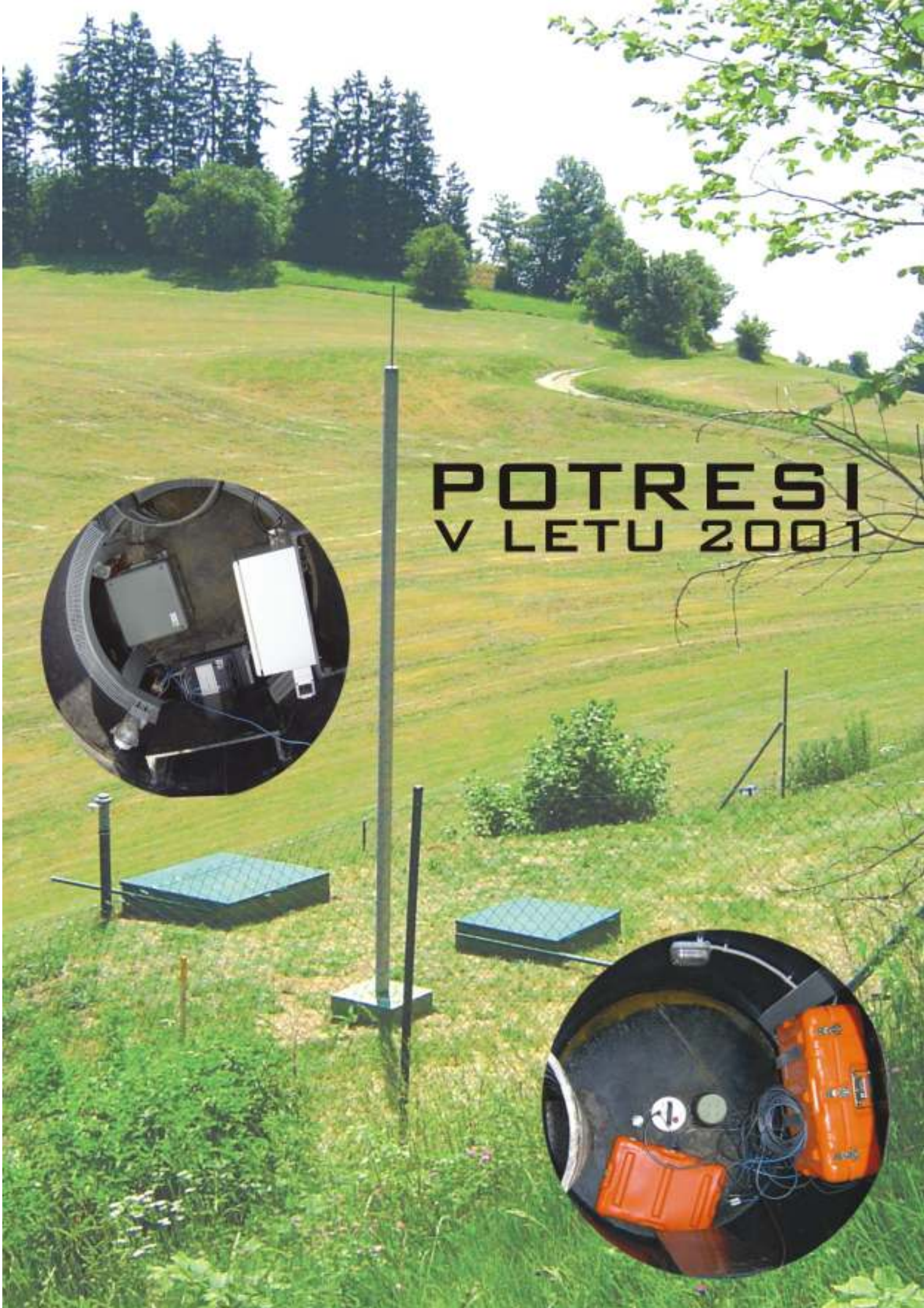


# POTRESI V LETU 2001







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

# POTRESI V LETU 2001 EARTHQUAKES IN 2001

AGENCIJA REPUBLIKE SLOVENIJE ZA OKOLJE  
URAD ZA SEIZMOLOGIJO

ENVIRONMENTAL AGENCY OF THE REPUBLIC OF SLOVENIA  
SEISMOLOGY OFFICE

Ljubljana 2003

# **POTRESI V LETU 2001**

## **EARTHQUAKES IN 2001**

### **IZDALA IN ZALOŽILA – PUBLISHED BY**

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

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

### **DIREKTORICA AGENCIJE – DIRECTOR OF AGENCY**

dr. Andreja Čerček Hočevar

### **UREDNIŠKI SVET – EDITORIAL BOARD**

dr. Andreja Čerček Hočevar

mag. Renato Vidrih

Ina Cecić

Matjaž Godec

dr. Andrej Gosar

Peter Sinčič

dr. Barbara Šket Motnikar

mag. Mladen Živčič

### **UREDNIK – EDITOR - IN - CHIEF**

mag. Renato Vidrih

### **RAČUNALNIŠKO OBLIKOVANJE – COMPUTER DESIGN**

Peter Sinčič

### **TISK – PRINTED BY**

Formatisk, Bobenčkova 4, Ljubljana

CIP – Kataložni zapis v publikaciji  
Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana  
UDK 550.34.100 »2001«  
ISSN 1318 - 4792  
Potresi v letu 2001/ur. R. Vidrih – Ljubljana  
Agencija RS za okolje, 2003

**NASLOVNICA:**  
**COVER PAGE:**

## **POTRESNA OPAZOVALNICA GOLIŠE**

Pogled na potresno opazovalnico Goliše na pobočju Orlice, najbolj severno ležečo v omrežju potresnih opazovalnic okoli jedrske elektrarne Krško.

Levo je pomožni jašek z usmernikom in akumulatorjem za napajanje instrumentov ter komunikacijsko opremo, ki jo sestavljata modem in usmerjevalnik.

Desno je seizmični jašek s seizmometrom v 18 m globoki vrtini in zajemalno napravo.

## **GOLIŠE SEISMIC STATION**

Goliše seismic monitoring station, situated on Orlica slopes, to the north of the Krško Nuclear Power Plant.

The auxiliary shaft on the left is equipped with charger, accumulator and communication equipment (router and modem).

The sensor and acquisition system are placed in 18 m deep borehole on the right.



## VSEBINA

<b>PREDGOVOR</b> .....	<b>I</b>
<i>Peter Sinčič, Renato Vidrih in Manfred Deterding</i>	
<b>POTRESNE OPAZOVALNICE V SLOVENIJI V LETU 2001</b> .....	<b>1</b>
<i>Ina Cecić, Mladen Živčić, Martina Čarman in Tamara Jesenko</i>	
<b>POTRESI V SLOVENIJI LETA 2001</b> .....	<b>9</b>
<i>Renato Vidrih, Matjaž Godec, Andrej Gosar, Peter Sinčič, Izidor Tasič in Mladen Živčić</i>	
<b>OMREŽJE POTRESNIH OPAZOVALNIC OKOLI NEK</b> .....	<b>25</b>
<i>Tatjana Prosen, Matjaž Godec in Matjaž Gostinčar</i>	
<b>AKCELEROGRAFI SLOVENSKE MREŽE POTRESNIH OPAZOVALNIC</b> .....	<b>47</b>
<i>Izidor Tasič</i>	
<b>AVTOMATSKA LOKACIJA DOGODKOV NA MREŽI NMX</b> .....	<b>58</b>
<i>Bojan Uran</i>	
<b>ODSTRANJEVANJE ŠUMOV IZ SEIZMOGRAMOV</b> .....	<b>66</b>
<i>Tamara Jesenko in Renato Vidrih</i>	
<b>MOČNEJŠI POTRESI PO SVETU LETA 2001</b> .....	<b>80</b>
<i>Renato Vidrih in Matjaž Godec</i>	
<b>POTRES 26. JANUARJA 2001 V INDIJI</b> .....	<b>90</b>

## CONTENTS

<b>PREFACE</b> .....	<b>III</b>
<i>Peter Sinčič, Renato Vidrih in Manfred Deterding</i>	
<b>SEISMIC NETWORK IN SLOVENIA IN 2001</b> .....	<b>1</b>
<i>Ina Cecić, Mladen Živčić, Martina Čarman in Tamara Jesenko</i>	
<b>EARTHQUAKES IN SLOVENIA IN 2001</b> .....	<b>9</b>
<i>Renato Vidrih, Matjaž Godec, Andrej Gosar, Peter Sinčič, Izidor Tasič in Mladen Živčić</i>	
<b>SEISMIC NETWORK AROUND KRŠKO NPP</b> .....	<b>25</b>
<i>Tatjana Prosen, Matjaž Godec in Matjaž Gostinčar</i>	
<b>SLOVENIAN NETWORK OF ACCELEROGRAPHS</b> .....	<b>47</b>
<i>Izidor Tasič</i>	
<b>AUTOMATIC EVENT DETECTION ON NMX SEISMIC NETWORK</b> .....	<b>58</b>
<i>Bojan Uran</i>	
<b>SEISMOGRAM DENOISING</b> .....	<b>66</b>
<i>Tamara Jesenko in Renato Vidrih</i>	
<b>WORLD'S LARGEST EARTHQUAKES IN 2001</b> .....	<b>80</b>
<i>Renato Vidrih in Matjaž Godec</i>	
<b>THE 26 JANUARY 2001 EARTHQUAKE IN INDIA</b> .....	<b>90</b>



## PREDGOVOR

Enajsta zaporedna publikacija »Potresi v letu... obravnava potresno dejavnost v letu 2001. Uvodni članek bralce seznani s stanjem potresnega opazovanja v Sloveniji. Konec leta 2001 je na ozemlju Slovenije delovalo sedem stalnih digitalnih potresnih opazovalnic. V okviru modernizacije državne mreže potresnih opazovalnic pa je bila v novih prostorih Urada za seizmologijo nameščena oprema središča za zajem in obdelavo podatkov. Seizmografi na teh opazovalnicah so v letu 2001 zabeležili 3045 seizmičnih dogodkov, od tega 1355 lokalnih potresov, 508 regionalnih in 464 oddaljenih. Seizmografi so zapisali tudi 718 umetnih potresov.

Osrednji članek nam predstavlja potresno dejavnost Slovenije. Leto 2001 je bilo sorazmerno mirno. Prebivalci različnih predelov Slovenije so čutili najmanj 48 potresnih sunkov, vendar niso bila vsa žarišča na slovenskem ozemlju. Najmočnejši potres je nastal 16. marca ob 6. uri 29 minut po svetovnem času UTC oz. ob 7. uri 29 minut po srednjeevropskem času z žariščem na območju Mestinja. Njegova lokalna magnituda je bila 2,8, največja intenziteta pa V EMS. Najmočnejši potres z žariščem zunaj Slovenije, ki pa so ga čutili tudi prebivalci severozahodne Slovenije, pa je bil 17. julija ob 15. uri 6 minut po UTC v Zgornjem Poadižju v Italiji z magnitudo 4,7. Enajst potresov je doseglo največjo intenziteto IV EMS, štiri med IV in V EMS in dva V EMS. Ostalih 31 potresov, ki so jih zaznali prebivalci različnih predelov Slovenije je bilo šibkejših od IV EMS. Večina žarišč je nastala v globini manjši od 9 km, ostali do globine 18 km, le 15 žarišč je nastalo v globini večji od 18 km.

Sledi članek o izgradnji omrežja potresnih opazovalnic okoli jedrske elektrarne Krško (NEK). Na Uradu za seizmologijo smo za opazovanje seizmičnosti v Krški kotlini proučili različne možnosti o številu potrebnih opazovalnic in se nazadnje odločili za izgradnjo štirih. Dve smo postavili južno od kotline na območje Gorjancev (Gornji Cirknik, Črešnjevce), dve pa severno na območju Krškega hribovja in Orlice (Legarje, Goliše). Do konca leta 2001 smo uspeli zgraditi tri, četrta pa je bila dokončana v začetku leta 2002 (kljub temu smo izgradnjo opisali med aktivnostmi v letu 2001, saj je bil večji del izgradnje končan v tem letu).

V Sloveniji imamo tudi mrežo akceleroagrafov, ki je namenjena beleženju močnih potresov. V letu 2001 je delovalo 11 akceleroagrafov, ki so postavljeni v objektih na najbolj potresno nevarnih območjih v Sloveniji. Pridobljeni podatki nam služijo kot vhodni parametri v gradbeništvu, za projektiranje potresno odpornih zgradb ali za preverjanje odpornosti obstoječih stavb.

Sledita dva teoretična članka, prvi o avtomatski lokaciji dogodkov na mreži NMX in drugi o odstranjevanju šumov iz seizmogramov. Programski paket PRIKAZ avtomatsko obdela vsak seizmični dogodek, ki ga zazna posamezna potresna opazovalnica mreže Nanometrics. S tem nam omogoči hiter in enostaven pregled zabeleženih dogodkov. Program avtomatsko izračuna lokacijo potresa in pošlje SMS in e-obvestilo. Drugi članek opisuje različne načine filtriranja signalov, ki morajo obdržati glavne amplitudne in fazne značilnosti originalnega signala.

Zadnji del publikacije povzame potresna dogajanja po svetu v letu 2001. Med 73 potresi, ki so v tem letu dosegli ali presegli magnitudo 6,5 oziroma povzročili večjo gmotno škodo ter zahtevali človeška življenja, je natančneje opisanih 34 potresov. Potres z največ smrtnimi žrtvami je bil 26. januarja v južni Indiji. V njem je umrlo najmanj 20 000 ljudi (po nekaterih podatkih 20 103). Potresa 13. januarja in 13. februarja v Salvadorju sta zahtevala 1159 žrtev.

Največ energije se je sprostito ob potresu 23. junija v bližini obale Peruja. Njegova magnituda je bila 8,4. Najgloblji potres je nastal 12. septembra blizu otočja Fidži z žariščem v globini 608 km. Leta 2002 je po uradnih podatkih v potresih umrlo skoraj 21 000 ljudi, v več kot 1 500 000 bolj ali manj porušenih zgradbah je bilo ranjenih okoli 180 000 ljudi.

Publikacijo zaključujemo z natančnejšim opisom potresa v Indiji, ki je zahteval prek 20 000 žrtev in je bil z magnitudo 7,7 eden najmočnejših potresov v zadnjih letih. Zaradi majhne globine žarišča, predvsem pa zaradi zelo slabe gradnje in popolne nepripravljenosti na potres, je povzročil pravo razdejanje in veliko smrtnih žrtev.

V imenu avtorjev člankov, ki so vsi iz Agencije RS za okolje, Urada za seizmologijo želim bralcem, da si vsak najde nekaj zase; nekoga morda zanimajo številke o potresih, drugega teorija, tretjega seizmičnost domačega kraja..... Ob tem pa se vsi zahvaljujemo 4600 prebivalcem različnih predelov Slovenije, ki so v letu 2001 sodelovali z nami in s tem pomagali boljši oceni potresnih učinkov na posameznih območjih Slovenije.

Renato Vidrih  
urednik

## PREFACE

The eleventh annual publication "Earthquakes in year ..." discusses earthquake activity in year 2001. The first article introduces readers to the current state of the seismic monitoring in Slovenia. By the end of the year 2001, seven permanent digital seismic monitoring stations were operating. Seismic monitoring stations registered 3045 seismic events in 2001. 1355 of them were local, 508 regional and 464 distant earthquakes. In the frame of the Project of the seismic network modernization, Data Processing Centre was equipped in the Seismology Office's new premises.

The central article introduces readers to seismic activity in Slovenia. The year 2001 was quite tranquil. At least 48 earthquakes were felt in different parts of Slovenia, but not all of them had epicentres on Slovenian territory. The strongest earthquake occurred on March 16<sup>th</sup> at 6.29 UTC or 7.29 CET. Its epicentre was in Mestinje area. The local magnitude was 2,8 and the maximum intensity V EMS. The strongest earthquake outside Slovenian borders, which was felt by residents of north-west Slovenia, was the Alto Adige earthquake on July 17<sup>th</sup> at 15.06 UTC. Its magnitude was 4,7. 11 of the above mentioned earthquakes had intensities IV EMS, 4 between IV and V EMS and 2 V EMS. The remaining 31 earthquakes had intensities less than IV EMS. Most of the hypocentres were in depth less than 9 km, some between 9 and 18 km, although 15 earthquakes had hypocentres in depth more than 18 km.

The next article is about the new local seismic monitoring stations network around the Krško nuclear power plant. Many different possibilities about the number of necessary stations were studied. Finally it was agreed on 4 stations. Two of them were settled on the south edge of the Krško basin in the region of Gorjanci (stations Gornji Cirknik – GCIS and Črešnjevca – CRVS). The other two were settled in the north, in the region of Krško hills and Orlica (stations Legarje – LEGS and Golise – GOLS). We managed to build three of them by the end of 2001, the fourth was built at the beginning of 2002. Nevertheless we described settling of this station as 2001 activity as most of the work was done in this year.

We also set up strong motion network. In 2001, 11 accelerographs were operating. They were set on most hazardous areas in Slovenia. Received data serve as input parameters for civil engineering, for designing of structures for earthquake resistance and safety verification of the existing structures.

The next two articles are theoretical. First is about automatic event location in the NMX network. It explains, how the "PRIKAZ" software automatically processes every seismic event, registered on any of the Nanometrics stations. This enables us to review the events quickly and with ease. Software also automatically determines the earthquake location and sends an SMS or an e-mail. Second article describes various filtering methods of noise reduction from the seismograms. The filtered seismograms must however obtain main amplitude and phasic characteristics of the original seismograms.

The last part of the publication summarizes earthquake events in 2001 throughout the Earth. 73 earthquakes reached or exceeded magnitude 6,5 and caused damage or casualties respectively. A detailed description of 34 such earthquakes is given in this article. Earthquake with the highest number of casualties occurred on January 26<sup>th</sup> in southern India. Approximately 20.000 people died, according to some records 20.103. San Salvador earthquakes on January 13<sup>th</sup> and February 13<sup>th</sup> caused 1159 casualties. Most energy was

released in earthquake near the coast of Peru on June 23<sup>rd</sup>. It's magnitude was 8,4. The deepest hypocentre – 608 km – had the Fiji Island earthquake on September 12<sup>th</sup>. According to the official records almost 21.000 people died in earthquakes in 2001 and approximately 180.000 people were injured in more than 1.500.000 damaged houses.

In conclusion there is a detailed description of one of the strongest earthquakes in the past few years, the India earthquake with magnitude 7,7, which caused more than 20.000 casualties. It caused such devostation because of it's shallow hypocenter and mostly because of poor quality of building and total unpreparedness.

On behalf of the authors (all employees of the Environmental Agency – Seismology Office) I wish every reader will find something to his taste in this publication. Some are interested in earthquakes in numbers, some in theoretical facts, to others the most important thing is the seismicity of their home-town ... On this occasion we would like to thank 4600 observers throughout Slovenia for their co-operation which helped us assess the earthquake effects and estimate the intensities.

Renato Vidrih  
Editor - in - chief

# POTRESNE OPAZOVALNICE V SLOVENIJI V LETU 2001

## SEISMIC NETWORK IN SLOVENIA IN 2001

Peter Sinčič, Renato Vidrih in Manfred Deterding

**Izvleček.** Konec leta 2001 je na ozemlju Republike Slovenije delovalo sedem stalnih potresnih opazovalnic, opremljenih z različnimi vrstami analognih in digitalnih seizmografov. Omrežje potresnih opazovalnic z digitalnimi seizmografi, s katerih poteka avtomatski prenos podatkov v centralni računalnik v observatoriju na Golovcu v Ljubljani, sestavljajo potresne opazovalnice v Ljubljani (LJU), v Bojancih v Beli krajini (VBY), Dobrini na Kozjanskem (DOBS), v Goričicah pri Cerknici (CEY), Cesti nad Krškim (CESS) in v Braniku nad Muto (BISS). Stalna opazovalnica na Vojskem (VOY) ter začasna v Brezjah pri Senušah (KBZ) na obrobju Krško - Brežiškega polja sta opremljeni z analognimi seizmografi. V okviru modernizacije omrežja potresnih opazovalnic je bila v novih prostorih Urada za seizmologijo nameščena oprema središča za zajem in obdelavo podatkov, v potresnih opazovalnicah LJU, CEY, DOBS in NEK pa so bili nameščeni novi digitalni seizmografi. Na območju Ljubljane smo postavili dve začasni opazovalnici s prenosnim akcelero grafom, prvo na Ljubljanskem barju, drugo pa v Podgorici. Začasno smo postavili prenosni seizmograf v Zavodnjah v Šaleški dolini na območju, kjer je predvidena stalna potresna opazovalnica moderniziranega omrežja. Prenehali smo z beleženjem seizmičnih dogodkov v Soči in Logu pod Mangartom zaradi plazov, ki se je sprožil ob koncu leta 2000 in v Veliki Štangi.

**Abstract.** Seven permanent earthquake monitoring stations were working within the Republic of Slovenia at the end of 2001. The stations were equipped with different types of analogue and digital seismographs. The oldest and central monitoring station of the Republic of Slovenia's Environmental Agency, located at the observatory Golovec in Ljubljana, is equipped with three-component analogue long-period and short-period seismographs with optical recording on photographic paper, a short-period seismograph with ink recording and with broad band digital seismographs. An earthquake monitoring station was built in Goričice near Lake Cerknica in 1975. A broad band digital seismograph was supplied in 1998 to supplement the existing three-component short-period analogue seismograph. In January 1985, the third seismic station in Slovenia, located at Vojsko near Idrija, started to operate. It was initially equipped with an analogue short-period seismograph with a vertical component. The horizontal components were added in January 1991. The following year, the earthquake monitoring station in Bojanci, Bela Krajina was installed. Similarly, it was equipped with an analogue short-period seismograph with a vertical component. In 1996, a broad band digital seismograph was added together with a facility to transmit data to the main office in Ljubljana via telephone line. In order to monitor seismic activity in the Krško - Brežice area, a temporary earthquake monitoring station was set up in 1990 in Brezje (Senuše area). It was equipped with a vertical component portable analogue seismograph. A seismic station was set up at Cesta near Krško in 1996. Originally, a portable broad band digital seismograph recording data on magnetic tape was installed there. In 1998, this was replaced with a seismograph, transmitting data to the main office using the state administration's computer network. Because of the possibility of increased seismic activity due to an electricity power plant lake in neighbouring Austria, a temporary earthquake monitoring station was installed at Branik near Muta in 1991. It was equipped with a vertical component portable analogue seismograph. A shaft was built and a broad band digital seismograph was installed, transmitting data to the main office via telephone lines in 1996. In the same year, an earthquake monitoring station at Dobrina in Kozjansko area commenced operating. It was equipped with the same type of digital seismograph as at Branik. From time to time a portable digital seismograph recording data on magnetic tape operates also in Horjul. Within the scope of modernization of the national seismic network, new data center was set up in Ljubljana consisted of two UNIX-based host computers running Antelope system software. Host computers provide command and Control of remote seismic stations subsystems. New broadband Quanterra Q730 seismic station acquisition subsystems were

*installed in seismic stations in Ljubljana, Goričice, Dobrina and in Nuclear Power Plant Krško, transmitting data in real-time to data center using TCP/IP protocols over an Ethernet-based Wide Area Network. Two portable accelerographs were installed in Ljubljana area, the first on Ljubljana swamp and the second in Podgorica. A portable seismograph was installed in Zavodnje. Two portable accelerographs were removed from Soča and Log under Mt. Mangart and portable seismograph was removed from Velika Štanga.*

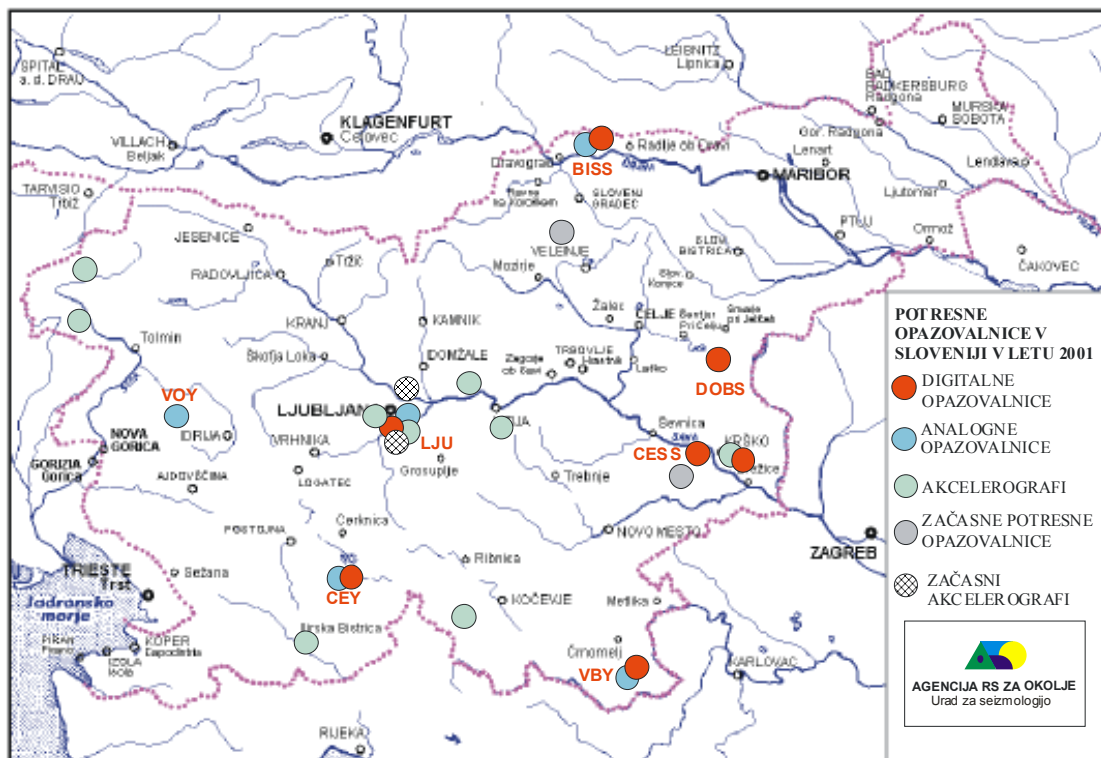
## Uvod

Najstarejša in osrednja opazovalnica Agencije RS za okolje v observatoriju na Golovcu v Ljubljani (LJU) je opremljena s trikomponentnim analognim dolgoperiodnim seizmografom in trikomponentnim analognim kratkoperiodnim seizmografom z optičnim zapisom na fotografski papir, s kratkoperiodnim seizmografom z vidljivim zapisom ter s širokopasovnimi digitalnimi seizmografi. Leta 1975 je bila zgrajena potresna opazovalnica CEY v Goričicah pri Cerkniskem jezeru. Opremljena je bila z analognim trikomponentnim kratkoperiodnim seizmografom, ki mu je bil leta 1997 dodan digitalni širokopasovni seizmograf. Januarja 1985 je začela delovati tretja potresna opazovalnica VOY na Slovenskem, ki smo jo postavili v Vojskem nad Idrijo (Trnkoczy in Vidrih, 1986). V začetku je bila opremljena z analognim kratkoperiodnim seizmografom z vertikalno komponento, januarja leta 1991 pa sta bili dodani še horizontalni komponenti. Leta 1986 je bila zgrajena potresna opazovalnica VBY v Bojancih v Beli krajini, 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 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, Vidrih, 1993, 1995). V okviru projekta modernizacije državnega omrežja potresnih opazovalnic smo vzpostavili novo središče za zajem in analizo podatkov. V opazovalnice v Ljubljani, Goričicah, Dobrini in jedrsko elektrarno v Krškem smo namestili nove digitalne seizmografe.

## Opis potresnih opazovalnic

V Ljubljani (LJU) so instrumenti za beleženje potresov postavljeni v observatoriju na Golovcu. Opazovalnica je zgrajena v karbonskih peščenjakih, ki v seizmogeološkem smislu pomenijo srednje ugodna tla. Opazovalnica ima koordinati 14,53°E in 46,04°N, leži pa na nadmorski višini 396 m. Spada med potresne opazovalnice prvega reda, kar pomeni, da beleži kratkoperiodne in dolgoperiodne potresne valove na velikih razdaljah ter je del svetovnega omrežja. Da bi bili podatki zanimivi za svetovno mrežo, morajo ustrezati svetovnim

standardom. Enako velja za opremo in njeno delovanje. Dolgoperiodni sistem sestavljajo vertikalni in dva horizontalna seizmometra Sprengnether, galvanometri Lehner & Griffith pa zapisujejo signale s svetlobnim žarkom na fotopapir na pisaču Sprengnether. Povečava sistema je 1 300 pri periodi 1 s (vertikalna komponenta). Oba sistema sta zaradi pomanjkanja fotopapirja v mesecu marcu prenehala obratovati. Poleg njiju deluje tudi kratkoperiodni sistem Lehner & Griffith z zapisom na fotopapir. Povečava tega sistema je 12 000 pri periodi 1 s (vertikalna komponenta). Sistem z vidljivimi zapisi sestavljajo seizmometri Willmore MK-II, seizmografski ojačevalniki SO-01, ki so jih razvili strokovnjaki Urada za seizmologijo Agencije RS za okolje ter pisači Günter Volk z galvanometri Astromed. Maksimalna povečava vidljivega sistema je 46 700 pri periodi 0,4 s (vertikalna komponenta).



*Slika 1. Potresne opazovalnice v Sloveniji leta 2001.*

*Figure 1. Seismic network in Slovenia in 2001.*

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

Leta 1996 postavljeni digitalni seizmograf podjetja Nanometrics sestavljajo širokopasovni trikomponentni seizmometer Guralp CMG-40T, 16-bitni analogno - digitalni pretvornik s tristopenjskim samonastavljivim predojačenjem RD 1603 in osebni računalnik s sprejemnikom točnega časa GPS in programsko opremo, ki skrbi za zajem podatkov in za komunikacijo s centralnim računalnikom. Programska oprema na centralnem računalniku zbira podatke iz oddaljenih opazovalnic. Centralni računalnik po določenem nastavljivem urniku kliče oddaljene opazovalnice in od njih zahteva podatke o proženjih. Na podlagi teh podatkov poskuša določiti dogodke, nato pa pošlje zahtevo za prenos zapisov o dogodkih v centralno opazovalnico. Komunikacija deluje na principu elektronske pošte (Vidrih, Sinčič, 1997). V marcu 2001 smo namestili še novi širokopasovni sistem, ki ga sestavljajo širokopasovni trikomponentni seizmometer Guralp CMG-40T, akcelerometer EpiSensor in šestkanalni širokopasovni zajemalni sistem Quanterra Q730. Sistem ima na vhodu šest neodvisnih 24-bitnih analogno-digitalnih (A/D) med seboj galvansko ločenih pretvornikov, vgrajen DSP (digital signal processor), GPS sprejemnik točnega časa in RAM pomnilnik za začasno shranjevanje podatkov. Komunikacijski protokol omogoča paketni prenos podatkov v središče za zajem in obdelavo podatkov.

Potresna opazovalnica v Cerknici (CEY) stoji na spodnjejurskih apnencih, ki so ugodna seizmogeološka podlaga. Koordinati opazovalnice sta 14,43°E in 45,74°N, nadmorska višina pa je 579 m. Merilni sistem sestavljajo en vertikalni in dva horizontalna seizmometra Willmore MK-II, seizmografski ojačevalniki SO-01 in pisači Günter Volk z galvanometri Astromed ter uro UK-03. Povečava je zaradi mirnejše lokacije večja kot v Ljubljani in znaša 82 200 pri 0,5 s (vertikalna komponenta). V začetku leta 1997 postavljeni digitalni seizmograf podjetja Nanometrics sestavljajo širokopasovni trikomponentni seizmometer Guralp CMG-40T, 16-bitni analogno - digitalni pretvornik s tristopenjskim samonastavljivim predojačenjem RD 1603 in osebni računalnik s sprejemnikom točnega časa GPS in programsko opremo, ki skrbi za zajem podatkov in za komunikacijo s centralnim računalnikom. Leta 2000 smo seizmograf vključili v državno računalniško omrežje, po katerem teče prenos podatkov na centralni računalnik na observatoriju na Golovcu v Ljubljani. Marca 2001 smo tudi na tej opazovalnici vključili v omrežje novi sistem, ki ga sestavljata seizmometer Guralp CMG-40T in zajemalna naprava Quanterra Q730 z neprekinjenim prenosom podatkov po omrežju v središče za zajem in obdelavo podatkov.

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

Četrta opazovalnica v Bojancih (VBY) je bila do leta 1996 enokomponentno analogna. Zgrajena je na krednem apnencu, ki je zelo dobra seizmogeološka podlaga. Koordinati opazovalnice sta 15,26°E in 45,50°N, nadmorska višina pa je 252 m. Seizmograf sestavljajo vertikalni seizmometer Vegik, seizmografski ojačevalnik SO-03, pisar Kablar I z galvanometrom Astromed ter ura UK-03. Sistem deluje s povečavo 116 600 pri 0,5 s. Opremo opazovalnice smo dopolnili leta 1996 s trikomponentnim digitalnim seizmografom podjetja Nanometrics s širokopasovnim trikomponentnim senzorjem Guralp CMG-40T. Pošiljanje podatkov iz opazovalnice v centralni računalnik v Ljubljani je potekalo po klicni telefonski



liniji na zahtevo centralnega računalnika. V maju 1996 smo zamenjali opremo opazovalnice. 16-bitni analogno - digitalni pretvornik RD3-1605 smo zamenjali s 24-bitnim HRD24-2432 z vgrajenim GPS sprejemnikom, klicno telefonsko linijo pa z najeto linijo do Geodetske uprave v Črnomlju, kjer smo se vključili v državno računalniško omrežje. S tem smo zagotovili hitrejši in kvalitetnejši prenos podatkov do centralnega računalnika.

Potresna opazovalnica v Braniku nad Muto (BISS), ki beleži seizmične pojave v bližini jezua HE Golica, je bila leta 1990 nameščena v objektu zgrajenem v metamorfnih kamninah, ki so v seizmogeološkem pogledu ugodne. Koordinati opazovalnice sta 15,13°E in 46,65°N, nadmorska višina pa je 480 m. Na travniku nad objektom smo zgradili jašek in vanj postavili seizmometer Vegik, leta 1996 pa še seizmometer Guralp CMG-40T. Vertikalni kratkoperiodni seizmometer Vegik je priključen na prenosno analogno opazovalnico PS-2 podjetja Kinometrics. Trikomponentni širokopasovni seizmometer Guralp CMG-40T pa je priključen na digitalni seizmograf firme Nanometrics in na omrežje opazovalnic. Tudi ta seizmograf smo leta 2000 vključili v državno računalniško omrežje, po katerem teče prenos podatkov na centralni računalnik na observatoriju na Golovcu v Ljubljani.

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

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

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

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

Etna. Opazovalnica leži na lapornatem apnencu, ki ponekod prehaja v dolomit in peščen skrilavec skitske starosti (spodnji trias). Njeni koordinati sta 14,30°E in 46,02°N, nadmorska višina je 350 m.

Povečalo se je število opazovalnic z digitalnimi akcelerografi za beleženje močnih potresov. Novi sta opazovalnici v Bovcu in Kobaridu. Ostale opazovalnice so v Ljubljani (v observatoriju na Golovcu in na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo - FGG), na Dolskem, Krškem, Ilirski Bistrici, na gradu Bogenšperk in Gotenici. 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. Akcelerografi v Goričicah pri Cerknici, v Ilirski Bistrici in v jedrski elektrarni v Krškem imajo občutljivejši senzor FBA-23 z merilnim območjem 0,25 g. Akcelerograf SSA-2 v Jedrski 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.

Na širšem območju Ljubljane smo namestili dva prenosna akcelerografa Etna s prenosom podatkov v središče za zajem in obdelavo podatkov po klicni telefonski liniji. Prvega smo namestili 25. julija 2001 na Rudniku, drugega pa dan kasneje v Podgorici. 12. septembra pa smo postavili prenosni inštrument s senzorjem Guralp CMG-40T in zajemalno enoto Reftek 72A-07/DISK s shranjevanjem podatkov na trdi disk. Prenehali smo z začasnim beleženjem seizmičnih dogodkov v Soči, Logu pod Mangartom in v Veliki Štangi.

Potresne opazovalnice so v letu 2001 zabeležile 3045 seizmičnih dogodkov, od tega 1355 lokalnih potresov, 508 regionalnih in 464 oddaljenih. Seizmografi so zapisali tudi 718 umetnih potresov (preglednica 1). Prebivalci Slovenije so čutili 48 potresov.

**Preglednica 1.** Potresi v letu 2001, zabeleženi na slovenskih potresnih opazovalnicah.

**Table 1.** Earthquakes in 2001 recorded at Slovenian earthquake stations.

mesec	oddaljeni potresi	regionalni potresi	lokalni potresi	umetni potresi	skupaj
Month	Distant earthquakes	Regional earthquakes	Local earthquakes	Artificial	Total
januar January	22	35	79	75	211
februar February	33	38	77	95	243
marec March	27	33	127	121	308
april April	38	37	109	81	265
maj May	37	33	164	57	291
junij June	60	46	147	25	278
julij July	63	47	125	46	281
avgust August	47	51	120	46	264
september September	28	52	114	44	238
oktober October	60	46	104	59	269
november November	27	41	93	42	203
december December	22	49	96	27	194
skupaj Total	464	508	1355	718	3045

Oddaljeni potresi / Distant earthquakes

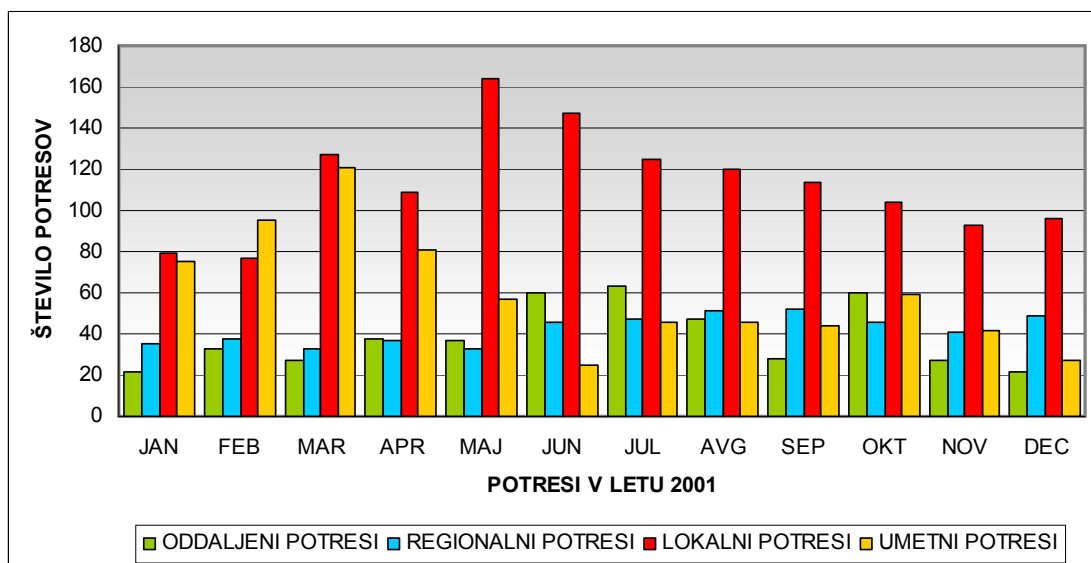
$\Delta > 10^\circ$  ( $> 1.100$  km)

Regionalni potresi / Regional earthquakes

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

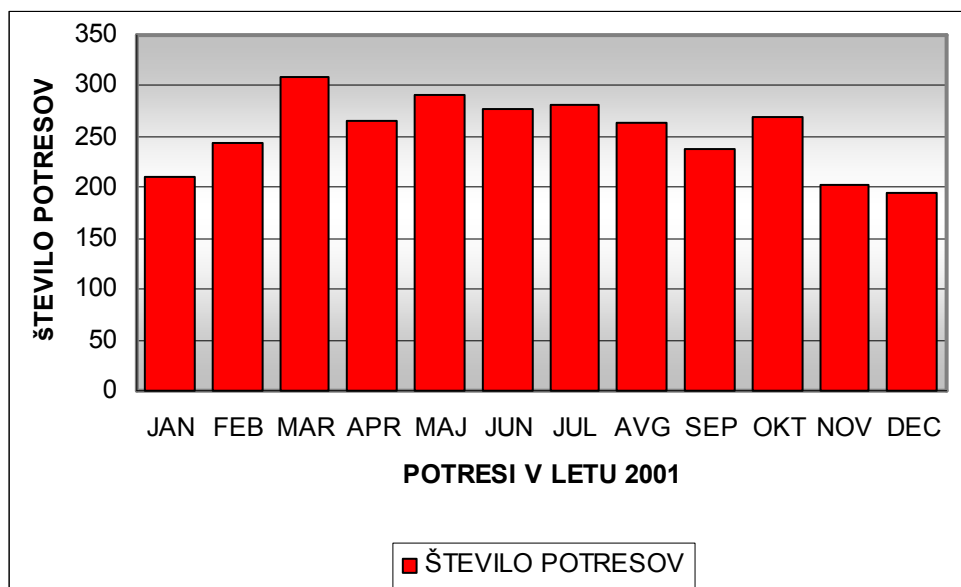
Lokalni potresi / Local earthquakes

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



*Slika 2. Porazdelitev naravnih in umetnih potresov.*

*Figure 2. Distribution of earthquakes and artificials by months.*



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

## Literatura

- Digital Seismograph System, User Guide and Reference Manual, 1995. Nanometrics, Kanata, Kanada.
- Operations Reference Manual for 72A Series Data Acquisition System, 1994. Reftek, Dallas, Združene države Amerike.
- Operation Instructions for Model SSR-1 Solid State Recorder, 1989. Kinometrics, Pasadena, Združene države Amerike.
- Sinčič P., Vidrih R., 1993. Mreža potresnih opazovalnic v Sloveniji. Ujma 7, 130-137, Ljubljana.
- Sinčič P., Vidrih R., 1995. Gradnja potresne opazovalnice. Ujma 9, 185-189, Ljubljana.
- Trnkoczy, A., Vidrih R., 1986: Seizmološka stanica Vojsko (VOY) u SR Sloveniji. Acta seismologica Iugoslavica 12, 17-34, Beograd.
- Vidrih R., Sinčič P., 1997. Potresne opazovalnice v Sloveniji. Povzetki referatov; 13. posvetovanje slovenskih geologov, 39-40, Ljubljana.

# POTRESI V SLOVENIJI LETA 2001

## EARTHQUAKES IN SLOVENIA IN 2001

Ina Cecić, Mladen Živčić, Martina Čarman in Tamara Jesenko

***Izvleček.** Leto 2001 je bilo v Sloveniji leto umirjene potresne dejavnosti. Prebivalci so čutili najmanj 48 potresnih sunkov, vendar vsa žarišča niso bila na slovenskem ozemlju. Najmočnejši potres leta 2001 je bil v Sloveniji 16. marca ob 6. uri 29 minut po svetovnem času UTC (oziroma ob 7. uri 29 minut po srednjeevropskem času) z žariščem v bližini Mestinja. Lokalna magnituda je bila 2,8, največja intenziteta pa V EMS-98. Najmočnejši potres z žariščem zunaj naših meja, ki so ga čutili prebivalci Slovenije, je bil 17. julija ob 15. uri 6 minut po UTC v Italiji, v Zgornjem Poadižju. Lokalna magnituda, izračunana iz zapisov seizmografov mreže potresnih opazovalnic v Sloveniji, je bila 4,7.*

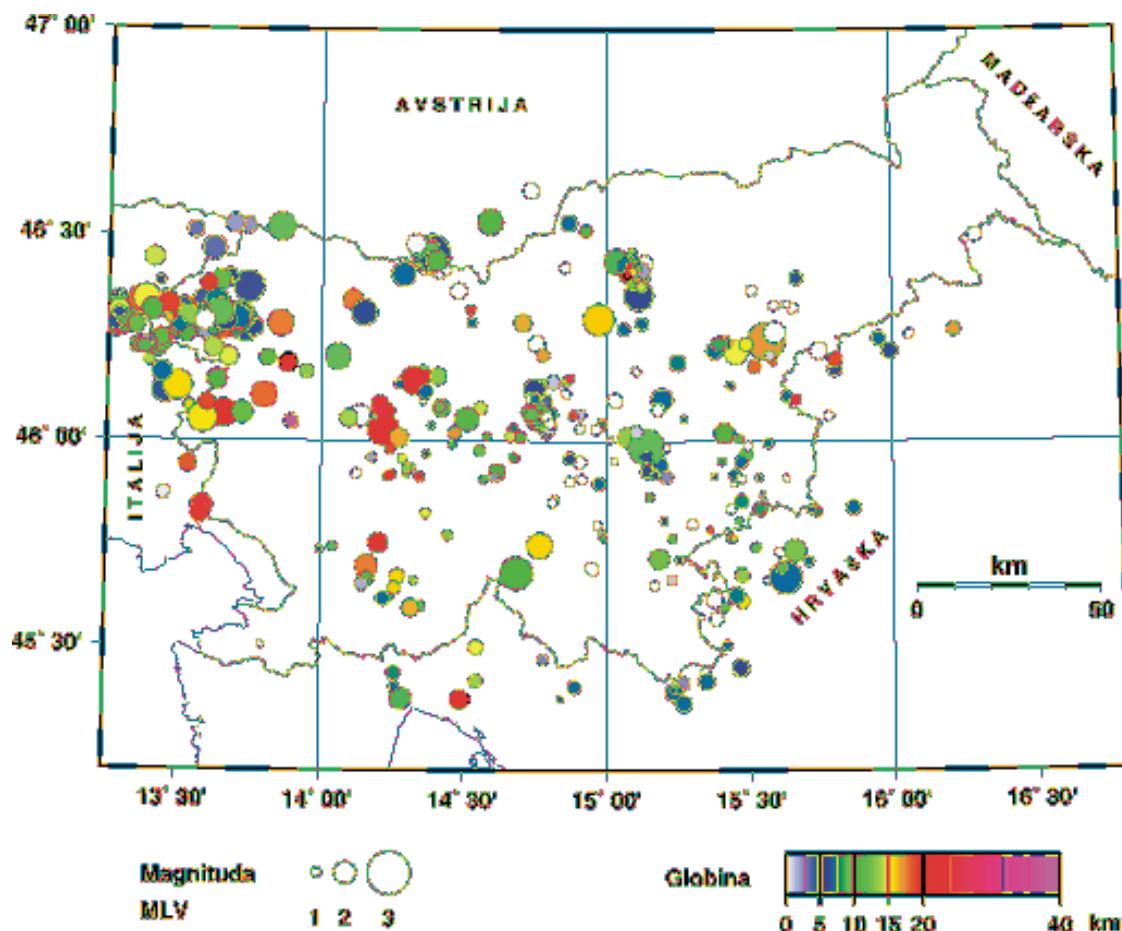
***Abstract.** Year 2001 was a year of moderate seismic activity in Slovenia. The strongest earthquake happened on 16 March 2001 at 6h 29m UTC (7.29 local time) near Mestinje, NE Slovenia. Its local magnitude 2,8 and the maximum intensity V EMS-98 were observed in 2 localities. The strongest earthquake outside our borders was felt on 17 July at 15.06 UTC. Its epicentre was in Italy in Alto Adige, and its local magnitude, as calculated from the seismograms recorded in Ljubljana, was 4,7. Inhabitants of Slovenia felt at least 48 earthquakes in 2001.*

### Uvod

Leta 2001 je bila potresna aktivnost v Sloveniji zmerna. Po januarskih potresih pri Tolminu, Kobaridu, Žalcu in na Butajnovi (okolica Horjula) se je februarja večkrat zatreslo zg. Posočje ter okolica Slovenj Gradca in Pivke. Temu sta marca sledila potresa pri Zagorju ob Savi in najmočnejši potres v tem letu, ki je bil 16. marca ob 6. uri 29 minut po svetovnem času UTC (oziroma ob 7. uri 29 minut po srednjeevropskem poletnem času) z žariščem v bližini Podčetrтка (Olimje). Njegova lokalna magnituda je bila 2,8, največja intenziteta pa V EMS-98. EMS je okrajšava za evropsko potresno lestvico (Grünthal, 1998a, 1998b). Aprila so potrese čutili v bližini Senožeti. Maja se je treslo v okolici Butajnov, Mednega in Kranjske Gore. Junija so prebivalci Slovenije čutili potrese z žarišči pri Dolenjih Ponikvah, Senožetih, Bregu ter Gorah nad Idrijo.

Julija so se tla tresla na Vranskem, v Šempeteru v Savinjski dolini, Italiji, Ročinju, Šoštanju in Drežnici, avgusta pa v Ljubljani in na Igu. Septembra se je stresla Brnica (pri Hrastniku), za tem pa Kojško in Zabukovje, nadaljevali pa so se tudi popotresi v Posočju. Oktobra so potrese čutili tako prebivalci Posočja, kot tudi Gorjancev in Kranjske Gore. Novembra smo zbirali podatke za potresa v Bohinju in v Avstriji. Slednji je bil 15. novembra dopoldne pri kraju Zell-Pfarre, njegova magnituda je znašala 2,8. Decembra se je treslo na Cerkljanskem, v Posočju ter na Hrvaškem v okolici Senja.

Seizmografi državne mreže potresnih opazovalnic Agencije Republike Slovenije za okolje, Urada za seizmologijo so leta 2001 zapisali 1355 lokalnih potresov. Za določitev žarišča potresa potrebujemo podatke najmanj treh opazovalnic; če nas zanima še globina, pa potrebujemo zapise najmanj štirih opazovalnic. V preglednici 1 smo prikazali osnovne parametre za 79 lokalnih potresov, katerim smo lahko določili lokalno magnitudo in je le-ta bila večja kot 1,5. Dodali smo tudi 15 šibkejših potresov, ki so jih čutili prebivalci Slovenije. Karta nadžarišč (epicentrov) potresov v Sloveniji za leto 2001 z opredeljeno magnitudo je na sliki 1.



*Slika 1. Nadžarišča potresov leta 2001, ki smo jim določili žariščni čas, instrumentalni koordinati epicentra in globino žarišča; barvni simboli različnih velikosti ponazarjajo žariščno globino in vrednosti lokalne magnitude  $M_{LV}$ .*

*Figure 1. Distribution of epicentres in 2001, whose focal times, epicentral co-ordinates and focal depths were calculated; coloured symbols of varying sizes give information on focal depth and local magnitude  $M_{LV}$ .*

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

V preglednici 1 je dana povprečna vrednost  $M_{LV}$  za opazovalnice v Sloveniji. Lokalno magnitudo  $M_{LV}$  potresov smo opredelili iz največje hitrosti navpične komponente nihanja tal ( $A/T$  v nm/s) na slovenskih opazovalnicah po enačbi:

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

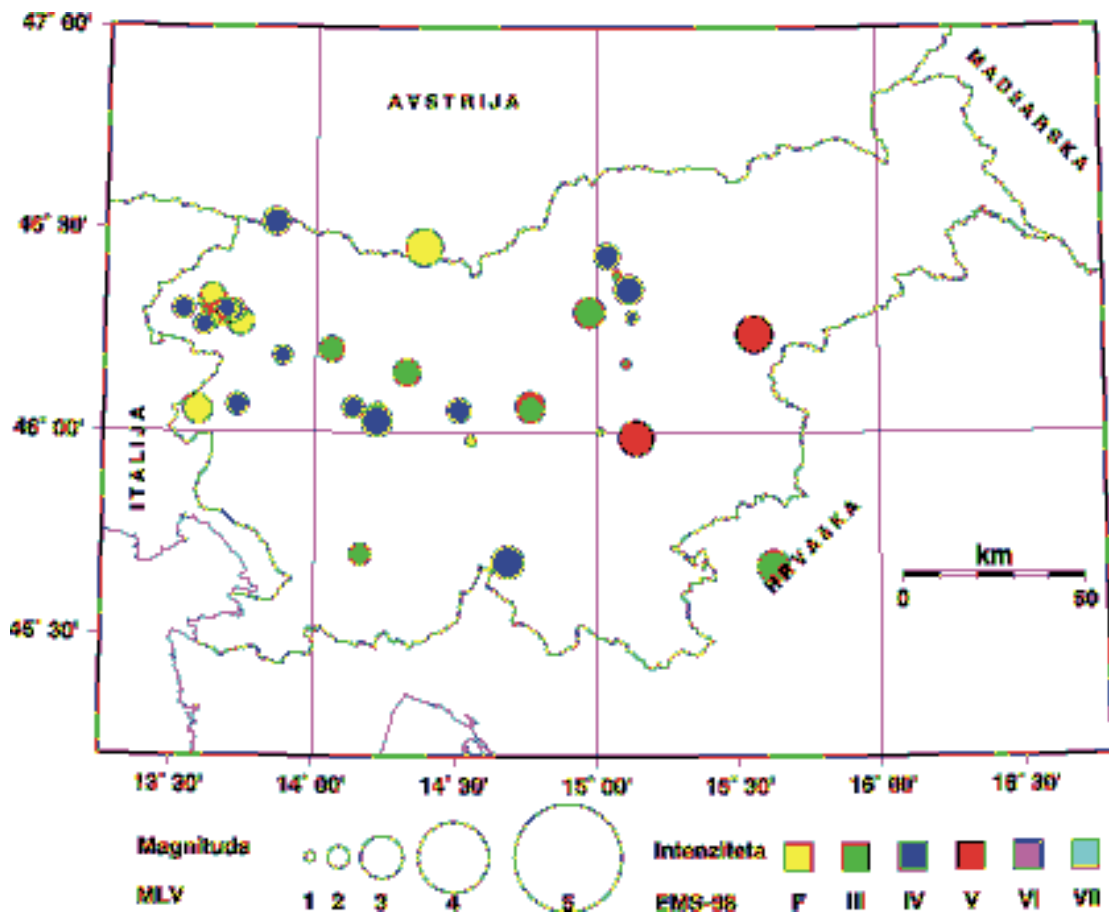
kjer je D oddaljenost nadžarišča v kilometrih.

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). V preglednici 1 je dana povprečna vrednost  $M_D$ .

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



*Slika 2. Intenzitete potresov, ki so jih leta 2001 čutili prebivalci Slovenije.*  
**Figure 2. Earthquakes felt in Slovenia in 2001.**

Na različnih območjih Slovenije so prebivalci čutili več kot 48 potresnih sunkov. Za en dogodek imamo le podatke o zvoku, ne pa tudi o tresenju tal. Dva potresa sta dosegla največjo intenziteto V EMS-98. Najmočnejši potres leta 2001 je bil 16. marca pri Olimju. Karta nadžarišč (epicentrov) potresov, ki so jih prebivalci leta 2001 čutili, je na sliki 2. Zaradi velikega števila dogodkov so v naslednjem poglavju (in na slikah 3 do 10) natančneje opisani in prikazani učinki le nekaterih izmed teh potresov. Na sliki 11 so narisane intenzitete za vse potrese v letu 2001.

**Preglednica 1.** Seznam potresov leta 2001, ki imajo lokalno magnitudo večjo od 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 15 potresov manjše lokalne magnitude, ki so jih čutili prebivalci Slovenije.

**Table 1.** List of earthquakes with  $M_{LV} > 1,5$  in 2001 for which the hypocentral time, coordinates of epicentre and focal depth were calculated; for some earthquakes maximum intensity is also provided. Information about 15 earthquakes with smaller magnitude, that were felt by inhabitants of Slovenia, is also included.

št.	dat.	h:m:s	šir	dolž	h	nst	RMS	$M_{LV}$	$M_D$	$I_{max}$	potresno območje
		UTC	°N	°E	km		s			EMS 98	
no.	date	h:m:s	lat	lon	h	nst	RMS	$M_{LV}$	$M_D$	$I_{max}$	epicentral area
		UTC	°N	°E	km		s			EMS 98	
1	3.1.	17:44:52,4	46,27	13,72	7	39	0,5	2,3	2,8	čutili	Veliki Bogatin
2	16.1.	17:57:33,6	46,29	13,60	7	6	0,1	0,9	1,7	III-IV	Magozd
3	18.1.	15:04:32,2	46,35	15,11	5	14	0,5	2,4	2,4	IV-V	Kavče - Velenje
4	19.1.	18:54:23,6	46,21	15,45	15	9	0,2	2,1	1,7		Grobelno
5	21.1.	14:52:36,0	46,05	14,22	13	14	0,5	1,8	2,4	IV	Planina nad Horjulom
6	26.1.	0:38:38,5	45,73	15,65	13	11	0,3	2,0	2,3		Žumberak, Hrvaška
7	26.1.	23:48:42,1	46,08	14,42	12	8	0,2	1,7	1,6		Toško čelo
8	3.2.	0:46:24,1	46,26	13,60	0	8	0,3		1,9	IV	Jezerca - Drežnica
9	4.2.	7:59:02,1	46,31	13,63	7	9	0,5		2,0	čutili	Lepena
10	7.2.	16:53:44,1	45,92	14,61	10	9	0,4	1,6	1,8		Udje - Grosuplje
11	11.2.	20:42:18,9	46,43	15,03	9	11	0,4	2,2	2,1	IV-V	Spodnji Razbor
12	12.2.	11:24:18,6	45,67	14,16	10	5	0,2	1,6	2,0		Kal - Pivka
13	12.2.	11:56:28,5	45,69	14,16	18	15	0,4	2,0	2,7	III-IV	Gradec - Pivka
14	14.2.	0:55:49,0	46,32	13,63	7	13	0,3		2,4	čutili	Lepena
15	19.2.	7:46:24,7	46,33	13,63	7	8	0,2		2,1	čutili	Lepena
16	19.2.	9:21:33,1	46,29	13,67	6	10	0,3		2,2	čutili	Lepena
17	26.2.	12:24:52,8	46,40	14,28	7	19	0,5	2,1	2,5		Podljubelj, meja Slovenija - Avstrija
18	4.3.	0:06:21,6	45,71	15,18	12	13	0,4	1,9	2,2		Mihovec - Uršna sela
19	8.3.	17:07:55,6	46,00	15,07	13	13	0,4	1,9	2,1		Ravne nad Šentrupertom
20	9.3.	0:01:13,9	46,60	14,73	0	4	0,1	1,6	1,2		Eberndorf, Avstrija
21	14.3.	21:27:24,9	46,07	14,73	7	11	0,5	1,6	1,9		Zgornja Jevnica
22	15.3.	15:37:40,3	45,94	15,18	7	11	0,4	1,7	1,9		Mokronog
23	16.3.	6:29:14,2	46,24	15,55	17	19	0,6	2,8	2,9	V	Pijovci - Mestinje
24	16.3.	7:54:02,9	46,22	15,37	7	3	0,1	1,6			Vrbno - Šentjur pri Celju
25	16.3.	11:16:48,7	46,26	15,59	0	5	0,4	2,0			Gabrovec pri Kostivnici
26	16.3.	14:15:47,6	46,23	14,75	0	3	0,3	1,6			Kostanj - Menina
27	22.3.	11:05:18,9	46,70	15,28	6	15	0,0	1,9			Hörmsdorfer Kolonie - Avstrija
28	7.4.	3:30:13,4	45,37	14,28	9	22	0,5	2,0	2,6		Jušiči, Hrvaška
29	7.4.	8:40:51,7	46,20	13,80	12	12	0,4	1,6	2,3		Kneške Ravne
30	14.4.	3:38:40,1	46,06	14,76	10	21	0,4	2,4	2,6	III-IV	Mala Štanga
31	14.4.	7:24:21,2	46,09	14,78	4	7	0,2	1,6	1,5		Ribče
32	2.5.	12:33:09,5	46,02	14,21	20	34	0,5	2,5	2,9	IV	Šentjošt nad Horjulom



št.	dat.	h:m:s	šir	dolž	h	nst	RMS	M <sub>LV</sub>	M <sub>D</sub>	I <sub>max</sub>	potresno območje
		UTC	°N	°E	km		s			EMS 98	
no.	date	h:m:s	lat	lon	h	nst	RMS	M <sub>LV</sub>	M <sub>D</sub>	I <sub>max</sub>	epicentral area
		UTC	°N	°E	km		s			EMS 98	
33	3.5.	6:06:33,3	46,19	15,24	7	9	0,2	1,6	1,8		Rifengozd - Debro
34	9.5.	20:12:17,2	46,14	14,32	21	20	0,4	2,3	2,4	III	Hosta - Škofja Loka
35	21.5.	9:43:20,8	46,43	15,13	0	7	0,3	1,7	1,8		Graška gora
36	22.5.	19:14:18,0	46,51	13,85	9	37	0,4	2,3	2,7	IV-V	Srednji vrh, meja Slovenija - Avstrija
37	25.5.	7:17:57,3	46,53	14,86	7	6	0,5	1,6			Onkraj Meže, meja Slovenija - Avstrija
38	4.6.	21:28:15,0	45,98	15,13	9	34	0,5	2,7	3,0	V	Roženberk - Veliki Cirknik
39	6.6.	15:08:53,2	46,05	14,76	12	21	0,4	2,3	1,9	III-IV	Mala Štanga
40	8.6.	17:57:38,5	45,59	14,31	17	7	0,8	1,7	2,0		Koritnice
41	15.6.	13:43:31,3	46,21	15,99	6	7	0,5	1,6	2,7		Bednja, Hrvaška
42	20.6.	0:16:56,3	45,67	14,68	10	29	0,4	2,6	3,2	IV	Glažuta - Velika gora
43	22.6.	2:48:37,1	46,06	14,13	0	26	0,5	2,0	2,6	IV	Žirovski Vrh
44	29.6.	8:33:47,8	46,29	13,72	7	26	0,5	2,2	2,6		Lanževica
45	3.7.	11:26:22,1	46,29	13,71	8	29	0,5	2,1	2,7		Lepena
46	6.7.	9:33:19,4	46,29	14,97	16	19	0,5	2,5	2,7	III-IV	Dobrovlje - Letuš
47	7.7.	20:40:42,2	46,06	13,65	21	36	0,5	2,3	3,0		Kanalski Vrh
48	8.7.	10:53:35,2	46,29	13,68	12	7	0,3		1,9	čutili	Lepena
49	16.7.	16:51:33,5	46,28	15,12	7	8	0,5	1,3		IV-V	Založe - Polzela
50	16.7.	17:28:16,8	46,28	13,62	0	4	0,6		1,7	čutili	Drežniške Ravne
51	18.7.	17:03:10,1	46,29	13,69	10	25	0,6	1,8	2,5	čutili	Lepena
52	21.7.	50:53,5	46,06	13,72	12	29	0,5	2,0	2,5	IV	Banjšice
53	23.7.	19:35:18,9	46,12	14,74	6	12	0,5	2,0	2,1		Češnjice pri Moravčah
54	27.7.	19:23:00,9	46,30	13,68	7	26	0,6	1,9	2,4	IV-V	Lepena
55	30.7.	17:09:28,7	45,38	15,23	7	1	0,0	1,7	2,2		Vukovci, meja Slovenija - Hrvaška
56	2.8.	18:03:49,8	45,36	15,26	7	4	0,3	1,6	2,4		Gorski Kotar, Hrvaška
57	2.8.	21:02:11,0	46,05	14,51	10	17	0,5	2,1	2,5	IV	Ljubljana
58	3.8.	13:42:24,1	45,97	14,55	12	3	0,1	1,2	1,3	II-III	Škofljica
59	11.8.	7:23:13,7	46,05	14,09	14	9	0,4	1,7	2,4		Ledinica - Žiri
60	12.8.	13:25:35,8	46,04	14,76	13	8	0,2	1,7	2,2		Velika Štanga
61	25.8.	13:46:42,3	45,61	15,37	0	3	0,4	1,6	1,6		Božakovo, meja Slovenija - Hrvaška
62	12.9.	10:05:56,6	46,17	15,10	0	3	0,0	0,9		III	Čeče - Trbovlje
63	19.9.	19:29:20,6	46,21	15,74	0	5	0,4	1,7			Dobovec pri Rogatcu, meja Slovenija - Hrvaška
64	25.9.	0:23:13,1	46,01	15,41	11	11	0,5	1,9	1,7		Selce nad Blanco
65	25.9.	14:35:20,0	46,05	13,58	15	37	0,4	2,4	2,8	čutili	Plave, meja Slovenija - Italija
66	27.9.	7:26:48,2	46,30	13,64	7	8	0,3	0,7	1,8	čutili	Lepena
67	27.9.	19:07:57,0	46,00	15,01	0	6	0,6	0,7	1,5	čutili	Brezovo - Gabrovka
68	30.9.	7:30:17,2	46,30	13,52	13	31	0,4	2,0	2,6	IV	Srpenica
69	2.10.	4:16:42,4	45,75	14,20	10	8	0,4	1,8	1,9		Rakov Škocjan
70	8.10.	5:30:34,6	46,10	15,19	7	10	0,5	2,0	2,0		Veliko Širje
71	11.10.	11:12:16,9	45,63	13,45	1	31	0,5	2,0			Tržaški zaliv

št.	dat.	h:m:s	šir	dolž	h	nst	RMS	M <sub>LV</sub>	M <sub>D</sub>	I <sub>max</sub>	potresno območje
		UTC	°N	°E	km		s			EMS 98	
no.	date	h:m:s	lat	lon	h	nst	RMS	M <sub>LV</sub>	M <sub>D</sub>	I <sub>max</sub>	epicentral area
		UTC	°N	°E	km		s			EMS 98	
72	11.10.	18:33:06,8	45,66	15,62	7	22	0,5	2,6	2,7	III-IV	Žumberak, Hrvaška
73	14.10.	23:30:36,1	46,30	13,71	6	32	0,6	2,1	2,7		Lepena
74	17.10.	5:10:08,7	46,29	13,70	7	25	0,6	2,1	2,7	IV	Lepena
75	17.10.	5:22:37,2	46,27	13,63	12	7	0,2		1,7	čutili	Lepena
76	22.10.	5:23:12,5	45,37	14,48	20	9	0,2	1,8	2,2		Dražice, Hrvaška
77	8.11.	20:27:16,3	46,19	13,88	20	20	0,5	1,8	2,1	IV	Grant
78	13.11.	9:41:06,0	46,45	14,37	7	10	0,5	1,9	1,9		Karavanke, meja Avstrija - Slovenija
79	13.11.	13:38:47,6	46,46	14,36	7	12	0,5	1,7	2,0		Karavanke, meja Avstrija - Slovenija
80	15.11.	2:58:13,6	46,47	14,39	15	5	0,1	1,6			Karavanke, meja Avstrija - Slovenija
81	15.11.	5:19:12,2	46,45	14,38	9	10	0,5	1,9	1,6		Karavanke, meja Avstrija - Slovenija
82	15.11.	6:00:40,3	46,45	14,38	10	10	0,5	1,7	2,0		Karavanke, meja Avstrija - Slovenija
83	15.11.	9:52:46,0	46,45	14,38	6	35	0,5	2,8	3,1	čutili	Karavanke, meja Avstrija - Slovenija
84	15.11.	17:01:30,3	46,46	14,37	11	10	0,6	1,8	1,9		Karavanke, meja Avstrija - Slovenija
85	19.11.	5:08:25,5	45,44	15,46	5	9	0,2	1,7	2,2		Duga Resa, Hrvaška
86	20.11.	7:00:09,4	45,74	14,76	16	13	0,4	2,2	2,3		Otavice - Ribnica
87	21.11.	5:17:55,6	46,46	14,37	9	12	0,6	1,9	1,9		Karavanke, meja Avstrija - Slovenija
88	3.12.	15:28:09,1	45,41	15,34	7	3	0,3	1,6	2,2		Balkovci, meja Slovenija - Hrvaška
89	4.12.	13:09:40,3	46,47	14,32	0	14	0,5	1,9	2,3		Karavanke, meja Avstrija - Slovenija
90	7.12.	12:50:36,4	46,43	14,40	11	6	0,4	1,9	1,8		Karavanke, meja Avstrija - Slovenija
91	7.12.	18:22:33,9	45,62	15,45	7	4	0,3	1,6	2,3		Rakovec, meja Slovenija - Hrvaška
92	11.12.	13:06:58,1	46,20	14,05	9	22	0,5	2,2	2,4	III-IV	Spodnja Sorica
93	24.12.	16:25:41,2	46,53	14,59	11	19	0,5	2,2	2,2		Sittersdorf, Avstrija
94	25.12.	17:59:25,1	46,15	14,40	13	10	0,8	1,7	1,6		Zbilje

V preglednici 2 sta dogodka, ki so ju prebivalci Slovenije čutili, vendar njuno žarišče ni bilo na ozemlju Slovenije. V preglednici 3 pa so dogodki, ki so jih prebivalci čutili, vendar število zapisov ni zadoščalo, da bi jim lahko izračunali parametre.

**Preglednica 2.** Seznam potresov z žarišči v drugih državah, ki so ju čutili prebivalci Slovenije. Potresa sta na kratko opisana 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	ura (UTC)	min.	največja intenziteta v Sloveniji (EMS-98)	nadžarišče
no.	month	day	hour (UTC)	min.	maximum intensity in Slovenia (EMS-98)	epicentre
1	07	17	15	06	III-IV	Italija
2	12	31	15	30	čutili	Hrvaška

**Preglednica 3.** Potresi, ki so jih čutili nekateri prebivalci določenih predelov Slovenije, nismo pa jim mogli določiti potresnih parametrov.

**Table 3.** Events, for which the parameters could not be estimated, however they were felt by some observers in Slovenia.

zap. št.	mesec	dan	ura (UTC)	min.	največja intenziteta v Sloveniji (EMS-98)	Nadžarišče
no.	month	day	hour (UTC)	min.	maximum intensity in Slovenia (EMS-98)	Epicentre
1	02	17	15	27	čutili	Lepena
2	03	01	22	33	čutili	Lepena
3	03	14	18	07	IV	Zagorje ob Savi
4	03	24	19	32	zvok	Zagorje ob Savi
5	10	23	21	07	III	Gozd Martuljek

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

**18. januar 2001 ob 15. uri 04 minut UTC.** Zmerno tresenje tal z intenziteto IV-V EMS-98 so čutili prebivalci kraja Galicija v bližini Žalca (slika 3). Potres je spremljalo močno bobnenje, ki so ga slišali tudi v Žalcu, Šempetru v Savinjski dolini, Zgornjih Grušovljah in drugih krajih.

**21. januar 2001 ob 14. uri 52 minut UTC.** O zmernem tresenju tal z intenziteto IV EMS-98 so poročali prebivalci Butajnovce, Horjula, Šentjošta nad Horjulom in Planine nad Horjulom. V Butajnovci so slišali kratko močno hrumenje, ki je trajalo 2 sekundi. O bobnenju so poročali tudi iz približno 10 km oddaljenih Hotovelj.

**3. februar 2001 ob 0. uri 46 minut UTC.** Zmeren potres z intenziteto IV EMS-98 so čutili prebivalci zg. Posočja, in sicer v krajih Drežnica in Kobarid. V Kobaridu, na Idrskem, Livku in v Lepeni so slišali značilno bobnenje.

**11. februar 2001 ob 20. uri 42 minut UTC.** Potres so najmočneje (z intenziteto IV-V EMS-98) čutili v kraju Sele pri Slovenj Gradcu (slika 4). Hiše so se zatresle in slišalo se je škripanje ostrešij. Hrumenje so slišali tudi v Kotljah in Zavodnjah. V Velenju so v 14. nadstropju stavbe precej zaškripala nova okna.

**14. marec 2001 ob 18. uri 7 minut UTC.** Zmerno tresenje tal z intenziteto IV EMS-98 so čutili v Zagorju ob Savi. Močno grmenje je prestrašilo nekatere prebivalce, ki so se umaknili pod podboje vrat. Nekateri so pomislili na rudniško eksplozijo. Zanimivo je, da je bila magnituda tega dogodka zelo majhna (0,7).

**16. marec 2001 ob 6. uri 29 minut UTC.** Ta potres je bil v letu 2001 najmočnejši v Sloveniji (slika 5). O močnem tresenju tal z intenziteto V EMS-98 so poročali opazovalci iz Olimja pri Podčetrtku in Rogaške Slatine. V teh krajih je potres povzročil tudi nekaj manjših poškodb. Čeprav je bilo žarišče potresa blizu državne meje s Hrvaško ni poročil o tem, da bi ga prebivalci Hrvaške tudi čutili. Podatke za Hrvaško nam je posredoval Ivica Sović iz Seizmološke službe Republike Hrvaške (SSRH) v Zagrebu.

**2. maj 2001 ob 12. uri 33 minut UTC.** Zmerno tresenje tal z intenziteto IV EMS-98 so najmočneje čutili v krajih Butajnova, Smrečje, Šentjošt nad Horjulom, Srednji Vrh, Rovte in Lučine. Tamkajšnji prebivalci so poročali o močnem, zelo kratkem sunku, ki je povzročil tudi nihanje (npr. vibracije balkona). Spremljal ga je močan kratek pok.

**22. maj 2001 ob 19. uri 14 minut UTC.** Tresenje tal z intenziteto IV-V EMS-98 so čutili prebivalci Kranjske Gore in Podkorena (slika 6). Ljudje so slišali šumenje, nekaj psov je zalajalo. V Mojstrani se je na nekem vrtu prevrnila roža. Potres so čutili tudi v Avstriji. Podatke nam je posredoval Edmund Fiegweil iz Centralnega zavoda za meteorologijo in geodinamiko (ZAMG) na Dunaju.

**4. junij 2001 ob 21. uri 28 minut UTC.** O tresenju tal z intenziteto V EMS-98 so poročali iz Dolenjih Ponikev (pri Trebnjem) in Mokronoga (slika 7). Ob potresu je močno počilo, občani so mislili, da je razneslo kotel pri centralnem ogrevanju. Nekateri so prestrašeni tekli na prosto.

**20. junij 2001 ob 0. uri 16 minut UTC.** Ta potres je bil šibek, zato so ga čutili le v petih naseljih, od tega najmočneje (IV EMS-98) v Nemški vasi, Bregu pri Kočevju in Dolenji vasi. Posamezniki so se prebudili iz spanja in čutili sunek, ki ga je spremljalo škripanje sten in postelj. V Hribu so slišali le bobnenje.

**22. junij 2001 ob 2. uri 48 minut UTC.** Zmerno tresenje tal z intenziteto IV EMS-98 so čutili prebivalci Lučin (pri Gorenji vasi) in Gor nad Idrijo.

**16. julij 2001 ob 16. uri 51 minut UTC.** Ta potres so najmočneje (IV-V EMS-98) čutili v Šempetru v Savinjski dolini in sicer kot enkratno močan udarec v tla, kot bi nekaj precej težkega padlo na tla (slika 8). Sunek je spremljal močan pok in zamolklo hrumenje. V Latkovi vasi so se vznemirili psi.

**17. julij 2001 ob 15. uri 6 minut UTC.** To je bil najmočnejši potres z žariščem zunaj Slovenije, ki so ga v letu 2001 čutili prebivalci Slovenije (slika 9). Žarišče potresa je bilo v severni Italiji v zg. Poadižju. Zahteval je nekaj smrtnih žrtev, večinoma med turisti in športniki, ki so se nahajali v naravi. Čutili so ga prebivalci zahodne in osrednje Slovenije, posamezniki tudi v višjih nadstropjih v Ljubljani. Najmočnejše učinke (III-IV EMS-98) je potres imel v Modreju, Kopru in Ilirski Bistrici.

**21. julij 2001 ob 22. uri 50 minut UTC.** Zmerno tresenje tal z intenziteto IV EMS-98 so čutili v Ročinju. Ponekod so prebivalci slišali zamolklo grmenje.

**27. julij 2001 ob 19. uri 23 minut UTC.** Potres je imel žarišče v zg. Posočju (slika 10). Najbolj so ga čutili v kraju Žaga, kjer je dosegel intenziteto IV-V EMS-98. Ljudje so zaznali tudi rahlo bobnenje.

**2. avgust 2001 ob 21. uri 2 minut UTC.** Zmerno tresenje tal z intenziteto IV EMS-98 so čutili prebivalci ljubljanskega predela Trnovo. Tam so ob potresu zaslišali tudi kratkotrajno bobnenje. Potres so šibko čutili tudi v drugih delih Ljubljane in v nekaterih okoliških krajih.

**30. september 2001 ob 7. uri 30 minut UTC.** Potres so z intenziteto IV EMS-98 čutili v krajih Kobarid, Kred, Breginj, Bovec, Vodenca, Lepena in Soča. Iz Kobarida so poročali, da

je na kratko zaškripalo, nekateri, ki so bili zunaj pa so slišali tudi zmerno hrumenje, podobno eksploziji.

**11. oktober 2001 ob 18. uri 33 minut UTC.** Tresenje tal z intenziteto III-IV EMS-98, ki ga je spremljalo bobnenje, so čutili le prebivalci Drče. Žarišče je bilo na Hrvaškem. Potres je v krajih Breznik Plešivički, Kupec Dol in Rude dosegel učinke IV EMS-98. Podatke za Hrvaško je posredoval Ivica Sović iz Seizmološke službe Republike Hrvaške (SSRH) v Zagrebu.

**17. oktober 2001 ob 5. uri 10 minut UTC.** Zmerno tresenje tal z intenziteto IV EMS-98 so čutili na Volarjih. Na Livku so slišali močno bobnenje v tleh in čutili srednje močno tresenje tal.

**8. november 2001 ob 20. uri 27 minut UTC.** Tla v Brodu (blizu Bohinjske Bistrice) in v Lepeni so se stresla z intenziteto IV EMS-98. Na Brodu so tresenje tal primerjali z vožnjo težkega traktorja mimo hiše. Prevrnila sta se tudi dva lesena prislonjena ploha. V Tolminu je bil potres komaj zaznaven, na Kamnem so slišali le rahel šum.

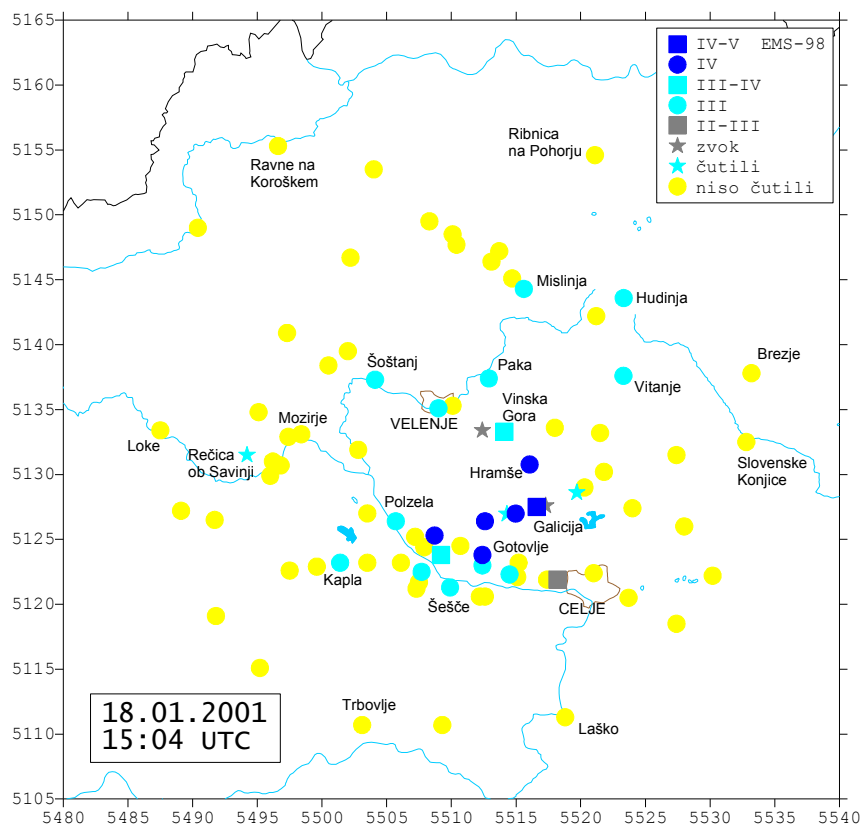
**15. november 2001 ob 9. uri 52 minut UTC.** Tresenje tal so čutili le v Podljubelju na slovenski strani ter v sedmih krajih na avstrijski strani meje, najmočneje pa v naseljih Waidich b. Ferlach in Zell Pfarre. Podatke za Avstrijo je posredoval Edmund Fiegweil iz Centralnega zavoda za meteorologijo in geodinamiko (ZAMG) na Dunaju.

**31. december 2001 ob 15. uri 30 minut UTC.** Ta potres je imel žarišče na Hrvaškem v bližini Senja. V Sloveniji so ga čutili posamezni prebivalci Sevnice.

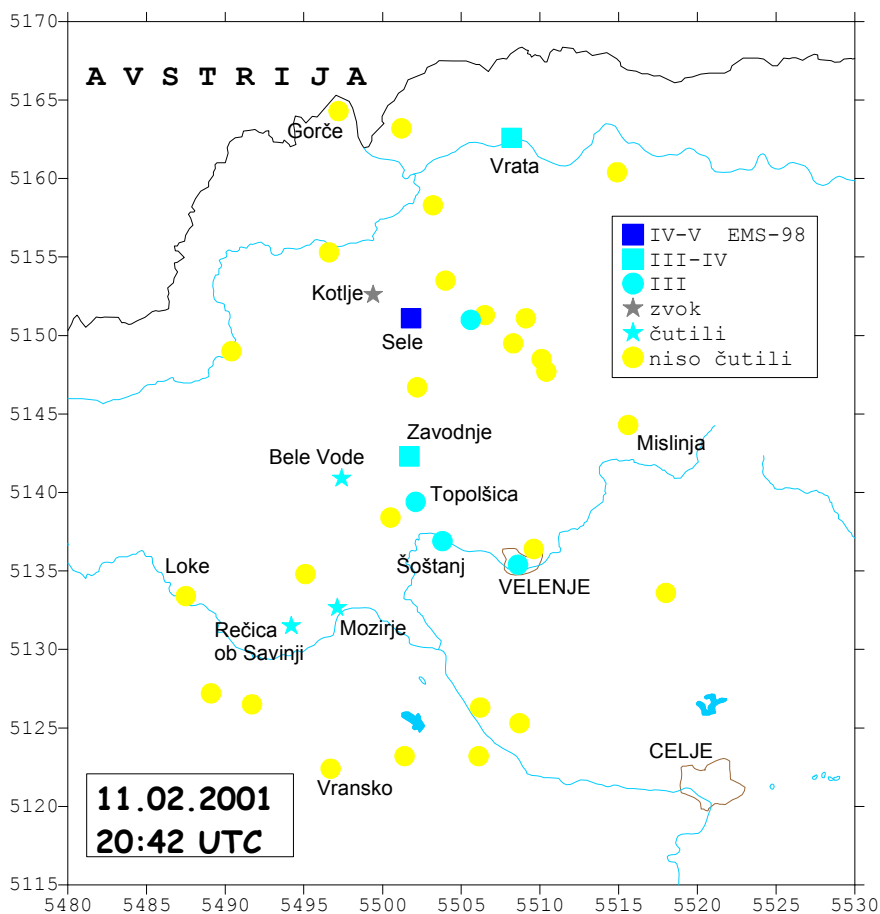
***Slike 3-10.** Na slikah 3-10 so prikazani učinki nekaterih potresov, ki so jih v letu 2001 čutili prebivalci Slovenije. Na nekaterih kartah, ki kažejo učinke na manjših območjih, je uporabljena Gauss-Krügerjeva mreža oz. kilometersko merilo, ki olajša ocenjevanje medsebojne oddaljenosti prikazanih krajev.*

***Figures 3-10.** The effects of some earthquakes that were felt by the inhabitants of Slovenia are given. For estimating the intensities for all earthquakes was used EMS-98.*

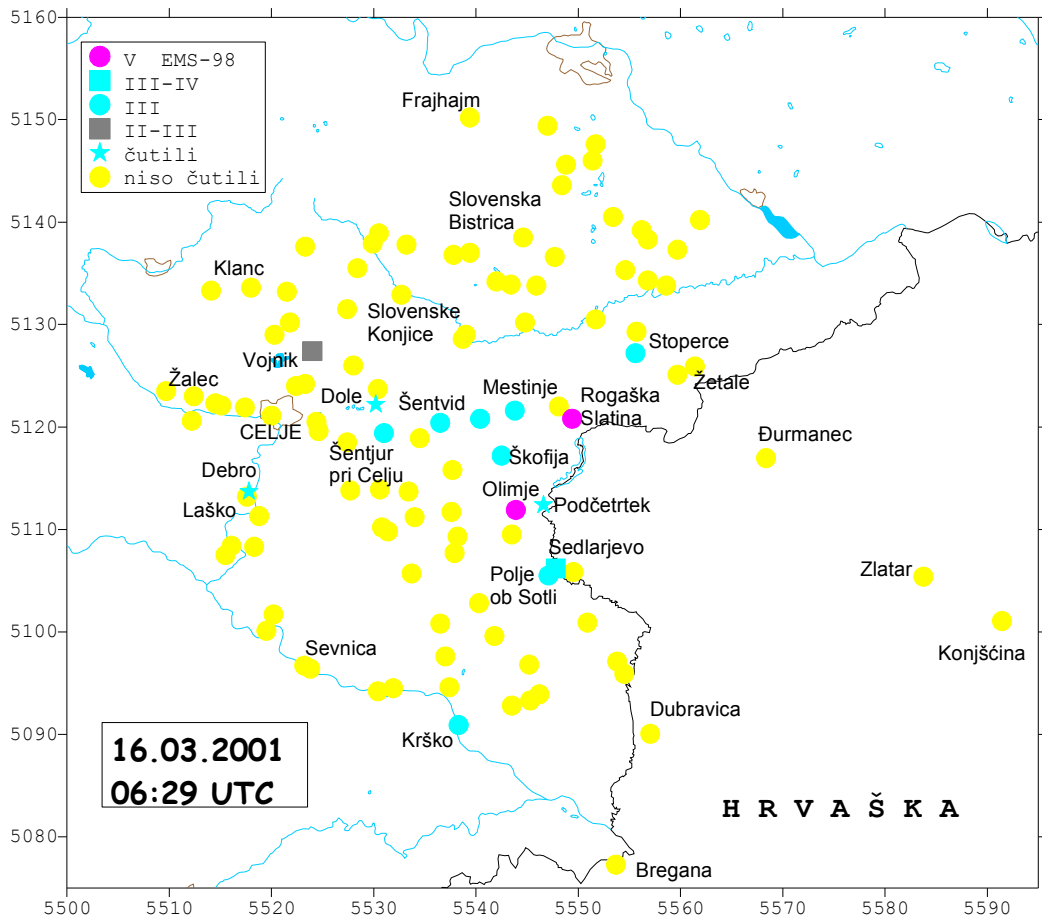
*Translation of map legends: bobnenje, zvok = sound; čutili = felt; niso čutili = not felt.*



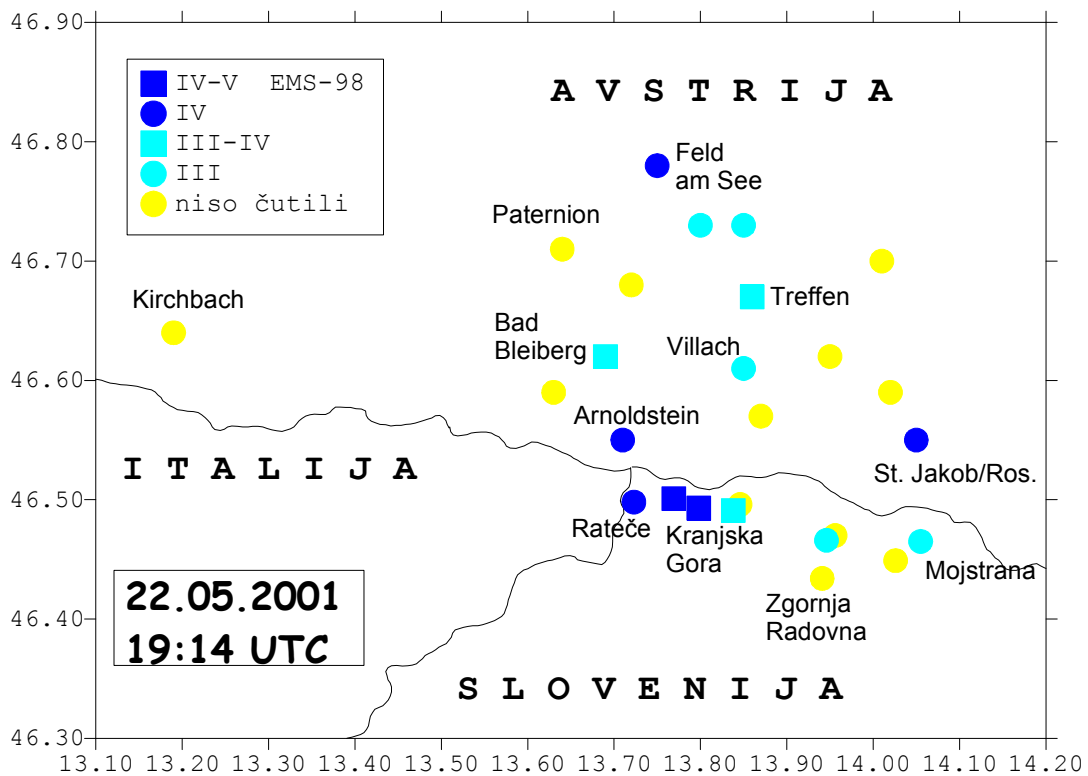
**Slika 3.** Intenzitete potresa 18. januarja 2001 ob 15. uri 4 minut po UTC v posameznih naseljih.  
**Figure 3.** Observed intensities of the earthquake on 18 January 2001 at 15.04 UTC.



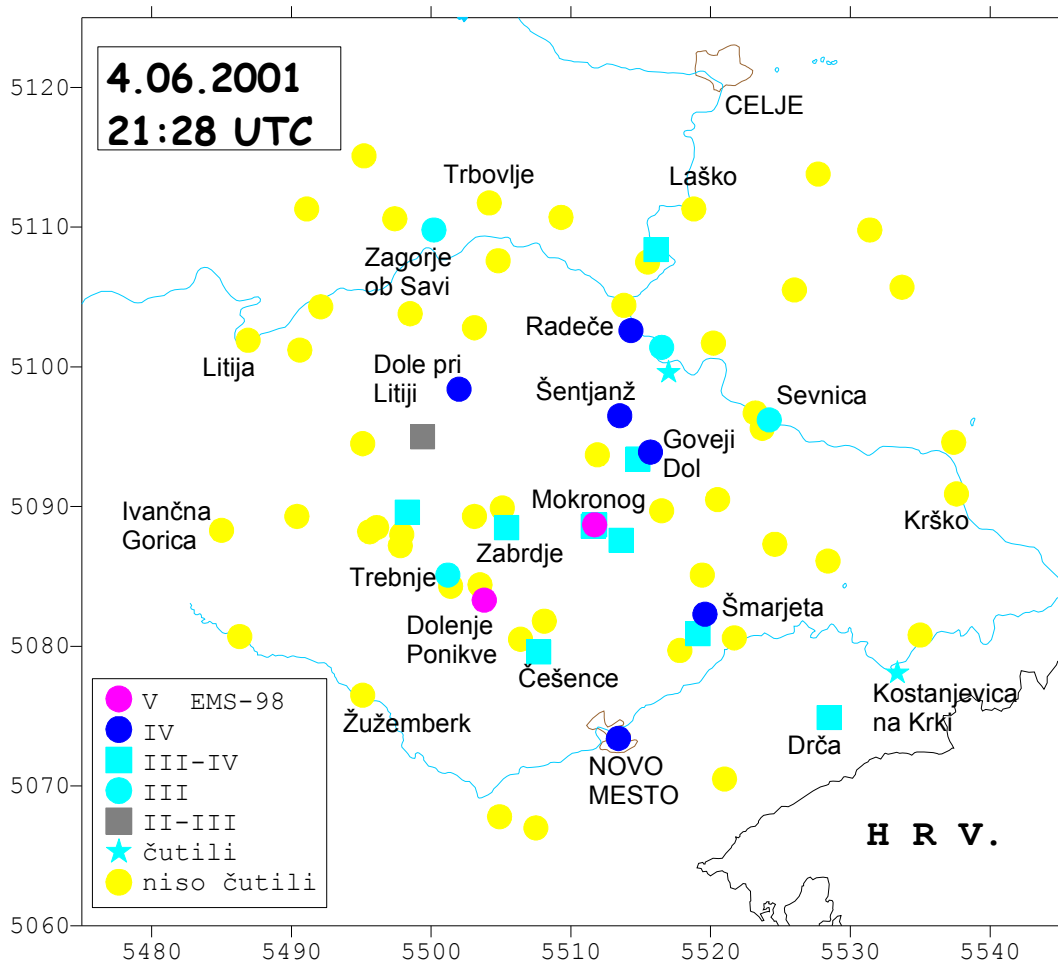
**Slika 4.** Intenzitete potresa 11. februarja 2001 ob 20. uri 42 minut po UTC v posameznih naseljih.  
**Figure 4.** Observed intensities of the earthquake on 11 February 2001 at 20.42 UTC.



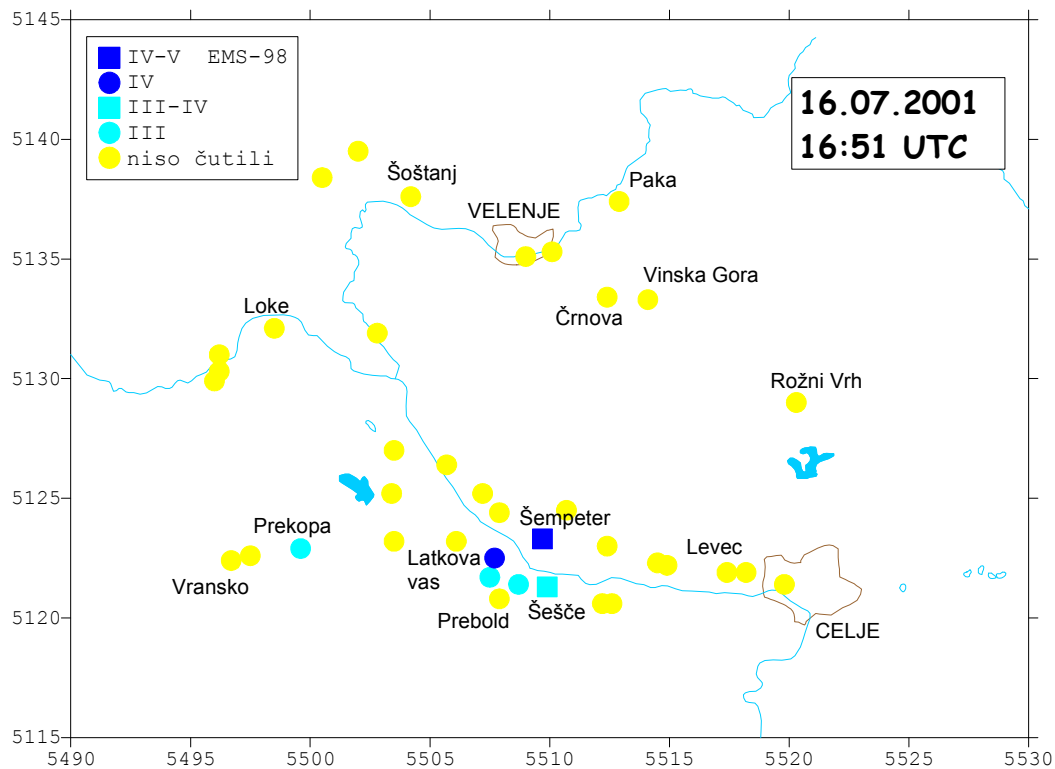
**Slika 5.** Intenzitete potresa 16. marca 2001 ob 6. uri 29 minut po UTC v posameznih naseljih.  
**Figure 5.** Observed intensities of the earthquake on 16 March 2001 at 06.29 UTC.



**Slika 6.** Intenzitete potresa 22. maja 2001 ob 19. uri 14 minut po UTC v posameznih naseljih.  
**Figure 6.** Observed intensities of the earthquake on 22 May 2001 at 19.14 UTC.

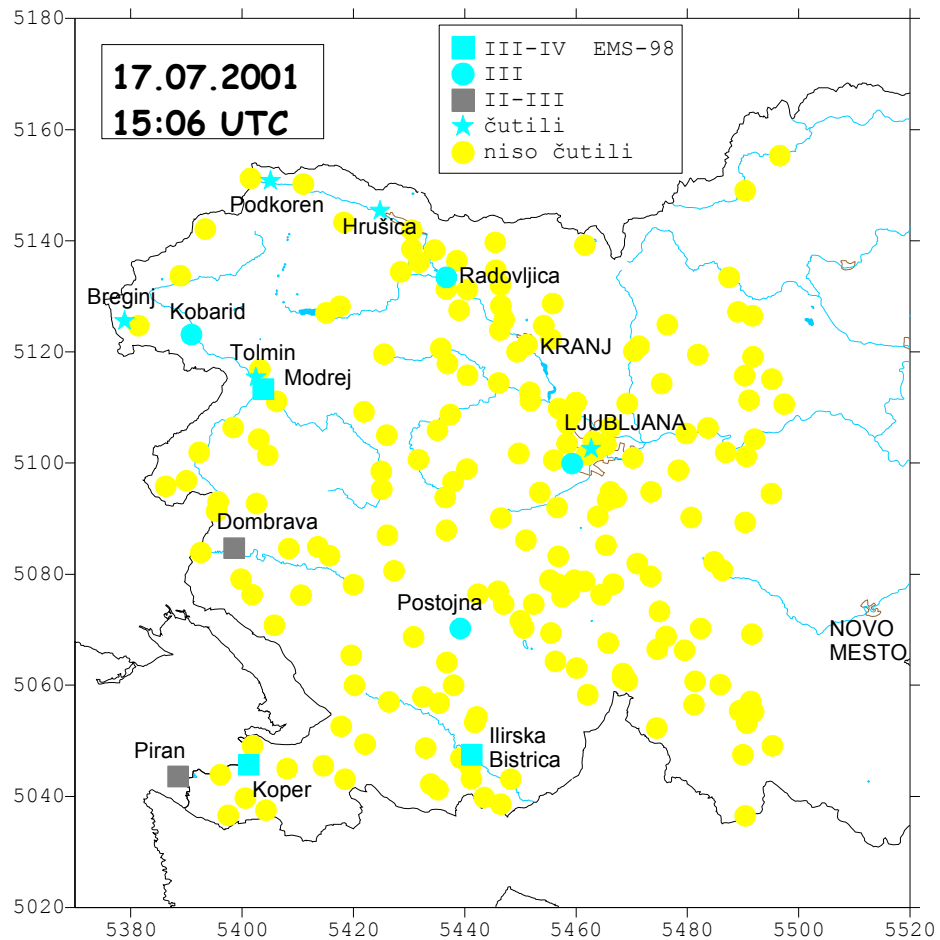


**Slika 7.** Intenzitete potresa 4. junija 2001 ob 21. uri 28 minut po UTC v posameznih naseljih.  
**Figure 7.** Observed intensities of the earthquake on 4 June 2001 at 21.28 UTC.

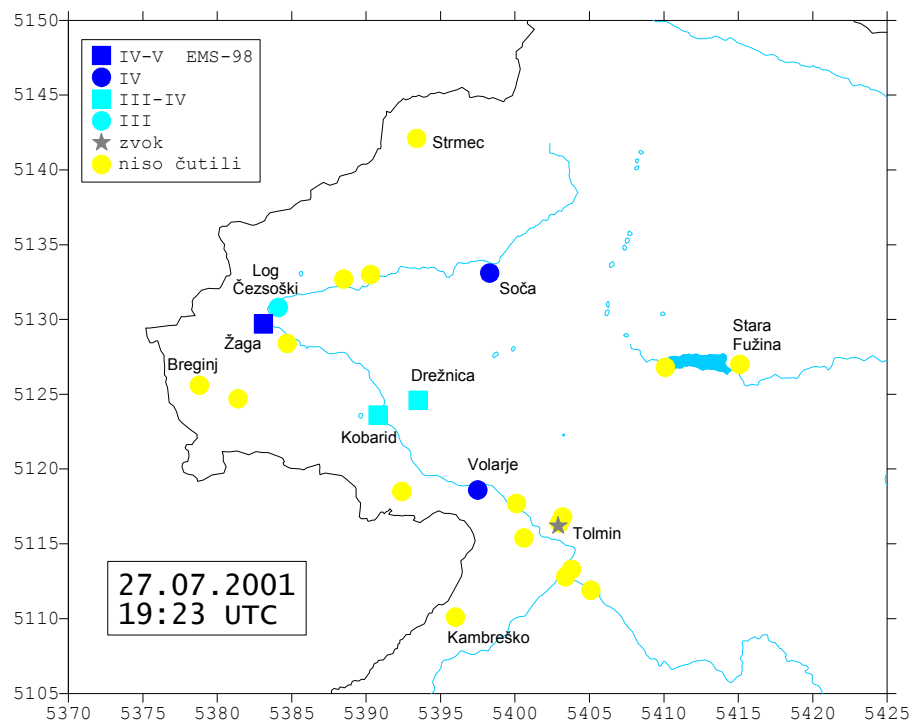


**Slika 8.** Intenzitete potresa 16. julija 2001 ob 16. uri 51 minut po UTC v posameznih naseljih.  
**Figure 8.** Observed intensities of the earthquake on 16 July 2001 at 16.51 UTC.

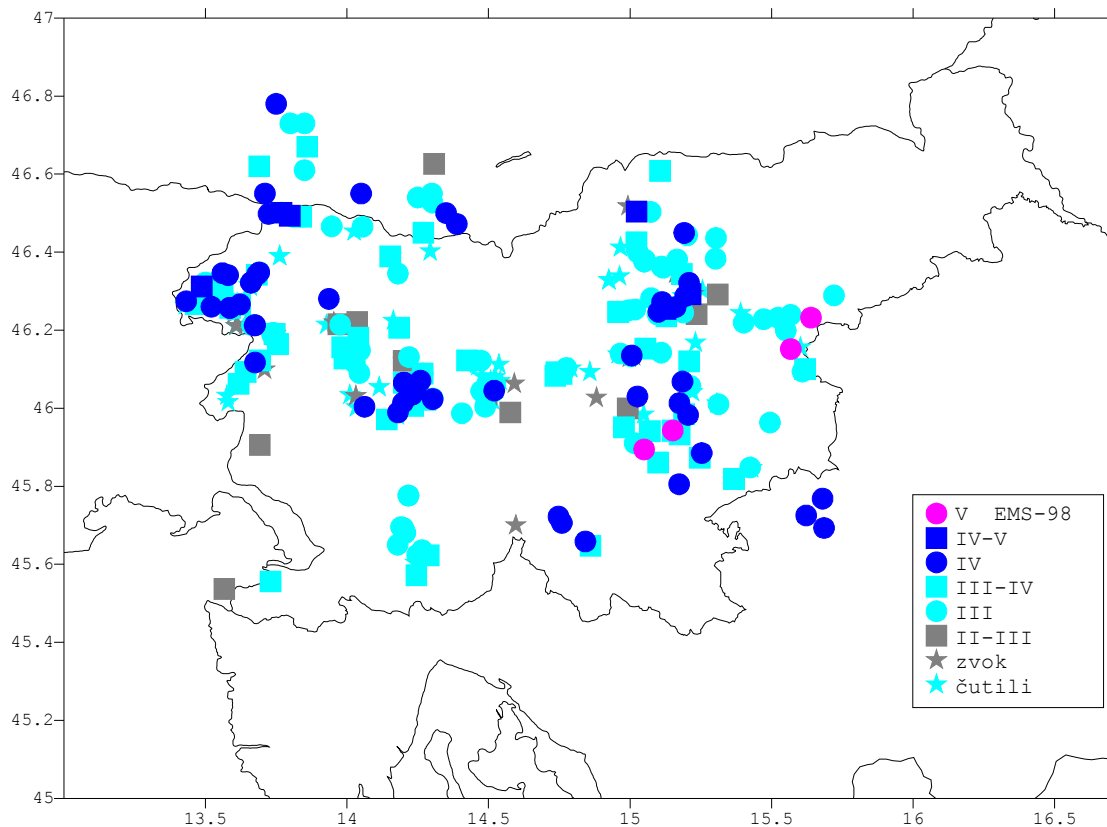




**Slika 9.** Intenzitete potresa 17. julija 2001 ob 15. uri 06 minut po UTC v posameznih naseljih.  
**Figure 9.** Observed intensities of the earthquake on 17 July 2001 at 15.06 UTC.



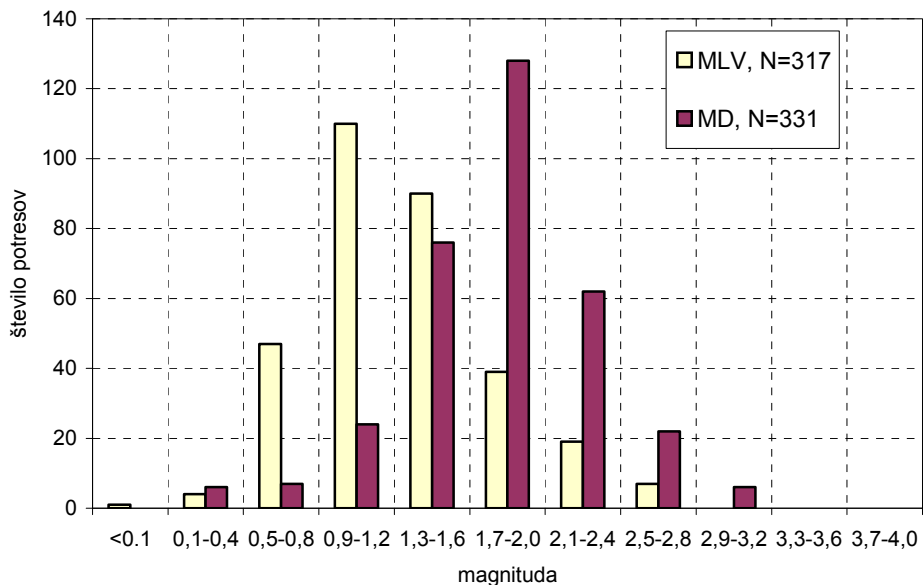
**Slika 10.** Intenzitete potresa 27. julija 2001 ob 19. uri 23 minut po UTC v posameznih naseljih.  
**Figure 10.** Observed intensities of the earthquake on 27 July 2001 at 19.23 UTC.



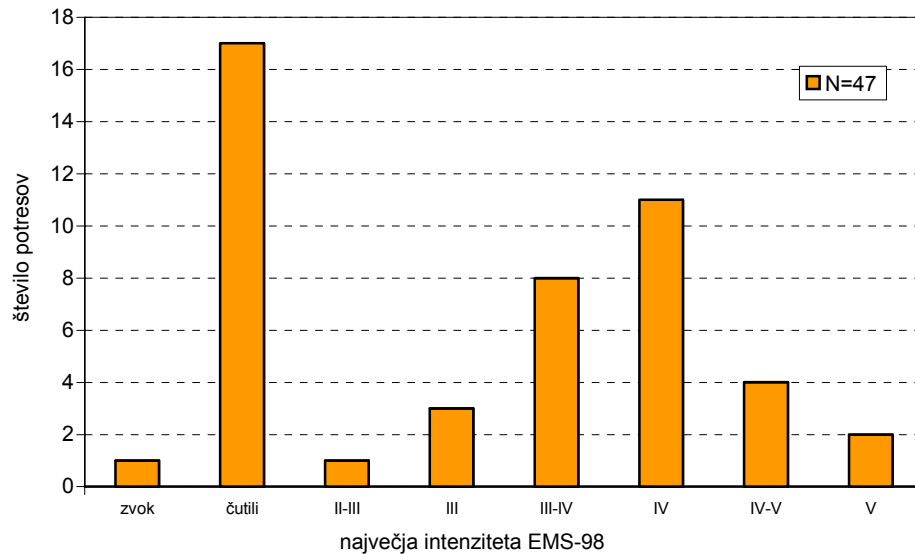
**Slika 11.** Intenzitete vseh potresov, ki so jih prebivalci Slovenije čutili v letu 2001.  
**Figure 11.** Intensities of all earthquakes felt in Slovenia in 2001.

### Sklep

Potresna aktivnost v Sloveniji v letu 2001 ni bila povečana. Histogram na sliki 12 kaže porazdelitev lokalnih magnitud ( $M_{LV}$ ), ki smo jih opredelili za 428 potresov. Največ potresov je imelo magnitudo med 0,9 in 1,2.



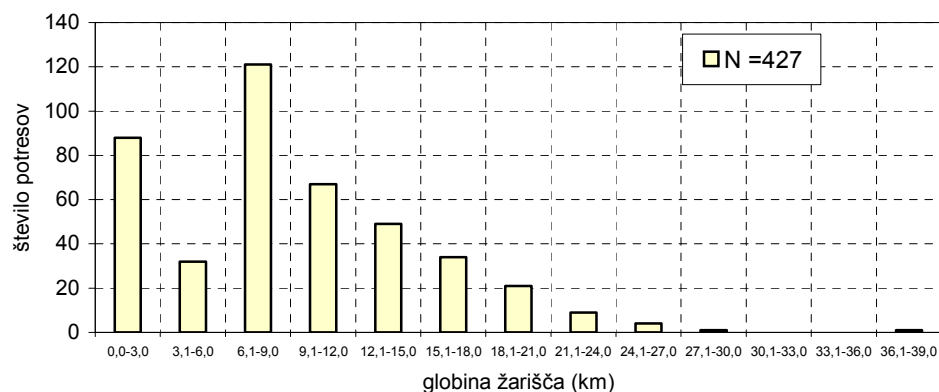
**Slika 12.** Porazdelitev potresov glede na magnitudi  $M_{LV}$  in  $M_D$ .  
**Figure 12.** Distribution of earthquakes with respect to local magnitude.



**Slika 13.** Porazdelitev potresov glede na največjo intenziteto EMS-98 v Sloveniji.  
**Figure 13.** Distribution of earthquakes with respect to maximum EMS-98 intensity in Slovenia.

Med potresi, za katere smo razposlali makroseizmične vprašalnike ali opravili terenske raziskave, je 11 potresov doseglo največjo intenziteto IV EMS-98, 4 potresi so dosegli intenziteto IV-V EMS-98 in 2 potresa intenziteto V EMS-98. Ostali potresi (31) so imeli največjo intenziteto nižjo od IV EMS-98 ali pa so jih ljudje le čutili in stopnje ni bilo mogoče opredeliti (slika 2 in 13). Prebivalci so skupno zaznali 48 potresov.

Porazdelitev potresov glede na globino žarišča (sl. 14) kaže, da je imela večina 428-ih lociranih lokalnih potresov žarišča do globine 18 km. Največ (121) potresov je bilo med 6,1 in 9,0 km in med 0 in 3,0 km (89 potresov). Za 15 potresov smo opredelili žariščno globino večjo od 18 km.



**Slika 14.** Porazdelitev potresov glede na globino žarišča (v kilometrih).  
**Figure 14.** Distribution of earthquakes with respect to focal depth (in km).

Makroseizmični podatki o potresih bi bili zelo pomanjkljivi ali celo popolnoma nedostopni, če nam pri tem delu ne bi pomagali številni prostovoljni opazovalci. Leta 2001 je z nami aktivno sodelovalo več kot 4600 ljudi, za kar se jim najlepše zahvaljujemo. Za potrese v letu 2001 smo poslali 3142 vprašalnikov.

Tudi v letu 2001 smo pri zbiranju in izmenjavi podatkov uspešno sodelovali s seizmologi iz sosednjih držav. Za poslane makroseizmične podatke pa se posebej zahvaljujemo Edmundu Fiegweilu iz Centralnega zavoda za meteorologijo in geodinamiko (ZAMG) na Dunaju in Ivici Soviću iz Seizmološke službe Republike Hrvaške (SSRH) v Zagrebu.

## Literatura

- Grünthal, G. (ur.), 1998a. European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98). Conseil de l'Europe, Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, Volume 15, Luxembourg, 99 pp.
- Grünthal, G. (ur.), 1998b. European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98).
- [http://www.gfz-potsdam.de/pb1/pg2/ems\\_new/INDEX.HTM](http://www.gfz-potsdam.de/pb1/pg2/ems_new/INDEX.HTM)
- Lienert, B.R., Berg, E. in Frazer, L.N., 1988, HYPOCENTER. An earthquake location method using centered, scaled, and adaptively least squares. Bull. Seism. Soc. Am., **76**, 771-783.
- Lienert, B.R., 1994, HYPOCENTER 3.2 - A Computer Program for Locating Earthquakes Locally, Regionally and Globally, Hawaii Institute of Geophysics & Planetology, Honolulu, 70 pp.
- Michelini, A., Živčić, M. in Suhadolc, P. (1998). Simultaneous inversion for velocity structure and hypocenters in Slovenia, Journal of Seismology, **2**(3), 257-265.
- Rebez, A. in Renner, G., 1991. Duration magnitude for the northeastern Italy seismometric network, Boll. Geof. Teor. Appl., Vol. XXXIII, N. 130-131, 177-186.
- RGU (Republiška geodetska uprava), 1995. Centroidi naselij (geografske koordinate), računalniški seznam.
- Uprava RS za geofiziko / Agencija RS za okolje, 2001-2002. Preliminarni tedenski seizmološki bilteni za 2001. Arhiv ARSO, Ljubljana.
- Živčić, M., Bondár, I. and Panza, G.F., 2000. Upper Crustal Velocity Structure in Slovenia from Rayleigh Wave Dispersion. Pure appl. geoph., Vol. 157, 131-146.

# OMREŽJE POTRESNIH OPAZOVALNIC OKOLI NEK SEISMIC NETWORK AROUND KRŠKO NPP

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

***Izvleček.** V različnih programih raziskav, potrebnih za oceno potresne nevarnosti na lokaciji Jedrske elektrarne Krško (NEK), ki so bili izdelani v zadnjih desetih letih, je bilo večkrat ugotovljeno, da je potrebno izboljšati opazovanje potresne aktivnosti na širšem območju Krške kotline z lokalno mrežo potresnih opazovalnic. Za opazovanje seizmičnosti v Krški kotlini, smo glede števila potresnih opazovalnic proučili različne možnosti ter se odločili za mrežo štirih opazovalnic. Analize so pokazale, da bo osrednje območje Krške kotline dovolj dobro »pokrito« z dvema opazovalnicama južno od kotline na območju Gorjancev (Gornji Cirknik, Črešnjevce) in dvema opazovalnicama severno od nje, na območju Krškega hribovja in Orlice (Legarje, Goliše). Seizmične podatke štirih potresnih opazovalnic v Krški kotlini bo obdeloval Urad za seizmologijo Agencije RS za okolje. Da bi bili postopki obdelave seizmičnih zapisov učinkoviti, podatki medsebojno primerljivi in vzdrževanje opreme enotno, je oprema, ki je namenjena natančnem opazovanju seizmičnosti Krške kotline, usklajena z opremo državne mreže potresnih opazovalnic. Na dveh opazovalnicah je senzor nameščen v vrtini. Opazovalnice so vključene v državno računalniško omrežje HKOM, po katerem se podatki neprekinjeno prenašajo v središče za zajem in obdelavo podatkov v Ljubljani.*

***Abstract.** With the intention to improve seismic activity monitoring of the Krško basin where the nuclear power plant is placed, new local seismic network was set up. Geological and geophysical research in the past ten years has provided quite good presentation of the surface and deep geological and tectonic structure of the Krško basin. Since every assessment of seismic hazard is based on seismotectonic models linking tectonic faults with earthquake hypocentres, the final conclusion of the research results was the necessity for more precise monitoring of seismicity in the Krško basin. The network consists of 4 seismic stations, 2 of them are located to the north of the basin and the other 2 to the south of the basin. Geological conditions required use of borehole sensors at stations LEGS and GOLS. The 2 CMG 40T borehole sensors were installed in 18 m deep boreholes. CMG 40T vault sensors were used at CRES and GCIS stations. Typical station consists of seismic shaft with sensor and data acquisition system and service shaft with communication equipment and power supply. As data acquisition system Quanterra Q730 data logger is used, based on an oversampled delta-sigma digitizer, and has the resolution and dynamic range of 140 dB. Q 730 is equipped with a GPS receiver for accurate timing of the sampling process. Different sample rate streams are derived from the oversampled output of the digitizers by digital filtering and downsampling. The systems are recording continuous time-series sampled at 200 sps, 20 sps and 1sps. The data-loggers are connected to the government wide area network dedicated telephone lines to transmit data in real-time. The communication between the Environmental Agency and seismic stations is managed and controlled by Antelope software package that runs on the Unix based system, and is configured to communicate with the data-loggers over TCP/IP.*

## **Uvod**

V različnih programih raziskav, potrebnih za oceno potresne nevarnosti na lokaciji Jedrske elektrarne Krško (NEK), ki so bili izdelani v zadnjih desetih letih, je bilo večkrat ugotovljeno, da je potrebno izboljšati opazovanje potresne aktivnosti na širšem območju Krške kotline z lokalno mrežo potresnih opazovalnic. Projekt za izgradnjo lokalne mreže je bil izdelan že leta 1991 (Trnkoczy in sod., 1991), ki pa ni bil realiziran zaradi pomanjkanja sredstev. Po letu 1993 so na območju Krške kotline potekale obširne geološke in predvsem geofizikalne

raziskave, sprva v okviru domačega projekta, ki so ga financirali MZT, MOP-URSV in MGD (1994-1996), kasneje pa v okviru mednarodnega projekta, ki ga je financirala EU s programom PHARE (1998-2000). S temi raziskavami sta bili dokaj dobro pojasnjeni površinska in globinska geološka in strukturno-tektonska zgradba Krške kotline. Ker pa temelji vsako ocenjevanje potresne nevarnosti na t.i. seizmotektonskih modelih, ki povezujejo tektonske pojave (prelome) z žarišči potresov, je bila v zaključnem poročilu projekta PHARE ponovno jasno izpostavljena potreba po natančnejšem opazovanju seizmičnosti Krške kotline z modernimi potresnimi opazovalnicami, nameščenimi v njeni neposredni bližini. Predlagano je bilo predvsem opazovanje dveh prelomov, ugotovljenih z geofizikalnimi raziskavami, in sicer Artiškega preloma in domnevnega Orliškega preloma. Slovenija je priporočila iz zaključkov projekta PHARE sprejela kot obvezo, ki se izpolni v najkrajšem možnem času.

V času od decembra 2000 do marca 2001 je bilo več sestankov, na katerih so sodelovali predstavniki Ministrstva za okolje, prostor in energijo, takratne Uprave RS za geofiziko (sedaj Urada za seizmologijo pri Agenciji RS za okolje), Uprave RS za jedrsko varnost, Nuklearne elektrarne Krško in Ministrstva za gospodarstvo. Obravnavali so problematiko opazovanja seizmičnosti v Krški kotlini. Glede na že dobavljeno opremo za prenovo državne mreže potresnih opazovalnic, se je izkristaliziralo mnenje, da je smiselno začasno uporabiti del te opreme za postavitev štirih opazovalnic okoli Krškega.

### **Število in položaj potresnih opazovalnic (geometrija mreže)**

Značilnosti mreže potresnih opazovalnic opisujeta dva glavna parametra in sicer natančnost lociranja žarišč oz. nadžarišč potresov in občutljivost mreže za zaznavanje šibkih potresov. Natančnost lociranja žarišč potresov je neposredno odvisna od števila in oddaljenosti potresnih opazovalnic. Za določitev nadžarišča (epicenter) potresa so tako potrebne najmanj tri opazovalnice, če pa želimo določiti še žariščno globino pa potrebujemo najmanj štiri opazovalnice. Občutljivost mreže opazovalnic je odvisna od lastnosti seizmološke opreme, od seizmičnega nemira in geoloških pogojev na lokaciji opazovanja ter od oddaljenosti potresov. Pri natančnem opazovanju, kot se zahteva v Krški kotlini, je za seizmotektonske analize potrebno zaznati in locirati tudi zelo šibke potrese, ki sicer ne povzročajo škode, vendar veliko povedo o seizmičnih značilnostih opazovanih prelomov.

Za opazovanje seizmičnosti v Krški kotlini, smo glede števila potresnih opazovalnic proučili različne možnosti, ki so obsegale od dveh do šestih opazovalnic. Glede na zahtevano občutljivost in natančnost ter glede na geološke pogoje je nujno imeti vsaj šest opazovalnic. Ob upoštevanju izvedbenih pogojev, razpoložljive opreme in možnosti zagotovitve sredstev za izgradnjo, smo se v tej fazi odločili za mrežo štirih opazovalnic. Pri tej odločitvi so bili ključni geološki pogoji in položaj obstoječih opazovalnic. Večji del Krške kotline namreč prekrivajo kvartarni, nevezani sedimenti, ki so za postavitev potresnih opazovalnic izrazito neprimerni. Ustrezne lokacije smo zato morali iskati na njenem obrobju, ki je zgrajeno iz mezozojskih apnencev in dolomitov z ustrežnejšimi mehanskimi lastnostmi. Različne analize so pokazale, da bo osrednje območje Krške kotline dovolj dobro »pokrito« z dvema opazovalnicama južno od kotline na območju Gorjancev in dvema opazovalnicama severno od nje na območju Krškega hribovja in Orlice (slika 1). Ker je Krška kotlina izrazito razpotegnjena v smeri zahod-vzhod oz. jugozahod-severovzhod, na območju zahodno in vzhodno od ožjega območja zelenega opazovanja ni ustreznih kamnin za namestitev potresnih opazovalnic.

Da bi zmanjšali stroške raziskav, potrebnih za izbor lokacij, smo ponovno ovrednotili nekatere lokacije, ki so bile obravnavane že v projektu iz leta 1991 in jih le dopolnili z manjkajočimi raziskavami. Po proučitvi dokumentacije in terenskem ogledu smo ugotovili, da je iz tega projekta primernih več lokacij na območju Gorjancev, na območju Krškega hribovja so bile potrebne dodatne raziskave, na območju Orlice pa smo morali iskati nove lokacije. V nadaljevanju obravnavamo geološke in seizmološke pogoje le na štirih izbranih lokacijah.

### **Geološki pogoji na izbranih lokacijah**

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

Analiza seizmogeoloških pogojev je obsegala analizo osnovnih in tematskih geoloških kart (npr. inženirskogeološke in tektonske). Kamnine smo glede na njihove seizmogeološke lastnosti razvrstili v štiri razrede, in sicer v: ugodna tla, srednje ugodna tla, manj ugodna tla in slaba tla. V ožji izbor so prišle le lokacije, ki so ležale na ugodnih in srednje ugodnih tleh (magnetske in metamorfne kamnine, apnenici, dolomiti in konsolidirane klastične kamnine (peščenjak, skrilavec). Debelino preperine smo ocenili s pomočjo geološkega opisa kamnine in s pomočjo pregledne pedološke karte Slovenije. Zaželeno so večje (manj tektonizirane) in enostavnejše avtohtone geološke enote, vendar tega nismo mogli povsod upoštevati zaradi ohranjanja približno enakomerne gostote opazovalnic.

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

V nadaljevanju podajamo kratek geološki opis štirih izbranih lokacij.

#### **1. Legarje (Krško hribovje)**

X = 5089 420

Y = 5525 080

Z = 390

Izbrana lokacija se nahaja v plasteh svetlo sivega dolomita z vključki apnenca srednjetrojne starosti ( $T^1_2$ ). Debelino skladov anizične stopnje ocenjujejo na 200 m. Dolomit je delno skladovit, večinoma masiven, ponekod tudi brečast. Leži konkordantno na skladih skitske stopnje. 50 m severno poteka fotogeološko opazovan prelom s strmim vpadom v smeri V-Z.

#### **2. Goliše (Orlica)**

X = 5096 660

Y = 5548 725

Z = 570

Lokacija leži v plasteh norijske in retijske stopnje ( $T^{2+3}_3$ ), ki so razvite v treh litoloških faciesih, in sicer kot plastovit dolomit z rožencem (debelina 40-70 m), masiven dolomit (debelina okrog 700 m) in kot dachsteinski apnenec (30-60 m). Ploščat dolomit z rožencem nastopa v 10 do 20 cm debelih plasteh z vključki temnosivega do črnega roženca. Starost teh plasti je ocenjena na podlagi litološkega razvoja in podobne klasifikacije na sosednjih terenih. Masiven zrnat dolomit je sive, svetlo sive, ponekod tudi bele barve, srednje ali debelozrnate strukture. Ponekod je tudi skladovit. Kontakti tega dolomita s starejšimi kamninami so večinoma tektonski. Plastovit dachsteinski apnenec je sive, svetlo sive do skoraj bele barve. Poznamo ga kot skladovit in debeloskladovit apnenec, ki ponekod lateralno in vertikalno prehaja v zrnat in masiven dolomit. Prisotnost mikrofosilov v naštetih kamninah nam dokazuje zgornjetriasno starost. 250 m zahodno poteka pokrit prelom v smeri JZ-SV, 100 m vzhodno pa pokrit prelom v smeri SZ-JV

### 3. Črešnjevce pri Oštrcu (Gorjanci)

X = 5075 705

Y = 5535 825

Z = 415

Lokacija leži v triasnih plasteh (srednji in zgornji trias -  $T_{2+3}$ ) blizu meje z jurskimi kamninami (spodnja in srednja jura -  $J_{1+2}$ ), ki jih gradita svetlo siv plastovit apnenec in plastovit dolomit z vložki apnenca. Zgornjetriasnih in srednetriasnih dolomitov med seboj ne moremo ločiti. Zgornjetriasni dolomit je zrnat in pasast, vsebuje tudi fosile. Na njem ležijo konkordantno jurski sedimenti. Navzdol prehaja zgornjetriasni dolomit v dolomit, podoben cordevolskemu z nejasnimi ostanki diplopor, nato sledi plast dolomita z lečami tufa, ki lateralno prehaja v siv, plastovit dolomit. 100 m južno poteka fotogeološko opazovan prelom v smeri V-Z, 450 m, vzhodno pokrit prelom v smeri SZ-JV, 500 m severno pa fotogeološko opazovan prelom v smeri SZ-JV.

### 4. Gornji Cirknik (Gorjanci)

X = 5080 425

Y = 5549.035

Z = 405

Lokacija se nahaja v plasteh svetlosivega do temnosivega apnenega dolomita z vključki temnosivih do črnih skrilavcev zgornjetriasne starosti ( $T_3$ ). Debelina zgornjetriasnih dolomitov je ocenjena na okoli 700 m. Najmlajši del zgornjetriasnih plasti je sestavljen iz naslednjih izmenjajočih se kamnin: dolomita, sivega apnenca in dolomitiziranega apnenca. Tu so ugotovili tudi prisotnost fosilov. 250 m vzhodno od lokacije poteka domneven prelom v smeri SZ-JV, 400 m zahodno pa domneven prelom v smeri JZ-SV.

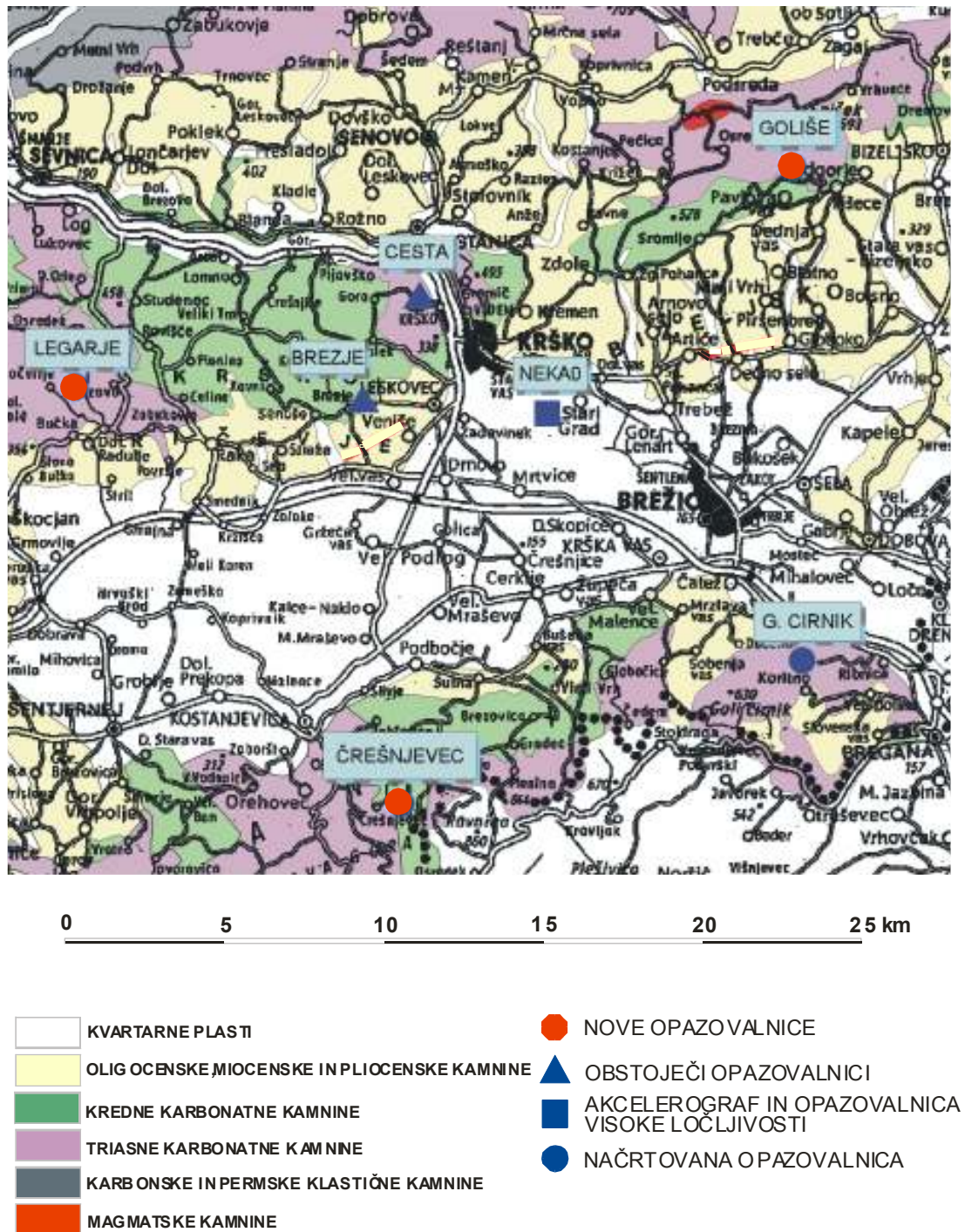
### Geofizikalne raziskave lokacij z refrakcijsko seizmiko

Cilj raziskav z refrakcijsko seizmično metodo je bil določitev debeline preperine in hitrosti seizmičnih valov v osnovni kamnini. Iz tega lahko sklepamo o kakovosti osnovne kamnine in načrtujemo globino izkopa. Če je bila debelina preperine večja od 5 metrov, smo se odločili za postavitev senzorjev v vrtino ali za novo lokacijo. Na obeh lokacijah na Gorjancih (Črešnjevce in G. Cirknik) je refrakcijske seizmične meritve opravil Geoexpert (Zagreb) leta



1990 (Jagatić, 1990). Za lokaciji Legarje in Goliše smo sklenili pogodbo z Geoinženiringom d.o.o., ki je meritve opravil v začetku aprila 2001 (Stopar, 2001).

Na vsaki lokaciji sta bila izmerjena dva profila dolžine okoli 100 m v pravokotnih smereh, in sicer na obeh lokacijah na Gorjancih samo z longitudinalnimi (P) valovi na Legarjah in Golišah pa ločeno s (P) in transverzalnimi (S) valovi. V nadaljevanju na kratko podajamo glavne rezultate refrakcijskih seizmičnih raziskav po posameznih lokacijah.



*Slika 1. Poenostavljena geološka karta Krške kotline z vrisanimi obstoječimi in novimi potresnimi opazovalnicami ter z lokacijo načrtovane opazovalnice.*  
**Figure 1.** Simplified geological map of the Krško Basin with the existing and new seismic monitoring stations. The location for the planned monitoring station is drawn in.

### **1. Legarje (Krško hribovje)**

Na lokaciji Legarje so ugotovili triplastni sistem. Prvo, vrhnjo plast debeline okoli 2 m predstavljata humus in preperina, v kateri je hitrost P-valov okoli 410 m/s, hitrost S-valov pa 160 m/s. Druga plast je debela povprečno kar okoli 12 m in jo gradi preperel, razpokan ali tektonsko porušen dolomit s P-hitrostjo okoli 930 m/s in S-hitrostjo 510 m/s. Globina do kompaktnejše srednjetriasne dolomitne podlage je tako kar okoli 14 m, kar je več od pričakovanega, tudi glede na lego na vrhu vzpetine, kjer je debelina preperine navadno manjša. P-hitrost v podlagi je okoli 2050 m/s, S-hitrost pa okoli 1140 m/s. Na podlagi ugotovljenih razmer, smo se na lokaciji Legarje odločili za izvedbo potresne opazovalnice z namestitvijo seizmometra v do 18 m globoko vrtino.

### **2. Goliše (Orlica)**

Na lokaciji Goliše so prav tako ugotovili triplastni sistem. Vrhnja plast humusa in preperine je debela okoli 2 m. Hitrost P-valov je 340 m/s in S-valov 140 m/s. Pod njo je povprečno 7,4 m debela plast preperelega in razpokanega dolomita s P-hitrostjo okoli 1010 m/s in S-hitrostjo 520 m/s. Globina do kompaktnejšega zgornjetriasnega dolomita je tako povprečno 9,5 m. Hitrost P-valov v dolomitni podlagi je okoli 2010 m/s, S-valov pa okoli 890 m/s. Tudi na tej lokaciji večja globina do kompaktne kamninske podlage ne omogoča izvedbe opazovalnice s seizmometrom v jašku, temveč smo se morali odločiti za vrtinsko izvedbo.

### **3. Črešnjevce pri Oštrcu (Gorjanci)**

Na lokaciji Črešnjevce so v enem profilu ugotovili dvo- v drugem pa triplastni sistem. Debelina površinske nizkohitrostne plasti je 2-3 m, hitrost P-valov pa med 310 in 730 m/s. Po triplastni varianti je pod njo plast dolomita debeline do 5 m s P-hitrostjo do 1200 m/s, po dvoplastni varianti pa je pod površinsko plastjo preperine že kompaktnejši dolomit srednje ali zgornjetriasne starosti s hitrostjo P-valov med 2150 in 2300 m/s. Globina do kompaktne podlage je po obeh variantah interpretacije refrakcijskih podatkov med 2 in 8 m. Ocenjujemo, da to omogoča izvedbo opazovalnice s seizmometrom v jašku.

### **4. Gornji Cirknik (Gorjanci)**

Na lokaciji Gornji Cirknik so ugotovili dvoplastni sistem. Debelina površinske plasti humusa in preperine je med 3 in 6 m, hitrost P-valov pa med 480 in 600 m/s. Pod njo je zelo kompakten zgornjetriasni dolomit s hitrostjo P-valov med 3700 in 4000 m/s. Meritve kažejo na ugodne pogoje za izgradnjo potresne opazovalnice z namestitvijo seizmometra v jašek.

### **Analiza seizmičnega nemira**

Občutljivost potresne opazovalnice je pogojena z nivojem seizmičnega šuma v frekvenčnem območju, v katerem pričakujemo seizmični signal. Pri širokopasovnih regionalnih opazovalnicah je to praviloma med 0,01 Hz in 50 Hz, pri posebnih lokalnih raziskavah lahko tudi več kot 200 Hz. Za popoln izkoristek inštrumentov je idealno, če je šum vseh komponent (naravnega okolja, seizmometra in ojačevalca/digitalizatorja) enak.

Nivo seizmičnega šuma ugotavljamo z meritvami. Ker je te možno izvesti le v omejenem času, je zelo verjetno, da z meritvami niso zajeti vsi možni viri. Zaradi tega je nujno upoštevati tudi vse znane vire motenj (posebej dalj časa trajajoče, kot so npr. industrijske žage

in bati, črpalke, promet ...), ki lahko zmanjšajo občutljivost opazovalnice. Redki kratkotrajni viri motenj (npr. razstreljevanja v kamnolomih, prehod vlaka na manj prometni železnici ...) se lahko izločijo z naknadno obdelavo posnetkov in ne vplivajo bistveno na lastnosti opazovalnice. Praviloma je seizmični šum večji, če sta vir šuma in opazovalnica na enaki podlagi (na isti geološki enoti).

Za podrobno ugotavljanje seizmičnega šuma v neki točki bi potrebovali dolgotrajne meritve, s katerimi bi pridobili podatke, potrebne za oceno šuma v različnih obdobjih dneva in leta ter v različnih vremenskih pogojih. Za tako obsežne meritve nismo imeli dovolj časa. Na lokacijah Legarje, Matko, Gornji Cirknik, Ponikve in Črešnjevce pri Oštrcu, ki so prišle v ožji izbor, so bile meritve nemira z analogno in potem še z digitalno opremo prvič že narejene v okviru projekta, izdelanega v letih 1990/1991. Kljub temu smo meritve na vseh lokacijah ponovili, na novoizbranih lokacijah Goliše in Vrhovnice (Orlica), pa smo meritve izvedli prvič.

Vse meritve smo izvedli na delovni dan med 9. in 16. uro, in sicer v devetih zaporednih 80-sekundnih posnetkih in enem posnetku, daljšem od 5 minut. V času meritev smo beležili vse dogodke, ki bi lahko vplivali na meritve (promet, hoja, močnejši veter, delovanje merilnih naprav ...). Za primerjavo smo z vseh digitalnih potresnih opazovalnic državne mreže shranili 5-minutne zapise, nastale v času meritev. Meritve smo izvedli na zgoraj omenjenih sedmih lokacijah. Primerjava nivoja seizmičnega nemira na teh lokacijah z drugim lokacijami v Sloveniji kaže na razmeroma ugodne pogoje.

### **Možnost odkupa zemljišča**

Za gradnjo na izbranih lokacijah potresnih opazovalnic okoli JE Krško smo opravili razgovore z lastniki zemljišč, predstavniki občin in predstavniki upravnih enot.

Ob predstavitvi potresnih opazovalnic kot infrastrukturnih objektov državnega pomena smo tako na občinah (Škocjan, Krško, Brežice) kot na upravnih enotah (Sevnica, Krško, Brežice) naleteli na razumevanje. Skupaj smo pregledali lego izbranih lokacij. Predstavniki občin in upravnih enot so nam zagotovili pomoč pri administrativnih in upravnih postopkih.

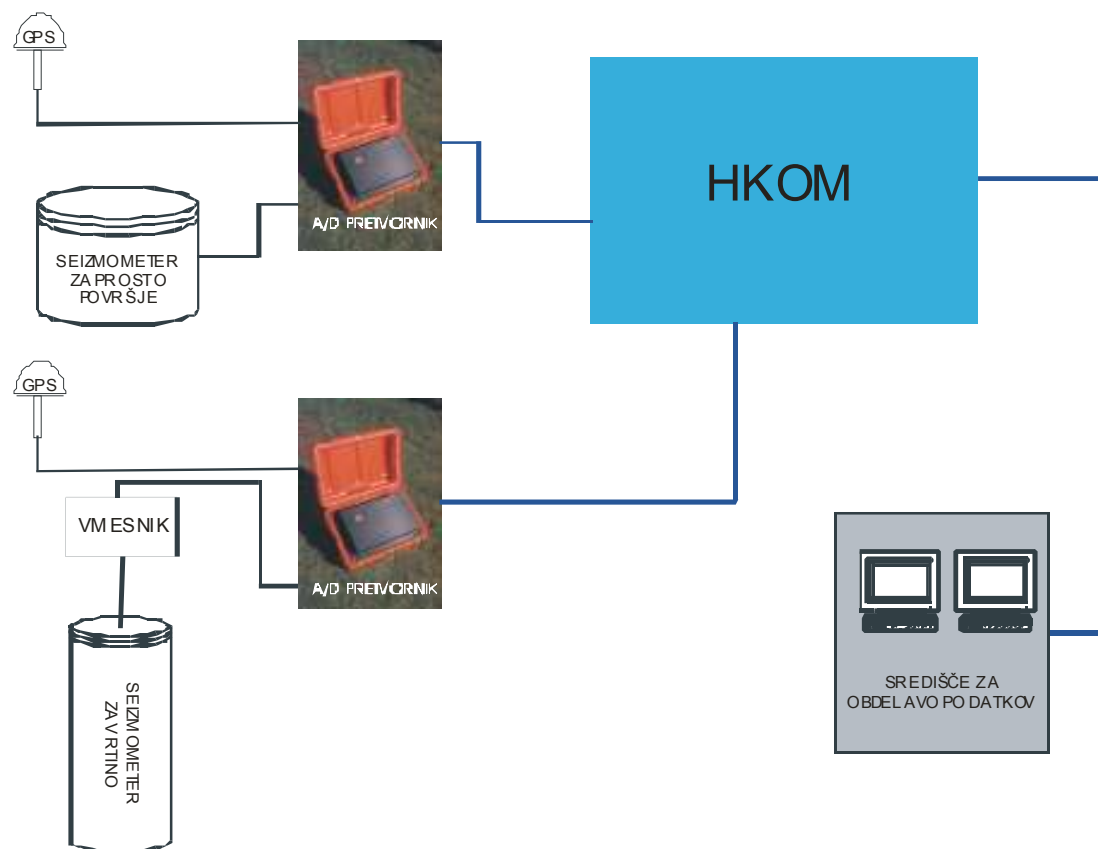
Končno izbrane lokacije so izbrane na parcelah, kjer lastniki soglašajo s prodajo dela zemljišča, potrebnega za potresno opazovalnico. Žal zaradi smrti solastnice zemljišča na lokaciji Gornji Cirknik ni bilo možno odkupiti zemljišča do zapuščinske razprave. Na ta način je bilo onemogočeno pridobivanje soglasij in dovoljenj, sama izgradnja potresne opazovalnice pa je prestavljena v leto 2002.

### **Tehnične značilnosti seizmološke opreme in prenos podatkov**

Seizmološke podatke štirih potresnih opazovalnic v Krški kotlini bo obdeloval Urad za seizmologijo Agencije RS za okolje. Zato, da so postopki obdelave seizmoloških zapisov učinkoviti, podatki med seboj primerljivi in vzdrževanje opreme enotno, je oprema, ki je namenjena natančnem opazovanju seizmičnosti Krške kotline, usklajena z opremo državne mreže potresnih opazovalnic.

Potresne opazovalnice državne mreže so povezane s središčem za zajem in obdelavo podatkov v Ljubljani preko državne računalniške mreže. Seizmološki podatki iz potresnih opazovalnic prihajajo v realnem času neprekinjeno v središče za zajem in obdelavo podatkov, kjer jih dve

delovni postaji takoj (v realnem času) avtomatsko obdelata, seizmološke zapise shranita v krožni spomin, ter hkrati tudi obvestita seizmologe o možnih dogodkih (slika 2).



**Slika 2.** Tehnična izvedba potresnih opazovalnic in prenosa podatkov.  
**Figure 2.** Technical realization of seismic monitoring stations and data transfer.

Vsaka potresna opazovalnica je opremljena s širokopasovnim trikomponentnim senzorjem Guralp CMG 40 s frekvenčnim območjem med 0,033 Hz in 50 Hz. Seizmični signal je pretvorjen v digitalno obliko s 24 bitnim analogno-digitalnim (A/D) pretvornikom v zajemalni enoti Quanterra Q730. Signal vzorčimo s frekvenco 200 vzorcev na sekundo. V Q730 je vgrajen GPS sprejemnik, da so seizmološki podatki opremljeni s točnim časom, za komunikacijo s centralno procesno enoto v središču za obdelavo podatkov v Ljubljani pa je vgrajena Ethernet omrežna kartica. Komunikacija med centralno procesno enoto in potresno opazovalnico poteka preko TCP/IP protokola po državni računalniški mreži. V vsaki opazovalnici je priključek na državno omrežje HKOM z usmerjevalnikom in modemom, prenos podatkov pa teče po najeti liniji. V Q730 je tudi lokalna spominska enota, kamor se v primeru izpada prenosa na zvezah podatki začasno shranjujejo. Potresna opazovalnica je priključena na omrežno napetost 220 V, v primeru izpada pa skrbi za napajanje zajemalne enote in senzorja dodatna baterija, za komunikacijsko opremo pa brezprekinitveni napajalnik.

Središče za zajem in obdelavo podatkov je opremljeno z dvema delovnima postajama SUN z operacijskim sistemom Solaris in programsko opremo Antelope. Sistemska programska oprema Antelope je sodobna programska oprema, namenjena seizmološkim sistemom, ki delujejo v realnem času in komunicirajo na osnovi IP protokola. Antelope skrbi za sprejem podatkov v realnem času, manipulacijo s podatki in ročno ter avtomatsko analizo.

Ena delovna postaja neprekinjeno sprejema podatke iz potresnih opazovalnic in jih zapisuje v šestdnevni krožni spomin. Naloga druge delovne postaje je, da prispele podatke avtomatsko preliminarno obdeluje in obvešča dežurnega seizmologa. Detektor dogodkov temelji na STA/LTA algoritmu. Kasneje seizmolog po potrebi popravi izračune in analizira dobljene rezultate. Za arhiviranje zapisov je dodana DAT enota s kapaciteto 72 GB. Delovni postaji sta med seboj časovno usklajeni s časovnim strežnikom. Za nemoteno delovanje so vse enote priključene na brezprekinitveno napajanje.

## Očrt seizmološke mreže

Seizmološko mrežo v okolici NEK sestavljajo potresni opazovalnici s trikomponentnim senzorjem za vrtino (POV), potresni opazovalnici s trikomponentnim senzorjem za jašek (POJ) in središče za zajem in obdelavo podatkov (SOP).

### 1. 3-kanalna POJ

Shema sistema je prikazana na sliki 3. Sestavljajo ga:

- Trikomponentni širokopasovni seizmometer (CMG 40T) je povezan z analognim vhodom zajemalne enote Q730 (Quanterra Q730-3-16E-C-16S) s 5 m dolgim "senzor" kablom. Kabel za 12 V enosmerno napajanje seizmometra je pred vhodom v Q730 ločen in je z dodatnimi 12 m dolžine vezan na napajalni sistem.
- Enota Q730 je priključena na GPS anteno z največ 16 m dolgim kablom, ki je zaščiten s protistrelno zaščito. Kabel med GPS anteno in protistrelno zaščito je dolg 1,8 m.
- Kabel za napajanje enote Q730 z dolžino 12 m je speljan do napajalnega sistema.
- Izhodna napetost napajalnega sistema je 12 V enosmerna napetost za vse porabnike in z akumulatorjem omogoča 24 urno brezprekinitveno napajanje v primeru izpada omrežne napetosti (v kolikor ni nanj priključen še dodatni uporabnik). Kabel do vtičnice z omrežno napetostjo je dolg 12 m.
- Vsi izhodi (kabli) razen Ethernet izhoda za omrežje so zaščiteni s protistrelno zaščito.

Dimenzije opreme:

- Q730: 230 x 410 x 580 mm višina/širina/dolžina (konektorji se nahajajo na boku);
- CMG-40T: 168 x 210 mm radij/višina (konektor je na vrhu);
- napajalnik (akumulatorski sistem): 330 x 400 x 400 mm višina/širina/dolžina (izhodni kabli so na boku);
- dodaten prostor za priključke in dostop do njih: približno 15 cm.

### 2. 3-kanalna POV

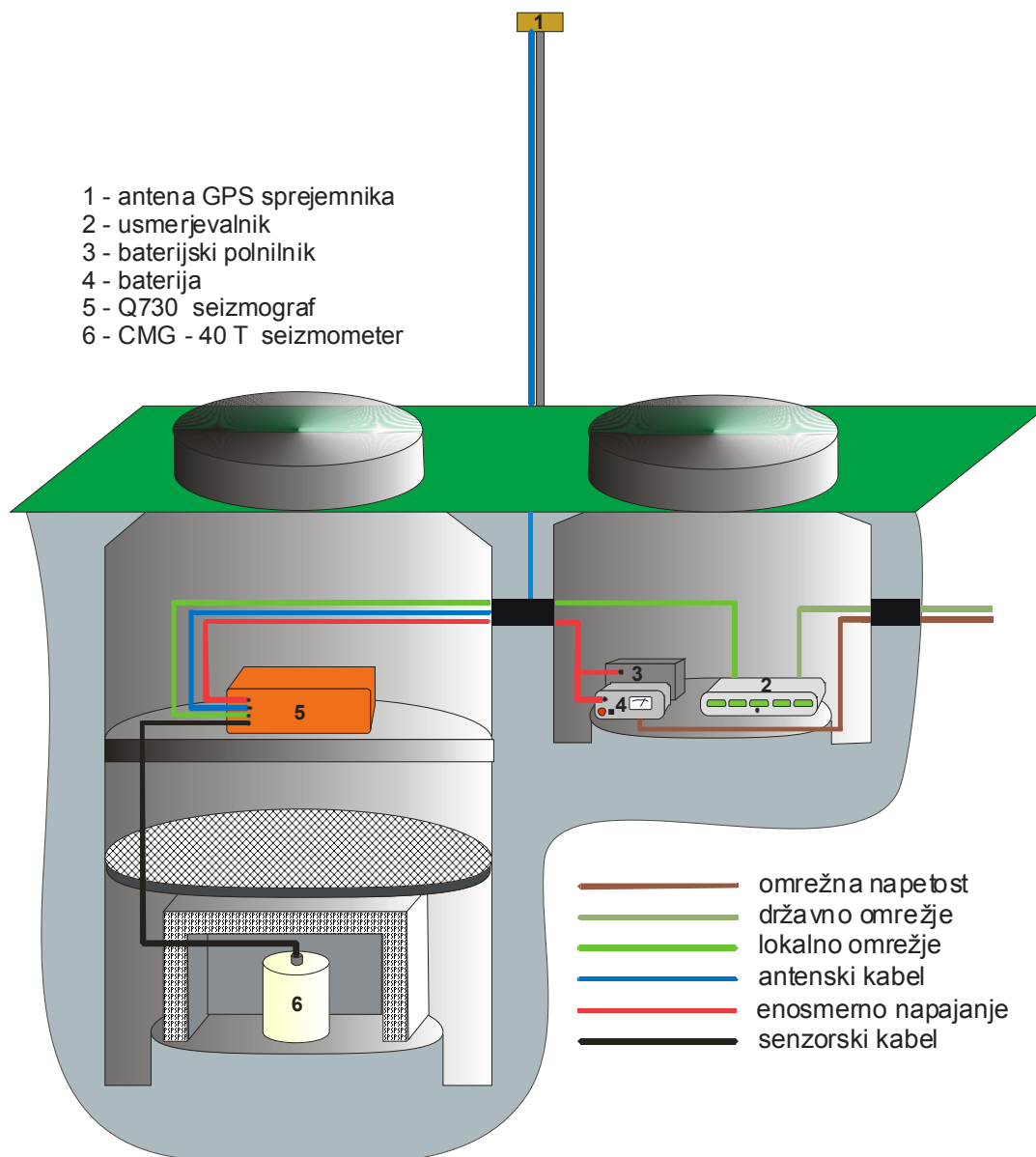
- Trikomponentni seizmometer (CMG 40T) je povezan z analognim vhodom na razdelilnem vmesniku z 20 m dolgim kablom za vrtine. Razdelilni vmesnik ima analogni priključek na enoto Q730 (Quanterra Q730-3-16E-C-16S) in omogoča tudi občasno povezavo z ročno kontrolno enoto HCU40 s 5 m dolgim "senzor" kablom. Kabel za 12 V enosmerno napajanje senzorja je pred vhodom v Q730 ločen in je z dodatnimi 12 m dolžine vezan na napajalni sistem.
- Razdelilni vmesnik je povezan z analognim vhodom zajemalne enote Q730 (Quanterra Q730-3-16E-C-16S) s 5 m dolgim kablom.
- Enota Q730 je priključena na GPS anteno z največ 16 metrom dolgim kablom, ki je zaščiten s protistrelno zaščito. Kabel med GPS anteno in protistrelno zaščito je dolg približno 1,8 m.
- Kabel za napajanje enote Q730 z dolžino 12 m je speljan do napajalnega sistema.
- Izhodna napetost napajalnega sistema je 12 V enosmerna napetost za vse porabnike in z akumulatorjem omogoča 24 urno brezprekinitveno napajanje v primeru izpada omrežne

napetosti (v kolikor ni nanj priključen še dodatni uporabnik). Kabel do vtičnice z omrežno napetostjo je dolg 12 m.

- Vsi izhodi (kablji) razen Ethernet izhoda za omrežje so zaščiteni s protistrelno zaščito.

Dimenzije opreme:

- Q730: 230 x 410 x 580 višina/širina/dolžina (konektorji se nahajajo na boku);
- CMG-40PH: 90 x 942 mm radij/višina (priključek na vrhu);
- razdelilna škatla: 70 x 98 x 187 mm višina/širina/dolžina (priključki se nahajajo na boku in na vrhu škatle);
- napajalnik (akumulatorski sistem): 330 x 400 x 400 mm višina/širina/dolžina (izhodni kablji so na boku).



**Slika 3.** Shematski prikaz potresne opazovalnice. V merilnem jašku vidimo senzor, ostala oprema za napajanje in komunikacijo pa je v pomožnem jašku. Primer opazovalnice Črešnjevce in Gornji Cirknik. Na lokacijah Legarje in Goliše pa je senzor v 18 m globoki vrtini.

**Figure 3.** Schematic presentation of a seismic station. At Črešnjevce and Gornji Cirknik, the acquisition system and breakout box are placed in the measuring shaft, while the rest of the equipment for charging and communication is placed in the auxiliary shaft. On stations Legarje and Goliše the sensor is placed in 18 m deep borehole.

### 3. Značilnosti seizmometra CMG 40-T

**Preglednica 1.** Tehnične karakteristike seizmometra Guralp CMG 40-T.

**Table 1.** Technical data of CMG 40-T.

karakteristike	CMG-40T
frekvenčna širina	0.03-50Hz
aretacija mase	ni potrebna
centriranje	ročno
kal. vhod	telemetrično
meh. resonanca	>400Hz
temp. občutljivost	<0.6V/10°C na »low gain«
temp. delovno območje	-10 to 65°C
ohišje	nerjaveče jeklo
konektor	KPT06F-16-26S
ohišje (premer x višina)	168 mm x 165 mm
masa	9 kg
standardno napajanje	±12 Vdc
opcija napajanja	+12 Vdc
poraba toka	±26 mA ali opcija +50 mA
izvedba za vrtine	da

### 4. Enota za zajemanje podatkov

Poleg seizmometra je v seizmičnem jašku nameščen širokopasovni zajemalni sistem Quanterra Q730. Sistem ima na vходу tri neodvisne 24-bitne analogno-digitalne (A/D) med seboj galvansko ločene pretvornike, vgrajeno mikroprocesorsko enoto (DSP), GPS sprejemnik točnega časa in RAM pomnilnik za začasno shranjevanje podatkov. Komunikacijski protokol omogoča paketni prenos podatkov. Za A/D pretvorbo je uporabljena delta sigma modulacija z osnovno frekvenco vzorčenja 20 kHz. Nižje frekvence vzorčenja dobimo v DSP modulu z decimacijo in digitalnim filtriranjem. Za zajemanje podatkov skrbi programska oprema Shear. Prenos podatkov v središče za zajem in obdelavo (SOP) poteka v realnem času. Komunikacijski protokol omogoča uporabniku nastavitve prioritete pri pošiljanju podatkov, na primer samo prenos posameznih dogodkov z manjšo frekvenco vzorčenja ali neprekinjen prenos zajemanega kanala. Na ta način 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.

**Preglednica 2.** Tehnične karakteristike zajemalne naprave.**Table 2.** Technical data of the acquisition system.

Karakteristike	opis
Kanali	3 standardno, 3 dodatni kot opcija,
Vzorčenje	20.000 Hz, simultano; uporabniške frekvence vzorčenja: 250,125,200,100,50,40, 25,20,10,1Hz.
rezolucija in dinamično območje	LSB (Least Significant Bit) = 1.9mV. 148 dB max.
pasovna širina	0-0.8 Nyquist (-6dB point), digitalni FIR filter
šum in popačenje	- 142 dBrms glede na merilno območje v pasovni širini 0,25-50Hz.
vhodna napetost	±20V (40V p-p); diferencialni vhod
temperaturno območje	-10 to 70 °C.
obdelava signala	Digitalna. Linearni, FIR ali IRR filtri z minimalnim faznim zasukom
kalibracija senzorja	opcija: kalibracijski/SOH modul za tri kanale, sinus/stopnica/naključni kalibracijski signal
čas	GPS C/A koda. Točnost 1ms glede na UTC. Lokacija napake pod 100 m RMS.
glavni procesor	32-bit 10 MHz Motorola MC68EC030 microprocessor.
shranjevanje	kontinuirano ali dogodkovno, izbrane kanale, Murdock-Hutt ali STA/LTA detektor dogodkov
nastavljanje parametrov	ASCII tekstovni "ukazi" shranjeni v flash in EPROM modulih.
pomnilnik	8Mb RAM. Opcijsko dodatnih 8Mb.
komunikacije	standardno 2 asinhrona serijska vrata, prva za terminal, druga za prenos podatkov, ethernet priključek opsijsko.
omrežje	podpira standardni TCP/IP in UDP/IP protokol, s prijavljanjem preko telnet.
programska oprema	UltraSHEAR ali MultiSHEAR, v EPROMu.
ohišje	polietilenski kovček 230 x 410 x 580 mm.
dodatne meritve	delovna temperatura, vhodna enosmerna napetost
napajanje	enosmerna napetost 12V; popolnoma izolirani DC/DC pretvorniki

**Pregled širokopasovnih seizmometrov in visokoresolucijskih zajemalnih sistemov****Preglednica 3.** Pregled širokopasovnih seizmometrov.**Table 3.** Vault broadband sensors overview.

Podjetje	TIP	komp.	delovno območje (sec)	površinski/vrtina
Streckeisen (Ch)	STS-1	1-comp	0.1-360	površinski
Streckeisen (Ch)	STS-2	3-comp	0.02-120	površinski
Guralp (UK)	CMG-3T	3-comp	0.02-120	površinski/vrtina
Guralp (UK)	CMG-3ESP	3-comp	0.02-30	vrtina
Guralp (UK)	CMG-40T	3-comp	0.02-30	površinski/vrtina
Guralp (UK)	CMG-4T	3-comp	0.01-30	vrtina
Geotech (USA)	BB-13	1-comp	0.05-350	površinski
Geotech (USA)	KS2000	3-comp	0.01-50	površinski
Podjetje	TIP	komp.	delovno območje (sec)	površinski/vrtina



Podjetje	TIP	komp.	delovno območje (sec)	površinski/vrtina
Streckeisen (Ch)	STS-1	1-comp	0.1-360	površinski
Streckeisen (Ch)	STS-2	3-comp	0.02-120	površinski
Guralp (UK)	CMG-3T	3-comp	0.02-120	površinski/vrtina
Guralp (UK)	CMG-3ESP	3-comp	0.02-30	vrtina
Guralp (UK)	CMG-40T	3-comp	0.02-30	površinski/vrtina
Guralp (UK)	CMG-4T	3-comp	0.01-30	vrtina

**Preglednica 4.** Pregled visokoresolucijskih zajemalnih sistemov.

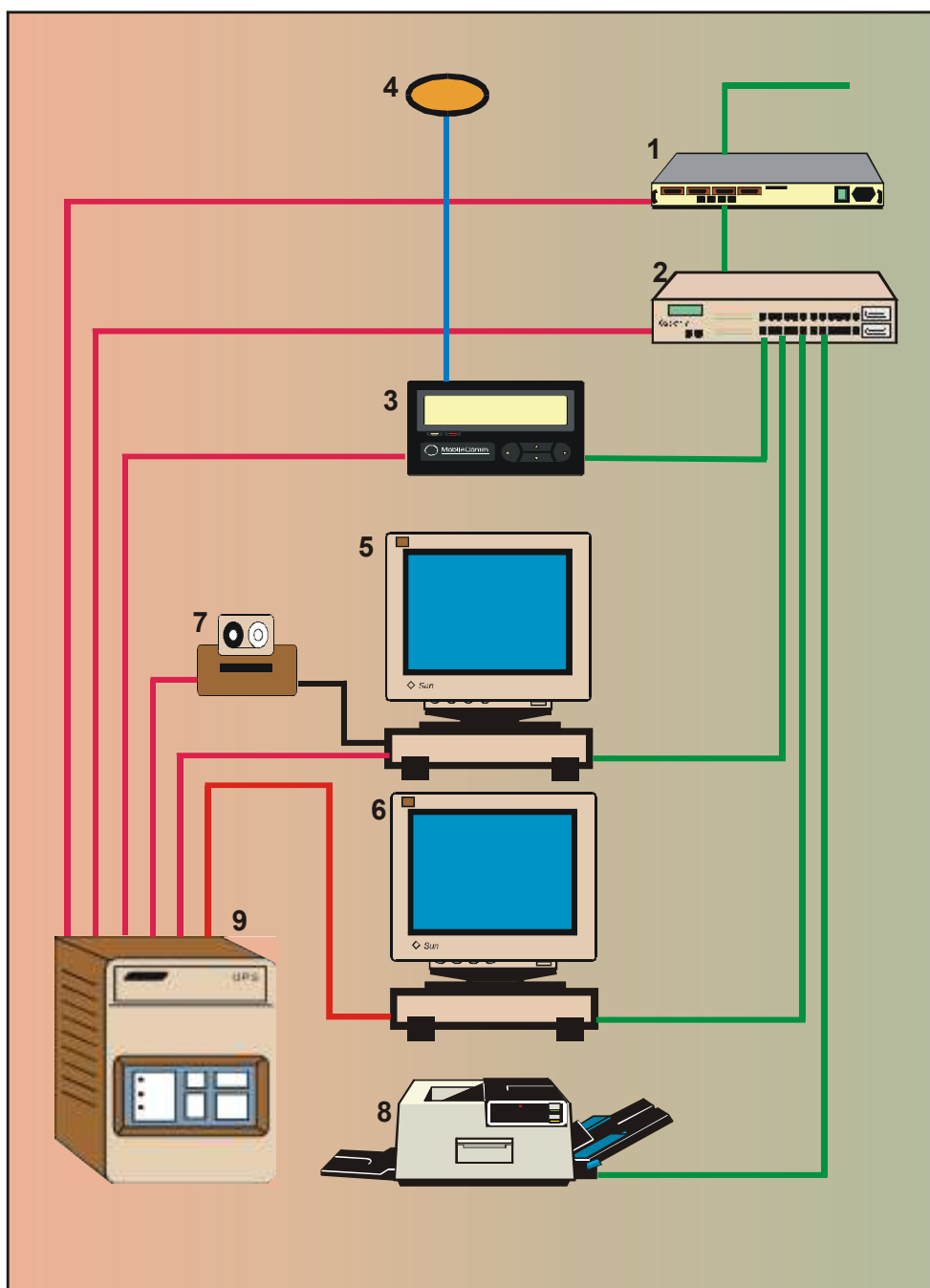
**Table 4.** High resolution data acquisition systems overview.

Podjetje	tip	kanal.	resolucija	vzorčenje	format	dostop
Quanterra (USA)	Q380/Q680	3/6	24 bit	80,20,1	miniSEED	modem,TCP/IP
Quanterra (USA)	Q4120	3+3	24 bit	1-1000	miniSEED	modem,TCP/IP
Quanterra (USA)	Q730	3+3	24 bit	1-1000	miniSEED	modem,TCP/IP
Nanometrics (Can.)	Orion 1200	3+3	24 bit	10-1000	X,Y,SEED	da
Nanometrics (Can.)	RD-3 nič več v proizvodnji	3	16/24 bit	100	X,Y	TPC/IP
Nanometrics (Can.)	HRD-24	3-6	24 bit	40-1000	X,Y	telemetrija, satelit, RF, telefon, optična vlakna, RS-422
Lennartz (D)	MarsLite	3	20+ bit	4-250	Mars88	da
NARS logger (NI)	CSD-20	3	24 bit	20,1	miniSEED	da
Agecodagis (F)	Atlas,Titan	1-15	24 bit	0.25-250	TITAN	modem,TSAT
RefTek (USA)	72A	3	16/24 bit	20-1000	Segy	?
Guralp (UK)	DM16/DM24	3+3+3	16/24 bit	4,20,100,200	binarni	da
STL Systemtechnik GmbH (D)	DLM24	4/8/12/16	24 bit	0.1 - 10000	binarni	fiber (PMCIA)

### Središče za obdelavo podatkov (SOP)

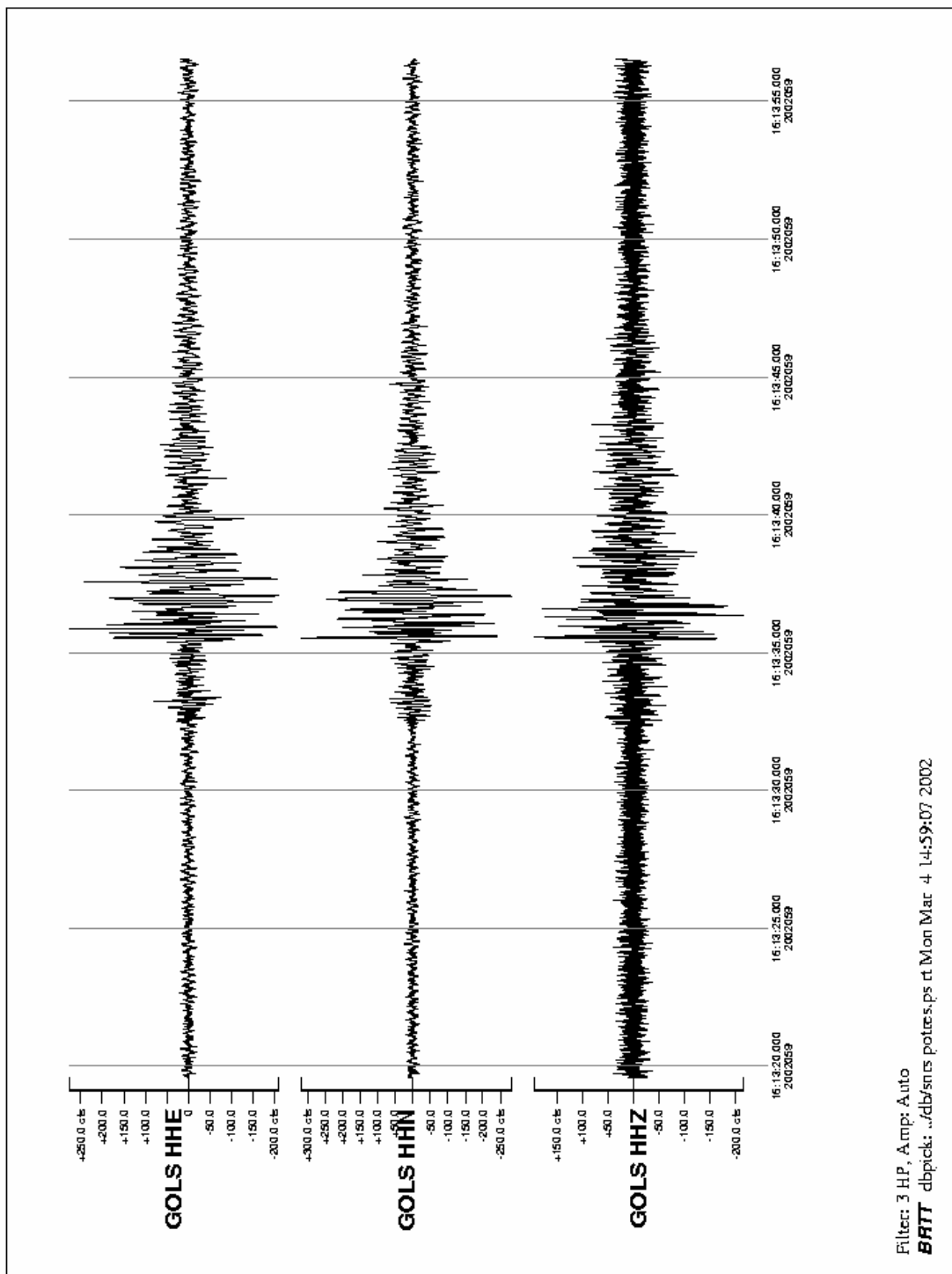
Shema sistema: Slika prikazuje centralno procesno enoto, sledijo pa opisi ključnih predmetov.

- Usmerjevalnik z dvema Ethernet vhodoma omogoča komunikacijo med državno računalniško mrežo in centralno procesno enoto.
- Hub omogoča zvezdno konfiguracijo za LAN.
- Mrežni časovni strežnik (NTS) omogoča, da je ura v SOP natančno specificirana z natančnostjo ujemanja znotraj UTC na 1 ms. Celotna dolžina kabla za anteno je 35 metrov. Protistrelna zaščita naj bi bila približno 2 m oddaljena od antene.
- Ena delovna postaja Sun Blade 100 je namenjena zajemanju podatkov v realnem času. Druga delovna postaja Sun Blade 100 je namenjena obdelavi signala.
- DAT enota s 6 DDS-3 trakovi omogoča do 72 Gbyte shranjevanja podatkov. Enota je preko SCSI porta povezana s primarno delovno postajo.
- Mrežni tiskalnik zaključuje SOP.
- UPS je dimenzioniran tako, da omogoča enurno delovanje sistema brez omrežne napetosti.

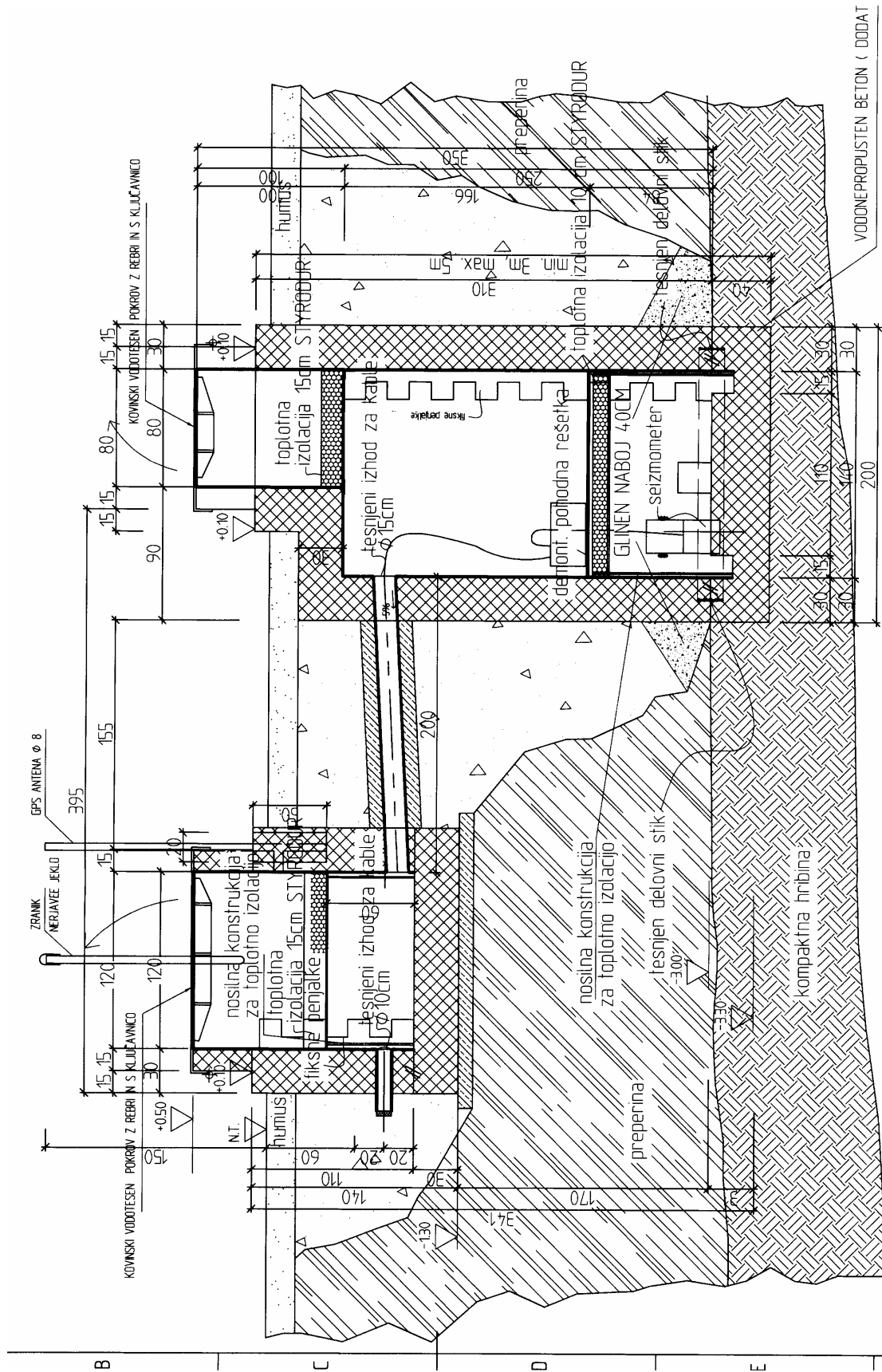


**Slika 4.** Središče za obdelavo podatkov sestavljajo: 1 - usmerjevalnik, 2 – konceptor, 3 - GPS časovni strežnik, 4 – antena GPS sprejemnika, 5 in 6 –delovni postaji za zajem in obdelavo podatkov, 7 – tračna enota za shranjevanje podatkov, 8 – tiskalnik in 9 - brezprekinitveno napajanje.

**Figure 4.** The data-processing centre comprises: 1 – router, 2 – hub, 3 – network time server, 4 – GPS receiver antenna, 5 & 6 – workstations for data collection and processing in real time, 7 – back up tape recorder, 8 – printer and 9 – UPS.



*Slika 5. Zapis treh komponent potresa 28. februarja 2002 z žariščem na območju Kostanjevica ( $M = 0,8$ ), zabeležen na novi potresni opazovalnici v Golišah.*  
**Figure 5. Record of the 28 February 2002 earthquake with the hypocentre in the area of Kostanjevica ( $M = 0,8$ ) made by a new three component seismic station in Goliše.**



Slika 6. Načrt potresne opazovalnice.  
Figure 6. Scheme of a seismic station.



**Slika 7.** Primer izkopa na lokaciji Črešnjevce (stanje 5.12.2001). Opravljen je izkop v matično kamnino do globine približno 4,50 m. (Na tej lokaciji ni bila potrebna vrtina.)

**Figure 7.** Example of excavation at Črešnjevce (picture was taken on 5 December 2001). Excavation was performed in consolidated rock in depth up to 4.5m.



**Slika 8.** Naslednja faza je betoniranje podlage jaška, v katerem bodo instrumenti. Prikazano je stanje na lokaciji Goliše 5.12.2001. (Senzor je nameščen v 18 m globoki vrtini.)

**Figure 8.** The next phase is concreting the lining of the shaft into which instruments are to be placed. The picture was taken at Goliše on 5 December 2001. (Sensor is placed in an 18 m-deep borehole.)



**Slika 9.** Sledi obbetoniranje postavljenih PHD jaškov, v katerih bodo nameščeni instrumenti. Prikazano je stanje na lokaciji Legarje 5.12.2001. (Senzor bo nameščen v 18 m globoki vrtini.) (levo)

**Figure 9.** Next comes cementing of the established PHD shafts, into which instruments are to be placed. Picture was taken at Legarje on 5 December 2001. (Sensor will be placed in an 18 m-deep borehole.) (left)



**Slika 10.** Stanje del na lokaciji Goliše ob prekinitvi del 14. decembra 2001 (opravljena betonska dela, onemogočeno polaganje elektroenergetskega kabla zaradi nizkih temperatur).  
**Figure 10.** Goliše station on 14 December 2001, when works had to be stopped (concreting works completed, laying of the electro-energetic cable was impossible due to low temperatures).



**Slika 11.** Stanje del na lokaciji Legarje ob prekinitvi del 14. decembra 2001 (opravljena betonska dela, onemogočeno polaganja elektroenergetskega kabla zaradi nizkih temperatur).

**Figure 11.** Legarje station on 14 December 2001 when works had to be stopped. (concreting works completed, laying of the electro-energetic cable was impossible due to low temperatures).



**Slika 12.** Stanje del na lokaciji Legarje 30. januarja 2002 (opravljena betonska dela, do 5. 2. 2002. opravljen zasip jame, položena telekomunikacijski in energetski kabel).

**Figure 12.** Legarje station on 30 January 2002 (concreting works completed, the hole was filled in by 5 February 2002, electro-energetic and telecommunications cables were laid).



*Slika 13. Stanje del na lokaciji Črešnjevce 30. januarja 2002 (opravljena betonska dela, elektroenergetski in telekomunikacijski kabel sta bila položena 4.2.2002).*

**Figure 13.** Črešnjevce station on 30 January 2002 (concreting works completed, electro-energetic and telecommunications cables were laid on 4 February 2002).



*Slika 14. Stanje del na lokaciji Goliše 30. januarja 2002 (opravljena betonska dela, položena elektroenergetski in telekomunikacijski kabel).*

**Figure 14.** Goliše station on 30 January 2002 (concreting works completed, electro-energetic and telecommunications cables were laid).





*Slika 15. Pogled v jašek z merilnimi instrumenti. Senzor je postavljen v vrtino pod jaškom.*  
*Figure 15. A view of the shaft's interior with measuring instruments. The sensor is placed into the borehole below the shaft.*



*Slika 16. Okolico obeh jaškov je potrebno še zatraviti in ograditi.*  
*Figure 16. The shafts' surrounding area needs to be grassed and fenced.*



*Slika 17. Dokončana potresna opazovalnica;  
pogled na opazovalnico Legarje (zgoraj).  
Q730 in prilagoditvena enota v seizmičnem jašku (spodaj).  
**Figure 17. A completed seismic monitoring station;  
view of the seismic station Legarje (above).  
Q 730 and Breakout Box in seismic shaft (below).***

## Literatura

Jagatić, I., 1990. Krško – geofizička (seizmička) izpitivanja. Geoexpert, Zagreb.

<http://www.guralp.com/>

<http://orfeus.knmi.nl/>

<http://www.kinematics.com/>

Design Documentation: Slovenia National Seismic Network and Seismic Information System (NSN/SIS), Kinematics.

Stopar, R., 2001. Seizmične preiskave na lokacijah načrtovanih seizmoloških opazovalnic v okolici NE Krško, lokaciji Legarje in Goliše. Geoinženiring, Ljubljana.

Trnkoczy, A. et al., 1991. Projekt izgradnje lokalne seizmološke mreže NE Krško. Seizmološki zavod RS, Ljubljana.

# AKCELEROGRAFI SLOVENSKE MREŽE POTRESNIH OPAZOVALNIC SLOVENIAN NETWORK OF ACCELEROGRAPHS

**Tatjana Prosen, Matjaž Godec in Matjaž Gostinčar**

***Izvleček.** V letu 2001 smo imeli na Uradu za seizmologijo Agencije RS za okolje 11 akceleroagrafov, od tega 7 akceleroagrafov Etna in 4 akceleroagrafe SSA-2. Nekaj akceleroagrafov je ostalo na lokacijah iz prejšnjih let, nekaj pa smo jih v skladu s potrebami premestili na nove lokacije. Akceleroagrafi so namenjeni predvsem beleženju močnih potresov. Te izberemo iz zbirke vseh zabeleženih potresov in jih obdelamo s primernimi programskimi orodji, da iz njih pridobimo različne parametre potresa (npr. največji pospešek tal ob potresu) in spektre odziva. Vsi ti podatki lahko služijo kot vhodni parametri v gradbeništvu, za projektiranje potresno odpornih zgradb, ali za preverjanje odpornosti obstoječih stavb.*

***Abstract.** In 2001 Seismology office of the Environmental Agency had 11 accelerographs, 7 of them type Etna and 4 type SSA-2. Some accelerographs remained at the same locations they occupied in previous years and some of them were moved to new locations, according to new needs. Accelerographs are instruments which register strong motion events in seismology. This events are separated from the base of all registred events. To gain different parameters of an earthquake (for instance PGA) and earthquake response spectra, they are processed with suitable software. All these parameters are used in civil engeneering to design earthquake resistant structures or to inspect earthquake vulnerability of existing buildings.*

## **Uvod**

Urad za seizmologijo Agencije RS za okolje ima več opazovalnic z akceleroagrafi za beleženje močnih potresov. Postavljeni so v objektih. Lokacije opazovalnic so izbrane glede na pogostnost močnejših potresov na določenem področju.

V letu 2001 je delovalo 14 potresnih opazovalnic za beleženje močnih potresov. Na desetih opazovalnicah so bili izmenično postavljeni akceleroagrafi Etna; v Bovcu, v Bogenšperku, v Nadgorici, v Drežnici, v Kobaridu, v Gotenici, na Barju, v Logu pod Mangartom, v Soči in v Jedrski elektrarni v Krškem. V Ljubljani, na Dolskem, v Ilirski Bistrici in v Horjulu pa so delovali akceleroagrafi SSA-2. Vse potresne opazovalnice za beleženje močnih potresov so označene na karti (slika1).

Instrument Etna (slika 2) je instrument za beleženje pospeškov podlage. Namenjen je za beleženje močnih potresov. Vsebuje notranji trikanalni senzor, ki je pri starejših instrumentih tipa FBA-23, pri novejših pa se imenuje EpiSensor. Na Uradu za seizmologijo imamo instrumente Etna z merilnim območjem senzorjev 1 g, 2 g in 4 g. Instrument Etna zajema in beleži podatke z 18-bitno resolucijo. Notranja ura se usklajuje z GPS sistemom točnega časa. Podatki s teh senzorjev se na podlagi kriterijev, ki jih določimo, lokalno shranjujejo, kasneje pa jih lahko prenesemo preko modema (avtomatsko ali ročno), preko osebnega računalnika ali neposredno s prenosom PCMCIA. Tako prenešene dogodke pregledamo, izločimo potrese in jih posebej shranimo. Zapise potresov kasneje obdelamo z različnimi programskimi orodji za obdelavo močnih potresov, s tem pa pridobimo podatke, ki jih potrebujejo gradbeniki za načrtovanje potresno varnih objektov. Poleg podatkov za načrtovanje objektov, dobimo iz

vpliva potresa na objekte tudi povratne informacije o tem, kako dobro so stavbe zgrajene in kako se s časom zmanjšuje njihova varnost, kar lahko zopet uporabimo za sanacijo objektov.

Ponavadi uporabimo podatke z akceleroagrafov, kot bi bili postavljeni na prostem površju, kar za nobenega od naših akceleroagrafov ne drži. Akceleroografe zato poskušamo postaviti v čim nižje in čim lažje stavbe, ter s tem zmanjšati njihov vpliv na zapisane pospeške.



*Slika 1. Karta Slovenije z vrisanimi akceleroagrafi slovenske mreže potresnih opazovalnic.*

*Figure 1. Map of accelerographs in Slovenia in 2001.*

### **Instrumenti in njihove lokacije**

V letu 2001 smo imeli za instrumente Etna 10 lokacij, ki so predstavljene na sliki 1. Podrobnejši podatki o opazovalnicah so zbrani v preglednici 1.

V Nadgorici pri Ljubljani je od 27. 7. 2001 delovala Etna s serijsko številko 2133 in senzorjem EpiSensor, ki ima obseg delovanja 2 g. Podatki z opazovalnice so prihajali avtomatsko po klicni telefonski povezavi. Instrument je bil postavljen v kletne prostore stanovanjske hiše (slika 2) in v letu 2001 ni zabeležil nobenega dogodka.

V gradu Bogenšperk (slika 3) je bil do 24. 4. 2001 postavljen akceleroagraf Etna s serijsko številko 811 s senzorjem tipa FBA z obsegom delovanja 1 g. 2. 8. 2001 ga je nadomestil instrument Etna s serijsko številko 1245 in senzorjem tipa EpiSensor, katerega območje delovanja sega do 1 g. Podatki z opazovalnice so v obeh obdobjih prihajali avtomatsko po klicni telefonski povezavi. V letu 2001 so bili na tej lokaciji zabeleženi 4 dogodki.

V Bovcu je vse leto deloval instrument Etna s serijsko številko 1476, ki ima merilni obseg 4 g. Instrument stoji v pritličju knjižnice v Bovcu (slika 4).

**Preglednica 1.** Podatki o lokacijah in akcelerografih Etna za leto 2001.

**Table 1.** Locations and parameters of accelerographs Etna in 2001.

ser. št.	kraj	oznaka	obdobje delovanja	senzor					prenos	število potresov
				oznaka	MO	O [V/g]	LF [Hz]	D		
2133	Nadgorica	BAJC	od 27.07.	EpiSensor	±2g	1.25	220.0	0.7	klicna linija	0
811	Bogenšperk	BOGE	do 24.04.	FBA-23	±1g	2.5	53.0	0.67	klicna linija	4
1245	Bogenšperk	BOGE	od 02.08.	EpiSensor	±1g	2.5	51.1	0.67	klicna linija	3
1476	Bovec	BOVC	celo leto	FBA-23	±4g	0.625	95.60	0.64	klicna linija	24
1245	Drežnica	DRZN	do 14.02.	FBA-23	±1g	2.5	51.1	0.67	klicna linija	20
810	Lj. Barje	GOSA	od 25.07.	FBA-23	±1g	2.5	50.1	0.67	klicna linija	1
1246	Gotenica	GOTE	celo leto	FBA-23	±1g	2.5	52.8	0.67	klicna linija	14
1477	Kobarid	KOBA	celo leto	FBA-23	±4g	0.625	94.9	0.67	klicna linija	13
810	Log pod Mangartom	LOGM	do 24.05.	FBA-23	±1g	2.5	50.1	0.67	klicna linija	5
1334	Krško	NEK0	celo leto	FBA-23	±2g	1.25	97.8	0.67	klicna linija	3
2133	Soča	SOCA	do 24.05.	EpiSensor	±2g	1.25	220.0	0.7	klicna linija	19

Legenda: MO merilno območje  
O občutljivost  
LF lastna frekvenca vertikalne komponente  
D kritično dušenje vertikalne komponente



**Slika 2.** Stanovanjska hiša v Nadgorici z akcelerografom Etna.  
**Figure 2.** Detached house in Nadgorica with accelerograph Etna.



**Slika 3.** Na gradu Bogenšperk je v kleti nameščen akceleroграф Etna.  
**Figure 3.** Accelerograph Etna is placed in the cellar of the Bogenšperk castle.



**Slika 4.** V Bovcu je akceleroграф Etna nameščen v pritličju knjižnice.  
**Figure 4.** Accelerograph Etna is placed in the basement of the public library in Bovec.



*Slika 5. V Drežnici je akceleroграф Etna nameščen v mrliški vežici.  
Figure 2. Accelerograph Etna is installed in Drežnica mortuary.*



*Slika 6. Objekt v Gotenici, v katerem je nameščen akceleroграф Etna.  
Figure 6. Structure in Gotenica, where accelerograph Etna is placed.*



*Slika 7. Hiša na Ljubljanskem barju, v kateri je nameščen akceleroграф Etna.  
Figure 7. Accelerograph Etna is installed in private house in Ljubljana swamp.*



*Slika 8. Akceleroграф Etna na območju NEK.  
Figure 8. Accelerograph Etna inside the Krško nuclear power plant area.*



V Drežnici je bil do 14. 2. 2001 instrument Etna s serijsko številko 1245 in merilnim obsegom 1 g ter vgrajenim senzorjem FBA-23. V letu 2001 je instrument Etna v Drežnici zabeležil 20 dogodkov. Instrument stoji v drežniški mrliski vežici (slika 5).

V Gotenici je bil vse leto postavljen instrument Etna s serijsko številko 1246 s senzorjem FBA-23 in merilnim obsegom 1 g (slika 6). Podatke z akceleroграфа Etna v Gotenici smo prenašali prek telefonske povezave, vendar avtomatski prenos ni deloval. Instrument je v letu 2001 zabeležil 14 dogodkov.

Na Ljubljanskem barju je bil instrument Etna s serijsko številko 810 postavljen 25. 7. 2001 v pritličje stanovanjske hiše (slika 7). Vanj je vgrajen senzor FBA-23 z merilnim območjem 1 g. V letu 2001 je bil s tem instrumentom zabeležen en dogodek.

V Kobaridu je bil vse leto instrument Etna s serijsko številko 1477, s senzorjem FBA-23 z merilnim območjem 4 g. Instrument stoji v pritličju občinske stavbe in je v letu 2001 zaznal 13 dogodkov.

Zaradi suma, da je potres sprožil gruščnati plaz na pobočjih Mangarta, smo že leta 2000 postavili akceleroграфа Etna v Log pod Mangartom (SN 810, 1 g) in Sočo (SN 2133, 2 g). Oba instrumenta smo odstranili 24. 5. 2001. V letu 2001 je v Logu pod Mangartom instrument zaznal 5 dogodkov, v Soči pa 19 dogodkov.

V Krškem stoji akceleroграф Etna v sklopu Jedske elektrarne Krško (SN 1334, 2 g) (slika 8). Instrument je sicer last elektrarne, vendar pa je vključen v državno mrežo potresnih opazovalnic in priključen na državno računalniško omrežje, prek katerega dobivamo podatke s te opazovalnice. Instrument v Krškem je v letu 2001 zaznal 3 dogodke.



**Slika 9.** V transformatorski postaji pri FGG je nameščen akceleroграф SSA-2.  
**Figure 9.** Accelerograph SSA-2 is set up in the building near the Faculty of Civil and Geodetic Engineering in Ljubljana.



**Slika 10.** V Dolskem je akceleroграф SSA-2 nameščen v pritličju kulturnega doma.  
**Figure 10.** Accelerograph SSA-2 is installed in basement of cultural centre in Dolsko.



**Slika 11.** V Horjulu je akceleroграф SSA-2 nameščen v pomožnem objektu.  
**Figure 11.** Accelerograph SSA-2 is installed in auxiliary building in Horjul.



*Slika 12. Akceleroğraf SSA-2 je nameščen v zgradbi občine Ilirska Bistrica.*  
**Figure 12.** Accelerograph SSA-2 is installed in Ilirska Bistrica municipal building.

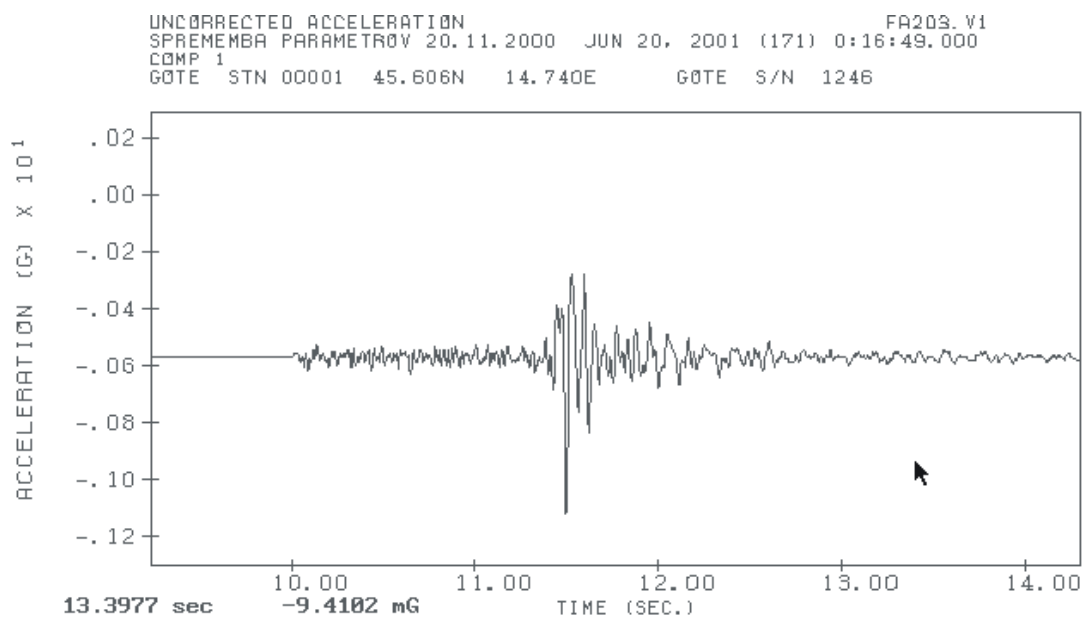
Akceleroграфи SSA-2 so v letu 2001 delovali v Ljubljani pri Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo (slika 8), v Dolskem (slika 10), v Horjulu (slika 11) in v Ilirski Bistrici (slika 12). Akcelerografe SSA-2 sestavljata senzor FBA-23 in zajemalna naprava SSA-2 z 12-bitnim analognim digitalnim pretvornikom. V Ljubljani, na Dolskem in v Horjulu imajo senzorji FBA-23 merilno območje 1 g, v Ilirski Bistrici pa je nameščen bolj občutljiv senzor FBA-23 z merilnim območjem 0,25 g. Instrumenti SSA-2 niso vezani na sistem točnega časa, zato uporabljamo le podatke o pospeških in časovno razliko prvih vstopov faz potresnih valov. Podatke, ki se na podlagi določenih kriterijev lokalno shranjujejo, prenesemo na osebni računalnik prek kableske povezave ob rednih obiskih opazovalnic.

### **Obdelava akceleroграмov**

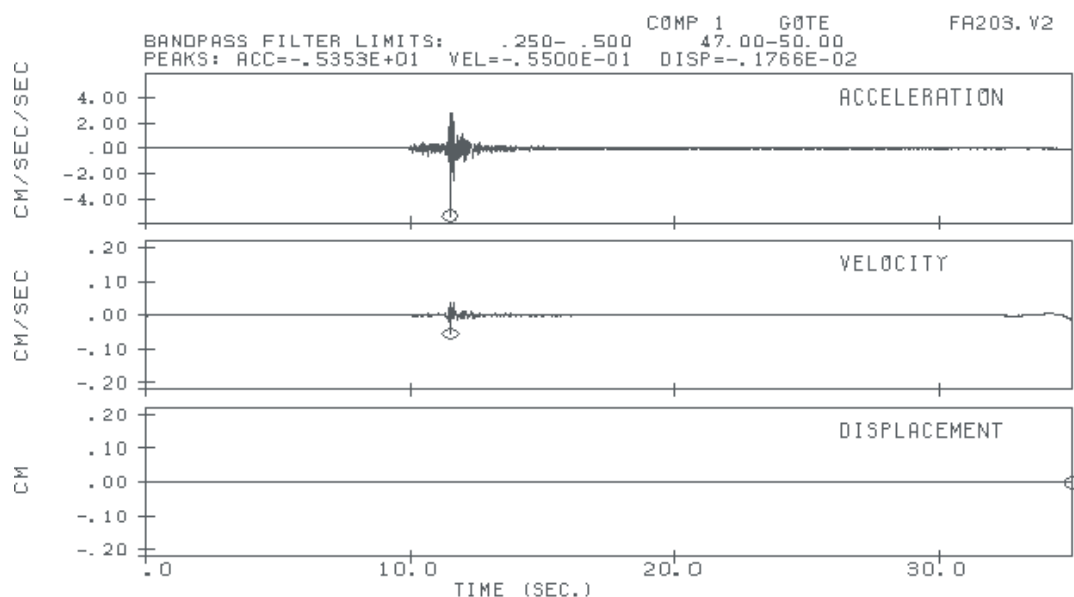
Podatki o gibanju tal med potresi (akceleroграмi) predstavljajo dragocen vir za študij značilnega gibanja tal v Sloveniji. Podatke akceleroграмov kasneje tudi primerjamo z modeli pojemanja pospeška pri dani magnitudi in razdalji, pomembna pa je tudi primerjava spektrov, izračunanih iz izmerjenih pospeškov pri potresih s spektri po EC8.

Za obdelavo akceleroграмov uporabljamo Strong Motion Data Analysis (SWS, Kinematics). Kriterija za obdelavo potresa sta lokalna magnituda ( $M_{LV}=3.0$ ) in maksimalni pospešek gibanja tal (vsaj 0.05 g). Pred obdelavo torej najprej pregledamo podatke z akceleroграфov, izločimo potrese in nadalje izločimo potrese z zgoraj navedenimi parametri. Te potem obdelamo s SWS. Najprej pretvorimo podatke v enotno obliko, primerno za obdelavo s programom SWS. Nato naredimo korekcijo zapisov potresov: premik ničle (baseline correction), izločimo šum (s pravilno izbranimi filtri) in vpliv instrumenta na zapise potresov.

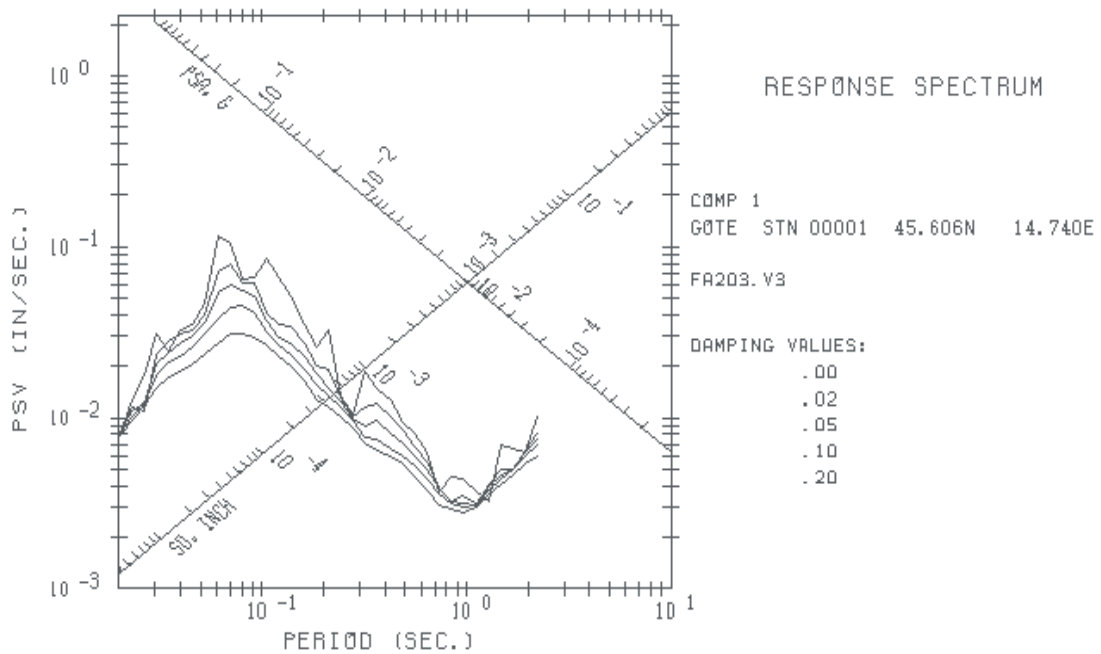
Nato izračunamo spektre odziva, ki so v našem primeru predstavljeni kot tripartitni grafi in na katerih vidimo hkrati spektre pospeškov, hitrosti in pomikov. Omeniti je treba, da je največji problem pri obdelavi akcelorogramov za močne potrese izbira filtrov pri nizkih frekvencah. Ta parameter je odvisen od karakteristike gibanja tal in pomembno vpliva predvsem na spektre pomikov pri nizkih frekvencah, vendar jasnih kriterijev za izbiro vrednosti filtra ni (Fajfar in Peruš, 1999). Za primer smo s programom obdelali potres z dne 20.6.2001 s hipocentrom v Jelenovem žlebu, ki je imel lokalno magnitudo  $M_{LV}=27$  (slike 13, 14, 15). V navedenem primeru je bil izbran filter med 0,8 in 6 Hz.



**Slika 13.** Nekorigirani akcelorogram z instrumenta Etna v Gotenici, zapisan 20.6.2001  
**Figure 13.** The noncorrected acceleration detected with accelerograph Etna in Gotenica on June 20<sup>th</sup>, 2001



**Slika 14.** Korigirani zapisi časovnega poteka pospeškov, hitrosti in pomikov tal med potresom  
**Figure 14.** The corrected plots of accelerations, velocities and ground displacements during an earthquake



**Slika 15.** Tripartitni graf spektrov odziva pospeškov, hitrosti in pomikov tal med potresom  
**Figure 15.** Response spectra output example

## Literatura

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

Sinčič P., Vidrih R. in Cecić I., 2001. Potresne opazovalnice v Sloveniji v letu 2000, Potresi v letu 2000, 1-7, Ljubljana.

Fajfar P., Peruš I., 1999. Analiza gibanja tal med potresi v Sloveniji, Ljubljana.

Fajfar P., 1995. Osnove potresnega inženirstva (II. Izdaja), Ljubljana.

# AVTOMATSKA LOKACIJA DOGODKOV NA MREŽI NMX AUTOMATIC EVENT DETECTION ON NMX SEISMIC NETWORK

Izidor Tasič

***Izyleček.** Programski paket PRIKAZ avtomatsko obdela vsak seizmični dogodek, ki ga zazna posamezna potresna opazovalnica seizmološke mreže Nanometrics. Pri tem oceni osnovne parametre in izriše vertikalno komponento podatkov v sliko, ki omogoča hiter in enostaven predogled zabeleženih dogodkov. V primeru, ko so izpolnjeni pogoji zaznavanja na več potresnih opazovalnicah, programski paket PRIKAZ avtomatsko izračuna lokacijo in pošlje SMS ter e-obvestilo. Ta paket omogoča hiter in enostaven dostop do podatkov tudi preko klicne telefonske linije od doma.*

***Abstract.** The PRIKAZ software package automatically processes every seismic data detected by individual seismic station, which compile the Nanometrics seismic network. PRIKAZ automatically estimates basic parameters and draws vertical component of seismic data into a picture, which enables fast preview of recorded seismic data. In case more seismic stations are being triggered in coincidental intervals, software automatically calculates the location of earthquake and sends alert via SMS and e-mail. The package also enables fast and simple access to seismic data via telephone line from home.*

## Uvod

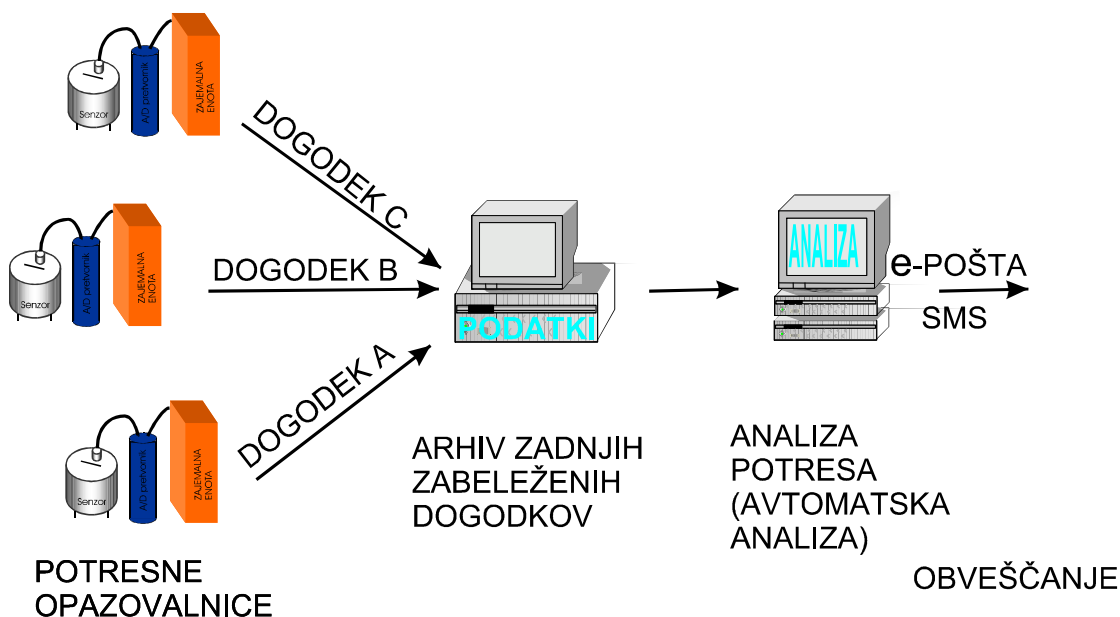
Na sodobnih potresnih opazovalnicah je zapis potresa shranjen v digitalni obliki. Če želimo potresu določiti osnovna parametra, kot sta moč potresa in njegova lokacija, potrebujemo računalnik s posebno programsko opremo, ki nam omogoča digitalno obdelavo seizmičnega signala ter nam zapis tudi predstavi na ekranu preko grafičnega vmesnika. V svetu seizmologije je kar nekaj takšne specializirane programske opreme, kot npr. Pitsa, DAN, EarthWorm, Antelope, in druga. Programska oprema se razlikuje glede na kvaliteto dokumentacije in prilagodljivost uporabniku, velja pa pravilo, da si mora programsko opremo »po meri« izdelati vsak uporabnik sam.

## Programski paket za »hitro« analizo zapisa lokalnega potresa

V času povečane potresne aktivnosti leta 1998 sem ugotovil, da je bila vsa takratna seizmološka programska oprema preveč kompleksna za hitro ocenjevanje osnovnih parametrov lokalnega potresa. Njena največja pomanjkljivost je bila predvsem v tem, da smo v primeru, ko smo imeli na voljo samo zapis iz ene digitalne potresne opazovalnice, potrebovali za prvo oceno nekaterih parametrov potresa žepni kalkulator (Navodilo, 1998). V nasprotnem primeru smo morali namreč obdelati zapise iz vsaj treh opazovalnic, kar je zaradi komunikacijskih poti trajalo kar nekaj časa (Tasič, 2001). Zato sem v tem letu razvil programsko opremo z grafičnim vmesnikom, ki je sicer omogočala samo obdelavo lokalnih potresov (potresi z žariščem v Sloveniji ali njeni neposredni bližini). Njena prednost je bila v hitrem izračunu osnovnih informacij o potresu brez uporabe žepnega kalkulatorja. Programsko opremo sem preprosto poimenoval ANALIZA (Tasič, Casar, 1998).

Sama programska oprema je brez podatkov nekoristna. Potreboval sem podatke - zapise potresa, ki bi jih imel na voljo v skoraj realnem času. Na razpolago sem imel digitalne potresne opazovalnice tipa NMX (Tasič, 2001). Opazovalnice imajo lokalne detektorje dogodkov, ki jih je mogoče tudi nekoliko programirati. Po posodobitvi komunikacijske

opreme sem z dodatno programsko opremo dosegel, da potresne opazovalnice pošljejo zaznani dogodek v posebno bazo podatkov skoraj takoj po detekciji (Slika 1). V tej bazi, poimenoval sem jo PODATKI, se nahaja samo zadnji dogodek iz posamezne potresne opazovalnice tipa NMX. Dogodek še ne predstavlja zapisa potresa, ampak je lahko posledica začasno povečanega seizmičnega šuma zaradi delovanja urbanega okolja (avto, človek, ...), delovanja nekaterih naravnih pojavov (strela, veter). Šibek potresni sunki včasih zazna samo ena opazovalnica. V tem primeru je v bazi PODATKI samo en zapis tega potresa, zapisi iz ostalih opazovalnic so starejši in jih pri analizi ne moremo uporabiti. (V takem primeru moramo zapise iz ostalih opazovalnic »naročiti« ter jih lahko šele nato analiziramo z ANALIZO). Pri močnejšem potresnem sunku imamo v bazi istočasno zapise iz več opazovalnic, kar omogoča hitro analizo potresa.



*Slika 1. Shema delovanja seizmološkega sistema.*

*Figure 1. Action plan of the system.*

Programski paket ANALIZA ni namenjena vsakdanjemu rutinskemu delu, vendar pa v povezavi z bazo omogoča hitro ukrepanje v primeru potresa. Tak sistem omogoča hitro delovanje tudi na daljavo (od doma) preko klicne telefonske linije. Celoten postopek, ki zajema vzpostavitev telefonske zveze, avtomatski prenos podatkov iz baze na lokalni računalnik ter preliminarno analizo zapisov, traja manj kot pet minut. Prve informacije so na voljo v minuti, ko vzpostavimo komunikacijo. Seveda je čas odvisen od trenutne prepustnosti komunikacijskih poti.

### **Avtomatska lokacija lokalnega potresa**

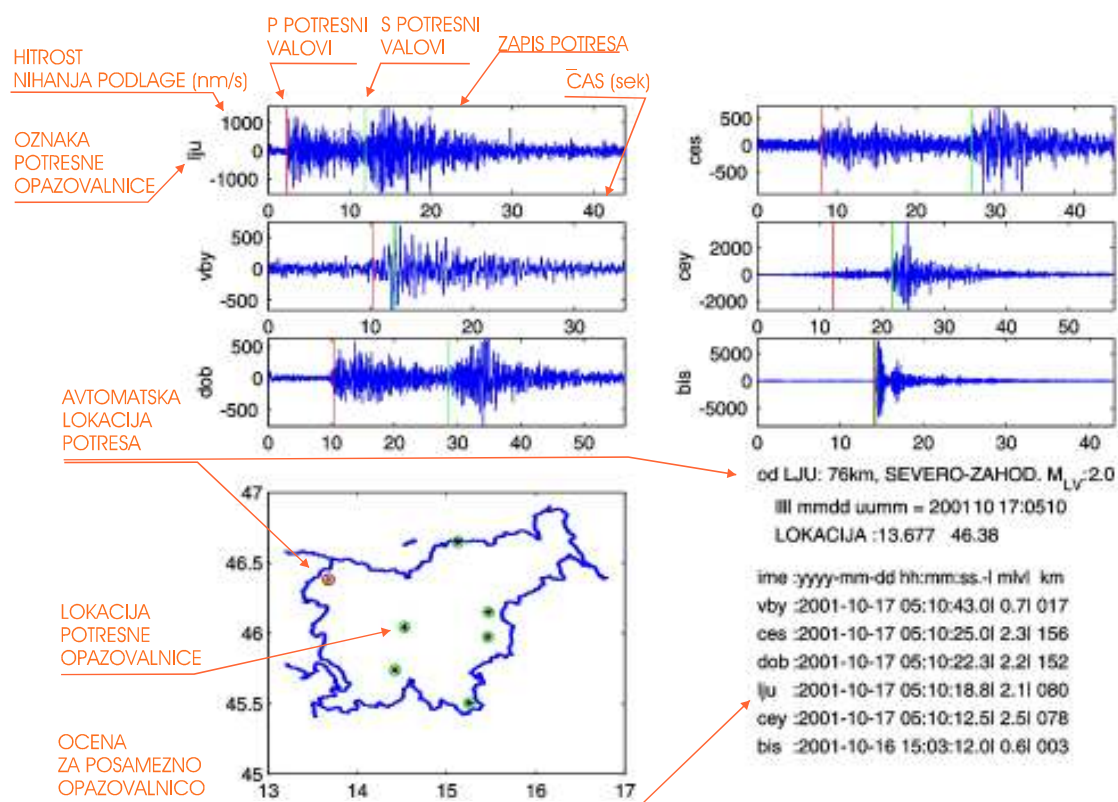
Avtomatski sistemi, ki jih uporabljamo za alarmiranje in avtomatsko lociranje potresa, še vedno ne morejo popolnoma nadomestiti strokovnjaka, saj ne delujejo na osnovi prepoznavanja zapisov potresov ampak na osnovi koincidence dogodkov. Če več potresnih opazovalnic v nekem kratkem časovnem intervalu zazna dogodek, je to najverjetneje potres, ki je lahko je lokalni ali oddaljen, lahko pa je samo naključna motnja.

Ker strokovnjak (vsaj v veliki večini primerov) v hipu lahko prepozna, ali dogodek predstavlja potres ali pa je to le zapis motnje, sem želel narediti avtomatski opozorilni sistem, ki bo v

primeru alarma pripravil še grafično podlago – sliko. Ta je koristna tudi zato, ker računalnik, ki ima programsko opremo za analizo seizmičnih zapisov, ni vedno dostopen.

Zato sem pripravil program, ki je takoj, ko je zapis prišel v bazo zadnjih dogodkov PODATKI, na tem zapisu avtomatsko določil čas prihoda P in S potresnih valov (Tasič, 2000) ter v grafično podlogo narisal vertikalno komponento zapisa (Tasič, 2001).

Če je več potresnih opazovalnic v določenem časovnem intervalu zaznalo dogodek, se je vklopil program za lociranje potresa, njegova lokacija se je izrisala na grafično podlago. Izpisani so bili tudi osnovni parametri potresa. Hkrati sem dobil še obvestilo preko e-pošte oziroma SMS sporočila. Grafično podlogo sem poimenoval PRIKAZ.



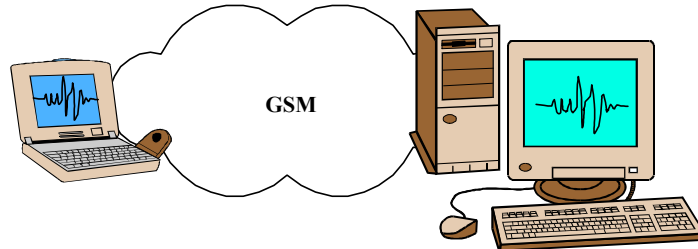
**Slika 2. Primer "PRIKAZ"-a.**  
**Figure 2. "PRIKAZ" example.**

Na sliki 2 je primer PRIKAZ-a. Komentarji so napisani v oranžni barvi. Avtomatska lokacija nadžarišča potresa je 13,68 vzhodne zem. dolžine in 46,38 severne zem. širine, z močjo potresa  $M_{LV}=2,0$ . Detektor na potresni opazovalnici BIS ni zaznal tega potresa. Zaradi lokalnih nastavitvev detektorja na potresni opazovalnici VBY, je le-ta zaznal prihod S valov (P potresni valovi so bili prešibki). Avtomatsko določen prihod P valov (dejansko S valov) je napačen in ocena moči potresa iz te opazovalnice je neveljavna. Podatek o nadžarišču iz preliminarnega biltena (lokacijo je ocenil dežurni seizmolog), je 13,71 vzhodne zem. dolžine in 46,31 severne zem. širine, z močjo  $M_{LV}=2,1$ . Avtomatska lokacija se od ročne razlikuje za 7 km. To je za potres z malo močjo, ki se hkrati nahaja izven območja idealnega pokrivanja potresnih opazovalnic (Ravnik in sod. 2001), zelo zadovoljivo.

Zaradi prenosa podatkov na daljavo je seveda priporočljivo, da je velikost datoteke, ki vsebuje sliko, čim manjša. Istočasno pa mora biti slika za uporabnika dovolj nazorna. Zato



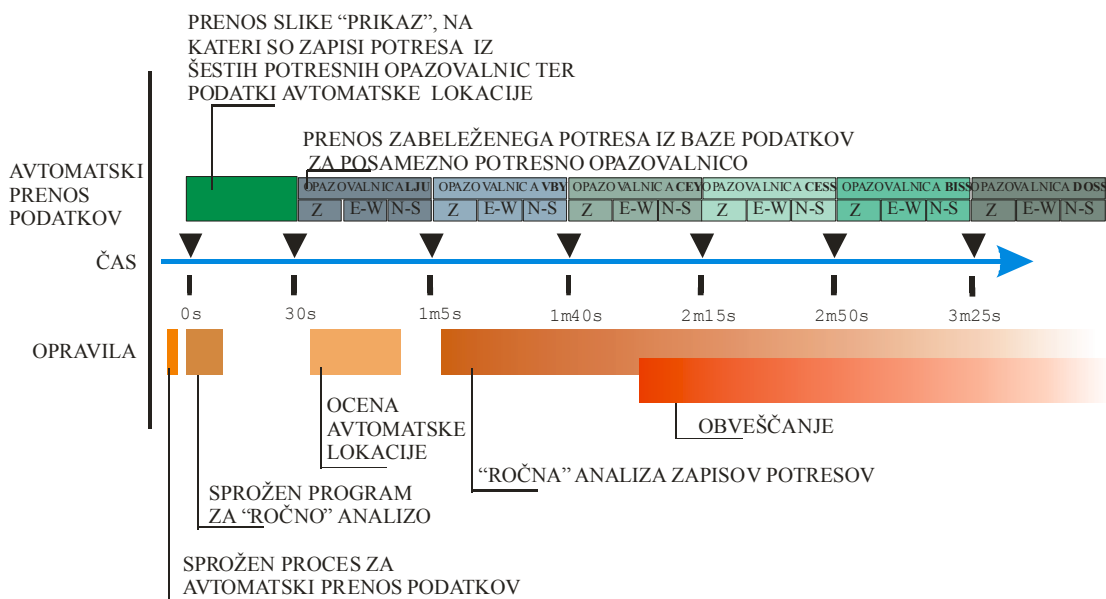
sem se odločil za format EPS. Povprečna velikost datoteke je 350 KB. Taka velikost datoteke omogoča hiter prenos tudi preko GSM modema. Seveda vsak dogodek ni potres in tudi vsaka avtomatska lokacija ni prava. Toda zaradi slike sedaj hitreje in enostavneje ugotovim, kaj je pomenilo avtomatsko generirano sporočilo.



**Slika 3.** Programski paket PRIKAZ omogoča enostavno kontrolo podatkov s prenosnim računalnikom preko GSM modema.

**Figure 3.** Software package PRIKAZ enables simple control of data also from a portable computer via GSM modem.

Slika PRIKAZ ni namenjena laični javnosti. Prikazi zapisov potresov so »špartansko« opremljeni. Zaradi »varčevanja« pri velikosti datoteke so prikazane samo vertikalne komponente. Taka slika popolnoma zadostuje za hitro prepoznavanje in lociranje dogodka.



**Slika 4.** Programski paket PRIKAZ omogoča hitro preliminarno analizo zapisov potresa tudi preko klicne telefonske linije.

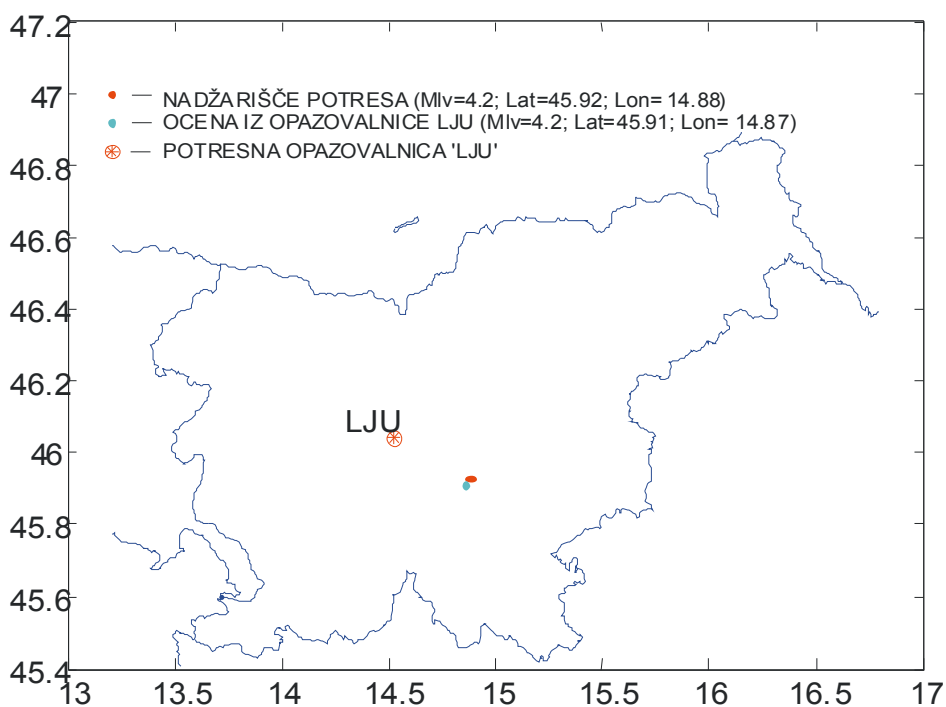
**Figure 4.** Software package PRIKAZ enables fast and accurate "manual" analyze of seismic data also via telephone line.

Celoten sistem, ki vključuje hitri prikaz zapisov potresov, bazo zadnjih dogodkov in programsko opremo za analizo, omogoča hitro analizo tudi na daljavo, preko klasične telefonske linije. Na sliki 4 je shematski prikaz postopkov v primeru, ko strokovnjak na domu dobi SMS obvestilo o potresu (primer je realen, hitrost prenosa podatkov preko modema je bila 33,6 kb/s). Najprej je potrebno sprožiti proces avtomatskega prenosa podatkov, takoj za tem pa zagnati programsko opremo za analizo podatkov - ANALIZA. V tem času (približno 30 sek), se prikaže slika »PRIKAZ« s sledmi potresa in avtomatsko lokacijo. Ti podatki zadoščajo za oceno realnosti (natančnosti) avtomatske lokacije. Takoj, ko je slika PRIKAZ

prenesena, začnejo iz baze PODATKI prihajati zapisi potresa za posamezno potresno opazovalnico. V primeru, da je bil potres zabeležen na vseh potresnih opazovalnicah, lahko "ročno" obdelamo podatke v manj kot treh minutah.

### Kaj lahko naredimo, ko imamo podatke o potresu iz ene same opazovalnice

Dne 31. 8. 1998 sem v zgodnjih urah jezno gledal v računalnik, ki nikakor ni hotel pokazati volje za sodelovanje. Računalnik je skrbel za komunikacijo s potresnimi opazovalnicami po Sloveniji. Ker se problemi vedno stopnjujejo, je odpovedal še rezervni računalnik, ki prevzame komunikacijo v primeru, ko odpove glavni računalnik. Telefoni so neutrudno zvonili, ljudje so želeli vedeti, kje je bilo žarišče potresa, ki jih je tako neusmiljeno prebudil iz spanca. Na voljo sem imel samo podatke iz digitalne potresne opazovalnice LJU, ki je instalirana na Golovcu v Ljubljani. Ni mi preostalo drugega, kot da sem ocenil parametre potresa s pomočjo ene opazovalnice in sprožil obveščanje ustreznih institucij.



**Slika 5.** Parametri potresa določeni z eno opazovalnico (zelena točka).

**Figure 5.** Earthquake parameters, determined by one station (green dot).

Ocena parametrov lokalnega potresa je možna samo ob izpolnjevanju nekaterih osnovnih pogojev. Na sliki 5 vidimo, da ocena o lokaciji nadžarišča potresa (zelena točka), ki smo jo dobili pri analizi potresa, zabeleženega na opazovalnici LJU, ne odstopa bistveno od "prave" lokacije nadžarišča (rdeča točka).

Da bi lahko analizirali potres, ki ga je zabeležila ena sama opazovalnica, mora biti le-ta opremljena z digitalnim sistemom s trikomponentnim senzorjem, ležati pa mora na seizmogeološko zelo ugodnih tleh. Poleg tega morata biti prihoda P in S potresnih valov na zapisu potresa zelo dobro vidna, seizmični šum pa mora biti zelo majhen v primerjavi z vstopom prvih P potresnih valov....

Določanje parametrov lokalnega potresa s pomočjo ene same potresne opazovalnice zahteva mnogo več vedenja o potresih, o strukturi zemeljske notranjosti in hitrosti potresnih valov, kot pa lociranje s pomočjo mreže potresnih opazovalnic. Na obliko zapisa potresnega valovanja vplivajo: žariščni mehanizem, fizikalne lastnosti snovi, skozi katero potuje valovanje, lom, odboj in sipanje na nezveznostih med posameznimi zemeljskimi plastmi, vpliv snovi na dušenje valovanja, položaj potresne opazovalnice, merilni sistem in seizmični šum. Notranjost zemlje ni homogena, saj je sestavljena iz različnih plasti. Potresni valovi potujejo preko razsežnih območij, kjer se elastične lastnosti snovi medsebojno razlikujejo. Čim bolj so plasti raznolike, tem bolj je zapis potresa kompleksen. Amplituda nihanja tal je odvisna tudi od razdalje med žariščem potresa in potresno opazovalnico. Sevalna funkcija za potresne valove v žarišču potresa ni krogelno simetrična. Tudi "sprejemna" funkcija senzorja ni simetrična tako zaradi senzorja, kakor tudi zaradi podlage, na kateri leži potresna opazovalnica.

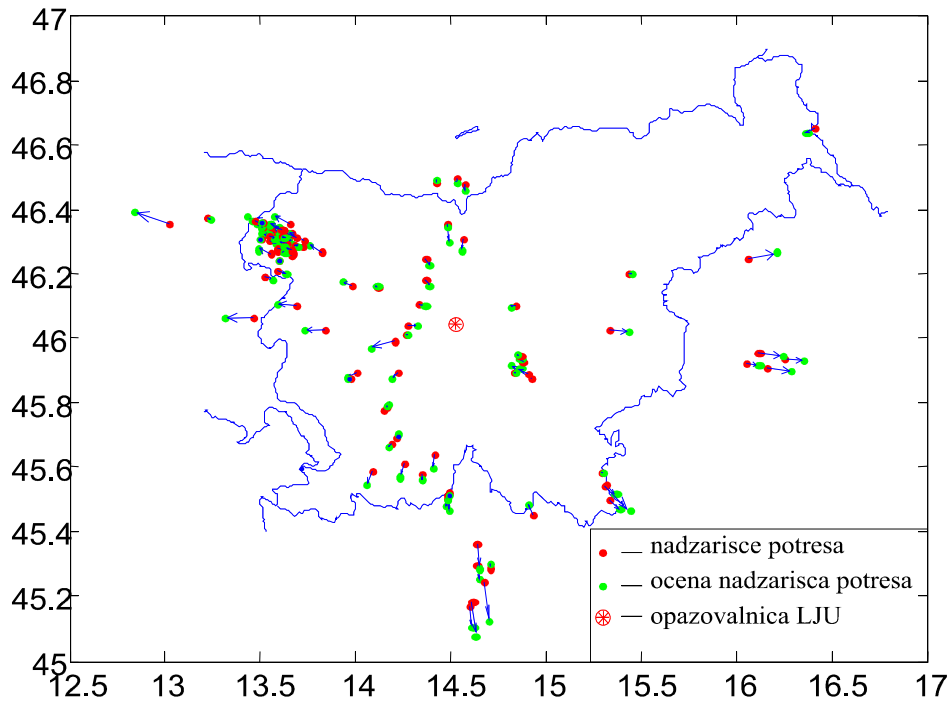
V resnici imamo pri postopku lociranja potresa mnogo neznank. Ponavadi napake pri oceni parametrov potresa zmanjšamo z mrežo potresnih opazovalnic, kjer so opazovalnice razporejene okoli žarišča potresa.

Pri oceni oddaljenosti žarišča od potresne opazovalnice nam pomaga dejstvo, da je pri potresu izvor P in S potresnih valov v žarišču potresa istočasen. V kamninah je razmerje hitrosti obeh tipov valov približno konstantno z vrednostjo  $c_p/c_s \approx 1,73$ . Če torej poznamo čas prihoda P in S potresnih valov do potresne opazovalnice, lahko iz razlike v času ocenimo njeno oddaljenost od nadžarišča lokalnega potresa. Ko imamo znano oddaljenost, lahko ocenimo moč potresa. Smer prihoda potresnega valovanja ocenimo z vektorsko analizo prvih P potresnih valov na zapisu. Na določitev smeri prihoda potresnih valov vpliva predvsem lokalna geologija, lokalni seizmični šum in seveda žariščni mehanizem. Na to oceno vpliva tudi orientacija senzorja. Po dogovoru so horizontalne komponente senzorja postavljene v smeri sever-jug ter vzhod-zahod. Če nadžarišče potresa leži v smeri teh osi, je smer prihoda potresnih valov zaradi seizmičnega šuma še težje določiti.

Žal ti osnovni pogoji niso vedno izpolnjeni. Potresna opazovalnica LJU je zgrajena v karbonskih peščenjakih, ki v seizmogeološkem smislu pomenijo srednje ugodna tla. Je v neposredni bližini močnega vira seizmičnega šuma - urbanega naselja, kar poveča nenatančnost. Tudi predpostavka, da je razmerje med hitrostmi P in S potresnih valov konstantno, ne velja popolnoma. Na sliki 6 vidimo, da se ocena oddaljenosti nadžarišča potresa, ki jo ocenimo iz ene opazovalnice, ne ujema povsod z dejansko lokacijo. Uporabili smo 109 zapisov potresov iz let 1997 in 1998 z magnitudami med 1,7 in 5,6  $M_{LV}$ , ki smo jih zabeležili na opazovalnici LJU. Večino teh potresov so čutili prebivalci Slovenije. Na sliki 7 vidimo, da je še težje določiti smer prihoda potresnih valov. Od 109 zapisov smo le v 52 primerih zadovoljivo ocenili smer prihoda v horizontalni ravnini, to je pod  $10^\circ$ . Pri 30 dogodkih pa je napaka v oceni smeri žarišča nad  $20^\circ$ . Na napako najbolj vpliva seizmični šum.

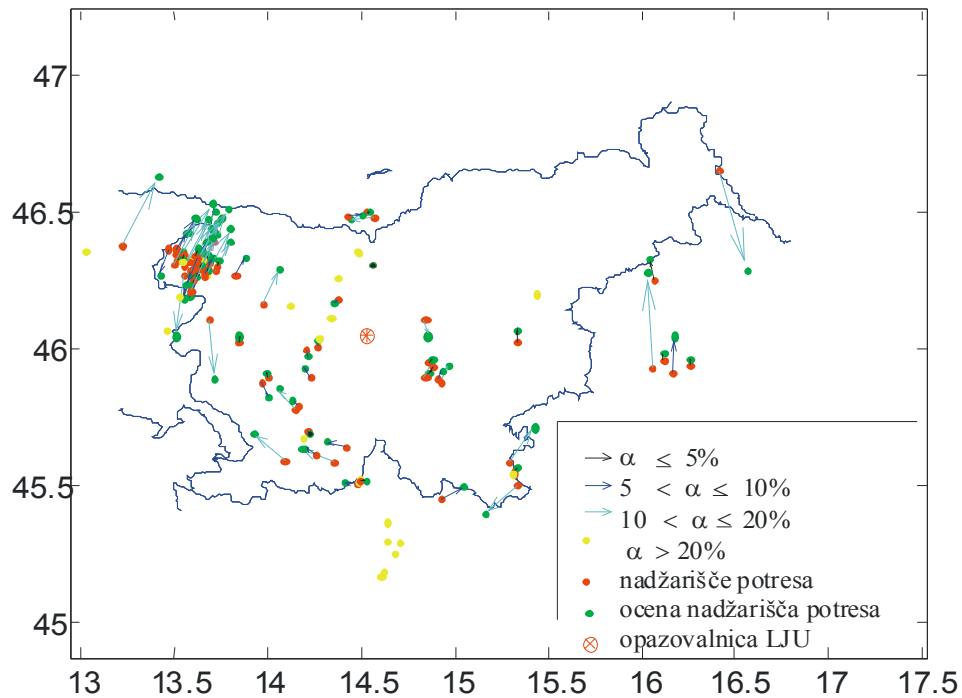
Zavedati se moramo, da je nezanesljivost pri ocenjevanju parametrov potresa z eno potresno opazovalnico zelo velika. To nezanesljivost lahko zmanjšamo z neprestanim zbiranjem digitalnih seizmoloških podatkov, kvalitetno bazo podatkov in "inteligentnim" sistemom, ki bo s pomočjo baze in zaznanih dogodkov avtomatsko neprestano izboljševal tako model žariščnih mehanizmov na slovenskem ozemlju, kot tudi hitrostni model potresnih valov.

Trenutno preizkušam programsko opremo, ki avtomatsko oceni vse osnovne parametre iz ene same potresne opazovalnice. Za potres, ki smo ga omenili na začetku tega poglavja (slika 5), dobimo naslednje podatke:  $M_{LV}=4,3$ ,  $Lat=45,88$   $Lon=14,81$ . Kot vidimo, avtomatska analiza ne more nadomestiti strokovnjaka, vendar sama ocena parametrov potresa ni tako slaba.



**Slika 6.** Oddaljenost nadžarišča od potresne opazovalnice lahko ocenimo ob predpostavki, da je razmerje hitrosti  $P$  in  $S$  potresnih valov konstantno. Vendar to ne drži popolnoma.

**Figure 6.** The distance between epicentre and seismic station can be estimated on presumption that the  $P$  and  $S$  seismic waves ratio is constant. That is not entirely accurate.



**Slika 7.** Ocena smeri prihoda potresnih valov v horizontalni ravnini.  
**Figure 7.** Estimation of the seismic waves direction in horizontal plane.

## Zaključek

Urad za seizmologijo v tem času posodablja mrežo potresnih opazovalnic. Mreža, ki bo vključevala petindvajset opazovalnic v Sloveniji, bo neprimerno bolj občutljiva, zato bo natančnost avtomatskega lociranja večja. Tudi informacijska tehnologija bo s svojim razvojem omogočila še hitrejši in enostavnejši dostop do podatkov iz tistih mest, ki niso povezana z računalniško mrežo preko fiksnih komunikacijskih poti. Predstavljam si, da bodo za analizo potresa zadostovali miniaturni dlančniki z vgrajenim GSM modemom in ne nerodni prenosni računalniki. Trenutno celoten paket PRIKAZ omogoča hiter dostop do podatkov ter enostavno kontrolo SMS sporočila oziroma e-obvestila tudi od doma. Z njegovo pomočjo sem lahko v zelo kratkem času od doma odgovoril na preplašene klice znancev, kje in kako močan je bil potres. Nepogrešljiv je bil tudi v tistih primerih, ko me je ponoči prebudilo nihanje tal in sem lahko tako rekoč med preoblačenjem analiziral zapise potresov. Predvsem pa je pomembno, da je večina programske opreme, ki jo uporabljamo, plod "domačega znanja".

## Literatura

- Nanometrics, 1995. Digital Seismograph System Reference Manual, Nanometrics Inc., Kanata, Canada
- Nanometrics, 1995. Digital Seismograph System User Guide, Nanometrics Inc., Kanata, Canada
- Navodilo za delo ob potresu, verzija 1998, Interno navodilo URSG, Ljubljana.
- Ravnik, J., Živčič, M., Trnkoczy, A., 2001. Modeliranje zmogljivosti mreže potresnih opazovalnic, Potresi v letu 1999, Agencija RS za okolje, Ljubljana.
- Ribarič, V., 1984. Potresi. Cankarjeva Založba, Ljubljana.
- Tasič, I., Casar, J., 1998. Analiza, Interno navodilo 1998, Agencija RS za okolje, Ljubljana.
- Tasič, I., 2000. Karakterizacija vstopa potresnih valov s simuliranimi nevronskimi mrežami, Magistrsko delo, Fakulteta za strojništvo.
- Tasič, I., 2001a. Opredelitev vstopa potresnih valov lokalnega potresa, Potresi v letu 1999, Agencija RS za okolje, Ljubljana.
- Tasič, I., 2001b. Digitalna mreža potresnih opazovalnic Nanometrics, Potresi v letu 1999, Agencija RS za okolje, Ljubljana.
- Tasič, I., 2001c. Hitri pregled zadnjih zabeleženih seizmičnih zapisov, Interno navodilo 2001.

# ODSTRANJEVANJE ŠUMOV IZ SEIZMOGRAMOV

## SEISMOGRAM DENOISING

Bojan Uran

***Izvleček.** Pri meritvah vedno nastopa šum, ki je posledica različnih procesov. Ogleдали si bomo različne načine filtriranja signalov in jih primerjali z odstranjevanjem šumov s pomočjo razvoja po valčkih in odstranjevanja majhnih nekoreliranih koeficientov s pomočjo trdega praga. Na ta način obdelani signali obdržijo glavne amplitudne in fazne značilnosti originalnega signala.*

***Abstract.** There is always some noise added to the signal. I'll compare traditional frequency filtering and denoising using wavelets and hard thresholding. Using this method, the strong features in processed signals remain the same.*

### Uvod

Pri meritvah vedno nastopa šum, ki je posledica različnih dejavnikov. Ločimo naravne šume in šume, ki nastanejo kot posledica človeškega delovanja. Med naravne izvore štejemo premikanje mas v jezerih, rekah, oceanih, atmosferske motnje in motnje, ki se preko nihanja dreves, grmovja ali objektov zaradi vetra prenašajo v zemljo. Promet, industrija in žage so primeri virov umetno povzročene valovanja. Slednji vsebujejo višje frekvence in se zato z razdaljo hitreje zadušijo. Ne smemo zanemariti tudi šuma merilnega sistema, ki se naloži na seizmogram.

Veliko pozornosti posvečamo izbiri in pripravi lokacije za seizmometer. Najlažje je že v samem začetku poiskati lokacijo, ki je čimbolj oddaljena od raznih virov motenj: cest, železnice, industrijskih objektov, žag, elektrarn, ... S postavitvijo v jašek se zmanjša vpliv sprememb zračnega pritiska in temperatur. Dobra geološka podlaga je osnova za dobro opazovalnico, saj se lahko šum na mehki podlagi okrepi. Kljub temu se raznim motnjam ne moremo povsem izogniti, zato so potrebne določene obdelave, s katerimi odstranimo šum iz sodobnih digitalnih zapisov potresov.

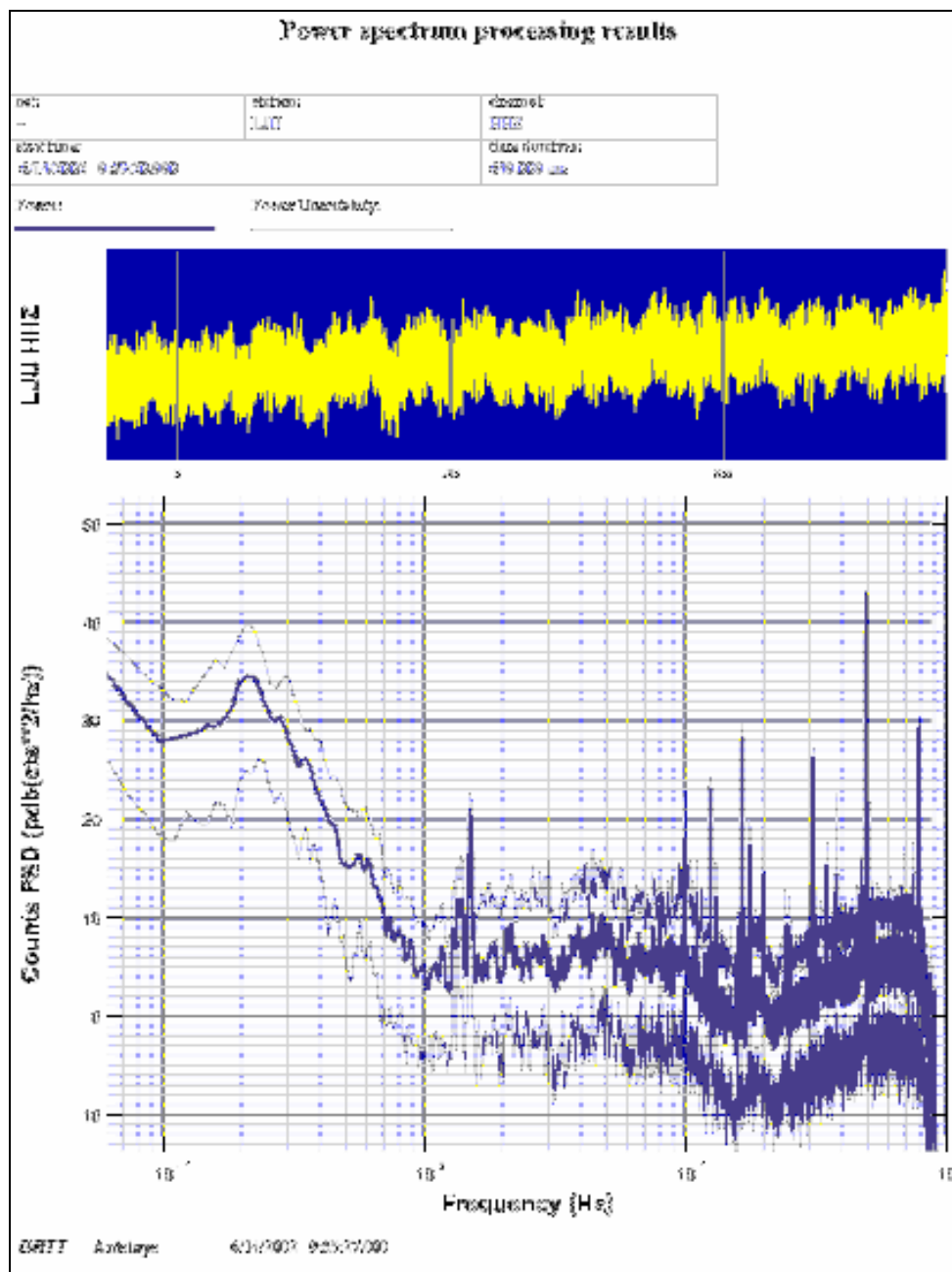
Primer zapisa porazdelitve gostote močnostnega spektra je na sliki 1. Prikazuje 10 minutni zapis na nekorrigirani navpični komponenti inštrumenta Quanterra na Observatoriju na Golovcu. V zgornjem delu slike je seizmogram in v spodnjem delu gostota močnostnega spektra. Za frekvence med 1 in 50 Hz je šum približno konstanten, tako da ga lahko opišemo kot beli šum. Seizmometer ima mejno frekvenco 50 Hz in odreže višje frekvence, zato je pri višjih frekvencah signal manjši. Poleg tega opazimo posamezne vrhove šuma pri določenih frekvencah, kar je povezano z lokalno seizmogeološko zgradbo in drugimi vplivi. Šum se s časom spreminja. Različen je podnevi in ponoči ter v različnih letnih časih.

Pomembno je tudi, za kakšen namen bomo uporabili podatke. Za določitev vstopnih časov posameznih faz potresnih valov je motnja vse, razen potresa. Pri določanju ojačanja valovanja zaradi lokalne geološke zgradbe uporabimo samo zapis šuma.

Pri delu se bom omejil na model belega šuma, ki ga skušamo odstraniti, da so vstopni časi posameznih faz potresnih valov čimbolj jasno vidni.

## Filtriranje

Filter prepušča določeno vrsto signalov, druge pa zadrži. Ogleдали si bomo nekaj vrst filtrov, ki jih lahko uporabimo na seizmogramih.



*Slika 1. Primer gostote močnostnega spektra za zapis dolžine 10 minut na nekorigirani navpični komponenti inštrumenta Quanterra na observatoriju na Golovcu. Debelejša srednja črta je spektralna gostota, tanjši črti pa merska negotovost.*

*Figure 1. Power spectra density of 10 minutes of signal, recorded by Quanterra at the observatory.*

## Frekvenčno filtriranje

Če se frekvenčno področje seizmičnega signala, ki nas zanima, bistveno razlikuje od frekvenčnega področja šuma, lahko uporabimo za odstranjevanje šuma frekvenčno filtriranje. Na frekvenčni spekter signala vpliva več dejavnikov. Odvisen je od moči potresa. V korigiranem frekvenčnem spektru pomikov, ki opisuje potresni izvor, so zastopane vse

frekvence od najnižjih do mejne frekvence, kar nam služi kot osnova za izračun navorne magnitude potresa. Zaradi končne dimenzije prelomne ploskve in končne hitrosti zdrsa na prelomni ploskvi je mejna frekvenca potresnega izvora omejena. Nad njo spekter pojema obratnosorazmerno s kvadratom frekvence. Pri manjših potresih na isti oddaljenosti so zastopane višje frekvence, kot pri močnih potresih.

Zemlja deluje kot nizkoprepustni filter in pri razširjanju valovanja močnejše zaduši visoke frekvence. S tem se spet zmanjša delež visokih frekvenc. Parametre filtra moramo prilagajati frekvenčnemu spektru šuma in signala za vsak primer posebej.

Težava nastopi, če se frekvenčni področji signala in šuma pokrivata. Takrat pokosimo rože hkrati s plevelom. Pri frekvenčnem filtriranju se lahko spremeni tudi faza signala, kar vpliva na obliko ostrih vstopov posameznih faz, saj te vsebujejo širok spekter frekvenc.

### **Hitrostno filtriranje**

Zapisi potresov so si podobni na večjo razdaljo kot šum, ki je po naravi nekoherenten. Namesto enega seizmometra jih lahko v primerno medsebojno oddaljenost postavimo cel niz. Že preprosto seštevanje signalov nam ojača signal in zmanjša šum. Frekvenčno krajevno filtriranje signalov ob poznavanju smeri prihoda in hitrosti signala v nizu nam omogoča še večje izboljšanje razmerja signala in šuma. Pri nas zaenkrat še nimamo nizov seizmometrov.

### **Polarizacijsko filtriranje**

Iz trikomponentnega zapisa potresa lahko izračunamo polarizacijo. To naredimo s križno korelacijsko funkcijo. Potem izračunamo stopnjo linearne polarizacije, kar pomeni, da niha valovanje v fazi na vertikalni in horizontalnih komponentah, in je največja za vstopne čase P in S valov. Signali potujejo od žarišča skozi različne plasti, katerih lastnosti se spreminjajo. Najprej pride valovanje, ki je šlo po poti z najkrajšim časom potovanja. Sledijo deli valovanja, ki so se pri potovanju skozi različne plasti lomili, odbijali, spreminjali iz ene vrste valovanja v drugo in sipali na nehomogenostih v Zemlji. To povzroči, da se polarizacija v delu valovanja, ki sledi prvim prihodom potresnih valov, izgubi.

### **Odstranjevanje šumov**

#### **Neparametrična regresija**

Merske podatke pogosto aproksimiramo s premico ali polinomom nizke stopnje, kar je posledica znane medsebojne odvisnosti merskih količin. Na ta način poiščemo določeno zakonitost v podatkih. Metodo imenujemo tudi parametrična regresija.

Cilj neparametrične regresije je rekonstruirati neznano funkcijo iz merskega signala, ki mu je dodan Gaussov šum. Za funkcijo zelo na splošno predpostavimo, da pripada določeni vrsti gladkih funkcij. Pri tem ne predpostavimo določene strukture podatkov, kot pri parametrični regresiji, kjer iščemo na primer linearno regresijo. Uporabna je za zapletene signale, kjer ne moremo narediti uporabnega parametričnega modela. Menje sodijo tudi seizmični signali.

V preteklosti je bil poudarek na linearnih cenilcih za neparametrično regresijo. To so bile funkcije za glajenje z različnimi jedri, ki so se dobro obnesle za bolj gladke funkcije, brez hitrih sprememb v lastnostih. Za razliko od teh si bomo ogledali nelinearne metode, pri katerih



se cenilec prilagaja podatkom in ga ne moremo definirati neodvisno od njih. Še prej si bomo ogledali dve metodi, po katerih ocenjujemo odločitveno funkcijo.

### Bayesova metoda

Signal  $f[n]$  velikosti  $N$  ima dodan šum, ki je posledica slučajnega procesa  $W[n]$ , katerega verjetnostna porazdelitev je znana. Merjeni signal je

$$X[n] = f[n] + W[n]. \quad (1)$$

Signal  $f$  določimo s transformacijo signala s šumom  $X$  z odločitveno funkcijo  $D$ . Dobljeni cenilec je

$$\hat{f} = DX \quad (2)$$

Naš cilj je zmanjšati napako cenitve, ki jo merimo z izgubo. Tveganje cenilca  $r(D, f)$  je povprečna izguba, izračunana z upoštevanjem verjetnostne porazdelitve šuma  $W$ , kjer je  $E$  matematično upanje

$$r(D, f) = E\{\|f - DX\|^2\} \quad (3)$$

Optimizacija odločitvene funkcije temelji na a priori informaciji o signalu. Bayesova teorija predpostavlja, da poznamo verjetnostno porazdelitev signala in  $D$  optimira tako, da minimira pričakovano tveganje  $r(D, f)$ .  $D$  je lahko zapletena nelinearna funkcija, ki jo težko izračunamo. Zato omejimo  $D$  na linearne funkcije. Za tak primer dobljeni  $\hat{f} = DX$ , ki doseže najmanjše Bayesovo tveganje, imenujemo Wienerjev cenilec.

Glavna težava pri Bayesovi metodi je zadostnost informacij, s katerimi definiramo a priori verjetnostno porazdelitev, kar za kompleksne signale ni vedno možno.

### Minimaksna metoda

Minimaksna metoda uporablja preprostejši model, ki uvrsti signal v določeno kategorijo. Kategorija signala je na primer, da ima največ nekaj nezveznosti, ima omejene odvode in podobno, kar je bistveno blažja zahteva kot poznavanje verjetnostne porazdelitve. Cilj je minimizirati največje tveganje za to kategorijo. Minimaksni cenilec lahko predstavimo tudi kot Bayesov cenilec za najmanj ugodno a priori porazdelitev signala. V praksi iščemo odločitveno funkcijo, ki je preprosta za uporabo.

### Šum in ortonormirane baze

Eden od osnovnih pristopov k neparametrični regresiji je razvoj neznane funkcije s pomočjo Fourierove transformacije in določitev Fourierovih koeficientov iz podatkov. Prvotni problem neparametrične regresije spremenimo v parametričnega, čeprav je potencialno število parametrov neskončno. Pri ortonormalni projekciji se izkaže, da so signali urejeni, medtem ko šum ni urejen in je bolj ali manj enakomerno raztresen po celotnem območju. Namesto razvoja s Fourierovo transformacijo lahko uporabimo razvoj v ortonormirano bazo po valčkih. Ti bolj učinkovito zakodirajo signal, zato potrebujemo za opis manjše število parametrov.

## Valčki

Fourierova transformacija predstavlja ortonormirani razvoj signala po sinusih in kosinusih različnih frekvenc. Bazne funkcije so tako zvezne funkcije, zato je orodje primerno za stacionarne signale. Pri teh se frekvenca ne spreminja s časom. Funkcija sama prikazuje časovni potek signala, vendar o frekvencah ne pove ničesar. Če ima signal polovico časa eno frekvenco, drugo polovico pa drugo, s Fourierovo transformacijo ne moremo ločiti, temveč dobimo samo povprečno vrednost frekvence. Fourierova transformiranka prikaže informacijo o frekvencah, informacijo o času pa skriva v fazo, od koder je ne moremo dobiti na preprost način. Zaradi tega je nemogoče povedati, kako se frekvenca spreminja s časom.

V vsakdanjem življenju imamo opravka predvsem z nestacionarnimi signali, za katere klasična Fourierova analiza ni najbolj primerna. Primer za to je na primer govor ali zapisi potresov. Potrebujemo orodje, ki omogoča sočasno frekvenčno časovno analizo, da ugotovimo, kako se frekvence spreminjajo s časom. Razvoj je šel v smeri okenske Fourierove transformacije, pri kateri signal razdelimo na več časovnih oken in naredimo analizo na posameznih oknih. Težava je v pravilni izbiri okna, saj z velikim oknom zajamemo večje območje frekvenc, izgubimo pa časovno ločljivost. To je posledica Heisenbergovega načela nedoločenosti, ki ga poznamo tudi pri kvantni mehaniki, ko ne moremo sočasno natančno določiti lege delca in njegove hitrosti. Je tudi osrednji del informacijske teorije in definira spodnjo mejo produkta časovne in frekvenčne variance signala. Pri digitalni telefoniji zaradi tega transformirajo signal v višje frekvence, da lahko sočasno prenesejo večjo količino informacij.

Sredi osemdesetih let prejšnjega stoletja se je pričel razvoj teorije valčkov kot sinergija raziskav na različnih področjih. Ime valčki izhaja iz zahteve, da funkcija niha pod in nad osjo, tako da je njeno povprečje enako nič. Funkcija je časovno in frekvenčno omejena, zato je majhni val ali valček. S premikanjem valčka po časovni osi opišemo časovne spremembe. S širitvijo in krčenjem valčka, kar dosežemo s spremembo dilacijskega parametra, zajamemo različne frekvence. Na takšen način lahko opišemo vse vrste signalov in s tem dobimo nov jezik, ki je bolj primeren za opis prehodnih pojavov. Oblik valčkov je več, izpolnjevati morajo le določene pogoje.

Z uporabo kvadraturnih zrcalnih filtrov postane razvoj po valčkih podoben običajnemu filtriranju. Če vzamemo Haarovo stopničasto funkcijo kot najpreprostejši valček, dobimo detajle kot razliko zaporednih vrednosti, aproksimacijo pa kot povprečje zaporednih vrednosti. Zatem odstranimo vsak drugi vzorec v aproksimaciji signala in ponovimo analizo na tako filtriranem signalu. Na splošno pravimo temu postopku multiresolucijska analiza in nas pripelje do zaporedja detajlov za posamezne skale, kar ustreza razvoju signala v podpasove.

Valčki omogočajo učinkovit zapis signala z majhnim številom od nič različnih koeficientov. Samo največji koeficienti vsebujejo informacijo o funkciji, medtem ko so majhni koeficienti posledica šuma.

Donoho in Johnstone (1994, 1995, 1998) sta pokazala, da ima pragovni cenilec v bazah iz valčkov tveganje, ki je skoraj optimalno po minimaksni metodi.

Postopek je preprost. Signal z valčno transformacijo pretvorimo v koeficiente detajlov za različne skale. Pri tem valčna transformacija razvrsti signal v nekaj velikih koeficientov,

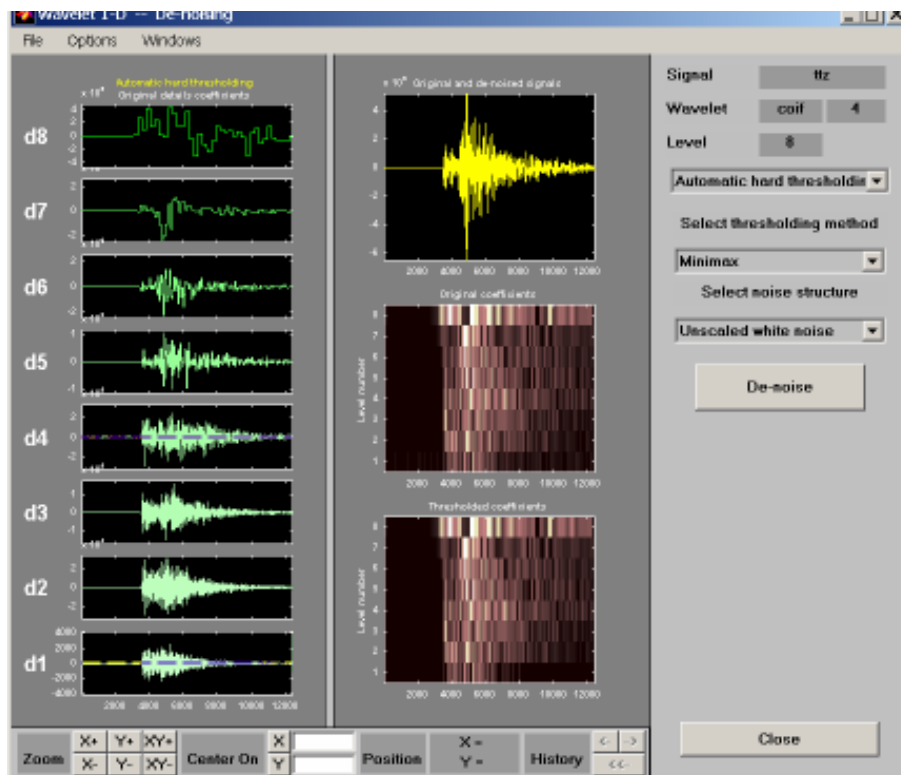
medtem ko ostane šum nerazporejen, v obliki majhnih koeficientov. Na podpasovih določimo raven šuma iz mediane absolutne vrednosti koeficientov pri razvoju po valčkih za najvišje frekvence (Donoho in Johnstone, 1994)

$$\hat{\sigma} = \frac{\text{median}\left(\left\{\left|\hat{d}_{J-1,k}\right| : k = 0, 1, \dots, 2^{J-1} - 1\right\}\right)}{0.6745} \quad (0.4)$$

Za odstranjevanje šumov s trdim pragom  $\lambda$  uporabimo pravilo

$$\delta_{\lambda}^H(\hat{d}_{jk}) = \begin{cases} 0, & \left|\hat{d}_{jk}\right| \leq \lambda \\ \hat{d}_{jk}, & \left|\hat{d}_{jk}\right| > \lambda \end{cases} \quad (0.5)$$

in odstranimo vse koeficiente, ki so manjši od praga (hard thresholding). Druga možnost je, da koeficientom nad pragom odštejemo vrednost praga, manjše od praga pa odstranimo (soft thresholding). Zatem rekonstruiramo signal z inverzno valčno transformacijo in dobimo signal z odstranjenim šumom. Pri rekonstrukciji lahko upoštevamo vse podpasove, ali pa odstranimo na primer tiste z najnižjimi frekvencami. Te so običajno povezane z lezenjem v seizmometru ali seizmografu in motijo recimo pri integraciji zapisa hitrosti nihanja tal v pomike.



**Slika 2.** Valčna analiza navpične komponente zapisa potresa pri Trebnjem. Originalni signal v vzorcih pri 200 Hz je na zgornji sliki v sredini. Pod njo je frekvenčno časovni prikaz signala, pri čemer je 1 najnižja skala, ki predstavlja najvišje frekvence. Spodaj je enak prikaz za signal z odstranjenim šumom. Levo so koeficienti detajlov pri razvoju po valčkih. Signal je lepo viden v različnih podpasovih.

**Figure 2.** Wavelet analysis of the vertical component of a local earthquake with epicentre 35 km from Observatory and  $M_L=4.2$ . Wavelet details are on the left side. At the middle top picture the original signal is in red and denoised signal is in yellow. Below is the frequency time representation.

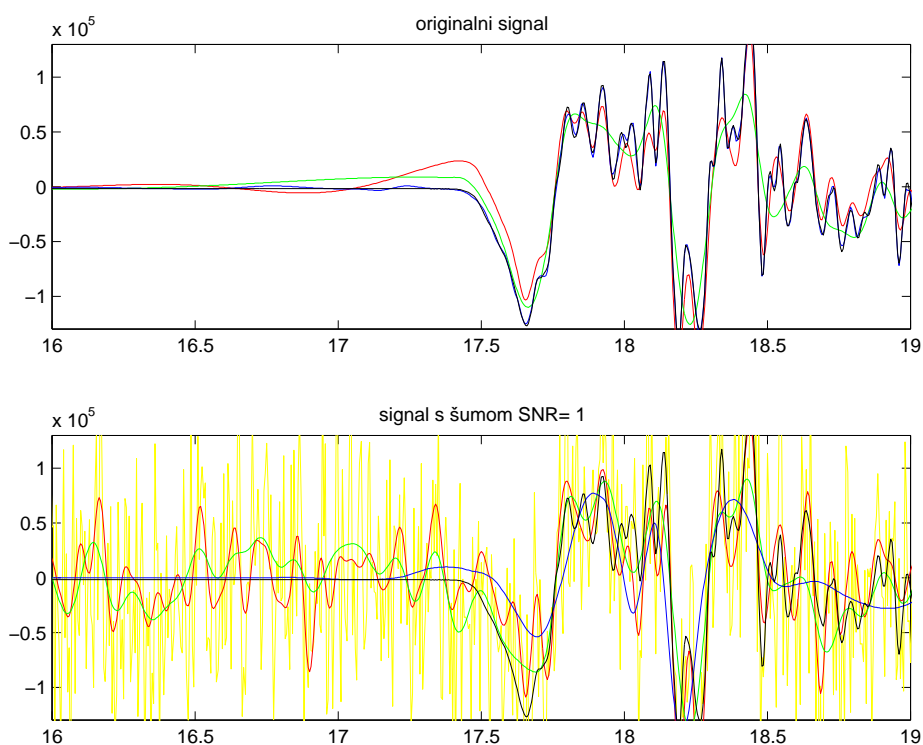
Z odstranitvijo koeficientov pri razvoju po valčkih v podpasove, pod določenim pragom za določeno skalo in rekonstrukcijo tako spremenjenih podatkov odstranimo šum. Pri tem ohranimo pomembne značilnosti v signalu, ker so te povezane z večjimi vrednostmi koeficientov detajlov analiziranih signalov. Takšna aproksimacija je nelinearna, ker je odvisna od signala samega.

Poleg cenilca s pragom obstajajo še drugi načini, kako spremeniti koeficiente. To lahko naredimo na vsakem koeficientu neodvisno, ali pa združimo zaporedne koeficiente v bloke in na teh blokih izvedemo operacije.

## Primeri

Najprej si bomo ogledali odstranjevanje šumov na primeru močnega potresa, z velikim razmerjem signala in šuma. To je potres pri Trebnjem 31.8.1998 z lokalno magnitudo 4,2, zabeležen s seizmografom Nanometrics na observatoriju na Golovcu.

Zapis signala in njegova frekvenčno časovna predstavitev sta prikazana na sliki 2. Na levi so prikazani koeficienti detajlov pri razvoju po valčkih za različne skale, kar predstavlja različne frekvenčne podpasove. Najvišje frekvence so spodaj, pri oznaki d1. Signal je lepo viden v vseh podpasovih.



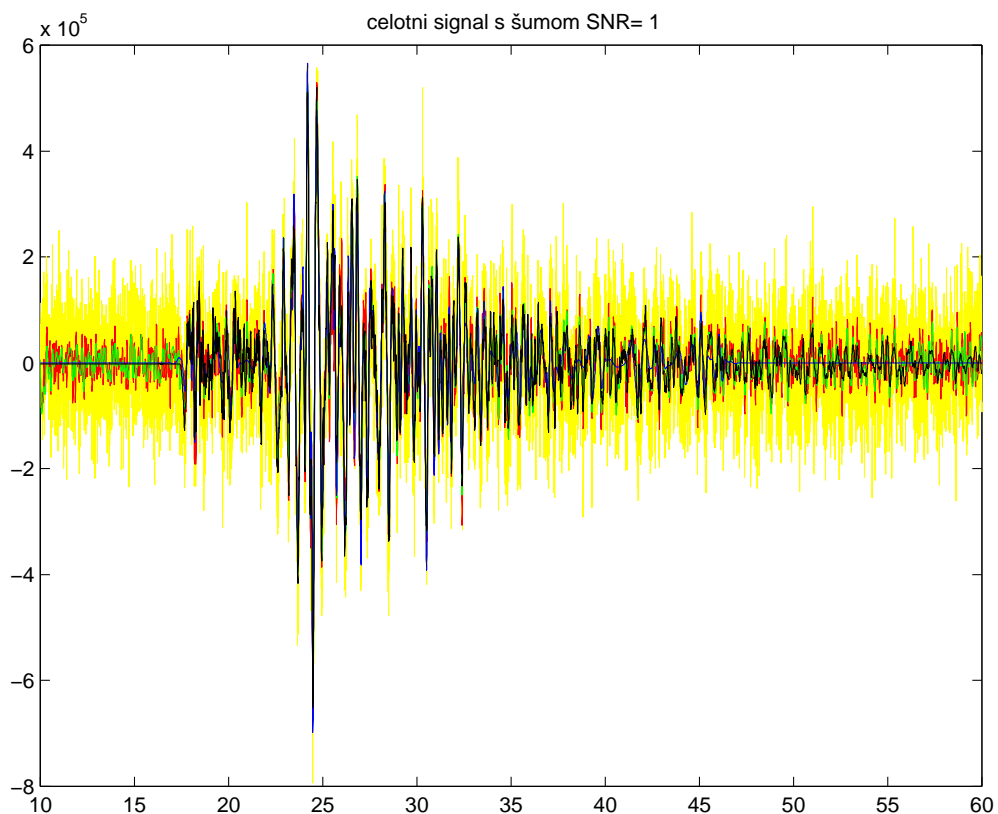
**Slika 3.** Prikaz časovnega okna okrog vstopnega časa P valov za potres pri Trebnjem. Z modro je označen signal z odstranjenim šumom, ki se skorajda povsem sklada z originalnim signalom zelene barve in ga prekrije. Rdeča prikazuje signal, filtriran z Butterworthovim prepustnim filtrom med 1 in 16 Hz. Vijolična je za filter s prepustnim področjem med 2 in 32 Hz. Vidne so razlike v amplitudi pri filtriranem signalu in tudi v fazi.

**Figure 3.** Signal from figure 2 (top) and with added noise with SNR=1 (bottom). Black-original signal, yellow-signal with noise, blue-denoised signal, green-signal filtered with Butterworth passband filter between 1 and 16 Hz, red- between 2 and 32 Hz.

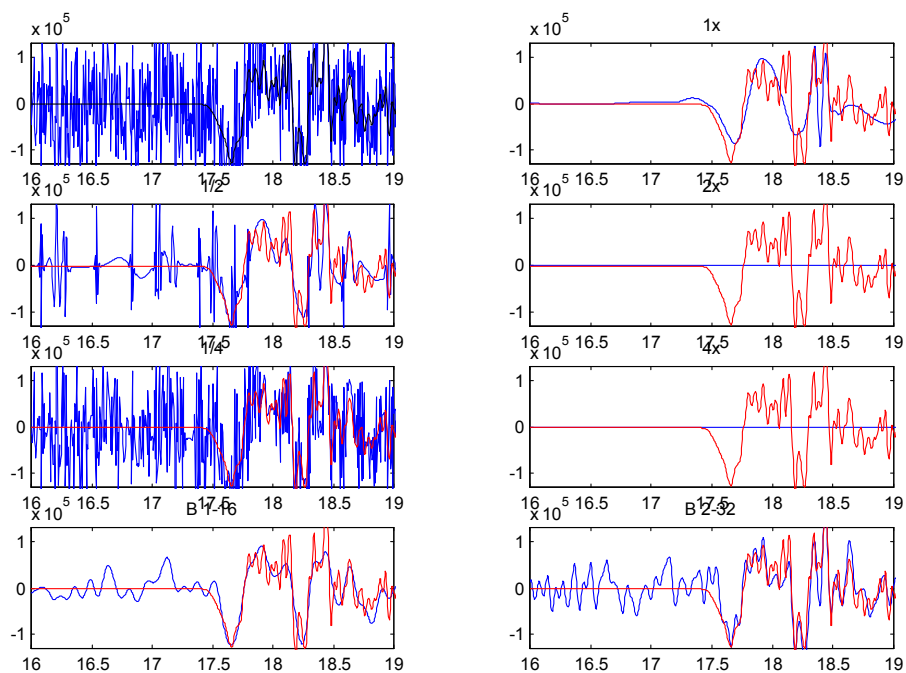
Na sliki 3 zgoraj je primer začetnega dela prihoda P valov za potres pri Trebnjem. Modra predstavlja signal, ki smo mu odstranili šum z valčki. Originalnega signala, označenega s črno barvo, večinoma ne vidimo, ker sta za ta primer z modrim praktično enaka. Signala, filtrirana z Butterworthovim prepustnim filtrom, sta označena z zeleno in rdečo barvo. Prvi ima prepustno območje med 1 in 16 Hz, drugi pa med 2 in 32 Hz. Prvi bolj sledi originalnemu signalu v začetnem delu, kasneje pa ne more več slediti hitrim spremembam, zato se oblika signala zgladi in amplitude se zmanjšajo. Pri drugem, ki je za eno oktavo premaknjen, nastane že pred časom vstopa P valov majhen signal v drugo smer. Iz primera vidimo, da se pri frekvenčnem filtriranju spremenijo amplitude posameznih nihajev, lahko pa tudi faza.

Na spodnjem delu slike 3 je analiza signala, ki so mu dodali šum, tako da je največja amplituda šuma enaka standardni deviaciji prvotnega signala. Z valčki učinkovito odstranimo šum pred prihodi P valov, medtem ko pri frekvenčnem filtriranju del šuma ostane.

Na sliki 4 je prikaz celotne dolžine signala. Vidimo, da so amplitude prvih prihodov P valov skrite v šumu, ki ima večjo amplitudo. Frekvenčno filtriranje pusti nekaj šuma pred prihodom P valov, medtem ko ga z valčki bolj odstranimo.

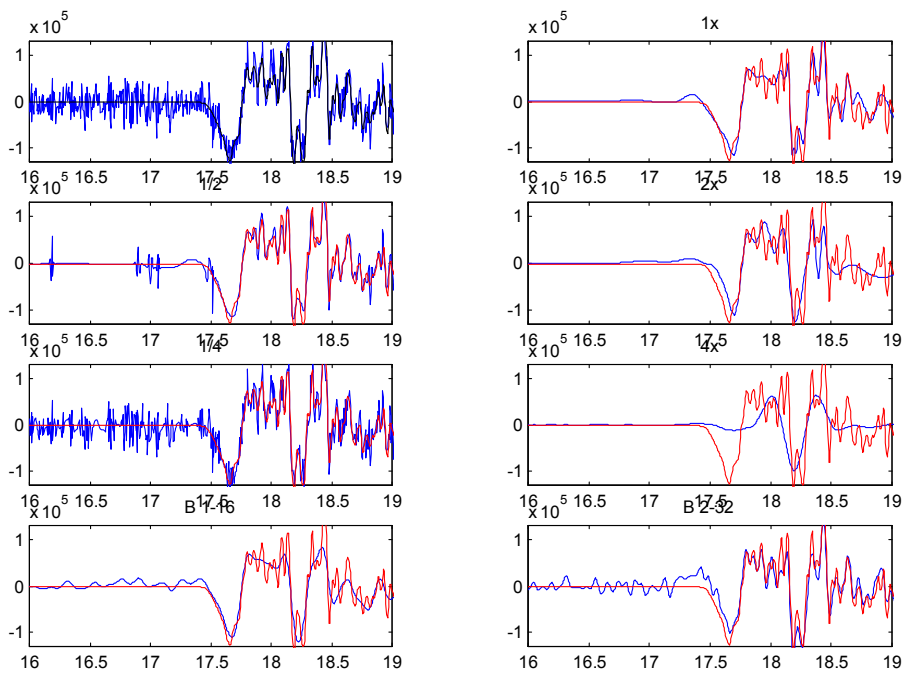


*Slika 4: Celotni signal s slike 3.  
Figure 1: The whole signal from Figure 3.*



**Slika 5.** Prikaz signala z dodanim šumom z razmerjem signal/šum enako 1 okrog vstopnega časa  $P$  valov signala (levo zgoraj). Signal z odstranjenim šumom z avtomatsko določenim pragom (desno zgoraj). V drugi vrsti z  $1/2$  in 2 kratno vrednostjo praga, nato z  $1/4$  in 4 kratno vrednostjo praga. V zadnji vrsti filtrirano z Butterworthovim prepustnim filtrom med 1 in 16 Hz (levo) ter 2 in 32 Hz (desno). Z rdečo je prikazan signal brez šuma.

**Figure 5.** Signal with noise with  $SNR=1$  from Figure 3 (left top). Denoised signal with automatic minimax threshold (top right), and different multipliers of that threshold. Bottom-Butterworth filters. Red is original signal, without noise.

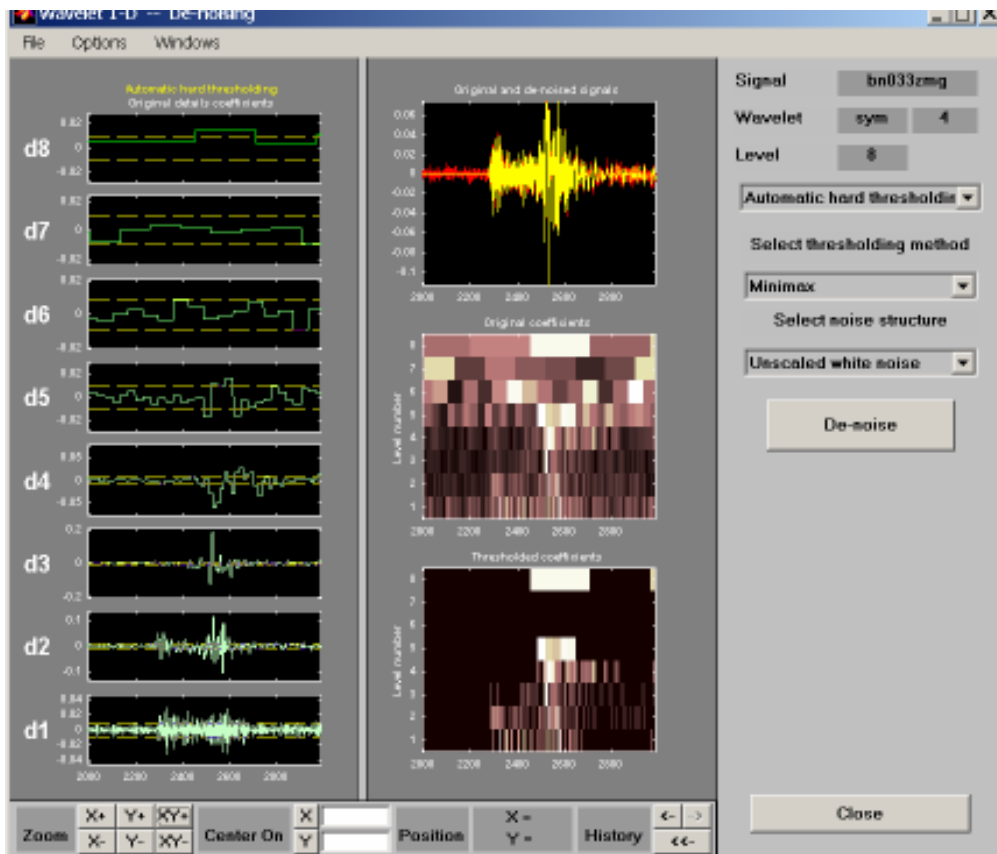


**Slika 6.** Podobno kot Slika 4, le da je razmerje signal/šum enako 3.  
**Figure 6.** Same as Figure 5, for signal with added white noise with  $SNR=3$ .

Na slikah 5 in 6 je primerjava učinkovitosti odstranjevanja šuma, glede na spreminjanje praga. Poleg avtomatsko določene vrednosti so prikazane še: dvakratna, štirikratna, polovična in četrtninska vrednost praga. Ker gre za ekstremni primer z močnim šumom seveda pri zvišanem pragu ne ostane kaj dosti signala. Pri nižjem pragu ostane nekaj šuma. Za primerjavo sta prikazana še grafa za frekvenčno filtriranje.

Na sliki 5 je amplituda slučajnega šuma enaka standardni deviaciji signala, na sliki 6 pa je razmerje signala in šuma enako 3. Levo zgoraj je z modro narisano signal s šumom, čez pa s črno prvotni signal. Na naslednjih grafih so signali z avtomatsko odstranjenim šumom z valčki. Levo zgoraj je prag avtomatsko določen, potem pa so prikazane še: dvakratna, štirikratna, polovična in četrtninska vrednost tega praga. V spodnji vrsti sta še z Butterworthovim filtrom filtrirana signala. Za primerjavo je z rdečo prikazan tudi prvotni signal.

Vidimo, da je učinkovitost odstranjevanja šuma odvisna od višine praga. Če je prag višji, odstranimo preveč uporabnega signala in rezultat je preveč zglajen. V primeru znižanja praga ostane še nekaj šuma v rekonstruiranem signalu. Podobno se zgodi pri frekvenčnem filtriranju. Odstranjevanje šumov z avtomatsko določenim pragom nam pred vstopnim časom P valov najbolj odstrani šum.



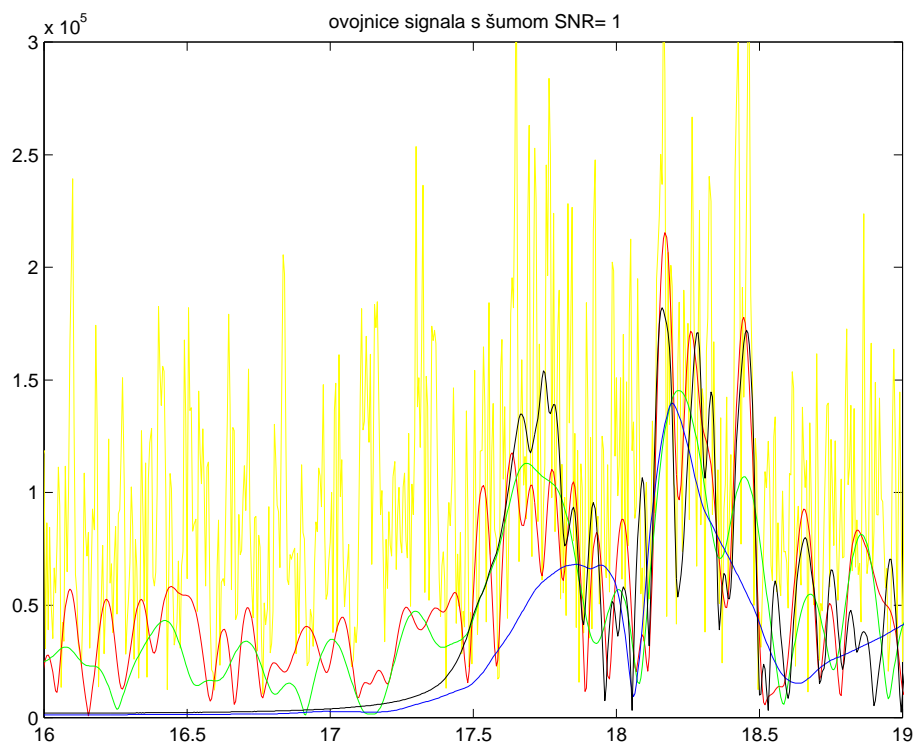
*Slika 7. Podoben prikaz kot na sliki 2, tokrat za šibek lokalni potres v Posočju, zabeležen z akcelerografom Kinometrics Etna. Signal je viden le pri najvišjih frekvenčnih podpasovih. Na levi je z rumeno prekinjeno črto prikazan prag, pod katerim odstranimo koeficiente detajlov. Originalni signal je prikazan z rdečo na zgornji sliki v sredini. Čez njega je z rumeno narisano signal z odstranjenim šumom.*

**Figure 7.** Similar analysis as in Figure 2, an aftershock recorded with accelerograph Kinometrics Etna in the epicentral area.

Na sliki 7 je prikazana analiza seizmograma šibkega lokalnega potresa v Posočju, zabeleženega z akceleroграфom Kinematics Etna v Drežnici (okno v srednjem delu slike zgoraj, z rdečo barvo). Takšni potresi imajo zastopane predvsem visoke frekvence, kar vidimo na slikah koeficientov razvoja po valčkih na levi strani slike 7. Detajli za različne skale, kar ustreza na oktave razdeljenim frekvenčnim pasovom, so prikazani tako, da d1 predstavlja najvišji frekvenčni pas. Pri nižjih frekvencah signala ne opazimo več. Z rumeno črtkano črto so označeni avtomatsko določeni pragovi šuma, pod katerimi odstranimo vrednosti koeficientov. Rekonstruiran signal z odstranjenim šumom je z rumeno narisano čez originalni signal. V oknu pod tem je časovno frekvenčna porazdelitev originalnega signala. Čas teče od leve proti desni. Spodnje vrednosti so za skale, ki so povezane z najvišjimi frekvencami. Nižje frekvence so predstavljene nad temi. Pravokotniki predstavljajo delitev frekvenčno časovne ravnine in so povezani s Heisenbergovim načelom nedoločenosti. Svetlejša barva pomeni večje vrednosti koeficientov. V spodnjem oknu je enak prikaz za signal z odstranjenim šumom. Signal je bolj jasno viden.

Tudi na tem primeru vidimo, da se originalni signal in signal z odstranjenim šumom v območju potresa lepo ujemata. Pred vstopnim časom program dobro odstrani šum. Opazimo tudi razliko med signaloma v nekoherentni kodi, ki končuje zapis.

Pri avtomatskem določanju vstopnih časov merski signal najprej spremenimo v analitičnega, kar pomeni, da ima določeno amplitudo in fazo. To naredimo s Hilbertovo transformacijo. Na sliki 8 je prikaz ovojnic signalov s slike 3, izračunanih s Hilbertovo transformacijo. Vidimo, da je v tem primeru vstop potresa bolj jasno viden.

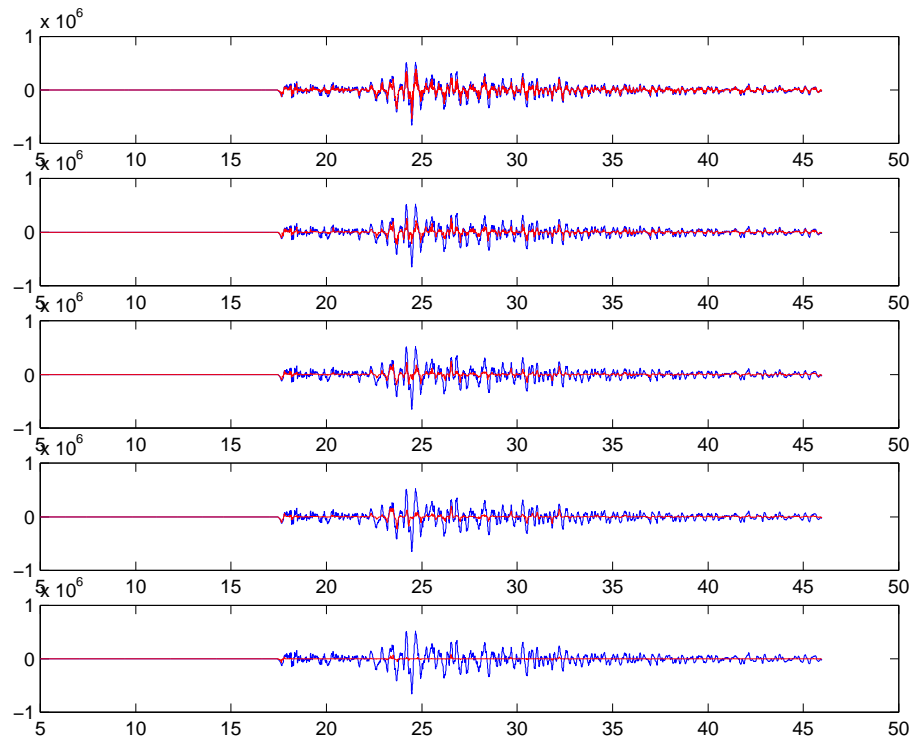


**Slika 8.** Prikaz ovojnic signalov s slike 3. Oznake so enake.  
**Figure 8.** Envelopes of the signals from Figure 3 with the same color coding.



V primeru, da šum ni bel, temveč ima določeno frekvenčno porazdelitev, lahko spremenimo prag za določeno skalo in tako bolje odstranimo šum. To je včasih tudi nevarno, recimo pri avtomatskih sistemih, kjer je robustnost metode eden od ključnih dejavnikov.

Za seizmološke podatke se je dobro obnesla metoda cenitve s trdim pragom, ki je enak za vse skale. Odstranimo le podrast, da bolje vidimo drevesa.



**Slika 9.** Primer polarizacijskega filtriranja z uporabo valčkov. Prikazan je prvotni signal z modro in filtriran signal z rdečo barvo. Grafi so za posamezne frekvenčne podpasove, spodnji pa je skupna vrednost vseh podpasov.

*Figure 9.* An example of the rectilinearity polarisation filtered signal for different frequency subbands and at the bottom for the whole signal (red). Blue is the original signal.

Primer polarizacijskega filtriranja na koeficientih valčkov je na sliki 9. Po vrsti so prikazani začetni del signala v modri barvi in s polarizacijskim filtrom za isto skalo obdelani signal v rdeči barvi. Skupna vrednost polarizacijskega filtra je produkt filtrov za posamezne skale. Pri vstopnih časih gre za hitro spremembo signala, zato je ta vidna na različnih frekvenčnih podpasovih. S polarizacijskim filtriranjem z uporabo rektilinearnosti na teh pasovih in z množenjem dobljenih rezultatov, dobimo bolj natančen polarizacijski filter.

### Učinki digitalnega filtriranja v delta sigma analogno digitalnih pretvornikih

Za pretvorbo analognega signala hitrosti nihanja tal iz seizmometra v digitalni zapis, so se včasih uporabljali analogno digitalni pretvorniki s sukcesivno aproksimacijo. Ločljivost je bila običajno 16 bitna. Pri teh pretvornikih je odziv na stopničasto funkcijo takojšen, saj pri vsakem vzorčenju dobimo ustrezno natančen rezultat.

Sodobni digitalni seizmografi uporabljajo analogno digitalne pretvornike z delta sigma tehnologijo z deklarirano 24 bitno ločljivostjo. Takšen analogno digitalni pretvornik vzorči

signal precej hitreje, kot je končna hitrost vzorčenja. Ta faktor je pri Refteku, ki uporablja modulator Crystal Semiconductor CS 5322, med 1024 in 4096. Hitrost vzorčenja v modulatorju je 256 kHz, prav tako pri seizmografih Nanometrics, ki uporabljajo enak modulator. Podobno velja za akcelerografe Kinometrics Etna, le da imajo ti manjše dinamično območje.

Z uporabo digitalnega FIR filtra zmanjšamo hitrost vzorčenja in povečamo dinamično območje. Nanometrics ima DSP procesor z digitalnim filtrom z dušenjem -140 dB pri Nyquistovi frekvenci, kar je pri hitrosti vzorčenja 250 Hz enako 125 Hz. Reftek ima čip CS 5323 z zapečenimi nastavitvami filtra, ki je nekaj krajši, kot pri rešitvi z DSP. Ima dušenje -130 dB pri Nyquistovi frekvenci. Zaradi zelo ostrega digitalnega filtriranja je zagotovljena linearnost amplitude in faze v prepustnem območju, ki znaša pri obeh 80% Nyquistove frekvence.

Digitalno filtriranje ima tudi negativne posledice. Odziv na stopničasto funkcijo ni takojšen, saj modulator kljub večji hitrosti vzorčenja potrebuje določen čas, da reagira na spremembo. V signal vnese zakasnitev (nekaj ms), katere velikost je odvisna od hitrosti vzorčenja in lastnosti filtra. Pri Kinometricsu je pri hitrosti vzorčenja 250 Hz zakasnitev 148 ms. Pri drugih dveh je približno istega velikostnega reda. Pri istih parametrih zajemanja podatkov je zakasnitev konstantna in jo brez težav odstranimo. Paziti moramo predvsem pri primerjavi seizmogramov različnih instrumentov, saj nekateri to korekcijo napravijo sami, drugi pa ne.

Digitalno filtriranje ne prinese faznih sprememb v prepustnem območju, povzroči pa majhen signal, ki je viden pred prvim prihodom valovanja in ni posledica fizikalnih procesov, temveč zgolj digitalnega filtriranja moduliranega signala v analogno digitalnem pretvorniku. Odčitavanje pravega vstopnega časa je tako oteženo. Težavo rešimo s posebno vrsto digitalnega filtriranja, pri katerem naknadno odstranimo to umetno povzročeno motnjo, ki pride pred informacijo, da se je nekaj zgodilo. Lahko pa že pri filtriranju uporabimo posebni akavzalni filter, kjer so ti učinki zmanjšani.

## Zaključki

Odstranjevanje šumov iz digitalnih seizmogramov z uporabo pragovnega cenilca na koeficientih detajlov pri razvoju po valčkih se je pokazalo kot uspešno. Metoda je robustna in daje dobre rezultate brez predhodnega poznavanja lastnosti šuma in značilnosti signala. Močne značilnosti in ostri vstopi ostanejo po obliki enaki, odstranimo predvsem nekorelirani šum, ki je naložen na signal. Največje amplitude signala se pri signalih z velikim razmerjem signala in šuma ne spremenijo, ohranijo pa se tudi fazne značilnosti. Če je šum močnejši, ga pred vstopnim časom P valov še vedno učinkovito odstranijo, pri tem pa se amplitudne in fazne značilnosti prvotnega signala ohranijo bolje, kot pri frekvenčnem filtriranju.

Če uporabimo odstranjevanje šuma kot eno od faz pri avtomatski obdelavi podatkov, moramo zagotoviti, da se bodo podatki izboljšali, če je filtriranje potrebno. Po drugi strani se zapisi močnih potresov, pri katerih je razmerje signal/šum dosti večje, ne smejo poslabšati. Z uporabo opisane metode zadostimo obema zahtevama. Poleg tega je izračun hiter in preprost.

Za odstranjevanje šumov je pomembno določiti raven šuma in temu prilagoditi prag, za kar obstajajo še druge metode.

## **Literatura**

- Antoniadis, A., Bigot, J., Sapatinas, T., 2001. Wavelet Estimators in Nonparametric Regression: A Comparative Simulation Study. *Journal of Statistical Software*, 6.
- Donoho, D., Johnstone, I., 1994. Ideal spatial adaptation via wavelet shrinkage, *Biometrika*, 425-455.
- Donoho, D., Johnstone, I., 1995. Adapting to unknown smoothness via wavelet shrinkage. *J. American Statist. Assoc.*, 1200-1224.
- Donoho, D., Johnstone, I., 1998. Minimax estimation via wavelet shrinkage, *Annals of Statistics*.
- Mallat, S., 1999. *A Wavelet Tour of Signal Processing*, Second edition, Academic Press, San Diego.
- Jamnik, R., 1980. *Matematična statistika*, DZS, Ljubljana.

# MOČNEJŠI POTRESI PO SVETU LETA 2001 WORLD'S LARGEST EARTHQUAKES IN 2001

Tamara Jesenko in Renato Vidrih

***Izvleček.** Vsako leto zatrese Zemljo več stotisoč potresov, ki presegajo magnitudo 2,0 (Dolgoff, 1998) in katerih žarišča so razporejena predvsem na stikih večjih geotektonskih plošč. Potresno najdejavnejši območji sta obtihoceanski in sredozemsko-himalajski pas, ki vključuje tudi naše kraje. Večina potresov je šibkih, ne povzročajo gmotne škode in ne zahtevajo človeških življenj, med njimi pa je vsako leto nekaj deset takih, ki povzročijo veliko razdejanje in zahtevajo smrtne žrtve. Med 73 potresi, ki so v letu 2001 dosegli ali presegli magnitudo 6,5 oziroma povzročili večjo gmotno škodo ter zahtevali človeška življenja, smo natančneje opisali 34 potresov. Potres z največ smrtnimi žrtvami je bil 26. januarja v južni Indiji. V njem so umrli najmanj 20 103 ljudje. Potresa 13. januarja in 13. februarja v Salvadorju sta zahtevala 1159 žrtev. Največ energije se je sprostito pri potresu 23. junija v bližini obale Peruja. Njegova navorna magnituda je bila 8,4. Posledice tako močnega potresa so bile manjše zaradi oddaljenosti njegovega žarišča od obale manjše. Najgloblji potres je bil 12. septembra blizu otočja Fidži in je imel žarišče v globini 608 km. Leta 2001 je po uradnih podatkih po svetu zaradi potresov umrlo skoraj 21 500 ljudi. V več kot 1 500 000 bolj ali manj porušenih zgradbah je bilo ranjenih okoli 180 000 ljudi.*

***Abstract** The Earth is shaken by several hundred thousand earthquakes with magnitudes over 2.0 (Dolgoff, 1998) every year. They are mostly originating at the geotectonic plate boundaries. Two well-defined seismic belts, the circum-Pacific and the Mediterranean-Himalayan, are subject to the most frequent earthquake shocks. The second one also includes the Slovenia region. Most earthquakes are weak and do not cause any damage or casualties. On the other hand, there are several earthquakes which result in extreme destruction and even death. There were 73 earthquakes in year 2001 that either reached magnitude 6.5 or more, caused minor or major damage, or many casualties. 34 of them are mentioned in this paper. The most devastating earthquake in 2001 happened on 13 January in the southern India, where at least 20,103 people were killed. Another two strong earthquakes occurred on 13 January and 13 February in El Salvador, claiming 1159 human lives. The June 23<sup>rd</sup> earthquake near the coast of Peru ranked first in terms of released energy, with a moment magnitude 8.4. The impact of such strong earthquake was reduced because of its offshore location. The deepest earthquake happened on 12 September near Fiji Island, with a hypocentre 608 km below the surface. In 2001, earthquakes took almost 21 500 human lives. More than 1,500,000 buildings were damaged or demolished. Approximately 180,000 people were injured.*

## Potresi in tektonika plošč

Zemljina litosfera je sestavljena iz nekaj večjih in več manjših tektonskih plošč. Najpomembnejše plošče so Pacifiška (Tihooceanska), Severno- in Južnoameriška, Evrazijska, Afriška, Avstralska in Antarktična. Za svetovno potresno dejavnost so pomembne tudi številne manjše plošče. Tektonske plošče so v stalnem, sicer počasnem gibanju. Med seboj se lahko primikajo (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 preko Filipinske, pod katero se podriva Pacifiška plošča. Ta se podriva pod več manjših plošč, ki ležijo med Severnoameriško in Filipinsko ploščo. To podpiranje je najhitrejše na Zemlji in znaša več kot 100 mm/leto. Na

območju Kalifornije drsita Pacifiška in Severnoameriška plošča druga ob drugi (znana so številna potresna žarišča). Med Pacifiško in Južnoameriško ploščo je vrinjena plošča Nazca.

Omenjena stičišča plošč so med potresno najdejavnejšimi območji na Zemlji. Med Afriško in Pacifiško ploščo je Avstralska plošča, ki se odmika od Antarktične. Sledi več manjših plošč med Evrazijsko na severu in Afriško na jugu. Od vzhoda proti zahodu si sledijo Indijska, Arabska in Turško-Egejska plošča. Tu leži tudi manjša Jadranska plošča, ki na slikah ni označena, vendar je za geološki razvoj slovenskega ozemlja zelo pomembna. Gibanja celinskih in oceanskih plošč povzročajo potresno dejavnost, ki ponekod spremlja ognjeniške izbruhe, ponekod pa so potresi edini znanilci spreminjanja in nastajanja novih geoloških formacij. Leta 2001 so medsebojna premikanja plošč povzročila veliko potresov od Sredozemskega morja do Tihega oceana. Slika 1 kaže povezanost tektonike plošč s potresno dejavnostjo, saj so vsi močnejši potresi nastali na stikih tektonskih plošč. Narisani so le močnejši svetovni potresi. Če bi narisali nadžarišča (epicentre) vseh potresov, bi še bolje videli, da potresi nastajajo na mejah med posameznimi ploščami. Pravzaprav je prav porazdelitev potresov razkrila meje oz. stičišča med ploščami.

### Pregled najmočnejših potresov

V preglednici 1 so podatki o najmočnejših potresih v letu 2002 (NEIC, 2001, ARSO, Urad za seizmologijo, 2001). Našteti so le tisti, ki so dosegli ali presegli navorno magnitudo 6,5, in tisti, ki so povzročili večjo gmotno škodo ali zahtevali človeška življenja. Vrednosti za  $M_b$  in  $M_s$  so srednje vrednosti določene iz podatkov, ki so jih posredovale potresne opazovalnice, ki so potres zapisale. Magnitude  $M_b$ ,  $M_s$  in  $M_w$  se med seboj razlikujejo po območju veljavnosti, ki ga omejujejo oddaljenost in globina žarišča ter nihajni čas pri največji amplitudi. Magnituda  $M_b$  (angl. body wave magnitude) je določena iz največjega odklona na zapisu navpične komponente telesnega valovanja v prvih 20 sekundah po prihodu vzdolžnega telesnega valovanja. Magnituda  $M_s$  (angl. surface wave magnitude) je določena iz navpične komponente dolgoperiodnega površinskega valovanja. To se razvije pri potresih, katerih žarišče ni bilo globlje od približno 50 km.  $M_w$  je navorna magnituda, ki velja tudi za najmočnejše potrese in je določena s potresnim navorom. Globina potresov je izražena v kilometrih, preglednica pa je zaključena z imenom širšega nadžariščnega območja potresa. Svet je namreč razdeljen na 729 Flinn-Engdahlovih geometrijskih območij.

**Preglednica 1.** Seznam potresov v letu 2001, katerih navorna magnituda  $M_w$  je bila enaka ali večja od 6,5; dodani so potresi, katerih magnituda je sicer manjša, a so povzročili večjo gmotno škodo, ranjene ali smrtne žrtve; z zvezdico so označeni potresi, ki so opisani v besedilu.

**Table 1.** List of earthquakes in 2001 with moment magnitudes  $M_w \geq 6.5$ . Earthquakes with magnitudes under 6.5 which caused damage, injuries or casualties are included. The earthquakes described in the text are marked with an asteriks.

datum	čas (UTC)	koordinati		magnituda			globina	območje
	ura min sek	širina	dolžina	Mb	Ms	Mw	km	
date	time (UTC)	coordinates		magnitude			depth	area
	hour min sec	lat	lon	Mb	Ms	Mw	km	
01.1.	06:57:04,1	6,898 N	126,579 E	6,4	7,2	7,5	33	Mindanao, Filipini
01.1.	08:54:31,5	6,631 N	126,899 E	5,6	6,0	6,8	33	Mindanao, Filipini
09.1.	16:49:28,0	14,928 S	167,170 E	6,3		7,1	103	otočje Vanuatu
10.1.	16:02:44,2	57,078 N	153,211 W	6,2	6,8	7,0	33	otok Kodiak, Aljaska, ZDA
13.1.	17:33:32,3	13,049 N	88,660 W	6,4	7,8	7,7	60	Salvador*
16.1.	13:25:09,8	4,021 S	101,776 E	6,5	6,8	6,9	28	južna Sumatra, Indonezija
26.1.	03:16:40,5	23,419 N	70,232 E	6,9	8,0	7,7	16	južna Indija*
08.2.	16:54:41,0	23,654 N	70,425 E	4,9	5,1		10	južna Indija*
13.2.	14:22:05,8	13,671 N	88,938 W	5,5	6,5	6,6	10	Salvador*
13.2.	19:28:30,2	4,680 S	102,562 E	6,2	7,2	7,4	36	južna Sumatra, Indonezija
17.2.	20:25:15,7	13,79 N	89,11 W	4,1			10	Salvador*
19.2.	15:51:35,9	21,396 N	102,715 E	4,7	4,9		10	Laos*
23.2.	00:09:23,6	29,513 N	101,129 E	5,7	5,4	5,6	33	Sečuan, Kitajska*
24.2.	07:23:48,7	1,271 N	126,249 E	6,6	7,0	7,1	35	severno Moluško morje
28.2.	12:30:14,0	21,986 S	170,207 E	6,0	6,5	6,7	10	severovzhodno od otočja Loyalty
28.2.	18:54:32,8	47,149 N	122,727 W	6,5	6,6	6,8	51	Washington, ZDA*
19.3.	05:52:15,8	4,028 S	128,020 E	6,0	6,5	6,5	33	Bandsko morje
24.3.	06:27:53,5	34,083 N	132,526 E	6,4	6,5	6,8	50	zahodni Honšu, Japonska*
03.4.	14:57:10,8	34,898 N	138,021 E	5,1	4,8	5,4	33	blizu južne obale Honšuja, Japonska*
09.4.	09:00:57,1	32,668 S	73,109 W	6,1	6,3	6,7	11	blizu obale centralnega Čila
12.4.	10:47:00,3	24,768 N	99,061 E	5,2	5,4	5,6	10	Junan, Kitajska*
19.4.	21:43:42,2	7,410 S	155,865 E	6,0	6,6	6,7	17	Salomonovi otoki
28.4.	04:49:53,4	18,064 S	176,937 W	6,2		6,9	351	otočje Fidži
08.5.	18:02:16,9	13,605 N	88,795 W	5,2	5,4	5,7	10	Salvador*
23.5.	21:10:43,9	27,689 N	101,003 E	5,1	5,3	5,5	33	Sečuan, Kitajska*
25.5.	00:40:50,6	44,268 N	148,393 E	6,1	6,7	6,7	33	Kurilsko otočje
25.5.	05:06:10,6	7,869 S	110,179 E	5,8		6,3	143	Java, Indonezija*
29.5.	13:14:30,3	39,797 N	41,655 E	4,8			33	Turčija
01.6.	14:00:43,6	35,169 N	69,389 E	5,0	4,6	5,0	62	Hindukuš, Afganistan*

datum	čas (UTC)	koordinati		magnituda			globina	območje
	ura min sek	širina	dolžina	Mb	Ms	Mw	km	
date	time (UTC)	coordinates		magnitude			depth	area
	hour min sec	lat	lon	Mb	Ms	Mw	km	
03.6.	02:41:57,1	29,666 S	178,633 W	6,8		7,2	178	otočje Kermadec, Nova Zelandija
05.6.	09:00:05,3	6,884 S	146,388 E	5,8	6,2	6,4	10	vzhodna Nova Gvineja, Papua Nova Gvineja*
07.6.	18:03:32,3	24,785 N	99,038 E	4,6	4,5		33	Junan, Kitajska*
14.6.	02:35:25,8	24,513 N	122,033 E	5,7	5,6	5,9	32	Tajvan
14.6.	19:48:47,8	51,160 N	179,828 W	6,0	6,3	6,5	18	otočje Andreanov, Aleuti
21.6.	19:55:49,0	49,147 N	6,870 E	4,2			1	Nemčija*
23.6.	20:33:14,1	16,264 S	73,641 W	6,7	8,2	8,4	33	blizu obale Peruja*
25.6.	13:28:46,5	37,238 N	36,206 E	5,2	4,9	5,5	5	Turčija*
26.6.	04:18:31,3	17,745 S	71,649 W	6,2	6,7	6,7	24	blizu obale Peruja
28.6.	03:46:28,1	6,990 S	108,275 E	5,0			37	Java, Indonezija*
03.7.	13:10:42,6	21,641 N	142,984 E	6,0		6,5	290	otočje Mariana
04.7.	07:06:31,6	21,725 S	176,705 W	5,9	5,8	6,5	184	otočje Fidži
05.7.	13:53:48,3	16,086 S	73,987 W	6,2		6,6	62	blizu obale Peruja*
07.7.	09:38:43,5	17,543 S	72,077 W	6,6	7,3	7,6	33	blizu obale Peruja*
10.7.	21:42:08,8	39,832 N	41,623 E	5,0			33	Turčija*
14.7.	18:36:08,3	24,455 N	102,600 E	4,6	4,3		33	Junan, Kitajska*
16.7.	16:12:46,7	27,957 N	85,178 E	5,0			33	Nepal*
17.7.	15:06:15,3	46,735 N	11,201 E	5,0		4,8	34	severna Italija*
24.7.	05:00:09,0	19,448 S	69,255 W	5,7	6,2	6,3	33	severni Čile*
24.7.	17:42:41,5	32,855 S	71,582 W	5,5	4,7	5,4	33	blizu obale osrednjega Čila*
26.7.	00:21:36,9	39,059 N	24,244 E	6,0	6,6	7,0	10	Egejsko morje
28.7.	07:32:43,0	59,025 N	155,116 W	5,7	5,7	6,6	131	južna Aljaska, ZDA
06.8.	03:52:59,5	55,537 S	123,422 W	6,1	6,5	6,7	10	južni vzhodni pacifiški greben
09.8.	02:06:59,9	14,258 S	72,683 W	5,4	5,5	5,6	33	osrednji Peru*
21.8.	06:52:06,2	36,813 S	179,575 W	6,4	7,1	7,0	33	vzhodno od Severnega otoka, Nova Zelandija
26.8.	00:41:13,1	40,951 N	31,573 E	5,0			8	Turčija
11.9.	14:56:50,9	0,578 S	133,130 E	5,8	6,4	6,6	33	Irian Džaja, Indonezija
12.9.	08:48:37,2	20,993 S	179,109 W	5,7		6,5	608	otočje Fidži
08.10.	01:17:16,7	32,898 N	60,236 E	4,8			33	severni in osrednji Iran*
08.10.	18:14:26,4	52,591 N	160,324 E	5,9	6,4	6,5	48	blizu vzhodne obale Kamčatke

datum	čas (UTC)	koordinati		magnituda			globina	območje
	ura min sek	širina	dolžina	Mb	Ms	Mw	km	
date	time (UTC)	coordinates		magnitude			depth	area
	hour min sec	lat	lon	Mb	Ms	Mw	km	
09.10.	23:53:37,0	47,758 N	155,102 E	6,5	5,7	6,0	33	Kurilski otoki
12.10.	15:02:16,8	12,686 N	144,980 E	6,7	7,3	7,0	37	južno od otočja Mariana
19.10.	03:28:44,4	4,102 S	123,907 E	6,3	7,3	7,5	33	Bandsko morje
21.10.	00:29:21,4	37,137 S	178,982 E	6,0	6,8	6,7	18	blizu obale Severnega otoka, Nova Zelandija
27.10.	09:10:20,0	5,912 S	150,196 E	5,3	5,5	5,7	10	Junan, Kitajska*
31.10.	09:10:20,0	5,912 S	150,196 E	5,9	6,9	6,9	33	Nova Britanija, Papua Nova Gvineja
31.10.	12:33:52,8	37,249 N	36,136 E	5,1	4,4		10	Turčija
14.11.	09:26:10,0	35,946 N	90,541 E	6,1	8,0	7,8	10	Qinghai, Kitajska
02.12.	13:01:53,6	39,402 N	141,089 E	6,1		6,5	123	vzhodni Honšu, Japonska
04.12.	05:57:17,9	15,350 S	72,516 W	5,5	5,6	5,8	33	južni Peru*
12.12.	14:02:35,0	42,813 S	124,688 E	6,5	6,7	7,1	10	južno od Avstralije
18.12.	04:02:58,2	23,954 N	122,734 E	6,3	7,3	6,9	14	Tajvan
19.12.	07:54:07,9	23,632 N	90,376 E	4,5			10	Bangladeš*
23.12.	22:52:54,3	9,613 S	159,530 E	6,2	7,0	6,8	16	Salomonovi otoki

V nadaljevanju so na kratko opisane posledice potresov (v preglednici so zaznamovani z zvezdico), ki so povzročili večjo gmotno škodo, ranjene ali smrtne žrtve. Rimske številke (ponekod v oklepajih) pomenijo ocenjeno intenziteto po evropski potresni lestvici EMS-98.

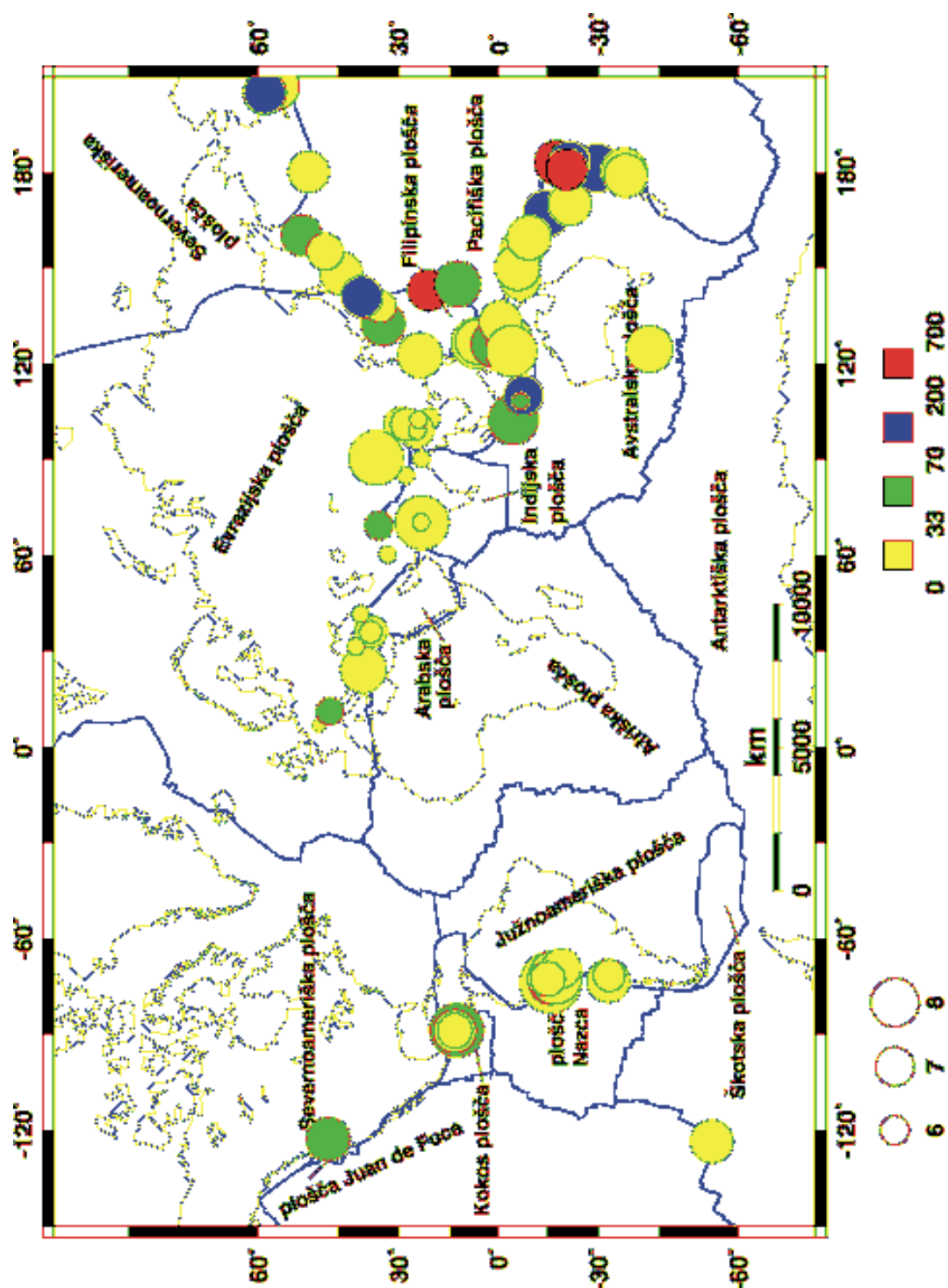
**Potres 13. januarja (Salvador).** Najmanj 844 ljudi je umrlo, 4723 je bilo ranjenih. Porušilo se je 108 226 hiš, več kot 150 000 pa jih je bilo poškodovanih. Zaradi obsežnih zemeljskih plazov, ki so se sprožili v Novem San Salvadorju in Comasagui, je bilo okoli 585 žrtev. Več kot 160 000 zemeljskih plazov je poškodovalo tudi številne ceste. O poškodbah in ranjenih so poročali s celotnega ozemlja Salvadorja. Osem ljudi je umrlo tudi v Gvatemali. Potres so čutili v državah od Mehike na severu do Kolumbije na jugu.

**Potres 26. januarja (južna Indija).** Potres je zahteval vsaj 20 005 življenj, 166 836 ljudi je bilo ranjenih. Na območju Gudžarata, predvsem v Bhuju, Amadabadu in Rajkotu, se je porušilo okoli 339 000 zgradb, poškodovanih jih je bilo še 783 000. Poškodovanih je bilo tudi veliko mostov in cest. Vsaj 18 ljudi je umrlo tudi v južnem Pakistanu. Potres so čutili tudi v severni Indiji, po celem Pakistanu, Bangladešu in v zahodnem Nepal. Potres se je zgodil na področju, kjer so močni potresi redkejši, zato objekti niso bili zgrajeni tako, da bi jim bili kos. Večina žrtev je ostala ujeta v zrušenih zgradbah. V popotresnem sunku **8. februarja** je bilo na območju Gudžarata ranjenih vsaj 40 ljudi.

**Potres 13. februarja (Salvador).** Umrlo je vsaj 315 ljudi, 3399 jih je bilo ranjenih. Potres je povzročil tudi veliko gmotne škode. Največ poškodb je bilo na območju mest San Juan

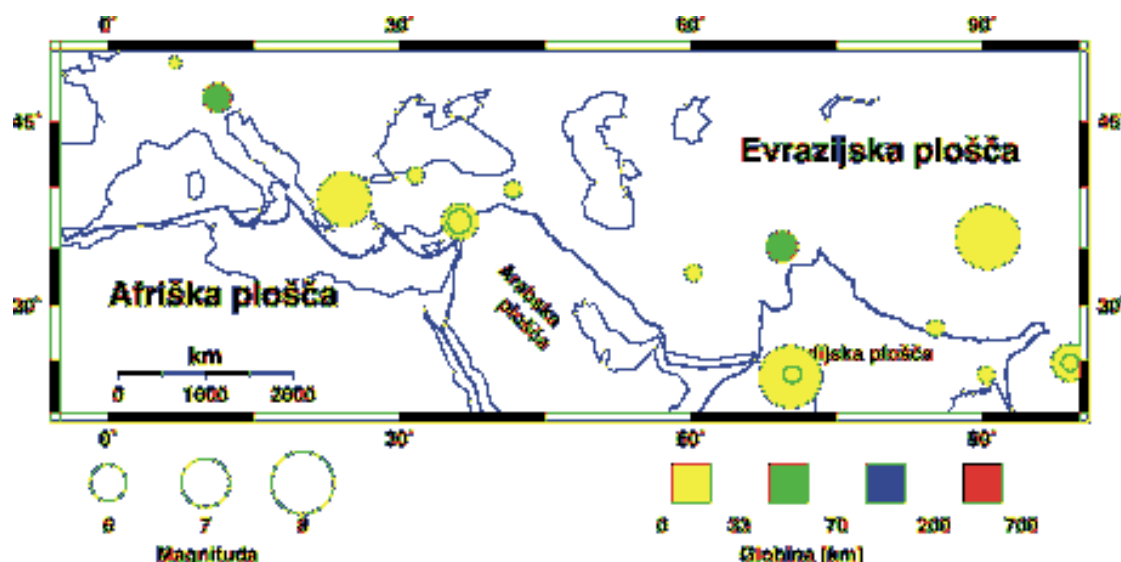


Tepezontes in San Vicente-Cojutepeque. Sprožili so se tudi številni zemeljski plazovi. Potres so čutili tudi v Gvatemali in Hondurasu. Popotres **17. februarja** je zahteval eno žrtev, trije ljudje so bili ranjeni. Povzročil je dodatno škodo in sprožil še nekaj zemeljskih plazov.



*Slika 1. Porazdelitev najmočnejših potresov v letu 2001 na Zemlji, njihove globine in magnitude; velikost krožcev kaže potresno magnitudo, barva pa žariščno globino (NEIC, 2001). Narisane so tudi glavne tektonske plošče.*

*Figure 1. Distribution of the most powerful earthquakes in 2001, their depths and magnitudes. The size of the circle indicates the magnitude and the colour designates the focal depth (NEIC, 2001). Main tectonic plates are also shown.*



*Slika 2. Porazdelitev najmočnejših potresov leta 2001 v sredozemsko - himalajskem potresnem pasu, ki je za obtihomorskim drugo najdejavnejše potresno območje na Zemlji.*

*Figure 2. Distribution of the most powerful earthquakes in 2001 in the Mediterranean - Himalayan belt, which is, after the circum - Pacific belt, the second most frequent area of earthquake events.*

**Potres 13. februarja (Salvador).** Umrlo je vsaj 315 ljudi, 3399 jih je bilo ranjenih. Potres je povzročil tudi veliko gmotno škodo. Največ poškodb je bilo na območju mest San Juan Tepezontes in San Vicente-Cojutepeque. Sprožili so se tudi številni zemeljski plazovi. Potres so čutili tudi v Gvatemali in Hondurasu. Popotres **17. februarja** je zahteval eno žrtev, trije ljudje so bili ranjeni. Povzročil je dodatno škodo in sprožil še nekaj zemeljskih plazov.

**Potres 15. februarja (Laos).** V Dien Bien Phuju (Vietnam) je bilo ranjenih nekaj ljudi. V potresu so bila poškodovana številna poslopja.

**Potres 23. februarja (Sečuan, Kitajska).** V potresu so umrle tri osebe, 109 jih je bilo ranjenih. V deželah Kangding in Yajiang je bilo uničenih 60 000 domov.

**Potres 28. februarja (Zvezna država Washington, ZDA).** Glavne poškodbe so bile na območju Seattla, Tacome in Olympie. Tu je bilo ranjenih okoli 400 ljudi. Potres so čutili od osrednjega Oregona do južnega dela British Columbie (Kanada) in na vzhodu do severozahodne Montane. V Seward parku so izmerili največji pospešek tal (0,3g). Na območju Tacome in v bližini Rentona se je sprožilo nekaj zemeljskih plazov.

**Potres 24. marca (zahodni Honšu, Japonska).** Na območju Hirošime sta umrli dve osebi, ranjenih je bilo okoli 400 ljudi. Poškodovanih ali uničenih je bilo 3700 poslopij, veliko vodovodov in železniških prog. Potres so čutili od Kyota v zahodni Japonski do otoka Kyushu, pa tudi v Južni Koreji.

**Potres 3. aprila (blizu obale Honšuja, Japonska).** V potresu je bilo ranjenih 8 ljudi. V okolici Shizuoke se je prevrnilo pohišstvo, razbila so se okna in prekinile vodovodne napeljave.

**Potres 12. aprila (Junan, Kitajska).** Potres je zahteval vsaj dve življenji, 190 ljudi je bilo ranjenih. Na območju Shidiana je bilo uničenih 30 000 hiš. Zemeljski plazovi so prekinili nekaj cestnih povezav.

**Potres 8. maja (Salvador).** V mestu Conchagua je umrla ena oseba. Uničenih je bilo vsaj 84 hiš, 70 hiš pa je bilo poškodovanih. Sprožilo se je tudi nekaj zemeljskih plazov. Potres je imel intenziteto VI v mestu San Vincent, čutili pa so ga tudi v Hondurasu (Mochito in San Pedro Sula) ter v nekaterih delih Gvatemale in Nikaragve.

**Potres 23. maja (Sečuan, Kitajska).** V deželi Ninglang v provinci Junan je ena oseba izgubila življenje. 27 ljudi je bilo hudo, 539 pa lažje ranjenih. V deželi Yanyuan v provinci Sečuan je umrla ena oseba, 39 jih je bilo ranjenih. Poškodovanih je bilo 11 vodnih zbiralnikov, štiri elektrarne in šest mostov.

**Potres 25. maja (Java, Indonezija).** Našteli so nekaj ranjenih v Surakarti. Potres je imel intenziteto IV v Sawahanu, III v Semarangu in v mestih Klaten, Malang in Surabaya. Čutili (II) so ga v Denpasarju, Bali.

**Potres 1. junija (Hindukuš, Afganistan).** V provinci Parvan so umrle vsaj 4 osebe, 20 jih je bilo ranjenih. Uničenih je bilo nekaj hiš.

**Potres 5. junija (vzhodna Nova Gvineja, Papua Nova Gvineja).** Ena oseba je bila ranjena. Vsaj 49 hiš je bilo poškodovanih ali porušenih. Potres je sprožil tudi nekaj zemeljskih plazov.

**Potres 7. junija (Junan, Kitajska).** Vsaj 13 ljudi je bilo ranjenih. V Shidianu je bilo uničenih nekaj hiš.

**Potres 14. junij (Tajvan).** V Taipeiju so bile ranjene štiri, v Ilanu pa ena oseba. Nekaj poškodb se je pojavilo v Taipeiju in drugih delih severovzhodnega Tajvana.

**Potres 21. junija (Nemčija).** Gorski udar, v katerem je ena oseba izgubila življenje, je bil posledica rudarske dejavnost v pokrajini Lorena, Francija.

**Potres 23. junija (bližina obale Peruja).** V potresu je umrlo vsaj 74 ljudi, 26 zaradi tsunamija. Ranjenih je bilo 2689 ljudi. Na območju mest Arequipa, Camana in Tacna (intenziteta VIII po EMS-98) je bilo uničenih 17 584 in poškodovanih 35 601 zgradb. Zaradi tsunamija je bilo na območju Camana in Chala pogrešanih 64 ljudi. Zemeljski plazovi so prekinili številne cestne povezave. V Arequipi je bilo poškodovanih ali porušenih veliko zgodovinskih objektov. Nekaj oseb je bilo ranjenih tudi v Arici, Čile. Čutili (VII) so ga v Arici, (VI) v Iniqueju, (V) v Calami in (III) v Tocopilli, Čile. Močno so ga čutili po vsem južnem Peruju in severnem delu Čila. Intenziteto III je dosegel tudi v La Pazu, Bolivija. V Moquegui je bil zabeležen pospešek tal 0,29 g. Tsunami, ki se je dvignil v bližini Camana je ponekod dosegel višino okoli sedem metrov. Na nekaterih mestih je poplaval območje, ki je od obale oddaljeno tudi 1km. Potres se je zgodil na meji med ploščo Nazca in Južnoameriško tektonsko ploščo. Temu potresu je sledilo še nekaj močnejših popotresnih sunkov. V popotresnem sunku **5. julija** se je porušilo še 300 zgradb, ki so bile prizadete že v prejšnjih potresih. V popotresnem sunku **7. julija** je ena oseba izgubila življenje, 26 ljudi je bilo ranjenih. Dodatno se je porušilo še več sto hiš. Odrgral se je ogromen balvan in za promet zaprl čezameriško avtocesto. Potres je ponekod na nadžariščnem področju in v Arici (Čile), povzročil tudi prekinitve električnega napajanja. Čutili (VI) so ga v mestih Ocona in Tacna. Močno so ga čutili v Arequipi in Ilu. Čutili (V) so ga v Arici, Caleti in Tocoli; (IV) v Camaronesu, Codpi, Illapati in kraju Inquique; (III) v Puetri; (II) v Antofagasti in mestu Pisaque, Čile.

**Potres 25. junija (Turčija).** Na območju Osmaniye je bilo 130 ljudi ranjenih. V potresu je bilo poškodovanih 66 zgradb.

**Potres 28. junija (Java, Indonezija).** V pokrajini Java Barat je bilo ranjenih več deset oseb, poškodovanih je bilo 2 500 hiš. Čutili (III) so ga v Bandungu, Ciamisu in Tasikmalayi.

**Potres 10. julija (Turčija).** Na območju Erzuruma je bilo ranjenih 46 ljudi. Poškodovanih je bilo 17 hiš.

**Potres 14. julija (Junan, Kitajska).** V potresu sta bili ranjeni vsaj dve osebi. Porušeni ali poškodovanih je bilo več kot 150 hiš in nekaj šol. V deželi Jiangchuan je bilo poškodovanih nekaj vodnih zbiralnikov.

**Potres 16. julija (Nepal).** Ena oseba je v potresu izgubila življenje in ena hiša se je porušila na območju Dhadinga. Čutili so ga v osrednjem in vzhodnem Nepal.

**Potres 17. julija (severna Italija).** Potres je zahteval dve smrtni žrtvi. Ena oseba je bila pogrešana, domnevno je bila žrtev zemeljskih plazov, ki so se sprožili blizu Gargazzone in Val D'Ultima. Zaradi srčne kapi je v Bolzanu umrla ena oseba. Na območju Merana so bile ranjene vsaj tri osebe. Tu so se pojavile tudi manjše poškodbe na objektih. Potres so čutili po vsej severni Italiji do Benetk na jugu. Čutili so ga tudi v Nemčiji, Sloveniji in Švici.

**Potres 24. julija (severni Čile).** V Jajini je ena oseba izgubila življenje, tri so bile ranjene. V rudniku Cerro Colorado sta bila prekinjena omrežno električno napajanje in vodovod. Potres je v Chumisi in Jajini dosegel intenziteto VII, čutili pa so ga tudi v Challapi, Huarri, Mamini in Pachici (VI); v krajih Arica, Iquique, Písaqua, Pozo Almonte in Putre (V); v Chuquicamati in kraju Pica (IV) ter v krajih Calama, Sierra Gorda in Tocopilla (III).

**Potres 24. julija (blizu obale osrednjega Čila).** Štiri osebe so bile ranjene v mestu Vina del Mar, dve v Valparaisu in ena v Quinteru. Čutili (intenziteta V EMS-98) so ga v mestih Concon, La Calera, Quillota, Quilpue, San Antonio, Santo Domingo, Valparaiso in Villa Allemana; (intenziteta IV EMS-98) v La Liguí, Llayllayi, Pancagui, Santiagu in Vinu del Mar; (intenziteta III EMS-98) v Los Andes in v krajih Linares in Talca (intenziteta II EMS-98).

**Potres 9. avgusta (osrednji Peru).** Štiri osebe so umrle, 15 jih je bilo težko ranjenih. Na območju Antabambe je bilo porušeni 70 odstotkov hiš. Čutili so ga na območju Abancaya.

**Potres 8. oktobra (severni in osrednji Iran).** Na območju Birjanda je bilo poškodovanih 200 hiš. Čutili so ga tudi v zahodnem in osrednjem Afganistanu.

**Potres 27. oktobra (Junan, Kitajska).** V potresu je umrla ena oseba, vsaj 220 jih je bilo ranjenih. Na območju Yongshenga je bilo uničenih vsaj 3 400 zgradb.

**Potres 4. decembra (južni Peru).** V kraju Pucuncho je potres zahteval dve smrtni žrtvi, pet je bilo ranjenih v Chuquilbambi. V provinci Condesuyos je bilo poškodovanih vsaj 50 hiš. Čutili (II EMS-98) so ga v Arequipi.

**Potres 19. decembra (Bangladeš).** Ranjenih je bilo vsaj 100 ljudi, v Dhaki so bile poškodovane nekatere zgradbe (intenziteta VI EMS-98). Potres so čutili (IV) tudi v krajih Narayanganj, Munshiganj, Rajshahi in Rangpur.

## **Literatura**

ARSO, Urad za seizmologijo, 2001. Preliminarni seizmološki bilten, 2001. Agencija Republike Slovenije za okolje, Urad za seizmologijo, Ljubljana.

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

NEIC, 2001. Significant Earthquakes of the World. US Department of the Interior. Geological Survey, National Earthquake Information Center.

# POTRES 26. JANUARJA 2001 V INDIJI THE JANUARY 26<sup>TH</sup> 2001 EARTHQUAKE IN INDIA

Renato Vidrih in Matjaž Godec

***Izvleček.** Leto 2001 se je začelo z več močnimi potresi. Po potresih 1. januarja na filipinskem otoku Mindanao (magnituda 7,4) in 13. januarja na zahodni obali Centralne Amerike (magnituda 7,6), je 26. januarja nastal še tretji potres v tem letu, ki je presegel magnitudo 7,0. Hkrati je bil z navorno magnitudo ( $M_W=7,7$ ) eden najmočnejših potresov v zadnjih letih. Zaradi majhne globine žarišča, predvsem pa zaradi zelo slabe gradnje in popolne nepripravljenosti na potres, je povzročil pravo razdejanje in veliko število smrtnih žrtev. Najmočnejši potres, ki je v zadnjih 50 letih prizadel zahodni del Indije, je povzročil smrt prek 20 000 ljudi, prek 167 000 ljudi pa je bilo poškodovanih. Ocenjene ekonomske posledice tega potresa znašajo 5 milijard ameriških dolarjev.*

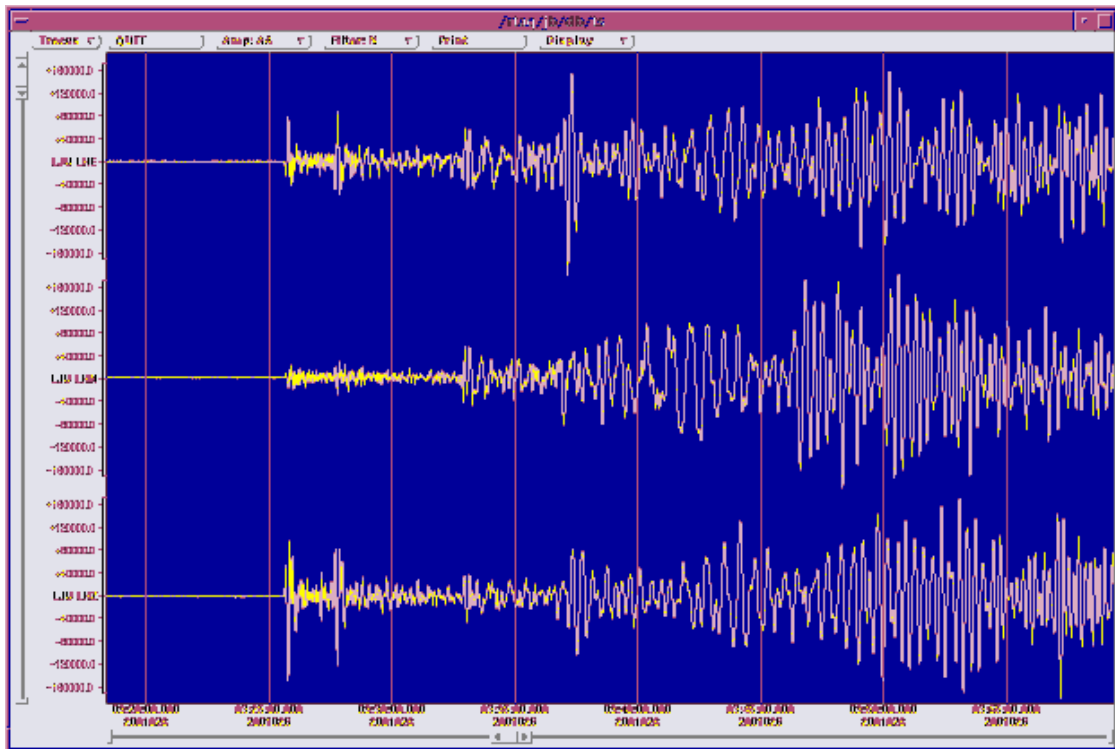
***Abstract.** The year 2001 began with several strong earthquakes. After the earthquakes on January 1<sup>st</sup> (Mindanao, Filipines, magnitude 7,4) and January 13<sup>th</sup> (Central America's west coast, magnitude 7,6) occurred on January 26<sup>th</sup> the third earthquake that year with magnitude over 7,0. Furthermore it was with its moment magnitude ( $M_W=7,7$ ) one of the strongest earthquakes in the last few years. Due to its shallow hypocentre and mostly bad quality of building stock and total unpreparedness for the earthquake, it caused severe damage and quite a high number of casualties. The earthquake was the strongest in the last 50 years in western India, it caused death of over 20 000 people and more than 167 000 people were injured. Economic damage was estimated to be over 5 billion US dollars.*

## Uvod

Potres je nastal 26. januarja 2001 ob 3. uri 16 minut po svetovnem času (UTC) ali 8. uri in 46 minut po lokalnem času, približno 5 200 km jugovzhodno od observatorija na Golovcu, ki je last Agencije RS za okolje, Urada za seizmologijo. Potresni valovi so do observatorija potovali približno devet minut. Epicenter je bil na območju indijske države Gujarat, 65 milj (110 km) severo-severovzhodno od mesta Jamnagar oziroma 180 milj (290 km) jugovzhodno od mesta Hyderabad v Pakistanu. Preliminarni koordinati epicentra sta bili 23,36 N in 70,34 E, v skrajnem severozahodnem delu Indije (blizu meje s Pakistanom). Najbolj so ga čutili prebivalci severozahodne Indije, čutili so ga v večjem delu Pakistana, pa tudi v zahodnem Nepalju in Bangladešu. Žarišče je po prvih izračunih nastalo v globini približno 24 km, kar ga uvršča med plitve potrese. Njegova navorna magnituda je bila 7,7. Poleg navorne magnitude  $M_W$ , ki velja tudi za najmočnejše potrese in je določena s potresnim navorom, ponavadi uporabljamo še magnitudo  $M_b$ , ki je določena iz največjega odklona na zapisu vertikalne komponente prostorninskega valovanja v prvih 20-tih sekundah po prihodu vzdolžnega prostorninskega valovanja in magnitudo  $M_s$ , ki je določena iz vertikalne komponente dolgoperiodnega površinskega valovanja - to se razvije pri potresih, katerih žarišče ni globlje od približno 50 km. Magnitude  $M_W$ ,  $M_b$  in  $M_s$  se med seboj razlikujejo po območju veljavnosti, ki ga omejujejo oddaljenost in globina žarišča ter nihajni čas pri največji amplitudi.

Žarišče potresa je nastalo vzdolž narivnih prelomov, ki se vlečejo v smeri od severo-severozahoda proti jugo-jugovzhodu, v preliminarno izračunani globini približno 24 km. Pri narivnih prelomih se eno krilo preloma nadriva na drugo. Napetosti, ki so povzročile nastanek tega potresa, so posledica pritiskanja Indijske plošče proti severu, to je proti Evrazijski plošči.

Te iste napetosti so seveda ustvarile tudi prelome v smeri sever - jug in druge bolj ali manj vzporedne strukture na zahodnem robu Indijske plošče.



**Slika 1.** Zapis potresa v Indiji na dveh horizontalnih (E, N) in vertikalni komponenti (Z) na seizmografih državne mreže potresnih opazovalnic, na Golovcu v Ljubljani. Prikazan je zapis v dolžini ene ure. Vstopnemu valu ob 3. uri in 25 minut sledi čez slabih sedem minut sekundarni val, najmočnejši del zapisa pa prikazuje površinske valove.

**Figure 1.** One hour seismogram (two horizontal – E, N and a vertical component – Z) of the India earthquake recorded at Ljubljana monitoring station. P-wave arrived at 3h25m, S-wave 7 minutes later. The strongest record shows surface waves.

## Geološka zgradba indijskega polotoka

Najstarejše kamnine pripadajo paleozoiku. Njihova starost je ocenjena od 570 do 250 milijonov let. Njihov nastanek je podoben nastanku kamnin osrednje in južne Afrike, kar dokazuje, da sta bili Indija in Afrika v davni preteklosti skupna celina. Podobne kamnine so nastajale do obdobja jure (pred 210 do 140 milijoni let). To formacijo v Afriki imenujemo Karroo, v Indiji pa Gonda. Prav po indijskem imenu je imenovana skupna celina Afrike, Indije, Antarktike, Južne Amerike in Avstralije, Gondwana. Obstoje te celine v preteklosti dokazujejo tudi številni najdeni fosilni ostanki rastlin in živali. Seveda so v mlajših geoloških obdobjih te plasti prekrili novi sedimenti.

## Trk indijske in evrazijske plošče

Potovanje Indije proti Evrazijski plošči je prikazano na sliki 2. S približevanjem azijski celini je pred seboj ožila prostor morja Tetide, za njo pa je začel nastajati Indijski ocean. Pred približno 40 do 25 milijoni let je Indijska plošča trčila v Evrazijsko ploščo. Ta trk je povzročil nastajanje azijskih gorskih verig, od Altaja, Hindokuša, Tibeta, Pamirja in seveda Himalaje. Na tektonski karti lepo vidimo narivne strukture, ki so posledica tega trka in se širijo v smeri vzhod - zahod. Na obeh straneh Indijske litosferske plošče pa so nastale strukture, ki se širijo

v smeri sever - jug. Na območju Indokine in dalje proti Indoneziji narivne strukture preidejo v subdukcijsko cono (cona podiranja ene plošče pod drugo). Vsa ta geološka dogajanja najbolje ponazarja razporeditev potresnih žarišč, ki pravzaprav začrtujejo meje med posameznimi litosferskimi ploščami. Mehanizmi nastanka teh potresov so zaradi njihove pogostnosti znani, nekoliko težje pa je razložiti nastanek potresov znotraj večjih plošč. Na območju zadnjega dogodka je sicer v preteklosti že bilo nekaj potresov, vendar so bili zelo redki. Geologi in seizmologi povezujejo nastanek tovrstnih potresov s slabo izraženimi prelomi, ki potekajo vzporedno z večjimi strukturami v smeri sever - jug. Obstajajo pa tudi prelomi, ki potekajo v smeri severo-severozahod proti jugo-jugovzhodu in verjetno je zadnji potres nastal prav ob enem teh prelomov.

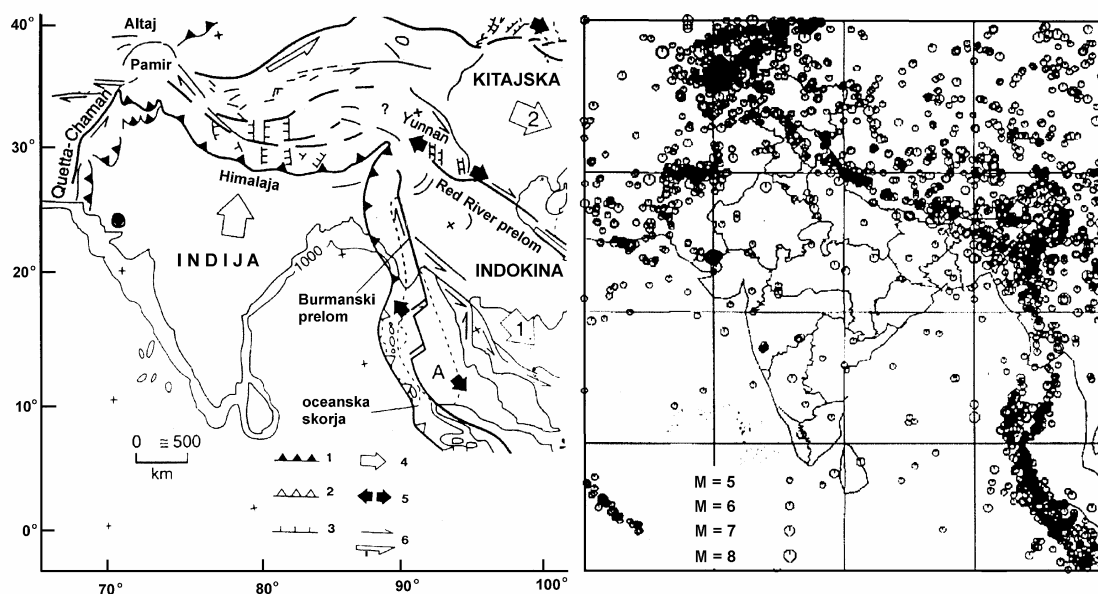


**Slika 2.** Ozemlje današnje Indije je v paleozoiku skupaj z Afriko, Avstralijo, Južno Ameriko in Antarktiko sestavljalo velik južni kontinent z imenom Gondwana. Kasneje se je en del odtrgal in začel potovati najprej proti vzhodu in potem proti severu. V terciarju se je Indijska litosferska plošča gibala od juga proti severu. Pred seboj je zapirala nekdanji ocean Tetido, za seboj pa je odpirala nov Indijski ocean. Gibanje in lego Indijske plošče skozi milijone let vidimo na sliki. Do pred 40-timi milijoni let je »potovala« hitreje, potem pa počasneje, dokler ni trčila v Evrazijsko ploščo. Ta trk je povzročil dvig nekaterih azijskih gorskih verig, predvsem pa dvig najvišjega gorstva sveta, to je Himalaje. Trčenje je imelo tako v preteklosti kot tudi danes velik vpliv na tektoniko celotne osrednje in jugovzhodne Azije, kar dokazuje velika potresna dejavnost tega območja.

**Figure 2.** The territory of today's India was in Palaeozoic joined with Africa, Australia, South America and Antartica in great south continent, called Gondwana. Later on, one part separated from it and voyaged at first to the east and later to the north. In Tertiary period the Indian lithospheric plate moved from south to north. It was closing the former Tetida ocean in front and opening the nowadays Indian ocean behind the plate. All movements and positions of the Indian plate through history are shown on this picture. Until about 40 million years ago it was moving fast, then it slowed down and finally collided with Eurasian plate. This collision led to lifting some of the Asian mountain chains, mostly the lifting of the highest mountain chain in the world – the Himalayas. The collision had and still has a great influence on the tectonics of the central and south-east Asia. This influence is well seen in intensity of earthquakes in this territory.



## Seizmičnost Indije



**Slika 3.** Prikaz seizmičnosti osrednje Azije v zadnjih 200 letih. Prikazani so potresi, ki so dosegli in presegli magnitudo 5,0. Če primerjamo tektonsko karto s karto seizmičnosti vidimo, da so najpogostejši in najmočnejši potresi v narivnih strukturah na območju Himalaje in na skrajnem vzhodnem in zahodnem delu Indijske plošče. Zadnji potres pa je nastal v zaledju litosferske plošče; žarišče je bilo nekaj sto kilometrov od roba plošče. Tovrstni potresi so mnogo redkejši, zato pa zelo zanimivi.

1...glavni narivni prelomi, 2...subdukcijska cona, 3...normalni prelomi, 4...smer premikanj večjih kontinentalnih plošč, 5...območja razširjanj (ekstenzija), 6...strižni prelomi, krogec označuje epicenter zadnjega potresa 26. januarja 2001.

**Figure 3.** Central Asia in the past 200 years – seismicity survey. Only earthquakes with magnitude 5,0 or more are shown. If we compare the tectonic map with the seismicity map we see, that the strongest and most frequent earthquakes originate in thrust structures in Himalayas and on the far east and far west end of the Indian plate. The last earthquake originated in hinterland of the lithospheric plate, the epicentre was only a few hundred kilometres from the plate's edge. Such earthquakes are very rare and therefore very interesting.

1...main thrust faults, 2...subductional zone, 3...normal faults, 4...direction of major continental plates' movement, 5...extension regions, 6. strike-slip faults, circle shows the position of the earthquake on January 26th 2001.

Najdejavnjša seizmična območja Indije so na njenem severnem delu, kar nam kaže tudi pregled najmočnejših potresov. Seizmičnost tega dela Indije je v primerjavi s predeli na severu (na mejnem prostoru z Nepalom in Kitajsko ter na območju Kalkute), sorazmerno majhna. Večinoma so tu nastajali šibki potresi, z izjemo potresa, ki je nastal 16. junija 1819 na območju mesta Kutch, v neposredni bližini zadnjega potresa. Ta je bil eden najmarkantnejših znotraj ploščnih potresov. Poglobljene študije so indijski seizmologi začeli delati šele v novjšem času. Potres z magnitudo 8,0 je povzročil koseizmični premik in deformacije na površini. V dolžini 90 km je prišlo do dviga enega krila narivnega preloma nad drugim, tako, da je ponekod nastala »stopnica« tudi do višine 4,3 m. Danes znanstveniki na podlagi sprememb površja ugotavljajo, da se je reaktiviral starejši tektonski jarek, kjer so delovale kompresijske sile v smeri sever - jug. Ugotovili so tudi, da je bil na tem območju v preteklosti potres podobne moči, ki je povzročil tudi utekočinjenje tal (likvefakcijo). Na podlagi geomorfoloških raziskav ugotavljajo, da se je to zgodilo pred 800 do 1000 leti. Zanimive bi bile primerjave mehanizma nastanka tega potresa s podobnima potresoma, ki sta nastala

znotraj Severnoameriške tektonske plošče: leta 1812 v centralnem delu Severnoameriške plošče (New Madrid) in leta 1886 v vzhodnem delu Severnoameriške plošče (Charleston) ter še z nekaterimi, sicer redkimi znotraj ploščnimi potresi.

Zadnji močan potres na tem območju (Anjar) je bil 21. julija 1956 z magnitudo 7,0. Zahteval je več kot sto človeških življenj.

Zanimiva pa sta tudi močna potresa, ki sta nastala nekoliko jugovzhodneje, v državi Maharashtra, torej še globlje na indijski litosferski plošči. 10. decembra 1967 je nastal potres na območju Koyna. Imel je magnitudo 6,5 in je zahteval 180 življenj. Večina prebivalcev je za ta potres krivila gradnjo jezua, medtem ko se znanstveniki s tem niso strinjali. Močan potres je nastal tudi 30. septembra 1993 na območju Latur - Osmanabad v državi Maharashtra. Imel je magnitudo 6,3. Zahteval je več kot 10 000 življenj.

### Pregled močnejših potresov v Indiji

**Preglednica 1.** Najmočnejši potresi na indijskem polotoku, ki so presegli magnitudo 6,0 in zahtevali veliko gmotno škodo in veliko število žrtev.

**Table 1.** The strongest earthquakes on Indian peninsula with magnitude over 6,0, causing severe damage and a lot of casualties.

Datum	°N	°E	Območje	Magnituda
16. junij 1819	23,6	68,6	Kutch, Gudžarat	8,0
10. januar 1869	25,0	93,0	Cachar, Asam	7,5
30. maj 1885	34,1	74,6	Sopor	7,0
12. junij 1897	26,0	91,0	Shillong	8,7
4. april 1905	32,3	76,3	Kangra	8,0
8. julij 1918	24,5	91,0	Srimangal, Asam	7,6
2. julij 1930	25,8	90,2	Dhubri, Asam	7,1
15. januar 1934	26,6	86,8	meja Bihar-Nepal	8,3
26. junij 1941	12,4	92,5	otočje Andaman	8,1
23. oktober 1943	26,8	94,0	Asam	7,2
15. avgust 1950	28,5	96,7	Arunachal Pradesh, meja z Kitajsko	8,5
21. julij 1956	23,3	70,0	Anjar, Gudžarat	7,0
10. december 1967	17,4	73,8	Koyna, Maharashtra	6,5
19. januar 1975	32,4	78,5	Kinnaur	6,2
6. avgust 1988	25,1	95,2	meja Manipur-Myanmar	6,6
21. avgust 1988	26,7	86,6	meja Bihar-Nepal	6,4
20. oktober 1991	30,8	78,9	Uttarkashi	6,6
30. september 1993	18,1	76,6	Latur-Osmanabad Maharashtra	6,3
22. maj 1997	23,1	80,1	Jabalpur	6,0
29. marec 1999	30,4	79,4	Chamoli	6,8
26. januar 2001	23,4	70,3	Gudžarat	7,7

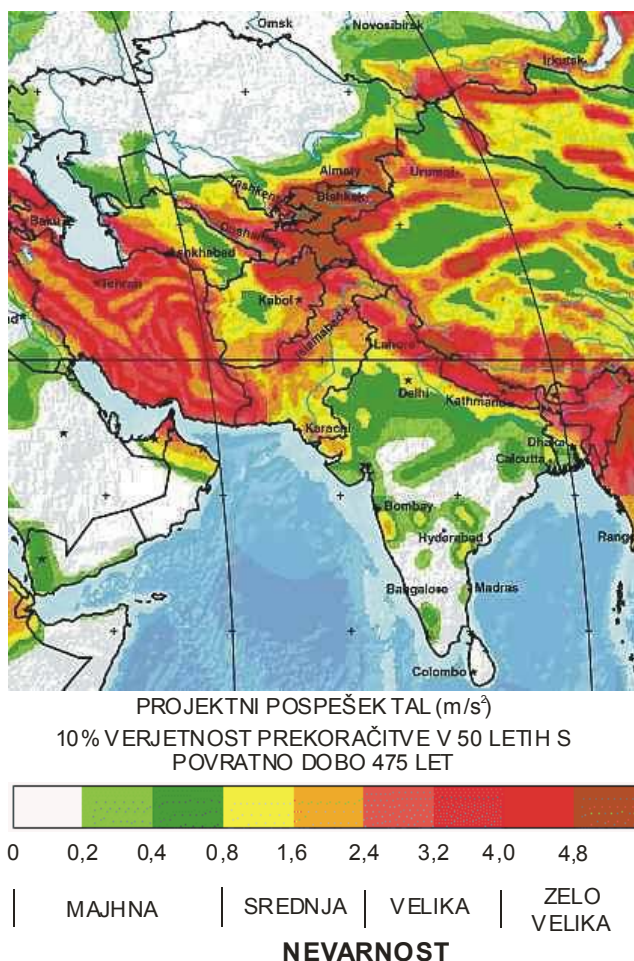
Pregled najmočnejših potresov v Indiji in v njeni soseščini v zadnjih 200 letih ( $M > 6,0$ ) je podan v preglednici in na sliki. Pred tem (od leta 1500 dalje) velja omeniti nekaj potresov, ki so zahtevali izjemno število žrtev. 26. maja 1618 je potres na območju Bombaya z magnitudo

6,9 zahteval 2 000 življenj. O močnih potresih v letih 1668 in 1688 je malo znanih podatkov (mogoče gre celo za en sam dogodek), po nekaterih podatkih pa naj bi zahtevala neznano večje število žrtev, enako velja za potres 15. julija 1720 na območju Delhija. Potres z največ žrtvami je nastal 11. oktobra 1737 na območju Kalkute, saj naj bi zahteval več kot 300 000 življenj.

V tem stoletju so največ žrtev zahtevali potresi leta 1905 (20 000 žrtev), leta 1934 (10 700 žrtev), leta 1950 (več kot 1 500 žrtev), leta 1991 (2 000 žrtev) in seveda leta 1993, v katerem naj bi umrlo več kot 10 000 ljudi.

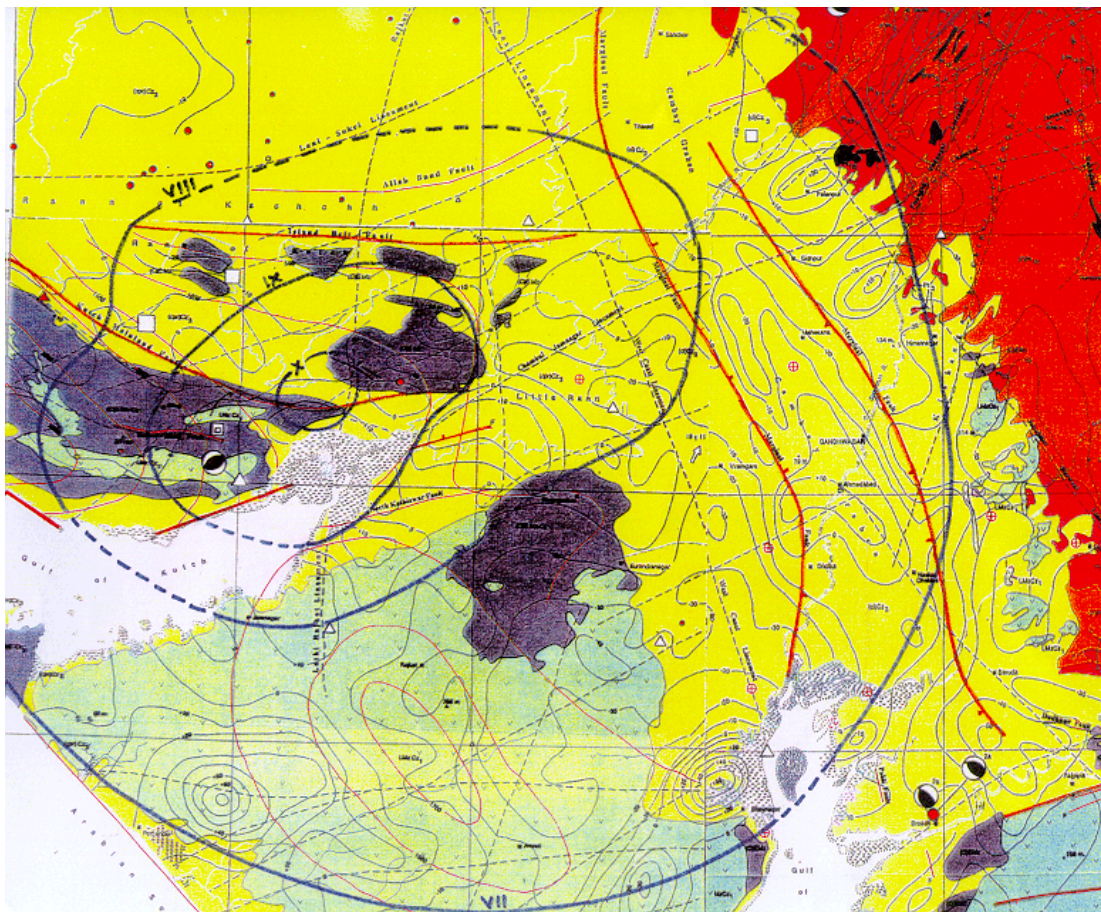
### Karta potresne nevarnosti Indije

Karta pospeškov na indijskem polotoku kaže, da je potres 26. januarja nastal na območju velike potresne nevarnosti., kjer so možni potresi, ki presežejo 0,30 g ( $1\text{ g} = 9,81 = 10\text{ m/s}^2$ ). Intenziteta zadnjega potresa je bila ocenjena z X EMS. To pomeni, da so seizmologi to območje Indije v pogledu seizmičnosti pravilno ocenili. Vsekakor pa je potrebno karte seizmičnosti znova in znova revidirati, dopolnjevati ali celo izdelovati nove.



**Slika 4.** Karta potresne nevarnosti Indije in širše okolice. Velikost pospeškov označujejo barve. Potres 26. januarja je nastal na območju, kjer so po tej karti predvidene največje vrednosti do 0,3 g, kar ustreza intenziteti IX po evropski potresni lestvici (EMS).

**Figure 4.** Seismic hazard map of India and its wider surroundings. The size of the accelerations is marked in colours. The earthquake on January 26th originated in the area, where, according to the map, the highest values up to 0,3 g are predicted. This corresponds with intensity IX EMS (European macroseismic scale).



*Slika 5. Izoiseiste potresa 26. januarja 2001.*  
**Figure 5. Isoseismic lines of the earthquake on January 26th 2001.**

### Poškodbe gradbenih objektov

Potresni sunek je zajel ogromno območje, saj so ga čutili tudi v višjih nadstropjih stolpnic v 570 km oddaljenem Bombaju, pa tudi v 1900 km oddaljeni Kalkuti. Na celotni regiji Kachchh zvezne države Gujarat so bile obsežne poškodbe, mnoga mesta in večje vasi, kot Bhuj, Anjar, Vondh in Bhahau, so bili porušeni skorajda do tal (večja vas pomeni več kot 20 000 prebivalcev). Porušile se niso le tradicionalno grajene opečne zgradbe ampak tudi mnoge novejšje armirano betonske konstrukcije.

Potresni sunek je porušil 300 000 zgradb, poškodoval pa je še nadaljnjih 700 000. Zgradbe na prizadetem območju v grobem lahko delimo v dve skupini:

- opečne stanovanjske hiše, krite s strešniki ali armirano betonsko ploščo,
- armirano betonski okviri z opečnimi nearmiranimi polnili.

Indija ima dobre predpise o potresno odporni gradnji. Ukrepi, določeni s predpisi, so namenjeni različnim tipom konstrukcij. Večina objektov na prizadetem območju žal ni grajena v skladu z zahtevami predpisov o potresno odporni gradnji, ker uporaba predpisov ni obvezna. Za večetažne armirano betonske objekte je predpisano upoštevanje tako horizontalnih sil kot tudi zahtev po duktilnem detajliranju v skladu s poznano prakso po svetu. Vendar je treba ponovno poudariti, da zelo malo večetažnih objektov zadošča predpisom o potresno odporni gradnji.

Večina vladnih organizacij si pri gradnji prizadeva za izpolnjevanje zahtev predpisa, vendar se privatni sektor, ki gradi za prodajo posameznikom, trudi predvsem za nižanje stroškov gradnje. Še več, mnogi arhitekti vztrajajo tudi pri izredno vitkih stebrih, ki se zlivajo s predelnimi stenami. Tako niso redke zgradbe s stebri širine le 125 mm (priporočljivo je 200 mm ali več).

### **Poškodbe zidanih zgradb**

Običajne stanovanjske zgradbe predstavljajo 95% vseh zgradb v regiji Kachchh. Značilno za te družinske domove je, da so slabo zasnovani in tudi slabo izgrajeni.

Različni tipi zidanih zgradb v regiji vključujejo:

- neobdelan kamen, povezan z blatom ali cementno malto,
- obdelan kamen z blatom ali cementno malto,
- opeka iz žgane gline z blatom ali cementno malto in
- polni ali votli cementni zidaki v cementni malti.

Obnašanje zidanih zgradb, kjer so zidaki vezani z »malto« iz blata, je bilo med potresom zelo slabo. Po drugi strani pa so solidno grajene opečne zgradbe s tudi po štirimi etažami v Ahmedabadu (225 km oddaljeno od epicentra) potres dobro prestale, medtem ko so se mnoge zgradbe, kjer je nosilni sistem predstavljal armirano betonski okvir, porušile ali pa so bile hudo poškodovane.

Obsežne in hude poškodbe zidanih zgradb so posledica slabe malte ter težkih in slabo zasnovanih ter izvedenih strešnih konstrukcij. Podobne izkušnje so imeli v Indiji že pri predhodnih potresih. Vzrok večine porušitev med potresom Killari leta 1993 so bile slabe povezave zidov, med potresom Kamoli leta 1999 pa so se zaradi slabe povezave zidov zgradb podirale težke strešne konstrukcije. Značilnosti porušitev v zadnjem potresu na prizadetem območju so posledica medseboj nepovezanega zidovja in nepovezanosti strehe z zidovi (debelina sten 0,4 - 0,6 m). Strešno kritino so predstavljali običajni težki glineni strešniki »Mangalore«.

Pri gradnji zidanih zgradb je v regiji Kachchh zelo pogosta uporaba velikih kamnitih blokov (dimenzije 0.25 m x 0.40 m x 0.60 m) za gradnjo sten, povezanih z »malto« iz blata ali slabo cementno malto. Med potresom je ta praksa pokazala vse svoje pomanjkljivosti. Masivno zidovje je pomenilo velike potresne sile, ki so jih nepovezani ali slabo povezani kamniti bloki absorbirali lahko le z velikimi pomiki. Posledica je bila porušitev zidu in nestabilnost tako grajenega bivališča.

Med potresom prizadeta območja Kachchh in Saurashtra (Saurashtra pomeni sto ljudstev) imajo mnoge zgodovinsko pomembne zgradbe, kot so grobnice, minareti in pagode. Mnoge od teh zgradb so se med potresom porušile ali pa so bile hudo poškodovane. Tako je bilo npr. v pokrajini Kachchh in Rajkot od 250 pregledanih zgradb kulturne dediščine 40% porušeni ali tako zelo poškodovanih, da jih bo potrebno porušiti. Nepoškodovanih je bilo le 10% zgradb, ki predstavljajo kulturno dediščino. Dan po potresu je bil poseben poziv za pomoč pri obnovi spomenikov kulturne dediščine.

## Poškodbe betonskih zgradb (AB zgradbe)

AB okvirne stanovanjske zgradbe so običajno 4 ali 5 etažne. Redke so stolpnice z do deset etažami. Te zgradbe v splošnem delimo na dva tipa, in sicer:

- tiste, ki imajo pritličja odprta (zelo malo ali sploh nobenega polnila, pritličje je namenjeno parkiranju vozil) in
- tiste, ki imajo tudi v pritličju običajna stanovanja (tu so torej polnila v okvirih kot v vseh ostalih etažah).

Mnoge zgradbe z »odprtimi« pritličji so se med potresom porušile.

Zgradbe z odprtim pritličjem so imele torej klasično mehko etažo, ki je znana kot posebej ranljiv konstruktivni element v primeru potresa. Mnoge od teh zgradb so bile projektirane le na obremenitve lastne teže in sploh ne na prevzem horizontalne obremenitve. Rezultat so bili stebri majhnih dimenzij. Stremenska armatura pri 4 - 5 etažnih zgradbah je običajno premera 6 mm na razdalji 200 mm. Pri višjih zgradbah je stremenska armatura premera 8 mm na razdalji prav tako 200 mm. Duktilnih detajlov pri stebrih ni, kar vodi k večji krhkosti le teh. Tudi kontrola kvalitete v fazi gradnje je neustrezna. Vsi ti vzroki vodijo k slabemu obnašanju mehkega pritličja.

Med potresom so se ponekod porušila tudi višja nadstropja. Vzrok temu so spremembe dimenzij prerezov stebrov, kot tudi neustrezno prekrivanje armature stebrov v vozliščih (stik stebra in grede).

Poudariti je potrebno, da so državne AB okvirne zgradbe utrpeli večinoma le nekonstruktivne poškodbe. Vzrok temu je, da so zgradbe, ki jih gradi država, narejene z upoštevanjem predpisov o potresno odporni gradnji, pa čeprav ni obvezen za uporabo.

Zgradbe brez mehkih pritličij so se obnašale mnogo bolje. Tudi tu je prišlo do poškodb, kot je bilo predvsem izpadanje polnil ali pa diagonalne razpoke v polnilih. Ponovno je potrebno poudariti, da običajno ni bilo projektiranja za prevzem horizontalnih sil.

Med potresom je prišlo tudi do mnogih porušitev vodnih rezervoarjev na strehah večetažnih zgradb. Ti so bili grajeni skupaj z AB okvirom. Med potresom so se obnašali kot konzolni dodatki na strehi.

Poseben primer so AB zgradbe v Ahmedabadu. Mestni predpis namreč predpisuje skupno pozidano površino zgradbe, vendar balkoni (tudi če so pokriti) v to ne štejejo. Tako so običajno v prvi etaži grajene konzole, ki segajo vsaj 1,5 m navzven. Na teh konzolah so potem grajene sobe. V mnogih primerih so se na teh konzolah pojavile diagonalne strižne razpoke.

## Poškodbe montažnih AB konstrukcij

Nekatere pritlične šole v regiji Kachchh so grajene iz AB montažnih elementov (plošče, stene, stebri). Pri približno tretjini od 318 takšnih šol v regiji Kachchh je prišlo do porušitve strešne (stropne) konstrukcije. Te porušitve so bile posledica slabe povezanosti krovne konstrukcije s stenami oziroma gredami in prekratkega območja naleganja stropne konstrukcije na stene oziroma grede. Tehnika montažne gradnje sicer v Indiji ni preveč razširjena. Tako bo verjetno potrebno še določiti primernost takšnih konstrukcij (in uporabljenih rešitev) na potresnih območjih, preden bodo gradili nove. Zelo pomembno je detajliranje posameznih elementov in stikov med njimi (predvsem naleganje in izvedba le-tega).

## Neustrezno popotresno ojačevanje

Po poružitvah in težkih poškodbah mnogih objektov so na prizadetem območju lokalni gradbinci pričeli s takojšnjim ojačevanjem tistih zgradb, ki so to dopuščale. V mnogih primerih so poškodovane stebre v pritličju obložili z betonom, žal pogosto neustrezno. Ojačevanje je bilo običajno narejeno le do nivoja poda in ne do temeljev. Na enak način je bila neustrezna povezava z gornjimi gredami – omet in morebitne obloge niso bili odstranjeni. Vzrok temu je bilo pomanjkanje strokovnjakov s področja potresno odporne gradnje.

## Poškodbe mostov

Na prizadetem območju je bilo mnogo pomembnih avtocestnih in železniških mostov. Večino poškodb na mostovih lahko združimo v:

- prečne premike zgornjega voznega dela mostov,
- poškodbe AB in zidanih podpornih zidov ter zidanih obokov,
- poškodbe stebrov,
- udore dovoznih ramp in
- poružitve ograje.

Največ poškodb je bilo na stiku spodnje mostne konstrukcije in gornjega voznega dela mostov.

## Poškodbe pristanišč in drugih industrijskih objektov

V obalnem delu Gujarata je mnogo industrijskih objektov, katerih poslovanje poteka preko pristanišč v Kandli, Mundri in Navlakhi. V pristanišču v Mundri niso opazili nobenih pomembnejših poškodb. Pristanišči v Kandli in Navlakhi sta bili poškodovani zaradi likvefakcije tal in konstrukcijskih pomanjkljivosti. V pristanišču Navlakhi se je porušil novozgrajeni pomol. Tudi 2,5 km dolg odsek železniške proge in ceste, ki povezujeta pristanišče, je bil poškodovan zaradi poružitve nasipa.

Rafinerija v Jamnagarju pošilja svoje produkte v Bhatindo in Haziro po 1500 km dolgem jeklenem naftovodu premera od 0,40 do 0,55 m. Naftovod ima na trasi več prečrpališč. Na celotni trasi, ki je potekala skozi prizadeto območje, ni bilo poškodb.

Na prizadetem območju je bilo mnogo tovarn soli. Te tovarne, v katerih je mnogo različnih proizvodnih enot, so zelo nepravilnega tlorisa in različnih konstrukcijskih sistemov. Mnogi tovarniški objekti so se delno porušili ali pa bili močno poškodovani.

Na epicentralnem območju so bile tudi rafinerije, TV stolpi (300 m visok v Bhujju in 170 m visok v Ahmedabadu), daljnovidni stebri (visoki do 80 m), komunikacijski antenski stolpi (visoki do 30 m), AB ohlajevalni stolpi (visoki do 60 m), jeklene okvirne industrijske zgradbe in AB vodovodni stolpi. Vse navedene konstrukcije so potres prestale brez ali le z manjšimi poškodbami. Izjemo predstavljajo AB vodovodni stolpi, ki so se ponekod porušili.

## Dejavnosti po potresu

**Transport.** Takoj po potresu dostop na prizadeto območje po cesti ali železnici ni bil možen. Porušil se je most na glavni avtocesti in promet je bil zaustavljen za dva dni. Tudi potem je

promet potekal le po enem voznem pasu, dokler niso odprli novega mostu, ki je bil v času potresa v zaključni fazi izgradnje.

Zaradi poškodb na trasi železniške proge je bil promet zaustavljen za en teden. Na mnogih odsekih železniške proge je prišlo do zvijanja tirov.

**Telekomunikacije.** Med potresom se je pretrgal optični kabel. Telefonske povezave z Bhujem so ponovno vzpostavili v dveh dneh.

**Električna energija.** Električna energija je na prizadeto območje prihajala predvsem iz termoelektrarne v 180 km oddaljenem Panandhru. Na termoelektrarni so ugotovili le manjše poškodbe. Dopolnilno so območje oskrbovali z elektriko iz termoelektrarne v Ahmedabadu in 400 km oddaljene jedrske elektrarne jugovzhodno od žarišča potresa; nobena od navedenih elektrarn med potresom ni utrpela poškodb. Vzrok za razpad elektroenergetskega sistema je bil porušitev mnogih transformatorskih postaj, ki so bile običajno opečne. Poškodb na daljnovodih ni bilo. 10 dni po potresu je bilo ponovno vzpostavljenega 80% elektroenergetskega sistema.

**Pitna voda.** Sama pokrajina Kachchh ima preko 800 vasi in mest. Preko 90% od teh je oskrbovanih z vodo iz 140 regionalnih vodovodov, ki jih upravlja centralna vodna uprava Gujarata. Na splošno velja to območje za sušno. Tako so okoli 150 vasi delno oskrbovali z vodo v cisternah.

Posamezne jeklene cevi pri vodnjakih (premer 0,25 m, debelina stene 6 mm) so se zvile, ponekod so se pretrgali električni kabli do črpalk. V Bhuju je bilo poškodovanih 6 od 16 vodnjakov. Ponekod je prišlo do poškodb jeklenih cevi, ki sta jih zapolnila mulj in pesek. V nekaterih vodnjakih je po potresu voda postala kalna. Žal noben vodnjak ni imel rezervnega električnega napajanja, tako, da so lahko opravljali svojo funkcijo šele po popravilu elektroenergetskega omrežja. Po potresu so opravili tudi meritve kvalitete vode in v 16 od pregledanih 300 vodnjakov ugotovili povečanje vsebnosti žvepla in težkih kovin.

V Grandidhamu so ocenili, da bo potrebno obnoviti 20 - 30% vodovodnega omrežja, saj se je okoli 40% vode izgubilo zaradi razpok v ceveh (žal ni bilo podatkov koliko vode se je izgubljalo že pred potresom).

Kot je bilo že prej omenjeno, so se porušili posamezni vodovodni stolpi. Potrebno je poudariti, da se je okoli 250 vodovodnih stolpov v regiji Kachchh med potresom obnašalo dobro. Porušilo se je 5 vodovodnih stolpov na jugu regije v Maalya-Morbi. Lastnik vodovodnih stolpov je država in so zgrajeni v skladu s predpisi o potresno odporni gradnji.

**Kanalizacija.** Pet mest v pokrajini Kachchh (vključujoč Gandhidham, Adepur in Bhuj) ima delno ali popolno zbiranje in obdelavo odpadnih vod. Bhuj ima oksidacijske bazene za obdelavo odpadnih vod. Na tem področju ni prišlo do porušitev cevovodov, vendar sistem ni bil v celoti pregledan.

## Reševanje

Območje Kachchh v regiji Gujarat je znano po veliki potresni nevarnosti. Navkljub temu niso imeli nobenih načrtov za ukrepe v primeru potresa. Tako so bili popolnoma nepripravljeni na naravno nesrečo takšnega obsega. V Indiji je ukrepanje ob naravnih nesrečah v pristojnosti



vlad zveznih držav, medtem ko zvezna vlada pomaga logistično in finančno. Po potresu sta obe vladi dobro koordinirali aktivnosti tudi zato, ker pripadata isti stranki.

Navkljub dobri volji so bile aktivnosti državnih organov počasne tudi zato, ker se je potres dogodil na praznični dan (dan republike) in je bilo mnogo uslužbencev vladnih služb vključenih v praznične slovesnosti. Nastanek potresa ob 8 uri in 46 minut zjutraj je v mnogih krajih sovpadal s prazničnim dviganjem zastave. Žrtev je bilo manj, saj so bili udeleženci proslav (uradniki, vojaki, šolarji, ...) na odprtem prostoru. Vendar je bilo okoli 300 šolarjev v Anjaru zasutih, ko so med potresom v paradi hodili po ozkih mestnih ulicah.

Center za koordiniranje ukrepov v Gandhinagarju je začel z delom slabo uro po potresu (ob 9.30). Vendar so problemi s telefonskimi povezavami bistveno zmanjšali učinkovitost. Telefonska zgradba v Bhuju je bila hudo poškodovana in mnogi uslužbenci so umrli pod padajočimi deli delov zgradbe. Pretrg optičnega kabla, ki je omogočal povezavo z regijo Kachchh je pomenil izolacijo od ostalega Gujarata. Moteno je bilo tudi delovanje mobilnih telefonov. Komunikacije so bile delno vzpostavljene v dveh dneh po potresu.

Centri za koordiniranje ukrepov v ostalih mestih so bili v šotorih na prostem brez osnovnih pripomočkov. Tako so informacije prihajale zelo počasi in posledično so bile upočasnjene tudi reševalne akcije (tudi tu ni bilo ne izkušenega kadra, ne potrebne opreme). Mnogo ljudi je izgubilo svoje bližnje, zato jih je bilo težko mobilizirati v reševalne aktivnosti.

Obseg katastrofe v Gujaratu je bil takšen, da je pri reševalnih delih primanjkovalo vsega. Tako je v Ahmedabadu primanjkovalo dvigal in buldožerjev, ki bi omogočili dostop in odstranjevali ruševine pri iskanju zasutih ponesrečencev. Mesta Bhuj, Bhachau in Rapar ter več kot dvesto vasi je bilo popolnoma porušeni. Mnogo žrtev in obsežnih poškodb je bilo v bližnjih mestih Surendranagar, Patan, Jamnagar, Bhavnagar, Surat, Anand, Rajkot in Baskantha. Praktično nemogoče je bilo zagotoviti potrebno število reševalnih ekip z vso potrebno tehnično opremo in mehanizacijo za vse prizadete lokacije, pa čeprav so svojo pomoč nudile tako sosednje zvezne države kot zasebna podjetja. Marsikje veliki buldožerji niso mogli priti v središča mest ali vasi zaradi zasutih ozkih ulic.

Kot vedno v takšnih primerih je v prvih urah najpomembnejša pomoč preživelih domačinov. Kasneje je bistveno vlogo odigrala indijska vojska z razpoložljivo težko mehanizacijo. Vojska je postavila začasna bivališča, delila hrano, zagotavljala zdravniško oskrbo vključno z izvajanjem medicinskih operacij. Poškodovane so oskrbovale vojaške bolnišnice v regiji. Vojska je tudi zagotovila varovanje zasebne lastnine na prizadetem območju. Ljudje so sodelovanje in ukrepanje vojske zelo odobrvali.

## **Zaključek**

To je bil prvi veliki potres, ki je v Indiji prizadel urbano območje. Po obsegu škode je bil najmočnejši v novejši zgodovini Indije. Potres je posebej opozoril na nekatere pomanjkljivosti pri obravnavanju potresne nevarnosti. Del teh pomanjkljivosti je naštet v nadaljevanju.

Veliko število žrtev je posledica dejstva, da večina zgradb v pokrajini ne ustreza zahtevam predpisov o potresno odporni gradnji. Vzrok temu je delno v tem, da predpisi niso obvezni, delno pa zaradi pomanjkanja izkušenj med gradbeniki. Žal je situacija podobna tudi v drugih delih Indije.

Poškodovanih je bilo veliko AB okvirnih konstrukcij z mehkim pritličjem, namenjenim parkiranju (v njih je bilo tudi mnogo žrtev). Ker je takšen način gradnje v Indiji zelo razširjen, so te poškodbe povzročilo veliko zaskrbljenost. To je bil pravi trenutek za indijske strokovnjake, da ocenijo tak način gradnje in razvijejo metode ojačevanja konstrukcij.

Mnoge AB okvirne konstrukcije niso projektirane za prenos potresnih sil. Potres so prestale zaradi opečnih polnil v okvirih. Polnila povečajo togost in trdnost konstrukcije. Ker bodo takšne zgradbe še gradili, bo verjetno potrebno dodelati metodologijo takšnih sistemov na tleh potresno nemirne Indije.

Veliko žrtev med potresom v Ahmedabadu in drugih urbanih območjih je ponovno pokazalo na nevarnost možnih potresov v indijskih mestih vzdolž himalajskega prelomnega sistema. Na takšne potrese je potrebno biti pripravljen.

Resneje so bile poškodovane tudi mnoge zemeljske pregrade. Na srečo zaradi večletne suše za pregradami ni bilo dosti vode. Vendar so poškodbe v potresno nevarnem območju pokazale potrebo po oceni potresne odpornosti pregrad in kasneje po njihovem ojačevanju. Sam potres je dal strokovnjakom obilo podatkov za boljše poznavanje obnašanja pregrad med potresom.

Potres je nastal na območju, ki je po indijskih potresnih kartah uvrščeno v območje velike potresne nevarnosti. Žal vseeno niso imeli pripravljenih ukrepov za delo ob takšni naravni nesreči.

Potres z žariščem v indijski zvezni državi Gujarat je najbolj prizadel prestolnico Ahmedabad, kjer verjetno ne bo nikoli znano končno število žrtev. Ahmedabad je veljal za bogato mesto s 5 milijoni prebivalcev, vendar pa popolnoma nepripravljeno na potres. Večnadstropni objekti so se rušili kot zloženke. Večina porušenih objektov je bila zgrajena površno iz zelo slabih materialov, po nekaterih navedbah so bloke nekontrolirano nadgrajevali in s tem porušili statiko. Žal je zaključek tudi tokrat enak - popolnoma neodgovorna gradnja in popolna nepripravljenost na potres.

*Fotografije 6 do 26 so delo različnih avtorjev, povzete iz svetovnega spleta.*

*Fotographs 6 through 26 are work of different authors, taken from the Internet.*



**Slika 6.** Anjar. Potres je uničil večino hiš, ki so bile po potresu leta 1956 ponovno zgrajene.  
Potres je opustošil isti del starega mestnega jedra.  
**Figure 6.** Anjar. The earthquake destroyed most of the buildings which had been rebuild since the 1956 earthquake had devastated the same old city area.



**Slika 7.** Strižna porušitev stebra v pritličju stanovanjske hiše.  
**Figure 7.** Shear failure of the column in the ground floor of the building

**Slika 8.** V Ahmedabadu so takoj po potresu poškodovane stebre nepravilno ojačali. S slike je razvidno, da je bilo ojačanje samo položeno na tla in ni bilo sidrano v zgornjo oz spodnjo ploščo.

**Figure 8.** Improper jacketing of the columns was widely practiced in Ahmedabad immediately after the earthquake. Note that the new reinforcement simply rested on the floor, and was not anchored to the slab at top.



**Slika 9.** Pomanjkanje armature (pogosto je zelo malo stremenske armature) ima za posledico porušitev stebra v vozlišču.

**Figure 9.** Lack of reinforcement (usually there is lack of stirrups) caused destruction of the column in the joint.



**Slika 10.** Značilna stanovanjska zgradba z odprtim pritličjem, kjer so bile garaže. Takšno pritličje se med potresom obnaša kot mehka etaža (pri močnem potresu stebri v mehki etaži ne zmorejo sprejeti potresnih sil).

**Figure 10.** Typical building with open first storey, used as a garage. Such storeys create a classical »soft storey«, where the columns during the earthquake cannot bear the introduced lateral forces.



**Slika 11.** Novejša konstrukcija na levi se je med potresom prevrnila. Zgradba na desni pa je prestala tudi potres leta 1956.

**Figure 11.** The new construction on the left side of the picture turned over, however the building on the right side has undergone also the 1956 earthquake.

**Slika 12.** Anjar. Ozka ulica je zasuta z odpadlimi večjimi kosi delov porušenih zgradb.

**Figure 12.** Anjar. Narrow lane blocked with fallen rubble.



**Slika 13.** Bhuj. Najbolj so bile prizadete zgradbe, zgrajene iz različnih materialov. Sorazmerno nov objekt je imel stene iz kamna, deloma armiranega betona, ponekod pa AB plošče (spodaj).

**Figure 13.** Bhuj. Buildings built from different kinds of material have been damaged the most. The not so old building was made of stone, reinforced concrete and somewhere RC slabs (below).





**Slika 14.** Bhuj. V mestnem jedru so ozke, zavite ulice postale težko prehodne. Projektanti so po potresu opozarjali, da ozke uličice zaradi možnih novih rušenj niso varne.

**Figure 14.** Bhuj. The narrow and winding streets in the city became impassable. The streets are now being condemned by government planners as unsafe, because of the danger from collapsing walls.



**Slika 15.** Trinadstropna hiša je bila težko poškodovana, vendar se ni v celoti porušila. Prvi dve nadstropji naj bi bili stari več kot 200 let, zgornje pa okoli 75 let.

**Figure 15.** This 3 storeyed house was badly damaged, but remained standing. The first two floors were reported to be over 200 years old, and the upper floor 75 years old.



**Slika 16.** V Bhuju so se nekateri novejši armirano betonski okvirji sesedli kot palačinke, življenje pa teče dalje. Po potresu so se še med ruševinami takoj odprle »trgovine«.

**Figure 16.** Some of the reinforced concrete blocks collapsed like pancakes in Bhuj. However life goes on and »shops« were opened in the middle of the ruins immediately after the earthquake.



**Slika 17.** Jhurand. Skoraj vse zgradbe v mestu so se zrušile v povezan kup grobih kamnitih kosov. Prah, ki je viden na sliki, je posledica čiščenja. Slika je posneta približno dva tedna po potresu.

**Figure 17.** Jhurand. Virtually entire building stock was reduced to cohesionless piles of rubble. Dust is from ongoing cleaning. The photo was taken about 2 weeks after the event.





**Slika 18.** Bhuj. Zgradbe so bile v zgodovinskem delu mesta iz različnih obdobj, zgrajene pa kot pritlične hiše ali nizki stanovanjski bloki.

**Figure 18.** Bhuj. The historic city area had constructions which were both old and recent, and ranged from single storey houses, to mid-rise apartment blocks.



**Slika 19.** Pogosto so zgradbe zgrajene iz neobdelanega kamna povezanega s slabo malto. Posledica močnega potresa pri takšnih zgradbah je porušitev objekta in opustošenje mest in vasi.

**Figure 19.** Buildings were mostly made of raw stone and some mortar. A strong earthquake causes complete devastation of villages and cities made of such buildings.



**Slika 20a.** Bhuj. V potresu leta 2001 je Raolakha Chhatri klonil. Bil je najstarejši, največji in najbolj dovršen prostor za sežiganje umrlih maharadž. Raolakha Chhatri je bil zgrajen v 18. stoletju in je preživel veliki Kachchh potres leta 1819.

**Figure 20a.** The Raolakha Chhatri was constructed in the 18th century and survived the great 1819 Kachchh Earthquake, but succumbed to the 2001 earthquake. It was the oldest, largest and most elaborate of the cremation ground memorials to past Maharajas.



**Slika 21.** Obe zgradbi sta bili zgrajeni približno istočasno. Slaba gradnja zgradbe na desni je imela za posledico, da se je sesedla etaža na etažo.

**Figure 21.** Both buildings were built at approximately the same time. The poorly constructed building on the right collapsed.



**Slika 22.** Deli starega obzidanega mestnega središča mesta Bhuj so bili popolnoma opustošeni. Slika prikazuje razsežnosti potresa – veliki predeli so bili uničeni do nerazpoznavnosti, ne glede na to, iz kakšnega materiala so bili sezidani objekti (betonski ali kamniti). Najpogosteje so bili objekti v osnovi iz kamna, na katere so kasneje dogradili armirano betonska nadstropja ali težke AB strehe. To je samo pripomoglo k dejstvu, da se preobremenjena spodnja nadstropja sesedla zaradi teže in togosti zgornjih nadstropij.

**Figure 22.** Sections within the old walled city of Bhuj were completely devastated. This image gives an idea of the extent of the damage – most structures over a many block area were rendered unrecognizable regardless of whether they were reinforced concrete, or constructed of stone. Most often, the buildings were made of stone originally, and later had heavy concrete roofs or top storeys added – which only served to help the overloaded stone structures beneath collapse from the weight and stiffness of the overburden.



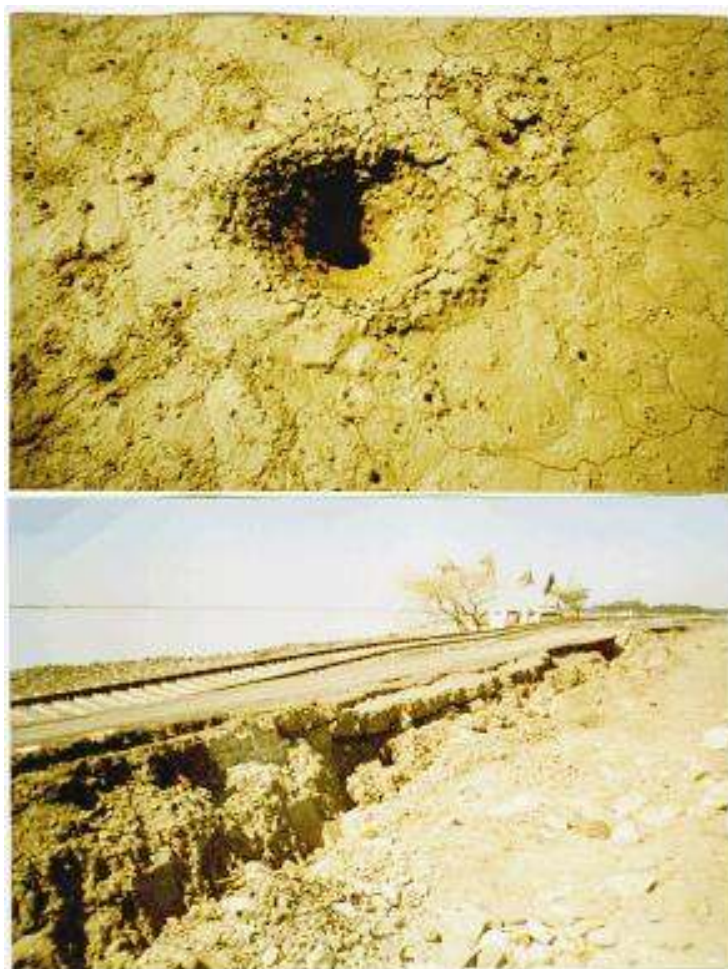
*Slika 23. Vertikalni premiki na površini so dosegli skoraj 1 m.*  
*Figure 23. Vertical shifting on the surface almost reached 1 metre.*



*Slika 24. Premiki na površini.*  
*Figure 24. Surface movements.*



*Slika 25. Razpoke na površini.  
Figure 25. Cracks in the ground.*



*Slika 26. Pojavi likvefakcije  
(utekočinjenje tal) imajo za  
posledico večja posedanja tal.  
Figure 26. Liquefaction  
caused great slumping.*

**Literatura**

<http://www.ceri.memphis.edu/gujarat/tuttle.shtml>

<http://www.conservationtech.com/india-UNESCO/Kutch-subweb/Kutch-title-pg.htm>

<http://neotectonics.seismo.unr.edu/Bhuj/Report.html>

<http://www.imd.ernet.in/section/seismo/static/signif.htm>

<http://cires.colorado.edu/~bilham/BhujOyoThrust.html>

