 24$ ur, t pa čas nastanka potresa. Tako polnoči ustreza kot 0° oziroma 360° , šesti uri zjutraj kot 90° , poldnevu kot 180° in tako dalje.

Premik zapišemo v vektorski obliki $d = (\sin \varphi, \cos \varphi)$, kjer φ šteujemo od osi y v smeri urinega kazalca. Verjetnost, da je kot φ v intervalu $[\varphi, \varphi + d\varphi]$, je $dW(\varphi) = w(\varphi) d\varphi$, kjer je $w(\varphi)$ kotni del verjetnostne gostote za posamezen premik. Porazdelitev verjetnostne gostote po kotu je enakomerna, zato velja $w(\varphi) = (2\pi)^{-1}$. Skupna verjetnostna gostota za oddaljenost R od izhodišča po N korakih, je konvolucija N verjetnostnih gostot za posamezni premik d_i , ki jo zapišemo kot konvolucijo

$$w(R) = w(d_1) * w(d_2) * \dots * w(d_{N-1}) * w(R - d_1 - d_2 - \dots - d_{N-1})$$

To konvolucijo izračunamo v dveh korakih. Verjetnostno gostoto za $R = (X, Y)$ zapišemo kot produkt verjetnostnih gostot obeh komponent $w(X)$ in $w(Y)$. Za sestavljanje premikov po komponentah uporabimo centralni limitni izrek (Kuščer in Kodre, 1994), ki pravi, da se po N -kratni konvoluciji enakih verjetnostnih gostot $w(x)$ verjetnostna porazdelitev z naraščajočim N vse bolj približuje Gaussovi:

$$w^{(N)}(X) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_X^{(N)}}} \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{X - \langle X \rangle^{(N)}}{\sigma_X^{(N)}}\right)^2\right]; \quad \langle X \rangle^{(N)} = N\langle x \rangle \quad \text{in} \quad (\sigma_X^{(N)})^2 = N\sigma_x^2,$$

kjer je $\langle x \rangle$ označena pričakovana oziroma povprečna vrednost koordinate x in s σ_x standardna deviacija oziroma efektivni odmik. Verjetnostna gostota $w(\varphi)$ nas vodi do

$$\langle x \rangle = \langle \cos \varphi \rangle = \int_0^{2\pi} \cos \varphi w(\varphi) d\varphi = \int_0^{2\pi} \cos \varphi \frac{d\varphi}{2\pi} = 0 \quad \text{in} \quad \sigma_x^2 \equiv \langle x^2 \rangle - \langle x \rangle^2 = \frac{1}{2}.$$

Podobno velja $\langle y \rangle = 0$, $\sigma_y^2 = 1/2$ ter $\langle X \rangle^{(N)} = \langle Y \rangle^{(N)} = 0$ in $(\sigma_X^{(N)})^2 = (\sigma_Y^{(N)})^2 = N/2$.

Verjetnost $dW(X,Y)$ izrazimo z verjetnostno gostoto $w(X,Y) = w(X)w(Y)$

$$dW^{(N)}(X,Y) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sqrt{N/2}} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{X^2}{N/2}\right) \cdot \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sqrt{N/2}} \exp\left(-\frac{1}{2} \frac{Y^2}{N/2}\right) dX dY$$

in jo prepišemo v cilindrične koordinate R, φ

$$dW^{(N)}(R, \varphi) = \frac{1}{\pi N} \exp\left(-\frac{R^2}{N}\right) R dR d\varphi.$$

Ker nas zanima oddaljenost R od izhodišča, verjetnostno gostoto $w(R, \varphi)$ integriramo po kotu φ , da dobimo verjetnostno gostoto za oddaljenost po N korakih $w(R)$

$$w^{(N)}(R) = \int_0^{2\pi} w^{(N)}(R, \varphi) d\varphi = \frac{2R}{N} e^{-\frac{R^2}{N}}$$

iz te pa izračunamo pričakovano oddaljenost po N korakih

$$\langle R \rangle^{(N)} = \int_0^{\infty} R w^{(N)}(R) dR = \sqrt{\frac{\pi}{4}} \sqrt{N}.$$

Semiempirična lokalna magnituda

Za telesne valove na majhnih razdaljah lahko domnevamo, da se njihova amplituda zmanjšuje le zaradi razširjanja valovne fronte (geometrijski faktor) in zaradi dušenja. Dušenje je posledica neelastičnih lastnosti plasti, skozi katere potujejo potresni valovi in je za telesne valove (P, S) v približku frekvenčno neodvisno. Torej velja

$$A = A_0 \frac{1}{r} e^{-\frac{\pi t}{QT}} \quad (1)$$

kjer je t čas od nastanka do prihoda maksimalne faze, T nihajni čas maksimalne faze in Q faktor dobrote, ki je definiran tako, da je relativna sprememba energije v času enega nihaja enaka $\Delta E/E = 1/Q$. V našem primeru iščemo maksimalno fazo v skupini S valov in se Q nanaša nanje. Za P valove je Q običajno približno dvakrat večji (Udías, 1999).

Iz podatkov o lokalni magnitudi M_{LV} za 47 potresov (iz državne mreže potresnih opazovalnic) smo določili neznane koeficiente a_i v semiempirični formuli, ki smo jo, izhajajoč iz enačbe (1), sestavili kot

$$M_{VSTG} = a_1 \log A[\text{nm}] + a_2 \log r[\text{km}] + a_3 (t/T) + a_4 \quad (2)$$

Koeficiente a_i smo določili z metodo najmanjše vsote kvadratov razlik (*least square method*) med modelsko M_{VSTG} in izmerjeno M_{LV} magnitudo, za katero smo izbrali mediano lokalnih magnitud državne mreže. Rezultati regresije so zbrani v preglednici 1.

Semiempirična formula za lokalno magnitudo na opazovalnici na Veliki Štangi za bližnje potrese je torej

$$M_{\text{VSTG}} = 0,678 \log A[\text{nm}] + 0,758 \log r[\text{km}] + 0,009(t/T) - 1,53$$

kjer je A amplituda v nanometrih in r oddaljenost žarišča v kilometrih. Pričakovana natančnost (standardna deviacija) magnitude, izračunane po tej enačbi, je $\pm 0,19$. Iz statistike koeficientov (preglednica 1) je dobro razvidno, da je najbolje določena odvisnost magnitude od ($\log A$), medtem ko lahko odvisnost od ($\log r$) in od (t/T) precej manj natančno določimo. Slednje je posledica dejstva, da je v skupini potresov, ki smo jih uporabili za regresijo, razpon podatkov po amplitudi maksimalne faze precej večji kot po oddaljenosti ali po nihajnem času maksimalne faze.

Preglednica 1. Statistika regresije magnitud po enačbi (2). V prvi vrstici so zbrane vrednosti iskanih koeficientov, v drugi zanesljivost izračunanih vrednosti, v zadnji pa verjetnost (po Student-ovi statistiki), da je korelacija med količino (denimo, $\log A$, t/T , ...) ki se nanaša na posamezen koeficient, in podatki (v našem primeru mediana magnitud državne mreže) zgolj naključna.

Table 1. The statistics of the regression for local magnitude according to the equation (2). In the first line the values of the coefficients are given, in the second line the confidence interval (standard deviation), and in the last line the probability (regarding Student's t-distribution) that the correlation between the quantity related to a particular coefficient and the data (in our case the mediana of the magnitudes of the permanent stations) is coincidental.

	a_1	a_2	a_3	a_4
koeficient	0,678	0,758	0,00923	-1,533
standardna deviacija	0,059	0,302	0,00322	0,315
Student-ov test	$4,6 \cdot 10^{-15}$	$7,9 \cdot 10^{-3}$	$3,2 \cdot 10^{-3}$	$7,8 \cdot 10^{-6}$

Zanimivo je primerjati koeficienta a_1 in a_2 pred obema logaritmomoma. Glede na enačbo (1) bi morala biti enaka, dejansko pa je a_2 za približno 10 % večji, kar bi lahko prevedli v potenco P pri geometrijskem faktorju r^{-P} , ki bi potemtakem bila 1,1 in ne 1,0. Vendar je nedoločena obema, zlasti še a_2 , prevelika, da bi lahko kvantitativno ocenili razliko. Zaključimo lahko le, da se energija valovanja z razdaljo manjša bolj, kot to napoveduje povečevanje površine valovne fronte. To je tudi posledica dušenja, saj a_2 in a_3 nista povsem neodvisna. Faktor dobrote, ki ga izračunamo iz $a_3 = \pi/Q$, ima vrednost $Q = 340$, kar je veliko glede na pričakovane vrednosti za skorjo (okoli 100 za S valove). Zaradi odvisnosti med a_2 in a_3 je prav mogoče, da je faktor dobrote v resnici manjši na račun spremembe a_2 pred geometrijskim faktorjem, ki bi moral biti ustrezno nižji, kar je skladno s teorijo (enačba 1).

Rezultati

Potresi se dogajajo ob naključnih med seboj enako verjetnih časih in zato ustrezajo modelu naključne hoje. Seveda pa to velja le, če potrese beležimo enakomerno prek celega dne v

smislu, da ob nobenem delu dneva sposobnost detekcije ni različna od kakega drugega dela dneva. In tu se v igro vpletejo razlike med dnevom in nočjo. Za dovolj močne potrese je dnevni nemir premajhen, da bi oviral njihovo detekcijo in zabeleženi potresi se obnašajo skladno z modelom. Za šibkejšje potrese pa velja, da bo več potresov zaznanih ponoči, kar pomeni, da bodo ustrezne smeri pogosteje zastopane in oddaljenost od izhodišča bo večja, kot bi jo pričakovali po modelu.

Preglednica 2. Primerjava preslikave pojavljanja potresov na gibanje v ravnini z modelom naključne hoje. V prvem stolpcu je najmanjša vrednost logaritma amplitude premika, za katero potres še obravnavamo v posamezni preslikavi. V drugem je število dogodkov z amplitudo A večjo od A_{MIN} . R je oddaljenost od izhodišča po N korakih za potrese, $\langle R \rangle$ pričakovana oddaljenost od izhodišča za naključno hojo in W verjetnost, da smo po N korakih naključne hoje dlje kot R od izhodišča. Ko spustimo mejo logaritma amplitude z 1,55 na 1,50, dodamo 158 potresom le 16 novih. Kljub majhnemu številu dodanih potresov se podobnost z naključno hojo za skoraj 10-krat zmanjša.

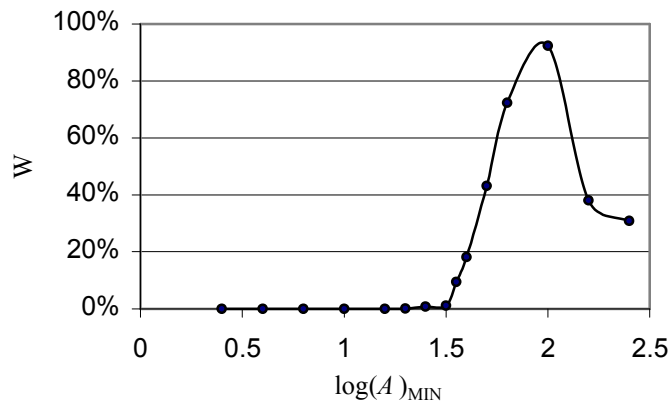
Table 2. Comparison of the mapping of the earthquake occurrence to the motion on the plane with the random walk model. In the first column the lowest logarithm of the displacement amplitude for which the event is retained in the mapping is shown. The second indicates the number of events with A greater than A_{MIN} . The distance from the origin after N steps is denoted by R , the expected distance from the origin by $\langle R \rangle$, and the probability that the distance from the origin is greater than R after N steps by W . When the logarithm of the smaller displacement amplitude is changed from 1.55 to 1.50, only 16 new events is added to the previous 158. Nevertheless, the similarity with the random walk model is reduced for almost a factor of 10.

$\log(A)_{\text{MIN}}$	N	R	$\langle R \rangle$	W
0.40	214	47.55	12.96	0.003%
0.60	213	46.98	12.93	0.003%
0.80	212	47.71	12.90	0.002%
1.00	211	46.79	12.87	0.003%
1.20	204	40.07	12.66	0.04%
1.30	197	35.95	12.44	0.14%
1.40	187	30.16	12.12	0.77%
1.50	174	28.09	11.69	1.07%
1.55	158	19.28	11.14	9.51%
1.60	149	15.96	10.82	18.1%
1.70	132	10.54	10.18	43.1%
1.80	118	6.19	9.63	72.3%
2.00	94	2.73	8.59	92.4%
2.20	66	7.99	7.20	38.0%
2.40	39	6.77	5.53	30.9%

Zdaj lahko preverimo hipotezo, da je opazovalnica na Veliki Štangi dovolj šibke potrese beležila pogosteje ponoči kot podnevi. Hipotezo preverjamo tako, da izračunamo, s kolikšno verjetnostjo bi izmerjena oddaljenost $R^{(N)}$ lahko bila rezultat naključne hoje, oziroma enakomerne porazdelitve pojavljanja potresov čez dan. Kot merilo za jakost potresa smo definirali količino $\log(A)$, skladnost časovne porazdelitve potresov z modelom naključne hoje pa izrazimo z verjetnostjo

$$W(R^{(N)} \geq k \langle R \rangle^{(N)}) = \int_{k \langle R \rangle^{(N)}}^{\infty} w(R) dR = e^{-\left(\frac{k^2 \pi}{4}\right)},$$

kjer oddaljenost od izhodišča $R^{(N)}$ izrazimo v enotah pričakovane oddaljenosti $\langle R \rangle^{(N)}$, $k = R^{(N)} / \langle R \rangle^{(N)}$. Odvisnost te verjetnosti od spodnje meje $\log(A)_{\text{MIN}}$ potresov, ki smo jih upoštevali pri preslikavi pojavljanja potresov na premikanje po ravnini, ima pri vrednosti $\log(A)_{\text{MIN}} = 1,5$ izrazito koleno (preglednica 2 in slika 4). Za potrese pod mejo 1,5 lahko z gotovostjo prek 98% trdimo, da so prek dneva beleženi neenakomerno. Preslikava časov nastanka potresov na gibanje po ravnini ima prevladujočo smer, ki ustreza sredini noči (slika 5 zgoraj in sredina), kot smo tudi pričakovali. Po drugi strani so potresi, za katere velja $\log(A) > 1,5$, enakomerno zabeleženi prek celega dneva, kar nam poleg statistike (preglednica 2) pokaže tudi ustrezno gibanje po ravnini (slika 5 spodaj).

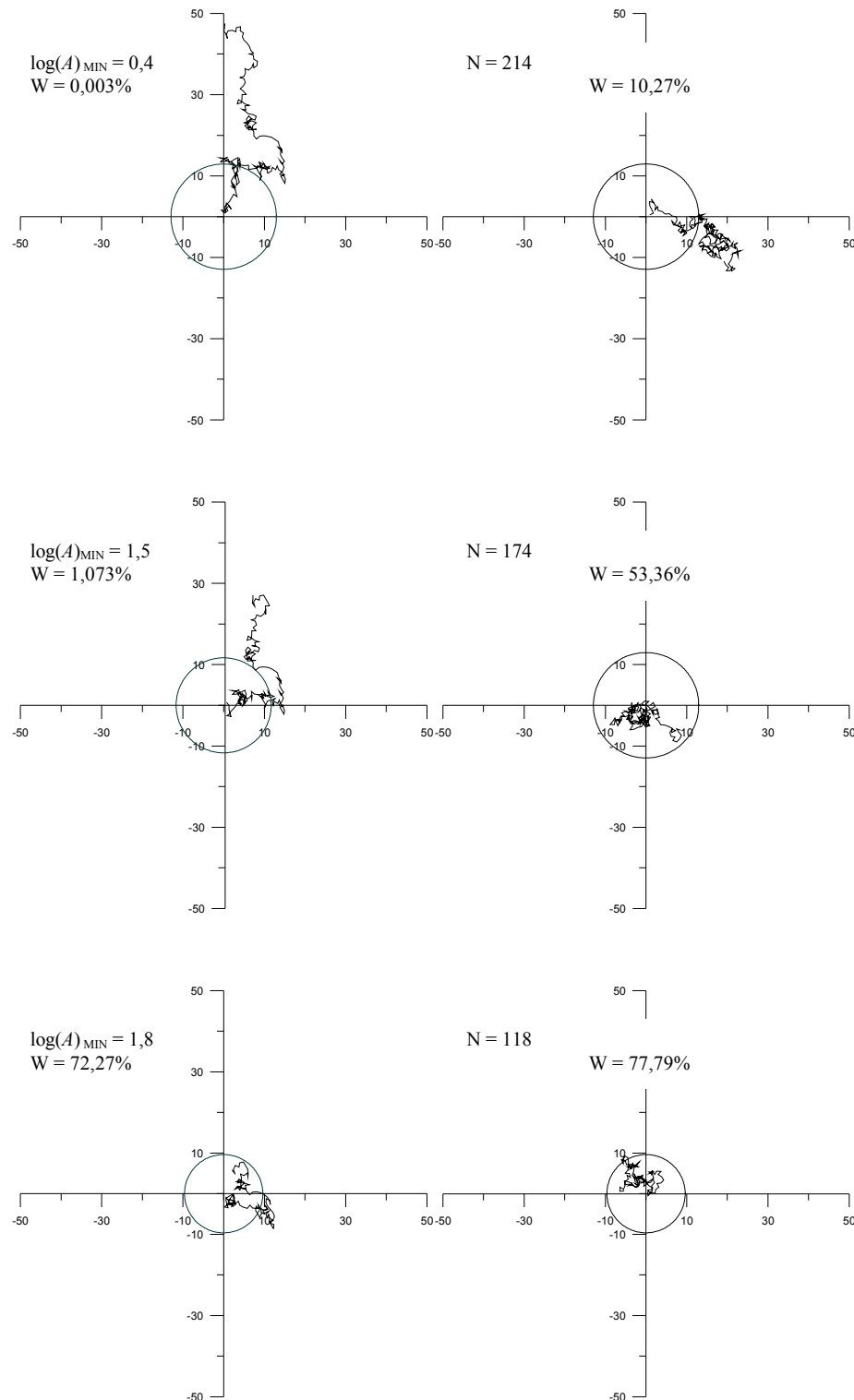


Slika 4. Verjetnost, da je izmerjena oddaljenost R od izhodišča posledica naključne hoje, v odvisnosti od meje logaritma amplitude največjega premika $\log(A)$. Jasno je razvidno, da do vključno meje $\log(A)_{\text{MIN}} = 1,5$ obnašanje potresov ni podobno naključni hoji.

Figure 4. The probability that the measured distance R from the origin is reached by random walk for different lower limits of the logarithm $\log(A)$. The behaviour of the occurrence of the earthquakes is not similar to the random walk up to the limit $\log(A)_{\text{MIN}} = 1.5$.

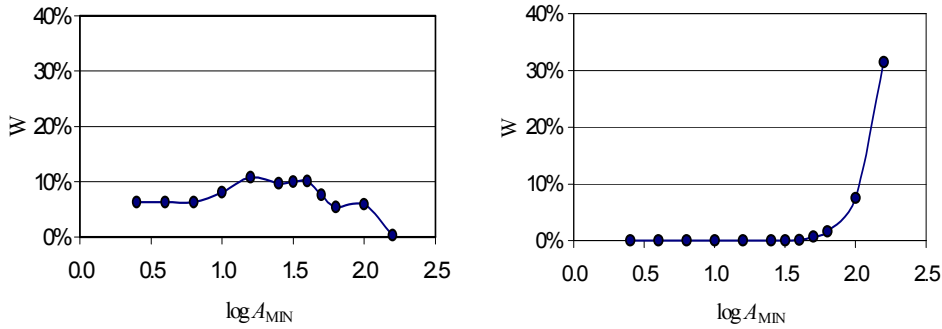
Za kontrolo vpliva količine in izbire podatkov smo naredili še dodatni test. Podatke o potresih smo z ohranjenim kronološkim zaporedjem razdelili na dva enaka dela in vsak del posebej obdelali z enako metodo, kot prej celotno množico podatkov. Če smo prej z metodo zajeli 214 potresov, smo sedaj obdelali ločeno dvakrat po 107 potresov. Pričakovali smo, da bomo za vsak del podatkov dobili rezultate, ki bodo podobni rezultatom dobljenim iz celotnega izbora. Izkazalo se je, da je za drugi del podatkov ta predpostavka držala (slika 6 desno), iz prvega dela podatkov pa smo dobili popolnoma drugačno sliko (slika 6 levo). Iz rezultatov za prvo polovico potresov lahko sklepamo, da smo potrese v tem času prek celega dneva beležili popolnoma naključno. To bi bila lahko posledica večjega šuma prek celega dneva, ki bi zakril razliko med dnevom in nočjo zaradi večjega dnevnega nemira (posledica človeške dejavnosti). Manjše razlike med rezultati celotnega izbora podatkov in rezultati posameznega dela podatkov so seveda tudi posledica slabše statistike zaradi manjšega števila uporabljenih podatkov**.

** Bolj primerljivi skupini podatkov bi dobili, če bi podatke razdelili kronološko, vendar mešano, vsak drugi potres v eno skupino, vsak prvi pa v drugo (hvala recenzentu Bojanu Uranu za predlog)



Slika 5. Nekaj primerov preslikave žariščnih časov na gibanje po ravnini (levo) in po ena od možnih simulacij naključne hoje z enakim številom korakov (desno). Krog označuje pričakovano vrednost oddaljenosti $\langle R \rangle^{(N)}$ od izhodišča. Dodani sta spodnja meja $\log(A)_{MIN}$ in verjetnost, da je oddaljenost po modelu naključne hoje večja od izmerjene.

Figure 5. Some examples of the mapping of the origin times to the motion on the plane (left) and one of the corresponding random walk simulations with equal number of steps (right). The circle indicates the expected distance $\langle R \rangle^{(N)}$ from the origin. The lower limit $\log(A)_{MIN}$ and the probability, that the random walked distance from the origin is larger than the measured one are added.



Slika 6. Verjetnost, da je izmerjena oddaljenost R od izhodišča posledica naključne hoje, v odvisnosti od meje logaritma amplitude največjega premika $\log(A)$. Za prvo polovico potresov (levo) je preslikava kvalitativno drugačna kot za drugo polovico (desno), ki ostaja podobna tisti na sliki 4.

Figure 6. The probability that the measured distance R from the origin is reached by random walk for different lower limits of the logarithm $\log(A)$. The first half (left) of the earthquakes behaves qualitatively different than the second half (right), which remains similar to the one, shown on figure 4.

Sklep

Pokazali smo, da lahko s primernim modelom in statistično obravnavo zelo natančno določimo mejo $\log(A)_{\text{MIN}}$, ki loči potrese na tiste močnejše, ki so bili na opazovalnici na Veliki Štangi zabeleženi enakomerno preko celega dne, in na šibkejše, ki so bili pogosteje zabeleženi ponoči. Morda je primerneje uporabiti *amplitudno* mejo, ker je tako definirana občutljivost manj odvisna od oddaljenosti potresa, ki strese tla pod opazovalnico. V primeru Velike Štange je ustrezna amplitudna meja približno 32 nm, kar po naši semiempirični formuli za $r = 7$ km in $t/T = 20$ ustreza $M_{\text{VSTG}} = 0,3$.

Predstavljeno metodo naključne hoje lahko uporabimo za analizo občutljivosti na katerikoli od naših stalnih opazovalnic, če le imamo dovolj zabeleženih potresov za zanesljivo statistiko. S tako analizo bi lahko ovrednotili kvaliteto posamezne opazovalnice za detekcijo potresnih valov in jo uporabili pri izbiri novih lokacij za potresne opazovalnice, ki jih načrtujemo v bližnji prihodnosti, vendar bi meritve na izbrani lokaciji morale potekati dovolj časa, da bi število zabeleženih potresov zagotovilo dovolj zanesljivo statistiko meritev.

Literatura

- Cecić, I., Živčić, M., Gosar, A., Jesenko, T., 1999. Potresi v Sloveniji leta 1998. V: Lapajne, J., Potresi v letu 1998, 11-48, Uprava RS za geofiziko, Ljubljana.
- Kuščer, I., Kodre, A., 1994. Matematika v fiziki in tehniki. Društvo matematikov, fizikov in astronomov Slovenije, 394 pp, Ljubljana.
- Michellini, A., Živčić, M., Suhadolc, P., 1998. Simultaneous inversion for velocity structure and hypocenters in Slovenia. *Journal of Seismology* 2, 257-265.
- Udias, A., 1999. Principles of seismology. Cambridge University Press, 475 pp, Cambridge.

DELO NARAVOSLOVCA ALBINA BELARJA V SEIZMOLOGIJI NATURAL SCIENTIST ALBIN BELAR AND HIS WORK IN SEISMOLOGY

Renato Vidrih¹, Matjaž Gostinčar¹, Peter Sinčič¹

***Izvleček.** Zanimanje za potresno dejavnost v Avstro-Ogrski monarhiji se je po ljubljanskem potresu 14. aprila 1895 močno povečalo. Potres je bil glavni razlog za odločitev dunajske Akademije znanosti in umetnosti, da se postavi prva potresna opazovalnica v Avstro-Ogrski monarhiji prav v popotresni Ljubljani. Delovati je začela 18. septembra 1897 pod vodstvom dr. Albina Belarja. Po zaprtju opazovalnice in zaplembi večine opreme po I. svetovni vojni, je leta 1921 Belar ustanovil v Podhomu (predel Vršce) v bližini Bleda privatno opazovalnico in jo poimenoval "Sir Humphry Davy". Njegova vsestranskost se je kazala v tem, da je instrumente izdeloval tudi sam. Belarjev seizmograf "Zlatorog" je prejel na mednarodni razstavi seizmoloških in meteoroloških instrumentov v Faenzi v Italiji prvo nagrado. Med letoma 1901 in 1910 je izdajal mesečnik "Die Erdbebenwarte", kar pomeni potresna opazovalnica. Članke so prispevali pomembni svetovni znanstveniki tistega časa.*

***Abstract.** Interest in seismic activity in Austro-Hungarian empire increased after April 14, 1895 Ljubljana earthquake. The earthquake was the main reason for the Science Academy in Vienna to decide to set up the first seismic station in after-quake city of Ljubljana. It began operating on 18 September 1897 under the direction of Dr A. Belar. After the abolition of the observatory and the confiscation of seismic equipment after I World War, in 1921 Belar founded a private seismic station "Sir Humphry Davy" in his villa near Bled. His versatility became evident when he not only improved already existing instruments, but also began to construct new seismographs. With the seismograph "Zlatorog" of his own construction he won the first prize at the exhibition of meteorological and seismological instruments in Faenza, Italy. The monthly magazine "Die Erdbebenwarte" (Seismic Observatory), which he published between 1901 and 1910, also ranks high among his great international successes.*

O Albinu Belarju

Rodil se je 21. februarja 1864 v Ljubljani, umrl pa 1. januarja 1939 v Polomu pri Kočevju. Diplomiral je na dunajski univerzi iz kemije in naravoslovnih ved, doktoriral pa iz fizike na graški univerzi. Do upokojitve leta 1918 je opravljal najrazličnejša dela. Bil je asistent na pomorski akademiji na Reki, profesor na višji realki v Ljubljani in deželni nadzornik za nemške šole na Kranjskem. Za nas je najpomembnejše, da je bil od leta 1897 zadolžen za potresno opazovalnico, ki je delovala do leta 1919. Ob pomoči nekaterih znanih evropskih seizmologov je opremil opazovalnico na zavidljivi ravni. 18. septembra 1897 je v kleti realke na Vegovi ulici začel z rednim obratovanjem seizmograf Vicentini z dvema horizontalnima komponentama. Belar je potresno opazovalnico izpopolnjeval in sam izdeloval različne seizmografe. Poleg lokalnih potresov je želel beležiti tudi oddaljene, zato je izdelal dolgoperiodni horizontalni seizmograf. Če naštejemo le nekaj njegovih najpomembnejših konstrukcij: vertikalno nihalo, enokomponentni vertikalni tremometer za merjenje lokalnih potresov, prototip prvega prenosnega seizmografa, dvokomponentni horizontalni seizmograf z utežjo mase 360 kg, vertikalni seizmograf in enokomponentni horizontalni seizmograf z maso 1000 kg. Kasneje je opazovalnico opremil še z drugimi instrumenti. Po nasvetu angleškega seizmologa J. Milnea je nabavil Ehlertovo trojno horizontalno nihalo z zapisom na

¹ Agencija RS za okolje, urad za seizmologijo, Dunajska 47, Ljubljana

fotografski papir. Ruski fizik, knez Goligin, mu je podaril enokomponentni elektrodinamični seizmograf z galvanometričnim optičnim zapisom. Opazovalnica je bila tako leta 1912 opremljena s 17 seizmografi s 25 komponentami, kar je bilo za tiste čase pravo bogastvo. Ker je imel težave s točnim časom, mu je ljubljanski izumitelj, baron Codelli, izdelal radijski sprejemnik za sprejem časovnih signalov. Leta 1919 so Belarja odpustili iz službe, večji del opreme pa preselili na Seizmološki zavod v Beograd. Po ukinitvi in zaplembi opreme je Belar v svoji vili v Podhому pri Bledu ustanovil privatno potresno opazovalnico z imenom "Sir Humphry Davy" (1921), ki je delovala do leta 1930.

Konec leta 1930 se je Belar umaknil na Kočevsko, kjer je umrl leta 1939. V zadnjih dneh svojega življenja je bil bolj znan po svetu, kot pa pri nas. Slovenska strokovna in znanstvena javnost se ga je spomnila mnogo prepozno. Ob postavitvi Belarjeve spominske plošče leta 1997, ob 100-letnici prve potresne opazovalnice na Slovenskem, ki hkrati opozarja na tega velikega moža, kot tudi na prvo potresno opazovalnico, smo se Slovenci spomnili, da dr. Belar ni bil le prvi slovenski seizmolog, pač pa je njegovo znanje segalo tudi na področja kemije, mineralogije, meteorologije in celo varstva narave. Že leta 1908 je Belar predlagal ustanovitev Triglavskega narodnega parka, ki je to postal šele leta 1924, v današnjem obsegu pa šele leta 1981.

Višja realka v Ljubljani

V Ljubljani je bila ustanovljena nižja realka leta 1852. Kmalu se je pokazala potreba po poglobljenem znanju tehničnih strok, ta ugotovitev pa je narekovala preobrazbo nižje realke v višjo. Ustanovljen je bil poseben odbor, ki je bil pooblaščen za ustanovitev in izgradnjo višje realke. Leta 1869 so kupili zemljišče na tedanji in sedanji Vegovi ulici. Dunajski arhitekt Aleksander Bellon je leta 1871 izdelal načrte. Še istega leta so pričeli z izgradnjo.



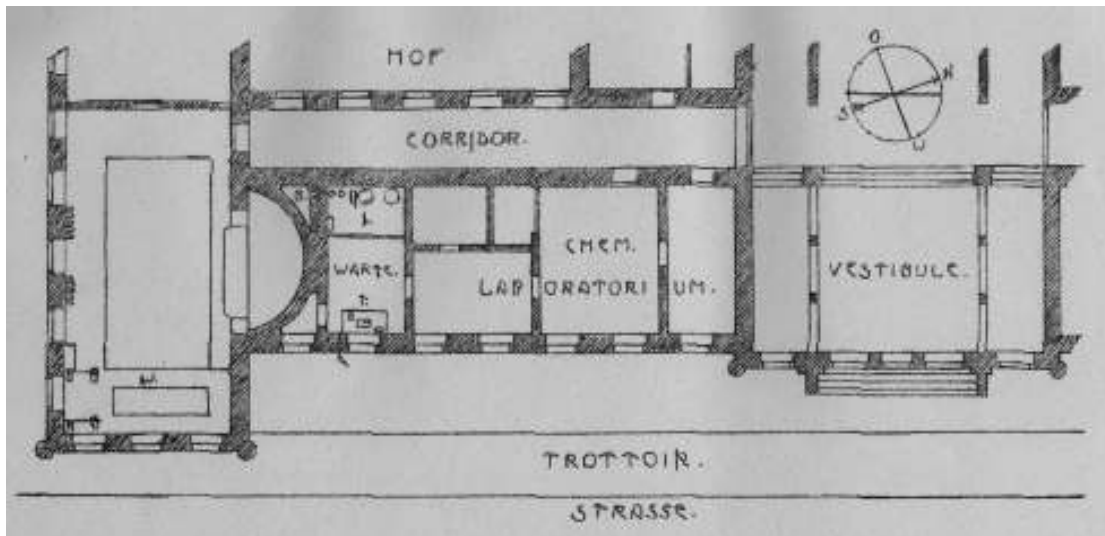
Slika 1. Višja realka v Ljubljani (Vegova ulica).

Figure 1. Secondary school in Ljubljana (Vega street).

Pouk se je začel 4. oktobra 1874, ta prelomni datum je obenem tudi ustanovni datum višje realke v Ljubljani. Njen dijak je bil tudi Albin Belar, kjer je leta 1883 maturiral. Trinajst let kasneje je na tej šoli zasedel mesto profesorja za kemijo in naravoslovje.

Dne 4. februarja 1897 je profesor Belar zaprosil direkcijo šole za postavitev potresne opazovalnice v prostorih višje realke.

Prostori potresne opazovalnice



Slika 2. Prostori potresne opazovalnice v Realki.
Figure 2. Premises of the Seismic Stations in Secondary School.

Pri postavitvi potresne opazovalnice na višji realki v Ljubljani so pomagali ravnateljstvo višje realke, Kranjska hranilnica ter tvrdki Tönnies in Samassa. Velikost in razpored prostorov je bil po Belarjevih zapiskih takšen:

Kletni prostori:

• 1. prostor za električne baterije	7,425 m ²
• 2. skladišče za opremo in rezervne dele	28,86 m ²
• 3. prostor za Belar-Luckmannove seizmografe	49,58 m ²
• 4. Rebeur-Ehlertova nihala	14,835 m ²
• 5. Golicynovo vodoravno nihalo z regulatorjem	30,00 m ²
• 6. soba za tehnično osebje	41,44 m ²
skupaj	172,14 m ²

Pritličje:

• 1. prostor za Vicentinijeva nihala	21,17 m ²
• 2. fotografska temnica	12,00 m ²
• 3. prostor z radijskim sprejemnikom in urami	21,84 m ²
• 4. delovna soba predstojnika	22,62 m ²
• 5. in 6. sobi za asistenta	31,50 m ²
• 7. soba za mehanika	20,50 m ²
skupaj	129,63 m ²

Nadgradnja kupole:

• 1. knjižnica, v kateri je bilo leta 1908 okoli 3000 inventarnih številok	50,43 m ²
• 2. dvorana za instrumente in eksperimentiranje	50,43 m ²
• 3. instrumentalna soba	16,00 m ²
skupaj	116,86 m ²

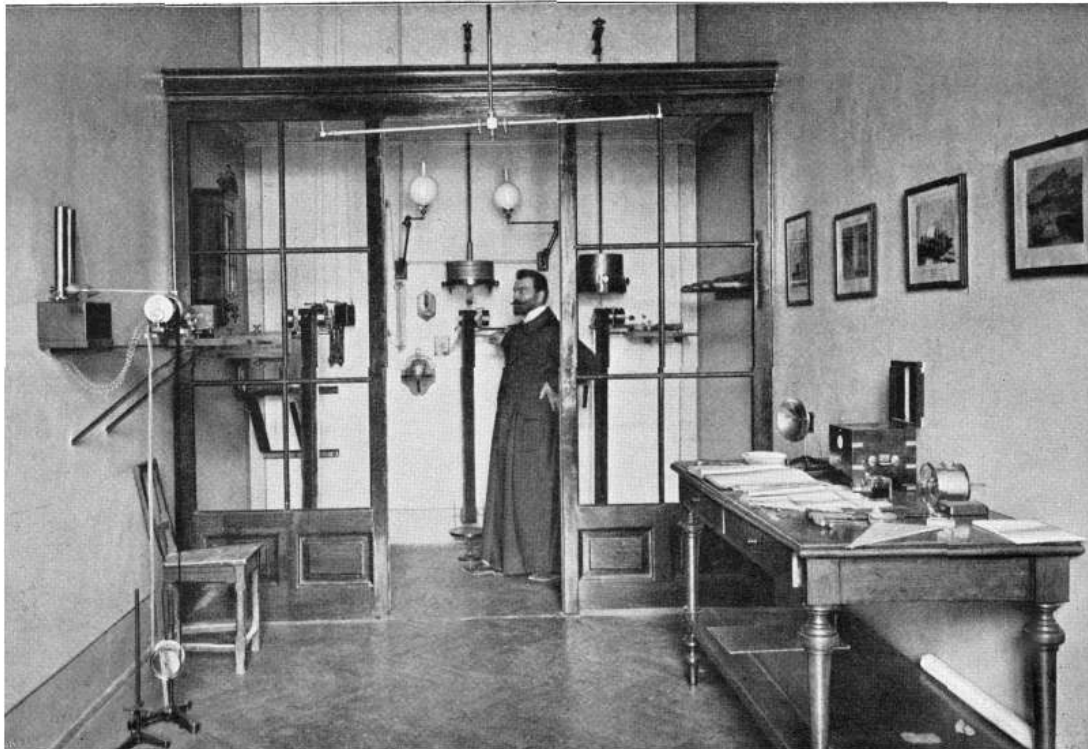
Leta 1913 je bila skupna površina seizmološke opazovalnice v Ljubljani 418,63 m².

Potresna opazovalnica na realki v Ljubljani

Potresna opazovalnica je začela delovati dve leti po ljubljanskem potresu (14. aprila 1895). Redne registracije z Vicentinijevim seizmografom so začele 18. septembra 1897. S tem je bila ljubljanska potresna opazovalnica prva v tedanji Avstro-ogrski monarhiji.

Ta datum pomeni za nas pričetek seizmologije v Sloveniji. To je dr. Albin Belar dokazoval s številnimi strokovnimi in znanstvenimi članki, še pomembnejša pa je bila ustanovitev prve seizmološke revije "Die Erdbebenwarte".

Koncem leta 1898 je imela seizmološka opazovalnica opremo, kot jo vidimo na sliki. Opremljena je bila s horizontalnimi nihali (seizmografi). V osrednjem delu vidimo poleg A. Belarja Vicentinijev seizmograf, ostali trije pa so bili po Belarjevih zasnovah in načrtih narejeni v ljubljanskih tvrdkah Tönnies in Samassa. Na mizi leži mornariški kronometer, ki je bil namenjen spremljanju časa. Za steklenim paravanom levo je vidna Boschova stenska ura.



*Slika 3. Albin Belar med instrumenti v potresni opazovalnici na realki.
Figure 3. Albin Belar in Seismic Station at the Secondary School.*

Vicentinijev mikrosezimograf

Vicentinijev instrument je bil mehanski seizmograf z zapisom na osajen papir, ki je začel redno beležiti potrese leta 1898. Dolžina nihala je bila 1,5 m, njegova masa je znašala 100 kg. Statična povečava instrumenta je bila 100 - kratna, lastna perioda se je gibala med 1 in 2 sekundama. Instrument je registriral dve komponenti, sever-jug in vzhod-zahod. Žal je bila hitrost registracije le 315,5 mm na uro.



*Slika 4. Ob Vicentinijevim mikrosezimografu
stoji A. Belar.*

*Figure 4. A. Belar by Vicentini Micro-
seismograph.*

Kronometer

Na mizi vidimo mornariški kronometer, ki je bil namenjen meritvi časa. Poleg tega je Belar uporabljal še Boschevo stensko uro. Za steklenim paravanom vidimo predelan Vicentinijev seizmograf, ki ga je Belar poimenoval Wellenmesser.



Slika 5. Kronometer.

Figure 5. Chronometer.

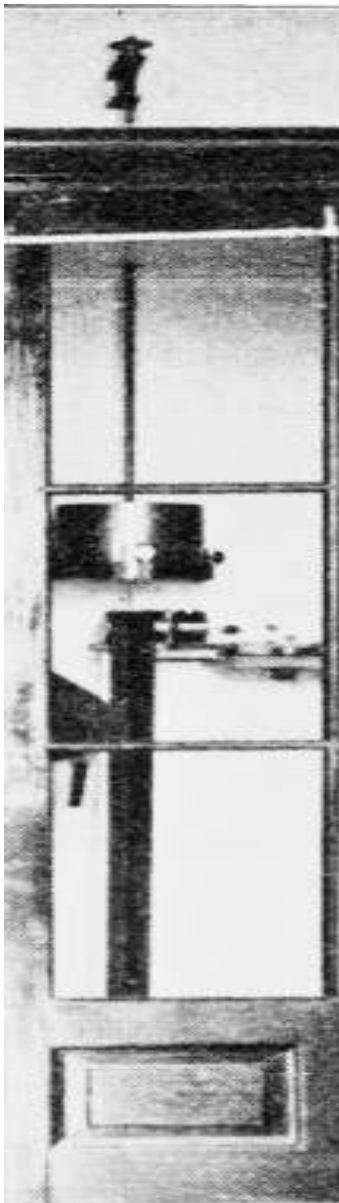
Seizmograf Wellenmesser

Pomanjkljivosti Vicentinijevega mikrosezimografa in poznavanje sposobnosti ljubljanske tvrdke Tönnies so Belarja vzpodbudile k izdelavi seizmografa po modificirani Vicentinijevi konstrukciji.

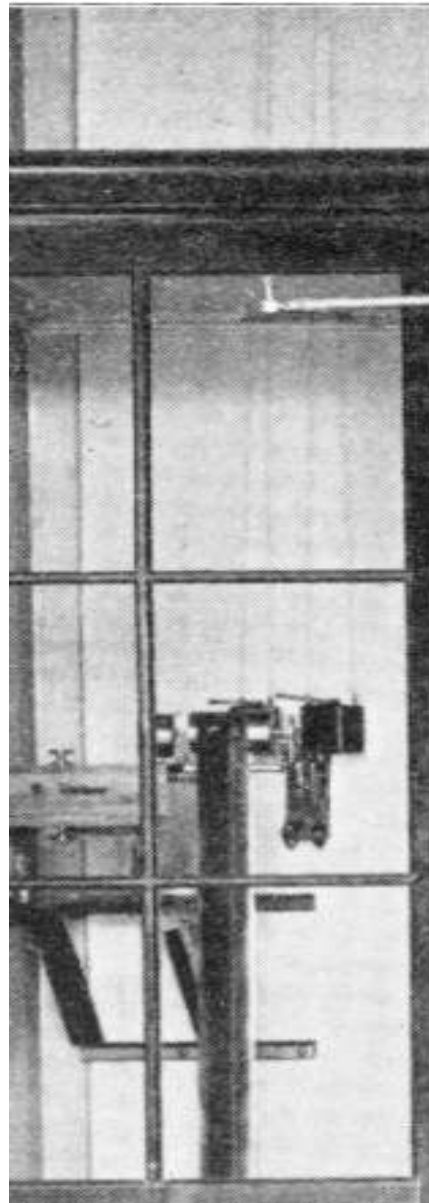
Statična povečava seizmografa je bila 10-kratna, njegova masa pa 100 kg. Instrument je imel le desetino občutljivosti starega Vicentinija, tako da pri močnih potresih ne bi prišlo do prekrmljenosti in s tem izpada registracije.

Nihalo je imelo obliko valja, izboljšano je bilo trenje v ležajih, vendar pa ni imelo amortizerjev. Zaradi naštetih lastnosti je 3-4 milimetrski odklon iz ravnovesne lege povzročil nihanje, ki se je umirilo šele po 20 minutah.

A. Belar je predelani seizmograf imenoval »Wellenmesser«. Delovati je začel v sredini januarja 1898.



*Slika 6. Seizmograf Wellenmesser (levo).
Figure 6. Seismograph »Wellenmesser« (left).*



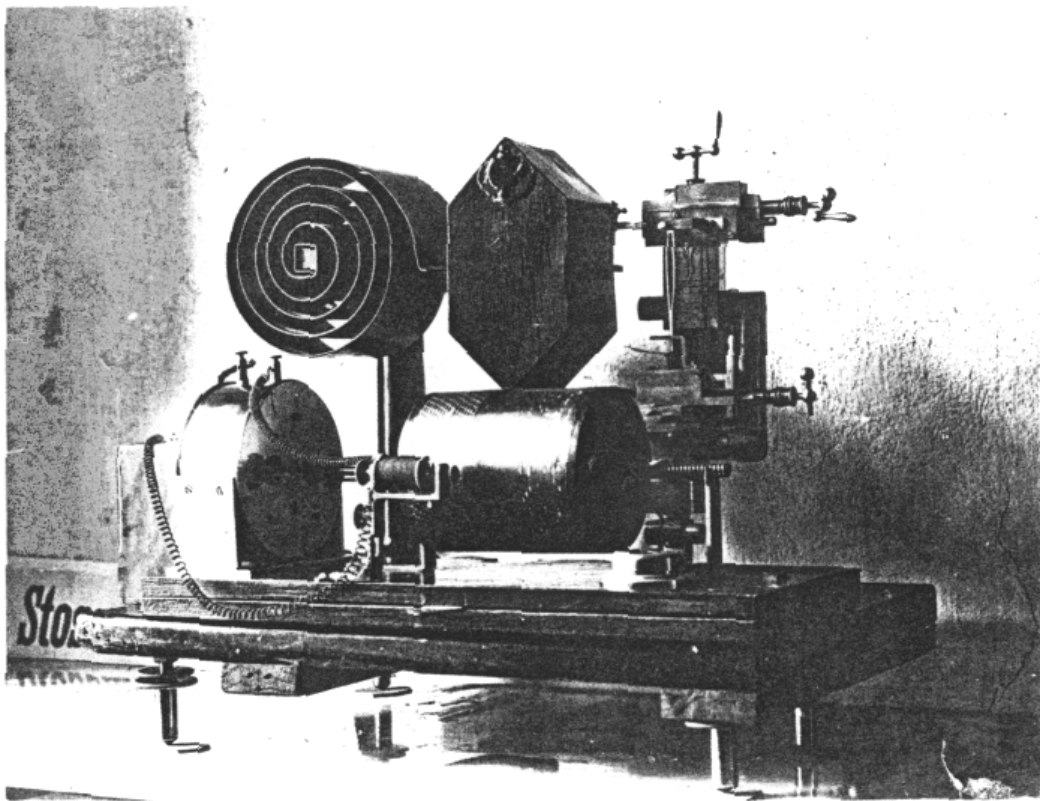
*Slika 7. Horizontalno dvojno nihalo (desno).
Figure 7. Horizontal Double Pendulum (right).*

Horizontalno dvojno nihalo

Pod strokovnim vodstvom A. Belarja je tvrdka Tönnies je izdelala modificirano dvojno horizontalno nihalo tipa Grablowitz. Nihalo mase 20 kg je imelo bifilarno obešenje na dveh žicah, od katerih je bila vsaka dolga 2 625 mm. Statična povečava seizmografa je bila 10 - kratna, njegova nihajna doba pa okoli 7 s. Seizmograf je sicer imel manjše trenje kakor Vicentinijev, vendar so se pokazale težave drugje. Premajhna masa nihala in premajhna hitrost registracije nista bili primerni za registracijo šibkih oddaljenih potresov. Tudi 10 - kratna povečava se je izkazala za nezadostno.

Prenosni potresomer

Mehanski seizmograf je zapisoval vertikalno gibanje na osajen papir. Statična povečava je bila 100 - kratna, lastna perioda 1 s, masa nihala pa 0,5 kg. Urne marke je zapisoval prek releja ob levi strani registrirnega bobna, ki je poganjal navijalni urni mehanizem. Zaradi tega je bila dolžina minutne marke neenakomerna. To je dodatno oteževalo lociranje potresov. Kljub temu je uspešno zabeležil dunajski potres leta 1908. Velikost potresomera je bila 24x12x15 cm.



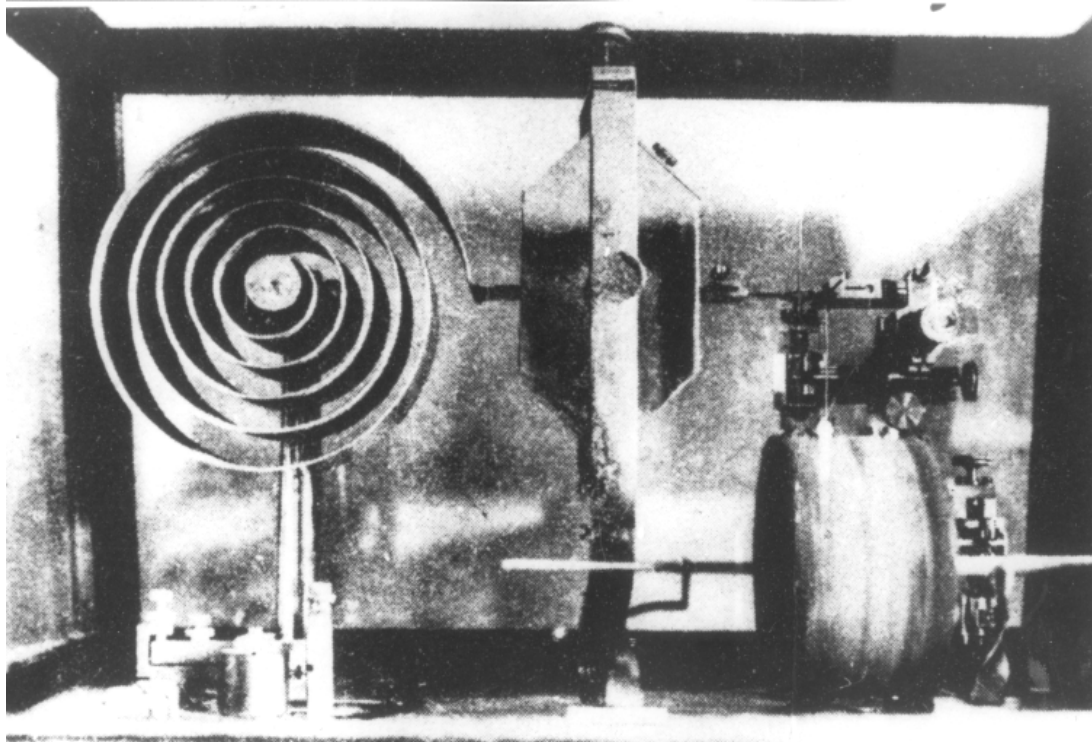
*Slika 8. Prenosni seizmograf.
Figure 8. Portable sismograph.*

Veliki tremormeter

Tremormeter je zasnoval A. Belar, izdelala pa ga je tvrdka Tönnies iz Ljubljane leta 1912. Tremormeter je bil enokomponentni mehanski instrument, ki je beležil vertikalno gibanje tal na osajen papir.

Statična povečava seizmografa je bila od 20 do 150 - kratna, njegova lastna perioda pa 1 s. Nihalo je imelo maso okoli 5 kg. Utež seizmografa je bila pritrjena na spiralni vzmeti. Premikanje uteži seizmografa so tog vzvodi prenesli na iglo, ki je te premike zapisovala na osajen papir.

Natančnost pri izdelavi je pripomogla, da je bilo trenje v ležajih pri togih vzvodih zmanjšano na minimum, s tem se je povečala kvaliteta zapisa. Velikost seizmografa je bila 60 x 40 x 40 cm.



*Slika 9. Veliki tremometer.
Figure 9. Large Tremometer.*

Mali potresomer

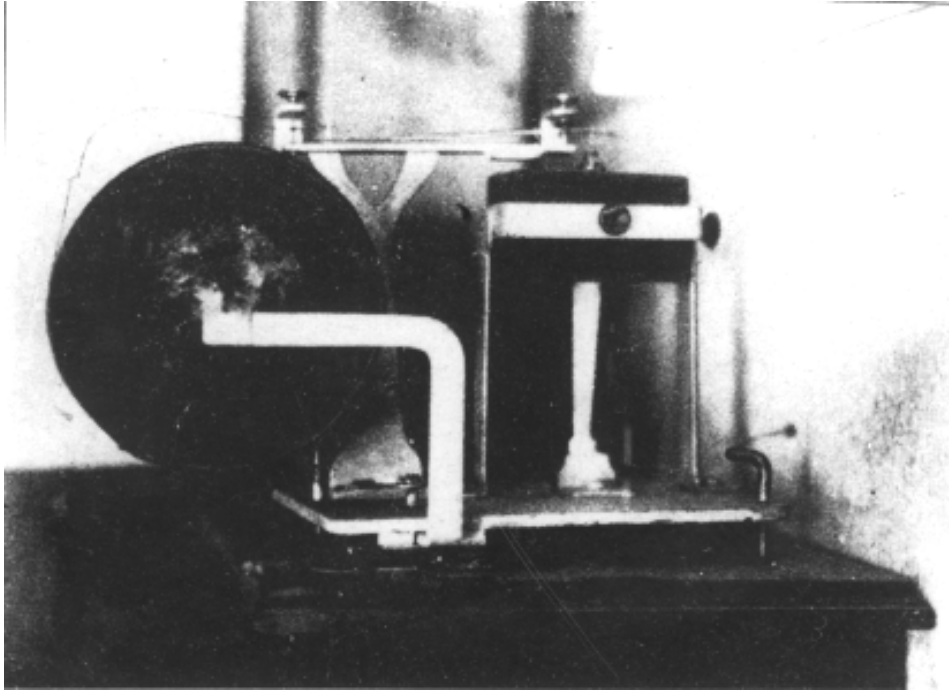
Mali potresomer je bil izdelan leta 1918 po predlogi A. Belarja. Mehanski seizmograf je imel horizontalno nihalo in zapis na osajen papir.

Statična povečava instrumenta je bila 100 - kratna. Seizmograf je imel astatično nihalo z maso okoli 1 kg. Pero in nihalo sta bila med seboj povezana preko togega vzvoda (na vrhu instrumenta).

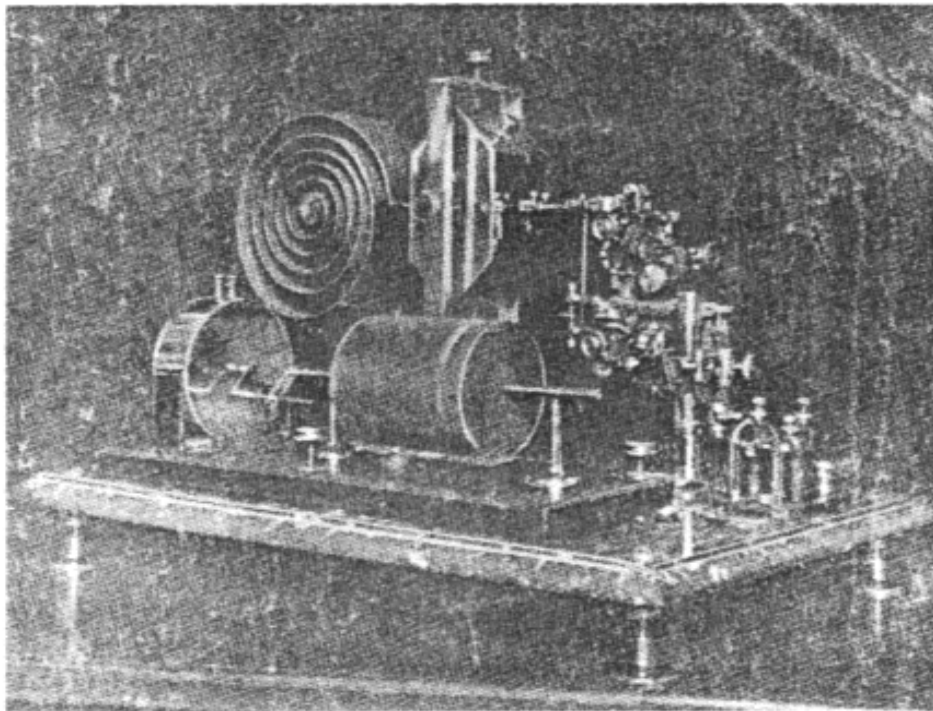
Velikost instrumenta je bila 17 x 27 x 27 cm.

Merilec vibracij

Mehanski enokomponentni vertikalni seizmograf – merilec vibracij Belarjeve konstrukcije je imel zapis na osajen papir. Statična povečava je od 20 do 150 - kratna, lastna perioda 1 s. Bil je kvalitetno izdelan, lahko bi rekli luksuzne izvedbe. Nameščen je bil na marmorni plošči. Vsi kovinski deli pa so bili umetelno izdelani in pokromani.



*Slika 10. Mali seizmograf.
Figure 10. Small Seismograph.*



*Slika 11. Merilec vibracij.
Figure 11. Tremometer.*

Privatni observatorij “Sir Humphry Davy”

Privatni observatorij “Sir Humphry Davy” je začel delovati v začetku leta 1921 na Vrščah (Podhom v bližini letovišča Bled) na nadmorski višini 600 m. Njegov ustanovitelj, lastnik in direktor je bil A. Belar. Observatorij je deloval do leta 1930. Hiše, ki jo je v začetku 20. stoletja zasnoval znani arhitekt prof. M. Fabiani, danes ni več. Nanjo pa spominja

obeležje. V tem observatoriju je večkrat gostoval tudi jugoslovanski kralj Aleksander, ki je prijateljeval z A. Belarjem.

*Sir Humphry Davy (1778-1829) je bil angleški kemik in fizik. Odkril je elektrolizo ter kemične elemente natrij, kalij, kalcij, stroncij, barij in magnezij. Iznašel je tudi rudarsko varnostno svetilko. Od 1820-1827 je bil predsednik Royal Society (Kraljeve akademije iz Londona).



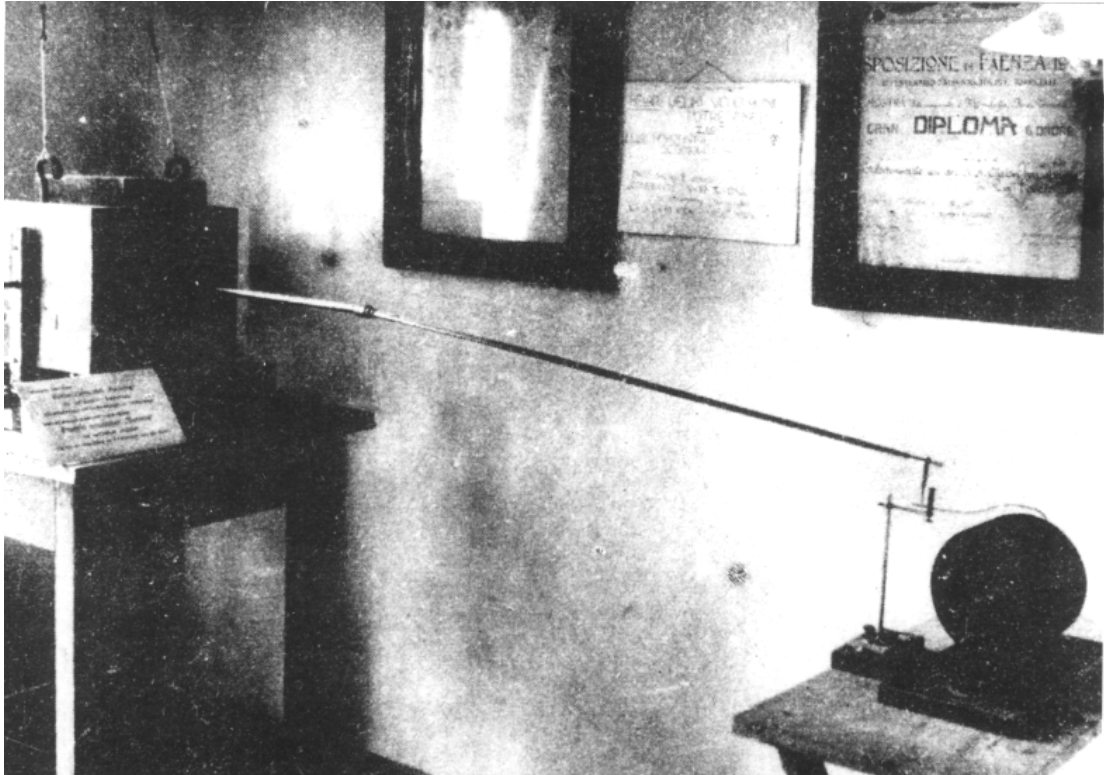
*Slika 12. Observatorij "Sir Humphry Davy" na Vrščah.
Figure 12. The "Sir Humphry Davy" private observatory at Vršče.*

Seizmograf "Zlatorog"

Zlatorog je bil dolgoperiodni enokomponentni horizontalni mehanski seizmograf, za katerega je A. Belar prejel na razstavi meteoroloških in seizmoloških aparatov leta 1909 v Faenzi veliko nagrado. Diploma je vidna na steni nad registrirnim bobnom. Statična povečava je bila od 150 do 300 – kratna. Odvisna je bila od dolžine togega vzvoda med nihalom in registrirnim bobnom ter od trdote vzmeti. Njegova lastna perioda je bila 2,4 s. Masa nihala je bila zavidljivih 360 kg.

Poleg ljubljanske, sta bila taka instrumenta postavljena tudi v beograjski potresni opazovalnici in v opazovalnici v češkem mestu Hebu. Slednji je deloval do leta 1968 predelan v optični zapis.

Slika kaže zapis potresa oddaljenosti 65 km od žarišča. Le to je bilo na območju Planine in Rakeka (JZ Slovenija). Potres je zapisal seizmograf Zlatorog, postavljen v privatnem observatoriju "Sir Humphry Davy*" v bližini Bleda. Zaradi nezmožnosti spremljanja točnega časa, pa tudi zaradi pomanjkanja denarja, je po letu 1928 deloval z velikimi težavami, končno pa se je ustavil leta 1930.



*Slika 13. Seizmograf "Zlatorog".
Figure 13. Seismograph "Zlatorog".*



*Slika 14. Zapis potresa na seizmografu "Zlatorog".
Figure 14. Recording from the "Zlatorog" seismograph.*

Belarjeve publikacije

Albin Belar je bil ustanovitelj in izdajatelj seizmološkega mesečnika »Die Erdbebenwart« (Potresomerna postaja). Prvi letnik je izšel leta 1901/1902. V prilogi so bila sporočila o potresih »Neueste Erdbeben-Nachrichten«.



Namen revije je bil širiti znanje o potresih in poročati o novejših izsledkih na tem področju. Belar je znanstvenim ustanovam sicer pošiljal mesečna poročila o registriranih in na terenu zapaženih potresnih pojavih, s širše zasnovano revijo »Erdbeben-warte« pa se je uvrstil v vrh tovrstne strokovne literature. Vedeti moramo, da takšne literature v tedanjem svetu ni bilo v izobilju. Izhajalo je le nekaj revij, ki pa so bile dostopne ozkim strokovnim krogom:

Tako je v Italiji je izhajal »Bolletino della Societa Sismologica Italiana« (od leta 1895). Italijani so do konca 1924 izdali 24 knjig, volumen 42 pa je izšel leta 1938.

Na Japonskem je od 1880 izhajala seizmološka revija »Transactions Japan Seismological Society«. Njen ustanovitelj je bil John Milne.

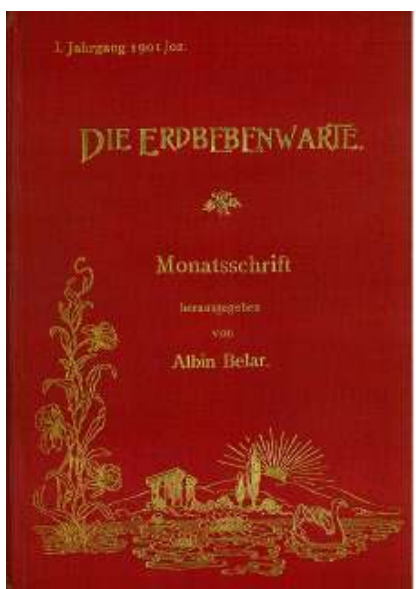


V Rusiji v Petrogradu so objavljali »Izvestja stalne seizmološke komisije pri Akademiji znanosti«. Tom 1. je izšel leta 1902.

V Nemčiji je izhajala revija s širšo geofizikalno vsebino: »Gerlands Beitrage zur Geophysik« (Vol. 1 - 1887).

V Združenih državah Amerike je seizmološka strokovna revija »Bulletin of the Seismological Society of America« začela izhajati šele leta 1911.

»Die Erdbebenwarte« tako lahko uvrstimo med najstarejše revije na področju seizmologije na svetu. Izhajala je žal le do leta 1910 (IX. JG.).



Med pomembnejšimi sodelavci »Die Erdbebenwarte« so bili geolog R. Hoernes iz Gradca, japonska seizmološka pionirja F. Omori in N. Yamasaki, Anglež John Milne, Nemci J. in A. Bosch, A. Sieberg, Italijani A. Cancani, G. Agamennone, P. R. Stiattessi in L. Palazzo, torej sama znamenita imena tistega obdobja seizmologije.

Za našo zgodovino potresov so poleg že omenjenega P. pl. Radicsa pomembni še prispevki J. Mihailoviča iz Beograda, A. Belarja in A. Achitscha. Podatki o potresni aktivnosti segajo še do leta 1909, leto kasneje pa je revija zaradi težkih gmotnih razmer prenehala izhajati.

Slika 15. Belarjeve publikacije.

Figure 15. Belar's Publications.

Mednarodno sodelovanje

Zaradi hitro razvijajoče se seizmologije se je A. Belar udeleževal raznih razstav in posvetov, kjer so razpravljali o tedanjih problemih poenotenja seizmoloških instrumentov in obdelave seizmoloških podatkov.

Posnetek je nastal na mednarodni seizmološki konferenci, ki je potekala med 11. in 13. aprilom 1901 v Strasbourgu.



*Slika 16. Belar med uglednimi svetovnimi seizmologi v Strasbourgu.
Figure 16. Belar among the famous seismologists in Strasbourg.*

Novi observatorij

Zanimanje za potrese je spodbudilo našega znanega arhitekta in urbanista Maksa Fabianija (1865 – 1962), da je v letu 1913 naredil osnutek za seizmološki observatorij, ki ga prikazuje slika. Fabiani je pri svojem bogatem ustvarjalnem delu že zgodaj začel opozarjati na probleme slabe gradnje. Leta 1899 je v poročilu “Regulacija deželnega stolnega mesta Ljubljane” napisal devet priporočil za izboljšanje gradnje.

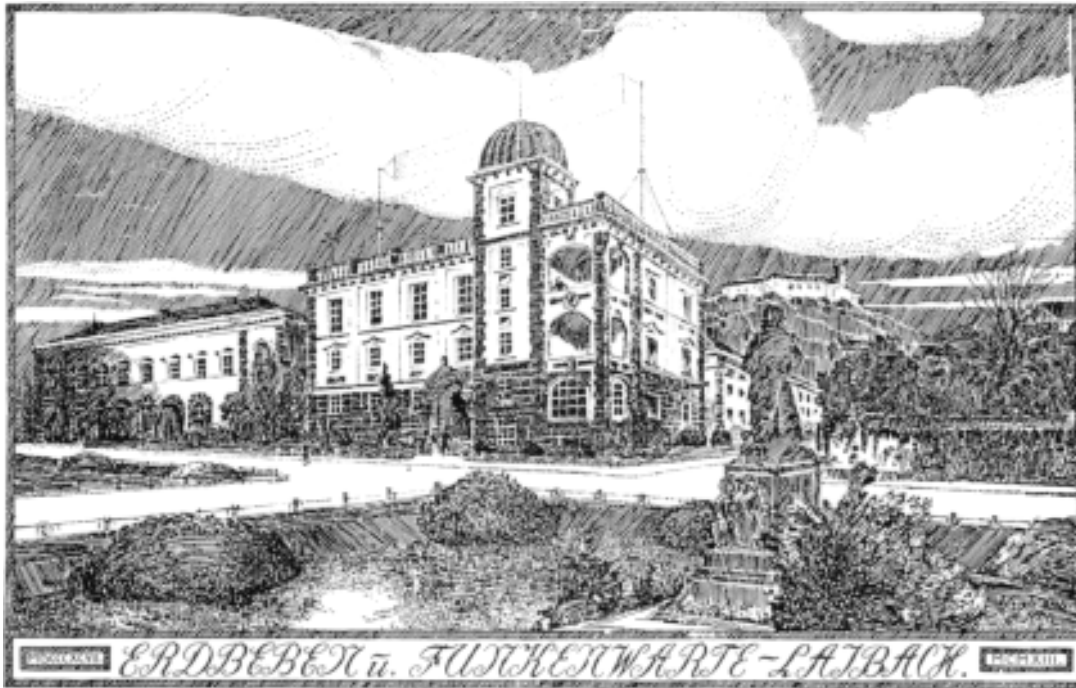
Na sliki je na levi strani spodaj vpisana letnica 1897 (MDCCCXCVII), ki pomeni začetek potresnih opazovanj v realki v Ljubljani.

Desno spodaj pa je vpisana letnica 1913 (MCMXIII), ki verjetno pomeni nastanek načrtov za potresni observatorij.

V objektu naj bi bile poleg potresne opazovalnice še radijska postaja ter meteorološka in astronomska opazovalnica.

Zaradi pomanjkanja denarja in bližajoče se I. svetovne vojne žal projekt ni bil uresničen.

Kljub temu, da so v Ljubljani že v začetku stoletja razmišljali o potresnem observatoriju, so ga začeli graditi šele leta 1955. S postavitvijo seizmografov leta 1958 je v Sloveniji začelo obdobje stalnega beleženja potresov.



Slika 17. Skica predvidenega novega observatorija.

Figure 17. Sketch of new observatory.

Literatura

- Belar, A. Die Erdbebenwarte, I – X, 1901-1910, Ljubljana.
- Belar, A., 1898. Erdbebenbeobachtung, Ljubljana.
- Kladnik, D., 1991. Ljubljanske metamorfoze, Luxuria, 218 str., Ljubljana.
- Lapajne, J., 1997. 100 let slovenske seizmologije, Gea 7, 6, Ljubljana.
- Ribarič, V., 1989. Albin Belar (1864 – 1939) in začetki slovenske seizmologije. Zbornik za zgodovino naravoslovja in tehnike, 10, 41-68, Ljubljana.
- Ribarič, V., 1994. Potresi v Sloveniji. Ob stoletnici velikega ljubljanskega potresa. Slovenska matica, 176 str., Ljubljana.
- Sinčič, P., Vidrih, R., 1998. Razvoj instrumentalne seizmologije v Sloveniji ob 100-letnici prve potresne opazovalnice v Sloveniji. Zbornik za zgodovino naravoslovja in tehnike, 13-14, 135-166, Ljubljana.
- Vidrih, R., Sinčič, P., 1997. Seismic Network in Slovenia. A Hundred Years of the First Seismic Observatory in Slovenia. The 29th General Assembly of the IASPEI, Abstracts 1775, Thessaloniki.
- Vidrih, R., Sinčič, P., Gostinčar, M., 1997. Seismic network in Slovenia. 100th Anniversary of the first Seismic Observatory in Slovenia, Geophysical Survey, 8 str., Ljubljana.
- Vidrih, R., Sinčič, P., 1997. Potresne opazovalnice v Sloveniji. Geološki zbornik 13, 119-130, Ljubljana.
- Vidrih, R., Gostinčar, M., 2000. Slovenian seismologist Albin belar and his work. The 27th General Assembly of the ESC, Abstracts WSB3-1-P, Lisbon.

MOČNEJŠI POTRESI PO SVETU LETA 1999 WORLD'S LARGEST EARTHQUAKES IN 1999

Griša Močnik¹, Renato Vidrih¹

Izvleček. Letno zatrese Zemljo nekaj sto tisoč potresov, ki presegajo magnitudo $M = 2,0$ (Dolgoff, 1998) in katerih žarišča so razporejena predvsem na stikih večjih geotektonskih plošč. Potresno najdejavnejši območji sta cirkum pacifiški in sredozemsko-himalajski pas. Prav ta 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 številne žrtve. Med 76 potresi v letu 1999, ki so dosegli ali presegli navorno magnitudo $M_w \geq 6,5$ oz. povzročili večjo gmotno škodo in zahtevali človeška življenja, smo natančneje opisali 23 potresov (vse, ki so zahtevali življenja). Potres z največ smrtnimi žrtvami je bil v Turčiji 17. avgusta 1999. V njem je po zadnjih podatkih umrlo 17.840 ljudi. Potres z največ sproščene energije je nastal 20. septembra na Tajvanu (zahteval je okoli 2.100 življenj). Imel je navorno magnitudo $M_w = 7,7$. Najgloblji potres je bil 8. aprila na meji Rusije in severnovzhodne Kitajske z žariščem v globini okoli 570 km. Leta 1999 je po uradnih podatkih po svetu zaradi potresov umrlo skoraj 25 000 ljudi, če pa prištejemo še vse pogrešane, je bilo žrtev potresov več kot 40 000.

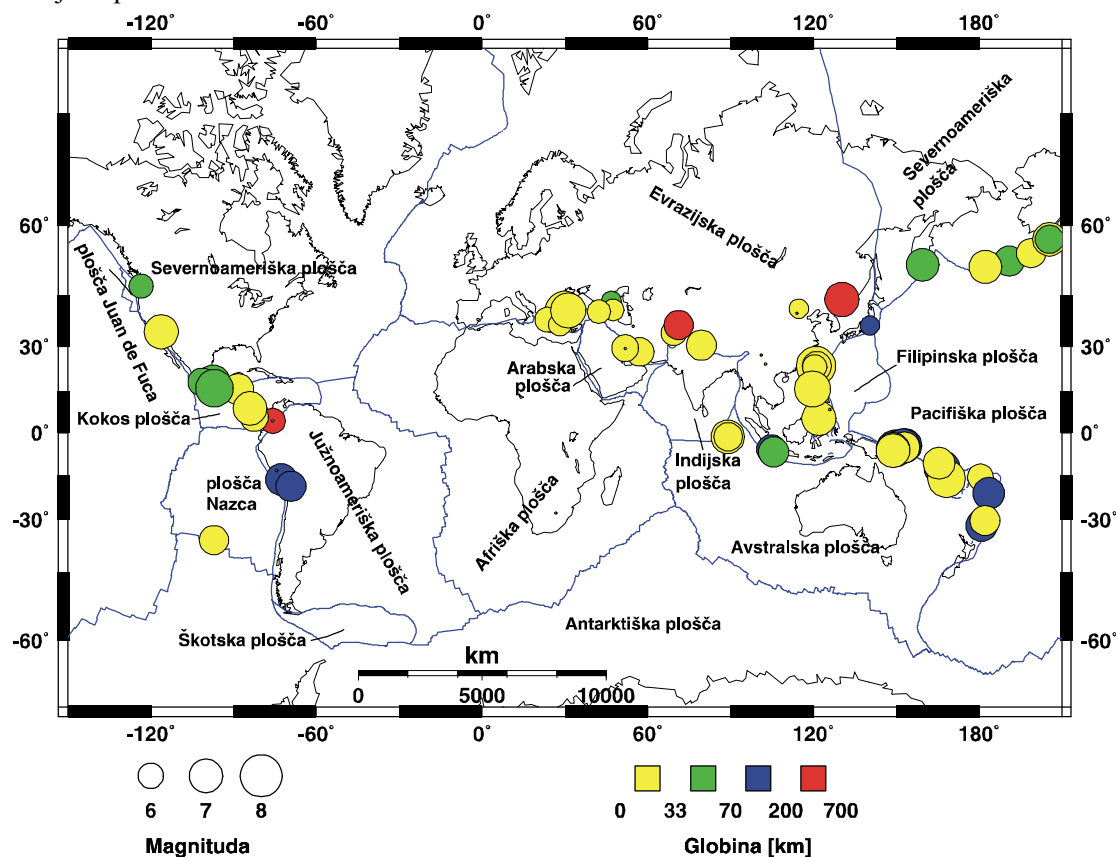
Abstract. Every year the Earth is shaken by several hundred thousand earthquakes with magnitudes over 2.0 (Dolgoff, 1998), mostly originating at the geotectonic plate boundaries. Two well-defined seismic belts, the circum-Pacific and the Mediterranean-Himalayan belts, are subject to the most frequent 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. In 1999 there were 76 earthquakes that either reached a moment magnitude of $M_w \geq 6.5$ or more, caused major material damage, or claimed human lives; 23 of them are mentioned in the text. The most devastating earthquake in 1999 occurred on 17 August in Turkey, where 17840 people were killed according to the latest official reports. The 20 September, Taiwan earthquake ranks first in terms of released energy, with a moment magnitude of $M_w = 7.7$ (2100 people were killed). The deepest earthquake occurred on 8 April on the Russia – northeast China border, with the hypocentre approximately 570 km below the surface. In 1999, earthquakes claimed almost 25 000 human lives (official toll). If we include all the missing in this number the toll rises to more than 40 000.

Potresi in tektonika plošč

Zemljina litosfera je sestavljena iz nekaj večjih in več manjših tektonskih plošč. Najpomembnejše plošče so Pacifiška (Tihooceanska), Severno- in Južnoameriška, Evrazijska, Afriška, Avstralska in Antarktična. Za svetovno potresno dejavnost pa niso nič manj pomembne številne manjše plošče. Tektonske plošče so v stalnem, sicer počasnem gibanju. Med seboj se lahko primikajo – primične ali konvergentne meje, razmikajo – razmične ali divergentne meje, lahko pa druga ob drugi drsijo – strižne meje plošč. Severnoameriška in Južnoameriška plošča se oddaljujeta od Evrazijske in Afriške plošče. Loči ju razmična meja, ki se kaže v srednjeatlantskem grebenu, za katerega je značilna povečana potresna dejavnost. Na nasprotni strani pa Evrazijska plošča tišči v Severnoameriško in drsi prek Filipinske, pod katero se podriva Pacifiška plošča. Ta se podriva pod več manjših plošč, ki ležijo med Severnoameriško in Filipinsko ploščo. Tu je podrivanje najhitrejše na Zemlji in znaša več kot 100 mm/leto. Na območju Kalifornije drsita Pacifiška in Severnoameriška plošča druga ob

¹ Agencija RS za okolje, urad za seizmologijo, Dunajska 47, Ljubljana

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



Slika 1. Porazdelitev najmočnejših potresov leta 1999 na Zemlji, njihove globine in magnitude; velikost krožcev kaže potresno magnitudo, barva pa žariščno globino (2).

Narisane so tudi glavne tektonske plošče.

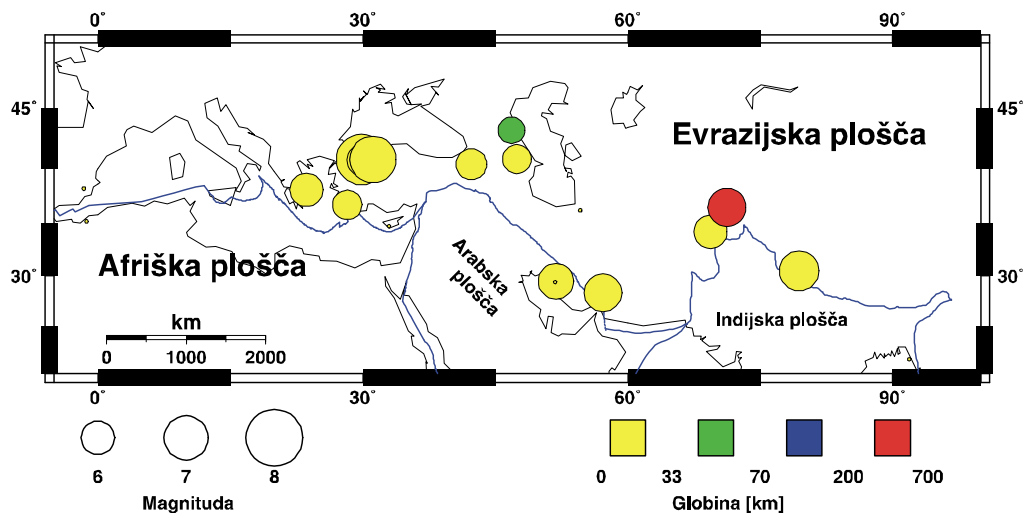
Figure 1. Distribution of the most powerful earthquakes in 1999, their depths and magnitudes. The size of the circle indicates the magnitude and the colour designates the focal depth (2). Main tectonic plates are also shown.

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 1999 so medsebojna premikanja omenjenih plošč povzročila veliko potresov na celotnem območju od Sredozemskega morja do Tihega oceana. Slika 1 jasno kaže povezanost tektonike plošč s potresno dejavnostjo, saj so vsi močnejši potresi nastali na stikih tektonskih plošč. Narisani so le najmočnejši svetovni potresi. Če bi izrisali nadžarišča (epicentre) vseh potresov, bi še bolje videli, da potresi nastajajo na mejah med posameznimi ploščami. Pravzaprav je prav porazdelitev potresov razkrila meje oz. stičišča med ploščami.

Pregled najmočnejših potresov

V preglednici 1 so podatki o najmočnejših potresih v lanskem letu (NEIC, 1999, URSG, 1999). Našteti so le tisti, ki so dosegli ali presegli navorno magnitudo $M_w \geq 6,5$, in tisti, ki so

povzročili večjo ali 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 (body wave magnitude) je določena iz največjega odklona na zapisu navpične komponente prostorninskega valovanja v prvih 20 sekundah po prihodu vzdolžnega prostorninskega valovanja. Magnituda M_s (surface wave magnitude) je določena iz navpične komponente dolgoperiodnega površinskega valovanja. To se razvije pri potresih, katerih žarišče ni 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, preglednico pa končujemo z imenom širšega nadžariščnega območja potresa - svet je razdeljen na 729 Flinn – Engdahlovih geometrijskih območij.



Slika 2. Porazdelitev najmočnejših potresov leta 1999 v sredozemsko-himalajskem potresnem pasu, ki je za obtihomorskim drugo najdejavnejše potresno območje na Zemlji.

Figure 2. Distribution of the most powerful earthquakes in 1999 in the Mediterranean-Himalayan belt, which is, after the circum-Pacific belt, subject to the most frequent earthquake shocks.

Preglednica 1. Seznam potresov leta 1999, katerih navorna magnituda (M_w) je bila enaka ali večja od 6,5; dodani so potresi, katerih magnituda je sicer manjša, a so povzročili večjo gmotno škodo, ranjene ali smrtne žrtve; z zvezdico so zaznamovani potresi, ki so opisani v besedilu (NEIC, URSG, 1999).

Table 1. List of earthquakes in 1998 with moment magnitudes M_w of 6.5 or larger. Earthquakes with magnitudes below 6.5 which caused material damage, injuries or victims are included. The earthquakes described in the text are marked with an asterisk (NEIC, URSG, 1999).

datum	čas (UTC)	koordinati		magnituda			globina	območje
	ura min sek	širina	dolžina	Mb	Ms	Mw	km	
date	time (UTC)	coordinates		magnitude			depth	area
	hour min sec	lat	lon	Mb	Ms	Mw	km	
02. 1.	17:55:08,0	27,277 N	101,050 E	4,5			41	Sečuan, Kitajska
19. 1.	03:35:33,8	4,596 S	153,235 E	5,8	6,4	7,0	114	Nova Irska, Papua Nova Gvineja
25. 1.	18:19:16,8	4,461 N	75,724 W	5,9	5,7	6,0	17	Kolumbija *
28. 1.	08:10:05,4	52,886 N	169,123 W	6,3	6,1	6,6	67	Foxovi otoki, Aleuti
30. 1.	12:24:25,0	4,511 N	75,890 W	4,0			10	Kolumbija
02. 2.	13:45:16,8	38,193 N	1,566 W	4,8			10	Španija
06. 2.	21:47:59,4	12,853 S	166,697 E	6,3	7,3	7,3	90	otočje Santa Cruz
11. 2.	14:08:51,6	34,259 N	69,364 E	5,4	5,8	6,0	33	Afganistan*
21. 2.	18:14:37,9	43,214 N	46,825 E	5,1		5,3	65	vzhodni Kavkaz*
04. 3.	05:38:26,5	28,343 N	57,193 E	6,2	6,5	6,4	33	južni Iran*
04. 3.	08:52:01,9	5,397 N	121,937 E	6,4	6,5	7,1	33	Celebeško morje
07. 3.	20:35:44,1	15,766 S	179,526 W	5,4	6,1	6,1	33	otočje Fidži
08. 3.	12:25:48,9	52,056 N	159,520 E	5,7		6,9	57	blizu obale vzhodne Kamčatke
11. 3.	13:18:09,3	41,131 N	114,658 E	5,1	5,2	5,1	33	severnovzhodna Kitajska
20. 3.	10:47:45,9	51,587 N	177,668 W	6,3	6,8	6,9	33	otočje Andreanov, Aleuti
25. 3.	23:31:11,4	36,397 N	140,469 E	4,9		5,2	83	blizu vzhodne obale Honšuja, Japonska
28. 3.	19:05:11,0	30,512 N	79,403 E	6,4	6,6	6,6	15	meja Xizang – Indija*
31. 3.	05:54:42,1	5,827 N	82,616 W	5,9	6,1	6,4	10	južno od Paname
03. 4.	06:17:18,3	16,660 S	72,662 W	6,1	6,2	6,8	87	blizu obala Peruja*
05. 4.	11:08:04,0	5,591 S	149,568 E	6,2	7,0	7,4	150	Nova Britanija, Papua Nova Gvineja
08. 4.	13:10:34,0	43,607 N	130,350 E	6,4		7,1	566	meja Rusija severnovzh. Kitajska
13. 4.	10:38:48,4	21,422 S	176,460 W	6,4		6,8	164	otočje Fidži
20. 4.	19:04:08,3	31,888 S	179,040 W	6,2		6,8	96	otočje Kermadec
22. 4.	22:19:36,9	27,953 S	26,635 E	5,7	4,7		5	Južnoafriška republika*
06. 5.	23:00:53,1	29,501 N	51,880 E	5,9	6,3	6,2	33	južni Iran*
10. 5.	20:33:02,0	5,159 S	150,880 E	6,5	6,8	7,1	138	Nova Britanija, Papua Nova Gvineja
16. 5.	00:51:20,4	4,751 S	152,486 E	6,0	7,0	7,1	74	Nova Britanija, Papua Nova Gvineja
17. 5.	10:07:56,4	5,165 S	152,877 E	5,5	6,9	6,7	27	Nova Britanija, Papua Nova Gvineja
04. 6.	09:12:50,0	40,802 N	47,448 E	5,4	5,0	5,5	33	vzhodni Kavkaz

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	
07. 6.	07:45:49,0	8,586 N	125,854 E	5,2	5,4		33	Mindanao, Filipini
15. 6.	20:42:05,9	18,386 N	97,436 W	6,4	6,5	7,0	70	centralna Mehika*
21. 6.	17:43:04,5	18,324 N	101,539 W	6,0	5,8	6,3	69	Guerrero, Mehika
03. 7.	01:43:54,0	47,076 N	123,463 W	5,4	5,5	5,9	41	Washington, ZDA
11. 7.	14:14:16,5	15,782 N	88,330 W	6,0	6,6	6,7	10	Honduras*
22. 7.	10:42:11,7	21,544 N	91,895 E	5,2	4,2		10	Bengalski zaliv*
01. 8.	08:39:04,9	30,367 S	177,832 W	5,7	6,4	6,6	10	otočje Kermadec, Nova Zelandija
10. 8.	19:33:59,8	36,245 N	54,645 E	4,5	4,3		33	severni Iran*
11. 8.	04:27:55,3	34,791 N	32,939 E	5,1	5,4		33	Ciper
14. 8.	00:16:52,2	5,885 S	104,711 E	6,0	5,7	6,5	101	južna Sumatra, Indonezija
17. 8.	00:01:39,1	40,748 N	29,864 E	6,3	7,8	7,6	17	Turčija*
20. 8.	10:02:21,1	9,044 N	84,159 W	6,1	6,9	7,0	20	Kostarika
22. 8.	12:40:45,9	16,117 S	168,039 E	6,3	6,2	6,5	33	otočje Vanuatu
31. 8.	08:10:49,5	40,711 N	29,949 E	5,2	4,9		10	Turčija
07. 9.	11:56:49,3	38,119 N	23,605 E	5,6	5,8	6,0	10	Grčija*
13. 9.	11:55:28,1	40,709 N	345,000 E	5,8	5,8	5,9	13	Turčija
20. 9.	17:47:18,4	23,772 N	120,982 E	6,5	7,7	7,7	21	Tajvan*
20. 9.	21:46:42,8	23,390 N	120,964 E	5,8	6,5		33	Tajvan
25. 9.	23:52:48,6	23,738 N	121,158 E	6,2	6,4	6,5	17	Tajvan
29. 9.	00:13:05,5	40,739 N	29,346 E	4,9	4,5		10	Turčija
30. 9.	16:31:15,6	16,059 N	96,931 W	6,5	7,5	7,5	61	Oaxaca, Mehika*
5. 10.	00:53:28,9	36,730 N	28,240 E	4,9	4,6	5,6	33	Dodekaneški otoki
13. 10.	01:33:40,1	54,657 N	161,189 W	6,0	6,2	6,5	30	Aljaska
16. 10.	09:46:44,1	34,594 N	116,271 W	6,3	7,4	7,1	5	južna Kalifornija
22. 10.	02:18:58,5	23,445 N	120,506 E	5,7	5,6	5,9	33	Tajvan
31. 10.	13:27:42,4	13,64 S	74,43 W	4,4			62	centralni Peru

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	
31. 10.	15:09:39,8	29,413 N	51,807 E	5,0	4,9		33	južni Iran
1. 11.	13:25:16,5	39,899 N	113,983 E	5,1	5,3		10	severnovzhodna Kitajska
7. 11.	16:54:41,7	40,693 N	30,725 E	4,9	4,2		10	Turčija
8. 11.	16:45:43,0	36,522 N	71,240 E	6,2		6,5	228	meja Afganistan Tadžikistan
11. 11.	14:41:25,6	40,744 N	30,266 E	5,5	5,5	5,7	22	Turčija
12. 11.	16:57:19,5	40,758 N	31,161 E	6,3	7,5	7,2	10	Turčija*
15. 11.	05:42:43,2	1,339 S	88,976 E	6,3	6,9	7,0	10	južni Indijski ocean
17. 11.	03:27:42,0	5,978 S	148,820 E	5,9	7,0	7,0	48	Nova Britanija, Papua Nova Gvineja
19. 11.	13:56:46,6	6,375 S	148,808 E	6,0	7,0	7,0	33	Nova Britanija, Papua Nova Gvineja
24. 11.	16:40:21,2	24,407 N	102,644 E	4,7			33	Junan, Kitajska*
26. 11.	13:21:15,4	16,434 S	168,227 E	6,5	7,3	7,5	33	otočje Vanuatu*
29. 11.	03:46:30,2	1,291 S	89,059 E	5,9	6,5	6,4	10	južni Indijski ocean
30. 11.	04:01:53,1	18,925 S	69,207 W	6,2		6,6	128	severni Čile
3. 12.	17:06:54,5	40,341 N	42,307 E	5,4	5,5	5,8	14	Turčija*
6. 12.	23:12:30,0	57,455 N	154,566 W	6,5	6,7	7,0	33	otok Kodiak
7. 12.	00:19:50,1	57,417 N	154,477 W	6,5	6,0	6,4	44	otok Kodiak
10. 12.	18:38:29,3	36,287 S	97,177 W	5,7	6,2	6,5	10	zahodni Čile
11. 12.	18:03:36,5	15,776 N	119,767 E	6,5	7,1	7,3	33	Luzon, Filipini*
21. 12.	14:14:57,0	6,816 S	105,650 E	6,1		6,6	56	ožina Sunda*
22. 12.	17:36:56,0	35,232 N	1,277 W	5,5	5,5		10	severna Alžirija*
29. 12.	13:29:19,5	10,909 S	165,394 E	5,7	6,8	6,8	33	otočje Santa Cruz

V nadaljevanju so na kratko opisane posledice potresov (v preglednici so zaznamovani z zvezdico), ki so leta 1999 poleg večje gmotne škode zahtevali tudi smrtne žrtve (NEIC, 1999).

Potres 25. januarja (Kolumbija). Vsaj 1.185 ljudi je izgubilo življenje, 700 je bilo pogrešanih, 4.750 ranjenih in 250.000 ljudi je ostalo brez domov. Najhuje je bil prizadet kraj Armenia, kjer je umrlo 907 ljudi, okrog 60 % stavb pa je bilo uničenih. Podobne poškodbe so bile še v Calraci (60 % porušenih zgradb) in Pereiri (50 %). Zemeljski plazovi so prekinili

pomembnejše ceste. Škoda je nastala v okrožjih Caldas, Huila, Quindio, Risaralda, Tolima in Valle del Cauca.

Potres 11. februarja (Afganistan). Sedemdeset ljudi je izgubilo življenje, 500 je bilo ranjenih, vsaj 14.000 je ostalo brez domov, ko se je podrlo 7000 zgradb v provincah Lowgar in Vardak. Nekaj ljudi je bilo ranjenih v glavnem mestu Kabulu. Potres so čutili tudi v Islamabadu in Pešavarju v Pakistanu.

Potres 21. februarja (vzhodni Kavkaz). Vsaj ena oseba je izgubila življenje, 20 je bilo ranjenih in nekaj hiš močno poškodovanih v področju Kiziljurta v Dagestanu. Potres so čutili v Mahačkali in celem severnem Dagestanu.

Potres 4. marca (južni Iran). Ena oseba je izgubila življenje in vsaj 517 hiš je bilo poškodovanih v področju Kermana. Potres so čutili še v Baftu, Bamu, Rafsandžanu in Sirjanu (vse Iran) in celo v Dubaju (Združeni arabski emirati).

Potres 28. marca (meja Xizang – Indija). Vsaj 100 ljudi je izgubilo življenje in 394 bilo ranjenih v Indiji, na mejnem območju s Kitajsko. Več kot 21.000 hiš je bilo popolnoma uničenih. Zemeljski plazovi so prekinili več cest v nadžariščnem področju.

Potres 3. aprila (blizu obale Peruja). Ena oseba je izgubila življenje v okolici Camane, 50 ljudi pa je bilo ranjenih v okolici Arequipa. Potres so čutili po celi obali Peruja in na severu Čila. Sprožil je več zemeljskih plazov, ki so na štirih krajih zaprli čezameriško avtocesto.

Potres 22. aprila (Južnoafriška republika). Dva rudarja sta izgubila življenje v rudniku zlata. Poškodovano je bilo tudi nekaj zgradb v Welkomu.

Potres 6. maja (južni Iran). Vsaj 26 ljudi je umrlo, 100 pa jih je bilo ranjenih. Okoli 800 hiš je bilo uničenih v južnem delu province Fars. Potres so čutili v Širazu in Kazerunu.

Potres 15. junija (centralna Mehika). Potres je zahteval 20 žrtev, okoli 500 ljudi pa je bilo ranjenih v Puebli, Veracruzu in Oaxaci. Potres je poškodoval veliko hiš v Puebli, drugje pa je poškodoval mostove, ceste, železnico in sprožil zemeljske plazove. Čutili so ga v večini centralne in južne Mehike.

Potres 11. julija (Honduras). Potres je zahteval dve žrtvi in vsaj 40 ljudi je bilo ranjenih na vzhodni obali Gvatemale. Poleg 7 podrlih hiš in 41 poškodovanih je nastala večja škoda na avtocestah. Potres so čutili v večini Hondurasa, vzhodne Gvatemale, v Belizeju, El Salvadorju in južni Mehiki.

Potres 22. julija (Bengalski zaliv). Šest ljudi je umrlo, več kot 200 pa je bilo ranjenih na otoku Maheškali. Približno 700 hiš je bilo popolnoma uničenih ali poškodovanih.

Potres 10. avgusta (severni Iran). Kljub nizki magnitudi je med potresom umrla ena oseba, ena pa je bila poškodovana v Momenabadu.

Potres 17. avgusta (Turčija). To je bil najbolj uničujoč potres v letu 1999. V širši okolici Izmitskega zaliva na severozahodu Turčije je po uradnih podatkih 17.840 ljudi izgubilo življenje, 24.000 pa je bilo ranjenih. Približno 180.000 domov je bilo popolnoma uničenih ali poškodovanih tako, da jih je bilo treba porušiti. Tako je 600.000 ljudi ostalo brez domov predvsem v mestih Jalova, Gölcük, Izmit, Adapazari in Düzce. Škodo ocenjujejo na 16

milijard ameriških dolarjev, kar je 7 % turškega nacionalnega dohodka. Potres je nastal ob zmičnem (desnem) severnoanatolskem prelomu. Pretrg je bil dolg približno 120 km – med mestoma Karamursel in Goljaka – in se je širil od zahoda proti vzhodu v dveh časovno ločenih dogodkih. Močno tresenje tal je v nadžariškem področju trajalo 37 sekund. Največji izmerjeni zmik na prelomu je bil 4,86 metra. Potres so čutili celo do Ankare. Več o potresu lahko preberete v posebnem članku. Potresu so sledili mnogi močni popotresi, nekateri med njimi so zahtevali celo žrtve: 31. avgusta, 13. in 29. septembra, 7. in 11. novembra (NEIC, 1999, Vidrih, 1999, Vidrih in Godec, 2000).

Potres 7. septembra (Grčija). V potresu je umrlo 143 ljudi, 800 pa je bilo ranjenih. V Atenah in okolici je bilo uničenih ali poškodovanih 185.000 hiš, od tega je bilo 13.000 objektov popolnoma uničenih, tako da je brez doma ostalo več kot 100.000 ljudi. Potres so čutili v osrednji Grčiji in celo do Izmita (Turčija). Natančnejši opis potresa je v posebnem članku.

Potres 20. septembra (Tajvan). To je bil glede na sproščeno energijo najmočnejši potres leta 1999. Zahteval je vsaj 2.100 žrtev in več kot 9.000 ranjenih. Poškodoval je okoli 82.000 stanovanjskih hiš, tako da je brez domov ostalo 600.000 ljudi. Ocene škode se gibljejo okoli 14 milijard ameriških dolarjev. Potres so močno čutili po celem Tajvanu in v kitajskih provincah Fukien, Kvangtung, Hong Kong in Čekiang. Čutili so ga tudi na jugu otočja Rjukju. Več o potresu je napisano v posebnem članku. Potresu je sledilo veliko močnih popotresov, nekateri med njimi so zahtevali žrtve in povzročili uničujoče poškodbe, najmočnejši pa so bili 20. in 25. septembra in 22. oktobra (NEIC, 1999, Vidrih, 1999, Vidrih, 2000).

Potres 30. septembra (Oaxaca, Mehika). Večino od 34 žrtev je potres zahteval v zvezni državi Oaxaca. Ranjenih je bilo 160 ljudi, potres pa je sprožil tudi nekaj zemeljskih plazov in povzročil manjšo škodo v Ciudad de Mexicu. Potres so čutili v celi osrednji Mehiki.

Potres 12. novembra (Turčija). To je drugi najmočnejši turški potres, ki je nastal vzhodno od prvega na istem prelomu. Zahteval je 850 žrtev in 5.000 ranjenih, večino v mestih Bolu, Düzce in Kaynasli. Na tem območju je nastala tudi zelo velika škoda. Potres so čutili po celi zahodni Turčiji, na severu pa v Moldovi in južni Ukrajini.

Potres 24. novembra (Junan, Kitajska). V okolici Čengjanga je ena oseba izgubila življenje, 5 pa bilo ranjenih. Vsaj 90 hiš je bilo uničenih.

Potres 26. novembra (otočje Vanuatu). Vsaj 8 ljudi je izgubilo življenje in 100 bilo ranjenih v podrtih stavbah, zemeljskih plazovih in tsunamiju, ki ga je sprožil potres. Potres so čutili po vsem otočju Vanuatu, tsunami pa so opazili tudi na Fidžiju.

Potres 3. decembra (Turčija). Ta potres na vzhodu Turčije je zahteval eno žrtev, 6 ljudi pa je bilo ranjenih. Potres so čutili tudi na jugu Gruzije.

Potres 11. decembra (Luzon, Filipini). Na otoku Luzon je umrlo 5 ljudi, 40 pa je bilo ranjenih. Potres je povzročil poškodbe v Santa Cruzu in Manili.

Potres 21. decembra (ožina Sunda). Na zahodni Javi je bilo vsaj 5 žrtev in 220 ranjenih. Okrog 2800 hiš je bilo poškodovanih.

Potres 22. decembra (severna Alžirija). V okolici Temouchenta je potres zahteval vsaj 24 žrtev in 175 ranjenih. Potres so čutili na zahodni obali Alžirije in vzhodu Maroka.

Literatura

- Dolgoff, A., 1998. Physical Geology. Updated version. Houghton Mifflin co., 638 str. Boston-New York.
- NEIC, 1999. Significant Earthquakes of the World. US Department of the Interior. Geological Survey, National Earthquake Information Center.
- URSG, 1999. Preliminarni seizmološki bilten, 1999. Uprava Republike Slovenije za geofiziko, Ljubljana.
- Vidrih, R., 1999. Potres v Turčiji 17. avgusta 1999. Moč potresa ni bila presenetljiva, presenetila je le nekakovostna graditev. Delo, priloga Znanost, 25. avgust 1999, Ljubljana.
- Vidrih, R., 1999. "Sporočila" potresov v Turčiji in na Tajvanu. Račun za nekakovostno graditev je ob potresu izjemno visok. Delo, priloga Znanost, 6. oktober 1999, Ljubljana.
- Vidrih, R., Godec, M., 2000. Posledice turškega potresa. Življenje in tehnika LI, januar 2000, Tehniška založba Slovenije, 23-32, Ljubljana.
- Vidrih, R., 2000. Potres na Tajvanu in premiki ob potresih. Življenje in tehnika LI, maj 2000, Tehniška založba Slovenije, 21-30, Ljubljana.

POTRES 17. AVGUSTA 1999 V TURČIJI THE 17 AUGUST 1999 EARTHQUAKE IN TURKEY

Renato Vidrih¹, Matjaž Godec¹

Izvleček. Potres 17. avgusta 1999 zjutraj je bil v zahodnem delu Turčije na območju mesta Izmit (Kocaeli) ob vzhodni obali Marmornega morja. Močan potres, ki je zahteval kar 17 840 življenj je nastal ob 0. uri 1 minuta in 39,1 sekunde po svetovem času (UTC) ali tri ure kasneje po lokalnem času v globini okrog 17 km. Magnituda, ki je določena iz telesnih valov (M_b) je 6,3, magnituda določena iz trajanja potresa (M_d) je 6,7, momentna magnituda (M_w) 7,4, magnituda določena iz površinskih valov (M_s) pa celo 7,8. Zelo veliki rušilni učinki na površini so posledica sorazmerno plitvega žarišča potresa in slabih seizmogeoloških pogojev (NEIC, 1998, URSG, 1999).

Abstract. The earthquake in the morning of 17 August 1999 occurred in the western part of Turkey in the area of the city of Izmit (Kocaeli) at the eastern coast of the Sea of Marmara. The strong earthquake took 17 840 lives. It appeared at 0 h 1 min and 39.1 sec of UTC, i.e. three hours later according to the local time, at a depth of around 17 km. The body wave magnitude (M_b) was 6.3, the duration magnitude (M_d) was 6.7, the moment magnitude (M_w) was 7.4, while the surface wave magnitude was as high as 7.8 (M_s). The very large effects on the surface are the consequence of the relatively shallow hypocentre and unfavourable seismological conditions (NEIC, 1998, URSG, 1999).

Uvod

Turčija leži v potresno zelo dejavnem območju sredozemsko-transazijskega pasu, na katerega odpade več kot 20 odstotkov celotne letne potresne energije, ki se sprosti na našem planetu. Pas se na severozahodu razteza od otoških skupin ob afriški obali in poteka prek Sredozemlja do jugovzhodne Azije. Ozemlje Slovenije leži na obrobju tega pasu. Nastal je med Afriško geotektonsko ploščo na jugu in Evrazijsko na severu. Sestavlja ga več manjših plošč z velikostjo manjšo od $<10^6$ km². Od zahoda proti vzhodu si sledijo Jadranska, Mesinska, Jonska, Turško-egejska, Levantinska, plošča Van, Arabska, Kaspijska in Iranska. Tako večje kot tudi manjše plošče se gibljejo v različnih smereh. Med njimi lahko prihaja do podirvanja ali subdukcije, trkov ali kolizije, meje pa so lahko tudi strižne, če se dve plošči ali tektonska bloka premikata ob prelomu en ob drugem. Strižni je tudi Anatolski prelom, ob katerem je nastal obravnavani potres.

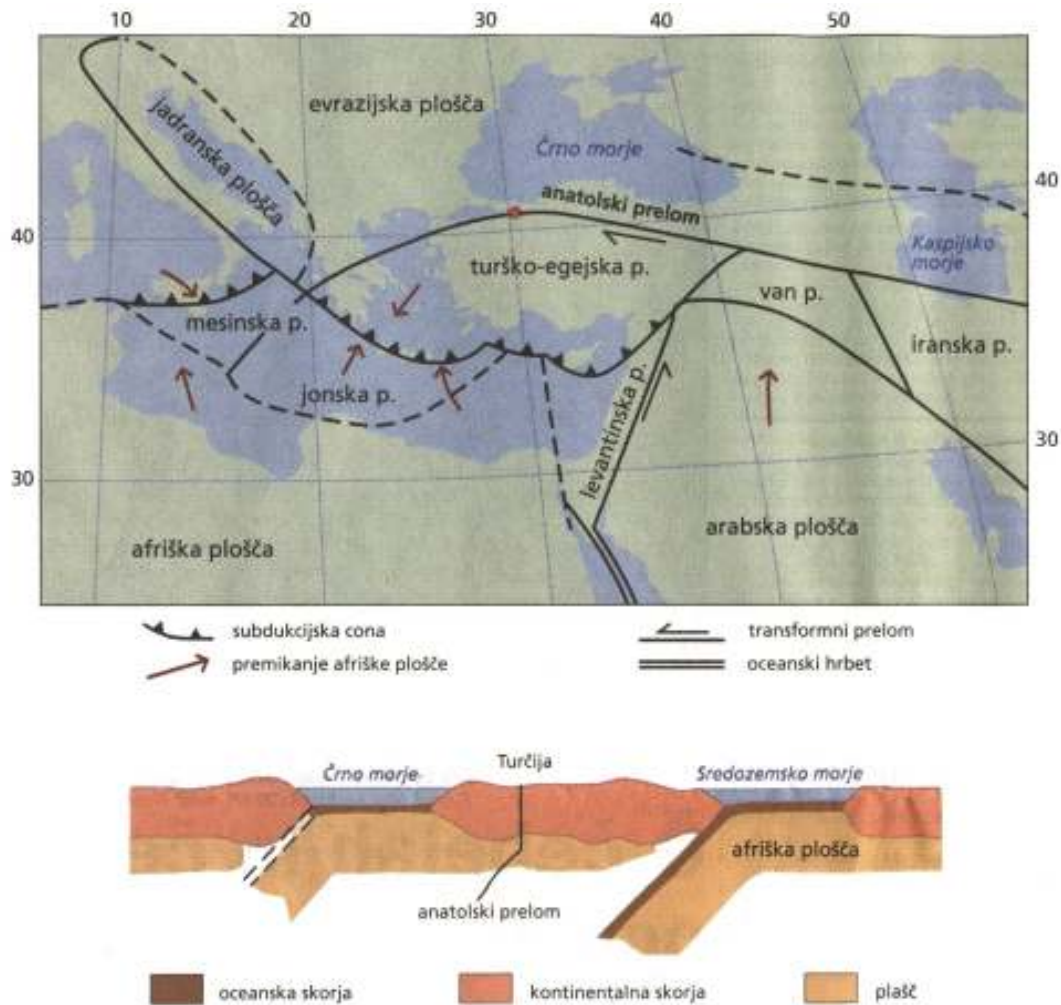
Na ozemlju Turčije je v zadnjih 40-tih letih zaradi potresov umrlo več kot 50 000 ljudi, podrlo se je več stotisoč domov. Ozemlje Turčije je razdeljeno na šest glavnih seizmogenih con.

- Severnoanatolska seizmogene cona je po sproščeni energiji najdejavnjša. Najmočnejši potresi so tu dosegli magnitudo čez 8,0 ($M = 8,1$). Razprostira se od Črnega morja, zavzema Anatolijo, na zahodu sega do Marmornega morja, na vzhodu pa se razdeli v dve veji, ki se nadaljujeta proti Van Golju in Armeniji. Tukaj so značilni vertikalni prelomi, ob katerih so ob močnejših potresih nastajali horizontalni premiki velikosti do 4,5 m in vertikalni velikosti do 1,5 m. Tudi ob obravnavanem potresu so nastajali premiki, vendar manjših razsežnosti.
- Nadaljevanje severnoanatolske seizmogene cone je jugovzhodno od Van Goluja dalje proti Iranu. Najdejavnjša je struktura Zagros, ki jo ponekod gradijo narivi, ponekod normalni prelomi.
- Vzhodnoanatoska ali Bingol seizmogene cona je nadaljevanje severnoanatolske cone, severozahodno od Van Goluja in dalje preko Bingola priti Hazar Goluju južno od Elaziga.

¹ Agencija RS za okolje, urad za seizmologijo, Dunajska 47, Ljubljana

Prevladujejo normalni lateralni prelomi.

- Seizmogena cona Hataj sega na severu do Marasa, se združuje z vzhodnoanatolsko cono, se na jugu pridruži liniji Jordana in se nadaljuje v jarek Rdečega morja.
- Seizmogeni coni Zahodne Anatolije in sosednjega območja Egejskega morja sta potresno zelo dejavni. V zahodnih predelih prevladujejo strukture v smeri zahoda, ki pa se v jugozahodni Anatoliji obrnejo proti jugozahodu in jugu. Večinoma gre za normalne prelome.
- Za seizmogeno cono zahodnega Taurusa so značilna plitva potresna žarišča, proti zahodnemu Taurusu pa srednje globoka.



Slika 1. Med Afriško in Evrazijsko geotektonsko ploščo je več manjših plošč, med njimi tudi Turško – egejska. Puščice označujejo smer gibanja Afriške plošče. Zvezdica označuje epicenter potresa, ki je nastal ob Anatolskem prelomu. Spodnja slika kaže presek od Črnega morja preko Turčije do Sredozemskega morja.

Figure 1. Between the African and the Eurasian geotectonic plates, there are several smaller plates, including the Turkish - Aegean plate. The arrows point to the direction of the movement of the African plate. The little circle marks the epicentre of the earthquake that appeared at the Anatolian fault. The lower picture shows the cross-section from the Black Sea via Turkey to the Mediterranean Sea.

Večina potresov v Turčiji nastaja v globinah do 30 km (plitva žarišča), le vzhodni del seizmogene cone Zahodne Anatolije in zahodnega Taurusa sta značilni po srednje globokih potresih (Brinkmann, 1976).

V preglednici so podani potresi, ki so zahtevali več kot 1000 življenj (bilo jih je še veliko z nezanesljivim številom mrtvih). V zadnjem desetletju pa naj omenimo potrese 13. marca 1992

v Erzincanu v vzhodni Anatoliji ($M = 6,8$, 653 mrtvih), 1. oktobra 1995 v Dinarju na zahodu Turčije ($M = 6,0$, mrtvih okoli 100 ljudi) in 27. junija 1998 v provinci Adana na jugu Anatolije ($M = 6,3$, mrtvih pa 145 ljudi, NEIC, 1999).

Preglednica 2. Seznam potresov od leta 1500 dalje na ozemlju Turčije, ki so zahtevali več kot 1000 življenj. Veliko potresov, predvsem v prejšnjih stoletjih, ki so zahtevali smrtne žrtve, pa zaradi netočnosti podatkov ni navedenih. Seveda je bilo na tem območju večje število potresov z višjimi magnitudami, ki jih v preglednici ni, ker pač niso zahtevali večje število človeških žrtev.

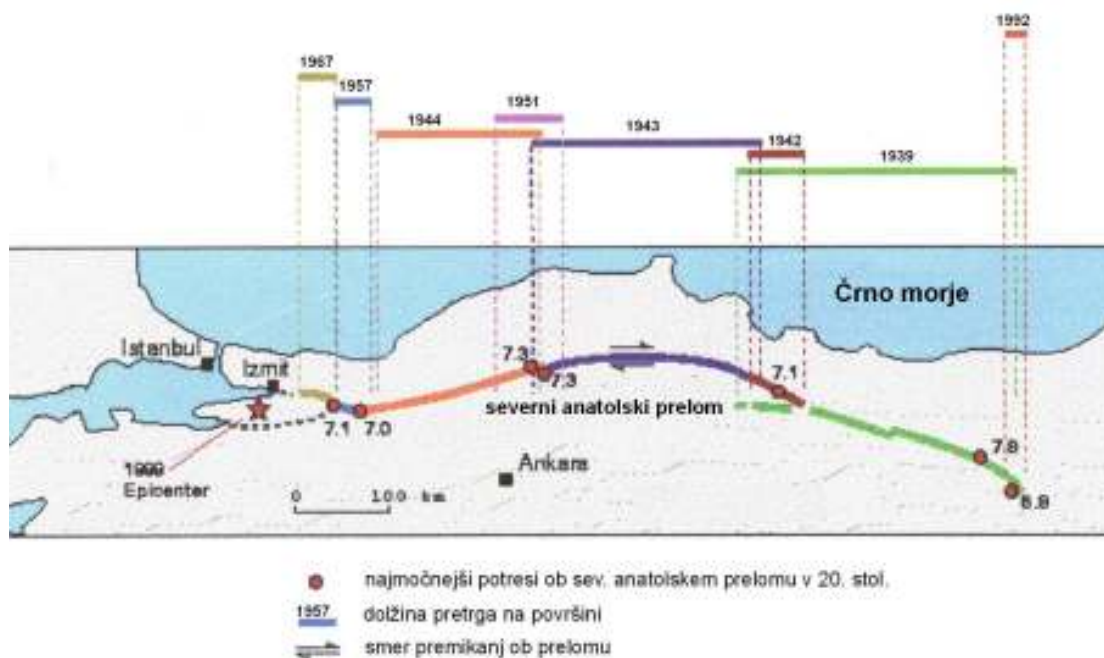
Table 2. List of earthquakes, which occurred on Turkish territory from 1500 a.d. and caused more than 1000 deaths. Many earthquakes from previous centuries are not included in the list, because the data about them is not accurate. There have been a lot of earthquakes on this territory with larger magnitudes, which didn't cause casualties, therefore are also not included on the list.

Datum nastanka	Območje	Magnituda	Število mrtvih
Date	Area	Magnitude	Number of death
14. september 1509	Tsurlu, Istanbul	7,7	13 000
31. marec 1648	Van	6,7	2 000
23. februar 1653	Izmir		150 000
10. julij 1668	Izmir	6,6	17 500
17. avgust 1668	Anatolija	8,0	8 000
25. maj 1719	Istanbul, Izmit	7,0	1 000
23. julij 1784	Erzincan, Erzurum		5 000
29. maj 1789	Palu	7,0	51 000
13. avgust 1822	Sirija/Turčija Alep, Antakija	7,4	20 000
2. julij 1840	Balikgolu, Ararat	6,7	1 000
28. februar 1855	Bursa	7,3	1 900
2. junij 1859	Erzurum	6,5	2 000
3. april 1872	Sirija, Turčija Alep, Antakija	7,2	1 800
3. maj 1875	Civril, Dinar	6,7	2 000
20. september 1899	Ajdin, Nazili, Buldan	6,9	1 100
28. april 1903	Malazgirt	7,0	3 560
28. maj 1903	Ardahan	5,4	1 000
9. avgust 1912	Saros, Marmorno m.	7,6	2 836
3. oktober 1914	Burdur	7,1	4 000
26. december 1939	Erzincan	7,9	32 700
20. december 1942	Niksar, Erba	7,3	3 000
26. november 1943	Ladik	7,6	4 020
1. februar 1944	Bolu	7,4	4 000
31. maj 1946	Ustukran	6,0	1 300
18. marec 1953	Onon	7,2	1 103
19. avgust 1966	Varto	7,1	2 517

Datum nastanka	Območje	Magnituda	Število mrtvih
Date	Area	Magnitude	Number of death
28. marec 1970	Gediz	7,1	1 086
6. september 1975	Lice	6,7	2 370
24. november 1976	Turčija/Armenija Caldrian	7,1	5 000
30. oktober 1983	Erzurum,Kars, Narman, Horsan	6,7	1 400
7. december 1988	Armenija (Spitak, Leninakan)/Turčija	6,8	25 000

Anatolski prelom

Potres 17. avgusta 1999 je nastal ob severnem Anatolskem prelomu. Celoten prelom se razširja v smeri vzhod-zahod in je potresno ena najbolj dejavnih struktur na tem območju in v svetu, pa tudi v svetovnih razsežnostih. Pravzaprav ga lahko primerjamo s podobnim prelomom Sv. Andreja, ki je v javnosti mnogo bolj znan in poteka ob Pacifiški obali v Kaliforniji. Obravnavani potres je nastal ob severnem krilu Anatolskega preloma, ki na vzhodu Turčije začinja pri mestu Karliova ob stiku z vzhodnim Anatolskim prelomom. V rahlem loku poteka čez osrednji del do doline Mudurnu na zahodu. Tu se razcepi v prelom Izmit Sapanca, ki poteka od jezera Sapanca čez severni del polotoka Armutlu in se nadaljuje pod Marmornim morjem. Na kopnem se ponovno pojavi pri kraju Murefte in se pod zalivom Saros nadaljuje pod Egejskim morjem. S precejšnjo zanesljivostjo lahko trdimo, da je potres nastal ob tej strukturi. Južni del je prelom Iznik Mekece, ki poteka od kraja Geyve in nato južno od jezera Iznik do zaliva Gemlik. Nadaljuje se pod Marmornim morjem, pri zalivu Bandirma seka polotok Kapidag in se razširja dalje čez polotok Biga in pod Egejsko morje.



Slika 2. Najmočnejši potresi ob Anatolskem prelomu v 20. stoletju.

Figure 2. The strongest earthquakes at the Anatolian fault in the 20th century.

V zadnjem stoletju je bilo ob severnem krilu anatolskega preloma kar 34 rušilnih potresov. Najmočnejši je nastal 26. decembra 1939 na območju province Erzincan. Imel je magnitudo

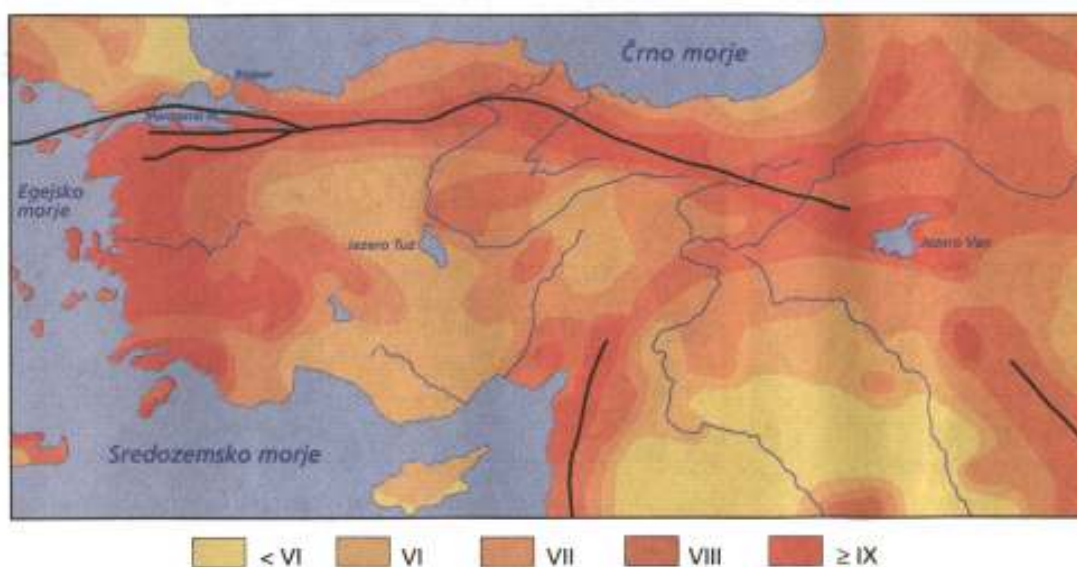
7,9, zahteval pa je 32 700 življenj. Ob tem potresu je nastal vzdolž preloma v dolžini 360 kilometrov povprečni vodoravni premik 4,5 metra.

Posledice potresa

Tragične posledice potresa so nastale zaradi več različnih vplivov, kot so:

- nadžarišče potresa je bilo na območju z veliko naseljenostjo,
- velik odstotek porušenih objektov,
- veliko sekundarnih posledic.

Ob katastrofi, ki se je zgodila v Turčiji, nehote pomislimo na nedavni potres, ki je 7. decembra 1988 nastal v Armeniji, le nekoliko vzhodneje od obravnavanega potresa. Potres z magnitudo 6,8 je zahteval preko 25 000 življenj. To primerjavo navajamo zaradi podobnosti z obravnavanim potresom, saj sta oba prizadela območja s približno enakimi značilnostmi.



Slika 3. Na karti maksimalnih intenzitet potresov v Turčiji vidimo, da potres ni bil presenečenje, saj so tu predvideni potresi devete stopnje in več.

Figure 3. The map of maximum seismic intensities in Turkey shows that the earthquake was not a surprise, as earthquakes of level nine and more are envisaged here.

Mnogo zgradb na tem območju je zgrajeno slabo. V primeru porušitve polovice zgradb lahko pričakujemo med prebivalstvom 10 odstotkov smrtnih žrtev. Za primerjavo naj navedemo Japonsko. Ob primeru porušitve polovice objektov, lahko pričakujemo le 1 odstotek mrtvih.

Na področju potresno varne gradnje imajo v Turčiji sodoben predpis iz leta 1997, ki bi lahko bil vzor mnogim drugim državam. Tudi predhodni predpis iz leta 1975 je bil dovolj dober, zato se upravičeno sprašujemo, zakaj so bile posledice potresa tako grozljive. Žal vsak, posebej pa zelo močan potres, pomeni novo izkušnjo za gradbenike. Koristno je, če se te izkušnje kažejo v izboljšavi zakonodaje na področju potresno varne gradnje.

V okviru slovenske delegacije, ki so jo sestavljali predstavniki Uprave RS za geofiziko, Fakultete za gradbeništvo in Zavoda za gradbeništvo, smo si ogledali med potresom 17. avgusta 1999 prizadeta območja.

Namen ogleda je bil:

- pregled poškodb na objektih in ocena vzrokov,

- pregled poškodb v naravi,
- pogovor o stanju regulative in prakse na področju potresnega inženirstva,
- monitoring potresov.

Vse zastavljene cilje smo uresničili s pomočjo lokalnega vodiča – g. Adama Somerja, inženirja geofizike, ki dela na oddelku za odpravo posledic naravnih nesreč v turškem Ministrstvu za javna dela in gradnjo.



Slika 4. Izozeiste kažejo največje učinke potresa v posameznih predelih Turčije.
Figure 4. Isoseismic lines show the largest effects of the earthquake in individual parts of Turkey.

Splošne značilnosti potresa so:

- nastal je ob anatolskem prelomu, ki je dolg 1300 km,
- globina žarišča je bila okoli 17 km,
- premiki ob potresu: 5.1m desni lateralni, 2.3 m vertikalni,
- aktivna dolžina preloma je bila 170 km,
- v Turčiji je bilo po letu 1939 enajst potresov z magnitudo več ali enako 6.7, kar pomeni, da je potresna dejavnost tu večja kot ob prelom Sv. Andreja v Kaliforniji,
- ob potresu so se objekti premaknili tudi po 4 m in včasih ostali tudi nepoškodovani,
- pospeški: vzdolžni 0.4g, prečni 0.3g, vertikalni 0.45g,
- predpisi o potresno varni gradnji v Turčiji so dobri – predpisi so izšli leta 1942, 1975, 1997 (EC8),
- večina poškodb je bila na 4 do 6 nadstropnih objektih (nihajna doba 0.4 - 0.6 s),
- pri spektrih potresa je bilo največje ojačanje valov v intervalu 0.4 - 0.6 s,
- vzdolž linije dolžine 250 km je poškodovanih 70 % objektov,
- tudi pri nekaterih novogradnjah niso upoštevali predpisov o potresno varni gradnji,
- slaba izvedba in projektiranje,
- ni bilo nadzora ali pa je bil slab nadzor pri projektiranju in gradnji objektov ,
- problem polnil,
- vprašljiva kvaliteta betona in armature,
- mehke etaže,
- pomanjkanje detajlov za duktilnost (stremena, sidranje,...),
- indirektna škoda še bistveno večja od direktne,
- neupoštevanje slabih talnih pogojev (slaba tla, visok nivo podtalnice).

Potres v Turčiji je nastal na gospodarsko najpomembnejšem delu države, ki ima 62 milijonov prebivalcev. Poleg velikega števila žrtev je mnogo prebivalcev ostalo brez strehe nad glavo. Nemirna tla so tudi povzročila, da so ljudje iskali pomoč pri sorodnikih širom po državi. Vsaki družini, ki je ostala brez prebivališča, pa je država pomagala pri plačevanju najemnin z

mesečno pomočjo 200 USD. Bistven razlog za toliko žrtev in škode je, da se je potres dogodil na območju velike gostote prebivalstva in industrije. Mnogo je stanovanjskih objektov, od katerih so bili nekateri zelo ranljivi.

Potres je prizadel eno tretjino turške industrije. Vzpostavitev delovanja industrije je trajala dalj časa. Tako so za osnovno ureditev plinifikacije potrebovali več kot 2 meseca.

Poškodovana je bila tudi infrastruktura: V okolici Adanapazarija so se na stebrih pojavile manjše poškodbe, zaradi majšega odklona. Ponekod je prišlo do posedanj cestišča za 100 do 500 mm. En nadvoz se je podrl. Avtocesta Istanbul - Ankara je bila navkljub poškodbam odprta že dan po potresu. Tudi poškodbe na elektro sistemu so bile velike. Podrtih je bilo nekaj transformatorskih postaj, prišlo je do kratkih stikov. Prevrnili so se mnogi transformatorji na stebrih. 150 kV elektrovod je deloval neprekinjeno, za vzpostavitev delovanja 380 kV elektrovida pa so potrebovali 10 dni. Po opravljenih pregledih so ugotovili, da je eden od pomembnih vzrokov poškodb pomanjkanje prečne armature pri armirano betonskih stebrih. Tudi kvaliteta betona je bila pogosto slaba. Po oceni tujih popisovalcev poškodb je bil najpomembnejši vzrok za to, da ni bilo ustrezne armature ali kvalitete betona, pomanjkanje znanja in ustreznega nadzora.

Turški mediji so za nesrečo krivili običajno pohlepne izvajalce, ki so varčevali pri materialih, posledica pa so bile poškodbe. Na žalost je to le delno točno. Glede na ocene tujih strokovnjakov, ki so si ogledali prizadeto območje in poznajo postopke gradnje v Turčiji, je celoten postopek gradnje od idejnih zasnov, preko projektiranja, gradnje in nadzora ter vzdrževanja poln vrzeli. Kot soočanje z ostrim tekmovalništvom so izvajalci gradili tako imenovane poletne rezidence (stanovanja cene 10 – 15 000 USD) za srednji razred prebivalstva. Pri večini takšnih objektov je malo denarja ostalo na voljo za primerno projektiranje. Projekte naj bi pregledal ustrezen nadzorni organ, kar je bila le želja. Občine običajno kar izdajo potrdilo, da je projekt odobren, odgovornost pa ostaja na projektantu. Ni bilo neobičajno, da dokončana zgradba ni imela nobene podobnosti s projektom. Verjetno je šlo za korupcijo pri izdaji uporabnih dovoljenj. Vendar so tudi stanovalci objektov brez uporabnih dovoljenj lahko zaprosili in dobili priključitev na elektriko, telefon, vodo,...Župani so običajno razmišljali le na kratkotrajne populistične geste in si zatiskali oči.

Mnogi objekti so bili zgrajeni brez kakršnihkoli dovoljenj. To so bile tako imenovane »gece kondu«, kar pomeni zgrajeno preko noči. Vendar, če so lokalni gradbeniki bili še tako usposobljeni za hitro gradnjo, je težko verjeti, da so bile šest nadstropne zgradbe zgrajene preko noči. Torej je šlo za tiho soglasje oziroma odobritev upravnih organov.

Kakšne so bile značilnosti cenene gradnje, ki je povzročila tolikšne žrtve? Zasnova vseh zgradb je bila približno enaka – šlo je za armirano – betonske okvire s polnili iz opeke. V mestnih središčih so prevladovala mehka pritličja s številnimi lokali. Uporaba armature je bila majhna, uporabljali so večinoma gladko armaturo. Količina stremen je bila premajhna ali pa jih sploh ni bilo. Običajno je veliko nesorazmerje med togimi gredami velikih presekov in vitkimi stebri nepravilnih oblik z malo armature. Tudi beton je običajno slabe kvalitete, s prevelikimi frakcijami gramoza.

V obmorskih krajih (Yalova in Golcuk) so za izdelavo betona uporabljali morske sedimente. Tako so v porušeni stebrih vidne lupine školjk. Posledica uporabe takšnih materialov je hitrejša korozija armature, slabša konsistenca betona in tako še zmanjšana nosilnost

konstruktivnih elementov. Praksa pri teh zgradbah je bila tudi, da niso imele sten za prenos obremenitev.

Starejše zgradbe, zgrajene v otomanskem stilu (leseni okvirji polnjeni z zidaki), so se med potresom obnesle bolje kot AB. Praktično ni bilo porušitev. Pa tudi med starimi je razlika. V primeru polnil iz opeke ali le na zraku sušenih zidakov, so se bolje obnašali prvi.

Vendar ni bilo vse, kar je bilo zgrajeno na prizadetem območju, slabo grajeno. Tako niso bili redki primeri objektov, ki so potres prestali brez poškodb. Takšnih je bilo precej novejših šolskih objektov, pa tudi pri džamijah, ki so vedno simetrično zasnovane, so bili običajno poškodovani le minareti.

Vzrok tako obsežnim poškodbam so tudi temeljna tla. Na območju Adapazari in Izmita predstavljajo tla plasti peska in gline. Nivo podtalne vode je meter pod površjem. Tako so bili pogosti primeri likvifakcije (utekočinjenja tal). Nekateri objekti so potonili, posedli ali se nagnili zaradi likvifakcije, posamezni pa prevrnili.

Čeprav je Marmorno morje majhno, je potres povzročil tsunami. Na tem območju so v preteklosti sicer potresi že devet krat povzročili valove tsunami. Po podatkih Istanbulske tehnične Univerze je ta potres povzročil tsunami, ki je v Golcuku dosegel višino 4 m.

Preglednica 1. Število poškodovanih objektov v mestih.

Table 1. The number of damaged objects in different cities.

Kraj	Število porušenih ali poškodovanih hudo zdradb	Število zmerno poškodovanih enot	Število rahlo poškodovanih enot
Sakarya	19043	12200	18720
Golcuk	12310	7789	9299
Kocaeli	19017	20021	20323
Istanbul	3073	13339	12455
Yalova	9462	7917	12685
Bolu	3095	4180	3303
Bursa	29	104	401
Eskisehir	76	47	315

Vzrok porušitev mnogih novih objektov je bilo tudi neupoštevanje predpisov, kot posledica pomankljivega nadzora v fazi projektiranja kot gradnje objektov. Poleg novih objektov zmeraj obstaja večina tistih, ki so bili zgrajeni že pred sprejetjem sodobnih predpisov. Pogosto takšni objekti danes ne dosegajo s predpisi določenega nivoja potresne varnosti ali pa drugih zahtev. V obdobju, ko so se ti objekti gradili, sta bila znanje in praksa ustrezna času. To seveda še ne pomeni, da so bili vsi starejši objekti slabi. Verjetno pa stanje takratne regulative in prakse ni bilo bistveno drugačno od primerljive po svetu, kar pomeni: ugrajevan je bil beton slabše kvalitete, prečne armature je bilo malo, uporabljala se je gladka armatura, uporabljale so se nekatere konstrukcijske rešitve, ki so se izkazale kot slabe.

V okviru popotresnega ogleda smo videli poškodbe v krajih: Istanbul–Avcilar, Tutunciftlik, Derince, Izmit (tu smo obiskali univerzo), Golcuk, Seymen, Yubasilar, Sapanga, Arifiye, Adapazari, Sakari, Yalova, Karamursel in Degirmendere.

Med ogledom prizadetega območja smo si ogledali kraj Derince. Tu je bilo precej poškodovanih še nevseljenih stanovanjskih blokov. Zopet se je izkazalo, da ni problem v predpisih, ampak v nespoštovanju le-teh. Stene so bile postavljene tako, da se sekajo skoraj v isti točki. Takšni objekti niso imeli potrebne torzijske odpornosti. Tudi armiranje ni bilo kvalitetno, npr. gladka armatura z redkimi stremeni.

Mnoge poškodbe objektov v tem in drugih krajih so nastale zaradi porušitve mehkega pritličja (izložbena okna, lokali v pritličju stanovanjskih objektov). Če mehkega pritličja ni bilo, je nastalo, ko so se porušila izredno šibka polnila med okvirji v pritličju.

Tretjina objektov Izmit-Kocaeli univerze je bilo uničenih. Za pričetek predavanj (prestavljena so bila na 1. november 1999) so gradili montažne objekte. Ocena poškodovanosti objektov je bila takšna, da je kar 50 % objektov v stanju, da jih bo potrebno porušiti. Širše območje mesta Izmit je imelo 1 000 000 prebivalcev. Med potresom je bilo 4 000 mrtvih. Večina hudih poškodb je nastalo na tleh, ki jih sestavljajo naplavine. Splošna značilnost takih tal je, da imajo visok nivo podtalne vode.

Pogled na naselje 5-etažnih blokov v kraju Seymen je bil zastrašujoč. Vsi bloki so bili močno poškodovani. Starost naselja je bila le 3-4 leta. Vzroki porušitev so bili mehka pritličja, neprimerni materiali: nesegregiran beton, gladka armatura, redka stremena, slabi prehodi armature, izpadanja polnil iz okvirjev. Ocenjena nihajna doba objektov je bila 0.4 - 0.6 sek, kot tudi območje največjega ojačanja potresnih valov. Mnogo poškodb, ki smo si jih ogledali skoraj 2 meseca po potresu, so povzročili tudi močni popotresi. Vendar so se našle tudi tu novejša stavbe, ki so potres prestale. Na njih so bila vidna gostejša stremena in kvalitetnejša vgradnja betona.

Mesto Golcuk je imelo 600 000 prebivalcev. Žrtev je bilo 5000. V posameznih predelih v centru mesta in ob obali je bilo tudi 90 % objektov takšnih, ki jih bo potrebno podreti. Novejši objekti so utrpeli več in hujše poškodbe. Starejši, običajno pritlični ali največ eno-nadstropni ortogonalno zasnovani objekti so potres bolje prestali. Pri tem starejše objekte predstavljajo objekti mlajši od 50 let.

V Sapangi se je zaradi zdrsa tal hotel zapeljal v jezero. Vzrok takšnih poškodb je nezadostno upoštevanje geomehanskih karakteristik tal.

V Arifiye so se tla v prelomni zoni premaknila za 3.5 m horizontalno in 0.5 m vertikalno, kar je bilo opazno na pretrganem jašku. Tu je bil tudi eden izmed redkih poškodovanih mostov. Na splošno je bilo poškodb na mostovih malo. Izgleda, da je bil nadzor nad izvajanjem del v okviru javnih financ boljši, kot v individualnem sektorju.

Veliko obsežnih poškodb je bilo tudi v mestu Adapazari, kjer je živelo 600.000 ljudi, med potresom pa je bilo 2600 žrtev. Tudi tu so imeli vpliv na obseg poškodb lokalni geomehanski pogoji. Tla so sestavljala naplavine, nivo podtalne vode je bil visok. Posledica vpliva talnih razmer so bila prevračanja, posedanja in nagibanja objektov. Starejši, nižji, predvsem pa lažji objekti (pogosto leseni okvirji s polnili) so imeli občutno manjše poškodbe ali pa jih sploh ni bilo. Posebej žalosten je bil pogled na objekt, ki se je sesedel kot "palačinke". Poškodbe na drugih objektih so bile podobne pregledanim: izpadla polnila na objektih, poškodovana vozlišča, mehke etaže, posedanje, likvifikacija, zdrobljena betonska jedra stebrov, ipd. Pri vsem tem pa so bili tudi primeri porušeni objektov, kjer so ljudje preživeli kot po čudežu.

Npr. v Adanapazariju je bil objekt poškodovan tako, da mu je manjkalo pritličje, v katerem je bila trgovina. Dobesedno se je zapeljal na levo za višino pritličja (približno 2.8 m). V objektu je v času potresa živelo 5 družin s 30-timi člani. Nihče ni bil poškodovan. Tudi iz marsikaterega objekta s porušeno etažo so reševalci uspeli rešiti ljudi.

V Yalovi je bilo 50.000 prebivalcev, od tega je bilo ob potresu 2 500 žrtev. Center mesta se je spremenil v mesto duhov, večina prebivalcev se je v strahu pred popotresnimi sunki odselila. Tudi tu so bile močno poškodovane cele soseske. Ponovno je bil vzrok v slabih geomehanskih pogojih tal. Posledice so bila posedanje in nagibanje objektov.

V kraju Degirmendere se je morska obala širine 50 - 60m zapeljala za približno 150 m v morje, v globino 40-tih metrov. Na obali so bile restavracije, kioski, sprehajališča,... Danes je ob morski obali sosednja ulica. Reševanje v takih primerih sploh ni bilo možno.

Že večkrat smo poudarili, da je bilo veliko hudih poškodb zaradi slabih geomehanskih pogojev tal. Naplavine in podobni nesprijeti sedimenti predstavljajo v seizmogeološkem smislu zelo neugodna tla, ki so zahtevala mnogo boljše temeljenje. Zgradbe, ki so bile zgrajene v višjih predelih nad mesti, na ugodnejši geološki podlagi, so ostale večinoma nepoškodovane (Vdrih, 1999, Vidrih, Godec, 2000).

Spremljanje potresne dejavnosti

Kako pomembno je to bilo območje tudi v svetovnih razsežnostih, dokazuje zanimanje strokovnjakov iz področja geologije, seizmologije ipd. iz celega sveta. Že leta 1996 so začeli strokovnjaki iz različnih koncev postavljati sodobno mrežo potresnih opazovalnic na ozemlju med mestoma Bolu in Adapazari, kjer se Anatolski prelom razcepi v dva dela. To pa ni edini razlog. To območje je tudi industrijsko in ekonomsko med najbolj razvitimi v Turčiji. Na ozemlju velikem za približno tretjino Slovenije so postavili 14 potresnih opazovalnic (Slovenija jih ima sedem, poteka pa projekt izgradnje omrežja petindvajsetih potresnih opazovalnic). Omrežje SABO, kakor se imenuje ta sodobni sistem, ima zbirni center za obdelavo in vrednotenje podatkov v mestu Adapazari. Seizmografi znotraj omrežja zapišejo povprečno tri potrese dnevno (Dolenc in Tasič, 1998).

Poleg spremljanja potresne dejavnosti pa potekajo tudi tu neotektonske in paleoseizmološke raziskave, natančne meritve nagibov tal, meritve ravni in temperature podtalne vode, gravimetrične meritve, spremljanje meteoroloških parametrov, meritve koncentracije radona ter hidrokemičnih parametrov.

Sklep

Potres 17. avgusta 1999 v zahodni Turčiji je še eden v vrsti potresov, ki so razkrili, kaj pomeni slaba gradnja. To območje seizmologi dobro poznajo. To priča tudi karta maksimalnih intenzitet potresov, ki je bila izdelana pred skoraj 30. leti in še večkrat izpopolnjena. Tukaj so strokovnjaki pričakovali močne potrese, zato zadnji potres ni bil nikakršno presenečenje. Na tem območju so močni potresi nastajali že v preteklosti in tudi v bodoče bodo imeli seizmologi, geologi, gradbeniki in drugi strokovnjaki opraviti z njimi.

Leto 1999 je bilo izjemno po tem, da je več močnih potresov nastalo v urbanih območjih. S stališča sproščene potresne energije pa je bilo statistično običajno leto. Kaj storiti, da bi bile

posledice potresov čim manjše. Izkušnje potresa v Turčiji in tudi drugih potresov kažejo, da je potrebno pri novogradnjah strogo upoštevati zakonodajo. To naj bi bilo samoumevno, pa izgleda, da ni. Še pomembnejše in obsežnejše področje pa je postopno potresno ojačevanje starejših slabše grajenih objektov. To bi morala biti stalna naloga, ne pa da na potrese pozabimo v prepričanju, da se nam ne morejo več dogoditi.

Naj navedemo le primerjavo s potresoma, ki sta nastala 7. decembra 1988 na meji med Turčijo in Armenijo ($M = 6,8$) in pol leta kasneje, 14. avgusta 1989 na območju San Francisca v Kaliforniji ($M = 6,7$). Približno enako močna potresa sta zahtevala več kot 25 000 človeških žrtev v Armeniji, nekaj tudi v Turčiji in 80 v San Franciscu. Komentar ni potreben. Zato znova opozarjamo, da je samo potresno varna gradnja edino zagotovilo, da ne bo več prihajalo do obsežnih rušenj in do tolikšne izgube človeških življenj.



Slika 5. Del štirinadstropnega bloka v Adapazarju se je sesedel kot palačinke (foto: M. Godec).
Figure 5. Part of the four-floor block in Adapazari collapsed like a stack of pancakes (photo: M. Godec).





Slika 6. Porušitev pritličja, v katerem je bila trgovina. Objekt se je »zapeljal« v stran za višino pritličja (2,8 m). V zgradbi je bilo med potresom pet družin (okoli 30 ljudi) in nihče ni bil poškodovan (foto: R. Vidrih).

Figure 6. A collapsed ground floor, where there used to be a shop. The building moved sideways by the height of the ground floor (2.8m). In the time of the earthquake, there were five families (around 30 people) in the building, but nobody was hurt (photo: R. Vidrih).



Slika 7. Popolnoma porušeno štiri leta staro naselje petnadstropnih blokov v mestu Seymen. Vzroki za porušitev nadstropij so bili nesegregiran beton, gladka armatura, redka stremena in slabi prehodi armature (foto: M. Godec).

Figure 7. Completely devastated four-year old area of five-floor blocks of flats in the city of Seymen. The reasons for collapses were not segregate concrete, smooth reinforcements, rare stirrups and lack of joint reinforcement (photo: M. Godec).



Slika 8. Detajl porušitve bloka v Seymenu (slika 7). Ko polnila v nadstropju popustijo se ta obnaša kot mehka etaža (foto: M. Godec).

Figure 8. Detail of a collapsed block in Seymen (Figure 7). If the infills in a certain floor fail, the floor behaves as soft storey (photo: M. Godec).



Slika 9. Zaradi izredno slabih geoloških razmer (tla slabe nosilnosti, zasičena z vodo), je ponekod prihajalo do nagnjenja ali posedanja objektov (primer na sliki je iz mesta Adapazar) (foto: M. Godec).

Figure 9. Because of the extremely unfavourable geological conditions (ground of low bearing capacity, saturated with water), leaning or subsiding of buildings occurred in some places (the example in the picture is from the city of Adapazari) (photo: M. Godec).



Slika 10. Tudi porušitev nove industrijske hale v Adapazarju je posledica slabih geoloških pogojev (foto: M. Godec).

Figure 10. The collapse of the new industrial hall in Adapazari is also the consequence of unfavourable geological conditions (photo: M. Godec).



Slika 11. Tudi minaretu mošeje v Adapazarju ni bilo prizanešeno (foto: M. Godec).

Figure 11. The minaret of a mosque in Adapazari was also not spared (photo: M. Godec).



Slika 12. Eden redkih porušenih mostov. V splošnem je bilo poškodb na mostovih (tudi majhnih) zelo malo. To kaže na to, da je nadzor nad javnimi financami boljši kot v individualnemu sektorju (foto: M. Godec).

Figure 12. One of the rare collapsed bridges. In general, there was very little damage to bridges (also small ones). This shows that the control over public finances is better than in the private sector (photo: M. Godec).



Slika 13. Takoj po potresu so začeli ne le z odstranjevanjem ruševin, ampak tudi z ojačevanjem. Primer na sliki kaže ojačevanje poškodovanih stebrov (foto: M. Godec).

Figure 13. Immediately after the earthquake, people did not only start to remove the ruins, but also to reinforce the buildings. The example in the picture shows the reinforcement of damaged pillars (photo: M. Godec).



*Slika 14. Med ruševinami je ostala tudi zveržena avtomobilska karoserija (foto: M. Godec).
Figure 14. Among the ruins, there was also a distorted car body (photo: M. Godec).*



*Slika 15. Posedanje objektov zaradi slabih geoloških razmer (foto: R. Vidrih).
Figure 15. Subsidence of buildings due to unfavourable geological conditions
(photo: R. Vidrih).*



*Slika 16. Del obale v Sapangi, se je skupaj s hotelom zapeljal v jezero (foto: R. Vidrih).
Figure 16. Part of the coast with a hotel in Sapanga slid into the lake (photo: R. Vidrih).*



*Slika 17. Del obale v mestu Degirmendere, širine 50 – 60 m, se je zapeljal za približno 150 m v morje v globino 40-tih metrov. Ena od ulic je preprosto izginila (foto: R. Vidrih)
Figure 17. In the city of Degirmendere, a 50 – 60 m wide part of the coast slid into the sea for 150 m to a depth of 40 m. One of the streets simply disappeared (photo: R. Vidrih)*



Slika 18. Kamnita ograja se je ob horizontalnem premiku zamaknila za več kot 2 metra (foto: R. Vidrih).

Figure 18. During the horizontal offset, the stone fence moved by more than 2 metres (photo: R. Vidrih).



Slika 19. Vseposod ob površinskem pretrgu so bili objekti zamaknjeni (foto: R. Vidrih)

Figure 19. Buildings were displaced everywhere along the surface fault rupture (photo: R. Vidrih)



*Slika 20. Zamik kanalizacijske cevi za 3,5 m (foto: R. Vidrih).
Figure 20. Displacement of a drainage system pipe by 3.5 m (photo: R. Vidrih).*



*Slika 21. Površinski pretrg ob prelomu je nastal v dolžini 10 km. Vertikalni zamik je bil okoli 60 cm (foto: R. Vidrih).
Figure 21. A surface fault rupture along the fault appeared in the length of around 10 km. There was a vertical offset of around 60 cm (photo: R. Vidrih).*



*Slika 22. Zamik nasada topolov za skoraj 2 m (foto: R. Vidrih).
Figure 22. Displacement of a poplar plantation by almost 2 m (photo: R. Vidrih).*

*Slika 23. Razpoke v preperini in posedki ob morski obali (spodaj) (foto: R. Vidrih).
Figure 23. Cracks in the weathering cover and subsided areas at the seacoast (below) (photo: R. Vidrih).*



Literatura

- Brinkmann, R., 1976. Geology of Turkey. Ferdinand Enke, 158 str., Stuttgart.
- Dolenc, D., Tasič, I., 1998. Mreža potresnih opazovalnic SABO na severozahodu Turčije, UJMA 12, 199-200, Ljubljana.
- NEIC, 1998. Significant Earthquakes of the World. US Department of the Interior. Geological Survey, National Earthquake Information Center.
- NEIC, 1999. Significant Earthquakes of the World. US Department of the Interior. Geological Survey, National Earthquake Information Center.
- Uprava RS za geofiziko, 1999. Preliminarni tedenski seizmološki bilteni za leto 1999. Arhiv URSG, Ljubljana.
- Vidrih, R. 1999. Potres v Turčiji 17. Avgusta 1999. Moč potresa ni bila presenetljiva, presenetila je le nekakovostna graditev. DELO, priloga Znanost 25. Avgusta 1999, Ljubljana.
- Vidrih, R., Godec, M., 2000. Posledice turškega potresa. Življenje in tehnika LI, Tehniška založba Slovenije, 23-32, Ljubljana.

POTRES 7. SEPTEMBRA 1999 V ATENAH THE 7 SEPTEMBER 1999 EARTHQUAKE IN ATHENS

Renato Vidrih¹, Matjaž Godec¹

Izvleček. Dobrih dvajset dni po katastrofalnem potresu v Turčiji je 7. septembra ob 11. uri in 56 minut po UTC nastal srednje močan potres v bližini Aten v Grčiji. Potres z magnitudo $M_w = 6,0$ in globino žarišča okoli 10 km je bil le nekoliko močnejši od potresa v Zgornjem Posočju ($M_w = 5,6$), pa vendar je zahteval 143 življenj in več kot 800 ranjenih. Največji učinki so ocenjeni z IX. stopnjo po evropski potresni lestvici (EMS). Kar 34 ljudi je umrlo v porušeni štirinadstropni zgradbi, zgrajeni na pobočju doline reke Helidonou. Popolnoma uničenih je bilo 13 000 hiš, več kot 100 000 ljudi je ostalo brez strehe nad glavo. Horizontalni pospeški so dosegli 0,20 g, vertikalni pa 0,11 g. Gledano z ekonomskega stališča je bila to največja naravna nesreča v novejši zgodovini Grčije.

Abstract. Twenty-one days after the disastrous earthquake in Turkey, a medium intensity earthquake occurred in the vicinity of Athens, Greece at 11.56 a.m. UTC on 7 September. The earthquake with the magnitude $M_w = 6.0$ and the focal depth of around 10 km was somewhat stronger than that in upper Posočje ($M_w = 5.6$); however, it took 143 lives and more than 800 people were wounded. The largest effects are assessed as IX of EMS. As many as 34 people died in the collapsed four-floor building on the slope of the Helidonou river valley. Thirteen thousand houses were completely destroyed; more than 100,000 people lost their homes. The horizontal acceleration achieved up to 0.02 g, and the vertical acceleration 0.11 g. From the economic point of view, this was the greatest natural disaster in the modern history of Greece.

Uvod

Učinki potresnega sunka so zajeli celotno območje Aten in nikjer niso bili manjši od VI. stopnje EMS, največji pa so dosegli IX. stopnjo po EMS. Največ poškodb je nastalo na večnadstropnih zgradbah, kjer je bilo tudi največ mrtvih. Potres ni povzročil večjih sekundarnih pojavov, požarov, kemičnih onesnaženj ipd. Na srečo zgodovinski objekti niso bili poškodovani, razen manjših zamikov pri nekaterih stebrih. Po izračunih grške državne mreže (NOA – National Observatory of Athens) sta bili koordinati epicentra 38,1 severne širine in 23,6 vzhodne dolžine na jugovzhodnih pobočjih gore Parnis, 20 km severoseverozahodno od Aten. Za to območje so značilni triasni in kredni apnenci, ki ležijo nad paleozojskimi in triasnimi skrilavci in peščenjaki, med katerimi so ponekod filiti in kremenovi konglomerati. Območje je zgrajeno iz narivov v smeri vzhod–zahod in sever–zahod. Pomembna sta še dva normalna neotektonska preloma, nagnjena proti jugozahodu, preloma Aspropyrgos in Fili. Prelom Aspropyrgos ločuje apnence, iz katerih je ozemlje na severu, od mlajših usedlin, ki na jugu zapolnjujejo prostor, kjer so zgrajene Atene. Ob tem prelomu je še več manjših vzporednih struktur. Potresni sunek nikjer ni povzročil koseizmičnega premika. Omrežje 30 potresnih opazovalnic državnega omrežja je v času od 13. septembra do 28. oktobra zabeležilo 450 popotresnih sunkov. V prvih dvajsetih dnevih so popotresi nastajali v globini med 3,5 in 15,5 km vzdolž preloma Fili. Največji pospešek ob tem prelomu je bil 0,31 g (Papadopoulos, 1999).

¹ Agencija RS za okolje, urad za seizmologijo, Dunajska 47, Ljubljana

Splošno o potresu

Potres je nastal na območju, kjer do sedaj ni bilo še nobenega podobnega potresa in sicer 20 km od centra mesta na območju Ano Liossia in Aharnes. Tu je dosegel največje učinke VIII. stopnje, lokalno celo IX. stopnje po EMS. Žarišče je bilo v jugovzhodnem delu gore Mt. Parnis, kar je bilo za seizmologe veliko presenečenje.

- čas nastanka: 7. september 1999 (11.56 po GMT),
- moč potresa: $M_w = 6,0$, $M_s = 5,8$ (NEIC, 1999),
- žrtve: 143 mrtvih, 800 ranjenih in 100.000 brezdomcev,
- prizadeto območje: severni del Aten; stopnje poškodovanosti so označevali z rdečo, rumeno in zeleno barvo; 13.000 objektov je bilo popolnoma porušenih, 62.000 delno z možnostjo obnovitve in 110.000 objektov s manjšimi poškodbami,
- pospeški: 0,20 g horizontalni,
0,11 g vertikalni,
- materialna škoda: 3 milijarde USD, nezaposlenost takoj po potresu povečana za 30.000,
- ceste: nobenih bistvenih učinkov; razpoke na enem mostu so bile ocenjene kot predhodne,
- voda: na prizadetem območju je ni bilo en dan,
- elektrika: na epicentralnem območju je ni bilo en dan,
- plin: na tem območju ni plinske napeljave,
- telefoni: tudi mobilna telefonija je zaradi preobremenjenosti razpadla 5 do 10-krat.



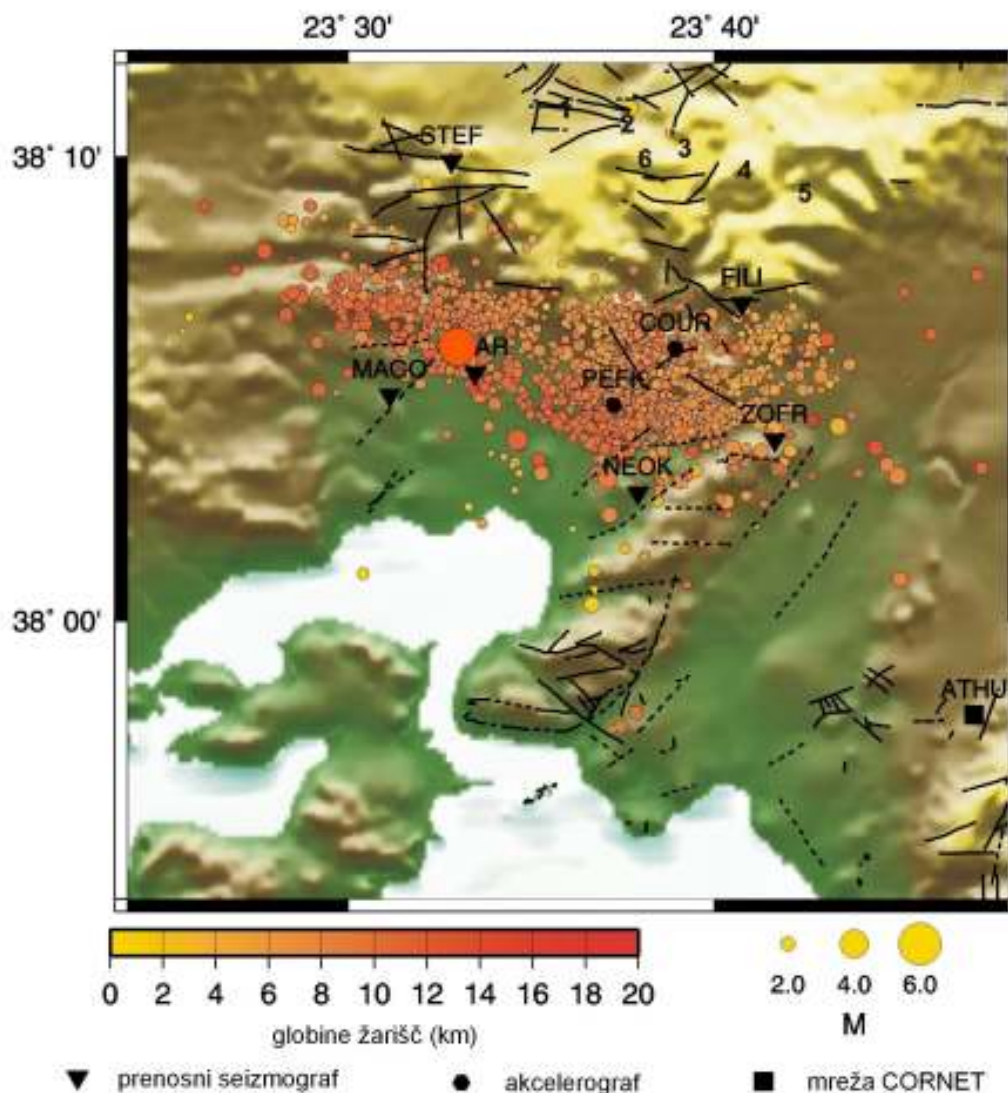
Slika 1. Dvigovanje in spuščanje ozemlja na epicentralnem območju.
Figure 1. Uplift and subsidence in the epicentral area.

Popotresni sunki so se širili v smeri od zahodseverozahoda proti vzhodjugovzhodu in padali v smeri proti jugojugozahodu. Globina žarišča glavnega potresa je bila 16,8 km. Popotresi so bili plitvejši in so nastajali predvsem na vzhodni strani preloma.

To je bil prvi znani tako močan potres v neposredni bližini Aten. Pravzaprav njegova moč ni bila nič posebnega (po moči podoben potresu v Zgornjem Posočju, $M = 5,6$), velika škoda pa je nastala predvsem zaradi njegovega nastanka v neposredni bližini urbanega območja. V potresni zgodovini Grčije sta znana podobna srednje močna potresa, ki sta nastala 13. septembra 1986 na območju Kalamate in 15. junija 1995 na območju Aeghio. Oba sta imela magnitudo $M_s = 6,2$; prvi je zahteval 20 smrtnih žrtev, drugi pa 26. Podoben primer srednje močnega potresa, ki je zahteval veliko smrtnih žrtev, je bil potres 10. oktobra 1986 v San Salvadorju. Potres z magnitudo 5,4 je zahteval 1.500 življenj in 10.000 ranjenih.

Potresna zgodovina centralne Grčije

Od 5. stoletja pred našim štetjem pa do današnjih dni je bilo na tem območju več kot 80 izrazitejših potresov, samo mesto Atene pa so bile le redko prizadete (Ambraseys, 1993). Prvi znani potres je nastal leta 427 pred n. št. z žariščem, oddaljenim več kot 90 km od Aten. Leto dni kasneje naj bi potres premaknil Partenon za 2,5 cm, vendar večina zadnjih raziskav kaže, da to ni res. Potres leto dni prej naj bi bil predpotres tega velikega potresa, katerega žarišče je nastalo med krajema Atalanti in Scarpheia 140 km od Aten. Plutarh opisuje potres leta 420 pred n. št., Dionizij pa še potres leta 32 n. št. Kasneje, med 2. in 18. stoletjem, ni nikakršnih poročil o potresih, ki bi prizadeli Atene. Poškodbe v mestu so večinoma nastale leta 1687, ko so bile Atene oblegane.



Slika 2. Potresne opazovalnice, epicenter glavnega potresa in popotresni sunki v prvih štirinajstih dneh (2047 dogodkov). Geotektonska karta bazena Thriassio je povzeta po geološki karti IGME.

Figure 2. Station locations, main shocks and the first two weeks of aftershocks activity spatial distribution (2047 events). Mapped geotectonic features of the Thriassio basin are after IGME Geological maps.

V 18. stoletju sta bila dva znana potresa, leta 1705 z žariščem okoli 30 km od Aten in leta 1785 z žariščem 35 km od Aten. V 19. stoletju je bilo nekaj močnejših potresov, katerih žarišča so nastajala več deset kilometrov od Aten. Potresi v letih 1805, 1837, 1853, 1874,

1889 in 1894 so v Atenah povzročali predvsem paniko in manjše poškodbe. Ob nekaterih so nastale manjše poškodbe na kulturnih spomenikih, npr. odpadanje posameznih marmornatih plošč. Tudi potresi v 20. stoletju niso povzročili večje škode. Potresi v letih 1914, 1928, 1930, 1938, 1965 so v Atenah povzročili le paniko in poškodovali nekaj dotrajanih objektov. Zadnji močan potres je nastal leta 1981 v oddaljenosti 77 km od Aten. Imel je magnitudo $M = 6,7$. Najmočnejši popotres je imel magnitudo $M = 6,4$ in je nastal 60 km od Aten. Glavni potres je močno poškodoval okoli 500 starejših, slabo zidanih objektov, po nekaterih podatkih pa se je za nekaj centimetrov premaknil tudi severovzhodni del Partenona.

Poškodbe stanovanjskih objektov

Potres 7. septembra 1999 je poškodoval okoli 185.000 objektov, od tega je bilo 13.000 popolnoma porušenih ali tako poškodovanih, da se jih ni dalo obnoviti. Večina stanovanjskih objektov na prizadetem območju so tri do petnadstropne armiranobetonske konstrukcije. Pritličje je običajno odprto za garažo. V tem delu Aten je mnogo črnih gradenj, pa tudi drugače so bili graditelji lastniki sami. Vprašljiva je tako raven projektiranja kot tudi nadzora nad gradnjo.

Precej poškodb je nastalo zaradi porušitve ene ali dveh etaž, v štirih primerih pa je prišlo do popolne porušitve objekta. Mnoge zgradbe so bile hudo poškodovane. V tem predelu je tudi precej tradicionalnih zgradb, zgrajenih iz na zraku sušene opeke. Te so večinoma utrpele hude poškodbe, nekaj se jih je tudi porušilo.

Glavni vzroki porušitev so bili:

- učinek kratkih stebrov,
- pomanjkanje stremenske armature,
- slab sistem za prevzem horizontalnih sil,
- skoki v togosti posameznih etaž.

Popotresna ocena, opravljena do 14. septembra 1999, je pokazala, da je bilo od 59.000 pregledanih bivališč 11 % takšnih, ki so jih morali odstraniti, 39 % je bilo takšnih, ki so jih popravili pred vselitvijo, 50 % pa takšnih, ki so bila manj poškodovana in so lahko bila takoj vseljena.

Poškodbe industrijskih objektov

V tem delu je bilo mnogo industrijskih objektov. Za območje je značilna tradicionalna obdelava marmorja, prehrabena in tekstilna industrija ter industrija za predelavo plastičnih mas. Ti industrijski objekti so večinoma armiranobetonski, grajeni na mestu samem. Visoki so do pet nadstropij, največ pa je dvo ali trinadstropnih. Nekaj je tudi jeklenih konstrukcij, vendar so to le pritlična skladišča. Tri tovarne so bile popolnoma porušene in v njih je bilo tudi največ smrtnih žrtev. Poškodovanih je bilo tudi precej drugih industrijskih objektov, obseg poškodb pa je bil odvisen predvsem od obdobja izgradnje. Novejše tovarne (mlajše od 5 let) so potres prestale le z manjšimi poškodbami na nekonstruktivnih elementih. Starejši objekti so imeli običajne poškodbe armiranobetonskih stebrov kot posledico pomanjkljive stremenske armature. Pri teh objektih so tudi izpadale predelne stene, nekaj pa je bilo tudi primerov porušitve zaradi mehkih etaž (npr. hoteli, ki imajo v pritličju restavracije z mnogimi stebri in so brez sten).

Tudi v malo poškodovanih objektih je prišlo do motenj v proizvodnji. Lahki in visoki stroji so bili običajno pritrjeni v tla, medtem ko težji stroji niso bili. Posledica tega je bila, da so se med potresom premikali in so bili neuporabni do ponovne namestitve, ki pa včasih, ko gre za povezavo z dobaviteljem opreme iz tujine, lahko traja tudi dlje časa.

Žerjavi in industrijska dvigala so potres dobro prestali. Mnogi žerjavi v industriji obdelave marmorja so bili popolnoma nepoškodovani.

Poškodbe zgodovinskih spomenikov

Žarišče potresa je bilo le 18 km oddaljeno od zgodovinskega centra Aten, zato je bila velika sreča, da zgodovinski spomeniki niso utrpeli večjih poškodb. V bližnjem zgodovinsko–arheološkem delu Aten so manjše poškodbe opazili v nekaj muzejih. Kot zanimivost lahko navedemo, da je bilo v osrednjem arheološkem muzeju prevrnjenih in razbitih preko 230 antičnih skledic. Čeprav je bilo od leta 1970 narejenih mnogo študij o zavarovanju takšnih predmetov pred prevrnitvijo, žal nikoli nobena od metod ni bila uporabljena.

Predpisi o potresno varni gradnji

Sedanji predpis za potresno varno projektiranje armiranobetonskih konstrukcij iz leta 1993 je relativno nov in zagotavlja ustrezno potresno varnost. Predhodni predpis je bil iz leta 1978, pred tem pa še iz leta 1955. Predpisi pred letom 1993 niso posvečali pozornosti stremenski armaturi. To je pomenilo, da so bila stremena redka ter odprta, to pa je razgalil potres, saj je bilo veliko poškodb prav zaradi tega .

Sklep

Potres 7. septembra 1999 z žariščem v bližini Aten je zanimiv dogodek, ker je kljub nizki magnitudi zahteval človeška življenja. Njegova moč je bila podobna moči potresa 12. aprila 1998 v Zgornjem Posočju. Žrtve so posledica žarišča, ki je nastalo v neposredni bližini urbanega okolja, in seveda slabe gradnje.

Povezanost s potresom v Turčiji, ki je nastal le dvanajst dni prej, je možna, čeprav malo verjetna. Potres v Turčiji je bil izjemno močan (magnituda $M = 7,4$), zato je lahko v istem seizmogenem območju (na južnem obrobju Turško - Egejske plošče) povzročil nastanek šibkejšega potresa.



Slika 3. Težke poškodbe objektov vzdolž ulice Dekelias Odos v Atenah, ponekod so bili objekti popolnoma uničeni.

Figure 3. Heavily damage building along Dekelias Odos (Athens).



Slika 4. V večjem delu tovarne »Faran« je prišlo do težkih poškodb konstrukcijskih elementov.

Figure 4. The factory »Faran«, part of the building collapsed and the rest suffered serious structural damage.



*Slika 5. V večjem delu tovarne »Fourlies« so bile težko poškodovane konstrukcije.
Figure 5. The factory »Fourlies«, part of the building collapsed and the rest suffered serious structural damage.*



*Slika 6. Detajl porušene tovarne.
Figure 6. Detail of the collapsed factory.*



*Slika 7. Mnoge poškodbe objektov vzdolž ulice Dekelias v Atenah.
Figure 7. Several damaged buildings along Dekelias road (Athens).*



*Slika 8. Močno poškodovana tovarna »Ricomex«, kjer je bilo na enem mestu največ žrtev
potresa (več kot 30).
Figure 8. The factory »Ricomex« collapsed and coased the highest life toll in a single place
(more than 30).*



*Slika 9. Podrta garaža v neposredni bližini tovarne »Ricomex«.
Figure 9. Damaged garage near the factory »Ricomex«.*



Slika 10. Na cesti med krajema Aspropyrgos in Fili so na cesto zgrmeli številni kamninski podori.

Figure 10. Rockfall on the road from Aspropyrgos to Fili.

Avtorici fotografij poškodb sta Paola Albini (Istituto di Riserca sul Rischio Sismico, Milano) in Vicky Kouskouna (Laboratory of Seismology, Univerza v Atenah).

Damage photographic documentation by Paola Albini, Istituto di Riserca sul Rischio Sismico, Milano and Vicky Kouskouna, Laboratory of Seismology, University of Athens.

Literatura

- Ambraseys, N., N., 1993. Material for the Investigation of the Seismicity of Central Greece. EC project »Review of Historical Seismicity in Europe« (RHISE), 1989-1993.
- NEIC, 1999. Significant Earthquakes of the World. US Department of the Interior. Geological Survey, National Earthquake Information Center.
- Papadopoulos, G., A., Drakatos, G., Papanastassiou, D., Kalogeras, I., Stavrakakis, G., 1999. Athens Earthquake. Preliminary results about the catastrophic earthquake of 7 september 1999 in Athens, Greece.

POTRES 20. SEPTEMBRA 1999 NA TAJVANU THE 20 SEPTEMBER 1999 EARTHQUAKE ON TAIWAN

Renato Vidrih¹, Matjaž Godec¹

***Izvleček.** Potres na Tajvanu je bil 20. septembra. Njegova telesna magnituda (M_b) je bila 6,5, magnituda, izračunana iz površinskih valov (M_s) je bila 7,7, prav tako tudi navorna magnituda (M_w). Potres je nastal ob 17. uri in 47 minut po UTC z žariščem v globini 21 km. Zahteval je okoli 2.100 življenj. Še bolj kot poškodbe objektov so bili zanimivi vodoravni in navpični premiki, ki so nastali kot posledica potresa. Največji vodoravni premiki so dosegli do 9 metrov, navpični pa do 8 metrov.*

***Abstract.** The earthquake on Taiwan happened on 20 September. Its body wave magnitude (M_b) was 6.5, while the surface wave magnitude (M_s) was 7.7, the same as the moment magnitude (M_w). The earthquake occurred at 17.47 UTC, with the hypocentre at a depth of 21 km. It took around 2,100 lives. Even more than the damage to buildings, it was interesting to observe the horizontal and vertical movements that appeared as the consequence of the earthquake. The largest horizontal movements achieved up to 9 metres, while the vertical ones were of maximum 8 metres.*

Turški in tajvanski potres

Mesec dni po potresu v Turčiji je bil še nekoliko močnejši potres na Tajvanu. Turški potres je bil v sredozemsko-transazijskem seizmogenem pasu, ki je nastal med Afriško geotektonsko ploščo na jugu in Evrazijsko na severu. Pas sestavlja več manjših plošč, med katerimi lahko prihaja do podrivanj, trkov ali pa ena plošča drsi ob drugi. Zadnji potres je nastal ob Anatolskem prelomu, kjer dva bloka drsita drug ob drugem. Razprostira se v smeri vzhod – zahod in je ena najbolj potresno aktivnih struktur na tem območju. Energija, ki se je sprostila ob tem potresu, je lahko povzročila sprostitve energije v južnem delu Turško – Egejske plošče. Potresi, ki si v kratkem časovnem zaporedju sledijo na manjšem seizmogenem območju, so lahko povezani. Podobni primeri nastajajo tudi na obeh straneh Jadranskega morja, npr. potresi v Črnogorskem primorju in v osrednji in južni Italiji. V nobenem primeru pa ne moremo povezovati potresov v tem delu sveta s potresi v daljnem Pacifiku.

Žarišče potresa na Tajvanu je nastalo v povsem drugem seizmogenem pasu, to je cirkum pacifiškem ali obtihomorskem seizmogenemu pasu. V tem pasu se sprosti največ potresne energije na svetu, saj so znana žarišča na Kurilih, Japonskem, otočju Rjkukju, Filipinih ... in seveda na drugi strani, vzdolž obale Južne Amerike, Mehike, Kalifornije Potres je nastal na stiku Pacifiške in Evrazijske plošče ali natančneje, kot posledica podrivanja manjše Filipinske plošče pod Kitajsko ploščo.

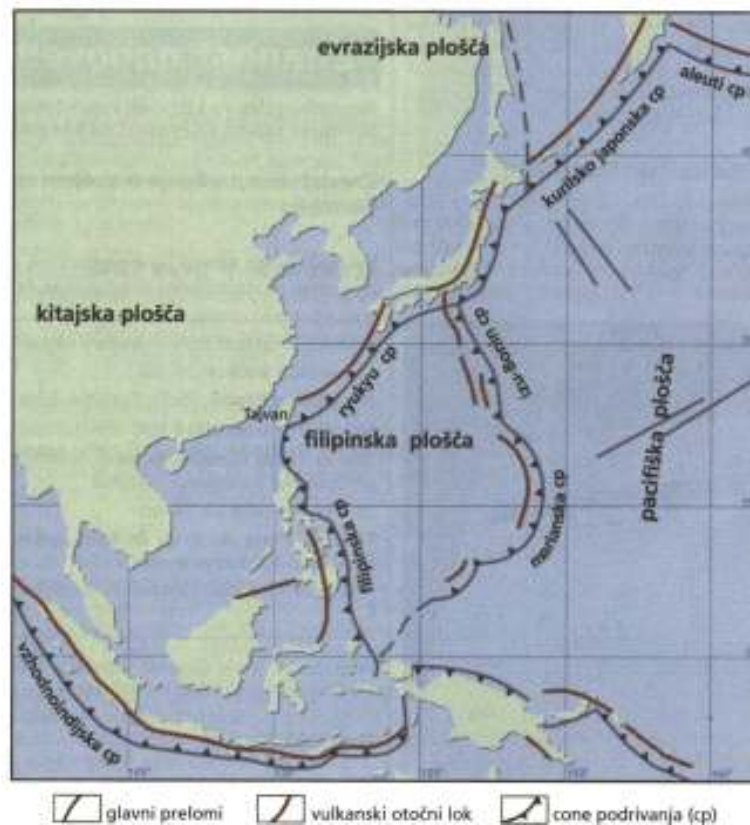
Vzroki nastanka potresa na Tajvanu

Potres na Tajvanu je nastal 20. septembra 1999 ob 17. uri 47 minut po UTC ali 21. septembra ob 1. uri in 47 minut po lokalnem času. Njegova magnituda, izračunana iz površinskih valov M_s , je bila 7,7, prav tako tudi navorna M_w (NEIC, URSG, 1999). Koordinati nadžarišča sta 23.8 stopinj severne širine in 121,0 stopinj vzhodne dolžine, kar je približno 160 km jugojugozahodno od glavnega mesta Tajpej. Po sedanjih podatkih naj bi žarišče nastalo v globini 21 km. Seizmografi observatorija Uprave RS za geofiziko so potres zapisali dobrih 12

¹ Agencija RS za okolje, urad za seizmologijo, Dunajska 47, Ljubljana

minut kasneje. Potresu je sledilo več močnih popotresnih sunkov, ki so presegli magnitudo $M = 6,0$. Najmočnejši popotresni sunek je bil 25. septembra z magnitudo $M = 6,5$. V prvem tednu je bilo več kot 6.000 popotresov. Po znanih podatkih je življenje izgubilo več kot 2.100 ljudi.

Potres je nastal ob prelomu Čelongpu, ki poteka od juga (mesti Čušan in Nantoe) proti severu otoka (mesti Fengjuan in Tajčung). Na severnem delu se prelom zasuka v smer vzhod – severovzhod. Navpični premiki v delu preloma sever – jug so dosegli od 1 do 4 metrov. V predelu preloma, ki poteka v smeri vzhod – severovzhod, pa so navpični premiki dosegli med 4 in 8 metri, vodoravni pa od 1 do 9 metrov. Velikost navpičnih premikov uvršča ta potres med največje na svetu.



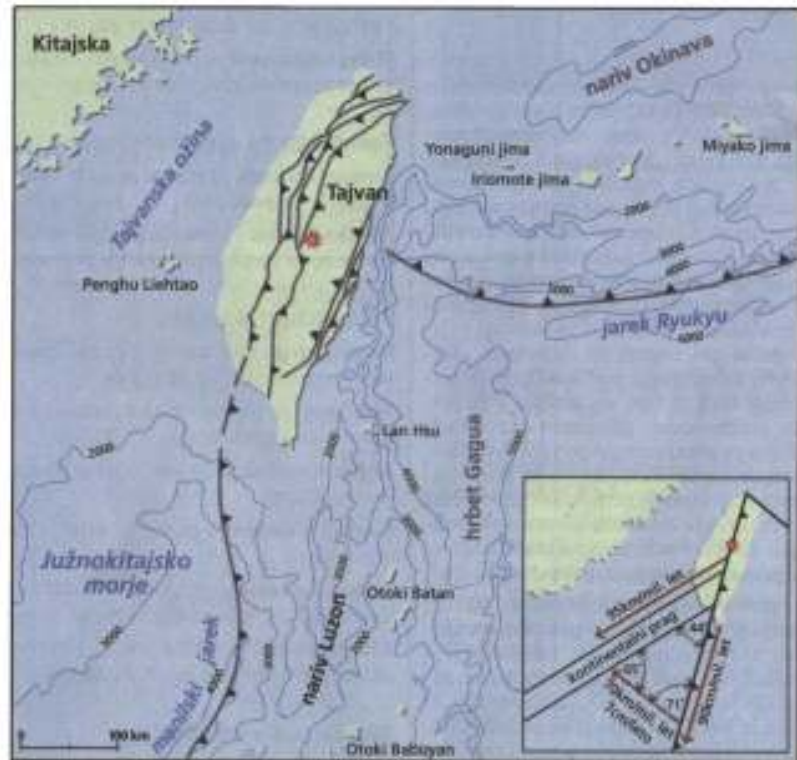
Slika 1. Razpored tektonskih plošč v zahodnem Pacifiku.

Figure 1. The distribution of the tectonic plates in the western Pacific.

Večina močnih potresov nastaja v osrednjih in vzhodnih predelih Tajvana. Oceanska skorja Južnokitajskega morja, ki je del Evrazijske geotektonske plošče, se na območju severnih Filipinov podriva (cona subdukcije) pod otočni lok. Otočja med Filipini in Tajvanom so zgrajena iz neogenskih vulkanskih kamnin. Nariv Luzona proti zahodu je ločen od Manilskega jarka in se proti severu (zahodni Tajvan) klinasto prirašča na obrobje azijskega kontinenta. Ker je kontinentalna skorja lažja od oceanske skorje Južnokitajskega morja, je kamninski klin dvignjen nad morsko gladino. Debelina pleistocenskih sedimentov narašča od Tajvanske ožine, kjer dosega debelino do 1 km, proti vzhodu, kjer dosega v narinjenem nagubanem pasu debelino 4 km in več. Na tem območju nastajajo potresi ob narivnih prelomih. Na vzhodnem delu otoka je prišlo do koseizmičnega dviga, kjer občasno nastajajo močni potresi.

Slika 2. Razlog za nastanek potresa je podiranje Filipinske plošče pod Kitajsko ploščo, ki je del Evrazijske plošče.

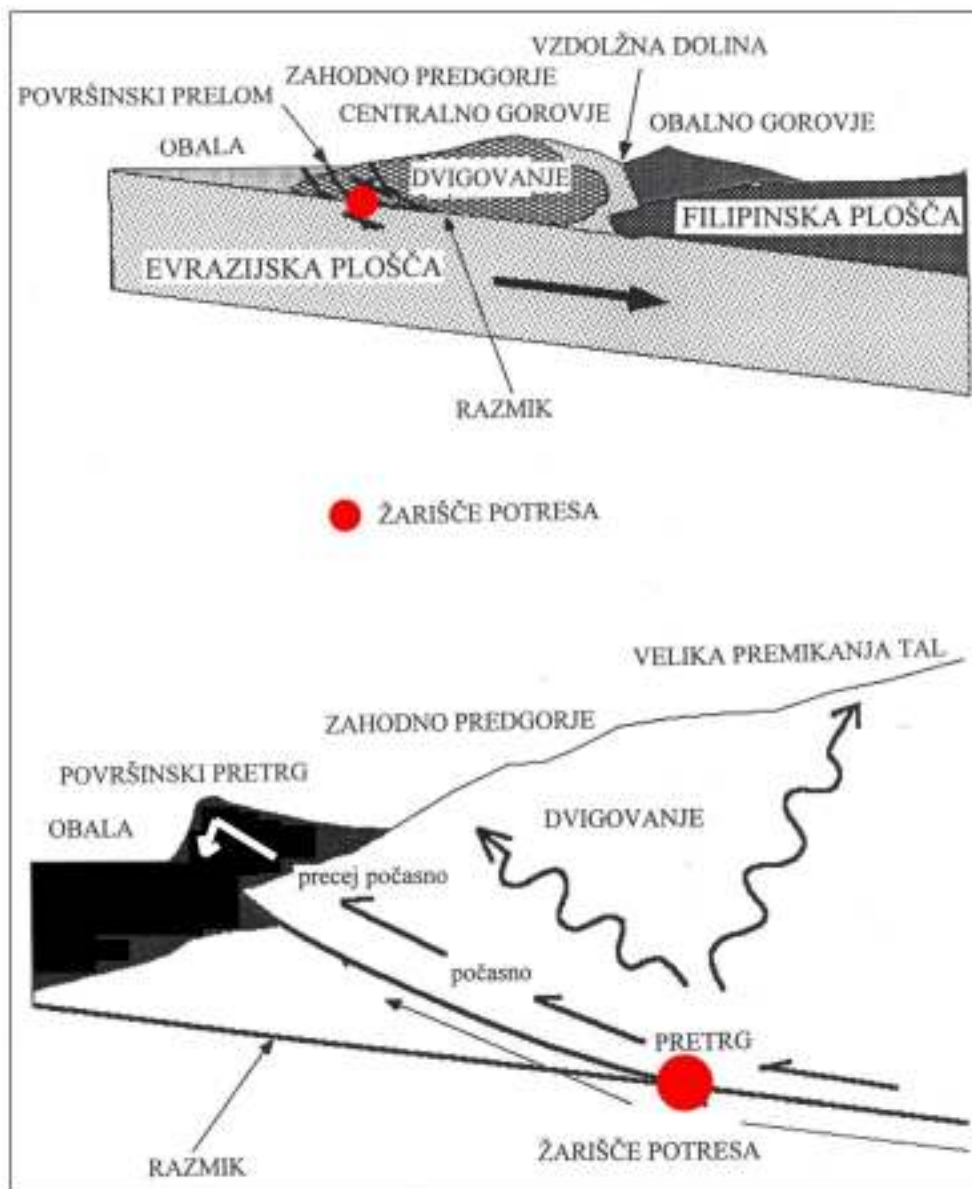
Figure 2. The reason for the earthquake was the pressure of the Philippine plate sliding under the Chinese plate, which is part of the Eurasian plate.



Slika 3. Najmočnejši potresi, ki so v preteklosti zatresli Tajvan in okolico. Črn krogec označuje epicenter zadnjega potresa.

Figure 3. The strongest earthquakes that have shaken Taiwan and its surroundings in the past. The black circle marks the epicentre of the last earthquake.





Slika 4. Mehanizem nastanka potresa na Tajvanu kaže, da je nastal ob narivnih strukturah.
Figure 4. Mechanism of earthquake in Taiwan show, that hypocenter was on thrust structure.

Analiza poškodb na Tajvanu

V okviru slovenske delegacije, ki smo jo sestavljali predstavniki Uprave RS za geofiziko, smo si ogledali nekatera prizadeta območja. Cilji ogleda so bili:

- pregled poškodb na objektih in ocena vzrokov,
- pregled poškodb v naravi,
- monitoring (spremljanje) potresov.

Potres je povzročil okoli 2100 mrtvih, porušenih pa je bilo na tisoče hiš. Takoj po potresu so plazovi zasuli mnoge cestne odseke, v času našega obiska pa so bile vse te ovire že odstranjene. Potres na Tajvanu je bil tako močan, da so se ljudje v nadžariščnem območju ob nihanju tal le s težavo obdržali na nogah.

Na prizadeto območje smo prišli skoraj dva meseca po potresu, tako da je bila večina poškodovanih objektov že odstranjenih. Kljub temu smo si lahko v najhujše prizadetih

območjih še lahko ogledali nekaj še ne odstranjenih močno poškodovanih zgradb. Pomembnejše so bile poškodbe v naravi, kjer smo si lahko ogledali tudi površinski pretrg.

Nadžarišče potresa je bilo v kraju Či-či v okraju Nantou (oddaljen 140 km od Tajpeha). Maksimalni horizontalni pospešek je znašal 1,0 g, vertikalni pa 0,5 g.

Kot posledico potresa smo si med našim ogledom ogledali zaradi plazu podrt oporni zid na cesti med Hoč-Singom in Ven-Šujem. Tudi mnogi podrti mostovi (kot tisti v Tung-Šinu) so bili še neodstranjeni.

Značilnost objektov so rezervoarji za vodo na strehah (iz nerjaveče pločevine). Na potresnem območju so bila polomljena mnoga stojala rezervoarjev. Poškodbe objektov pa smo si ogledali ob jezeru Moon, kjer se je porušil hotel.

Na samem prelomu je bila postavljena pregrada Šinkang (v bližini mesta Fengjuan). Zaradi pretrga se je pregrada porušila. Sam pretrg pomeni na eni strani dvig za 3 – 4 m, na drugi strani pa spust za 1 – 2 m. Lega na pretrgu je bila tudi vzrok porušitve mostu na reki Tačja-Hi.

Na Tajvanu so pogosti močni potresi. Za hitro obdelavo podatkov in alarmiranje ter obveščanje javnosti so vzpostavili učinkovito avtomatsko obdelavo podatkov, zabeleženih na 1000 akceleroagrafih. Cena takšnega sistema, s pomočjo katerega je bila analiza podatkov za najmočnejši dogodek opravljena v 102 sekundah po dogodku, je bila okoli 40 milijonov USD.

73 instrumentov je neposredno povezanih s centrom v Tajpehu. Povezava poteka po telefonskih linijah. Dejstvo je, da so imeli v 100 sekundah po potresu prve rezultate na osnovi podatkov 13 postaj. Na njihovi spletni strani so bili osnovni podatki o potresu že dve minuti po njem. Ti podatki so tudi zadoščali za prvo karto potresnih učinkov. Za tako karto uporabljajo pospeške na posamezni lokaciji, manjkajoče podatke pa interpolirajo z uporabo atenuacijskih formul. Pri določanju intenzitet uporabljajo svojo lestvico, ki kaže povezavo pospeškov in njihovih opredelitev intenzitete:

Stopnja	Pospešek (g)
1	0,0008-0,0025
2	0,0025-0,0080
3	0,0080-0,0250
4	0,0250-0,0800
5	0,0800-0,2500
6	>0,2500

Potres na Tajvanu je bil tako močan, da so se ljudje v nadžariščnem območju ob nihanju tal le s težavo obdržali na nogah. V mestu Fengjuan, oddaljenem okoli 50 km od žarišča potresa, so bile poškodovane predvsem novejšje, do 10 nadstropij visoke stolpnice. Nekaj je bilo tudi porušenih. Starejši, večinoma eno do petnadstropni objekti, so ostali nepoškodovani.

Najhujše posledice potresa so bile v nadžariščnem območju v mestu Tungšin. Tu je bilo okoli 1.000 žrtev, največ v starejših dvo do petnadstropnih armirano - betonskih zgradbah, podobnih tistim, ki so v mestu Fengjuan ostale nepoškodovane.

Mesto Nantoe je od žarišča potresa oddaljeno le 25 km. Večina starejših nizkih zgradb je ostala nepoškodovana, čeprav bi lahko bile ocenjene kot potresno ranljive. Večina novejših, srednje visokih zgradb pa je bila zelo poškodovanih.

Mesti Čiči, ki leži v ožjem nadžariščnem območju, in Čungljao, oddaljeno 10 km od nadžarišča, ležita v goratem delu, kjer so se sprožili številni plazovi. Učinki potresa so bili v teh mestih uničujoči: 70 % zgradb je bilo zelo poškodovanih ali uničenih. Posebno težke so bile poškodbe na starejših zgradbah s t. i. mehkim pritličjem (izložbena okna, lokali v pritličju stanovanjskih objektov). Uničeno je bilo tudi popolnoma novo svetišče.

Podatki o mestih, ki ležijo na območju preloma, ob katerem je nastalo žarišče, so zatrašujoči. V delu mesta Takeng, ki je sicer 70 km oddaljeno od žarišča potresa, a leži ob prelomu, so bile uničene vse zgradbe na vzhodni strani preloma, medtem ko so bile poškodbe na zahodni strani preloma zmerne. Navpični premiki tal na površju so bili do 9 m. V takih primerih vidimo, kako zelo lahko lokalna geološka zgradba vpliva na učinke potresa.

Na širšem nadžariščnem območju je v zadnjem obdobju potekal hiter razvoj, pogosto povezan s ceneno gradnjo. Vendar je bilo ob vsem razdejanju vidno, da so bile te zgradbe še vedno mnogo bolje grajene kot podobni objekti v Turčiji. Poleg poškodb na objektih je potres povzročil tudi požare, cestne povezave so bile prekinjene zaradi plazov, pa tudi vožnja po cestah je bila otežkočena zaradi nagubanega cestišča.

Glavno mesto Tajpei, oddaljeno 160 km od žarišča, je utrpelo lažje poškodbe. Mnogo zgradb je bilo lažje poškodovanih: odpadali so strešniki, pojavile so se manjše razpoke. Porušila sta se dva 12-nadstropna objekta, in sicer hotel in stanovanjski blok. V obeh primerih je šlo za armiranobetonsko okvirno konstrukcijo. Pri tem je zanimivo, da so razen obeh porušeni objektov podobni objekti ostali nepoškodovani. Po prvih analizah je do porušitve prišlo bodisi zaradi hude projektantske napake bodisi zaradi napak pri adaptaciji ali rekonstrukciji obeh zgradb.

Splošno o premikih ob potresih

Potresi nastajajo ob prelomnih conah, ki med seboj ločujejo večje in manjše tektonske enote. Skozi daljša časovna obdobja so se plasti v Zemljini skorji počasi deformirale in nabirala se je elastična energija. Ponavadi rečemo, da do potresa pride v trenutku, ko se ta energija nenadoma sprosti. Vendar to ni res premik. Potresov ne smemo gledati kot nenadne pojave, ampak kot stremljenje plasti v Zemlji, da se potem, ko so jih zemeljske sile skozi dolga leta počasi deformirale, vrnejo v normalno stanje. Proces potekajo počasi, elastična energija se zbira, dokler na najmanj odpornem mestu napetost v trenutku ne popusti. Nenadna sprostitvev napetosti je glavni vzrok nastanka potresa, pri tem se elastična energija sprosti v obliki potresnega valovanja. Gibanja so lahko različna, večinoma pa gre za kombinacijo navpičnih in vodoravnih premikanj.

Ali so prelomi posledica starih (»fosilnih«) potresov

Prelomi segajo v Zemljini skorji različno globoko, ponekod celo več deset kilometrov. Ob zelo močnih potresih lahko prihaja do nastanka novih prelomov. Večinoma pa so prelomi le zunanji odraz dogajanj globoko pod Zemljinim površjem. Zmotno je prepričanje, da so prelomi posledica potresov, ne pa njihov vzrok. Le pri zelo močnih potresih se prelomi kažejo

kot razpoke na površini. Le-te največkrat nastanejo kot posledica intenzivnega nihanja proste površine tal, ki nastane v tleh med potresnimi sunki. Tudi popotresna dejavnost je povezana s temi dogajanji. Napetosti se ob prelomu ponovno nakopičijo, energija pa se ob razrahljanih prelomnih ploskvah sprošča hitreje in s pogostejšimi potresi.

Ob potresih se lahko aktivira različna dolžina preloma, odvisno od moči potresa. Iz potresne zgodovine poznamo več primerov, ko so na površini nastajali večmetrski premiki. Ob potresu na Japonskem (Mino Ovari, 28. oktobra 1891) ob koncu prejšnjega stoletja se je prelom aktiviral v dolžini 110 km; ob njem so na površini nastali 7-metrski navpični premiki, v vodoravni smeri pa so se plasti razmaknile za 4 metre.

V seizmologiji govorimo, da je žarišče ali hipocenter potresa točka, vendar poteka navadno premik v notranjosti na nekaj kilometrov ali celo več deset kilometrov dolgem odseku preloma. Ob potresu 18. aprila 1906 na območju San Francisca se je od žarišča potresa, kjer se je začel pretrg kamnine, aktiviral prelom v dolžini 560 km. Lom kamnine se širi s hitrostjo potovanja potresnih valov. Premiki, ki so nastali na površini, so presegli sedem metrov v vodoravni smeri, navpični premiki pa so bili relativno majhni, do enega metra. Seveda pa je velikost vodoravnih in navpičnih premikov odvisna od tipa preloma. Potres v San Franciscu je nastal ob vodoravnem prelomu sv. Andreja, kjer se premikata desno in levo krilo, relativno drug na drugega predvsem v vodoravni smeri, manj pa v navpični. Podobno dogajanje je bilo ob zadnjem potresu v Turčiji. Ob prelomih, kjer prihaja do podrivanja ali nadrivanja ene strukture nad ali pod drugo, pa prihaja do večjih navpičnih premikanj.

Med največje premike v zgodovini sodijo premiki ob potresu leta 1887 v Mehiki (Sonora), kjer je prišlo do 9-metrskih navpičnih premikov; leta 1897 je ob potresu v Assamu v Indiji prišlo do 12-metrskega navpičnega premika. Ena največjih kombinacij navpičnih in vodoravnih premikov pa je nastala ob potresu 4. decembra 1957 v Mongoliji (Altaj – Gobi), kjer je prišlo ob enem delu preloma do 8,8-metrskega vodoravnega premika in 9,2-metrskega navpičnega premika. Višina gora se je ponekod spremenila za 50 – 60 metrov, nastali sta tudi dve novi jezери. Razpoke so nastajale v dolžini 700 km.

Najmočnejši znani potres v zgodovini je bil leta 1960 ob obalah Čila. Dosegel je magnitudo $M = 9,5$, kar velja za največjo izmerjeno magnitudo vseh časov. Ob potresu se je aktiviral prelom v dolžini 1000 km. Med najbolj raziskanimi potresi pa je potres leta 1964 na Aljaski. Tako navpični kot tudi vodoravni premiki večmetrskih dimenzij so spremenili zemeljsko površje.

Premiki ob potresu na Tajvanu

Za konec si oglejmo še posledice tajvanskega potresa v naravi. Slike premikov, ki so nastali ob tem potresu, bodo zanesljivo našle pot v marsikatero geološko ali seizmološko knjigo, predvsem nastanek slapa.

Potres je nastal kot posledica trka Filipinske in Evrazijske plošče. Na severu se Filipinska plošča podriva pod otočni lok Rjukju, na jugu in vzhodu pa se nariva Manilski jarek. Mehanizem žarišča tajvanskega potresa je popolnoma drugačen od posoškega in turškega, gre namreč za narivne strukture. Če smo prej govorili o skoraj navpičnih prelomih, ob katerih se eno krilo razmeroma vodoravno zamakne od drugega, gre v primeru tajvanskega potresa za

narivanje enega bloka na drugega, kar je tudi eden od razlogov, da je globina žarišča tega potresa majhna.

Posledica majhne globine so veliki učinki na površini. Prelom se je na površini aktiviral v dolžini okoli 80 km. Ob njem so nastali tako navpični kot tudi vodoravni premiki. Ob pretргу, ki je nastal na površini, so bili uničeni vsi objekti, od pregrad do mostov, da o hišah sploh ne govorimo. En blok se je narinil na drugega v višini najmanj šestih metrov, spodnji blok pa se je pogreznil za najmanj meter ali dva, tako lahko na površini opazujemo tudi do 8 metrov velike premike. Najzanimivejši premik je nastal v strugi reke severovzhodno od mesta Fengjuan, kjer je prišlo do 8 metrov skoraj navpičnega premika, ob katerem je nastal slap. Na sliki ob novonastalem slapu vidimo podrt most. Če smo sledili pretргу na površini, smo lahko že v sosednjem naselju gledali mestne ulice v »etažah«. Del mesta, ki je bil na bloku, ki se je narival, danes leži nekaj metrov višje (Vidrih, 2000).

Sklep

Primerjava potresov v Turčiji ($M_w = 7,6$) in na Tajvanu ($M_w = 7,7$), torej po moči podobnih potresov, nam na najbolj poučen način kaže, kaj pomeni potresno varna gradnja. V Turčiji je bilo ob približno enako globokem potresu (globina igra precejšnjo vlogo, saj vemo, da pri enaki moči plitek potres na površini povzroči veliko večjo škodo) skoraj 9-krat več smrtnih žrtev. Veliko število mrtvih lahko pripišemo zelo slabi gradnji in neupoštevanju geomehanskih značilnosti tal. Na Tajvanu so bili poškodovani ali uničeni objekti, ki so bili postavljeni v neposredni bližini ali kar na sami prelomni coni, ob kateri je nastal potres. Če si predstavljamo večmeterske premike tal, ko so se objekti iz ene ulice narinili na objekte sosednje ulice, lahko ugotovimo, da so bili objekti zelo dobro zgrajeni in temu primerno je bilo tudi mnogo manjše število smrtnih žrtev kot v turškem potresu.



*Slika 5. Vzrok porušitve industrijskega objekta je bila mehka etaža (foto: R. Vidrih).
Figure 5. The reason for the collapse of the industrial building was soft storey
(photo: R. Vidrih).*



*Slika 6. Posledice potresa so bile tudi na daljnovidih. Nagnjenje stebra je posledica lokalnih geoloških pogojev (foto: R. Vidrih).
Figure 6. The earthquake also damaged the power supply network. The leaning of the column is the consequence of the local geological conditions (photo: R. Vidrih).*

*Slika 7. Stanovanjska hiša na prelomu ne more vzdržati obremenitev, pa tudi deformacije tal ne (vertikalni premiki so bili tudi do 8 m) (spodaj) (foto: R. Vidrih).
Figure 7. The residential house at the fault cannot bear the burden, nor the deformation of the ground (there were vertical offsets of up to 8 m) (below) (photo: R. Vidrih).*





Slika 8. Lesene zgradbe se ob močnem potresu lahko zelo deformirajo, porušijo pa ne. Primer na sliki kaže železniško postajo (foto: R. Vidrih).

Figure 8. During a strong earthquake, wooden buildings can get very deformed, but they do not collapse. The example in the picture presents a railway station (photo: R. Vidrih).



Slika 9. Vzrok porušitve mostu v Tung-Šinu je bilo slabo nalaganje prekladnih elementov v ležiščih (foto: R. Vidrih).

Figure 9. The reason of the bridge collapse in Tung-Shin was bed joints of beam (photo: R. Vidrih).



Slika 10. Na prelomu je bila postavljena pregrada Ši-Gang, ki se je zaradi površinskega pretrga porušila. Na eni strani preloma je prišlo do dviga 3 – 4 m, na drugi pa do pogreznitve 1 – 2 m (foto: R. Vidrih).

Figure 10. The Shi-Gang barrier was built on the fault. It collapsed because of the surface fault rupture. On one side of the fault, there was a rise of 3 – 4 m, while on the other side a sinking of 1 – 2 m occurred (photo: R. Vidrih).

*Slika 11. Pred potresom je dovozna cesta čez pregrado potekala vodoravno (foto: R. Vidrih).
Figure 11. Prior to the earthquake, the road over the barrier was horizontal (photo: R. Vidrih).*



Slika 12. V posameznih naseljih je pretrg potekal po ulicah, ponekod celo pod hišami. Ena stran ulice se je dvignila nad drugo (foto: R. Vidrih).

Figure 12. In individual settlements, the fault rupture went through streets, in some places even beneath houses. One side of the street rose above the other side (photo: R. Vidrih).



Slika 13. Zaradi plazenja, ki ga je povzročil potres, je prišlo do deformacije cestišča (foto: R. Vidrih).

Figure 13. The deformation of the roadway was caused by the sliding of the land because of the earthquake (photo: R. Vidrih).



Slika 14. V neposredni bližini plazu (slika 14) je bil ob potresu močno poškodovan hotel ob jezeru Moon (foto: R. Vidrih).

Figure 14. In the direct vicinity of the slide (Figure 14), a hotel at Lake Moon was heavily damaged during the earthquake (photo: R. Vidrih).

*Slika 15. Popolnoma porušena stanovanjska zgradba (foto: M. Godec).
Figure 15. Completely destroyed residential building (photo: M. Godec).*



*Slika 16. Potres je povzročil številne plazove (foto: R. Vidrih).
Figure 16. The earthquake caused many land failures (photo: R. Vidrih).*



Slika 17. Podrt most na reki Tačja-Hi in ob njem novonastali slap višine okoli 8 m. En blok se je dvignil za okoli 6 m, drugi pa pogreznil za približno 2 m (foto: R. Vidrih).
Figure 17. A collapsed bridge on the Tachia-Hi river and a newly-formed waterfall of around 8 m in height. One block rose by around 6 m, the other sank by around 2 m (photo: R. Vidrih).

Literatura

NEIC, 1999. Significant Earthquakes of the World. US Department of the Interior. Geological Survey. National Earthquake Information Center.

URSG, 1999. Preliminarni seizmološki bilten, 1999. Uprava RS za geofiziko, Ljubljana.

Vidrih, R., 2000. Potres na Tajvanu in premiki ob potresih. Življenje in tehnika 51, Tehniška založba Slovenije, 21-30, Ljubljana.

Podatki z interneta.

