

POTRESI V LETU 2000

POTRESI V LETU 2000
EARTHQUAKES IN 2000

AGENCIJA REPUBLIKE SLOVENIJE ZA OKOLJE
URAD ZA SEIZMOLOGIJO

ENVIRONMENTAL AGENCY OF THE REPUBLIC OF SLOVENIA
SEISMOLOGY OFFICE

Ljubljana 2001

POTRESI V LETU 2000 EARTHQUAKES IN 2000

IZDALA IN ZALOŽILA – PUBLISHED BY

Ministrstvo za okolje in prostor – Ministry of the Environment and Spatial Planning
Agencija RS za okolje (ARSO) - Environmental Agency of the Republic of Slovenia
Urad za seizmologijo – 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
dr. Barbara Šket - Motnikar
mag. Mladen Živčić

UREDNIK – EDITOR - IN - CHIEF

mag. Renato Vidrih

RAČUNALNIŠKO OBLIKOVANJE – COMPUTER DESIGN

Peter Sinčič

OBLIKOVANJE NASLOVNICE – COVER PAGE DESIGN

Teo Spiller

LEKTOR – LANGUAGE EDITOR:

Horizont, d.o.o., Bezenškova 35, Ljubljana

PREVOD – TRANSLATIONS:

Vitrum, d.o.o., Hrdeckega 38, Ljubljana

TISK – PRINTED BY

Formatisk, Bobenčkova 4, Ljubljana

<p>CIP – Kataložni zapis v publikaciji Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana UDK 550.34.100 »2000« ISSN 1318 - 4792 Potresi v letu 2000/ur. R. Vidrih – Ljubljana Agencija RS za okolje, 2001</p>

**NASLOVNICA:
COVER PAGE:**

**KARTA TVEGANJA NASTANKA PLAZOV ZARADI POTRESOV
(avtorja: Mihael Ribičič in Renato Vidrih)**

Karta tveganja nastanka plazov zaradi potresov kaže najbolj nevarna območja v Sloveniji. Za določene predele je značilna velika potresna dejavnost, kar pa ni nujno, da povzroča plazenje, če kamnina temu ni podvržena. Obratno pa lahko že šibek potresni sunek povzroči nastanek plazov v manj stabilni kamnini.

**THE MAP OF THE RISKS OF EARTHQUAKE-TRIGGERED LANDSLIDES
(avtorja: Mihael Ribičič & Renato Vidrih)**

The map of the risks of earthquake-triggered landslides shows the most dangerous areas in Slovenia. High seismic hazard is typical of certain areas, which does not necessarily cause landslides if the rock is not liable to it. On the other hand, a light shock could cause a landslide of less stable rock.

VSEBINA

PREDGOVOR	I
<i>Peter Sinčič, Renato Vidrih in Ina Cecić</i>	
POTRESNE OPAZOVALNICE V SLOVENIJI V LETU 2000	1
<i>Ina Cecić, Mladen Živčić, Martina Torkar in Tamara Jesenko</i>	
POTRESI V SLOVENIJI LETA 2000	8
<i>Mihael Ribičič in Renato Vidrih</i>	
GRUŠČNATI TOK IN POTRESNA DEJAVNOST V LOGU POD MANGARTOM	29
<i>Matjaž Gostinčar</i>	
OPAZOVANJE POTRESNE DEJAVNOSTI PO SPROŽENJU GRUŠČNATEGA TOKA	81
<i>Izidor Tasič</i>	
KONTROLA STABILNOSTI SENZORJA FBA23, VGRAJENEGA V MERILNIK	
POSPEŠKOV ETNA	86
<i>Jure Ravnik in Mladen Živčić</i>	
FAKTOR DOBROTE Q ZA OSREDNJO SLOVENIJO	95
<i>Griša Močnik, Maja Trnkoczy in Renato Vidrih</i>	
MOČNEJŠI POTRESI PO SVETU LETA 2000	105
<i>Renato Vidrih</i>	
ZMANJŠEVANJE POTRESNE OGROŽENOSTI IN NOVA SVETOVNA KARTA	
POTRESNE NEVARNOSTI	115

CONTENTS

PREFACE	II
<i>Peter Sinčič, Renato Vidrih in Ina Cecić</i>	
SEISMIC NETWORK IN SLOVENIA IN 2000	1
<i>Ina Cecić, Mladen Živčič, Martina Torkar in Tamara Jesenko</i>	
EARTHQUAKES IN SLOVENIA IN 2000	8
<i>Mihael Ribičič in Renato Vidrih</i>	
GRAVEL FLOW AND SEISMIC ACTIVITY IN LOG POD MANGARTOM	29
<i>Matjaž Gostinčar</i>	
SEISMIC ACTIVITY MONITORING AFTER THE GRAVEL FLOW	81
<i>Izidor Tasič</i>	
THE CONTROL OF THE SENSOR STABILITY FBA23, INSTALLED IN THE ACCELEROGRAPH ETNA	86
<i>Jure Ravnik in Mladen Živčič</i>	
CODA Q FROM EARTHQUAKES IN CENTRAL SLOVENIA	95
<i>Griša Močnik, Maja Trnkoczy in Renato Vidrih</i>	
WORLD'S LARGEST EARTHQUAKES IN 2000	105
<i>Renato Vidrih</i>	
EARTHQUAKE RISK REDUCTION AND NEW GLOBAL SEISMIC HAZARD MAP	115

PREDGOVOR

Deseta publikacija "Potresi v letu ..." obravnava potresno dejavnost v letu 2000. Uvodni članek nas seznani s stanjem potresnega opazovanja v Sloveniji. Sedem potresnih opazovalnic je zabeležilo 4162 naravnih in umetnih potresov, od tega 499 oddaljenih, 854 regionalnih, 2050 lokalnih in 759 umetno povzročenih potresov. V obdobju do leta 2003 na Agenciji RS za okolje, uradu za seizmologijo načrtujemo izgradnjo 25 opazovalnic državnega omrežja, kar bo bistveno izboljšalo naše vedenje o potresni nevarnosti našega prostora.

O tem, da je slovenski prostor potresno dejaven, nam pričajo podatki v članku o potresih v Sloveniji. Leta 2000 je bila potresna dejavnost zmerna. Prebivalci različnih predelov Slovenije so čutili 92 potresnih sunkov. Najmočnejši med njimi, z lokalno magnitudo 3,2 in največjimi učinki V EMS, je nastal 16. aprila na območju Rake na Dolenjskem. Enake učinke so dosegli še štiri potresi; trije so dosegli med IV in V EMS, 36 potresov je doseglo največje učinke IV EMS, vsi ostali pa so imeli učinke manjše od IV EMS. Večina potresnih žarišč je nastala v globini manjši od 10 km.

Osrednji del publikacije je namenjen naravnemu pojavu – gruščnatemu toku v Logu pod Mangartom, kjer ob opisu samega plazenja, povezave med potresi in plazenjem, vzrokov nastanka gruščnatega toka, posledic in sanacij, dokazujemo, da potresna dejavnost v zgornjem Posočju ni vplivala na katastrofo, ki je nastala 17. novembra 2000 in je zahtevala sedem življenj. V ta namen smo postavili v Logu pod Mangartom in Soči dva akceleroografa, ki sta delovala do 24. maja 2001.

V nadaljevanju sledita dva teoretična članka. Prvi opisuje kontrolo delovanja stabilnosti nekaterih seizmografov z novo programsko opremo, ki iz zapisa funkcijskega testa senzorjem oceni osnovne parametre, drugi pa opisuje določanje faktorja dobrote Q za Zemljino skorjo in zgornji del plašča pod osrednjo Slovenijo iz digitalnih zapisov lokalnih potresov.

Publikacijo zaključujeta članka o najpomembnejših svetovnih potresih v letu 2000 in novi karti potresne nevarnosti sveta, ki je izšla konec leta 1999. Glede na povprečno število žrtev, ki jih vsako leto zahtevajo potresi (okoli 14.000 letno), je bilo leto 2000 dokaj mirno, saj so potresi zahtevali "le" 210 žrtev. Potres z največ žrtvami je bil 4. junija na Sumatri (103 mrtvi), največja energija se je sprostila ob potresu 16. novembra v bližini Papue Nove Gvineje ($M=8,0$), najgloblji pa je bil potres 7. avgusta v Banskem morju (globina žarišča 649km). Zadnji članek predstavlja novo svetovno karto potresne nevarnosti, ki temelji na projektnem pospešku tal za povratno dobo 475let, kar ustreza 90% verjetnosti, da izračunane vrednosti ne bodo presežene v 50-tih letih. Pri izdelavi nove svetovne karte potresne nevarnosti so sodelovali tudi slovenski seizmologi.

Renato Vidrih
urednik

PREFACE

The tenth publication "Earthquakes in (the year)" deals with seismic activity in 2000. The introductory article gives information about the state of earthquake monitoring in Slovenia. Seven seismic stations registered 4162 natural and human-caused earthquakes, 499 of which were distant ones, 854 were regional, 2050 were local and 759 were human-caused earthquakes. By 2003, the Seismology Office within the Environmental Agency of the Republic of Slovenia plans to set up 25 monitoring stations in the national network, which will greatly improve our knowledge of seismic hazard in Slovenian territory.

Seismic activity in Slovenian territory is revealed by the figures in the article on earthquakes in Slovenia. In 2000, seismic activity in Slovenia was moderate. Inhabitants of different parts of Slovenia felt 92 seismic shocks. The strongest, with a magnitude of 3.2 and the highest intensity of V of the EMS, occurred in the area of Raka on Dolenjsko on 16 April. Four other earthquakes achieved the same intensity level, three earthquakes were between IV and V of the EMS, 36 achieved the highest intensity of IV of the EMS, while all other earthquakes were weaker than IV of the EMS. Most earthquakes appeared at a depth of less than 10 km.

The core part of the publication is dedicated to a natural phenomenon - the gravel flow in Log pod Mangartom. By describing the landslide, connections between earthquakes and landslides, causes of the gravel flow, consequences, sanitation etc., we prove that seismic activity in upper Soča Territory did not cause the catastrophe of the 17 November 2000, which took seven lives. For this purpose, two accelerographs were set up in Log pod Mangartom and Soča and were active until 24 May 2001.

Further on, you can read two theoretical articles. The first one describes how the stable working of some seismographs is controlled by new programme equipment, which assesses the sensors' basic parameters from recorded functional tests. The other one describes how to determine the quality factor Q for the lithosphere and the upper crust of the Earth below central Slovenia from digital records of local earthquakes.

The publication ends with articles on the most important world earthquakes and a new global seismic hazard map. With regard to the average number of victims claimed by earthquakes every year (some 14,000 yearly), 2000 was a relatively calm year with 'only' 210 victims. The greatest number of victims was caused by the earthquake on Sumatra on 4 July (103 dead). The greatest energy was released in the earthquake near Papua New Guinea on 16 November ($M=8.0$). The deepest was the earthquake of 7 August in the Banda Sea (the hypocentre at a depth of 649km). The last article presents the new global seismic hazard map, based on design ground acceleration for a return period of 475 years, which corresponds to a 90% probability that the calculated values will not be exceeded in 50 years' time. Included among the participants in the making of the new global seismic hazard map were Slovenian seismologists.

Renato Vidrih
Editor - in - chief

POTRESNE OPAZOVALNICE V SLOVENIJI V LETU 2000

SEISMIC NETWORK IN SLOVENIA IN 2000

Peter Sinčič, Renato Vidrih in Ina Cecić¹

Izvleček. Konec leta 2000 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), na Cesti nad Krškim (CESS) in na Braniku nad Muto (BISS). V tem letu smo vključili v državno računalniško mrežo še potresne opazovalnice v Dobrini (DOBS), v Goričicah pri Cerknici (CEY) in v Braniku nad Muto (BISS). Stalna opazovalnica na Vojskem (VOY) ter začasna v Brezju pri Senušah (KBZ) na obrobju Krško - Brežiškega polja sta opremljeni z analognimi seizmografi. Zaradi povečane potresne aktivnosti na tem območju smo aprila postavili tričasne opazovalnice. Na Raki in v Gržeči vasi smo namestili prenosna akceleroografa, v Gracarjevem turnu pa prenosni seizmograf. Novembra smo namestili prenosna akceleroografa v Logu pod Mangartom in v Soči. Prenosni seizmograf pa smo namestili tudi v Bojtni na Pohorju na mestu, kjer je predvidena stalna potresna opazovalnica po končani modernizaciji omrežja. V Posočju smo v Bovcu in Kobaridu bogatejši za dve stalni opazovalnici za močne potrese.

Abstract. There were seven permanent earthquake monitoring stations within the Republic of Slovenia at the end of 2000. The stations are equipped with different types of analogue and digital seismographs. The oldest and central monitoring station (LJU) of the Republic of Slovenia's Environmental Agency, located at the observatory in Golovec in Ljubljana, is equipped with three-component analogue long-period and short-period seismographs with optical recording on photographic paper, a short-period seismograph with ink recording and with broad band digital seismographs. An earthquake monitoring station (CEY) was built in Goričice at Cerknisko jezero in 1975. A broad band digital seismograph was supplied in 1997 to supplement the existing three-component short-period analogue seismograph. In January 1985, the third seismic station (VOY) in Slovenia, located at Vojsko near Idrija, started to operate. It was initially equipped with an analogue short-period seismograph with a vertical component. The horizontal components were added in January 1991. In 1986 the earthquake monitoring station (VBY) at Bojanci in Bela Krajina was installed. Similarly, it was equipped with an analogue short-period seismograph with a vertical component. In 1996, a broad band digital seismograph was added together with a facility to transmit data to the main office in Ljubljana via a telephone line. In order to monitor seismic activity in the Krško - Brežice area, a temporary earthquake monitoring station was set up in 1990. It was equipped with a vertical component portable analogue seismograph at Brezje pri Senušah. A digital 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 1997, this was replaced with a seismograph transmitting data to the main office using the state administration's computer network. Because of the possibility of increased seismic activity due to an electricity power plant lake in neighbouring Austria, a temporary earthquake monitoring station was installed at Branik near Muta in 1991. It was equipped with a vertical component portable analogue seismograph. A shaft was built and a broad band digital seismograph was installed, transmitting data to the main office via telephone lines in 1996. In the same year, an earthquake monitoring station at Dobrina on Kozjansko commenced operation. It is equipped with the same type of digital seismograph as Branik. A portable digital seismograph recording data on magnetic tape also operates from time to time at Horjul. Two permanent accelerometer stations were set up in Bovec and Kobarid. Because of increased seismic activity in the vicinity of Krško in April and May 2000, portable digital

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

accelerographs was installed in Raka and Gržeča vas and portable seismograph was installed in Gracarjev turn and in Bojtina on Pohorje. In November landslide destroyed a part of a small village Log pod Mangartom. Two portable accelerographs were temporarily installed in Log pod Mangartom and Soča.

Uvod

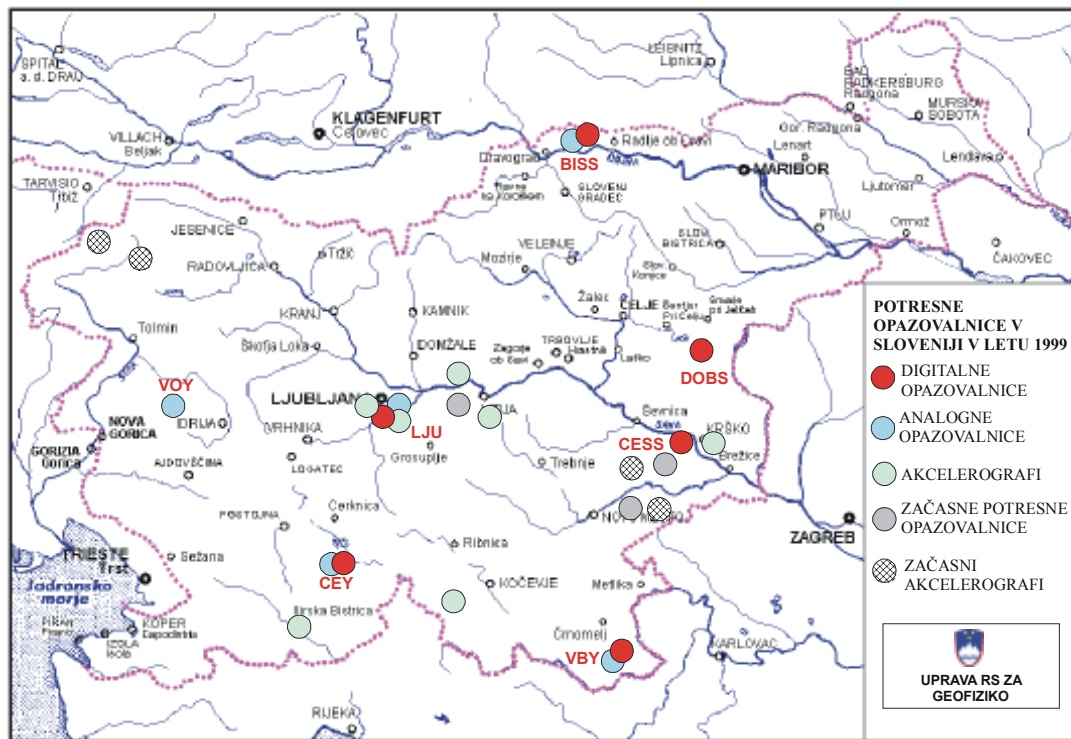
Najstarejša in osrednja opazovalnica Agencije RS za okolje v observatoriju na Golovcu v Ljubljani (LJU) je opremljena s trikomponentnim analognim dolgoperiodnim seizmografom in trikomponentnim analognim kratkoperiodnim seizmografom z optičnim zapisom na fotografski papir, s kratkoperiodnim seizmografom z vidljivim zapisom ter s širokopasovnimi digitalnimi seizmografi. Leta 1975 je bila zgrajena potresna opazovalnica CEY v Goričicah pri Cerkniškem jezeru. Opremljena je z analognim trikomponentnim kratkoperiodnim seizmografom, ki mu je bil leta 1997 dodan digitalni širokopasovni seizmograf. Januarja 1985 je začela delovati tretja potresna opazovalnica VOY na Slovenskem, ki smo jo postavili na Vojskem nad Idrijo (Trnkoczy in Vidrih, 1986). V začetku je bila opremljena z analognim kratkoperiodnim seizmografom z vertikalno komponento, januarja leta 1991 pa sta bili dodani še horizontalni komponenti. Leta 1986 je bila zgrajena potresna opazovalnica VBY v Bojancih v Beli krajini, 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 na 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 v Ljubljani. Zaradi možnosti povečanja seizmičnosti ob polnjenju akumulacijskega jezera v sosednji Avstriji je bila leta 1990 postavljena začasna potresna opazovalnica BISS z enokomponentnim prenosnim analognim seizmografom na Braniku nad Muto. Leta 1996 ji je bil zgrajen 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 na Braniku nad Muto. V Horjulu deluje občasno prenosni digitalni seizmograf s shranjevanjem podatkov na magnetni medij (Sinčič in Vidrih, 1993, 1995).

Opis potresnih opazovalnic

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

(vertikalna komponenta). Sistem z vidljivimi zapisi sestavljajo seizmometri Willmore MK-II, seizmografski ojačevalniki SO-01, ki so jih razvili strokovnjaki Agencije RS za okolje, ter pisači Günter Volk z galvanometri Astromed. Maksimalna povečava vidljivega sistema je 46 700 pri periodi 0,4 s (vertikalna komponenta).

Vsi zapisi so opremljeni s časovnimi signali, ki jih beleži natančna elektronska ura UK-03. To so prav tako skonstruirali in izdelali strokovnjaki Agencije RS za okolje, njeno natančnost pa nadzorujemo s sprejemnikom časovnih signalov DCF 77. V potresni opazovalnici na Golovcu je leta 1990 začel delovati trikomponentni digitalni seizmograf SSR-1 s širokopasovnimi seizmometri WR-1 podjetja Kinometrics. Leta 1993 smo vključili 6-kanalni digitalni seizmograf Reftek 72A-02, ki je deloval do 1999. Na prvih treh kanalih so izmenoma priključeni trikomponentni akcelerometer FBA-23 in širokopasovni seizmometri Sensonics, na drugih treh pa širokopasovni trikomponentni seizmometer Guralp CMG-40T. Oba seizmografa imata 16-bitno analogno-digitalno pretvorbo. Medtem ko deluje seizmograf SSR-1 v prožilnem načinu delovanja in s frekvenco vzorčenja analogno - digitalnega pretvornika 200 vzorcev v sekundi, pa seizmograf 72A-02 omogoča sočasno zajemanje podatkov v prožilnem načinu, in sicer s frekvenco vzorčenja 125 vzorcev v sekundi pri zapisovanju kratkoperiodnih pojavov ter v kontinuiranem načinu s frekvenco vzorčenja 5 vzorcev na sekundo pri beleženju dolgoperiodnih pojavov.



Slika 1. Potresne opazovalnice v Sloveniji leta 2000.

Figure 1. Seismic network in Slovenia in 2000.

Leta 1996 postavljeni digitalni seizmograf podjetja Nanometrics sestavljajo širokopasovni trikomponentni seizmometer Guralp CMG-40T, 16-bitni analogno - digitalni pretvornik s tristopenjskim samonastavljivim predojačenjem RD3 1603 in osebni računalnik s sprejemnikom točnega časa GPS in programsko opremo, ki skrbi za zajem podatkov in za komunikacijo s centralnim računalnikom. Programska oprema na centralnem računalniku zbira podatke iz oddaljenih opazovalnic. Centralni računalnik po določenem nastavljenem

urniku kliče oddaljene opazovalnice in od njih zahteva podatke o proženjih. Na podlagi teh podatkov poskuša določiti dogodke, nato pa pošlje zahtevo za prenos zapisov o dogodkih v centralno opazovalnico. Komunikacija deluje na principu elektronske pošte (Vidrih in Sinčič, 1997).

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

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

Četrta opazovalnica v Bojancih (VBY) je bila do leta 1996 enokomponentno analogna. Zgrajena je bila v krednem apnencu, ki je zelo dobra seizmogeološka podlaga. Koordinati opazovalnice sta $15,26^{\circ}\text{E}$ in $45,50^{\circ}\text{N}$, nadmorska višina pa je 252 m. Seizmograf sestavljajo vertikalni seizmometer Vegik, seizmografski ojačevalnik SO-03, pisar Kablar I z galvanometrom Astromed ter ura UK-03. Sistem deluje s povečavo 116 600 pri 0,5 s. Opremo opazovalnice smo dopolnili leta 1996 s trikomponentnim digitalnim seizmografom podjetja Nanometrics s širokopasovnim trikomponentnim senzorjem Guralp CMG-40T. Pošiljanje podatkov iz opazovalnice v centralni računalnik v Ljubljani je potekalo po klicni telefonski liniji na zahtevo centralnega računalnika. V maju 1999 smo zamenjali opremo opazovalnice. 16-bitni analogno - digitalni pretvornik RD3-1605 smo zamenjali s 24-bitnim HRD24-2432 z vgrajenim GPS sprejemnikom, klicno telefonsko linijo pa z najeto linijo do Geodetske uprave v Črnomlju, kjer smo se vključili v državno računalniško omrežje. S tem smo pridobili na hitrosti in kvaliteti prenosa podatkov do centralnega računalnika.

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

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. Tudi to opazovalnico smo letos vključili v državno računalniško omrežje zaradi zanesljivejšega in hitrejšega prenosa podatkov ter nastavljanja parametrov. Seizmometer leži skupaj z analogno - digitalnim pretvornikom v jašku, osebni računalnik s sprejemnikom točnega časa GPS pa je nameščen v hišici. Opazovalnica je zgrajena na laporjih, ki prehajajo v apnenc in dolomit ladinjske starosti (srednji trias). Njeni koordinati sta $15,47^{\circ}\text{E}$ in $46,15^{\circ}\text{N}$, nadmorska višina pa 425 m.

Potresna opazovalnica CESS je bila zgrajena leta 1996 v vasi Cesta nad Krškim. V drugi polovici leta 1997 je prenosni digitalni seizmograf 72A-07/DAT podjetja Reftek s shranjevanjem podatkov na DAT-kasete zamenjal digitalni seizmograf podjetja Nanometrics. Sestavljajo ga širokopasovni trikomponentni seizmometer Guralp CMG-40T, 24-bitni analogno - digitalni pretvornik HRD24-2432 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 $15,46^{\circ}\text{E}$ in $45,97^{\circ}\text{N}$. Opazovalnica leži na nadmorski višini 382 m.

Agencija RS za okolje, urad za seizmologijo ima tudi dve začasni opazovalnici. Prva je postavljena v Brezju 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 $15,44^{\circ}\text{E}$ in $45,94^{\circ}\text{N}$, nadmorska višina pa je 215 m.

Druga začasna opazovalnica je v Horjulu (HORJ). Leta 1999 je bil nameščen akceleroграф SSA-2 z akcelerometrom FBA-23. Opazovalnica leži na lapornatem apnencu, ki ponekod prehaja v dolomit in peščen skrilavec skitske starosti (spodnji trias). Njeni koordinati sta $14,30^{\circ}\text{E}$ in $46,02^{\circ}\text{N}$, nadmorska višina je 350 m.

Povečalo se je število opazovalnic z digitalnimi akceleroграфi 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), v Dolskem, v Krškem, v Ilirski Bistrici, na gradu Bogenšperk in v Gotenici. Akceleroграф na observatoriju na Golovcu sestavljata akceleroграф FBA-23 z merilnim območjem 1 g in zajemalna aparatura SSR-1 s 16-bitno analogno digitalno pretvorbo. Akceleroграф na FGG tvorita akceleroграф FBA-23 z merilnim območjem 1 g in zajemalna aparatura SSA-2 z 12-bitnim analogno digitalnim pretvornikom. Enak akceleroграф je nameščen v Dolskem. Akceleroграфi v Goričicah pri Cerknici, v Ilirski Bistrici in v Krškem v jedrski elektrarni imajo občutljivejši senzor FBA-23 z merilnim območjem 0,25 g. Akceleroграф SSA-2 v Jedrski elektrarni Krško je bil decembra 1999 zamenjan z akceleroграфom Etna in je vključen v državno računalniško omrežje, po katerem teče prenos podatkov na observatorij. V Gotenici je nameščen akceleroграф Etna z vgrajenim senzorjem FBA-23 z merilnim območjem 1 g in z 18-bitno

analogno digitalno pretvorbo, prenos podatkov na observatorij pa poteka po klicni telefonski liniji. Na gradu Bogenšperk je prav tako postavljen akcelerograf Etna z vgrajenim senzorjem FBA-23 s prenosom podatkov po klicni telefonski liniji. Tudi v novih 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.

Od 17. aprila do 9. maja smo imeli začasno nameščena prenosna akcelerografa Etna na Raki in v Gržeči vasi ter prenosni seizmograf Reftek v Gracarjevem turnu pri Šentjerneju. Prenosni seizmograf Reftek je od avgusta pa do decembra beležil potrese in druge dogodke na lokaciji bodoče opazovalnice nove mreže v Bojtini na Pohorju. Zaradi suma, da je potres sprožil gruščnati plaz na pobočjih Mangarta, smo v novembru postavili prenosna akcelerografa v Logu pod Mangartom in Soči s prenosom podatkov po klicnih telefonskih linijah v centralni računalnik na observatoriju na Golovcu v Ljubljani.

Potresne opazovalnice so v letu 2000 zabeležile 4162 seizmičnih dogodkov, od tega 2050 lokalnih potresov, 854 regionalnih in 499 oddaljenih. Seizmografi so zapisali tudi 759 umetnih potresov (preglednica 1). Prebivalci so čutili 92 potresov.

Preglednica 1. Potresi v letu 2000, zabeleženi na slovenskih potresnih opazovalnicah.

Table 1. Earthquakes in 2000 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	34	50	116	32	232
februar February	32	75	145	55	307
marec March	30	63	145	81	319
april April	35	129	214	50	428
maj May	38	174	208	67	487
junij June	65	82	177	56	380
julij July	44	48	133	89	314
avgust August	56	47	191	78	372
september September	35	46	172	64	317
oktober October	51	69	182	85	387
november November	37	39	207	47	330
december December	42	32	160	55	289
skupaj Total	499	854	2050	759	4162

Oddaljeni potresi / Distant earthquakes

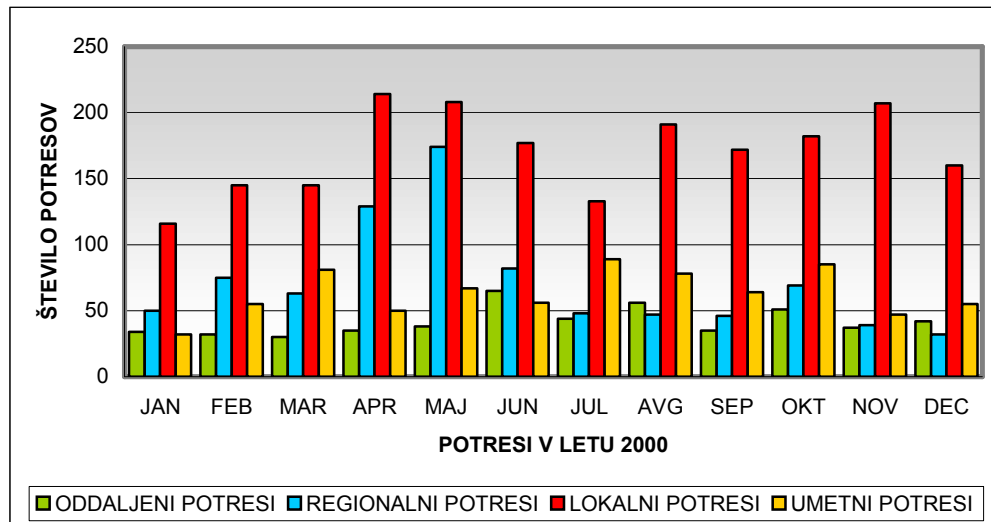
$\Delta > 10^\circ$ (> 1100 km)

Regionalni potresi / Regional earthquakes

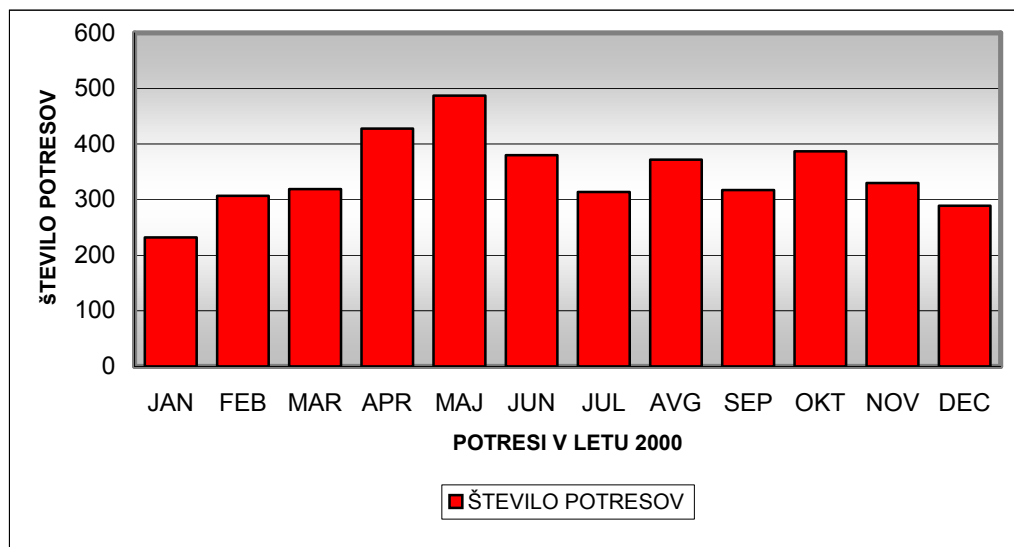
$1,5 < \Delta < 10^\circ$ (< 1100 km)

Lokalni potresi / Local earthquakes

$\Delta \leq 1,5^\circ$ (≤ 160 km)



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



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

Literatura

- Digital Seismograph System, User Guide and Reference Manual, 1995. Nanometrics, Kanata, Kanada.
- Operations Reference Manual for 72A Series Data Acquisition System, 1994. Reftek, Dallas, Združene države Amerike.
- Operation Instructions for Model SSR-1 Solid State Recorder, 1989. Kinometrics, Pasadena, Združene države Amerike.
- Sinčič P., Vidrih R., 1993: Mreža potresnih opazovalnic v Sloveniji. Ujma 7, 130-137, Ljubljana.
- Sinčič P., Vidrih R. 1995: Gradnja potresne opazovalnice. Ujma 9, 185-189, Ljubljana.
- Trnkoczy, A., Vidrih R. 1986: Seizmološka stanica Vojsko (VOY) u SR Sloveniji. Acta seismologica Iugoslavia 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 2000

EARTHQUAKES IN SLOVENIA IN 2000

Ina Cekić, Mladen Živčić, Martina Torkar in Tamara Jesenko¹

***Izvleček.** Leta 2000 v Sloveniji ni bilo povečane potresne aktivnosti. Prebivalci so čutili najmanj 92 potresnih sunkov, vendar vsa žarišča niso bila na slovenskem ozemlju. Najmočnejši potres v Sloveniji leta 2000 je bil 16. aprila ob 20. uri 29 minut po svetovnem času UTC (oziroma ob 22. uri 29 minut po srednjeevropskem poletnem času) z žariščem v bližini Rake. Njegova lokalna magnituda je bila 3,2, največja intenziteta pa pete stopnje po EMS-98. Najmočnejši potres z žariščem zunaj naših meja, ki so ga čutili prebivalci Slovenije, je bil 16. junija ob 2. uri 34 minut po UTC severno od Zagreba na Hrvaškem. Njegova lokalna magnituda izračunana iz zapisov seizmografov mreže potresnih opazovalnic v Sloveniji je bila 3,3.*

***Abstract.** No extraordinary seismic activity was registered in Slovenia in 2000. The strongest earthquake happened on 16 April 2000 at 20h 29m UTC (22.29 local time) near Raka, E Slovenia. Its local magnitude was 3,2 and the maximum intensity V EMS-98 was observed in 26 villages. The strongest earthquake outside our borders was felt on 16 June at 02.34 UTC. Its epicentre was in NW Croatia near Zagreb, and its local magnitude, as calculated from the seismograms recorded in Ljubljana, was 3,3. In total the inhabitants of Slovenia have felt at least 92 earthquakes.*

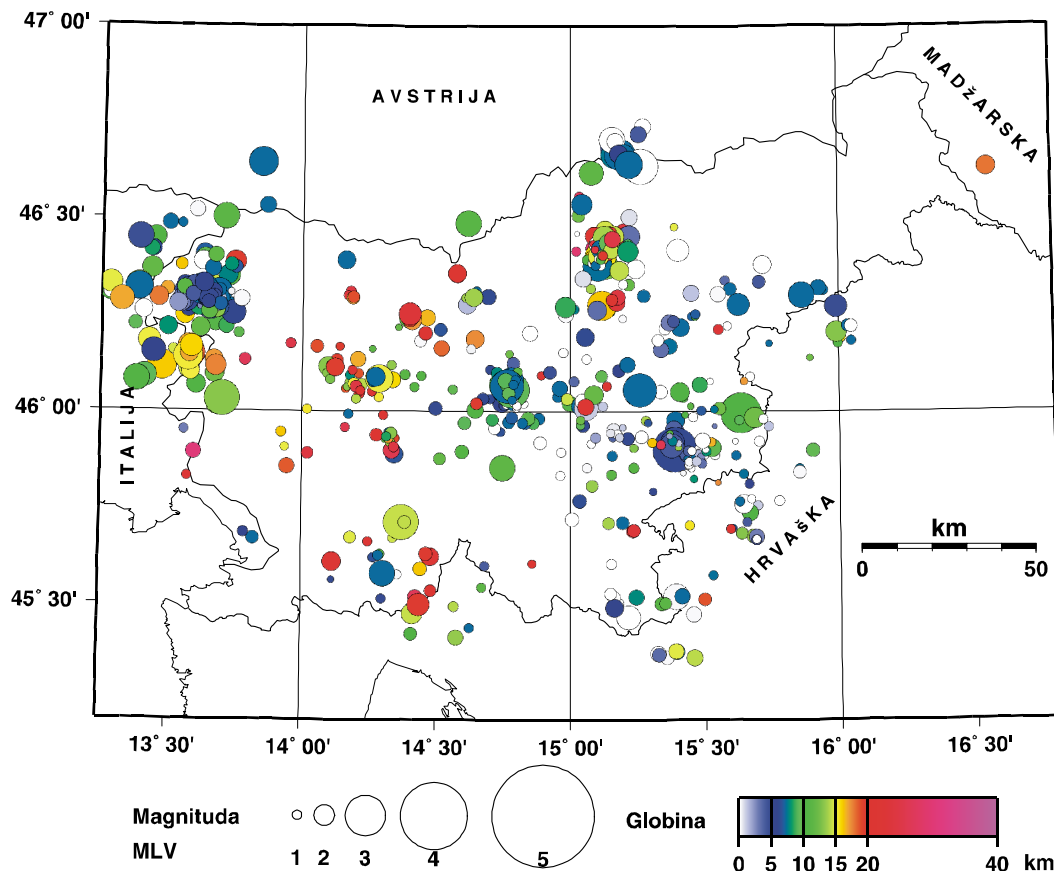
Uvod

Leta 2000 je bila potresna aktivnost v Sloveniji zmerna. Po januarских potresih pri Bovcu, v Drežnici, Trenti, Stražišču pri Kranju in dvakrat na Volarjih se je februarja večkrat zatresla okolica Čedadada (Cividale del Friuli) ter okolica Šempetra v Savinjski dolini. Temu je marca sledil potres pri Podgradu, prebivalci so čutili še učinke potresov pri Ravnah na Koroškem, Kobaridu in Novem mestu. Aprila so potrese čutili v bližini Grosuplja in pri Tolminu. Najmočnejši potres leta 2000 je bil 16. aprila ob 20. uri 29 minut po svetovnem času UTC (oziroma ob 22. uri 29 minut po srednjeevropskem poletnem času) z žariščem pri Raki. Njegova lokalna magnituda je bila 3,2 (URSG, 2000-2001), največja intenziteta pa V EMS-98. EMS je okrajšava za evropsko potresno lestvico (Grünthal, 1998a, 1998b). Prebivalci so takrat in v naslednjih dneh čutili veliko popotresnih sunkov. Maja so se tla tresla pri Ambrusu, Kobaridu in Litiji. Junija so prebivalci Slovenije čutili potrese z žarišči pri Gotovljah, Litiji in Bovcu, kot tudi potres, ki je imel žarišče na Hrvaškem. V drugi polovici julija je bil potres v Logarski dolini, pozneje so se tla tresla še v Zgornji Pohanci, pri Brežicah in Pišecah. Avgusta sta bila potresa pri Globokem in Anhovem. Septembra se je stresel Žalec, nadaljevali pa so se tudi popotresi v Posočju. Oktobra so potrese čutili prebivalci Horjula, Volarij, Drežniških Raven, Gozd Martuljka, Ljubljanskega barja, Slepšeka, Sevnice in Litije s širšo okolico. Novembra smo zbirali podatke za potrese pri Litiji in za več šibkih potresov v Posočju. Decembra se je treslo v okolici Trente, Tolmina, Ilirske Bistrice in Žalca.

Seizmografi državne mreže potresnih opazovalnic URSG so leta 2000 zapisali več kot 2000 lokalnih potresov. Za določitev žarišča potresa potrebujemo podatke najmanj treh opazovalnic; če nas zanima še globina, je nujno imeti zapise najmanj štirih opazovalnic. V preglednici 1 smo zapisali osnovne parametre za 125 lokalnih potresov, katerim smo lahko določili lokalno magnitudo, ki je bila večja kot 1,5, kot tudi za 42 šibkejših potresov, ki so jih

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

čutili prebivalci Slovenije. Karta nadžarišč (epicentrov) potresov v Sloveniji za leto 2000 z opredeljeno magnitudo je na sliki 1.



Slika 1. Nadžarišča potresov leta 2000, katerim smo 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 2000, 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 in 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 (Michelini in sod., 1998) in model za površinsko valovanje (Živčić in sod., 1999a). 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:

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

kjer je D oddaljenost nadžarišča v kilometrih.

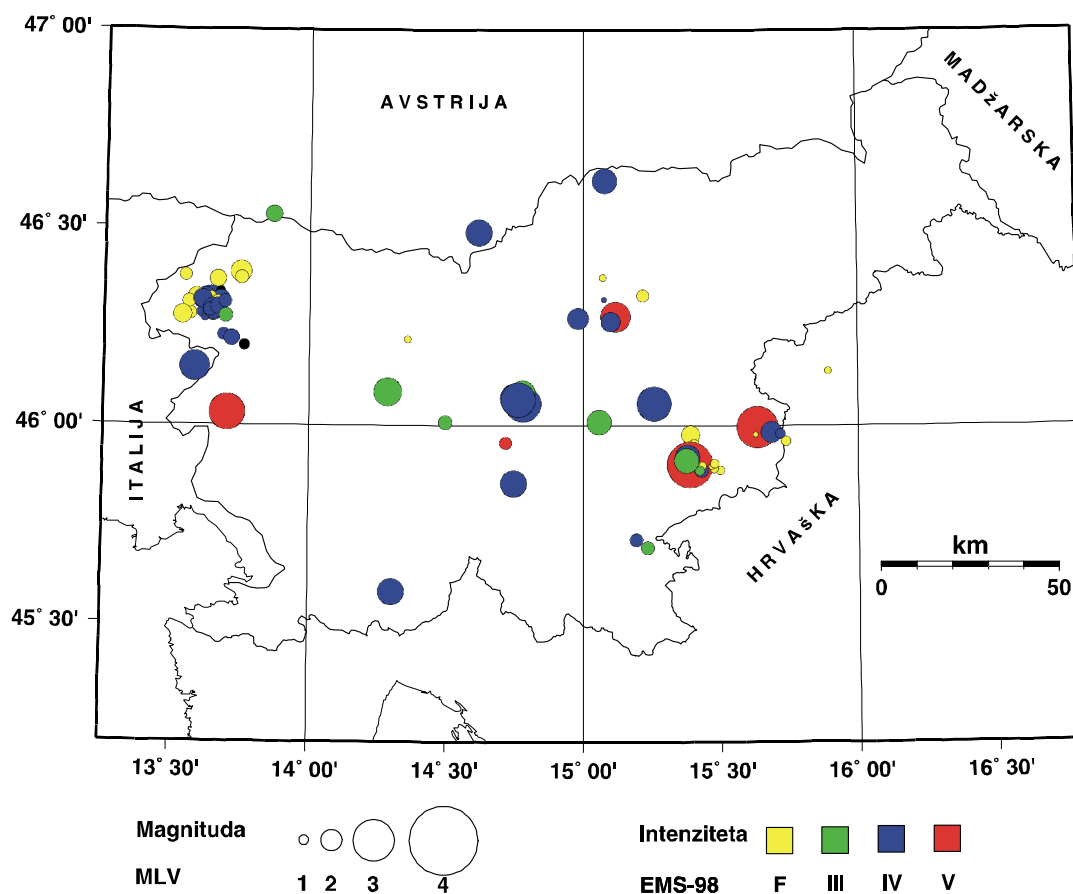
Magnitudo M_D smo opredelili iz trajanja zapisov potresov na opazovalnicah v Sloveniji in v Furlaniji. Pri tem smo uporabili enačbo:

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

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 lestevici (EMS-98). Kadar podatki niso zadoščali za nedvoumno določitev intenzitete, smo privzeli razpon možnih vrednosti (npr. IV-V). V stolpcu "Potresno območje" smo zapisali ime naselja, ki je najbližje nadžarišču potresa in je navedeno v seznamu naselij Geodetske uprave RS (RGU, 1995).

Na različnih območjih Slovenije so prebivalci čutili več kot 90 potresnih sunkov. Za dva dogodka imamo le podatke o zvoku, ne pa tudi o tresenju tal. Pet potresov je doseglo največjo intenziteto V EMS-98. Najmočnejši potres leta 2000 je bil 16. aprila pri Raki. Karta nadžarišč (epicentrov) potresov, ki so jih prebivalci v letu 2000 čutili, je na sliki 2. V naslednjem poglavju (in na slikah od 3 do 11) so natančneje opisani le nekateri izmed teh potresov. Zaradi velikega števila dogodkov ni bilo mogoče predstaviti učinkov prav vseh. Na sliki 12 so narisane intenzitete za vse potrese v letu 2000.



Slika 2. Intenzitete potresov, ki so jih leta 2000 čutili prebivalci Slovenije.

Figure 2. Earthquakes felt in Slovenia in 2000.

Preglednica 1. Seznam potresov leta 2000, 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 12 potresov manjše lokalne magnitude, ki so jih čutili prebivalci Slovenije.

Table 1. List of earthquakes with $M_{LV} > 1,5$ in 2000 for which the hypocentral time, coordinates of epicentre and focal depth were calculated; the maximum intensity of some earthquakes is also provided. Information about 12 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	4.1.	13:53:39,2	46.326	13.638	6	18	0,5	1,8	2,5	IV	Lepena
2	7.1.	03:24:22,8	46.380	15.717	0	9	0,5	1,8	2,2		Dragonja vas
3	7.1.	10:00:22,1	46.306	13.655	6	12	0,5	1,3	2,3	IV	Lepena
4	9.1.	10:16:59,6	46.338	13.673	14	8	0,2	0,9	2,1	zvok	Soča
5	11.1.	14:48:14,2	46.218	14.359	12	3	0	0,6	1,1	čutili	Zgornje Bitnje
6	14.1.	01:59:47,5	46.228	13.686	12	15	0,3	1,3	2	IV	Krn, meja Slovenija-Hrvaška
7	16.1.	10:30:07,8	46.315	13.673	7	27	0,3	1,8	2,5	IV	Lepena
8	19.1.	21:11:59,9	46.164	14.519	18	6	0,4	1,6	1,3		Selo pri Vodicach
9	22.1.	03:52:37,9	46.062	14.793	5	11	0,5	1,7	1,7		Veliki Vrh pri Litiji
10	23.1.	03:13:44,7	46.169	15.369	7	7	0,2	1,6			Breze
11	2.2.	00:55:36,3	46.059	14.812	4	12	0,5	1,7	1,9		Širmanski Hrib
12	3.2.	03:57:13,4	46.218	15.409	7	7	0,3	1,8	1		Šentjur
13	8.2.	11:44:01,4	46.273	15.110	8	18	0,5	2	2,2	IV	Zgornje Grušovlje
14	10.2.	08:15:41,4	46.022	14.743	6	3	0	1,8	1,3		Malo Trebeljevo
15	11.2.	05:04:21,1	45.465	15.214	0	6	0,2	2,2	2,9		Drežnik, meja Slovenija-Hrvaška
16	26.2.	08:59:43,6	46.082	14.336	15	10	0,4	1,7	2,2		Setnica-del
17	1.3.	13:45:45,9	45.691	15.234	23	5	0,4	1,4	1,5	III-IV	Maline pri Štrekljencu, meja Slovenija-Hrvaška
18	4.3.	22:31:42,9	46.252	14.982	0	11	0,6	1,6	1,9		Čeplje
19	5.3.	15:37:09,0	46.619	15.078	11	10	0,5	2,2	1,8	IV	Kozji Vrh nad Dravogradom, meja Slovenija-Avstrija
20	9.3.	00:10:23,4	46.632	16.560	18	18	0,5	1,9	2,5		Csömödér, Madžarska
21	16.3.	05:06:27,7	46.281	13.564	0	3	0,1		1,3	čutili	Trnovo ob Soči
22	16.3.	20:28:11,0	46.286	13.645	7	28	0,5	1,9	2,6	IV	Drežniške Ravne
23	18.3.	17:33:54,9	45.711	15.192	7	9	0,4	1,4	1,7	IV	Pristava
24	24.3.	03:33:36,3	46.021	14.996	10	11	0,4	1,6	1,7		Čeplje
25	29.3.	15:47:21,4	45.518	15.242	8	4	0	1,6	1,9		Bojanci
26	5.4.	05:46:52,3	45.623	14.479	22	10	0,8	1,8	1,8		Snežnik
27	10.4.	20:17:00,8	45.956	14.716	0	9	0,6	1,3	2	V	Spodnje Brezovo
28	14.4.	18:00:45,4	45.977	15.390	7	11	0,5	1,8	2,2	čutili	Lomno

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	
29	14.4.	18:28:54,3	45.913	15.388	3	4	0	0,9	0,4	čutili	Goli Vrh
30	14.4.	19:00:58,9	45.953	15.402	4	7	0,3	1,1	1,7	čutili	Apnenik pri Velikem Trnu
31	14.4.	20:20:12,8	45.955	15.384	4	11	0,4	1,7	1,7		Jelševec
32	15.4.	21:28:12,0	46.054	14.809	0	10	0,5	1,6	2		Širmanski Hrib
33	16.4.	20:29:09,2	45.901	15.388	5	125	0,6	3,2	3,7	V	Veliki Koren
34	16.4.	21:13:23,9	45.887	15.498	0	4	0,2	0,9	1,1	čutili	Hrastje pri Cerkljah
35	16.4.	21:19:07,3	45.887	15.430	4	6	0,4	1,5	2	IV	Kalce-Naklo
36	16.4.	21:27:35,6	45.911	15.380	4	15	0,5	2	2,4	IV	Smednik
37	16.4.	21:33:03,4	45.899	15.433	2	5	0,2	0,8	1,1	čutili	Gržeča vas
38	16.4.	22:01:40,4	45.905	15.407	0	5	0,5	0,9	1,3	čutili	Zaloke
39	16.4.	23:03:05,3	45.891	15.475	0	4	0,2	0,8	1,1	čutili	Jelše
40	16.4.	23:31:12,4	45.897	15.466	2	4	0,2	0,5	0,9	čutili	Veliki Podlog
41	17.4.	02:05:53,3	45.886	15.423	4	5	0,4	1,1	1,8	III-IV	Kalce-Naklo
42	17.4.	05:46:47,3	45.920	15.378	5	15	0,6	2,2	2,8	IV	Pristava pod Rako
43	17.4.	09:53:20,6	45.911	15.376	4	18	0,5	2,2	2,7	III-IV	Dobrava pod Rako
44	17.4.	19:31:56,8	45.904	15.478	0	4	0,3	0,9	1,7	čutili	Jelše
45	18.4.	09:06:04,5	46.219	13.715	9	16	0,4	1,6	2,3	IV	Čadrg, meja Slovenija-Italija
46	24.4.	12:26:47,0	46.739	15.270	0	4	0,5	1,7	1,3		Schwanberg, Avstrija
47	26.4.	12:18:44,1	46.392	14.161	7	9	0,3	1,8	2,1		Doslovče, meja Slovenija-Avstrija
48	26.4.	21:14:41,8	46.273	13.723	7	24	0,5	1,6	2,6		Kuk
49	3.5.	01:46:24,2	45.853	14.746	11	30	0,6	2,3	2,7	IV	Hočevje
50	5.5.	04:42:17,0	46.046	14.780	7	13	0,4	1,7	2,3		Dragovšek
51	5.5.	04:43:24,2	46.052	14.786	5	13	0,4	1,6	2,1		Dragovšek
52	11.5.	17:08:04,5	46.315	13.607	7	23	0,5	1,8	2,5	IV	Kal-Koritnica
53	17.5.	22:21:33,1	46.074	14.770	7	11	0,4	1,7	1,9		Golišče
54	18.5.	08:52:51,1	45.413	14.576	13	3	0	1,6	1,5		Platak, Hrvaška
55	20.5.	03:23:41,7	46.060	14.774	11	9	0,5	1,6	1,6		Mala Štanga
56	20.5.	03:35:59,9	46.069	14.751	10	34	0,5	2,5	2,9	IV	Mala Štanga
57	24.5.	16:28:21,2	46.418	13.439	6	19	0,6	1,7	2,3		Pta. Plagnis, Italija
58	31.5.	01:45:35,3	46.328	15.217	12	6	0,5	1,3	1,4	čutili	Pristova
59	1.6.	08:54:28,8	46.067	14.764	7	8	0,3	1,7	1,4		Mala Štanga
60	1.6.	14:34:04,5	45.674	15.688	3	5	0,2	1,6	1,6		Kupinec, Hrvaška
61	2.6.	13:55:09,5	46.138	15.891	12	4	0,2	0,6	0,9	čutili	Krapina, Hrvaška
62	2.6.	15:28:19,6	46.374	15.070	3	7	0,4	0,6	2,2	čutili	Družmirje
63	5.6.	05:09:32,2	46.319	15.075	14	4	0,1			IV	Dobrič
64	8.6.	15:31:04,1	46.665	15.162	7	10	0,5	2,3	2,2		Branik nad Muto, meja Slovenija-Avstrija

št.	dat.	h:m:s	šir	dolž	h	nst	RMS	M _{LV}	M _D	I _{max}	potresno območje
		UTC	°N	°E	km		s			EMS 98	
no.	date	h:m:s	lat	lon	h	nst	RMS	M _{LV}	M _D	I _{max}	epicentral area
		UTC	°N	°E	km		s			EMS 98	
65	14.6.	10:14:07,6	46.056	14.766	9	13	0,2	2,3	2,1	III	Mala Štanga
66	14.6.	18:58:13,1	46.325	13.619	8	23	0,4	1,7	2,3	IV	Kal-Koritnica
67	15.6.	16:09:57,6	46.014	15.038	7	9	0,3	1,9	1,9		Hude Ravne
68	22.6.	09:08:54,8	46.319	15.926	7	3	0	1,6	1,3		Trdobjoci, meja Slovenija-Hrvaška
69	27.6.	00:54:19,9	46.004	14.645	10	12	0,5	1,7	1,9		Veliki Lipoglav
70	28.6.	16:42:14,6	46.666	15.185	7	5	0,7	2,6			Brezovec, meja Slovenija-Avstrija
71	10.7.	23:56:54,6	46.116	14.096	13	19	0,5	1,9	2,3		Stara Oselica
72	11.7.	10:16:24,0	46.323	13.594	7	14	0,5	1,6	2,5		Kal-Koritnica
73	15.7.	12:16:38,1	46.188	14.644	17	8	0,5	1,8	1,8		Kolovec
74	23.7.	22:47:27,5	46.488	14.617	11	11	0,5	2,3	2	IV	Eisenkappel, Avstrija
75	24.7.	09:05:54,0	45.475	14.413	14	10	0,3	2	2,1		Klana, meja Hrvaška-Slovenija
76	28.7.	18:57:20,8	45.996	15.634	10	64	0,6	3	3,5	V	Pavlova vas
77	28.7.	21:52:43,3	45.977	15.627	9	9	0,2			čutili	Blatno
78	28.7.	21:52:45,8	45.983	15.684	12	9	1,1	2	2,7	IV-V	Dramlja, meja Slovenija-Hrvaška
79	29.7.	07:22:45,7	45.961	15.737	1	3	0,1	1		čutili	Slogonsko, meja Slovenija-Hrvaška
80	29.7.	10:05:06,5	46.055	14.752	10	12	0,3	1,9	2,6		Mala Štanga
81	3.8.	19:28:00,7	45.609	14.114	22	10	0,4	1,9	2,3		Ostročno Brdo
82	3.8.	21:41:17,1	45.980	15.717	0	5	0,6	1		IV	Gregovce, meja Slovenija-Hrvaška
83	4.8.	14:40:02,6	46.243	14.464	16	7	0,2	1,7	1,3		Praprotna Polica
84	9.8.	18:20:58,7	46.046	14.775	9	13	0,3	1,8	2		Velika Štanga
85	9.8.	18:27:13,9	46.055	14.752	8	5	0,1	1,7			Mala Štanga
86	15.8.	09:57:20,6	46.043	14.784	9	13	0,3	1,9	2,1		Dragovšek
87	16.8.	05:56:51,3	46.031	13.701	13	35	0,5	2,8	3	V	Grgarske Ravne
88	16.8.	08:29:59,8	46.275	13.676	6	11	0,5	1,6	2,4		Koseč
89	16.8.	16:01:49,9	46.719	15.255	4	3	0,1	1,7			Stereeyegg, Avstrija
90	24.8.	09:34:10,9	45.906	15.525	10	8	0,1	1,8	1,8		Mrtvice
91	29.8.	15:38:01,8	46.705	15.156	0	4	0,3	2,3	2		St. Oswald, Avstrija
92	31.8.	10:15:51,0	46.050	15.407	10	4	0,4	1,9			Mrzla Planina
93	1.9.	04:25:53,5	46.160	15.336	3	5	0,1	1,6	1,7		Mala Breza
94	4.9.	18:05:56,8	46.072	14.746	7	13	0,4	1,8	2		Zgornja Jevnica
95	12.9.	21:06:42,5	46.121	15.211	7	9	0,4	1,6	1,8		Globoko
96	13.9.	15:34:07,3	46.635	15.262	0	12	1,1	2,8	2,2		Suhi Vrh pri Radljah, meja Slovenija-Avstrija
97	15.9.	11:43:05,9	46.042	14.784	9	10	0,3	1,6	1,9		Dragovšek
98	26.9.	06:04:40,1	46.284	13.612	7	3	0,1		1,4	IV	Drežniške Ravne
99	27.9.	21:28:13,7	46.275	15.117	16	26	0,5	2,5	3	V	Zgornje Grušovlje

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	
100	27.9.	21:30:59,6	46.263	15.100	3	10	0,2	1,9	2,1	IV	Ločica ob Savinji
101	27.9.	21:37:30,6	46.282	15.172	23	5	0,2	1,7			Velika Pirešica
102	27.9.	21:39:47,0	46.296	15.175	24	4	0,2	1,6			Studence
103	28.9.	05:59:26,2	46.069	15.481	8	3	0	1,6	0,8		Dobrova
104	1.10.	22:01:56,3	46.055	14.781	9	51	0,5	2,8	3	IV	Velika Štanga
105	1.10.	22:47:29,4	46.078	14.776	7	7	0,1	1,3	1,2	III	Golišče
106	3.10.	15:27:21,1	46.230	15.368	3	3	0	1,7			Zlateče pri Šentjurju
107	8.10.	12:36:22,6	46.085	14.287	15	33	0,5	2,4	3,1	III-IV	Smolnik
108	8.10.	15:08:47,8	46.089	14.273	7	16	0,5	1,9	2,3		Črni Vrh
109	12.10.	09:56:42,7	46.701	15.167	0	3	0,1	1,7			St. Oswald, Avstrija
110	15.10.	10:22:53,8	46.147	13.582	18	35	0,4	2,5	3	IV	Clodig, meja Italija-Slovenija
111	15.10.	18:20:16,1	46.143	13.586	16	14	0,4	1,7	2,3		Clodig, meja Italija-Slovenija
112	16.10.	04:06:03,3	46.141	13.563	17	20	0,3	1,8	2,5		Clodig, meja Italija-Slovenija
113	17.10.	10:08:43,6	46.269	13.616	2	9	0,4	0,7	2	IV	Drežniške Ravne
114	18.10.	09:07:44,1	46.140	13.573	15	31	0,4	2,5	2,8		Clodig, meja Italija-Slovenija
115	21.10.	11:37:08,8	46.344	15.047	1	9	0,4	1,7	1,8		Veliki Vrh
116	24.10.	17:12:55,5	46.304	15.550	0	4	0,3	1,6			Spodnje Laže
117	25.10.	01:41:29,1	46.533	13.866	7	22	0,5	1,7	2	III-IV	Mallestig, meja Avstrija-Slovenija
118	25.10.	23:26:43,3	46.007	14.497	5	12	0,6	1,5	2,3	III-IV	Črna vas
119	29.10.	02:37:10,3	46.009	15.058	1	20	0,5	2,2	2,5	III-IV	Selce
120	29.10.	11:48:07,6	46.055	15.257	7	25	0,5	2,7	3	IV-V	Razbor
121	29.10.	19:48:41,7	46.083	14.779	7	19	0,5	2,2	2,5	III	Kresniški Vrh
122	30.10.	13:43:54,8	45.377	15.393	7	6	0,5	1,6	2,5		Generalski Stol, Hrvaška
123	31.10.	10:41:10,2	46.026	15.045	0	8	0,7	1,6	1,8		Suhadole
124	8.11.	17:06:48,0	45.490	15.161	5	4	0,2	1,8	2,4		Zapudje, meja Slovenija-Hrvaška
125	10.11.	14:32:06,1	46.666	15.201	7	10	0,6	2	2,2		Brezovec, meja Slovenija-Avstrija
126	10.11.	15:37:47,1	45.371	15.322	0	7	0,6	1,6	2,5		Gabrak, Hrvaška
127	10.11.	23:53:42,8	46.043	15.087	12	12	0,4	1,9	2,1		Prelesje
128	11.11.	22:16:58,5	46.066	14.767	9	18	0,4	2	2,4	IV	Mala Štanga
129	11.11.	22:21:29,4	46.065	14.763	7	34	0,5	2,7	3	IV-V	Mala Štanga
130	13.11.	02:09:03,6	46.113	14.123	19	15	0,3	1,8	2,2		Hotavlje
131	14.11.	17:18:04,7	46.323	13.584	4	3	0,1		1,7		čutili Kal-Koritnica
132	14.11.	19:21:27,6	46.311	13.557	3	3	0,1		1,4		čutili Čezsoča
133	14.11.	21:19:57,1	46.300	13.665	6	23	0,6	1,5	2,2	IV	Lepena
134	14.11.	21:59:16,4	46.304	13.635	4	10	0,3	1,2	1,8		čutili Lepena
135	14.11.	22:26:55,2	46.324	13.640	4	10	0,7	0,9	2,2		čutili Lepena

št.	dat.	h:m:s	šir	dolž	h	nst	RMS	M _{LV}	M _D	lmax	potresno območje
		UTC	°N	°E	km		s			EMS 98	
no.	date	h:m:s	lat	lon	h	nst	RMS	M _{LV}	M _D	lmax	epicentral area
		UTC	°N	°E	km		s			EMS 98	
136	15.11.	03:39:18,5	46.277	13.534	2	4	0,1		1,8	čutili	Trnovo ob Soči
137	15.11.	09:10:52,3	45.474	15.455	0	3	0,5	1,6	1,9		Mračin, meja Hrvaška-Slovenija
138	16.11.	07:03:30,8	46.307	13.663	7	15	0,4	1,5	2,4	čutili	Lepena
139	17.11.	15:39:53,5	46.669	15.179	6	9	0,6	1,8	1,8		Branik nad Muto, meja Slovenija- Avstrija
140	17.11.	23:03:06,7	46.315	13.619	8	18	0,3	1,4	2,5	III	Lepena
141	19.11.	19:50:59,2	46.317	13.608	7	4	0,2		1,8	IV	Kal-Koritnica
142	21.11.	20:52:30,9	46.378	13.544	16	4	0,1		1,3	čutili	Bovec, meja Slovenija-Italija
143	22.11.	10:41:15,3	46.387	13.747	19	6	0,6		2	čutili	Trenta
144	25.11.	0:42:26,1	46.080	14.758	9	11	0,5	1,6	1,8		Kresniške Poljane
145	26.11.	01:27:20,5	46.387	13.625	0	4	0,4	1,9	1		Bavšica, meja Slovenija-Italija
146	28.11.	0:34:11,5	46.202	13.761	10	13	0,4	1,2	1,8	zvok	Zadlaz-Žabče
147	28.11.	06:07:35,8	46.292	13.646	5	7	0,1		2	IV	Lepena
148	28.11.	21:03:01,5	46.289	13.634	7	21	0,4	1,4	2,2	IV-V	Drežniške Ravne
149	29.11.	11:13:26,1	46.299	13.666	7	19	0,3	1,7	2,3	IV	Lepena
150	29.11.	16:43:07,9	45.924	15.490	0	3	0	1,6	1,5		Drnovo
151	29.11.	21:44:07,5	46.311	13.690	7	3	0,1		1,4	IV	Lepena
152	5.12.	01:04:10,4	46.368	13.663	7	3	0		1,7	čutili	Bavšica
153	5.12.	12:49:37,4	45.361	15.457	14	3	0,5	1,7	2,7		Donji Zvečaj, Hrvaška
154	6.12.	15:42:31,8	46.641	15.219	7	5	0,5	2,4			Brezovec, meja Slovenija-Avstrija
155	7.12.	16:58:08,4	45.857	13.944	18	12	0,3	1,6	2,2		Duplje
156	8.12.	20:44:41,6	46.372	13,75	7	13	0,4	1,4	2,2	čutili	Trenta
157	9.12.	13:33:49,8	45.378	15.389	15	3	0,1	1,6	2,1		Generalski Stol, Hrvaška
158	17.12.	03:28:55,9	46.060	14.960	7	11	0,5	1,6	1,6		Polšnik
159	22.12.	08:29:29,4	46.012	15.056	21	11	0,6	1,7	1,9		Selce
160	22.12.	19:03:30,2	46.275	13.692	7	24	0,4	1,5	2,3	III-IV	V. Bogatin
161	25.12.	20:48:32,5	46.277	15.625	7	8	0,3	2,1	1,4		Zgornje Negonje
162	28.12.	00:42:17,1	45.579	14.303	7	36	0,4	2,3	2,9	IV	Vrbovo
163	29.12.	15:09:25,7	46.241	14.396	11	15	0,3	1,9	2,4		Britof
164	29.12.	15:31:31,8	46.235	14.408	17	7	0,4	1,8	1,8		Šenčur
165	29.12.	16:26:40,3	46.239	14.401	19	8	0,2	1,6	1,8		Hrastje
166	29.12.	16:48:34,9	46.253	14.400	23	12	0,3	2,1	2,1		Britof
167	31.12.	02:32:43,5	46.271	14.981	8	15	0,5	2	2,5	IV	Stopnik

Preglednica 2. Seznam potresov z žarišči v drugih državah, ki so jih 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	02	03	07	17	IV	Italija
2	06	16	02	34	IV	Hrvaška

V preglednici 3 so dogodki, ki so jih prebivalci čutili, vendar število zapisov ni zadoščalo, da bi jim lahko izračunali parametre.

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

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

zap. št.	mesec	dan	ura (UTC)	min.	največja intenziteta v Sloveniji (EMS-98)	nadžarišče
no.	month	day	hour (UTC)	min.	maximum intensity in Slovenia (EMS-98)	epicentre
1	04	16	22	32	čutili	Brezovska Gora
2	04	17	05	04	čutili	Zaloke
3	04	17	05	40	čutili	Zameško
4	04	17	13	26	čutili	Zaloke
5	04	17	19	00	čutili	Zaloke
6	05	31	23	42	čutili	Gotovlje
7	06	5	02	07	IV	Gotovlje
8	11	15	00	15	čutili	Lepena
9	11	19	00	56	IV	Vodenca

Podatki o nekaterih potresih, ki so jih prebivalci čutili

4. januar 2000 ob 13. uri 53 minut UTC. Zmerno tresenje tal z intenziteto IV EMS-98 so čutili prebivalci štirih krajev v Posočju. V Bovcu so mnogi čutili zelo kratek in močan sunek, ki ni povzročil škode. Pred tresenjem je bilo slišati zvok. Opazovalec v Drežnici je imel občutek, da se pogreza hiša. Iz Kobarida so sporočili, da je potres sprožil snežni plaz v pobočju Krna.

7. januar 2000 ob 10. uri 0 minut UTC. O zmernem tresenju tal z intenziteto IV EMS-98 so poročali prebivalci Drežnice in Soče. V Drežnici je bilo pred sunkom slišati grmenje in škripanje lesene strešne konstrukcije.

14. januar 2000 ob 1. uri 59 minut UTC. Zmeren potres z intenziteto IV EMS-98 so čutili prebivalci Posočja, in sicer v krajih Volarje in Bovec. Na Volarjah so slišali močan pok.

16. januar 2000 ob 10. uri 30 minut UTC. Potres so najmočneje (z intenziteto IV EMS-98) čutili v krajih Volarje, Drežnica, Bovec in Soča. V Soči so najprej slišali bobnenje, nato čutili stres tal kot udarec od spodaj navzgor. V Bovcu so stanovalci nesaniranih blokov opazili, da se je okrušil omet na že obstoječih razpokah v stenah.

3. februar 2000 ob 7. uri 17 minut UTC. Precej močno tresenje tal z intenziteto IV EMS-98 so čutili v krajih Anhovo, Volarje, Idrsko in Kobarid. Žarišče potresa je bilo v Furlaniji (Italija) v bližini Čedada (Cividale del Friuli). Zaradi premajhne magnitude potresa italijanski kolegi niso pošiljali makroseizmičnih vprašalnikov. V Italiji imajo namreč zelo veliko število potresov, zato seizmologi posebej raziščejo le dogodke, katerih magnituda preseže vrednost 3,0, ali pri katerih nastane gmotna škoda (kar se lahko izjemoma zgodi tudi pri šibkejših dogodkih).

8. februar 2000 ob 11. uri 44 minut UTC. O zmernem tresenju tal z intenziteto IV EMS-98 so poročali opazovalci iz Gotovelj, Šempetra v Savinjski dolini, Latkove vasi in Polzele. Potres so opisali kot močan pok, tresenje tal in bučanje.

5. marec 2000 ob 15. uri 37 minut UTC. Zmerno tresenje tal z intenziteto IV EMS-98 so najmočneje čutili v Otiškem Vrhu (okolica Šentjanža pri Dravogradu). Najprej se je slišal hrup, kot bi se sesula skladovnica drv, nato pa so se zatresle hiše. Potres so čutili tudi na prostem, npr. na pokopališču v Trbonjah.

16. marec 2000 ob 20. uri 28 minut UTC. Tresenje tal z intenziteto IV EMS-98 so čutili prebivalci Volarij, Drežnice, Kobarida, Bovca in Soče (v Posočju). Velika večina ljudi v Bovcu je slišala bobnenje. Iz Drežnice so sporočili, da so istočasno slišali hrup, ki je prihajal iz tal in čutili tresenje tal.

18. marec 2000 ob 17. uri 33 minut UTC. Ta potres je bil tako šibek, da so ga čutili le v petih naseljih, od tega najmočneje v Vinji vasi. V Vinji vasi so zažvenketali kozarci v omarah, prebivalci so slišali bobnenje iz tal. V Novem mestu so slišali kratko bobnenje, ki je trajalo 1-2 sekundi.

10. april 2000 ob 20. uri 17 minut UTC. Močno tresenje tal z intenziteto V EMS-98 so čutili prebivalci Malega Mlačeva v okolici Grosuplja (slika 3). Na nekaterih hišah so se pokazale manjše razpoke na fasadah in predelnih stenah. V Grosupljem je bilo slišati oddaljeno hrumenje, ki mu je sledilo zelo kratko tresenje tal.

16. april 2000 ob 20. uri 29 minut UTC. Ta potres je bil najmočnejši v letu 2000 z žariščem v Sloveniji (slika 4). Intenziteto V EMS-98 je dosegel kar v 26 naseljih: Šmarjeta, Vinji Vrh, Župeča vas, Gornje Pijavško, Narpel, Trška Gora, Gorenja vas, Veliki Podlog, Cirje, Dolenja vas, Dolga Raka, Goli Vrh, Podulce, Raka, Sela pri Raki, Straža pri Raki – Rimš, Zaloke, Ledeca vas, Črneča vas, Dobrava pri Kostanjevici, Kostanjevica na Krki, Malence, Kalce-Naklo, Malo Mraševo, Mladje in Podbočje. Podatke o manjši škodi imamo tudi za Brezje pri Raki, kar to naselje najverjetneje uvršča med zgoraj naštete kraje, vendar so ti podatki nepopolni.

Nekaj prebivalcev nam je sporočilo, da so njihovi objekti utrpeli manjšo materialno škodo, ki smo si jo ogledali na terenu. V vseh primerih je šlo za pojav lasastih razpok in povečanje obstoječih razpok, večinoma na starih in slabo vzdrževanih hišah v krajih Zaloke, Raka, Goli

Vrh, Kalce-Naklo in Kostanjevica na Krki, oziroma za poškodbe, ki sodijo v opis intenzitete V EMS-98.

Razen glavnega potresa so prebivalci ta dan čutili še več šibkejših popotresnih sunkov. Najmočnejši je bil ob 21. uri 27 minut po UTC in je dosegel učinke IV EMS-98.

17. aprila 2000 ob 5. uri 46 minut in 9. uri 53 minut UTC. Tudi ta dan so se nadaljevali šibki popotresi zgoraj opisanega potresa. Ob 5. uri 46 minut po UTC so o učinkih četrte stopnje EMS-98 poročali iz Zalok in Šentjerneja. Dobre štiri ure pozneje je tresenje tal v krajih Bela Cerkev, Brežice, Krško, Ravni, Brege, Dolenja vas pri Raki, Podulce, Ravno, Sela pri Raki, Straža pri Raki – Rimš, Hrastulje in Šentjerneji povzročilo učinke, ki smo jih ocenili kot III-IV EMS-98.

18. april 2000 ob 9. uri 6 minut UTC. Zmerno tresenje tal z intenziteto IV EMS-98 so čutili v Tolminu. Ponekod so se zatresle in zaloputnile prej odprte oknice in vrata. Ker se je v tem času začela tudi nevihta, so ljudje tresenje pripisali njej.

3. maj 2000 ob 1. uri 46 minut UTC. Ta potres je imel žarišče v Suhi krajini. Najmočnejše so ga čutili v krajih Gabrovčec, Ambrus in Ponikve, kjer je dosegel intenziteto IV EMS-98. Ljudje so potres čutili kljub nevihti in grmenju.

11. maj 2000 ob 17. uri 8 minut UTC. Zmerno tresenje tal so z intenziteto IV EMS-98 čutili prebivalci Drežnice, Kobarida, Srpenice, Trnovoga ob Soči, Bovca in Soče. V Soči je pred rahlim stresom zabučalo, kot bi v daljavi zagrmelo. Opazovalec iz Bovca je napisal: "Ko sem slišal hrumenje, še nisem vedel, da je potres. Ko se je zaslišalo iz sten in pohištva, sem vedel, da je potres. Trajalo je le 1-2 sekundi. Tisti, ki so bili zunaj, ga niso čutili, v prostoru pa skoraj vsi."

20. maj 2000 ob 3. uri 35 minut UTC. Ta potres so z intenziteto IV EMS-98 čutili v krajih Volavljje, Vrhpolje, Litija, Kresnice in Kresniške Poljane. Potres je prebudil tudi številne Ljubljance, predvsem v vzhodnem delu mesta. Ponekod so pred potresom slišali bobnenje.

5. junij 2000 ob 5. uri 9 minut UTC. Tresenje tal z intenziteto IV EMS-98 in bobnenje so čutili prebivalci Gotovelj. Poleg njih so o tem potresu poročali le iz Kaple.

14. junij 2000 ob 18. uri 58 minut UTC. Zmerno tresenje tal z intenziteto IV EMS-98 so čutili v Bovcu in Trnovem ob Soči. V Bovcu je "udarec" potresa čutilo precej ljudi, škode pa ni bilo.

16. junij 2000 ob 2. uri 34 minut UTC. Tla v Koritnem (blizu Jesenic na Dolenjskem) so se stresla z intenziteto IV EMS-98 (slika 5). Žarišče potresa je bilo severno od Zagreba na Hrvaškem. Tam so potres najmočnejše začutili prebivalci krajev Gornja Bistra, Kraljev Vrh, Pila in zagrebškega predmestja Gajnice, kjer so hrvaški kolegi določili intenziteto V-VI EMS-98.

23. julij 2000 ob 22. uri 47 minut UTC. Zmerno tresenje tal z intenziteto IV EMS-98 so čutili v Robanovem Kotu in Solčavi na slovenski strani ter v Železni Kapli (Eisenkappel) na avstrijski strani meje. Tudi tokrat so opazovalci poročali o bobnenju, ki ga je spremljalo tresenje tal.

28. julij 2000 ob 18. uri 57 minut UTC. Ta potres so z intenziteto V EMS-98 čutili v naslednjih krajih: Artiče, Blatno, Bojsno, Mali Vrh, Dednja vas, Pavlova vas, Pišece, Sromlje, Volčje, Mostec in Kapele (slika 6). Nekateri prebivalci so v strahu zapustili hiše in prebili nekaj časa na prostem. Ponekod so na tla padli nestabilni predmeti. Terenski ogled nadžariščnega območja je pokazal, da so se na posameznih hišah pojavile lasaste razpoke. Prebivalci so poročali tudi o popotresih. Namočnejši je bil ob 21. uri 52 minut po UTC in so ga v Dednji vasi čutili s intenziteto IV-V EMS-98 (slika 7).

3. avgust 2000 ob 21. uri 41 minut UTC. O zmernem tresenju tal z intenziteto IV EMS-98 so poročali prebivalci Loč (okolica Dobove). Hrvaških podatkov za ta potres in tudi za potres 28. julija ni.

16. avgust 2000 ob 5. uri 56 minut UTC. Močan potres z intenziteto V EMS-98 so čutili v Anhovem, Šmartnem in Avčah (slika 8). Iz več krajev so poročali o hrumenju neposredno pred potresom.

26. september 2000 ob 6. uri 4 minut UTC. Zmerno tresenje tal z intenziteto IV EMS-98 so čutili v Drežnici. Ob potresu je bilo slišati zelo močno bobnenje, ki je prestrašilo prebivalce.

27. september 2000 ob 21. uri 28 minut UTC. Močno tresenje tal z intenziteto V EMS-98 so ob pol polnoči po lokalnem času čutili prebivalci Šempetra v Savinjski dolini (slika 9). Potres je spremljal močan hrup. Prebivalci so pomislili, da je nekdo vrgel bombo. Zaradi strahu si niso upali ponovno zaspati. V Savinjski dolini so čutili tudi več šibkih popotresnih sunkov z značilnim bobnenjem.

1. oktober 2000 ob 22. uri 1 minuti UTC. Ta potres so najmočnejše (z intenziteto IV EMS-98) čutili v naslednjih krajih: Volavje, Litija, Kresnice, Kresniške Poljane (slika 10), Ponoviče in Spodnji Log. Ponekod je potres spremljalo močno bobnenje. Opazovalec v Kresniških Poljanah je primerjal tresenje tal z zibanjem na barki. Dobro tričetrt ure za tem potresom je sledil šibek popotres, ki so ga čutili v Kresnicah.

15. oktober 2000 ob 10. uri 22 minut UTC. Zmerno tresenje tal z intenziteto IV EMS-98 so čutili prebivalci Volarij. Že obstoječe lasaste razpoke v ometu so se zopet nekoliko povečale.

17. oktober 2000 ob 10. uri 8 minut UTC. Potres so najmočnejše (IV EMS-98) čutili v Drežniških Ravnah.

29. oktober 2000 ob 11. uri 48 minut UTC. Prebivalci Razbora so čutili kratko, a dokaj močno tresenje tal z intenziteto IV-V EMS-98, ki ga je spremljal močan pok. Živali so se vznemirile.

11. november 2000 ob 22. uri 21 minut UTC. Tla vzhodno od Ljubljane so se zopet zatresla. Precej močno tresenje (IV-V EMS-98) so čutili v krajih Volavje, Vače in Kresniške Poljane. Ob tem je bilo slišati močan pok, bobnenje in tresenje kot pri miniranju. Približno pet minut pred tem so nekateri prebivalci zaznali manjši potres. Najmočnejše so ga čutili prebivalci Jevnice (IV EMS-98).

14. november 2000 ob 21. uri 19 minut UTC. Zmerno tresenje tal z intenziteto IV EMS-98 so čutili v Lepeni. Opazovalka je opazila tudi kotaljenje kamenja s hribov. Opazovalka iz Vodence je poročala o rušenju skalovja v neposredni bližini njene hiše. Prebivalci Lepene so

novembra čutili več šibkih potresnih sunkov, ki jih je večinoma spremljalo bobnenje. Včasih pa se je slišalo le bobnenje brez tresenja tal.

19. november 2000 ob 0. uri 56 minut in 19. uri 50 minut UTC. Prvi potres, nekaj pred drugo uro po lokalnem času, so najbolj čutili v Srpenici in Lepeni (IV EMS-98). Med potresom se je slišalo bobnenje. Zmerno tresenje tal z intenziteto IV EMS-98 so zvečer čutili prebivalci Čezsoče in Vodence.

28. november 2000 ob 21. uri 3 minute UTC. Dokaj močno tresenje tal z intenziteto IV-V EMS-98 so čutili prebivalci Volarij (slika 11). Od tam, kot tudi iz Livka, so poročali o povečanju obstoječih razpok v stenah.

29. november 2000 ob 11. uri 13 minut UTC. Prebivalci Volarij, Vodence in Lepene so čutili tresenje tal z intenziteto IV EMS-98. Zelo močno je zabobnelo, nato je sledil sunek. Potres je zopet povzročil povečanje razpok na že poškodovanih objektih v Soči, Vodenci in na Volarjah.

28. december 2000 ob 0. uri 42 minut UTC. Tresenje tal z intenziteto IV EMS-98 so čutili prebivalci Dolnjega Zemona, Jablanice, Koritnic in Šmihela. Slišalo se je oddaljeno grmenje. Hrvaških podatkov za ta potres ni.

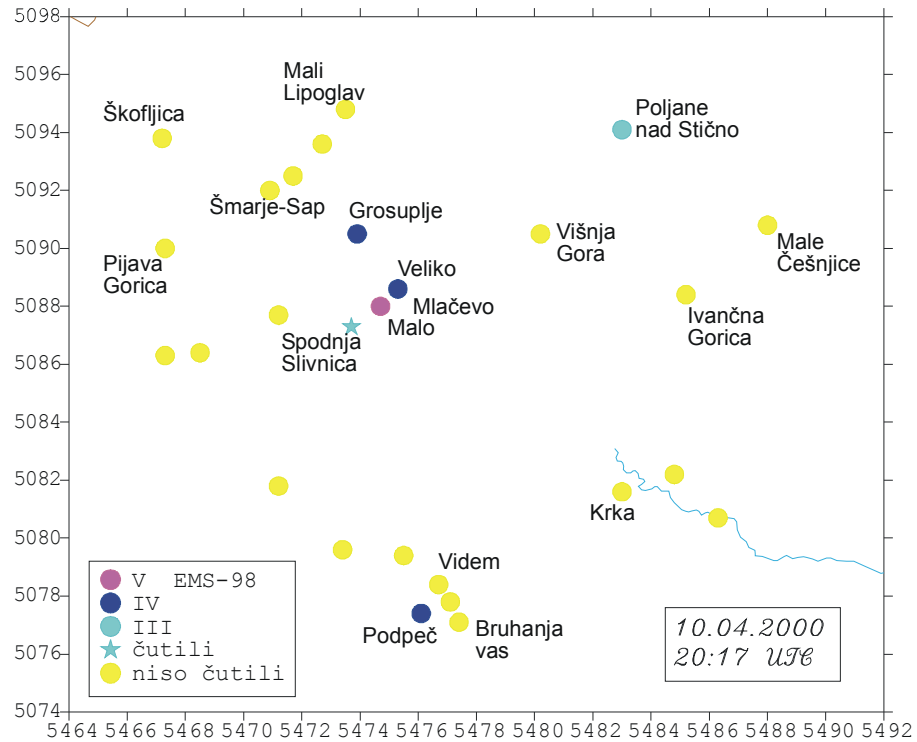
31. december 2000 ob 2. uri 32 minut UTC. Zmerno tresenje tal z intenziteto IV EMS-98 so čutili prebivalci Kaple in Žalca. Opazovalci so poročali o bobnenju oziroma o zelo močnem grmenju. Lajali so psi.

Na slikah 3-11 so prikazani učinki nekaterih potresov, ki so jih v letu 2000 čutili prebivalci Slovenije. Na kartah, ki kažejo učinke na manjših območjih, je uporabljena Gauss-Krügerjeva mreža oz. kilometersko merilo, ki olajša ocenjevanje medsebojne oddaljenosti prikazanih krajev.

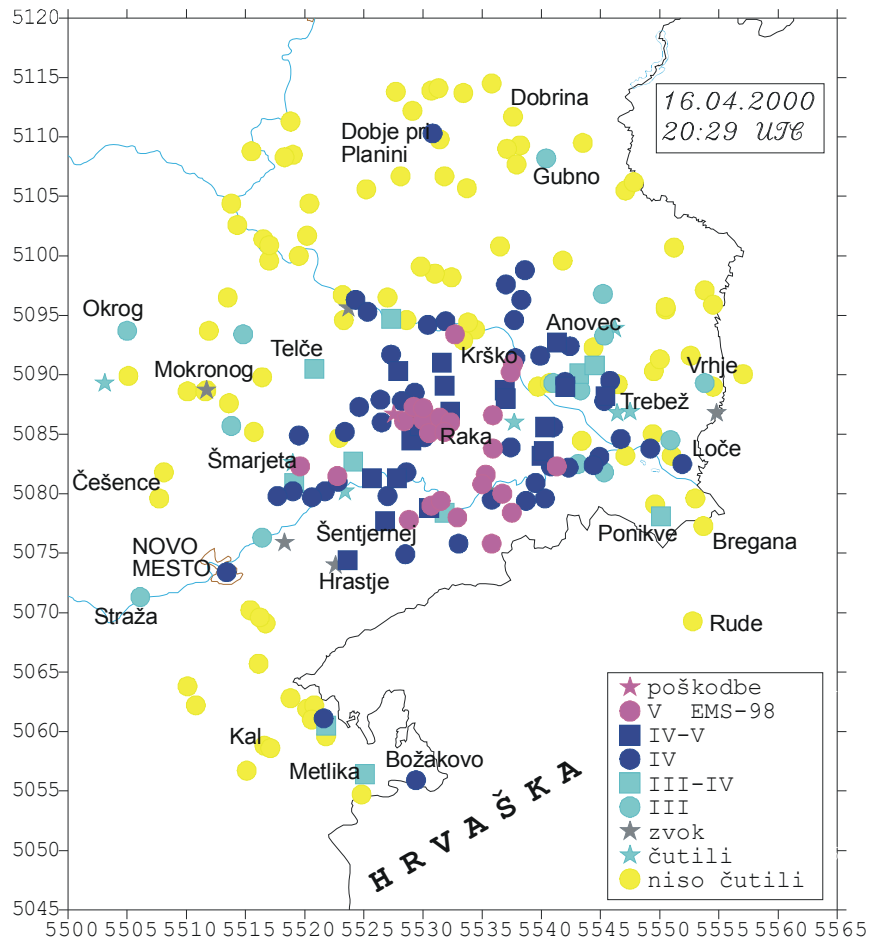
Description of the figures 3-11:

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

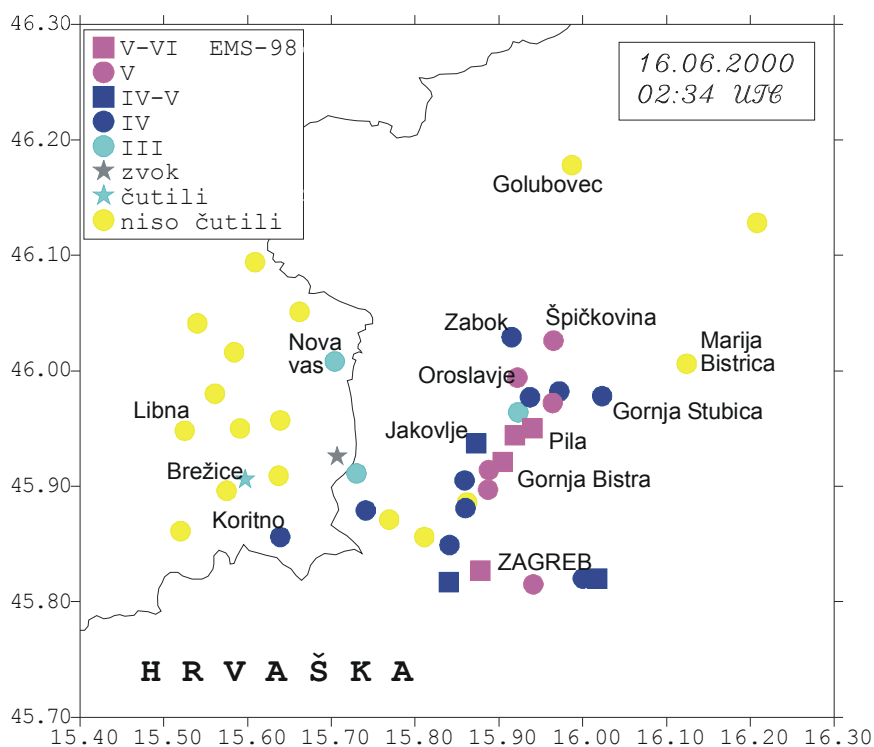
Translation of map legends: bobnenje, zvok = sound; čutili = felt; niso čutili = not felt.



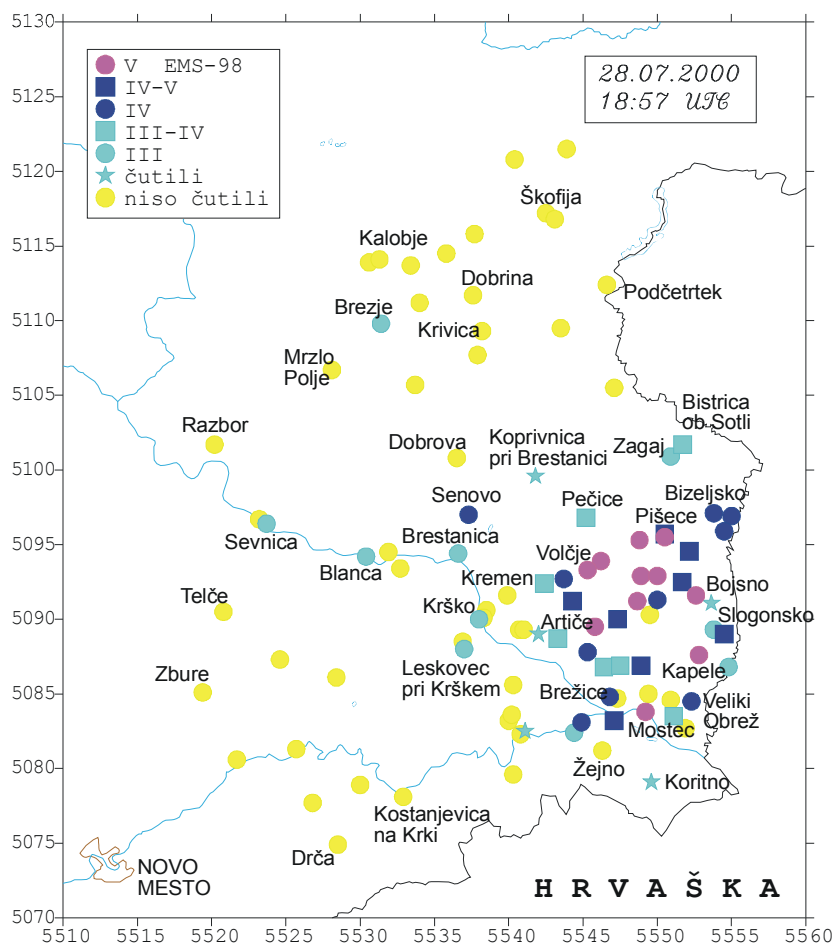
Slika 3. Intenzitete potresa 10. aprila 2000 ob 20. uri 17 minut po UTC v posameznih naseljih.
 Figure 3. Observed intensities of the earthquake on 10 April 2000 at 20.17 UTC.



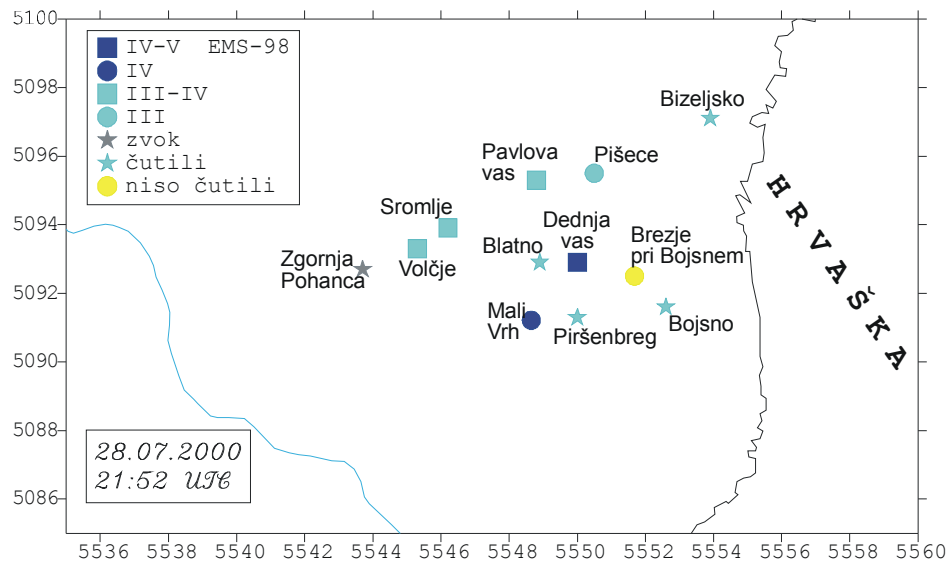
Slika 4. Intenzitete potresa 16. aprila 2000 ob 20. uri 29 minut po UTC v posameznih naseljih.
 Figure 4. Observed intensities of the earthquake on 16 April 2000 at 20.29 UTC.



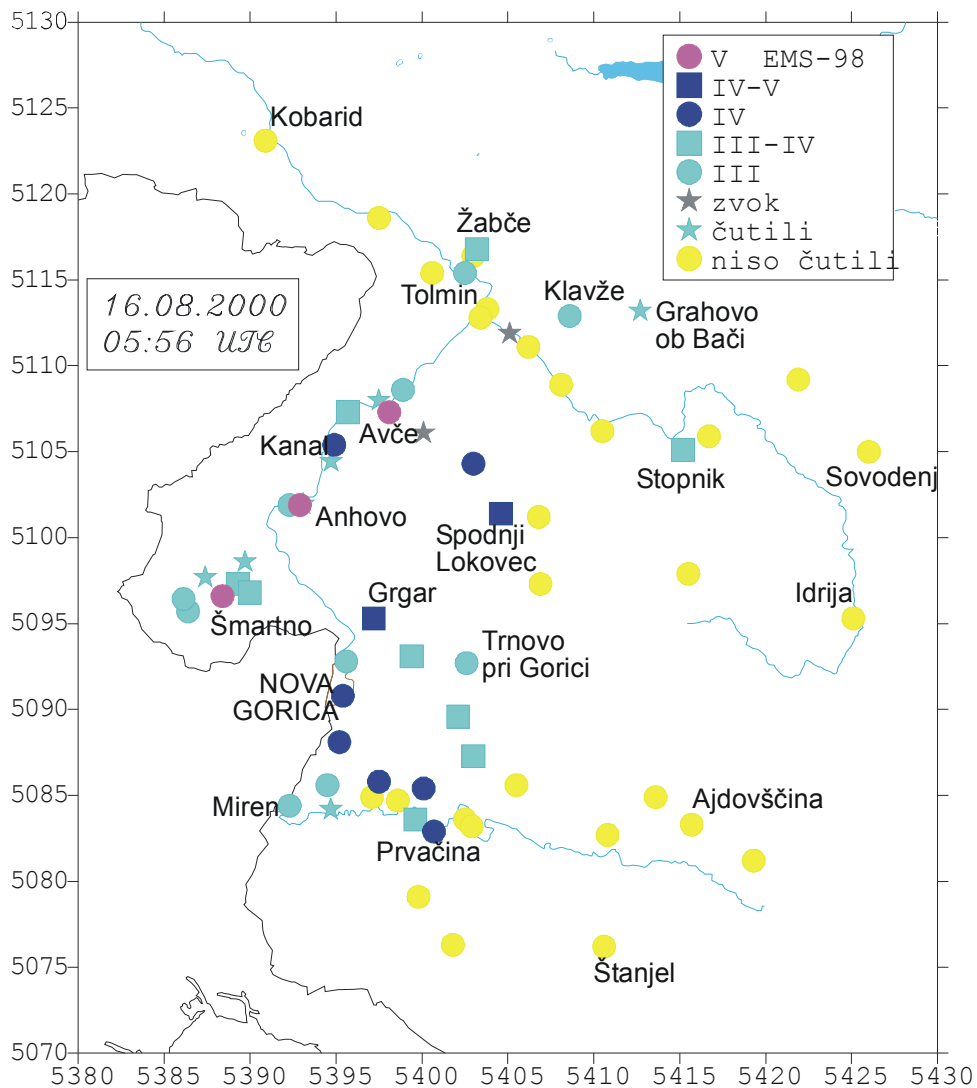
Slika 5. Intenzitete potresa 16. junija 2000 ob 2. uri 34 minut po UTC v posameznih naseljih.
Figure 5. Observed intensities of the earthquake on 16 June 2000 at 02.34 UTC.



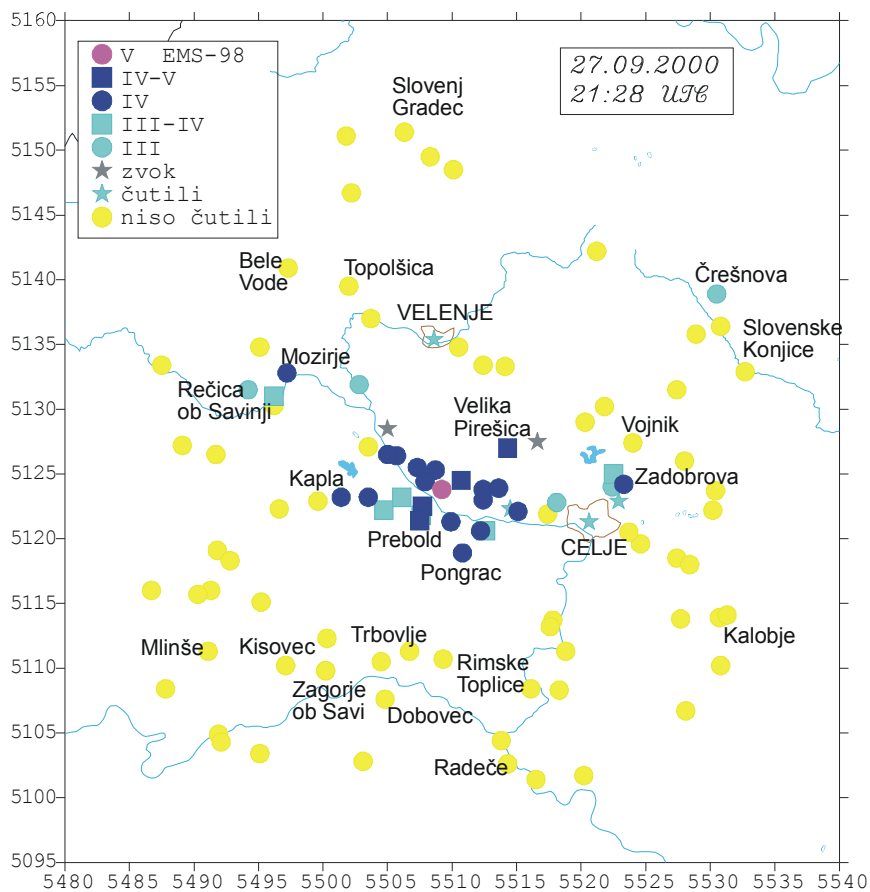
Slika 6. Intenzitete potresa 28. julija 2000 ob 18. uri 57 minut po UTC v posameznih naseljih.
Figure 6. Observed intensities of the earthquake on 28 July 2000 at 18.57 UTC.



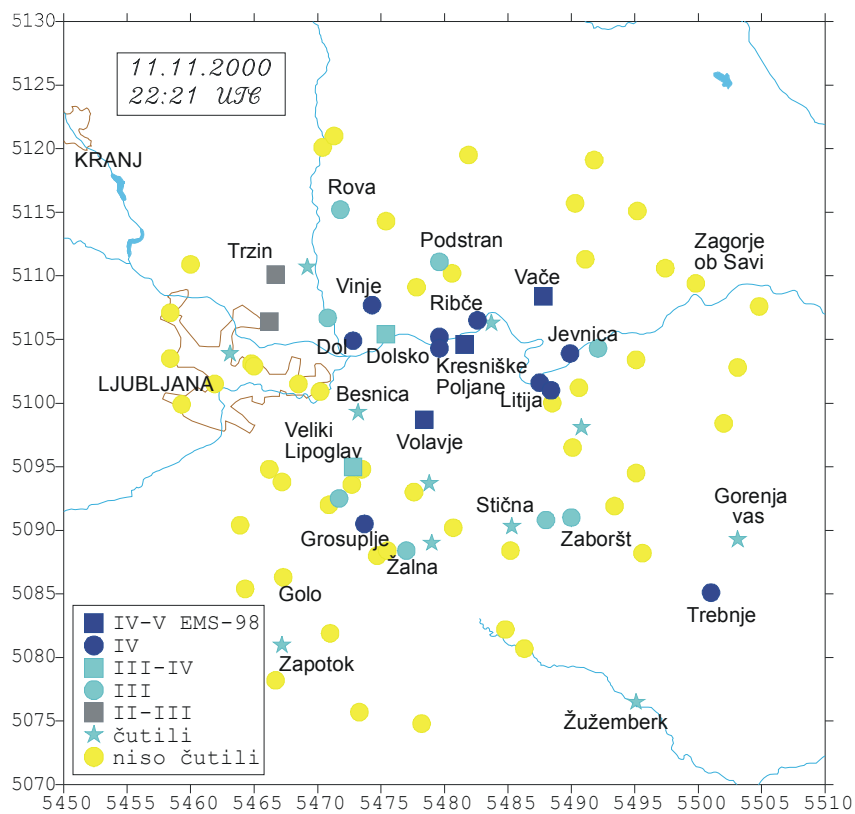
Slika 7. Intenzitete potresa 28. julija 2000 ob 21. uri 52 minut po UTC v posameznih naseljih.
 Figure 7. Observed intensities of the earthquake on 28 July 2000 at 21.52 UTC.



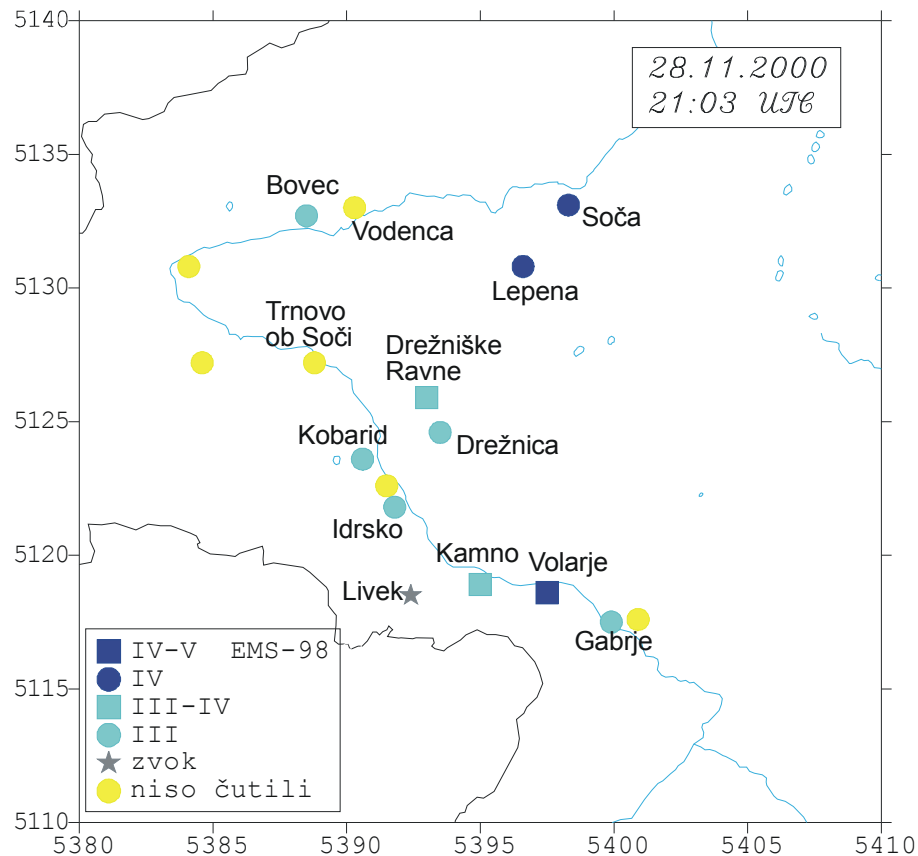
Slika 8. Intenzitete potresa 16. avgusta 2000 ob 5. uri 56 minut po UTC v naseljih.
 Figure 8. Observed intensities of the earthquake on 16 August 2000 at 05.56 UTC.



Slika 9. Intenzitete potresa 27. septembra 2000 ob 21. uri 28 minut po UTC v naseljih.
Figure 9. Observed intensities of the earthquake on 27 September 2000 at 21.28 UTC.



Slika 10. Intenzitete potresa 11. novembra 2000 ob 22. uri 21 minut po UTC v naseljih.
Figure 10. Observed intensities of the earthquake on 11 November 2000 at 22.21 UTC.



Slika 11. Intenzitete potresa 28. novembra 2000 ob 21. uri 3 minut po UTC v naseljih.
Figure 11. Observed intensities of the earthquake on 28 November 2000 at 21.03 UTC.

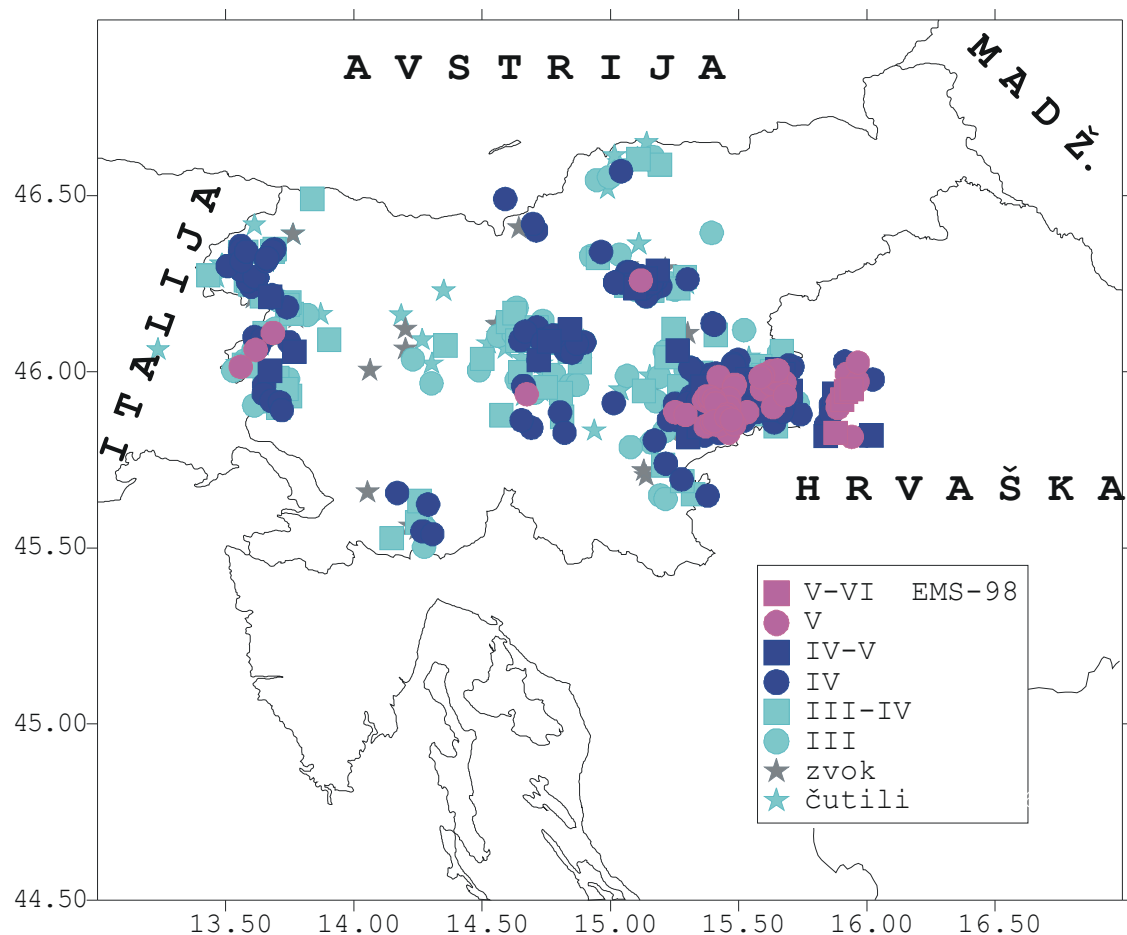
Sklep

Leta 2000 potresna aktivnost v Sloveniji ni bila povečana. Histogram na sliki 13 kaže porazdelitev lokalnih magnitud (MLV), ki smo jih opredelili 482 potresom. Največ potresov je imelo magnitudo med 0,9 in 1,2.

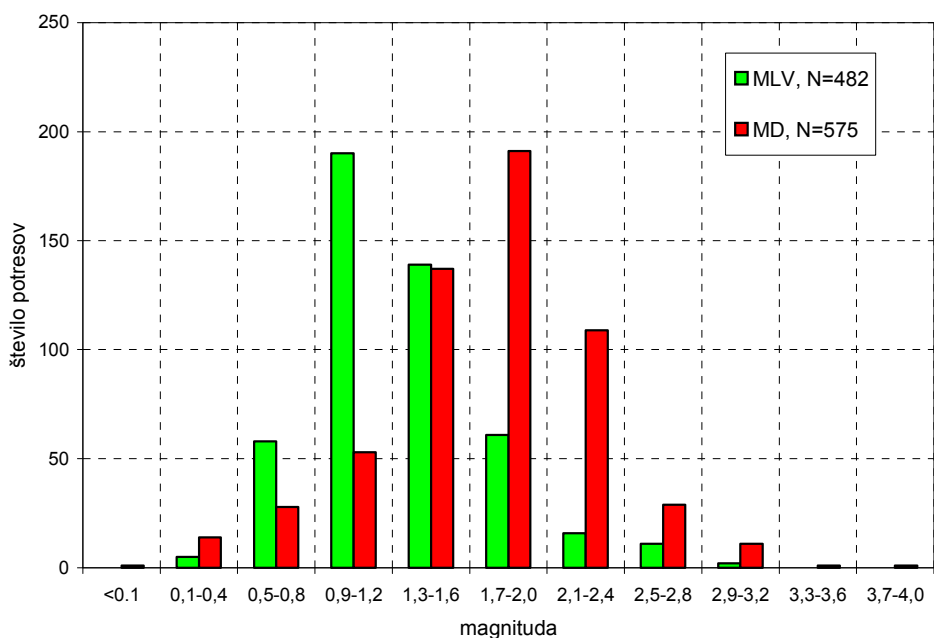
Med potresi, za katere smo razposlali makroseizmične vprašalnike ali opravili terenske raziskave, je največjo intenziteto IV EMS-98 doseglo 36 potresov, intenziteto IV-V EMS-98 3 potresi in intenziteto V EMS-98 5 potresov. Ostali potresi (48) so imeli največjo intenziteto nižjo od IV EMS-98 ali pa so jih ljudje le čutili in stopnje ni bilo mogoče opredeliti (sl. 2 in 14). Prebivalci so skupno čutili 92 potresov.

Porazdelitev potresov glede na globino žarišča (sl. 15) kaže, da je imela večina 669-ih lociranih lokalnih potresov žarišča do globine 18 km. Največ (169) potresov je bilo med 6,1 in 9,0 km in med 0 in 3,0 km (144 potresov). Za 75 potresov smo opredelili žariščno globino večjo od 18 km.

Makroseizmični podatki za potrese bi bili zelo pomanjkljivi ali celo popolnoma nedostopni, če nam pri tem delu ne bi pomagali številni prostovoljni opazovalci. Leta 2000 je z URSG aktivno sodelovalo več kot 4500 oseb, za kar se jim najlepše zahvaljujemo. Tega leta smo razposlali 3841 vprašalnikov o učinkih potresa.



Slika 12. Intenzitete vseh potresov, ki so jih prebivalci Slovenije čutili v letu 2000.
Figure 12. All intensities for earthquakes felt in Slovenia in 2000.

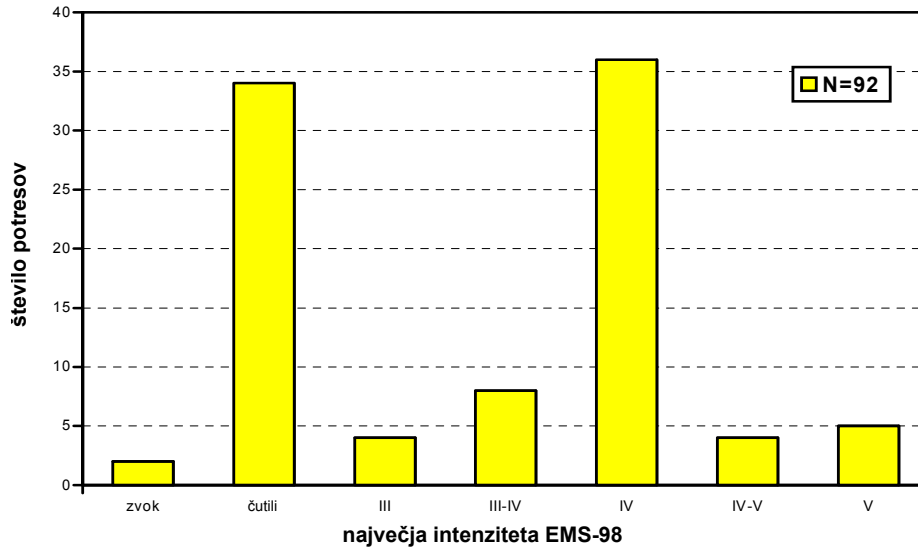


Slika 13. Porazdelitev potresov glede na lokalno magnitudo.
Figure 13. Distribution of earthquakes with respect to local magnitude.

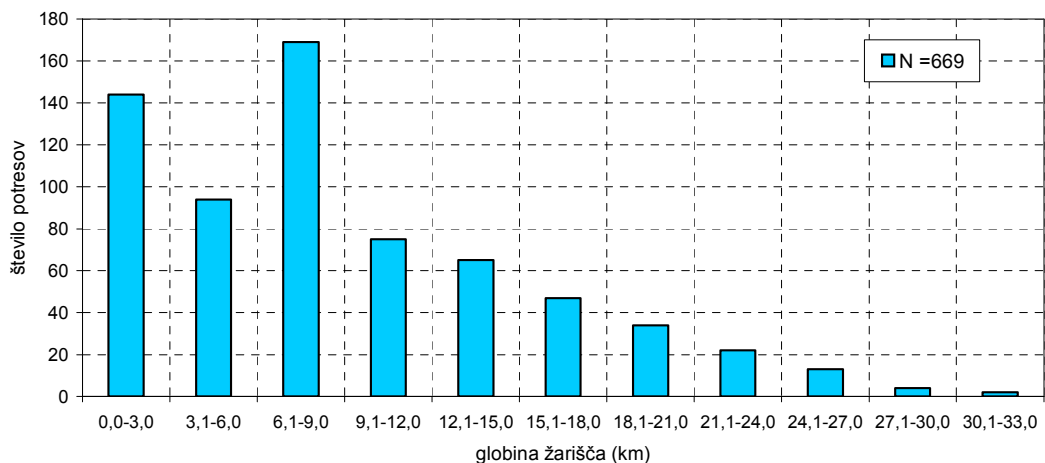
Če pogledamo obdobje od leta 1991 do 2000, lahko ugotovimo, da smo v zadnjem desetletju v Sloveniji letno poslali povprečno 7650 vprašalnikov o učinkih potresa, ali približno 160 na en potres. Na sliki 16 je pregled števila poslanih vprašalnikov za posamezna leta od 1991 do

2000. V povprečju vrnejo 70% vprašalnikov. Nadalje vidimo, da smo v navedenem obdobju v Sloveniji letno čutili povprečno 48 potresov (to pomeni približno enega tedensko), od tega lahko letno pričakujemo 9 potresov z učinki V EMS-98 ali več.

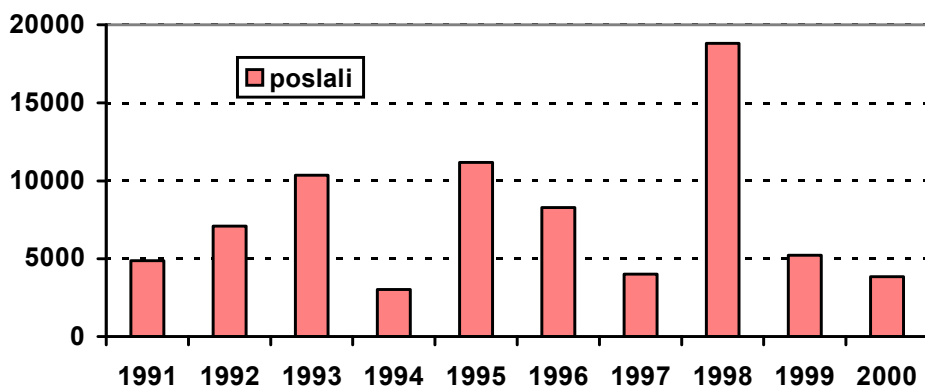
Ta kratka statistika je bolj realna, če pogledamo podatke za enako obdobje, toda brez leta 1998, ki po potresni aktivnosti bistveno odstopa od ostalih. Potem lahko ugotovimo, da letno pošljemo 6410 vprašalnikov za 40 potresov (kar še vedno zneso 160 vprašalnikov na en potres), in da je povprečno letno število potresov z intenziteto V EMS-98 ali več sedem. V letu 1998 smo poslali 18825 vprašalnikov za 125 potresov. Pri tem jih je 30 imelo največjo intenziteto V EMS-98 ali večjo.



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



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



Slika 16. Število poslanih vprašalnikov v letih 1991-2000.
Figure 16. Number of the sent questionnaires in the period 1991-2000.

Tudi v letu 2000 smo pri zbiranju in izmenjavi podatkov uspešno sodelovali s seizmologi iz sosednjih držav. Za poslane makroseizmične podatke pa se posebej zahvaljujemo Andrei Tertullianiju iz Nacionalnega inštituta za geofiziko in vulkanologijo (INGV) v Rimu, Edmundu Fiegweilu iz Centralnega zavoda za meteorologijo in geodinamiko (ZAMG) na Dunaju, Ivici Soviču iz Seizmološke službe Republike Hrvaške (SSRH) v Zagrebu in Tiborju Zsírosu iz Seizmološkega observatorija v Budimpešti.

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
- Lienert, B.R., Berg, E. in Frazer, L.N. 1988: HYPOCENTER: An earthquake location method using centered, scaled, and adaptively least squares. Bull. Seism. Soc. Am., **76**, 771-783
- Lienert, B.R. 1994: HYPOCENTER 3.2 - A Computer Program for Locating Earthquakes Locally, Regionally and Globally, Hawaii Institute of Geophysics & Planetology, Honolulu, 70 pp
- Michelini, A., Živčić, M. in Suhadolc, P. 1997: Simultaneous inversion for velocity structure and hypocenters in Slovenia, Journal of Seismology, **2**(3), 257-265
- 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, 2000-2001: Preliminarni tedenski seizmološki bilteni za 2000. Arhiv ARSO, Urad za seizmologijo, Ljubljana
- Živčić, M., Bondár, I. and Panza, G.F. 1999: Upper Crustal Velocity Structure in Slovenia from Rayleigh Wave Dispersion. PAGEOPH, v tisku

GRUŠČNATI TOK IN POTRESNA DEJAVNOST V LOGU POD MANGARTOM

GRAVEL FLOW AND SEISMIC ACTIVITY IN LOG POD MANGARTOM

Mihael Ribičič¹ in Renato Vidrih²

***Izvleček.** Ker narava katastrof ne pozna, poznamo jih samo ljudje, bi bila naravna nesreča v Logu pod Mangartom po vsej verjetnosti bolj ali manj neopazna, če ne bi zahtevala človeških življenj. Mnogo večje mase zemljin in hribin so v doline zgrmele ob potresu 12. aprila 1998 v zgornjem Posočju (Lemež in »kota 1776« nad Lepeno, Osojnica ob Tolminki itd.). Takrat je bil potres neposredni povzročitelj številnih zdrsov grušča, manjših in večjih hribinskih podorov, nastajanja svežih razpok in drugih naravnih pojavov, med njimi tudi neke vrste gruščnatega toka. V primeru nastanka gruščnatega toka v Logu pod Mangartom pa lahko z vso verjetnostjo trdimo, da potresno dogajanje v tistih dneh ni imelo neposrednega vpliva na nastanek toka. Tudi učinki potresa leta 1998 v teh predelih niso dosegli intenzitete, ki bi lahko porušila naravno ravnotežje in s tem omogočila možnost kasnejše katastrofe.*

***Abstract.** Since Nature does not know disasters - they are only known to people - the natural catastrophe in Log pod Mangartom would probably have passed more or less unnoticed had it not taken human lives. In fact, much larger volumes of soil and rock rushed down into the valleys during the earthquake on 12 April 1998 in upper Posočje (Lemež and Kota 1776 above Lepena, Osojnica ob Tolminki etc.). At the time, the earthquake was the direct cause of many slides of gravel, small and large rockfalls, fresh cracks and other natural phenomena. But in the case of gravel flow, we are absolutely certain that the seismic activity of those days did not have any direct influence on the appearance of the flow. The effects of the 1998 earthquake in this area were also not so intense that they could have destroyed the natural balance and thereby led to the subsequent disaster.*

Uvod

V Sloveniji je bila narava v preteklih desetletjih, razen v zadnjem, dokaj prizanesljiva. Po letu 1990, ko so bile katastrofalne poplave, pa se naravni dogodki, ki prinašajo veliko materialno škodo, gostijo. Tako je po najmočnejšem potresu v 20. stoletju na naših tleh, 12. aprila 1998 v zgornjem Posočju, ki pa k sreči ni zahteval smrtnih žrtev, sledilo še več hudih dogodkov, ki so bili vezani predvsem na vremenska dogajanja. To so na eni strani suše z veliko škodo v kmetijstvu, pomanjkanje snega z veliko škodo v turizmu in izjemno intenzivna padavinska razdobja, ki so se odrazila v sproženju ali ponovnem aktiviranju ogromnih plazov, ki jih do sedaj nismo poznali.

Najhujši dogodek je bil gruščnat tok, ki se je sprožil 17. novembra 2000 iz Stož nad Mangartskim potokom proti Gorenjemu Logu. Življenje je izgubilo sedem ljudi. Porušeno je bilo šest stanovanjskih in gospodarskih objektov in bolj ali manj poškodovanih še 23 objektov v Gorenjem Logu. S poružitvijo dveh mostov je bila prekinjena cestna povezava med Bovcem in Predelom, ki je vitalnega pomena za to območje. Zasuta in delno uničena je bila tudi cesta na Mangart. Večja škoda je bila storjena na energetskih objektih. Hidrocentrala HE Možnica je bila v zgornjem delu odnešena. Celotna materialna škoda je bila ocenjena na več milijard tolarjev.

¹ Gradbeni inštitut, ZRMK, Dimičeva 14, Ljubljana

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

Naravni dogodek v Logu pod Mangartom zahteva, da ta ogrožujoč pojav z vso resnostjo proučimo, še posebno, ker sta blato in grušč pod seboj pokopala sedem ljudi. Po drugi strani pa je ta pojav zanimiv za geologe, saj v novejšem času tovrstnega pojava pri nas še ni bilo, vsaj v taki razsežnosti ne. Poznamo številne plazove in podore, ki so v Sloveniji zelo pogosti.

V slovenskem strokovnem izrazoslovju še nimamo uveljavljenega izraza za opisani pojav, tokrat pa bova uporabljala naziv gruščnat tok, ki verjetno iz geološkega vidika najbolj ustreza angleškemu poimenovanju "debris flow", pa tudi samemu poteku dogodka (Ribičič, Vidrih, 2001a, b).

Predno na kratko podava rezultate raziskovalnih del, izvedbo interventnih ukrepov in opis predloga sanacijskih ukrepov na plazu, opišimo osnovne značilnosti gruščnatih tokov, kot tudi gruščnatega toka v Stožah.

Splošno o gruščnatih tokovih

Gruščnati tokovi nastajajo v planinskem svetu na vseh petih celinah sveta. Pogosto so povzročali katastrofe, v katerih je umrlo več sto ljudi. Obsežna strokovna literatura, ki o tem pojavu piše v zadnjih dveh desetletjih, je ta prej misteriozni pojav v veliki meri že razjasnila, tako da razumemo, kako tak tok nastane, in kateri so tisti dejavniki, s katerimi zmanjšamo možnosti ali posledice katastrof. Sproženje gruščnatih tokov je vedno vezano na izjemne padavine (intenzivne dolgotrajne, kratkoročne, toda ekstremno močne) - npr. utrganje oblaka. Potresi so le redko sprožilci gruščnatega toka. Evropske Alpe so pogost prostor za nastanek gruščnatih tokov. Ta pojav je bil pri nas redek, v takih dimenzijah prvič v 20. stoletju.

Na splošno je gruščnati tok težko predvidljiv in ima pogosto katastrofalne posledice. Katastrofalne posledice so rezultat izredno hitrega premikanja gruščnatega toka glede na klasične plazove in zaradi delovanja daleč od mesta sproženja (lahko tudi več kot nekaj 10 km). Spremembe klimatskih razmer, ki smo jim priča danes in bolj pogosto povzročajo lokalne intenzivne padavine, zahtevajo, da bo potrebno tudi v Sloveniji temu problemu posvetiti večjo pozornost (Ribičič, Vidrih, 2001a, b).

Suhoparna definicija gruščnati tok opisuje kot gravitacijski (hiperkoncentriran) tok mešanice zemljin, hribin, vode in/ali zraka, ki je sprožen z nastankom plazu pri velikem vtoku vode. Njegove značilnosti določajo koncentracija toka, velikost zrn sedimenta in hidravlične značilnosti, kot je hitrost. Za obnašanje toka je zelo pomembna vsebnost in količina glinaste frakcije.

Za zaščito pred gruščnatimi tokovi se uporabljajo predvsem zadrževalne pregrade, ki imajo v modernem projektiranju reže za ustavljanje blokov in kosov kamnine, na drugi strani pa prepuščajo drobno zrnate delce kamnine in vodo.

Opazovanje in meritve gruščnatih tokov

Gruščnati tok je sestavljen iz treh faz (Davies, 1997); proženju sledi tok in končno se material odloži v dolini. Vsaka od faz ima svoje značilnosti.

Sproženje gruščnatega toka

Je tesno povezano s pojavom plazenja. Najprej iz strmega pobočja zdrsneje mase, ki pustijo erozijsko depresijo na strmem pobočju, iz katerega zdrsnejo. Za terensko opazovanje in meritve se uporabljajo elektronski instrumenti, kot so video kamere in ultrazvočni vodni merilci. Ker ta proces sledi sprožitvi plazenja na pobočju, je treba določiti velikost, dolžino in globino območja plazovitih mas, njihovo namočenost in njihove geomehanske lastnosti. Z geodetskimi meritvami opazujemo tudi morebitne premike. Temu se pridruži opazovanje obnašanja plazeče se mase v povezavi s količino padavin.

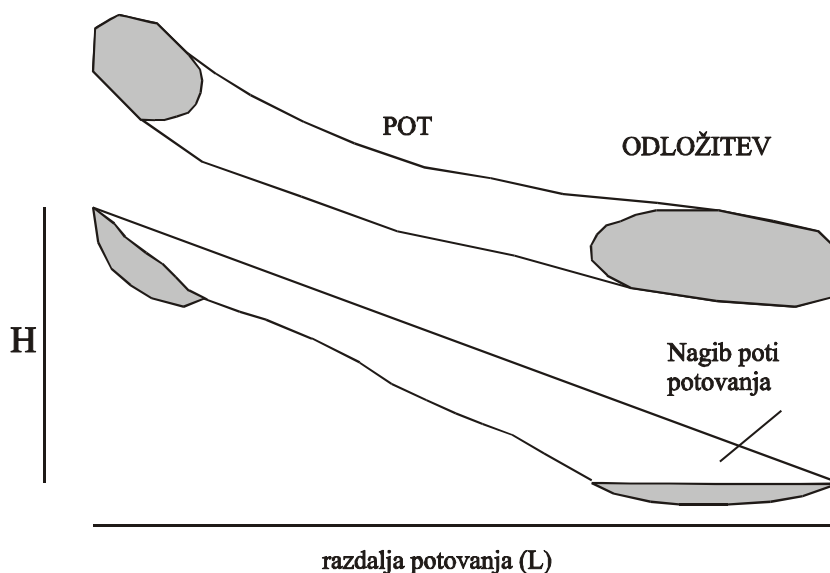
Proces toka

Tok izgleda kot val plime, ki vdira v ozki zaliv. Grušcnati tok lahko erodira dno doline in njene boke. Vzdolž grapa nastane rana v obliki kanala. Tu merimo hidravlične in hidrološke značilnosti, kot so hitrost toka, največjo višino, obliko, čelo toka, itd. Zato se predvsem uporabljajo video kamere in žični senzorji, ki ugotovijo prehod čela toka. Video kamere ponavadi vključijo kar žični senzorji.

Odložitev toka

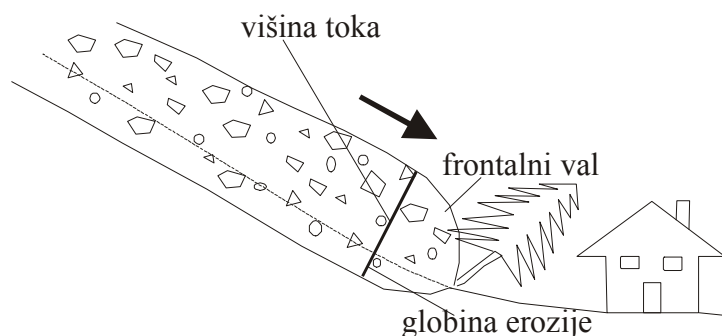
Odložitev, oziroma razlitje toka se največkrat zgodi v obliki pahljačastega razlitja, ko se strma grapa, po kateri drvi, odpre v bolj ravninski svet. Če se dolina razširi, se material odlaga tudi ob obeh robovih vodotoka, kjer lahko tudi z velikimi skalami tvori velike robne nasipe vzdolž vodotoka. Od morfološke oblike terena na območju, kjer grušcnati tok izgubi energijo, je odvisno, kakšna bo oblika odloženega materiala.

Med samim dogodkom so za opazovanje razlitja najprimernejše videokamere, ki so montirane na kritičnih lokacijah. Po dogodku pa ugotavljajo oblike, količine in sestavo odloženega materiala in kakšne posledice je prinesel katastrofalen pojav naravi in človeku.



Slika 1. Prikaz treh osnovnih območij plazu: izvor, pot in odložitev. Za gruščnate tokove je značilna velika razdalja med izvorom in mestom odlaganja.

Figure 1. Presentation of three basic landslide areas: the source, path and deposit. Typical of gravel flows is the great distance between the source and deposit areas.



Slika 2. Skica prereza preko čelnega vala gruščnatega toka. Gruščnat tok s seboj pobira tudi hudourniški material iz dna struge in s tem postaja vedno višji.
Figure 2. A sketch of a cross-section of the gravel flow's frontal surge. The gravel flow picks up torrential material from the streambed, thereby increasing in height.

Napovedovanje možnosti nastanka gruščnatega toka za opozarjanje in evakuacijo

Kjer so ti pojavi pogosti, lahko na območjih, ki morfološko pogojujejo nastanek toka, poiščemo statistično povezavo med kritično kumulativno količino padavin, ki pade v določenem kratkem času, in med sproženjem gruščnatih tokov. Pogosto je povezava dokaj jasna. Ta metoda ni dovolj zanesljiva za evakuacijo, za opozoritev nevarnosti pa je zelo primerna.

Obstajajo tudi matematični računski modeli, ki glede na lastnosti odloženega kritičnega materiala (predvsem njegove gostote in velikosti zrn), nagiba pobočja in kritične infiltracije padavinske vode v času koncentracije na vodozbiromnem območju napovejo možnost nastanka gruščnatega toka. Temeljijo na primerjavi koeficienta odtoka iz kritičnega odloženega sedimenta določene debeline in poroznosti v primerjavi z možnostjo akumulacije padavinske vode. Tako matematično napoved pa je možno določiti le za določeno območje, kjer so geološke in morfološke razmere podobne. Največkrat to velja za vulkanska območja, kjer so odloženi piroklastični sedimenti, ki jih je vulkan izbruhal (vulkanski pepel, lava). Zmanjšanje odtoka vode iz kritičnega območja je znak, da se ta voda akumulira v sedimentu, kar lahko povzroči, da sediment v določenem trenutku preide iz trdne faze v tekočo, kar je predpogoj za sprožitev gruščnatega toka.

Uporabljajo se tudi napovedi z uporabo umetne inteligence – nevronske mreže, ki omogočajo analizo zelo različnih vplivnih parametrov kot vhodne podatke.

Vrste gruščnatih tokov

Na osnovi številnih opazovanj različnih gruščnatih tokov je bilo ugotovljeno, da obstaja med pojavi veliko različnih oblik. Na posameznih območjih Kitajske lahko v deževni dobi nastopijo zelo veliki gruščnati tokovi iz iste ogromne akumulacije (površine do 50 km²) in to večkrat v istem letu. Pretok teh tokov lahko doseže tudi do 2000 m³/s. Na drugih planinskih območjih v svetu (ne pa na vulkanskih območjih) so pretoki toka nižji, manjši od 100 m³/s in se ponavadi zgodijo le enkrat v kratkem razdobju, npr. v enem letu. Površine območja akumulacije so ponavadi manjše od 1 km². Čim večji je gruščnati tok, hitrejši je (~10 m/s),

frontalni val je višji in s seboj nosi večje skale. Čim večji je, tem bolj je podoben vodnemu toku. Manjši tokovi so makroviskozni in zahtevajo dovolj drobne frakcije v masi celotnega toka.

V Evropi se tipični pojavi gruščnatih tokov dogajajo v alpskem svetu v strmih grapah, pri čemer je v primerjavi z drugimi deli sveta v materialu manj finih delcev, so pa v njem običajno veliki skalni bloki. Hitrost toka v alpskem svetu je velika.

Vulkanski gruščnati tokovi se od opisanih močno razlikujejo. V toku prevladujejo predvsem drobne glinasto-meljaste frakcije. Sproženje je pogosto vezano na erupcijo vulkana, ki jo spremljajo tudi intenzivne padavine (Cruden, Varnes, 1996).

Dinamika gruščnatih tokov

Dinamiko gruščnatih tokov lahko popišemo z matematičnimi odnosi, ki so sorazmerno kompleksni in dajejo odnose med osnovnimi parametri, s katerimi opišemo gruščnati tok (Jan, Shen, 1997). Ti pomembni parametri, ki jih pridobimo z laboratorijskimi ali in-situ (na mestu samem) modeli so: gostota materiala, poroznost, strižna napetost, viskoznost, turbulenca, napetostno stanje. Pri dinamiki nas zanima povprečna hitrost toka, površinska hitrost in spreminjanje hitrosti toka z globino.

Obstajajo štirje glavni faktorji, ki določajo obnašanje toka: viskoznost, turbulenca, drsenje delcev med seboj in njihovi trki.

Če gledamo tok v celoti, lahko rečemo, da je v strižnem, plastičnem ali kvazistatičnem stanju. Teoretično lahko za strižni tok uporabimo soodvisnost, ki tak tekoči material opisuje z odnosom med strižnimi in tlačnimi napetostmi (Coloumbov strižni kriterij):

$$\tau = \tau_c + \sigma \tan\varphi,$$

τ \equiv strižna trdnost

c \equiv kohezija

σ \equiv normalna napetost

φ \equiv kot notranjega trenja

V nasprotju strižnemu stanju pa pri hitrih tokovih pridejo do večje veljave trki med trdnimi delci v toku. V tem primeru je tak tok v stanju trkov. Strižna trdnost je odvisna od hitrosti toka in gostote, velikosti, razporejenosti in koncentracije trdnih delcev, kot tudi notranjega strižnega kota mešanice trdnih delcev in vode:

$$\tau = \alpha (du/dy)^2$$

τ \equiv strižna trdnost

α \equiv koeficient odvisen od lastnosti trde komponente

u \equiv hitrost premikanja

du/dy \equiv spreminjanje hitrosti z oddaljenostjo od gladine toka

Koeficient α nadalje izrazimo z enačbo:

$$\alpha = a_1 \cdot \rho_s \cdot \lambda^2 \cdot d^2 \cdot \sin\varphi_d$$

$a_1 \equiv$ empirična konstanta

$\rho_s \equiv$ gostota delcev

$d \equiv$ premer delcev

$\varphi_d \equiv$ dinamični kot notranjega trenja

$\lambda \equiv$ koeficient koncentracije zrn, pri čemer je

$$\lambda = [(C_m/C)^{1/3} - 1]^{-1}$$

$C_m \equiv$ največja koncentracija sedimenta

$C \equiv$ dejanska volumska koncentracija

Če je tok v viskozno - plastičnem stanju (blatni tokovi), strižno trdnost izrazimo z:

$$\tau = \tau_y + \mu \cdot (du/dy)$$

$\tau_y \equiv$ Birgham-ova strižna trdnost

$\mu \equiv$ Birgham-ova viskoznost

Kadar se gruščnati tok zaradi vsebnosti večjih kosov kamnine v veliki meri razlikuje od blatnega toka, kjer prevladujejo glinaste drobne frakcije, je treba pri njem upoštevati tako medsebojne trke med delci, viskoznost celotne tekočine in koncentracijo sedimenta (ki je mnogo večja kot pri blatnem toku).

Postavljena je tako imenovana teorija, ki temelji na kvadratičnem modelu, ki vključuje striženje, viskoznost, trke in napetosti zaradi turbulence, torej vse bistvene komponente, s katerimi opišemo gruščnati tok:

$$\tau = \tau_y + \mu_d(du/dy) + (\mu_c + \mu_t)(du/dy)^2$$

$\mu_d \equiv$ dinamična viskoznost

$\mu_c \equiv$ parameter disperzije ($\mu_c = a_1 \cdot \rho_s \cdot \lambda^2 \cdot d^2$)

$\mu_t \equiv$ parameter turbulence ($\mu_t = \rho_m \cdot l_m^2$)

$\rho_m \equiv$ gostota mešanice

$l_m \equiv$ povprečna oddaljenost med delci

Zgornje izpeljave so pomembne za razumevanje problematike gruščnatih tokov, v večini primerov pa niso uporabne v praktične namene. Za boljše razumevanje se izvajajo tudi fizikalni modeli, v katerih se uporablja bodisi material vzet iz odloženega gruščnatega toka ali pa modelni material. Na kratko podajamo primer enostavnega fizikalnega modeliranja.

Fizikalni modeli, ki dajo najboljše teoretične rezultate, so narejeni s tokom namočenega peska (dvofazni hiperkoncentrirani linearni tok) po nagnjeni žlebasti ploskvi, ki ima lahko različno hrapavost (Hashimoto, 1997). Dvofazni tok pomeni, da nastopata dve snovi – voda in pesek. Hiperkoncentrirani tok pomeni, da suhemu pesku toliko časa dodajamo vodo, dokler ni popolnoma prepojen z njo. Nato v nekem kratkem časovnem razdobju, ki traja samo nekaj sekund, preide iz mirujočega stanja v gibajoče, in se obnaša kot tekočina.

Problem fizikalnih modelov pa je v tem, da v veliki meri odstopajo od realnih razmer v naravi in so enako kot zgoraj opisani matematični pristopi v praksi manj uporabni.

Če opazujemo dve okrogli zrnji v enakomernem toku namočenega peska, lahko ugotovimo spremembo sil in momenta pri trku teh dveh zrn. Poleg tega je treba upoštevati možnost drsenja delcev enega ob drugem (koeficient trenja ob drsenju), prenos trka med več zrnji (za katere so poskusi pokazali, da imajo velik vpliv), itd. Vsekakor pa so tako poskusi na poenostavljenih modelih kot tudi matematične izpeljave pokazali, da imajo največji vpliv na obnašanje toka trki med trdnimi delci v njem.

Dinamiko tokov lahko opazujemo tudi iz vidika hitrosti. Tokovi se med seboj ločijo:

- od zelo počasnih laminarnih do hitrih turbulentnih,
- od blatne tekoče mase iz finih delcev do kamninskih tokov z večjimi skalami.

Vsak tok ima svoje stanje (režim), s tem da so v naravi le redko čista stanja. Glede na stanje toka lahko ločimo:

- kvazi-statični režim - majhna hitrost in koeficient disperzije, trki nepomembni; delci so v tesnem kontaktu in polzijo drug ob drugem,
- makro-viskozni režim - vsebuje večje kose kamnine, ki pa na splošno med seboj niso v kontaktu; po začetku gibanja ti kosi kamnine niso več v stiku,
- režim trkov delcev - kadar je tok hiter in ima medzrnska tekočina majhen vpliv, gonilno silo predstavljajo trki delcev,
- režim turbulentnega toka - nepravilnost kanala, po kateremu teče tok; trki med delci povzročijo turbulenco.

Obramba pred gruščnatimi tokovi

V preteklosti so uporabljali najrazličnejše načine obrambe pred gruščnatimi tokovi. Rešitve so bile v največji meri odvisne od izkušenj projektanta, manj pa od dejanskega poznavanja narave gruščnatih tokov (Okubo in sod., 1997).

Rešitve, ki jih uporabljajo v obrambo pred gruščnatimi tokovi, delimo v dve kategoriji:

- aktivni ukrepi,
- pasivni ukrepi.

Aktivni ukrepi so zmanjšanje možnosti nastanka gruščnatega toka s povečevanjem stabilnosti sedimentov, ki predstavljajo možen izvor nastanka toka. Najpogosteje se uporabljajo trije načini aktivnih ukrepov (Shimokawa, 1997):

- preprečevanje vtekanja vode v območje kritičnih sedimentov in njihovo dreniranje,
- pogoždovanje,
- dela na stabilizaciji brežine (če je možno).

Pasivni ukrepi pa so vezani na ustavljanje ali zmanjševanje moči gruščnatega toka z gradnjo zaščitnih struktur (zadrževalne pregrade, usmerjevalni nasipi, umirjevalni bazeni):

- zmanjševanje hitrosti toka,
- zmanjševanje erozivnosti toka v dnu struge grape,
- zmanjševanje pretoka toka,
- preusmerjanje smeri toka.

Problem teh zaščitnih objektov je, da tudi na osnovi poznavanja hitrosti toka, njegovega največjega pretoka in drugih pomembnih parametrov, še vedno ostanejo neznanke za pravilno dimenzioniranje ukrepov v hudourniku.

Najbolj uporabne so zadrževalne pregrade, predvsem pregrade z režo in pregrade z jekleno mrežno strukturo. Kadar dimenzioniramo pregrade za zaščito pred gruščnatimi tokovi, je treba

upoštevati, da so hidrodinamični tlaki, ki jih povzročajo, zelo visoki in je zato treba izdelati izredno močne pregrade. Erozija dna, ki jo povzroča gruščnati tok, lahko povzroči porušitev zadrževalne pregrade (Armanini, 1997).

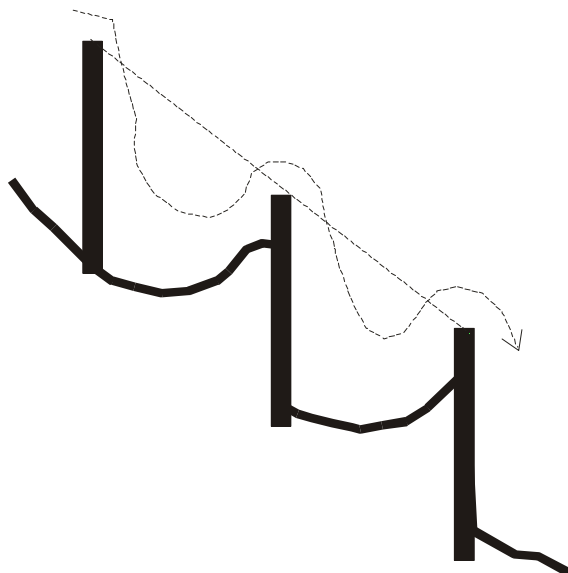
V novejšem času obstajajo nove metode protiukrepov za preprečevanje gruščnatih tokov. Delimo jih lahko na "hardware" – to so različne gradbene konstrukcije in na "software" – to so alarmni sistemi, evakuacija, predpisi o uporabi prostora.

Vrste "Hardware" del:

1. dela na preprečevanju nastanka gruščnatega toka (preprečevanje erozijskih in plazovitih procesov na izvornem območju),
2. dela na zajemanju mase gruščnatega toka (pregrade, za katere se ujame masa gruščnatega toka ali vsaj njen del),
3. dela za vodenje toka (stranski zidovi in včasih tudi dno, po katerem teče gruščnati tok),
4. dela za usmerjanje toka (obrambni zaščitni zidovi, ki preusmerijo tok),
5. dela na razprševanju toka na večjo površino (tok preusmerimo na območje, kjer se razlije na večjo površino),
6. dela za akumuliranje mase toka (akumulacijski bazeni).

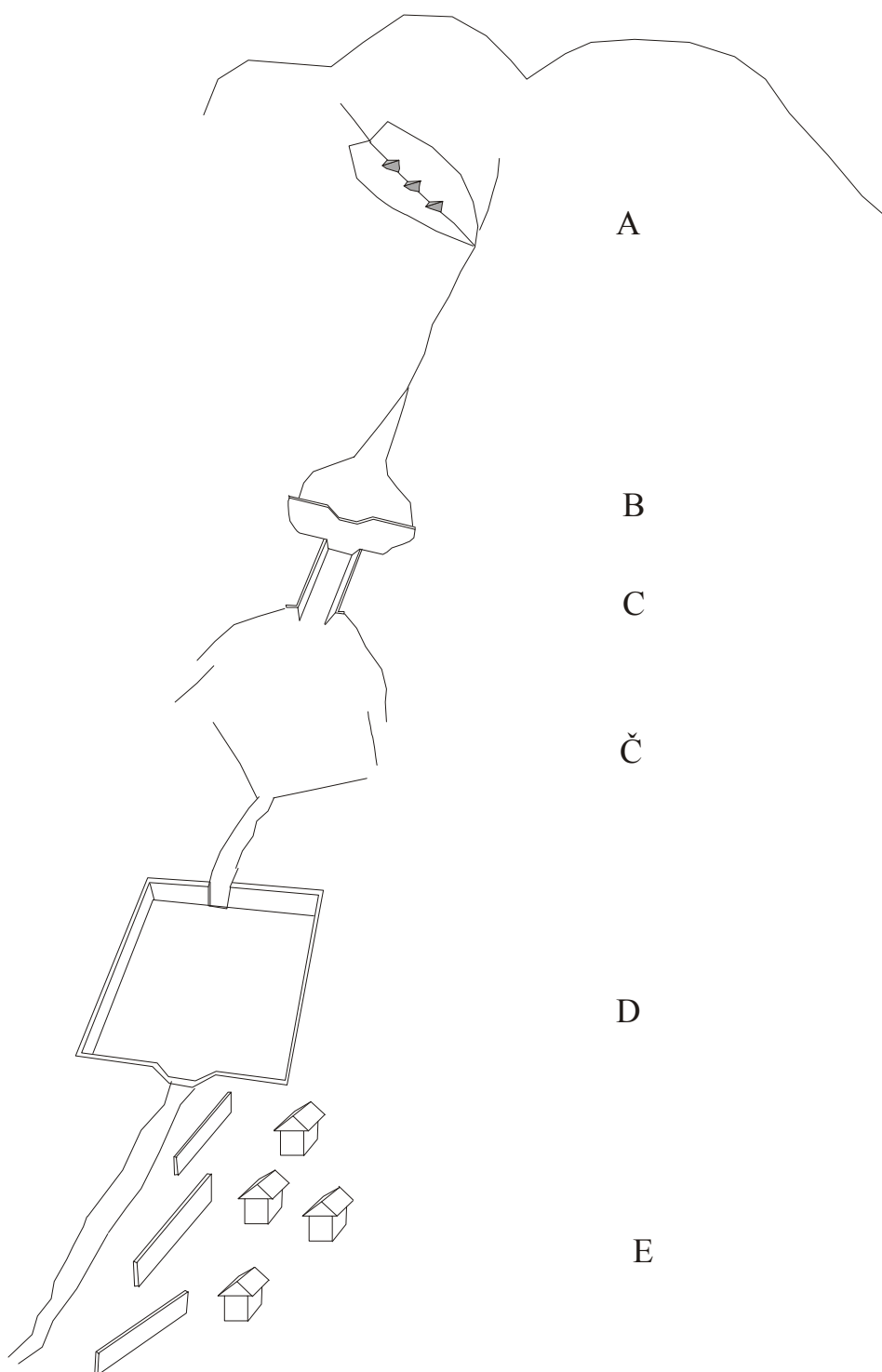
V Alpskem svetu so v hudourniških grapah (oblike "V") najprimernejše zaporedne zadrževalne pregrade. Z zaporedjem pregrad dosežemo:

- zmanjšanje hitrosti in s tem moči gruščnatega toka,
- preprečitev erozije dna struge in naraščanje mase gruščnatega toka,
- delno zmanjšanje količine toka, ker se posebno velike skale, ujamejo za pregrade,
- da se gruščnati tok lahko popolnoma razbije in ustavi, v vsakem primeru pa je njegova razdiralna moč manjša.



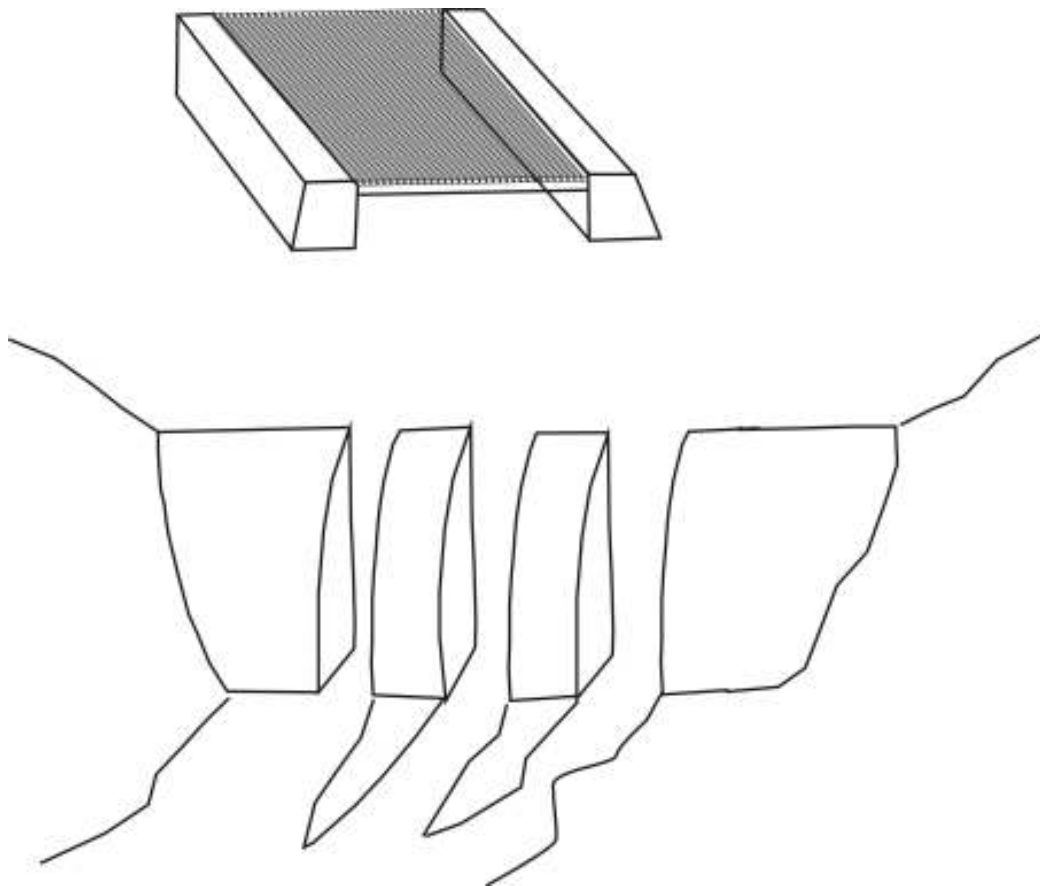
Slika 3. Obstaja več tipov pregrad proti gruščnatemu toku. Prvi način je več zaporednih hudourniških pregrad, ki onemogočijo erozijo dna in zmanjšajo moč toka.

Figure 3. There are several types of gravel flow barriers. The first is composed of several successive torrential barriers, which prevent streambed erosion and reduce the power of the flow.



Slika 4. Možni ukrepi za zmanjšanje moči gruščnatega toka. a...zaporedne pregrade, b...pregrada z retenzijskim prostorom, c...usmerjevalni kanal, č...območje za razlivanje gruščnatega toka v širino, d...akumulacijski bazen, e...zaščitni zasloni.

Figure 4. Possible measures for reducing the power of gravel flow. a...successive barriers, b...barrier with a retention area, c...draw off canal, č...area for the gravel flow to spread-out in width, d...accumulation pool, e...protection screens



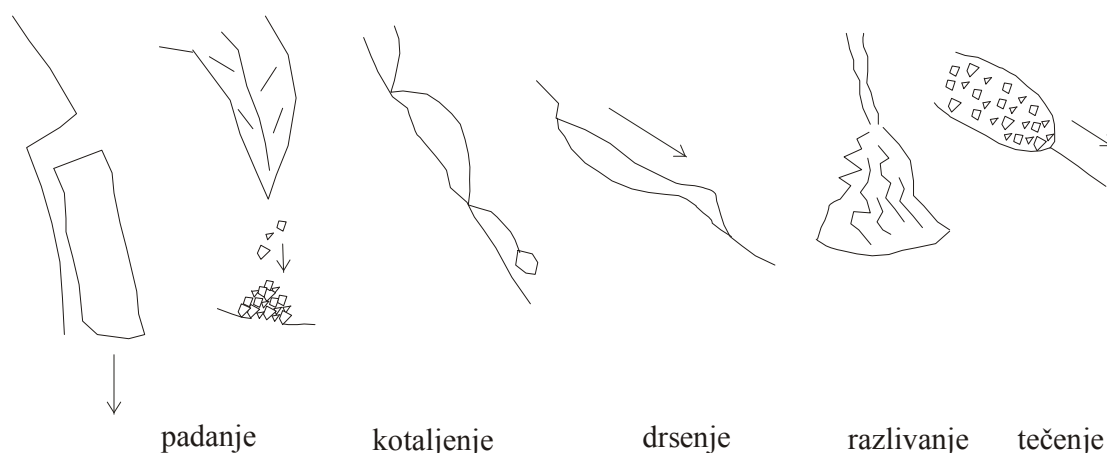
Slika 5. Pregrada "zaslon za razbijanje toka" služi, kot že pove njeno ime, za ustavljanje in zmanjševanje energije toka. Največkrat se uporabljajo za zmanjšanje posledic delovanja gruščnatega toka pregrade z režami ali različnimi rešetkastimi konstrukcijami.

Figure 5. The "flow-breaking screen" barrier serves, as evident from its name, to stop and reduce the force of the flow. Barriers with rifts or various grated constructions are mainly used to lessen the consequences of the gravel flow.

Splošno o plazovih

Najprej opredelimo, kaj je plazenje. To je drsenje dela površinske zemeljske mase po pobočju v smeri padnice, ki ga povzroči delovanje težnostne sile vzdolž porušne (drsne) ploskve, ki ima zmanjšano strižno trdnost v zemljini ali hribini (Cruden in sod., 1996). Ker je gruščnati tok izviral iz plazu, ki se je sprožil v Stožah, in ker so nekateri vsa ta dogajanja povezovali s potresno dejavnostjo, je potrebno v nadaljevanju opredeliti pojav plazenja in seveda povezavo s potresi. Plazenje je gibanje zemljinskih ali hribinskih mas po pobočju (pod vplivom gravitacije).

V plazenje vključujemo zelo raznolike pojave, ki se med seboj močno razlikujejo. Glede na tip premikanja jih ločimo v padanje (podori, padanje grušč), prevračanje (kotaljenje skal in kamnov po strmih brežinah), drsenje (plazenje zemljinskih ali hribinskih mas vzdolž šibke ploskve), razširjanje (zlivanje različnih zemljinskih mas ob vznožjih pobočij) in tečenje (različni blatni in gruščnati tokovi). Za plazove, ki spadajo po vrsti premikanja v skupino padanje in prevračanje, velja, da je potres pogosto njihov sprožitelj. Za plazove, ki spadajo v skupino drsenje, razširjanje in tečenje, pa so najpogostejši sprožitelj močne padavine.



Slika 6. Prikaz plazjenja glede na tip premikanja.
Figure 6. Presentation of landslides by type of movement.

Preglednica 1. Po hitrosti plazove delimo:

Table 1. Division of landslides by speed:

Kategorija	Značilna hitrost(m/s)	Človeška reakcija	Značilna vrsta plazjenja
Izjemno hiter	10 m/s	je ni	hribinski podor
Zelo hiter	5 m/s	je ni	grušcnat tok
Hiter	3m/min	evakuacija	usad
Srednje hiter	1.8m/uro	evakuacija	preperinski plaz
Počasen	13m/mesec	saniranje	grušcnat plaz
Zelo počasen	1.6m/leto	saniranje	glinast plaz
Izjemno počasen	16mm/leto	je ni	globok plaz

Čim hitrejšje je gibanje plazu, tem bolj je lahko nevaren. Drug pomemben faktor nevarnosti pa je oddaljenost izvora plazjenja od njegovega območja odlaganja. Predvsem za tokove velja, da je lahko območje odlaganja tudi več 10 kilometrov od izvora. V takem primeru je izjemno težko napovedati, še težje pa se ubraniti katastrofalnim posledicam toka.

Nastanek plazu je vedno posledica delovanja različnih dejavnikov, ki se med seboj seštevajo. Delimo jih na dolgotrajne in kratkotrajne ter na naravne in človeške. Med dolgotrajne dejavnike spadajo geološko – tektonski in morfološki procesi. Ti bodisi zmanjšujejo velikost strižne trdnosti hribin in zemljin (tektonika, kemično in fizikalno preperevanje) bodisi preoblikujejo obliko terena tako, da so določene zemeljske mase z veliko potencialno energijo potencialno podvržene zdrs (preoblikovanje oblike terena in erozija). Njihovo delovanje je počasno in se meri v tisoč in deset tisoč letih. Kratkotrajni dejavniki so procesi, ki trajajo kratek čas (od nekaj dni do največ nekaj mesecev). Ustvarijo pogoje, pri katerih na kritičnih lokacijah, kjer se seštevajo negativna delovanja dolgotrajnih dejavnikov, nastane plaz. Najpogostejši naravni kratkotrajni dejavnik so močne in/ali dolgotrajne padavine, ki v potencialno nestabilnih tleh povzročajo vzgonske in strujne vodne tlake. Od človeških kratkotrajnih vzrokov sta najpogostejša spodkopavanje ali obremenitev pobočja. Tisti kratkotrajni vzrok, ki je pomembno deloval kot zadnji, in je povzročil, da se je mejno ravnotežje porušilo, imenujemo sprožitelj plazjenja. Včasih je težko ugotoviti, kateri vzrok je neposredni sprožitelj plazjenja, lahko sta tudi dva, ki sta slučajno nastopila skupaj.

Podori so manjši ali večji odlomi kamnov in skal, ki z veliko hitrostjo grmijo po strmih pobočjih. Največkrat je razlog za njihov nastanek zmrzal, lahko pa tudi potresi, redkeje še drugi pojavi, ki so omenjeni kot razlogi za nastanek plazov.

Preglednica 2. Nekateri dolgotrajni dejavniki, ki povzročajo plazenje.

Table 2. Some long-term factors causing landslides.

NEKATERI DOLGOTRAJNI DEJAVNIKI MAJOR LONG - LASTING FACTORS	
NARAVNI	ČLOVEŠKI
<u>preperevanje</u> , ki povzroči nastajanje debelega preperinskega pokrova, rahlo odloženega, z nizkimi strižnimi lastnostmi in sposobnostjo zadrževanja vode	<u>sečnja gozdov</u> v preteklosti je povečala količino vode, ki je padla neposredno na tla, zaradi česar se je zmanjšal površinski odtok vode, povečalo njeno pronicanje v tla, pretrgalo vezanje zemljin s koreninami
<u>erozija</u> , ki spodkopava bregove, povečuje debelino preperine pod območji erozijskega delovanja	<u>kmetovanje</u> , ki preoblikuje teren, zmanjša nagib brežine, poveča in rahlja zgornje zemljinske plasti, poveča pronicanje padavinske vode v tla
<u>spremembe podnebnih razmer</u> , ki povzročajo povečanje letne količine padavin, nihanje podtalne vode, spremembe pH in kemične sestave podtalnice, odlaganje fino zrnatih delcev na možni drsni ploskvi	<u>rudarjenje</u> in druga zemeljska dela, ki so jih opravljali dolgo časa, sprožajo plazenje v širši okolici zaradi navpičnega posedanja, sprememb strujanja podzemnih vod, nastanka rušnih razpok, ponavljajočih se tresljajev pri miniranju in prevozu
<u>tektonika</u> oz. neotektonsko dvigovanje blokov, ki povzročata nižanje erozijske baze vodovij in s tem nestabilnost pobočij ob njih, hitrejša preperevanje razpokane hribine	<u>izbor neustreznih lokacij starih naselbin</u> z neurejenim odvodom vod, neustreznimi zemeljskimi posegi, gradnjo hiš na pobočjih

Preglednica 3. Nekateri kratkotrajni dejavniki, ki povzročajo plazenje.

Table 3. Some short-term factors causing landslides.

NEKATERI KRATKOTRAJNI DEJAVNIKI (SPROŽITELJI PLAZU) MAJOR SHORT - LASTING FACTORS (TRIGGERS OF LANDSLIDES)	
NARAVNI	ČLOVEŠKI
nenaden dvig podtalne vode	izpodkopavanje pobočja in useki v njem
močne padavine	gradnja na pobočju z njegovo obremenitvijo
poplave	povečanje nagiba pobočja (umetne brežine)
spodjedanje bregov	sečnja gozdov ali kakšen drug poseg v vegetacijo
topljenje snega	sprememba odtokov padavinske vode na nestabilen teren
potres	povzročanje tresljajev (promet, miniranja)

Plazovi in potresi

Potres je naraven kratkotrajni dejavnik, ki lahko povzroči sprožitev plazu. Podobno kot smo na začetku opredelili plaz, se seznanimo z definicijo, **kaj je potres**. To je seizmično valovanje tal, ki nastane ob nenadni sprostitvi nakopičenih tektonskih napetosti. Mehanizem potresa je podoben mehanizmu nastanka plazu. Pri obeh je presežena strižna napetost kamnine ob šibki ploskvi, zato se pojavi ob njej zdrs. Tu se podobnost konča. Medtem ko je žarišče potresa več kilometrov do več deset kilometrov pod površino, je plaz površinski pojav. Potres je nenaden,

sunkovit dogodek, ki se zgodi v zelo kratkem času, medtem ko je plazenje (razen pri usadih in podorih) časovno daljši dogodek, ki poteka več dni, mesecev ali celo let.

Potres kot vzrok porušanja ravnotežja zemeljskih mas uvrščamo med tipične *sprožitelje plazenja*. Ekvivalentni sprožitelj potresa, ki je človeškega izvora, je miniranje. Potres sproži v kamninah nastanek dodatnih dinamičnih sil, ki so posledica nihanja delcev. Potresno valovanje povzroči, da v trenutku nihanja tal seizmični pospeški zmanjšajo delovanje gravitacijskega pospeška na kamnino. Na ta način se v razrahljanem delu zemljine ali hribine na ploskvi najmanjšega strižnega odpora sproži zdrs, če je bila v labilnem ravnovesju. V trdih hribinah se lahko pojavi različno nihanje posameznih blokov in nato zdrs po razpoki, ki je nagnjena v smeri pobočja navzdol. Ob nihanju stiki med zobci na stičnih ploskvah postanejo manj tesni ali pa se celo pojavijo preskoki. Zobci, ki predstavljajo hrapavost ploskve, se lahko pri tem lomijo in strižna trdnost na ploskvi se občutno zmanjša. Ali bo hribinski blok zdrsel, je odvisno tudi od valovitosti razpoke (premik se lahko zgodi samo za nekaj centimetrov ali decimetrov, dokler vzboklina gornjega dela ploskve ne naleže na vzboklino spodnje).

Eden najpogostejših premikov zemeljskih mas ob potresu pa nastane, kadar je zemljina ali hribina prepojena z vodo. Ob potresu narastejo vzgonski in strujni tlaki, ki lahko sprožijo zdrs.

Našteti vplivi so zelo kratkotrajni in trajajo le, dokler tla ob potresu nihajo. Zaradi tega tudi potrese uvrščamo med sprožitelje plazenja, ne pa med njihove osnovne vzroke nastanka.

Pri potresu se sprožijo primarni, sekundarni in površinski valovi. Površinski valovi so podobni valovanju, ki nastane, kadar vržemo kamen v vodo, in povzročajo največjo škodo. Kako velika bo, je odvisno od intenzitete potresa, pa tudi od lokalnih razmer, ki lahko seizmične tresljaje ojačajo ali zmanjšajo.

Na splošno velja, da se bo intenziteta potresa povečala na tistih območjih, ki so iz kamnin, ki rade tudi plazijo, če pri tem ne upoštevamo ravninskega sveta, kjer razen neposredno ob vodotokih plazov ne more biti. V spodnji preglednici naštevamo razmere, ki povzročijo ojačenje potresnih valov in s tem večje rušilne učinke potresa, ter razmere, ki povečujejo možnost nastanka plazov. Teren izbiramo glede na primernost za gradnjo ali druge človeške dejavnosti, tako da se izogibamo območjem, kjer so razmere za pojav plazov in so učinki potresa ojačeni. Če se jim ne moremo izogniti, moramo pri posegih v teren uporabiti dodatne varnostne ukrepe.

Zaradi boljšega poznavanja seizmičnosti Slovenije so bile pripravljene **seizmične karte povratnih dob potresov** za različna časovna obdobja. V našem primeru smo uporabili karto za povratno dobo 500 let, ki je predpisana za uporabo v gradbeništvu (Ribarič, 1987). Vrednost kart je v napovedih, saj dajejo oceno verjetnosti pojavljanja potresnih sunkov v prihodnosti na določenem območju. Pripravljene so na podlagi žariščnih con potresov, ki so ovrednoteni z največjimi magnitudami. Iz njih so bile po metodi ekstremnih vrednosti izračunane maksimalne intenzitete za različna območja in različne povratne dobe potresov.

Intenzitete na karti so v stopnjah EMS lestvice. Plazenje se predvidoma začne pri VII. stopnji. Na kratko bomo opisali posamezne stopnje, ki so povezane s pojavi in spremembami v naravi in so predvidene za posamezna območja v Sloveniji.

Preglednica 4. Razmere, ki ojačajo potresne učinke in razmere, ki povzročajo plazenje
Table 4. Conditions that amplify seismic intensities, and conditions that trigger landslides.

razmere, ki ojačajo potresne učinke	razmere, ki povzročajo plazenje
zelo razčlenjen teren: strma pobočja, globoke grape ipd.	teren konkavne oblike, ki povzroča stekanje padavinskih voda
tla, sestavljena iz različnih plasti, ki poševno prehajajo med seboj in padajo v smeri pobočja	tla, sestavljena iz različnih plasti, med njimi iz plasti z majhnimi strižnimi lastnostmi
preperinski pokrov, ki po svojih seizmičnih lastnostih zelo odstopa od kompaktne podlage	preperinski pokrov, ki se po svojih strižnih lastnostih zelo razlikuje od lastnosti kamninske podlage
debel preperinski pokrov slabih geotehničnih lastnosti	debel preperinski pokrov slabih geotehničnih lastnosti
območja, ki so na meji stabilnosti (plazovi, labilna preperina, usadi, stropi kraških jam, previsi, skalne stene)	območja, ki so na meji stabilnosti (labilna preperina, krušljive stene, stropi kraških jam, previsi, skalne stene)
cone v bližini litoloških mej kamnin z različnimi seizmičnimi lastnostmi	cone v bližini litoloških mej, kjer se izmenjujejo prepustne in neprepustne kamnine
z vodo prepojene zemljine	z vodo prepojene zemljine ali pod ravnijo podtalne vode
bližina prelomov, prelomnih con, zelo razpokane kamnine	bližina prelomov, prelomnih con, zelo razpokane kamnine

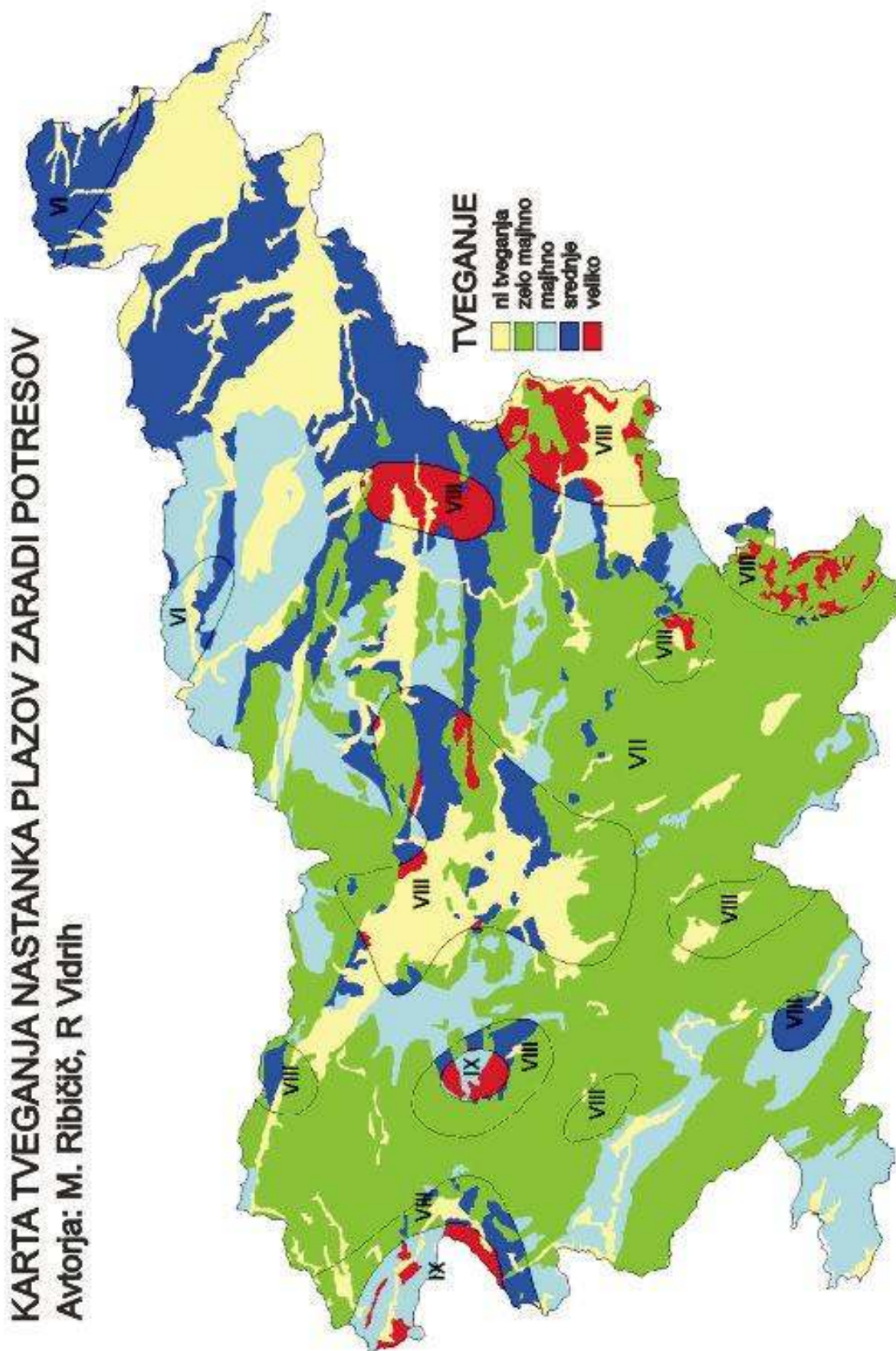
VII. stopnja po EMS lestvici. Na vodni gladini nastanejo valovi, voda postane zaradi vzburkanega dna kalna. Spremeni se vodostaj vodnjakov in izdatnost izvirov. Redkeje se pojavijo novi izviri ali presahnejo stari. Tu in tam zdrsnejo peščene ali prodne brežine.

VIII. stopnja po EMS lestvici. Na strminah kotanj in nasipov cest nastanejo manjši zdrsi zemljin. Razpoke v tleh so široke do nekaj centimetrov. Pojavijo se novi zbiralniki vode. Ponekod se napolnijo suhi vodnjaki ali presušijo dotedanji. Marsikje se spremeni izdatnost izvirov in vodostaj v vodnjakih.

IX. stopnja po EMS lestvici. V ravninskih predelih so pogosta poplavljanja in nanosi peska in blata. Razpoke v tleh so široke do enega decimetra, na pobočjih in brežinah pa tudi več. Poleg teh nastane tudi več manjših razpok. Skalovje se ruši. Pogosti so usadi, udori in osipi zemljin. Na vodni gladini nastanejo veliki valovi.

Iz opisa stopenj po EMS lestvici je razvidno, da se zdrsi začnejo pojavljati pri potresih VII. stopnje. To so posamezni manjši zdrsi zemljin z najslabšimi geotehničnimi lastnostmi. V skalnatih predelih padajo posamezni kamni in skale. V VIII. stopnji so zdrsi že pogostejši in nastajajo na gričevnatem in hribovitem terenu. V alpskem svetu in na zelo strmih pobočjih začnejo padati skale in pojavijo se podori. Izredno številni in veliki pojavi nestabilnosti nastanejo pri potresih IX. stopnje ali več. Pri tako močnih potresih ponavadi zdrsnejo vsa tista pobočja, ki so v labilnem stanju.

Če združimo ugotovitve seizmološke karte Slovenije za povratno dobo 500 let, inženirske geološke karte Slovenije in karte nagibov pobočij, lahko odgovorimo na vprašanje o splošni stabilnosti v Sloveniji ob močnejših potresih.



Slika 7. Karta tveganja nastanka plazov zaradi potresov.
 Figure 7. The map of the risks of earthquake-triggered landslides.

Preglednica 5. Tveganje nastanka plazov v kamninah zaradi potresa.

Table 5. Risk of earthquake triggered landslides in various rocks.

KAMNINA	STOPNJA TVEGANJA NASTANKA PLAZOV		
	intenziteta potresa po EMS – lestvici		
	VII	VIII	IX
zelo trdne hribine	ni tveganja	zelo majhna	zelo majhna
trdne hribine	zelo majhna	zelo majhna	majhna
srednje trdne hribine	majhna	srednja	velika
polhribine	srednja	velika	zelo velika
ZEMLJINE	ni tveganja	ni tveganja	ni tveganja

Preglednica 6. Pojavi v naravi, ki se sprožajo ob določeni intenziteti potresa.

Table 6. Various natural phenomena are triggered at specific earthquake intensities.

pojavi porušitev naravnega ravnotežja v hribinah	intenzitete potresa			
	VI	VII	VIII	IX
padanje posameznih kamnov	●			
odpiranje kratkih svežih razpok v hribini	●	○		
padanje posameznih skal	●	○		
manjši hribinski podori	○	●		
zdrsi gruščca	○	●		
krušitev kamnov v večji količini		●		
manjši hribinski planarni in klinasti zdrsi		●		
premikanje skal na položnem ali ravnem terenu		○	●	
veliki hribinski podori		○	●	
odpiranje dolgih svežih razpok		○	●	
padanje skal v večji količini			●	
razklanje skal in prevrnitve			●	○
veliki hribinski planarni zdrsi			●	○
veliki hribinski klinasti zdrsi			●	○
hribinski podori regionalnih dimenzij			○	●
planarni zdrsi regionalnih dimenzij				●
veliki klinasti zdrsi regionalnih dimenzij				●

- območje največje uporabnosti za določitev intenzitete
the area of greatest applicability for intensity determination
- intenzitete tudi značilne za ta pojav
intensities also typical of this phenomenon

Čim večja je intenziteta bolj narašča velikost in pogostost pojavov.

With growing intensity, the size and frequency of the phenomena increase.

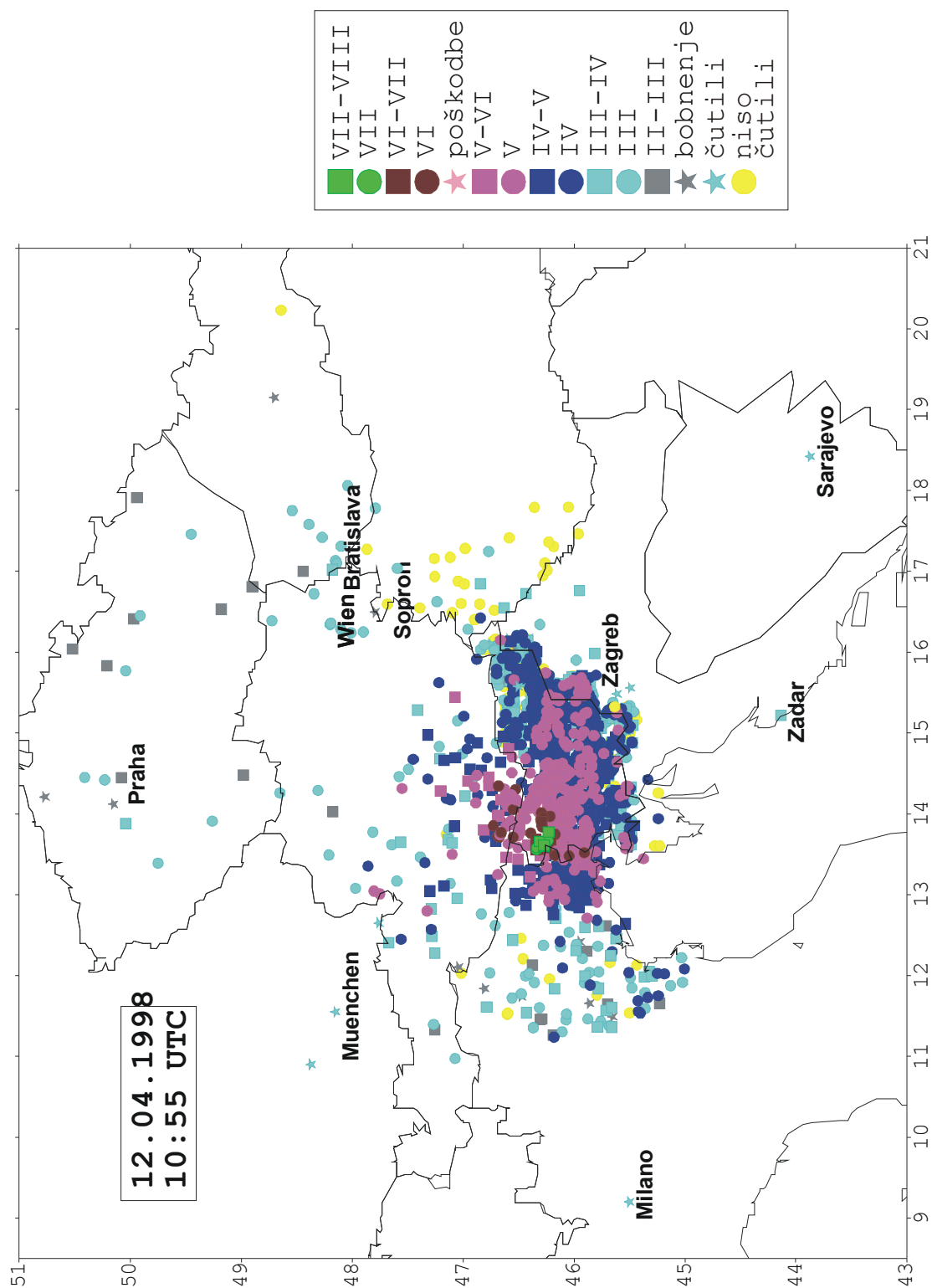
Opredelevitev je podana po originalni EMS potresni lestvici za vseh 12 stopenj. Pri intenzitetah nad VI. stopnjo so opredeljeni tudi učinki v naravi. Glede na dosedanja opazovanja poškodb v naravi lahko trdimo, da do VI. stopnje tudi v najbolj ranljivih kamninah poškodb v naravi ni v takem številu, da bi jih bilo mogoče uporabiti pri določitvi intenzitete potresa. Pri stopnjah nad IX pa se verjetno pojavljajo tudi nove vrste in dimenzije poškodb. (Vidrih, Ribičič, 1999a, b).

Potres 12. aprila 1998

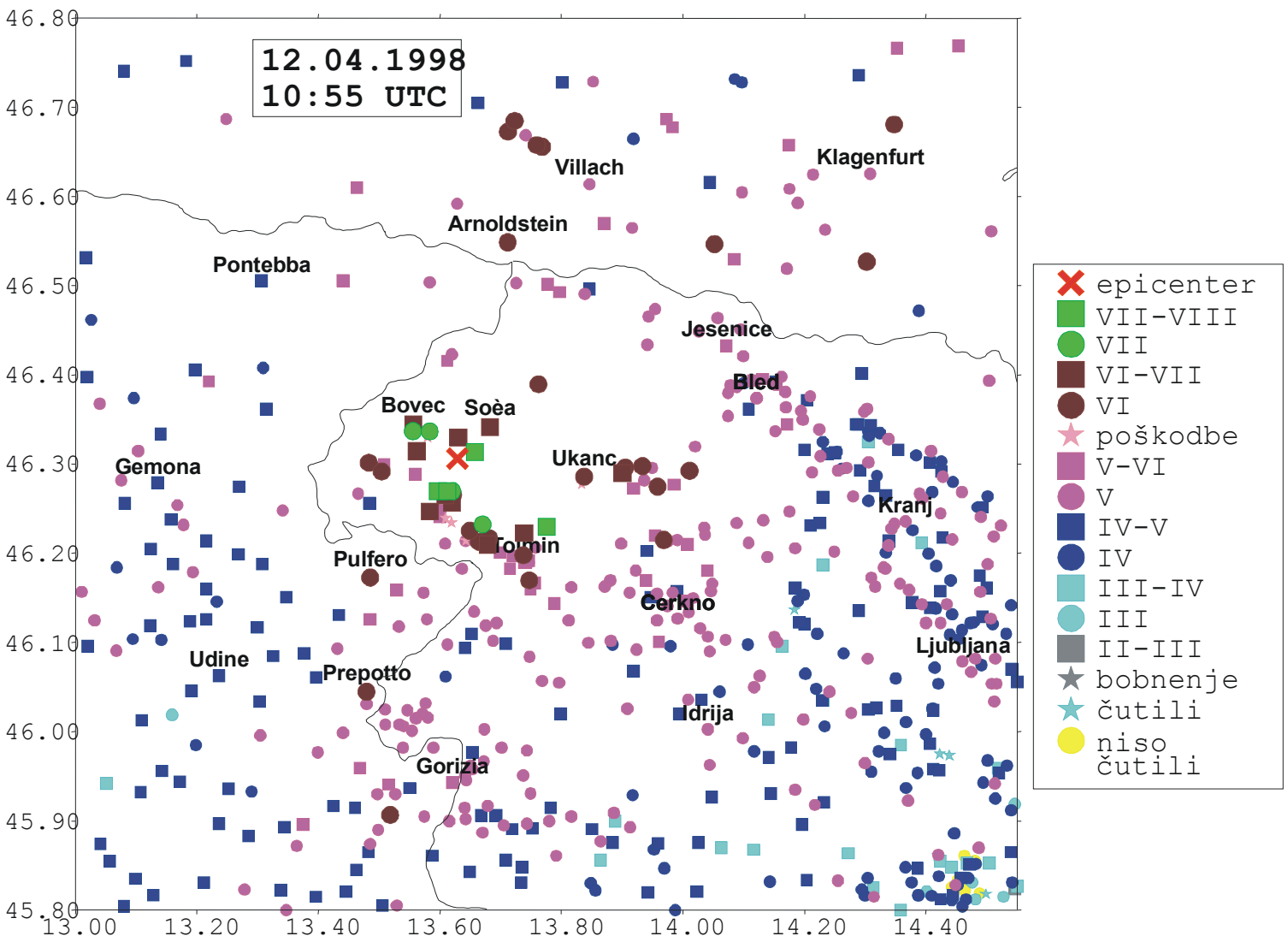
Na velikonočno nedeljo 12. aprila 1998 ob 12. uri in 56 minut po lokalnem času je nastal v zgornjem Posočju najmočnejši potres v 20. stol. z žariščem na naših tleh. Njegova magnituda je bila 5,6, največji učinki pa so po prvih ocenah dosegli med VII. in VIII. stopnjo po EMS (12-stopenjska evropska potresna lestvica). Žarišče je nastalo pod Krnskimi gorovjem v globini okoli 8 km. Potresni sunek so čutili prebivalci celotne Slovenije, v zgornjem Posočju pa je povzročil večjo gmotno škodo (Gosar in sod., 1999).

Učinki potresa so zajeli deset držav, saj so ga poleg Slovencev čutili tudi prebivalci posameznih delov Hrvaške, Bosne in Hercegovine, Madžarske, Avstrije, Švice, Italije, Slovaške, Češke in Nemčije. Koordinati epicentra sta bili 46,31 severne širine in 13,63 vzhodne dolžine. Po potresu so sodelavci takratne Uprave Republike Slovenije za geofiziko (danes Urada za seizmologijo pri Agenciji RS za okolje) postavili tri, kasneje pa pet prenosnih potresnih opazovalnic in z njimi že v prvih 20 urah po glavnem potresu zabeležili več kot 400 popotresnih sunkov. Najmočnejši popotresi, ki so preseglji magnitudo 3,0, so bili 12. aprila ob 15. uri 35 minut ter 18. uri in 15 minut, 13. aprila ob 0. uri in 14 minut, 15. aprila ob 21. uri in 40 minut, 16. aprila ob 0. uri in 42 minut ter najmočnejša 6. maja ob 4. uri in 53 minut (vsi časi so podani v lokalnem času). Najmočnejši popotresni sunek je imel magnitudo 4,0 in je bil približno 50-krat šibkejši od glavnega potresa. Začasna mreža potresnih opazovalnic je skupno zabeležila prek 7000 popotresnih sunkov.

Po potresu 12. aprila 1998 je v gorskem svetu nastalo veliko porušitev naravnega ravnotežja, med njimi tudi primer gruščnatega toka. V začetku doline Lepene je nastal gruščnati tok, katerega skromne ostanke lahko vidimo še danes. V strmi grapi odloženo kamenje se je ob potresu sprožilo in se začelo valiti po njej navzdol. Pri tem so se kamni in skale povprečnih dimenzij od nekaj centimetrov do nekaj decimetrov začeli mešati s snegom, ki je tudi v debeli plasti zapolnjeval grapo. Vedno hitreje kotaleča se in drseča masa snega in blokov kamnin je v nižjih delih grape, ko se je že bližala dolini Lepene, začela s terena posnemati tudi glinaste in meljaste gruščnate zemljine, ki so bile odložene v nekaj metrov debelih plasteh. Iz hitro padajoče mase zemljin, snega in skalnih blokov ter kamnov, se je ob vznožju strmega pobočja nakopičila počasi tekoča masa, ki je ob premikanju po travnatih dolinskih bregovih hitro izgubljala vodo in s tem postajala vse gostejša ter zato tudi vedno počasnejša. Ko se je gruščnati tok ustavil, je iz njega odtekla še preostala voda, ostal pa je trd, gost zemljinski in kamninski material. Obseg tega gruščnatega toka ni bil posebno velik, na srečo pa tudi nikjer ni ogrožal domačij ali celo človeških življenj. V prvih dneh po potresu je bila njegova širina v spodnjem delu več deset metrov, njegova višina pa do štiri metre. Danes lahko opazujemo le še ostanke. Ta pojav opisujemo zaradi podobnosti z dogodkom v Logu pod Mangartom, seveda pa so bile razsežnosti neprimerljivo manjše (Vidrih, 1998).



Slika 8. Intenzitete potresa 12. aprila 1998 v Sloveniji in sosednjih državah. (avtor: I. Cecić).
 Figure 8. The intensities of the earthquake on 12 April 1998 in Slovenia and neighbouring countries (author: I. Cecić).



Slika 9. Učinki potresa na območju Loga pod Mangartom nikjer niso presegli med V. in VI. stopnjo EMS, zato niso mogli povzročiti poškodb narave, zaradi katerih se je sprožil plaz pod Stožani (avtor: I. Cecič).

Figure 9. The effects of the earthquake in the area of Log pod Mangartom did not exceed levels V to VI of the EMS in any place, therefore they could not have caused the damage to nature that triggered the failure under Stože (author: I. Cecič).



Slika 10. Ob potresu 12. aprila 1998 v zgornjem Posočju je nastal v dolini Lepene gruščnati tok, ki je bil na srečo manjših dimenzij in ni ogrozil prebivalstva.

Figure 10. During the earthquake on 12 April 1998 in upper Posočje, the Lepena valley saw the formation of a gravel flow which, luckily, was small and did not endanger the local inhabitants.

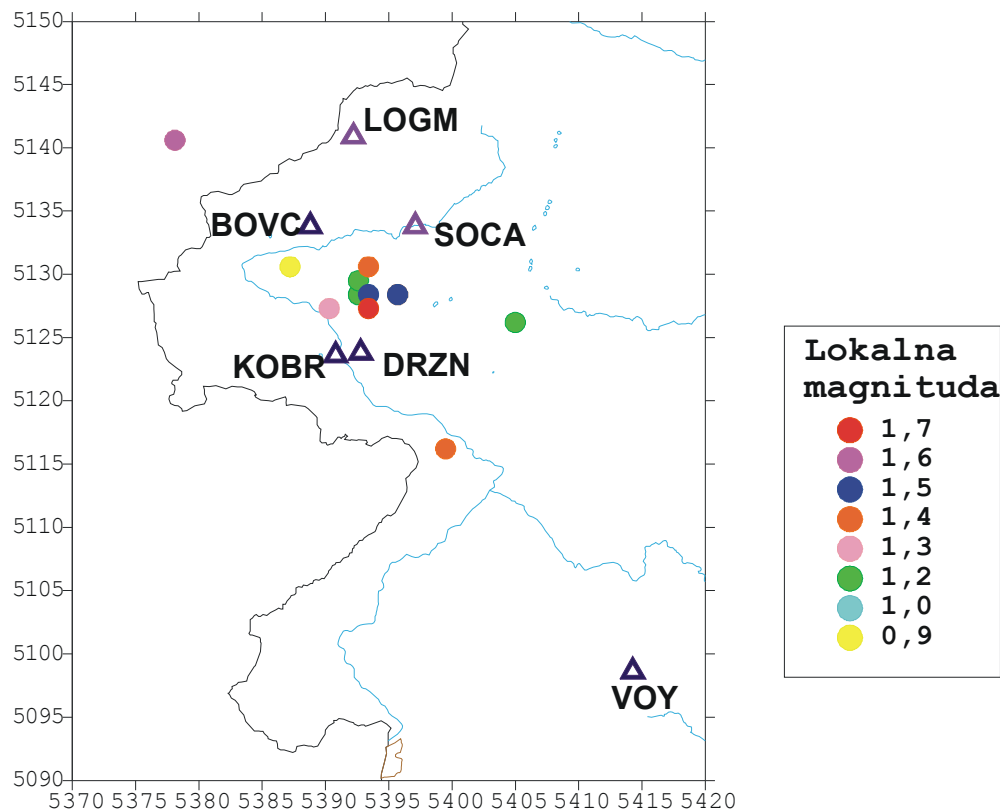
Potresna dejavnost severozahodne Slovenije (od 13. do 30. november 2000)

Po pregledu možnosti nastanka plazov zaradi potresov si oglejmo potresno dogajanje v času nastanka gruščnatega toka v Logu pod Mangartom. Seizmografi državne mreže potresnih opazovalnic so v obdobju med 13. in 30. novembrom 2000 v severozahodni Sloveniji (oziroma med koordinatami 46,0 in 46,55 sev. zem. šir. in 13,25 in 14,0 vzh. zem. dol.) zabeležili večje število šibkih potresov. V tem delu Slovenije, po potresu 12. aprila 1998, deluje več začasnih opazovalnic. Po zadnji naravni nesreči v Logu pod Mangartom, pa smo postavili še dodatne seizmografe. Tako sedaj deluje v zgornjem Posočju pet digitalnih potresnih opazovalnic, in sicer v Bovcu, Drežnici, Kobaridu, Logu pod Mangartom in v Soči. V preglednici so podani vsi zabeleženi potresi v tem obdobju. Šibkost in oddaljenost posameznih potresov dokazujeta, da niso imeli vpliva na dogodek v Logu pod Mangartom. Da dobimo lokalni (srednjeevropski) čas, je potrebno svetovnemu času (UTC) prišteti eno uro. Šibkejši dogodki, katerih magnituda je bila manjša od 0,9, niso upoštevani.

Preglednica 7. Seznam potresov v SZ Sloveniji v obdobju 13. – 30. 11. 2000 na seizmografih državne mreže potresnih opazovalnic, ki so dosegli ali preseгли magnitudo 0,9.

Table 7. A list of earthquakes in the north-western part of Slovenia that reached or exceeded the magnitude of 0.9 in the period 13 to 30 November 2000 according to seismographs of the national seismic stations network.

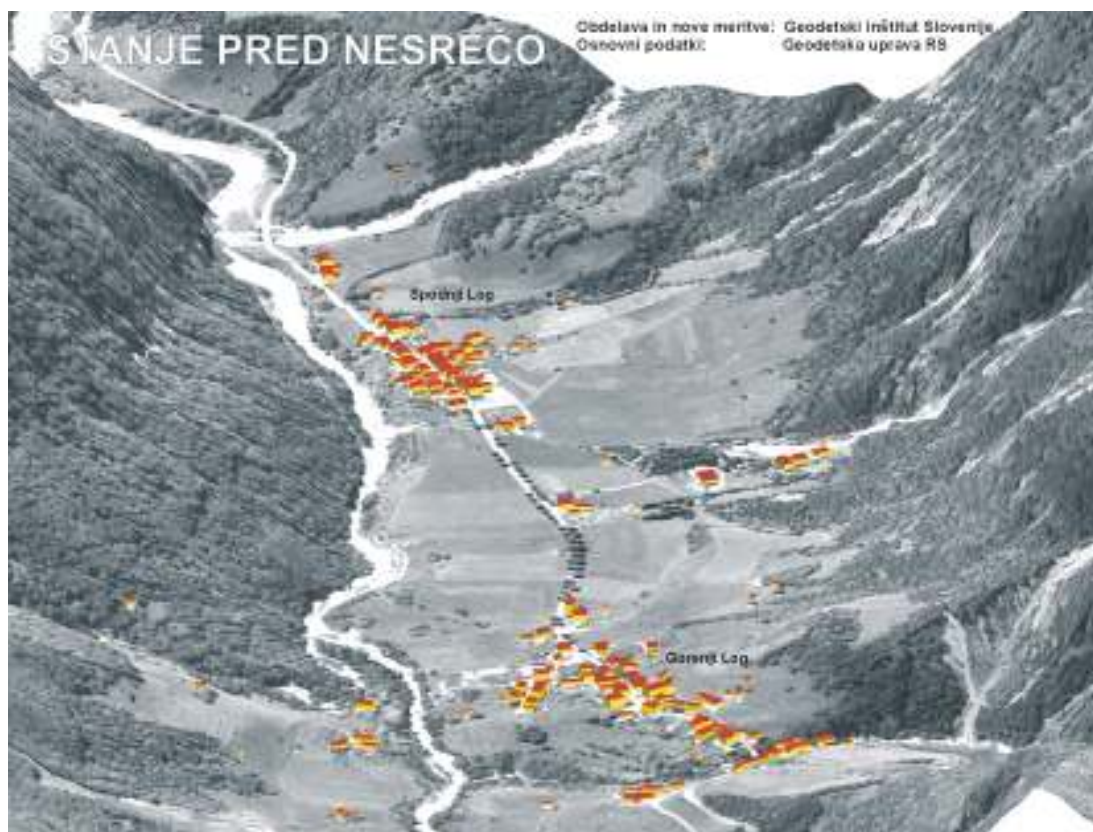
Datum	Ura UTC	Min	Zem. Šir.	Zem. Dolž.	Magn.	Intenz. EMS-98	Opomba
14.11.	09	40			0,9		
14.11.	11	13			1,1		
14.11.	17	18			1,0	III	Lepena
14.11.	19	21			0,9		
14.11.	21	19	46,30	13,64	1,4	IV	Lepena
14.11.	21	41			0,9		
14.11.	21	59	46,29	13,58	1,3	IV	Lepena
14.11.	22	15	46,30	13,61	1,3		
14.11.	22	26	46,32	13,54	0,9	III	Lepena
14.11.	22	54			0,9		
15.11.	00	15			0,9		
15.11.	13	51			0,9		
15.11.	15	36	46,31	13,61	0,9		
16.11.	04	11			1,0		
16.11.	07	03	46,30	13,65	1,3		
16.11.	13	57			1,1		
16.11.	20	00			1,1		
17.11.	12	08			0,9		
17.11.	14	15	46,28	13,76	0,9		
17.11.	21	33			1,1		
17.11.	23	03	46,32	13,62	1,2	III	Kal-Koritnica
18.11.	02	37			1,2		
18.11.	23	58			0,7		
19.11.	00	56			0,9	III	Vodenca
19.11.	19	50			1,0	III-IV	Čezsoča
20.11.	08	12	46,41	13,42	1,3		Furlanija
21.11.	20	52			1,2		
22.11.	10	41	46,39	13,73	0,9		
26.11.	01	27			1,2		
26.11.	22	55			0,9		
28.11.	00	34	46,14	13,73	1,4		
28.11.	02	20			0,9		
28.11.	02	51			0,9		
28.11.	06	07			1,0		
28.11.	21	03	46,29	13,64	1,3	III-IV	Drežniške Ravne, Kobarid, Volarje
28.11.	23	18			0,9		
29.11.	11	13	46,28	13,61	1,7	III	Bovec



*Slika 11. Potresi v obdobju od 13. do 30. 11. 2000 v skrajnem SZ delu Slovenije. Nizke magnitude in oddaljenost od mesta sprožitve plazu pod Stožami dokazujejo, da potresni sunki niso vplivali na sprožitev plazu. Trikotniki označujejo začasne potresne opazovalnice v severozahodni Sloveniji in stalno opazovalnico na Vojskem (VOY) (avtor: I. Cecić).
Figure 11. Earthquakes in the period between 13 and 30 November 2000 in the north-westernmost part of Slovenia. The low magnitudes and distance from the place where the failure was triggered under Stože prove that the seismic shocks did not influence the formation of the failure. The triangles indicate the temporary seismic stations in north-western Slovenia and the permanent station in Vojsko (VOY) (Author. I. Cecić).*

Katastrofa v Logu pod Mangartom

Prva poročila o naravni katastrofi, ki je nastala na območju Mangartskega potoka nad naseljem Log pod Mangartom, so govorila o velikem zemeljskem plazju, ki se je utrgal 15. novembra malo pred 13. uro in zasul okoli 120 m ceste proti Predelu ter okoli 200 m ceste na Mangartsko sedlo. Plaz je uničil tudi most čez Mangartski potok, uničil je vodno zajetje ter oviral tok Mangartskega potoka in Predelice. Kmalu pa je sledilo mnogo hujše sporočilo. V petek 17. novembra zjutraj kmalu po polnoči je nad Mangartsko planino nad prejšnjim plazom nastal nov plaz in z veliko hitrostjo zgrmel proti dolini po strugi Mangartskega potoka in reke Predelice. Drseča gmota skupaj s skalami in debli dreves je na levem bregu Predelice v Logu pod Mangartom uničila štiri stanovanjske hiše in most ter zdrvela proti dolini in strugi Koritnice mimo Dolnjega loga, Možnice in Kluž proti Soči. Občinski, severnoprimorski in republiški štabi civilne zaščite so ob pomoči Uprave RS za zaščito in reševanje ter helikopterjev Slovenske vojske in Policije evakuirali 149 prebivalcev iz Strmeča in Gorenjega Loga, več sto ogroženih pa se je preselilo na varnejše. Kmalu se je izkazalo, da je pogrešanih sedem ljudi, ki so žal življenja izgubili v svojih zasutih domovih.



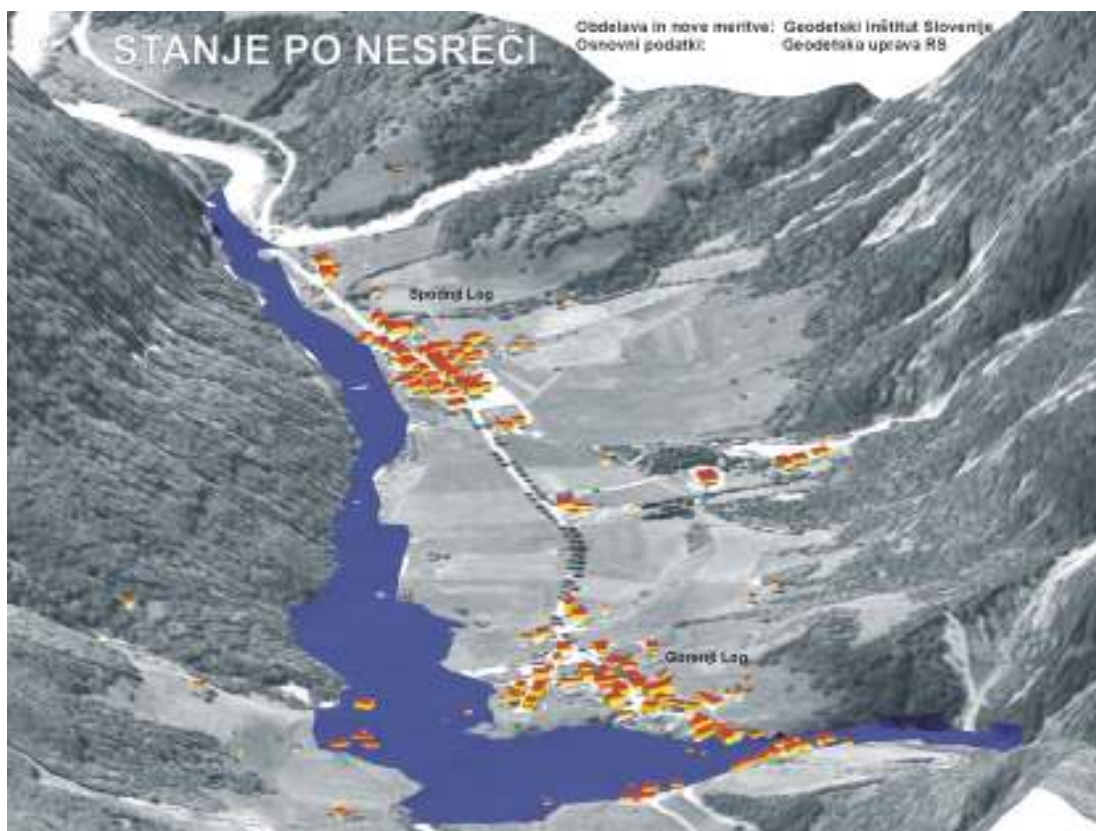
Slika 12. Vas Log pod Mangartom leži v dolini reke Koritnice. Sestavljata jo Spodnji in Gorenji Log, ki se razprostirata na nadmorski višini 620-650m. Potok Predelica se v Koritnico izliva v Gorenjem Logu. Prvi plaz (15. novembra ob približno 12:45) je uničil most čez Mangartski potok na cesti Bovec-Predel v neposredni bližini odcepa za Mangart. Vas ni bila ogrožena, saj je gmota dosegla sotočje Mangartskega potoka in Predelice na nadmorski višini 905 m. (Obdelava in nove meritve: Geodetski inštitut Slovenije; Osnovni podatki: Geodetska uprava RS).

Figure 12. The village of Log pod Mangartom lies in the Koritnica valley and is composed of Spodnji (Lower) and Gorenji (Upper) Log spreading out at an altitude of 620 to 650m. The Predelica creek flows into the Koritnica in Gorenji Log. The first landslide (on 15 November at approx. 12:45) destroyed the bridge over the Mangart stream on the Bovec-Predel road in the direct vicinity of the turnoff to Mangart. The village was not threatened as the mass reached the confluence of the Mangart and the Predelica streams at an altitude of 905m. (Processing and new measurements: Geodetic Institute of Slovenia; basic data: the Surveying and Mapping Authority of Slovenia)

Vzrok za katastrofo

Vzrok nastanka katastrofe je bil gruščnati tok, ki je nastal zaradi sprožitve plazu v Stožah. Nikakor pa ni bil razlog za njegovo sprožitev potresna dejavnost. V preglednici lahko vidimo, da nobeden od potresov, ki so nastali med 13. in 30. novembrom 2000, ni presegel učinkov med III. in IV. stopnjo po EMS (evropski potresni lestvici). Potresi so bili v oddaljenosti najmanj 10 km od mesta sprožitve gruščnatega toka. Torej so bili učinki potresov v Logu pod Mangartom in višje proti Predelu, kakor tudi na samem mestu sprožitve plazu, manjši od prve stopnje ali jih sploh ni bilo in tako niso mogli vplivati na nastanek gruščnatega toka. Tudi potres 12. aprila 1998 z žariščem v Krnskem pogorju v teh predelih ni presegel največjih učinkov med V. in VI. stopnjo. Večinoma so bili ti učinki celo manjši in zato potres ni mogel poškodovati naravnega okolja. Prve štiri stopnje evropske potresne lestvice ne povzročajo

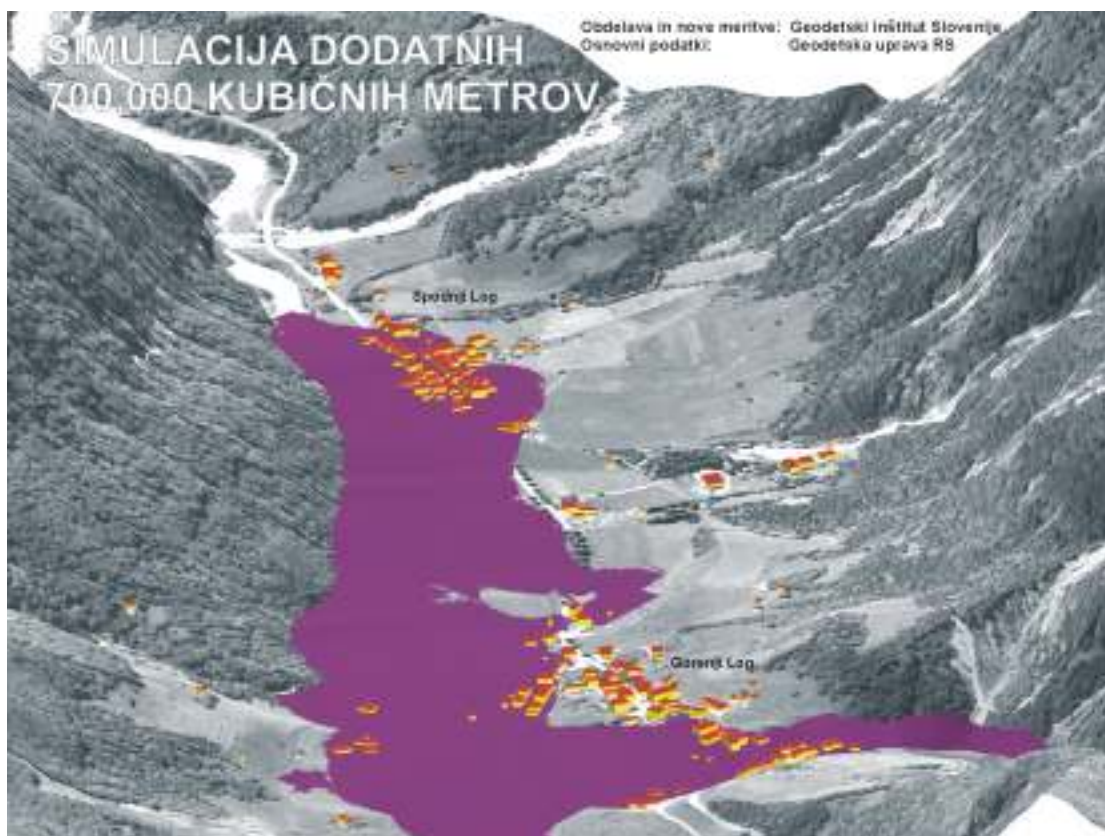
sprememb v naravi, peta stopnja lahko povzroči redke zanemarljive poškodbe, kot je padanje posameznih kamnov. Šele pri šesti stopnji prihaja do manjših zdrsov ali odpiranja kratkih svežih razpok, kar pa še vedno ne bi bilo dovolj za obsežno zrahljanje terena in tektonsko poškodovanost, ki bi lahko kasneje omogočila nastanek plazov. Zato lahko z veliko verjetnostjo zatrdimo, da potresni sunki na nastanek gruščnatega toka niso imeli neposrednega vpliva.



Slika 13. Blatni tok je v ožjem območju Loga pod Mangartom zajel ozemlje približno 15 ha in več kot 700 000 m³ naplavin, pod katerimi je v štirih hišah na levem bregu izgubilo življenje sedem ljudi. (Obdelava in nove meritve: Geodetski inštitut Slovenije; Osnovni podatki: Geodetska uprava RS).

Figure 13. In the narrow area of Log pod Mangartom, the mudflow covered some 15 ha and comprised more than 700,000 m³ of alluvia, under which seven people from four houses on the left riverbank lost their lives. (Processing and new measurements: Geodetic Institute of Slovenia; basic data: the Surveying and Mapping Authority of Slovenia)

Gruščnati tok je nastal kot posledica obilnega in dolgotrajnega deževja. Po podatkih Hidrometeorološkega zavoda RS je bilo v oktobru in novembru 1600 mm dežja na kvadratni meter, po vsej verjetnosti pa ga je v predelu, kjer je prišlo do nastanka plazov in gruščnatega toka, padlo še mnogo več. Tla so bila popolnoma nasičena z vodo. Obremenitev tal s hidrodinamičnimi silami, ki jih povzročajo tako površinski kot tudi podtalni tokovi, ter neprepustna geološka podlaga sta povzročila, da je zemljina zgrmela z gruščnatim tokom v dolino z izjemno veliko hitrostjo in pod seboj uničevala vse. Grobe preliminarne ocene količine vode in zemljine ter posameznih manjših in večjih kamninskih blokov, ki so zasuli širše območje Loga pod Mangartom, znaša okoli 1,5 milijona kubičnih metrov (upoštevati je treba, da je veliko drobne frakcije odplavalo naprej proti Soči). Blatni tok je zajel površino okoli 25 hektarjev, odložene mase pa okoli 15 ha v širini okoli 400 m in dolžini 1100 m.



Slika 14. Simulacija v primeru, če bi v dolino zgrmelo še dodatnih 700 000 m³ naplavin. (Obdelava in nove meritve: Geodetski inštitut Slovenije; Osnovni podatki: Geodetska uprava RS).

Figure 14. A simulation in case an additional 700,000 m³ of alluvia rumbled down into the valley. (Processing and new measurements: Geodetic Institute of Slovenia; basic data: the Surveying and Mapping Authority of Slovenia)

Značilnosti in posebnosti plazu Stože

Gruščnati tok, ki se je sprožil na Stožah, uvrščamo po novejših definicijah v plazove (Fell in sod., 2000). Plaz Stože pod Mangartom uvrščamo v zadnjo skupino- tečenje. Gruščnati tok je s hitrostjo okoli 8 m/s zgrmel v dolino po strugi Mangartskega potoka in Predelice. Pot gruščnatega toka od izvora na območju Stož pa do Gorenjega Loga, kjer se je tok razlil, je bila okoli 3 km.

Za plazove, ki spadajo po vrsti premikanja v skupini padanje in prevračanje, velja, da je njihov sprožitelj pogosto potres. Za plazove, ki spadajo v skupine drsenje, razširjanje in tečenje, pa so najpogostejši sprožitelj močne padavine.

Gruščnati tokovi nastajajo v visokogorju. Gruščnati tok Stože je nastal v planinskem svetu. Podobni pojavi so značilni za celotno verigo Alp, ki se vleče od Slovenije in Avstrije, preko Italije in Švice v Francijo. Vsako leto se dogodi več gruščnatih tokov v Evropskih Alpah, k sreči manj pogosto s smrtnimi žrtvami.

Sproženje gruščnatega toka je tesno povezano s pojavom plazenja. Najprej s strmega pobočja kot plaz zdrsnjeo mase, ki pustijo erozijsko depresijo na strmem pobočju, s katerega spolzijo. Tako zelo značilno depresijo opazujemo tudi na območju Stož.



Slika 15. Geografska skica plaz. Glavna značilnost je dvofaznost nastanka. Figure 15. A geographical sketch of the failure. Its main characteristic is its two-phased origin.

Pri gruščnatih tokovih je pomembno, da poiščemo povezavo med količino padavin, premikanjem in njihovim sproženjem. V svetu obstajajo območja, kjer je ta odvisnost visoka in je možno nastanek novega gruščnatega toka napovedati glede na količino in intenzivnost padavin. Za gruščnati tok na Stožah izvajamo geodetske meritve premikov na geodetskih reperjih in v inklinometrih. Beležijo se tudi količine padavin na območju Gorenjega Loga. Na osnovi primerjave premikov in količine padavin bodo postavljeni kriteriji, kdaj obstaja povečana nevarnost sproženja novega gruščnatega toka, kar bo imelo za posledico evakuacijo prebivalcev iz ogroženih delov Gorenjega in Spodnjega Loga.

Gruščnati tok na Stožah je v zgornjem delu Mangartskega potoka, ki je nagnjen pod 10 %, odlagal material na obeh bokih in na dnu struge potoka v debelini od 6 do 10 m. Ko se je struga za mostom v Mlinču zožila in strmo prevesila v ozko grapo s povprečnim padcem 18 %, je začel tok erodirati dno in boke, tudi v debelini preko 10 m. Ko je gruščnati tok pridrvel v dolino, se je gruščnata tekoča masa od mostu v Gornjem Logu dalje kot je tipično, pahljačasto razlila ob strugi Predelice, ki ima tu padec 2 %.

Gruščnati tok na Stožah uvrščamo v tipičen alpski gruščnati tok, po sestavi iz grobega materiala in velike hitrosti. Tok je nosil velike skale in je bil sestavljen predvsem iz grobega materiala. Njegova hitrost je bila okoli 8 m/s, medtem ko je tipična hitrost gruščnatih tokov okoli 5 m/s.

INŽENIRSKO-GEOLOŠKA KARTA PLAZU STOŽE

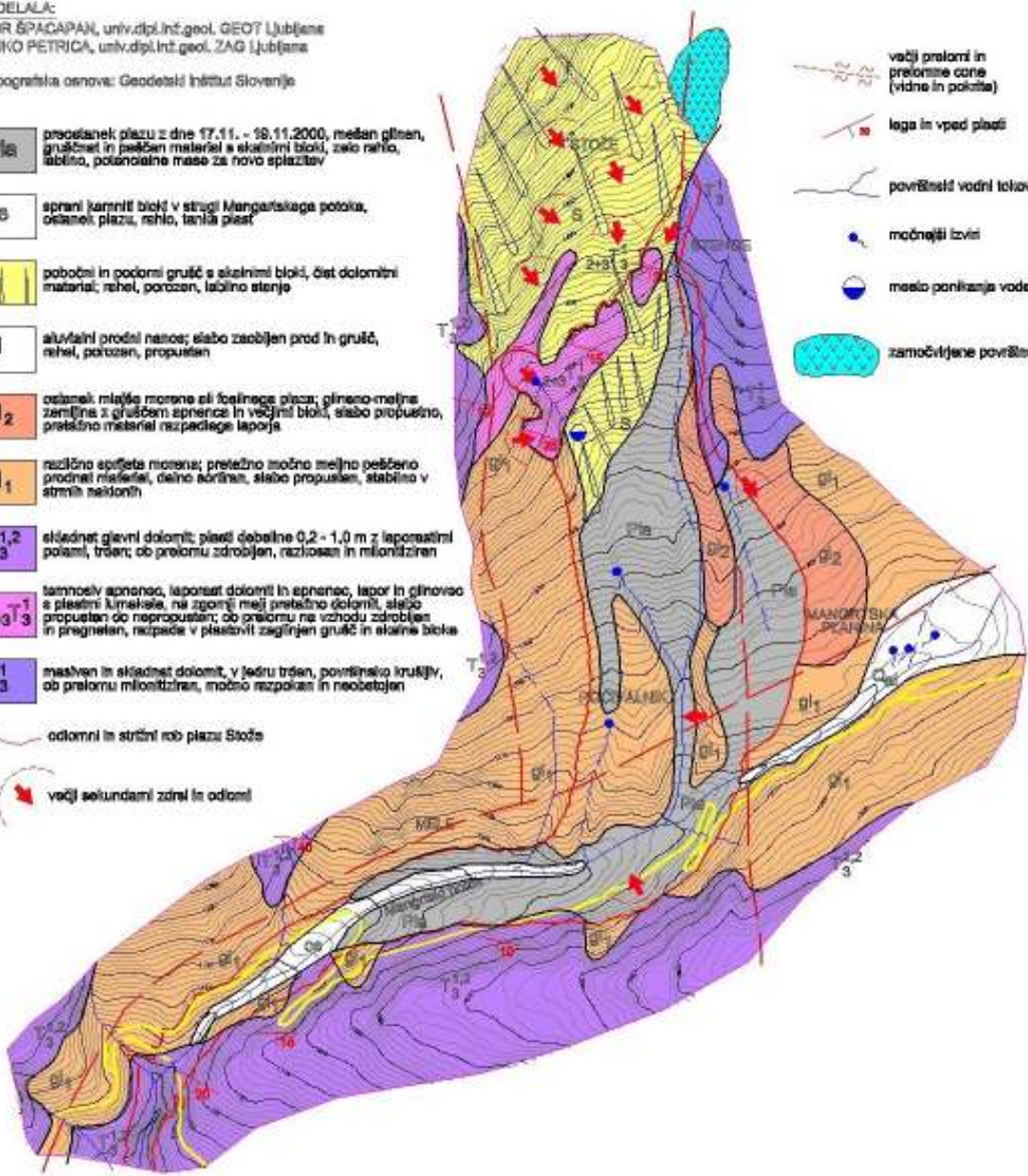
OBDELALA:
IGOR ŠPAČAPAN, univ.dipl.inž.geol. GEOT Ljubljana
RAJKO PETRICA, univ.dipl.inž.geol. ZAG Ljubljana

Topografska osnova: Geodetski inštitut Slovenije

- Pl_{1a}** procezanek plazju z dne 17.11. - 18.11.2000, mešan glinen, gruščnat in pesčen material s skalnimi bloki, zelo rahlo, labilno, potencialne mase za novo splazitev
- gs** sprani kamniti bloki v strugi Mangartskega potoka, ostaleci plazju, rešilo, tanjši piast
- g₁** pobočni in podolni grušč s skalnimi bloki, čist dolomiti material, rehel, porozen, labilno stanje
- gl** aluvialni prodni nasos; slabo zraobljen prod in grušč, rehel, porozen, propusten
- gl₂** ostanki mlajše morane ali fosalnega plazja; glineno-majhna zemljina z gruščem s peščicami in večjimi bloki, slabo propustno, pretežno material razpadlega laporja
- gl₁** različno sprijeta morana; pretežno močno meljno peščeno prodni nasos, delno aorilna, slabo propustna, stabilna v strmih naklonih
- T_{1,2}** / **T₃** skodratni glavni dolomit; piast debeline 0,2 - 1,0 m z lapornatimi polami, trden; ob prelomu zdrobljen, razlošen in miloniziran
- 2+3** / **T₁** / **T₃** tamno siv apnenec, lapornat dolomit in apnenec, lapor in glinovec s pesnimi kameleli, na zgornji meji pretežno dolomit, slabo propusten do nepropusten; ob prelomu na vzhodu zdrobljen in pregneten, razpada v plastovit zaglinjen grušč in skalne bloke
- T₁** / **T₃** mahljen in skodratni dolomit, v jedru trden, površinsko kruhljiv, ob prelomu miloniziran, močno razpokan in neobetojen

- odlomni in stržni rob plazju Stože
- večji sekundarni žrni in odlomi

- večji prelomi in prelomske cone (vidne in pokrite)
- loga in vped plasti
- površinski vodni tokovi
- močnejši izviri
- meleto porizanja vode
- zamočitvene površine



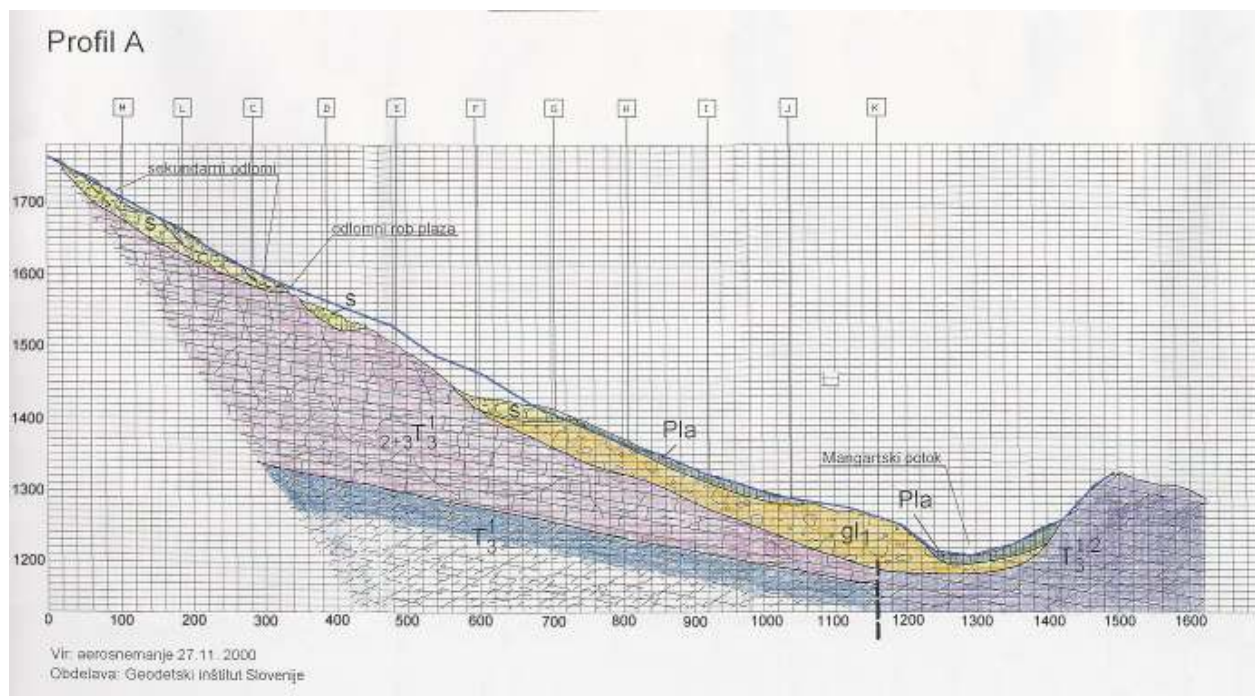
Slika 16. Inženirsko – geološka karta plazju Stože kaže, da se je plaz sprožil v geološko neugodnih kamninah, slika 16b kaže vdolžni geološki profil od izvora toka do Mangartskega potoka.

Figure 16. An engineering geology map of the failure under Stože shows the failure was triggered in geologically unfavourable rock; Figure 16b shows the longitudinal geological profile from the source of the flow to the Mangart stream.

Njegova velika posebnost in odstopanje od tipičnih alpskih gruščnatih tokov je dvofaznost poteka.

Prva faza je bila zdrs gruščnatih mas iz prvotne akumulacije na Stožah v strugo Mangartskega potoka 15. 11. 2000 okoli 12.45 do mostu na cesti Predel- Strmec oz. odcepa ceste na Mangartsko planino in nato do izliva Mangartskega potoka v Predelico. Na tem območju je

struga Mangartskega potoka razmeroma široka in položno nagnjena, kar je povzročilo, da je prvi gruščnati tok zgubil energijo in se ustavil. K zmanjšanju energije je v veliki meri prispevalo zoženje doline pri mostu čez Mangartski potok. Gruščnati tok se je tu samo deloma prelil prek mostu na cesti Predel- Strmec, ki ga je ob tem porušil, v strmo grapo Mangartskega potoka do sotočja s Predelico, kjer se je ustavil. Če se to ne bi zgodilo (v primeru, da bi bila struga Mangartskega potoka v gornjem delu strmejša in ožja), bi bila katastrofa mnogo hujša, saj bi gruščnati tok pridrvel v dolino že 15. 11. 2000 popolnoma nenajavljen in z mnogo večjo energijo.



Slika 16b.
Figure 16b.

Druga faza je sledila 17. 11. 2000 ob 00.05. Material prvega toka z že prvotno veliko vsebnostjo vode se je, ker je zaprl strugo Mangartskega potoka, takrat močno naraslega zaradi intenzivnega deževja, dodatno razmakal še 35 ur in 20 minut in se nato iz sekundarne akumulacije v zgornjem delu Mangartskega potoka sprožil kot drugi gruščnati tok, ki je zdrvel najprej po zelo strmi strugi Mangartskega potoka pod mostom in cesto Predel–Strmec in nato naprej po še vedno strmo nagnjeni strugi Predelice do Gorenjega Loga. Tu se dolina odpre in gruščnati tok se je pahljačasto razlil ter pri tem v trenutku izgubil največjo energijo, tako da je nehal obstajati kot gruščnati tok (Majes in sod., 2000, 2001).

Iz proučevanja gruščnatih tokov v svetu je znano, da nenadna sprožitev gruščnatega toka nastane, ko splazela, z vodo popolnoma saturirana kamninska masa v samo nekaj sekundah preide iz trdne oblike, tako da se kosi kamnine ob prvem premiku med seboj razmaknejo, kar povzroči, da se začne obnašati kot fluid. Začetni energiji tega prehoda v fluidno fazo lahko redko botruje tudi šibek zunanji dogodek, kot je potres, ki pa ga v primeru gruščnatega toka na Stožah 17. 11. 2000 ob 00.05 ni bilo. Zato je verjetnejši scenarij, da je kamninska masa iz prvega gruščnatega toka nenadno prestopila v tekočinsko obliko - sama ali pa pod "udarcom" manjšega plazju iz prvotne akumulacije na Stožah, iz katere so se po 15. 11. prav gotovo sprožale nove količine splazelih mas.



*Slika 17. Gruščnat tok se je začel z plazenjem v Stožah.
Figure 17. The gravel flow started sliding in Stože.*



Slika 18. Že na mestu plazjenja se je material, ki je bil povečini ledeniškega izvora, namočil do take mere, da je stekel v Mangartski potok, od koder pa z zakasnitvijo po grapi navzdol in povzročil razdejanje v vasi Log pod Mangartom.

Figure 18. On the point of sliding, material mainly of glacial origin was saturated to the extent that it dropped into the Mangart stream and then, with some delay, down the ravine and caused the devastation in Log pod Mangartom.



Slika 19. Območje Stože je predstavljalo prvotno akumulacijo gruščnatega toka (označeno z zeleno barvo), ki je zdrsel 15. 11. 2000.

Figure 19. The area of Stože represented the primary accumulation of gravel flow (marked in green) that slid on 15 November 2000.



Slika 20. Mangartski potok je v veliki večini odnesel material, ki se je nakopičil ob plazju na Stožah, ob svojem toku pobiral tudi preperino in pri tem podrl most. Količina materiala, ki je odnesla most čez Mangartski potok je v tem delu dosegla debelino več deset metrov. Blatni in gruščnati material je potok zajezil za več ur. Po prvem zdrsuh se je plazoviti material ustavil v strugi Mangartskega potoka in je predstavljal sekundarno akumulacijo, ki se je po razmakanju sprožila kot katastrofalen gruščnati tok.

Figure 20. The Mangart stream took off most of the material accumulated at the landslide under Stože, picked up the material from the side of the streambed and thereby destroyed the bridge over the Mangart stream. The material that swept the bridge away was at this point some ten metres thick. Mud and gravel material blocked the stream up for several hours. After the first failure, the sliding material stopped in the Mangart streambed and represented the secondary accumulation that, after saturation, set off a catastrophic gravel flow.



Slika 21. Za alpske gruščnate tokove je značilna sestava tekoče mase, v kateri je veliko grobega materiala, samič in skal.
Figure 21. Typical of Alpine gravel flows is a flowing mass full of rough material, individual sections and rocks.



Slika 22. Posamezne skale so dosegle velikost več deset kubikov.
Figure 22. Individual rocks measured some ten cubic metres in size.



Slika 23. Ogromna skala (glej zgornjo sliko) še danes “lebdi” in čaka kdaj bo zgrmela v dolino.

Figure 23. A huge rock (see figure above) is still “poised” and waiting to tumble down into the valley.



Skica 24. Gruščnati tok se pri svojem drvenju z veliko hitrostjo (5–10 m/s) “hrani” z odloženim materialom z dna struge, pri čemer čelo toka narašča in ruši vse pred sabo.
Figure 24. During its fast surge (5-10 m/s), the gravel flow “feeds” on the accumulated streambed material thereby increasing its front and destroying everything in its way.



*Slika 25. Gruščnati tok je s seboj odnašal tudi dele gozdnatih površin.
Figure 25. The gravel flow also carried off part of the forests.*



*Slika 26. Debla so ležala vseprek od izvora toka, večji del pa jih je tok odnesel s seboj v dolino.
Figure 26. Tree trunks were lying everywhere from the source of the flow, with the majority being carried down into the valley*



*Slika 27. Pri svojem potovanju gruščnati tok odlaga material tudi na obeh bokih, posebno kjer se dolina razširi. Primer takega odlaganja je viden v spodnjem delu Mangartskega potoka.
Figure 27. The gravel flow discards of the material on both sides, particularly where the valley opens up. An example of this can be seen in the lower part of the Mangart stream.*



*Slika 28. Pogled na strugo Mangartskega potoka po blatnem toku, levo zasuta cesta na Mangartsko sedlo, v ozadju Mangart.
Figure 28. A view of the Mangart streambed after the mudflow; the buried road to the Mangart saddle on the left; Mount Mangart in the background.*



Slika 29. Blatni tok je v ožjem območju Loga pod Mangartom zajel ozemlje približno 15 hektarjev in več kot 700 000 m³ naplavin, pod katerimi je v štirih stanovanjskih hišah na levem bregu Predelice izgubilo življenje sedem ljudi.

Figure 29. In the narrow part of Log pod Mangartom, the mudflow covered an area of approx. 15 hectares and over 700,000 m³ of alluvia, under which seven people from four houses on the left bank of the Predelica creek lost their lives.



Slika 30. Ko je gruščnati tok prešel iz ozke in strme grabe na ravnino, se je razlil v obliki pahljače. To se je zgodilo na območju Gorenjega Loga, kjer se dolina odpre.

Figure 30. When the gravel flow came from the narrow and steep ravine onto the flat land, it spread out in a fan-like shape. This happened in the area of Gorenji Log where the valley opens up.

Slika 31. Skoraj zasut most na začetku Loga pod Mangartom nekaj dni po končanem deževju. Večji del drobnih frakcij je bilo odnešenih v Sočo.

Figure 31. An almost buried bridge at the entrance to Loga pod Mangartom a few days after the rain stopped. The majority of smaller parts were carried off into the Soča river.



Slika 32. Gruščnati tok Stože pod Mangartom se je obnašal kot fluidni tok. Ostanki tega toka so se razlili v dolini v Gorenjem Logu.

Figure 32. The gravel flow Stože under Mangart behaved like a fluid flow. The remains of this flow spread out in the valley in Gorenji Log.





Slika 33. Odnešeni ali podrti so bili tudi telefonski in električni drogovi.

Figure 34. Only one pine tree remained standing in the alluvial fan in Log pod Mangartom.



Slika 34. Na celotnem nonosu v Logu pod Mangartom je kljubovala le ena smreka.
Figure 34. Only one pine tree remained standing in the alluvial fan in Log pod Mangartom.



Slika 35. Ostanki razkosanih debel so dokazovali moč toka (a), večmetrski nanosi gruščnatega materiala so pod seboj pokopavali tudi avtomobile(b).

Figure 35. The remains of dismembered trunks revealed the power of the flow (a), cars were also buried under several-metre-high alluvial gravel (b).

Slika 36. Ostanki najrazličnejših predmetov in gospodinjskih strojev so bili razmetani vsepovsod.

Figure 36. The remains of various objects and household appliances were scattered everywhere.



Slika 37. Vsepovsod med hišami sta bila blato in grušč, ki sta povzročila pravo razdejanje.

Figure 37. The mud and gravel that caused the real destruction could be seen everywhere in and among the houses.





Slika 38. Ostanke hiše, v kateri sta izgubila življenji starejša zakonca, ki ju tudi sin ni mogel prepričati, da bi zapustila svoj dom. Njegova hiša v ozadju je bila zgolj “pošpricana”, saj je tok po pripovedovanju domačinov šprical več kot 60 metrov na vse strani (a), ostanke odnešene hiše (b). Leto dni po katastrofi (c).

Figure 38. The remains of a house where an elderly couple lost their lives. Not even their son could persuade them to leave their home. His house in the back was only “squirited on” as, according to local inhabitants, the flow spurting out more than 60 metres on all sides (a), the remains of a destroyed house (b); a year after the catastrophe (c).



Slika 39. Dele nekaterih stanovanjskih hiš in gospodarskih poslopij je gruščnati tok dobesedno odnesel (a); v neposredni bližini porušenega mostu čez Predelico je od stanovanjskih hiš in gospodarskih poslopij ostalo malo, saj je tu debelina nanosa dosegla več metrov (b), na desnem bregu Predelice je bil eden od objektov dobesedno razpolovljen, nekaj je bilo bolj ali manj zasutih, na srečo pa človeških žrtev ni bilo (c).

Figure 39. The gravel flow literally swept parts of some houses and outhouses away (a); little was left of the houses and outhouses in direct vicinity of the destroyed bridge across the Predelica creek, since the alluvia here was several metres thick (b); one building on the right bank of the Predelica creek was literally cut in half, some were more or less buried, but fortunately there were no casualties (c).



*Slika 39c.
Figure 39c.*



*Slika 40. Eden od zasutih objektov
na desnem bregu Predelice.
Figure 40. One of the buried
buildings on the right bank of the
Predelica creek.*



Slika 41. Reka Koritnica, ki se ji v Logu pod Mangartom priključi Predelica, je odnašala večino drobnozrnatega materiala naprej proti Čezsoči in v svoji razdiralni moči odnašala bregove. Predelica je še več dni po katastrofi tekla umazana (a). Leto dni kasneje (b).

Figure 41. The Koritnica River, which is joined by the Predelica creek in Log pod Mangartom, carried off most of the fine-grained material towards Čezsoča and in its destructive power also the riverbanks themselves. The Predelica creek ran muddy several days after the catastrophe (a); a year later (b).

Terenske geotehnične in laboratorijske raziskave

Na plazu in na območju, ki ga je prizadel, so bile izvedene obsežne terenske geotehnične raziskave. Geofizikalne raziskave so obsegale seizmične in električne raziskave, narejenih pa je bilo tudi več raziskovalnih vrtin; dve v Gorenjem Logu, osem na lokacijah predvidenih pregrad, trinajst na plazišču in štiri nad severnim odlomnim robom plazu.

Na njihovi osnovi so bili pridobljeni naslednji natančnejši podatki o razsežnosti plazenja:

- površina plazišča: večja od 35 ha,
- prostornina premaknjenih mas: 1.500.000 m³,
- prostornina odnešene plazine: 1.200.000 m³,
- prostornina premaknjenih mas: 500.000 m³,
- prostornina preostalih labilnih mas na plazišču: več kot 1.500.000 m³,
- največja negativna razlika višine površja tal pred in po splazitvi: do 40 m,
- največja pozitivna razlika v višini površja tal pred in po splazitvi: do 20 m.

Rezultati raziskav v vrtinah so na kratko naslednji:

- Na plazišču je bilo izvrtanih 13 raziskovalnih vrtin, globin med 18 m in 64 m, 4 vrtine pa so bile izvrtane na težko dostopnem pobočju nad severnim odlomnim robom plazu.
- Z vrtinami je bila navrtana trdna kamnita podlaga na globinah od 8 m do 46 m.
- Gladina podzemne vode je bila v nekaterih vrtinah ugotovljena tik pod površino, v drugih pa globoko pod površjem, tik nad kamnito podlago.
- V večini vrtin so vgrajeni piezometri ali inklinometri.

Vzdolž struge Mangartskega potoka je bilo ugotovljeno, da so v dnu ostanki starih gruščnatih tokov. Ugotovljeno je bilo tudi, da je struga Mangartskega potoka prvotno potekala bolj desno.

Na plazu je bilo ugotovljeno, da so gruščnate mase v podlagi, ki do sedaj še niso zdrsele, večinoma debelo odložene, kar predstavlja potencialno dolgoročno nevarnost za nova sproženja plazenj.

Vrtine, ki so bile izvrtane iznad sedanjega območja plazenja, so pokazale na ogromne mase materialov v labilnem stanju.

Številne laboratorijske preiskave so bile usmerjene na določitev parametrov, pomembnih za reševanje štirih ključnih skupin geotehničnih problemov, ki so povezani s plazom, in sicer:

- za stabilnostne presoje ožjega in širšega območja plazu,
- za presojo nevarnosti nastanka in za preučevanje mehanizmov gibanja morebitnih novih gruščnatih tokov,
- za presojo lokacij bodočih varovalnih objektov,
- za oceno vgradljivosti materialov v pregrade.

Osnovni rezultat laboratorijskih preiskav je bil, da je glavni vzrok nastanka gruščnatega toka na plazu Stože ledeniška morena s svojo mineralno sestavo in velikostjo zrn. Med karbonatnimi gruščnatimi zrni se nahaja od 25 do 40 % drobnih zrn velikosti pod 63 mikronov in tudi preko 20 % zrn velikosti pod 20 mikronov.

Na vplivnem območju plazu so na voljo le zelo omejene količine materiala primerne za vgrajevanje v pregrade. Omejitev predstavlja visoka vlažnost zemljin, ki onemogoča zgoščevanje. Kemične stabilizacije v pregradah niso zaželjene. Zanesljiv vir materiala je le v strugi Mangartskega potoka v debelini do največ 2 m pod površjem. Možni nadomestni vir

odvzema materiala za gradnjo pregrad so deponije materiala, ki se izkopava iz struge Koritnice na območju Loga pod Mangartom.

Sanacijski ukrepi na plazu Stože

Najnужnejši ukrepi, ki so večinoma že bili izvedeni, so (Majes in sod., 2001):

- vzpostavitev sistema opazovanja vplivnega območja plazu,
- nužni ukrepi za stabilizacijo plazu in preprečitev širjenja plazu,
- zagotovitev nužnih prometnih povezav,
- nužni ukrepi na Predelici, Koritnici in Soči za zagotovitev zmanjšanja ogroženosti,
- ponovna postavitve zajetja HE Log pod Mangartom,
- zagotovitev začasnih pogojev za delo in življenje na prizadetem območju,
- priprava in načrtovanje objektov med plazom in Gorenjim Logom,
- odvzem kamena za vgradnjo v varovalne in sanacijske objekte na prizadetem območju na lokacijah, ki jih s posebnim predpisom določi minister, pristojen za okolje in prostor, po predhodno pridobljenem soglasju lokalne skupnosti,
- priprava ustreznih prostorskih aktov.

Slika 42. Postavitev alarmnega sistema je omogočila boljše nadzorovanje in večjo možnost preprečitve novih žrtev v prvih dneh po katastrofi (a), sirene v Logu pod Mangartom naj bi opozarjale redke prebivalce, ki so ostali v vasi, pred morebitno novo katastrofo (b).

Figure 42. In the first days after the catastrophe, the alarm system set-up enabled better supervision and a greater possibility of preventing new casualties (a), alarms in Log pod Mangartom for warning the few inhabitants who stayed in the village about any new catastrophe (b).





Slika 43. Na plazu je bilo narejenih 17 vrtin z namenom ugotavljanja vzrokov nastanka gruščnatega toka (a), pogled na jedra vrtin kaže, da gre za morenski material (b).

Figure 43. 17 holes were drilled into the landslide to research the causes for the gravel flow (a), a view of the holes' cores shows morainic material (b).





Slika 44. Ob pogledu na umirjeno Predelica bi težko verjeli, da je odnesla most (a). Mesec dni po katastrofi je bil na starem mestu zgrajen nov most, ki je ponovno povezal Log pod Mangartom z vasjo Strmec (b).

Figure 44. When looking at the calm Predelica creek, it is hard to believe that it swept a bridge away (a). A month after the catastrophe, a new bridge was built to reconnect Log pod Mangartom with the village of Strmec (b).



**Fotografije R. Vidrih,
17, 19 in 29 M. Ribičič,
32 B. Ušeničnik.
Photos: R. Vidrih,
17, 19 and 29 M. Ribičič,
32 B. Ušeničnik.**

*Slika 45. Struga Mangartskega potoka ob porušenem mostu na cesti Log pod Mangartom - Predel tik ob odcepu za Mangart pred postavitvijo novega mosta (a), gradnja novega mostu (b), danes je postavljen nov most, ki ponovno združuje Bovec s Predelom (c).
Figure 45. The Mangart streambed by the destroyed bridge on the road Log pod Mangartom - Predel, next to the turnoff to Mangart, prior to erection of the new bridge (a), building of the new bridge (b), the new bridge reconnecting Bovec and Predel today (c).*



Slika 46. Leto dni po katastrofi so prižgane sveče označevale odnešene ali zasute hiše in spomin na sedem žrtev gruščnatega toka (a), vaščani pa so pripravili prireditev, katere kulturni program je žalostno odmeval pod osvetlenimi vrhovi Jalovca, Mangarta, Jerebice in Loške stene (b).

Figure 46. A year after the catastrophe, lighted candles mark the destroyed or buried houses and the memory of seven casualties of the gravel flow (a), the villagers prepared a commemoration whose cultural programme mournfully echoed under the sunlit mountain peaks of Jalovec, Mangart, Jerebica and Loška stena.

Sklepne misli

Vzrok gruščnatemu toku je bil plaz, ki je nastal v Stožah, vendar s potresno dejavnostjo pojav ni bil povezan. V preglednici lahko vidimo, da nobeden od potresov, ki so nastali med 13. in 30. novembrom 2000, ni presegel učinkov med III. in IV. stopnjo po EMS, pa še to v oddaljenosti najmanj 10 km od mesta sprožitve gruščnatega toka. Torej so bili učinki potresov v Logu pod Mangartom in višje proti Predelu manjši od prve stopnje ali jih sploh ni bilo in tako niso mogli vplivati na nastanek toka. Tudi potres 12. aprila 1998 z žariščem v Krnskem pogorju v teh predelih ni presegel največjih učinkov med V. in VI. stopnjo. Večinoma so bili ti učinki celo manjši in zato potres ni mogel poškodovati naravnega okolja. Prve štiri stopnje evropske potresne lestvice ne povzročajo sprememb v naravi, peta stopnja lahko povzroči redke zanemarljive poškodbe, kot je padanje posameznih kamnov, šele pri šesti stopnji prihaja do manjših zdrsov ali odpiranja kratkih svežih razpok, kar pa še vedno ne bi bilo dovolj za obsežno zrahljanje terena in tektonsko poškodovanost, ki bi lahko kasneje omogočila nastanek plazov. Zato lahko zatrdimo, da potresni sunki na nastanek blatnega toka niso imeli neposrednega vpliva.

Za konec pa naštejmo naloge in dela, ki so potrebna v bodočnosti za nemoten obstoj in razvoj doline Koritnice in predvsem vasi Log pod Mangartom (Majes in sod., 2001):

- nadgradnja alarmnega sistema s sistemom za zgodnje opazovanje,
- nadomestna gradnja stanovanjskih objektov,
- energetika,
- ureditev plazu (odvodnjevanje, lokalna zavarovanja, površinska ureditev),
- zadrževalnik plavin pri Mangartski planini in zajetje Mangartskega potoka,
- kanaliziranje Mangartskega potoka,
- težnostna pregrada pod Počivalnikom
- težnostna pregrada pri Meleh
- ureditev struge Mangartskega potoka
- armirano betonska pregrada - razbijač gruščnatega toka pri Mlinču,
- armirano betonska pregrada pred Gorenjim Logom,
- ureditev struge Predelice,
- ureditev struge Koritnice,
- ureditev prostora ob sotočju Predelice in Koritnice,
- premostitveni objekt preko Predelice v Gorenjem Logu,
- obnovitev ceste Bovec-Predel v Gorenjem Logu,
- premostitveni objekt preko Mangartskega potoka pri Mlinču,
- obnovitev ceste na Mangart.

Literatura

- Armanini, A. 1997: Control Measures for Debris Flow; Recent Developments on Debris Flows (Introduction to Chapter 3), Springer-Verlag, Kagoshima.
- Bulletin of the International Association of Engineering Geology, No.41, National Academy Press, Washington.
- Cruden, D.M. and Varnes, D.J. 1996: "Landslide types and processes. In Landslides - Inv IAEG (1990). "IAEG Commission on landslides, suggested nomenclature for landslides".
- Davies, T.R., 1997. Large And Small Debris Flow S – Occurrence And Behaviour; Recent Developments on Debris Flows, Springer-Verlag, Kagoshima.
- Fell, R., Hungr, O., Leroueil, S., Riemer, W. 2000: Keynote lecture – Geotechnical Engineering of the Stability of Natural Slopes, and Cuts and Fills in Soil. GeoEng 2000. – An International Conference on Geotechnical & Geological Engineering, Melbourne.

- Gosar, A., Živčić, M., Cecić, I., Zupančič, P. 1999: Seizmološke značilnosti potresa (potres 12. aprila 1998 v zgornjem Posočju). Ujma 13, Uprava za zaščito in reševanje, Ministrstvo za obrambo, Ljubljana, 57-65.
- Hashimoto, H. 1997: A Comparison Between Gravity Flows of Dry Sand and Sand-Water Mixtures; Recent Developments on Debris Flows, Springer-Verlag, Kagoshima.
- http://www.sigov.si/ugf/slo/log/potr_nov.htm
- Jan, C-D., Shen, H.W. 1997: Review Dynamic Modeling Of Debris Flows; Recent Developments on Debris Flows, Springer-Verlag, Kagoshima.
- Majes in sod. 2000: Plaz pod Mangartom. Poročilo ekspertne skupine za področje geotehnike, imenovane s strani poveljnika Civilne zaščite R Slovenije takoj po nastanku toka.
- Majes in sod., 2001. Plaz pod Mangartom. Poročilo o uresničevanju Zakona za odpravo posledic plazu Stože v občini Bovec in plazov večjega obsega, nastalih na območju Republike Slovenije po 15. oktobru 2000. Poročevalec Državnega zbora R Slovenije št. 66.
- Okubo, S., Ikeya, H., Ishikawa, Y., Yamada, T. 1997: Development of New Methods for Countermeasures against Debris Flow; Recent Developments on Debris Flows, Springer-Verlag, Kagoshima.
- Ribarič, V. 1987: Seizmološka karta za povratno dobo 500 let. Zajednica za seizmologiju SFRJ, Beograd.
- Ribičič, M., Vidrih, R. 1998: Plazovi in podori kot posledica potresov. Ujma 12, Uprava za zaščito in reševanje - Ministrstvo za obrambo, Ljubljana, 95-105.
- Ribičič, M., Vidrih, R. 2001a: Gruščnati tok v Logu pod Mangartom. Proteus 63/6 (februar 2001), Prirodoslovno društvo Slovenije, Ljubljana, 248-262.
- Ribičič, M., Vidrih, R., 2001b. Gruščnati tok in potresi v Logu pod Mangartom. Geološki zbornik 16, Ljubljana, 82-84.
- Shimokawa, E. 1997: Observation And Measurment For Debris Flow (Introduction to Chapter 1); Recent Developments on Debris Flows, Springer-Verlag, Kagoshima.
- Uprava RS za geofiziko. Preliminarni tedenski seizmološki bilten 2000. Arhiv Uprave RS za geofiziko, Ljubljana.
- Vidrih, R. 1998: Potres v Posočju in močnejši potresi na Slovenskem v letu 1998. Proteus 3/61, str. 104 – 117, Ljubljana.
- Vidrih, R., Ribičič, M. 1999a: Posledice potresa v naravi (potres 12. aprila 1998 v zgornjem Posočju). Ujma 13, Uprava za zaščito in reševanje - Ministrstvo za obrambo, Ljubljana, 107-116.
- Vidrih, R., Ribičič, M. 1999b: Porušitve naravnega ravnotežja v hribinah ob potresu v Posočju 12. aprila 1998 in evropska makroseizmična lestvica. Geologija 41, Ljubljana, 365-410.
- Vidrih, R. 2001: Plazovi in potresi ter blatni tok pod Mangartom. Življenje in tehnika 52, januar 2001, Ljubljana, 20-30.

OPAZOVANJE POTRESNE DEJAVNOSTI PO SPROŽENJU GRUŠČNATEGA TOKA SEISMIC ACTIVITY MONITORING AFTER THE GRAVEL FLOW

Matjaž Gostinčar¹

***Izvleček.** 17. novembra 2000 je prišlo do sprožitve gruščnatega toka na pobočjih Mangarta, ki je povzročil pravo razdejanje v nižje ležeči vasi Log pod Mangartom. Ker so se na tem območju še vedno občasno tresla tla po potresu 14. aprila 1998 v zgornjem Posočju, so se pojavila vprašanja, če ni potres povzročil premik plazu. V Logu pod Mangartom in v vasi Soča sta bila nameščena dva akceleroografa, ki naj bi dala odgovor na to, če je prišlo do povečane potresne aktivnosti na prizadetem območju. Povečane potresne aktivnosti ni bilo opaziti, zato smo z opazovanjem prekinili 24. maja 2001 in odstranili začasni opazovalnici.*

***Extract.** On 17 November 2000, a gravel flow was triggered in Stože causing serious destruction in the lower situated village of Log pod Mangartom. As this area experienced occasional ground shaking after the earthquake in upper Soča Territory on 12 April 1998, questions arose whether the earthquake was the cause of the landslide. Two accelerographs were set up in Log pod Mangartom and the village of Soča to answer the question of whether the afflicted area experienced any increased seismic activity. No increase in seismic activity was recorded so monitoring was stopped on 24 May 2001 and the temporary seismic stations were removed.*

Uvod

Kmalu po polnoči 17. novembra 2000 je gruščnati tok povzročil razdejanje v vasi Log pod Mangartom, odnesel je most in zasul štiri hiše (Majes in sod., 2000, 2001). Dve leti pred tem dogodkom je zgornje Posočje prizadel rušilni potres, ki je vnesel v to pokrajino veliko strahu (Ribičič, Vidrih, 2001a, Vidrih 2001). Tako je bilo, kar samo po sebi razumljivo, da je potres sprožil gruščnati tok. V izogib tej teoriji, ki so jo povzemali tudi nekateri strokovnjaki, ki so se ukvarjali s sanacijo plazov, smo v Logu pod Mangartom in vasi Soča postavili začasni potresni opazovalnici z namenom beležiti morebitno potresno dejavnost po sprožitvi gruščnatega toka



*Slika 1. Lokacije potresnih opazovalnic po končani namestitvi 23. novembra 2000.
Figure 1: The location of seismic stations after the set-up on 23 November 2000.*

¹ Agencija RS za okolje, urad za seizmologijo, Pot na Golovec 25, Ljubljana

Potresni opazovalnici v vaseh Log pod Mangartom in Soča

V Bovcu, Kobaridu in Drežnici smo imeli že od potresa 12. aprila 1998 postavljene potresne opazovalnice, ki v času uničujočega gruščnega toka niso zabeležile nobenega močnejšega potresa (Ribičič, Vidrih, 2001b).

Log pod Mangartom

21. novembra 2000 smo postavili v Logu pod Mangartom v prostorih policijskega počitniškega doma akcelero graf Etna S/N 810. Koordinati opazovalnice sta bili $46^{\circ} 24' 17.4''$ N in $13^{\circ} 35' 49.6''$ E, z nadmorsko višino 640 m. Inštrument je bil postavljen v sobi za zveze, na tleh je parket, kar ni najbolje, vendar je soba nepodkletena. Prijazno so nam odstopili telefonsko linijo, tako smo lahko takoj, ko je bil inštrument nameščen, vzpostavili tudi telefonsko povezavo z observatorijem na Golovcu v Ljubljani. S tem smo imeli takojšen dostop do podatkov, možno pa je bilo tudi spremeniti nastavitve inštrumenta. Anteno GPS sprejemnika smo pritrdili s plastičnimi vezicami na oknico. Akcelero graf je deloval brez napak. Razmere na plazu, Mangartskem potoku in Predelici so se umirile tako, da seizmološko opazovanje in bilo potrebno in smo 24. maja 2001 inštrument odstranili.



Slika 2. Prvi akcelero graf smo namestili v Počitniškem domu policije v Logu pod Mangartom 21. novembra 2000.

Figure 2: The first accelerograph was set up in a holiday home of the Slovenian Police.

Vas Soča

Dva dni pozneje, 23. novembra 2000 smo postavili akcelero graf Etna S/N 2133 v vasi Soča. Inštrument je bil nameščen v hišici avtomatske telefonske centrale za dolino Trente. Koordinati začasne opazovalnice sta bili $46^{\circ} 20' 30''$ N in $13^{\circ} 39' 46.2''$ E z nadmorsko višino 484 m. Objekt je nepodkleten in ima betonska tla. Prostor je čist in ogrevan, zaradi specifičnosti objekta ni bilo nikakršnih problemov z montažo antene GPS sprejemnika. 1. decembra 2000 smo inštrument priključili na telefonsko linijo in ga tako povezali s centrom za zajem podatkov v Ljubljani. Inštrument je deloval brez napak, do prenehanje delovanja 24. maja 2001.



Slika3. V avtomatski telefonski centrali v vasi Soča je bil 23. novembra 2000 nameščen drugi akcelero graf.

Figure 3: The second accelerograph was set up in the automatic telephone exchange in the village of Soča on 23 November 2000.



Slika 4. Pogled v notranjost, kjer je viden akcelero graf Etna.

Figure 4: A view inside showing the Etna accelerograph.



Slika 5. Postavitev antene GPS sprejemnika je zagotavljala nemoten sprejem časovnih signalov.

Figure 5: The set-up of the GPS receiver aerial enabled uninterrupted reception of time signals

Akceleroграф Etna

Akceleroграф Etna je inštrument za merjenje pospeškov z vgrajenim trikomponentnim akceleroграфom, z 18-bitnim analožno digitalnim pretvornikom z dinamičnim območjem večjim od 100dB, z izmenljivim lokalnim pomnilnikom kapacitete 40 MB, ki omogoča shranjevanje do 5 ur nestisnjenega zapisa seizmičnega signala pri vzorčenju s frekvenco 200 vzorcev na sekundo in z vgrajenim modemom, ki omogoča prenos podatkov na daljavo in nastavitve parametrov inštrumenta.

Inštrument, nameščen v Logu pod Mangartom ima vgrajen senzor FBA-23, drugi pa je opremljen že z novejšim akceleroграфom Epi Sensor. Oba akceleroграфta sta trikomponentna zaprtozančna senzorja pospeškov, FBA-23 v frekvenčnem pasu od 0 do 50 Hz in EpiSensor od 0 do 200 Hz. Maksimalno merilno območje inštrumentov znaša 1g.



Slika 6. Etna z anteno GPS sprejemnika.

Figure 6: Etna accelerometer with a GPS receiver aerial.

Inštrument ima vgrajen sprejemnik točnega časa GPS, ki služi za sinhronizacijo notranje ure, in izračun lokacije inštrumenta. Deluje v prožilnem načinu, kar pomeni, da se zajemanje podatkov sproži ob potresu. Preddogodkovni pomnilnik zagotavlja zajem celotnega seizmičnega signala. Priključek RS 232 omogoča lokalno upravljanje inštrumenta, nastavitve parametrov in prenos podatkov na prenosni računalnik. Vgrajena baterija omogoča 36 urno delovanje inštrumenta ob izpadu omrežnega napajanja.

Zaključek

V obdobju delovanja začasnih potresnih opazovalnic je inštrument v Soči zabeležil 59 šibkih potresnih sunkov, v Logu pod Mangartom pa le 13 šibkih dogodkov. Na podlagi stalnega spremljanja potresnega dogajanja lahko zatrdimo, da potresna dejavnost na tem območju ni imela nikakršnega vpliva na sprožitev plazov, pa tudi kasneje močnejših potresov na tem območju ni bilo.

Litratura

- Majes in sod., 2000. Plaz pod Mangartom. Poročilo ekspertne skupine za področje geotehnike, imenovane s strani poveljnika Civilne zaščite R Slovenije takoj po nastanku toka.
- Majes in sod., 2001. Plaz pod Mangartom. Poročilo o uresničevanju Zakona za odpravo posledic plazov Stože v občini Bovec in plazov večjega obsega, nastalih na območju Republike Slovenije po 15. oktobru 2000. Poročevalec Državnega zbora R Slovenije št. 66.
- Ribičič, M., Vidrih, R. 2001a: Gruščnati tok v Logu pod Mangartom. *Proteus* 63/6 (februar 2001), Prirodoslovno društvo Slovenije, Ljubljana, 248-262.
- Ribičič, M., Vidrih, R. 2001b: Gruščnati tok in potresna dejavnost v Logu pod Mangartom, *Potresi v letu 2000.*, Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo, Ljubljana, 29-80.
- Uprava RS za geofiziko. Preliminarni tedenski seizmološki bilten 2000. Arhiv Uprave RS za geofiziko, Ljubljana.
- Vidrih, R. 2001: Plazovi in potresi ter blatni tok pod Mangartom. *Življenje in tehnika* 52, januar 2001, Ljubljana, 20 – 31.

KONTROLA STABILNOSTI SENZORJA FBA23, VGRAJENEGA V MERILNIK POSPEŠKOV ETNA THE CONTROL OF THE SENSOR STABILITY FBA23, INSTALLED IN THE ACCELEROGRAPH ETNA

Izidor Tasič¹

***Izvleček.** Seizmološki instrument ETNA je merilnik pospeškov. Sestavljen je iz senzorja, zajemalne enote, enote za shranjevanje podatkov in enote za komunikacijo. Vgrajen ima funkcijski test za kontrolo delovanja stabilnosti instrumenta. Proizvajalec te opreme, podjetje Kinematics Inc. iz ZDA, v navodilih, ki pridejo skupaj z instrumentom, ni opisal niti postopka za analizo takih signalov niti ni podal fizikalnega ozadja funkcijskega testa. To bomo storili v sledečem sestavku. Napisali smo tudi programsko opremo, imenujemo jo EVT2CAL.EXE, ki iz zapisa funkcijskega testa pri instrumentih z FBA23 senzorjem oceni osnovne parametre.*

***Abstract.** The seismologic instrument ETNA is an acceleration measure unit. In order to control the work it has built in functional tester. Yet the manufacturer, Kinematics Inc. from USA, in its manual didn't instruct procedures for analysis these signals, nor did he give the physical background of the functional test. We did that in this article. We also wrote program, which is capable to read basic parameters from the functional test of Etna with FBA23 sensor. The name of the program is EVT2CAL.EXE.*

Uvod

Na stabilno delovanje seizmološkega instrumenta vplivajo različni dejavniki, kot so: spremembe temperature, spremembe tlaka, staranje materiala, itd. Le ti lahko povzročijo, da se karakteristike instrumenta s časom spreminjajo. Stabilnost instrumentov lahko kontroliramo z različnimi kalibracijskimi postopki. Za to je najbolj primerna kvalitetna stresalna miza, kjer lahko neposredno določimo prenosno funkcijo celotnega sistema in s tem ugotovimo spremembe na instrumentu. Vendar je sama gradnja mize tehnološko zahtevna in izvedba draga. Hod oziroma premik podlage testne mize mora biti izredno natančno nastavljen, natančno pa moramo poznati tudi amplitudo in frekvenco premika. Miza se mora nahajati v okolju s konstantnim tlakom in temperaturo. Sam prostor mora biti izoliran od močnejših elektromagnetnih virov. Ker takšnega sistema nimamo, uporabljamo za ugotavljanje stabilnosti instrumenta tudi posredne postopke. Pri senzorjih, ki imajo vgrajeno »kalibracijsko« tuljavo, lahko preko nje vsilimo nihanje senzorja z uporabo različnih testnih signalov, kjer kontrola senzorja temelji na simulaciji premika tal s pomočjo toka skozi tako tuljavo.

Instrument ETNA s senzorji FBA23

Instrument Etna proizvajalca Kinematics Inc. iz ZDA je instrument za beleženje pospeškov podlage (Strong Motion Accelerograph). Opremljen je z notranjim tri kanalnim senzorjem FBA23 (novejši instrumenti ETNA imajo vgrajen drugi tip senzorja z imenom EpiSenzor). Merilno območje senzorja je od 0,5g do 4 g, vrednosti nastavijo po želji kupca v tovarni. Osi senzorja so postavljene v smeri X, Y in Z, pri čemer X ponavadi pomeni smer vzhod-zahod. Etna zajema in beleži podatke z 18 bitno resolucijo. Notranja ura se usklajuje z GSP sistemom

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

točnega časa. Podatki se shranjujejo na notranji PCMCIA disk. Zabeležene dogodke lahko prenesemo preko modema, preko osebnega računalnika ali neposredno s prenosom PCMCIA diska.

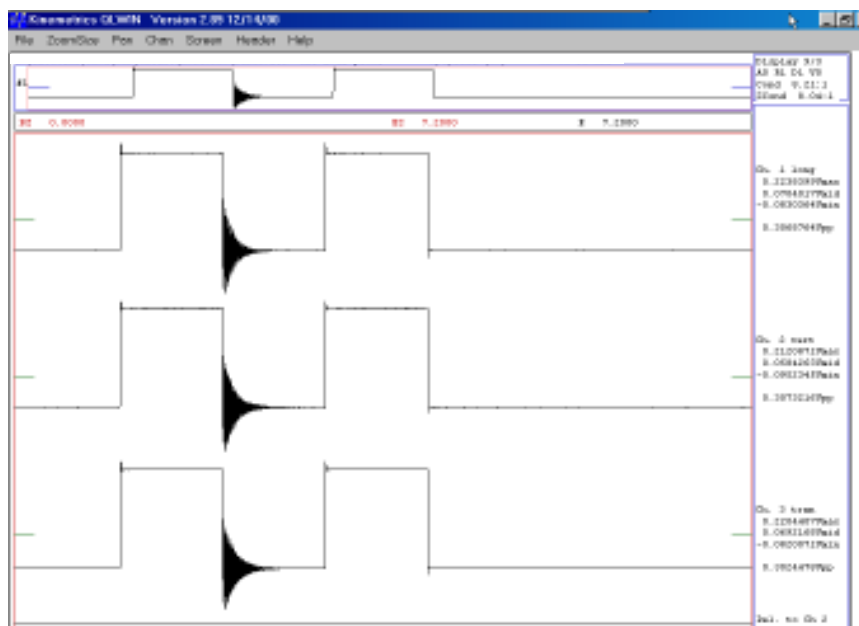
Senzorje FBA23 tovarniško testirajo s 500MHz osciloskopom in funkcijskim generatorjem. Za vsako komponento senzorja poiščejo lastno frekvenco, dušenje in ocenijo navzkrižni vpliv senzorjev. Podatki o parametrih senzorja so zapisani v samem instrumentu ETNA.

Funkcijski test

Za kasnejše primerjanje parametrov senzorja oziroma kontrolo njegove stabilnosti so proizvajalci vgradili v ETNO dva vira testnih signalov. To sta "Calibration Coil Functional Test" (FT) in "Calibration Coil Response Test" (SRT). V resnici se testa med seboj razlikujeta samo v vzorčni frekvenci. Oba testa temeljita na principu umerjanja senzorja s stopnico.

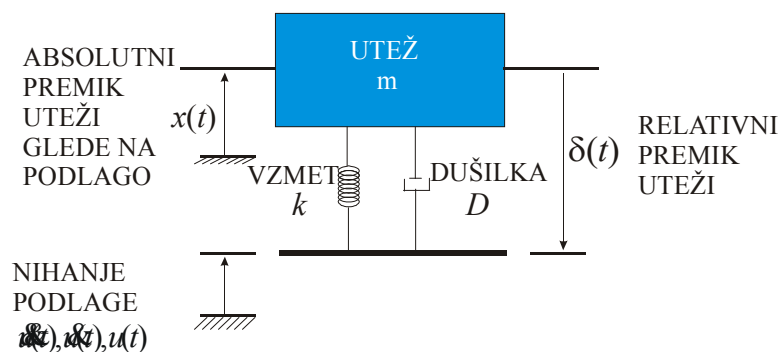
- Functional Test ali na kratko FT povzroči beleženje testnega signala na instrumentu. Vzorčenje zapisa je določeno s strani uporabnika in je lahko največ 250 vzorcev na sekundo. Zapis FT se sestoji najprej iz ničnega pospeška in zapisa senzorja v ravnovesni legi. Sledi mu stopnica, zapis signala v dolžini dveh sekund, ki predstavlja konstantni pospešek, nato mu sledi zapis iz nihanja nihala z minimaliziranim dušenjem. Sledi mu zopet stopnica ter za tem zapis nihala v ravnovesni legi.
- Response Test ali na kratko SRT ustvari ravno tak zapis signala kot FT, le da je vzorčenje zapisa konstantno, odzivni signal je zabeležen s 1000 vzorci na sekundo. Zaradi velike vzorčne frekvence je zapis dolg 7,2 sekundi (Slika 1).

Opis postopka, kako sprožimo posamične teste, se nahajajo v navodilih za instrument ETNA oziroma na http://www.kinematics.com/eng_ftp/manuals.html. Funkcijski test za merjenje pospeškov je možen tudi na starejših instrumentih podjetja Kinematics Inc., kot so instrumenti SSA in SSR1. Signali F-testa so si na vseh opisanih sistemih med seboj podobni. Nekoliko pa se razlikujejo signali F-testa instrumentov ETNA z vgrajenim EpiSenzor senzorjem.



Slika 1. Zapis testnega signala senzorja FBA23, prikaz z QuickLook programsko opremo.
Figure 1. The record of functional test shown by QuickLook software.

Fizikalno ozadje testnega signala

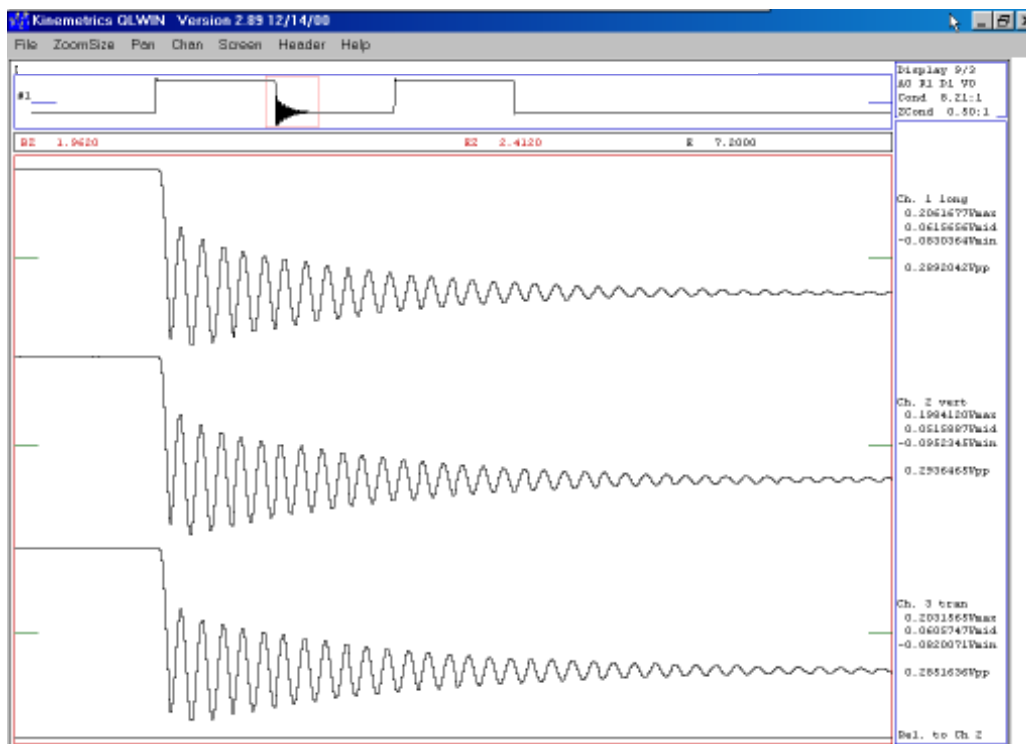


Slika 2. Shema senzorja.
Figure 2. Outline of sensor.

Na sliki se nahaja shema senzorja. Senzor si lahko predstavljamo kot nihalo z maso m , ki je pritrjena na vzmet s prožnostnim koeficientom k in dušilko D . Vzemimo, da za dušilko velja linearni zakon upora. Ko sistem zaniha z amplitudo u , nihalo ne sledi absolutnemu premiku podlage, ampak se premakne za vrednost δ . Celoten premik nihala v času t glede na podlago je $x(t) = u(t) + \delta(t)$. Enačbo gibanja nihala zapišemo kot

$$- \ddot{x}(t) + 2\zeta\omega_n \dot{\delta}(t) + \omega_n^2 \delta = 0,$$

pri čemer je $\omega_n = \sqrt{k/m}$ lastna frekvenca nihala in $\zeta = D/2m\omega_n$ dušenje sistema.



Slika 3. Določanje lastne frekvence nihala. Izsek iz slike 1.
Figure 3. Determining the natural frequency of the system. Section of figure 1.

Lastna frekvenca nihala

Lastno frekvenco nihala določimo tako, da zmanjšamo dušenje nihala ζ_D na najmanjšo možno mero (Slika 3). Utež odmaknemo od ravnovesne lege in jo nato spustimo, da zaniha. Odmik nihala je

$$\delta(t) = \delta_0 e^{-\zeta_D t} \cos(\omega_D t + \phi)$$

Kadar je dušenje zadovoljivo majhno, je število nihanj skozi ravnovesno lego, preden se nihalo umiri, dovolj veliko, da lahko določimo frekvenco sistema s štejetjem prehodov nihala skozi mirovno lego v določenem časovnem intervalu. Če poznamo dušenje, lahko izračunamo lastno frekvenco nihala ν_n (Strnad 1985). Če je dušenje majhno, ga lahko zanemarimo. Za instrument ETNA so lastne frekvence zapisane na red velikosti 10^{-1} . Zato lahko za oceno lastnega nihanja zanemarimo dušenje, kadar je le to manjše za približno vrednost 0,05 frekvence dušenega sistema. Primer: če je lastna frekvenca senzorja $\nu_n = 50,0\text{Hz}$ in je dušenje $\zeta_D = 0,05$; $\omega_n \approx 16rd$, potem imajo oscilacije dušenega sistema frekvenco $\nu_d = 49,9\text{Hz}$.

Namesto štetja števila prehodov skozi mirovno lego si lahko pomagamo tudi s štejetjem največjih odmikov (lokalnih maksimumov in minimumov) v določenem časovnem intervalu.

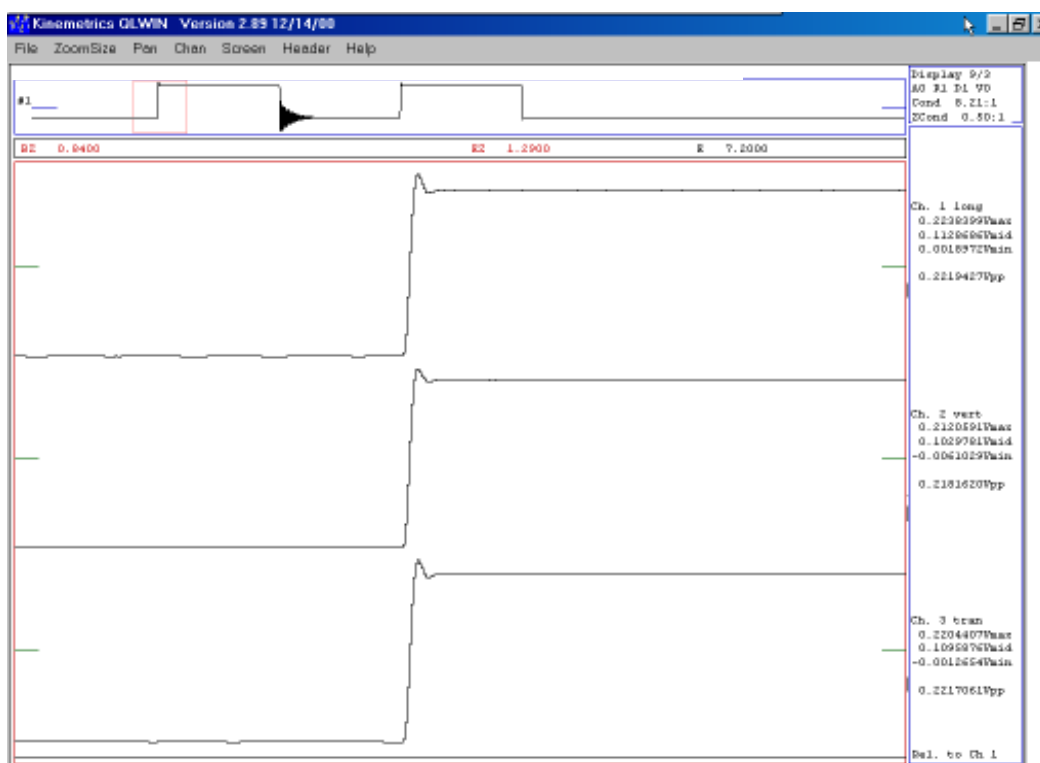
Dušenje nihala

Dušenje senzorja lahko preprosto določamo s pomočjo močnega sunka v obliki stopnice. Postopek umerjanja s stopnico si lahko enostavno predstavljamo tako, da sedimo v močnem športnem avtomobilu. V času $t = 0$ v trenutku speljemo enakomerno pospešeno s pospeškom \ddot{u}_0 . Senzor za merjenje pospeškov bo najprej malo zanihal okoli nove ravnovesne lege in če bomo pospeševalo dovolj dolgo, se bo nato ustalil. Nihanje okoli nove ravnovesne lege je odvisno od dušenja senzorja kakor tudi od lastne frekvence. Vendar je velikost največje amplitude odvisna samo od dušenja sistema! Ravno zaradi tega dejstva ne potrebujemo podatka o času sprožitve kalibracijskega signala, ampak lahko ocenimo vrednost dušenja samo iz dveh vrednosti: vrednosti največje amplitude po sprožitvi kalibracijskega signala in s podatkom o novi ravnovesni legi.

Pri harmoničnih linearnih sistemih lahko odziv sistema na neko znano silo $F(t)$ rešimo analitično (Kuščer, 1994; Harris, 1975). Tako je razmerje amplitud med vhodnim signalom (stopnico) in maksimalno vrednostjo izhodnega signala (največji odziv senzorja na stopnico)

$$\frac{\text{Izhodni_Signal}_{\max}}{\text{Vhodni_Signal}} = \frac{\delta_{\max} \omega_n^2}{\omega^2} = 1 - \exp\left(-\frac{\zeta \pi}{\sqrt{1 - \zeta^2}}\right)$$

Če poznamo dušenje sistema, lahko izračunamo razmerje amplitud vhodnega in izhodnega signala. Nekatere vrednosti so zapisane v tabeli:



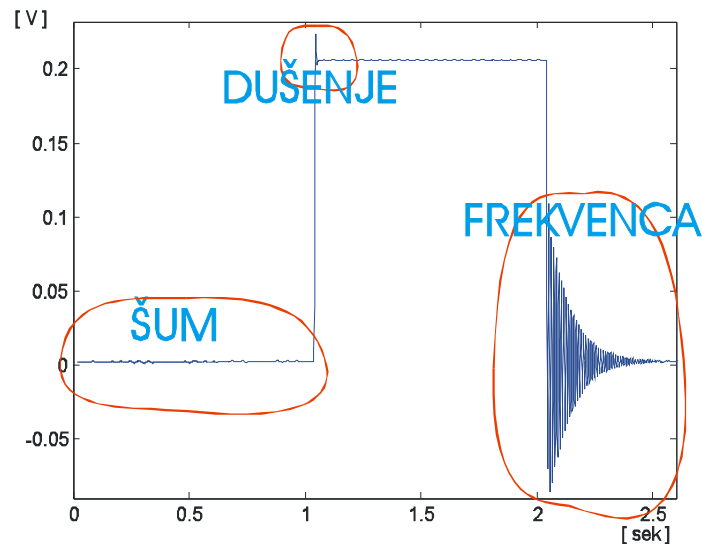
Slika 4. Določanje dušenja sistema.
Figure 4. Determining the damping of the system.

dušenje	razmerje amplitud
0.60	0.094
0.62	0.083
0.64	0.073
0.66	0.063
0.68	0.054
0.70	0.046

Nasprotno, če nam je znano razmerje vhodnega in izhodnega signala, potem lahko iz tabele ocenimo dušenje. Primer: če je stopnica 0.215 Vpp in je največja vrednost amplitude prehoda nad stopnico 0.013 V, potem je razmerje 0.06 in iz tabele sledi, da je dušenje 0.67.

Analiza zapisa funkcijskega testa

Zapisan signal funkcijskega testa uporabljamo za oceno stabilnosti senzorjev FBA23. Iz zapisa signala pri funkcijskem testu lahko ocenimo dušenje in lastno frekvenco senzorja, kakor tudi seizmični nemir pri meritvi (Slika 5). Analizo signala lahko stori strokovnjak »ročno«, vendar lahko pri tem zaradi nezbranosti pride do napake. Zato je zaradi ponovljivosti rezultatov in poenostavitve pri obdelavi signalov avtomatizacija pomemben dejavnik. S programsko opremo EVT2CAL smo z različnimi analitičnimi in numeričnimi postopki v zapisu signala poiskali osnovne parametre senzorja FBA 23.



Slika 5. Iz zapisa signala pri funkcijskem testu lahko ocenimo dušenje in lastno frekvenco senzorja in tudi seizmični nemir pri meritvi.
 Figure 5. From the record of the functional test, we can estimate the natural frequency of the system, its damping seismic and noise at measurement.

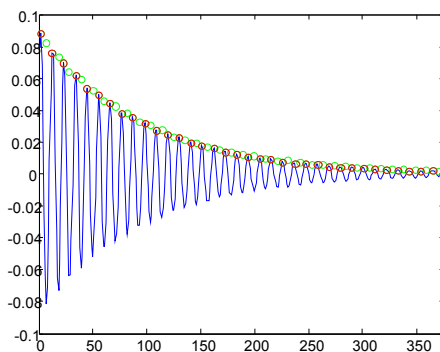
Podatka, koliko je vhodni signal na instrumentih Etna v resnici stopničast, nimamo. V realnosti zelo težko dosežemo stopnico kot realni vhodni signal za kalibracijo sistemov, ampak so vedno prisotni prehodni pojavi, ki seveda bolj ali manj vplivajo na dobljene rezultate. Vendar na napako določevanja osnovnih parametrov še bolj vpliva premajhno vzorčenje. Primeri na slikah so narejeni na instrumentu, kjer je lastna frekvenca okoli 100Hz, vzorčenje sistema je 1000 vzorcev na sekundo. To je seveda premalo za natančno določanje tako dušenja kakor tudi lastne frekvence. Zato si pomagamo s približkom oziroma z ocenami.

Ocena za lastno nihanje senzorja

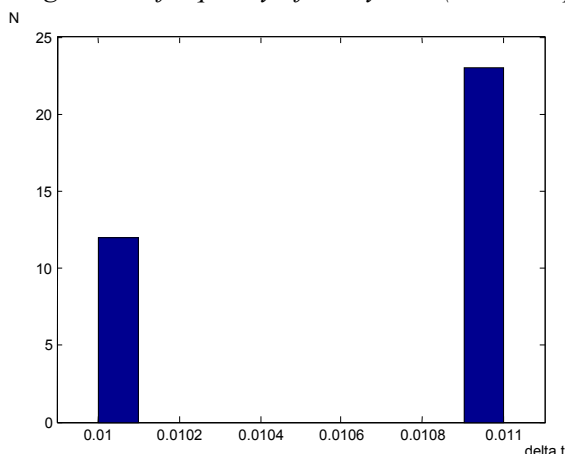
Lastno frekvenco nihala določimo s "štetjem" nihanj, preden se nihalo umiri, in to v tistem delu zapisa, kjer je dušenje zmanjšano. Za določitev lastne frekvence opazujemo časovne intervale med maksimumi in minimumi periodnega signala (Slika 6). Lastno frekvenco merilnega sistema določimo s povprečenjem vseh časovnih intervalov. Natančnost je odvisna od vzorčenja signala in lastne frekvence sistema. Primer: Signal je vzorčen s 1000 vzorcev na sekundo (slika 6). Časovni interval med enim nihanjem je porazdeljen na dve vrednosti, na vrednost 0.1 sekunde in 0.11 sekunde (Slika 7). V danem primeru je ocena lastne frekvence, ki je tudi povprečna vrednost izmerjenih lastnih frekvenc, 93.83Hz. V realnosti tudi nikoli popolnoma ne odstranimo dušenja. Dušenje ocenimo s fitanjem ovojnice signala (Slika 6). Napaka zaradi neupoštevanja dušenega sistema je ponavadi zanemarljiva oziroma je manjša kot napaka, ki je posledica premajhnega vzorčenja signala. V prej opisanem primeru se ocena za lastno frekvenco z upoštevanjem dušenja poveča za 0.02Hz.

Ocena za dušenje senzorja

Dušenje senzorja ocenimo iz razmerja med maksimalno vrednostjo odziva na stopnico in teoretično vrednostjo amplitude stopnice. Tudi tukaj na točno vrednost dušenja vpliva premajhno vzorčenje signala. Pri oceni si lahko zopet pomagamo s fitanjem ovojnice signala (Slika 8).



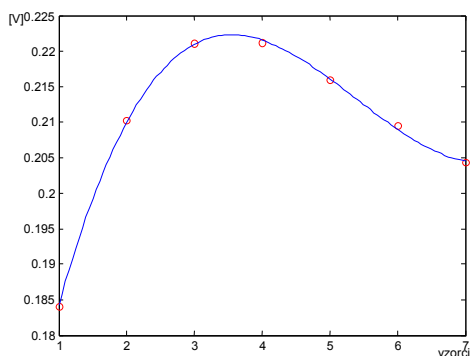
Slika 6. Določanje lastne frekvence nihala (1000 vzorcev na sekundo).
Figure 6. Determining natural frequency of the system (1000 samples per second).



Slika 7. Časovni interval med maksimumi je odvisen od vzorčne frekvence. V danem primeru je časovni interval porazdeljen med dve vrednosti, na 0,1 sekundo in 0,11 sekundo. Lastno frekvenco ocenimo s povprečenjem signala, ki je vzorčen s 1000 vzorcev na sekundo.
Figure 7. The time interval between local maximum depends on sample frequency. Here is the distribution values of 0,1 sec and 0,11 sec. The natural frequency is estimated from the average of time intervals between local maximum.

Šum med meritvijo

Med meritvijo imamo vedno prisoten še seizmični šum. Če je le ta velik, lahko vpliva na oceno parametrov, zato je vedno dobro, da poznamo tudi njegovo vrednost. Primer: Signal je vzorčen s 1000 vzorcev na sekundo (Slika 9). Seizmični šum ovrednotimo v prvi sekundi meritve. Povprečna vrednost amplitude signala na danem primeru je $2.4 \cdot 10^{-4}$ V in največja amplituda je $5.8 \cdot 10^{-4}$ V. Šum je za tri velikostne razrede manjši od odziva signala na stopnico. Napaka, ki je posledica šuma, je v tem primeru manjša, kot napaka, ki jo dobimo zaradi premajhnega vzorčenja.

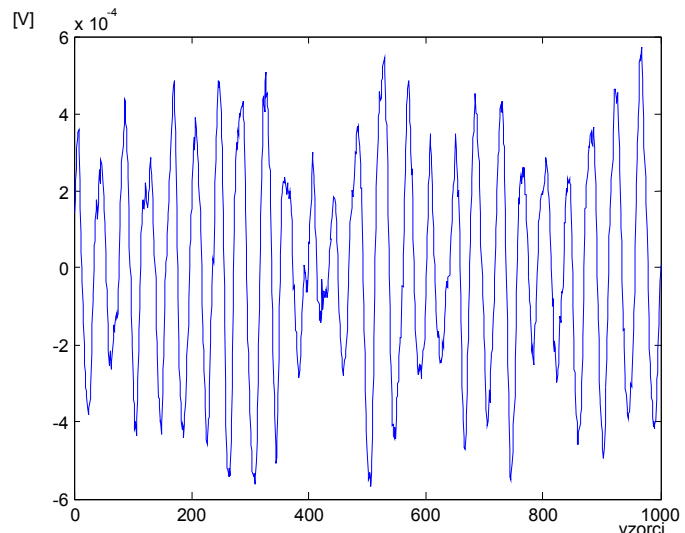


Slika 8. Največja vrednost v odzivu sistema na stopnico. Izmerjene (rdeči krog) in fitane vrednosti (plava črta) pri zajemu podatkov 1000 vzorcev na sekundo.

Figure 8. Maximum value of system response to the step function (Measured - red mark and fitted - blue line).

Slika 9. Seizmični šum pri zajemu podatkov 1000 vzorcev na sekundo.

Figure 9. Seismic noise with the recorded data of 1000 samples per second.



Primer

Poglejmo naslednji primer. Tovarniško določena parametra senzorja sta: lastna frekvenca senzorja (95.80Hz) in dušenje (0.65).

Ko s programsko opremo obdelamo funkcijski test, dobimo naslednje podatke:

LASTNA FREKVENCA

Povprečna [Hz]: 94.8,

Največja [Hz]: 100.0,

Najmanjša [Hz]: 90.9.

Popravek povprečne lastne frekvence zaradi malega dušenja: 94.8 Hz

DUŠENJE

Ocena brez fitanja: 0.63

Ocena s fitanjem : 0.62

ŠUM

povprečna vrednost amplitude [V]: 0.00028

največja vrednost amplitude [V]: 0.00066

standardno odstopanje amplitude[V]: 0.00015

Glede na natančnost meritve ocenimo, da dobljeni rezultati odstopajo za manj kot 5% , kar je znotraj natančnosti meritve. Za ta senzor torej lahko rečemo, da je stabilen in ne potrebuje nove tovarniške nastavitve.

Zaključek

Trenutno v Sloveniji deluje kar nekaj seizmoloških sistemov ETNA s senzorji FBA23 in starejših sistemov SSA in SSR, ki jih kontroliramo s funkcijskim testom. Kontrola le teh je z novo programsko opremo poenostavljena in poenotena.

Literatura

Tehnična dokumentacija Kinematics Inc. 2000: Altus Monitor Mode Communications, Kinematics Inc., Pasadena, ZDA

Strnad, J. 1985: Fizika, 2. Del, Društvo matematikov fizikov in astronomov, Ljubljana, Slovenija

Koškin, N.I., Širkevič, M.G. 1984: Priročnik Elementarne Fizike, Tehniška Založba Slovenije, Ljubljana

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

Harris, M., C., Crede, E.C. 1976: Shock and Vibration Handbook, McGraw-Hill Inc., ZDA

FAKTOR DOBROTE Q ZA OSREDNJO SLOVENIJO CODA Q FROM EARTHQUAKES IN CENTRAL SLOVENIA

Jure Ravnik¹ in Mladen Živčić²

Izvleček. Iz digitalnih zapisov lokalnih potresov na opazovalnici LJU smo določili faktor dobrote Q za Zemljino skorjo in zgornji plašč pod Slovenijo. Za analizo zadnjega dela zapisa potresa smo uporabili model enkratnega sipanja (Aki, 1969; Aki and Chouet, 1975; Sato, 1977; Aki, 1980), ki je najpogosteje uporabljan za modeliranje sipanja in dušenja potresnega valovanja. Analizirali smo zapise dvanajstih potresov na potresni opazovalnici LJU na Golovcu v Ljubljani, katerih žarišča so bila oddaljena manj kot 40 km od opazovalnice. V območju frekvenc f med 1 Hz in 21 Hz smo ocenili faktor dobrote Q na:

$123f^{0,69}$ za časovni interval 25s - 45s po vstopu P valovanja na opazovalnico,

$144f^{0,67}$ za časovni interval 25 s – 55 s,

$164f^{0,66}$ za časovni interval 25 s – 65 s,

$178f^{0,66}$ za časovni interval 25 s – 75 s,

$191f^{0,66}$ za časovni interval 25 s – 85 s

s 5.12s dolgim časovnim oknom. Rezultati so primerljivi z rezultati, ki sta jih za bližnja področja objavila Rovelli (1982) in Herak (1991).

Abstract. The single S wave backscattering model (Aki, 1969; Aki and Chouet, 1975; Sato, 1977; Aki, 1980) from randomly distributed heterogeneities is being most widely used to characterise local earthquake codas and to estimate coda Q from the coda amplitude decay rate. From the end of 1990 there is a three component digital broad band station operating in Ljubljana, Slovenia, at the Observatory of the Geophysical Survey of Slovenia. By the analysis of codas of 12 local (epicentral distance less than 40km) earthquake records in frequency band from 1 to 21 Hz we estimated average coda Q for the region of Slovenia to be:

$123f^{0,69}$ for lapse time 45 s,

$144f^{0,67}$ for lapse time 55 s,

$164f^{0,66}$ for lapse time 65 s,

$178f^{0,66}$ for lapse time 75 s,

$191f^{0,66}$ for lapse time 85 s,

for time window of 5.12 s. This results are in good accordance with previous results of Rovelli (1982) and Herak (1991) for nearby regions.

Uvod

Seizmogram je zapis časovnega poteka prihoda potresnega valovanja na potresno opazovalnico. Najprej pridejo najhitrejši longitudinalni (P) valovi. Njim sledijo počasnejši transverzalni (S) in potem površinski valovi. Poleg zapisa valovanja, ki pride po poti z najkrajšim časom potovanja, vsebuje seizmogram tudi nihanja, povzročena s prihodom valovanja, ki je potovalo skozi različne plasti, se pri tem lomilo, odbijalo in spreminjalo iz P v S in obratno. Valovanja, ki so se enkrat ali večkrat sipala v Zemljini notranjosti, sestavljajo zadnji del seizmograma. Zanima nas sipanje in dušenje potresnega valovanja v skorji in

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

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

zgornjem plašču pod Slovenijo. Podatke o tem vsebujejo zapisi lokalnih potresov, ki se sipajo in dušijo samo v območju, ki ga raziskujemo. Na zapisu potresa jasno razločimo vstope direktnega longitudinalnega in transverzalnega valovanja. Obliko zadnjega dela zapisa potresa razložimo z dušenjem in sipanjem. Sipalcev je veliko, ni mogoče vseh upoštevati, zato se zatečemo k statistični obravnavi. Vpeljemo sipalni koeficient, ki pove, kolikšen del energije odnese sipani del valovanja. Pričakujemo, da je sipalni koeficient odvisen od kraja. vzdolž poti se valovanje duši. Dušenje opišemo s koeficientom dušenja, ki pove, kolikšen del energije valovanja se spremeni v toploto.

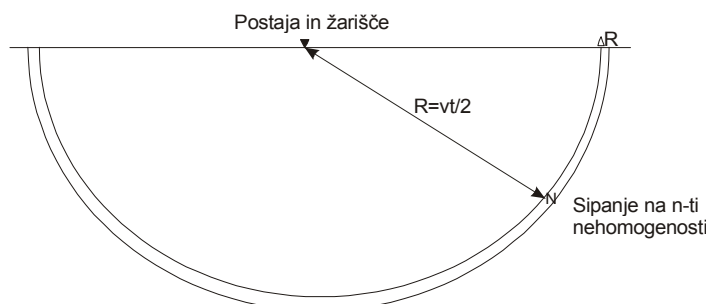
Zapisi lokalnih potresov vsebujejo sipano valovanje enega potresa. Zmanjševanje gostote energije, zabeležene na opazovalnici v odvisnosti od časa, omogoča določitev koeficientov dušenja in sipanja. Obratno vrednost vsote teh koeficientov imenujemo faktor dobrote Q .

Z analizo zadnjih delov seizmogramov z modelom enkratnega sipanja smo določili faktor dobrote Q . Na ta način za območje Slovenije z lokalnimi potresi še ni bil določen.

Model enkratnega sipanja

Na zadnjem delu seizmograma je zapisano valovanje, ki se je sipalo na nehomogenostih v Zemljini notranjosti. Zaradi preprostosti računa predpostavimo, da se valovanje sipa samo enkrat. Zanima nas določitev faktorja dobrote Q za omejeno območje. Valovanje lokalnih potresov zapisanih na opazovalnici LJU se siplje in duši na območju pod osrednjo Slovenijo. Razdalja med žariščem in opazovalnico je majhna v primerjavi z oddaljenostjo sipalca, zato jo zanemarimo. Tako sta žarišče potresa in opazovalnica v našem modelu v isti točki.

Valovanje se iz žarišča potresa razširja v vseh smereh in se v globini siplje na nehomogenosti. Del sipanega valovanja pride nazaj do postaje. Predpostavimo, da so nehomogenosti naključno in enakomerno porazdeljene po notranjosti Zemlje. Oblika in velikost nehomogenosti mora biti taka, da se na njej valovanje lahko siplje. Naj bo $\varphi_n(t)$ odmik zaradi valovanja, ki se je sipalo na n -ti nehomogenosti. Ta naj bo od postaje in žarišča oddaljena r_n . Predpostavimo, da valovanje potuje z grupno hitrostjo v , ki je neodvisna od frekvence. Seizmometer ob času t zazna premikanje tal zaradi sipanih valovanj, ki so se sipala na razdalji $r=vt/2$. Valovanje, ki se je sipalo med r in $r+\Delta r$, bo prispelo na postajo med t in $t+\Delta t$, kjer je $t = 2r/v$ in $\Delta t = 2\Delta r/v$.



Slika 1. Model enkratnega sipanja ob predpostavki, da je sipalec dovolj daleč, da lahko zanemarimo oddaljenost žarišča od postaje. Ob času t je valovanje potovalo od postaje do sipalca in nazaj ($2r$).

Figure 1.. Single scattering model for the case when the hypocentral distance is neglectable as compared to the distance to the scatterer. In the time t the wave has travelled from the station to the scatterer and back ($2r$).

Naj bo $y(t|r)$ odmik, ki ga zazna seizmometer ob času t . Predpostavimo enkratno sipanje (slika 1). Odmik $y(t|r)$ je vsota odmikov $\varphi_n(t)$, ki jih prispeva valovanje, ki se je sipalo na oddaljenosti r_n .

To vsoto zapišemo

$$y(t|r) = \sum_{r < r_n < r + \Delta r} \varphi_n(t).$$

Naj bo $\Phi_n(\omega)$ Fourierova transformiranka $\varphi_n(t)$ in $Y(\omega|r)$ Fourierova transformiranka $y(t|r)$. Ker sta se $\varphi_n(t)$ in $\varphi_m(t)$ sipali na različnih enako oddaljenih nehomogenostih, sta statistično neodvisni. Gostota energije, s katero sipano valovanje zaniha opazovalnico, je sorazmerna s kvadratom spektralne amplitude $|Y(\omega|r)|^2$. Gostota energije, ki jo prinese posamezno sipano valovanje, pa je sorazmerna s kvadratom spektralne amplitude $|\Phi_n(\omega)|^2$. Po zakonu o ohranitvi energije je energija, s katero zaniha seizmometer, enaka vsoti posameznih prispevkov sipanih valovanj, ki prispejo iz sipalcev na oddaljenosti r_n na opazovalnico sočasno. Zvezo zapišemo

$$|Y(\omega|r)|^2 = \sum_{r < r_n < r + \Delta r} |\Phi_n(\omega)|^2.$$

Naj bo $N(r)$ število sipalcev v polkrogli s polmerom r okoli postaje. Število sipalcev v območju med r in $r + \Delta r$ je $\frac{dN}{dr} \Delta r$ in je enako številu sipanih valovanj, ki prispejo hkrati na opazovalnico. Vstavimo število sipanih valovanj v zgornjo enačbo in dobimo:

$$|Y(\omega|r)|^2 = |\Phi_n(\omega)|^2 \frac{dN}{dr} \Delta r = |\Phi_n(\omega)|^2 \frac{dN}{dr} \frac{v \Delta t}{2}.$$

Količina $|Y(\omega|r)|^2 / \Delta t$ je sorazmerna spektralni gostoti moči $P(\omega|t)$ sipanega valovanja ob različnih časih t . Naj bo σ število sipalcev na enoto prostornine. V zgornjo enačbo vstavimo število sipalcev dN v lupini z debelino dr na razdalji r_n od opazovalnice, $dN = \sigma 4\pi r_n^2 dr$, in jo prepisemo

$$P(\omega|t) = \frac{1}{2} |\Phi_n(\omega)|^2 4\pi \sigma r_n^2 v.$$

Potresno valovanje se razširja po tridimenzionalnem prostoru. Površina valovnega čela se povečuje s kvadratom razdalje, zato je spektralna amplituda $|\Phi_n(\omega)|$ obratno sorazmerna s kvadratom razdalje, ki jo prepotuje valovanje. Zmanjševanje amplitude valovanja zaradi plastičnosti sredstva po katerem potuje in zaradi sipanja opišemo eksponentno. Odvisnost

opišemo s parametrom Q , ki je bil opisan v uvodu. Zapišimo spektralno amplitudo $|\Phi_n(\omega)|$ s konstanto neodvisno od kraja in časa $|\Phi_0(\omega)|$ in dodajmo oba načina zmanjševanja:

$$|\Phi_n(\omega)| = |\Phi_0(\omega)| \left(\frac{r_0}{r_n} \right)^2 e^{-\omega t/2Q}$$

Upoštevamo še $t = 2r/v$ ter zapišemo izraz za spektralno gostoto moči sipanih seizmičnih valov:

$$P(\omega|t) = 8\pi\sigma r_0^4 v^{-1} t^{-2} |\Phi_n(\omega)|^2 e^{-\omega t/Q} = S t^{-2} e^{-\omega t/Q}$$

Vpeljali smo parameter S , v katerega smo vključili odvisnost od lastnosti tal (porazdelitev nehomogenosti, grupna hitrost potovanja valovanja) in odvisnost od razmer v žarišču potresa. Obravnavamo lokalne potrese zapisane na isti opazovalnici, zato lahko predpostavimo, da sta porazdelitev nehomogenosti in grupna hitrost za vse potrese enaki. Parameter S se torej spreminja od potresa do potresa samo zaradi različnih razmer v žariščih. Spektralna amplituda $A(\omega|t)$ je sorazmerna s korenem spektralne moči. Zgornjo enačbo korenimo in dobimo

$$A(\omega|t) = C \frac{1}{t} e^{-\omega t/2Q}$$

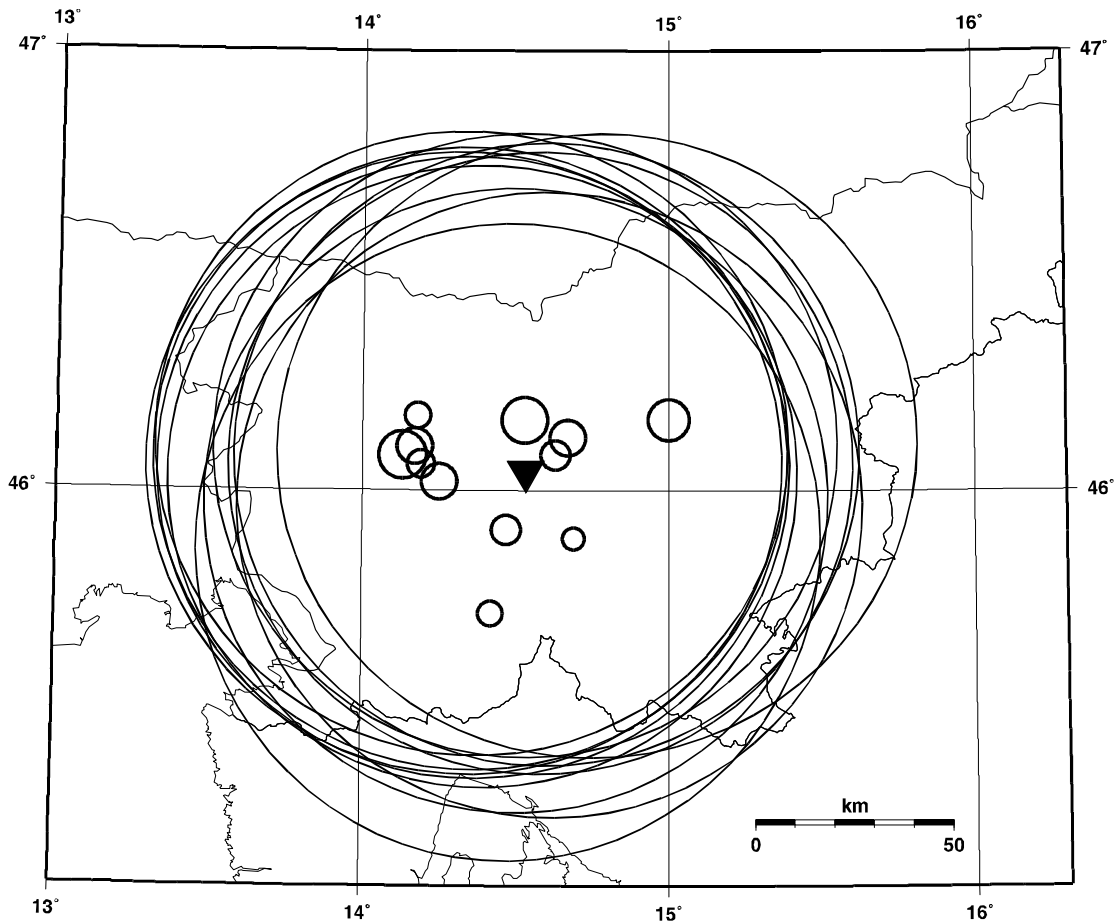
Pomnožimo s časom in logaritmiramo

$$\ln[A(\omega|t)t] = \ln C - \frac{\omega}{2Q} t \quad (4)$$

ter dobimo linearno enačbo, ki opisuje zmanjšanje spektralne amplitude $A(\omega|t)$ v odvisnosti od frekvence in časa. Na podlagi te enačbe računamo faktor dobrote Q pri različnih frekvencah. Pri izbrani frekvenci Q vpliva le na naklon premice (4) in je za njegovo določitev od potresa odvisni faktor $\ln C$ nepomemben. Z opisano metodo je bil Q že izračunan za nekaj deset področij na Zemlji.

Podatki

Na potresni opazovalnici LJU na observatoriju na Golovcu od konca leta 1990 obratuje trikomponentni digitalni seizmograf. Za izračun faktorja dobrote Q smo uporabili podatke 12 potresov (Preglednica 1), ki jih je seizmograf zapisal do konca leta 1995. Epicentri teh potresov so manj kot 40 kilometrov oddaljeni od seizmološke opazovalnice. Razmerje signal - šum je tudi na koncu seizmogramov ugodno. Na sliki 2 so epicentri potresov označeni z majhnimi krogi, velik krog pa predstavlja seizmološko opazovalnico. Elipse na sliki 2 imajo eno gorišče v točki, ki predstavlja opazovalnico, druga gorišča pa so v epicentrih potresov. Elipse predstavljajo meje področij skozi katera je potovalo sipano valovanje 45 sekund.



Slika 2. Meje področij skozi katere sipano valovanje potuje 45 sekund. Elipse imajo eno gorišče v epicentru potresa (krog), drugo pa na lokaciji potresne opazovalnice Ljubljana (trikotnik).

Figure 2.. Outer boundaries of the area from which a scattered wave reaches the station in 45 seconds. Ellipses have one focus at the epicentre (circle) and another at the station (triangle).

Preglednica 1. Podatki o potresih, ki smo jih uporabili v izračunih.

Table 1. Data on the earthquakes used in Q determination.

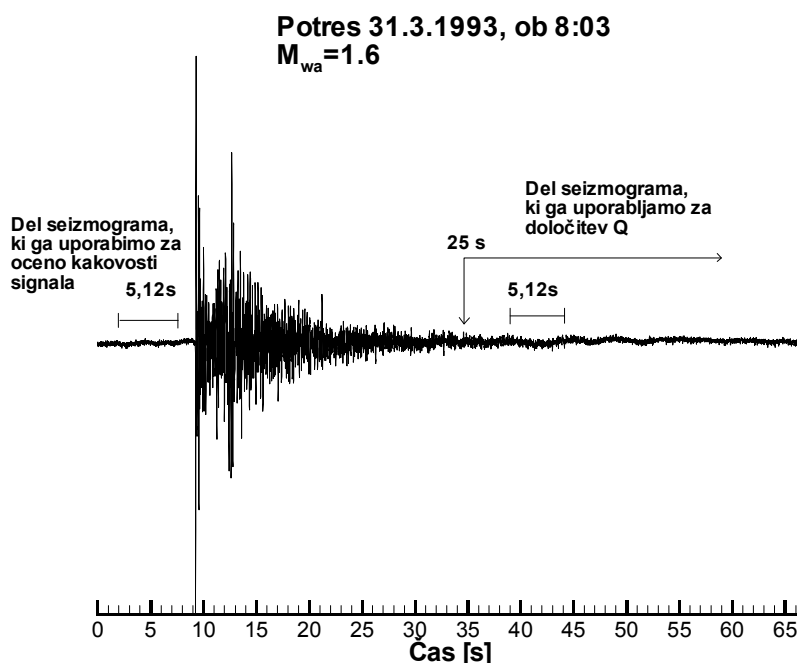
Datum Date	Ura Time	Epicenter [°N]	Epicenter [°E]	Globina [km] Depth [km]	M _{WA}
14.05.1992	01 25 05,1	46,06	14,19	6	2,0
22.08.1992	18 42 09,0	46,17	14,18	14	1,9
05.09.1992	00 00 43,8	46,08	14,63	19	2,1
15.10.1992	20 34 15,7	46,16	15,00	20	3,0
31.03.1993	08 03 17,4	45,89	14,69	13	1,6
22.08.1993	17 51 55,2	45,91	14,47	9	2,1
28.11.1993	19 23 56,3	46,12	14,67	19	2,6
06.12.1993	22 27 02,8	46,02	14,25	15	2,6
10.07.1994	02 27 30,0	45,72	14,42	16	1,8
31.05.1995	06 04 05,3	46,16	14,53	12	3,3
13.08.1995	23 23 25,2	46,08	14,13	17	3,5
31.08.1995	02 29 59,6	46,10	14,17	16	2,6

Izračun

Spektralno amplitudo $A(\omega|t)$ smo določili iz zapisov potresov s pomočjo hitre Fourierove transformacije z 1,28, 2,56 in 5,12 sekund dolgimi odseki seizmograma. Pripisali smo jo srednjemu času odseka seizmograma. Naslednji spekter smo izračunali iz dela seizmograma, ki se je začel za 1/8 dolžine odseka kasneje; torej za 1,28/8 s, 2,56/8 s oziroma 5,12/8 s. Za nadaljnjo analizo smo obdržali spektralne amplitude v frekvenčnem pasu med 1,6 in 20,3 Hz. Proces sipanja je odvisen od razmerja med velikostjo sipalcev in valovno dolžino valovanja. Do sipanja pride, ko je karakteristična dimenzija sipalca vsaj reda velikosti valovne dolžine. Ker so nehomogenosti različnih oblik in velikosti, pričakujemo, da bo faktor dobrote Q , ki opisuje proces sipanja, odvisen tudi od valovne dolžine oziroma frekvence valovanja.

Hkrati s spektralno analizo zadnjega dela seizmograma smo izračunali tudi spekter šuma iz dela seizmograma pred prihodom potresa. Spektralno amplitudo šuma smo odšteli od spektralne amplitude zapisa potresa. Hkrati nam spektralna amplituda šuma služi za ugotavljanje razmerja signal/šum na podlagi katerega smo določili konec zapisa potresa. Dolžino uporabnega signala smo določili do časa, ko je spektralna amplituda signala vsaj dvakrat večja od spektralne amplitude šuma.

Vse izračune smo večkrat ponovili z različnimi odseki seizmograma za izračun spektralne amplitude šuma. Rezultati za najkrajši odsek seizmograma (1,28 s) so bili odvisni od izbire odseka za izračun spektralne amplitude šuma, zato smo jih zavrgli.



Slika 3. Seizmogram (vertikalna komponenta) potresa 31.03.1993 ob 8h 03m UTC uporabljenega v izračunih. V začetnem delu seizmograma je prikazan odsek od 5,12 sekund, ki smo ga uporabili za spektralno analizo šuma. Za izračun Q smo uporabili del seizmograma po 25 sekundah po prihodu longitudinalnih (P) valov.

Figure 3.. Seismogram (vertical component) of the earthquake on 31.03.1993 at 08h 03m UTC used in the computations. A 5.12 second segment at the beginning was used for spectral analysis of the seismic noise. For coda Q computations a segment starting 25 s after P waves arrival was used.

Iz parov $\ln[A(\omega|t)]_t$ smo po metodi najmanjših kvadratov z upoštevanjem uteži določili naklone premic enačbe (4). Ocenili smo, da 25 sekund po začetku lokalnega potresa prispeva k nihanju tal le še sipano valovanje. Čas 25 sekund je za vse uporabljene potrese več kot dvakratni čas potovanja S valovanja. Faktor dobrote Q smo ocenili za čase med 25 in 105 sekundami po prihodu primarnih valov v 10 sekundnih odsekih.

Zaradi raznolike sestave Zemlje lahko predpostavimo, da se število sipalcev spreminja z globino. Tako se bo tudi faktor Q spreminjal z globino in ne le s frekvenco. Valovanje, ki se je sipalo na večji oddaljenosti, pride na opazovalnico kasneje. Da bi ugotovili spreminjanje parametra Q z globino, smo razdelili podatke o spektralni amplitudi za določeno frekvenco na več skupin. V prvi skupini so amplitude, ki ustrezajo časom od 25 do 35 sekund. Iz podatkov te skupine smo izračunali Q za najplitvejše področje. Pri predpostavki, da je razdalja žarišče potresa - postaja enaka nič in hitrost seizmičnega valovanja 3,5 km/s, ocenimo, da je področje polkrogla s središčem na Golovcu in polmerom 61,25 km. V drugi skupini so podatki, ki ustrezajo časom od 25 do 45 sekund, v tretji do 55 sekund, itn. Razmerje signal/šum je bilo ugodno do največ 105 sekund, ki ob enakih predpostavkah ustreza oddaljenosti 184 km. Podatkom za vsako skupino posebej prilagajamo premico (4). Po metodi najmanjših kvadratov izračunamo konstantni člen in naklon premice. Iz slednjega pa pri dani frekvenci izračunamo Q .

Rezultati

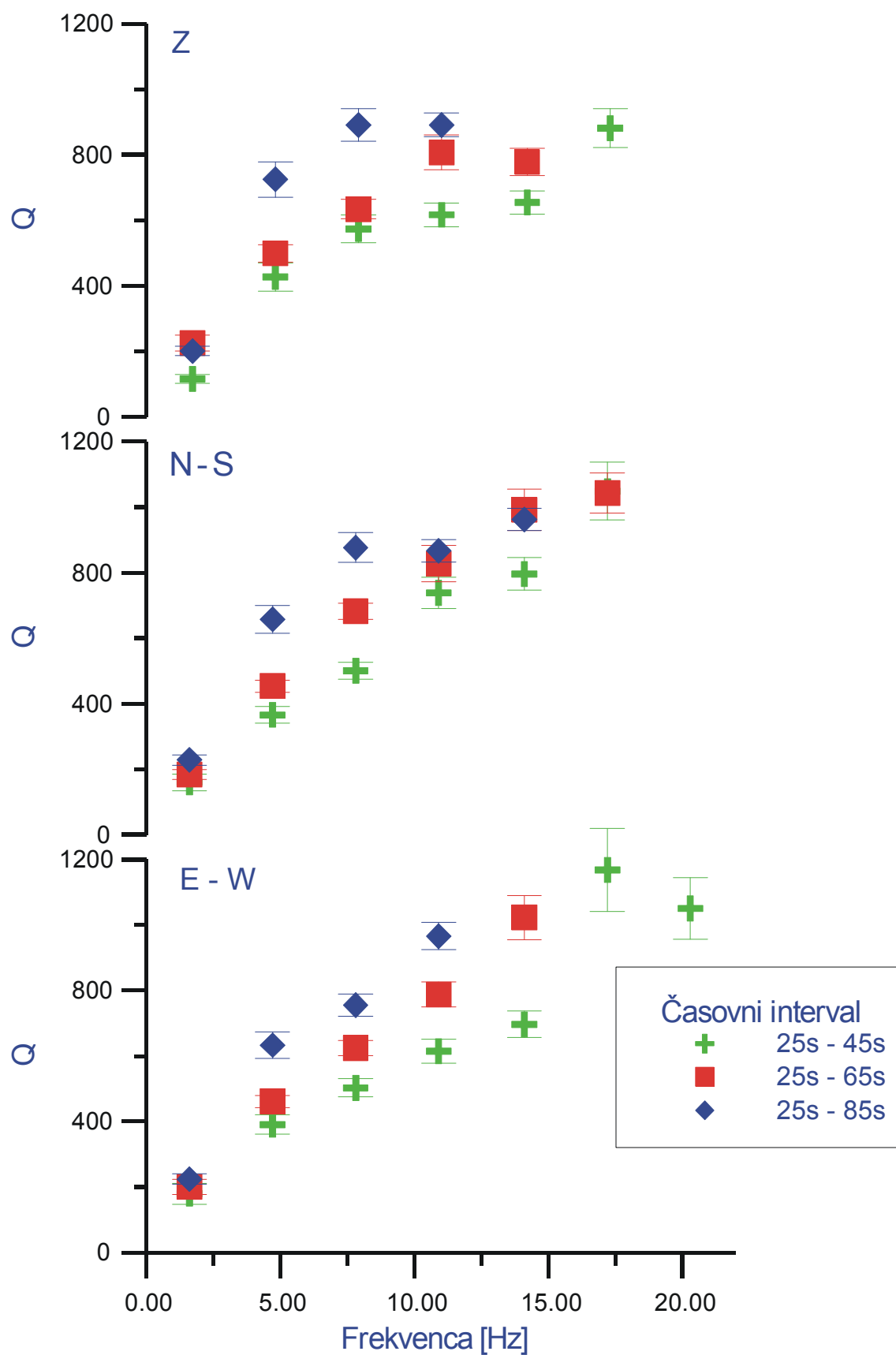
Za vse potrese smo izračunali Q pri različnih frekvencah in za različne časovne intervale. Vrednosti izračunane iz različnih potresov za izbrane frekvence in časovne intervale smo povprečili. Zavrgli smo tiste, pri katerih je bil standardni odmik večji od 50% povprečne vrednosti.

Pri določitvi parametrov za izračun smo opazili, da so vrednosti $Q(f)$ za časovni interval 25 s – 35 s nezanesljive in so odvisne od računskega postopka. Podobno, vendar v manjši meri, so bili nestabilni izračuni za dolge časovne intervale (25 s – >100 s). Tu je bila vidna odvisnost od izbranega razmerja signal/šum za določitev konca zapisa potresa.

Na podlagi teh ugotovitev smo se odločili nadaljevati analizo s časovnimi intervali med 25 s – 45 s in 25 s – 85 s ter dolžinami odsekov seizmograma za izračun spektralne amplitude 2,56 s in 5,12 s.

Na sliki 4 prikazujemo določitev faktorja Q s povprečenjem izračunov za posamezne potrese za tri časovne intervale (25 – 45, 25 – 65, 25 – 58 s) za vse tri komponente seizmograma. Vidimo, da so razlike med izračuni za različne komponente majhne, zato smo izračune pri nadaljnji analizi obravnavali kot en skupen vzorec.

Za časovne intervale, za katere smo dobili izračun faktorja dobrote pri vsaj petih frekvencah od skupno sedmih med 1,6 in 20,4 Hz, smo določili frekvenčno odvisnost Q na podlagi odvisnosti $Q(f) = Q_0 f^n$. Koeficienta Q_0 in n smo po lineariziranju zgornje enačbe določili z uteženim prilagajanjem premice izračunanim Q po metodi najmanjših kvadratov.



Slika 4. Izračunani faktorji dobrote Q za časovne intervale 25 s – 45 s, 25 s – 65 s in 25 s – 85 s za vse tri komponente zapisa seizmograma. Podane so tudi standardne deviacije rezultatov.
 Figure 4. Coda Q computed for lapse times 25 to 45 s, 25 to 65 s and 25 to 85 s for all three components. Standard deviations are shown with thin lines.

Rezultati :

$123 f^{0,69}$ za časovni interval 25 s – 45 s,

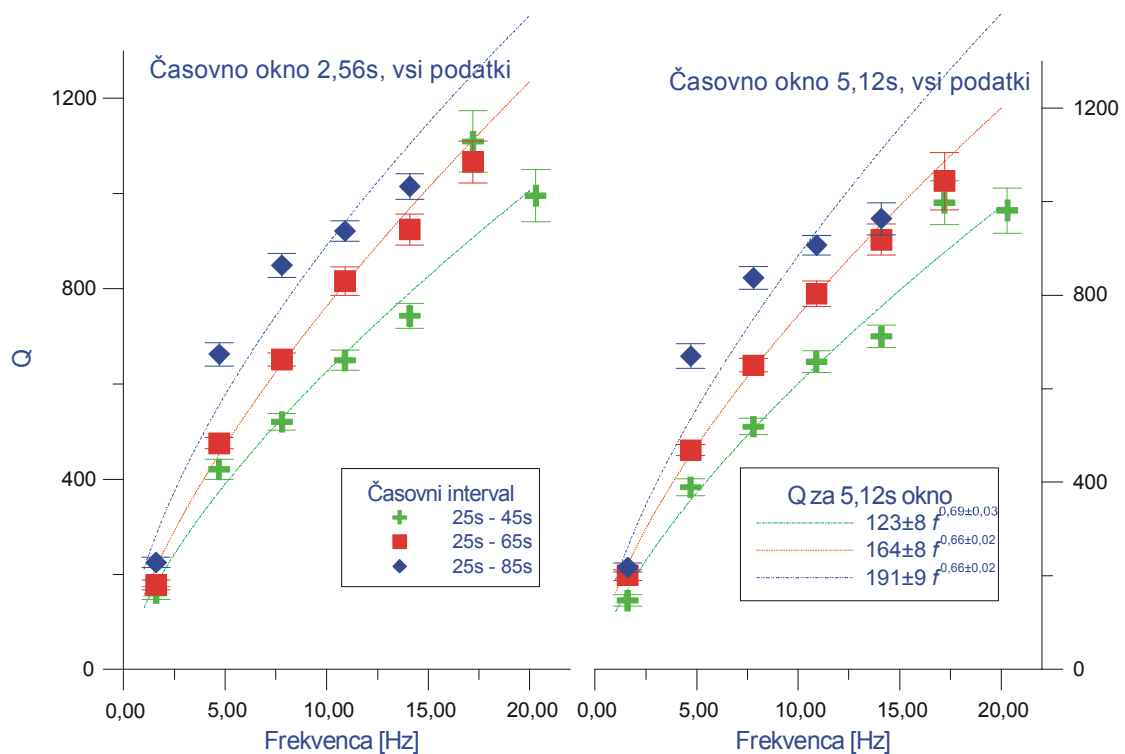
$144 f^{0,67}$ za časovni interval 25 s – 55 s,

$164 f^{0,66}$ za časovni interval 25 s – 65 s,

$178 f^{0,66}$ za časovni interval 25 s – 75 s,

$191 f^{0,66}$ za časovni interval 25 s – 85 s.

Predstavili smo rezultate za 5,12 sekund dolg odsek seizmograma za spektralno analizo. Rezultati za dolžino 2,56 sekund so enaki v okviru standardne deviacije, kar je prikazano na sliki 5.



Slika 5. Primerjava izračunanega faktorja dobrote Q iz vseh podatkov med 2,56 s in 5,12 s dolžino zapisa za spektralno analizo.

Figure 5.. Coda Q computed from all data for 2.56 s and 5.12 s window size for spectra computations.

V delu smo predpostavili model enkratnega sipanja in zanemarili razdaljo med seizmološko opazovalnico in žariščem potresa. Izračune smo naredili tudi za model enkratnega sipanja z upoštevanjem razdalje opazovalnica – žarišče, kot ga je pokazal Sato (1977). Ne glede na izbrane parametre se rezultati niso razlikovali za več kot 3%. Faktor dobrote Q , izračunan brez upoštevanja razdalje opazovalnica – žarišče, je bil za vse frekvence in časovne intervale manjši.

Zaključek

Pokazali smo model nastanka zadnjega dela seizmograma. Ko nihanje direktnega longitudinalnega in transverzalnega valovanja na opazovalnici izzveni, prevladuje na

seizmogramu le zapis sipanega valovanja. Modelirali smo gostoto energije lokalnih potresov za čase po dvakratnem času potovanja S valovanja. Na podlagi spektralnih amplitud 12 potresov smo ocenili faktor dobrote Q. Predpostavili smo, da se valovanje sipa samo enkrat.

Izračun faktorja dobrote Q smo ponovili z in brez upoštevanja razdalje med žariščem in opazovalnico. Videli smo, da se rezultati ne razlikujejo za več kot 3%.

V prihodnje mora ocenjevanje faktorja dobrote Q vključevati oceno veljavnosti poenostavitve enkratnega sipanja in razširitev modela z upoštevanjem večkratnega sipanja. Za zanesljivost rezultatov je potrebno Q določiti iz večjega števila potresov. Z zapisi popotresnih sunkov iz leta 1998 na začasni mreži potresnih opazovalnic v zgornjem Posočju bomo lahko ocenili faktor dobrote Q na omejenem področju z velikim številom zapisov potresov.

Zahvala

To delo je nastalo kot del EC »Copernicus« projekta »Quantitative Seismic Zoning of the Circum Pannonian Region«, številka pogodbe CIPA CT 94-0238 (1994-1998).

Literatura

- Aki, K. (1969): Analysis of the seismic coda of local earthquakes as scattered waves, *J. Geophys. Res.*, 74, 615-631.
- Aki, K. (1980): Attenuation of shear-waves in the lithosphere, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 21, 50-60.
- Aki, K. and B. Chouet (1975): Origin of coda waves: Source, attenuation and scattering effects, *J. Geophys. Res.*, 80, 3322-3342.
- Herak, (1991): Lapse-time dependent Qc-spectra observed in the Dinarides region, *Phys. Earth Planet. Inter.*, 67, 303-312.
- Rovelli, A. (1982): On the frequency dependence of Q in Friuli from short-period digital records, *Bull. Seism. Soc. Am.*, 72, 2369-2372.
- Sato, H. (1977): Energy propagation including scattering effects, single isotropic approximation, *J. Phys. Earth*, 25, 27-41.

MOČNEJŠI POTRESI PO SVETU LETA 2000 WORLD'S LARGEST EARTHQUAKES IN 2000

Griša Močnik¹, Maja Trnkoczy² in Renato Vidrih¹

Izvleček. Vsako leto zatrese Zemljo nekaj sto tisoč 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. Prav ta vključuje tudi naše kraje. Večina potresov je šibkih, ne povzroča gmotne škode in ne zahteva človeških življenj. Med njimi pa je vsako leto nekaj deset takih, ki povzročijo veliko razdejanje in zahtevajo smrtne žrtve. Med 82 potresi, ki so dosegli ali presegli navorno magnitudo 6,5, oziroma so povzročili večjo gmotno škodo in zahtevali človeška življenja, smo natančneje opisali 37 potresov. Potres z največ smrtnimi žrtvami je bil 4. junija na južni Sumatri, v njem so umrli 103 ljudje. Potres z največ sproščene energije je bil 16. novembra v bližini Nove Irske (Papua Nova Gvineja). Imel je navorno magnitudo 8,0. Najgloblji potres je bil 7. avgusta v Bandskem morju in je imel žarišče v globini 649 km. Leta 2000 je po svetu zaradi potresov umrlo po uradnih podatkih skoraj 210 ljudi, veliko manj kot leto prej.

Abstract. Every year the Earth is shaken by several hundred thousand earthquakes with magnitudes over 2.0 (Dolgoff, 1998), mostly originating at the geotectonic plate boundaries. Two well-defined seismic belts, the circum-Pacific and the Mediterranean-Himalayan belts, are subject to the most frequent earthquake shocks. The latter also includes the region of Slovenia. Most earthquakes are weak and do not cause any material damage and do not claim human lives. In addition to these, there are several earthquakes which result in extreme destruction and even death. There were 82 earthquakes that either reached a moment magnitude of 6.5 or more, caused major material damage, or claimed human lives. We mention 37 of them. The most devastating earthquake in 2000 occurred on 4. June on southern Sumatra, where 103 people were killed. The November 16 New Ireland (Papua New Guinea) earthquake ranks first in terms of released energy, with a moment magnitude of 8.0. The deepest earthquake occurred in the Banda sea on August 7, with a hypocentre 649 km below the surface. In 2000, earthquakes claimed almost 210 human lives, much less than the year before.

Potresi in tektonika plošč

Zemljina litosfera je sestavljena iz nekaj večjih in več manjših tektonskih plošč (slika 1). Najpomembnejše plošče so: pacifiška (tihoceanska), severno- in južnoameriška, evrazijska, afriška, avstralska in antarktična. Za svetovno potresno dejavnost pa niso nič manj pomembne številne manjše plošče. Tektonske plošče so v stalnem (sicer počasnem) gibanju. Med seboj se lahko primikajo - primične (konvergentne) meje, razmikajo - razmične (divergentne) meje, lahko pa druga ob drugi drsijo - strižne meje plošč. Severnoameriška in južnoameriška plošča se oddaljujeta od evrazijske in afriške plošče. Loči ju razmična meja, ki se kaže v srednjeatlantskem grebenu, za katerega je značilna povečana potresna dejavnost. Na nasprotni strani pa evrazijska plošča tišči v severnoameriško in drsi prek filipinske, pod katero se podriva pacifiška plošča. Ta se podriva pod več manjših plošč, ki ležijo med severnoameriško in filipinsko ploščo. Tu je podrivanje najhitrejše na Zemlji in znaša več kot 100 mm/leto. Na območju Kalifornije drsita pacifiška in severnoameriška plošča druga ob drugi (znana so številna potresna žarišča). Med pacifiško in južnoameriško ploščo pa 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.

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

²

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. V letu 2000 so medsebojna premikanja omenjenih plošč povzročila veliko potresov na celotnem območju od Sredozemskega morja do Tihega oceana, ki so bili na srečo mnogo manj uničevalni kot leto prej. Slika 1 jasno kaže povezanost tektonike plošč s potresno dejavnostjo, saj so vsi močnejši potresi nastali na stikih tektonskih plošč. Narisani so le najmočnejši svetovni potresi. Če bi izrisali nadžarišča (epicentre) vseh potresov, bi še bolje videli, da potresi nastajajo na mejah med posameznimi ploščami. Pravzaprav je prav porazdelitev potresov razkrila meje oziroma stičišča plošč.

Pregled najmočnejših potresov

V preglednici 1 so podatki o najmočnejših potresih v letu 2000 (NEIC 2000, URSG 2000). Našteti so le tisti, ki so dosegli ali preseгли magnitudo 6,5, in tisti, ki so povzročili večjo ali gmotno škodo ali zahtevali več človeških življenj. Navedeni so datum in čas nastanka potresa, izražen v svetovnem času (UTC), koordinati nadžarišča, magnituda in globina. Navedene so vrednosti magnitud M_b , M_s in M_w . Vrednosti za M_b in M_s so srednje vrednosti, določene iz podatkov, ki so jih posredovale potresne opazovalnice, ki so potres zapisale. Magnitude M_b , M_s in M_w se med seboj razlikujejo po območju veljavnosti, ki ga omejujejo oddaljenost in globina žarišča ter nihajni čas pri največji amplitudi. Magnituda M_b (body wave magnitude) je določena iz največjega odklona na zapisu navpične komponente prostorninskega valovanja v prvih 20 sekundah po prihodu vzdolžnega prostorninskega valovanja. Magnituda M_s (surface wave magnitude) je določena iz navpične komponente dolgoperiodnega površinskega valovanja. To se razvije pri potresih, katerih žarišče ni globlje od približno 50 km. M_w je navorna magnituda, ki velja tudi za najmočnejše potrese in je določena s potresnim navorom. Globina potresov je izražena v kilometrih, preglednico pa končujemo z imenom širšega nadžariščnega območja potresa; svet je razdeljen na 729 Flinn-Engdahlovih geometrijskih območij.

Preglednica 1. Seznam potresov v letu 2000, 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.

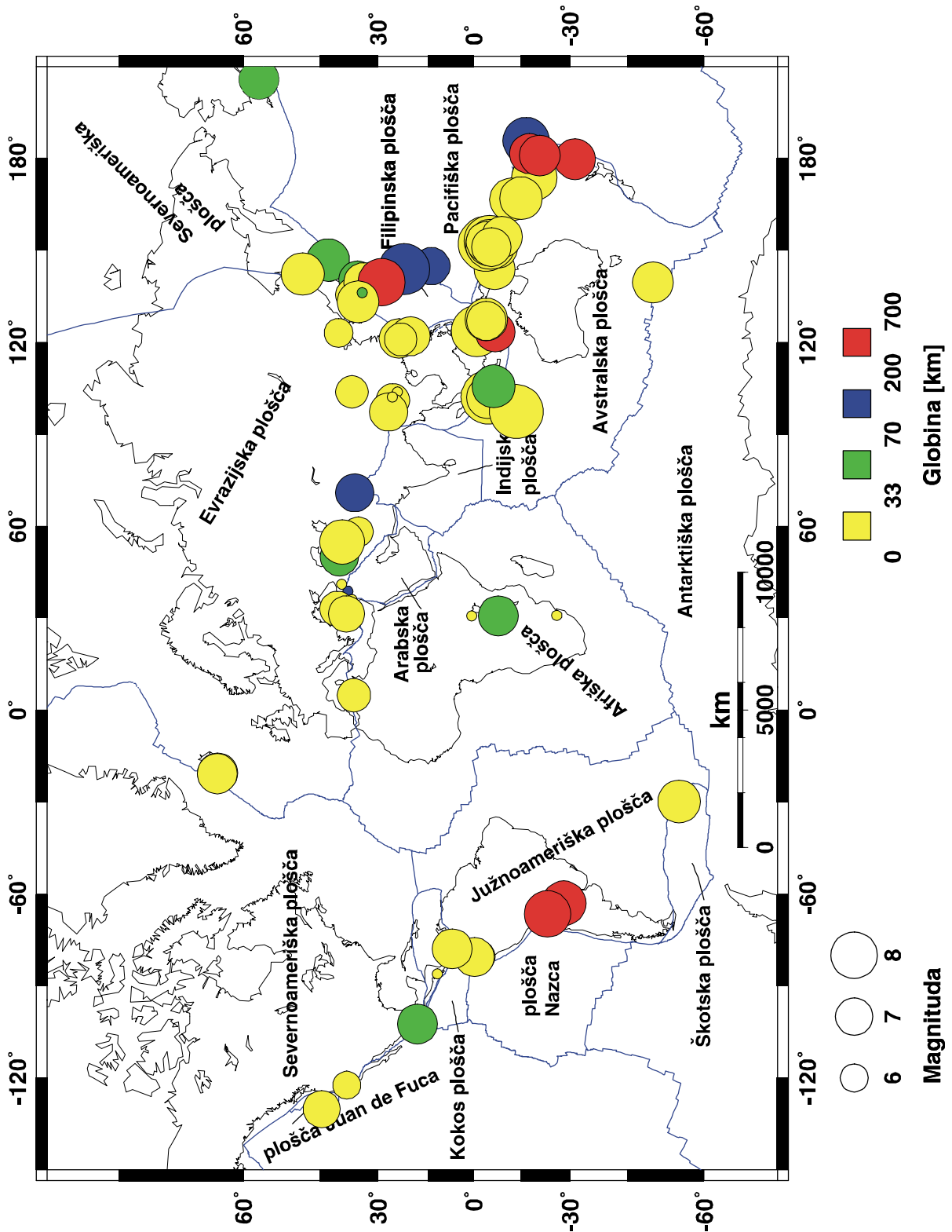
Table 1. List of earthquakes in 2000 with moment magnitudes M_w of 6.5 and over. Earthquakes with magnitudes below 6.5 which caused material damage, injuries or victims are included. The earthquakes described in the text are marked with an asterisk.

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	
08. 1.	16:47:20.5	16.925 S	174.248 W	6.5	6.6	7.2	183	otočje Tonga
09. 1.	21:54:40.4	18.823 S	174.370 E	5.6	6.4	6.5	33	otočje Fidži
11. 1.	23:43:56.4	40.498 N	122.994 E	4.9	4.7	5.1	10	severovzhodna Kitajska*
14. 1.	23:37:07.8	25.607 N	101.063 E	5.4	5.9	5.8	33	Junan, Kitajska*
26. 1.	20:55:19.1	24.263 N	103.797 E	4.9	4.5		33	Junan, Kitajska
28. 1.	14:21:07.3	43.046 N	146.837 E	6.7	6.6	6.8	61	Kurilsko otočje*
02. 2.	22:58:01.5	35.288 N	58.218 E	5.1	5.3	5.3	33	severni in centralni Iran*
06. 2.	11:33:52.2	5.844 S	150.876 E	6.6	6.8	6.6	33	Nova Britanija, Papua, Nova Gvineja
07. 2.	19:34:57.0	26.288 S	30.888 E	4.5	0.9		5	južna Afrika*
25. 2.	01:43:58.6	19.528 S	173.818 E	6.1	7.1	7.1	33	otočje Vanuatu
26. 2.	08:11:48.4	13.795 N	144.782 E	6.0	5.4	6.2	132	Mariansko otočje*
03. 3.	22:22:40.7	6.817 S	143.807 E	6.3	6.7	6.6	10	Nova Gvineja, Papua Nova Gvineja
28. 3.	11:00:22.5	22.338 N	143.730 E	6.8	7.6	7.6	127	Vulkanski otoki
23. 4.	09:27:23.3	28.307 S	62.990 W	6.6		7.0	609	Argentina
04. 5.	04:21:16.2	1.105 S	123.573 E	6.7	7.5	7.6	26	Sulavezi, Indonezija*
04. 5.	20:36:32.4	17.914 S	178.522 W	5.6		6.5	516	otočje Fidži
07. 5.	23:10:54.1	38.164 N	38.777 E	4.5	4.1		122	Turčija
12. 5.	03:01:44.4	37.049 N	36.085 E	4.7			10	Turčija*
12. 5.	18:43:18.1	23.548 S	66.452 W	6.2		7.2	232	Argentina*
17. 5.	03:25:48.7	24.223 N	121.058 E	5.4	5.3	5.4	10	Tajvan*
02. 6.	11:13:49.3	44.513 N	130.081 W	5.8	6.0	6.2	10	blizu obale Oregona, ZDA
03. 6.	08:54:49.2	35.552 N	140.464 E	5.6	5.6	6.2	62	blizu obale Honšuja, Japonska*
04. 6.	16:28:26.1	4.721 S	102.087 E	6.8	8.0	7.9	33	južna Sumatra, Indonezija*
04. 6.	16:39:45.6	4.646 S	102.102 E	6.7			33	južna Sumatra, Indonezija
06. 6.	02:41:49.8	40.693 N	32.992 E	5.5	6.1	6.0	10	Turčija*
06. 6.	10:59:09.7	37.012 N	103.791 E	5.2	5.6	5.6	10	Gansu, Kitajska
06. 6.	21:16:42.4	36.829 N	135.464 E	5.7	5.3	5.9	10	Japonsko morje
07. 6.	21:46:55.9	26.856 N	97.238 E	6.3	6.5	6.3	33	Mjanmar (Burma)
07. 6.	23:45:26.6	4.612 S	101.905 E	6.1	6.7	6.7	33	južna Sumatra, Indonezija*

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	
10. 6.	18:23:29.3	23.843 N	121.225 E	6.2	6.2	6.4	33	Tajvan*
11. 6.	11:55:12.3	50.579 S	139.550 E	5.9	6.4	6.6	10	zahodni indijsko-antarktiški greben
17. 6.	15:40:41.7	63.966 N	20.487 W	5.7	6.6	6.5	10	Islandija*
18. 6.	14:44:13.3	13.802 S	97.453 E	6.8	7.8	7.9	10	južni Indijski ocean
21. 6.	00:51:46.8	63.980 N	20.758 W	6.1	6.6	6.5	10	Islandija*
01. 7.	07:01:55.5	34.221 N	139.131 E	6.0	6.1	6.2	10	blizu obale Honšuja, Japonska*
06. 7.	19:30:20.3	11.884 N	85.988 W	5.1	5.1		33	Nikaragva*
07. 7.	00:15:30.9	40.837 N	29.218 E	4.2			9	Turčija*
11. 7.	01:32:28.5	57.369 N	154.206 W	6.3	6.2	6.5	44	otok Kodiak, Aljaska, ZDA*
12. 7.	01:10:42.6	6.675 S	106.845 E	5.2	5.0		33	Java, Indonezija*
15. 7.	01:30:30.5	34.319 N	139.260 E	5.5	5.9	6.1	10	blizu obale Honšuja, Japonska
16. 7.	03:21:45.5	20.253 N	122.043 E	6.1	6.3	6.4	33	Filipinsko otočje
16. 7.	03:57:45.5	7.747 S	150.917 E	6.3	6.4	6.6	10	Nova Britanija
17. 7.	22:53:47.3	36.283 N	70.924 E	6.0		6.3	141	Hindukuš, Afganistan*
28. 7.	20:28:12.7	23.359 N	120.915 E	5.6	5.6	5.6	33	Tajvan
30. 7.	12:25:45.5	33.901 N	139.376 E	6.0	6.5	6.5	10	jugovzhodni Honšu, Japonska
03. 8.	01:09:38.9	12.037 S	166.448 E	5.7	6.5	6.8	33	otočje Santa Cruz
04. 8.	21:13:02.7	48.786 N	142.246 E	6.3	7.1	6.8	10	otok Sahalin, Rusija*
06. 8.	07:27:12.9	28.856 N	139.556 E	6.3		7.3	395	otočje Bonin
07. 8.	14:33:55.9	7.018 S	123.357 E	6.5		6.5	649	Bandsko morje
09. 8.	11:41:47.9	18.198 N	102.480 W	6.1	6.5	6.5	46	Michoacan, Mehika*
15. 8.	04:30:08.8	31.511 S	179.725 E	6.0		6.6	358	otočje Kermadec
19. 8.	21:26:15.5	39.70 N	41.13 E	4.1			33	Turčija
21. 8.	13:25:44.5	25.826 N	102.194 E	4.9	4.2		33	Junan, Kitajska*
23. 8.	13:41:28.1	0.680 N	30.720 E	5.2	4.9		15	Turčija*
28. 8.	15:05:47.9	4.110 S	127.394 E	6.5	6.8	6.8	16	Bandsko morje
28. 8.	19:29:32.3	4.124 S	127.027 E	6.5	6.4	6.4	33	Bandsko morje
03. 9.	08:36:30.0	38.379 N	122.413 W	4.9	4.9	5.0	10	severna Kalifornija, ZDA*
20. 9.	08:37:16.3	1.885 S	80.461 W	5.4	4.8	5.5	33	blizu obale Ekvadorja*
02. 10.	02:25:31.3	7.977 S	30.709 E	6.1	6.7	6.5	34	jezero Tanganjika*

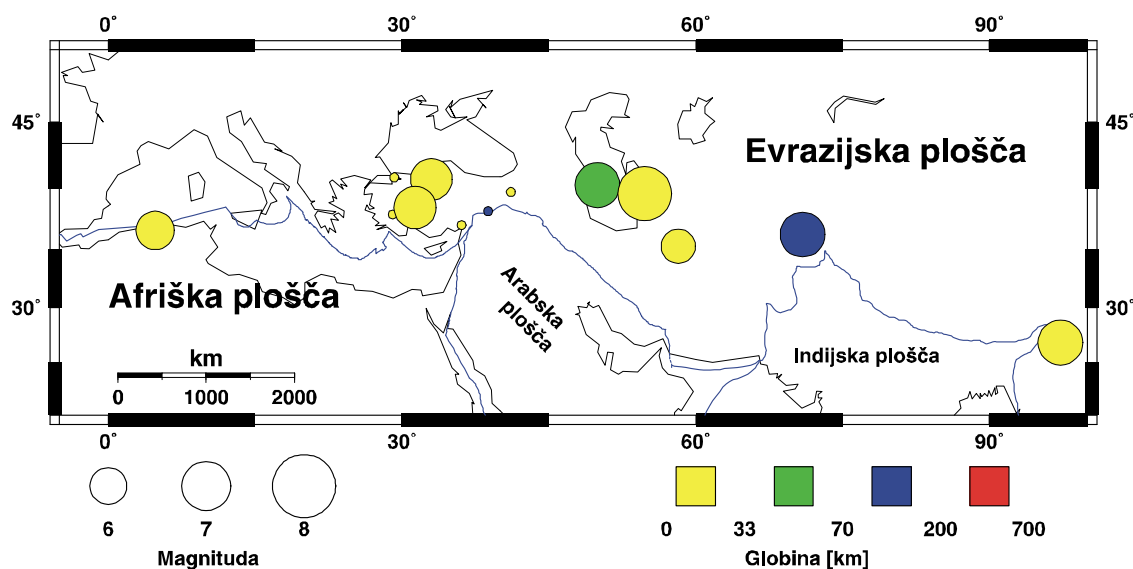
datum	čas (UTC)	koordinati		magnituda			globina	območje
	ura min sek	širina	dolžina	Mb	Ms	Mw	km	
date	time (UTC)	coordinates		magnitude			depth	area
	hour min sec	lat	lon	Mb	Ms	Mw	km	
04. 10.	02:33:57.0	37.918 N	29.046 E	4.6	4.0		8	Turčija
04. 10.	16:58:44.3	15.421 S	166.910 E	6.1	6.9	6.8	23	otočje Vanuatu
06. 10.	04:30:19.1	35.456 N	133.134 E	5.8	6.8	6.7	10	zahodni Honšu, Japonska*
25. 10.	09:32:24.0	6.507 S	105.604 E	6.3	6.6	6.8	38	ožina Sunda, Indonezija
29. 10.	08:37:08.7	4.766 S	153.945 E	6.1	6.3	6.9	50	Nova Irska, Papua Nova Gvineja
30. 10.	16:42:51.7	34.300 N	136.214 E	5.4	5.1		35	zahodni Honšu, Japonska
07. 11.	00:18:04.9	55.627 S	29.876 W		6.7	6.8	10	otočje Južni Sandwich
08. 11.	06:59:58.8	7.042 N	77.829 W	6.0	6.4	6.5	17	meja Panama – Kolumbija*
10. 11.	20:10:53.3	36.601 N	4.773 E	5.8	5.5	5.7	10	severna Alžirija*
16. 11.	04:54:56.7	3.980 S	152.169 E	6.0	8.2	8.0	33	Nova Irska, Papua Nova Gvineja*
16. 11.	07:42:16.9	5.233 S	153.102 E	6.2	7.8	7.6	30	Nova Irska, Papua Nova Gvineja
16. 11.	07:45:32.9	4.827 S	153.226 E	6.5	7.2		33	Nova Irska, Papua Nova Gvineja
17. 11.	21:01:56.4	5.496 S	151.781 E	6.2	8.0	7.5	33	Nova Britanija, Papua Nova Gvineja
18. 11.	02:05:48.8	5.097 S	153.181 E	5.9	6.6	6.7	33	Nova Irska, Papua Nova Gvineja
18. 11.	06:54:58.3	5.228 S	151.771 E	6.2	6.6	6.8	33	Nova Britanija, Papua Nova Gvineja
25. 11.	18:09:11.4	40.245 N	49.946 E	5.8		6.3	50	vzhodni Kavkaz*
06. 12.	17:11:06.4	39.566 N	54.799 E	6.7	7.5	7.0	30	Turkmenistan*
06. 12.	22:57:40.0	4.218 S	152.725 E	6.1	6.6	6.6	31	Nova Britanija, Papua Nova Gvineja
15. 12.	16:44:47.6	38.457 N	31.351 E	5.1	5.8	6.1	10	Turčija*
18. 12.	01:19:20.0	21.107 S	179.072 W	6.3		6.6	600	otočje Fidži
20. 12.	16:49:43.2	9.231 S	154.328 E	5.8	6.3	6.6	33	otočje d'Entrecasteaux
21. 12.	01:01:27.8	5.740 S	151.126 E	6.4	6.5	6.4	33	Nova Britanija, Papua Nova Gvineja

V nadaljevanju so na kratko opisane posledice potresov (v preglednici so zaznamovani z zvezdico), ki so povzročili večjo gmotno škodo, ranjene ali smrtne žrtve.



Slika 1. Porazdelitev najmočnejših potresov v letu 2000 na Zemlji, njihove globine in magnitude; velikost krožcev kaže potresno magnitudo, barva pa žariščno globino (NEIC, 2000). Narisane so tudi glavne tektonske plošče.

Figure 1. Distribution of the most powerful earthquakes in 2000, their depths and magnitudes. The size of the circle indicates the magnitude and the colour designates the focal depth (NEIC, 2000). Main tectonic plates are also shown.



Slika 2. Porazdelitev najmočnejših potresov leta 2000 v sredozemsko-himalajskem potresnem pasu, ki je za obtihomorskim drugo najdejavnejše potresno območje na Zemlji.

Figure 2. Distribution of the most powerful earthquakes in 2000 in the Mediterranean-Himalayan belt, which is, after the circum-Pacific belt, subject to the most frequent earthquake shocks.

Potres 11. 1. - severovzhodna Kitajska. V potresu v Liaoning provinci je bilo 30 oseb ranjenih, 3600 hiš uničenih in 8.800 poškodovanih. Potres so čutili v Anshanu, Dandongu, Liaoyangu, Panjinu in Shenyangu.

Potres 14. 1. - Junan, Kitajska. Potres je zahteval sedem smrtnih žrtev, 2.528 ranjencev, 92479 oseb pa je ostalo brez strehe nad glavo in več kot 41.000 hiš je bilo uničenih v centralni provinci Junan.

Potres 28. 1. – Kurilsko otočje. Čutili so ga v Južno-Kurilsku, Kunaširju in na Šikotanu, prav tako pa v Kurilsku. Dve osebi sta bili ranjeni v Nemuru, Hokaido. Čutili so ga v Misavi in Jokosuki, Honšu. Čutili so ga po večini Hokaida in severnega Honšuja, vse do območja Tokia.

Potres 2. 2. – severni in centralni Iran. V potresu je umrla ena oseba, vsaj 15 je bilo ranjenih. Poškodovanih je bilo 100 hiš, 300 hiš je bilo rahlo poškodovanih v območju Bardaskan-Kašmar.

Potres 7. 2. - južna Afrika. Ena oseba je bila ranjena, nastala je zmerna gmotna škoda in številni zemeljski plazovi v območju Mbabane-Manzini, Svaziland. Potres so čutili tudi v Paulpietersburgu.

Potres 26. 2. – Mariansko otočje. Nekaj oseb je bilo rahlo ranjenih na Guam. Šola v Santa Riti je bila poškodovana. Omrežno električno napajanje in vodovod v območju Yone sta bila prekinjena. Potres so močno čutili na Guam in Saipanu. Bila sta dva potresa v razmahu približno 1,5 sekunde - globina je bila izračunana za prvi potres.

Potres 4. 5. - Sulavezi, Indonezija. Vsaj 46 oseb je bilo mrtvih, 264 ranjenih, 30.000 oseb je ostalo brez strehe nad glavo, povzročena je bila škoda in prekinitvev omrežnega električnega napajanja v območju Luwuk, Sulawesi in na bližnjih otokih. Na Banggai je bilo

poškodovanih ali uničenih osem odstotkov hiš. Povzročena škoda je bila tudi na Pelengu. Številne hiše so bile poškodovane (VII) in v požaru je bil uničen lokalni trgovski center v Luwuk. Večji del škode vzhodno od Luwuka in na Pelengu je povzročil lokalni tsunami z velikimi valovi, ki so merili tudi do 6 metrov. Čutili (V) so ga v Gorontalo in Palu; (IV) v Manado in Tolitoli, Sulawesi. Čutili (IV) so ga v Balikpapan, Borneo in (III) na Ternate. Čutili so ga tudi v Tawau, Malezija.

Potres 12. 5. – Turčija. Nekaj oseb je bilo ranjenih, poškodovane so bile stavbe v Osmaniji. Čutili so ga v krajih Adana, Antakja in Gaziantep.

Potres 12. 5. - Provinca Jujuy, Argentina. Potres je zahteval eno žrtev med rudarji v rudniku Manto Verde v regiji Atacama, Čile. Potres so čutili v severni Argentini. Zapleten potres- šibkejšemu potresu je sledil močnejši po približno dveh sekundah.

Potres 17. 5. - Tajvan. Potres je zahteval najmanj tri žrtve in 13 ranjenih. Sprožil se je zemeljski plaz v okraju Tai-chung. Potres so čutili po celotnem centralnem in severnem Tajvanu na severu do Taipeija.

Potres 3. 6. - blizu obale Honšuja, Japonska. Ena oseba je bila ranjena. Potres je povzročil manjšo škodo v severovzhodni prefekturi Čiba. Čutili so ga po prefekturah Čiba in Ibaraki ter na območju Tokija.

Potres 4. 6. - južna Sumatra, Indonezija. V potresu so umrle vsaj 103 osebe, 2.174 pa je bilo ranjenih. Potres je povzročil veliko gmotno škodo in sprožil zemeljske plazove v območju Bengkulu; manjše število ranjenih in gmotna škoda je bila tudi na otoku Engano. Potres so čutili v južni Sumatri, v Džakarti, po celotnem Singapurju, v Džohor Bahru, Kuala Lumpurju in Petaling Džaji v Maleziji. Dogodek sta sestavljala dva potresa v razmahu 15 sekund.

Potres 6. 6. - Turčija. Vsaj dve osebi sta med potresom izgubili življenje, bilo je več kot 80 ranjenih in vsaj 4.600 gospodinjstev je bilo poškodovanih v območju Cerkes-Cubuk-Orta. Potres so močno čutili v območju Ankare, čutili pa so ga tudi v večjem delu severne in centralne Turčije in vzdolž obale Črnega morja.

Potres 7. 6. – južna Sumatra, Indonezija. Potres je zahteval eno žrtev in poškodoval vsaj 600 hiš v Lahatu. Potres so čutili v Bengkulu, Palembangu in v Džakarti.

Potres 10. 6. - Tajvan. V potresu sta dve osebi umrli zaradi srčne kapi, 36 je bilo ranjenih v območju Nan-tou. Zemeljski in skalnati plazovi so za promet zaprli nekaj avtocest v centralnem Tajvanu. Potres so čutili po celotnem Tajvanu, v Hong Kongu in na južnem delu otočja Rjukju. Podoben, vendar šibkejši potres je bil še 28. 7.

Potres 17. 6. - Islandija. Ena oseba je bila ranjena, skalnati podori so blokirali nakaj cest v Vestmannaeyjarju. Vsaj 11 hiš je bilo uničenih, poškodovanih je bilo 19 hiš in tovarna stekla, onesposobljenih je bilo veliko komunalnih vodov v Helli. Potres so čutili po celotni zahodni Islandiji.

21. 6. - Islandija. Okoli 12 hiš je bilo uničenih in 24 močno poškodovanih v regiji Grimsnes. Poškodovan je bil vodovod v območju Selfoss-Eyrarbakki-Stokkseyri. Potres so čutili v jugozahodni Islandiji in vse do Isafjordura na severu.

Potres 1. 7. - blizu obale Honšuja, Japonska. V zemeljskem plazju, ki ga je povzročil potres, je ena oseba umrla, bilo je nekaj ranjenih, nastala je manjša škoda na otokih pred Tokijskim zalivom. Potres so čutili v širši okolici Tokija. Nastal je lokalni tsunami z zabeleženo višino valov do 7 cm v Minamiizu. Tudi potresa 15. 7. in 30. 7. na istem območju sta poškodovala več hiš in sprožila zemeljske plazove, bilo pa je tudi več ranjenih.

Potres 6. 7. - Nikaragva. Potres je zahteval sedem smrtnih žrtev, 42 ranjenih, uničil 357 hiš in poškodoval 1.130 hiš v območju Masaja. Potres so čutili v celotni Nikaragvi.

Potres 7. 7. - Turčija. Ena oseba je umrla zaradi srčnega napada, sedem je bilo ranjenih v območju Gebze, 27 pa v območju Kartala. Potres so močno čutili v območju Istanbula.

Potres 11. 7. – otok Kodiak, Aljaska, ZDA. Nekaj manjše škode je nastalo na Kodiaku. Čutili so ga po celotni južni Aljaski vse do Fairbanksa na severu. Dogodila sta se dva potresa v razmahu 1,5 sekunde.

Potres 12. 7. – Java, Indonezija. Šest oseb je bilo ranjenih, veliko hiš po zahodni Javi pa poškodovanih. Potres so čutili tudi v Džakarti.

Potres 17. 7. - Hindukuš, Afganistan. Dve osebi sta umrli v Pešavaru v Pakistanu pri zrušitvi trinadstropne zgradbe. Čutili so ga v Kašmirju, severni Indiji, severnem Pakistanu in vse do Kabula v Afganistanu.

Potres 4. 8. – otok Sahalin, Rusija. V potresu je bilo osem oseb ranjenih, 19.100 ljudi je ostalo brez strehe nad glavo, 1.390 hiš je bilo poškodovanih; sproženi zemeljski plazovi so uničili ceste in daljnovode v območju Ulegorsk-Makarov. Škodo so ocenili na približno 920.000 dolarjev. Potres so čutili tudi na severu Hokaida, Japonska.

Potres 9. 8. - Michoacan, Mehika. Ena oseba je bila ranjena, nekaj škode je nastalo na zgradbah, povzročene so bile tudi prekinitve omrežnega električnega napajanja v Lazaro Cardenas. Potres so močno čutili v Michoacan in sosednjih državah ter v Mexico Cityju. Čutili so ga tudi po celotni centralni in južni Mehiki.

Potres 21. 8. - Junan, Kitajska. Potres je zahteval eno žrtev, 406 ranjenih, čez 169.000 oseb pa je ostalo brez strehe nad glavo. Povročil je veliko škodo po deželi Wuding.

Potres 23. 8. - Turčija. Vsaj 22 oseb je bilo ranjenih na območju Adapazari. Potres so čutili v območjih Adapazari, Bursa, Istanbula in Jalova.

Potres 3. 9. - severna Kalifornija, ZDA. Vsaj 41 oseb je bilo ranjenih na območju Nape. Potres je povzročil tudi močne poškodbe. Čutili so ga v večjem delu severne Kalifornije od Sacramenta na vzhodu do Santa Rose na zahodu in na jugu do okolice San Francisca.

Potres 20. 9. – blizu obale Ekvadorja. Potres je zahteval eno smrtno žrtev in povročil nekaj škode na objektih v provinci Manabi. Potres so čutili tudi v Guayaquilu. Podoben potres 28. 9. je povzročil manjšo škodo v Chone in v Quitu. Čutili so ga v celotnem Ekvadorju.

Potres 2. 10. – jezero Tanganjika. V regiji Rukwa v Tanzaniji je bilo v potresu šest oseb ranjenih, vsaj sedem hiš uničenih in 150 poškodovanih. Močno so ga čutili v velikem delu regije Rukwa, pa tudi na severovzhodu Zambije in v vzhodni provinci Katanga, Demokratska Republika Kongo.

Potres 6. 10. - zahodni Honšu, Japonska. Vsaj 130 oseb je bilo ranjenih, 2.230 zgradb poškodovanih, 104 hiše uničene, sedem mostov porušeni in sproženi 65 zemeljskih plazov v območju Okajama-Totori. Potres so čutili v večjem delu jugozahodnega Honšuja in po celem Šikokuju in Kjušuju.

Potres 8. 11. – meja Panama in Kolumbija. V območju Jurado, Kolumbija sta bili dve osebi lažje ranjeni, 86 hiš in nekaj javnih zgradb poškodovanih. Potres so čutile tudi osebe v visokih stolpnih v Medelinu in Caliju.

Potres 10. 11. - severna Alžirija. Ena oseba je umrla v Bougi in ena v Chemini. Dvanajst oseb je bilo ranjenih in vsaj sedem hiš uničenih v Beni Ourtilane.

Potres 16. 11. - Nova Irska, Papua, Nova Gvineja. To je bil potres z največ sproščene energije leta 2000 - navorna magnituda je bila 8,0. V Duke of York je ena oseba izgubila življenje, kot posledica zemeljskega plazov na Novi Irski pa še druga. Vsaj 5.000 oseb je ostalo brez strehe nad glavo na Bougainville, Buki, Duke of York, Novi Britaniji in Novi Irski. Potres in povzročeni tsunami z večmetrskimi valovi sta povzročila obširno škodo na Duke of York, Novi Britaniji in Novi Irski. Veliko število zemeljskih plazov se je sprožilo v južni Novi Irski. Škodo je povzročil tudi tsunami vzdolž zahodne obale Bougainville in na Buki. Pri ustju reke Kamdaru na Novi Irski so opazili posedanja zemljišča do 2-3 m na dolžini več sto metrov. Opazili so tudi pljuske do 1 m višine v vodnih zbiralnikih in plavalnih bazenih v Rabaulu na Novi Britaniji. Istega in naslednjega dne sta bila še dva močna potresa, prvi je povzročil dodatno škodo.

Potres 25. 11. - vzhodni Kavkaz. Potres je zahteval pet žrtev zaradi padajočih ruševin, 23 oseb je umrlo kot posledica srčne kapi, več kot 430 je bilo ranjenih. V območju Bakuja v Azerbajdžanu je nastala večja gmotna škoda. Tri osebe so bile ubite naslednji dan v eksploziji zemeljskega plina, ki je puščal iz ventila, poškodovanega med glavnim potresnim sunkom. Potres so čutili v Azerbajdžanu, delu Turkmenistana, na jugu Rusije ob meji z Azerbajdžanom, v Gruziji in v severnem Iranu.

Potres 6. 12. - Turkmenistan. V potresu je umrlo vsaj 11 oseb, nekaj je bilo ranjenih. Potres je povzročil škodo v območju Nebitdag-Turkmenbaši. Potres so čutili v Turkmenistanu, južni Rusiji in vse do Moskve na severu, pa tudi v severnem Iranu, v Bakuju, Azerbajdžan, in Spitaku, Armenija.

Potres 15. 12. - Turčija. Vsaj šest oseb je v potresu izgubilo življenje, 41 je bilo ranjenih in nekaj hiš je bilo poškodovanih v območju Afjon-Bolvadin. Čutili so ga v večjem delu zahodno-centralne Turčije.

Literatura

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

NEIC, 2000: Significant Earthquakes of the World. US Department of the Interior. Geological Survey, National Earthquake Information Center,

URSG, 2000: Preliminarni seizmološki bilten, 2000. Uprava Republike Slovenije za geofiziko in Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana.

ZMANJŠEVANJE POTRESNE OGROŽENOSTI IN NOVA SVETOVNA KARTA POTRESNE NEVARNOSTI EARTHQUAKE RISK REDUCTION AND NEW GLOBAL SEISMIC HAZARD MAP

Renato Vidrih¹

***Izvleček.** Ker je bilo zadnje desetletje 20. stoletja namenjeno zmanjševanju žrtev ob naravnih nesrečah (UN/International Decade of Natural Disaster Reduction), med drugim tudi ob potresih, so seizmologi iz celega sveta v okviru programa GSHAP (The Global Seismic Hazard Assessment Program) pripravili novo karto potresne nevarnosti sveta (Global Seismic Hazard Map). Ovrrednotenje potresne nevarnosti je predstavljeno s projektnim pospeškom tal za povratno dobo potresov 475 let. Ta povratna doba ustreza 90% verjetnosti, da izračunane vrednosti ne bodo presežene v 50 letih.*

***Abstract.** As the last decade of the 20th century was directed at reducing the number of victims of natural disasters, including earthquakes, seismologists from all over the world drew up a new Global Seismic Hazard Map in the framework of the GSHAP (Global Seismic Hazard Assessment) Programme. Seismic hazard assessment is represented by design ground acceleration for a return period of 475 years. This return period corresponds to a 90% probability that the calculated values will not be exceeded in 50 years' time.*

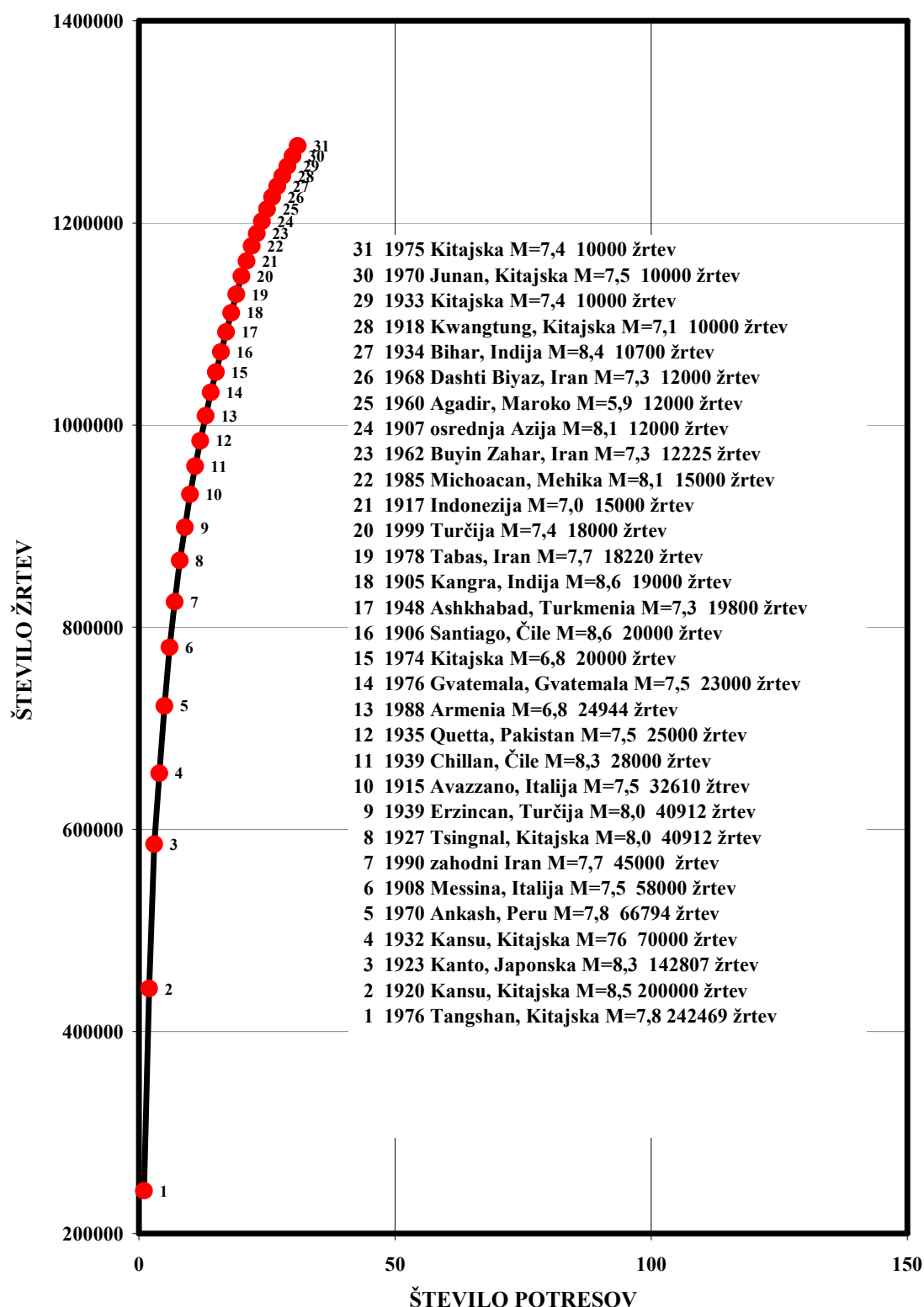
Več sto strokovnjakov iz celega sveta, med njimi tudi sodelavci Agencije RS za okolje, urada za seizmologijo (takrat Uprave RS za geofiziko), so bili združeni v tri glavne skupine, in sicer prvo za območje Severne, Južne in Centralne Amerike, drugo skupino za Azijo, Avstralijo in Oceanijo in tretjo skupino za območje Evrope, Afrike in Bližnjega vzhoda. Program GSHAP so izvajali od leta 1992 do 1999.

Uvod

Številne naravne nesreče, med njimi tudi potresi, so v preteklosti povzročile ogromno gmotno škodo in zahtevale veliko življenj. Po znanih podatkih je bila največja naravna katastrofa potres 23. januarja 1556 v kitajski pokrajini Shansi, ob katerem je po nekaterih podatkih umrlo 830.000 ljudi. Naštejmo še nekaj najmočnejših potresov v zgodovini (do 20. stoletja) in se omejimo na tiste, ki so zahtevali največ žrtev. Oktobra 1737 je potres v Calcutti v Indiji zahteval 300.000 življenj, potres v Aleppu v Siriji avgusta 1138 je povzročil smrt 230.000 ljudi. Decembra 856 je potresni sunek v Damghamu v Iranu zahteval 200.000 žrtev. Marca 893 je v Ardabilu v Iranu umrlo 150.000 ljudi. Septembra 1290 je potres v kitajski provinci Chihli zahteval 100.000 smrtnih žrtev. Potres v Shemakhi na Kavkazu je novembra 1667 zahteval 80.000 žrtev. Novembra 1727 je bilo ob potresnem sunku v Tabrizu v Iranu mrtvih 77.000 ljudi.

V Evropi so močni potresi večja redkost, vendar je potres novembra 1755 v Lizboni na Portugalskem terjal 70.000 smrtnih žrtev, potresa leta 1268 in 1693 na Siciliji v Italiji pa vsak po 60.000 življenj. Tudi sunek leta 1783 v Kalabriji v Italiji je povzročil smrt 50.000 ljudi (Coburn in sod., 1989).

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



Slika 1. Nekateri najmočnejši potresi v 20. stoletju, ki so zahtevali številna življenja. V pregledu ni vključen potres, ki je nastal junija 1990 v Iranu in je terjal 50.000 življenj. Skupno je v tem stoletju ob potresih umrlo okoli 1,4 milijona ljudi (Coburn in sod., 1989).
 Figure 1. Some of the strongest earthquakes of the 20th century that claimed many lives. The June 1990 Iran earthquake, which took 50,000 lives, is not included. In this century, a total of 1.4 million people lost their lives due to earthquakes (Coburn et al., 1989).

Glavni vzroki velikega števila žrtev

Večina smrtnih žrtev je bila le ob nekaj najmočnejših potresih. Samo v 20. stoletju je bilo več kot tisoč močnih potresov ($M \geq 7,0$), toda le v tridesetih od teh (manj kot 3%) je umrlo po več kot 10.000 ljudi. Skupno je v 20. stoletju v petih potresih umrlo več kot polovica vseh žrtev, 80% žrtev pa je bilo ob dvajsetih močnih potresih (Coburn in sod., 1989).

Najpogostejši vzroki katastrofalnih posledic, ki jih zahtevajo potresi, so predvsem:

- nastanek žarišča potresa z veliko intenziteto v zelo gosto naseljenem mestu ali regiji
- obsežno rušenje zgradb
- obsežni sekundarni pojavi (požari, plazovi, poplave...)
- onesposobitev lokalnega prebivalstva za samopomoč

Na podlagi izkušenj, pridobljenih po katastrofalnih potresih, so priporočljivi splošni ukrepi, ki pripomorejo k zmanjševanju izredno velikega števila smrtnih žrtev:

- postopno zmanjševanje števila potresno nevarnih objektov
- zagotovitev učinkovitih metod reševanja v primeru potresa
- zmanjševanje sekundarnih posledic potresov

Ob potresih največ ljudi umre zaradi porušitev zgradb, kar 75%. (Lahko rečemo, da sam potres ne zahteva smrtnih žrtev, temveč so žrtve zaradi slabo zidanih objektov.) Največ žrtev je v zidanih objektih, ki so zgrajeni iz sušene opeke ter neobdelanega kamna, in v drugih zidanih objektih brez potresnih vezi.

Zaradi potresne dejavnosti v 20. stoletju je bilo število žrtev pred letom 1950 okoli 16.000 letno, po letu 1950 pa je povprečno število smrtnih žrtev letno okoli 14.000. Ta razlika ne kaže realnega upadanja števila žrtev, namreč pred letom 1950 je bilo osem zelo močnih potresov na zelo naseljenih območjih, po letu 1950 pa le dva. Razmere za zagotavljanje zadovoljivih pogojev za potresno varno življenje so kritične, saj je letni prirastek človeštva 1,6 odstoten. To pomeni podvojitve prebivalstva v 40 letih. Ustrezno temu bi se potresna ranljivost objektov morala v 40 letih prepoloviti, da bi ostali na istih letnih pričakovanih smrtnih žrtvah ob potresih. Povprečne potresne ranljivosti objektov pa žal ni mogoče tako hitro zmanjševati. Število ogroženih ljudi, ki živijo v potresno ranljivih objektih, se tako povečuje. Razmere so seveda zelo različne v različnih predelih sveta; v razvitih državah se potresna varnost ljudi povečuje, medtem ko se razmere v nerazvitih predelih slabšajo. Naraščajoče število prebivalcev v nerazvitem svetu povzroča, da je vedno več ljudi izpostavljenih potresni nevarnosti.

Zmanjšanje števila žrtev

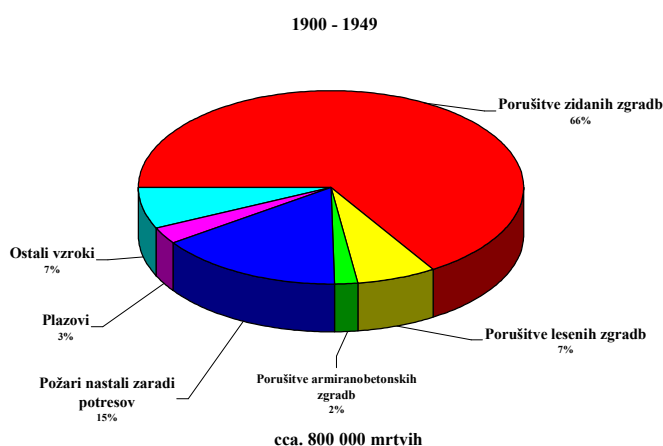
Bistveni ukrepi za zmanjševanje števila smrtnih žrtev ob potresih so (Coburn in sod., 1989):

- povečanje varnosti objektov
- gradnja na potresno varnih območjih
- zmanjševanje gostote naseljenosti
- hitro reševanje ljudi iz ruševin
- napovedovanje potresov

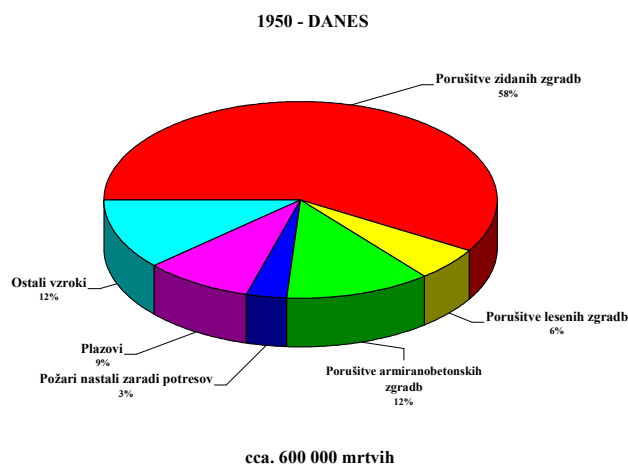
V ta namen je bila narejena tudi nova svetovna karta potresne nevarnosti. Nova prognostična karta potresne nevarnosti sloni na izračunih, ki temeljijo na sledečih postavkah:

- poenotenem katalogu potresov, ki velja tako za zgodovinske potrese (pred letom 1900), obdobje zgodnjih zapisovanj (med 1900 in 1964) in obdobje instrumentalnega zapisovanja (po letu 1964);
- poenotenih potresnih izviroh: enoten model, ki opisuje prostorsko in časovno razporeditev potresnih žarišč, upoštevanje katalogov potresov, seizmotektoniko, paleoseizmologijo, geomorfologijo, aktivne prelome, geodetske meritve deformacij Zemljine skorje, daljinsko zaznavanje in geodinamične modele;
- merjenju premikov tal; evaluacija zemeljskih premikov v odvisnosti od velikosti in oddaljenosti potresa z upoštevanjem učinkov kot posledico različnih valovanj v različnih tektonskih in strukturnih okoljih, ocenjevanje škode objektov z intenzivnimi lestvicami in instrumentalnim beleženjem največjih premikov;
- izračunu potresne nevarnosti (seizmičnega hazarda); izračun možnosti nastanka potresa na določenem območju za različne povratne dobe in izdelava kart potresne nevarnosti.

GLAVNI VZROKI ŽRTEV ZARADI POTRESOV



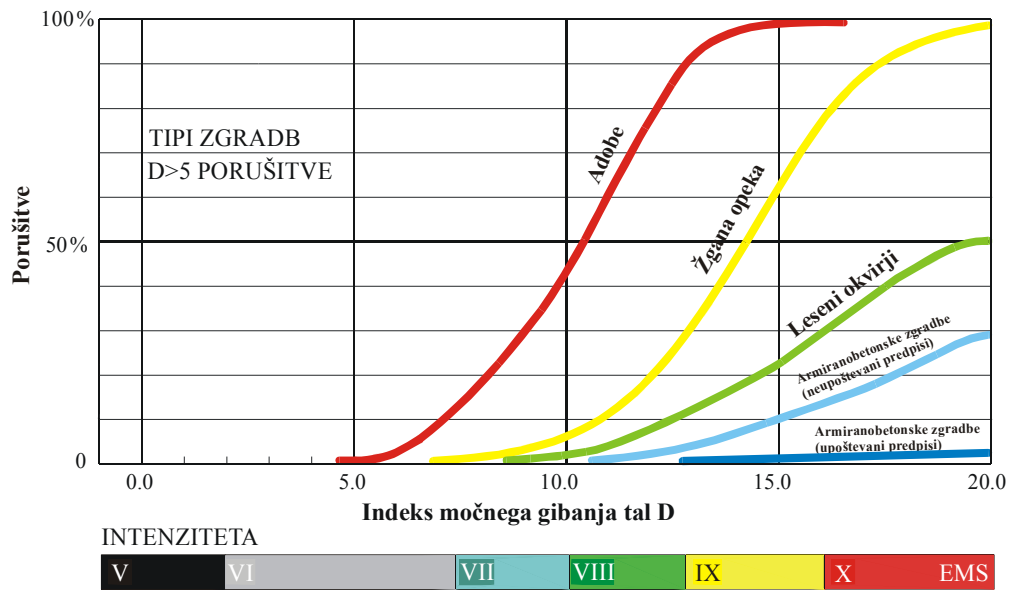
GLAVNI VZROKI ŽRTEV ZARADI POTRESOV



Slika 2. Glavni vzroki, ki zahtevajo življenja, so porušitve zidanih zgradb, zanimivo pa je tudi, da je bilo pred letom 1950 veliko število žrtev zaradi požarov. Med ostalimi vzroki so srčne kapi od strahu, skakanje skozi okna in podobno (Coburn in sod., 1989).

Figure 2. The main cause of lost life is the destruction of buildings. The interesting thing is that, prior to 1950, there were heavy casualties due to fires. Other causes include heart attacks from fear, jumping out of windows and the like (Coburn et al., 1989).

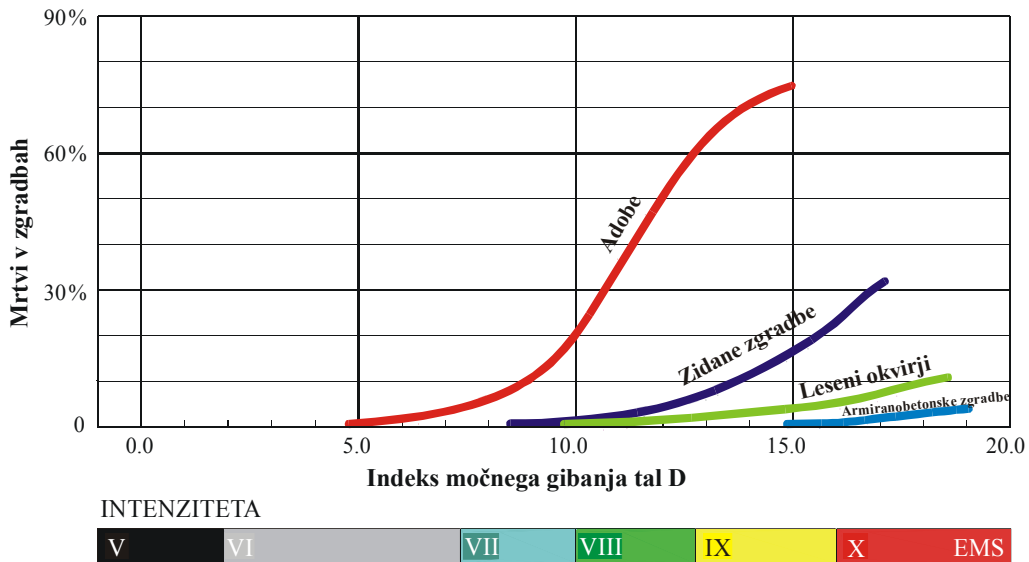
VERJETNOST PORUŠITEV V ODVISNOSTI OD TIPIA ZGRADB



Slika 3. Verjetnost porušitev od tipa zgradb nam kaže, da so najnevarnejši objekti, ki se začnejo podirati že pri manjših intenzitetah, zgrajeni iz na zraku sušene opeke (adobe), najbolj pa so potresno varno zgrajene armiranobetonske zgradbe ob upoštevanju predpisov o potresno varni gradnji (Coburn in sod., 1989).

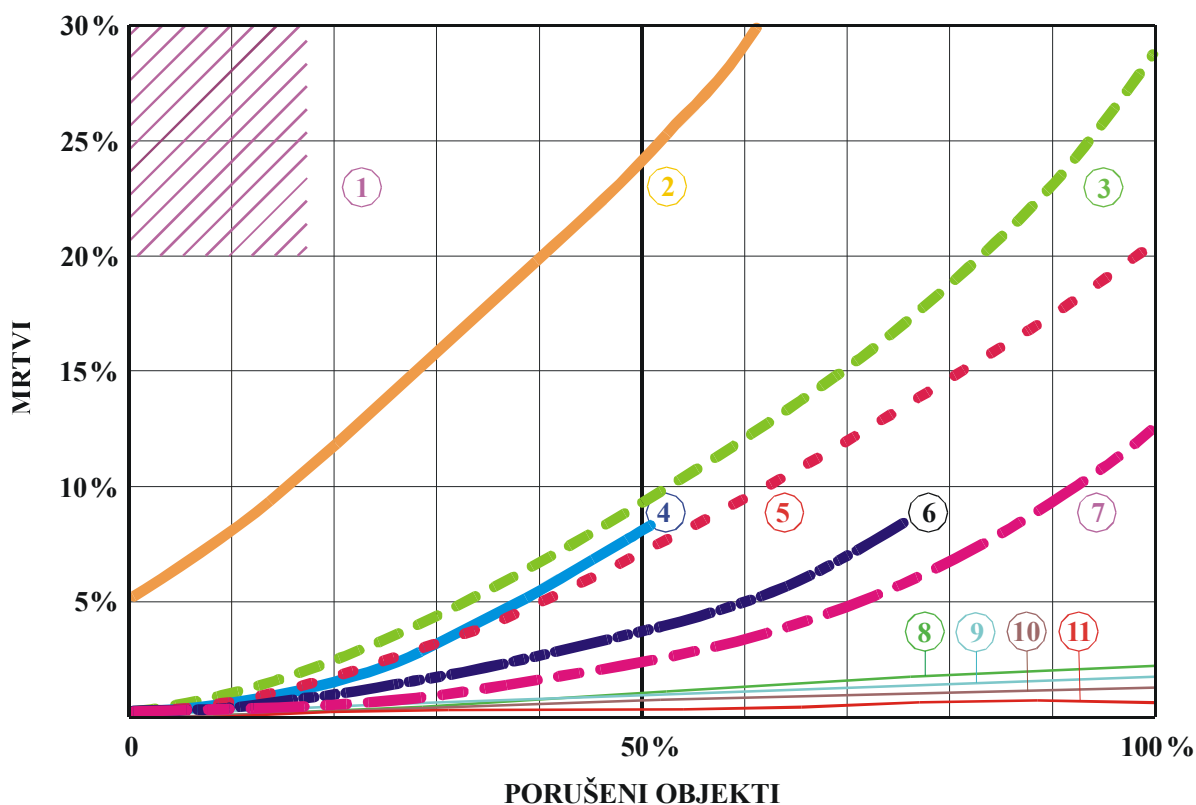
Figure 3. The probability of collapse depending on the building type indicates that the most dangerous buildings, which start collapsing even at lower intensities, are made of adobe, whereas the best earthquake-resistant buildings are made of reinforced concrete in line with seismic safety regulations (Coburn et al., 1989).

SMRTNE ŽRTVE PRI RAZLIČNIH TIPIH ZGRADB



Slika 4. Podobno stanje, kot odvisnost porušitve od tipa zgradb, nam kaže verjetnost smrtnih žrtev v objektih. Največ mrtvih je v slabo zgrajenih zgradbah iz na zraku sušene opeke. Ob potresih pa se najboljše obnašajo konstrukcije z lesenimi okvirji in seveda dobro grajene armiranobetonske zgradbe (Coburn in sod., 1989).

Figure 4. A similar situation as indicated by the dependence of collapse on building types is revealed by the probability of casualties in buildings. The number of casualties is the highest in poorly constructed buildings made of adobe. Wooden-frame constructions and reinforced concrete buildings are the best in earthquakes (Coburn et al., 1989).



- 1...armiranobetonske zgradbe (Mehika, San Salvador, Armenija),
- 2...posamezne vasi v vzhodni Turčiji (neobdelan kamen),
- 3...povprečne vasi v vzhodni Turčiji (neobdelan kamen),
- 4...zidane stavbe – evropski potresi,
- 5...zidane stavbe na Kitajskem (štirje potresi 1960 – 1979)
- 6...stavbe iz obdelanega kamna v Italiji (potres leta 1930),
- 7...stavbe iz obdelanega kamna v Italiji (potres leta 1980),
- 8...lesene hiše (leseni okvirji) na Japonskem (potres leta 1900),
- 9...San Francisco (potres leta 1972)
- 10...lesene hiše (leseni okvirji) na Japonskem (potres leta 1940) in
- 11...lesene hiše (leseni okvirji) na Japonskem (potres leta 1970)

Slika 5. Število žrtev pri poružitvah objektov ob potresu (Coburn in sod., 1989).

Figure 5. Number of people killed per building collapse for different building types (Coburn et al., 1989).

Izdelava kart potresne nevarnosti

Pri vsem poznavanju tehnologije gradnje je zelo pomembna seizmičnost, ki jo seizmologi pripišejo posameznim območjem. Pri tem so zelo pomembne geološke, seizmotektonske in seizmogeološke raziskave. Temeljni pa so še vedno podatki o potresih, ki so v preteklosti nastali na posameznem območju. Za Slovenijo imamo na voljo katalog potresov od leta 792 n. št. dalje. Služi nam za verodostojno izdelavo kart potresne nevarnosti. Na območjih, kjer podatkov o potresni dejavnosti v preteklosti ni, so slabi ali jih je manj, se pogosto dogaja, da je možni vpliv potresa podcenjen. Zato lahko vsak močnejši dogodek povzroči izračun novih vrednosti potresne nevarnosti (Vidrih, Godec, 1997).

Glavni napredek nove svetovne karte potresne nevarnosti je pravzaprav v poenotenju kriterijev določitve nevarnosti. Mnogokrat se je v preteklosti dogajalo, da so v določenih predelih seizmologi potresno nevarnost zmanjševali, nekje drugje pa dvigovali, kar je bilo

pač v določenem trenutku »pomembnejše« (Primer tovrstnega početja je razkril potres 27. maja 1995 na otoku Sahalinu, kjer je bila potresna nevarnost podcenjena. Odkritje nafte in zlata je povzročilo veliko naseljevanje otoka, za kar je bilo potrebno na hitro zgraditi stanovanjske hiše, ne oziraje se na kvaliteto. Potres je petnadstropne hiše, tako imenovane »hruščovke«, spremenil v kupe ruševin. V mestu Neftegorsk je bilo porušenih 80% vseh stanovanjskih objektov).

Poenotenje karte potresne nevarnosti pa predstavlja tudi velik napredek pri zavarovanju objektov. Na območjih, kjer je potresno tveganje izjemno veliko, je tudi zavarovanje bistveno višje. Med prvimi v svetu, ki so uvedli potresno zavarovanje, so seveda Japonci. Njihove izkušnje kažejo, da se navkljub visokim premijam zanj odloča vedno več prebivalcev. Objekte so razdelili na lesene in ostale. Na potresno najbolj nevarnih območjih je zavarovanih več kot 20% objektov, povprečje na Japonskem pa je 12,6%, kar je po zadnjih podatkih največji odstotek na svetu.

Potresno najdejavnejša območja na svetu

Večina potresno najbolj ogroženih območij na Zemlji je znanih že dolgo časa. To so predvsem območja na stikih večjih in manjših tektonskih plošč (glej članek »Močnejši potresi po svetu leta 2000« v tej publikaciji).

Najdejavnejši potresni pas na Zemlji obkroža Pacifik. Tu se sprosti največ potresne energije, saj vsi dobro poznamo močne potrese na Kurilih, Japonskem, otočju Ryukyu, Filipinih. Na drugi strani se pas vleče vzdolž obale Južne Amerike, Mehike, Kalifornije. Naslednji pas, ki se vleče od Sredozemlja (severna Afrika, Pireneji, Alpe, Dinaridi, Apenini, Helenidi), preko Anadolidov, Iranidov tja do Himalaje in naprej preko Indonezijskega otočja, se pridruži pasu, ki obkroža Pacifik. V teh dveh pasovih se sprosti več kot 70% celotne potresne energije, ki se letno sprosti na našem planetu.

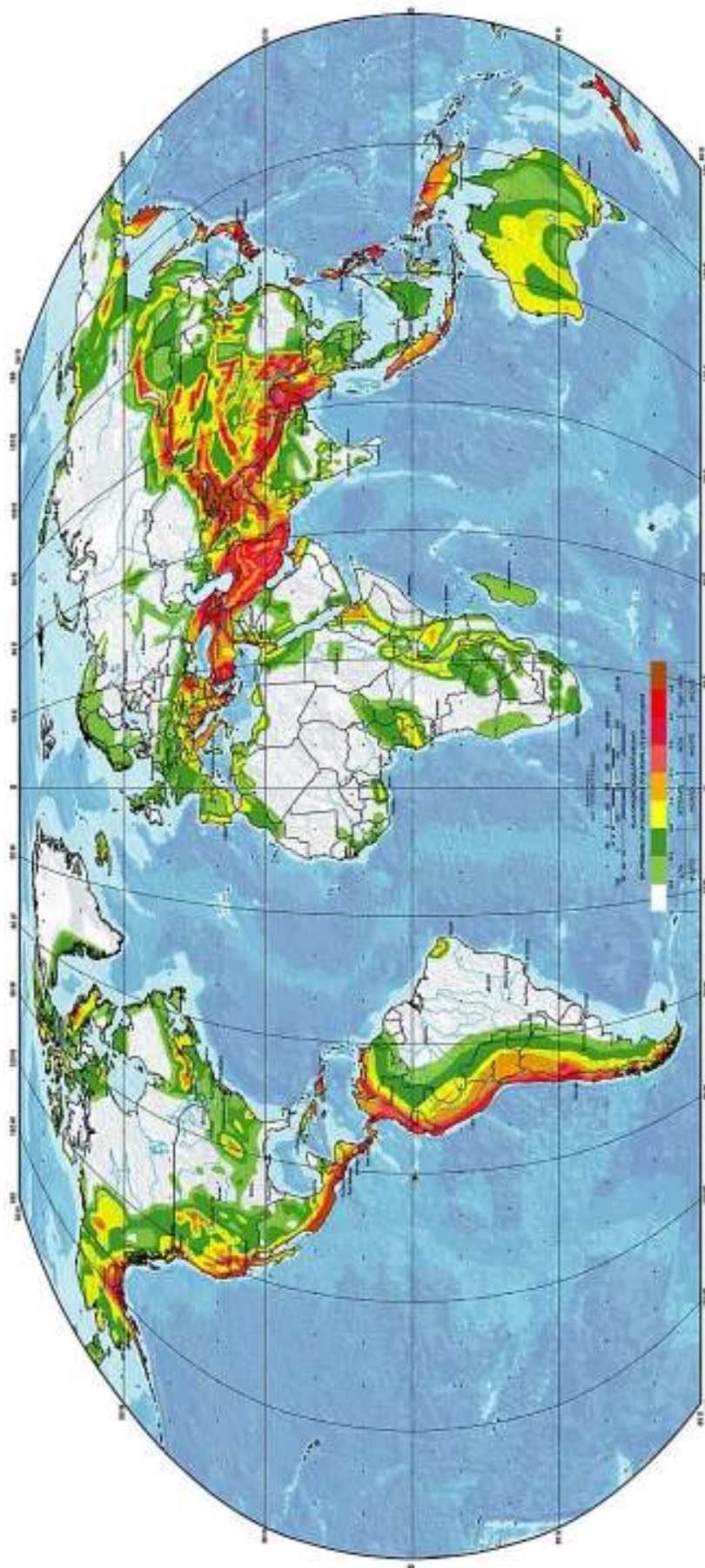
Primerjava intenzitet in pospeškov

Za primerjavo pospeškov, na katerih temelji nova svetovna karta potresne nevarnosti in pa vrednosti intenzitet, ki so bile prikazane na večini dosedanjih kart potresne nevarnosti (še vedno veljavna karta potresne nevarnosti Slovenije, kjer so vrednosti podane v stopnjah MSK (EMS) intenzitetne lestvice), navajam oceno velikosti pospeškov pri posameznih stopnjah.

MSK (EMS)	Pospešek (m/s ²)
VI	0,05g = 5%
VII	0,1g = 10%
VIII	0,2g = 20%
IX	0,3 = 30%

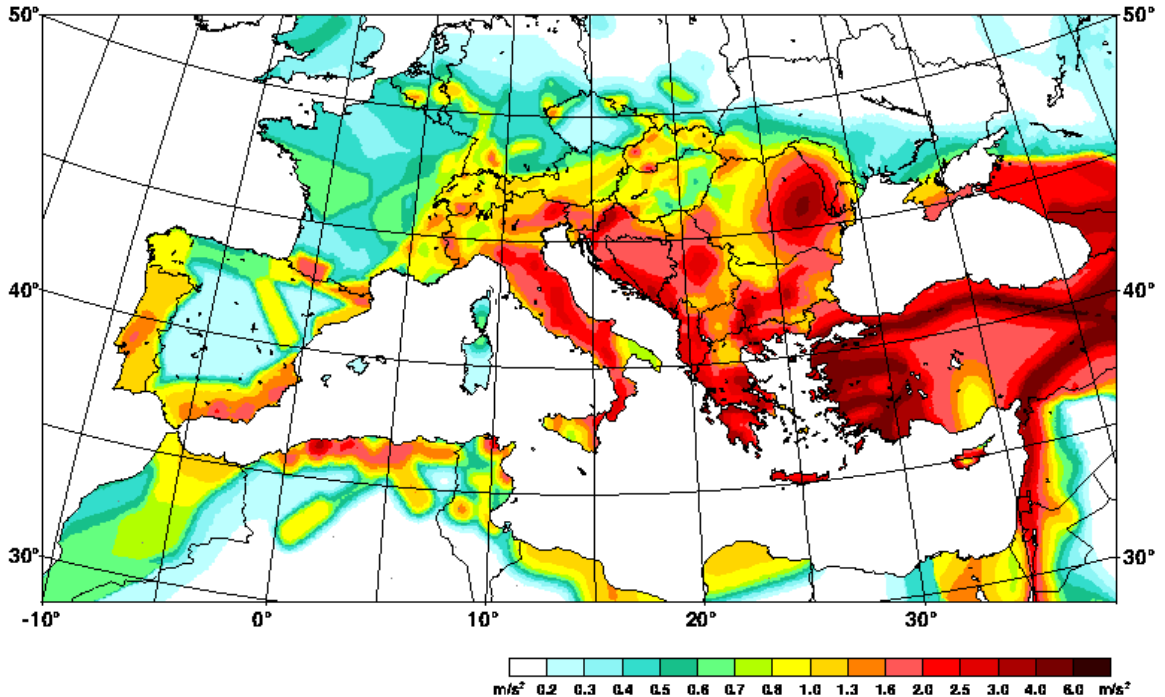
$$1g = 9,81 = 10m/s^2$$

Predlog: Slovenski predstandard Eurocode 8 – Projektiranje konstrukcij na potresnih področjih (SIST ENV 1998 - 1-1).



Slika 6. Svetovna karta potresne nevarnosti (Global Seismic Hazard Map), ki je nastajala skoraj desetletje, in pri kateri je sodelovalo več sto strokovnjakov iz celega sveta, med njimi tudi sodelavci Agencije RS za okolje, urada za seizmologijo, je poenotila kriterije določanja potresne nevarnosti.

Figure 6. The Global Seismic Hazard Map, whose preparation took almost a decade and brought together experts from all over the world, including participants from the Environmental Agency of the Republic of Slovenia, Seismology Office, has uniformed the criteria for seismic hazard determination.



Slika 7. Del karte, ki zajema Sredozemlje, kaže, da leži Slovenija na obrobju zelo aktivnega pasa, ki se iz Sredozemlja nadaljuje preko Turčije, Irana, Iraka, do Himalaje in dalje do Indonezijskega otočja. Čeprav potresne dejavnosti Slovenije ne moremo primerjati z dejavnostjo najaktivnejših območij sveta (Japonska, Kalifornija, Kitajska, Turčija...), v evropskem prostoru sodi ozemlje Slovenije med dejavnejša območja. Južno od nas je sicer potresov več in so tudi močnejši, severneje od nas pa jih je bistveno manj in njihove posledice ne obsegajo večjih razsežnosti.

Figure 7. The part of the map showing the Mediterranean reveals that Slovenia lies on the rim of a very active belt that extends into the Mediterranean from Turkey, Iran, Iraq... to the Himalayas and further on to the Indonesian islands. Although seismic activity in Slovenia cannot be compared to the most active areas of the world (Japan, California, China, Turkey...), Slovenia's territory is one of the relatively active areas of Europe. To the south of Slovenia, the earthquakes are more frequent and stronger, whilst to the north they are fewer and their consequences are less destructive.

Velikost pospeškov, ki jih na legendi označujejo posamezne barve, velja za sliki 6 in 7. Hladne barve kažejo nižje vrednosti, tople višje. V naših krajih lahko nastajajo potresi s pospeški tja do $3,0 \text{ m/s}^2$, kar ustreza IX. stopnji po MSK lestvici. Seveda gre za splošno oceno, saj se lahko učinki potresa v slabih tleh povečajo, zato so za posamezne lokacije potrebne dodatne raziskave.

The value of the ground accelerations marked in different colours in the legend applies to pictures 6 and 7. Cold colours indicate lower values, warm colours higher values. Earthquakes in Slovenia can produce an acceleration of 3.0 m/s^2 , which corresponds to intensity IX of the MSK intensity scale. Of course, this is only a general estimation as the effects of earthquakes in unfavourable ground can increase, so additional research is needed on individual locations.

Nova karta potresne nevarnosti

Karta potresne nevarnosti (sliki 6 in 7) prikazuje možnost nastanka potresa v določenem časovnem obdobju z 10% verjetnostjo, da bo izračunana stopnja presežena, oziroma 90%

verjetnostjo, da ne bo presežena. Ponavadi je izračun narejen za 50 let s povratno dobo potresov 475 let (Giardini in sod., 1999).

Na karti hladne barve predstavljajo nižje vrednosti pospeškov, tople pa večje vrednosti. Bela in zelena barva označujeta območja z največjim možnim pospeškom od 0 do 8% g, rumena in oranžna označujeta območja srednjih vrednosti med 8 in 24% g, rožnata in rdeča visoke pospeške med 24 in 40% g, temno rdeča in rjava pa zelo velike vrednosti pospeškov do 40% g in več.

Zaključek

Zemlja je zaradi različnih naravnih procesov potresno nevarna, prebivalci posameznih predelov pa tudi ogroženi, nekateri manj, nekateri bolj. Zato se moramo prebivalci te nevarnosti zavedati in temu primerno graditi objekte. Ob upoštevanju kart potresne nevarnosti in ogroženosti ter okvalitetni gradnji, potresi ne bodo predstavljali več take nevarnosti in ne bodo zahtevali več toliko življenj. Danes lahko gradimo objekte, ki vzdržijo intenziteto IX EMS in gradnje bistveno ne podražijo (nekaj odstotkov), kar je v primerjavi z človeškimi življenji zanemarljivo. Tudi Slovenija leži na potresno ogroženem prostoru, zato moramo biti na močnejše potrese pripravljeni.

Literatura

- Coburn, A. W., Pomonis, A., Sakai, S., 1989: Assessing Strategies to Reduce Fatalities in Earthquakes, International Workshop on Earthquake Injury Epidemiology for Mitigation and Response, The Johns Hopkins University, Baltimore 10-12. July 1989, 1-26.
- Močnik, G., Trnkoczy, M., Vidrih, R. 2001: Močnejši potresi po svetu leta 2000. Potresi v letu 2000 (ur. R. Vidrih), Agencija RS za okolje, urad za seizmologijo, 105-114.
- The Global Seismic Hazard Assessment Program (GSHAP) – 1992/1999. Annali di geofisica, Summary Volume (ed. D. Giardini), Istituto Nazionale di Geofisica, vol. 42, n. 6., 957-1230.
- Vidrih, R., Godec, M., 1997: Potresi so med najnevarnejšimi naravnimi nesrečami. Najučinkovitejši ukrep za manj žrtev ob potresih je potresno varna gradnja. Delo, priloga Znanost 19. marec 1997.