POTRESI V LETU 2003





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

POTRESI V LETU 2003 EARTHQUAKES IN 2003

AGENCIJA REPUBLIKE SLOVENIJE ZA OKOLJE URAD ZA SEIZMOLOGIJO IN GEOLOGIJO

ENVIRONMENTAL AGENCY OF THE REPUBLIC OF SLOVENIA SEISMOLOGY AND GEOLOGY OFFICE

Ljubljana 2005

POTRESI V LETU 2003 EARTHQUAKES IN 2003

IZDALA IN ZALOŽILA – PUBLISHED BY

Ministrstvo za okolje in prostor Ministry of the Environment and Spatial Planning

Agencija RS za okolje (ARSO) - Environmental Agency of the Republic of Slovenia Urad za seizmologijo in geologijo – Seismology and Geology Office

GENERALNI DIREKTOR AGENCIJE – DIRECTOR GENERAL OF AGENCY

dr. Silvo Žlebir

UREDNIK – EDITOR - IN - CHIEF

mag. Renato Vidrih

RAČUNALNIŠKO OBLIKOVANJE – COMPUTER DESIGN

Peter Sinčič

UREDNIŠKI SVET – EDITORIAL BOARD

dr. Silvo Žlebir mag. Renato Vidrih mag. Ina Cecić Matjaž Godec dr. Andrej Gosar Peter Sinčič dr. Barbara Šket Motnikar mag. Izidor Tasič Polona Zupančič mag. Mladen Živčić

TISK – PRINTED BY

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

CIP – Kataložni zapis v publikaciji Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana UDK 550.34.100 »2003« ISSN 1318 - 4792 Potresi v letu 2003/ur. R. Vidrih – Ljubljana Agencija RS za okolje, 2005

NASLOVNICA:

Globina do Mohorovičićeve diskontinuitete (debelina Zemljine skorje) na širšem območju Slovenije po preliminarnih razultatih modeliranja z metodo sledenja žarkov vzdolž šestih profilov projekta ALP 2002.

Glej članek A. Gosar: »Seizmične raziskave litosfere v srednji Evropi in debelina Zemljine skorje v Sloveniji«, str 99.

COVER PAGE:

Mohorovičić discontinuity (thickness of the Earth's crust) depth in wider area of Slovenia according to preliminary results of raytracing modelling along six profiles of ALP 2002 project.

See A. Gosar: »Seismic Investigations of the Lithosphere in Central Europe and Thickness of the Earth's Crust in Slovenia«, page 99.

Kazalo:

Renato Vidrih Predgovor1
Peter Sinčič, Renato Vidrih, Matjaž Gostinčar, Mladen Živčić Potresne opazovalnice v Sloveniji v letu 20037
Ina Cecić, Mladen Živčić, Tamara Jesenko, Janko Kolar Potresi v Sloveniji leta 200321
<i>Polona Zupančič</i> Karta potresne nevarnosti Slovenije z upoštevanjem inženirsko-geoloških lastnosti tal41
<i>Izidor Tasič, Peter Sinčič, Matjaž Gostinčar, Igor Pfundner</i> Kalibracija senzorjev v državni mreži potresnih opazovalnic
Janko Kolar, Martina Čarman, Matjaž Kobal, Jurij Pahor, Mladen Živčić Analiza natančnosti avtomatičnih lokacij potresov v letu 2003
<i>Jurij Pahor, Mladen Živčić, Martina Čarman, Matjaž Kobal, Janko Kolar</i> Učinkovitost zbiranja podatkov iz potresnih opazovalnic v letu 2003
<i>Martina Čarman, Matjaž Kobal, Janko Kolar, Jurij Pahor, Jure Ravnik, Mladen Živčić</i> Analiza seizmičnega šuma na opazovalnicah državne mreže potresnih opazovalnic, ki so začele delovati pred letom 200369
<i>Izidor Tasič, Peter Sinčič</i> Lokalni vplivi na zapis potresa na potresni opazovalnici Ljubljana (LJU)
<i>Igor Pfundner</i> Kako do podatkov iz opazovalnic brez uporabe avtomobila83
<i>Izidor Tasič</i> Seizmometer CMG - 40T
<i>Renato Vidrih</i> Otvoritev Primorske mreže potresnih opazovalnic95
<i>Andrej Gosar</i> Seizmične raziskave litosfere v srednji Evropi in debelina Zemljine skorje v Sloveniji
<i>Tamara Jesenko, Renato Vidrih</i> Močnejši potresi po svetu leta 2003111
<i>Manfred Deterding, Tamara Jesenko</i> Najmočnejši in najgloblja potresa v svetu v letu 2003123

<i>Matjaž Godec, Renato Vidrih</i> Potres 21. maja 2003 v Alžiriji133
<i>Renato Vidrih, Matjaž Godec</i> Potres 26. decembra 2003 v Iranu151
<i>Renato Vidrih</i> Napovedovanje potresov, da ali ne ?171
<i>Peter Sinčič</i> Skupna skupščina EGS, AGU in EUG195
<i>Barbara Šket Motnikar, Andrej Gosar, Izidor Tasič</i> Mednarodni simpozij: Vrednotenje potresne varnosti obstoječih jedrskih objektov
Polona Zupančič Mednarodna konferenca "Potres v Skopju – 40 let evropskega potresnega inženirstva"199
<i>Renato Vidrih, Matjaž Godec</i> Regionalna ministrska koferenca na področju seizmologije in potresnega inženirstva201

Table of contents:

Renato Vidrih Preface	4
Peter Sinčič, Renato Vidrih, Matjaž Gostinčar, Mladen Živčić Seismic Network in Slovenia in 2003	7
<i>Ina Cecić, Mladen Živčić, Tamara Jesenko, Janko Kolar</i> Earthquakes in Slovenia in 20032	21
Polona Zupančič The Seismic Hazard Map of Slovenia Based on Geological Ground Properties	-1
Izidor Tasič, Peter Sinčič, Matjaž Gostinčar, Igor Pfundner Slovenian Seismic Network Sensors Calibration	9
Janko Kolar, Martina Čarman, Matjaž Kobal, Jurij Pahor, Mladen Živčić Accuracy Analysis of the Automatic Earthquake Locations in 2003	5
Jurij Pahor, Mladen Živčić, Martina Čarman, Matjaž Kobal, Janko Kolar Seismic Data Acquisition Efficiency in 20036	63
Martina Čarman, Matjaž Kobal, Janko Kolar, Jurij Pahor, Jure Ravnik, Mladen Živčić Background Noise at Seismic Stations of Seismic Network, which Started to Operate before Year 2003	59
Izidor Tasič, Peter Sinčič Local Effects on Earthquake Recordings on Seismic Station in Ljubljana (LJU)	7
Igor Pfundner How to Get Data From Stations Without Using a Vehicle	3
<i>Izidor Tasič</i> Seismometer CMG - 40T	89
Renato Vidrih Opening of the Seismic Stations Network in Primorska, Slovenia	15
Andrej Gosar Seismic Investigations of the Lithosphere in Central Europe and Thickness of the Earth's Crust in Slovenia	9
<i>Tamara Jesenko, Renato Vidrih</i> World's Largest Earthquakes in 200311	1
Manfred Deterding, Tamara Jesenko The Largest and Two Deepest Earthquakes in the World in 2003	3

Matjaž Godec, Renato Vidrih The 21 May 2003 Earthquake in Algeria133
<i>Renato Vidrih, Matjaž Godec</i> The 26 December 2003 Earthquake in Iran151
Renato Vidrih Earthquake Prediction, Yes or No?
Peter Sinčič EGS-AGU-EUG Joint Assembly195
Barbara Šket Motnikar, Andrej Gosar, Izidor Tasič International Symposium on Seismic Evaluation of Existing Nuclear Facilities
Polona Zupančič International Conference "Skopje Earthquake - 40 Years of European Earthquake Engineering"
Renato Vidrih, Matjaž Godec Regional Ministerial Conference on Seismology and Earthquake Engineering

PREDGOVOR

Izšla je trinajsta publikacija Urada za seizmologijo in geologijo Agencije RS za okolje »Potresi v letu....«. Tokrat publikacija predstavlja potresno dejavnost in nekatera spremljajoča dela na državni mreži potresnih opazovalnic ter probleme in izboljšave pri analizi potresnih dogodkov v letu 2003.

Konec leta 2003 je v Sloveniji delovalo 18 potresnih opazovalnic državne mreže, opremljenih z različnimi vrstami analognih in digitalnih seizmografov ter deset opazovalnic z akcelerografi, namenjenih beleženju močnejših potresov. V letu 2003 so instrumenti zabeležili 5974 seizmičnih dogodkov, od tega 809 oddaljenih potresov (oddaljenih več kot 1100 km), 1456 regionalnih potresov (oddaljenih med 160 in 1100 km), 2401 lokalnih potresov (oddaljenih manj kot 160 km) in 1308 umetnih potresov.

Osrednji članek opisuje potresno dejavnost v Sloveniji. Sodelavci Sektorja za seizmologijo so naredili natančno analizo potresnega dogajanja v Sloveniji. Ob zmerni potresni dejavnosti so prebivalci v različnih predelih države zaznali 54 potresnih sunkov, od katerih je večina žarišč nastala na naših tleh. Najmočnejši potres je bil 31. maja ob 5. uri 59 minut po svetovnem času oz. dve uri kasneje po srednjeevropskem poletnem času z žariščem v okolici Dolenjega Karteljevega na Dolenjskem. Imel je lokalno magnitudo 3,3, največji učinki pa so bili med V in VI EMS (12-stopenjska evropska potresna lestvica). Prebivalce Slovenije je močno prestrašil tudi potres 29. marca ob 17. uri in 43 minut po svetovnem času oz. eno uri kasneje po poletnem času, katerega žarišče je nastalo na območju otoka Jabuka (M=5,5). Dva potresa sta dosegla intenziteto med V in VI EMS, en potres V EMS, štirje med IV in V EMS, enajst IV EMS, ostali pa IV EMS ali manj. Potresna žarišča so nastajala do globine 18 km, največ jih je bilo v globini med 6 in 9 km.

Geološka zgradba vpliva na nihanje tal in poškodbe zgradb ob potresu, zato so sodelavci Sektorja za potresno inženirstvo in inženirsko seizmologijo izdelali karto potresne nevarnosti Slovenije z upoštevanjem inženirsko geoloških lastnosti tal. Slovenija je razdeljena na štiri vrste tal. Tla A sestavljajo karbonatne, nekatere klastične in magmatske kamnine, tla vrste B in D prekrivajo prodni nanosi večjih rek in slabo sprijeti terciarni sedimenti. Tla vrste S1 in S2 pa so najslabša in jih gradijo mlajši morski in jezerski sedimenti ter glinasto prodni zasipi rek in potokov. Na srečo Slovenijo gradi 72% tal A kategorije.

Sledijo članki, ki obravnavajo delovanje posameznih sistemov, njihovo kalibriranje, učinkovitost in izboljšave. V Sektorju za potresna opazovanja so razvili sistem kontrole stabilnosti prenosne funkcije posameznega senzorja. Kontrolo opravljajo telemetrično. Razvili so programsko orodje, ki začne s postopkom kalibracije ter avtomatično analizira izhodni signal seizmometra.

Narejene so bile primerjave avtomatskih izračunov lokacij potresa z izračuni, ki jih analizator opravi ročno. Kljub relativno dobrim rezultatom človeško delo še ni nadomestljivo z

avtomatskim izračunom. Dokončanje izgradnje državne mreže potresnih opazovalnic bo bistveno izboljšalo avtomatsko lociranje potresov. Narejena je bila tudi analiza učinkovitosti zbiranja podatkov iz potresnih opazovalnic. Največja izguba podatkov je nastala na nekaterih opazovalnicah zaradi izpada komunikacij ali elektrike. Izguba podatkovnih nizov vzorčenih z 200 s⁻¹, znaša približno 1,2%. Analiza kakovosti opazovalnic na podlagi analize seizmičnega šuma kaže, da so bile lokacije glede na pogoje, ki so v Sloveniji, relativno dobro izbrane. Na slabo kvaliteto delovanja najbolj vpliva veter. Nadalje so bile narejene meritve lokalnih vplivov na zapisovanje potresov. Analizirani so bili učinki elektromagnetnega polja, vplivi konstrukcije, vplivi vlakov in udari strel. Parazitske pojave je najlažje odstraniti z čim večjim številom neodvisnih potresnih opazovalnic. Pri ostalih postopkih pa to poizkušamo z matematičnimi modeli. Zanimiv je prispevek o zajemu podatkov prek GSM modema, ki omogoča zajem podatkov iz lokacij, kjer ni telefonskega priključka. Dovolj je, da pokličemo telefonsko številko modema in podatke preložimo na svoj računalnik, kjer so pripravljeni za obdelavo. Serijo člankov o razvoju, delovanju, nadgradnji in izboljšavah na opazovalnicah državne mreže zaključuje opis delovanja seizmometra CMG - 40T, s katerim je omreža opremljena.

V letu 2003 so se 14-tim opazovalnicam priključile štiri nove. Otvoritev in vključitev večjega dela primorske mreže potresnih opazovalnic, ki zajema opazovalnice v Čadrgu nad Tolminom, Robiču pri Kobaridu, na Javornikih, na Vojskem in v južnem delu Primorske na Knežjem dolu nad Ilirsko Bistrico ter Skadanščino, je potekala v vasi Čadrg nad Tolminom. Za slovensko seizmologijo so pomembne predvsem opazovalnice, ki pokrivajo zg. Posočje, kot eno najbolj potresno ogroženih območij v Sloveniji.

V Sektorju za geologijo so bile glavne dejavnosti posvečene seizmičnim raziskavam litosfere v Srednji Evropi in debelini Zemljine skorje v Sloveniji. Članek obravnava pomembne nove podatke o strukturi in razvoju litosfere na tem območju. S seizmografi, ki so bili locirani na 6000 sprejemnih točkah je bilo posnetih skoraj 20 000 km seizmičnih profilov, ki so v zahodni Sloveniji pokazali na večjo debelino skorje (do 43 km), v vzhodnih predelih pa na tanjšo (do 28 km). Zanimivi so tudi podatki o hitrostnih anomalijah na območju Istre (6,7 km/s) in na območju med Celjsko kotlino in Hrvaškim Zagorjem (5,7 – 5,9 km/s).

Med močnejšimi potresi v letu 2003 je v preglednici predstavljenih 85 potresov, ki so dosegli ali presegli magnitudo 6,5 oz. povzročili večjo gmotno škodo ter zahtevali človeška življenja. Od teh je natančneje opisanih 42 potresov. Potres z največ smrtnimi žrtvami je bil 26. decembra v jugovzhodnem Iranu. V njem je umrlo najmanj 41 000 ljudi. Potres 21. maja v severni Alžiriji je zahteval vsaj 2266 žrtev. Največ energije se je sprostilo pri potresu 25. septembra blizu japonskega otoka Hokaido. Imel je navorno magnitudo 8,3, a ni zahteval človeških življenj. Najgloblji potres v letu 2003 je bil 26. maja blizu otoka Mindanao na Filipinih in je imel žarišče v globini 566 km. Potres z zelo globokim žariščem (558 km) je bil 20. junija v pokrajini Amazonas v Braziliji. Potresi v letu 2003 so zahtevali najmanj 43 819 žrtev.

Sledijo članki, ki natančneje obravnavajo najmočnejši in najgloblja potresa v letu 2003 na našem planetu ter potresa, ki sta zahtevala največ življenj. Popotresno dogajanje v Alžiriji smo si ogledali na kraju samem, zato smo lahko pripravili natančnejšo analizo poškodb objektov s obširnim slikovnim gradivom. Podatke o potresu v Iranu smo zbrali iz različnih dostopnih virov, slikovno gradivo pa povzeli iz spletnih strani. Obravnava tega potresa je zelo

pomembna iz stališča potresno odporne gradnje, saj tovrstni potresi vedno znova opozarjajo na nekvalitetno gradnjo. Če Iran primerjamo z Kalifornijo, ki ima približno enako potresno nevarnost, lahko ugotovimo da je bilo število žrtev potresov v 20. stol. v Kaliforniji približno 1 600, v iranu pa več kot 126 000. Glavni vzrok je kvaliteta gradnje.

Zadnji članek je namenjen smiselnosti napovedovanja potresov in njegovemu pomenu v znanosti, kakor tudi v politiki. Potresi ne zahtevajo samo smrtnih žrtev in velikansko gmotno škodo v kratkem času, ampak imajo tudi daljnoročne velike socialne in ekonomske posledice. Slovenski seizmologi že vrsto let opozarjamo javnost na potresno nevarnost naše domovine, dovolj je pogledati karto potresne nevarnosti Slovenije. V Sloveniji nastajajo potresi, ki povzročajo manjšo ali večjo gmotno škodo, v povprečju vsakih nekaj let. To nam dokazujejo tako močni potresi v preteklosti kot tudi potresi, ki nastajajo v današnjem času. Aktivnost v zg. Posočju pa nas ni opozorila le na potresno dejavnost, ampak predvsem na pomen potresnoodporne gradnje, saj je ta edina preventiva pred potresno nevarnostjo. Glede na to, da lahko močnejše potrese pričakujemo tudi v prihodnosti, je najboljša zaščita pred njimi potresnoodporna gradnja in potresno ojačevanje starejših oz. slabše zgrajenih objektov.

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

Tudi ob izidu publikacije »Potresi v letu 2003« se sodelavci Agencije RS za okolje, Urada za seizmologijo in geologijo zahvaljujemo 4800 prebivalcem različnih območij Slovenije, ki so nam z odgovori na makroseizmične vprašalnike pomagali pri boljši oceni potresnih parametrov.

Renato Vidrih

urednik

PREFACE

The thirteenth annual publication »Earthquakes in year...« published by The Seismology and Geology Offoce of The Environmental Agency of the Republic of Slovenia comes out. This time the seismic activity, modernization of the national seismic network, problems and improvements on analysis of seismic events in the year 2003 are presented.

At the end of 2003 eighteen seismic stations of the national seismic network were in operation, equipped with different types of analogue and digital seismographs and ten stations with accelerographs for strong motion recording. In 2003 5974 seismic events were recorded, 808 of them were teleseisms (at epicentral distances more than 1100 km), 1465 regional earthquakes (at epicentral distances between 160 and 1100 km), 2401 lokal earthquakes (at epicentral distances less than 160 km) and 1308 artificial events.

Central article depicts seismic activity in Slovenia. Co-workers of the Seismology Section made accurate analysis of the seismic events occured on the territory of Slovenia and its close vicinity. At moderate seismic activity people felt 54 shock of earthquakes in different parts of the country. The strongest earthquake took place on 31 May at 5:59 UTC with epicenter near Dolenje Karteljevo on Dolenjska. Its magnitude was 3.3 and maximun intensity V-VI EMS. Inhabitants of Slovenia were frightened owing to the earthquake occured on 29 March at 17:43 UTC with the epicentre near island Jabuka (M=5.5). There were two earthquakes with maximum intensity V-VI EMS, one with V EMS, four with IV-V EMS, eleven with IV EMS and the rest with intensities lower than IV EMS. The depths were maximum 18 km, the major part were from 6 to 9 km.

Geological site conditions have great influence on ground motion and earthquake damage distribution. The seismic hazard map of Slovenia considering the ground type was done by the Sector of Engineering Seismology and Earthquake Engineering. Based on the engineering-geological map of Slovenia and Eurocode 8, four ground types with their belonging factors were established. Ground type A is comprised of carbonates, clastic and magmatic rocks. Types B and D include alluvial deposits and soft cohesive tertiary sediments. The special ground types S_1 and S_2 include younger marine and lacustrine cohesionless sediments and clayey alluvial sediments, which are considered the worst regarding the soil failure possibility under the seismic action. 72 percent ground conditions of the territory of Slovenia consist of type A.

The next are articles that treat functions of different systems, calibration, efficiency and improvements. In The Seismological Monitoring Section the system of the control of the sensor response fuction stability was developed. The control is performed remotely. The software tools were developed for sensors' calibration.

The automatic earthquake location calculations are compared with calculations made by seismologist. In spite of good results of automatic calculations the human work is still

irreplaceable. The complete modernization of the natonal seismic network will improve automatic earthquake location. The analysis of data colecting from seismic stations has been carried out. The largest amount of data loss occured because of power failures and communication interruptions. The loss of data stream with 200 sps sampling totalled 1.2%. The analysis of station quality regarding seismic noise shows that the site locations were good selected taking account the circumstances in Slovenia. Bad quality is due to the wind. Next the measurements of the local effects on the earthquake recirdings have been carried out. The EMF, constructions, trains and lightnings have been analysed. Interesting is article about data transmission using GSM that is used on stations where leased line is not reachable. The series of articles about new developments, function, upgrades and improvements is completed with the article describing seismometer CMG-40T used in seismic network.

In 2003 four new seismic stations were added to the network. Official openning and inclusion of the greatest part of the Primorska network which consits of stations in Čadrg above Tolmin, Robič near Kobarid, Javorniki, Vojsko and Knežji dol and Skadanščina in the south part of Primorska, had beeb carried out in Čadrg. For the Slovenian seismology are especially important seismic stations that cover upper Soča Territory as one of the most vulnerable in Slovenia.

The main activity of The Geological Section has been seismic investigations of lithosfere performed in Central Europe and the crust thickness in Slovenia. Important new data on the structure and evolution of the lithosphere in this tectonically complex area are presented in article. Using 300 strong explosions and seismographs on 6000 receiver points, almost 20,000 km of seismic profiles were recorded. In wider area of Slovenia the established structure of the Mohorovičić discontinuity has shown that the transition zone between the thicker crust in Western Slovenia (43 km) which is characteristic for the Alps and Dinarides (up to 43 km) and thinner crust which is characteristic for the Panonnian basin (28 km) in NE Slovenia is more steep than was expected from previous investigations. In the upper crust some larger velocity anomalies were established. The two most important are high-velocity anomaly (6.7 km/s) in Istra and low-velocity anomaly (5.7-5.9 km/s) in the area between Celje basin and Hrvatsko Zagorje, which extends down to 12 km.

There were 85 strongest earthquakes in year 2003 in the world that either reached a magnitude of 6.5 or more, caused minor or major material damage, or even claimed human lives. 42 of them are mentioned. The most devastating earthquake in 2003 happened on 26 December in southeastern Iran, where at least 41000 people were killed. Earthquake that occurred on 21 May in northern Algeria claimed 2266 human lives. The 25 September earthquake near Hokkaido island, Japan, rank first in terms of released energy, with a moment magnitudes of 8,3, but without lost of live. The deepest earthquake happened on 26 May near Mindanao, Philippines, with a hypocentre 566 km below the surface. Another very deep earthquake (558 km below the surface) happened on 20 June in Amazons, Brasilia. In 2003, earthquakes claimed more than 43819 human lives.

Articles, which briefly describe the largest, two the deepest earthquakes, and two earthquakes which caused a lot of people lost, in the year 2003, are following. We were in the Algeria shortly after earthquake occurred on May, 21st 2003. For this reason accurate analyze of damage of objects were prepared. Information about earthquake that occurred on December 26th in the southeast part of Iran near the city of Bam was collected by different sources. In

Bam, 85% of all buildings were destroyed or heavily damaged. This earthquake shows us bad construction of buildings, which are present in the so called third world.

Last article is talking about reasonableness of earthquake prediction and their importance in science and also politics. Earthquakes do not cause only many victims and huge material damage in a very short time but also have a big long period impact on social life and local economy. Slovenia Seismologist years and years warn public in Slovenia about earthquake risk of our country, at least is enough to check map of seismic risk in Slovenia. In Slovenia every few years earthquakes occurred, which caused damage (bigger or smaller), and almost daily weak earthquake in Slovenia or near by is detected. Seismic activity in Upper Soča Valley, do not worn us only on earthquake, but also importance of earthquake resistant buildings, because this is the main key in minimizing earthquake damage. Because also in the future, earthquakes will occur, design of structure for earthquake resistance is in high importance.

In the end of publication, some of the most interesting conferences and meetings are present, where we take an active part in with posters, presentations and lectures.

On this occasion we would like to thank 4800 voluntary observers trough Slovenia for their co-operation which helped us to assess the earthquake effects and estimate the intensities.

Renato Vidrih

Editor - In - Chief

POTRESNE OPAZOVALNICE V SLOVENIJI V LETU 2003 SEISMIC NETWORK IN SLOVENIA IN 2003

Peter Sinčič, Renato Vidrih, Matjaž Gostinčar in Mladen Živčić

Izvleček. Konec leta 2003 je na ozemlju Republike Slovenije delovalo 18 stalnih potresnih opazovalnic, opremljenih z različnimi vrstami analognih in digitalnih seizmografov. Omrežje potresnih opazovalnic z digitalnimi seizmografi, s katerih poteka avtomatski prenos podatkov v središče za obdelavo podatkov Urada za seizmologijo in geologijo v Ljubljani, sestavljajo potresne opazovalnice v Ljubljani na Golovcu (LJU), v Bojancih v Beli krajini (VBY), Dobrini na Kozjanskem (DOBS), v Goričicah pri Cerknici (CEY), Cesti nad Krškim (CESS), v Robiču v zgornjem Posočju (ROBS), na Pernicah (PERS), v Braniku nad Muto (BISS), Grobniku na Pohorju (GROS), v Podkumu (PDKS), Črešnjevcu na Gorjancih (CRES), na Golišah na Bizeljskem (GOLS,) na Legarjih na Dolenjskem (LEGS), v Čadrgu nad Tolminom (CADS), Gornjem Cirniku na Gorjancih (GCIS), v Višnjah v Suhi krajini (VISS) in na Javorniku nad Črnim vrhom (JAVS). Stalna opazovalnica na Vojskem (VOY) ter začasna v Brezju pri Senušah (KBZ) na obrobju Krško - Brežiškega polja sta opremljeni z analognimi seizmografi. V okviru projekta modernizacije mreže potresnih opazovalnic so bile zgrajene in vključene v omrežje štiri nove opazovalnice.

Abstract. Eighteen permanent seismic stations were working within the Republic of Slovenia at the end of 2003. The stations were equipped with different types of analogue and digital seismographs. The oldest and central seismic station of the Environmental Agency of the Republic of Slovenia, located at the observatory Golovec in Ljubljana (LJU), is equipped with three-component analogue long-period and short-period seismographs with optical recording on photographic paper, a short-period seismograph with ink recording and with broad band digital seismographs. A seismic station (CEY) was built in Goričice near Lake Cerknica in 1975. A broad band digital seismograph was supplied in 1997 to supplement the existing three-component short-period analogue seismograph. In 2001 the Quanterra Q730 high resolution acquisition system with Güralp CMG 40T broadband seismometer was installed for testing purposes with real time data transmission to data centre in Ljubljana. At the beginning of 2002 three-component short-period analogue seismograph stopped recording. In January 1985, the third seismic station (VOY) in Slovenia, located at Vojsko near Idrija, started to operate. It was initially equipped with an analogue short-period seismograph with a vertical component. The horizontal components were added in January 1991. During the following year the seismic station in Bojanci, Bela krajina, was installed (VBY). Similarly, it was equipped with an analogue short-period seismograph with a vertical component. In 1996, a broadband digital seismograph was added together with a facility to transmit data to the main office in Ljubljana using dial up line. In order to monitor seismic activity in the Krško - Brežice area, a temporary seismic station was set up in 1990 in Brezje near Senuše(KBZ). It was equipped with a vertical component portable analogue seismograph. A seismic station was set up at Cesta near Krško in 1996 (CESS). Originally, a portable broadband digital seismograph recording data on magnetic tape was installed there. In 1998, this was replaced with a seismograph, transmitting data to the main office using the governmental communication network. Because of the possibility of induced seismic activity caused by accumulation lake in neighbouring Austria, a temporary seismic station was installed at Branik near Muta in 1991 (BISS). It was equipped with a vertical component portable analogue seismograph. A shaft was built and a broad band digital seismograph was installed, transmitting data to the main office using dial up lines in 1996. In the same year, a seismic station at Dobrina in Kozjansko area started to operate (DOBS). It was equipped with the same type of digital seismograph as at Branik. From time to time a portable digital seismograph recording data on hard disk operates also in Horjul (HORJ). In the 2000 the project "Modernization of the Seismic Network of the Republic of Slovenia" started. Within the scope of modernization of the national seismic network, new data centre was set up in Ljubljana in 2001. Host computers with Antelope system software provide command and control of remote seismic stations. The

same year new broadband Quanterra Q730 acquisition systems were installed in seismic stations in Ljubljana, Goričice, Dobrina and in Nuclear Power Plant Krško with real-time data transmission using TCP/IP protocols over an Ethernet-based Wide Area Network. In 2002 seven new seismic stations were built up in Pernice (PERS), Grobnik (GROS), Podkum (PDKS), Goliše (GOLS), Črešnjevec (CRES), Legarje (LEGS) and Robič (ROBS). In 2003 the project continued with four new seismic stations in Čadrg (CADS), Višnje (VISS), Gornji Cirnik (GCIS) and Javornik (JAVS). Q730 data loggers and CMG 40T broadband sensors were installed. The data acquisition systems are recording continuous time-series sampled at 200 sps, 20 sps and 1sps. The data is transmitted using TCP/IP protocol over the governmental communication network.

Uvod

Najstarejša in osrednja opazovalnica Agencije RS za okolje se nahaja na observatoriju na Golovcu v Ljubljani (LJU) in je opremljena s trikomponentnim analognim dolgoperiodnim seizmografom in trikomponentnim analognim kratkoperiodnim seizmografom z optičnim zapisom na fotografski papir, s kratkoperiodnim seizmografom z vidljivim zapisom ter s širokopasovnimi digitalnimi seizmografi. Leta 1975 je bila zgrajena potresna opazovalnica CEY v Goričicah pri Cerkniškem jezeru. Opremljena je bila z analognim trikomponentnim kratkoperiodnim seizmografom, ki mu je bil leta 1997 dodan digitalni širokopasovni seizmograf. Januarja 1985 je na Slovenskem začela delovati tretja potresna opazovalnica VOY, ki smo jo postavili v Vojskem nad Idrijo (Trnkoczy in Vidrih, 1986). V začetku je bila opremljena z analognim kratkoperiodnim seizmografom z vertikalno komponento, januarja leta 1991 pa sta bili dodani še horizontalni komponenti. Leta 1986 je bila zgrajena potresna opazovalnica VBY v Bojancih v Beli krajini, ki je bila prav tako opremljena z analognim kratkoperiodnim seizmografom z vertikalno komponento. Leta 1996 smo ji dodali širokopasovni digitalni seizmograf s prenosom podatkov po klicni telefonski liniji v ljubljansko centralo. Za opazovanje seizmičnosti Krško - Brežiškega polja je bila leta 1990 postavljena začasna potresna opazovalnica KBZ z enokomponentnim prenosnim analognim seizmografom v Brezju pri Senušah, leta 1996 pa še opazovalnica CESS v Cesti nad Krškim. Tu je bil na začetku nameščen prenosni širokopasovni digitalni seizmograf s shranjevanjem podatkov na magnetni trak, ki smo ga leta 1997 zamenjali s seizmografom s prenosom podatkov po državnem računalniškem omrežju v centralo. Zaradi možnosti povečanja seizmičnosti ob polnjenju akumulacijskega jezera v sosednji Avstriji je bila leta 1991 postavljena začasna potresna opazovalnica BISS z enokomponentnim prenosnim analognim seizmografom v Braniku nad Muto. Leta 1996 ji je bil dodan jašek in postavljen širokopasovni digitalni seizmograf s prenosom podatkov po klicni telefonski liniji v centralo. Leta 1996 je začela delovati potresna opazovalnica DOBS v Dobrini na Kozjanskem. Opremljena je z enakim digitalnim seizmografom kot v Braniku nad Muto. V Horjulu občasno deluje prenosni digitalni seizmograf s shranjevanjem podatkov na magnetni medij (Sinčič in Vidrih, 1993, 1995). V okviru projekta modernizacije državnega omrežja potresnih opazovalnic smo v Ljubljani vzpostavili novo središče za zajem in analizo podatkov. V opazovalnice v Ljubljani, Goričicah, Dobrini in jedrsko elektrarno v Krškem smo namestili nove digitalne seizmografe. Začeli smo z gradnjo novih opazovalnic, najprej na območju Krškega, nato pa tudi drugod po Sloveniji, tako da smo v letu 2002 vključili v omrežje sedem novih potresnih opazovalnic: Goliše (GOLS), Črešnjevec (CRES) in Legarje (LEGS) na širšem območju Krškega, Podkum (PDKS) na Dolenjskem, Grobnik (GROS) na Pohorju, Pernice (PERS) na Kobanskem in Robič (ROBS) v zgornjem Posočju. V letu 2003 pa so bile

v mrežo potresnih opazovalnic vključene opazovalnice v Čadrgu (CADS), Višnjah (VISS), Gornjem Cirniku (GCIS) in Javorniku (JAVS).

Prenehali smo z opazovanjem s prenosnim inštrumentom v Brežicah ter prestavili seizmograf iz Jedrske elektrarne v Krškem v Gornji Cirnik.

Analogne potresne opazovalnice

Preglednica 1. Analogne potresne opazovalnice v Sloveniji.

opaz.	ozn.	zem. šir. °N	zem. dolž. °E	n. viš. [m]	geološka podlaga	seizmometer	pisač	začetek delovanja
					karbonski peščenjaki	dolgoperiodni Sprengnether S-5007V&H 3 komponente	galvanometer GL261 pisač R-6007 (foto)	14. 04. 1969
Ljubljana LJ	LJU	U 46,0438	14,5277	396		kratkoperiodni Lehner Griffith SV215&SH216 3 komponente	galvanometer GS – 250 pisač DR – 273 (foto)	02. 07. 1969
						kratkoperiodni Willmore MkII 3 komponente	ojačevalnik SO-01 pisač Günter-Volk (črnilo)	01. 01. 1974
Vojsko	VOY	46,0316	13,8882	1073	zgornjetriasni dolomit	kratkoperiodni Willmore MkII 3 komponente	ojačevalnik SO-03 pisač VR - 2 (črnilo)	28. 11. 1984
Brezje pri Senušah	KBZ	45,9405	15,4390	217	pliokvartarna glina	kratkoper. Vegik vertikalna komp.	Kinemetrics pisač PS - 2	30. 08. 1990
Bojanci	VBY	45,5042	15,2518	252	kredni apnenec	kratkoper. Vegik vertikalna komp.	ojačevalnik SO-03 pisač Kablar (črnilo)	29. 10. 1986
Branik nad Muto	BISS	46,6479	15,1270	490	metamorfne kamnine	kratkoper. Vegik vertikalna komp.	Kinemetrics pisač PS - 2	11. 09. 1990

Table 1. Analogue seismic stations in Slovenia.

		latitude	longitude	elev. local				- 1 1 1
station	code	°N	°E	[m]	geology	sensor type	recorder	start time
						LP Sprengnether S-5007V&H 3 components	galvanometer GL-261 recorder R-6007 (photo)	14. 04. 1969
Ljubljana LJU		46,0438	14,5277	396	sandstone	SP Lehner Griffith SV215&SH216 3 components	galvanometer GS-250 recorder DR – 273 (photo)	02. 07. 1969
						SP Willmore MkII 3 components	amplifier SO-01 recorder Günter-Volk (ink)	01. 01. 1974
Vojsko	VOY	46,0316	13,8882	1073	dolomite	SP Willmore MkII 3 components	amplifier SO-03 recorder VR-2 (ink)	28. 11. 1984
Brezje pri Senušah	KBZ	45,9405	15,4390	217	clay	SP Vegik vertical comp.	recorder Kinemetrics PS-2 (ink)	30. 08. 1990
Bojanci	VBY	45,5042	15,2518	252	limestone	SP Vegik vertical comp.	amplifier SO-03 recorder Kablar (ink)	29. 10. 1986
Branik nad Muto	BISS	46,6479	15,1270	490	metamorphic rocks	SP Vegik vertical comp.	recorder Kinemetrics PS-2 (ink)	11. 09. 1990

Doker ne bo dokončan projekt modernizacije mreže potresnih opazovalnic, bo Urad za seizmologijo in geologijo uporabljal tudi analogne seizmografe za beleženje potresov. Analogni seizmograf sestavljajo seizmometer, seizmografski ojačevalnik z ustreznimi filtri in pisač z zapisom s črnilom na navaden papir ali s svetlobnim žarkom na fotografski papir. Slabost analognih seizmografov je majhno dinamično območje (40 – 45 dB) in resolucija. Šibkih potresov zaradi majhne resolucije ni možno analizirati, močni potresi pa prekrmilijo inštrument in je zapis potresa neuporaben. Druga, še večja pomankljivost je, da pri obdelavi potresov ne moremo uporabljati računalnika, saj danes večji del analiz temelji na računalniški

obdelavi. Analogni seizmografi v letu 2003 še vedno delujejo na potresnih opazovalnicah na observatoriju na Golovcu v Ljubljani, na Vojskem, v Brezju pri Senušah, v Bojancih in Braniku nad Muto. Podatki o opazovalnicah so zbrani v preglednici 1.

Digitalne potresne opazovalnice

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

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

Leta 1996 smo postavili prvo omrežje digitalnih seizmografov podjetja Nanometrics s prenosom podatkov v centralni računalnik. V začetku so mrežo tvorile štiri opazovalnice: Ljubljana (LJU), Branik nad Muto (BISS), Dobrina (DOBS) in Bojanci (VBY). Digitalni seizmograf sestavljajo trikomponentni širokopasovni seizmometer Güralp CMG-40T, trikanalni 16-bitni analogno – digitalni pretvornik s tristopenjskim samonastavljivim predojačevalnikom RD 1639 in osebni računalnik s sprejemnikom točnega časa GPS in programsko opremo za zajem podatkov, lokalno shranjevanje in komunikacijo s centralnim računalnikom. V začetku je prenos potekal po klicnih telefonskih linijah, kasneje pa smo seizmografe vključili v državno računalniško omrežje. V drugi polovici leta 1997 smo v omrežje vključili še peto opazovalnico na Cesti nad Krškim (CESS). Seizmograf sestavljajo seizmometer Güralp CMG-40T, trikanalni 24-bitni analogno-digitalni pretvornik z vgrajenim sprejemnikom točnega časa HRD24-2432 in modemom za prenos podatkov po najeti telefonski liniji do vozlišča državnega računalniškega omrežja v Krškem. Seizmografi delujejo tako, da se neprekinjen zapis nihanja Zemlje shranjuje lokalno v krožni pomnilnik, programska oprema samodejno zazna dogodke in njihove zapise pošlje v centralni računalnik. Programska oprema v centralnem računalniku združuje dogodke s posameznih opazovalnic in izračuna parametre potresa.

Leta 2001 smo začeli v okviru projekta posodobitve državne mreže potresnih opazovalnic z gradnjo novih opazovalnic. Osnovni namen posodobitve je vzpostavitev takega državnega potresnega opazovalnega omrežja, ki bo omogočilo za vse potrese na ozemlju Slovenije obveščanje o osnovnih parametrih z ustrezno natančnostjo in zanesljivostjo v stvarnem času. V Ljubljani smo vzpostavili novo središče za zajem in analizo podatkov. V opazovalnice v Ljubljani, Goričicah, Dobrini in v NEK smo namestili nove digitalne seizmografe. Začeli smo z gradnjo novih opazovalnic, najprej na območju Krškega, tako da smo v letu 2002 vključili v omrežje sedem novih potresnih opazovalnic: Goliše (GOLS), Črešnjevec (CRES) in Legarje

(LEGS) na širšem območju Krškega, Podkum (PDKS) na Dolenjskem, Grobnik (GROS) na Pohorju, Pernice (PERS) na Kobanskem in Robič (ROBS) v zgornjem Posočju.

0027	07n	zem. šir.	zem. dol.	n. viš. geološka		seizmometer	zajemalna	začetek	
opaz.	0211.	°N	۴	[m]	[m] podlaga	Seizmonnetei	naprava	delovanja	
						širokopasovni WR-1 3 komponente akcelerometer 3-komp. FBA-23	SSR-1	20. 12. 1990	
Ljubljana	LJU	46,0438	14,5277	396	karbonski peščenjak	3 komp. širokopasovni CMG-40T	RD3-1639	22. 05. 1996	
						3 komp. širokopasovni CMG-40T akcelerometer 3-komp. EpiSensor	Q 730	30. 03. 2001	
Bojanci	VBY	45 5042	15 2518	252	kredni	3 komp. širokopasovni CMG-40T	RD3-1639	od 28.05.1996 do 02.06.1999	
Dojanoi	VBT	40,0042	10,2010	202	apnenec	3 komp. širokopasovni CMG-40T	HRD24-2432	02. 06. 1999	
Branik nad Muto	BISS	46,6479	15,1270	490	metamorfne kamnine	3 komp. širokopasovni CMG-40T	RD3-1639	28. 08. 1996	
Dobrino	DORS	46 1404	15 4605	465	dinovoo	3 komp. širokopasovni CMG-40T	RD3-1639	16. 10. 1996	
Dobilita	DODS	40,1494	10,4090	400	ginovec	3 komp. širokopasovni CMG-40T	Q 730	07. 04. 2001	
Cerknica	051	45 7004	4.4.4004	570		3 komp. širokopasovni CMG-40T		14. 01. 1997	
(Goričice)	CEY	45,7381	14,4221	579	aphenec	3 komp. širokopasovni CMG-40T	Q 730	30. 03. 2001	
	CESS	CESS	15 0732	15.4631	372	dolomit	3 komp. širokopasovni CMG-40T	72A-07/DAT	od 08.05.1996 do 04.09.1997
Cesia		43,9732	13,4031	512	dolonnit	3 komp. širokopasovni CMG-40T	HRD24-2432	04. 09. 1997	
Goliše	GOLS	46,0113	15,6239	550	plastovit dolomit	3 komp. širokopasovni CMG-40T BH	Q 730	26. 02. 2002	
Črešnjevec	CRES	45.8260	15.4578	433	triasni dolomit	3 komp. širokopasovni CMG-40T	Q 730	07. 03. 2002	
Legarje	LEGS	45,9485	15,3177	391	sivi dolomit	3 komp. širokopasovni CMG-40T BH	Q 730	02. 09. 2002	
Podkum	PDKS	46,0791	14,9976	705	dolomit	3 komp. širokopasovni CMG-40T BH	Q 730	11. 11. 2002	
Robič	ROBS	46,2450	13,5103	280	apnenec	3 komp. širokopasovni CMG-40T	Q 730	20. 11. 2002	
Pernice	PERS	46,6359	15,1167	795	filit	3 komp. širokopasovni CMG-40T	Q 730	11. 12. 2002	
Grobnik	GROS	46,4608	15,5017	930	tonalit	3 komp. širokopasovni CMG-40T	Q 730	12. 12. 2002	
			doke	ončane	in vključene v c	omrežje leta 2003	1		
Čadrg	CADS	46,2280	13,7367	743	kredni apnenec	3 komp. širokopasovni CMG-40T	Q 730	10. 07. 2003	
Gornji Cirnik	GCIS	45,8672	15,6274	403	dolomit	3 komp. širokopasovni CMG-40T	Q 730	11. 08. 2003	
Višnje	VISS	45,8032	14,8392	403	siv apnenec	3 komp. širokopasovni CMG-40T	Q 730	14. 08. 2003	
Javornik	JAVS	45,8934	14,0643	1100	zgornje triasni dolomit	3 komp. širokopasovni CMG-40T	Q 730	21. 08. 2003	
Knežji dol	KNDS	45,5278	14,3807	1028	zgornje jurski apnenec	3 komp. dolgoperiodni CMG-40T	Q 730	14. 10. 2003	

Preglednica 2. Digitalne potresne opazovalnice v Sloveniji.

otation	aada	latitude	longitude	elev.	local	concortumo	acquisition	ctort time
station	code	°N	°E	[m]	geology	sensor type	system	start time
						broadband WR-1 3 components accelerometer 3-comp. FBA-23	SSR-1	20. 12. 1990
Ljubljana	LJU	46,0438	14,5277	396	sandstone	3 comp. broadband CMG-40T	RD3-1639	22. 05. 1996
						3 comp. broadband CMG-40T accelerometer 3-comp. EpiSensor	Q 730	30. 03. 2001
Bojanci	VBY	45 5042	15 2518	252	limestone	3 comp. broadband CMG-40T	RD3-1639	28.05.1996 to 02.06.1999
Dojanoi	VB1	40,0042	10,2010	202	innestone	3 comp. broadband CMG-40T	HRD24-2432	02. 06. 1999
Branik nad Muto	BISS	46,6479	15,1270	490	metamorphic rocks	3 comp. broadband CMG-40T	RD3-1639	28. 08. 1996
Dobrino	DOBS	46 1404	15 4605	465	mudatana	3 comp. broadband CMG-40T	RD3-1639	16. 10. 1996
Dobina	DOB2	40,1494	15,4695	400	mudstone	3 comp. broadband CMG-40T	Q 730	07. 04. 2001
Cerknica	CEV	15 7201	14 4221	570	limostopo	3 comp. broadband CMG-40T	RD3-1639	14. 01. 1997
(Goričice)	GET	45,7561	14,4221	579	limestone	3 comp. broadband CMG-40T	Q 730	30. 03. 2001
	CESS	45 0722	15 4621	372	dolomito	3 comp. broadband CMG-40T	72A-07/DAT	08.05.1996 to 04.09.1997
Cesia		40,9732	10,4001	572	doloinite	3 comp. broadband CMG-40T	HRD24-2432	04. 09. 1997
Goliše	GOLS	46,0113	15,6239	550	bedded dolomite	3 comp. broadband CMG-40T BH	Q 730	26. 02. 2002
Črešnjevec	CRES	45.8260	15.4578	433	dolomite	3 comp. broadband CMG-40T	Q 730	07. 03. 2002
Legarje	LEGS	45,9485	15,3177	391	gray dolomite	3 comp. broadband CMG-40T BH	Q 730	02. 09. 2002
Podkum	PDKS	46,0791	14,9976	705	dolomite	3 comp. broadband CMG-40T BH	Q 730	11. 11. 2002
Robič	ROBS	46,2450	13,5103	280	limestone	3 comp. broadband CMG-40T	Q 730	20. 11. 2002
Pernice	PERS	46,6359	15,1167	795	phyllite	3 comp. broadband CMG-40T	Q 730	11. 12. 2002
Grobnik	GROS	46,4608	15,5017	930	tonalite	3 comp. broadband CMG-40T	Q 730	12. 12. 2002
			finishe	ed and	switched into	network in 2003		1
Čadrg	CADS	46,2280	13,7367	743	limestone	3 comp. broadband CMG-40T	Q 730	10. 07. 2003
Gornji Cirnik	GCIS	45,8672	15,6274	403	dolomite	3 comp. broadband CMG-40T	Q 730	11. 08. 2003
Višnje	VISS	45,8032	14,8392	403	limestone	3 comp. broadband CMG-40T	Q 730	14. 08. 2003
Javornik	JAVS	45,8934	14,0643	1100	dolomite	3 comp. broadband CMG-40T	Q 730	21. 08. 2003
Knežji dol	KNDS	45,5278	14,3807	1028	limestone	3 comp. broadband CMG-40T	Q 730	14. 10. 2003

 Table 2. Digital seismic stations in Slovenia.

V letu 2003 so bile v mrežo potresnih opazovalnic vključene opazovalnice v Čadrgu nad Tolminom (CADS), v Višnjah v Suhi krajini (VISS), v Gornjem Cirniku na Gorjancih (GCIS), na Knežjen dolu v snežniškem pogorju (KNDS) in na Javorniku nad Črnim vrhom nad Idrijo (JAVS).



Slika I Potresne opazovalnice v Sloveniji leta 2003 Figure 1. Seismic network in Slovenia in 2003.

Na vseh opazovalnicah, razen v Robiču in Ljubljani, je oprema, ki jo sestavljajo senzor, zajemalna enota, komunikacijska oprema za neprekinjen prenos podatkov v središče za obdelavo podatkov (SOP) in brezprekinitveno napajanje, nameščena v dveh jaških. V seizmičnem jašku sta nameščena trikomponentni širokopasovni seizmometer Güralp CMG-40T in zajemalna enota Quanterra Q730. Enota ima na vhodu tri (pri petih

opazovalnicah šest) predojačevalnike, neodvisne Delta-Sigma 24-bitne analogno-digitalne (A/D) med seboj galvansko ločene pretvornike, sprejemnik časovnih signalov, lokalni pomnilnik, komunikacijski vmesnik in strojno programsko opremo za nadzor delovanja sistema. Trije podatkovni nizi s frekvencami vzorčenja 200, 20 in 1 vzorec na sekundo se neprekinjeno pošiljajo po podatkovnem omrežju v SOP. V pomožnem jašku je nameščena komunikacijska oprema za vključitev opazovalnice v državno računalniško omrežje, ki jo tvorita usmerjevalnik in modem, 12-voltno baterijsko napajanje s polnilcem in razsmernikom, ki omogoča 24-urno delovanje potresne opazovalnice ob izpadu omrežne napetosti, ter priključek na omrežno napetost 230 V in priključek na najeto linijo za prenos podatkov. Prenos podatkov v središče za obdelavo (SOP) poteka v stvarnem času. V zračniku je nameščena antena GPS sprejemnika točnega časa. Na opazovalnicah Legarje, Goliše in Podkum je seizmometer nameščen v vrtino. Na potresni opazovalnici Robič je vsa oprema nameščena v skalni votlini, v Ljubljani pa v kleti observatorija na Golovcu (Sinčič in sod, 2004). Prenos podatkov z opazovalnic Čadrg, Javornik, Višnje, Gornji Cirnik in Knežji dol v SOP poteka po GSM omrežju z uporabo HSCSD protokola.

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

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



Slika 2. Nova potresna opazovalnica Gornji Cirnik (GCIS). Figure 2. New seismic station Gornji Cirnik (GCIS).

Začasne potresne opazovalnice

Urad za seizmologijo in geologijo ima že dalj časa dve začasni potresni opazovalnici, druge pa so postavljene za nekaj mesecev na območjih, kjer se je zgodil potres, za beleženje popotresnih sunkov. Prva je postavljena v Brezju pri Senušah (KBZ). Opremljena je s prenosnim analognim enokomponentnim seizmografom (vertikalna komponenta) Kinemetrics Ps-2. Postavljena je v objektu, ki je zgrajen na krednih apnencih v izmenjavi z laporji, kar je dovolj ugodna seizmogeološka podlaga.

opaz.	ozn.	zem. šir.	zem. dol.	n. viš. [m]	senzor	zajemalna naprava	začetek delovanja	konec delovanja
		°N	°E	[]		-	-	
Brezje pri Senušah	KBZ	45,9405	15,4390	217	kratkoperiodni Vegik vertikalna komp.	analogni pisač PS-2	11. 09. 1990	konec 2003 še deluje
Horjul	HORJ	46,0252	14,305	350	3-komp. širokopasovni CMG 40T	72A-07/DSK	04. 07. 1994	konec 2003 še deluje
NEK	NEKS	45,9391	15,5185	156	3-komp. širokopasovni CMG 40T	Q 730	04. 04. 2001	konec 2003 še deluje
Nadgorica	BAJC	46,1006	14,5578	293	3-komp. akcelerometer EpiSensor vgrajen	ETNA	27. 07. 2001	konec 2003 še deluje
Brežice	-	45,9000	15,6000	156	3-komp. akcelerometer FBA-23 vgrajen	ETNA	18. 12. 2002	08. 01. 2003
Lisca	LISS	46,0673	15,2906	948	3-komp. širokopasovni CMG 40T	Q 730	07. 02. 2002	konec 2003 še deluje
Velenje	VELE	46,3659	15,0987	382	3-komp. širokopasovni CMG 40T	Q 730	17. 05. 2002	konec 2003 še deluje
Rakičan	RAKI	46,6509	16,1877	185	3-komp. širokopasovni CMG 40T	Q 730	23. 09. 2002	konec 2003 še deluje
Bilje	BILJ	45,8951	13,6222	50	3-komp. širokopasovni CMG 40T	Q 730	02. 12. 2002	konec 2003 še deluje
Novo Mesto	NOME	45,8015	15,1761	211	3-komp. širokopasovni CMG 40T	Q 730	16. 10. 2002	konec 2003 še deluje

Preglednica 3. Začasne potresne opazovalnice v letu 2003.

Table 3.	Temporary	seismic	stations	in 2003.

station	aada	latitude	longitude	elev.	concor turpo	acquisition	start time	and time
Station	coue	°N	°E	[m]	sensor type	system	Start time	ena time
Brezje pri Senušah	KBZ	45,9405	15,4390	217	shortperiod Vegik vertical comp.	analogue recorder PS-2	11. 09. 1990	end of 2003 operational
Horjul	HORJ	46,0252	14,305	350	3-comp broadband CMG 40T	72A-07/DSK	04. 07. 1994	end of 2003 operational
NEK	NEKS	45,9391	15,5185	156	3-comp broadband CMG 40T	Q 730	04. 04. 2001	end of 2003 operational
Nadgorica	BAJC	46,1006	14,5578	293	3-comp. accelerometer EpiSensor internal	ETNA	27. 07. 2001	end of 2003 operational
Brežice	-	45,9000	15,6000	156	3-comp broadband CMG 40T	ETNA	18. 12. 2002	08. 01. 2003
Lisca	LISS	46,0673	15,2906	948	3-comp broadband CMG 40T	Q 730	07. 02. 2002	end of 2003 operational
Velenje	VELE	46,3659	15,0987	382	3-comp broadband CMG 40T	Q 730	17. 05. 2002	end of 2003 operational
Rakičan	RAKI	46,6509	16,1877	185	3-comp broadband CMG 40T	Q 730	23. 09. 2002	end of 2003 operational
Bilje	BILJ	45,8951	13,6222	50	3-comp broadband CMG 40T	Q 730	02. 12. 2002	end of 2003 operational
Novo Mesto	NOME	45,8015	15,1761	211	3-comp broadband CMG 40T	Q 730	16. 10. 2002	end of 2003 operational

Druga začasna opazovalnica je v Horjulu (HORJ). V njej beležita potrese digitalni prenosni seizmograf 72A-07/DAT s shranjevanjem podatkov na trdi disk ali akcelerograf SSA-2.



Opazovalnica leži na lapornatem apnencu, ki ponekod prehaja v dolomit in peščen skrilavec skitske starosti (spodnji trias).

Slika 3. Napajalna enota, usmerjevalnik in GSM terminal so nameščeni v pomožnem jašku. *Figure 3.* Power supply, router and GSM connectivity terminal are placed in auxiliary shaft.



Slika 4. GSM komunikacijski terminal je nameščen v jašku, zato je za zanesljiv prenos podatkov potrebna zunanja antena.

Figure 4. As GSM connectivity terminal is installed in shaft the outdoor antenna is needed for reliable data transmission.



Slika 5. Nova potresna opazovalnica Višnje (VISS). *Figure 5.* New seismic station Višnje (VISS).



Slika 6. Nova potresna opazovalnica Javornik (JAVS). Figure 6. New seismic station Javornik (JAVS).

Na širšem območju Ljubljane v Nadgorici je ostal nameščen prenosni akcelerograf Etna, ki je začel z beleženjem podatkov 26. julija 2001 s prenosom podatkov v središče za zajem in obdelavo podatkov po klicni telefonski liniji.

Leta 2002 smo začasno namestili seizmografe Q730 s seizmometri CMG40T na meteoroloških opazovalnicah Urada za meteorologijo v Biljah pri Novi Gorici, Novem mestu, Rakičanu pri Murski Soboti in na Lisci. V Šaleški dolini je ostal začasno nameščen seizmograf na Carinski izpostavi v Velenju. Te opazovalnice so vključene v državno računalniško omrežje.

Akcelerograf, nameščen decembra 2002 v Brežicah, je že v začetku januarja prenehal z delovanjem.

Opazovalnice za beleženje močnih potresov

Urad za seizmologijo in geologijo upravlja tudi z mrežo opazovalnic za beleženje močnih potresov, v katerih so nameščeni akcelerografi. Opazovalnice so v Ljubljani (na observatoriju na Golovcu in na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo - FGG), v Dolskem, Ilirski Bistrici, Bovcu, Kobaridu, na gradu Bogenšperk in Gotenici. Poleg tega imamo dostop do akcelerografa v Nuklearni elektrarni Krško.

		zem. šir.	zem. dolž.	n. viš.		merilni	začetek	
opaz.	ozn.	°N	°E	[m]	tip inst. / senzor	obseg	delovanja	
	_	latitude	longitude	elev.		full	start time	
station	code	°N	°E	[m]	instr. type /sensor	scale range		
Bogenšperk	BOGE	46,0237	14,8572	422	Etna / FBA-23	1 g	18. 02. 1999	
Bovec	BOVC	46,3382	13,5543	455	Etna / FBA-23	4 g	03. 08. 2000	
Drežnica	DRZN	46,2586	13,6126	544	Etna / EpiSensor	2 g	18. 04. 1998	
Gotenica	GOTE	45,6095	14,7464	670	Etna / FBA-23	1 g	11. 12. 1997	
Kobarid	KOBR	46,2474	13,5786	234	Etna / FBA-23	4 g	20. 07. 2000	
Ljubljana	LJU	46,0438	14,5277	396	SSR-1 / FBA-23	1 g	20. 12. 1990	
NEK	NEK0	45,9391	15,5185	156	Etna / FBA-23	2 g	25. 01.1994	
FGG	FGG	46,0459	14,4944	295	SSA-2 / FBA-23	1 g	13. 10. 1994	
Dolsko	DOLA	46,0938	14,6781	265	SSA-2 / FBA-23	1 g	08. 12. 1994	
Ilirska Bistrica	ILBA	45,5638	14,2445	404	SSA-2 / FBA-23	0.25 g	23. 05. 1995	

Preglednica 4. Opazovalnice z nameščenimi akcelerografi. **Table 4.** Seismic stations with accelerographs installed.

Akcelerograf na observatoriju na Golovcu sestavljata akcelerometer FBA-23 z merilnim območjem 1 g in zajemalna aparatura SSR-1 s 16-bitno analogno digitalno pretvorbo. Akcelerograf na FGG tvorita akcelerometer FBA-23 z merilnim območjem 1 g in zajemalna aparatura SSA-2 z 12-bitnim analogno digitalnim pretvornikom. Enak akcelerograf je nameščen v Dolskem. Akcelerografa v Ilirski Bistrici in v jedrski elektrarni v Krškem imajo občutljivejši senzor FBA-23 z merilnim območjem 0,25 g. Akcelerograf SSA-2 v Nuklearni elektrarni Krško je bil decembra 1999 zamenjan z akcelerografom Etna in je vključen v državno računalniško omrežje, po katerem teče prenos podatkov na observatorij. V Gotenici je nameščen akcelerograf Etna z vgrajenim senzorjem FBA-23 z merilnim območjem 1 g in z 18-bitno analogno digitalno pretvorbo, prenos podatkov na observatorij pa poteka po klicni telefonski liniji. Na gradu Bogenšperk je prav tako postavljen akcelerograf Etna z vgrajenim senzorjem FBA-23 s prenosom podatkov po klicni telefonski liniji. V opazovalnicah v Bovcu in Kobaridu sta nameščena akcelerografa Etna s prenosom podatkov po klicni telefonski liniji.

Podatke z ostalih akcelerografov zbere delavec s pomočjo prenosnega računalnika ob obisku opazovalnice.

Zabeleženi potresi

Potresne opazovalnice so v letu 2003 zabeležile 5974 seizmičnih dogodkov, od tega 2401 lokalnih potresov, 1456 regionalnih in 809 oddaljenih. Seizmografi so zapisali tudi 1308 umetnih potresov (preglednica 5).

Preglednica 5. Potresi v letu 2003, zabeleženi na slovenskih potresnih opazovalnicah. **Table 5.** Earthquakes in 2003 recorded at Slovenian earthquake stations.

mesec	oddaljeni potresi	regionalni potresi	lokalni potresi	umetni potresi	potresi	dogodki
Month	Distant earthquakes	Regional earthquakes	Local earthquakes	Artificial	Earthquakes	Events
januar January	50	122	221	54	393	447
februar February	57	97	184	104	104 338	
marec March	81	228	211	119	119 520	
april April	40	371	144	122	555	677
maj May	61	156	250	128	504	595
junij June	48	78	202	91	328	419
julij July	92	40	200	88	332	420
avgust August	57	96	216	96	369	465
september September	88	49	156	113	293	406
oktober October	65	80	168	128	128 313	
november November	73	57	210	123 340		463
december December	97	82	239	142	418	560
skupaj Total	809	1456	2401	1308	4666	5974

Oddaljeni potresi / Distant earthquakes

 $\Delta > 10^{\circ} (> 1.100 \text{ km})$

Regionalni potresi / Regional earthquakes

Lokalni potresi / Local earthquakes

$$\Delta \le 1,5^{\circ} (\le 160 \text{ km})$$

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



Slika 7. Število naravnih in umetnih potresov po mesecih. Figure 7. Monthly distribution of earthquakes and artificials.



Slika 8. Skupno število potresnih dogodkov po mesecih. Figure 8. Distribution of all seismic events by months.

Literatura

- Sinčič P., Vidrih R., 1993. Mreža potresnih opazovalnic v Sloveniji. Ujma 7, 130-137, Ljubljana.
- Sinčič P., Vidrih R., 1995. Gradnja potresne opazovalnice. Ujma 9, 185-189, Ljubljana.
- Trnkoczy, A., Vidrih R., 1986. Seizmološka stanica Vojsko (VOY) u SR Sloveniji. Acta seismologica Iugoslavica 12, 17-34, Beograd.
- Sinčič, P., Vidrih, R., Gostinčar, M., Živčić, M., 2004. Potresne opazovalnice v Sloveniji v letu 2002. Potresi v letu 2002. str. 1-11.

POTRESI V SLOVENIJI LETA 2003 EARTHQUAKES IN SLOVENIA IN 2003

Ina Cecić, Mladen Živčić, Tamara Jesenko in Janko Kolar

Izvleček. Potresna aktivnost v letu 2003 je bila zmerna. Prebivalci so čutili več kot 54 potresnih sunkov, vendar vsa žarišča niso bila na slovenskem ozemlju. Najmočnejši potres je bil 31. maja ob 5. uri in 59 minut po svetovnem času (UTC) oziroma ob 7. uri in 59 minut po srednjeevropskem poletnem času z žariščem v bližini Dolenjega Karteljevega (na Dolenjskem). Njegova lokalna magnituda je bila 3,3, največja intenziteta pa V-VI EMS-98. Devetindvajsetega marca ob 17. uri in 43 minut po svetovnem času (UTC) oziroma ob 18. uri in 43 minut po srednjeevropskem času se je močno zatreslo območje otoka Jabuka (Hrvaška). Ta potres je bil po lokalni magnitudi (5,5) najmočnejši potres, ki so ga v letu 2003 čutili prebivalci Slovenije.

Abstract. Year 2003 was a year of moderate seismic activity in Slovenia. The inhabitians of Slovenia have felt more than 54 earthquakes, but all of them didn't have their foci in Slovenia. The strongest earthquake in Slovenia in 2003 happened on 31 May at 5h 59 m UTC (7h 59m local time) near Dolenje Karteljevo. Its local magnitude was 3,3 and the maximum observed intensity was V-VI EMS-98. The strongest earthquake outside our borders felt in Slovenia occurred on 29 March at 17h 43m UTC. The epicentre was in Croatia in the Adriatic Sea (close to island Jabuka) and its local magnitude was 5,5.

Uvod

Potresna aktivnost v letu 2003 v Sloveniji je bila zmerna (ARSO, 2003-2004). Po januarskih potresih pri Ilirski Bistrici, na otoku Krku (Hrvaška), pri Zidanem mostu, Štorah in Strugah, se je februarja zatreslo najprej pri Zalem Logu, potem pa še pri Črnomlju, dvakrat pod Krimom, v okolici Bovca, pri Bevkah in pri Dolu pri Ljubljani. V marcu smo zabeležili potrese pri Krškem, Podbočju, Selu pri Zagorju (večkratni sunki), Novi Gorici, v Savinjski dolini in pri otoku Jabuka (Hrvaška). Ta potres je bil po lokalni magnitudi (5,5) najmočnejši potres, ki so ga v letu 2003 čutili prebivalci Slovenije. Aprila so sledili potresi pri Dolskem, na Kozjanskem in v Hrvaškem Zagorju.

Maja so tresenje tal čutili v okolici Trbovelj, Zagorja ob Savi, Dolenjega Karteljevega in velikokrat v Podčetrtku in okoliških krajih. Najmočnejši potres leta 2003 z žariščem v Sloveniji je bil 31. maja ob 5. uri 59 minut po UTC (oz. ob 7. uri 59 minut po srednjeevropskem poletnem času) z žariščem v bližini Dolenjega Karteljevega. Njegova lokalna magnituda je bila 3,3 (ARSO, 2003-2004), največja intenziteta v kraju Lešnica pa V-VI EMS-98 in je, skupaj s potresom pri Podčetrtku 13. maja, potres z največjimi učinki v Sloveniji v letu 2003. EMS je okrajšava za evropsko potresno lestvico (Grünthal, 1998a, 1998b). Junija so prebivalci Slovenije čutili potrese z žarišči pri Podčetrtku, Cerkljah ob Krki (dvakrat) in Krški vasi. Julija se je še enkrat streslo v Cerkljah ob Krki.

V avgustu smo zabeležili potrese pri Zagorju ob Savi, Goričicah, Kamniku pod Krimom, na Madžarskem, v Avstriji, pri Gorenji vasi in v okolici Brezovca. Septembra se je po potresu pri Mežici streslo še v Črni na Koroškem, Otočcu na Krki ter pri Bologni v Italiji. Oktobra so potrese čutili prebivalci Krškega. Novembra smo zbirali podatke za potres pri Ilirski Bistrici. Decembra se je treslo pri Ilirski Bistrici, na Madžarskem in dvakrat pri Velikem Mraševem. Na različnih območjih Slovenije so prebivalci čutili več kot 54 potresnih sunkov. Dva potresa sta dosegela največjo intenziteto V-VI EMS-98. Karta nadžarišč (epicentrov) vseh potresov leta 2003 je na sliki 1, tistih, ki so jih prebivalci čutili, pa na sliki 2.



Slika 1 Nadžarišča potresov v letu 2003, ki smo jim določili žariščni čas, instrumentalni koordinati epicentra in globino žarišča; na simbolih različnih velikosti barva ponazarja žariščno globino, velikost pa vrednosti lokalne magnitude M_{LV} .



V letu 2003 smo zabeležili tudi večje število dogodkov v okolici Šoštanja. Ker ne gre za naravne potrese, ti dogodki tukaj niso obravnavani.

Seizmografi državne mreže potresnih opazovalnic so leta 2003 zapisali več kot 2400 lokalnih potresov. Za določitev žarišča potresa potrebujemo podatke najmanj treh opazovalnic. V preglednici 1 smo podali 149 lokalnih potresov, za katere smo lahko določili lokalno magnitudo in je le-ta bila večja ali enaka 1,5, kot tudi 19 šibkejših, ki so jih prebivalci Slovenije čutili.

Za opredelitev osnovnih parametrov potresov podanih v preglednici 1 smo uporabili vse razpoložljive analize potresov na potresnih opazovalnicah državne mreže v Sloveniji (ARSO, 2003-2004) ter v Avstriji (ZAMG 2003-2004), Hrvaški (GZAM 2003-2004), Italiji (OGS 2004) in Madžarski (Tóth in sod., 2004). Žariščni čas, to je čas, ko je potres nastal, koordinati nadžarišča in žariščno globino smo opredelili iz časov prihodov vzdolžnega (P) in prečnega (S) valovanja na potresno opazovalnico. Potrese smo locirali s programom HYPOCENTER

(Lienert in sod., 1988, Lienert, 1994). Uporabili smo povprečni hitrostni model za ozemlje Slovenije, opredeljen iz tridimenzionalnega modela za prostorsko valovanje (Michelini in sod., 1998) in model za površinsko valovanje (Živčić in sod., 2000). Pri potresih, za katere smo lahko določili le koordinati nadžarišča, smo za žariščno globino privzeli 7 km.



Slika 2 Intenzitete potresov, ki so jih v letu 2003 čutili prebivalci Slovenije. Na simbolih različnih velikosti barva ponazarja maksimalno doseženo intenziteto v Sloveniji, velikost pa vrednosti lokalne magnitude M_{LV}.

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

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

kjer je D oddaljenost nadžarišča v kilometrih.

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

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

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

Največja intenziteta (Imax), ki jo je potres dosegel na ozemlju Slovenije, je opredeljena po evropski potresni lestvici (EMS-98). Kadar podatki niso zadoščali za nedvoumno določitev

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

intenzitete, smo dali razpon možnih vrednosti (npr. IV-V). V stolpcu "Potresno območje" smo podali ime naselja, ki je najbližje določenemu nadžarišču in je navedeno v seznamu naselij Geodetske uprave RS (RGU, 1995).

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

Preglednica 1. Seznam potresov leta 2003, ki imajo lokalno magnitudo večjo ali enako 1,5 in smo jim lahko izračunali žariščni čas, instrumentalni koordinati nadžarišča (epicentra) in globino žarišča. Pri nekaterih potresih je navedena še največja intenziteta. V preglednici je tudi 19 potresov manjše lokalne magnitude, ki so jih čutili prebivalci Slovenije.

Table 1. List of earthquakes with $MLV \ge 1,5$ in 2003 for which the hypocentral time, coordinates of epicentre and focal depth were calculated; the maximum intensity of some earthquakes is also provided. Information about 19 earthquakes with weaker magnitude, that were felt by inhabitants of Slovenia, is also included.

¥.		h:m:s	z. šir.	z. dolž.	h		RMS			I _{max}	
st.	dat.	UTC	°N	°E	km	nst	s	MLV	MD	EMS 98	potresno obmocje
		h:m:s	lat	lon	h		RMS			I _{max}	
no.	date	UTC	°N	°E	km	nst	s	M∟v	MD	EMS 98	epicentral area
1	4.1.	12:44:27,3	45,55	14,52	18	84	0,4	3,1	3,4	čutili	Snežnik
2	13.1.	0:29:38,4	46,47	14,93	0	8	0,2	1,6			Jazbina
3	15.1.	13:51:30,4	45,39	15,41	7	13	0,4	1,6	2,8		Jarče polje, Hrvaška
4	16.1.	6:36:42,3	46,45	14,93	0	4	0,1	1,6			Javorje
5	19.1.	18:28:38,8	46,49	14,83	0	4	0,1	1,6			Breg
6	21.1.	22:14:04,8	46,09	15,17	7	10	0,3	0,8		IV-V	Širje
7	22.1.	5:24:17,7	46,23	15,34	4	13	0,2	1,4	1,6	IV	Ogorevc
8	23.1.	0:50:43,1	45,39	14,71	7	31	0,5	2,1	2,8		Delnice, Hrvaška
9	25.1.	11:44:28,3	45,77	14,79	4	9	0,2	0,9	1,7	zvok	Raplevo
10	27.1.	2:53:12,7	46,07	14,94	9	20	0,4	1,7	1,9		Mamolj
11	30.1.	8:31:31,9	45,69	14,18	21	19	0,4	1,7			Gradec
12	2.2.	1:43:42,3	46,25	13,49	12	8	0,2	2,2	1,9		Robič
13	4.2.	16:58:38,2	46,11	13,55	16	14	0,2	1,8	2,1		Ukanje, meja Slovenija - Italija
14	7.2.	10:42:12,1	46,53	14,74	10	19	0,6	2,1	2,1		Peca, meja Slovenija - Avstrija
15	12.2.	19:17:08,7	46,16	14,13	15	38	0,4	2,3	2,6	IV	Jelovica - Zali Log
16	14.2.	12:54:40,5	45,40	15,39	0	7	0,4	1,7	2,4		Jarče Polje, Hrvaška
17	17.2.	0:33:19,0	45,57	15,27	4	10	0,5	1,3	2,0	IV	Cerkvišče
18	17.2.	9:22:55,5	46,24	14,51	9	14	0,4	2,1	1,4		Pšenična Polica
19	21.2.	2:10:49,5	45,99	14,40	8	10	0,2	0,6	1,0	čutili	Notranje Gorice
20	21.2.	2:21:13,1	45,99	14,39	7	12	0,2	0,8	1,0	IV	Notranje Gorice
21	22.2.	9:30:00,0	45,95	14,72	7	19	0,5	1,7	1,8		Mala Loka pri Višnji Gori
22	22.2.	20:30:17,1	46,36	13,57	7	35	0,4	2,0	2,4	IV	Kal-Koritnica
23	25.2.	12:32:26,2	45,39	15,33	0	12	0,5	1,9	2,1		Bosiljevo, Hrvaška
24	26.2.	5:42:16,2	46,00	14,37	7	19	0,4	1,5	2,3	III-IV	Log pri Brezovici

×		h:m:s	z. šir.	z. dolž.	h		RMS			I _{max}	
st.	dat.	UTC	°N	°E	km	nst	s	MLV	MD	EMS 98	potresno obmocje
		h:m:s	lat	lon	h		RMS	-		I _{max}	
no.	date	UTC	°N	°E	km	nst s		MLV	MD	EMS 98	epicentral area
25	26.2.	19:47:54,5	46,06	14,75	12	25	0,4	2,0	2,5	III-IV	Mala Štanga
26	1.3.	14:48:56,3	45,42	15,40	0	8	0,2	2,0	2,0		Jarče Polje, Hrvaška
27	6.3.	12:10:40,4	46,67	15,22	0	12	0,1	2,2	1,9		Eibiswald, Avstrija
28	11.3.	15:09:05,4	45,45	15,44	0	5	0	1,8			Mračin, Hrvaška
29	11.3.	16:55:51,2	45,35	15,16	0	3	0,2	1,8			Musulini, Hrvaška
30	12.3.	4:25:49,8	45,87	15,42	6	15	0,3	1,6	1,7	III-IV	Malence - Krško
31	12.3.	13:39:38,8	45,73	15,61	1	7	0,6	1,0	1,6	III-IV	Malence - Krško
32	15.3.	6:21:31,0	46,14	15	9	3	0,0	0,6		čutili	Loke pri Zagorju
33	15.3.	6:21:39,0	46,15	14,95	7	4	0,1	0,9		III-IV	Šemnik
34	16.3.	13:09:33,4	46,47	14,80	0	4	0,1	1,8			Bistra
35	20.3.	9:40:48,3	46,27	13,50	18	8	0,1	2,1	1,9		Robič
36	21.3.	15:36:10,6	46,06	14,78	8	14	0,1	1,6	1,9		Golišče
37	22.3.	4:46:39,5	45,48	15,33	6	20	0,4	1,6	2,3		Žuniči
38	26.3.	2:44:59,0	46,35	15,41	3	12	0,2	1,7			Spodnje Preloge
39	26.3.	14:43:34,3	45,41	15,38	0	11	0,4	1,9	1,8		Belavići, Hrvaška
40	26.3.	20:47:12,7	45,88	13,61	5	9	0,4	1,0	1,8	čutili	Opatje Selo
41	28.3.	23:16:41,3	46,27	15,10	11	22	0,3	1,8	2,0	IV-V	Ločica ob Savinji
42	1.4.	20:00:09,4	46,12	14,70	10	20	0,3	1,4	2,0	Ш	Zgornja Jevnica-Dolsko
43	6.4.	0:08:14,2	46,45	14,94	1	8	0,1	1,6			Javorje
44	9.4.	10:03:21,9	45,37	15,45	3	8	0,3	1,9	2,4		Donji Zvečaj, Hrvaška
45	18.4.	2:50:34,0	45,93	13,91	13	19	0,3	1,6	2,4		Otlica
46	18.4.	3:16:34,0	46,12	13,57	14	21	0,2	1,7	2,5		Ukanje, meja Slovenija - Italija
47	19.4.	7:27:43,4	46,29	14,79	8	10	0,4	1,6	1,7		Dol
48	20.4.	19:02:48,6	46,18	15,49	7	38	0,4	2,5	2,6	V	Bukovje v Babni Gori
49	21.4.	10:03:52,3	46,00	15,77	11	57	0,3	2,7	3,3	čutili	Kraljevec, Hrvaška
50	22.4.	10:07:08,0	46,67	15,21	0	10	0,1	2,4			Eibiswald, Avstrija
51	1.5.	8:01:26,1	45,37	15,45	0	11	0,4	1,6	2,0		Donji Zvečaj, Hrvaška
52	2.5.	20:25:43,8	46,16	14,46	12	23	0,3	1,8	2,4		Hraše
53	5.5.	10:41:20,2	45,95	14,01	0	6	1	2,1			Zadlog
54	6.5.	15:05:48,0	46,66	15,22	0	5	0,1	2,5			Eibiswald, Avstrija
55	10.5.	0:58:52,7	46,16	15,06	6	15	0,3	1,7	2,3	Ш	Ostenk - Trbovlje
56	13.5.	9:30:24,2	46,15	15,59	9	92	0,4	3,0	3,5	V-VI	Podčetrtek
57	14.5.	12:03:21,8	46,14	15,61	8	17	0,3	2,0	2,3	IV	Podčetrtek
58	14.5.	13:46:45,6	45,58	15,46	1	3	0,6	1,8			Vel. Erjavec, Hrvaška
59	14.5.	15:34:45,0	45,37	15,15	0	5	0,4	1,7	2,9		Stubica, Hrvaška
60	15.5.	5:31:49,6	46,14	15,62	5	7	0,3	1,1		Ш	Imeno
61	15.5.	13:28:38,7	46,02	13,48	17	11	0,1	1,9	2,2		Dobrovo
62	16.5.	5:42:59,4	46,02	13,48	15	9	0,1	1,6	1,8		Dobrovo
63	17.5.	14:22:27,6	46,05	15,73	10	17	0,3	1,6	2,1		Orešje na Bizeljskem, meja Slovenija-Hrvaška

¥.,	¥	h:m:s	z. šir.	z. dolž.	h		RMS			I _{max}	
st.	dat.	UTC	°N	°E	km	nst	s	MLV	MD	EMS 98	potresno obmocje
		h:m:s	lat	lon	h		RMS			I _{max}	
no.	date	UTC	°N	°E	km	nst	s	MLV	MD	EMS 98	epicentral area
64	19.5.	0:16:49,7	46,14	15,63	9	13	0,2	1,3	1,9	III	Imeno
65	21.5.	15:11:57,4	46,68	15,21	0	9	0,2	1,9			Eibiswald, Avstrija
66	26.5.	4:57:33,6	46,06	15,13	11	20	0,5	1,9	2,0		Jagnjenica
67	26.5.	9:39:22,8	46,28	13,64	7	10	0,1	1,8	1,6		Drežniške Ravne
68	28.5.	3:51:09,0	45,95	14,86	11	24	0,4	1,7	2,1		Šentpavel na Dolenjskem
69	30.5.	10:20:59,4	46,67	15,20	0	7	0,2	1,8			Eibiswald, Avstrija
70	31.5.	3:57:22,6	46,20	14,81	18	6	0,1	2,0		III-IV	Gabrje pod Špilkom
71	31.5.	5:59:14,7	45,86	15,19	8	89	0,5	3,3	3,2	V-VI	Koti - Dolenje Karteljevo
72	31.5.	8:47:45,0	45,84	15,21	6	4	0,1	0,5		III	Jelše pri Otočcu
73	31.5.	15:11:57,2	45,72	15,37	0	12	0,5	1,7	2,0		Sošice, Hrvaška
74	2.6.	20:12:19,6	46,46	14,90	10	10	0,5	1,9	1,5		Javorje
75	4.6.	14:08:11,8	46,28	13,71	12	25	0,3	1,7	2,5		Krn
76	12.6.	13:14:59,8	46,61	14,23	0	24	0,4	1,9	2,3		Viktring, Avstrija
77	19.6.	10:15:37,5	46,15	15,64	7	6	0,1	1,2		Ш	Podčetrtek
78	22.6.	14:11:04,5	45,88	15,52	7	19	0,3	1,9	2,5	IV-V	Cerklje ob Krki
79	23.6.	3:9:15,5	45,88	15,51	9	30	0,5	2,3	2,4	IV-V	Veliko Mraševo
80	23.6.	15:20:57,5	46,71	15,21	0	4	0,2	2,6			Eibiswald, Avstrija
81	24.6.	13:00:08,1	45,87	15,55	7	15	0,3	1,7		III	Gorenja Pirošica
82	1.7.	3:22:25,7	46,06	14,78	10	18	0,2	1,6	1,8		Golišče
83	4.7.	23:46:34,4	45,59	15,54	7	23	0,4	2,0	2,7		Vel. Erjavec, Hrvaška
84	7.7.	8:03:11,5	45,66	15,23	9	15	0,2	1,7	1,9		Omota
85	13.7.	6:49:43,2	46,32	13,65	10	41	0,4	2,2	2,3		Lepena
86	13.7.	9:18:28,6	46,31	13,62	7	7	0,1	1,6	1,8		Lepena
87	16.7.	4:53:20,1	45,88	15,55	2	10	0,3	1,0	1,8	čutili	Brvi - Cerklje ob Krki
88	18.7.	7:01:55,4	46,26	13,52	15	11	0,2	2,3	1,8		Robič
89	21.7.	10:03:27,5	46,67	15,22	0	7	0,1	2,3			Eibiswald, Avstrija
90	22.7.	17:06:05,4	46,30	13,62	10	18	0,2	2,4	2,1		Lepena
91	23.7.	18:15:39,7	46,31	13,63	6	10	0,2	1,7	1,7		Lepena
92	2.8.	22:40:14,7	46,18	13,40	13	18	0,3	2,2	2,0		Masarolis, Italija
93	3.8.	0:41:00,6	46,20	13,42	15	38	0,5	1,7	2,7		Masarolis, Italija
94	3.8.	2:05:31,4	46,19	13,41	13	6	0,1	1,7	1,9		Masarolis, Italija
95	5.8.	3:24:32,3	46,13	14,98	7	12	0,2	1,2	1,8	III-IV	Vrh - Zagorje ob Savi
96	7.8.	2:48:1,5	45,95	14,47	17	34	0,3	2,2	2,6	III-IV	Planinca
97	7.8.	11:25:19,9	45,95	14,48	19	23	0,5	2,0	2,3		Strahomer
98	8.8.	20:32:44,9	46,09	14,36	12	13	0,3	1,3	1,7	Ш	Brezovica pri Medvodah
99	9.8.	6:25:35,2	45,71	14,17	14	10	0,3	1,6	2,3		Slavina
100	12.8.	19:03:35,6	46,20	15,65	12	20	0,4	1,9	2,5		Pristavica, meja Slovenija - Hrvaška
101	13.8.	6:39:3,9	45,63	14,48	18	24	0,3	2,0	2,6		Snežnik
102	14.8.	3:28:6,1	46,03	13,69	14	47	0,3	1,9	2,8		Grgarske Ravne
103	15.8.	3:20:22,9	46,17	14,91	9	21	0,3	1,6	2,1		Podlipovica

¥ .		h:m:s	z. šir.	z. dolž.	h		RMS			I _{max}	
št.	dat.	UTC	٥N	°E	km	nst	s	MLV	MD	EMS 98	potresno območje
-	-	h:m:s	lat	lon	h		RMS			I _{max} EMS 98	
no.	date	UTC	°N	°E	km	nst	s	M∟v	MD		epicentral area
104	16.8.	21:58:50,7	46,48	14,51	11	71	0,4	2,5	3,2	III-IV	Ebriach, Avstrija
105	24.8.	3:07:36,3	46,09	14,19	23	90	0,4	2,8	3,1	IV	Bačne
106	26.8.	20:50:11,9	46,13	15,65	7	16	0,3	1,5	1,8	IV	Imeno
107	30.8.	15:35:21,6	46,21	13,56	12	10	0,3	1,9	1,6		Avša, meja Slovenija - Italija
108	2.9.	10:13:30,7	46,67	15,21	0	16	0,3	1,8			Eibiswald, Avstrija
109	4.9.	0:04:04,4	46,55	14,81	18	38	0,5	2,5	2,7	IV	Ob. Loibach, Avstrija
110	5.9.	21:09:20,6	46,57	14,83	7	39	0,5	2,1	2,6	IV	Ob. Loibach, Avstrija
111	6.9.	9:58:26,7	46,51	14,84	7	6	0,2	1,8			Breg, meja Slovenija - Avstrija
112	7.9.	17:28:48,5	45,54	15,19	6	21	0,4	1,6	2,4		Golek
113	8.9.	14:00:06,0	46,31	13,64	7	11	0,4	1,7	1,8		Lepena
114	12.9.	8:51:34,3	45,85	15,21	7	19	0,4	1,7	1,9	IV	Črešnjice - Črna na Koroškem
115	12.9.	9:30:36,4	45,65	13,38	0	33	0,6	2,0	2,8		Tržaški zaliv
116	13.9.	7:50:29,3	45,72	15,70	11	28	0,5	2,3	1,9		Stankovo, Hrvaška
117	13.9.	18:53:28,9	46,28	13,70	7	33	0,4	1,6	2,6		Vel. Bogatin
118	15.9.	15:02:10,6	46,69	15,22	0	9	0,2	2,1			Eibiswald, Avstrija
119	17.9.	2:37:29,7	45,39	14,42	18	17	0,4	1,9	2,7		Studena, Hrvaška
120	18.9.	9:40:37,6	46,00	14,97	9	17	0,1	2,1	1,7		Gabrska Gora
121	2.10.	13:23:52,9	46,31	14,18	0	11	0,4	1,6	2,2		Spodnja Lipnica
122	8.10.	18:05:54,1	45,96	15,53	6	21	0,4	1,5	1,3	Ш	Pleterje
123	17.10.	12:06:07,4	46,65	15,22	0	14	0,3	2,4			Eibiswald, Avstrija
124	18.10.	12:49:56,5	45,66	14,33	12	15	0,3	1,7	2,2		Jurišče
125	18.10.	13:29:48,4	45,67	14,34	15	7	0,1	1,6	1,8		Jurišče
126	18.10.	13:42:23,1	45,67	14,33	14	15	0,2	1,8			Jurišče
127	19.10.	6:07:04,1	45,66	14,31	17	46	0,4	2,4	2,9		Jurišče
128	31.10.	3:24:20,1	46,54	14,82	13	13	0,4	2,0			Ob. Loibach, Avstrija
129	31.10.	11:53:25,7	45,39	15,14	0	6	0,2	1,6	1,7		Močile, Hrvaška
130	31.10.	22:58:54,6	46,07	14,78	11	19	0,2	1,8	1,9		Golišče
131	2.11.	15:54:22,4	46,16	13,55	13	19	0,2	1,6	2,1		Cepletischis, Italija
132	4.11.	15:52:30,7	46,64	15,21	0	3	0,1	1,6	1,3		Eibiswald, Avstrija
133	12.11.	0:00:21,9	46,37	13,44	14	22	0,3	1,8	2,0		Kanin, meja Slovenija - Italija
134	22.11.	4:02:32,8	46,13	15,01	17	20	0,4	1,8	2,2		Selo pri Zagorju
135	23.11.	22:25:53,9	46,07	15,09	10	25	0,3	2,1	2,0		Svibno
136	25.11.	22:26:32,2	45,55	14,24	9	23	0,5	1,9	2,5	III-IV	Koseze
137	25.11.	23:49:43,4	46,28	13,28	15	46	0,4	1,9	2,8		Lusevera, Italija
138	28.11.	20:37:4,2	46,07	14,76	11	17	0,2	1,6	1,8		Mala Štanga
139	2.12.	15:31:35,7	46,68	15,20	0	5	0,2	1,9	1,4		Eibiswald, Avstrija
140	2.12.	17:51:8,7	45,62	14,24	17	77	0,4	2,9	3,1	III-IV	Knežak
141	2.12.	18:47:6,6	45,63	14,25	13	23	0,3	1,7	2,4		Knežak
142	6.12.	7:50:58,4	45,99	15,03	10	21	0,3	1,9	2,3		Lukovec
¥.,	dat.	h:m:s	z. šir.	z. dolž.	h		RMS s			I _{max}	
-----	--------	------------	---------	----------	----	-----	-------------------	-----	-----------	------------------	------------------
št.		UTC	°N	°E	km	nst		M∟v	MD	EMS 98	potresno območje
		h:m:s	lat	lon	h		RMS			I _{max}	
no.	date	UTC	°N	°E	km	nst	s M _{LV}	MD	EMS 98	epicentral area	
143	11.12.	16:08:20,5	45,90	14,82	12	31	0,4	2,0	2,5		Velike Kompolje
144	13.12.	23:39:45,9	45,71	14,34	14	16	0,3	2,0	2,2		Otok
145	13.12.	23:39:48,1	45,71	14,35	15	4	0,3	2,1			Otok
146	15.12.	4:52:43,4	46,04	15,79	12	14	0,2	1,6	2,1		Klanjec, Hrvaška
147	23.12.	10:50:51,9	46,16	14,46	18	33	0,4	2,2	2,5		Skaručna
148	23.12.	10:57:22,3	46,17	14,47	13	9	0,3	1,6	1,1		Dornice
149	30.12.	14:48:13,7	46,28	14,37	0	6	0,2	1,8	2,1		Bobovek

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

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

zap. št.	mesec	dan	čas (UTC) h:min	največja intenziteta v Sloveniji (EMS-98)	potresno območje	
no.	month	day	time (UTC) h:m	maximum intensity in Slovenia (EMS-98)	earthquake's area	
1	1	17	3:18	III-IV	Krk, Hrvaška	
2	3	29	17:43	III	Jabuka, Hrvaška	
3	8	9	22:01	IV	Magyarszecsőd, Madžarska	
4	9	14	21:42	čutili	Bologna, Italija	
5	12	16	7:06	čutili	Pogányszentpéter, Madžarska	

V naslednjem poglavju (in na slikah od 3 do 10) so natančneje opisani le nekateri izmed potresov, ki so jih v letu 2003 čutili prebivalci Slovenije. Zaradi velikega števila dogodkov ni bilo mogoče predstaviti učinkov prav vseh. Na sliki 11 so največje intenzitete za vse potrese, kiso jih v posameznih krajih čutili prebivalci Slovenije v letu 2003.

Podatki o nekaterih močnejših potresih, ki so jih prebivalci čutili

21. januar 2003 ob 22. uri 14 minut po UTC. Zmerno tresenje tal z intenziteto IV-V EMS-98 so čutili prebivalci krajev Veliko Širje in Zidani Most (slika 3). Slišalo se je tudi kratko močno bobnenje, ki je prestrašilo številne prebivalce v Zidanem Mostu.

22. januar 2002 ob 5. uri 24 minut po UTC. O zmernem tresenju tal z intenziteto IV EMS-98 so poročali prebivalci Ogorevca pri Štorah.

12. februar 2003 ob 19. uri 17 minut po UTC. Zmeren potres z intenziteto IV-V EMS-98 so čutili prebivalci v kraju Rudno pri Železnikih (slika 4). O bobnenju so poročali iz Davče, Poljan nad Škofjo Loko, Lučin, Gorenje vasi, Gorenje Dobrave in od drugod, na Malenskem Vrhu je za nekaj časa zmanjkalo elektrike.



Slika 3. Intenzitete potresa 21. januarja 2003 ob 22. uri 14 minut po UTC v posameznih naseljih. Figure 3. Observed intensites of the earthquake on 21 January 2003 at 22.14 UTC.



Slika 4. Intenzitete potresa 12. februarja 2003 ob 19. uri 17 minut po UTC v posameznih naseljih. Figure 4. Observed intensites of the earthquake on 12 February 2003 at 20.42 UTC.

17. februar 2003 ob 0. uri 33 minut po UTC. Potres so najmočneje (z intenziteto IV EMS-98) čutili v Butoraju in Črnomlju. Potres so čutili tudi delavci v neki tovarni v Črnomlju v času nočne malice. V krajih Praprot in Griblje so slišali tudi rahlo bobnenje.

21. februar 2003 ob 2. uri 21 minut po UTC. Zmerno tresenje tal z intenziteto IV EMS-98 so čutili v Dragomeru. Od tam so poročali tudi o nenavadnem obnašanju živali in hrumenju.

22. februar 2003 ob 20. uri 30 minut po UTC. Tla v Posočju so se ta dan ponovno stresla. Potres je intenziteto IV EMS-98 dosegel v Bovcu, Vodenci in Soči. V Soči so ga doživeli kot oddaljeno eksplozijo, zamolklo bobnenje so slišali tudi v Bovcu in Idrskem.

28. marec 2003 ob 23. uri 16 minut po UTC. Ta potres so najmočneje (IV-V EMS-98) čutili v Preboldu (slika 5). Prebivalci so slišali močan pok, podoben eksploziji.



Slika 5. Intenzitete potresa 28. marca 2003 ob 23. uri 16 minut po UTC v posameznih naseljih. Figure 5. Observed intensites of the earthquake on 28 March 2003 at 23.16 UTC.

20. april 2003 ob 19. uri 2 minuti po UTC. Močno tresenje tal z intenziteto V EMS-98 so čutili prebivalci Grobelc (slika 6). Od tam so poročali tudi o finih razpokah v ometu nekaterih hiš. V nekaterih krajih so prebivalci za nekaj časa zapustili stavbe.

13. maj 2003 ob 9. uri 30 minut po UTC. Žarišče potresa je bilo pri Podčetrtku. Povzročil je nekaj manjših poškodb na slabše zgrajenih hišah. Čutili so ga prebivalci severovzhodne Slovenije (slika 7) in zahodnega dela Hrvaškega Zagorja. Najmočnejše učinke (V-VI EMS-98) je imel v naseljih Imeno in Trebče. To je bil prvi iz serije potresov, ki so jih v naslednjih dneh čutili na tem območju.

14. maj 2003 ob 12. uri 3 minute po UTC. Tudi ta potres je imel žarišče v bližini Podčetrtka. Čutili so ga najbolj v Spodnjem Sečovem in Virštanju, kjer je dosegel intenziteto IV EMS-98.



Figure 6. Observed intensites of the earthquake on 20 April 2003 at 19.02 UTC.

31. maj 2003 ob 5. uri 59 minut po UTC. Najmočnejši potres v letu 2003 so čutili v 65 naseljih, od tega najmočneje (V-VI EMS-98) v Lešnici (slika 8). Tam je na nekaterih starejših hišah prišlo do manjših poškodb. O poškodbah so poročali tudi iz Otočca ob Krki in nekaterih drugih krajev v okolici. Kar nekaj opazovalcev je omenilo valove in mehurčke na gladini reke Krke.

22. junij 2003 ob 14. uri 11 minut po UTC. Ta potres je dosegel največjo intenziteto IV-V EMS-98 v Črešnjicah (slika 9). Spremljal ga je močan pok, o katerem so poročali iz Brežic in Župeče vasi. Sledil mu je šibkejši sunek ob 12. uri 23 minut po UTC.

23. junij 2003 ob 3. uri 9 minut po UTC. Seizmična aktivnost ob Krki se je nadaljevala še naslednji dan. Tresenje tal z intenziteto IV-V EMS-98 so čutili prebivalci Črešnjic (slika 10). Močan sunek je budil prebivalce, slišati je bilo tudi hrumenje.

9. avgust 2003 ob 22. uri 1 minuto po UTC. Žarišče tega potresa je bilo na Madžarskem (Tóth in sod., 2004). V Sloveniji so ga najmočneje čutili v krajih Zgornja Voličina, Trije

Kralji in Kadrenci, kjer se dosegel intenziteto IV EMS-98. Nekaterim opazovalcem se je tresenje tal zdelo podobno močnemu sunku vetra.

24. avgust 2003 ob 3. uri 7 minut po UTC. Zmerno tresenje tal z intenziteto IV EMS-98 so najmočneje čutili v okolici Poljan nad Škofjo Loko. Iz Šentjošta pri Horjulu so poročali o precej glasnem hrupu, ki je spremljal tresenje. Zvok, podoben oddaljenemu gromu, so slišali tudi v Škofji Loki.

4. september 2003 ob 0. uri 4 minute po UTC. Potresi v okolici Pece niso prav pogosti. Tokratno tresenje tal z intenziteto IV EMS-98 je prebudilo in nekoliko prestrašilo prebivalce na območju Mežice, Prevalj in Raven. Potres so s podobno intenziteto čutili tudi v Avstriji.

5. september 2003 ob 21. uri 09 minut po UTC. Še en potres iz območja Pece z intenziteto IV EMS-98 so čutili prebivalci krajev Dolga Brda, Prevalje in Podpeca. Tudi ta potres so čutili v Avstriji, s podobno intenziteto.

12. september 2003 ob 8. uri 51 minut po UTC. Ta potres so z intenziteto IV EMS-98 čutili v krajih v okolici Novega mesta in Otočca ob Krki. V Lešnici so se poglobile stare razpoke na nekaterih hišah.



Slika 7. Intenzitete potresa 13. maja 2003 ob 9. uri 30 minut po UTC v posameznih naseljih. Figure 7. Observed intensites of the earthquake on 13 May 2003 at 9.30 UTC.



Slika 8. Intenzitete potresa 31. maja 2003 ob 5. uri 59 minut po UTC v posameznih naseljih. Figure 8. Observed intensites of the earthquake on 31 May 2003 at 5.59 UTC.

Sklepne misli

Potresna aktivnost v Sloveniji v letu 2003 je bila zmerna. Histogram na sliki 13 kaže porazdelitev lokalnih magnitud (M_{LV}), ki smo jih opredelili za 1049 potresov. Največ potresov je imelo magnitudo med 0,5 in 0,8. V primerjavi z letom 2002 je to nekoliko manjša magnituda. To je predvsem posledica postavitve novih potresnih opazovalnic, ki s svojo občutljivostjo in gostoto omogočajo beleženje in lociranje šibkejših potresov.



Slika 9. Intenzitete potresa 22. junija 2003 ob 14. uri 11 minut po UTC v posameznih naseljih. *Figure 9.* Observed intensites of the earthquake on 22 June 2003 at 14.11 UTC.



Slika 10. Intenzitete potresa 23. junija 2002 ob 3. uri 9 minut po UTC v posameznih naseljih. Figure 10. Observed intensites of the earthquake on 22 June 2003 at 3.09 UTC.



Slika 11. Skupna karta največjih intenzitet vseh potresov v letu 2003, ki so jih v posameznih krajih čutili prebivalci Slovenije. Figure 11. Combined map of maximum intensites of all earthquakes in 2003.

Med potresi, za katere smo razposlali makroseizmične vprašalnike ali opravili terenske raziskave, jih je največjo intenziteto IV EMS-98 doseglo 11, intenziteto IV-V EMS-98 4 in intenziteto V EMS-98 1 potres. Intenziteto V-VI EMS-98 sta dosegla dva potresa. Preostali potresi (27) so imeli največjo intenziteto nižjo od IV EMS-98 ali pa so jih ljudje le čutili in stopnje ni bilo mogoče opredeliti (sliki 2 in 14). Prebivalci so skupno čutili vsaj 54 potresov.

Porazdelitev potresov glede na globino žarišč (slika 15) kaže, da je imela večina od 1163 potresov, lociranih na območju Slovenije in bližnje okolice, žarišča do globine 18 km. Največ (322) potresov je bilo v globini med 6,1 in 9 km. Za 39 potresov smo opredelili žariščno globino večjo od 18 km.

Kot doslej bi bili makroseizmični podatki za potrese zelo pomanjkljivi ali celo popolnoma nedostopni, če nam pri tem delu ne bi pomagali številni prostovoljni opazovalci. Leta 2003 je z Uradom za seizmologijo in geologijo aktivno sodelovalo več kot 4800 ljudi, za kar se jim najlepše zahvaljujemo. Za potrese v letu 2003 smo poslali 5241 vprašalnikov.

Tudi v letu 2003 smo pri zbiranju in izmenjavi podatkov uspešno sodelovali s seizmologi iz sosednjih držav. Za poslane makroseizmične podatke pa se posebej zahvaljujemo Calvinu Gaspariniju iz Nacionalnega inštituta za geofiziko in vulkanologijo (INGV) v Rimu, Edmundu Fiegweilu iz Centralnega zavoda za meteorologijo in geodinamiko (ZAMG) na Dunaju in Ivici Soviću iz Seizmološke službe Republike Hrvaške (SSRH) v Zagrebu.



Slika 12. Zapis najmočnejšega potresa, ki je nastal 31. maja ob 5. uri in 59 minut po svetovnem času (UTC) oziroma ob 7. uri in 59 minut po srednjeevropskem poletnem času z žariščem v bližini Dolenjega Karteljevega (na Dolenjskem). Njegova lokalna magnituda je bila 3,3, največja intenziteta pa V-VI EMS-98.

Figure 12. The recording of the strongest earthquake in Slovenia in 2003 occured on 31 May at 5h 59 m UTC (7h 59m local time) near Dolenje Karteljevo. Its local magnitude was 3,3 and the maximum observed intensity was V-VI EMS-98.



Slika 13. Porazdelitev potresov v Sloveniji v letu 2003 glede na lokalno magnitudo. *Figure 13.* Distribution of earthquakes with respect to local magnitude.



Slika 14. Porazdelitev potresov v Sloveniji v letu 2003 glede na največjo intenziteto EMS-98. *Figure 14.* Distribution of earthquakes with respect to maximum EMS-98 intensity in Slovenia.



Slika 15. Porazdelitev potresov v letu 2003 glede na globino žarišča (v kilometrih). Figure 15. Distribution of earthquakes with respect to focal depth (in km).

Za izdelavo slik 1 in 2 smo uporabili programski paket GMT (Wessel in Smith, 1991 in 1998).

Literatura

Agencija RS za okolje, 2003-2004. Preliminarni tedenski seizmološki bilteni za 2003. Arhiv ARSO, Ljubljana.

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

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

- GZAM, 2003-2004. Mesečni bilteni za 2003 (online). Geofizički Odsjek Prirodoslovno-Matematičnog Fakulteta, Zagreb, Hrvaška. Dostopno na naslovu:
- http://www.isc.ac.uk/cgi-bin/collect?Days=&yyyy=Year&mm=Mon&Reporter=ZAG
- Lienert, B.R., Berg, E. in Frazer, L.N., 1988. HYPOCENTER: An earthquake location method using centered, scaled, and adaptively least squares. Bull. Seism. Soc. Am., 76, 771-783.
- Lienert, B.R., 1994. HYPOCENTER 3.2 A Computer Program for Locating Earthquakes Locally, Regionally and Globally, Hawaii Institute of Geophysics & Planetology, Honolulu, 70 pp.
- Michelini, A., Živčić, M. in Suhadolc, P., 1997. Simultaneous inversion for velocity structure and hypocenters in Slovenia, Journal of Seismology, 2(3), 257-265.
- NEIC, 2003-2004. Monthly bulletin (online). US Department of the Interior. Geological Survey, National Earthquake Information Center. Dostopno na naslovu:
- http://neic.usgs.gov/neis/data_services/ftp_files.html
- Rebez, A. in Renner, G., 1991. Duration magnitude for the northeastern Italy seismometric network, Boll. Geof. Teor. Appl., Vol. XXXIII, N. 130-131, 177-186.

- OGS (Oservatorio Geofisco Sperimentale), 2004. Bolletino della Rete Sismometrica del Friuli Venezia Giulia, OGS, Centro ricerche sismologiche, Udine, computer file.
- RGU (Republiška geodetska uprava), 1995. Centroidi naselij (geografske koordinate), računalniški seznam.
- Tóth, L., P. Mónus, T. Zsiros, M. Kiszely in T. Czifra, 2004. Hungarian Earthquake Bulletin 2003, GeoRisk MTA GGKI, Budapest. HU ISSN 1219-963X
- Wessel, P. in Smith, W.H.F., 1991. Free software helps map and display data, Eos, Trans. Amer. Un., Vol. 72(441), pp. 445-446.
- Wessel, P. in Smith, W.H.F., 1998. New, improved version of the Generic Mapping Tools released, EOS Trans. AGU, Vol. 79, p. 579.
- ZAMG, 2003-2004, Seizmološki bilteni za 2003. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien.
- Živčić, M., Bondár, I. and Panza, G.F., 2000. Upper Crustal Velocity Structure in Slovenia from Rayleigh Wave Dispersion. Pure Appl. Geophys., Vol. 157, 131-146.

KARTA POTRESNE NEVARNOSTI SLOVENIJE Z UPOŠTEVANJEM INŽENIRSKO-GEOLOŠKIH LASTNOSTI TAL THE SEISMIC HAZARD MAP OF SLOVENIA BASED ON GEOLOGICAL GROUND PROPERTIES

Polona Zupančič

Izvleček. Po naročilu Ministrstva za kulturo, Uprave RS za kulturno dediščino smo na Uradu za seizmologijo leta 2003 izdelali karto potresne nevarnosti Slovenije z upoštevanjem inženirsko-geoloških lastnosti tal. Na podlagi inženirsko-geološke karte Slovenije ter dokumenta Eurocode 8 smo Slovenijo razdelili na štiri vrste tal s pripadajočimi faktorji. S pomočjo karte projektnega pospeška tal smo izračunali končne vrednosti pospeška tal za območje celotne Slovenije.

Abstract. The seismic hazard map of Slovenia considering the ground type was done in 2003. Based on the engineering-geological map of Slovenia and Eurocode 8, four ground types with different factors were established. Based on the design ground acceleration map of Slovenia the final values of ground acceleration were calculated.

Uvod

Na območju Slovenije se srečujemo z zelo različnimi seizmogeološkimi pogoji, od zelo dobrih, kjer izdanjajo karbonatne in nekatere klastične kamnine (peščenjaki, laporji, skrilavci in njihove metamorfne različice) ter magmatske kamnine (predornine in globočnine) prek srednje dobrih na območjih, ki jih prekrivajo prodni nanosi večjih rek ter slabše sprijeti terciarni sedimenti, do najslabših tam, kjer so na površini mlajši morski in jezerski sedimenti ter glinasto-prodni zasipi rek in potokov.

Poleg podatkov o inženirsko-geoloških lastnostih kamnin, ki smo jih dobili iz inženirskogeološke karte Slovenije (Ribičič in sod., 2003), smo pri izdelavi končne karte pospeška tal upoštevali naslednja dva dokumenta:

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

Karta je namenjena Ministrstvu za kulturo, Upravi RS za kulturno dediščino za celostno ohranjanje kulturne dediščine na področju varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami. Besedilo ali karta te naloge se ne smejo uporabljati v druge namene, npr. za projektiranje posameznih pomembnejših objektov. Posamezne lokacije namreč zahtevajo posebno analizo.

Vpliv lokalnih tal

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

Učinki potresa na izbrani lokaciji so odvisni od:

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

V strokovni literaturi je vpliv teh dejavnikov znan pod imenom »site effects«, mi pa ga imenujmo »vpliv lokalnih tal«. Kakšne bodo posledice potresa na objektu, je seveda odvisno tudi od potresne odpornosti oziroma ranljivosti objekta.

Eurocode 8

Vpliv lokalnih tal na potresne učinke je v dokumentu Eurocode 8 na splošno zajet tako, da upošteva sedem vrst temeljnih tal: A, B, C, D, E, S₁ in S₂, ki so opisane s stratigrafskim profilom in tremi parametri: hitrost strižnega valovanja, standardni penetracijski preizkus in strižna trdnost. Vrsta tal na lokaciji je določena glede na vrednost hitrosti strižnega valovanja v zgornjih 30 metrih tal, če tega podatka ni, pa uporabimo vrednost standardnega penetracijskega preizkusa ali stratigrafski opis.

EC8 predpisuje za različne vrste tal (B, C, D in E) faktor tal S glede na tla vrste A. Za posebni vrsti tal S_1 in S_2 pa faktor ni podan in ga je potrebno določiti z natančnejšimi raziskavami.

Preglednica 1. Vrednosti faktorja tal S za različne vrste tal. **Table 1.** Soil factor for different ground types.

Vrsta tal	S
A	1,00
В	1,20
С	1,15
D	1,35
E	1,40

Klasifikacija tal po EC8

Ob upoštevanju EC8 smo na podlagi inženirsko-geološke karte Slovenije (Ribičič in sod., 2003) klasificirali kamnine in zemljine, kot je navedeno v preglednici 2. Inženirsko-geološka karta Slovenije je narejena na podlagi litostratigrafske karte Slovenije v merilu 1:250.000 (Buser, 1999). Karta je sestavljena iz več tematskih kart, ki prikazujejo različne inženirsko-geološke lastnosti npr. karte preperinskega pokrova, erozije, mehanske trdnosti kamnine in stabilnosti. Osnovo za združevanje oziroma klasifikacijo tal sta predstavljali karta preperinskega pokrova in karta mehanske trdnosti kamnine (oziroma zemljine).

Na karti mehanske trdnosti so kamnine in zemljine razdeljene v naslednje enote:

- nekoherentne zemljine,
- koherentne zemljine (do 1 MPa),
- polhribine (< 25 MPa),
- mehke in srednjetrdne hribine (25-50 MPa),
- trdne hribine (50-100 MPa),
- zelo trdne hribine (> 100 MPa).

Na karti preperinskega pokrova so naslednje enote:

- tanek preperinski pokrov (do 1,5 m),
- srednje debel preperinski pokrov (1,5 do 3 m),
- zelo debel preperinski pokrov (pretežno več kot 3 m),
- zemljina, prodnata (gruščnata) z lastnostmi preperine,
- zemljina, glinasta, meljasta z lastnostmi preperine.

Uporabljene kombinacije obeh lastnosti in določene vrste tal so podane v preglednici 2.

Preglednica 2. Uporabljene kombinacije enot iz karte mehanske trdnosti in karte preperinskega pokrova ter določene vrste tal po EC8.

Table 2. Derived EC8 ground types based on different combinations of rock strenght properties and weathering cover from engineering geology map.

Mehanska trdnost	Preperevanje	Vrsta tal po EC8
polhribine (< 25 MPa), mehke in srednjetrdne hribine (25-50 MPa), trdne hribine (50-100 MPa), zelo trdne hribine (> 100 MPa)	ne glede na preperinski pokrov	А
nekoherentne zemljine	zemljina, prodnata (gruščnata) z lastnostmi preperine	В
nekoherentne zemljine	zemljina, glinasta, meljasta z lastnostmi preperine	D
koherentne zemljine (do 1 Mpa)	srednje debel preperinski pokrov (1,5 do 3 m)	В
koherentne zemljine (do 1 Mpa)	zemljina, glinasta, meljasta z lastnostmi preperine	S1 ali S2

Preglednica 3. Površine glede na vrsto tal.

Table 3. Areas (km² and percent) covered by different ground types.

Vrsta tal	Površina (km²)	Odstotki
А	14637	72
В	2717	13,4
D	1816	9
S_1 in S_2	1154	5,6

Karta vrst tal po EC8 izdelana na podlagi inženirsko-geoloških lastnosti tal je prikazana na sliki 1.

Vpliv značilnosti lokalnih tal na potresne učinke v dokumentu Eurocode 8 je zajet tako, da upošteva sedem vrst temeljnih tal: A, B, C, D, E, S₁ in S₂. Za vrste tal B, C, D in E je predpisan faktor tal S (soil coefficient) glede na tla vrste A (preglednica 1). Za posebni vrsti tal S1 in S2 pa faktor ni podan in ga je potrebno določiti z raziskavami (npr. Zupančič in sod, 2003). Večino tal na območju Slovenije lahko uvrstimo v kategorije A, B in D. Nekatera območja pa spadajo v posebni vrsti S₁ ali S₂. Za ta območja nismo mogli podati splošno veljavnega faktorja. Vpliv takšnih tal je praviloma večji od ostalih vrst. Tla vrste A so povsod tam, kjer izdanjajo karbonatne (apnenci in dolomiti) in nekatere klastične kamnine (peščenjaki, laporji, skrilavci in njihove metamorfne različice) ter magmatske kamnine (predornine in globočnine). Tla vrste B in D so na območjih, ki jih prekrivajo prodni nanosi večjih rek ter slabše sprijeti terciarni sedimenti. Tla vrste S₁ ali S₂ so najslabša in se pojavljajo tam, kjer so na površini mlajši morski in jezerski sedimenti (glina pliocenske in kvartarne starosti) ter glinasto-prodni zasipi rek in potokov. Površine, ki jih pokrivajo določene vrste tal, so podane v preglednici 3.



Slika 1. Vrste tal po Eurocode 8. Figure 1. EC8 ground types map.



Slika 2. 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 2. 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.

Potresna nevarnost

Projektni pospešek tal na trdnih tleh

Temeljna karta potresne nevarnosti Slovenije je karta projektnega pospeška tal za povratno dobo 475 let, ki je izdelana v skladu z zahtevami evropskega predstandarda Eurocode 8 (EC8). Uporablja se skupaj s slovenskim predstandardom Eurocode 8 – Projektiranje potresno odpornih konstrukcij, ki ga je izdal Slovenski inštitut za standardizacijo (2001). Slovenski predstandard Eurocode 8, Karta projektnega pospeška tal in Tolmač skupaj dopolnjujejo predpise o potresno odporni gradnji v Sloveniji. Karta in Tolmač h karti sta priložena temu poročilu.

Karta projektnega pospeška tal ima na območju Slovenije sedem različnih vrednosti. Pas večje potresne nevarnosti poteka po osrednjem delu Slovenije od severozahoda proti jugovzhodu države. Z oddaljevanjem od tega pasu proti severovzhodu in jugozahodu se potresna nevarnost vidno zmanjšuje. Izstopajo tri območja z največjo potresno nevarnostjo: območje zahodne Slovenije, območje Ljubljane in okolice ter območje Brežic. Omenjeni pospeški so izračunani za trdna tla (vrsta A).

Karta potresne nevarnosti z upoštevanjem inženirsko-geoloških lastnosti

Končne vrednosti pospeška tal so zmnožki projektnega pospeška na tleh vrste A z ustreznim faktorjem tal. Vrednosti so prikazane v preglednici 4 in na sliki 3.

Preglednica 4. Faktor tal in končne vrednosti pospeška tal. **Table 4.** Soil factor and final values of ground acceleration.

projektni pospešek tal na skali [g]								
vreta	faktor	0.25	0.225	0.2	0.175	0.15	0.125	0.1
tal	tal			pospe				
А	1.00	0.25	0.225	0.2	0.175	0.15	0.125	0.1
В	1.20	0.3	0.27	0.24	0.21	0.18	0.15	0.12
D	1.35	0.34	0.305	0.27	0.23625	0.2025	0.16875	0.135

Zaključki

Na podlagi evropskega predstandarda EC8 in karte potresne nevarnosti Slovenije za trdna tla smo izdelali karto potresne nevarnosti z upoštevanjem inženirsko-geoloških lastnosti (Ribičič in sod., 2003).

Faktor tal smo določili po EC8. Večino tal na območju Slovenije lahko uvrstimo v kategorije A, B in D. Nekatera območja pa spadajo v posebni vrsti S_1 ali S_2 , za katera nismo mogli podati splošno veljavnega faktorja. Tla smo razdelili v štiri območja z ustreznim faktorjem tal:

- vrsta tal A: faktor tal 1,00;
- vrsta tal B: faktor tal 1,20;
- vrsta tal D: faktor tal 1,35;
- vrsta tal S₁ ali S₂: faktor tal ni definiran.



Slika 3. Karta potresne nevarnosti z upoštevanjem inženirsko-geoloških lastnosti tal. *Figure 3.* Seismic hazard map based on engineering geological ground properties.

Potresno nevarnost smo predstavili s karto pospeška tal (PGA) in je namenjena za celostno ohranjanje kulturne dediščine na področju varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami. Za kakršnekoli druge namene, predvsem pa za potrebe projektiranja ali ko preučujemo potresno varnost že zgrajenega objekta, je potrebno natančneje analizirati njegovo lokacijo.

Karta temelji na podatkih v merilu 1:250.000, zato ni primerno, da bi se uporabljala za analize v večjih merilih.

Literatura

Buser, S., 1999. Litostratigrafska karta Slovenije 1:250.000. Geološki zavod Slovenije, Ljubljana.

- Eurocode 8. Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij Del 1-1: Splošna pravila Potresna obtežba in splošne zahteve za konstrukcije (SIST ENV 1998-1-1), Urad RS za standardizacijo in meroslovje.
- Eurocode 8. Projektiranje konstrukcij na potresnih področjih– 5. del: Temelji, oporne konstrukcije in geotehnični vidiki (SIST ENV 1998-5), Urad RS za standardizacijo in meroslovje.
- Eurocode 8. Design of structures for earthquake resistance. Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings (Draft No. 6, Version for translation, January 2003), European Committee for Standardization.
- Lapajne, J., Šket Motnikar, B., Zupančič, P., 2001. Karta potresne nevarnosti Slovenije projektni pospešek tal in Tolmač. Ministrstvo za okolje, prostor in energijo, Uprava RS za geofiziko oz. Agencija RS za okolje, Ljubljana.
- Ribičič, M., Šinigoj, J., Komac, M., 2003. New General Engineering Geological Map of Slovenia. 3rd International Conference on GIS for Earth Science Applications, Slovenia, Ljubljana, 26.-29. May 2003.
- Zupančič, P., Šket Motnikar, B., Gosar, A., Prosen, T., 2003. Karta potresne mikrorajonizacije Mestne občine Ljubljana. Agencija RS za okolje, Ljubljana.

KALIBRACIJA SENZORJEV V DRŽAVNI MREŽI POTRESNIH OPAZOVALNIC SLOVENIAN SEISMIC NETWORK SENSORS CALIBRATION

Izidor Tasič, Peter Sinčič, Matjaž Gostinčar in Igor Pfundner

Izvleček. Potresne opazovalnice državne seizmološke mreže so opremljene s seizmometrom Güralp CMG-40T, zajemalno enoto Quanterra Q730, z vgrajenim GPS sistemom točnega časa, sistemom za neprekinjeno napajanje in sistemom za komunikacijo. Proizvajalec seizmometrov zagotavlja stabilno delovanje senzorjev skozi daljše časovno obdobje, kakor tudi konstantno karakteristiko prenosne funkcije. Kljub temu smo razvili sistem kontrole stabilnosti prenosne funkcije posameznega senzorja. Kontrolo stabilnosti senzorjev opravljamo telemetrično, pri čemer uporabljamo kalibracijska signala (sinus in stopnica), ki ju generira zajemalna enota Q730. Razvili smo programsko orodje, ki na našo zahtevo začne s postopkom kalibracije ter nato avtomatično analizira izhodni signal seizmometra. Prednost telemetrične kontrole je v tem, da seizmometrov ne premikamo, ter da so v temperaturno stabilnem okolju. Pri uporabi opisanega postopka nam torej ni potrebno priti na potresno opazovalnico in odpirati jaška ali celo premikati senzorjev, kar bi vneslo nove neznanke v opazovanje. Slabost pa je v tem, da v resnici natančno ne poznamo izhodnega kalibracijskega signala Q730 ter točnega časa začetka kalibracije. Vendarpa lahko z nekaj numeričnimi rešitvami dobimo zadovoljive podatke.

Abstract. The Slovenian National Seismic Network consisted of eighteen seismic stations, each equipped with a Quanterra Q730 data logger and a broadband Güralp CMG-40T seismometer. Seismometers are equipped with a calibration coil. Even if the producer of sensors guarantees a long-term stability of the sensor transfer function, we have developed a system which regularly and automatically checks their stability. This task is done telemetrically, and for that we use a sine and step calibration signal, built in the Quanterra Q730. The software we have developed starts the calibration on request and automatically analyzes the signal output from the seismometer. The main benefit of a telemetrically controlled calibration is that the sensor is in a stable environment. We do not need to transport it or even open the shaft in case of a calibration procedure. It is nevertheless true that we can not control completely the input calibration signal from the Quanterra Q730. With the help of some numerical solutions, we can however neglect minor uncertainties in the input calibration signal.

Opis sistema

Celoten sistem (slika 1) sestavljajo tri enote: digitalni seizmograf, ki ga sestavljata seizmometer CMG-40T in zajemalna enota Q730 z operacijskim sistemom OS9; delovna postaja z Antelope programsko opremo za zajem podatkov, in osebni računalnik z operacijskim sistemom Windows in s programsko opremo za analizo odziva seizmometra.

Postopek kalibracije:

- osebni računalnik sproži kalibracijski signal na Q730,
- Q730 pošilje tokovni signal na senzorjevo kalibracijsko tuljavo. Iz senzorja sprejme odziv na kalibracijski signal, podatke digitalizira in jih pošlje v delovno postajo, kjer se ti podatki shranjujejo,
- po koncu kalibracije osebni računalnik analizira prispele podatke, oceni parametre in pripravi poročilo.

Odziv na stopnico

Analiza odziva senzorja na kalibracijski signal - stopnico je najenostavnejši kalibracijski postopek (Bormann in Bergmann, 2002). Ponavadi realni signal primerjamo s sintetičnim, pri katerem vnaprej poznamo parametre. Da ustvarimo sintetični kalibracijski signal, potrebujemo



naslednje štiri podatke: uro začetka kalibracije, amplitudo stopnice, lastni nihajni čas in dušenje seizmometra (Harris in Crede, 1976, Scherbaum, 1996, Wielandt, 2000).

Slika 1. Opis sistema. Računalnik s programsko opremo za kalibriranje začne s postopkom kalibracije, na Q730 pošlje zahtevo za začetek kalibracije. Q730 pošlje kalibracijski signal na senzorjevo kalibracijsko tuljavo, istočasno zajema izhodni signal senzorja in pošilja podatke v realnem času na delovno postajo v Center za obdelavo podatkov. Po koncu kalibracije računalnik analizira podatke ter pripravi poročilo.

Figure 1. System description: PC with calibration software send the demand to Q730 to start the calibration. Q730 generate calibration signal on sensor's calibration coil and receive receive response data and sends data to the workstation in the Data centre. At the end of the calibration data is analysed and the report is prepared.



Slika 2. Zapis odziva seizmometra na kalibracijski signal. Kalibracijski signal – stopnica se nahaja med dvema ekstremoma. Kalibracijski signal mora biti dovolj dolg, da njegovo prenehanje ne zmoti odziva sistema. V našem primeru je dolžina kalibracijske stopnice 900 sekund.

Figure 2. Step response record of seismometer. Calibration signal- step is to be found between two extrems. The duration of the signal must be long enough that at it's end the system response is not disturbed. In our case it is 900 seconds.

Prva dva podatka sta neposredno vezana na enoto Q730 in v resnici nista natančno znana. Čas, ki je vpisan v LOG datoteko, ni pravilen. Razlikuje se za nekaj sekund, kar lahko povzroči napačno interpretacijo podatkov. Tudi kalibracijski signal nima oblike idealne stopnice, ampak narašča zvezno, tako da v 0,5 sekunde doseže največjo vrednost. Ravno tako ni znana natančna vrednost amplitude kalibracijskega signala.

Pri naši analizi predpostavljamo, da ima kalibracijski signal idealno stopnico, vendar z normiranjem signala izločimo neznanko – amplitudo signala.

Postopek analize:

- osebni računalnik z delovne postaje pridobi podatke o odzivu seizmometra (zapis odziva sistema na kalibracijski signal) in shrani zapis v lokalno bazo,
- program avtomatsko določi približno začetno točko kalibracijskega signala pri čemer upošteva še dodatno sekundno za rezervo (prva točka = možen začetek minus ena sekunda),
- števec postavimo na 1 in kazalec na prvo (začetno) točko; dolžina signala, ki ga analiziramo, je določena na 70 sekund,
- ocenimo seizmični šum,
- signal normiramo, tako da pri tem upoštevamo seizmični šum. Zaradi seizmičnega šuma je največja vrednost signala nekoliko nad 1 in najmanjša nekoliko pod nič,
- s postopkom prilagajanja nelinearne funkcije (Gauss-Newtonov postopek) ustvarimo sintetični signal z znanimi vrednostmi T_o in β in izračunamo korelacijo med sintetičnim in izmerjenim signalom ter si podatke zapomnimo,
- ponovimo postopek z naslednjo točko v zapisu, števec povečamo za ena. Postopek ponavljamo toliko časa, da je med naslednjo točko v zapisu in začetno točko razlika dve sekundi,
- poiščemo, pri kateri točki smo imeli največjo korelacijo med realnim in sintetičnim signalom in glede na to, katere podatke smo uporabili za sintetični signal, ocenimo dušenje in lastni nihajni čas.

Vpliv seizmičnega šuma

Seizmični šum močno vpliva na analizo zapisa in na kvaliteto rezultatov. Če samo normiramo odziv sistema in pri tem ne upoštevamo šuma, dobimo napako, ki se povečuje z amplitudo seizmičnega šuma. Zato zapis, ki predstavlja odziv sistema na stopnico, normiramo tako, da upoštevamo še seizmični šum. Dobimo tako imenovani "kvazi" - normiran signal, kjer maksimalna vrednost ni ena ampak povečana za seizmični šum na tem območju, in minimalna vrednost ni nič, ampak manjša za vrednost seizmičnega šuma na območju okoli najmanjše vrednosti (slika 3).



Slika 3. Signal, odziv sistema na stopnico, normiramo tako, da pri tem upoštevamo seizmični šum. Zaradi seizmičnega šuma je največja vrednost signala nekoliko nad 1 in najmanjša nekoliko pod nič.

Figure 3. Step response is normalized in regard to seismic noise. Because of seismic noise the highest value of the signal is slightly over 1 and the lowest slightly below zero.

Vpliv seizmičnega šuma smo numerično preiskusili z uporabo seizmičnega šuma na potresni opazovalnici LJU ob 09:00 po UTC času. Ta opazovalnica je v neposredni bližini središča Ljubljane, zato ti podatki predstavljajo realno situacijo. Ta podatek, pomnožen s poljubno konstantno vrednostjo, dodamo sintetičnem signalu, ki nam predstavlja odziv seizmometra na idealen kalibracijski signal. Kreirali smo 300 sistemov drugega reda. Pri teh sistemih smo uporabili naključno izbrane vrednosti za dušenje na intervalu [0,6900, 0,7240] in naključno izbrane vrednosti za lastno nihanje na intervalu [29,0 s, 31,0 s]. V preglednici 1 vidimo, da rezultati, ki jih dobimo pri "kvazi" normiranem signalu, podajo natančnejše ocene.

¥	kva	azi-normiran sig	Inal	normiran signal			
dodan	nap	aka = T₀-T₀ocen	jena	napaka = T₀-T₀ocenjena			
signalu	mean	max(abs)	std	mean	max(abs)	std	
+ 0.1 x	0.0006	0.0015	0.0004	-0.0005	0.0017	0.0006	
+ 1.0 x	0.0024	0.0060	0.0017	-0.0029	0.0067	0.0018	
+ 2.0 x	+ 2.0 x 0.0061		0.0110 0.0034		0.0284	0.0028	
	na	apaka = β₀-β₀ _{ocenj}	iena	na	apaka =β₀-β₀₀ _{cenj}	ena	
+ 0.1 x	-0.000080	0.000181	0.000036	0.000121	0.000192	0.000045	
+ 1.0 x	-0.000369	0.000685	0.000116	0.000792	0.000986	0.000127	
+ 2.0 x	-0.000916	0.001239	0.000152	0.002645	0.002956	0.000178	

Preglednica 1. Primerjava postopkov glede na dodani seizmični šum. **Table 1.** Procedure comparison in regard to added seismic noise.

Neidealen kalibracijski signal - stopnica

Enota Q730 ima vgrajen kalibracijski signal stopnico. Vendar ta signal ni idealen. Kalibracijski signal, ki predstavlja stopnico, ne naraste do svoje največje vrednosti v trenutku, ampak za to potrebuje določen čas, ki je okoli 0,5 sekunde. Kako taka oblika signala vpliva na izračun vrednosti stopnice, prikazuje slika 4.



Slika 4. Kalibracijski signal, ki predstavlja stopnico, naraste do svoje največje vrednosti v 0,54 sekunde. Figure 4. Step calibration signal rise time is 0.54 s.

Primer: $T_0=30$ s in $\beta_0=0.7071$. Če predpostavimo, da imamo idealno stonico, v realnosti pa je čas naraščanja kalibracijskega signala 0.54 sekunde, dobimo z našim postopkom naslednje ocenjene podatke: $T_{0e}=30.012$ s ($\Delta T_0 / T_0 = 0.0004$) in $\beta_{0e}=0.7069$ ($\Delta \beta_0 / \beta_0 = 0.0004$).



Slika 5. Ocenjene vrednosti za dušenje in lastno frekvenco sistema, če kalibracijski signal ni idealen ampak naraste do največje vrednosti v času t_r . Vhodni podatki so $T_0=30$ s in $\beta_0=0,7071$.

Figure 5. Estimated values for dumping and eigen frequency of the system when non ideal calibration signal is used. Input data: $T_0=30s$ and $\beta_0=0.7071$.

ěm	Naraščanje kal. signala <i>t_r</i> = 0.54; "kvazi"-normaliziran odziv								
dodan	na	paka = T ₀ -T _{0ocen}	jena	$napaka = \beta_0 - \beta_{0ocenjena}$					
signalu	mean	max(abs)	std	mean	max(abs)	std			
+ 0.0 x	-0.0128	0.0133	0.0003	0.00016	0.00019	0.00001			
+ 0.1 x	-0.0125	0.0131	0.0002	0.00013	0.00018	0.00001			
+ 0.5 x	-0.0117	0.0133	0.0008	0.00000	0.00021	0.00006			
+ 1.0 x	-0.0107	0.0155	0.0019	-0.0002	0.0005	0.0001			
+ 2.0 x	-0.0088	0.0157	0.0029	-0.0004	0.0009	0.0002			
+ 3.0 x	-0.0067	0.0156	0.0036	-0.0007	0.0014	0.0002			
+ 4.0 x	-0.0040	0.0208	0.0044	-0.0011	0.0018	0.0003			

Preglednica 2. Relativna napaka za oceno T_0 in β_0 glede na dodani seizmični šum. **Table 2.** Relative error for estimation T_0 in β_0 regards to added seismic noise.

Kalibracijski signal - sinus

Q730 ima vgrajen tudi sinusni kalibracijski signal. Izbiramo lahko med signalom s frekvenco 1 Hz in signalom s frekvenco 1/20 Hz. Uporabljamo oba kalibracijska signala signala. Odziv sistema na kalibracijski signal je ponovno sinus, zato na odzivu preverjamo periodo. Uporabljamo dva postopka. V prvem preprosto seštevamo periode in jih delimo s časovnim intervalom. V drugem postopku uporabimo Fourierovo analizo in poiščemo največjo vrednost v frekvnečnem prostoru.

Zaključek

V numeričnih eksperimentih napaka med dejansko in ocenjeno vrednostjo tako za lastni nihajni člas kakor tudi za dušenje ni nikoli presegla vrednosti 1 %. Zato algoritem, ki smo ga razvili, zadošča našim zahtevam za kontrolo stabilnosti prenosne funkcije senzorjev. V tehničnih specifikacijah za senzor CMG-40T je lastni nihajni čas $T_0=30$ s in dušenje $\beta_0=0.7071$. V primeru, ko se ocenjene vrednosti za posamezni seizmometer razlikujejo za več kot 5%, še enkrat preverimo kalibracijski odziv in preverimo senzor. Koncem leta 2003 smo tako začeli z redno kontrolo senzorjev.

Literatura

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

- Harris, M. C., Crede, E.C. 1976. Shock and Vibration Handbook. McGraw-Hill Inc., ZDA.
- Kuščer, I., Kodre, A., 1994. Matematika v fiziki in tehniki. Društvo matematikov fizikov in astronomov Slovenije, Ljubljana.
- Scherbaum, F., 1996. Of poles and zeros: fundamentals of digital seismology. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, The Netherlands.
- Strnad, J., 1985. Fizika, 2. del. Društvo matematikov fizikov in astronomov, Ljubljana.
- Wielandt E., 2000. Seismic Sensors an their Calibration. Institute of Geophysics, University of Stuttgart, Richard-Wagner-Strasse 44, D - 70184 Stuttgart.

ANALIZA NATANČNOSTI AVTOMATSKIH LOKACIJ POTRESOV V LETU 2003 ACCURACY ANALYSIS OF THE AUTOMATIC EARTHQUAKE LOCATIONS IN 2003

Janko Kolar, Martina Čarman, Matjaž Kobal, Jurij Pahor in Mladen Živčić

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

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

Uvod

Potres v zgornjem Posočju leta 1998 je pokazal potrebo po posodobitvi državne mreže potresnih opazovalnic. Vlada RS je jeseni leta 1998 sprejela načrt o posodobitvi mreže potresnih opazovalnic, ki smo ga na Uradu za seizmologijo in geologijo začeli izvajati v letu 1999. V letu 2001 so bile nekatere že obstoječe opazovalnice nadgrajene z novimi senzorji in digitalizatorji. Nameščen je bil tudi programski paket Antelope za zajem podatkov iz opazovalnic in njihovo obdelavo.

Prve novozgrajene opazovalnice nove slovenske seizmološke mreže so bile priklopljene leta 2002, v letu 2003 pa smo priključili še 5 opazovalnic.

Avtomatično lociranje potresov s programskim paketom ANTELOPE

Programski paket Antelope omogoča avtomatično določanje lokacije dogodkov. To določanje je večstopenjski proces, pri katerem so stopnje med seboj povezane. Proces ima tri stopnje: orbdetect, orbtrigger in orbassoc. Rezultati orbdetecta so vhodni podatki za orbtrigger in rezultati slednjega so vhodni podatki za orbassoc. Shematično to lahko ponazorimo takole:

ORBDETECT => ORBTRIGGER => ORBASSOC

Orbdetect

Orbdetect spremlja pakete z zapisi valovanja iz posameznih opazovalnic, ki prihajajo v ORB. Za ugotavljanje dogodka uporablja orbdetect STA/LTA algoritem. Osnovna ideja STA/LTA algoritma je preprosta. Program računa povprečje kvadrata valovanja iz posamezne opazovalnice in sicer računa to povprečje za daljše časovno obdobje (običajno nekaj minut) - temu rečemo LTA (Long Term Average) in za krajše časovno obdobje (običajno nekaj sekund) - temu rečemo STA (Short Term Average). Ko se razmerje med STA in LTA močno spremeni, je to znak, da je morda nastal potres. To razmerje se lahko spremeni tudi zaradi šuma na opazovalnici in ne nujno zaradi potresa. Računanje tega povprečja poteka za vsako opazovalnco posebej. Pri računanju razmerja nam Antelope pusti, da sami določimo časovna

okna za LTA in STA in se odločimo, ali bomo računali omenjena povprečja na filtriranem ali nefiltriranem signalu. S filtriranjem odstranimo šum iz okolice in tako dobimo bolj čist signal. Na istih zapisih valovanja lahko uporabimo več različnih filtrov, npr. en filter za zaznavanje lokalnih potresov in drug za zaznavanje odaljenih potresov. Nato za oba filtrirana signala računamo razmerje STA/LTA. Za vsak filtriran signal posebej lahko določimo tisto vrednost razmerja, pri kateri se odločimo, da se je verjetno zgodil potres. Tako imamo možnost, da nastavimo parametere na najbolj ustrezne vrednosti za dano opazovalnico.

Orbtrigger

Ko se STA/LTA razmerje za posamezno opazovalnico močno spremeni, pošlje orbdetect v ORB paket, v katerem sporoča, da je opazovalnica zaznala nek dogodek. Na te pakete čaka orbtrigger. Če se v danem časovnem oknu (običajno nekaj deset sekund) pojavi dovolj paketov z detekcijami, orbtrigger domneva, da je prišlo do dogodka in informacije pobrane iz paketkov preda orbassoc-u. Seveda pa se lahko zgodi, da je slučajno prišlo do šuma na večjem številu opazovalnic in tako tudi večje število paketov z detekcijami ne zagotavlja, da se je potres res zgodil. Za našo mrežo je nastavljeno, da mora biti vsaj 6 detekcij v času 10 sekund.

Orbassoc

Na podlagi podatkov, ki jih je prejel od orbtriggerja, poskuša orbassoc določiti nadžarišče potresa. Če mu to uspe, potem to zabeleži v bazo podatkov in o tem obvesti s SMS-om dežurnega seizmologa. Ni nujno, da program za izračun nadžarišča uporabi vse detekcije, ki jih ima na voljo. Zgodi se lahko, da je šum zmotil opazovalnico ravno v času potresa, ali pa je orbdetect slabo ujel začetek vstopa valov in se tako ta detekcija slabo ujema z drugimi in zato pri izračunu nadžarišča ni upoštevana. Opisani možnosti sta krivi, da je avtomatična lokacija lahko precej zgrešena (tudi za nekaj 10 kilometrov ali več), zato jo moramo vedno jemati z rezervo. Vsako avtomatično lokacijo mora pregledati seizmolog, ki se na podlagi izkušenj in pregleda zapisov valovanja in detekcij odloči, ali bo avtomatični lokaciji verjel ali ne.

Potrebno je bolj podrobno opisati, kako orbassoc določi žarišče potresa, saj je to ključnega pomena za primerjavo med avtomatično in ročno določenimi lokacijami.

Orbassoc določi lokacijo potresa s pomočjo mreže vnaprej izračunanih časov prihoda valov. Z mrežo razdelimo prostor v diskretno množico točk, ki so med seboj oddaljene za neko dano razdaljo, podobno kot so urejeni atomi v kristalu. Za vsako od teh točk nato izračunamo, kako dolgo bi valovanje potrebovalo, da bi prišlo do dane opazovalnice. Orbassoc poišče v tej mreži tisto točko, pri kateri za največ opazovalnic čas detekcije ustreza izračunanemu času prihoda valov in to točko proglasi za žarišče potresa.

V uporabi so tri različne mreže: lokalna, regionalna in mreža za zelo oddaljene potrese (nad 1000 km). Med seboj se razlikujejo po gostoti točk, za katere so izračunani časi prihoda. V lokalni mreži imamo točke razmaknjene za 1,8 km v smeri vzhod-zahod in 2,5 km v smeri sever-jug na globinah 0, 2, 4, 8, 10,12, 14, 16, 18, 20, 25, in 30 kilometrov. V regionalni mreži imamo točke razmaknjene 15 km v smeri vzhod-zahod in 22 km v smeri sever-jug, izračunane pa so samo za eno globino in sicer 20 km.

Ročno določanje lokacije

Pri ročnem določanju lokacije najprej seizmolog s seizmograma odčita čas vstopa P in S valov in nato na podlagi teh časov s pomočjo računalniškega programa določi žarišče potresa. Za določanje žarišča uporabljamo program HYPOCENTER 3.2 (Lienert in Haskov, 1995, Thurber in Rabinowitz, 2000), ki so ga razvili na Havajskem institutu za geofiziko in planetologijo. Za razliko od Antelope ta program ne uporablja vnaprej izračunanih vrednosti točk mreže za določevanje žarišča ampak na podlagi odčitanh časov, podatkov o hitrostih valovanja na različnih globinah in podatkov o lokacijah opazovalnic numerično reši kinematične enačbe in tako določi žarišče. Prostor je za program hypocenter zvezen, tako da je lahko vsaka točka v prostoru lokacija potresa.

Primerjava ročno in avtomatično določenih lokacij nadžarišč

Pri analizi nas zanimajo lokacije nadžarišč (to je točka, na zemeljski površini, ki leži točno nad žariščem), saj je globina najmanj natančno določen del žarišča. Že zaradi različnih metod lociranja (avtomatična metoda z vnaprej izračunano mrežo točk ter ročna metoda z določenimi vstopi in numeričnim reševanjem kinematičnih enačb v zveznem prostoru), bo zagotovo prišlo do različnih ocen lokacije za potres. Za idealen primer, ko je za avtomatično določeno nadžarišče izbrana tista točka, ki je najbližja ročno določenemu nadžarišču bi bila povprečna razdalja med nadžariščema okoli 1 km za lokalno mrežo, ki jo uporablja Antelope (Lindquist in Quinlan, 2004).

Primerjava zajema podatke v časovnem obdobju od 22. 5. 2003 do 31. 12. 2003 in je bila opravljena za lokalne potrese.

Upoštevati je potrebno, da smo v letu 2003 priklopili 5 novih opazovalnic, zato so se torej lastnosti mreže potresnih opazovalnic spreminjale in se je verjetno že zaradi tega natančnost avtomatično določenih lokacij spreminjala. Tako bi bilo verjetno bolje analizo razdeliti na več časovnih obdobij (kot smo pač priklapljali opazovalnice), vendar pa bi se s takšno drobitvijo zmanjšalo tudi število dogodkov v danem intervalu in bi bila takšna analiza statistično nesmiselna.

Primerjavo smo izvedli na 104-ih lokalnih potresih leta 2003.

Tukaj velja omeniti, da so upoštevani samo tisti dogodki, za katere obstaja tako avtomatična kot tudi ročna lokacija. Avtomatično lociramo samo močnejše dogodke, pri ročni analizi pa obdelamo tudi šibkejše.

Na sliki 1 je histogram razdalj med ročno in avtomatično določenimi nadžarišči. Povprečna razdalja med nadžariščema znaša 9,2 kilometra, mediana pa je 6,2 km. Največja razlika med nadžariščema pa je znašala 61,7 km.

Spodnji del slike 1 prikazuje relativno lego avtomatično določenega nadžarišča glede na ročno določeno nadžarišče, ki na tej sliki leži v koordinatnem izhodišču. Vidimo, da so avtomatična nadžarišča razsejana okoli ročno določenih nadžarišč.

Zanimivo je preveriti, ali je ujemanje lokacij odvisno od magnitude potresa. Korelacijo med magnitudo in razdaljo med nadžariščema vidimo na sliki 2. Povezava je zelo šibka, korelacijski koeficient znaša 0,15.

Podatki so za obdobje od 22. 05. 2003 do 31. 12. 2003





Picture 1. These are results of comparison between automatic and hand-picked epicenters. Above is histogram of distances between automatic and hand-picked epicenter. Below is the picture of relative positions of automatically determined epicenters with respect to handpicked epicenter, which in this picture lies in the origin of coordinate system. Picture was produced with GMT software.



Slika 2. Korelacija med magnitudo in razdaljo med ročno in avtomatično določenim nadžariščem. Picture 2. Correlation between magnitude and distance between automatically and handpicked epicenter.

Ujemanje ni odvisno od magnitude, kar je presenetljiv rezultat, saj bi pričakovali, da bo pri močnejših potresih bolj oster vstop Pg valov, in ga bo zato avtomatika bolj natančno določila.

V obravnavanem obdobju med 22. majem in 31. decembrom 2003 so občani čutili 19 potresov in 2 razstreljevanji, za katere je bilo potrebno posredovanje dežurnega seizmologa. Od teh 21 dogodkov smo avtomatično locirali 16 dogodkov, izpustili pa smo 4 potrese in eno razstreljevanje.

Izpustili smo naslednje dogodke:

- dne 31. 5. 2003 ob 3:57 UTC je bil potres M=1,5 v Zagorju ob Savi; ta potres je bil del potresnega roja (swarm). (o potresnem roju govorimo, ko se v kratkem času na istem mestu zgodi več potresov, v Zagorju se je v roku 12 minut zgodilo 5 potresov),
- potres dne 19. 6. 2003 ob 10:15 UTC v Podčetrtku z magnitudo 1,4,
- potres dne 16. 7. 2003 ob 4:53 UTC v Cerkljah ob Krki potres z magnitudo 1,1,
- razstreljevanje dne 5. 9. 2003 ob 14:02 UTC v Podmolniku pri Ljubljani; če bi šlo za naraven potres, bi mu določili magnitudo 0,2,
- potres dne 31. 12. ob 5:48 UTC v Podbočju z magnitudo 0,9.



Slika 3. Z zelenimi krogci so označena nadžarišča potresov, za katere obstaja tako avtomatska kot ročna lokacija, z rdečimi krogci pa so označena nadžarišča potresov z magnitudo nad 1,5, ki jih avtomatika ni zaznala. Modri kvadratki označujejo potresne opazovalnice, ki so delovale konec leta 2003 in so prispevale k avtomatskim lokacijam. Slika je bila narejena s programom GMT.

Picture 3. The green dots represent epicenters for which automatic and hand picked location exist. The red dots represent epicenters of earthquakes with magnitude above 1.5 which were overlooked by automatic location algorithm. Blue squares represent seismological stations operating at the end of year 2003 and which contributed to automatic locations. Picture was produced with GMT software. Dogodki so šibki, le eden je imel magnitudo 1,5 in še ta je bil del potresnega roja. Veliko število detekcij v kratkem času je tako morda zmotilo avtomatsko lociranje.

Poglejmo si tudi, koliko potresov z magnitudo nad 1,5 smo z avtomatsko analizo izpustili. Takšnih dogodkov, ki so bili analizirani ročno, vendar pa jih avtomatski sistem ni zaznal, je bilo 72. Lokacije nadžarišč teh potresov so na sliki 3 označene z rdečo piko, z zeleno piko pa so označeni potresi, za katere obstaja tako avtomatska kot tudi ročna lokacija (ne glede na magnitudo).

Kot lahko vidimo, imamo nekako tri območja, kjer avtomatska analiza v letu 2003 ni zaznala znatnega dela potresov. To so zgornje Posočje, na Hrvaškem južno od Bele krajine in na Koroškem, v bližini Raven. To so območja, kjer v bližini ni veliko opzovalnic (za avtomatsko lokacijo potrebujemo namreč detekcijo na vsaj šestih opazovalnicah).

Pogledali smo potrese v zgornjem Posočju, ki smo jih zaznali tako avtomatsko kot ročno in ugotovili, da imajo vsi magnitudo >1,8. Z izgradnjo digitalne opazovalnice na Vojskem se bo ta prag verjetno znižal.

Seveda pa se tudi drugod dogaja, da kak potres izpustimo. Ne smemo pozabiti, da smo imeli v letu 2003 kar precej problemov z izpadom in zamujanjem prenosa podatkov iz opazovalnic. Če so podatki iz neke opazovalnice zamujali več kot 20 sekund, potem se detekcija na tej opazovalnici ni upoštevala (več o zamujanju in izpadu podatkov si lahko preberete v članku J. Pahorja in sod.).

Zaključek

Programski sistem Antelope omogoča avtomatsko lociranje potresov s STA/LTA algoritmom. V letu 2003 smo to začeli resno preizkušati. Začetni rezulati, predstavljeni v članku, so dokaj vzpodbujajoči. Povprečna neskladnost avtomatske lokacije z ročno je 9,2 km, mediana pa 6,2 km. Mreža potresnih opazovalnic še ni dokončana, čaka nas priklop novih opazovalnic, ki bodo avtomatsko določanje lokacij še izboljšale. Kljub vsemu, pa zaenkrat avtomatično lociranje še ni tako zanesljivo, da bi nadomestilo seizmologa.

Literatura:

- A Tutorial for Datascope: the ASIS Relational Database System (online) (citirano 1. 4. 2005). Dostopno na naslovu: http://www.brtt.com/docs/datascope.html
- ARTS Configuration and Operations Manual (online) (citirano 1.4.2005). Dostopno na naslovu: http://www.brtt.com/docs/ARTS.html
- Lienert, B.R. J. Havskov Hypocenter 3.2,1995. A Computer Program for Locating Earthquakes Locally, Regionally and Globally, Seis. Res. Lett., 66, str. 26 36.
- Wessel, P. Smith, 1998. W.H.F. New, improved version of Generic Mapping Tools released, EOS Trans. Amer. Geophys. U., letnik 79 (47), str. 579.
- Data flow within Antelope an overview of ARTS, 2005. Boulder real time technologies, Inc.
- Lindquist, K. Quinlan, D., 2004. Antelope 4.6 Scripting Reference Guide, Boulder real time technologies Inc.
- Lindquist, K. Quinlan, D., 2004. Antelope 4.6 Programmer Reference Guide, Boulder real time technologies Inc.
- Lindquist, K. Quinlan, D., 2004. Antelope 4.6 User Reference Guide, Boulder real time technologies Inc.

Thurber, C.H., Rabinowitz, N., 2000. Advances in seismic event location. Kluwert Academic Publishers.

UČINKOVITOST ZBIRANJA PODATKOV IZ POTRESNIH OPAZOVALNIC V LETU 2003 SEISMIC DATA ACQUISITION EFFICIENCY IN 2003

Jurij Pahor, Mladen Živčić, Martina Čarman, Matjaž Kobal in Janko Kolar

Izvleček. V letu 2003 smo v državni mreži potresnih opazovalnic skozi vse leto zajemali seizmične podatke iz desetih stalnih potresnih opazovalnic ter iz šestih začasnih. Izguba podatkovnih nizov vzorčenih z 200 s⁻¹, ki so najpomembnejši za določanje parametrov lokalnih potresov, znaša približno 1,2 % za stalne opazovalnice, oziroma 1,3 % za vse upoštevane opazovalnice. Potresne opazovalnice, ki so bile priklopljene med letom niso zajete v to obravnavo.

Abstract. In the year 2003 there were ten permanent and six temporary seismic stations operating for the entire period within the Seismic Network of the Republic of Slovenia. The dataloss of the 200 sps sampled data streams, primarily used for determination of the local seismic events amounts to approx. 1.2 % for the permanent seismic stations and approx. 1.3 % considering temporary stations as well. The seismic stations that were put in operation during the year are excluded from this discussion.

Uvod

Državno mrežo potresnih opazovalnic, ki jo upravlja Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo, sestavljajo potresne opazovalnice, opremljene s seizmičnim senzorjem, digitalizatorjem in opremo za komunikacijo, komunikacijsko omrežje, ki je del državnega komunikacijskega omrežja HKOM ter center za obdelavo in shranjevanje podatkov (Sinčič P. in sod., 2005). V letu 2003 je vse leto delovalo deset stalnih potresnih opazovalnic. Med letom je bilo priključenih še šest stalnih opazovalnic, ki pa so izpuščene iz obravnave v pričujočem članku. Stalne potresne opazovalnice so namensko zgrajeni ograjeni objekti z dvema vkopanima jaškoma za seizmični senzor ter ostalo opremo. Poleg stalnih potresnih opazovalnic je bilo v letu 2003 priključenih še šest inštrumentov na začasnih lokacijah, večinoma v pomožnih prostorih javnih zgradb. Takim lokacijam pravimo začasne potresne opazovalnice.

Količina zbranih podatkov iz potresnih opazovalnic je odvisna od delovanja opreme za zajemanje in prenos podatkov, od delovanja komunikacijskih poti, od zanesljivosti električnega napajanja na opazovalnici in še od drugih dejavnikov. Potresne opazovalnice so opremljene z baterijami, ki v primeru izpada električnega napajanja omogočajo zajemanje in pošiljanje podatkov še približno 24 ur po izpadu. Ta čas se od opazovalnice do opazovalnice razlikuje, delno zaradi različne porabe (tri ali šest-kanalni digitalizatorji, eden ali dva senzorja), delno pa zaradi neenake izrabe baterij. Izpad komunikacij je pogosto posledica napake na usmerjevalniku (ang. router) ali modemu. Prenos podatkov iz potresnih opazovalnic poteka preko protokola TCP/IP po točno določenih poteh, zato usmerjevalnik v primeru napake na komunikacijski poti ne poskuša poslati podatkov po kateri drugi poti. Razlogi za tak način prenosa so večja varnost omrežja, preprečevanje preobremenjevanja HKOM omrežja in hkrati zagotavljanje stalne pasovne širine za prenos seizmičnih podatkov.

Seizmične podatke pridobivamo s seizmometri in z akcelerometri z analognim izhodom, ki ga digitalizator pretvori v digitalni zapis (Sinčič P. in sod., 2005). Digitalizator vzorči vhodni signal z visoko začetno frekvenco, podatke pa zajemamo v več podatkovnih nizih (ang. data stream) z različnim prevzorčenjem (ang. decimation). HH podatkovni nizi so vzorčeni z 200 s⁻¹, BH so vzorčeni z 20 s⁻¹, LH pa z 1 s⁻¹. Poleg teh zajemamo podatkovne nize z nižjim
vzorčenjem, med njimi so tudi diagnostični podatki o delovanju opreme, ki pa niso predmet analize učinkovitosti pridobivanja podatkov iz državne mereže potresnih opazovalnic. Vsak podatkovni niz vsebuje tri komponente, dve vodoravni in navpično (V-Z, S-J, Z). Na opazovalnici se podatki iz digitalizatorja hranijo v elektronskem medpomnilniku, dokler niso uspešno poslani. V primeru izpada komunikacije se čez nekaj časa medpomnilnik zapolne, pri tem pa začnejo novejši podatki iz medpomnilnika izrivati starejše. Podatki so urejeni v paketke konstantne velikosti, zato je v paketkih BH podatkovnih nizov shranjen desetkrat daljši časovni interval, kakor v paketkih HH podatkovnih nizov, v paketkih LH podatkovnih nizov pa dvestokrat daljši časovni interval. Del medpomnilnika, ki je rezerviran za HH podatkovne nize se torej najhitreje napolne, zato je izguba teh podatkov pri krajših, nekaj ur dolgih prekinitvah komunikacije največja. Po dovolj dolgem času, ko se deli medpomnilnika za vse tri podatkovne nize napolnijo, seveda izgubimo vse tri podatkovne nize enakomerno. To se ponavadi zgodi ob daljšem izpadu električnega napajanja ali v primeru okvare inštrumenta. V resnici so razmerja drugačna, ker na izgubljanje podatkov vplivajo še drugi dejavniki.

Evidenca izgubljenih podatkov se je v letu 2003 vodila v obliki poročil, ki jih dnevno ustvarja Antelope sistem za zajemanje in obdelavo podatkov iz svojih arhivskih dnevniških datotek ter iz podatkovne baze in jih pošlje operaterjem po elektronski pošti. Poročila vsebujejo seznam potresnih opazovalnic, ki so delovale v letu 2003, nekaj statistike o količini zajetih podatkov ter seznam skupnega časa izgube podatkov posameznih podatkovnih nizov iz potresnih opazovalnic v obravnavanem dnevu. V septembru 2003 smo začeli voditi evidenco izgubljenih podatkov še v obliki tabele, kot del podatkovne baze sistema Antelope, ki je natančnejša od dnevnih poročil v tistih primerih, ko podatki iz opazovalnic prispejo v bazo za tem, ko je bilo avtomatsko poročilo narejeno. Zaradi tega je lahko količina izgubljenih podatkov, povzeta iz dnevnih poročil, v nekaterih primerih precenjena.



Izguba podatkov v letu 2003

Slika 1. Izguba seizmičnih podatkov državne mreže potresnih opazovalnic v letu 2003 skupaj s šestimi začasnimi opazovalnicami (levo) in brez začasnih opazovalnic (desno). Podatki o izgubah so združeni v skupine po podatkovnih nizih (HH, BH, LH), znotraj skupine pa so razdeljeni po komponentah (vzhod-zahod, sever-jug, navpično).

Figure 1. The dataloss of the Seismic Network of the Republic of Slovenia in 2003 (right) and including six temporary seismic stations (left). The chart is organised in groups of different datastreams (HH, BH, LH) and in directional components (east-west, north-south, vertical) within a single group.





Slika 2. Izguba seizmičnih podatkov iz opazovalnic državne mreže potresnih opazovalnic v letu 2003.

Figure 2. The dataloss of single stations of the Seismic Network of the Republic of Slovenia in 2003.

Izguba podatkov za celotno mrežo znaša nekaj čez 1,2 % za HH podatkovne nize ter manj kot 1 % za BH podatkovne nize (slika 1). Po pričakovanju je izpad LH podatkovnih nizov najmanjši in je zaradi načina vodenja evidence še precenjen. Za oceno uspešnosti zajema podatkov je relevantna količina zbranih HH podatkovnih nizov, saj s temi podatki določamo parametre lokalnih potresov, tako pri avtomatskem določanju, kakor tudi pri ročni analizi.

Izkupiček je nekoliko boljši pri stalnih potresnih opazovalnicah, kar je pričakovano glede na dejstvo, da lokacije začasnih potresnih opazovalnic upravljajo drugi uradi ali ustanove in je posledično intervencijski čas od nastanka napake do njene odprave v splošnem večji. V poročilo so vključene tiste opazovalnice državne mreže potresnih opazovalnic, ki so bile priklopljene pred letom 2003 in so delovale vse leto. To so potresna opazovalnica v Cerknici (CEY), Črešnjevcu (CRES), Dobrini (DOBS), Golišah (GOLS), Grobniku (GROS), Legarjah (LEGS), Ljubljani (LJU), Podkumu (PDKS), Pernicah (PERS) ter Robiču (ROBS). Preglednice za posamezne opazovalnice stalne mreže so zbrane na sliki 2.

Na sliki 3 so zbrane preglednice o izgubi podatkov iz začasnih potresnih opazovalnic. Kot zgoraj, so tudi tu zajete le opazovalnice, ki so delovale vse leto 2003. To so potresna opazovalnica v Biljah (BILJ), Lisci (LISS), jedrski elektrarni Krško (NEKS), Novem mestu (NOME), Rakičanu (RAKI) ter Velenju (VELE).

Sklep

Leta 2003 je Antelope sistem za avtomatsko zajemanje in obdelavo podatkov zajel ~ 98,8 % seizmičnih podatkov iz stalnih potresnih opazovalnic državne mreže potresnih opazovalnic, oziroma ~ 98,7 % upoštevajoč tudi začasne potresne opazovalnice. Največje izgube podatkov (okrog 2 %) smo zabeležili pri stalnih potresnih opazovalnicah DOBS, GOLS, GROS in LEGS ter pri začasnih potresnih opazovalnicah BILJ, LISS in NEKS. Take izgube so večinoma posledica nekajdnevnega nedelovanja potresne opazovalnice. Potresna opazovalnica GROS naprimer ni delovala štiri dni v maju ter pet dni v juliju, kar nanese nekaj manj kot 3% izgube podatkov v letu.

Evidenco iz dnevnih poročil smo primerjali z evidenco, vodeno v podatkovni bazi za zadnje štiri mesece v letu 2003, da bi ocenili, v kolikšni meri so podatki iz dnevnih poročil precenjeni. Pričakovali smo, da bodo največje razlike predvsem pri LH podatkovnih nizih, saj imajo ti največjo življensko dobo v medpomnilniku digitalizatorja in je posledično verjetnost, da bodo po ponovni vzpostavitvi komunikacije prispeli v bazo starejši podatki, večja kakor za druge kanale. Primerjava je to domnevo potrdila, izkazalo pa se je tudi, da se razlike v evidenci izgubljenih podatkov v tabeli in v dnevnih poročilih pri BH in HH podatkovnih nizih gibljejo okrog 0,1 %.



Slika 3. Izguba seizmičnih podatkov iz začasnih potresnih opazovalnic v letu 2003. Figure 3. The dataloss of single provisory seismic stations in 2003.

Literatura

Sinčič, P., Vidrih, R., Gostinčar, M. in Živčić, M., 2005. Potresne opazovalnice v Sloveniji v letu 2003. *Potresi v letu 2003*. Agencija RS za okolje

Boulder Real Time Technologies, inc. (online). 2004. (citirano 22. 04. 2005). Antelope Real Time System. Dostopno na naslovu: http://www.brtt.com/

Quanterra, Inc. 2000. Quanterra Q4120/Q730 Operation (Dokumentation for Software Release 36/09-RL0531).

ANALIZA SEIZMIČNEGA ŠUMA NA OPAZOVALNICAH DRŽAVNE MREŽE POTRESNIH OPAZOVALNIC, KI SO ZAČELE DELOVATI PRED LETOM 2003 BACKGROUND NOISE AT SEISMIC STATIONS OF SEISMIC NETWORK, WHICH STARTED TO OPERATE BEFORE YEAR 2003

Martina Čarman, Matjaž Kobal, Janko Kolar, Jurij Pahor, Jure Ravnik in Mladen Živčić

Izvleček. Analiza seizmičnega šuma je pomembna za oceno kakovosti opazovalnic, za izboljšavo procesov, ki uporabljajo vrednosti šuma, kot so npr. samodejne zaznave potresov, za ustrezno filtriranje signala pri analizi potresov ter za odkrivanje napak v delovanju naprav potresne opazovalnice. Zato smo na opazovalnicah državne mreže potresnih opazovalnic v obdobju med 11. aprilom 2002 in 1. majem 2002 ter v obdobju med 21. julijem 2002 in 11. julijem 2004 računali gostoto spektra moči vsakega 1., 11. in 21. v mesecu ob 1., 9. in 17. uri po svetovnem (UTC) času. V prispevku so opisane meritve ter rezultati obdelave in interpretacije seizmičnega šuma na posameznih opazovalnicah, ki so začele delovati pred letom 2003.

Abstract. Seismic noise analysis is important for the evaluation of the station quality, for improvement of earthquake detection processes and for proper filtering of the signal. Background noise power spectral density (PSD) estimates for seismic stations of the new seismic network in Slovenia were calculated using data from 2002 to 2004. Measurements, results and the interpretation of seismic noise at stations installed before 2003 are described in the paper.

Uvod

Urad za seizmologijo Agencije Republike Slovenije za okolje je leta 2001 v novo državno mrežo potresnih opazovalnic začel postopoma vključevati prve potresne opazovalnice. Tako so bile leta 2001 postavljene opazovalnice CEY, LJU in začasna opazovalnica NEKS v Jedrski elektrarni Krško. V letu 2002 so začele delovati opazovalnice CRES, GOLS, LEGS, PDKS, ROBS, PERS in GROS. Nekaj instrumentov smo začasno namestili tudi na meteoroloških opazovalnicah na Lisci (LISS), v Rakičanu, Novem mestu in Biljah ter v Carinarnici Velenje. Lokacije in seizmološka oprema, nameščena na posameznih potresnih opazovalnicah, je opisana v tej publikaciji v članku Potresne opazovalnice v Sloveniji v letu 2003 (Sinčič in sod., 2005).

Seizmografi, postavljeni na potresnih opazovalnicah, so zelo občutljive naprave, ki zaznajo nihanje tal v določenem frekvenčnem območju in ga beležijo. Iz zapisov poskušamo seizmologi razbrati čim večje število potresov, ki neprenehoma stresajo Zemljo. Vendar tla ne nihajo le zaradi potresov, temveč tudi zaradi seizmičnega šuma (angl. noise) ali seizmičnega nemira (nem. Unruhe). V slovenski seizmologiji sta uveljavljena oba izraza. Seizmični nemir predstavlja pomembno omejitev pri zaznavanju šibkejših potresov. Večji kot je, manj šibkih potresov lahko zaznamo.

V tem prispevku so opisane meritve ter rezultati obdelave in interpretacije seizmičnega šuma na opazovalnicah nove državne mreže potresnih opazovalnic, ki so začele delovati pred letom 2003. Zaradi lažje ponazoritve nekaterih značilnosti seizmičnega šuma sta v analizo vključeni tudi začasni opazovalnici LISS in NEKS.

Analiza seizmičnega šuma je pomembna za oceno kakovosti opazovalnic, za izboljšavo procesov, ki uporabljajo vrednosti šuma, kot so npr. samodejne zaznave potresov, za ustrezno filtriranje signala pri analizi potresov ter za odkrivanje napak v delovanju naprav potresne opazovalnice (Bormann, 2002, Bahavar, North, 2002).

Meritve nemira

Več kot dveletno obdobje delovanja izbranih opazovalnic je že primerno za obdelavo seizmičnega šuma in za prve ocene o kakovosti opazovalnic oziroma, kako uspešni smo bili pri izbiri lokacij potresnih opazovalnic (Jesenko, Živčić, 2001) ter katere motnje lahko pričakujemo v določenem časovnem obdobju. Amplituda seizmičnega šuma se namreč s časom spreminja, ker se tudi viri, ki nemir povzročajo, časovno spreminjajo.

V ta namen smo v obdobju med 11. aprilom 2002 in 1. majem 2002 ter v obdobju med 21. julijem 2002 in 11. julijem 2004 na opazovalnicah državne mreže potresnih opazovalnic RS računali gostoto spektra moči vsakega 1., 11. in 21. v mesecu ob 1., 9. in 17. uri po svetovnem UTC času (preglednica 1). Ker je izračun spektrov potekal samodejno, so bili spektri pred obdelavo pregledani. Odstranili smo le spektre, izračunane iz seizmičnega zapisa, ki je imel časovne prekinitve. Nismo pa se ozirali na to, ali so v izbranem časovnem obdobju tudi seizmični zapisi potresa, saj smo želeli vedeti, kako se na spektru gostote moči izrazijo. Kasneje bomo opisali, kako lahko te dogodke izločimo.

Preglednica 1. Seznam opazovalnic, ki so začele delovati pred letom 2003, njihov začetek delovanja in število izračunanih gostot spektrov moči za posamezne komponente (E = vzhod-zahod; N = sever-jug; Z = navpična).

Table 1. List of stations, their start date of operation and the number of PSD estimates for each component separately (E = East-West; N = North-South; Z = vertical).

Oznaka opazovalnice	Začetek delovanja	Število spektrov ob 01 UTC (E / N / Z)	Število spektrov ob 09 UTC (E / N / Z)	Število spektrov ob 17 UTC (E / N / Z)
CEY	30. 03. 2001	73 / 73 / 73	72 / 72 / 72	73 / 73 / 73
CRES	02. 04. 2002	71 / 71 / 71	71 / 71 / 71	71 / 70 / 70
DOBS	07. 04. 2001	73 / 73 / 73	73 / 73 / 73	73 / 73 / 73
GOLS	02. 04. 2002	72 / 72 / 72	72 / 72 / 72	72 / 72 / 72
GROS	12. 12. 2002	55 / 55 / 55	55 / 55 / 55	55 / 55 / 55
LEGS	02. 09. 2002	64 / 64 / 64	64 / 64 / 64	64 / 64 / 64
LISS	07. 02. 2002	73 / 73 / 73	72 / 72 / 72	71 / 71 / 71
LJU	30. 03. 2001	73 / 73 / 73	73 / 73 / 73	72 / 71 / 71
NEKS	04. 04. 2001 do 11. 08. 2003	40 / 40 / 40	39 / 39 / 39	38 / 37 / 37
PDKS	11. 11. 2002	59 / 59 / 59	59 / 59 / 59	60 / 60 / 60
PERS	11. 12. 2002	54 / 54 / 54	54 / 54 / 54	54 / 54 / 54
ROBS	20. 11. 2002	57 / 57 / 57	57 / 57 / 57	57 / 57 / 57

Izračun spektra smo izvedli s programom *dbwfmeas* iz programskega paketa Antelope. Pred tem smo določili parametre izračuna. Dolžina časovnega obdobja za izračun spektra gostote moči je odvisna od tega, kako dolge periode nas še zanimajo. V našem primeru smo želeli dobiti gostoto spektra moči za območje frekvenc od 0,02 Hz do 100 Hz. V ta namen smo

vzeli 3600 sekund dolge trikomponentne seizmične zapise vzorčene z 200 vzorci v sekundi. Nato smo časovno okno širine 50 s premikali po vsakem seizmičnem zapisu tako, da so se zaporedna obdobja prekrivala za 20 s.

V nadaljnji obdelavi smo spektre povprečili z drsečim oknom velikosti 0,25 oktave, ki smo ga premikali za 0,125 oktave. Za eno izmed frekvenc smo izbrali 0,25 Hz. Tako povprečevanje nam omogoča standardizacijo frekvenc, ki jih analiziramo, ter primerjavo rezultatov spektralnih analiz zapisov z različnimi vzorčnimi frekvencami in z različnimi dolžinami signala.

Analiza seizmičnega nemira in interpretacija

Gostote spektrov moči smo računali na trikomponentnih seizmičnih zapisih vseh opazovalnic, ki se ponavlja trikrat dnevno. Spektrov je ogromno, zato smo se odločili, da glavne posebnosti seizmičnega nemira prikažemo le za navpično (Z) komponento vsake opazovalnice posebej ob 1. uri po svetovnem (UTC) času (slika 1). Zaradi preglednosti smo te posebnosti na sliki označili z barvnimi puščicami. Časovne spremembe in posebnosti posameznih komponent, ki jih s sliko 1 ne moremo prikazati, so ponazorjene z dodatnimi slikami.



Slika 1. Gostote spektra moči posameznih potresnih opazovalnic za navpično (Z) komponento, računane vsakega 1., 11. in 21. v mesecu ob 1. uri po svetovnem (UTC) času, v obdobju med 11. aprilom 2002 in 11. julijem 2004. Posebnosti seizmičnega nemira so na sliki označene z barvno puščico in opisane v besedilu.

Figure 1. Background noise PSD estimates for vertical (Z) component of seismic stations calculated using data form April 11, 2002 and June 11, 2004 at 01:00 UTC. Unusual behaviour of seismic noise is marked with colour arrows and is described in the text.



Slika 2. Časovno spreminjanje amplitude gostote spektra moči za navpično (Z) komponento posameznih opazovalnic pri frekvenci 0,3 Hz ob 1. uri po svetovnem (UTC) času.
 Figure 2. Time variation of PSD estimates for vertical (Z) component of seismic stations and frequency 0.3 Hz at 01:00 UTC.

Valovanje dolgih period je manj dušeno in se lahko razširja do velikih oddaljenosti. Tako so vzroki šuma pogosto zelo oddaljeni od opazovalnic, npr. atmosferske motnje, ali oceanski mikroseizmi, ki imajo vir v Atlantskem oceanu. Dolgoperiodni del spektra šuma je zato manj odvisen od lokacije, če je le-ta pravilno termično izolirana. Pri frekvenci 0,3 Hz šum s časom narašča in pada na vseh opazovalnicah podobno (slika 2). Razlika je le, da imata boljši seizmometer in termično bolj stabilna lokacija osnovni nivo šuma manjši. Poleg dnevnih sprememb lahko na sliki 2 opazimo tudi spreminjanje osnovnega nivoja šuma posamezne opazovalnice med letom. V zimskih mesecih, ko so atmosferske spremembe pogostejše in večje ter je morje bolj razburkano, je nivo šuma višji, poleti pa nižji.

V dolgoperiodnem delu gostote spektrov moči opazimo pri vseh opazovalnicah v frekvenčnem območju med 0,02 Hz in 0,1 Hz 'hribčke' (rumena puščica na sliki 1). Tu ne gre za seizmični nemir, temveč so bili spektri izračunani iz zapisov, ki so vključevali oddaljene potrese. Eden možnih načinov, kako pri analizi seizmičnega šuma izločimo take spektre, je izris časovnega spreminjanja amplitude gostote spektra moči pri izbrani frekvenci v frekvenčnem pasu med 0,02 Hz in 0,2 Hz. V našem primeru slika 3 prikazuje časovno odvisnost amplitud gostote spektrov moči pri frekvenci 0,05 Hz. Oddaljeni potresi se izrazijo kot časovno usklajen dvig amplitude na vseh opazovalnicah hkrati (modre puščice na sliki 3). Spektre tega časovnega obdobja izločimo.

Na sliki 3 imajo opazovalnice GOLS, LEGS in PDKS posamezne vrhove tudi na dneve, ki časovno ne ustrezajo oddaljenim potresom. Ti vrhovi se na sliki 1 izražajo kot višja veja, izmed dveh vzporednih vej v nivoju šuma v dolgoperiodnem delu spektra (< 0,1 Hz) in so označeni z oranžno puščico. Vse tri opazovalnice imajo senzorje postavljene v vrtinah. Iz nepojasnenih razlogov, se včasih senzorji v posamezni vrtini obnašajo tako, kot bi jim hkrati vsiljevali dolgoperiodno nihanje. Ko opazimo takšno sočasno nihanje senzorjev v seizmičnem zapisu, ga lahko prekinemo s kalibracijskim pulzom.



Slika 3. Časovno spreminjanje amplitude gostote spektra moči za navpično (Z) komponento posameznih opazovalnic pri frekvenci 0,05 Hz ob 1. uri po svetovnem (UTC) času. Puščice označujejo vrednosti, ki so bile izračunane iz zapisov potresov.
 Figure 3. Time variation of PSD estimates for vertical (Z) component of seismic stations and

figure 5. Time variation of FSD estimates for vertical (2) component of seismic stations and frequency 0.05 Hz at 01:00 UTC. Arrows denote values of PSD calculated from seismic records.

V visokofrekvenčnem delu (>1 Hz) je spekter odvisen predvsem od vetrovnosti območja in človekove dejavnosti (civilizacijski šum). Viri šuma so v relativni bližini opazovalnice (industrijski obrati, promet, veter na ograjo, drevje in strelovod, pokrov jaška in drugo). Ker se visoke frekvence hitro dušijo in se energija ne razširja na velike razdalje, je vsaka lokacija svojevrstna, spekter nemira pa je od opazovalnice do opazovalnice lahko povsem različen. Če je vir zelo močan in je v njegovi bližini več opazovalnic, je možno, da motnjo iz istega vira vidimo na več opazovalnicah hkrati.



Slika 4. Dnevne spremembe seizmičnega nemira opazovalnic LJU in NEKS, ponazorjene s povprečnimi spektri navpičnih (Z) komponent, izračunanimi ob 1., 9. in 17. uri po svetovnem (UTC) času.



Občasne spremembe vpliva industrije in prometa zelo dobro ponazarja šum na potresni opazovalnici LJU, nameščeni na observatoriju na Golovcu v bližini središča mesta. Iz spektrov posamezne ure smo izračunali povprečne spektre in jih izrisali na sliko 4. Šum je najnižji ponoči in bistveno višji v dopoldanskem – delovnem času. Izrazite so posamezne spektralne komponente, ki verjetno ustrezajo posameznim industrijskim obratom.



Slika 5. Časovno spreminjanje amplitude gostote spektra moči za navpično (Z) komponento opazovalnice LEGS pri različnih frekvencah ob 1. uri po svetovnem (UTC) času.
 Figure 5. Time variation of PSD estimates for vertical (Z) component of seismic station LEGS for different frequencies at 01:00 UTC.

Opazovalnica NEKS, ki je začasno obratovala znotraj Jedrske elektrarne Krško, ne kaže dnevnih sprememb (slika 4). Ves šum povzroča elektrarna, ki obratuje nepretrgoma 24 ur vsak dan. V spektru te opazovalnice vidimo povečano spektralno komponento 25 Hz (rdeča puščica na sliki 1), kar ustreza frekvenci obračanja turbin in generatorjev v Jedrski elektrarni. Na isti sliki kaže roza puščica na spekter z bistveno nižjimi vrednostmi šuma in je bil izračunan 21. maja 2003. Šum je nižji, ker je bila 10. maja 2003 Jedrska elektrarna Krško izključena iz elektroenergetskega omrežja in je začasno prenehala delovati zaradi rednega letnega vzdrževanja (Perc, 2003).

Na opazovalnici ROBS imamo izrazit vrh pri frekvenci 50 Hz zaradi elektromagnetnih motenj (modra puščica na sliki 1).

Na potresni opazovalnici CEY je instrument nameščen v vikend hiši. Nočni spekter najvišje vrednosti, ki zelo odstopa od povprečja, je bil izračunan iz zapisov 1. januarja 2004, med 2. in 3. uro ponoči po lokalnem času (vijolična puščica na sliki 1). Sklepamo lahko, da se je v hiši odvijala novoletna zabava. Ta novoletni spekter je primerljiv z dnevnimi spektri te opazovalnice.

LISS je začasna potresna opazovalnica, katere instrumenti so nameščeni v meteorološki opazovalnici Lisca. Nivo šuma v visokofrekvenčnem območju je visok, nekatere spektralne komponente pa zelo izrazite (slika 1). Kakovost te opazovalnice je slaba, saj osnovni namen meteorološke opazovalnice ni merjenje potresov. Iz tega vidimo, kako pomembna je dobra študija lokacije opazovalnice in meritve šuma, preden je lokacija opazovalnice izbrana. Ne glede na to, kako dobro opremo bi tu namestili, kakovosti na ta način ne bi izboljšali.

Nepojasnjeno ostaja 'frekvenčno sprehajanje' vrha amplitude (>10 Hz) na navpični (Z) komponenti opazovalnice LEGS (zelena puščica na sliki 1). Za boljšo ponazoritev problema je na sliki 5 prikazana časovna odvisnost nekaterih frekvenc na opazovalnici LEGS. Zanimivo je, da je časovna slika do 15. avgusta približno zrcalna sliki po tem datumu. Enak pojav se dogaja tudi na vodoravni komponenti (N) opazovalnice GOLS.

Zaključek

Osnovni namen postavitve državne mreže potresnih opazovalnic v Sloveniji je dobro lociranje potresov na ozemlju Slovenije in v bližnji okolici. V ta namen je bilo treba pri snovanju mreže dobro proučiti številne dejavnike, kot so ustrezna geometrija mreže, izbira kakovostne seizmološke opreme, primerna geološka podlaga, možnost odkupa zemljišča, dostopnost lokacije, obstoječa infrastruktura. Ključen dejavnik za dobro zaznavanje potresov pa je nizek seizmični nemir izbrane lokacije. Na lokaciji z visokim nivojem šuma ostanemo, ne glede na to, kako dobro smo načrtovali ostale dejavnike, brez dobrih ali celo brez uporabnih zapisov potresov.



Slika 6. Dnevne spremembe seizmičnega nemira opazovalnic ROBS in PERS ponazorjene s spektri navpičnih (Z) komponent, izračunanimi ob 1., 9. in 17. uri po svetovnem (UTC) času.
 Figure 6. Daily changes of seismic noise for stations ROBS and PERS illustrated by PSD estimates of vertical (Z) component calculated at 01:00, 09:00 and 17:00 UTC.

Z analizo gostot spektrov moči lahko ugotovimo, na katere dejavnike pri obstoječi geometriji mreže še lahko vplivamo in s tem izboljšamo kakovost opazovalnic.

Na večini opazovalnic lahko ponoči nad frekvenco 10 Hz merimo le še šum seizmometra.

Dober primer sta opazovalnici ROBS in PERS (slika 6), kjer je analiza seizmičnega šuma nad frekvenco 10 Hz možna le čez dan. Ponoči postane seizmični šum manjši od šuma seizmometra in ga ni več mogoče izmeriti. To pomeni, da so lokacije potresnih opazovalnic dobro izbrane, ustrezno pripravljene in seizmometri pravilno nameščeni. Navkljub temu del informacije vseeno izgubljamo zaradi nekoliko manj kakovostnih senzorjev. Te smo morali dobaviti zaradi omejene vsote denarja, ki je bila na voljo za opremo potresnih opazovalnic. Urad za seizmologijo in geologijo načrtuje v daljšem časovnem obdobju postopno zamenjavo senzorjev s kakovostnejšimi in jih namestiti na najbolj mirnih lokacijah.

Vpliv vetra se lepo vidi v visokofrekvenčnem delu spektra na nekaterih potresnih opazovalnicah, npr. DOBS, GROS (rjavi puščici na sliki 1). Višje vrednosti šuma prek celotnega visokofrekvenčnega dela spektra ustrezajo dnem, ko je bilo ozračje precej vetrovno. Veter povzroča gibanje vegetacije, nihanje antene za GPS sprejemnik in varnostne ograje ter tako posredno povzroča gibanje tal. Že manjši posegi na posameznih, predvsem najbolj vetrovnih lokacijah bi vpliv okolice zaradi vetra bistveno omilili.

Literatura

- Sinčič P., Vidrih R., Gostinčar M. in Živčić M., 2005. Potresne opazovalnice v Sloveniji v letu 2003, Potresi v letu 2003, ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, Ljubljana.
- Bormann, P., 2002. New Manual of Seismological Observatory Practice, GeoForschungsZentrum Potsdam, Volume 1, Potsdam, Germany.
- Bahavar M., North R., 2002. Estimation of Background Noise for International Monitoring System Seismic Stations, Pure appl. geophys. (PAGEOPH), 159, 911-944.
- Jesenko, T., Živčić, M., 2001. Merjenje seizmičnega nemira na lokacijah bodočih seizmoloških opazovalnic, Potresi v letu 1999, ARSO, Urad za seizmologijo, Ljubljana, 61 - 67.
- ARTS Configuration and Operations Manual (online). (citirano 11. 4. 2005). Dostopno na naslovu: http://www.brtt.com/docs/ARTS.html/.
- Perc P., 2003. NEK najdlje doslej brez remonta, Dolenjski list, št. 20, leto LIV, 15. 5. 2003.

LOKALNI VPLIVI NA ZAPIS POTRESA NA POTRESNI OPAZOVALNICI LJUBLJANA (LJU) LOCAL EFFECTS ON EARTHQUAKE RECORDINGS ON SEISMIC STATION LJUBLJANA (LJU)

Izidor Tasič, Peter Sinčič

Izvleček. Dinamične pojave v naravi, povezane s potresi opišemo na podlagi meritev. Meritve izvajamo na potresnih opazovalnicah, pri čemer ponavadi predpostavimo, da so meritve neodvisne od lokalnih učinkov. Vendar vedno obstaja interakcija med senzorjem, potresno opazovalnico in njeno bližnjo okolico, ki je kompleksna, odvisna od frekvence, amplitude in vpadnega kota potresnega valovanja. Lokalne vplive lahko opazujemo le, če imamo senzorje dovolj blizu, vendar na različnih mikrolokacijah, v različno konstruiranih opazovalnih sistemih. Ena takšnih lokacij je potresna opazovalnica LJU na Golovcu v Ljubljani. V nadaljevanju bomo pokazali nekaj zanimivih primerov.

Abstract. Dinamic phenomena in nature related to earthquakes are represented by measurements. The earthquake recordings ere carried out with seismographs installed in seismic stations. It is assumed that the local effects have not influence on earthquake recordings. There is an interaction between sensor and its' neighbourhood which is complex and depends on frequency, amplitude and incident angle of earthquakes' waves. The influences can be observed if several seismic sensors are placed in vicinity on different microlocations. Such a location is seismic station LJU on the Golovec hill in Ljubljana. Several interesting examples are presented.

Uvod

Zapis potresa predstavlja nihanje tal v točki meritve. To so tla, kamor je postavljen seizmometer. V idealnem primeru seizmometer beleži samo nihanja tal zaradi potresa. Na obliko zapisa potresnega valovanja vplivajo tako žariščni mehanizem, fizikalne lastnosti snovi, skozi katero valovanje potuje, lom, odboj in sipanje na nezveznostih med posameznimi zemeljskimi plastmi, vpliv snovi na dušenje valovanja, lega potresne opazovalnice, merilni sistem.

Na zapis potresa vplivajo tudi dejavniki, ki nimajo nobene povezave s potresom. Temu delu zapisa potresnega valovanja pravimo seizmični šum. Ponavadi seizmični šum predstavlja nihanja tal, ki so posledica lokalnih dejavnikov. Te dejavnosti povzročajo tresljaje, ki se na zemeljski površini pretvorijo v valovanje. Lokalne izvire seizmičnega šuma delimo v dve glavni skupini. K prvi spada seizmični šum, ki je posledica človeške dejavnosti (šum urbanega okolja). Seizmični šum urbanega okolja je lahko posledica delovanja mehanskih delovnih strojev, kot so vlaki, električni generatorji, vozila in drugo. K drugi skupini spada seizmični šum, ki je posledica naravnih povzročiteljev. Primarni izvor šuma v naravi je gibanje atmosfere, ki neposredno vpliva na zemeljsko površino. Periode valovanja so okoli nekaj sekund. Zelo močan vir seizmičnega šuma so morja, večje reke in jezera. Povzroča ga lahko veter, ki se ujame v krošnje dreves ali zgradbe. Lahko je tudi posledica udarca strele, zemeljskega plazu itd. Poleg seizmičnega šuma, ki ga beležimo zaradi nihanj tal, zabeležimo še motnje, ki so posledica elektromagnetnega valovanja (EM). Take motnje pridejo do seizmološkega sistema po vodih ali po zraku. Najbolj pogost predstavnik EM šuma je navidezno nihanje tal pri 50 Hz. To je elektromagnetna motnja iz omrežne napetosti 230 V in 50 Hz, in je pravzaprav vsepovsod okoli nas. Vendar motnje iz omrežne napetosti motijo samo zelo občutljive instrumente, kar pa seizmološka oprema, ki meri premike velikostnega

reda 10⁻⁹, zagotovo je. Ravno tako ne moremo zanemariti interakcije senzorja na potresni opazovalnici z bližnjo okolico (Aki in Richards, 1980).

Potresna opazovalnica v Ljubljani

Različne vplive seizmičnega šuma lahko lepo opazujemo na potresni opazovalnici LJU v Ljubljani na observatoriju na Golovcu, kjer so postavljeni inštrumenti za beleženje potresov. Senzorji so nameščeni v kleti stavbe na za to posebej izgrajenih stebrih, ločenih od temeljev zgradbe. Opazovalnica je začela delovati leta 1958. Leta 1996 je v potresni opazovalnici na Golovcu začel delovati 3-kanalni digitalni seizmograf podjetja Nanometrics. Seizmograf sestavljajo širokopasovni trikomponentni seizmometer Güralp CMG-40T, 16-bitni analognodigitalni pretvornik s tristopenjskim samonastavljivim predojačenjem RD3-1639 in osebni računalnik s sprejemnikom točnega časa GPS in programsko opremo, ki skrbi za zajem podatkov in komunikacijo s centralnim računalnikom. Leta 2001 je bila oprema opazovalnice dopolnjena s 6-kanalno zajemalno napravo s 24-bitnim analogno-digitalnim pretvornikom Quanterra Q730, ki zajema podatke trikomponentnega širokopasovnega seizmometra Güralp CMG-40T in trikomponentnega širokopasovnega akcelerometra Episensor (Kinemetrics). Lokaciji teh dveh sistemov sta med seboj oddaljeni 22 metrov in sta postavljeni v dveh različnih stavbah. Zaradi različnih leg senzorjev lahko nekatere motnje izoliramo in analitično oziroma numerično odstranimo.



Slika 1. Na potresni opazovalnici LJU se seizmometra nahajata na dveh različnih lokacijah, ki sta med seboj oddaljeni okoli 22 metrov. Figure 1. Two seismometers are installed on locations with distance of 22 meters.

Učinki elektromagnetnega polja

Na zapisu potresa z dne 2003-05-13 ob 09:30 UTC (slika 2) lahko vidimo, da je senzor na lokaciji B (modra sled na sliki) pred potresom zabeležil navidezno močnejše nihanje tal kakor senzor na lokaciji A (rdeča sled na sliki). To navidezno nihanje tal – utripanje - je prikrilo pravi začetek potresnega valovanja. Pri frekvenčni analizi signala smo ugotovili, da utripanje povzroča EM valovanje s frekvencama 49,4 Hz in 49,9 Hz, čigar izvor je blizu lokacije

seizmološkega sistema A. Pri natančni analizi seizmičnih signalov zasledimo to motnjo tudi na lokaciji B, vendar je amplituda zanemarljiva. Ta tip motnje se je večkrat pojavil v zimskem času letu 2003, kar je namigovalo na dejstvo, da je vir električna peč.



Slika 2. Inštrument na lokaciji B (modra sled) je zabeležil navidezno nihanje tal, ki je posledica delovanja elektromagnetnega polja. Rdeča sled je zapis na lokaciji A.
 Figure 2. Fictive ground motion (blue trace)was recorded with instrument B as a result of electromagnetic effects on earthquake recordings. Red trace was recorded on instrument A.

Vpliv konstrukcije potresne opazovalnice na zapis potresa

Zapis potresa, ki je nastal 26. 05. 2003 ob 04:57 po UTC, nam pokaže na zelo pomemben izvor lokalnega seizmičnega šuma, ki pa je prisoten samo ob potresih in je odvisen od moči potresa ter njegove lokacije oziroma smeri prihoda potresnega valovanja do potresne opazovalnice. Ob lokalnem šibkem oziroma srednje močnem potresu zabeležimo na vodoravni komponenti N-S izrazito odstopanje pri P vstopu potresnega valovanja (sliki 3a in 3b).



Slika 3a. Učinki zgradbe potresne opazovalnice na zapis potresa. Inštrument na lokaciji B (modra sled) je na komponenti N-S drugače zabeležil začetek potresa kot inštrument na lokaciji A (rdeča sled).

Figure 3a. The arrival of N-S component recorded by the instrument installed on location B (blue trace) is different than that recorded by instrument on location A (red trace) because of the building influence.



Slika 3b. Tridimenzionalni prikaz hitrosti nihanja tal v prvih dveh desetinkah sekunde potresa na lokaciji A in lokaciji B.

Figure 3b. Threedimensional earthquake record after first two tenth of second on location A and location B.

Na vodoravni komponenti E-S je to odstopanje nekoliko manj izrazito. Glede na to, da je razlika v zapisih odvisna od frekvence P valovanja, lahko govorimo o vplivu zgradbe na senzor, sistema sta med seboj sklopljena (Pavešič, 1992). Vpliv potresne opazovalnice na samo meritev (oziroma na senzor) ponazorimo z modelom dveh sistemov drugega reda, ki sta med seboj šibko povezana (slika 4) (Kuščer in Kodre, 1994).



Slika 4. Učinki konstrukcije potresne opazovalnice na zapis potresa ponazorimo z modelom dveh sistemov drugega reda, ki sta med seboj šibko povezana.
 Figure 4. The building influence can be represented by the model of two loosely coupled

second order systems.

Vpliv vlaka

V bližini observatorija poteka železniška proga, po kateri večkrat dnevno vozijo vlaki. Železniška proga je v najbližji točki oddaljena od potresne opazovalnice LJU približno 335 metrov zračne razdalje. Ker so seizmografi zelo občutljivi, zabeležijo vožnjo vlaka kot motnjo. Če v primeru vožnje vlaka pod Golovcem pride istočasno do potresa, bo zapis potresa skrit oziroma prekrit z zapisom vlaka. Če imamo posnetek iz dveh seizmometrov v primerni oddaljenosti, lahko z metodo neodvisnih komponent zapis potresa izoliramo in natančneje določimo začetek potresnega valovanja.



seizmometrov v primerni oddaljenosti, lahko z metodo neodvisnih komponent zapis potresa izoliramo in natančneje določimo začetek potresnega valovanja. **Figure 5.** The train drive past is recorded as a disturbance. If we have two separate recordings of the earthquake recorded on instruments on separate locations, the earthquake can be extracted by the independent component method.

Udar strele

Zanimiv je seizmični šum, ki je posledica udarca strele v neposredni bližini potresne opazovalnice. Strela je udarila v tla približno sto metrov od opazovalnice. Nihanje tal zaradi grmenja je bilo dovolj močno, da je ostalo zapisano na seizmogramu.



Slika 6. Seizmograf je zabeležil udar strele in grmenje. *Figure 6.* A stroke of lightning recorded by seismograph.

Zaključek

Vsaka meritev nihanj tal zaradi potresa lahko vključuje tudi negativne informacije, ki bolj ali manj vplivajo na kvaliteto meritve. Obstaja več receptov, kako izključiti neznanke, ki so posledica vpliva lokalnega okolja. Najenostavnejša, a ne tudi najcenejša, je uporaba čim večjega števila neodvisnih potresnih opazovalnic. Pri ostalih postopkih poizkušamo z matematičnimi modeli odstraniti parazitske pojave, vendar so ti postopki zaradi kompleksnosti pojava dobri samo na zelo ozkem območju opazovanja.

Literatura

Aki, K., Richards P. G., 1980. Quantitative seismology; Theory and methods. W. H. Freeman & Co., San Francisco, USA

Pavešič, N., 1992. Razpoznavanje vzorcev, FER Slovenija, Ljubljana.

Kuščer, I., Kodre, A., 1994. Matematika v fiziki in tehniki, Društvo matematikov fizikov in astrnomov Slovenije, Ljubljana.

KAKO DO PODATKOV IZ OPAZOVALNIC BREZ UPORABE AVTOMOBILA HOW TO GET DATA FROM STATIONS WITHOUT USING A VEHICLE

Igor Pfundner

Izvleček. Za zajem podatkov iz potresnih opazovalnic lahko uporabimo GSM terminal. Ta omogoča daljinsko zajemanje podatkov iz lokacij, kjer ni telefonskega priključka. To je posebej primerno za začasne opazovalnice. Za pravilno delovanje terminalu nastavimo parametre s pomočjo AT ukazov. Posebej pomembna sta parametra za samodejno vzpostavitev zveze in njeno vrsto. Uporabili smo terminal NOKIA 30 GSM Connectivity Terminal. Terminal smo priključili na inštrument ETNA preko RS-232 kabla. Z drugim modemom smo vzpostavili zvezo z GSM terminalom in preko njega komunicirali z inštrumentom ETNA. S programom Altus File Assistant lahko tako na daljavo spreminjamo parametre za triger, zajemamo podatke, brišemo podatke z diska, skratka ni potrebno priti opazovalnico zaradi naštetih opravil.

Abstract. To retreive data from seismic stations we can use a GSM terminal. It makes posibble remote retrieving of data from locations, where there is no dial up connection. That's very useful, especialy for temporary stations. For a proper operating of a terminal we set its parameters using AT commands. We should take special care about parameters for automatic answering and for selection of teleservice to be used. We used the terminal NOKIA 30 GSM Connectivity Terminal. It was connected it to the ETNA via RS-232 cabel. It was connected to NOKIA using some other modem and communicated with ETNA over it. With the program Altus File Assistant we can change parameters for triggers, retrieve data, erase data from disk etc. The point is, there is no need to visit a station just to do those tasks any more.

Uvod

Po močnejšem potresu nastane veliko število popotresnih sunkov. Za merjenje le-teh postavimo nekaj inštrumentov na območju nadžarišča potresa. S pomočjo izmerjenih sunkov natančneje določimo žarišče, strukturo tal...

Inštrumentov največkrat ne postavljamo kjer bi to želeli, temveč tja, kjer je možno. Odvisni smo od dobre volje in stopnje vznemirjenosti lastnikov objektov v bližini žarišča potresa. Postavljamo jih v kleteh, garažah, vrtnih kaminih (kamin zavarujemo z vrati). Tako postavljeni inštrumenti shranjujejo podatke na pomnilnik. Do teh podatkov lahko pridemo z neposredno priključitvijo prenosnega računalnika na inštrument. Možna je tudi povezava preko modema, vendar na takšnih lokacijah običajno ni telefonskih priključkov. Rešitev je lahko GSM terminal. V nadaljevanju bomo govorili o nastavitvi takšnega modema. S pomočjo takšne povezave bomo lahko zajemali podatke iz inštrumenta, ne glede na to, kako daleč od inštrumenta bomo.

Brezžična modemska povezava

Na voljo imamo napravo NOKIA 30 GSM Connectivity Terminal. Eden načinov delovanja naprave je GSM terminal. Preko naprave bomo navidezno povezali prenosni računalnik na inštrument ETNA.

Za neposredno priključitev na ETNO uporabljamo standard RS232. S kablom povežemo COM vrata na ETNI s COM vrati na računalniku.

Za priključitev preko terminala pa moramo kabel nadomestiti z modemsko povezavo. Na ETNO preko COM vrat priključimo GSM terminal. ETNA bo ob uporabi nameščena na mestu brez telefonskega priključka. GSM terminal bom klical prek modema priključenega na računalnik – lahko GSM terminal ali navadni modem.

Za uresničitev ideje najprej nastavimo GSM terminal. Le-ta naj ob klicu drugega modema vzpostavi zvezo ("dvigne slušalko"). V GSM terminal vstavimo SIM kartico.

GSM terminal priključimo na električno napajanje in serijska vrata računalnika. Z njim komuniciramo prek poljubnega programa za serijsko komunikacijo (Hyperterminal (Win), Minicom (LINUX) ...). Nastavitve spreminjamo s pomočjo AT ukazov (možno tudi s pomočjo priložene programske opreme za Windows).



Slika 1. Povezava prenosnega računalnika in ETNE – vgrajeni modem računalnika priključimo v telefonsko vtičnico, na ETNO pa prek RS-232 kabla priključimo GSM terminal.

Figure 1. Connection between the notebook and the ETNA- we connect the notebook's integrated modem to a telephone socket, and we connect the GSM terminal to the ETNA over RS-232 cable.

Uporaba ukazov za nastavitev modema

Poglejmo nekaj značilnosti AT (Attention) ukazov. Ukaz vedno sledi besedi AT brez presledka. Obstajajo tri vrste ukazov:

• osnovni ukazi,

0

0

```
o primer: ukaz D113, ATD113, kliče številko 113
```

- registrski ukazi, za nastavljanje vrednosti registra S
 - o primer: ukaz S3, ATS3=0, nastavi parameter S3 na vrednost 0
 - ATS3?, izpiše vrednost parametra S3
- razširjeni ukazi imajo predznak +,

```
    primer: ukaz +IFC, AT+IFC=0,0 nastavi vrednost na 0,0
    AT+IFC?, izpiše trenutno vrednost IFC
```

AT+IFC=?, izpiše zalogo vrednosti IFC.

Nastavitev parametrov GSM terminala

Če je s priključitvijo GSM terminala vse v redu in smo pravilno vstavili veljavno SIM kartico, rdeče utripa kontrolna lučka 2 (slika 2). Pomeni, da je GSM terminal pripravljen na vnos PIN kode.



Slika 2. Kontrolne diode nam sporočajo, v kakšnem načinu delovanje je GSM terminal. *Figure 2.* Controll LEDs indicate the operating mode of NOKIA terminal.

V LINUXU služi program Minicom z ustreznimi nastavitvami za komuniciranje prek serijskih vrat. Na vrata sem priključil GSM terminal. Komunikacijo preizkusimo z ukazom AT <CR>. Izpiše se OK. Če temu ni tako, preverimo fizične povezave in nastavitve Minicoma.

Za izpis trenutnih vrednosti parametrov GSM terminala vpišem ukaz AT&V. Morda ukazov, ki jih vpisujemo v terminalsko okno Minicoma, ne vidimo. Verjetno je, da ima parameter E(cho) vrednost nič (E0). Vrednost parametra spremenimo z ukazom ATE1. V primeru na sliki 3 je Echo že nastavljen na E1.

🕶 root@localhost:~ - Shell - Konsole 📃 🗖	X
Session Edit View Bookmarks Settings Help	
AT	٠
OK	
AT&V	
ACTIVE PROFILE:	
E1 Q0 V1 X4 &C1 &D2 &S1 &Y1	
+CMEE=0 +CSTA=129 +CBST=0,0,1 +CRLP=61,61,48,6 +CR=0 +CRC=0 +CLIP=02	
+CLIR=0,2 +CSNS=0 +CVHU=0 +CMOD=0 +DS=0,0,2048,20 +DR=0 +ILRR=0	
+CHSN=0,0,0,0 +CHSR=0 +CPBS="SM"	
S00:000 S01:002 S02:043 S03:013 S04:010 S05:008 S07:045 S08:002	
S10:100 S12:050 S25:000 S47:000 S48:000	
OK	4
	2
	*

Slika 3. Primer izpisa uporabljenega profila GSM modema. Figure 3. Example of the active profile of Nokia GSM.

Sedaj lahko vpišemo PIN kodo z ukazom AT+CPIN="****". Če smo kodo pravilno vpisali se izpiše OK in na kontrolnem mestu 3 sveti zelena lučka. Sedaj bomo poskusili poklicati GSM terminal z modemom, vgrajenim v računalnik. Drugi Minicom nastavimo za komunikacijo z vrati, na katere je priključen vgrajeni modem. Na levi strani zaslona imamo komunikacijsko okno GSM terminala, na desni pa za vgrajeni modem (slika 4). Z ukazom ATD041318473 kličemo GSM modem, na katerem je nastavljen parameter CRC na ena. S tem bo GSM terminal izpisoval v terminalsko okno, v kakšnem načinu ga kliče vgrajeni modem (glasovni, podatkovni, FAX ...). Način se izpiše za +CRING.

Vrednost parametra S1 pove, koliko "RING-ov" modem počaka, preden "dvigne slušalko". Vrednost 0 pomeni, da tega ne bo storil samodejno. V tem primeru bi mu moral nekdo vpisati AT ukaz za vzpostavitev zveze. Ker pa prisotnost nekoga pri inštrumentu ni smiselna (to je namen), nastavimo vrednost S1 na primer na vrednost 2.

Pri tovarniški nastavitvi (vedno jo lahko spremenimo z ukazom AT&F) opazimo, da GSM terminal pričakuje glasovni klic (VOICE) - zato ne vzpostavi zveze. Želimo pa, da bi vzpostavil zvezo za prenos podatkov. To dosežemo z nastavitvijo parametra CSNS na vrednost 4 (slika 4). V zgornjem primeru je S0=2.

Ker GSM terminal pri tem načinu delovanja ne dopušča večjih hitrosti kot 9600 baudov, komunicirata modema na tej hitrosti, kljub večji zmogljivosti vgrajenega modema.

🌱 root@localhost:~ - Shell - Konsole 🖉 🗕 🗖 🎗	🖣 🔽 root@localhost:~ - Shell - 🕳 🗖 🗙
Session Edit View Bookmarks Settings Help	Session Edit View Bookmarks Settings Help
AT+CRC=1 OK	ATD041318473
+CRING: VOICE	CONNECT 57600
+CRING: VOICE	
ок	
NO CARRIER AT+CSNS?	
+CSNS: 0	
OK AT+CSNS=4 OK	
+CRING: REL ASYNC	
+CRING: REL ASYNC	
CONNECT 9600	
–]



Kako obdržati nastavitve GSM terminala po izključitvi in ponovni vključitvi

V primeru izpada električnega napajanja GSM terminal izgubi nastavljene vrednosti. Zaradi tega je potrebno tako imenovani profil parametrov shraniti v trajni pomnilnik modema. To storimo z ukazom AT&W.

Drugi problem je vnos PIN kode, vendar tudi za to obstaja rešitev. Modem si namreč lahko "zapomni" PIN kodo, ki jo ob priključitvi sam vnese. To ni isto, kot če SIM kartico nastavimo tako, da ne zahteva PIN kode. V tem primeru namreč modem ne bi deloval.

Nastavitev samodejnega vnosa PIN kode je možna s pomočjo programa Nokia Configurator v Windows operacijskem sistemu. Ali je ta nastavitev možna s pomočjo AT ukazov, zaenkrat še ne vemo.

Zajem podatkov preko modemske povezave

Podatke lahko zajemamo s programom QuickTalk, ki pa omogoča le nastavitev komunikacije prek vrat od COM1 do COM4. Ker je v našem primeru vgrajeni modem priključen na COM6, s pomočjo njega brez nakaterih posegov ni mogoče klicati ETNE. Je pa to mogoče s programom Altus File Assistant, ki deluje tako v Windowsih kot v Linuxu.

Za vzpostavitev zveze z ETNO moramo najprej nastaviti nekatere parametre programa Altus File Assistant (slika 5). Z miško izberemo eno od prvih štirih ikon na vrhu začetnega okna. V zgornjem primeru smo izbrali okno Terminal window (drugo z desne). V vseh primerih se

odpre okno Digitizer Selection, kjer vpišemo ime inštrumenta in ga kasneje lahko izberemo. V oknu izberemo Edit in s tem odpremo okno Connection Parameters. Izberemo Modem in nastavimo parametre za modem vključno s številko GSM terminala, ki je priključen na ETNO. Nekajkrat kliknem na OK in če gre vse po načrtih, vzpostavim zvezo z ETNO.

♥ Altus File Assistant			- C X
<u>F</u> ile <u>T</u> ools <u>H</u> elp			
✓ ETNA Parameters			0:
Storage Directory		\data\	
Storage Method		1 - Flat	•
Connection Parameters			Edit
IO timeout seconds	V Co	nnection Param	eters 🗕 🗖 🗙
Terminal Log Directory		DEM RS232	ТСР
	Com	Port	/dev/modem 💌
The type of connection to this digit	Baud	l Rate	9600 🔻
	Port	Settings	8N1H -
	Init 9	String	AT&FE0&C1&W
	Dial	String	ATDT
	Phor	ne Number	041654321
		ОК	Cancel

Slika 5. Altus File Assistant. Figure 5. Altus File Assistant.

Za zajem podatkov v osnovnem oknu izberemo prvo ikono z leve, s čimer odpremo okno File Browser (slika 6). V tem oknu program izpiše imena dogodkov, ki jih ETNA hrani na svojem pomnilniku. Označimo jih in z izbiro ukaza Retrieve prenesem na svoj računalnik.

▼ File Browser ·	12 34			
<u></u> A:	e	:	ChDir ChDir Back	🚯 Refresh
JN005.EVT	73036		01/07/1980 21:13:14	
J0001.EVT	83956	А	01/12/1980 23:07:16	Retrieve
J0002.EVT	165856	A	01/12/1980 23:08:26	
J0003.EVT	16798	A	01/13/1980 01:34:56	450
JROO1.EVT	73036	A	01/13/1980 03:32:38	Delete
JR002.EVT	73036	A	01/14/1980 02:27:48	
JR003.EVT	73036	A	01/14/1980 02:36:44	
JR004.EVT	73036	A	01/14/1980 22:12:52	🗳 Format Drive
JR005.EVT	73036	A	01/16/1980 02:26:18	
JROO6.EVT	73036	A	01/16/1980 02:44:20	Y Cancel
JROO7.EVT	73036	A	01/16/1980 02:45:04	
10000 FVT	77076	0	A:\EVT\	

Slika 6. Seznam zabeleženih dogodkov na disku inštrumenta ETNA. Figure 6. The list of events on ETNA's disk.

Vezava kabla za povezavo GSM modema z ETNO

Ker ETNA spada med dte, terminal pa med dce naprave, povežemo istopomenske pine skupaj. Shema vezave je takšna:

Etna	GSM modem
А	 1 (DCD)
В	 8 (CTS)
С	 7 (RTS)
D	 6 (DSR)
Е	 5 (GND)
F	 4 (DTR)
G	 3 (TXD)
н	 2 (RXD)

Preostale pine pustimo nepovezane.

Zaključek

Sedaj nam za zajem podatkov ni več potrebno sesti v avto in peljati sto kilometrov daleč. Dovolj je, da pokličemo telefonsko številko modema in podatke preložimo na svoj računalnik, kjer so pripravljeni za obdelavo. Tudi parametre inštrumentov lahko spreminjamo iz službene pisarne. Predvsem je to uporabno pri nastavitvi pragov proženja zajemanja podatkov, katerih smiselno vrednost ugotovimo šele nekaj časa po postavitvi inštrumenta.

Težave se pojavijo takrat, ko na lokaciji inštrumenta ni GSM signala. S tem ne mislim lokacije v geografskem smislu, saj je Slovenija s signalom dobro pokrita. Problem lahko nastopi, če je inštrument postavljen v kleti ali prostoru, v katerega signal ne seže. To lahko odpravimo z dodatno anteno, ki jo postavimo zunaj prej omenjenih prostorov. Seveda jo priključimo na GSM modem.

Kar se tiče hitrosti prenosa podatkov, zahtevnejši uporabniki morda z njo ne bi bili zadovoljni. Ker pa je velikost posamezne datoteke na časovno enoto izmerjenega dogodka manjša od hitrosti prenosa le-tega, večjih hitrosti zaenkrat ne potrebujemo.

Literatura

Kinemetrics, 1995. Altus Etna High Dynamic Range Accelerograph Operations Manual, Kinemetrics, Inc., Pasadena USA.

Nokia, 2002. Nokia 30 GSM Conectivity Terminal At command guide, CD.

Nokia, 1998. Nokia 30 GSM Conectivity Terminal User's guide for modem use, CD.

SEIZMOMETER CMG - 40T SEISMOMETER CMG - 40T

Izidor Tasič

Izvleček. Drzavna mreža potresnih opazovalnic je opremljena s seizmometri CMG-40T proizvajalca Güralp iz Velike Britanije. To je trikomponentni širokofrekvečni seizmometer s hitrostnim odzivom v frekvenčnem območju med 50 Hz in 0,03Hz in dinamičnim območjem nad 145 dB. V članku so opisane nekatere osnovne značilnosti tega senzorja.

Abstract. Slovenian seismic network is equipped with CMG - 40T seismometers made in GB by Güralp Co. This is three-component broadband seismometers with velocity response and operating in frequency band between 50 Hz and 0.03 Hz and dynamic range over 145 dB. In this article, the basic characteristics of sensors are shown.

Uvod

Seizmometer je senzor, ki meri gibanje tal. V seizmologiji ponavadi uporabljajo seizmometre inercialnega tipa, ki merijo premikanje tal relativno glede na referenčno točko, ki se nahaja v ohišju senzorja. To referenčno točko predstavlja utež, ki je preko vzmeti in dušilke povezana z ohišjem. Enostaven mehanski model klasičnega seizmometra je prikazan na sliki 1.



Slika 3. Dinamični model preprostega seizmometra. Utež se giblje le premočrtno brez rotacije.

Figure 1. Dynamic model of a simple seismometer. Straight – line motion of a weight with no circular movement.

Sodobni seizmometer pretvarja premik tal v električni signal. Pri pasivnih seizmometrih pretvorimo v električni signal odmik uteži iz ravnovesne lege. Takšni seizmometri so enostavnejši za izdelavo, vendar delujejo na zelo omejenem frekvenčnem pasu. Ravno tako se lahko s časom njihova dinamična karakteristika zaradi staranja občutno spremeni. Zato so bolj uporabni aktivni seizmometri, to so senzorji s povratno zanko. Le-ti delujejo na principu ravnovesja sil. To pomeni, da se premik uteži kompenzira s povratno električno generirano silo. Na ta način ostaja utež v ravnovesni legi, merimo pa tok, ki je potreben za ustvarjanje ravnovesja. Takšni senzorji v primerjavi s pasivnimi senzorji delujejo na širšem frekvenčnem območju z boljšimi dinamičnimi lastnostmi. Zakasnitve v povratni zanki, ki so frekvenčno odvisne, določajo oziroma omejujejo frekvenčno območje delovanja senzorja. Glede na moč in oddaljenost potresa je gibanje tal zelo raznovrstno. Amplitude potresnih valov so lahko od nekaj nanometrov do nekaj centimetrov. Periode potresnih valov so od nekaj stotink sekunde pa do nekaj ur. Trenutno ne obstajajo senzorji, ki bi lahko pokrili takšen razpon. Zato ponavadi uporabljamo tiste senzorje, ki so omejeni na področje naših raziskav oziroma

področja dela, ali pa si pomagamo z več senzorji z različnimi lastnostmi. V seizmologiji ob besedi seizmometer takoj pomislimo na napravo, ki meri hitrost nihanja podlage. Poleg tega poznamo še akcelerometre, ki merijo pospeške nihanja podlage. Zaradi svoje konstrukcije so seizmometri bolj občutljivi na šibke in srednje močne potrese in so namenjeni za stalno beleženje seizmične aktivnosti, pri zelo močnih potresih pa so lahko prekrmiljeni. Akcelerometri so ponavadi manj občutljive naprave, termično manj uravnotežene in namenjene za inženirsko seizmologijo in opazovanje močnejših potresnih sunkov. Slovenska državna mreža potresnih opazovalnic je opremljena s širokopasovnimi seizmometri CMG-40T proizvajalca Güralp iz Velike Britanije.



Slika 2. Seizmometer CMG-40T. Figure 2. Seismometer CMG-40T.



Seizmometer CMG-40T

 Slika 3. Shema senzorja CMG – 40T. Ta tip sistema s povratno zanko je predlagal Dr. Buckner iz Reading University, VB leta 1974.
 Figure 3. Block diagram of CMG – 40T sensor. Dr. Buckner from Reading University proposed this type with a feedback loop in 1974.

Seizmometer je valjaste oblike, visok 23 centimetrov in premera 17 centimetrov. Teža seizmometra je 5 kilogramov in deluje v temperaturnem območju od -10°C do +60°C. Napaja se z 12 voltno enosmerno napetostjo in rabi tok okoli 50 mA. Seizmometer CMG-40T je trokomponentni seizmometer s hitrostnim odzivom s frekvenčnim območjem med 50 Hz in 0,03 Hz in dinamičnim območjem nad 145 dB. Seizmometer meri hitrost nihanja podlage. Izraz trikomponentni pomeni, da se v enem ohišju nahajajo trije senzorji. Seizmometer torej sestavljajo trije miniaturni senzorji, ki so postavljeni pravokotno drug na drugega z odstopanjem pod 0,2°, kar omogoča prostorsko oceno hitrosti nihanja podlage. Seizmometer se po dogovoru postavili na podlago tako, da senzorji kažejo v smeri sever-jug, vzhod-zahod in v navpični smeri. Senzor je kondenzatorski merilnik premikov z elektromagnetno povratno zanko. Silo v povratni zanki, ki povzroči, da utež kljub nihanju tal ostaja v ravnovesni legi, ustvarimo s pomočjo dveh parov tuljav. Teža uteži v senzorju je 36 gramov (oziroma 34 gramov za navpični senzor). Zaradi povratne zanke se utež minimalno premakne iz ravnovesne lege. Senzor je opremljen še s kalibracijsko tuljavo, s katero vsiljujemo premike nihala in s tem ponaredimo nihanje tal. Na ta način lahko preverimo kvaliteto delovanja senzorja.



Slika 4. Prenosna funkcija seizmometra CMG 40T. Figure 4. Transfer function of CMG 40T seismometer.



Slika 5. Poli in ničle seizmometra. Figure 5. Poles and zeros of seismometer.



Slika 6. Dinamično območje seizmometra. Figure 6. Dynamic range of seismometer.

Konstrukcijsko ni velike razlike med navpičnim in vodoravnim senzorjem. Navpičnemu senzorju je za izničenje vpliva gravitacije dodana listnata vzmet. Najnižja parazitska resonanca je nad 450 Hz. Pretvorbe premika tal v električni signal ne moremo opisati le z enostavno linearno zvezo, ker vseh sil, ki vračajo maso v ravnovesno lego, nikoli ne moremo zanemariti. Zato moramo poznati senzorjeve dinamične lastnosti, ki so ponavadi podane z Laplaceovo transformacijo (Bormann in Bergmann, 2002). Splošno velja, da je odziv sistema na nihanje tal (hitrostni odziv) raven na območju od 0,033 Hz do 50 Hz. Pri nizkih frekvencah lahko seizmometer opišemo s sistemom drugega reda z lastnim nihajnim časom 30 s in dušenjem 0,7071. Lastnosti prenosne funkcije senzorja natančneje opišemo s poli in ničlami. Teoretične vrednosti so podane v tabeli. V podjetju vsak senzor preizkusijo s frekvenčnim generatorjem, za vhodni signal uporabljajo kalibracijsko tuljavo, ter izmerijo relativno razliko magnitude pri pri 0,033 Hz in 50 Hz glede na vrednosti pri 1 Hz.



Slika 7. Zapis lokalnega potresa (rdeča sled, 100 sekund), zapis regionalnega potresa (zelena sled, 300 sekund) in zapis povprečnega seizmičnega šuma na potresni opazovalnici (modra sled, 3600 sekund) na senzorju CMG-40T. Prikazan je še spekter moči signala za vse tri primere.

Figure 7. A record of a local earthquake (red trace, 100 s.), one of a regional earthquake (green trace, 300 s) and an average seismic noise record at monitoring seismic station (blue trace, 3600 s) on a CMG 40T sensor. Their power spectrum of a signal from these three events is also shown below.

Kvaliteto meritve moti šum, ki nastane na posameznih komponentah senzorja (elektronika, vzmet...). Teoretično je šum senzorja -172 dB na območju med 10 Hz in 0.1 Hz. Praktično je razmerje signal-šum manjše in naj bi bilo po klasifikaciji okoli -145 dB, je pa to razmerje odvisno od posameznega senzorja in je lahko tudi slabše. Šum seizmometra postane moteč tedaj, ko je večji od seizmičnega šuma na lokaciji meritve. Instrumentalni šum vpliva na kvaliteto analize zapisa potresa.

Literatura

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

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

OTVORITEV PRIMORSKE MREŽE POTRESNIH OPAZOVALNIC OPENING OF THE SEISMIC STATIONS NETWORK IN PRIMORSKA, SLOVENIA

Renato Vidrih

Izvleček. Dne 30. julija 2003 je v slikoviti vasi Čadrg nad Tolminom takratni minister za okolje, prostor in energijo, mag. Janez Kopač, otvoril potresno opazovalnico, ki je ena izmed petih novo zgrajenih na Primorskem. Novo zgrajene so še v Robiču pri Kobaridu, na Javorniku in obnovljena na Vojskem. V južnem delu Primorske pa je zgrajena potresna opazovalnica na Knežjem dolu nad Ilirsko Bistrico. Predvsem sta za slovensko seizmologijo pomembni opazovalnici v zg. Posočju, saj je to eno najbolj potresno ogroženih območij v Sloveniji, kjer do sedaj opazovalnice sploh še ni bilo. Ministrovemu govoru se je priključila tudi direktorica Agencije RS za okolje, dr. Andreja Čerček Hočevar.

Abstract. On July, 30th 2003, Janez Kopač, M. Sc., Minister of the Environment, Spatial Planning and Energy opened one of the five seismic monitoring stations in NW part of Slovenia. The opening was in a picturesque village Čadrg above Tolmin. The remaining four stations are Robič near Kobarid, Javornik on Javorniki plateau, renovated in Vojsko and Knežji dol above Ilirska Bistrica on the SW part of the Slovenia. The most important stations for Slovenian seismology are Čadrg and Robič in the Upper Soča Territory, which is one of the most seismic active areas in Slovenia. This is the first time seismic monitoring stations have been set up in this area. PhD. Andreja Čerček-Hočevar, director of the Environmental Agency joined to Minister's speech.

Po potresu leta 1998 v zgornjem Posočju je Vlada RS odobrila sredstva za posodobitev obstoječe državne mreže potresnih opazovalnic. Takrat je slovenska seizmologija razpolagala le s sedmimi opazovalnicami, kar je za določitev osnovnih potresnih parametrov premalo.

Slika 1. Pogled na potresno opazovalnico nad vasjo Čadrg nad Tolminom. V seizmičnem jašku sta senzor in zajemalna naprava, v pomožnem jašku pa usmernik, akumulator za napajanje instrumentov in komunikacijska oprema (foto: P. Sinčič).
Figure 1. Seismic monitoring station in Čadrg above Tolmin. The acquisition system and breakout box are placed in the measuring shaft, while equipment for charging and communication is placed in the auxiliary shaft (Photo: P. Sinčič).



Posodobitev obsega obnovo obstoječih in izgradnjo 18 novih opazovalnic. V prvih letih je bilo večino dela povezanega z nabavo opreme in iskanjem primernih lokacij po Sloveniji, v letu 2001 pa se je začela izgradnja. Koncem leta 2003 se lahko slovenska seizmologija pohvali z 19 - timi novimi opazovalnicami, od katerih je večina že povezana s središčem za obdelavo podatkov v Ljubljani. V naslednjem obdobju bomo skušali izgraditi potresne opazovalnice okoli Ljubljane, ki tudi leži na potresno nevarnem območju. Projekt posodobitve državnega omrežja potresnih opazovalnic bo predvidoma končan leta 2006, ko bo obnovljenih ali na novo zgrajenih vseh predvidenih 25 opazovalnic državne mreže.

Zaradi zahtev evropske skupnosti smo na Uradu za seizmologijo Agencije RS za okolje najprej začeli graditi mrežo okoli jedrske elektrarne Krško, ki obsega štiri nove potresne opazovalnice, katerih otvoritev je bila spomladi 2002 na opazovalnici Črešnjevec na Gorjancih.

Potresne razmere na Slovenskem pa zahtevajo opazovalnice na Primorskem, predvsem v enem od potresno najbolj ogroženih predelov Slovenije, to je v zg. Posočju. Zato smo po uspelem izboru lokacij začeli graditi ali obnavljati opazovalnice v Robiču pri Kobaridu, Čadrgu nad Tolminom, na Javornikih in na Vojskem. S priključitvijo potresnih opazovalnic na Primorskem bo naše vedenje o potresni dejavnosti tega območja bistveno izboljšano, saj bo natančnost določitve potresnih parametrov nekajkrat večja.



Slika 2. Otvoritvi potresne opazovalnice v Čadrgu, ki jo je otvoril minister za okolje, prostor in energijo mag. Janez Kopač, je prisostvovalo veliko strokovne javnosti, med drugimi tudi vodilni italijanski in avstrijski seizmologi, pa tudi glavni tajnik mednarodne seizmološke organizacije. Vaščani Čadrga so pripravili prijeten in zanimiv kulturni program (foto: P. Sinčič).

Figure 2. The seismic monitoring station Čadrg was opened by Minister of the Environment, Spatial Planning and Energy Janez Kopač, M. Sc.. Many leading Italian and Austrian seismologists as well as the Secretary general of the International Association for Seismology and Physics of the Earth's Interior (IASPEI) attended the opening. The people of Čadrg prepared pleasant and interesting cultural programme (Photo: P. Sinčič). Seizmični podatki iz potresnih opazovalnic prihajajo v stvarnem času neprekinjeno v središče za obdelavo podatkov, kjer jih dve delovni postaji takoj avtomatsko obdelujeta, shranjujeta seizmične zapise v krožni pomnilnik ter tudi obveščata seizmologe o nastalih dogodkih. Potresna opazovalnica v Čadrgu je podobno kot ostale opazovalnice državne mreže opremljena s širokopasovnim trikomponentnim senzorjem Güralp CMG 40 s frekvenčnim območjem med 0,033 Hz in 50 Hz. Komunikacija med centralno procesno enoto in potresno opazovalnico poteka po državnem računalniškem omrežju. V vsaki opazovalnici je priključek na državno omrežje HKOM z usmerjevalnikom in modemom, prenos podatkov pa teče po najeti liniji. Potresna opazovalnica je priključena na omrežno napetost 220 V, ob izpadu pa za napajanje zajemalne enote, senzorja in komunikacijske opreme skrbi dodatna baterija z razsmernikom.



Slika 3. Potresne opazovalnice na Primorskem. Figure 3. Seismic stations in Primorska.

Potresna opazovalnica v Čadrgu je s središčem za obdelavo podatkov na Uradu za seizmologijo Agencije RS za okolje v Ljubljani povezana z mobilno telefonijo, kar pa za potrebe seizmološke službe ne zadošča. Nujna bi bila telefonska povezava s Čadrgom, tako zaradi uspešnejšega in učinkovitejšega spremljanja potresnega dogajanja v zg. Posočju, kot tudi za vaščane, saj je to eno zadnjih območij v Sloveniji, kjer telefonske povezave še niso vzpostavljene. Zato je minister za okolje, prostor in energijo mag. Janez Kopač ob pomoči ministra za informacijsko družbo, dr. Pavla Gantarja družbi Telekom Slovenije predlagal

skupno postavitev telefonske povezave od Zatolmina do potresne opazovalnice, pri tem pa bodo vključeni tudi vsi prebivalci ob omenjeni trasi.

Senzorji na opazovalnici v Čadrgu so v svojem poizkusnem obratovanju že zabeležili nekaj šibkih lokalnih potresov, ki jih sicer ne bi zaznali.

Ob otvoritvi potresne opazovalnice v Čadrgu se posebej zahvaljujemo njenim prebivalcem za pomoč pri gradnji, posebej še družini Kutin, ki nam je pomagala na vsakem koraku, kot tudi vsem vaščanom, ki so pomagali pripraviti to otvoritev.

SEIZMIČNE RAZISKAVE LITOSFERE V SREDNJI EVROPI IN DEBELINA ZEMLJINE SKORJE V SLOVENIJI SEISMIC INVESTIGATIONS OF THE LITHOSPHERE IN CENTRAL EUROPE AND THICKNESS OF THE EARTH'S CRUST IN SLOVENIA

Andrej Gosar

Izvleček. Med letoma 1997 in 2003 so bile v okviru štirih mednarodnih projektov (POLONAISE'97, CELEBRATION 2000, ALP 2002, SUDETES 2003) v srednji Evropi, med Baltikom in Jadranskim morjem, opravljene obsežne aktivne seizmične raziskave z refrakcijsko in širokokotno refleksijsko metodo, ki so dale pomembne nove podatke o strukturi in razvoju litosfere na tem tektonsko zelo kompleksno zgrajenem območju. Z uporabo 300 močnih eksplozij in seizmografi lociranimi na 6000 sprejemnih točkah je bilo posneto skoraj 20 000 km seizmičnih profilov. Na širšem območju Slovenije je ugotovljena struktura Mohorovičićeve diskontinuitete pokazala, da je prehod med debelejšo skorjo (do 43 km) v zahodni Sloveniji značilno za območje Alp in Dinaridov ter tanjšo skorjo značilno za Panonski bazen (28 km) v severovzhodni Sloveniji precej bolj strm kot so kazale prejšnje raziskave, saj se v vzhodni Sloveniji globina do Mohorovičićeve diskontinuitete spremeni iz 39 km na 31 km na dolžini le okoli 50 km. Po drugi strani pa podatki presenetljivo ne kažejo na tanjšanje skorje v smeri Jadranskega morja. V zgornjem delu skorje smo ugotovili nekaj večjih hitrostnih anomalij. Najpomembnejši sta visokohitrostna (6,7 km/s) na območju Istre ter nizkohitrostna (5,7-5,9 km/s) na območju med Celjsko kotlino in Hrvaškim Zagorjem, ki sega do globine 12 km.

Abstract. Between years 1997 and 2003 extensive active seismic investigations in the frame of four international projects (POLONAISE'97, CELEBRATION 2000, ALP 2002, SUDETES 2003) were performed in Central Europe between the Baltic and Adriatic sea using refraction and wide-angle reflection method resulting in important new data on the structure and evolution of the lithosphere in this tectonically complex area. Using 300 strong explosions and seismographs on 6000 receiver points, almost 20,000 km of seismic profiles were recorded. In wider area of Slovenia the established structure of the Mohorovičić discontinuity has shown that the transition zone between the thicker crust in Western Slovenia (43 km) which is characteristic for the Alps and Dinarides (up to 43 km) and thinner crust which is characteristic for the Panonnian basin (28 km) in NE Slovenia is steeper as expected from previous investigations. In Eastern Slovenia the depth to the Mohorovičić discontinuity changes from 39 km to 31 km at the distance of only 50 km. On the other hand the new data doesn't show the thinning of the crust towards the Adriatic sea. In the upper crust some larger velocity anomalies were established. The two most important are high-velocity anomaly (6.7 km/s) in Istra and low-velocity anomaly (5.7-5.9 km/s) in the area between Celje basin and Hrvatsko Zagorje, which extends down to 12 km.

Uvod

Med letoma 1997 in 2003 so v srednji Evropi potekale obsežne seizmične raziskave litosfere v okviru štirih mednarodnih projektov (POLONAISE'97, CELEBRATION 2000, ALP 2002, SUDETES 2003), ki so omogočile nov vpogled v strukturo in razvoj litosfere na tektonsko zelo zapletenem območju med Baltikom in Jadranskim morjem (Guterch in sod., 2004).

Geološka zgodovina srednje Evrope je zelo kompleksna saj obsega tri glavne orogeneze: kaledonsko, varistično in alpidsko, ki so posledica kompresijskih in kolizijskih procesov (slika 1). Poleg tega pa je bilo ozemlje v različnih geoloških obdobjih podvrženo tudi ekstenziji tako v najstarejšem obdobju na meji med predkambrijem in kambrijem, ko se je ob razpadu


Slika 1. Posplošena tektonska karta srednje Evrope (Guterch in sod., 2003). *Figure 1.* Generalized tectonic map od Central Europe (Guterch et al., 2003).

Transevropska stična cona (Trans-European Suture Zone - TESZ) je široka cona deformacij, ki sega od Britanskega otočja do Črnega morja in je nastala v poznem paleozoiku, ko je iz številnih fragmentov nastal večji del ozemlja današnje Evrope (slika 1). TESZ, ki jo sestavljajo Kaledonidi in cona Tornquist Teisseyre, je tako v najširšem smislu meja med iz fragmentov, ki imajo zelo različno tektonsko zgodovino, zraščenim območjem na zahodu, in Vzhodnoevropskim kratonom predkambrijske starosti. Izvor Češkega masiva so tako lahko sledili do severne Gondvane (Afrika), na južnem Poljskem pa je tudi več tektonskih blokov kot je na primer Malopoljski masiv, ki so prepotovali dolgo pot vzdolž Vzhodnoevropskega kratona.

Raziskave so zajele tudi precej mlajša območja Karpatov, Panonskega bazena in Alp, ki so nastala z interakcijo med ploščami v sredozemskem prostoru v mezozoiku in kenozoiku, ko se

je s približevanjem Evropske in Afriške plošče zaprla Tetida. Nastal je izrazit lok Karpatov s subdukcijo oceanske skorje, močnim neogenskim vulkanizmom in zaločno ekstenzijo v Panonskem bazenu, kjer se je odložilo do 8 km neogenskih sedimentov (slika 1). Da je to območje tektonsko še vedno aktivno, dokazuje seizmičnost, ki sega na območju Vrancea v Romuniji do 200 km globoko.

Zanimanje raziskovalcev za to območje se je znatno povečalo z geološkim raziskovalnim programom EUROPROBE (Thybo in sod., 1999). Ker pa je geološka zgradba litosfere v srednji Evropi zelo kompleksna, se je kmalu pokazalo, da so za napredek pri njenem razumevanju potrebne predvsem tridimenzionalne seizmične raziskave. Glavni izzivi za globoke geofizikalne raziskave na območju med Baltikom in Jadranom so naslednji (Guterch in sod., 2004):

- raziskati globoke strukture na jugozahodnem robu Vzhodnoevropskega kratona (južna Baltika) in njegov odnos do mlajših ozemelj, ki ležijo zahodno;
- razmejiti večja ozemlja in bloke Zemljine skorje v območju TESZ (češki masiv, zgornji šlezijski blok (SZ od Krakova), pogorje Svetega Križa (SV od Krakova);
- raziskati izvor in strukturni okvir Panonskega bazena;
- raziskati značilnosti in obseg narivanja vzdolž severnega roba Karpatov;
- raziskati strukture Vzhodnih Alp ter njihov stik z Dinaridi in Panonskim bazenom;
- raziskati strukturne odnose med češkim masivom in okolico;
- izdelati 3-D model litosfere;
- oceniti implikacije modela litosfere na izkoriščanje naravnih virov in na potresno nevarnost;
- izdelati geodinamski model razvoja ozemlja.

Seveda gre za zelo obsežne raziskave in zahtevno interdisciplinano interpretacijo podatkov, zaradi česar bo obravnavanje zbranih podatkov trajalo dlje časa.

Globoke seizmične raziskave v srednji Evropi

Že prvi iz serije večjih projektov POLONAISE'97, ko so na Poljskem in deloma Litvi in Nemčiji izmerili pet profilov v dolžini 2000 km (slika 2), je pokazal koliko več podatkov dobimo s 3-D seizmičnim snemanjem, čeprav je bila prostorska pokritost raziskovanega ozemlja s seizmičnimi žarki razmeroma majhna. Tako so ugotovili jasno asimetrijo med debelino sedimentov v Poljskem bazenu (20 km) in debelino skorje v TESZ, ki znaša okoli 50 km (Guterch in sod., 1999).

Sledil je precej obsežnejši projekt CELEBRATION 2000 s katerim so izmerili kar 8900 km seizmičnih profilov (slika 2), ki so segali v osem držav (Poljska, Madžarska, Češka, Slovaška, Avstrija, Rusija, Belorusija in Nemčija). Uporabili so 1240 seizmografov, ki so jih trikrat postavili in pa 147 eksplozij. Vse tri postavitve so se med seboj prekrivale. Modeliranje in interpretacija podatkov je pokazala velike razlike v debelini Zemljine skorje med Vzhodnoevropskim kratonom (43 – 50 km), paleozojsko platformo ter Karpati (30 – 40 km) in panonskim bazenom (24-28 km). Po drugi strani pa se globina do konsolidirane podlage s hitrostjo longitudinalnih valov 6,0 km/s in več spremeni od 1-3 km v Vzhodnoevropskem kratonu na 5-8 km v Panonskem bazenu ter na 10-18 km v TESZ in pod Karpati. Za Vzhodnoevropski kraton je značilna debela tri-plastna struktura skorje s hitrostjo seizmičnih valov v posameznih plasteh 6,1-6,4, 6,5-6,6, in 6,8-6,9 km/s, za območje Karpatov in Panonskega bazena pa tanka dvoplastna skorja z nižjo seizmično hitrostjo tako v njenem zgornjem (6,1-6,4 km/s) kot v spodnjem (6,4-6,6 km/s) delu. Hitrost v zgornjem plašču (pod



Mohorovičićevo diskontinuiteto) je pod Vzhodnoevropskim kratonom 8,1-8,25 km/s, pod Karpati in Panonskim bazenom pa 7,8 –8,0 km/s (Guterch in sod., 2003).

Slika 2. Večji projekti seizmičnih raziskav litosfere v srednji Evropi (Guterch in sod., 2004). Figure 2. Larger seismic experiments in the Central Europe (Guterch et al., 2004).

Po uspešnem zaključku meritev v okviru projekta CELEBRATION 2000 je nastala pobuda za nov projekt z naslovom: 3-D refrakcijske seizmične raziskave litosfere jugovzhodnih Alp (ALP 2002) s ciljem raziskati območje stika Alp, Dinaridov in Panonskega bazena, ki po mnenju mnogih predstavlja velik izziv, saj ima po obstoječih geoloških in geofizikalnih podatkih kolizija Evrazijske in fragmentirane Afriške plošče na tem območju precej drugačen značaj kot v zahodnem in osrednjem delu Alp. Prevladuje mnenje, da je kolizija povzročila lateralno ekstruzijo vmesne mikroplošče Tisa oziroma blokov Alcapa in Tisa proti vzhodu. Projekt Alp 2002 je obsegal meritve v dvanajstih profilih v skupni dolžini 4500 km, vzdolž katerih je bilo postavljenih 1055 seizmografov RefTek Texan (Brueckl in sod., 2003; Gosar, 2003). Lokacije seizmičnih profilov so bile izbrane glede na strukturne razmere, prehodnost terena in glede na položaj profilov projekta CELEBRATION 2000 (slika 2). Da bi omogočili integracijo podatkov, sta se po dva profila obeh projektov delno prekrivala. Vzdolž štirih profilov so bili seizmometri postavljeni na 3-4 km, vzdolž ostalih profilov pa na 6-8 km. Profili so potekali prek Avstrije, Češke, Madžarske, Slovenije in Hrvaške ter z nekaterimi krajšimi odseki še v Nemčiji in Italiji (www.alp2002.info).



Slika 3. Karta globine do Mohorovičićeve diskontinuitete v zahodni in srednji Evropi (Dezes, Ziegler, 2001).
 Figure 3. Map of the Mohorovičić discontinuity depth in Western and Central Europe (Dezes, Ziegler, 2001).

Z zadnjim iz niza večjih 3-D seizmičnih projektov – SUDETES 2003 so zapolnili vrzel med ozemlji, pokritimi s prejšnjimi projekti. Šest profilov v skupni dolžini 3450 km je pokrilo predvsem območje Češkega maziva, del Poljskega bazena in zahodne Karpate (Grad in sod., 2003). Češki masiv predstavlja najbolj vzhodno ležeč izdanek Variskidov v Evropi. Nekatera glavna odprta vprašanje na tem območju so: značilnosti velikih prelomov v Zemljini skorji, ki potekajo vzporedno in pravokotno na TESZ in spremembe v strukturi skorje prek teh prelomov ter določitev mej med posameznimi fragmenti, iz katerih je zgrajeno ozemlje.

V okviru vseh štirih projektov so z uporabo 300 močnih eksplozij in seizmografi na 6000 sprejemnih točkah posneli skoraj 20.000 km seizmičnih profilov (slika 2). Zbrani podatki bodo omogočili izdelavo tri-dimenzionalnega modela litosfere med Baltikom in Jadranskim morjem, saj so na primer dosedanji podatki o globini do Mohorovičićeve diskontinuitete (slika 3) na tem območju preveč pomanjkljivi (Dezes in Ziegler, 2001). Globoke seizmične raziskave so seveda tesno povezane z drugimi programi raziskav litosfere na tem obsežnem območju kot so EUROPROBE (Thybo in sod., 1999) in PANCARDI (Decker in sod., 1998) ter globokim (10 km) vrtanjem (projekt KTB) v Nemčiji.

Refrakcijska in širokokotna refleksijska seizmika

Pri kombinirani refrakcijski/širokokotni refleksijski seizmiki so razdalje med lokacijami, kjer generiramo seizmične valove z eksplozijami (strelne točke) in senzorji (geofoni), do nekaj sto km. Ker hitrosti seizmičnih valov praviloma naraščajo z globino, se valovi na izrazitejših hitrostnih mejah (diskontinuitetah) lomijo tako (slika 4), da potujejo v hitrejših globljih plasteh pretežno vodoravno (refrakcijski valovi) ali pa se od njih odbijejo pod topim kotom (širokokotni refleksijski valovi). Zaradi dolge poti seizmičnih valov, ugotavljamo s temi raziskavami bolj natančno nezveznosti v navpični kot pa v vodoravni smeri. Ker pa je za izvedbo meritev potrebno manjše število sicer močnejših eksplozij, so njihovi stroški bistveno nižji kot pri refleksijski seizmiki, ki pa ima boljšo horizontalno ločljivost.



Slika 4. Poenostavljena skica litosfere z različnimi potmi seizmičnih valov in pripadajočimi imeni seizmičnih faz (Zelt in sod., 1996).
 Figure 4. Simplified sketch of the lithosphere with different raypath of seismic waves and corresponding names of seismic phases (Zelt et al., 1996).

Obravnavanje podatkov temelji na analizi in modeliranju časov in amplitud seizmičnih valov, ki so potovali vzdolž različnih poti oz. žarkov. Različne prihode seizmičnih valov na seizmogramih imenujemo v seizmologiji seizmične faze. Nekatere glavne seizmične faze, ki ustrezajo valovnim žarkom v litosferi, so prikazane na sliki 4. *Pg* faza ustreza valovanju, ki je potovalo le v zgornjem delu skorje po ukrivljeni poti, kar je posledica vertikalnega hitrostnega gradienta. *Pn* faza ustreza tistemu delu seizmičnega valovanja, ki je po subvertikalni poti v skorji zadelo Mohorovičićevo diskontinuiteto pod kritičnim kotom, pri katerem je lomni kot enak 90° in se je zato v zgornjem delu plašča valovanje širilo po subhorizontalni ukrivljeni poti. *PmP* faza pa označuje valovanje, ki se je od Mohorovičićeve diskontinuitete odbilo pod kotom, ki je večji od kritičnega. Zato se uporablja izraz širokokotna refleksijska seizmika, s čimer jo ločimo od "običajne" refleksijske seizmike, pri kateri je kot odboja manjši od kritičnega kota. Poleg teh glavnih seizmičnih faz analiziramo tudi reflektirane in refraktirane seizmične valove od vseh drugih hitrostnih nezveznosti v Zemljini skorji.

Najbolj izrazita hitrostna meja ali nezveznost v litosferi je Mohorovičićeva diskontinuiteta ali Moho, ki ločuje Zemljino skorjo od njenega plašča. Hitrost longitudinalnih valov na tej meji skokovito naraste od 6,5-7,2 km/s v spodnjem delu skorje na 7,8-8,5 km/s v zgornjem delu plašča, hitrost transverzalnih valov tu poraste od 3,7 -3,8 km/s na 4,8 km/s, gostota pa od 2,9 g/cm³ na 3,3 g/cm³. Moho se nahaja v globini med 25 in 40 km pod kontinenti in med 5 in 8 km pod oceanskim dnom. Pod nekaterimi gorskimi verigami (Alpe, Himalaja) pa doseže celo globine med 50 in 60 km ali več. Druga pomembna hitrostna meja je Conradova diskontinuiteta, ki ločuje zgornji, bolj kisel (granitni) del Zemljine skorje od spodnjega, bolj bazičnega (bazaltnega) dela, vendar ta meja ni povsod izražena. Hitrost longitudinalnih valov se ob Conradovi diskontinuiteti poveča iz 5,8 - 6,2 km/s na več kot 6,5 km/s. Na splošno danes velja, da je koncept, ki predvideva, da je Zemljina skorja sestavljena v zgornjem delu pretežno iz silicijevih in aluminijevih mineralov (sial), v spodnjem delu pa iz silicijevih in magnezijevih mineralov (sima), preveč poenostavljen (Sheriff, 1991). Tretja meja, ki je na seizmičnih podatkih pogosto vidna, je stik med sedimentnimi kamninami in magmatsko ali metamorfno podlago, če se seveda nahaja dovolj globoko, da jo z meritvami, ki so prilagojene velikim globinam, sploh zajamemo.

Dosedanje raziskave litosfere na širšem območju Slovenije

Na območju bivše Jugoslavije, je bilo v letih od 1964 do 1983 posnetih devet refrakcijskih/širokokotnih refleksijskih profilov (Skoko in sod., 1987) v prečnodinarski smeri (JZ-SV). Najbolj severozahoden profil je bil dolg 230 km in je potekal med Puljem in Mariborom (Joksović in Andrić, 1983). Imel je dve strelni točki, prvo v morju pri Pulju in drugo v Vidmu pri Velikih Laščah. Mohorovičićeva diskontinuiteta je bila ugotovljena najplitveje na globini okoli 30 km na obeh koncih profila, najgloblje (okoli 41 km) pa pod Dinaridi (Snežnik). Ugotovljena hitrost longitudinalnih valov znaša 6,4 km/s v spodnjem delu skorje in 8,0-8,2 km/s v zgornjem delu plašča. Naslednji profil proti jugovzhodu je potekal prečno na Dinaride med Dugim otokom in Virovitico.

Na podlagi teh raziskav so izdelali strukturno karto Mohorovičićeve diskontinuitete (Dragašević in sod., 1990) za celotno ozemlje takratne Jugoslavije. Po tej karti je v Sloveniji največja debelina skorje (več kot 42 km) pod Dinaridi in Julijskimi Alpami (slika 6). Proti JZ se Moho dokaj strmo dviga proti Jadranskemu morju in doseže v Tržaškem zalivu globino okoli 35 km. Proti SV se sprva prav tako strmo dviga do Pohorja, kjer doseže 30 km, nato pa bolj položno, tako da se nahaja na meji z Madžarsko v globini 28 km (Aljinović in sod., 1987; Dragašević in sod., 1990). Ti podatki so bili uporabljeni (Dezes, Ziegler, 2001) tudi za izdelavo Evropske karte globin do te diskontinuitete (slika 3).

V letih 1975-78 so na območju severovzhodne Italije in Avstrije izmerili več globokih refrakcijskih/širokokotnih refleksijskih profilov (Alp'75 je segal od Lago di Como prek celotne južne Avstrije do Madžarske), ki so dali prve podatke o globokih strukturah litosfere na območju vzhodnih Alp (Aric in sod., 1987; Scarascia, Cassinis, 1997).

Preliminarni rezultati projekta Alp 2002 na območju Slovenije

Pri celotnem projektu ALP2002 smo uporabili 31 strelnih točk s povprečnim eksplozivnim nabojem mase 300 kg. Od tega jih je bilo 12 v Avstriji, 8 na Češkem, 5 na Madžarskem, 4 na Hrvaškem in 2 v Sloveniji (Brueckl in sod., 2003). Miniranja so bila izvedena tekom treh noči, ko je seizmični nemir, ki ga povzročata industrije in promet najmanjši (Kastelic, Gosar, 2004).



Slika 5. Globina do Mohorovičićeve diskontinuitete na širšem območju Slovenije po preliminarnih razultatih modeliranja z metodo sledenja žarkov vzdolž šestih profilov projekta ALP 2002.

Figure 5. Mohorovičić discontinuity depth in wider area of Slovenia according to preliminary results of raytracing modelling along six profiles of ALP 2002 project.

V Sloveniji smo 127 seizmografov z geofoni namestili vzdolž petih profilov skupne dolžine 575 km (slika 5), točki miniranja pa sta bili pri Vojniku (206) in Gradinu (115). Nominalna razdalja med seizmografi je bila na profilih Alp01(S-J) in Alp02 (ZSZ-VJV) tri km, na profilih Alp05 (JZ-SV), Alp06 (JZ-SV) ter Alp09 (SSZ-JJV) pa šest km (Gosar, 2003). Pri izdelavi modelov za Slovenijo smo upoštevali tudi podatke profila Alp07, ki poteka v celoti po Hrvaškem ozemlju v smeri ZSZ-VJV med Labinom, Crikvenico, Ivanić gradom in

Madžarsko mejo. Vzdolž njega je bilo postavljenih 72 seizmografov v nominalni razdalji tri km.

Centralna lega Slovenije znotraj raziskovanega območja je zagotavljala dobro pokritost našega ozemlja tudi s strelnimi točkami v sosednjih državah (slika 5). V Avstriji so bile najbližje strelne točke pri Podkloštru (114), Jezerskem (205) in Wolfsbergu (503), na Hrvaškem pa pri Labinu (116), Crikvenici (702) in Ivanič gradu (207).

Pri obravnavanju podatkov smo uporabljali predvsem 2D seizmično modeliranje z metodo sledenja žarkov (raytracing) - program SEIS83 (Červeny in Pšenčik, 1983) dopolnjen z grafičnim vmesnikom MODEL (Komminaho, 1997) in program ZPLOT (Zelt in Smith, 1992). Poleg tega pa smo izvedli tudi 2D tomografsko inverzijo na podlagi prvih prihodov seizmičnih valov (*Pg* in *Pn* fazi) s programom *2D iterative back-projection inversion* (Hole, 1992). Za inverzijo profila Alp01 smo uporabili 1080 faz, za profil Alp02 pa 624 faz. Gostota računske mreže je bila 2 km.

Na podlagi analize posnetih seizmogramov smo izdelali izhodiščne modele za sledenje seizmičnih žarkov, v katerih smo ločili šest različnih plasti, znotraj katerih se seizmična hitrost spreminja tako v navpični kot v vodoravni smeri. Modele smo interaktivno popravljali tako dolgo, da smo dobili zadovoljivo ujemanje modeliranih in izmerjenih časov posameznih faz in njihovih amplitud. V tej fazi smo modelirali le P-valove. Vrhnja (prva) plast s hitrostjo P-valov med 3,0 in 3,3 km/s ustreza terciarnim in kvartarnim sedimentom, ki dosežejo večjo debelino le v Panonskem in Dunajskem bazenu (do 4 km) in v nekaterih alpskih dolinah, na daljših odsekih, kjer izdanjajo starejše kamnine pa te plasti ni. Zgornji del Zemljine skorje z debelino med 12 in 20 km, kateri ustrezajo predvsem karbonatne ter kisle magmatske in metamorfne kamnine (Kastelic in Gosar, 2004), smo razdelili v dve plasti z relativno majhnim hitrostnim kontrastom. Za zgornjo (drugo) plast je značilna precej spremenljiva debelina (4-14 km) in hitrost (5,6-6,1 km/s), spodnja (tretja) plast pa je debela 5-13 km in ima manj spremenljivo hitrost (6,1-6,3 km/s). Spodnji del Zemljine skorje, ki se začne v globini med 15 in 20 km ter sega do Mohorovičićeve diskontinuitete in v splošnem ustreza bazičnim magmatskim in metamorfnim kamninam, je v modelih zopet ločen na dve plasti. Zgornja (četrta) plast ima hitrost med 6,2 in 6,5 km/s in na severovzhodni polovici profilov Alp06 in Alp07 (na območju Panonskega bazena in prehoda v Dinaride) nalega direktno na Mohorovičićevo diskontinuiteto. Drugod pa je vmes še 7-15 km debela spodnja (peta) plast s hitrostjo 6,7 - 6,9 km/s. V vrhnjem delu Zemljinega plašča (šesta plast), tik pod Mohorovičićevo diskontinuiteto, je hitrost zelo stalna (med 7,9 in 8,1 km/s), z globino pa se nato dokaj monotono povečuje.

V zgornjem delu Zemljine skorje smo ugotovili nekaj večjih hitrostnih anomalij. Visokohitrostna (6,7 km/s) anomalija na območju Istre se ujema s cono visoke hitrosti, ki so jo ugotovili tudi Carulli in sod. (1990) in jo interpretirali kot relativno tog blok skorje, ki se je vrinil v Dinaride. Nizkohitrostna anomalijo (5,7-5,9 km/s) na območju med Celjsko kotlino in Hrvatskim Zagorjem, ki sega do globine 12 km pa lahko povežemo predvsem s potekom Srednjemadžarske tektonske cone (Middle-Hungarian Zone) (Fodor in sod., 1998).

V nadaljevanju bomo obravnavali strukturno karto Mohorovičićeve diskontinuitete (slika 5) za širše območje Slovenije, izdelano na podlagi rezultatov modeliranja z metodo sledenja



žarkov vzdolž profilov Alp01, 02, 05, 06, 07 in 09 in njeno primerjavo s starejšimi podatki (slika 6).

Slika 6. Karti globine do Mohorovičićeve diskontinuitete na območju Slovenije na podlagi predhodnih raziskav (zgoraj) in rezultatov projekta ALP 2002 (spodaj) v perspektivnem pogledu.

Figure 6. Maps of the Mohorovičić discontinuity depth in Slovenia based on previous investigations (top) and on results of ALP 2002 project (bottom) in perspective view.

Glavna novost, ki izhaja iz novih podatkov je, da je prehod med debelejšo skorjo v zahodni Sloveniji, ki je značilna za območje Alp in Dinaridov ter tanjšo skorjo, ki je značilna za Panonski bazen (severovzhodna Slovenija) precej bolj strm kot so kazale prejšnje raziskave (Dragašević in sod., 1990). Na območju vzhodne Sloveniji se v pasu, ki sega v smeri severjug med Kobanskim ter Belo Krajino in Gorjanci globina do Mohorovičićeve diskontinuitete spremeni iz 39 km na 31 km na dolžini le okoli 50 km (slika 5). Najtanjša je skorja po pričakovanjih na skrajnem vzhodnem delu Murske depresije, kjer doseže 27 km. V zahodni Sloveniji kažejo podatki na slabše izražen relief te diskontinuitete, ki se nahaja v globini med 41 in 43 km, kar se glede največje debeline skorje dobro ujema s predhodnimi podatki. Po drugi strani pa so predhodne karte (Dragašević in sod., 1990; Carulli in sod., 1990) predvidevale, da se Mohorovičićeva diskontinuiteta od največje poglobitve pod Zunanjimi Dinaridi in Idrijskim prelomom dokaj strmo dviga proti Jadranskemu morju, kar pa iz rezultatov našega modeliranja ni vidno (slika 6). Predvsem je presenetljivo, da na južnem delu profila Alp01, ki poteka v smeri sever-jug do Labina v Istri, kljub dobri kvaliteti izmerjenih seizmičnih zapisov, ni nobenih indikacij, da bi se Zemljina skorja v tej smeri tanjšala. V primeru profilov Alp05, 06 in 07, ki se na jugozahodu končujejo v strelnih točkah 115 in 116, je to bolj pričakovano, ker se moramo zavedati, da so točke prvih odbojev seizmičnih žarkov od Mohorovičićeve diskontinuitete od njih oddaljene vsaj 40 km in so torej že zelo blizu najglobljemu delu pod Zunanjimi Dinaridi.

Sklep

Ker so prejšnje strukturne karte Mohorovičićeve diskontinuitete na širšem območju Slovenije temeljile na zelo pomanjkljivih geofizikalnih podatkih (prek dela Slovenije je bil izmerjen le en globok seizmični profil) predstavlja nov model Zemljine skorje na stiku Alp, Dinaridov in Panonskega bazena dobro osnovo za različne nadaljnje študije kot so: geodinamika in regionalna tektonika, ocene potresne nevarnosti in ocene potenciala za izkoriščanje geotermalnih virov in ogljikovodikov. Ključna odprta znanstvena vprašanja, ki jih tovrstni podatki lahko osvetlijo, pa so povezana s kompleksno naravo kolizije Evropske in fragmentirane Afriške plošče oziroma Jadranske mikroplošče ter izrivanje Tisa mikroplošče proti vzhodu.

Zahvala

Raziskava je nastala v okviru delovne skupine projekta Alp 2002 (Alp 2002 Working Group), ki jo vodi prof. Ewald Brueckl iz Tehnične univerze na Dunaju (www.alp2002.info). Meritve v Sloveniji so bile izvedene s pomočjo sodelavcev Urada za seizmologijo in geologijo Agencije RS za okolje in Vanje Kastelic iz Naravoslovnotehniške fakultete Univerze v Ljubljani. Podatke profila Alp07 je prispeval prof. Franjo Šumanovac iz Rudarsko-geološkonaftne fakultete Univerze v Zagrebu.

Literatura

- Aljinović, B., Prelogović, E., Skoko, D., 1987. Novi podaci o dubinskoj geološkoj građi i seizmotektonski aktivnim zonama u Jugoslaviji. Geološki vjesnik, 40, 255-263, Zagreb.
- Aric, K., Gutdeutsch, R., Klinger, G., Lenhardt, W., 1987. Seismological studies in the Eastern Alps. In: Fluegel, H.W., Faupl, P. (eds.). Geodynamics of the Eastern Alps, 325-333, Deuticke, Vienna.
- Brueckl, E., Bodoky, T., Hegedüs, E., Hrubcová, P., Gosar, A., Grad, M., Guterch, A., Hajnal, Z., Keller, G. R., Špičák, A., Sumanovac, F., Thybo, H., Weber, F., 2003. ALP 2002 seismic experiment. Stud. geophys. geod., 47/3, 671-679.
- Carulli, G. B., Nicolich, R., Rebez, A., Slejko, D., 1990. Seismotectonics of the NW External Dinarides. Tectonophysics, 179, 11-25.
- Červeny, V., Pšenčik, I., 1983. SEIS83 numerical modelling of seismic wave fields in 2-D laterally varying layered structure by the ray method. World data center, Boulder.
- Dragašević, T., Andrić, B., Joksović, P., 1990. Strukturna karta Mohorovičićevog diskuntinuiteta Jugoslavije sa tumačem, 1: 500 000. Zvezni geološki zavod, 46 str., Beograd.
- Decker, K., Lillie, B., Tomek, C., (eds) 1998. PANCARDI The lithosphere structure and evolution of the Pannonian/Carpathian/Dinarides region. Tectonophysics (special issue), 297/1-4.
- Dezes, P., Ziegler, P. A., 2001. European map of the Mohorovičić discontinuity. 2nd EUCOR-URGENT workshop (Upper Rhine graben evolution and neotectonics), Mt. St. Odile.

- Fodor L., Jelen B., Marton E., Skaberne D., Car J., Vrabec M., 1998. Miocene-Pliocene tectonic evolution of the Slovenian Periadriatic line and surrounding area - implication for Alpine-Carpathian extrusion models. Tectonics 17, 690-709.
- Gosar, A., 2003. Raziskave litosfere jugovzhodnih Alp s 3D refrakcijsko seizmiko (projekt Alp 2002) meritve v Sloveniji. Geologija 46/1, 103-113.
- Grad, M., Špičák, A., Keller, G.R, Guterch, A., Brož, M., Hegedüs, T., 2003. SUDETES 2003 seismic experiment. Stud. geophys. geod., 47/3, 681-689.
- Guterch, A., Grad, M., Thybo, H., Keller, G. R., 1999. POLONAISE'97 an international seismic experiment between Precambrian and Variscan Europe in Poland. Tectonophysics, 314, 101-121.
- Guterch, A., Grad, M., Keller, G. R., Posgay, K., Vozar, J., Špičák, A., Brückl, E., Hajnal, Z., Thybo, H., Selvi O., 2003. CELEBRATION 2000 seismic experiment. Stud. geophys. geod., 47/3, 659-669.
- Guterch, A., Grad, M., Keller, G. R., POLONAISE'97, CELEBRATION 2000, ALP 2002, SUDETES 2003 Working Groups, 2004. Huge contrast of the lithospheric structure revelad by new generation seismic experiments in Central Europe. Przeglad Geologiczny, 52/8, 753-760, Polish Geological Survey, Warszawa.
- Hole, J. A., 1992. Nonlinear high-resolution three-dimensional seismic travel time tomography. Journal of Geophysical Research, 97, 6553-6562.
- Joksović, P., Andrić, B., 1983. Ispitivanje građe zemljine kore metodom dubokog seizmičkog sondiranja na profilu Pula-Maribor. Tipkano poročilo, Geofizika Zagreb, 14 str., arhiv GeoZS, Ljubljana.
- Kastelic, V., 2003. Refrakcijske seizmične raziskave litosfere na območju jugovzhodnih Alp. Diplomsko delo, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo, 126 str.
- Kastelic, V., Gosar, A., 2004. Seizmične refrakcijske raziskave litosfere na profilu Alp02 projekta Alp2002. Potresi v letu 2002, 71-84. Agencija RS za okolje, Ljubljana.
- Komminaho, K., 1997. Software manual for programs MODEL and XRAYS s graphic interface for SEIS program package. University of Oulu, rep. no. 20, 31 pp.
- Scarascia, S., Cassinis, R., 1997. Crustal structures in the central-eastern Alpine sector: a revision of available DSS data. Tectonophysics, 271, 157-188.
- Sheriff, R. E., 1991. Encyclopedic dictionary of exploration geophysics. Society of Exploration Geophysicists, 376 pp, Tulsa.
- Skoko, D., Prelogović, E., Aljinović, D., 1987. Geological structure of the Earth's crust above the Moho discontinuity in Yugoslavia. Geophysical Journal of the Royal Astronomical Society, 89/1, 379-382.
- Thybo, H., Pharaoh, T., Guterch, A., (eds.) 1999. Geophysical investigations of the Trans-European suture zone. Tectonophysics (special issue), 314/1-3, 350 pp.
- Zelt, C., Smith, R. B., 1992. Seismic traveltime inversion for 2-D crustal velocity structure. Geophys. J. Int., 108, 16-34.
- Zelt, C., Ellis, R. M., Clowes, R. M., Hole, J. A., 1996. Invrsion of three-dimensional wide-angle seismic data from the southwestern Canadian Cordillera. J. Geophy. Research, 101/B4, 8503-8529.

www.alp2002.info

MOČNEJŠI POTRESI PO SVETU LETA 2003 WORLD'S LARGEST EARTHQUAKES IN 2003

Tamara Jesenko, Renato Vidrih

Izvleček. Vsako leto zatrese Zemljo več stotisoč potresov, ki presegajo magnitudo 2,0 (Dolgoff, 1998) in katerih žarišča so razporejena predvsem na stikih večjih geotektonskih plošč. Potresno najdejavnejši območji sta obtihooceanski in sredozemsko-himalajski pas, ki vključuje tudi naše kraje. Večina potresov je šibkih, ne povzročajo gmotne škode in ne zahtevajo človeških življenj, med njimi pa je vsako leto nekaj deset takih, ki povzročijo veliko razdejanje in zahtevajo smrtne žrtve. Med 85 potresi, ki so v letu 2003 dosegli ali presegli magnitudo 6,5 oziroma povzročili večjo gmotno škodo ter zahtevali človeška življenja, smo natančneje opisali 42 potresov. Potres z največ smrtnimi žrtvami je bil 26. decembra v jugovzhodnem Iranu. V njem je umrlo najmanj 41 000 ljudi. Potres 21. maja v severni Alžiriji je zahteval vsaj 2280 žrtev. Največ energije se je sprostilo pri potresu 25. septembra blizu japonskega otoka Hokaido. Imel je navorno magnitudo 8,3, a ni zahteval človeških življenj. Najgloblji potres v letu 2003 je bil 26. maja blizu otoka Mindanao, Filipini, in je imel žarišče v globini 566 km. Potres z zelo globokim žariščem (558 km) je nastal tudi 20. junija v pokrajini Amazonas v Braziliji. Potresi v letu 2003 so zahtevali vsaj 43 819 žrtev.

Abstract. Every year the Earth is shaken by several hundred thousand earthquakes with magnitudes larger than 2.0 (Dolgoff, 1998), mostly originating at the geotectonic plate boundaries. Two well-defined seismic belts, the circum-Pacific and the Mediterranean-Himalayan belts, are subject to the most frequent earthquake shocks. The latter also includes the region of Slovenia. Most earthquakes are weak 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 deaths. There were 85 earthquakes in year 2003 that either reached a magnitude of 6.5 or larger, caused minor or major material damage, or even claimed human lives. 42 of them are mentioned. The most devastating earthquake in 2003 happened on 26 December in suotheastern Iran, where at least 41000 people were killed. Earthquake that occurred on 21 May in northern Algeria claimed 2280 human lives. The 25 September earthquake near Hokkaido Island, Japan, ranks first in terms of released energy, with a moment magnitudes of 8.3. The deepest earthquake happened on 26 May near Mindanao, Philippines, with a hypocentre 566 km below the surface. Another very deep earthquake (558 km below the surface) happened on 20 June in Amazonas, Brasilia. In 2003, earthquakes claimed more than 43819 human lives.

Potresi in tektonika plošč

Zemljina litosfera je sestavljena iz nekaj večjih in več manjših tektonskih plošč. Najpomembnejše plošče so Pacifiška (Tihooceanska), Severno- in Južnoameriška, Evrazijska, Afriška, Avstralska in Antarktična. Za svetovno potresno dejavnost so pomembne tudi številne manjše plošče. Tektonske plošče so v stalnem, sicer počasnem gibanju. Med seboj se lahko premikajo (primične ali konvergentne meje), razmikajo (razmične ali divergentne meje) ali drsijo druga ob drugi (strižne meje plošč). Severnoameriška in Južnoameriška plošča se oddaljujeta od Evrazijske in Afriške plošče. Loči ju razmična meja, ki se kaže v srednjeatlantskem grebenu, za katerega je značilna povečana potresna dejavnost. Na nasprotni strani pa Evrazijska plošča tišči v Severnoameriško in drsi prek Filipinske, pod katero se podriva Pacifiška plošča. Ta se podriva pod več manjših plošč, ki ležijo med Severnoameriško in Filipinsko ploščo. Tu je podrivanje najhitrejše na Zemlji in znaša več kot 100 mm/leto. Na območju Kalifornije drsita Pacifiška in Severnoameriška plošča druga ob drugi (znana so številna potresna žarišča). Med Pacifiško in Južnoameriško ploščo je vrinjena plošča Nazca.



Slika 1. Porazdelitev najmočnejših potresov v letu 2003 na Zemlji, njihove globine in magnitude; velikost krožcev kaže potresno magnitudo, barva pa žariščno globino (NEIC, 2003). Narisane so tudi glavne tektonske plošče.

Figure 1. Distribution of the most powerful earthquakes in 2003, their depths and magnitudes. The size of the circle indicates the magnitude and the colour designates the focal depth (NEIC, 2003). 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 2003 so medsebojna premikanja plošč povzročila veliko potresov od Sredozemskega morja do Tihega oceana. Slika 1 kaže povezanost tektonike plošč s potresno dejavnostjo, saj so vsi močnejši potresi nastali na stikih tektonskih plošč. Narisani so le močnejši svetovni potresi. Če bi narisali nadžarišča (epicentre) vseh potresov, bi še bolje videli, da potresi nastajajo na mejah med posameznimi ploščami. Pravzaprav je prav porazdelitev potresov razkrila meje oz. stičišča med ploščami.

Pregled najmočnejših potresov

V preglednici 1 so podatki o najmočnejših potresih v letu 2003 (NEIC, 2003, ARSO, Urad za seizmologijo, 2003). Našteti so le tisti, ki so dosegli ali presegli navorno magnitudo 6,5, in tisti, ki so povzročili večjo gmotno škodo ali zahtevali človeška življenja. Vrednosti za Mb in Ms so srednje vrednosti določene iz podatkov, ki so jih posredovale potresne opazovalnice, ki so potres zapisale. Magnitude Mb, Ms in Mw se med seboj razlikujejo po območju veljavnosti, ki ga omejujejo oddaljenost in globina žarišča ter nihajni čas pri največji amplitudi. Magnituda Mb (angl. body wave magnitude) je določena iz največjega odklona na zapisu navpične komponente telesnega valovanja v prvih 20 sekundah po prihodu vzdolžnega telesnega valovanja. Magnituda Ms (angl. surface wave magnitude) je določena iz navpične komponente dolgoperiodnega površinskega valovanja. To se razvije pri potresih, katerih žarišče ni bilo globlje od približno 50 km. Mw je navorna magnituda, ki velja tudi za najmočnejše potrese in je določena s potresnim navorom. Globina potresov je izražena v kilometrih, preglednica pa je zaključena z imenom širšega nadžariščnega območja potresa. Svet je namreč razdeljen na 729 Flinn-Engdahlovih geometrijskih območij.



Slika 2. Porazdelitev najmočnejših potresov leta 2003 v sredozemsko-himalajskem potresnem pasu, ki je za obtihomorskim drugo najdejavnejše potresno območje na Zemlji.
 Figure 2. Distribution of the most powerful earthquakes in 2003 in the Mediterranean-Himalayan belt, which is, after the circum-Pacific belt, subject to the most frequent earthquake shocks.

Preglednica 1. Seznam potresov v letu 2003, katerih magnituda je bila enaka ali večja od 6,5; dodani so potresi, katerih magnituda je sicer manjša, a so povzročili gmotno škodo, ranjene ali smrtne žrtve; z zvezdico so označeni potresi, ki so opisani v besedilu.

Table 1. List of earthquakes in 2003 with magnitudes of 6.5 and over. Earthquakes with magnitudes below 6.5 that caused material damage, injuries or victims are included. The earthquakes described in the text are marked with asteriks.

•	čas (UTC)	koor	magnituda			globina		
datum	ura min sek	širina	dolžina	Mb	Ms	Mw	km	obmocje
date	time (UTC)	coordinates		magnitude			depth	
	hour min sec	lat	lon	Mb	Ms	Mw	km	area
4.1.	05:15:03,8	20,57 S	177.66 W	6,0		6,5	378	otočje Fidži
10.1.	13:11:56,9	5,31 S	153.70 E	5,9		6,7	72	Nova Irska, Papua Nova Gvineja
11.1.	17:45:30,6	29,59 N	51,47 E	5,2	5,2		33	južni Iran*
20.1.	08:43:06,0	10,49 S	160,77 E	6,7	7,8	7,3	33	Salomonovo otočje
21.1.	02:46:47,7	13,62 N	90,77 W	5,5	6,3	6,5	24	blizu obale Gvatemale*
22.1.	02:06:34,6	18,77 N	104,10 W	6,5	7,6	7,6	24	blizu obale Colime, Mehika*
23.1.	00:08:22,8	8,81 S	118,52 E	5,3	5,1		33	Sumbawa, Indonezija*
27.1.	05:26:23,0	39,49 N	39,85 E	5,5	6,0	6,1	10	Turčija*
27.1.	17:56:25,8	46,05 S	35,06 E	5,6	6,3	6,5	10	otoki Princa Edwarda
19.2.	03:32:36,3	53,65 N	164,64 W	5,8	6,6	6,6	19	otok Unimak, Aljaska
24.2.	02:03:41,4	39,61 N	77,23 E	5,8	6,3	6,4	11	južni Sinjiang, Kitajska*
25.2.	03:52:41,0	39,48 N	77,39 E	5,1	5,3		10	južni Sinjiang, Kitajska
11.3.	07:27:32,6	4,69 S	153,24 E	6,0	6,8	6,8	40	Nova Irska, Papua Nova Gvineja
17.3.	16:36:17,3	51,27 N	177,98 E	5,9	6,7	7,0	33	otočje Rat, Aleuti
25.3.	02:53:25,0	8,29 S	120,74 E	6,2	6,1	6,5	33	otok Flores, Indonezija*
29.3.	11:46:48,9	35,97 N	70,59 E	5,9		5,9	114	Hindukuš, Afganistan*
10.4.	00:40:15,1	38,22 N	26,96 E	5,3	5,6	5,7	10	blizu obale zahodne Turčije*
11.4.	09:26:56,1	44,82 N	8,83 E	5,0			10	severna Italija*
17.4.	14:50:48,5	54,62 S	1,43 E	5,7	6,0	6,5	10	otočje Bouvet
1.5.	00:27:04,7	39,01 N	40,46 E	5,7	6,4	6,4	10	vzhodna Turčija*
4.5.	13:15:18,6	30,53 S	178,23 W	6,0	6,5	6,7	62	otočje Kermadec, Nova Zelandija
4.5.	15:44:35,5	39,43 N	77,22 E	5,0	5,6	5,8	10	južni Sinjiang, Kitajska*
11.5.	15:57:06,5	35,80 N	139,90 E	5,1			67	blizu južne obale Honšuja, Japonska*
14.5.	06:03:35,8	18,27 N	58,63 W	6,5	6,5	6,6	42	severni Atlantski ocean
21.5.	18:44:20,1	36,96 N	3,63 E	6,6	6,9	6,8	12	severna Alžirija*

datum	čas (UTC)	koordinati		magnituda			globina	
	ura min sek	širina	dolžina	Mb	Ms	Mw	km	obmocje
dete	time (UTC)	coordinates		magnitude			depth	
date	hour min sec	lat	lon	Mb	Ms	Mw	km	area
26.5.	09:24:33,4	38,85 N	141,57 E	6,7		7,0	68	blizu južne obale Honšuja, Japonska*
26.5.	19:23:27,9	2,35 N	128,86 E	6,5	7,0	7,0	31	Halmahera, Indonezija*
26.5.	23:13:29,7	6,76 N	123,71 E	6,2		6,8	566	Mindanao, Filipini
27.5.	17:11:28,8	36,93 N	3,58 E	5,5	5,5	5,8	8	severna Alžirija
7.6.	00:32:45,5	5,10 S	152,50 E	6,0	6,8	6,6	33	Nova Britanija, Papua Nova Gvineja
15.6.	19:24:33,1	51,55 N	176,92 E	6,0	6,5	6,5	20	otočje Rat, Aleuti
16.6.	22:08:02,1	55,49 N	159,99 E	6,3		6,9	175	Kamčatka
20.6.	06:19:38,9	7,61 S	71,72 W	6,4		7,1	558	Amazonas, Brazilija
20.6.	13:30:41,6	30,61 S	71,64 W	6,4	6,8	6,8	33	blizu obale Čila
23.6.	12:12:36,5	51,58 N	176.67 E	6,2	6,9	6,9	39	otočje Rat, Aleuti
24.6.	13:01:32,8	32,93 N	49,48 E	4,7			33	zahodni Iran*
6.7.	19:10:27,2	40,46 N	26,01 E			5,7	10	zahodna Turčija
10.7.	17:06:37,4	28,36 N	54,17 E	5,9	5,5	5,7	10	južni Iran*
13.7.	01:48:22,0	38,30 N	38,93 E			5,6	10	vzhodna Turčija
15.7.	18:46:38,1	3,83 S	152,17 E	5,9	6,5	6,5	33	Nova Irska, Papua Nova Gvineja
15.7.	20:27:50,5	2,60 S	68,38 E	6,1	7,6	7,6	10	Carlsbergov hrbet
21.7.	15:16:31,9	25,98 N	101,29 E	5,4	6,0	6,0	10	Junan, Kitajska*
25.7.	15:13:07,7	38,43 N	141,00 E	5,6	4,9	5,5	33	vzhodni Honšu, Japonska*
25.7.	22:13:29,9	38,41 N	140,99 E	6,0	5,8	6,1	6	vzhodni Honšu, Japonska
26.7.	08:36:49,1	38,02 N	28,93 E	5,0	5,2	5,4	10	zahodna Turčija*
26.7.	23:18:17,9	22,85 N	92,31 E	5,5	5,5	5,6	10	meja Indija-Bangladeš*
27.7.	02:04:11,5	21.08 S	176,59 W	5,9		6,6	213	otočje Fidži
27.7.	06:25:31,9	47,15 N	139,25 E	6,3		6,8	470	Primorye, Rusija
4.8.	04:37:20,1	60,53 S	43,41 W	6,2	7,5	7,5	10	Škotsko morje
14.8.	05:14:54,7	39,16 N	20,61 E	5,6	6,2	6,3	10	Grčija*
16.8.	10:58:42,7	43,77 N	119,64 E	5,5	5,1	5,4	24	vzhodna Avt. Pokrajina Notr. Mongolija, Kitajska*
21.8.	12:12:49,7	45,10 S	167,14 E	6,6	7,5	7,2	28	Južni otok, Nova Zelandija*
14.9.	21:42:51,8	44,33 N	11,45 E	5,1	5,2		10	severna Italija*
20.9.	03:54:50,7	35,00 N	140,17 E	5,4		5,7	52	blizu obale Honšuja, Japonska*
21.9.	18:16:13,4	19,92 N	95,67 E	6,1	6,9	6,6	10	Mjanmar*

datum	čas (UTC)	koordinati		magnituda			globina	
	ura min sek	širina	dolžina	Mb	Ms	Mw	km	obmocje
date	time (UTC)	coordinates		magnitude			depth	
	hour min sec	lat	lon	Mb	Ms	Mw	km	area
22.9.	04:45:36,2	19,78 N	70.67 W	6,2	6,6	6,5	10	Dominikanska republika*
25.9.	19:50:06,2	41,82 N	143,91 E	6,9	8,1	8,3	27	Hokaido, Japonska*
25.9.	21:08:00,0	41,77 N	143,59 E	6,4	7,4	7,4	33	Hokaido, Japonska
27.9.	11:33:25,0	50,04 N	87,81 E	6,5	7,5	7,3	16	jugozahodna Sibirija, Rusija*
29.9.	02:36:53,1	42,45 N	144,38 E	6,1	6,3	6,5	25	Hokaido, Japonska
1.10.	01:03:25,2	50,21 N	81,72 E	6,3	7,1	6,7	10	jugozahodna Sibirija, Rusija
8.10.	09:06:55,3	42,65 N	144,57 E	6,0	6,6	6,7	32	Hokaido, Japonska
16.10.	12:28:09,0	25,95 N	101,25 E	5,2	5,6	5,6	33	Junan, Kitajska*
25.10.	12:41:35,2	38,40 N	100,95 E	5,8	5,7	5,8	10	meja Gansu-Quinghai, Kitajska*
31.10.	01:06:28,2	37,81 N	142,62 E	6,1	6,8	7,0	10	vzhodno od obale Honšuja, Japonska
6.11.	10:38:04,2	19,26 S	168,89 E	6,0		6,6	114	otočje Vanuatu
9.11.	19:52:36,8	0,67 S	19,69 W	5,5	6,0	6,6	10	Srednjeatlantski hrbet
13.11.	02:35:10,3	34,72 N	103,85 E	5,1	5,1		10	Gansu, Kitajska*
14.11.	18:49:46,5	27,37 N	103,97 E	5,0			33	Sečuan-Junan-Guizhou, Kitajska*
17.11.	06:43:06,7	51,13 N	178,65 E	6,2	7,2	7,8	33	otočje Rat, Aleuti, Aljaska
17.11.	17:14:22,7	12,04 N	125,43 E	6,0	6,5	6,5	35	Samar, Filipini*
25.11.	20:19:46,2	5,54 S	150,84 E	6,1	6,4	6,6	33	Nova Britanija, Papua Nova Gvineja
26.11.	13:38:57,8	27,25 N	103,74 E	4,6			33	Sečuan-Junan-Guizhou, Kitajska
1.12.	01:38:32,0	42,87 N	80,54 E	5,9	5,9	6,0	10	meja Kazahstan - Sinjiang*
5.12.	21:26:09,3	55,50 N	165,76 E	6,2	6,5	6,7	10	Komandorskie ostrova, Rusija
10.12.	04:38:11,4	23,02 N	121,31 E	6,0	6,7	6,8	10	Tajvan*
11.12.	16:28:17,7	32,02 N	49,31 E	5,0			33	zahodni Iran*
21.12.	07:40:46,1	0,70 S	20,59 W	5,6	5,8	6,6	10	osrednji Srednjeatlantski hrbet
22.12.	19:55:56,0	35,71 N	121,10 W	6,0	6,4	6,5	8	osrednja Kalifornija*
25.12.	07:11:11,3	8,41 N	82,82 W	6,1	6,4	6,5	33	meja Panama – Kostarika*
25.12.	20:42:33,6	22,27 S	169,49 E	6,3	6,3	6,5	10	jugovzhodno od otočja Loyality
26.12.	01:56:52,3	29,00 N	58,32 E	6,0	6,8	6,6	10	jugovzhodni Iran*
26.12.	21:26:03,8	22,32 S	169,29 E	6,2	6,8	6,8	10	jugovzhodno od otočja Loyality
27.12.	16:00:59,4	22,03 S	169,65 E	6,1	7,1	7,3	10	jugovzhodno od otočja Loyality

Potres 11. januarja (južni Iran). Nekaj ljudi je bilo ranjenih. Na območju Kazeruna in Nurabada je bilo uničenih vsaj 650 hiš.

Potres 21. januarja (blizu obale Gvatemale). V mestu Escuintla je ena oseba umrla zaradi srčne kapi. Potres so čutili po vsej Gvatemali, še posebej močno v mestih Coban, Coatepeque, Guatemala, Qeuzaltenango, San Marcos in Sololá. Potres so čutili tudi v Salvadorju, Hondurasu in južni Mehiki.

Potres 22. januarja (blizu obale Colime, Mehika). Potres je zahteval vsaj 29 žrtev, 300 oseb je bilo ranjenih, okoli 100 000 pa jih je ostalo brez strehe nad glavo. Največ žrtev in poškodb je bilo na območju Colime, nekaj pa tudi na območjih Jalisca in Michocana. Nekaj zgradb je bilo poškodovanih tudi na območjih Guanajuata in Morelosa. Potres so močno čutili tudi v nekaterih predelih mehiške prestolnice. Čutili so ga v osrednji in jugozahodni Mehiki. Zemeljski plazovi so prekinili cestno povezavo med Colimo in Guadalajaro. V pristanišču Manzanillo so zabeležili tsunami z najvišjo višino valov 1m.

Potres 23. januarja (Sumbawa, Indonezija). Na območju mesta Dompu na otoku Sumbawa sta bili ranjeni vsaj dve osebi. Poškodovanih je bilo okoli 500 zgradb.

Potres 27. januarja (Turčija). Na območju Pülümürja je umrla ena oseba, nekaj jih je bilo ranjenih. Potres je povzročil tudi nekaj škode.

Potres 24. februarja (južni Sinjiang, Kitajska). Potres je zahteval 263 žrtev. Vsaj 4000 ljudi je bilo ranjenih. Na območju Bachuja je povzročil veliko gmotne škode. Zrušilo se je 71 000 zgradb, še vsaj 40 119 pa jih je bilo poškodovanih. Poginilo je tudi okoli 38 259 glav živine. Potres so čutili tudi v Alma-ati, Kazahstan. Popotres 25. februarja na istem območju je poleg dodatne škode zahteval še vsaj 5 življenj.

Potres 25. marca (otok Flores, Indonezija). V potresu so umrle vsaj štiri osebe, 15 jih je bilo ranjenih. Na območju mesta Reo je nastalo veliko škode in se sprožilo nekaj zemeljskih plazov. Potres so čutili v mestih Ruteng, Ende, Maumere, Waingapu in Masakar.

Potres 29. marca (Hindukuš, Afganistan). Potres je zahteval vsaj eno žrtev, nekaj je bilo ranjenih. Na območju Bajaurja, Pakistan, je potres povzročil nekaj škode. Potres so v Pakistanu čutili še v Chitralu, Islamabadu in Pešavarju. Čutili so ga tudi v Kabulu in drugih delih Afganistana ter v Dushanbeju, Tadžikistan.

Potres 10. aprila (blizu obale zahodne Turčije). Na območju mesta Izmir je bilo ranjenih vsaj 90 oseb. Nekaj je bilo tudi gmotne škode. V Seferihisarju se je porušilo nekaj zgradb. Potres so močno čutili na območju Izmir-Seferihisar-Urla.

Potres 11. aprila (severna Italija). Na območju Torina sta bili ranjeni vsaj dve osebi. Potres so čutili na območju Genove, Milana in Torina, pa tudi v Nici, Francija.

Potres 1. maja (vzhodna Turčija). Potres je zahteval vsaj 177 življenj na območju mesta Bingol, od tega je 85 otrok in njihovih učiteljev ostalo ujetih pod ruševinami internata šole v vasi Celtiksuyu. Še vsaj 521 oseb je bilo ranjenih. Uničenih je bilo 718 zgradb, 2 593 jih je bilo poškodovanih. Poginilo je tudi okoli 1 600 glav živine.



Slika 3. Potres v Alžiriji:detajl mehkega pritličja. Vzrok za porušitev je podajna in šibka etaža pri togem zgornjem delu zgradbe. (foto: R. Vidrih).
 Figure 3. Algeria earthquake: a detail of a soft ground floor. The building collapsed due to the combination of flexible and weak storeys with stiff upper parts of buildings (photo: R. Vidrih).



Slika 4. Potres v Alžiriji: pogled v notranjost poškodovanega objekta (porušene predelne stene, lom stebrov v vozliščih). Prečke so močnejše od stebrov, kar vodi v nevarne poškodbe stebrov. Konstrukcije, kjer pride do plastifikacije prečk, so varnejše od tistih, kjer pride do plastifikacije stebrov (foto: R. Vidrih).

Figure 4. Algeria earthquake: interior of a collapsed building (collapsed partition walls, joint column braking). Columns were severely damaged because transoms were stronger than columns. Constructions in which movements cause plasticized transoms are safer than constructions in which movements cause plasticized columns (photo: R. Vidrih).

Potres 4. maja (južni Sinjiang, Kitajska). Zaradi srčne kapi je ena oseba umrla, tri so bile ranjene. Na območju Yopurge je bilo uničenih 1600 in poškodovanih več tisoč zgradb. Poginilo je tudi okoli 1000 glav živine.

Potres 11. maja (blizu južne obale Honšuja, Japonska). Na območju Tokia so bile ranjene vsaj tri osebe. Potres so čutili v mestih Chiba, Gumma, Ibaraki, Kanagawa, Shizuoka in Tokio.

Potres 21. maja (severna Alžirija). Vsaj 2280 oseb je v potresu izgubilo življenje, še vsaj 10 260 je bilo ranjenih. 150 000 oseb je ostalo brez strehe nad glavo. Potres je povzročil veliko škode na območju Alžir-Bourmerdes-Thenia. Uničenih ali močno poškodovanih je bilo vsaj 182 000 stanovanjskih enot. Poškodovana je bila tudi podvodna telekomunikacijska napeljava. Cunami z največjo višino valov 2 m, ki je poškodoval ladje pri Balearih, so opazili tudi ob obali Alacanta, Castellona in Murcie, Španija. Potres so čutili tudi na Balearih, v Albacetu, Alcantarilli, Alacantu, Barceloni, Cartageni, Castellonu, Aldi, Molini de Segura, Murcii in Saguntu, Španija. Čutili so ga tudi v Monaku. Popotres 27. maja na istem območju je zahteval še 9 žrtev, 200 je bilo ranjenih.

Potres 26. maja (blizu južne obale Honšuja, Japonska). Vsaj 143 oseb je bilo ranjenih. Poškodovanih je bilo vsaj 720 zgradb in nekaj cest. Zaradi potresa je izbruhnilo vsaj 5 požarov, sprožilo pa se je tudi nekaj zemeljskih plazov. Potres so čutili po vsej severni Japonski, na jugu pa vse do mesta Namazu.

Potres 16. maja (Halmahera, Indonezija). Na območju Berebera na otoku Morotai je ena oseba izgubila življenje, sedem je bilo ranjenih. 28 hiš se je porušilo, še 20 pa jih je bilo poškodovanih. Potres so čutili tudi v Manadu, Sulavezi.

Potres 24. junija (zahodni Iran). Vsaj ena oseba je izgubila življenje. Na območju Aliqudarza je zemeljski plaz zasul 85 glav živine.

Potres 10. julija (južni Iran). V potresu je ena oseba izgubila življenje, 25 jih je bilo ranjenih. Na jugu province Fars je bilo poškodovanih vsaj 3500 zgradb.

Potres 21. julija (Junan, Kitajska). Potres je zahteval vsaj 16 življenj, 584 oseb je bilo ranjenih. Zrušilo se je 264 878 zgradb. Poškodovanih je bilo še 1 186 000 hiš in ena elektrarna. Poginilo je vsaj 1 500 glav živine. Sprožilo se je tudi nekaj zemeljskih plazov.

Potres 25. julija (vzhodni Honšu, Japonska). V potresih, ki so konec julija stresli vzhodni Honšu, je bilo ranjenih vsaj 569 ljudi. Sprožilo se je nekaj zemeljskih plazov. Na območju Miyaka so bile poškodovane zgradbe (vsaj 1025) in infrastruktura. Blizu Ishinomeka je iztiril vlak. Prvi močan potresni sunek (Mw=5,5) je stresel vzhodni Honšu ob 15:13 UTC, glavni potresni sunek z navorno magnitudo 6,1 pa je nastal ob 22 uri in 13 minut po UTC. Sledilo mu je še več popotresov. Najmočnejša sta bila 26. julija ob 01:22 UTC in ob 07:56 UTC (Mw=5,2).

Potres 26. julija (zahodna Turčija). Na območju mesta Buldan je bilo 10 oseb ranjenih. Več hiš je bilo poškodovanih. Potres so čutili vse do Izmirja.

Potres 26. julija (meja Indija - Bangladeš). Dve osebi sta v potresu izgubili življenje, 25 je bilo ranjenih. Na območju Chittagong-Ramagati je bilo poškodovanih vsaj 500 zgradb, med

drugim tudi vladna palača. Potres so čutili tudi v Dhaki, Bangladeš. Potresu je sledilo še nekaj popotresov. Najmočnejši je bil 27. julija ob 12:07 UTC (Mb= 5,2).

Potres 8. avgusta (Grčija). Vsaj 50 oseb je bilo ranjenih. Na otoku Lefkada je potres povzročil nekaj poškodb, sprožilo se je nekaj zemeljskih plazov. Potres so čutili na Krfu, Kafeloniji in Zakintosu ter tudi v Atenah, Makedoniji in južni Italiji.

Potres 16. avgusta (vzhodna Avt. pokrajina Notranja Mongolija, Kitajska). Vsaj štiri osebe so izgubile življenje, več kot 1000 je bilo ranjenih. Na območju Lindong-Tianshan je bilo uničenih 7900 hiš in še vsaj 83 000 je bilo poškodovanih. Potres so čutili tudi v Pekingu.

Potres 21. avgusta (Južni otok, Nova Zelandija). Potres je povzročil manjšo škodo na polotoku Otagu ter mestih Dunedin, Invercagil in Te Anau. V epicentralnem območju so bile prekinjene telefonske in električne povezave. Veliko zemeljskih in skalnih plazov se je sprožilo v nacionalnem parku Fiordland. Na zahodni obali otoka se je pojavil cunami z največjo višino valov 0,6 metra.

Potres 14. septembra (severna Italija). Na območju Loiano-Monghidoro-Monzuno je bilo poškodovanih vsaj 10 hiš. Nekaj ljudi je bilo lažje ranjenih. Potres so čutili v centralni in severni Italiji, kot tudi v Beljaku, Avstrija ter osrednji in zahodni Sloveniji.

Potres 20. septembra (blizu obale Honšuja, Japonska). Vsaj 7 ljudi je bilo ranjenih in vsaj nekaj zgradb v Tokiu je bilo poškodovanih.

Potres 21. septembra (Mjanmar). V Taungdwingyu so bili poškodovani trije templji, en most in še nekaj drugih objektov. Manjše razpoke so opazili na nekaterih zgradbah v Bangkoku, Tajska.

Potres 22. septembra (Dominikanska republika). V Puerto Plati je ena oseba izgubila življenje, vsaj 15 jih je bilo ranjenih. V San Francisco de Macoris sta zaradi srčnega napada umrli še dve osebi. Veliko zgradb je bilo porušenih. Potres so čutili tudi v zahodnem delu Portorika in na Haitiju.

Potres 25. septembra (Hokaido, Japonska). Najmočnejši izmed serije potresov, ki so septembra prizadeli Hokaido. V potresih je bilo ranjenih vsaj 755 oseb. Na jugovzhodnem delu Hokaida so potresi povzročili ogromno gmotne škode. Vzdolž jugovzhodne obale Hokaida se je pojavil cunami z višino valov 4 metre. Potres so čutili tudi v Tokiu, Japonska. Močnejši popotresi, ki so mu sledili so se zgodili 25. septembra ob 21:08 UTC (Mw=7,4), 28. septembra ob 04:17 UTC (Mw=5,5), 29. septembra ob 02:36 UTC (Mw=6,5) in 8. oktobra ob 09:06 UTC (Mw=6,7).

Potres 27. septembra (jugozahodna Sibirija, Rusija). Vsaj 5 oseb je bilo v potresu ranjenih. 1800 jih je ostalo brez strehe nad glavo. 300 hiš je bilo popolnoma uničenih, še 1942 jih je bilo poškodovanih. Na območju Kosh-Agach in Ust-Ulagan je bila poškodovana infrastruktura ter se je sprožilo nekaj zemeljskih plazov. Potres so čutili tudi v Kazahstanu. Potresu je sledil močnejši popotres 1. oktobra ob 01:03 UTC (Mw=6,7).

Potres 16. oktobra (Junan, Kitajska). Vsaj tri osebe so v potresu izgubile življenje, 32 jih je bilo ranjenih. Na območju mesta Dayao je bilo poškodovanih ali uničenih vsaj 12000 zgradb. Potres so čutili tudi v Yaoanu, Yongrenu in Yuanmouju.

Potres 25. oktobra (meja Gansu - Quinghai, Japonska). V potresu in popotresu ob 12:47 UTC istega dne (Mw=5,8) je izgubilo življenje vsaj 9 oseb, več kot 43 je bilo ranjenih. Na tisoče ljudi je ostalo brez strehe nad glavo. Potres je uničil 10 000 in poškodoval 45 000 hiš. Poginilo je tudi okoli 16 000 glav živine.

Potres 13. novembra (Gansu, Kitajska). Vsaj ena oseba je v potresu izgubila življenje, 30 je bilo ranjenih. Vsaj 10 hiš je bilo uničenih, še veliko pa jih je bilo poškodovanih.

Potres 14. novembra (Sečuan – Junan - Guizhou, Kitajska). Potres je zahteval vsaj 4 življenja, 65 ljudi je bilo ranjenih. Na območju Ludiana in Zhaotonga je bilo uničenih vsaj 600 hiš in poškodovanih še vsaj 98 000 zgradb. V popotresu 26. novembra na istem območju so bile ranjene štiri osebe. Veliko zgradb je bilo poškodovanih.

Potres 17. novembra (Samar, Filipini). Ena oseba je izgubila življenje, 21 je bilo ranjenih. V Can-Avidu se je porušila šolska zgradba. Sprožilo se je nekaj zemeljskih plazov. Potres so čutili tudi na Mindanau.

Potres 1. decembra (meja Kazahstan - Sinjiang). V potresu je umrlo vsaj 11 ljudi, 47 je bilo ranjenih. Na območju Sinjianga je bilo uničenih 769 hiš, še veliko pa jih je bilo poškodovanih. Potres so močno čutili v jugovzhodnem Kazahstanu, pa tudi glavnem mestu Kirgizije, Biškeku.

Potres 10. decembra (Tajvan). Veliko zgradb in mostov je bilo poškodovanih. Na območju pokrajine T'ai-tung se je sprožilo nekaj zemeljskih plazov.

Potres 11. decembra (zahodni Iran). V Masged-e Soleimanu je bilo v potresu ranjenih pet oseb. Zrušili sta se dve hiši, 142 jih je bilo poškodovanih.

Potres 22. decembra (osrednja Kalifornija). Dve osebi sta v potresu izgubili življenje, vsaj 40 jih je bilo ranjenih. V mestu Paso Robles se je zrušilo okoli 40 zgradb, veliko jih je bilo poškodovanih. Zaradi razpok na pristajalni stezi so zaprli letališče v Oceanu. V Paso Roblesu je brez elektrike ostalo več kot 100 000 zgradb.

Potres 25. decembra (meja Panama - Kostarika). Potres je zahteval vsaj 2 življenji, 75 ljudi je bilo ranjenih. V mestu Puerto Armuelles v Panami je bilo poškodovanih ali porušenih veliko zgradb. Nekaj ranjenih je bilo tudi v kostariških mestih, ki ležijo ob meji s Panamo.

Potres 26. decembra (jugovzhodni Iran). Na območju mesta Bam je v potresu izgubilo življenje vsaj 41 000 oseb, vsaj 30 000 je bilo ranjenih. V mestu je bilo uničenih ali poškodovanih 85 % vseh zgradb. Med Bamom in Beravatom se je pojavila razpoka tudi na površju zemlje. Potresu je sledilo veliko popotresnih sunkov. Najmočnejši se je zgodil ob 03:06 UTC istega dne (Ms=5,1).

Literatura

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

- NEIC, 2003. Significant Earthquakes of the World. US Department of the Interior. Geological Survey, National Earthquake Information Center.
- ARSO, Urad za seizmologijo, 2003. Preliminarni seizmološki bilten, 2003. Agencija Republike Slovenije za Okolje, Urad za seizmologijo, Ljubljana.

NAJMOČNEJŠI IN NAJGLOBLJA POTRESA V SVETU V LETU 2003 THE LARGEST AND TWO DEEPEST EARTHQUAKES IN THE WORLD IN 2003

Manfred Deterding, Tamara Jesenko

Izvleček. V letu 2003 so slovenske potresne opazovalnice zabeležile vsaj 4666 potresov. Kako izgleda zapis potresa na posamezni opazovalnici, je odvisno od odaljenosti žarišča potresa od opazovalnice, od njegove globine in magnitude. V prispevku so predstavljeni trije zanimivejši primeri: najmočnejši potres in dva zelo globoka potresa. Največ energije se je v letu 2003 sprostilo pri potresu 25. septembra blizu japonskega otoka Hokaido, ki je imel navorno magnitudo 8,3. Najgloblji potres je bil 26. maja blizu otoka Mindanao, Filipini, in je imel žarišče v globini 566 km. Potres z zelo globokim žariščem (558 km) je nastal 20. junija v pokrajini Amazonas v Braziliji.

Abstract. In the year 2003 Slovenian seismic stations recorded at least 4666 earthquakes. How the seismogram will look depends on hypocentral distance from the station, depth of the earthquake, and its magnitude. In this article three interesting examples are presented: the largest and two very deep earthquakes. The 25 September earthquake near Hokkaido island, Japan, ranks first in terms of released energy in year 2003, with a moment magnitudes of 8.3. The deepest earthquake happened on 26 May near Mindanao, Philippines, with a hypocentre 566 km below the surface. Another very deep earthquake (558 km below the surface) happened on 20 June in Amazonas, Brasilia.

Uvod

Potresi so posledica nenadnega premika dveh tektonskih blokov vzdolž preloma v Zemeljski skorji. Potencialna energija tektonskega bloka se spremeni v kinetično energijo potresnih valovanj. Valovanja, ki se širijo iz žarišča potresa v vse smeri po Zemljini površini in skozi njeno notranjost, zabeležijo občutljivi instrumenti, nameščeni na potresnih opazovalnicah. Zapis potresa oz. seizmogram, ki ga mora seizmolog pri svojem delu ustrezno interpretirati, predstavlja kombinacijo učinkov izvora potresa, poti razširjanja valovanja, karakteristik inštrumenta ter motenj v okolici opazovalnice.

Preden se lotimo analize, je potrebno predstaviti model Zemljine notranjosti, skozi katero potujejo valovanja. V grobem lahko predpostavimo, da Zemljo sestavljajo skorja, plašč in jedro. Povprečna debelina skorje je pod kontineti med 25 in 40 km oziroma do 60-70 km pod visokimi gorami, medtem ko je pod globokimi oceani tanjša, le okoli 5 km. Meja med skorjo in plaščem, ki jo imenujemo tudi Mohorovičićeva diskontinuiteta ali na kratko Moho, loči spodnji del skorje, kjer je hitrost longitudinalnega valovanja (glej naslednji odstavek) okoli 6,5 km/s, od spodaj ležečega plašča s hitrostjo longitudinalnega valovanja 8 km/s. Plašč se razteza od Moho do meje z jedrom v globini 2900 km. V približku lahko smatramo, da je trden in radialno homogen. Hitrost longitudinalnega valovanja narašča od 8 km/s pod Moho do 13,7 km/s na meji z jedrom. Razdelimo ga lahko na zgornji plašč, ki sega do globine 700 km (sestavljata ga del litosfere in astenosfera), kjer se na prehodu v spodnji plašč gradient hitrosti zmanjša. Pod plaščem se nahaja jedro Zemlje z radijem približno 3500 km. Na meji med plaščem in jedrom pade hitrost longitudinalnega valovanja s 13,7 km/s na 8,1 km/s. Na podlagi raziskovanj razirjanja potresnega valovanja je nastala teorija, ki deli jedro na zunanje, ki je tekoče in kjer niso zasledili transverzalnega valovanja, in notranje, trdno, kjer je spet možen pojav transverzalnega valovanja (Kulhánek, 1990).



Slika 1. Shematski prikaz strukture Zemlje (Prirejeno po Kulhánek, 1990). Figure 1. Schematic segment of the Earth's interior (Adapted from Kulhánek, 1990).

Ločimo dva tipa seizmičnih valov. Eni potujejo po Zemljini površini, t.i. površinski valovi, drugi se širijo skozi njeno notranjost. Slednji so hitrejši in jih delimo naprej na dve skupini glede na smer nihanja: longitudinalni, pri katerih je nihanje v smeri razširjanja valovanja, in transverzalni valovi, kjer je nihanje pravokotno na smer njihovega razširjanja. Longitudinalno valovanje potuje hitreje kot transverzalno in ga zato imenujemo tudi primarno ali P valovanje. Transverzalno valovanje imenujemo sekundarno ali S valovanje. Na potresne opazovalnice vedno pride najprej valovanje iz skupine P valov. Po kateri poti bo potovalo je odvisno od lokacije, globine potresa ter oddaljenosti epicentra potresa od opazovalnice (Kulhánek, 1990).

Analiza potresov

Za lokalne in regionalne potrese smatramo tiste, pri katerih je primarno P valovanje potovalo od žarišča potresa do opazovalnice skozi skorjo ali po meji med skorjo in plaščem Zemlje. Natančno razmejitev glede oddaljenosti žarišč potresov od opazovalnice je težko določiti, saj je zelo odvisna od lokalne in regionalne strukture Zemlje. V seizmološkem priročniku (New Manual of Seismological Observatory Practice), ki je nastal pod okriljem IASPEI (International Association of Seismology and Physics of Earth's Interior) in ga je uredil P. Bormann (2002), je za bližnje potrese definirano območje do 15 geografskih stopinj (1° \cong 111km). Potrese oddaljene od 15° do 180° pa imenujemo oddaljeni potresi ali teleseizmi. Preučevanje le-teh nam prinaša vedno nova in nova spoznanja o zgradbi in dogajanju v notranjosti Zemlje.

Glede na oddaljenost od opazovalnice (D) lahko razdelimo teleseizme v štiri razrede: $15^{\circ} < D \le 28^{\circ}$, $28^{\circ} < D \le 100^{\circ}$, $100^{\circ} < D \le 144^{\circ}$ in D > 144°. Seizmogrami potresov, ki spadajo v prvi razred (območje $15^{\circ} < D \le 28^{\circ}$) so ponavadi zelo enostavni, saj so na njih močneje izražene predvsem tri glavne skupine valov: direktni P in S valovi, ki so potovali skozi plašč, ter površinski valovi. Število faz seizmičnega valovanja, ki jih lahko s seizmograma odčitamo pri

potresih drugega razreda (območje $28^{\circ} < D \le 100^{\circ}$), se poveča. Identificiramo lahko direktne P in S valove, ki so v tem primeru potovali skozi spodnji del plašča, ter njune večkratne odboje na površini. V intervalu med 30° in 55° je zelo izrazit tudi vstop valovanja, ki se je na svoji poti odbilo od meje med plaščem in jedrom. Pri potresih, ki spadajo v tretji razred (območje $100^{\circ} < D \le 144^{\circ}$), nimamo več direktnega P oz. S valovanja, saj pelje pot valov že skozi jedro Zemlje. Pri močnejših potresih pa lahko opazimo tudi del valovanja, ki se je difraktiralo okoli ukrivljene meje med jedrom in plaščem. Za četrti razred (območje $D > 144^{\circ}$) so značilne faze longitudinalnega valovanja, ki je potovalo skozi zunanje in notranje jedro.



Slika 2. Shematski prikaz poti nekaterih potresnih valov v plašču Zemlje. Figure 2. Examples of propagation paths of direct and reflected waves in the Earth's mantle.

Ime posamezne faze je povezano s potjo, ki jo to valovanje opravi. Navedli bomo nekaj najbolj običajnih imen. Kot smo že omenili, je direktno longitudinalno valovanje P valovanje, transverzalno pa S valovanje. V primeru večkratnega odboja na Zemljini površini uporabimo večkratnik ustrezne črke (slika 2) Na primer: fazo PP dobimo v primeru, ko se je longitudinalno valovanje preden je prišlo do opazovalnice enkrat odbilo od proste površine Zemlje in tudi po odboju nadaljevalo svojo pot kot P valovanje. Če se je del valovanja pri odboju spremenilo v transverzalno valovanje, bomo tako fazo imenovali PS. Za opis faz, ki so se odbile od meje med plaščem in jedrom uporabimo črko 'c' (angl. core). Tako je npr. PcS ime P valovanja, ki se je odbilo od meje med plaščem in jedrom in se je pri tem spremenilo v S valovanje. Pdiff in Sdiff sta oznaki za P oz. S valovanje, ki se je difraktiralo okoli jedra. Faze, ki so potovale skozi jedro, imajo v svoje ime vključeno črko 'K', npr. PKP, (izvor uporabe črke K izhaja iz nemške besede Kern, ki pomeni jedro), v primeru odboja od meje med zunanjim in notranjim jedrom pa dodamo še 'i' (npr. PKiKP).

Pri zelo globokih potresih so dobro vidne tudi faze, ki so posledica odboja valovanja, ki se širi od žarišča potresa v smeri navzgor, od proste površine (slika 3). Te faze imenujemo globinske faze in jih, odvisno od tega ali je bilo začetno valovanje longitudinalno ali transverzalno, označimo z malo črko p ali s (npr. pP, sP, pPPP, pPKP, sS, ...).

Vsako leto nastane kar nekaj potresov, ki s svojo pestrostjo faz pritegnejo našo pozornost. Predstavljeni bodo trije izmed njih: Hokaido (Japonska), Mindanao (Filipini) in Amazonas (Brazilija). Kot bomo videli, se v oddaljenosti od slovenskih potresnih opazovalnic toliko ne razlikujejo med seboj, je pa zato predvsem globina žarišča tista, ki vpliva na razlike v

seizmogramih. Ker je osrednja in najdlje delujoča opazovalnica slovenske mreže potresnih opazovalnic ljubljanska opazovalnica (LJU), ki se nahaja na observatoriju na Golovcu, se bova pri nekaterih obrazložitvah sklicevala nanjo. Več podatkov o lokacijah in inštrumentih nameščenih na opazovalnicah slovenske državne mreže je zapisano v članku 'Potresne opazovalnice v Sloveniji v letu 2003' avtorjev P. Sinčiča in sod.



Slika 3. Shematski prikaz različnih poti direktnega P valovanja in njegovih globinskih faz (pP, sP).
 Figure 3. Schematic presentation of propagation path of direct P wave and its depth phases (pP, sP).

Potres 25. septembra 2003, Hokaido, Japonska

Največ energije se je v letu 2003 sprostilo v potresu blizu japonskega otoka Hokaido. Potres je po univerzalnem svetovnem času (UTC) nastal 25. septembra ob 19. uri in 50 minut oziroma v petek 26. septembra ob 4. uri in 50 minut po lokalnem japonskem času. Imel je navorno magnitudo 8,3. Potres je nastal na stiku med Pacifiško ploščo, ki se podriva pod Severnoameriško. Pacifiška se za okoli 8 cm letno premika v smeri zahod-severozahod relativno glede na Severnoameriško ploščo. Tako močni potresi imajo lahko uničujoče posledice na večjem območju, vendar je bilo nadžarišče 27 kilometrov globokega potresa 60 km oddaljeno od vzhodne obale Hokaida in so bile zato posledice na kopnem manjše. Vzdolž jugovzhodne obale Hokaida se je pojavil tudi cunami z višino valov 4 m. Sledilo mu je nekaj popotresnih sunkov, najmočnejši pa je nastal istega dne ob 21. uri in 8 minut po UTC (Mw=7,4) (NEIC, 2003).



Slika 4. Navpične (Z) komponente seizmogramov nekaterih slovenskih potresnih opazovalnic z označenim vstopom P faze potresa pri Hokaidu, Japonska (25. september 2003).
 Figure 4. Vertical component seismogram of earthquake in Hokkaido, Japan (25 September 2003) recorded on some stations from Slovenian seismic network.



Slika 5. Trikomponenten zapis potresa pri Hokaidu, Japonska (25. september 2003, Mw=8,3) na opazovalnici LJU z označenimi vstopi P, S, SS in SSS faz ter površinskimi valovi.
 Figure 5. Three-component seismogram of an earthquake near Hokkaido, Japan (25
 September 2003) recorded on LJU station. P, S, SS, SSS phase and surface waves are marked.



Slika 6. Dolgoperiodni foto zapis Z-komponente (levo) in N-S komponente (desno) potresa pri Hokaidu, Japonska (25. september 2003, Mw=8,3) na opazovalnici LJU. Ena črta na seizmogramu ustreza eni uri. Na seizmogramu so vidne tudi sledi popotresov.
Figure 6. Longperiod photo Z component (left) and N-S component (right) seismograms from an earthquake near Hokkaido, Japan (25. September 2003) recerded on LJU station. One line on seismogram is equal to one hour. On the same seismograms aftershocks are aslo visible.

Žarišče potresa je bilo od opazovalnice LJU oddaljeno približno 82°. Vstop primarnega P potresnega valovanja smo v Ljubljani zabeležili ob 20:02 po UTC (slika 4), torej je skozi Zemljin plašč potovalo do opazovalnice okoli 12 minut. S seizmogramov smo lahko določili tudi vstop sekundarnega S valovanja, ki je za svojo pot od žarišča potresa do opazovalnice

LJU potrebovalo 12 minut več kot P valovanje. Dobro sta bila vidna tudi večkratna odboja letega (SS in SSS), ki sta označena na sliki 5. Ker so na seizmogramu zelo dobro vidni površinski valovi, lahko sklepamo, da ne gre za zelo globok potres, sama dolžina potresa pa nakazuje, da je magnituda potresa velika, saj je bil zapis na opazovalnici dolg kar nekaj ur (slika 6).

Potres 26. maja 2003, Mindanao, Filipini

26. maja 2003 so svet stresli trije zelo močni potresi. Po japonskem otoku Honšuju in Helmaheri, Indonezija (več podatkov je zapisanih v članku 'Močnejši potresi v letu 2003', T. Jesenko in R. Vidrih) se je ob 23:13 po UTC zatreslo na Mindanau, Filipini. Potres je zanimiv zaradi globine nastanka, saj je z globino 566 km najglobji potres v letu 2003 (NEIC, 2003).





Tudi v tem primeru je primarno valovanje potovalo do ljubljanske opazovalnice okoli 12 minut in prvo fazo smo na LJU zabeležili ob 23:26 po UTC, vendar pa zaradi oddaljenosti potresa (98°) in njegove globine to ni več direktna P faza, saj se nahajamo v območju tako imenovane 'sence' jedra, ampak valovanje, ki se je difraktiralo okoli jedra (Pdiff). Zaradi globine potresa na seizmogramih tudi ni, v primerjavi s potresom pri Hokaidu, izrazitejšega površinskega valovanja (slika 6), je pa moč opaziti nekatere globinske faze, pP in sP na vertikalni (Z) komponenti ter sS na horizontalni (N-S) komponenti.

Prva transverzalna faza, zabeležena na horizontalnih komponentah (N-S, E-W), je SKSac faza. To je faza, ki se je od žarišča potresa širila kot transverzalno S valovanje, nato potovala skozi jedro kot P valovanje in se na meji jedro-plašč ponovno spremenila v S valovanje.



Slika 8. Glavne faze potresa pri Mindanau, Filipini (26. maj 2003) na zapisih z opazovalnic slovenske mreže potresnih opazovalnic (oddaljenost od epicentra od 97° do 99°). Levo: Prikaz Z oz. N komponent seizmogramov z uporabo Kirnos filtra ali kratkoperiodnega WWSSN-SP filtra. Desno: Prikaz poti faz, ki so označene na seizmogramih, skozi notranjost Zemlje. (Pripravil Dr. S. Wendt)

Figure 8. Records of main seismic phases of the Mindanao, Philippines event (26 May 2003) recorded by Slovenian seismic network. Left: Kirnos or WWSSN-SP filtered Z or N components. Right: Ray traces of phases shown. (Made by Dr. S. Wendt)



Slika 9. Glavne faze brazilskega potresa (20. junij 2003) na zapisih z opazovalnic slovenske mreže potresnih opazovalnic (oddaljenost od epicentra od 92° do 94°). Levo: Prikaz Z oz. N komponent seizmogramov z uporabo dolgoperiodnega SRO-LP filtra ali kratkoperiodnega WWSSN-SP filtra. Desno: Prikaz poti faz, ki so označene na seizmogramih, skozi notranjost Zemlje. (pripravil Dr. S. Wendt)



Kombinacija črk 'ac' označuje, da je valovanje potovalo skozi zunanje jedro. (Če bi potovalo skozi notranje jedro, bi to označili s črkama 'df'.) Približno minuto kaneje je LJU doseglo tudi Sdiff valovanje, torej valovanje, ki se je difraktiralo okoli jedra (slika 8). Perioda in amplituda te faze sta v primerjavi s fazo SKSac večji.

Na seizmogramih sta dobro vidni tudi zelo zanimivi fazi PKKP in SKKP, ki sta se enkrat odbili na notranji strani meje med jedrom in plaščem. Zaradi svoje poti je to valovanje najprej zabeleženo na opazovalnicah, ki so bolj oddaljene od žarišča potresa, kar lahko opazimo tudi v spremembi naklona premic, ki so na sliki 8 potegnjene skozi vstopne točke posamezne faze.

Potres 20. junija 2003, Amazonas, Brazilija

Zelo globok potres v letu 2003 je bil tudi potres, ki je nastal 20. junija v zahodni Braziliji ob 6. uri in 19 minut po UTC oz. ob 2. uri in 19 minut po njihovem lokalnem času z navorno magnitudo 7,1. Žarišče potesa je bilo v globini 558 km. Nastal je znotraj plošče Nazca, ki se vzdolž zahodne obale Južne Amerike podriva pod Južnoameriško ploščo. Plošča Nazca je seizmično zelo aktivna do globine 170 km, po 20. juniju pa se je seizmičnost povečala tudi na globini med 530 in 650 km (NEIC, 2003).

Ker je oddaljenest tega potresa od LJU v primerjavi s prej opisanim potresom nekoliko manjša (med 92° in 93°), se kljub zelo globokemu žarišču še ne nahajamo v območju jedrove sence. Prva faza (P) se je na seizmogramu opazovalnice LJU zapisala ob 06:31 po UTC. Faza, zaradi katere se je bilo vredno podrobneje lotiti analize tega potresa, pa je faza PKPPKPdf (slika 9). To je faza, ki je potovala skozi zunanje in notranje jedro, se enkrat odbila od proste površine Zemlje in šla nato še enkrat skozi oba dela jedra.

Sklep

Vsako leto na svetu nastane nekaj zelo močnih potresov. Leto 2003 v tem pogledu ni odstopalo od povprečja. Z analizo potresov pridobimo veliko informacij o zgradbi tal pod nami. Čeprav nas ponavadi bolj zanima lokalna potresna aktivnost, ki jo nemalokrat tudi sami občutimo, seizmologi ne smemo pozabiti tudi na teleseizme, saj le na ta način lahko izdelamo globalne modele Zemlje.

Zahvala

Zahvaljujeva se Dr. Siegfriedu Wendtu z Geofizikalnega Observatorija v Collmu (Geophysikalischen Observatorium Collm, Universität Leipzig, D-4779 Wermsdorf, Nemčija) za njegovo prijaznost in trud, vložen v pripravo slik 8 in 9.

Literatura

- Bormann, P., 2002. New manual of Seismologica Observatory Practice (NMSOP), Vol. 1, GeoForschungsZentrum Potsdam, Potsdam, IASPEI.
- Kulhánek, O., 1990. Anatomy of Seismograms, Developments in Solid Earth Geophysics, Vol. 18, Elsevier.
- NEIC, 2003. Significant Earthquakes of the World. US Department of the Interior. Geological Survey, National Earthquake Information Center (Citirano 20.4.2005). Dostopno na naslovu: http://wwwneic.cr.usgs.gov/neis/eq_depot/2003/.

POTRES 21. MAJA 2003 V ALŽIRIJI THE 21 MAY 2003 EARTHQUAKE IN ALGERIA

Matjaž Godec, Renato Vidrih

Izvleček. Alžirijo je 21. maja 2003 ob 18:44 UTC (svetovni čas) stresel močan, plitek potres. Njegova magnituda je bila 6,8 (Mw), povzročil pa je škodo v petih provincah severne in osrednje Alžirije. Koordinati epicentra potresa sta bili 36,89 °S in 3,78 °V, kar pomeni, da je bilo njegovo nadžarišče tik pred obalo mesta Zemmouri v provinci Boumerdes, približno 50 km vzhodno od glavnega mesta Alžir. Največjo škodo je potres povzročil v provinci Boumerdes, vključno z vzhodnim delom glavnega mesta Alžir.

Abstract. Algeria was struck by a strong, shallow earthquake on 21 May 2003 at 18.44 UTC. It's magnitude was 6.8 Mw. The earthquake coordinates were 36.89°N and 3.78°E. It occurred just off-shore the city of Zemmouri in the Boumerdes province, about 50 kilometres east of the capital Algiers. It caused most of the damage in the Boumerdes province, including the eastern part of Algeria.

Uvod

Severni del Alžirije se nahaja na meji med Afriško in Evrazijsko geotektonsko ploščo. Afriška plošča se pomika proti severu, kar povzroča napetosti, ki se kažejo v velikem številu narivnih in normalnih prelomov. Vendar pa pred obalo Sredozemskega morja ni natančneje izdelan tektonski prerez, zato tudi potresa ne moremo povezati z nobenim od znanih prelomov. V času nastajanja tega članka smo imeli malo zanesljivih podatkov o mehanizmu potresa. Iz najbolj prizadetih območij so poročali o likvefakciji (utekočinjenju tal), padanju večjih kamnov s pobočij, zemeljskih plazovih, razpokah v zemeljskem površju in seveda o ogromni gmotni škodi in številnih žrtvah. Na površini nikjer ni bilo nikakršnih sledi o prelomnem pretrgu. Ob potresu je nastal tudi cunami, ki so ga opazili na južni obali Balearskih otokov, pa tudi ob obali Alacanta, Castellona in Murcie v Španiji. Cunami je dosegel velikost 2 m. Priče so pripovedovale o približno 100 metrskem umiku morja ob obali Boumerdesa in Alžira. Ribiči, ki so bili v času potresa v pristanišču mesta Zemmouri-El-Bahri so poročali o nenadni oseki, zaradi katere je mnogo ribiških ladij za kratek čas nasedlo, saj se je gladina morja spustila na manj kot 1 meter globine. Alžir je preživel mnogo močnih zgodovinskih potresov. Najmočnejši med njimi, ki je nastal za časa vladavine Otomanov leta 1716 in v katerem je umrlo okoli 20.000 ljudi, je porušil skoraj celo mesto. Podoben potres naj bi nastal tudi okoli leta 1365. V zadnjih dveh desetletjih je osrednji del Alžirije prizadelo kar nekaj potresov z magnitudo med 5 in 6 (potresi po sproščeni energiji podobni potresu leta 1998 v zg. Posočju).

Splošno o posledicah potresa

Potres 21. maja 2003 je povzročil škodo v petih provincah severne in osrednje Alžirije. Potres so čutili tudi na Balearih, v Albacetu, Alcantarilli, Alacantu, Barceloni, Cartageni, Castellonu, Aldi, Molini de Segura, Murcii in Saguntu v Španiji. Čutili pa so ga tudi v Monaku. Popotresni sunek 27. maja je zahteval še devet žrtev in več kot 200 ranjenih. Najhuje je bila prizadeta provinca Boumerdes, ki leži vzhodno od glavnega mesta, predvsem pa kraji Boumerdes, Zemmouri in Thenia. Močno so bila prizadeta tudi vzhodna okrožja Alžira, predvsem Belcourt, Bab-El-Qued in El-Casbah, kjer so bile poškodovane stavbe iz kolonijalnih časov. O poškodbah so poročali iz 100 km dolgega in 35 km širokega območja.



Alžirski potres lahko, kot na primer turški potres leta 1999 na območju Marmare, tajvanski potres leta 1999 na območju mesta Chi-Chi in indijski potres leta 2001 na območju mesta Bhuj, uvrstimo med tako imenovane »mestne potrese«.

Slika 1. Instrumentalno določeni epicentri (rdeči krogci) potresov in zgodovinski potresi (rumeni krogci) v Alžiriji v obdobju 1673 - 1999. Z rumeno zvezdo je označen epicenter potresa 21. maja 2003.

Figure 1. Earthquke epicenters in Algeria from 1673 to 1999. Red circles indicate automatically defined epicentres and yellow circles indicate historic epicentres. Yellow star indicates the 21 May 2003 earthquake.

Potres je na ožjem območju pokrajine Boumerdes prizadel okoli 3,5 milijona prebivalcev, medtem, ko je na širšem epicentralnem območju prizadel še okoli milijon prebivalcev. Od pridobitve samostojnosti izpod francoske oblasti leta 1962, ima Alžirija enega največjih naravnih prirastkov prebivalstva na svetu. V štiridesetih letih se je število prebivalstva v Alžiriji več kot potrojilo, saj je z 10 milijonov narastlo na več kot 30 milijonov prebivalcev. Z naraščanjem števila prebivalstva in povečanim naseljevanjem prebivalstva v mesta, se je urbanizacija države močno povečala. Skladno s tem se je mestno območje Alžira in Boumerdesa razširilo na raven, ko je več kot 2/3 zgradb mlajših od 30 let. Posledično je bilo največ v potresu poškodovanih in porušenih stavb zgrajenih v zadnjem desetletju ali pa sploh še niso bile dokončane.

Uradni podatki o žrtvah so na dan 14. junij 2003 naslednji: 2 287 smrtnih žrtev in več kot 11 000 poškodovanih oseb ter okoli 800 oseb, ki še vedno veljajo za pogrešane. Po poročanju nekaterih časnikov je brez strehe nad glavo ostalo več kot 150 000 ljudi, vendar pa uradnih podatkov, ki bi potrdili ali ovrgli ta podatek, ni. Še vedno poteka nadzor nad varnostjo stavb, vendar pa uradni podatki o uničenih stanovanjskih stavbah niso bili izdani. Po potresu so opravili pregled na več kot 100 000 objektih. Večina je bila stanovanjskih. Ocenjeno je, da je 182 000 stanovanjskih enot (individualnih hiš ali stanovanj v večstanovanjskih objektih) poškodovanih, od tega 19 000 porušenih ali poškodovanih tako, da jih je potrebno porušiti.



Slika 2. Geotektonska zgradba severnega dela Alžirije. Prelom Thenia poteka po območju, kjer so bili učinki potresa največji (Boumerdes). Poteka skoraj v smeri zahod – vzhod, se obrne proti jugovzhodu in se nadaljuje kot narivna struktura proti vzhodu in dalje proti severovzhodu do Bejale. Epicenter potresa je bil po izračunih EMSC (European Mediteranean Seismological Centre) v morju, približno 10 km od obale.
Figure 2. Geotectonic structure of the northern Algeria. The Thenia fault lies within the range of the strongest earthquake effects (Boumerdes). It is oriented in west – east direction, turns to southeast and continues as a thrust structure to the east and further northeast to Bejala. According to the EMSC (European Mediteranean Seismological Centre) value to the offshore.

Med pomebnimi objekti je bil opravljen pregled 1800 šol in 200 bolnišnic. Od tega je bilo 331 šol in 24 bolnišnic hudo poškodovanih ali porušenih. Skupna ekonomska škoda znaša okoli 5 milijard ameriških dolarjev, kar predstavlja 10% alžirskega BDP (po podatkih iz leta 2001). Stroški se v večji meri nanašajo na obnovo in ponovno izgradnjo stanovanjskih stavb in infrastrukture. Del stroškov se nanaša tudi na škodo na industrijskih objektih, saj se večina alžirskih industrijskih objektov nahaja na prizadetem območju. Večji industrijski kompleksi so zaradi škode na objektih postali neuporabni, kar je zvišalo oceno ekonomske škode. Večji del stroškov popotresne obnove bodo nase prevzeli država in domači lastniki, saj potresno zavarovanje v Alžiriji še ne obstaja.

Poškodbe na objektih

Zgradbe v Alžiriji so zgrajene v glavnem iz armiranobetonskega okvirja s polnili iz votlih zidakov, visoke so od 5 do 8 nadstropij. Zasebne stanovanjske hiše so grajene na enak način, visoke pa so 2 do 3 nadstropij. Starejše zgradbe v Alžiru so v večini 3 do 5 nadstropne, zgrajene iz betonskega okvirja, z zunanje strani polnjenega z obdelanim (klesanim) kamnom in pregradnimi zidovi iz votlakov. Nekaj zgradb je višjih, s kovinsko in betonsko konstrukcijo.

Čeprav je v veljavi predpis o potresno varni gradnji iz leta 1979 (pod imenom »RPA99« je bila v letu 1999 izdana prenovljena enačica), ga pri gradnji upoštevajo zelo redko ali pa sploh ne. V letih državljanske vojne od leta 1991 do 1997 se predpisa sploh ni upoštevalo. Po podatkih alžirskih vladnih predstavnikov, zadolženih za stanovanjske probleme, je bilo v letih od 1990 do 2002 polovica zasebnih hiš zgrajenih brez kakršnegakoli dokumenta oz dovoljenja. Pri tem pa ni šlo le za reševanje lastnih problemov ampak tudi za tržno gradnjo večstanovanjskih objektov.


Beton je v veliki večini narejen kar na mestu gradnje in je zato dvomljive kakovosti. Ponekod so pri pripravi betona uporabljali kar morsko vodo. Na splošno je kvaliteta gradnje od srednje dobre do slabe, saj gradbeni pravilniki ne predpisujejo nadzora gradnje zasebnih stanovanjskih stavb. Ravno gradnja zasebnih stanovanjskih stavb pa je v zadnjih letih v Alžiriji najbolj razširjena.



 Slika 4. Boumerdes – Pogled na stanovanjske bloke v naselju, ki je bilo zgrajeno po leti 1962. Gre za tehnologijo, ki je bila v tistem času uporabljana v Sovjetski zvezi (foto: M. Godec).
Figure 4. Boumerdes: residental neighbourhood was built after 1962. Technique, typical for construction in the Soviet Union in early 60's was used to build this neighbourhood (Photo: M. Godec).

Slika 5. Boumerdes – montažni fasadni elementi so med potresom odpadli (foto: R. Vidrih). Figure 5. Boumerdes: prefabricated cladding fell away during the earthquake (Photo: R. Vidrih.



Slika 6. Boumerdes – novejše stanovanjsko naselje, kjer je do porušitev prišlo zaradi mehkih pritličij (spodaj)(foto: R. Vidrih). Figure 6. Boumerdes: recently built residental neighbourhood. Buildings collapsed because of soft ground floors (below) (Photo: R. Vidrih).





Slika 7. Boumerdes – vzrok odpadanja elementov je prerjavenje vijakov in podložk (foto: M. Godec). Figure 7. Boumerdes: building elements fell away because of rusted screws and washers (Photo: M. Godec).

Predpisi predpisujejo le nadzor nad gradnjo zgradb vladnega pomena, oziroma zgradb, pri katerih vlada nastopa kot investitor. Poleg tega arhitekti, gradbeniki in podjetniki za opravljanje storitev ne potrebujejo dovoljenj. Gradbene storitve lahko opravlja vsak. Zaradi želje po zmanjšanju stroškov gradnje, investitorji najemajo le nujno potrebne strokovne kadre. Povečan porast potreb po gradnji (zaradi močno povečanega števila prebivalstva) pa je z uveljavljanjem cenejših, nekvalificiranih podjetnikov, znižal tudi kvaliteto gradnje. Razen tega sta najbolj prizadeti območji, mesto Alžir in provinca Boumerdes uvrščena v seizmično področje 2, kar pomeni, da je predviden seizmični koeficient okoli 0,2 g. Če pogledamo intenziteto potresa, vidimo, da je bila ta na širšem epicentralnem področju nekoliko presežena. To pomeni, da tudi uporaba predpisov ne bi pomenila stoodstotnega projektiranja na potresne sile ob potresu.

Večina stavb je bila slabo projektiranih, predvsem pa slabo zgrajenih. Posledica tega je bila zelo obsežna škoda. Večina stebrov pri neduktilnih betonskih stavbah je bila poškodovanih, v nekaj primerih pa tudi uničeni. Največ žrtev pri potresu je prav med prebivalci tovrstnih stavb. Ne glede na slabo gradnjo, pa so bile zaradi lege oziroma lokalnih geoloških značilnosti, poškodbe na nekaterih predelih hujše kot drugje. Taka sta na primer okoliš Kahouat-Chergui v predmestju Alžira in predel Cooperative v Boumerdesu, kjer je bila škoda zelo obsežna in je bilo popolnoma porušenih veliko stavb.

Velike poškodbe so bile na neduktilnih betonskih okvirjih in starejših zidanih zgradbah. Poškodbe so posledica premajhne nosilnosti konstrukcijskega sistema, slabih detajlov potrebnih za prenos potresnih sil, slabe kvalitete materialov in včasih celo napačne prakse gradnje. Zelo pogosta poškodba oz. porušitev pri armirano betonskih zgradbah je bila delna ali popolna porušitev pritličja. Porušitve so posledica zelo močnih gred in šibkih stebrov z minimalno duktilnostjo, kar je v nasprotju z zahtevami potresno odpornega projektiranja. Čeprav predpis zahteva minimalne preseke stebrov vsaj 25 cm, so bili zelo pogosti stebri tudi z dimenzijami pod 20 cm. Posledica tega je bila strižna porušitev stebrov in običajno tudi porušitev polnil v okvirih. Do strižne porušitve je prišlo običajno na vrhu pritličnega stebra. Posledica je bila tudi dobesedno sesedanje zgradbe, v najhujših primerih pa so se objekti sesedli kot palačinke. Pogosto so bili v pritličnih etažah večji razponi, bile pa so tudi nepozidane, ker so bile v njih bodisi garaže ali pa so bile namenjene trgovinsko servisni dejavnosti in so delovale kot mehka pritličja. Strižne porušitve so tudi rezultat slabega detajliranja. Predvsem gre za pomanjkanje stremenske armature, kot tudi za prekratko sidranje vzdolžne armature. Pomanjkanje duktilnosti in nezadostno armiranje je rezultiralo v krhkih lomih stebrov. Izjemno slaba kvaliteta betona je bil dodaten vzrok porušitev. Pogosti so primeri, ko je beton v območju porušitve dobesedno zdrobljen.

V zidanih polnilih so pogosto nastale značilne strižne razpoke ali tudi porušitve le teh. Objekti grajeni s sistemom tunelskih opažev so se med potresom v splošnem dobro obnašali. Problem so predstavljali montažni fasadni elementi, ki so ponekod odpadli kot posledica slabe pričvrstitve ali korodiranih stikov. Zelo dobro so potres prestali jekleni okviri z lahkimi polnili. Pri takšnih stavbah niso poškodb utrpele celo zelo občutljive steklene fasade.



Slika 8. Zemmouri – v starem delu majhne ribiške vasice ni bilo večjih poškodb, kljub temu, da so objekti slabo zgrajeni. Razlog je v tem, da je ta del mesta zgrajen na skali (foto: M. Godec).

Figure 8. Zemmouri: fishing village. Old part of the village suffered only minor damage, eventhough it was poorly built. This part of the village was built on a rock (Photo: M. Godec).

Vodooskrba je bila po potresu motena. Nekaj dni tudi ni bilo pitne vode. Nekaj rezervoarjev za vodo je bilo močno poškodovanih, tako da so jih kasneje porušili. Na bližnji pregradi Khedara, ki je bila zaradi deževnega obdobja polna vode, so se pojavile razpoke. S postavljenim sistemom opazovanja so spremljali razpoke, ki pa se niso povečevale.



Večina mostov je bila po potresu neuporabna, kljub temu, da so večinoma armirano betonski. Pojavile so se številne večje ali manjše poškodbe.

 Slika 9. Zemmouri – mestno pokopališče je bilo zaradi lokalnega zdrsa popolnoma uničeno. Tu je prišlo tudi do dviga tal. Večni mir je prekinjen (foto: R. Vidrih).
Figure 9. Zemmouri: the village cemetery was completely destroyed because of a local landslide. Uplifting of the ground also occurred at the site. Eternal peace was disturbed (Photo: R. Vidrih).



Slika 10. Zemmouri – razdejanje na pokopališču je posledica dviga tal (foto: R. Vidrih). Figure 10. Zemmouri: devastation of the cemetery, a result of ground uplifting (Photo: R. Vidrih).

Predpisi za potresno odporno projektiranje v Alžiriji – izvleček iz predpisa RPA99

Izračun skupne vodoravne potresne sile temelji na metodi ekvivalentne statične obremenitve, ki je izveden na podlagi formule:

$$V = \frac{A.D.Q}{R}W$$

pri čemer je A pasovni faktor pospeška, ki je odvisen od potresnega območja in pomembnosti objekta. Faktorji so podani v preglednici:

pomembnost objekta	Seizmično območje		
	I	Ш	Ш
1A	0.12	0.25	0.35
1B	0.10	0.20	0.30
2	0.08	0.15	0.25
3	0.05	0.10	0.15

Ozemlje je razdeljeno na 4 seizmična območja, od potresno neaktivnega do močno aktivnega območja:

- Območje III: močno potresno aktivno območje. Vanj je uvrščen severni del Alžirije, mesti Chlef in Ain defla ter zahodni del Alžira.
- Območje II: srednje potresno aktivno območje. Območje je široko 100 km in se razprostira vzporedno z obalo preko celega severnega dela države. Izjema sta samo območji Tlemcen in Sidi Belabbes na severnozahodnem delu.
- Območje I: nizko potresno aktivno območje. Poteka južno od območja II, v širini 200 km in zajema območji Tlemcen in Sidi Belabbes.
- Območje 0: potresno neaktivno ali zanemarljivo aktivno območje. Pokriva južni del države in Saharo.

Objekti so razvrščeni glede na njihovo pomembnost. Zelo pomembni objekti, kot so na primer obrambni objekti, bolnišnice in gasilski objekti, so razvrščeni v skupino 1A. Pomembni objekti, kot so na primer izobraževalni in športni objekti, so razvrščeni v skupino 1B. Srednje pomembni objekti so razvrščeni v skupino 2 in manj pomembni objekti v skupino 3.

D je faktor dinamičnega ojačanja, ki je odvisen od vrste tal, korekcijskega faktorja dušenja in lastne frekvence stavbe. Tla so razvrščena v 4 skupine, od čvrstih tal (1. skupina, S1) do peščenih tal (krhka kamnina – 4. skupina, S4).

Q je faktor kvalitete, ki je odvisen od:

- neobičajnosti in geometrije konstrukcije,
- simetričnosti tlorisov in enakomerne togosti etaž,
- kvalitete nadzora gradnje.

R je faktor duktilnosti in dušenja, ki je odvisen od sistema ojačanja konstrukcije.

W je skupna teža objekta in opreme, ki glede na vrsto objekta, vključuje stalno težo in določen odstotek prometne obremenitve.



Slika 11. Zemmouri – v novejšem delu so poškodbe tudi na še nevseljenem objektu. Žal je bil popolnoma enak objekt med potresom popolnoma uničen (že odstranjen). Razlika med objektoma – načrt popolnoma enak, talni pogoji skoraj enaki, izvajalec pa različen (foto: M. Godec).

Figure 11. Zemmouri: even uninhabited buildings in the recently built part of the village suffered damage. An identical building, which was standing in front of the one in the picture was completely demolished (it has already been removed). The difference between the two buildings, which were built according to the same plan and had the same soil conditions was, that they had been built by different contractors (Photo: M. Godec).



Slika 12. Zemmouri – še tako dobra gradnja na trhli osnovi ne zagotavlja varnosti. V tem primeru je prišlo do porušitve vozlišča (foto: M. Godec).
Figure 12. Zemmouri: goodquality building is not safety assurance. In this case, the damage occured to joints (Photo: M. Godec).



Slika 13. Zemmouri – v novejšem stanovanjskem bloku je prišlo do poškodb zaradi »mehkega« pritličja. Stebri v pritličju so poškodovani, predelne stene so bile porušene (foto: M. Godec).

Figure 13. Zemmouri: damage to a recently built building was a result of soft ground floor. The columns were damaged and partition walls were demolished (Photo: M. Godec).



Slika 14. Zemmouri – mnogo stebrov je bilo slabo zgrajenih. Na tem kratkem stebru je prišlo do poškodb zaradi pomanjkanja stremenske armature. Ponekod so pri izdelavi betona uporabljali tudi slano vodo (foto: M. Godec). Figure 14. Zemmouri: a lot of columns have been poorly built. This column was damaged because of lack of stirrup reinforcement. In some places salt water was used for construction (Photo: M. Godec).



Slika 15. Alžir – objekti so bili poškodbovani tudi v glavnem mestu, kljub temu, da je od žarišča oddaljeno več kot 50 km. Tipična stanovanjska hiša iz francoskega kolonialnega obdobja z značilnimi strižnimi razpokami (foto: M. Godec).

Figure 15. Algiers: buildings were damaged even in 50 km distant capital city of Algier. A picture of a typical housing from French colonial period with shear cracks (Photo: M. Godec).



Slika 16. Alžir – detajl strižne razpoke, kjer se vidi zgradba zidu (obdelan in neobdelan kamen v malti vprašljive kvalitete) (foto: M. Godec).

Figure 16. Algiers: shear crack; wall structure is clearly seen (dressed and undressed stone in mortar of a doubtful quality) (Photo: M. Godec).

Ukrepi po potresu

Potres in popotresi (vključno z dvema popotresoma moči 5,8) so povzročili veliko preplaha in zaskrbljenosti med prebivalci Alžira. Kljub slabim izkušnjam z naravnimi nesrečami v preteklosti (poplave konec leta 2001, v katerih je umrlo več kot 800 ljudi), je bilo mesto slabo pripravljeno na tak potres. Celo 10 dni po potresu je večina ljudi še vedno prebivala v zasilnih šotoriščih, ki so jih postavili okoli poškodovanih stavb. Prebivalci so zaradi strahu pred popotresnimi sunki, ki bi lahko povzročili še večjo škodo na stavbah, raje prebivali na prostem. Ta pojav je pomemben pri ugotavljanju števila brezdomcev pri takoimenovanih »mestnih potresih«. Močni popotresni sunki ravno tako povzročajo preplah med prebivalci, ki si tudi pri zelo majhnih poškodbah, na primer razpokah v predelnih stenah, ne upajo vrniti v stavbe. V tem primeru postanejo ljudje začasni brezdomci, kar še dodatno zaplete postopke pri pridobivanju humanitarne pomoči.

Varnostne sile so takoj po potresu začele ugotavljati škodo po posameznih območjih, varovati prebivalstvo in razporejati reševalne ekipe. Kljub dobri organizaciji služb pa je lokalno prebivalstvo samo začelo z reševanjem in izkopavanjem poškodovanih in mrtvih izpod ruševin. Očividci poročajo, da so pripadniki civilne zaščite v Boumerdesu začeli z reševalnimi akcijami šele 6 ur po potresu. Nekaj sredozemskih držav je v pomoč poslalo svoje reševalce in zdravstveno osebje, ki so se v manj kot 24-ih urah priključili domačim reševalcem. Alžirska organizacija Rdeči polmesec je ob pomoči mednarodnih humanitarnih organizacij nemudoma organizirala dobavo hrane, pijače in sanitetnega materiala. Prav tako so z vseh strani države začeli prihajati prispevki in paketi z osnovnimi življenjskimi potrebščinami.



Slika 17. Dyllisse - stari del mesta (Kazbah) je bil močno poškodovan. V takšnih zgradbah so poškodbe pričakovane (debeli, masivni zidovi iz obdelanega in neobdelanega kamna v slabi malti, včasih blatu) (foto: R. Vidrih). Figure 17. Dyllisse: the old part of the city (Kazbah) was severely damaged. To buildings of such structure (thick, massive walls, made of tilled and untilled stone with bad quality mortar or even mud), damage is expected (Photo: R. Vidrih).



Slika 18. Dyllisse - porušitev zidu je povzročila tudi porušitev strehe. Pri takih zgradbah je osnovna napaka nepovezanost zidov (foto: R. Vidrih).
Figure 18. Dyllisse: the roof collapsed because of the collapsed wall. Such buildings usually don't have braced walls (Photo: R. Vidrih).



Slika 19. Dyllise - začasna nastanitev prebivalcev (foto: R. Vidrih). Figure 19. Dyllisse: provisory housing (Photo: R. Vidrih).



Slika 20. Alžir – Zemmouri. Poškodbe na mostu zaradi slabih temeljnih tal (foto: R. Vidrih). Figure 20. Algiers – Zemmouri: damage to the bridge as a result of bad soil conditions (Photo: R. Vidrih).



Slika 21. Alžir – Zemmouri. Detajl poškodbe na mostu, ki je nastala na mestu dilatacije (foto: R. Vidrih). Figure 21. Algiers – Zemmouri: a detail of damage to the bridge. The damage occurred to the bridge dilatation (Photo: R. Vidrih).



Slika 22. Alžir – Zemmouri. Pogled na lokalno porušitev tal, ki je imela za posledico plazenje (foto: R. Vidrih). Figure 22. Algiers – Zemmouri: landslide (Photo: R. Vidrih).

Slika 23. Alžir – Zemmouri. Razpoke v tleh, ki so lahko posledica likvefakcije (foto: R. Vidrih). Figure 23. Algiers – Zemmouri: soil cracks, possibly the result of liquefaction (Photo: R. Vidrih).



Državne institucije so začele teden po potresu organizirati uradna »šotorska mesta«. Na začetku so prebivalci kazali odpor proti selitvi v ta mesta. Zaradi bojazni, da bi roparji v njihovi odsotnosti izropali njihove poškodovane domove, so raje šotorili v bližini domov in organizirali straže. Prav tako so želeli ostati v bližini svojih domov, da bi lahko drug drugemu nudili oporo. Vendar pa so se sčasoma začeli preseljevati v državna šotorska mesta, ker so bili v njih življenjski pogoji boljši. V provinci Boumerdes, v vzhodnih okrožjih Alžira in v zahodnih krajih province Tizi Ouzou je vlada zaradi nevarnosti zaprla šole in druge izobraževalne ustanove. Prav tako je začasno, zaradi popravil in vzdrževalnih del, zaprla največje univerzitetno središče v Alžiriji, Univerzo za znanost in tehnologijo v Alžiru.

Sklepne misli

Najpomembnejše vprašanje ob tovrstnih potresih, ki vsako leto zatresejo različna območja sveta in zahtevajo ob veliki gmotni škodi tudi številna človeška življenja je, kaj narediti za zmanjšanje ranljivosti.

Gradnja je nedvomno največja težava velikih in megalomanskih mest dežel v razvoju. Delež šibkih in ranljivih stavb je v nekaterih mestih zelo velik. Ojačevanje obstoječih stavb ni le tehnični problem, sledijo mu še socialne, ekonomske in pravne posledice. Dolgoročne strategije, na podlagi katerih bi ojačevanje obstoječih stavb sovpadalo z obnovitvenimi deli, bi lahko za lastnike predstavljale spodbudo za obnovo objektov.

V gradnjo novih objektov je potrebno vključiti minimalne varnostne standarde. Predvsem so potrebne izboljšave pri projektiranju in gradnji zelo ranljivih neduktilnih armiranobetonskih zgradb, kakršne še vedno gradijo na zelo potresno nevarnih območjih po svetu. Najučinkovitejša rešitev bi bila predpisati gradnjo stavb z uporabo strižnih sten. Posebno pozornost bi morali posvečati elementom, odpornim na vodoravne obremenitve v mehkih etažah, kratkim stebrom in drugim elementom, ki povečujejo potresno ranljivost.

Največkrat so razlogi za poškodbe v pomanjkanju nadzora pri gradnji, pri izvedbi in pri uporabi predpisov v praksi. Da bi izboljšali tehniko dela, bi bilo potrebno vložiti veliko truda v izobraževanje arhitektov, gradbenikov in podjetnikov, nadzorovati pa bi bilo potrebno tudi gradnjo v praksi. V državah, med drugim tudi v Alžiriji, kjer predpisov o varni gradnji v praksi ne upoštevajo, bi morali poskrbeti za učinkovitejši nadzor.

Stare zgradbe (predvsem pa nevarne javne zgradbe) in ceste, po katerih se oskrbujejo odrezani kraji, pripomorejo k večjemu številu žrtev in onemogočajo hiter odziv in ukrepanje v kriznih situacijah. Državne in javne institucije bi morale na svoj dnevni red nemudoma uvrstiti programe, s katerimi bi te pomanjkljivosti odpravile.

Tudi spretnost pri obnovi poškodovanih zgradb je premalo razvita. Gradbeno-tehnične rešitve se največkrat opirajo na zmožnosti posameznikov in izkušnje vodij projektov. V primeru Alžirije, kjer je izobraževanje strokovnega kadra zelo omejeno, je v takem primeru veliko možnosti za napake. Najbolj razumen postopek pri uvedbi nadzora nad gradnjo bi bil, da bi se vlada povezala z državami, ki imajo veliko izkušenj s popotresno obnovo, na primer Turčijo in Indijo.

Preventivni ukrepi, ozaveščanje prebivalstva in dolgoročna migracijska politika, bi pripomogli k večji odgovornosti in dolžnosti skupnosti. Tako bi se tudi prebivalstvo bolj zavedalo

nevarnosti. Pri zmanjševanju nevarnosti v urbanih območjih bi vlada morala sodelovati s prebivalstvom, vendar pa mora poskrbeti predvsem za večjo varnost prebivalcev.

Večja težava je tudi organizacija namestitev za žrtve potresa, ki so ostale brez domov. V mestih živi namreč večina prebivalstva v slabo zgrajenih stavbah, katerih uničenje ali poškodovanje še dodatno pripomore k socialni nestabilnosti tudi mnogo let po potresu. Da bi take težave odpravili, kar se da hitro po potresu, bi morali že pred njim pregledati vse možnosti začasne namestitve brezdomcev.

Alžirska vlada bo upoštevala število žrtev ob potresu v Boumerdesu. Sredstva za pokritje škode bo prerazporedila iz sredstev za razvojne programe in sredstev socialnih služb. Objavila je tudi obvezen sistem potresnega zavarovanja, ki ga v mnogih državah že uporabljajo in se je izkazal za zelo uporabnega pri reševanju finančnih težav pri katastrofalnih izgubah.

Literatura

http://mceer.buffalo.edu http://www.eeri.org http://www.alja zeerah.info http://www.craag.edu.dz

POTRES 26. DECEMBRA 2003 V IRANU THE 26 DECEMBER 2003 EARTHQUAKE IN IRAN

Renato Vidrih, Matjaž Godec

Izvleček. Potres je nastal 26. decembra 2003 ob 01:56 UTC (svetovni čas) oziroma ob 05:26 po lokalnem času v bližini mesta Bam, ki se nahaja na jugovzhodnem delu Irana. Koordinati epicentra sta 28,99S in 58,29V, kar je 10 km jugozahodno od mesta Bam. Na podlagi učinkov potresa na površini strokovnjaki domnevajo, da je bilo žarišče pod mestom Bam. Po prvih podatkih je zahteval 41 000 življenj, vsaj 30 000 oseb pa je bilo ranjenih. V mestu Bam je bilo uničenih ali močno poškodovanih 85 % vseh zgradb. Med številnimi popotresnimi sunki je bil najmočnejši istega dne ob 03:06 UTC z M=5,1. Momentna magnituda je 6,5, globina pa je bila na osnovi ocene S-P valov po glavnem sunku ocenjena na 8 km. Makroseizmična intenziteta potresa je bila ocenjena na Io=IX po EMS (12stopenjska evropska potresna lestvica). Glede na površinske dokaze je opazno naglo pojemanje intenzitete v smeri pravokotno na prelom Bam (slika 2). Po podatkih USGS (4) naj bi bil ta prelom zmičen z majhno komponento navpičnega premika. Toda izmerjeni sunki kažejo na izrazito premikanje ob navpični komponenti. Vršni pospešek tal (PGA) za vodoravno komponento je bil med 0,7 in 0,8 g, za navpično komponento pa celo 1 g (Eshghi in Zare, 2003). Potres je poleg velike gmotne škode povzročil tudi številne pojave v naravi, kot so zemeljski udori, utekočinjenje in zemeljski posedki. Med Bamom in Beravatom je nastala razpoka na površini.

Abstract. The earthquake occured on 26 December 2003 at 01.56 UTC (05.26 local time), near the city of Bam in the southeast part of Iran. The earthquake's coordinates were 28.99°N and 58.29°E, 10 km southeast of Bam. From the earthquake's effects on the surface, the experts presume the epicentre to be directly under the city of Bam. According to the first information 41 000 people lost their lives and more than 30 000 were injured. In Bam, 85 % of all buildings were destroyed or heavily damaged. The strongest aftershock with magnitude M=5.1 occured on the same day at 03.06 UTC. The magnitude was 6.5 and its depth was 8 km. The macroseismic intensity was estimated at Io=IX EMS (12-degree European macroseismic scale). The intensities were rapidly decreasing in the direction perpendiculary to the fault (figure 2). According to the USGS data, this was supposed to be a shear fault with slight vertical movement component. Nevertheless, measured shocks show distinctive movement along the vertical component were between 0.7 to 0.8 g and 1.01 g respectively (Eshghi in Zare, 2003). Beside the extensive damage, the earthquake also caused several phenomena in the nature: landslides, liquefaction and earth subsidence. A rupture occured between Bam and Beravat.

Geografske značilnosti ozemlja

Mesto Bam leži jugovzhodno od Kermana (slika 1). Mesto se razprostira na 5400 ha velikem območju in ima izravnano topografijo in morfologijo. Nadmorska višina mesta je približno 1050 metrov. Glavna topografska značilnost mesta so vulkanski hribi, ki se dvigujejo severno in jugozahodno od mesta Bam. Območje ima aridno klimo, letnih padavin je bolj malo, še posebej v zadnjih letih. Reka Posht-e-Rood, ki teče skozi mesto, ima večino leta suho strugo.

Zaradi majhne količine dežja in površinske vode so glavni vir pitne vode in vode za kmetijstvo podzemni viri. Podzemno vodo izkoriščajo s pomočjo globokih vodnjakov in podzemnih napajalnih kanalov, ki jih imenujejo »qanats«. V zadnjih desetletjih je bilo na tem območju izkopanih veliko tovrstnih kanalov. Pred potresom jih je delovalo 126, kar je zadostovalo za 50 % potreb po vodi. Ostalo vodo dobijo iz globokih vodnjakov.



Slika 1. Geografski položaj nadžarišča potresa. Figure 1. Geographic site of earthquake's epicentre.

Geološke značilnosti

Poenostavljena geološka karta je predstavljena na sliki 3. Osnova zanjo je geološka karta v merilu 1:250.000, ki jo je izdal iranski Geološki zavod (GSI).

Ozemlje sestavlja pet različnih litoloških enot. Te so kvartarni aluvialni nanosi, zgornji kvartarni peščenjaki in muljevci, paleogenske sedimentne kamnine, eocenske vulkanske kamnine in intruzije magmatskih kamnin (granodiorit). Drobnozrnati kvartarni peski in mulji aluvialnega porekla se pojavljajo v okolici mesta Bam. Ti sedimenti so rumeno rjave barve, njihova debelina pa je približno 50 metrov. So srednje sprijeti in v njih lahko opazujemo učinke globoke erozije.

Glavni tektonski element v okolici je Bamski prelom (slika 4). Okolica je prekrita z starejšimi kvartarnimi sedimenti, na katerih ležijo vzhodno od Bama mlajši kvartarni sedimenti. Rezultat tega je, da starejši kvartarni sedimenti oblikujejo rahlo gričevnato morfologijo pokrajine. V to je bilo z drenažnimi sistemi urezanih več globljih kanalov, ob katerih je ob potresu prišlo do zemeljskih zdrsov.



Slika 2. Karta intenzitet na obravnavanem območju (Eshghi in Zare, 2003). Figure 2. Intensity map of the area (Eshghi and Zare, 2003).

Inženirskogeološke in geotehnične značilnosti potresa v Bamu

Zemeljski plazovi in udori

Kot je razvidno iz slike 5, je večina kamnin (razen kvartarnih in granodioritov) podvržena plazenju. Toda zaradi majhnega naklona terena so ti zdrsi omejeni na gorske predele in bregove kanalov. Na posnetkih iz zraka, ki so bili posneti nekaj dni po potresu, so vidna široka porušena območja, zdrsi zemeljskih blokov in številni zemeljski plazovi, ki so nastali ob naravnih kanalih na jugovzhodnem delu Bama (slika 6).

Posledica sprostitve velike energije ob potresu v mestu Bam in njegovi okolici ter visoke vrednosti navpične komponente potresa je v tem, da se je stabilnost naravnih kanalov močno zmanjšala, zaradi česar je prišlo na tem območju do številnih podorov in zdrsov (slike 7, 8 in 9). Poleg tega lahko opazimo še številne napetostne razpoke in razpadanje večjih kamninskih blokov v manjše.

Slika 10 prikazuje območja, kjer je nastalo največ poškodb v naravi. Število zdrsov je veliko na bregovih kanalov vzhodno in jugovzodno od Bama. Tudi na območju severozahodno od Bama se pojavi večje število zdrsov. Nestabilnosti na bregovih kanalov v primerjavi s hribovitim območjem so lahko posledica:

- rahlo gričevnate morfologije terena, ki je nastala zaradi premikanja kvartarnih sedimentov ob prelomih,
- večjega števila globjih kanalov, ki so bili narejeni v sedimentih zaradi urejanja drenažnega sistema in

• seizmogeološko slabše kamnine, v katerih poteka večina kanalov (slabo vezani peščenjaki in muljevci).



Slika 3. Poenostavljena geološka karta ozemlja (GSI). *Figure 3.* The simplified geological map of the area (GSI).

Strokovnjaki še vedno raziskujejo vzroke za nastanek velikega števila podorov in zdrsov severozahodno od mesta Bam. Tudi karta največjih potresnih učinkov tega pojava ne pojasni dovolj natančno (Eshghi in Zare, 2003).

Po statističnih ocenah bi lahko število različnih porušitev naravnega ravnotežja, ki so se sprožili ob potresu razdelili na:

- podore okoli 6000 primerov,
- zdrse zemeljskih blokov 55 primerov in
- zemeljske zdrse 15 primerov.



Slika 4. Pregled najmočnejših zgodovinskih in instrumentalno določenih nadžarišč potresov na epicentralnem območju (Ambraseys in Melville, 1982).
Figure 4. Historical and Instrumental Seismicity of the epicentral area (Ambraseys and Melville, 1982).

Utekočinjenje

Likvefakcijski potencial okolice Bama lahko ocenimo z uporabo geoloških podatkov, nivojem podtalnice in stanjem zemljine. Zemljine imajo na večjem delu mesta Bam in v njegovi okolici velik odstotek drobno zrnatega materiala (pesek in mulj). Toda zaradi nizkega nivoja podtalne vode je nevarnost utekočinjenja na večjem delu mesta majhna, zato tudi ni bilo poročil o škodi zaradi utekočinjenja.

Severno in severovzhodno od mesta, v bližini rek Posht-e-Rood, Esfikana in Chehel Tokhma, pa lahko dokaze o utekočinjenju opazujemo na fotografijah, slikanih iz zraka dva dni po potresu. Na tem območju je namreč nivo podtalnice višji, sedimenti pa so podvrženi utekočinjenju.

Učinki potresa na namakalne sisteme (qanats)

Kot smo že omenili, je eden glavnih virov pitne in vode za namakanje na tem območju, podvodni namakalni sistem, imenovan »qanats«. Pred potresom je 126 aktivnih podzemnih namakalnih kanalov zagotavljalo 50 % potreb po vodi. Poleg tega je še veliko kanalov, ki so

ostanki iz prejšnjih desetletij in stoletij, katerih lokacij pa sedaj ne poznamo. Večina je sedaj suhih in deloma podrtih. Potres je poškodoval ali porušil večino kanalov v okolici Bama. V nekaterih primerih je porušitev kanalov povzročila veliko škodo na zgradbah in življenjskih poteh. Po uvodnih raziskavah je bilo ocenjeno, da je bilo skoraj 40 % kanalov v potresu porušenih ali močno poškodovanih. V nekaterih primerih je porušitev izvira v kanalu popolnoma ustavila oskrbo in pretok vode (sliki 11 in 12).



Slika 5. Poenostavljena karta geotehnične nevarnosti na epicentralnem območju (GSI). Figure 5. Geotehnical hazard map of Bam area (GSI).

Potres lahko poškoduje ali celo uniči kanale in poti, po katerih ima voda dostop do starih in novih podzemnih namakalnih kanalov. Zaradi delnega ali popolnega podrtja kanalov je prizadet tok vode na različnih nivojih, na površini pa se zaradi usedanja zemlje pojavijo udori.

O poškodbah kanalov so poročali tudi ob drugih večjih potresih v Iranu. Večina močnih potresov v Iranu, ki so se zgodili v suhih območjih, je povzročilo škodo na kanalih.



Slika 6. Identifikacija nekaterih zemeljskih plazov z uporabo zračne fotografije. *Figure 6.* Some of landslides located by using aerial photographs.



Slika 7. Primer zemeljskega udora vzhodno od Bama. Figure 7. Landslide caused by the earthquake (east of Bam).



Slika 8. Nekaj zemeljskih udorov vzhodno od Bama. Figure 8. Lansdlides east of Bam.



Slika 9. Zdrs posameznih kamninskih blokov zaradi potresa (severno od vasi Rahmani). Figure 9. The earthquake caused several rock slides (north of Rahmani Village).



Slika 10. Območje, kjer je prišlo do zemeljskih zdrsov zaradi potresa: območje z majhnim številom podorov in zdrsov (med 10 in 50/km²) in območje z velikim številom podorov in zdrsov (več kot 150/km²).

Figure 10. Landslide map of Bam area : the area with small number of rockfalls and slides (between $10 - 50/km^2$) and the area with large numbers of rockfalls and slides (more than $150/km^2$).

Po izkušnjah naj bi bile podzemne odprtine odporne na seizmično obremenitev. Toda poškodbe na sistemu »qanats« na območju Bama so bile precejšnje. Večino škode je bilo na dostopnih vodnjakih. Vodnjaki blizu prelomnice Bam so ravno tako izgubili svojo trdnost in so se porušili. Povedati je treba, da je bila večina »qanats« na tem območju podprtih z ročno

izdelanimi oboki. Ti podporni elementi pa niso dosti pripomogli k stabilnosti sistema »qanats«, ko so bili podvrženi dinamičnemu bremenu.

V okolici preloma Bam so opazovali veliko število udorov. Večina izmed njih je bila v neposredni bližini preloma. Povedati je treba, da so se v bližini preloma pojavljale tudi druge strukturne poškodbe. Bolj, kot je bil sistem »qanats« oddaljen od preloma, manjše so bile posledice potresa. Pojavljale so se le posamezne razpoke ob kanalih in vodnjakih.



Slika 11. Koncentracija udorov zaradi porušitve »qanats« kanalov in vodnjakov (južno od Bama).
Figure 11. Concentration of sink holes caused bythe collapse of qanat tunnels and wells (south of Bam).

Učinki pogrezanj na zgradbe

Uničeni vodovodni sistemi, ki so nastali ob potresu, so poleg poškodb v naravi povzročali škodo tudi v urbanih območjih, predvsem na zgradbah. Ta škoda je bila občutnejša v Baravatu in južno od Bama. Večina poškodb je nastala zaradi gradnje zgradb na starih kanalih in vodnjakih. Površinski znaki starih sistemov »qanats« s časom namreč izginejo. V takih primerih ostanejo podzemne odprtine brez večjih sprememb kritično stabilne. Do porušitve tako lahko pride zaradi dinamične obremenitve ob potresu. Take porušitve imajo vpliv na strukture na površju in vplivajo na njihovo stabilnost in s tem na poškodbe.

Slika 13 prikazuje poškodbe na cestah zaradi porušenja sistema »qanats«, na sliki 14 pa vidimo poškodbe nekaterih hiš in zgradb zaradi nastanka udorov kot posledica porušitve podzemnih kanalov.

Sliki 15 in 16 kažeta pretrg na Zemljini površini, ki je nastal na območju mesta Bam in se razširja do mesta Baravat.



Slika 12. Udor zaradi porušenja kanala v sistemu »qanats« zahodno od Baravata. *Figure 12.* Sink hole caused by Qanat tunnel collapse west of Baravat.



Slika 13. Udor v bližini glavne ceste v Baravatu; nekateri udori so nastali pod glavno cesto. Figure 13. Sink hole close to main road in Baravat; several sinkholes occured under the main road that has been repaired.

Potresna dejavnost Irana

Iran je zaradi svoje lege znan po močnih potresih. Nahaja se na stičišču najmanj treh tektonskih plošč: arabske, indijske in azijske. Plošče se med seboj premikajo in podrivajo druga pod drugo, kar povzroča napetosti, ki se večinoma sprostijo v obliki potresov. Prav tako se območje, kjer leži Iran, neprestano spreminja, kar ima za posledico nastanek visokih gorskih verig.

V 20. stoletju je v Iranu nastalo veliko močnih in uničujočih potresov. 14 potresov z magnitudo 7,0 ali več (približno en potres vsakih sedem let) in 51 potresov z magnitudo od 6,0 do 6,9 (približno en vsaki dve leti), je terjalo več kot 126.000 žrtev. V tem času je bilo popolnoma uničenih 9 mest (približno eno mesto vsakih deset let). Potresi so prizadeli tako mestna kot podeželska območja, učinki pa so bili povsod. Žal točni podatki o človeških žrtvah in gmotni škodi za večino iranskih potresov niso dostopni.



Slika 14. Poškodba kovinskega ogrodja zaradi porušenja sistema »qanats« v Baravatu. Figure 14. Damage due to the collapse of a Qanat (Baravat).

Raziskave in izkušnje kažejo, da kljub uničujočemu potresu v Iranu leta 1962, predpisi, razprave in mnoge konference ne morejo ublažiti potresne ogroženosti v nerazvitih deželah. Ob vsakem močnem potresu je iz tujine prispela pomoč, kljub temu pa to ni zmanjšalo števila žrtev in finančne izgube. Še več, priča smo stopničastemu porastu neuspeha na tem področju in zavedati se je potrebno, da je težko prekiniti splet nesrečnih okoliščin. Ob potresu močno poškodovano območje Bama je na izgled podobno ozemlju po jedrski eksploziji, z nesprejemljivo visokim številom žrtev. Tako opustošenje je v nasprotju z dosežki znanosti in tehnologije v začetku 21. stoletja. Potres s podobno močjo 22. decembra 2003 v Kaliforniji ni pustil tako dramatičnih posledic. Če Iran primerjamo s Kalifornijo, ki ima približno enako potresno nevarnost ugotovimo, da je bilo število žrtev potresov v 20. stoletju v Kaliforniji približno 1.600, medtem, ko je bilo število žrtev v Iranu v enakem obdobju več kot 126.000. Glavni vzrok za tako razliko je kvaliteta gradnje.



Slika 15. Pretrg na površini vzdolž preloma Bam (blizu Baravata) kaže na moč potresa. Figure 15. The surface fissures along the Bam fault (near Baravat).



Slika 16. Pretrg je nastal med mestoma Bam in Baravat. Figure 16. Rupture between Bam and Baravat.



Slika 17. Karta potresne nevarnosti Irana (GSI). Figure 17. Seismic hazard map of Iran (GSI).

Primerjava kaže, da so bila dosedanja prizadevanja v nerazvitih deželah neučinkovita, zato je potrebno najti druge načine, s katerimi bodo vlade postale odgovorne za svoja dejanja.

V podeželskih predelih Irana je kvaliteta gradnje zelo slaba. Čeprav so v Iranu v veljavi predpisi o potresno varni gradnji (slika 17), ki jih neprestano dopolnjujejo in izboljšujejo, pa jih pri gradnji stanovanjskih stavb ne uporabljajo. Pomembno vlogo ima tudi tradicija - Iran je dežela z več kot 2 000-letno tradicijo in po tradiciji si Iranci sami gradijo svoje stanovanjske hiše.

Ne glede na dobre predpise o potresno varni gradnji, stanovanjski objekti tudi niso klasificirani kot inženirski objekti, zato za njih predpisi ne veljajo. Pomembno je dejstvo, da obstoj predpisov še ne pomeni, da se bodo le-ti v praksi uporabljali. Potres je porušil okoli 60% mesta Bam. Skupna značilnost vseh zgradb je, da so grajene iz opek iz blata (ročno oblikovane, sušene na soncu). Konstrukcije so zelo enostavne, sam material pa težak, tudi zidovi nikoli niso med seboj povezani. Vse to poveča maso objektov, ki ob potresu ne morejo prenesti potresnih obremenitev. Uporaba gradbenega materiala je vedno pogojena s tem, kar je na voljo, ali pa z denarjem, ki je na voljo. Prizadeta regija je z ekonomskega vidika revna, naravne danosti pa tudi ne omogočajo uporabe drugih materialov (npr. lesa), ker jih pač po sprejemljivi ceni ni na voljo.

Mesto Bam, ki ga je potres prizadel najbolj, je dragulj z bogato zgodovinsko preteklostjo. Ustanovljen je bil na tako imenovani »svileni poti« iz Kitajske proti zahodu in je obkrožen s puščavo. Mesto so v davni preteklosti opisovali kot smaragd sredi puščave, saj ima zadostne

zaloge pitne vode in je tudi gosto poraščen s palmami. Središče mesta je trdnjava, zgrajena iz opek iz blata (na soncu sušena, nežgana opeka). Stara je preko 2.000 let in je verjetno najstarejša taka stavba na svetu. Na nekaterih delih ima 5 nadstropij, v potresu pa naj bi bila v veliki večini močno poškodovana in skoraj porušena. Z uničenjem tega zgodovinskega objekta je potres povzročil Iranu poleg velike gmotne škode tudi veliko kulturno in zgodovinsko škodo.



Slika 18. Bam - značilen pogled na popolnoma uničene dele mesta, kjer je vse grajeno iz na zraku sušene opeke. Figure 18. Bam. Parts of the city were completely destroyed because structures were made of

sun-dried brick (adobe).

V Bamu so bile uničene ali močno poškodovane skoraj vse javne in trgovske stavbe (slike 18-22), prekinjene so poti za oskrbo prizadetih krajev. Zato je vlada pozvala druge države (prijateljske in sovražne) za finančno pomoč, pomoč v hrani, zdravilih in opremi. Na žalost sta bili obe bolnišnici v Bamu porušeni, zato so poškodovane ljudi vozili v približno 100 km oddaljene bolnišnice večjih mest province (slike 18 do 22).

Zaradi pogostih močnih potresov so strokovnjaki izdelali karto prelomov, ocenili potresno nevarnost in na podlagi ugotovitev pripravili predpise o potresno varni gradnji. Že več kot tri desetletja je namreč znano, da leži mesto Bam v bližini bamskega preloma, pa kljub temu niti bolnišnici v mestu nista bili potresno ojačani. Stavbe, ki nudijo pomoč poškodovancem (na primer bolnišnice in zdravstveni domovi), bi morale biti grajene tako, da ne bi utrpele večjih poškodb ob potresu. Čeprav je to dejstvo jasno zapisano tudi v iranskih predpisih o potresno varni gradnji, so vlade skozi desetletja slabo upoštevale ukrepe za pripravo na potres.

Posledice močnih potresov v Iranu so vedno podobne. V potresu 20. junija 1990 na območju Rudbar-Tarom, z magnitudo 7,3, je več kot 40 000 prebivalcev izgubilo življenje, več kot 500 000 jih je ostalo brez strehe nad glavo, skoraj 100 000 stavb je bilo popolnoma uničenih in z zemljo je bilo zravnanih 700 vasi. Posledice niso bile tako strašne samo zaradi velike magnitude, pač pa tudi zaradi slabe gradnje in nepripravljenega prebivalstva na take dogodke.



Slika 19. Bam - tudi sodobneje zasnovani in grajeni objekti so bili med potresom uničeni. Na slikah so pokazane poškodbe zgradbe, ki je zgrajen kot okvir s polnili. Čeprav zgradba izgleda nosilna, saj so polnila ojačana z diagonalami, je lahko do porušitve prišlo zaradi lokalnih geoloških razmer.

Figures 19. Bam. Even contemporary designed and built structures were destroyed in the earthquake. Pictures show damage to building with frames with infill walls. Although the building has diagonal reinforcement and looks load-bearing, the reason for collapse could be local geological conditions.



Slika 20. Bam - tanki vitki stebri niso mogli prenesti velikih potresnih sil, ki so posledica masivnega strešnega dela.

Figure 20. Bam. Thin, slender columns couldn't bear strong earthquake forces because of the heavy timber roofs.



Slika 21. Bam - značilna porušitev zgradbe s tako imenovanim mehkim pritličjem. Pritlični odprti del je služil za garažo, nad njim pa je masivna konstrukcija.
Figure 21. Bam. Typical damage to a building with soft ground floor. A massive construction was built above open ground floor, which was used as a garage.



Slika 22. Bam - polnila lahko bistveno spremenijo obnašanje konstrukcij. Pri zgradbi na sliki je prišlo do močnih poškod (lom stebra) na mestih tik nad parapetom.
Figure 22. Bam. Fillings can essentially change structural behavior. This structure suffered heavy damage just above the apron (column rupture).

Vse fotografije so povzete iz svetovnega spleta, zato avtorji posameznih fotografij niso znani. All photos were found on the world wide web, therefore their authors are unknown.

Stroški za obnovo so bili predvideni v okvirni ceni 2,8 milijarde dolarjev (gospodarska izguba zaradi potresa je bila ocenjena na 7,2 milijarde dolarjev). Dolgotrajne posledice tega katastrofalnega dogodka so zajele tudi propad gospodarstva v vsaj treh velikih provincah in ponovno naselitev v vsaj treh velikih mestih in 700 vaseh. Obnova v skladu z novimi standardi je trajala desetletje in izčrpala večji del državnega proračuna.

Število mrtvih ¹	41.000	
Število poškodovanih	najmanj 30.000	
Število hiš, pri katerih sanacija ni možna	25.000 (od 29.500)	
(mesto Bam in okoliške vasi)		
Število prizadetih oseb (zaradi uničenja gospodarstva, lastnine in infrastrukture)	200.000	
Število prebivalcev v najbolj prizadetih območjih	Mesto Bam 90.000	
	Baravat 15.000	
	Okoliške vasi 10.000	
	Skupaj 115.000	
Število brezdomcev	Podatki 06.01.2004: 45.000 ljudi, poleg tega jih 20.000 stanuje pri sorodnikih, 10.000 pa jih je še vedno v bolnišnicah	
Število uničenih oziroma neuporabnih šol²		
Mesto Bam	93	
Okoliške vasi	38	
Število delno oz. popolnoma uničenih zdravstvenih ustanov		
Okrožne bolnišnice	3 (skupno število postelj: 255)	
Mestni zdravstveni domovi	10	
Podeželjski zdravstveni domovi	14	
Vaške ordinacije	95	

1 V času nastajanja tega poročila so reševalne enote nadaljevale z iskanjem pogrešanih in čiščenjem ruševin. Uradno število žrtev z dne 06. 01. 2004 je bilo okoli 30 000, danes pa se je povečalo na okoli 41 000 mrtvih.

2 Ministrstvo za izobraževanje je sporočilo, da je bilo na območju mesta Bam in njegove okolice skupno uničenih oziroma težko poškodovanih 131 šol, v katerih se je izobraževalo 32.843 učencev. 64 šol je bilo sicer samo poškodovanih, vendar so neuporabne za izvajanje pouka.

Zaključek

Če primerjamo učinke potresov s podobnimi magnitudami in s podobno gostoto prebivalstva v različno gospodarsko razvitih deželah, pridemo do osupljivih rezultatov. V potresu 17.10.1989 z epicentrom v Loma Prieti v Kaliforniji, je bilo glede na njegovo magnitudo (Ms=7,1) izredno majhno število človeških žrtev – 62. Število žrtev primerjajmo z 12 200 mrtvimi v potresu 01. 09. 1962 v Buyin Zahri (Iran), z magnitudo 7,2. Državi sta različno pripravljeni na naravne nesreče in zmanjšanje učinkov le-teh. Na območju San Francisca so se v zadnjih 30 letih dosledno držali predpisov o potresno varni gradnji, kar je glavni razlog za majhno število žrtev in majhno gospodarsko škodo. V Iranu niso ukrenili ničesar, kar bi pripomoglo k uveljavljanju predpisov. V Kaliforniji so gradbene predpise in izsledke geoloških raziskav uporabljali povsod, medtem ko se v Iranu preprosto prebivalstvo za predpise ni zanimalo in je gradilo hiše brez ojačitev. Čeprav so potresi v zahodnjem delu ZDA vsakdanji pojav, je v primerjavi z Iranom v zadnjih petdesetih letih število žrtev v ZDA mnogo manjše.

Glede na pridobljeno znanje in izkušnje z naravnimi nesrečami je tako veliko število žrtev nesprejemljivo. Več kot 60 milijonov Irancev živi na potresno močno nevarnih območjih, vendar pa je bilo za zmanjšanje potresne nevarnosti v naseljenih območjih narejenega zelo malo.

Dejavniki, ki v nerazvitih državah najbolj vplivajo na upravljanje potresnega tveganja, so:

- hitro povečanje prebivalstva v naseljenih območjih,
- slabo gospodarstvo,
- pomanjkanje proračunskih sredstev za razvoj in uveljavljanje programov za zmanjševanje potresne ogroženosti,
- pomanjkanje sredstev za sanacijo javnih in večstanovanjskih zgradb,
- cenena gradnja zasebnih stanovanjskih zgradb, ki so dostikrat tako slabo grajene, da se porušijo tudi same od sebe,
- gradnja je namenjena le zadovoljevanju trenutnih potreb, ne da bi upoštevala potresno ogroženost,
- neobveščenost o stopnji potresne nevarnosti,
- pomanjkanje uveljavljanja obstoječih gradbenih predpisov.

Osnovne težave pri razvoju nerazvitih držav v veliki meri prispevajo tudi k uničujočim učinkom naravnih nesreč. Glavni vzroki za visoko potresno ranljivost tega območja so:

- hitra in nenadzorovana urbanizacija,
- dolgotrajna mestna in podeželska revščina,
- uničevanje okolja (slabo gospodarjenje z naravnimi bogastvi),
- neučinkovito državno gospodarjenje in
- zgrešene investicije v zastarelo infrastrukturo.

Razvojna politika in ukrepi v primeru naravnih nesreč sta se osredotočila le na ukrepe med izrednim stanjem, ne pa tudi na preprečevanje in ublažitev učinkov naravnih nesreč.

Za zmanjšanje davka, ki ga zahtevajo naravne nesreče, je potrebno ukrepati že pred nastankom naravne nesreče, poskušati zmanjšati njene učinke ter povečati obseg sanacije po naravnih nesrečah. Za dosego želenega učinka je potrebno izvesti nove raziskave, s katerimi bi pridobili podatke za izdelavo in uzakonjenje novih predpisov. Potrebni podatki so:

- ocena tveganja, ki grozi prebivalcem in razvojnemu vlaganju,
- možnost preprečitve in ublažitve ranljivosti stavb,
- možnost prerazporeditve finančne obremenitve ob nesrečah,
- pripravljenost na izredne razmere in zmožnost obvladovanja le-teh,
- ocena učinkovitosti pri sanaciji in obnovi poškodovanih objektov in ocena odpornosti teh objektov na nadaljnje naravne nesreče.

Literatura

- Ambraseys, N. N., Melville, C. P., 1982. A history of Persian Earthquakes, Cambridge University Press, Britain (prevod A. Radeh), Agah Publishers, Teheran, 1991.
- Eshghi, S, Zare, M., 2003. Bam (SE Iran) earthquake of 26 December 2003, A Preliminary Reconnaissance Report, http://www.iiees.ac.ir/English/bam_report_english_recc.html
- Geological Survey of Iran (GSI), Geological quadrangles of Bam, Sabzevaran, allah Abad, Jahan Abad, Scale 1:250000.

http://earthquake.usgs.gov/recenteqsww/Quakes/uscvad.htm

 $http://neic.usgs.gov/neis/eq_depot/2003/eq_031226/neic_cvad_q.html$

 $http://www.bhrc.gov.ir/Bhrc/2800_web/2800/Pages/2nd_p4.jpg$

http://www.bhrc.ac.ir/Bhrc/Reports/bam/bam2/pages/p1.htm

http://www.iiees.ac.ir/Bam%20Photo/Ground%20Fissure/index.htm

NAPOVEDOVANJE POTRESOV, DA ALI NE ? EARTHQUAKE PREDICTION, YES OR NO?

Renato Vidrih

Izvleček. Napovedovanje potresov ima velik pomen tako v znanosti kot tudi v javnosti. Razlog ni samo v tem, da potresi zahtevajo številne žrtve in povzročijo veliko gmotno škodo v kratkem času, ampak tudi zato, ker imajo velike socialne in ekonomske posledice. Dilema znanstvenikov je tudi v tem, ali govoriti o potresni dejavnosti določenega območja z neko časovno in prostorsko napovedjo, ki je zelo nenatančna ali podati splošno informacijo o seizmičnosti določenega območja z večjo natančnostjo. Z upoštevanjem potresne nevarnosti in dobrimi predpisi o potresnoodporni gradnji lahko gradbeniki zelo zmanjšajo potresno ogroženost in tveganje. Če pa upoštevamo, da večji del populacije, ki je najbolj ogrožena zaradi potresne dejavnosti živi v »tretjem svetu«, napovedovanje potresov ni samo znanstveno vprašanje ampak tudi politično.

Abstract. Earthquake prediction is not only important for the science, but of great interest for public as well. Earthquakes can cause many victims and huge material damage in a very short time, and their social and economic consequences are large. The scientists are always in dilemma whether to speak of seismic activity through very unprecise space-time prediction or to give general information about the seismicity of some area with larger precision. Earthquake hazard and risk can be well mitigated by the use of earthquake resistant building design. Considering the fact that the majority of the world population that is most menaced by the seismic activity lives in the Third World countries, earthquake prediction turns out to be not only scientific but also a political issue.

Uvod

Potresno napovedovanje je pravzaprav opredelitev potresne nevarnosti in s tem dolgoročna zaščita pred potresi, ki združuje seizmologijo in gradbeništvo (tisti del gradbeništva, ki se ukvarja s potresnim inženirstvom), torej osnovno in aplikativno znanost. Seizmologija je dolžna raziskovati procese v potresnih žariščih, opredeliti potresno nevarnost z modeliranjem gibanja tal med potresom, analizirati potresno ogroženost in opozarjati na splošne in preventivne ukrepe za zmanjševanje škode ob možnih potresih v prihodnosti. Potresna nevarnost predstavlja potresno nevarna območja, ogroženost pa se nanaša na človeka, zgradbe in imetje.

Ob potresih vsako leto v povprečju umre okoli 16 000 ljudi. Seveda je število žrtev mnogo večje v nerazvitih predelih osrednje Azije, Indonezije, Južne Amerike...., kot pa npr. na Japonskem ali v ZDA. Obratno pa je gmotna škoda mnogo večja v razvitem svetu. O potresno najdejavnejših območjih na svetu, ognjenem obroču okoli Tihega oceana in sredozemsko — himalajskem seizmogenem pasu, ki vključuje tudi našo domovino, smo že pisali (Coburn in sod., 1989, Vidrih, 2001)

Zaradi potresov je med letoma 1900 in 1950 v povprečju letno umrlo okoli 16 000 ljudi. Po letu 1950 do danes pa povprečno potresi letno zahtevajo 14 000 žrtev. Seveda pa ta podatek ne vzbuja pretiranega optimizma, kar sta pokazala med drugimi potresa 26. decembra 2003 v Iranu (41 000 žrtev) in 26. decembra 2004 v Indoneziji (več kot 300 000). Pred letom 1950 je bilo osem zelo močnih potresov na naseljenih območjih, po letu 1950 sta bila le dva (do omenjenih dveh). Razmere za zagotavljanje zadovoljivih pogojev za potresno varno življenje so kritične, saj je letni prirastek človeštva 1,6 %. To pomeni podvojitev prebivalstva v 40-tih
letih. Ustrezno temu bi se morala v naslednjih 40-tih letih prepoloviti potresna ranljivost objektov. Žal pa potresne ranljivosti objektov ni možno tako hitro zmanjševati. Število ljudi, ki živijo v potresno ranljivih objektih se povečuje; predvsem to velja za nerazvite države. Preglednica 1 kaže ogroženost velikih mest, kjer lahko nastanejo katastrofalni potresi. Če primerjamo sedanjo naseljenost in rast prebivalstva v nerazvitem in razvitem svetu vidimo, da je potresna ogroženost vedno bolj prisotna.

Preglednica 1. Primeri mest na svetu, ki ležijo znotraj 200-km območjih, kjer lahko pride do potresa magnitude 7 ali več.

Table 1. Cities in the world that lie inside 200 km distance with possible occurence of magnitude 7 or larger.

Mesto, država	Prebivalstvo v letu 2000 (milijoni)	Prirastek prebivalstva (% na leto)		
Mexico City, Mehika	25,8	2,2		
Tokio, Japonska	20,2	0,5		
Teheran, Iran	13,6	3,4		
Džakarta, Indonezija	13,2	3,2		
Peking, Kitajska	11,2	1,8		
Manila, Filipini	11,1	2,8		
Los Angeles, ZDA	11,0	0,3		
Bangkok, Tajska	10,7	3,6		
Osaka, Japonska	10,5	0,6		
Lima, Peru	9,1	2,8		
Bagdad, Irak	7,4	3,1		
Bogota, Kolumbija	6,5	1,7		
Lahore, Pakistan	6,2	3,4		
Medan, Indonezija	5,4	5,2		
Santiago, Čile	5,3	1,3		
Ankara, Turčija	5,2	3,3		
Karakas, Venezuela	5,0	1,7		
Alžir, Alžirija	5,1	3,7		
Neapelj, Italija	4,3	0,4		

Število potresov

Prebivalce posameznih predelov vznemiri vsak lokalni potres, če pa bi vedeli, koliko potresov letno nastane na našem planetu, bi se verjetno zgrozili. Zemlja je zelo živ planet, ki se po ocenah letno zatrese vsaj 3,3-milijonkrat (Dolgoff, 1998). Če to prevedemo v manjše časovne enote, se Zemlja zatrese približno 9000-krat na dan, 400-krat na uro, 6-krat na minuto. Večina ljudi razmišlja, da se število potresov na svetu povečuje, a povečuje se le število zabeleženih oz. lociranih potresov. Vsako leto na Zemlji deluje več potresnih opazovalnic z boljšimi seizmografi, ki seveda omogočajo bistveno kakovostnejše spremljanje potresnih dogajanj. Mednarodni centri, s katerimi sodelujemo tudi slovenski seizmologi, od nacionalnih mrež prejemajo osnovne podatke o potresih (koordinati epicentra, čas nastanka, globina žarišča, magnituda, intenziteta) in jih s preverjenimi modeli preračunavajo. Končni izračuni izhajajo v mednarodnih biltenih, zelo hitro pa so na voljo tudi na spletnih straneh.



Slika 1. Število potresov v 20. stol. z magnitudami nad 4. Razlog naraščanja števila potresov je posledica večjega števila opazovalnic in večjega števila lociranih potresov. Število močnih potresov je približno enako, ker ni v tolikšni meri odvisno od števila opazovalnic.
 Figure 1. Earthquakes with magnitudes larger than 4 in XX century. Increasing number of earthquakes with time is due to the larger number of seismic stations and consequently larger number of located events. The number of strong earthquakes remains the same, because it is

less sensitive to the number of stations.

Preglednica 2. Število potresov, ki letno zatresejo naš planet. Močnejši potresi so zabeleženi na vedno večjem številu potresnih opazovalnic po svetu, število šibkih potresov je ocenjeno. **Table 2.** Annual number of earthquakes in the world. Stronger events are recorded on growing number of seismological stations; the number of weak events is an estimate. (vir)

opis potresa	magnituda	letno povprečno število potresov
zelo velik	8,0 ali več	1
velik	7,0 – 7,9	18
zelo močan	6,0-6,9	120
močan	5,0 - 5,9	800
srednje močan	4,0-4,9	6200 (ocenjeno)
šibek	3,0 - 3,9	49000 (ocenjeno)
zelo šibek	2,0 - 3,0	1000 na dan (ocenjeno)
	1,0 - 2,0	8000 na dan (ocenjeno)

Ruska zgodba

Prof. Martinov je z dopisom 16. 11. 2004 napovedal potres z magnitudo večjo od 6 na širšem območju Slovenije, Hrvaške in Avstrije, ki naj bi nastal v prihodnjih dveh letih na območju, velikem približno 110 x 110 km (med 15° in 16° V in 46° in 47° S). Seveda mora imeti vsaka znanstvena napoved utemeljitev, ki pa je nismo prejeli. Kasneje je poslal nov dopis, v katerem razlaga svojo dejavnost. Poleg napovedovanja naravnih katastrof (omenjena napoved in napovedi viharjev, poplav in suš v coni delovanja aparata ŠGM- širokopasovni gravimeter, katerega območje delovanja je 2000 km), lahko upravlja z vremenom (spremembe gibanja ciklonov in anticiklonov), uvaja nove načine pogona avtomobilov, vlakov, letal in tudi

vesoljskih ladij, proizvodnjo električne energije in medsebojno komuniciranje med človekom in drugimi biološkimi subjekti.

20. januarja 2005 je prišlo naslednje sporočilo, ki tudi ni znanstveno utemeljevalo napovedi, v njem pa je bila finančna konstrukcija. Z namenom preprečitve človeških žrtev je Martinov predlagal sodelovanje z nami na dveh ravneh:

I. Organizacija nujnega opozorila prebivalstva Slovenije o prihodnji katastrofi, kar pomeni sodelovanje med ruskimi in slovenskimi strokovnjaki s področja geologije, meteorologije, geofizike, seizmologije in biologije. Program sodelovanja mora vsebovati sledeče:

a). Ruski strokovnjaki pripravijo predavanja in pogovore o njihovem fizikalnem konceptu, ki temelji na principih nelinearne fizike, neravnovesne termodinamike in ustrezne nelinearne matematike. Ta del sodelovanja bi vseboval znanstveni del njihovega znanja. Predavanja bi se izvajala v Sloveniji, končala pa z obiskom v laboratorijih tulske državne univerze. Cena tega dela: 75.000-100.000 evrov

Čas realizacije je takojšen oz. v 30 dneh od podpisa dogovora in avansa v vrednosti 50.000 evrov.

b). Istočasno bi ruski znanstveniki skupaj z našimi specialisti po njihovi metodi raziskali geologijo in izvedli diagnostiko meteoroloških in geofizikalnih posebnosti v ustreznih geoloških strukturah za zadnjih 11-13 let.

Cena: 100.000 evrov.

Čas realizacije v roku 30 dni po podpisu pogodbe o sodelovanju.

c). Ko bodo opravljena zgoraj našteta dela bo vzpostavljena operativna zveza med našimi specialisti in njihovim kolektivom. Sporočilo se končuje s stavkom: »Zagotavljamo, da vas bomo opozorili o potresu z M > 6 na območju Slovenije v roku 1-3 dni pred katastrofo. Prosim bodite pozorni, ker je naš kolektiv edini na svetu, ki obvlada metode, ima sredstva in ustrezne matematične modele za pravočasno napoved katastrof«.

II. Organizacija sistema monitoringa in pravočasnega opozarjanja prebivalcev zahodne Evrope, v tem primeru Slovenije o naravnih katastrofah, močnih potresih, poplavah, viharjih....

 a). Razprava s specialisti iz Nemčije in Slovenije o ustanovitvi skupne službe za monitoring in opozarjanje pred katastrofami na območju Evrope.
 Cena : 50 000 evrov.

b). Izbor lokacije za instrument ŠGM -12 M na ozemlju Nemčije in opredelitev tehničnih zahtev za izgradnjo stalne lokacije.
 Cena: 25 000 evrov.

c). Postavitev sistema ŠGM -12, montaža in zagon vseh sistemov monitoringa. Predaja znanja, konstrukcije, matematičnih modelov sprejema, obdelave arhiviranja in analize podatkov (meritev) sistema ŠGM -12M.

Cena (brez cene znanja) 300.000 evrov.

d) Predaja sistema v uporabo.Cena 100 000 evrov.

Kot lahko vsakdo razbere iz skoraj v celoti prevedenega dopisa gre za seizmološki monitoring z ruskimi instrumenti. V Sloveniji končujemo z izgradnjo ene najsodobnejših mrež potresnih opazovalnic na svetu, kjer smo na mednarodnem razpisu izbrali enega najsodobnejših sistemov - Antelope programsko opremo ameriškega proizvajalca Kinemetrics (Rusi se na razpis niso prijavili). Programska oprema omogoča zajem, prenos podatkov, obdelavo, shranjevanje in posredovanje podatkov. Nadalje lahko vidimo, da bi ruski znanstveniki raziskali geologijo Slovenije v tridesetih dnevih, poleg tega pa opravili še meteorološke, biološke in druge raziskave. Prof. Martinov pričakuje plačilo skoraj 700 000 evrov, na podlagi katerega bi napovedal potres z magnitudo večjo od 6,0 v roku 1 do 3 dni pred potresom, ki bi nastal na širšem območju Slovenije, Hrvaške in Avstrije. Seveda za uspešnost te napovedi v njegovem dosedanjem »napovedovanju« ni nikakršnega zagotovila. Pa še to; ozemlje, kjer je napovedal potres, je v dosegu njegovega instrumenta, zato domnevamo, da bo lahko uresničil napoved 1 do 3 dni pred katastrofo, saj trdi: »Od leta 1999 mi redno in nezmotljivo opozarjamo vlade v Evropi, Turčiji in Iranu, to so ozemlja, ki se nahajajo v območju dosega naših aparatov 7°E-54°E in 36°-52° N (vihar v Franciji v juliju 2001, poplave v Krasnodarskem in v središču zahodne Evrope v 2002, potresi z magnitudo nad 6 v Turčiji v letih 1999 in 2003, v Iranu v letu 2004 itd.).«





Figure 2. The uppermost part of our planet consists of tectonic plates. Their mutual movements (Figure 3) are the main cause of seismic activity. Arrows indicate the direction of plate movement.

Ruskemu znanstveniku ni bilo treba ničesar drugega, kot pogledati na karto potresne nevarnosti (http://www.arso.gov.si/podro~cja/potresi/podatki/intenzitete_potresov.html) Slovenije, kjer so natančno (ne na sto kilometrov) označena območja, ki jih lako prizadene potres. Največje označene intenzitete (do VIII. stopnje za povratno dobo 500 let, v daljših povratnih dobah celo do IX. stopnje po evropski potresni lestvici), po moči približno odgovarjajo njegovim napovedim.

O natančni napovedi potresa lahko govorimo, ko je zadovoljeno trem dejavnikom – točnemu času nastanka potresa, točnemu kraju nastanka in ocenjeni moči potresa, česar pa ta obvestila ne vsebujejo. Kmalu po objavi napovedi v slovenskih medijih, kjer je ruski znanstvenik napovedal tudi potres v Iranu, je potres res bil. A žarišče je bilo 1000 (tisoč!) km od napovedanega kraja, časa in moči pa ni napovedal. V obdobju 1973 do 2005 je bilo v Iranu 2418 potresov, ki so dosegli magnitudo med 4 in 5, 376 potresov z magnitudo med 5 in 6, 34 potresov z magnitudo med 6 in 7 ter 8 potresov, ki so presegli magnitudo 7. Iz tega lahko sklepamo, da res ni težko dalnoročno, pa tudi srednje in kratkoročno napovedati potres v Iranu. Problem pa je tudi v tem, da so lahko zaradi slabe gradnje žrtve že ob potresih z magnitudo 5.

Kaj je napovedovanje oz. predvidevanje nastanka potresov?

Osnovna zakonitost napovedi dogodka, v tem primeru potresa, je napovedati točen čas in kraj nastanka potresa ter seveda opredeliti njegovo moč. Teoretično je to možno, seveda pa pod pogoji, ki jih danes svetovna seizmologija še ne zna rešiti. Nastanek potresa je posledica precej zapletenih procesov v Zemljini notranjosti. Npr. meteorologi, ki imajo na voljo veliko več merilnih točk, lahko na podlagi izračunov napovedujejo vremenske spremembe, pa vendar lahko to delajo le za nekaj dni vnaprej, dolgoročne napovedi so redke.



^{3.} Subdukcija

Slika 3. Med ploščami so različne meje ali stiki. Na sliki 1 vidimo primer, ko se dve plošči razmikata ali divergirata (divergentna meja), slika 2 kaže mejo, kjer dve plošči drsita druga ob drugi ob transformnem prelomu, slika 3 kaže plošči, ki se približujeta, konvergirata in se podrivata druga pod drugo (subdukcija), slika 4 pa kaže dve plošči, ki se primikata druga proti drugi in medsebojno trčita (kolizija).

^{4.} Kontinentalna kolizija (potresi so globoki do 300 km)

Figure 3. Between the plates there are boundaries or contacts. Figure 1 shows an example of two diverging plates (divergent boundary); Figure 2 shows the case of two plates sliding along a transform fault; Figure 3 shows two plates approaching, converging and consenquently one of them subducting under the other one; Figure 4 shows two plates approaching and colliding.

V seizmologiji, kjer praktično ni možnosti neposrednih opazovanj v žariščni globini, težko govorimo o možnosti napovedi, zato je mnogo primernejši izraz predvidevanje nastanka potresa in prav to nam nudijo karte potresne nevarnosti (Vidrih, 2005).

Preglednica 3. Letna verjetnost smrti zaradi različnih pojavov (bolezni, nesreče, ujme...) na svetu v enem letu. Nas zanimajo potresi; v nerazvitem svetu (predstavnik je Iran) je možnost biti žrtev potresa 1:23 000, v razvitem svetu (predstavnik ZDA) je možnost 1: 2 000 000.
Table 3. Annual probabilistic death-rate due to the different factors (illnesses, accidents, natural disasters...). For earthquakes, in undeveloped world (e.g. in Iran) the possibility of being an earthquake victim is 1:23000, in developed world (e.g. in USA) 1:2000000.

kajenje (10 cigaret na dan)	1 na 200		
vsi možni naravni vzroki (starost 40 let)	1 na 850		
različna nasilja in zastrupitve	1 na 3300		
influenca	1 na 5000		
avtomobilske nesreče (Evropa)	1 na 8000		
levkemija	1 na 12 500		
potresi (živeči v Iranu)	1 na 23 000		
nesreče pri športu	1 na 25 000		
nesreče na domu	1 na 26 000		
nesreče na delu	1 na 43 500		
umori (Evropa)	1 na 100 000		
potresi (živeči v Kaliforniji)	1 na 2 000 000		
udarci strele	1 na 10 000 000		
nevihte (severna Evropa)	1 na 10 000 000		

Preglednica 4. Klasifikacija napovedovanja potresov. Čas napovedi je podan v letih, prostorska raporeditev pa z dolžino prelomne cone L=L(M) začetnega potresa z magnitudo M. **Table 4.** Earthquake prediction classification. Prediction time period is in years, spatial distribution is defined by the length of the fault zone L=L(M) of the initial earthquake with magnitude M.

Čas napovedi	(v letih)	Prostorska razporeditev – dolžina prelomne cone (km)			
daljnoročna napoved	10	veliko območje	več kot 100		
srednjeročna napoved	1	srednje veliko območje	5 – 10		
kratkoročna napoved	0,01 - 0,1	manjše območje	2 – 3		
neposredna napoved	0,001	natančno območje	1		

Za napovedovanje potresov so potrebne številne raziskave, ki obsegajo zgodovino potresnih dogajanj na določenem območju, terenske raziskave, laboratorijske poizkuse, vse to pa spremljajo teoretični modeli in študije. Nastanek potresa je vezan na sprostitve velikih mehanskih napetosti, ki nastajajo ob prelomih v Zemljini skorji.

Če bi lahko kopičenje teh napetosti opazovali ali celo merili, bi mogoče celo predvideli nastanek potresa. Vendar to ni mogoče, saj ni možno opravljati meritev v samem žariščnem prostoru, opazujemo lahko le deformacije na površini, kar pa je premalo za točne napovedi.



Slika 4. Svetovna karta potresne nevarnosti, ki je nastajala skoraj desetletje, in pri kateri je sodelovalo več sto strokovnjakov iz vsega sveta, med njimi tudi slovenski seizmologi, je poenotila kriterije določanja potresne nevarnosti.

Figure 4. World map of earthquake hazard took almost a decade to make; hundreds of seismologists from all parts of the world, including experts from Slovenia, unified the criteria of earthquake hazard determination.



Potresna zgodovina

Slika 5. Del karte, ki zajema Sredozemlje in dobršen del Evrope, kaže lego Slovenije na obrobju zelo aktivnega pasa, ki se iz Sredozemlja nadaljuje preko Turčije, Irana, Iraka, do Himalaje in dalje do Indonezijskega otočja. Čeprav potresne dejavnosti Slovenije ne moremo primerjati z dejavnostjo najaktivnejših območij sveta (Aljaska, Čile, Japonska, Kalifornija, Turčija, Iran, Kitajska, ...), v evropskem prostoru sodi ozemlje Slovenije med dejavnejša območja. Južno od nas je sicer potresov več in so tudi močnejši, severneje od nas pa jih je bistveno manj in njihove posledice nimajo večjih razsežnosti.

Figure 5. Part of the map, including the Mediterrannean and the better part of Europe, shows that Slovenia lays on the edge of a very active belt, from the Mediterrannean through Turkey, Iran, Iraq to the Himalayas and Indonesian islands. Although seismic activity in Slovenia cannot be compared with the one in the most active world regions (such as Alaska, Chile, Japan, California, Turkey, Iran, China...) it is still one of the most active parts of Europe. In general, earthquakes in the southern part of Europe are more frequent and more powerful, and in the northern part they are fewer and their consequences are smaller.

Velikost vršnega pospeška, ki ga na legendi označujejo posamezne barve, velja za obe sliki. Hladne barve kažejo nižje vrednosti, tople višje. V naših krajih lahko nastajajo potresi s pospeški tja do 0,3 m/s², kar ustreza IX. stopnji po EMS lestvici (približna ocena). Seveda gre za splošno oceno, saj se lahko učinki potresa v slabih tleh povečajo, zato so za posamezne lokacije potrebne dodatne raziskave.

The peak ground acceleration values, depicted by different colors, are the same for both figures. Cold colors are for lower values and warm colors for higher ones. Slovenia can experience earthquakes with ground acceleration values up to 0,3 m/sec². It is a general estimate, as the earthquake effect can be larger due to the bad quality of soil, and therefore additional research is needed for particular localities.

Preglednica 5. Seznam potresov, ki so nastali na ozemlju Slovenije od leta 567 n. št. dalje in so dosegli ali presegli največjo intenziteto med VI. in VII. stopnjo po EMS, torej so lahko povzročili manjšo ali večjo gmotno škodo in zahtevali žrtve.

Table 5. List of earthquakes in Slovenia from 567 AD, with the maximum intensity VI-VII EMS or higher; such earthquakes could have caused damage and casualties.

dan	mesec	leto	čas ura min		N	Е	glob. km	mag.	intenz. EMS	območje
		567			45,6	15,3		5,8	IX	Bela krajina
	02	792			46,0	14,5	10	5,4	VIII	Ljubljansko barje
26	03	1081			46,0	15,0	10	5,4	VIII	JV od Litije
		1097			45,6	15,3		5,8	IX	Kočevsko
	01	1508			46,0	14,5	10	4,9	VII	Ljubljansko barje
26	03	1511	1	4	46,1	14,0	15	6,8	Х	Idrija, Cerkno
17	11	1575			46,1	14,5	10	4,9	VII	Ljubljana
22	04	1590	12	30	46,1	14,5	10	4,9	VII	Ljubljana
		1621			46,2	14,5	10	4,9	VII	Ljubljana, Kamnik
05	05	1622	1	1	46,1	14,5	10	5,2	VII-VIII	Ljubljana
		1625			46,0	14,5	10	4,9	VII	Ljubljansko barje
17	06	1628	1	8	46,0	15,5	7	5,0	VIII	Krško, Brestanica
27	11	1632	1	9	46,0	15,5	8	4,7	VII	Krško, Brestanica
		1640			45,9	15,5	2	5,4	IX	Brežice
21	10	1684	5	30	46,1	14,5	9	4,9	VII	Ljubljana
10	05	1689	3	3	46,0	14,9	5	5,2	VIII	dolina Temenice
29	06	1695			46,0	15,5	8	4,6	VI-VII	Krško, Brestanica
29	11	1695			46,0	15,5		4,6	VI-VII	Krško, Brestanica
11	02	1699			45,6	15,3	6	5,3	VIII	Metlika
03	02	1716			46,1	13,6	10	4,9	VII	Kanal, Anhovo
24	03	1784			46,1	14,5	10	4,7	VI-VII	Ljubljana
02	05	1819	14		46,0	14,0	10	4,6	VI-VII	Idrija
02	08	1830	1	0	46,0	15,5	10	4,9	VII	Krško, Brestanica
22	03	1839	04	15	46,4	16,1	8	4,6	VI-VII	okolica Ormoža
27	08	1840	12	05	46,2	14,7	8	5,1	VII-VIII	planina Menina
21	12	1845	20	40	46,1	14,5	7	5,1	VII-VIII	Ljubljana
17	11	1852	14	03	46,1	15,0	6	4,5	VI-VII	vzhodno od Litije
16	01	1853	01	30	45,9	15,6	5	4,3	VII	Brežice
09	11	1856	22	17	45,9	14,5	8	4,8	VII	Krim, Mokrc
07	03	1857	02	56	46,2	14,0	19	5,4	VII-VIII	Cerkno
08	05	1860	05	30	45,9	15,6	3	4,2	VI-VII	Brežice
13	10	1869	03	30	46,4	14,2	7	4,8	VII	dolina Radovne
02	03	1870	2	2	46,1	14,9	4	4,6	VII	Sava, Litija
02	12	1871			45,9	15,0	5	4,7	VII	Trebnje
04	04	1877	19	45	46,2	15,2	4	4,6	VII	Laško, Celje
12	09	1877	15	30	46,0	15,2	6	4,5	VI-VII	dolina Mirne
21	08	1878	6		46,0	15,2	16	4,8	VI-VII	dolina Mirne
12	09	1879			46,2	14,3	7	4,5	VI-VII	Škofja Loka
12	02	1880	16	30	45,5	15,3		4,6	VI-VII	Bela krajina
04	02	1881	01	26	45,8	14,1	10	4,6	VI-VII	Hrušica, Nanos
17	07	1882	07	51	46,0	14,3	12	5,0	VII	Vrhnika
14	04	1895	20	17	46,1	14,5	16	6,1	VIII-IX	Ljubljana

dan	mesec	leto	Ča ura	as min	N	E	glob. km	mag.	intenz. EMS	območje
15	07	1897	05	53	46,1	14,5	7	4,9	VII	Ljubljana
17	04	1898	22	49	46,1	14,5	11	4,3	VI-VII	Ljubljana
18	09	1899	05	16	46,2	14,4	8	4,6	VI-VII	Medvode, Kranj
16	02	1901	20	06	46,2	15,0	9	4,6	VI-VII	Trbovlje
16	02	1903	19	59	46,0	14,2	4	4,3	VI-VII	Vrhnika, Rovte
23	05	1905	13	13	45,9	15,3	3	4,5	VII	Škocjan, Bučka
14	11	1905	12	47	46,0	15,5	1	3,9	VI-VII	Krško, Brestanica
22	02	1908	10	34	46,0	15,7	10	4,9	VII	SV od Brežic
20	11	1908	04	03	46,3	15,3	7	3,8	VI-VII	Celje, Vojnik
20	05	1913	16	15	45,5	14,4	7	4,8	VII	Snežnik
18	09	1916	11	08	46,0	15,7	5	4,7	VII	SV od Brežic
30	10	1916	00	17	46,3	14,8	10	4,6	VI-VII	Gornji grad
29	01	1917	08	22	45,9	15,6	13	5,7	VIII	Brežice
05	01	1921	00	20	45,8	15,1	7	4,5	VI-VII	Dolenjske Toplice
15	09	1924	20	07	46,2	15,2	15	4,4	VI-VII	Celje, Laško
03	12	1924	21	34	45,9	15,6	13	5,0	VII	Brežice
01	01	1926	18	04	45,8	14,4	13	5,6	VII-VIII	Cerkniško jezero
25	08	1928	21	09	45,9	15,6	5	4,8	VII	Brežice
19	12	1934	06	14	45,8	15,2	3	4,2	VI-VII	Novo mesto
06	05	1939	04	10	46,1	14,8	11	4,4	VI-VII	Kresnice, Litija
09	03	1940	04	54	45,8	15,4	4	4,6	VII	Gorjanci
01	10	1953	18	27	46,0	15,5	3	4,9	VII	Krško, Brestanica
31	01	1956	02	25	45,6	14,3	7	5,1	VII	Ilirska Bistrica
19	03	1958	16	03	46,5	14,8	15	4,5	VI-VII	Peca
19	05	1963	10	00	46,1	14,8	13	4,9	VII	Kresnice, Litija
20	06	1974	17	08	46,2	15,5	13	5,1	VII-VIII	Kozjansko
16	07	1977	13	13	46,3	14,3	8	4,6	VI-VII	Kranj, Golnik
03	07	1982	13	42	46,3	15,1	4	3,5	VI-VII	Šempeter, Sav.dol.
12	04	1998	10	55	46,3	13,6	8	5,6	VII-VIII	zgornje Posočje
12	07	2004	13	04	46,3	13,6	8	4,9	VI-VII	zgornje Posočje

Predvidevanje nastanka potresov je seveda dolgoročna raziskava, ki v prvi fazi zajema potresno zgodovino. V ta namen se pripravljajo katalogi potresov, ki segajo več stoletij nazaj, dokler je iz različnih arhivov možno pridobivati podatke. Slovenski katalog zajema podatke od leta 567 n. št. dalje in vsebuje okoli 3500 potresov. Ker je seizmologija zelo mlada veda in ker se je instrumentalno beleženje potresov v redkih državah začelo v drugi polovici 19. stol., je potrebno večino parametrov potresov preračunati glede na razpoložljive vire. Na podlagi opisa poškodb in drugih makroseizmičnih podatkov ocenimo učinke potresa (intenziteto) in iz nje preračunamo magnitudo (moč) potresa. Potresna zgodovina Slovenije kaže na zmerno potresno dejavnost, občasno pa nastajajo potresi, ki povzročajo manjšo ali večjo gmotno škodo. V preglednici 5 so podani zgodovinski potresi z žarišči na območju naše države. Vidimo, da potresi, ki presegajo VI.- VII. stopnjo EMS, kar pomeni, da povzročajo manjšo ali večjo gmotno škodo, v Sloveniji niso nikakršna redkost (zaradi spremembe lestvice MSK v

EMS bodo v prihodnosti verjetno pri določitvah posameznih inetenzitet nastale manjše spremembe). Zato moramo biti na potrese pripravljeni tudi v bodoče, predvsem z dobrimi gradbenimi predpisi, katere del so tudi karte potresne nevarnosti.

Raziskovanje potresne dejavnosti v preteklosti omogoča ocenjevanje statistične verjetnosti nastanka potresov. Daljši ko je čas od zadnjega močnejšega potresa, večja je verjetnost, da bo nastal nov potres. Zanimivo je, da se takrat poveča število vedeževalcev in napovedovalcev katastrof. V zadnjem času dobivamo na Agencijo RS za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo številne napovedi. Zgodba je enostavna; če vedeževalcu in novinarjem, ki povzemajo njihove napovedi uspe napovedati kakršnokoli katastrofo bodo veljali za velike zmagovalce, če se nič ne zgodi, pa ljudje hitro pozabimo. Menim, da bi bilo potrebno ob lažnem širjenju panike med prebivalstvom, samooklicane napovedovalce kaznovati. Japonci so izračunali, da je gmotna škoda, ki bi nastala zaradi napačne napovedi enega dneva okoli 7 milijard USD dnevno. V prvih tednih po napovedi ruskega znanstvenika o morebitnem potresu v naslednjih dveh letih pri nas, se je med delovnim časom o tem veliko govorilo in zapravljalo čas. Seizmologi smo lahko cele dneve odgovarjali prestrašenim prebivalcem različnih koncev Slovenije in jim dopovedovali, da znanost še ne omogoča natančnih napovedi. Tudi v Sloveniji bi lahko izračunali škodo, ki jo je povzročila ta napoved (med številnimi klici kako ravnati, so bila različna vprašanja o evakuacijah ipd.). Kdo bo odgovorjal za ves zapravljen čas, za strah...? Zanimivo je, da prebivalci, pa tudi nekateri novinarji (na srečo redki) slovenskim seizmologom ne verjamejo, čeprav stalno opozarjamo na potresno nevarnost v Sloveniji. Seveda, tujci so boljši. Mogoče je sedaj priložnost, da se prebivalci različnih, predvsem najbolj ogroženih, predelov Slovenije poučijo o morebitnem potresu, ki bo v prihodnosti nastal na njihovem območju, da ocenijo varnost objekta, v katerem stanujejo, da se poučijo o ravnanju pred, med in po potresu. Naravoslovci naravo opazujemo, spremljamo procese, ki se odvijajo pred našimi očmi, tako v atmosferi, hidrosferi, biosferi..., kot tudi v Zemljini notranjosti in skušamo te procese opisati. Le na ta način lahko upamo, da bodo v prihodnosti lahko nastale celo možnosti napovedovanja katastrof.

Na podlagi študija prostorske in časovne porazdelitve potresov lahko ugotavljamo selitve posameznih potresnih žarišč in obdobja, ko potresna nevarnost zamre. V različnih predelih sveta so na podlagi potresne neaktivnosti, v sicer potresno nevarnih območjih, predvidevali nastanek močnejšega potresa. Prva tovrstna znanstvena napoved je bila v Kaliforniji ob prelomu Sv. Andreja, vendar poudarjam, da je šlo za približno oceno. Prav tako lahko na podlagi prostorske porazdelitve potresnih žarišč približno ocenimo, kateri del preloma bo v prihodnosti aktivnejši. Npr. potres leta 1998 v zg. Posočju je nastal ob ravenskem prelomu s smerjo severozahod – jugovzhod, potres leta 2004 pa je nastal ob istem prelomu nekoliko višje. Za ta opazovanja je potrebno ob vsakem močnejšem potresu na terenu postaviti več prenosnih potresnih opazovalnic in opazovati, kje nastajajo popotresni sunki.

Spremljajoče raziskave

Ob seizmoloških raziskavah, predvsem spremljanju potresne dejavnosti z gostimi mrežami seizmometrov, je potrebno raziskovati tudi prelomne strukture z različnimi geološkimi, geofizikalnimi, v zadnjem času tudi geodetskimi raziskavami, ki končno pripeljejo do izdelave seizmotektonskih študij. Danes lahko premike merimo tudi prek satelitskih opazovanj. Seizmološke raziskave poleg beleženja potresov omogočajo tudi meritve hitrosti seizmičnega valovanja.



Slika 6. Karta potresne nevarnosti Slovenije (avtor V. Ribarič) nam kaže, da na ozemlju Slovenije seizmologi pričakujemo potrese z intenzitetami VIII. stopnje, v daljših časovnih obdobjih ponekod celo do IX. stopnje EMS. Ruskemu znanstveniku Martinovu ni bilo treba ničesar drugega kot pogledati to karto, kjer so natančno (ne na sto kilometrov) označena območja, ki jih lahko prizadene potres podobne moči, kot ga je napovedal.
Figure 6. Earthquake hazard map for Slovenia (Author V. Ribarič) shows that earthquakes with maximum intensities VIII are to be expected, and in some areas even stronger (IX EMS). Russian scientist Martinov needed just to look at this map, in which areas prone to earthquakes of the predicted size are shown with the precision much larger than 100 km.

Le seštevek velikega števila različnih rezultatov, pridobljenih z različnimi metodami raziskovanja, nam bo omogočil večje vedenje o samem potresnem dogajanju. Raziskave ruskega znanstvenika so le eden od možnih pokazateljev anomalij, kar še ne pomeni, da lahko pride do kakršnekoli katastrofe, kaj šele da bi določili točen čas in prostor nastanka. V Sloveniji dokončujemo sodobno državno mrežo potresnih opazovalnic, s katero seveda ne bomo napovedovali potresov, povečalo pa se bo naše znanje o posameznih seizmogenih območjih, aktivnih prelomnih conah ipd. Hitreje, v stvarnem času, bo tudi obveščanje javnosti in pristojnih inštitucij. Podatki o zadnjih potresih v Sloveniji so bili posredovani na Center za obveščanje RS in javnosti v nekaj minutah po dogodku, kar v primeru močnega potresa omogoča takojšnje ukrepanje Civilne zaščite in drugih pristojnih inštitucij, ki lahko s hitrim posredovanjem in reševanjem veliko pripomorejo k zmanjšanju posledic potresa.

Geološke raziskave omogočajo izdelavo tektonskih modelov, predvsem pa so pomembne raziskave aktivnih prelomov, ki skupaj s seizmološkimi podatki ustvarjajo seizmotektonsko sliko seizmogenega območja. Učinki potresa so v različnih tleh lahko zelo različni, saj se lahko pri enaki moči (magnitudi) potresa v tleh s slabo seizmogeološko podlago (nesprijeti materiali, peski, gline, zamočvirjena tla...) povečajo za eno do dve stopnji. Zato bi bilo potrebno za slovenski prostor izdelati karte geološke nevarnosti, ki jo lahko potresna nevarnost še poveča. Karte, s katerimi bi morala razpolagati vsaka občina (1:25 000 ali večje merilo), bi omogočile pravilno prostorsko in urbanistično ureditev. Danes pa se dogaja, da ljudje gradijo vsepovsod, na plazovitih terenih, na poplavnih območjih... Ne napovedovanje katastrof, pripravljenost nanje je bistvenega pomena, zato pa je potrebno poznati geološke in seizmološke razmere na domačem območju in temu primerno graditi in zavarovati zgradbe in ljudi.

Pred potresom prihaja v žariščnem prostoru zaradi velikih mehanskih napetosti do nastajanja manjših razpok v kamnini. Teh razpok večinoma ne moremo opazovati, lahko pa s poznavanjem kamnine, ki gradi žariščni prostor ugotavljamo, kako se bodo širile pod različnimi pritiski in drugimi pogoji. V ta namen potekajo laboratorijske raziskave, kjer pod visokimi temperaturami in pritiski ugotavljajo posamezne lastnosti različnih kamnin, dokler ne pride do zdrobitve (Lapajne, 1990).

Ob seizmoloških in geoloških opazovanjih so pomembne tudi meritve mehanskih količin, kot so spremembe napetosti v hribinah, deformacije in premiki ob prelomnih conah ter drugih fizikalnih in geofizikalnih količin (meritve električne upornosti, meritve gravitacijskega in geomagnetnega polja...) (Lapajne. 1991).

Ob vsem naštetem so zelo pomembne tudi geokemične meritve in analize (spremembe koncentracij radona, helija, argona, CO₂,..., geokemične analize primerkov različnih kamnin in tekočin, ionov v vodi...). Ponekod znanstveniki opazujejo spremembe gladine morja, vpliva plimovanja Zemljine skorje, spremembe gladine podtalnice, presihanje ali nastajanje novih izvirov ipd.

Naraščanje tektonskih napetosti v Zemljini skorji ob prelomnih strukturah povzroča uhajanje plinov skozi aktivne prelome, kjer je povečana poroznost in prepustnost kamnin. Spremembe koncentracije plinov nastanejo lahko zaradi spreminjajočih tektonskih napetosti, ki povzročajo zapiranje ali odpiranje starih ter nastajanje novih razpok, skozi katere plini uhajajo. Pore so lahko zapolnjene z vodo, kar še dodatno vpliva na lastnosti kamnine in način prelamljanja ob

potresu. Dogajanja v Zemljini skorji lahko povežejo različne vodonosnike, tektonske napetosti pa povečajo dotok vode na površje, predvsem v termalnih vodah, lahko iz več stometrskih globin. Koncentracija raztopljenih ionov, raztopljenih plinov, sestava prostega plina, vrednost pH, tlak itd., nas lahko opozori na aktivna dogajanja v notranjosti. Prav tako lahko na osnovi meritev povečane koncentracije plinov v talnem zraku nad aktivnimi prelomi določamo stopnjo aktivnosti. Najboljše korelacije dobimo pri preučevanju prelomov, kjer je debelina sedimentnega pokrova manjša od 2000 m. Merijo se predvsem radon, helij in CO₂. Tovrstne raziskave potekajo tudi v Sloveniji. Meritve v sodelovanju z Uradom za seizmologijo in geologijo opravljajo na inštitutu Jožef Štefan. Meritve potekajo v Tolminskih koritih, na Bledu, pri Hotavljah, na Vrhniki in v okolici Krškega. Meritve so na podlagi spremenjenih koncentracij sproščenega radona pokazale hipotetično povezanost s potresi na območju Tolminskih korit, Bleda in Hotavelj, kar pa je seveda še daleč od napovedi. Meritve temperature vode, električne prevodnosti in hidrostatičnega tlaka pa niso pokazale sprememb napetosti pred, med ali po potresih (Popit, 2004).

Nazadnje lahko omenimo tudi opazovanje obnašanja živali. Vsepovsod po svetu igrajo živali pri potresnem napovedovanju pomembno vlogo. V zgodovini obstajajo legende, da živali potrese celo povzročajo. Predvsem Kitajci na podlagi opazovanja obnašanja živali skušajo napovedovati potrese. Če pa pogledamo resnici v oči, je zgodba drugačna. Psi lajajo, mačke se potepajo...., prebivalci vse to slišijo in se večinoma ne zmenijo za to. Če pa so kasneje obveščeni ali so celo sami čutili potres, potem je bil pasji lajež drugačen kot sicer, mačke so mijavkale drugače... . Tudi v Sloveniji smo pred leti delali poizkuse z obnašanjem ribe somiča (slika 7) (Ictalurus nebulosus) ob potresni dejavnosti (Pečenko, 1990). Primerjali smo zapise potresov na seizmogramu in bradikardične motnje (sprememba srčnega ritma na mehanične in nekatere druge dražljaje) pri somiču (EKG – elektrokardiogram). Ugotovili smo, da ena najobčutljivejših živečih živali zazna zelo šibke tresljaje, nikakor pa ne prej kot sodoben seizmograf. Zazna prihod longitudinalnih (primarnih) valov, ki so šibki. Kaj to pomeni v praksi? Potresni valovi, ki so nastali npr. ob potresu v zg. Posočju potujejo do merilnega mesta v Ljubljani, kjer jih zaznajo seizmografi. Najprej zabeležijo primarne (longitudinalne) valove, ki so šibkejši, čez približno 8 sekund jim sledijo transverzalni (sekundarni) valovi, ki so močnejši in jih zazna večina prebivalcev. Tu se torej skriva razlika med občutljivostjo živali in človeka. Žival zazna šibko valovanje podobno kot seizmograf, človek pa zazna šele močnejše sekundarne valove. Ker žival zazna mnogo šibkejše valovanje kot človek, velja nepisano pravilo, da žival opozarja na prihajajoč potres, kar pa ni res. Pospeški, ki jih somiči zaznajo, so velikostnega razreda 10 -5 ms⁻² pri frekvencah od 1 do 10 Hz. Dodajmo še to, da potresi v naravi živečim živalim večinoma niso nevarni, zato je malo verjetno, da bi se jim razvili posebni mehanizmi za zaznavo tresljajev.

Ob cunamiju decembra 2004, ki ga je povzročil indonezijski potres, ni bilo na Šri Lanki nobene poginule živali, umrlo pa je več deset tisoč ljudi. Odgovor je zelo enostaven. Potresni valovi so do Šri Lanke potovali približno tri minute. Ljudje in živali so jih čutili, živali so se umaknile v notranjost otoka, ljudje so ostali ob obali. Cunami je na otok pripotoval čez slabi dve uri in povzročil tragedijo, medtem ko so bile živali na varnem (Vidrih, 2005).

Smiselnost napovedovanja

Kaj bi se zgodilo, če bi mehiški seizmologi napovedali naslednji dan potres v Mexico Cityju, mestu z 25,8 milijona prebivalcev. Prepričan sem, da bi bilo število žrtev večje, kot ob

primeru rušilnega potresa. Panika, ki zajame ljudi, povzroči mnogo večjo škodo kot bi jo sam potres. To najpogosteje dokazujejo podatki o žrtvah ali ranjenih ob srednje močnih potresih v Italiji; potres ni povzročil večje gmotne škode, pa vendar je bil kdo ranjen ali celo mrtev. Razlog je panika. Prestrašeni prebivalci skačejo iz višjih nadstropij skozi okna. Mnogo pomembnejša je ozaveščenost prebivalstva in poznavanje katastrofe, ki ga lahko doleti, kot pa razna, večinoma lažna napovedovanja. Znanstvena napoved je splet dolgoletnih raziskav, ki zajemajo statistično napovedovanje, dolgoročno napoved, ki ji sledita srednjeročna in kratkoročna napoved ter neposredno napoved. Statistično napovedovanje je bilo že opisano; zajema izdelavo katalogov, študij prostorske in časovne porazdelitve potresnih žarišč, njihovo selitev in ugotavljanje kontinuiranosti potresnega dogajanja. Posledica statističnega napovedovanja je dolgoročna napoved, to je izdelava kart potresne nevarnosti in s tem definiranje potresno nevarnih območij, kjer lahko v določenem časovnem obdobju z neko verjetnostjo pričakujemo nastanek potresa. Te karte se izpopolnjujejo, večje spremembe pa lahko povzročijo le močnejši potresi od predvidenih ter nova dognanja.



Slika 7. Somič (Ictalurus nebulosus) kot ena najobčutljivejših živali na tresljaje je dokazal, da zazna mnogo šibkejša nihanja tal kot človek, ne pa bolj kot seizmograf.
 Figure 7. The experiments with sheatfish (Ictalurus nebulosus), which is one of the most sensitive animals as concerns vibrations, have shown that it can perceive much weaker ground shaking than humans can, but is still not more sensitive than seismograph.

Vrednosti največjih možnih intenzitet na karti potresne nevarnosti Slovenije dosedaj ni presegel še noben potres, kot je bilo to npr. v bivši Jugoslaviji na območju Banja Luke in Kopaonika, kjer so seizmologi podcenili največjo možno stopnjo potresa. Še huje je bilo v primeru potresa v Armeniji leta 1988, ko so bile vrednosti na karti podcenjene za celi dve stopnji. Srednjeročna in kratkoročna napoved si sledita in trajata nekaj mesecev do nekaj dni pred potresom. Predstavljata posledico številnih opazovanj (ne samo spremembe gravitacijskega polja, kot je pri ruski napovedi), od spremenjene potresne dejavnosti, sprememb hitrosti potresnih valov, spremembe gladine vode, spremembe koncentracije raznih plinov in številne druge anomalije, ki so naštete v prejšnjih poglavjih. Končni rezultat napovedovanja je neposredna napoved potresa, ki pa je v dosedanjem razvoju seizmologije uspela le enkrat. Napoved potresa le nekaj ur pred katastrofo je uspela leta 1975 kitajskim

seizmologom (potres 4. februarja 1975 z magnitudo 7,3). Rešili so veliko človeških življenj, pa vendar se postavlja vprašanje ali ni bilo vse skupaj le ugoden splet okoliščin. Mnogi se sprašujemo zakaj je bil to edini uspešno napovedan potres na Kitajskem, saj je potres 27. julija 1976 v Tangšanu, torej manj kot dve leti po uspešni napovedi, zahteval 290 000 žrtev, po nekaterih podatkih več kot 650 000, nekateri viri navajajo 1 250 000 žrtev. Tega potresa ni nihče napoveda!





Slika 8. Vzporeden prikaz seizmogramov in elektrokardiogramov somiča treh različnih potresov (linija pod vsakim seizmogramom). Primerjava nam lepo kaže spremembo srčnega ritma kot odziv na potres. Prekinjene črte kažejo na trenutni zastoj srca.
Figure 8. Under each seismogram of three different earthquakes there is an electocardiogram that was recorded simultaneously. The comparison shows the change of the heart-beat as the reacion to the earthquake. Broken lines show momentarily cardiac arest.



Slika 9. Prelom Sv. Andreja v Kaliforniji je ena najbolj raziskanih tektonskih struktur na svetu, pa vendar znanstveniki še niso uspeli neposredno napovedati potresa. Figure 9. San Andreas fault in California is one of the most researched tectonical structures in the world; nevertheless, scientists never managed to make a successfull prediction of an earthquake.

Metode napovedovanja po svetu

Največ sredstev namenijo za potresna napovedovanja na Japonskem, sledijo ZDA, bivša Sovjetska zveza, Kitajska, manjši poizkusi pa so tudi v nekaterih drugih državah. Nekateri stavijo na opazovanje potresne dejavnosti ob znanih prelomih, kjer se pričakuje močne potrese. Tak primer je prelom Sv. Andreja v Kaliforniji, kjer drsita druga ob drugi dve litosferski plošči. Mehanske napetosti, ki nastajajo zaradi drsenja, lahko povzročijo šibke potrese. S številnimi seizmografi, ki so postavljeni na obeh ploščah, neposredno ali v manjših oddaljenostih od preloma, zabeležijo šibke tresljaje, na podlagi katerih je seveda ob drugih metodah opazovanja možno predvideti potres. Na podlagi sprotnega opazovanja seizmičnosti in s tem meritve hitrosti seizmičnega valovanja, meritev gravitacijskega, magnetnega in električnega polja, geokemičnih analiz, opazovanja podtalnice in drugih metod, ki so naštete med besedilom, so izrisali območja večje nevarnosti za krajša časovna obdobja in celo približno napovedali nekaj šibkejših potresov. To pa je seveda še daleč od točnega napovedovanja, kar je pokazal potres leta 1989 z magnitudo 7,1, ki je v San Franciscu povzročil ogromno gmotno škodo in žrtve.

V zadnjih letih v razvitih državah merijo na ionosferi odbite radijske valove, z laserji merijo pomike litosferskih plošč, ki gradijo Zemljino skorjo. Rusi še vedno vztrajajo pri elektromagnetnih pojavih v ionosferi, kjer sateliti ob ali pred močnimi potresi zaznajo povečanje elektromagnetnih šumov (Lapajne, 1990, 1991). Vse tovrstne spremembe raznih zemljinih polj so sicer obetavna možnost za napovedovanje potresov v prihodnosti, seveda takrat, ko bodo natančno pojasnjene. Danes vemo, da mnogo sprememb nastane brez znanega vzroka. To velja tudi za spremembe zemeljskega magnetnega polja, ki včasih nastanejo pred močnimi potresi in na podlagi katerih je v naslednjih dveh letih napovedan potres v Sloveniji.



Slika 10. Ob potresu 10. novembra 1946 v Perujskih Andih je nastal v dolžini petih kilometrov vertikalni premik v višini 4m.
 Figure 10. Vertical movement caused by the 10 November 1946 Peruvian earthquake was 5 km long and 4 m high.

Karte potresne nevarnosti

Kot vse kaže je še vedno najboljša, če že ne edina preventiva pred potresi potresnoodporna gradnja, ki med drugim temelji tudi na kartah potresne nevarnosti. V Sloveniji so še vedno v veljavi karte potresne nevarnosti, ki so izšle leta 1987 v okviru karte Jugoslavije in slonijo na potresnih intenzitetah. To so karte, ki z določeno verjetnostjo prekoračitve predvidevajo največje potresne učinke.

Prva faza izdelave karte predstavlja žariščne cone možnih potresov z njihovimi maksimalnimi magnitudami. Druga faza predstavlja intenzitete pričakovanih potresov za različna območja in za različne povratne dobe. Karta je izdelana po teoriji ekstremov. Maksimalne intenzitete so izračunane za najdaljše obdobje, to je 10 000 let. Za graditev objektov in rabo prostora je bilo treba izračunati parametre za krajša časovna obdobja, za 50, 100, 200, 500 in 1000 let. Za območje, kjer je možna intenziteta I \geq VII. stopnje EMS, je treba opraviti dodatne seizmološke raziskave in mikrorajonizacijo terena v skladu s tehničnimi predpisi za gradnjo na seizmičnih območjih (Ribarič, 1987). Seizmološke karte so namenjene potrebam pravilnika o tehničnih normativih za gradnjo objektov na seizmičnih območjih, pa tudi za potrebe prostorskega in urbanističnega načrtovanja in projektiranja. Za projektiranje objektov, razvrščenih v II. kategorijo (predvsem stanovanjske hiše in vsi tisti industrijski in javni objekti, ki niso uvrščeni v I. kategorijo), je v veljavi karta s povratno dobo intenzitet 500 let. Za povratno dobo 500 let obstaja 90—odstotna verjetnost, da vrednosti na karti v 50 letih ne bodo presežene.

Leta 2001 je bila izdelana nova, sodobna karta potresne nevarnosti Slovenije (Lapajne in sod., 2001). Bistvo nove karte je v tem, da namesto maksimalnih intenzitet potresov ocenijo

projektni pospešek tal in prožnostne spektre odziva za različne vrste tal, kot jih opredeljuje Eurocode 8. Vrednosti pospeškov so izračunane po metodologiji verjetnostne analize potresne nevarnosti.

Predpisi o potresno odporni gradnji

Znanje in vedenje o potresnoodporni gradnji se nenehno povečuje in s tem se nenehno izboljšujejo in izpopolnjujejo tudi predpisi. Močnejši potres ponavadi razgali pomanjkljivosti in nepravilnosti, ki so se zgodile med gradnjo. Tako pridobljene izkušnje vplivajo na kasnejšo izboljšavo predpisov in tudi na prakso potresnoodpornejše gradnje.



Slika 11. Poškodovan objekt v vasi Čezsoča ob potresu 12. julija 2004 z žariščem v zgornjem Posočju opozarja na potresno nevarnost v Sloveniji (foto: R. Vidrih).
 Figure 11. Building in Čezsoča, damaged in 12 July 2004 Upper Soča Valley earthquake, is a reminder of earthquake hazard in Slovenia (photo: R. Vidrih).

Navkljub razvoju znanja na področju potresnoodporne gradnje in neprestanemu izboljševanju zakonodaje lahko na prizadetih območjih vidimo tudi nedokončane novogradnje, ki so jih poškodovali potresi. Nekateri objekti nimajo vgrajenih potresnih vezi. Ob tem je treba poudariti, da znašajo stroški potresne zaščite med gradnjo pri posameznih kategorijah zgradb od 1,3 % do 5 % vrednosti zgradbe (odvisno tudi od potresnega območja, na katerem objekt gradijo – VII., VIII. ali IX. stopnja EMS).

Predpisi o potresnoodporni gradnji so bili v preteklosti deležni več izboljšav. Po končani II. svetovni vojni veljavni predpis (Začasni tehnični predpisi za obremenitev zgradb—Uradni list SFRJ št. 61/48) je potresno obremenitev močno podcenjeval. Velik napredek so predstavljali predpisi iz leta 1964 (Pravilnik o začasnih tehničnih predpisih za gradnjo na seizmičnih področjih—Uradni list SFRJ 39/64), ki so sledili predpisu, ki je že leto popreje stopil v veljavo v Sloveniji (Odredba o dimenzioniranju in izvedbi gradbenih objektov v potresnih območjih—Uradni list SRS 18/63). Razvoj stroke in izkušnje po močnih potresih so narekovale spremembe predpisov. Rezultat je bil nov predpis leta 1981 (Pravilnik o tehničnih

normativih za graditev objektov visoke gradnje na seizmičnih območjih—Uradni list SFRJ 31/81), kateremu so sledile še dopolnitve. Ta pravilnik zagotavlja višjo raven potresne varnosti kot predhodni. Žal za posamezne vrste konstrukcij (inženirski objekti) nimamo primernega predpisa, ker določila predpisa iz leta 1964 za to področje niso več uporabna. Tako je Urad Republike Slovenije za standardizacijo in meroslovje kot osnovo za slovenske standarde na področju konstrukcij privzel evropske standarde Eurocode. Področje projektiranja potresnoodpornih konstrukcij obravnava Eurocode 8. Standard ima v Sloveniji status predstandarda. Sprejem standarda je v postopku.



Slika 12. Starejši objekti so močno poškodovani ali se rušijo že ob srednje močnih potresih (vas Čezsoča, potres 12. julija 2004, M=4,9) (foto: R. Vidrih). Figure 12. Older buildings can suffer substantial damage or collapse even in moderate earthquakes (village of Čezsoča, 12 July 2004, M=4.9) (photo: R. Vidrih)

Pri popotresnih dejavnostih verjetno ne sme biti vprašanje, ali bodo narejena le popravila ali morebiti rekonstrukcije in ojačanja zgradb. Za objekte, ki bodo še dalj časa v uporabi, je smotrno zagotoviti čim višjo raven potresneodpornosti. S sistematičnim ojačevanjem objektov je treba v celotni Sloveniji zmanjšati število potresno ranljivih objektov in s tem zmanjšati število ogroženih državljanov.

Razmišljanje za konec

Slovenski seizmologi že vrsto let opozarjamo javnost na potresno nevarnost v naši domovini. Toda priti mora nekdo, ki brez kakršnegakoli znanstvenega dokaza napove v obdobju dveh let potres, ki bo prizadel Slovenijo, Hrvaško in Avstrijo. Ruski znanstveniki so napovedali v mesecu maju 1991 tri rušilne potrese v Sloveniji, kasneje so napoved premaknili v Srbijo,



zgodilo se ni nič... . Naj tokrat za dve leti izselimo prebivalce teh držav. Nekje sem prebral stavek, zakaj nikoli ne zasledimo naslova v časopisu: »Vedeževalec je zadel na loteriji?«

Slika 13. Zaradi lokalnih seizmogeoloških razmer so bile ponekod poškodbe nenavadne. Primer v Čezsoči kaže dve hiši, ki sta bili zgrajeni skupaj; leva je bila ob potresu uničena in so jo morali podreti (13a), desna pa je potresni sunek sorazmerno dobro prestala (13b). Pomembna je potresno odporna gradnja, ne pa napovedovanje (foto: R. Vidrih).

Figure 13. Damages were somewhere uncommon because of local seismogeological conditions. Example in Čezsoča shows two houses that were built up side by side; the left was during the earthquake destroyed and had to be pulled down (above), while the right standed the earthquake's shock (below). The earthquake resistant construction is important not the earthquake prediction (photo: R. Vidrih).

V članku vidimo, da v Sloveniji nastajajo potresi, ki povzročajo manjšo ali večjo gmotno škodo, v povprečju vsakih nekaj let. To nam dokazujejo tako močni potresi v preteklosti kot tudi potresi, ki nastajajo v današnjem času. Potrditev tega je povečana potresna aktivnost v zg. Posočju. Ta aktivnost pa nas ni opozorila le na potresno dejavnost, ampak predvsem na pomen potresnoodporne gradnje. Glede na to, da lahko močnejše potrese pričakujemo tudi v prihodnje, je najboljša zaščita pred njimi potresnoodporna gradnja in potresno ojačevanje starejših oziroma slabše zgrajenih objektov. Vse to pa zahteva sistematično in dolgotrajno delo. Ob tem je treba upoštevati tudi lokalne razmere na terenu, ki lahko zelo vplivajo na učinke in posledice potresa.



Slika 14. Kljub katastrofalnim posledicam potresa v Turčiji (17. avgust 1999, M_w =7,4) so starejši, dobro zgrajeni objekti vzdržali potresne sile, nekateri novozgrajeni objekti pa so postali kup ruševin, v katerih so bile številne žrtve. Vidimo, da ni smisel v napovedovanju potresov, ampak v potresno odporni gradnji (foto: R. Vidrih).

Figure 14. In spite of dire consequences of earthquake in Turkey (17 august, 1999, M_w =7.4) the older good constructed buildings holded out earthquake forces, while some new constructions became a pile of ruins with a lot of victims inside. It can be seen that there is no point in earthquake predictions but in earthquake resistant construction (photo: R. Vidrih).

Seveda ne moremo mimo seizmičnih kart, ki jih na Uradu za seizmologijo in geologijo Agencije RS za okolje stalno izpopolnjujemo. Karte potresne nevarnosti, ogroženosti, ranljivosti, pripomorejo k zmanjšanju potresnega tveganja. Za izdelavo kakovostnih kart je poleg poznavanja zgodovinskih potresov, geologije, seizmologije, seizmotektonike in številnih drugih raziskav potrebno imeti kakovostno mrežo potresnih opazovalnic. Postavitev državnega alarmnega sistema z obveščanjem v stvarnem času bo temeljil na samodejni obdelavi podatkov in na samodejnem posredovanju podatkov ustreznim službam. Potresni zapisi načrtovane mreže bodo omogočili čim natančnejše opredeljevanje osnovnih potresnih parametrov na podlagi globinskega geofizikalnega modela ozemlja Slovenije. Prav tako bodo omogočili zanesljivejše ocenjevanje in izboljšavo državne karte potresne nevarnosti za potrebe potresnoodporne gradnje na podlagi natančnejšega poznavanja seizmotektonskih razmer na ozemlju Slovenije. Z dovolj gosto postavljeno in kakovostno opremljeno državno mrežo bomo v pričakovanju potresov nanje mnogo bolje pripravljeni in s tem bomo postopoma zmanjševali potresno tveganje pri nas.

Literatura

- Coburn, A. W., Pomonis, A., Sakai, S., 1989. Assessing Strategies to Reduce Fatalities in Earthquakes. International Workshop on Earthquake Injury Epidemiology for Mitigation and Response, The Johns Hopkins University, Baltimore, 1-26.
- Dolgoff, A., 1998. Physical Geology. Updated version, Houghton Mifflin co., Boston-New York, str. 638.

http://www.munichre.com

- Lapajne, J., 1990. Napovedovanje potresov I, Ujma 4, Ljubljana, 67 71.
- Lapajne, J., 1991. Napovedovanje potresov II, Ujma 5, Ljubljana, 186 189.
- Lapajne, J. K., Šket Motnikar, B., Zupančič, P., 2001. Karta projektnega pospeška tal Slovenije, Potresi v letu 1999 (ur. R. Vidrih), Agencija RS za okolje, Ljubljana, 40 – 49.
- Pečenko, N., 1990. Živali in potresi, Proteus 52, Ljubljana, 172 177.
- Popit, A., 2004. Vpliv seizmične aktivnosti na geokemične in geofizikalne lastnosti termalnih vod v Sloveniji doktorska disertacija, Univerza v Ljubljani, NTF, Oddelek za geologijo.
- Ribarič, V., et al., 1987. Seizmološke karte Jugoslavije za povratne dobe 50, 100, 200, 500, 1000 in 10000 let, Zajednica za seizmologiju SFR Jugoslavije, Beograd.
- The Global Seismic Hazard Assessment Program (GSHAP), 1992/1999. Annali di geofisica, Summary Volume (ed. D. Giardini), Instituto Nazionale di geofisica, vol. 42, n. 6., 957-1230
- Vidrih, R., 2001. Zmanjšanje potresne ogroženosti in nove svetovne karte potresne nevarnosti, Potresi v letu 2000 (ur. R. Vidrih), Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo, Ljubljana, 115 124.
- Vidrih, R., 2005. Napovedovanje potresov da ali ne? Življenje in tehnika, Tehniška založba Slovenije, LVI, 4, 20 36.



Nica, 6. – 11. aprila 2003

Peter Sinčič

Izvleček. V Nici je od 6. do 11. aprila 2003 potekala v Akropolis Centru skupna konferenca združenj EGS (European Geophysical Society), AGU (American Geophysical Union) in EUG (European Union of Geosciences), ki pokrivajo vsa področja geofizikalnih znanosti. Na konferenci je bilo v obliki predavanj in s plakati predstavljeno preko 14.000 prispevkov, med približno 10.000 udeleženci pa so imeli svoje prispevke tudi strokovnjaki Urada za seizmologijo in geologijo.

Abstract. The EGS – AGU – EUG Joint Assembly, a combined conference covering all areas of geophysics, was held in the Acropolis Centre, Nice, between 7th and 11th April 2003. The meeting was attended by 10.000 people. Overall, the conference was very enjoyable, and provided an excellent opportunity to gain an overview of the many areas of work which are currently being undertaken. The Seizmology and Geology Office staff also took a part among nearly 14.000 contributions.

V Nici je od 6. do 11. aprila 2003 potekala v Akropolis Centru skupna konferenca združenj EGS (European Geophysical Society), AGU (American Geophysical Union) in EUG (European Union of Geosciences), ki pokrivajo vsa področja geofizikalnih znanosti. Namen konference je bil prikaz dejavnosti in vzpodbujanje sodelovanja med znanstveniki na različnih področjih kot so geologija, geofizika, geokemija, planetologija, oceanografija, hidrologija, meteorologija, seizmologija, itd. Srečanja se je udeležilo okrog 10.000 obiskovalcev, ki so imeli odlično priložnost dobiti pregled, kaj je novega na mnogih področjih s katerimi se ukvarjajo. Množica plakatov in predavanj, skupaj skoraj 15.000, je nudila vpogled, kaj se v naštetih področjih znanosti trenutno dogaja in kateri projekti tečejo, marsikateri od njih so bili prvič predstavljeni. Mnenje nekaterih obiskovalcev je bilo, da je množica udeležencev prevelika, število potekajočih predavanj in predstavljenih plakatov pa že rahlo pretiravanje.

Konference se je udeležilo tudi pet sodelavcev Urada za geologijo in seizmologijo, ki so skupaj s sodelavci drugih inštitucij predstavili šest prispevkov.

J. Bajc in M. Živčić sta skupaj z A. Audiem in P. Suhadolcem iz Univerze v Trstu imela prispevek JHD and DD methods of relocation on the 1998 Bovec-Krn mountain (Slovenia) earthquake sequence and mechanics of moderate strike-slip events.

G. Močnik je imel predavanje Real-time data and network integration in the southern Alps, katerega tema je bila povezava seizmoloških omrežij Slovenije, Italije in Avstrije in izmenjava podatkov v stvarnem času. Pri pripravi predavanja so sodelovali še M. Živčić, P. Bragato in A. Michelini (Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale - OGS, Italia), G. Costa (Dipartimento di Scienze della Terra, Universita' degli Studi di Trieste, Italia) in N. Horn (Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Hauptabteilung Geophysik, Österreich).

I. Cecić je predstavila skupaj z M. Koširjem (Arhiv RS, Ljubljana, Slovenia) plakat Historical earthquake data in record groups of slovene national archives o iskanju podatkov o zgodivinskih potresih v stari arhivih. Skupaj z ostalimi člani FITSC pa je prikazala organizacijo in področja delovanja mednarodne skupine za zbiranje makroseizmičnih podatkov na območju Evrope in Sredozemlja ob močnem potresu z naslovom FITESC - Field investigation team for severe earthquakes in Europe and the Mediterranean basin.

A. Gosar je sodeloval pri pripravi plakata ALP 2002 - Seismic experiment and first results skupaj z E. Brückl (Institute of Geodesy and Geophysics, Vienna University of Technology, Austria), E. Hegedüs (Eötvös Lorand Geophysical Institute, Hungary), P. Hrubcova (Geophysical Institute, Academy of Sciences of the Czech Republic) in F. Sumanovac (Sveučilište u Zagrebu, Hrvaška).

P. Sinčič je s plakatom Modernization of the Slovenian national seismic network, pri katerem so sodelovali še R. Vidrih, M. Godec, A. Gosar, I. Tasic in M. Živčić, predstavil potek modernizacije državne mreže potresnih opazovalnic.

Poleg predavanj in predstavitev plakatov so na konferenci podjetja razstavljala seizmološke in tudi druge geofizikalne instrumente in knjige ter drugo znanstveno literaturo z geoloških področij.



MEDNARODNI SIMPOZIJ VREDNOTENJE POTRESNE VARNOSTI OBSTOJEČIH JEDRSKIH OBJEKTOV INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON SEISMIC EVALUATION OF EXISTING NUCLEAR FACILITIES

Dunaj, IAEA, Avstrija

Barbara Šket Motnikar, Andrej Gosar in Izidor Tasič

Izvleček. Na Dunaju je bil med 25. – 29. avgustom 2003 mednarodni simpozij Vrednotenje potresne varnosti obstoječih jedskih objektov, ki ga je organizirala Mednarodna agencija za atomsko energijo (International Atomic Energy Agency – IAEA). Sistematično preverjanje potresne varnosti jedrskih objektov je v mnogih državah zelo aktualno, pa naj bo to redno preverjanje delujočih elektrarn, laboratorijev in raziskovalnih reaktorjev; ali ocenjevanje varnosti za morebitno izgradnjo novih objektov ali pa za podaljšanje življenjske dobe starejših jedrskih elektrarn. V nekaterih državah so bili starejši jedrski objekti zgrajeni celo brez preverjanja potresne nevarnosti na sami lokaciji. Simpozija se je udeležilo 136 strokovnjakov iz 45 držav.

Abstract. International symposium on Seismic Evaluation of Existing Nuclear Facilities has been organized on August 25 – 29, 2003 in Vienna by International Atomic Energy Agency (IAEA). Periodic seismic evaluation of existing Nuclear Power Plants (NPPs) has been an issue in western countries as well as in eastern European countries where systematic reviews of NPPs were carried out. Presently, projects of power plant life extension create an additional interest in safety evaluation of existing NPPs. Seismic evaluation is also an issue for other nuclear facilities. Some older facilities have been designed without taking into account earthquake input, even on seismic sites. In several countries, the seismic evaluation of nuclear facilities is ongoing and presents a wider range of different situations. 136 experts from 45 countries participated the symposium.

IAEA je svetovni medvladni center Združenih narodov za znanstveno in tehnično sodelovanje na področju jedrske energije. Namenjen je tudi svetovanju, nadzoru in verificiranju programov uporabe jedrske energije v civilne namene. Tema simpozija (vrednotenje potresne varnosti obstoječih jedrskih objektov) je pritegnila strokovnjake z različnih področij, ki so jih zanimali predvsem naslednji vidiki:

- zakonodaja in pravilniki o varnosti jedrskih objektov;
- kaj storiti, če novi podatki ali metode pokažejo večjo potresno nevarnost na lokaciji kot je bila predhodno ocenjena;
- potresno odporno projektiranje jedrskih objektov;
- nova znanja o ranljivosti in obnašanju konkretnih struktur, opreme, materialov;
- nove izkušnje na podlagi močnih potresov v bližini jedrskih elektrarn.

Namen simpozija je bil v kar največji meri izmenjati izkušnje udeležencev. Vsebina je bila razdeljena v 6 sklopov:

- Zakonodajni in nadzorni okvir (varnostne zahteve in ukrepi, kriteriji in pomanjkljivosti pravilnikov, ocenjevanje potresne nevarnosti pri podaljševanju življenjske dobe elektrarn,...);
- Vprašanja povezana s seizmičnim vplivom (ocenjevanje potresne nevarnosti, posebni primeri bližnjih šibkih potresov, kriteriji za prekoračitev mejnih vrednosti,...);
- Ocenjevanje struktur, sistemov in komponent (analiza in pregled struktur, opreme in komponent, odzivni spektri,...);
- Izkušnje z ocenjevanjem potresne nevarnosti in naknadno ojačitvijo jedrskih objektov (konkretni primeri ocenjevanja jedrske varnosti, naknadni ukrepi za povečanje varnosti, izkušnje ob napakah,...);
- Priprave za primer seizmičnega dogodka (operativni in avtomatični postopki pred, ob in po močnih potresih, scenariji,...);
- Raziskave in razvoj (problemi in potrebne raziskave, potresno opazovanje jedrskih objektov, pomen eksperimentalnih pripomočkov, npr. stresalne mize,...).

Vsak od sklopov je bil organiziran v obliki dveh ali treh vabljenih predavanj, nato je moderator predstavil posterje, po ogledu posterjev pa je sledila daljša diskusija. Prav zanimive diskusije so potrjevale potrebnost takih strokovnih srečanj. Predstavljena predavanja in posterji so objavljeni v Book of invited and contributed papers.

Simpozija se je udeležilo tudi nekaj slovenskih strokovnjakov (predstavniki ARSO – Urada za seizmologijo, NEK, Uprave RS za jedrsko varnost ter Geološkega zavoda Slovenije). Predstavitve smo seveda spremljali predvsem z vidika potresne varnosti jedrske elektrarne Krško. Za nas zanimive teme so bile npr. obravnava posebnosti bližnjih prelomov oz. potresov in posledično visokofrekvenčna nihanja tal, problemi in kriteriji pri sestavi pravilnikov za zagotovitev potresno varnih jedrskih objektov, zanimivi konkretni primeri iz prakse (Japonska - ustavitev elektrarne zaradi preseženega projektnega pospeška, Madžarska - jedrska elektrarna Paks je bila zgrajena brez upoštevanja potresne varnosti, zato je bilo potrebno naknadno ocenjevanje potresne nevarnosti in dograditev potresno varnih elementov) ter primeri ocenjevanja potresne nevarnosti za konkretne jedrske elektrarne.

Z udeležbo na simpoziju smo ohranili stik z mednarodnimi strokovnjaki in njihovim delom na področju potresne varnosti jedrskih elektrarn. To je za nas še posebej pomembno, saj so prav v času simpozija slovenske in tuje inštitucije izvajale obsežen projekt z naslovom: Izdelava revidiranega seizmotektonskega modela Krške kotline, dopolnitev varnostnega poročila in verjetnostna analiza potresne nevarnosti. Cilj projekta je bil integracija rezultatov obsežnih geoloških, geofizikalnih in seizmoloških raziskav, ki so potekale v zadnjih desetih letih, izdelava novega seizmotektonskega modela ozemlja in novo verjetnostno ocenjevanje potresne nevarnosti na lokaciji NEK.

S posterjem sodelavcev Agencije RS za okolje, Urada za seizmologijo smo predstavili novo mrežo potresnih opazovalnic okrog NEK, saj smo glede na priporočilo PHARE projekta za natančnejše opazovanje seizmičnosti v Krški kotlini v letih 2001-2003 izgradili mrežo štirih seizmoloških opazovalnic. Zanimivi so bili tudi pogovori s tujimi strokovnjaki na tem področju, predvsem iz Francije, kjer imajo skladišče jedrskih snovi v neposredni bližini aktivnega preloma (oddaljeno le 5 km).



MEDNARODNA KONFERENCA "POTRES V SKOPJU – 40 LET EVROPSKEGA POTRESNEGA INŽENIRSTVA" INTERNATIONAL CONFERENCE "SKOPJE EARTHQUAKE -40 YEARS OF EUROPEAN EARTHQUAKE ENGINEERING"

Skopje - Ohrid, Makedonija

Polona Zupančič

Izvleček. V času od 26. do 29. avgusta 2003 je v Makedoniji potekala mednarodna konferenca Potres v Skopju – 40 let Evropskega potresnega inženirstva. Prijavljenih je bilo 250 znanstvenikov s področja seizmologije, inženirske seizmologije in potresnega inženirstva iz 32 držav. Konference sva se udeležili tudi sodelavki Agencije za okolje, Urada za seizmologijo.

Abstract. On August 26 – 29 2003 Macedonia hosted an International Conference "Skopje Earthquake - 40 Years of European Earthquake Engineering". 250 participants from 32 countries discussed the problems of earthquake engineering, engineering seismology and related topics in many scientific sessions. Among the participants were also two representatives from the Environmental Agency of the Republic of Slovenia – Seismology office.

26. julija 1963 ob 5:17 uri zjutraj je Skopje stresel potres z magnitudo 6,1. Ker je potres nastal zelo plitvo (v globini 5 km) pod samim mestom, pa tudi zaradi slabo grajenih stavb, je terjal kar 1070 smrtnih žrtev, 3300 ljudi pa je bilo težje poškodovanih. 80% stavb v mestu je bilo uničenih ali težko poškodovanih, med njimi številne bolnišnice, šole in javne zgradbe. Ocenjena intenziteta potresa je bila IX. stopnje po MCS (EMS). Tako kot večina potresov pa je tudi skopski potres kljub veliki tragediji prinesel velik napredek. Potres je vzbudil zanimanje širše evropske in svetovne javnosti, ki je v letih po potresu pomagala uspešno zgraditi novo, moderno mesto. Ta potres je pomenil začetek organiziranih domačih in mednarodnih popotresnih ukrepov zbiranja pomoči in popotresne obnove, mnoge države so dobile prve zakone o potresnovarni gradnji (tudi tedanja Jugoslavija), mednarodna seizmološka srenja pa se je pričela organizirati in ustanovili so nekatere pomembne mednarodne organizacije (Evropsko združenje za potresno inženirstvo).

Konferenca je potekala v dveh delih. Prvi dan smo si ogledali Inštitut za potresno inženirstvo in inženirsko seizmologijo (IZIIS) v Skopju, ki je priznana mednarodna inštitucija. Ustanovljen je bil leta 1965 v okviru Univerze v Skopju s pomočjo mnogih donacij Združenih narodov (UNDP in UNESCO), ki še vedno podpirajo številne raziskovalne in izobraževalne programe. Ogledali smo si laboratorij, ki je opremljen z biaksialno stresalno mizo velikosti 5 m x 5 m in nosilnostjo 30 ton za izvajanje dinamičnih preizkusov materialov in zgradb. Predstavili so stresalni preizkus na maketi večnadstropne stavbe (slika 1).

Konferenca se je nadaljevala v Ohridu. S predavanji in posterji so bile predstavljene številne teme, največ prispevkov pa je bilo na temo potresnega inženirstva (teme: Geotehnični vidiki, Strukturno modeliranje, analiza in potresna varnost, Eksperimentalne raziskave in testiranje struktur, Potresno utrjevanje zgradb), inženirske seizmologije (potresna nevarnost in ogroženost, vpliv lokalne geološke zgradbe tal in drugih dejavnikov pod mestom opazovanja na učinke potresa), nekaj prispevkov pa tudi o zakonodaji s področja potresno odporne gradnje, ter posebna sekcija o skopskem potresu.

Na konferenci so predstavili svoj članek o ocenjevanju potresne nevarnosti tudi albanski seizmologi - pri izračunu so uporabili metodologijo in računalniški program, ki smo ga razvili na Uradu za seizmologijo, zato je bila to tudi priložnost za znanstveno izmenjavo izkušenj in osnova za nadaljnje sodelovanje.

Z udeležbo na simpoziju smo ohranili stik z mednarodnimi strokovnjaki in njihovim delom, vzpostavili smo osnove za sodelovanje z Inštitutom za potresno inženirstvo in inženirsko seizmologijo (IZIIS) iz Skopja ter z dvema posterjema predstavili mrežo potresnih opazovalnic Slovenije in okrog NEK ter promovirali FITESC (Field Investigation Team of European Seismological Comission - terenska ekipa za hitro posredovanje ob močnem potresu v Evropi in Sredozemlju), ki jo organizira Evropska seizmološka komisija.

Predstavljena predavanja in posterji so objavljeni v knjigi povzetkov ter na zgoščenki.



Slika 4. Stresalni preizkus na maketi večnadstropne konstrukcije v laboratoriju IZIIS, Skopje. Figure 1. Demonstration of seismic shaking table test on a multy story frame at IZIIS Dynamic testing Laboratory, Skopje.



REGIONALNA MINISTRSKA KOFERENCA NA PODROČJU SEIZMOLOGIJE IN POTRESNEGA INŽENIRSTVA REGIONAL MINISTERIAL CONFERENCE ON SEISMOLOGY AND EARTHQUAKE ENGINEERING

Renato Vidrih, Matjaž Godec

Izvleček. V Beogradu je od 28. oktobra do 2. novembra 2003 potekala regionalna ministrska konferenca o sodelovanju na področju seizmologije in potresnega inženirstva. Organizator konference je bilo Ministrstvo za urbanizem in gradbeništvo (gostitelj minister prof. dr. Šumarac). Sodelovali so visoki predstavniki Alžirije, Romunije, Makedonije, BIH (Republika Srbska), Srbije in Črne gore ter predstavniki slovenskega Ministrstva za okolje, prostor in energijo (Urada za seizmologijo Agencije RS za okolje).

Abstract. Prof. dr. Šumarac, minister of Serbian Ministry of Urbanism and Construction, hosted the Regional ministerial conference on cooperation in the field of seismology and earthquake engineering. It was held in Belgrade from October, 28th to November, 2nd 2003. Many aknowledged scientists from Algier, Romania, Macedonia, Bosnia and Herzegovina – Republic of Srbska, Serbia and Montenegro and Slovenia attended the conference.

Program konference:

- Predstavitev sistema ojačevanja zidanih zgradb DC90.
- Predstavitev sodelujočih držav z izbranimi vsebinami s področja potresnega inženirstva in seizmologije – v tem delu smo predstavili projekt modernizacije seizmološke mreže v Sloveniji (PM2000) in izgradnjo omrežja okoli jedrske elektrarne Krško.
- Podpis iniciative o regionalnem sodelovanju na področju potresne varnosti.
- Ogled laboratorijskega testiranja sistema DC90 (institut IMS).
- Ogled testiranja ojačanega objekta v Mionici.
- Otvoritev potresne opazovalnice v Divčibaru.

Podobni sistemi gradnje v večini sodelujočih držav in tragične izkušnje po potresih na tem območju kar kličejo k potrebi po usklajenem delovanju na področju seizmologije in potresnega inženirstva. Potresi ne poznajo meja in zato je ideja o sodelovanju strokovnjakov, izmenjavi tehnologij zelo dobrodošla. Sam sistem DC90, ki je dobil zlato medaljo Eureka v Bruslju leta 1997, je poceni in hiter način ojačevanja zidanih zgradb. Po naši oceni je

uporaben po potresih nižjih intenzitet ali kot preventiva pri ojačevanju objektov. Po pripovedovanju predstavnikov projekta je stanovanjsko hišo površine 150 m² moč ojačiti v 10 dneh, stroški ojačevanja pa so dva in pol krat nižji od klasičnega ojačevanja. Prednost sistema je tudi v tem, da v času izvajanja del stanovalci lahko živijo v objektu. Vse prednosti bodo vsem udeležencem posredovane naknadno, po opravljeni analizi preizkusa na dejansko zgrajenem objektu in po opravljenem modeliranju na stresalni mizi v IZIIS - u v Skopju.

Sodelujoči smo se dogovorili za vzpostavljanje medsebojnih stikov in sodelovanje na omenjenih strokovnih področjih. Na ARSO, Uradu za seizmologijo smo zelo zainteresirani za pridobitev podatkov o starejših zabeleženih potresih v Sloveniji, o čemer smo se dogovorili z direktorico srbske seizmološke službe. Prav tako smo se za sodelovanje in izmenjavo podatkov dogovorili s predstavniki Makedonije in predstavnikom Črnogorske seizmološke službe.

Sama konferenca ni podala pisnih obvez in rokov. Obstaja pa moralna obveza, da bo Slovenija sodelovala pri pripravi končnega sporazuma o sodelovanju na področju seizmologije in potresnega inženirstva, ki bo sledil podpisani iniciativi.



Slika 2. Primer potresno ojačanega objekta v Mionici po sistemu DC90. Figure 2. Mionica - an Example of earthquake braced structure following the DC90 system.