



REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA OKOLJE IN PROSTOR
UPRAVA RS ZA GEOFIZIKO



POTRESI V LETU 1998

Ljubljana 1999

POTRESI V LETU 1998
EARTHQUAKES IN 1998

REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA OKOLJE IN PROSTOR
UPRAVA RS ZA GEOFIZIKO

REPUBLIC OF SLOVENIA
MINISTRY OF THE ENVIRONMENT AND SPATIAL PLANNING
GEOPHYSICAL SURVEY

Ljubljana 1999

POTRESI V LETU 1998 EARTHQUAKES IN 1998

IZDALA IN ZALOŽILA – PUBLISHED BY

Ministrstvo za okolje in prostor – Ministry of the Environment and Spatial Planning
Uprava RS za geofiziko – Geophysical Survey of Slovenia

UREDNIŠKI ODBOR – EDITORIAL BOARD

Dr. Janez Lapajne (glavni in odgovorni urednik – Editor in Chief)
Mag. Renato Vidrih (tehnični urednik – Technical Editor)
Dr. Andrej Gosar
Dr. Barbara Šket-Motnikar
Mag. Mladen Živčič

RAČUNALNIŠKO OBLIKOVANJE – COMPUTER PROCESSING

Peter Sinčič

LEKTOR – LANGUAGE EDITOR

Brigita Lipovšek

PREVOD – TRANSLATIONS

Vitrum Translations

TISK – PRINTED BY

Formatisk p.o.
Bobenčkova 4
Ljubljana

CIP – Kataložni zapis v publikaciji
Narodna in univerzitetna knjižnica, Ljubljana
UDK 550.34.100 "1998"
ISSN 1318-4792
Potresi v letu 1998/ur. J. Lapajne – Ljubljana
Uprava RS za geofiziko, 1999

NASLOVNICA
COVER PAGE

Podor s 'kote 1776' je bil med največjimi hribinskimi podori.
The rockfall at 'kota 1776' can be classified among one of the largest rockfalls.

Potres v zgornjem Posočju 12. aprila 1998 je poleg velike gmotne škode na zgradbah povzročil tudi precejšnje poškodbe v naravi, kjer so nastali številni hribinski podori.

Apart from the substantial material damage to buildings, the earthquake on April 12, 1998 in upper Soča Territory also caused considerable changes in nature, where many rockfalls appeared.



VSEBINA CONTENTS

PREDGOVOR	I
PREFACE	II
<i>Peter Sinčič, Renato Vidrih, Manfred Deterding</i> POTRESNE OPAZOVALNICE V SLOVENIJI V LETU 1998 SEISMIC NETWORK IN SLOVENIA IN 1998	1
<i>Ina Cecić, Mladen Živčič, Andrej Gosar In Tamara Jesenko</i> POTRESI V SLOVENIJI LETA 1998 EARTHQUAKES IN SLOVENIA IN 1998	11
<i>Mladen Živčič, Ina Cecić, Andrej Gosar In Polona Zupančič</i> Potres 12. aprila 1998 v zgornjem Posočju OSNOVNE ZNAČILNOSTI The earthquake on april 12, 1998 in the upper Soča Territory BASIC CHARACTERISTICS	49
<i>Peter Sinčič, Renato Vidrih</i> Potres 12. aprila 1998 v zgornjem Posočju INSTRUMENTALNA OPAZOVANJA POPOTRESOV The earthquake on April 12, 1998 in the upper Soča Territory INSTRUMENTAL AFTERSHOCKS OBSERVATIONS	65
<i>Jure Bajc, Mladen Živčič, Tamara Jesenko, Griša Močnik</i> Potres 12. aprila 1998 v zgornjem Posočju RELOKACIJA GLAVNEGA POTRESA IN POPOTRESOV The earthquake on April 12, 1998 in the upper Soča Territory RELOCATION OF THE MAIN SHOCK AND THE AFTERSHOCKS	71
<i>Iztok Peruš, Barbara Šket, Peter Fajfar, Janez Lapajne</i> Potres 12. aprila 1998 v zgornjem Posočju ANALIZA GIBANJA TAL The earthquake on April 12, 1998 in the upper Soča Territory GROUND MOTION ANALYSIS	81
<i>Ladislav Placer, Marijan Poljak, Mladen Živčič, Jure Bajc</i> Potres 12. aprila 1998 v zgornjem Posočju SEIZMOTEKTONSKA INTERPRETACIJA The earthquake on April 12, 1998 in the upper Soča Territory SEISMOTECTONIC INTERPRETATION	91
<i>Andrej Gosar</i> Potres 12. aprila 1998 v zgornjem Posočju RAZISKAVE OJAČENJA NIHANJA TAL ZARADI LOKALNE GEOLOŠKE ZGRADBE The earthquake on April 12, 1998 in the upper Soča Territory STUDY OF THE GROUND MOTION AMPLIFICATION DUE TO LOCAL GEOLOGICAL STRUCTURE	101

Andrej Gosar

Potres 12. aprila 1998 v zgornjem Posočju
ODSEV VELIKIH HRIBINSKIH PODOROV V DIGITALNEM MODELU RELIEFA
The earthquake on April 12, 1998 in the upper Soča Territory
EVIDENCE (REFLECTION) OF MASSIVE ROCKFALLS IN DIGITAL ELEVATION
MODELS111

Renato Vidrih, Mihael Ribičič

Potres 12. aprila 1998v zgornjem Posočju
POSLEDICE V NARAVI
The earthquake on April 12, 1998 in the upper Soča Territory
DAMAGE TO NATURE121

Matjaž Godec, Renato Vidrih, Mihael Ribičič

Potres 12. aprila 1998v zgornjem Posočju
INŽENIRSKO-GEOLOŠKA ZGRADBA TAL IN POŠKODBE OBJEKTOV
The earthquake on April 12, 1998 in the upper Soča Territory
THE ENGINEERING-GEOLOGICAL STRUCTURE AND DAMAGE TO BUILDINGS145

Tomaž Ovčak, Renato Vidrih

Potres 12. aprila v zgornjem Posočju
POŠKODBE SPOMINSKIH OBELEŽIJ I. SV. VOJNE V KRNSKEM GOROVJU
The earthquake on April 12, 1998 in the upper Soča Territory
DAMAGE TO WORLD WAR I MEMORIALS IN THE KRN MOUNTAIN RANGE169

Bojan Uran

Potres 12. aprila 1998 v zgornjem Posočju
ZNAČILNOSTI DOSTOPOV DO INFORMACIJ NA NAŠIH SPLETNIH STRANEH
The earthquake on April 12, 1998 in the upper Soča Territory
EXPERIENCES WITH THE WWW183

Griša Močnik, Renato Vidrih

MOČNEJŠI POTRESI PO SVETU LETA 1998
WORLD'S LARGEST EARTHQUAKES IN 1998193

PREDGOVOR

V slovenski potresni zgodovini bo uvrščeno leto 1998 med potresno najdejavnejša leta, saj so prebivalci Slovenije čutili vsaj 115 potresnih sunkov. Taka potresna dejavnost, predvsem pa potres 12. aprila, ki je povzročil veliko škodo predvsem v zgornjem Posočju, je povečal zanimanje Slovencev za potresno problematiko. To ugotavlja tudi avtor statistične raziskave o značilnosti dostopov javnosti do informacij na naših spletnih straneh po potresih v letu 1998. Takoj po aprilskem potresu je vlada sklenila, da je treba v prihodnjih letih posodobiti seizmološko službo. To seveda še ni moglo imeti vpliva v letu 1998, zato je tudi v tem letu državna seizmološka mreža ostala pri sedmih stalnih potresnih opazovalnicah. Je pa Uprava RS za geofiziko na potresnem območju postavila mrežo začasnih opazovalnic za zapisovanje popotresne dejavnosti. Nekaj več o instrumentalnem opazovanju bo našel bralec v uvodnem članku, v naslednjem prispevku pa pregledni opis potresov v letu 1998.

Potresu, ki je 12. aprila stresel celo Slovenijo in njeno okolico, smo posvetili pretežen del publikacije, saj je bil to najmočnejši potres v 20. stoletju, ki je imel žarišče znotraj njenih meja – v globinah Krnskega pogorja. Učinki so bili najmočnejši na območju Lepene, Magozda, Spodnjih Drežniških Raven in Tolminskih Raven, kjer so dosegli učinke med stopnjama VII in VIII po evropski potresni lestvici(EMS-98), na območju Bovca pa stopnjo VII. V naslednjih trinajstih mesecih je sledilo 100 popotresov z velikostno stopnjo (magnitudo), ki je dosegla ali preseгла 2. Kar v 10 prispevkih podrobneje obravnavamo razne vidike tega potresa, začenši z njegovimi temeljnimi značilnostmi, opisom instrumentalnega opazovanja popotresne dejavnosti, problematiko natančnega določanja žarišč, analizo močnega gibanja tal z oceno vršnega pospeška tal v nadžariščnem območju, seizmotektonskim vrednotenjem širšega žariščnega območja, izsledki raziskav vpliva lokalne geološke zgradbe na ojačenje nihanja, količinsko oceno prostornine dveh večjih hribinskih podorov v zgornjem Posočju, slikovitim prikazom posledic potresa v naravi, inženirsko – geološko zgradbo zgornjega Posočja s statističnim prikazom poškodb zgradb ter z opisom poškodb spominskih obeležij I. svetovne vojne v zgornjem Posočju.

V skladu z dosedanjo uredniško politiko in prakso zaključujemo publikacijo s pregledom močnejših potresov v svetu v letu 1998 s kratkim opisom njihovih učinkov.

Dr. Janez Lapajne

Glavni in odgovorni urednik

PREFACE

In Slovenia's seismic history, 1998 will be regarded as one of the seismically most active years, with Slovenian inhabitants feeling at least 115 seismic shocks. Such seismic activity, and especially the earthquake on April 12, which caused substantial damage mainly in upper Soča area, increased Slovenians' interest in earthquake issues. This is also the finding of the author of statistical research on characteristics of public access to information on our web pages after the 1998 earthquakes. Immediately after the April earthquake, the Government decided that the seismological service should be modernised over the coming few years. This was too early to have an influence in 1998, therefore, in that year the national seismological network continued with seven permanent seismic monitoring stations. However, the Geophysical Survey of Slovenia set up a network of temporary stations to register aftershocks in the seismic area. More about the instrumental monitoring is described in the introductory article, while the second article gives an overview of the earthquakes in 1998.

The earthquake which shook all of Slovenia and its surroundings on April 12, is the subject of most of the publication as it was the strongest earthquake in the 20th century with a hypocentre within Slovenian borders – deep below the Krn mountain range. The effects were strongest in the area of Lepena, Magozd, Spodnje Drežniške Ravne and Tolminske Ravne, where effects between intensities VII and VIII of the European Macroseismic Scale (EMS-98) resulted, while in the Bovec area the effects were of intensity VII. In the following thirteen months, there were 100 aftershocks with a magnitude of 2 or more. As many as 10 articles address in detail various aspects of this earthquake, starting with its main characteristics, descriptions of the instrumental monitoring of aftershock activity, problems regarding accurately locating the hypocentres, analysis of strong ground movement with an assessment of the peak ground acceleration in the epicentral area, seismo-tectonic evaluation of the wider hypocentral area, findings of studies on the influence of the local geological structure on the seismic motion, quantity assessment of the volume of the two largest rock failures in the Krn mountain range, a picturesque presentation of the earthquake's consequences on nature, the engineering-geological structure of upper Soča area with a statistical presentation of damage to buildings and a description of damage caused to World War I memorials in the Krn mountain range.

In line with the established editorial policy and practice, we conclude our publication with an overview of the world's strongest earthquakes in 1998, including a short description of their effects.

Dr Janez Lapajne
Editor in Chief

POTRESNE OPAZOVALNICE V SLOVENIJI V LETU 1998

SEISMIC NETWORK IN SLOVENIA IN 1998

Peter Sinčič, Renato Vidrih, Manfred Deterding*

Izveček. Konec leta 1998 je na ozemlju Republike Slovenije delovalo sedem stalnih potresnih opazovalnic, opremljenih z različnimi vrstami analognih in digitalnih seizmografov. Mreža potresnih opazovalnic z digitalnimi seizmografi, s katerih poteka avtomatski prenos podatkov v centralni računalnik v observatoriju na Golovcu v Ljubljani, sestavljajo potresne opazovalnice v Ljubljani (LJU), v Bojancih v Beli krajini (VBY), Dobrini na Kozjanskem (DOBS), v Goričicah pri Cerknici (CEY), Cesti nad Krškim (CESS) in v Braniku nad Muto (BISS). Prenos podatkov v centralni računalnik v Ljubljani poteka iz seizmografa, ki beleži potrese v observatoriju, in s seizmografa v Cesti po državnem računalniškem omrežju, iz drugih opazovalnic pa po klicnih telefonskih linijah. Stalna opazovalnica na Vojskem (VOY) ter začasna v Brezju pri Senušah (KBZ) na obrobju Krško-Brežiškega polja sta opremljeni z analognimi seizmografi. Zaradi več močnejših potresov v tem letu smo postavili več prenosnih potresnih opazovalnic za beleženje popotresne aktivnosti v naslednjih krajih: Koritnicah, Bovcu, Plužni, Zatoľminu, Čezsoči, Breginjju, Zadnjici, Tolminskih Ravnah, Trenti, Čagoščah in dve v dolini Lepene.

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

* Ministrstvo za okolje in prostor, Uprava RS za geofiziko, Pot na Golovec 25, Ljubljana

accelerographs were set up on different locations: Koritnice, Bovec, Plužna, Zatoľmin, Čezsoča, Breginj, Zadnjica, Tolminske Ravne, Trenta, Čagošče and two accelerographs in the Lepena valley.

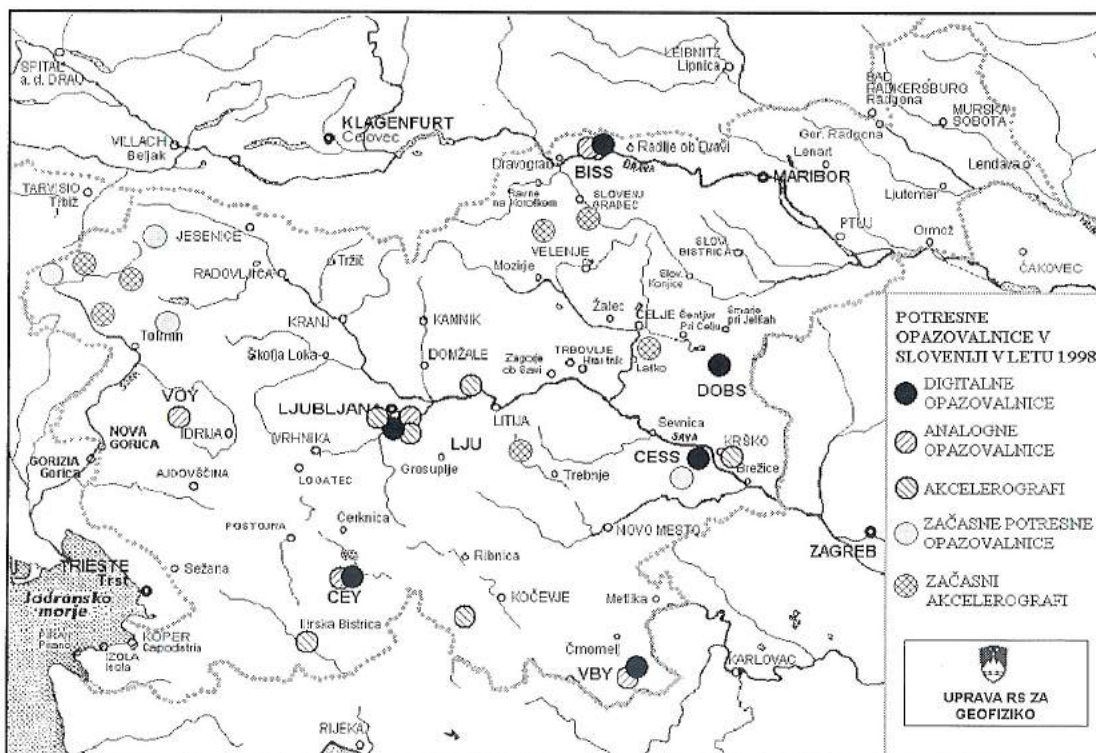
Uvod

Najstarejša in osrednja opazovalnica Uprave RS za geofiziko v observatoriju na Golovcu v Ljubljani (LJU) je opremljena s trikomponentnim analognim dolgoperiodnim seizmografom in trikomponentnim analognim kratkoperiodnim seizmografom z optičnim zapisom na fotografski papir, s kratkoperiodnim seizmografom z vidljivim zapisom ter s širokopasovnimi digitalnimi seizmografi. Leta 1975 je bila zgrajena potresna opazovalnica CEY v Goričicah pri Cerkniskem jezeru. Opremljena je z analognim trikomponentnim kratkoperiodnim seizmografom, ki mu je bil leta 1997 dodan digitalni širokopasovni seizmograf. Januarja 1985 je začela delovati tretja potresna opazovalnica VOY na Slovenskem, ki smo jo postavili v Vojskem nad Idrijo (Trnkoczy in Vidrih, 1986). V začetku je bila opremljena z analognim kratkoperiodnim seizmografom z vertikalno komponento, januarja leta 1991 pa sta bili dodani še horizontalni komponenti. Leta 1986 je bila zgrajena potresna opazovalnica VBY v Bojancih v Beli krajini, prav tako opremljena z analognim kratkoperiodnim seizmografom z vertikalno komponento. Leta 1996 je bil dodan širokopasovni digitalni seizmograf s prenosom podatkov po klicni telefonski liniji v centralo v Ljubljani. 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 je bila postavljena potresna opazovalnica v Cesti nad Krškim. Tu je bil na začetku postavljen prenosni širokopasovni digitalni seizmograf s shranjevanjem podatkov na magnetni trak. Leta 1997 smo ga zamenjali s seizmografom s prenosom podatkov po državnem računalniškem omrežju v centralo. Zaradi možnosti povečanja seizmičnosti ob polnjenju akumulacijskega jezera v sosednji Avstriji je bila leta 1991 v Braniku nad Muto postavljena začasna potresna opazovalnica BISS z enokomponentnim prenosnim analognim seizmografom. Leta 1996 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. Občasno deluje v Horjulu 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. Opazovalnica 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 pisacu Sprengnether. Povečava sistema je 1 300 pri periodi 1 s (vertikalna komponenta). V pogonu je 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 Uprave RS za geofiziko, ter pisaci Günter Volk z galvanometri Astromed. Maksimalna povečava vidljivega sistema je 46 700 pri periodi 0,4 s (vertikalna komponenta).



Slika 1. Potresne opazovalnice v Sloveniji leta 1998

Figure 1. Seismic network in Slovenia in 1998

Vsi zapisi so opremljeni s časovnimi signali, ki jih daje natančna ura. Elektronsko uro UK-03 so prav tako skonstruirali in izdelali strokovnjaki Uprave RS za geofiziko, njeno natančnost pa nadzorujemo s signali sprejemnika časovnih signalov DCF 77.

Leta 1990 je v potresni opazovalnici na Golovcu začel delovati trikomponentni digitalni seizmograf SSR-1 s širokopasovnimi seizmometri WR-1 podjetja Kinometrics. Leta 1993 je bil vključen 6-kanalni digitalni seizmograf 72A-02 podjetja Reftek. 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 delovnja in s frekvenco vzorčenja analogno-digitalnega pretvornika 200 vzorcev v sekundi, pa seizmograf 72A-02 omogoča sočasno zajemanje podatkov v prožilnem načinu s frekvenco vzorčenja 125 vzorcev v sekundi za zapisovanje kratkoperiodnih pojavov in v kontinuiranem načinu s frekvenco vzorčenja 5 vzorcev na sekundo za beleženje dolgoperiodnih pojavov.

Leta 1996 postavljeni digitalni seizmograf podjetja Nanometrics sestavljajo širokopasovni trikomponentni seizmometer Guralp CMG-40T, 16-bitni analogno-digitalni pretvornik s tristopenjskim samonastavljivim predojačenjem RD1603 in osebni računalnik s sprejemnikom točnega časa GPS in programsko opremo, ki skrbi za zajem podatkov in za komunikacijo s centralnim računalnikom. Na centralnem računalniku programska oprema zbira podatke iz oddaljenih opazovalnic. Centralni računalnik po določenem urniku, ki je nastavljen, kliče oddaljene opazovalnice in od njih zahteva podatke o proženjih. Na podlagi teh podatkov poskuša določiti dogodke, nato pa pošlje zahtevo za prenos zapisov dogodkov v centralno opazovalnico. Komunikacija deluje na principu elektronske pošte (Vidrih in Sinčič, 1997).

Potresna opazovalnica v 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 RD1603 in osebni računalnik s sprejemnikom točnega časa GPS in programsko opremo, ki skrbi za zajem podatkov in za komunikacijo s centralnim računalnikom.

Opazovalnica na Vojskem (VOY) leži na seizmogeološko zelo ugodni podlagi, ki jo sestavljajo zgornjetriasni dolomiti, na koordinatah $13,89^{\circ}\text{E}$ in $46,03^{\circ}\text{N}$. Nadmorska višina opazovalnice je 1073 m. Opazovalnica je opremljena z vertikalnim in dvema horizontalnima seizmometroma Willmore MK-II, s seizmografskimi ojačevalniki SO-03 (razvila jih je Uprava RS za geofiziko), 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 enokomponentna analogna. Zgrajena je 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 259 m.

Seizmograf sestavljajo vertikalni seizmometer Vegik, seizmografski ojačevalnik SO-03, pisar Kablar I z galvanometrom Astromed ter uro UK-03. Sistem deluje s povečavo 116 600 pri 0,5 s. Leta 1996 je bila oprema opazovalnice v Bojancih dopolnjena s trikomponentnim digitalnim seizmografom podjetja Nanometrics s širokopasovnim trikomponentnim senzorjem Guralp CMG-40T. Pošiljanje podatkov iz opazovalnice v centralni računalnik v Ljubljani poteka po klicni telefonski liniji na zahtevo centralnega računalnika.

Potresna opazovalnica v Braniku nad Muto (BISS), ki beleži seizmične pojave v bližini jezua HE Golica, je locirana 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 je bil zgrajen jašek in vanj postavljena seizmometra Vegik in leta 1996 Guralp CMG-40T. Vertikalni kratkoperiodni seizmometer Vegik je priključen na prenosno analogno opazovalnico PS-2 podjetja Kinometrics. Trikomponentni širokopasovni seizmometer Guralp CMG-40T je priključen na digitalni seizmograf firme Nanometrics in na mreža opazovalnic. Komunikacija s centralnim računalnikom poteka po klicni telefonski liniji.

Potresna opazovalnica v Dobrini (DOBS) je opremljena z enakim digitalnim seizmografom in ima enak način prenosa podatkov kot prejšnji dve. Seizmometer leži skupaj z analogno-digitalnim pretvornikom v jašku, osebni računalnik s sprejemnikom točnega časa GPS pa je nameščen v hišici. Opazovalnica je zgrajena na laporjih, ki prehajajo v apnenec in dolomit ladinijske starosti (srednji trias). Njeni koordinati sta $15,47^{\circ}\text{E}$ in $46,15^{\circ}\text{N}$, nadmorska višina je 428 m.

Potresna opazovalnica (CESS) je zgrajena v vasi Cesta nad Krškem. V drugi polovici leta 1997 je prenosni digitalni seizmograf 72A-07/DAT podjetja Reftek s shranjevanjem podatkov na DAT-kasete zamenjal digitalni seizmograf podjetja Nanometrics. Sestavljajo ga širokopasovni trikomponentni seizmometer Guralp CMG-40T, 24-bitni analogno-digitalni pretvornik HRD2432 z vgrajenim GPS-sprejemnikom točnega časa in modem za prenos podatkov po najeti telefonski liniji do vozlišča državnega računalniškega omrežja na Geodetski upravi v Krškem, kjer je 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 svetlosivega neplastnatega dolomita ladinijske 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.

Uprava RS za geofiziko 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.

Preglednica 1. Začasne namestitve prenosnih seizmografov in akcelerografov
Table 1. Temporary seismic stations.

čas postavitve		Vrsta instrumenta	lokacija
od	do		
17. 2.	24. 2.	Etna	Mislinja
17. 2.	24. 2.	72A-07/DSK	Andrejev dom na Slemenu
24. 2.	16. 4.	Etna	Andrejev dom na Slemenu
13. 3.	12. 4.	Etna	Koritnice
12. 4.	12. 5.	Etna	Trenta
13. 4.	23. 4.	72A-02	Zatolmin
13. 4.	20. 4.	72A-07/DSK	Breginj
18. 4.	obratuje	Etna	Drežnica
18. 4.	31. 8.	Etna	dolina Lepene
20. 4.	18. 5.	72A-07/DSK	Vogel
23. 4.	7. 5.	72A-02	Čezsoča
7. 5.	30. 6. 99	72A-02	Plužna
12. 5.	29. 12.	Etna	Podklanec
18. 5.	30. 11.	72A-07/DSK	Zadnjica
19. 5.	29. 12.	SSA-2	Mala vas
15. 6.	29. 12.	72A-07/DSK	Tolminske Ravne
31. 8.	9. 10.	Etna	Čagošče
6. 11.	20. 11.	Etna	Pečovnik
29. 12.	30. 6. 99	Etna	dolina Lepene

Druga začasna opazovalnica je v Horjulu. V njej občasno beleži potrese digitalni prenosni seizmograf 72A-07/DAT s shranjevanjem podatkov na DAT-kasete ali akcelerograf SSA-2. 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 221 m.

Uprava RS za geofiziko ima tudi sedem opazovalnic z digitalnimi akcelerografi za beleženje močnih potresov. Instrumenti za beleženje močnih potresov so nameščeni v Ljubljani (v observatoriju na Golovcu in na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo - FGG), na Dolskem, v Goričicah pri Cerknici (CEY), Krškem, Ilirski Bistrici in Gotenici. Akcelerograf na observatoriju na Golovcu sestavljata akcelerometer FBA-23 z merilnim območjem 1 g in zajemalna aparatura SSR-1 s 16-bitno analogno

digitalno pretvorbo. Akcelero graf na FGG tvorita akcelerometer FBA-23 z merilnim območjem 1 g in zajemalna aparatura SSA-2 z 12-bitnim analogno digitalnim pretvornikom. Enak akcelero graf je nameščen v Dolskem. Akcelero grafi v Goričicah pri Cerknici, v Ilirski Bistrici in v Krškem v jedrski elektrarni imajo občutljivejši senzor FBA-23 z merilnim območjem 0,25 g. Akcelero graf SSA-2 v Jedrski elektrarni Krško je bil decembra zamenjan z akcelero grafom Etna in je vključen v državno računalniško omrežje, po katerem teče prenos podatkov na observatorij. V Gotenici je nameščen akcelero graf Etna z vgrajenim senzorjem FBA-23 z merilnim območjem 1 g in z 18-bitno analogno digitalno pretvorbo, prenos podatkov na observatorij pa poteka po klicni telefonski liniji. Podatke z ostalih akcelero grafov zbere delavec URSG s pomočjo prenosnega računalnika ob obisku opazovalnice.

Preglednica 2. Potresi v letu 1998, zabeleženi na slovenskih potresnih opazovalnicah
Table 2. Earthquakes in 1998 recorded at Slovenian earthquake stations.

mesec	oddaljeni potresi	regionalni potresi	lokalni potresi	prebivalci čutili	umetni potresi	skupaj
month	distant earthquakes	regional earthquakes	local earthquakes	felt by inhabitants	artificial	total
januar january	43	90	89	3	6	228
februar february	29	60	177	1	10	276
marec march	56	108	189	3	19	372
april april	38	86	423	nedoločljivo*	32	579
maj may	46	101	266	mnogo*	39	452
junij june	53	67	213	precej*	16	349
julij july	53	40	149	2	58	300
avgust august	53	43	117	5	42	255
september september	38	41	167	9	24	270
oktober october	35	36	168	2	26	265
november november	31	23	104	4	30	188
december december	35	39	89	4	9	172
skupaj total	510	734	2151		311	3696

Oddaljeni potresi / Distant earthquakes

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

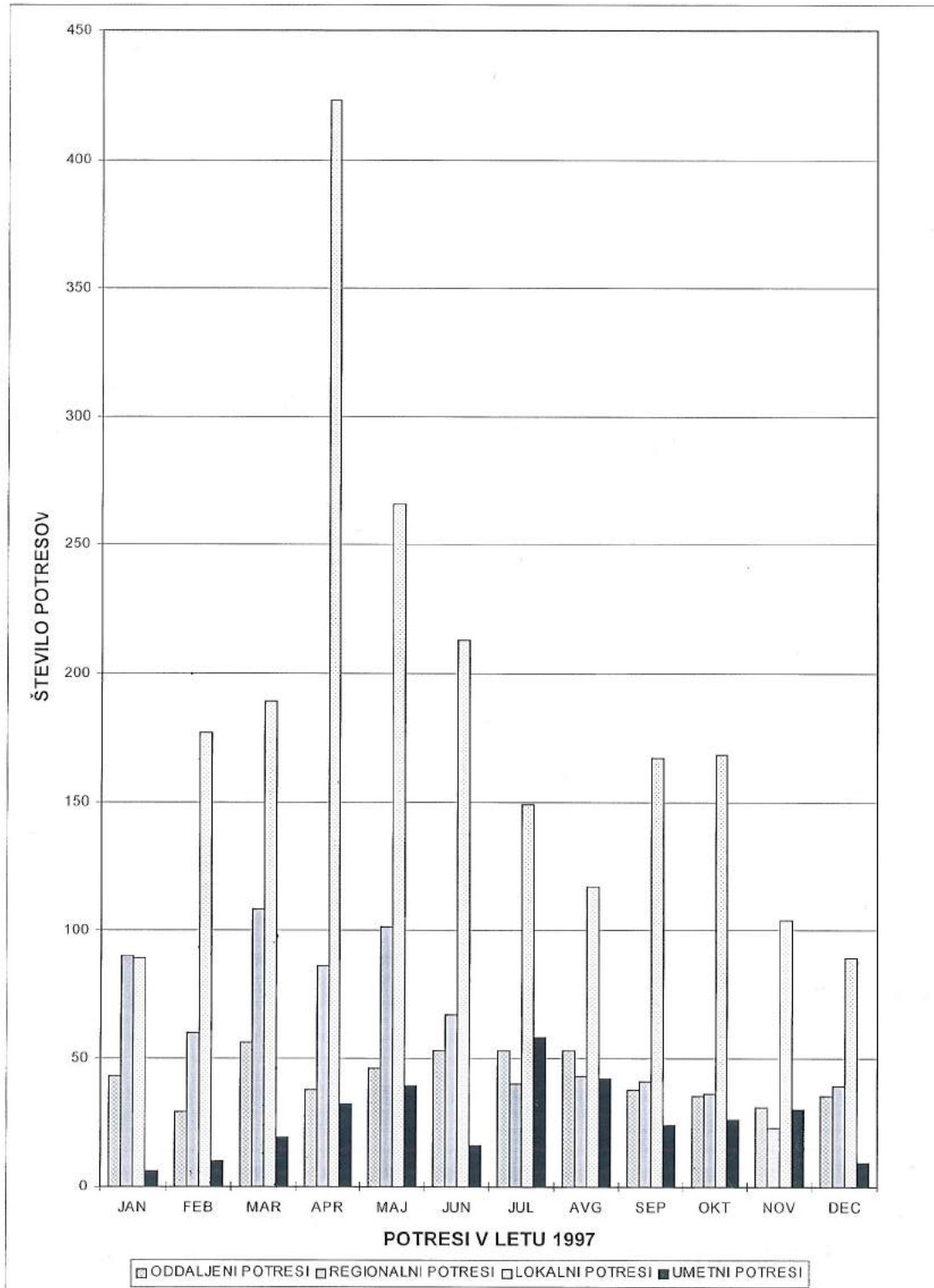
Regionalni potresi / Regional earthquakes

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

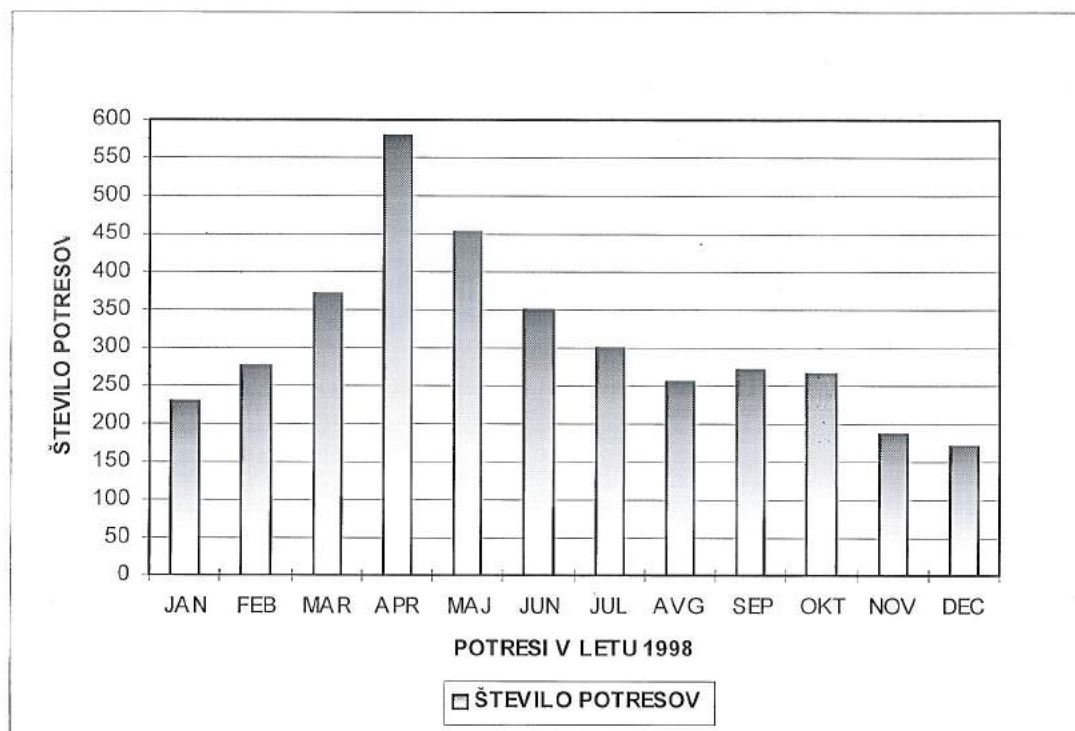
Lokalni potresi / Local earthquakes

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

* Točnega števila potresov, ki so jih čutili prebivalci zgornjega Posočja, ni mogoče ugotoviti. Instrumenti začasnih potresnih opazovalnic, ki so bile postavljene na nadžariščnem območju, so jih samo aprila (po 12. 4.) zabeležile 2751, maja 1092 in junija 288.



Slika 2. Skupno število potresnih dogodkov po mesecih
Figure 2. Distribution of all seismic events by months.



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

Občasno so bili nameščeni še trije akcelerografi Etna in seizmografi 72A-07/DSK in 72A-02 zaradi beleženja popotresne aktivnosti po močnejših potresih.

Potresne opazovalnice so v letu 1998 zabeležile 3696 seizmičnih dogodkov, od tega 510 oddaljenih, 734 regionalnih in 2151 lokalnih potresov. Seizmografi so zapisali tudi 311 umetnih potresov (preglednica 1).

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 št.7, 130-137, Ljubljana.

Sinčič P., Vidrih R., 1995. Gradnja potresne opazovalnice. Ujma št. 9, 185-189, Ljubljana.

- Sinčič P., Vidrih R., Deterding M. 1998. Potresne opazovalnice v Sloveniji v letu 1997. Potresi v letu 1997, URSG, 1-10, Ljubljana.
- Trnkoczy, A., Vidrih R., 1986. Seizmološka stanica Vojsko (VOY) u SR Sloveniji. Acta seismologica Iugoslavica, 12, 17-34, Beograd.
- Vidrih R., Sinčič P., 1997. Potresne opazovalnice v Sloveniji. Povzetki referatov; 13. posvetovanje slovenskih geologov, 39-40, Ljubljana.

POTRESI V SLOVENIJI LETA 1998 EARTHQUAKES IN SLOVENIA IN 1998

Ina Cecić, Mladen Živčić, Andrej Gosar in Tamara Jesenko*

Izveleček. Leto 1998 po potresni dejavnosti zagotovo sodi med najbolj aktivna v tem stoletju. Prebivalci so čutili najmanj 115 potresnih sunkov, toda žarišča nekaterih niso bila na slovenskem ozemlju. Najmočnejši potres leta 1998 v Sloveniji je bil 12. aprila ob 10. uri 55 minut po svetovnem času UTC (oziroma ob 12. uri 55 minut po srednjeevropskem poletnem času) z žariščem v zgornjem Posočju. Njegova Wood-Andersonova magnituda je bila 6,0, največja intenziteta VII-VIII EMS-98. Najmočnejši potres z žariščem zunaj naših meja, ki so ga čutili prebivalci Slovenije, je bil 26. marca ob 16. uri 26 minut UTC v Italiji. Njegova lokalna magnituda je bila 5.1, izračunana iz zapisov seizmografov v Ljubljani.

Abstract. Year 1998 was among the most active in this century according to seismicity in Slovenia. The inhabitants have felt more than 100 earthquakes, and only the few among them have not had their foci in Slovenia. The strongest earthquake in 1998 happened on April 12, at 10h 55m UTC (12.55 local time) in upper Soča Territory, NW Slovenia. Its Wood-Anderson magnitude was 6.0 and the maximum intensity VII-VIII EMS-98 was observed in four villages. The strongest earthquake outside our borders was felt on 26 March at 16.26 UTC. Its focus was in Umbria, in Central Italy, and its local magnitude, as calculated from the seismograms recorded in Ljubljana, was 5.1. In total the inhabitants of Slovenia have felt at least 115 earthquakes.

Uvod

Leto 1998 po potresni dejavnosti zagotovo sodi med najbolj aktivna v tem stoletju. Po januarskih šibkih potresih pri Krškem, Krki in Ljubljani se je februarja in potem še marca nekoliko močnejše zatresla okolica Ilirske Bistrice. Temu je sledil en šibkejši potres pri Novem mestu, prebivalci so čutili tudi učinke dveh močnih potresov v Italiji.

Najmočnejši potres leta 1998 v Sloveniji je bil 12. aprila ob 10. uri 55 minut po svetovnem času UTC (oziroma ob 12. uri 55 minut po srednjeevropskem poletnem času) z žariščem v zgornjem Posočju. Njegova Wood-Andersonova magnituda je bila 6,0 (Živčić in sod., 1999b), največja intenziteta pa VII-VIII EMS-98 (EMS je okrajšava za evropsko potresno lestvico) (Grünthal, 1998a, 1998b). Glavnemu potresu je sledilo več tisoč popotresnih sunkov. Težko je natančno opredeliti število popotresov, ki so jih čutili prebivalci zgornjega Posočja; v prvih dneh se jim je zdelo, da se tla kar neprestano tresejo. Z gotovostjo lahko rečemo, da so ljudje čutili več sto popotresnih sunkov, najmočnejše pa tistega, ki je bil 6. maja ob 2. uri 53 minut UTC in je imel lokalno magnitudo 4,2. Maja in junija so prebivalci Slovenije poleg popotresov v Posočju čutili še učinke dveh potresov z žarišči na Hrvaškem. V začetku junija so bili trije potresi pri Postojni. Tudi poletni meseci so bili večinoma v

* Ministrstvo za okolje in prostor, Uprava RS za geofiziko, Pot na Golovec 25, Ljubljana

znamenju Posočja, z izjemo avgustovskih potresov: treh šibkejših pri Adlešičih in močnejšega pri Biču na Dolenjskem. Temu je sledilo še nekaj šibkejših popotresov. Septembra je začela aktivnost v okolici Litije; najmočnejša potresa iz tega žariščnega območja sta bila 17. in 24. septembra. Zgodil se je tudi en potres na Ljubljanskem barju. Oktobra so potrese čutili le prebivalci Posočja. Novembra smo zbirali podatke za potres na Koroškem, kot tudi za zanimive dogodke ob poplavah v Pečovniku pri Celju. Popotres v okolici Litije in v Bovcu pa zaključujeta dogajanje v novembru. Decembra se je treslo v Posočju in v okolici Prebolda.

Seizmografi državne mreže potresnih opazovalnic URSG so leta 1998 zapisali več kot 2000 lokalnih potresov. Da bi vedeli, kje je bilo žarišče potresa, potrebujemo podatke najmanj treh opazovalnic; če nas zanima še globina, je nujno imeti zapise najmanj štirih. V preglednici 1 smo podali 286 lokalnih potresov, za katere smo lahko določili lokalno magnitudo in je le-ta bila večja kot 1,5, kot tudi 28 šibkejših, ki so jih čutili prebivalci Slovenije.

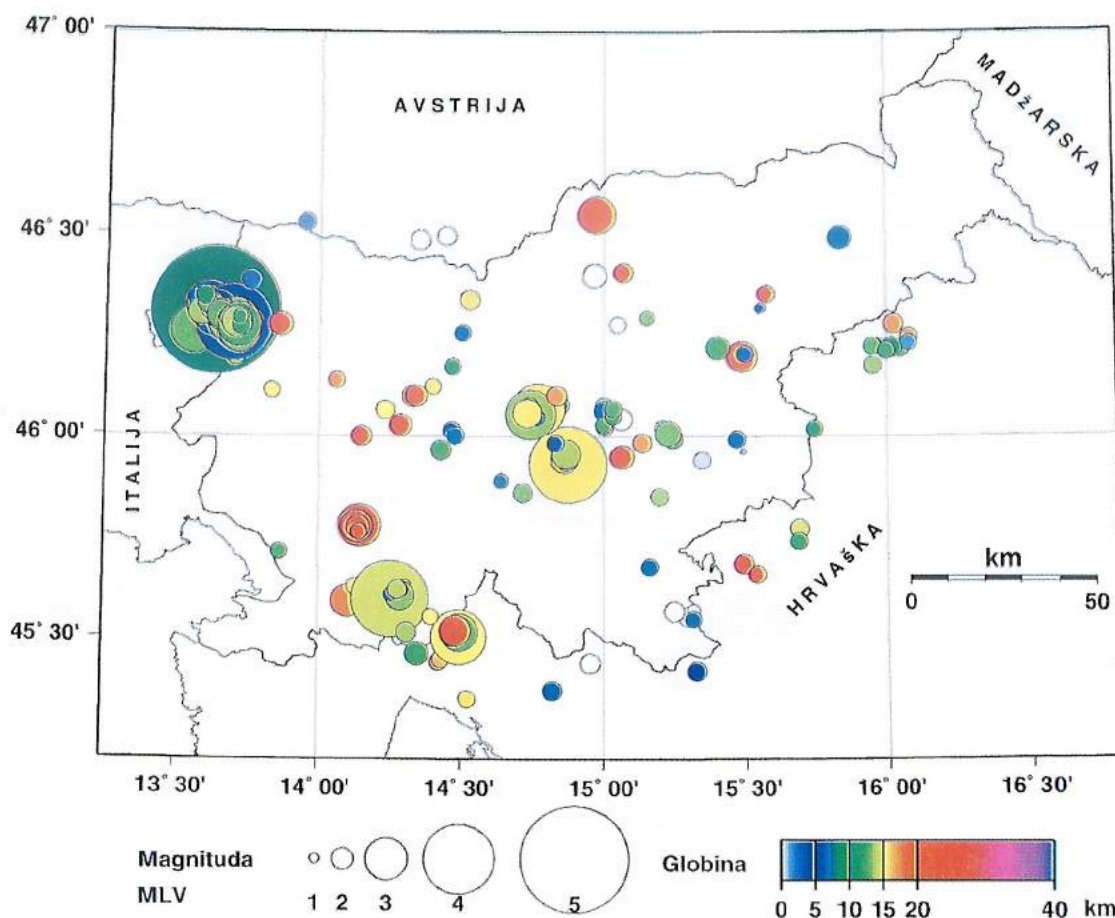
V preglednici so podani le močnejši lokalni potresi, ki jih je zabeležila državna mreža potresnih opazovalnic. Začasno postavljene opazovalnice v zgornjem Posočju so jih zabeležile mnogo več - nekaj tisoč. Karta nadžarišč (epicentrov) potresov v Sloveniji leta 1998 z opredeljeno magnitudo je na sliki 1.

Na različnih območjih Slovenije so prebivalci čutili več kot sto potresnih sunkov. En potres je dosegel največjo intenziteto VII-VIII EMS-98, en VI EMS-98, en V-VI EMS-98 in 19 potresov intenziteto V EMS-98. Najmočnejši potres leta 1998 je bil potres 12. aprila v zgornjem Posočju. Karta nadžarišč (epicentrov) potresov leta 1998, ki so jih prebivalci čutili, je na sliki 2.

Za opredelitev osnovnih parametrov potresov, podanih v preglednici 1, smo uporabili vse razpoložljive zapise potresov na potresnih opazovalnicah državne mreže v Sloveniji ter v sosednjih državah: Avstriji, Hrvaški, Italiji in Madžarski. 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. 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.



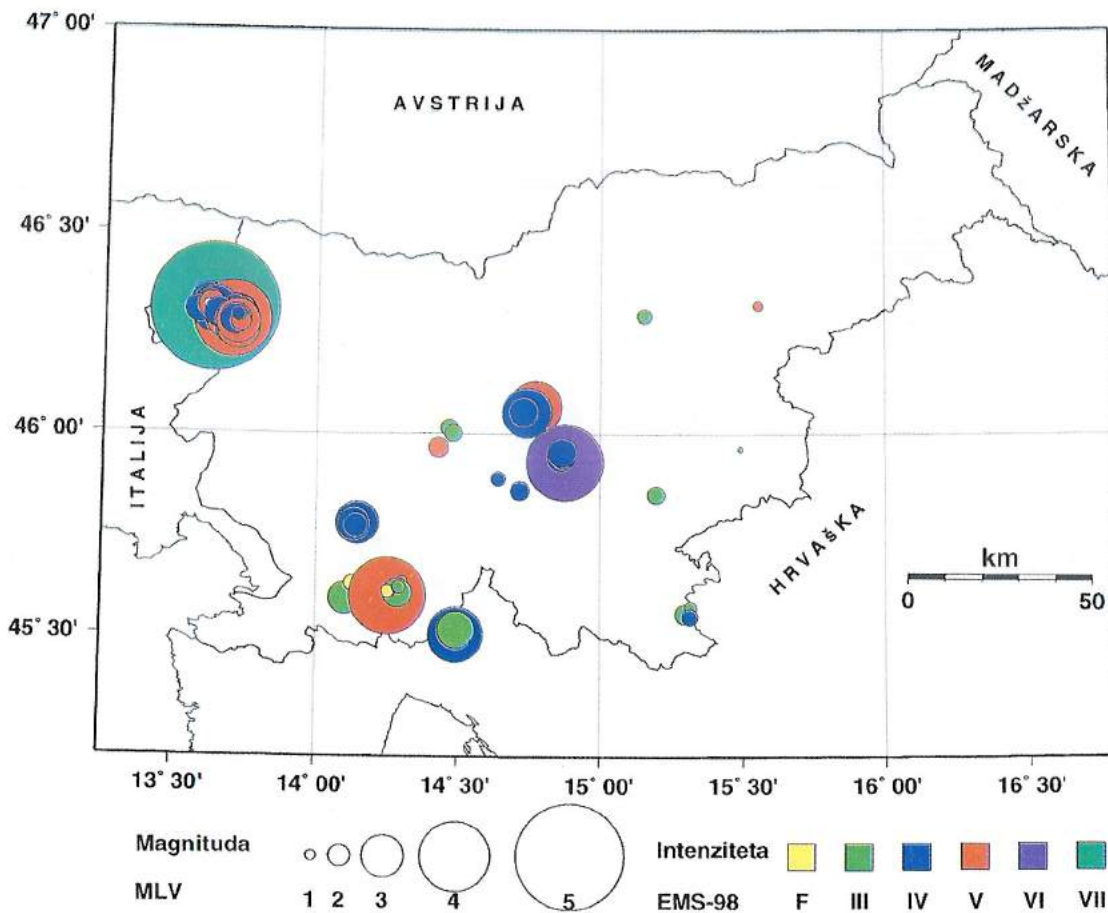
Slika 1. Nadžarišča potresov leta 1997, ki smo jim določili žariščni čas, instrumentalni koordinati epicentra in globino žarišča; barvni simboli različnih velikosti ponazarjajo vrednosti lokalne magnitude M_{LV} .
 Figure 1. Distribution of epicenters in 1997, whose focal times, epicentral co-ordinates and focal depths were calculated; coloured symbols of varying sizes give information on local magnitude M_{LV} .

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

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

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

Največja intenziteta, ki jo je potres dosegel na ozemlju Slovenije, je dana v stopnjah evropske potresne lestvice (EMS-98). Kadar podatki niso zadoščali za nedvoumno določitev intenzitete, smo dali razpon možnih vrednosti (npr. IV-V). V preglednici 1 sta podana še število opazovalnic, ki so zapisale potres, in kvadratni koren povprečne kvadratne vrednosti napake (RMS) opredelitve žariščnih parametrov v sekundah. Kot potresno območje smo podali ime naselja, ki je najbližje določenemu nadžarišču in je navedeno v seznamu naselij Geodetske uprave RS (RGU, 1995).



Slika 2. Intenzitete potresov, ki so jih leta 1998 čutili prebivalci Slovenije.
Figure 2. Earthquakes felt in Slovenia in 1998.

Preglednica 1. Seznam potresov leta 1998 z lokalno magnitudo večjo od 1,5, ki smo jim lahko izračunali žariščni čas, instrumentalni koordinati nadžarišča (epicentra) in globino žarišča; pri nekaterih potresih je navedena še največja intenziteta. Z zvezdico so označeni potresi, za katere smo uporabili tudi podatke začasnih (prenosnih) opazovalnic v zgornjem Posočju (Bajc in sod., 1999).

Table 1. List of earthquakes with $M_{LV} > 1.5$ in 1998 for which the hypocentral time, co-ordinates of epicentre and focal depth were calculated; the maximum intensity of some earthquakes is also provided. The earthquakes for which the data from temporary (portable) stations in Upper Soča Area were used are marked (Bajc et al., 1999).

št.	dat.	h:m:s	šir	dolž	h	nst	RMS	M _{LV}	M _D	Imax	potresno območje
		UTC	°N	°E	km		s			(EMS)	
no.	date	h:m:s	lat	lon	h	nst	RMS	M _{LV}	M _D	Imax	epicentral area
		UTC	°N	°E	km		s			(EMS)	
1	3.1.	00:52:53,5	45,442	14,423	12	12	0,4	1,7	2,7		Klana, meja Hrvaška-Slovenija
2	3.1.	07:24:13,4	45,447	14,431	16,4	15	0,4	1,7	2,6		Klana, meja Hrvaška-Slovenija
3	5.1.	05:15:41,0	45,962	15,490	1	4	0,3	0,3	0,9	III-IV	Krško
4	8.1.	20:04:40,3	45,676	15,164	7	9	0,5	1,7	2,1		Pribišje-Uršna sela
5	22.12.	19:16:55,7	46,529	13,949	2,2	14	0,3	1,7	2,3		Kepa, meja Slovenija-Avstrija
6	29.1.	07:26:04,1	45,859	14,718	12,8	9	0,3	1,8	2,3	IV	Zdenska vas
7	29.1.	17:11:26,6	46,009	14,484	4,5	5	0,2	1,2	1,4	III-IV	Ljubljana
8	29.1.	23:54:22,8	46,014	14,466	5,2	15	0,4	1,7	2,3	III-IV	Črna vas-Ljubljana
9	30.1.	01:03:27,9	46,002	14,479	7	15	0,3	1,7	2,3	III-IV	Črna vas-Ljubljana
10	2.2.	04:09:16,0	45,983	15,136	17,1	8	0,3	1,8	1,6		Roženberk-Veliki Cirknik
11	4.2.	14:07:07,5	45,502	14,493	15,3	62	0,6	3,5	3,4	IV	Škurina, meja Hrvaška-Slovenija
12	4.2.	14:25:42,0	45,514	14,496	12,8	42	0,6	2,8	3	III-IV	Škurina, meja Hrvaška-Slovenija
13	4.2.	16:15:06,3	45,509	14,490	13,8	12	0,2	1,7	2,3		Škurina, meja Hrvaška-Slovenija
14	5.2.	08:08:22,1	46,399	14,967	0	8	0,3	2,1	1,8		Lepa Njiva-Smrekovec
15	5.2.	17:02:26,3	45,591	14,104	17,6	34	0,5	2,6	2,9	III-IV	Rjavče-Brkini
16	5.2.	17:25:30,9	45,627	14,129	15,8	4	0,1	1,6	1,7	čutili	Ostrožno Brdo-Brkini
17	6.2.	05:47:26,5	45,506	14,490	19,8	7	0,5	1,6	2		Škurina, meja Hrvaška-Slovenija
18	6.2.	14:44:12,7	45,507	14,481	17,1	5	0,2	1,6	1,5		Škurina, meja Hrvaška-Slovenija
19	7.2.	17:49:12,2	45,506	14,472	13,7	17	0,3	2	2,8		Škurina, meja Hrvaška-Slovenija
20	8.2.	17:01:00,5	45,518	14,482	19,3	34	0,5	2,5	2,9		Smrekovac, meja Hrvaška-Slovenija
21	17.2.	05:36:21,1	46,486	14,352	0	14	0,5	1,9	2,3		Košuta, meja Avstrija-Slovenija
22	18.2.	12:02:56,9	45,439	14,954	0	9	0,6	1,9	2,2		Brod Moravice, meja Hrvaška-Slovenija
23	25.2.	10:52:11,6	46,406	15,069	20,3	5	0,5	1,8			Ravne-Velenje
24	5.3.	11:26:03,9	45,770	15,688	14,5	7	0,5	1,8	1,9		Rude, meja Hrvaška-Slovenija
25	13.3.	15:14:56,7	45,597	14,253	14,3	103	0,7	4,2	4,1	V	Šembije-Koritnice
26	13.3.	15:19:27,6	45,629	14,304	12,9	4	0,5	1,3		III	Knežak
27	13.3.	15:21:11,0	45,604	14,288	13,2	31	1	2,4	3,1	III	Koritnice
28	13.3.	18:50:04,2	45,608	14,255	7	4	0,1	1,4	1,6	čutili	Knežak
29	13.3.	22:53:33,4	45,618	14,292	12,4	5	0,3	1,4	1,7	III-IV	Knežak
30	23.3.	05:24:33,1	46,338	14,528	15,9	12	0,5	1,9	2,1		Kokra, meja Slovenija-Avstrija
31	24.3.	20:33:41,1	45,849	15,196	13,5	8	0,3	1,7	1,8	III-IV	Dolenje Grčevje

št.	dat.	h:m:s	šir	dolž	h	nst	RMS	M _{LV}	M _D	Imax	potresno območje
		UTC	°N	°E	km		s			(EMS)	
no.	date	h:m:s	lat	lon	h	nst	RMS	M _{LV}	M _D	Imax	epicentral area
		UTC	°N	°E	km		s			(EMS)	
32	10.4.	11:01:33,5	46,277	15,049	0	5	0,6	1,6	1,7		Spodnje Gorče
33	12.4.	10:55:32,9	46,309	13,632	7,6	41	1,1	5,5	5,6	VII-VIII	Lepena
34	12.4.	11:07:00,5	46,283	13,669	3,7	19	0,4	2,1	2,7		Lepena
35	12.4.	11:09:48,0	46,300	13,610	1,2	20	0,5	2,2	2,6		Drežniške Ravne
36	12.4.	11:10:58,0	46,310	13,611	2,9	16	0,4	2,1	2,5		Lepena
37	12.4.	11:13:28,0	46,287	13,672	5,7	34	0,6	2,6	2,9		Lepena
38	12.4.	11:17:25,9	46,295	13,650	0,9	15	0,5	1,8	2,3		Lepena
39	12.4.	11:20:39,9	46,292	13,649	2,7	23	0,6	2,3	2,3		Lepena
40	12.4.	11:27:49,8	46,290	13,636	2,4	10	0,3	1,6	2,1		Drežniške Ravne
41	12.4.	11:30:10,6	46,299	13,630	4,2	16	0,4	1,7	2,2		Lepena
42	12.4.	11:36:13,5	46,293	13,685	1,1	6	0,3	1,6	2,1		Lepena
43	12.4.	11:40:27,7	46,323	13,606	1,2	12	0,3	1,8	2,5		Kal-Koritnica
44	12.4.	11:50:02,8	46,310	13,612	5,6	30	0,4	2,7	2,8		Lepena
45	12.4.	11:51:21,2	46,318	13,614	1,7	20	0,3	2,1	2,7		Kal-Koritnica
46	12.4.	12:02:13,8	46,279	13,651	12,8	9	0,3	1,6	2,3		Drežniške Ravne
47	12.4.	12:07:05,7	46,317	13,631	10,9	15	0,4	1,8	2,3		Lepena
48	12.4.	12:09:37,4	46,322	13,628	13,5	11	0,2	1,7	2,6		Lepena
49	12.4.	12:11:40,0	46,298	13,630	2,1	11	0,3	1,7	2,3		Lepena
50	12.4.	12:29:27,6	46,298	13,648	2,8	35	0,4	2,3	2,9		Lepena
51	12.4.	12:32:02,1	46,297	13,639	3,4	13	0,3	1,9	2,4		Lepena
52	12.4.	12:36:01,7	46,277	13,654	4	13	0,4	1,7	2,3		Drežniške Ravne
53	12.4.	12:41:06,8	46,319	13,616	5	28	0,4	2,4	2,7		Kal-Koritnica
54	12.4.	12:43:54,8	46,323	13,610	4,8	55	0,5	2,6	3,1		Kal-Koritnica
55	12.4.	13:16:38,7	46,290	13,640	4	17	0,3	1,9	2,4		Lepena
56	12.4.	13:35:27,6	46,259	13,554	12,3	80	0,7	3,2	3,1		Kobarid
57	12.4.	13:44:45,3	46,309	13,608	2,6	17	0,3	2,1	2,6		Čezsoča
58	12.4.	14:24:07,8	46,303	13,641	2,2	47	0,6	2,5	3,1		Lepena
59	12.4.	14:29:03,6	46,305	13,631	16	8	0,2	1,7	2		Lepena
60	12.4.	15:24:04,7	46,326	13,590	2,3	17	0,3	2	2,6		Kal-Koritnica
61	12.4.	16:15:39,5	46,310	13,604	7,2	80	0,6	3	3,2		Čezsoča
62	12.4.	17:07:19,8	46,279	13,636	13,2	13	0,2	1,6	2,5		Drežniške Ravne

št.	dat.	h:m:s	šir	dolž	h	nst	RMS	M _{LV}	M _D	I _{max}	potresno območje
		UTC	°N	°E	km		s			(EMS)	
no.	date	h:m:s	lat	lon	h	nst	RMS	M _{LV}	M _D	I _{max}	epicentral area
		UTC	°N	°E	km		s			(EMS)	
63	12.4.	17:23:56,0	46,292	13,637	1,2	17	0,4	2	2,5		Lepena
64	12.4.	17:40:51,2	46,286	13,648	5,7	13	0,4	1,8	2,4		Lepena
65	12.4.	17:45:33,5	46,286	13,631	2	12	0,3	1,6	2,4		Drežniške Ravne
66	12.4.	18:21:27,5	46,314	13,607	1,4	13	0,5	1,8	2		Kal-Koritnica
67	12.4.	20:54:00,9	46,314	13,613	5,7	62	0,4	2,8	3		Lepena
68	12.4.	21:20:39,9	46,294	13,641	4,3	26	0,3	2,4	2,8		Lepena
69	12.4.	21:46:40,9	46,317	13,615	2,7	15	0,3	1,7	2,4		Lepena
70	12.4.	22:13:48,0	46,320	13,612	4,3	69	0,4	3,3	3,5		Kal-Koritnica
71	12.4.	23:09:16,8	46,298	13,623	5,2	11	0,4	1,6	2,1		Lepena
72	12.4.	23:16:39,5	46,298	13,630	3,6	17	0,2	1,9	2,4		Lepena
73	13.4.	00:42:09,4	46,307	13,618	2,1	23	0,3	2	2,8	III-IV	Lepena
74	13.4.	00:46:52,7	46,301	13,624	3,6	17	0,2	1,9	2,5		Lepena
75	13.4.	02:03:15,6	46,317	13,604	1,2	7	0,2		2,2	III	Kuk
76	13.4.	02:52:05,8	46,319	13,616	1,3	16	0,9	1,9	2,3		Kal-Koritnica
77	13.4.	03:23:26,9	46,312	13,612	4,6	65	0,4	2,7	3	V	Lepena
78	13.4.	04:00:42,9	46,286	13,647	3,6	12	0,2	1,8	2,4		Lepena
79	13.4.	04:01:40,2	46,309	13,604	2,9	21	0,2	2,1	2,8		Čezsoča
80	13.4.	04:22:31,3	46,279	13,692	3,2	14	0,5	1,7	2,7		Lepena
81	13.4.	04:58:42,1	46,319	13,664	4,2	46	0,5	2,7	3	V	Lepena
82	13.4.	06:13:59,6	46,297	13,658	2,8	14	0,3	1,8	2,6		Lepena
83	13.4.	10:16:56,7	46,305	13,638	3,6	17	0,2	1,8	2,4		Lepena
84	13.4.	10:56:53,1	46,300	13,640	1,8	14	0,4	1,7	2,3		Lepena
85	13.4.	13:40:35,4	46,312	13,614	3,6	21	0,4	2,1	2,5	IV	Lepena
86	13.4.	14:42:20,1	46,291	13,671	9	18	0,4	2	2,4		Lepena
87	13.4.	16:22:24,9	46,306	13,628	3,9	16	0,2	1,8	2,3		Lepena
88	13.4.	22:17:04,1	46,278	13,704	3,6	20	0,4	1,9	2,5	III	Veliki Bogatin
89	13.4.	22:34:46,2	46,285	13,657	3,1	14	0,1	1,8	2,3		Lepena
90	13.4.	23:06:34,5	46,307	13,623	3,3	22	0,5	2	2,7		Lepena
91	14.4.	00:12:32,0	46,296	13,637	3,5	13	0,4	1,6	2,3		Lepena
92	14.4.	00:18:34,9	46,299	13,647	2,6	19	0,6	1,6	2,4		Lepena
93	14.4.	01:31:51,9	46,305	13,622	3,2	11	0,4	1,6	2,2		Lepena

št.	dat.	h:m:s	šir	dolž	h	nst	RMS	M _{LV}	M _D	I _{max}	potresno območje
		UTC	°N	°E	km		s			(EMS)	
no.	date	h:m:s	lat	lon	h	nst	RMS	M _{LV}	M _D	I _{max}	epicentral area
		UTC	°N	°E	km		s			(EMS)	
94	14.4.	07:39:04,1	46,276	13,711	5,1	13	0,5	1,6	2,3	IV	Veliki Bogatin
95	14.4.	17:17:36,1	46,283	13,671	3,3	22	0,5	1,9	2,3		Lepena
96	14.4.	19:24:50,7	46,295	13,666	2,8	23	0,6	1,6	2,4		Lepena
97	14.4.	19:31:03,8	46,298	13,639	3,7	20	0,4	1,7	2,4		Lepena
98	14.4.	23:17:15,7	46,290	13,655	3,8	24	0,4	1,9	2,5		Lepena
99	15.4.	02:38:14,3	46,291	13,648	4,6	20	0,4	1,7	2,3		Lepena
100	15.4.	05:44:22,1	46,297	13,634	2,3	15	0,4	1,7	2,5		Lepena
101	15.4.	09:33:37,6	46,313	13,620	2	12	0,3	1,7	2,4		Lepena
102	15.4.	12:44:39,0	46,311	13,617	3,6	14	0,2	1,6	2,4		Lepena
103	15.4.	13:07:16,7	46,291	13,649	3,1	10	0,3	1,6	2,3		Lepena
104	15.4.	15:33:56,5	46,304	13,616	2,7	27	0,4	2	2,7		Lepena
105	15.4.	16:07:30,1	46,277	13,700	3,4	30	0,5	2,2	2,6		Krn
106	15.4.	16:11:17,0	46,302	13,643	2,6	29	0,5	2,3	2,9		Lepena
107	15.4.	18:23:21,5	46,281	13,667	2,8	18	0,4	1,6	2,5		Lepena
108	15.4.	19:40:30,3	46,274	13,725	4,7	56	0,6	3,3	3,4	V	Veliki Bogatin
109	15.4.	21:33:16,0	46,196	13,701	13,9	12	0,4	1,8	1,8		Gabrje, meja Slovenija-Italija
110	15.4.	22:21:36,8	46,298	13,646	2,8	29	0,5	2,1	2,6		Lepena
111	15.4.	22:42:10,0	46,304	13,650	4,2	64	0,9	3,1	3,5	V	Lepena
112	15.4.	23:06:01,5	46,293	13,639	3,8	15	0,4	1,8	2,3		Lepena
113	16.4.	01:25:04,0	46,279	13,682	3,3	15	0,5	1,6	2,4		Lepena
114	16.4.	07:11:42,6	46,295	13,664	2,5	19	0,5	1,9	2,3		Lepena
115	16.4.	13:12:58,5	46,312	13,612	3,8	20	0,3	1,8	2,6		Lepena
116	16.4.	17:21:44,3	46,285	13,660	4,8	44	0,5	2,8	3,2		Lepena
117	16.4.	20:50:53,9	46,301	13,642	1,8	36	0,6	2	3		Lepena
118	17.4.	03:06:44,5	46,305	13,621	4,3	15	0,5	1,7	2,3		Lepena
119	17.4.	21:01:53,9	46,284	13,710	2,7	14	0,5	1,7	2,3		Veliki Bogatin
120	17.4.	21:59:33,0	46,300	13,653	3,8	29	0,5	2,4	2,9	III-IV	Lepena
121	18.4.	04:34:05,9	46,295	13,637	2,9	12	0,5	1,6	1,9	IV	Lepena
122	18.4.	05:08:13,6	46,295	13,637	3,5	16	0,5	1,6	2,3	IV	Lepena
123	18.4.	10:15:40,5	46,296	13,671	3,7	52	0,5	2,4	3,1	IV-V	Lepena
124	18.4.	12:29:57,8	46,290	13,650	5,1	6	0,4		2,2	IV	Volarje

št.	dat.	h:m:s	šir	dolž	h	nst	RMS	M _{LV}	M _D	I _{max}	potresno območje
		UTC	°N	°E	km		s			(EMS)	
no.	date	h:m:s	lat	lon	h	nst	RMS	M _{LV}	M _D	I _{max}	epicentral area
		UTC	°N	°E	km		s			(EMS)	
125	18.4.	20:19:56,2	46,278	13,703	4	30	0,4	2,3	2,9	IV	Krn
126	18.4.	23:17:50,1	46,277	13,700	4	32	0,4	2,3	2,9	IV-V	Krn
127	19.4.	18:20:06,7	46,296	13,665	3	26	0,5	2	2,6	IV	Lepena
128	19.4.	19:56:00,5	46,316	13,612	5,6	28	0,5	2,1	2,7	IV	Kal-Koritnica
129	19.4.	21:37:36,7	46,308	13,616	4,4	16	0,4	1,7	2,3	čutili	Lepena
130	19.4.	22:37:28,5	46,281	13,698	4	7	0,4		2,2	IV	Soča
131	20.4.	01:11:01,0	46,324	13,618	4,5	10	0,3		2,2	čutili	Kobarid
132	20.4.	18:27:31,5	46,326	13,615	3,7	20	0,4	1,6	2,3		Kal-Koritnica
133	20.4.	21:13:24,9	46,291	13,694	3,2	32	0,5	2,3	2,9	IV	Lepena
134	21.4.	01:50:57,3	46,283	13,685	3,7	9	0,4	1,4	2,2	čutili	Soča
135	21.4.	06:22:34,6	46,305	13,662	2,1	3	0		2	II-III	Idrija ob Bači
136	21.4.	10:50:37,8	46,328	13,608	4,1	56	0,4	2,6	3,2	IV-V	Kal-Koritnica
137	21.4.	15:12:01,5	46,223	15,965	7,6	9	0,6	1,6	2,4		Bednja, meja Hrvaška-Slovenija
138	21.4.	21:15:49,0	46,268	13,697	3,6	26	0,3	1,9	2,6	III	Krn
139	21.4.	21:48:07,2	46,308	13,625	4,1	7	0,1		2,3	čutili	Soča
140	22.4.	06:02:47,7	46,327	13,613	3,8	20	0,4	1,6	2,6	IV	Kal-Koritnica
141	22.4.	06:56:28,7	46,274	13,696	3,7	67	0,5	2,9	3,5	V	Krn
142	22.4.	09:14:23,5	46,277	13,694	3,7	14	0,3	1,8	2,5		Lepena
143	22.4.	23:44:18,1	46,279	13,672	4,7	24	0,3	2,1	2,5		Lepena
144	23.4.	23:23:40,7	46,300	13,634	4,4	24	0,3	2	2,5		Lepena
145	25.4.	15:47:38,6	45,739	15,686	11,7	6	0,3	1,7	1,5		Rude, meja Hrvaška- Slovenija
146	26.4.	21:02:39,2	46,323	13,614	3,5	31	0,5	2,1	2,9		Kal-Koritnica
147	27.4.	08:41:25,2	46,293	13,692	2,8	18	0,5	1,7	2,4		Lepena
148	29.4.	21:03:12,2	46,319	13,619	3,5	20	0,5	1,7	2,2		Lepena
149	30.4.	03:20:11,6	46,299	13,653	2,3	30	0,5	1,9	2,7		Lepena
150	4.5.	10:40:35,9	46,279	13,698	4,1	30	0,5	2,3	3	IV-V	Lepena
151	4.5.	18:14:27,2	46,292	13,695	3,5	19	0,5	2,2	2,3		Lepena
152	5.5.	06:41:40,2	46,317	13,607	5,2	20	0,2	1,9	2,5		Kal-Koritnica
153	5.5.	21:57:31,8	46,320	13,618	3,8	23	0,4	1,8	2,3	čutili	Lepena
154	6.5.	02:53:00,1	46,280	13,696	5,1	94	0,6	4,2	4,4	V-VI	Lepena
155	6.5.	03:00:53,4	46,283	13,697	4,2	20	0,4	1,9	2,5	V	Lepena

št.	dat.	h:m:s	šir	dolž	h	nst	RMS	M _{Lv}	M _D	Imax	potresno območje
		UTC	°N	°E	km		s			(EMS)	
no.	date	h:m:s	lat	lon	h	nst	RMS	M _{Lv}	M _D	Imax	epicentral area
		UTC	°N	°E	km		s			(EMS)	
156	6.5.	03:16:36,5	46,293	13,692	2,8	3	0		1,8	čutili	Livek
157	6.5.	05:34:34,3	46,284	13,698	4	17	0,5	1,6	2,2	V	Lepena
158	6.5.	15:18:59,6	46,023	15,003	13,7	7	0,2	1,7	2,1		Čeplje
159	7.5.	07:43:50,5	46,288	13,650	4,7	19	0,6	1,8	2,4	IV	Lepena
160	7.5.	22:44:40,9	46,298	13,637	4,4	17	0,3	1,5	2,5	IV	Kobarid
161	8.5.	10:11:12,8	46,275	13,694	4,7	42	0,5	2,8	3	IV-V	Krn
162	8.5.	13:07:33,5	46,275	13,693	4,2	12	0,4	1,6	2,4		Krn
163	9.5.	02:14:17,0	46,281	13,700	4,5	21	0,4	1,8	2,3		Lepena
164	9.5.	06:56:30,5	46,077	14,999	13,7	7	0,5	1,6	2,1		Rodež
165	10.5.	09:00:17,3	46,283	13,698	3,8	17	0,4	2	2,4	V	Lepena
166	10.5.	14:13:16,8	46,304	13,634	4,2	15	0,6	1,3	2,2	IV	Soča
167	10.5.	22:22:03,1	46,305	13,629	3,8	22	0,5	1,8	2,4		Lepena
168	10.5.	23:40:49,0	46,320	13,666	4,3	21	0,4	2,1	2,6	IV-V	Lepena
169	11.5.	19:33:05,1	46,318	13,621	4,1	11	0,2		2,4	III	Kobarid
170	11.5.	23:30:48,6	46,283	13,704	4,4	40	0,5	3,2	3,6	V	Lepena
171	13.5.	01:58:53,5	46,286	13,706	4,3	56	0,5	3	3,3	IV-V	Lepena
172	13.5.	02:50:42,5	46,281	13,702	3,5	22	0,5	1,8	2,3		Krn
173	13.5.	05:30:22,3	45,994	15,243	11,7	10	0,3	1,9	1,7		Jelovec
174	13.5.	21:37:39,5	46,276	13,732	3,2	31	0,5	2,6	3,2		Veliki Bogatin
175	14.5.	01:20:35,4	46,299	13,635	3,9	24	0,5	1,6	2,4		Lepena
176	15.5.	13:37:47,9	46,302	13,629	5,7	55	0,5	2,6	3	IV-V	Lepena
177	16.5.	17:50:07,5	46,063	15,002	7	6	0,4	1,8	1,8		Rtiče-Podkum
178	16.5.	19:11:49,4	46,291	13,678	3,6	27	0,4	1,9	2,7		Lepena
179	16.5.	20:27:22,9	46,276	13,691	4,4	20	0,4	1,8	2,2		Lepena
180	16.5.	20:48:33,2	46,065	14,233	14,9	13	0,3	1,8	2,2		Rovt-Butajnova
181	17.5.	08:42:43,2	46,278	13,700	3,8	25	0,4	2,1	2,6		Krn
182	18.5.	21:43:14,8	46,284	13,697	3,9	23	0,4	1,8	2,4	III	Lepena
183	19.5.	16:55:00,3	46,028	15,000	11,2	5	0,1	1,6	1,8		Čeplje
184	20.5.	06:40:29,8	46,320	13,613	3,8	32	0,5	2,5	2,8	V	Kal-Koritnica
185	24.5.	17:45:23,9	46,285	13,694	4,8	46	0,5	2,6	2,9	IV-V	Lepena
186	27.5.	06:02:42,3	46,302	13,629	4,2	21	0,4	1,9	2,4		Lepena

št.	dat.	h:m:s	šir	dolž	h	nst	RMS	M _{Lv}	M _D	Imax	potresno območje
		UTC	°N	°E	km		s			(EMS)	
no.	date	h:m:s	lat	lon	h	nst	RMS	M _{Lv}	M _D	Imax	epicentral area
		UTC	°N	°E	km		s			(EMS)	
187	28.5.	12:31:53,1	46,277	13,705	3,6	35	0,5	2,6	3,2	IV-V	Krn
188	28.5.	23:44:19,8	46,317	13,617	3,8	31	0,5	2,3	2,6		Lepena
189	29.5.	07:07:01,5	46,272	13,693	2,8	22	0,5	1,8	2,3		Krn
190	29.5.	22:50:38,0	46,321	13,606	3,7	39	0,5	2,5	2,7		Kal-Koritnica
191	29.5.	23:56:26,3	46,320	13,609	3,7	31	0,5	2,2	2,5		Kal-Koritnica
192	30.5.	00:35:26,1	45,418	15,328	4,9	3	0,2	1,8	2		Vukova Gorica, meja Hrvaška-Slovenija
193	30.5.	19:29:18,0	46,279	13,692	3,8	20	0,5	1,9	2,3		Lepena
194	1.6.	02:55:23,6	46,340	13,565	3,6	21	0,4	1,8	2,4		Bovec
195	1.6.	22:23:23,2	46,492	15,836	7	3	0,3	2,1	1,5		Gomila
196	2.6.	20:46:39,7	45,778	14,145	20,9	56	0,4	3	3,1	IV-V	Hrenovice
197	2.6.	20:54:10,6	45,776	14,135	19,8	33	0,4	2,6	3	IV	Goriče
198	2.6.	21:20:04,7	45,773	14,141	18,7	24	0,4	2,1	2,7	IV	Goriče
199	2.6.	21:22:46,9	45,762	14,143	20,7	6	0,3	1,6	1,9		Dilce
200	5.6.	04:01:57,6	46,274	13,700	3,8	27	0,5	2,1	2,8	IV	Krn
201	5.6.	07:42:49,9	46,267	13,690	6,4	14	0,3	1,7	2,3		Krn
202	5.6.	09:22:04,2	45,515	14,311	13,6	20	0,5	1,9	2,4		Jelšane, meja Slovenija-Hrvaška
203	5.6.	13:27:02,1	46,222	15,948	12,6	9	1	1,7	2,3		Bednja, meja Hrvaška-Slovenija
204	6.6.	16:04:04,5	46,293	13,703	3	23	0,5	2,2	2,8		Lepena
205	7.6.	19:38:43,0	46,317	13,609	3,7	6	0,1		2,3	III-IV	Magozd
206	8.6.	01:59:28,8	46,386	13,756	2,7	27	0,5	1,9	2,5		Trenta
207	10.6.	23:32:41,3	46,303	13,631	6,3	42	0,4	3,2	3,2	IV-V	Lepena
208	12.6.	15:21:34,1	46,290	13,658	6	38	0,5	2,8	3	IV	Lepena
209	13.6.	18:40:17,4	46,270	13,659	12,7	37	0,4	2,5	2,9	V	Kosec
210	14.6.	01:16:06,6	46,275	13,689	4,2	17	0,5	1,7	2,2		Krn
211	16.6.	05:02:04,3	46,099	14,329	14,9	14	0,3	2	2,3		Setnica-Tošč
212	17.6.	18:10:08,9	46,297	13,646	3,8	38	0,5	2,6	3,1	IV	Lepena
213	18.6.	01:45:16,4	46,272	13,697	3,2	22	0,4	1,6	2,6		Krn
214	19.6.	10:52:55,3	46,017	15,743	9	5	0,1	1,6	3		Bračna vas, meja Slovenija-Hrvaška
215	19.6.	14:43:13,3	46,314	13,609	5,8	27	0,5	2,2	2,5		Kal-Koritnica
216	22.6.	07:05:52,1	46,278	13,695	3,2	15	0,5	1,8	2,2		Lepena
217	23.6.	09:33:34,0	45,683	15,493	23,3	8	0,4	1,9	1,6		Kostanjevac, meja Hrvaška-Slovenija

št.	dat.	h:m:s	šir	dolž	h	nst	RMS	M _{Lv}	M _D	I _{max}	potresno območje
		UTC	°N	°E	km		s			(EMS)	
no.	date	h:m:s	lat	lon	h	nst	RMS	M _{Lv}	M _D	I _{max}	epicentral area
		UTC	°N	°E	km		s			(EMS)	
218	23.6.	21:29:09,4	46,197	15,488	18,4	8	0,6	2,5	1,5		Grobelce
219	29.6.	17:33:47,0	46,316	13,612	6,3	40	0,4	2,5	2,8	IV-V	Kal-Koritnica
220	29.6.	19:14:57,2	46,313	13,608	5,2	7	0,2		2	čutili	Idrsko
221	30.6.	02:34:35,5	46,313	13,607	5,6	18	0,5	1,8	2,1		Kal-Koritnica
222	8.7.	04:57:03,9	46,139	14,060	17,4	6	0,3	1,6	1,9		Krnice pri Novakih
223	9.7.	01:03:19,6	46,305	13,716	15,7	28	0,5	2,1	2,8		Lepena
224	11.7.	02:50:45,7	46,274	13,706	14,8	14	0,4	1,5	2,4	čutili	Tolmin
225	11.7.	04:01:21,2	46,303	13,701	13,5	31	0,4	2,4	2,7	IV-V	Lepena
226	11.7.	11:58:45,7	46,246	16,079	17,2	7	0,5	1,7	1,6		Bedenec, meja Hrvaška-Slovenija
227	11.7.	12:59:58,2	46,028	14,287	19,8	12	0,4	2	2,5		Koreno nad Horjulom
228	12.7.	02:05:13,1	46,303	13,696	13,6	15	0,3	1,6	2,4		Lepena
229	14.7.	11:45:33,8	46,018	15,209	0	3	0,1	1,6	1,6		Cerovec
230	14.7.	12:30:15,3	46,006	15,227	12,6	12	0,4	2,2	2,2		Jablanica
231	14.7.	19:29:08,0	46,277	13,636	13,2	22	0,7	1,6	2,4		Drežniške Ravne
232	15.7.	16:56:34,8	46,270	13,715	11,1	16	0,4	1,6	2,5		Veliki Bogatin
233	16.7.	14:49:59,7	46,217	16,048	12,4	7	0,6	1,7	2,3		Žarovnica, meja Hrvaška-Slovenija
234	16.7.	22:44:05,8	46,287	13,707	15,6	26	0,4	2,1	2,9		Lepena
235	20.7.	22:31:03,4	46,123	14,399	15,9	4	0,3	1,6	1,5		Žlebe
236	21.7.	02:05:39,0	46,284	13,654	15,5	17	0,3	1,7	2,5		Lepena
237	24.7.	03:34:08,9	46,304	13,577	13,5	34	0,7	2,3	2,8	IV-V	Čezsoča
238	24.7.	07:56:05,2	46,278	13,640	11,6	9	0,5	1,2	2,4	čutili	Idrsko
239	26.7.	12:27:23,2	45,940	15,347	0,5	4	0,4	1,7	1,8		Dolenje Radulje
240	30.7.	10:56:32,9	46,042	15,063	0,1	12	0,9	2	2,2		Radgonica
241	31.7.	01:02:58,3	46,049	15,031	9,2	6	0,2	1,6	1,5		Zavrh
242	6.8.	11:59:30,9	45,713	13,863	10,6	4	0,4	1,6	2		Sežana, meja Slovenija-Italija
243	6.8.	20:59:15,5	46,298	13,678	13,8	9	0,3	1,4	2,4	IV	Volarje
244	7.8.	05:32:14,9	45,553	15,297	0,1	14	0,5	1,9	2,3	III-IV	Dragoši, meja Slovenija-Hrvaška
245	8.8.	12:10:25,9	46,231	16,076	1,8	8	0,4	1,6	2,1		Bedenec, meja Hrvaška-Slovenija
246	8.8.	17:37:50,2	46,101	14,341	18,5	16	0,5	2	2,4		Setnica-Tošč
247	9.8.	21:16:31,7	45,569	15,315	0,1	6	0,3	1,3	2,2	III-IV	Adlešici
248	9.8.	22:57:31,6	46,301	13,630	13	18	0,4	1,6	2,2	III-IV	Lepena

št.	dat.	h:m:s	šir	dolž	h	nst	RMS	M _{LV}	M _D	Imax	potresno območje
		UTC	°N	°E	km		s			(EMS)	
no.	date	h:m:s	lat	lon	h	nst	RMS	M _{LV}	M _D	Imax	epicentral area
		UTC	°N	°E	km		s			(EMS)	
249	10.8.	02:51:06,6	45,547	15,314	7	10	0,4	1,6	2,1	IV	Fučkovci, meja Slovenija-Hrvaška
250	11.8.	08:25:20,5	46,078	14,849	10	8	0,4	1,6	1,7		Konj-Hotič
251	15.8.	20:59:45,8	45,889	14,640	7	8	0,5	1,5	1,8	IV	Čušperk-Grosuplje
252	21.8.	08:32:24,2	46,256	14,503	7	7	0,5	1,6	1,3		Grad-Cerklje na Gorenjskem
253	21.8.	13:10:40,7	46,253	13,687	14,9	32	0,5	2,5	3	IV	Krn
254	25.8.	05:34:07,2	46,000	14,150	25,1	12	0,3	1,9	2,3		Hleviše-Rovte
255	29.8.	22:32:56,8	46,068	15,031	10,6	8	0,3	1,7	1,7		Podkum
256	30.8.	01:18:21,9	46,257	13,714	12,7	40	0,6	3	3,2	V	Čadrg
257	30.8.	09:30:25,7	46,262	13,689	15,2	23	0,4	2,3	2,7		Krn
258	31.8.	02:32:04,4	45,929	14,875	15,6	61	0,5	4,2	4,2	VI	Sela pri Dobu
259	31.8.	09:53:45,0	45,942	14,862	16,9	19	0,4	2,3	2,6	IV	Radohova vas
260	1.9.	20:41:39,4	45,942	14,868	4,3	12	0,4	2	2,4	IV	Radohova vas
261	3.9.	08:11:24,6	45,350	14,524	15,6	13	0,5	1,7	2,2		Cernik Primorski, meja Hrvaška-Slov.
262	4.9.	22:20:49,2	46,314	13,605	14,5	23	0,5	1,7	2,4		Kal-Koritnica
263	10.9.	22:31:47,4	46,325	13,596	13,5	20	0,3	1,7	2,5		Kal-Koritnica
264	11.9.	04:13:58,3	45,657	15,539	21,4	7	0,5	1,7			Krašič, meja Hrvaška-Slovenija
265	15.9.	14:52:31,7	45,948	15,065	22,3	13	0,6	2,1	2,2		Mirma
266	16.9.	11:09:25,2	46,314	13,618	14,5	26	0,3	2,3	3	V	Lepena
267	16.9.	14:00:01,2	46,315	13,608	12,9	7	0,1	1,1	2,3	zvok	Bovec
268	17.9.	05:29:43,3	46,066	14,771	15,7	97	0,6	3,4	3,6	V	Golišče
269	17.9.	08:27:30,1	46,065	14,743	12,4	15	0,7	2,1	2,6	čutili	Mala Štanga
270	17.9.	08:42:21,5	46,054	14,763	9,3	9	0,5	1,7	1,8		Velika Štanga
271	17.9.	14:22:06,5	45,553	14,395	15	7	0,3	1,6	2,1		Snežnik
272	18.9.	06:06:59,3	46,050	14,742	10,4	26	0,5	2,7	2,6	IV-V	Koške Poljane
273	20.9.	07:48:19,6	45,966	14,429	9,7	12	0,5	1,9	2,3	V	Podpeč pod Krimom
274	23.9.	13:29:28,8	46,053	14,729	8,2	10	1,2	1,6	1,8		Tuji Grm-Janče
275	24.9.	03:59:04,9	46,053	14,742	13	72	0,5	3,3	3,5	IV-V	Koške Poljane
276	24.9.	05:00:14,6	46,046	14,764	7,2	10	0,4	1,6	1,8		Velika Štanga
277	25.9.	06:06:19,0	45,955	14,867	13,5	20	0,5	2,4	2,7	IV	Šentpavel na Dolenjskem
278	26.9.	07:48:43,4	46,219	16,019	8,2	6	0,6	1,9	1,8		Bednja, meja Hrvaška-Slovenija
279	27.9.	16:28:45,0	46,076	14,739	13,9	10	0,8	1,6	1,6		Zgornja Jevnica

št.	dat.	h:m:s	šir	dolž	h	nst	RMS	M _{LV}	M _D	Imax	potresno območje
		UTC	°N	°E	km		s			(EMS)	
no.	date	h:m:s	lat	lon	h	nst	RMS	M _{LV}	M _D	Imax	epicentral area
		UTC	°N	°E	km		s			(EMS)	
280	30.9.	00:02:05,6	45,983	14,832	6,3	10	0,3	1,6	1,8		Pristava nad Stično
281	5.10.	10:58:21,1	45,992	15,469	7	7	0,4	1,7	1,7		Dolenji Leskovec ob Savi
282	6.10.	17:15:39,9	46,496	14,444	0,1	12	0,5	1,8	1,4		Obir, meja Avstrija-Slovenija
283	6.10.	20:41:19,3	46,319	13,606	15	20	0,2	1,8	2,4		Kal-Koritnica
284	7.10.	00:06:27,0	46,310	13,655	18,4	29	0,5	2	2,6		Lepena
285	7.10.	06:18:48,1	46,100	14,835	17,2	8	0,2	1,9	1,8		Bitiče-Hotič
286	9.10.	06:42:48,4	46,326	13,596	12,5	23	0,5	1,9	2,7		Kal-Koritnica
287	9.10.	08:06:55,8	46,278	13,727	15	31	0,5	2,3	2,9	IV	Veliki Bogatin
288	9.10.	21:19:27,0	46,174	15,949	13,5	7	0,3	1,7	2		Radoboj, meja Hrvaška-Slovenija
289	15.10.	16:58:36,5	46,296	13,646	12,4	7	0,2		2,4	IV	Drežniške Ravne
290	17.10.	13:24:48,7	46,277	13,697	13	17	0,5	1,9	2,4	IV	Krn
291	20.10.	10:42:09,8	45,566	15,248	0	8	0,7	1,9	1,9		Desinec, meja Slovenija-Hrvaška
292	22.10.	18:11:07,2	46,271	13,686	15,1	20	0,5	1,8	2,3		Krn
293	23.10.	14:57:59,3	46,289	13,770	7	9	0,7	1,6	2,2		Lanževica
294	25.10.	17:02:54,4	45,619	14,278	13,8	16	0,4	1,8	2,5		Koritnice
295	31.10.	10:59:50,7	46,353	15,575	23	4	0,5	1,7	1,9		Križni vrh
296	1.11.	16:40:15,2	46,204	15,497	3,2	3	0	1,6			Rakovec
297	2.11.	13:08:48,4	46,112	13,830	15,6	8	0,3	1,6	2,2		Roče
298	5.11.	18:04:41,7	46,318	15,554	6,6	4	0,5	1,1	0,7	V	Pečovnik
299	10.11.	12:36:54,3	46,277	16,025	17,3	7	0,6	1,9	2,3		Cvetlin, meja Hrvaška-Slovenija
300	12.11.	08:27:26,9	46,346	13,590	8,5	12	0,3	1,8	2,4		Kal-Koritnica
301	12.11.	19:34:33,0	46,056	14,730	15,7	17	0,6	2,4	2,4	IV	Tuji Grm-Janče
302	14.11.	12:49:03,7	46,173	14,468	8,7	9	0,7	1,6	1,7		Dornice-Smlednik
303	24.11.	13:49:32,0	46,274	13,712	10,9	83	0,6	3,1	3,2	V	Veliki Bogatin
304	25.11.	08:35:34,6	46,290	13,676	8,8	15	0,5	1,9	2,2		Lepena
305	4.12.	09:08:27,6	46,279	13,704	14	33	0,5	2,5	2,1	IV	Krn
306	6.12.	23:32:07,3	46,293	15,153	12,9	9	0,8	1,5	1,6	III-IV	Prebold
307	11.12.	12:12:38,3	46,212	15,997	10,7	9	0,6	1,7	2,4		Bednja, meja Hrvaška-Slovenija
308	12.12.	15:59:44,3	46,276	13,861	20	22	0,4	2,1	2,5		Ukanc
309	14.12.	20:06:43,4	46,272	13,721	9,5	22	0,4	1,9	2,6	V	Veliki Bogatin
310	15.12.	04:21:14,5	46,293	13,716	10,6	8	0,5	1,5	2,5	IV	Volarje

št.	dat.	h:m:s	šir	dolž	h	nst	RMS	M _{Lv}	M _D	Imax	potresno območje
		UTC	°N	°E	km		s			(EMS)	
no.	date	h:m:s	lat	lon	h	nst	RMS	M _{Lv}	M _D	Imax	epicentral area
		UTC	°N	°E	km		s			(EMS)	
311	17.12.	06:35:18,9	46,219	15,403	9,8	8	0,5	2,1	1,7		Šentjur pri Celju
312	26.12.	06:49:00,8	45,463	14,349	9,7	25	0,5	2,1	2,5		Škalnica, meja Hrvaška-Slovenija
313	26.12.	10:42:37,4	46,548	14,975	19,8	7	0,6	2,8	2		Ravne na Koroškem
314	29.12.	02:34:03,3	45,371	14,822	7	11	0,5	1,8	2,2		Delnice, meja Hrvaška-Slovenija

V naslednjem poglavju in na slikah 3 do 27 so natančneje opisani le nekateri izmed potresov, ki so jih v zadnjem letu čutili prebivalci Slovenije. Zaradi izredno velikega števila dogodkov ni bilo mogoče predstaviti učinkov prav vseh. Slika 2 kaže nadžarišča in največje intenzitete teh potresov. Potresi 26. marca, 3. aprila, 12. maja in 2. junija tu niso predstavljeni, ker so bila njihova žarišča daleč zunaj Slovenije (v Italiji oziroma na Hrvaškem). Več o potresu 12. aprila 1998 in njegovih posledicah lahko preberete v več člankih v tej številki publikacije "Potresi v Sloveniji".

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

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

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	03	26	16	26	IV-V	Italija
2	04	3	07	27	čutili	Italija
3	05	12	15	18	IV	Hrvaška
4	06	2	18	03	IV	Hrvaška

V preglednici 3 sta dogodka, ki so ju prebivalci čutili, vendar število zapisov ni zadoščalo, da bi jima lahko izračunali parametre.

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

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

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	18	14	50	III-IV	Srpenica
2	05	27	23	44	IV	Posočje

Podatki o nekaterih potresih, ki so jih prebivalci čutili

5. januar 1998 ob 5. uri 15 minut UTC. Šibko tresenje tal z intenziteto III-IV EMS-98 so čutili nekateri prebivalci Krškega in Libne. Na splošno so bili učinki potresa slabo zaznavni.

29. januar 1998 ob 7. uri 26 minut UTC. Ta potres so najmočneje (IV EMS-98) čutili prebivalci Gabrovčca in Kompolj. V osnovni šoli Kompolje je s stropa odpadel omet. Opazovalci so poročali še o vibracijah tal in kratkem bobnenju, ki je spremljalo potres. Tisti, ki živijo v bližini kamnoloma, so mislili, da gre za miniranje.

29. in 30. januar 1998. Po rahlem potresu, ki so ga ob 17. uri 11 minut UTC čutili v Ljubljani, sta tla v bližini prestolnice zatresla še dva šibka sunka. Prvi je bil ob 23. uri in 54 minut UTC z najmočnejšimi učinki (III-IV EMS-98) v Brezovici pri Ljubljani. Dobro uro pozneje, ob 1. uri 3 minute UTC (30. januarja), so enake učinke čutili še enkrat na Brezovici, kot tudi na Bregu pri Borovnici in v Zgornjem Kašlju pri Ljubljani. Opazovalci iz nekaterih delov Ljubljane (Trnovo, Vič, Nadgorica), Škrilj in Staj so sporočili o enakih učinkih, toda žal so pozabili pripisati uro, zato ne vemo, na kateri potres so se opisi nanašali.

4. februar 1998 ob 14. uri 7 minut UTC. Ta potres z intenziteto IV EMS-98 so čutili prebivalci Hrušice, Kosez, Male Bukovice, Novokračin, Soz, Bača, Koritnic, Dolenj in Jelšan (slika 3). Žarišče je bilo na hrvaški strani meje: učinke IV EMS-98 je potres dosegel v Matuljih, Opatiji in Reki, iz Viškovega so poročali celo o učinkih V stopnje. Iz Bača poročajo o močnem bobnenju, ki je prihajalo z juga in je trajalo približno 5 sekund. Tudi v Vrbovem, Vrbici, Veliki Bukovici, na Sozah in v številnih drugih krajih so slišali hrumenje. Opazovalci so ta in naslednji dan čutili več manjših popotresov.

13. marec 1998 ob 15. uri 14 minut UTC. Potres je povzročil nekaj poškodb v Koritnicah, Baču, Ilirski Bistrici, Kosezah in še nekaterih krajih (slika 4). Poškodbe so bile zelo majhne: lasaste razpoke v ometu, odpadanje manjših koščkov ometa in razširjanje razpok, ki so nastale že prej (intenziteta V EMS-98). Nekaj manjših razpok na stenah so opazili tudi na cerkvi Sv. Petra v Ilirski Bistrici. Ljudje so slišali močno zamolklo hrumenje in nekateri so mislili, da gre po cesti težak kamion. Ponekod so se prevrnili lažji nestabilni predmeti. Potres so, razen v Sloveniji, čutili še v Italiji, Avstriji in na Hrvaškem. Po tem potresu smo delavci URSG obiskali epicentralno območje in si ogledali poškodbe, o katerih so nam poročali naši opazovalci.

24. marec 1998 ob 20. uri 33 minut UTC. Ta šibek potres z intenziteto III-IV EMS-98 so čutili v Šmarjeških Toplicah, Šmarjeti, Žihovem selu in Lešnici. Ljudje so zaznali lahno tresenje okenskih šip. Ponekod niti niso bili prepričani, če je bil potres. V Cerovcu so mislili, da je v bližini odjeknila močna eksplozija.

26. marec 1998 ob 16. uri 26 minut UTC. Najmočnejši potres z žariščem zunaj naših meja, ki so ga v letu 1998 čutili prebivalci Slovenije, je bil v Italiji v Umbriji, nedaleč od krajev, ki so bili porušeni leta 1997 (slika 5). Njegova magnituda je bila 5,1. Pri nas so ga najmočnejše čutili v Jelšanah (IV-V EMS-98). Potres so posamezniki čutili celo na Ptujju.

12. april 1998 ob 10. uri 55 minut UTC. Velikonočni potres v zgornjem Posočju, ki je obenem tudi eden najmočnejših potresov v Sloveniji v tem stoletju, obravnavamo v drugih člankih v tej publikaciji.

13. april 1998 ob 4. uri 58 minut po UTC. To je bil le eden v dolgem nizu močnejših popotresov, ki še vedno stresajo tla v Posočju. Potres je na Idrskem, Livku, v Bovcu in Soči dosegel intenziteto V EMS-98 (slika 6). Na že poškodovanih objektih so se pojavile dodatne razpoke, obstoječe pa so se povečale. V Bovcu so vase popadale s polic na tla (a se niso razbile). Tresenje tal in stavb je spremljalo močno bobnenje. Prebivalci so tega dne čutili še več potresnih sunkov, vendar manj močnih, razen tistega ob 3. uri 23 minut UTC, ki je v Soči dosegel intenziteto V EMS-98. Vsi sunki so bili kratki, spremljala so jih bučanje, šumenje in škripanje zidov in ostrešja. Kljub deževnemu in mrzlemu vremenu so se ljudje po vsakem potresu zbirali na prostem. Tukaj velja omeniti, da je ocenjevanje intenzitet popotresnih sunkov težje od ocenjevanja intenzitet enega samega potresa, in sicer iz več razlogov. Po močnem potresu je število popotresnih sunkov izredno veliko in sledijo si v kratkih časovnih intervalih; prebivalci si zelo pogosto ne zapomnijo časov in podrobnosti za vsak posamezen potres in raje opišejo dogajanje s frazo "ta dan smo čutili več manjših potresov". Tako dobimo zelo pogosto podatke, za katere ne vemo, h kateremu potresu sodijo. Drug problem so predhodno poškodovane zgradbe. Ker pri močnejših potresih določamo intenziteto predvsem na podlagi poškodovanosti zgradb, ki tako predstavljajo "merilni inštrument", smo po močnem potresu omejeni z dejstvom, da je zaradi že prisotnih poškodb na objektih ta naš instrument "pokvarjen" ali manj uporaben. Povečanja obstoječih poškodb ne moremo obravnavati enako kot nastajanje novih na nepoškodovanem objektu.

15. april 1998 ob 19. uri 40 minut UTC. Tudi ta dan je prebivalce Posočja prestrašilo več močnejših potresnih sunkov. Ob 21:40 po lokalnem času je močno zabobnelo, kot da grmi, in hkrati se je tudi zamajalo. Ljudje so vstajali iz postelj in šli na prosto. Mnogi tudi to noč niso spali. Čez dan so prebivalci čutili večkratno rahlo drgetanje tal ob manjših zaporednih sunkih potresa.

15. april 1998 ob 22. uri 42 minut UTC. Ob močnejšem popotresu je prišlo do plazenja ceste med Kobaridom in Drežnico, ki je bila potem prevozna le še za osebna vozila. Potresni sunki so dodatno razmajali hiše. V Bovcu je s streh odpadlo nekaj kritine (URSZR, 1998) in so morali posredovati gasilci. Prebivalci so še vedno imeli

težave s pitno vodo. Na Modrejcah so opazili razpoke v asfaltni cesti.

18. april 1998 ob 10. uri 15 minut UTC. Za ta dan smo prejeli poročila, ki so opisovala kar šest popotresnih sunkov. Najmočnejši je bil ob 10. uri 15 minut UTC z intenziteto IV-V EMS-98 in so ga čutili v Gabrjah, na Idrskem in na Livku (slika 7). V Strmcu so smuči, ki so stale v drvarnici, padle na tla. V TIK Kobarid so bučanje ob potresu slišali vsi prisotni. Na Livku sta močan sunek spremljala ropot in bobnenje v tleh.

19. april 1998 ob 19. uri 56 minut UTC. O učinkih, ki sodijo v IV EMS-98 so poročali prebivalci Selišč, Volarij, Kobarida in Soče. Pravijo, da so se vsi sunki, tudi tisti v dneh pred tem, začeli z močnejšim ali šibkejšim kratkotrajnim hrumenjem, potem pa so se tla stresla "kot bi sejali moko".

20. april 1998 ob 21. uri 13 minut UTC. Popotres je učinke IV EMS-98 dosegel na Volarjih. Ljudje so bili prestrašeni, ko so čutili tresenje in slišali kratko bobnenje. Kakor prejšnje dni je bilo tudi ta dan kar nekaj potresov, ki so jih prebivalci čutili, podrobnejših poročil o tem žal ni.

21. april 1998 ob 10. uri 50 minut UTC. Intenziteto IV-V EMS-98 je potres dosegel v krajih Mlinsko in Soča (slika 8). Dokaj močan sunek je spet vznemiril prebivalce ob reki Soči. Sledili so mu manjši sunki in bobnenje ter drhtenje tal, in sicer celo popoldne. V kraju Soča so opazili manjše podore in rušenje kamenja, kot tudi kalno vodo. Opazovalec v Strmcu je v kleti čutil rahlo zibanje tal in rahel šklepet šip.

22. april 1998 ob 6. uri 56 minut po UTC. O učinkih, ki sodijo v intenziteto V EMS-98 so poročali iz Volarij in Kamnega (slika 9). Razen hrumenja tal ob najmočnejšem popotresu tega dne, pred katerim so psi močno lajali, so prebivalci opisali še več manjših sunkov. Po nekaterih poročilih se je reka Tolminka močno obarvala. V Bovcu so potres doživeli kot sunkovit in močan udarec navzgor.

6. maj 1998 ob 2. uri 53 minut po UTC. Potres, ki je zgodaj zjutraj 6. maja zbudil prebivalce skoraj celotne zahodne in osrednje Slovenije, je bil do sedaj najmočnejši popotres velikonočnega potresa (slika 10). V krajih Drežnica in Svino so bili njegovi učinki V-VI EMS-98. Porušile so se skladovnice drv, s hribov se je valilo kamenje, razpoke v zidovih poškodovanih hiš so se povečale. Ponekod je prišlo do delne porušitve že prej močno poškodovanih sten. Kratko in močno horizontalno tresenje je spremljalo močno bobnenje. Iz Kobarida in okolice so poročali o kalnosti vode iz vodovoda. Potres so čutili tudi v Avstriji in Italiji. Po jutranjem močnem sunku so se ves dan vrstili manjši potresi. Najmočnejša sta bila ob 3. uri 0 minut ter ob 5. uri 34 minut po UTC. Oba sta na Volarjih dosegla intenziteto V EMS-98.

10. maj 1998 ob 9. uri 0 minut po UTC. Popotres 10. maja so najmočneje (V EMS-

98) čutili v kraju Livek (slika 11). Ljudje, ki so bili na prostem ob reki Soči, so potres bolj slišali kot čutili. Zvok je bil podoben manjši eksploziji, sledilo mu je rahlo nihanje tal z bobnenjem. Iz Volarij so poročali, da se po vsakem močnejšem sunku še dve uri sliši hrumenje v razmaku 20-30 minut, takoj po potresu pa še v krajših intervalih. Pravijo, da močnejšemu sunku ponavadi sledi še 3-5 manjših.

10. maj 1998 ob 23. uri 40 minut UTC. Še en popotres 10. maja je tokrat najbolj prestrašil Volarce (IV-V EMS-98)(slika 12). Voznica avtomobila je zaznala tresenje volana, kot bi vozila po kamenju. Opazili so tudi, da se je po strmih pobočjih valilo kamenje.

11. maj 1998 ob 23. uri 30 minut po UTC. Ta popotresni sunek je imel najmočnejše učinke (V EMS-98) v naseljih Dolje, Gabrje in Volarje (slika 13). Prebivalce je iz spanja prebudilo tresenje, ki ga je spremljalo močno hrumenje tal. Poročali so, da po močnejšem sunku še večkrat "zaguči" in vnovič zatrese, toda šibkeje. Na stanovanjskih hišah vsak potresni sunek poveča že obstoječe razpoke v ometu, stenah, stebrih itn.

12. maj 1998 ob 15. uri 18 minut UTC. Žarišče tega potresa je bilo na Hrvaškem v bližini Koprivnice. Pri nas so ga najmočnejše (IV EMS-98) čutili prebivalci Ptuja, Ormoža in Lendave. Čeprav ni bil močan, je potres povzročil nekaj preplaha med prebivalci, predvsem v Prekmurju, kjer so potresi dokaj redek pojav.

15. maj 1998 ob 13. uri 37 minut UTC. Intenziteto IV-V EMS-98 je potres dosegel v petih krajih: Volarje, Kobarid, Žaga, Bovec in Soča (slika 14). V Bovcu so zaznali udarec in tresenje. V Doljah so slišali škripanje vratnih okvirjev in čuden zvok, podoben gromu. V Soči so opazili posamezne podore s hribov, ki jih je spremljalo šibkejše grmenje.

20. maj 1998 ob 6. uri 40 minut po UTC. Ob tem popotresu (slika 15) so bili učinki najmočnejši na Volarjih (V EMS-98). Iz Drežnice so sporočili, da je bilo na prostem slišati zvok, podoben manjši eksploziji; sledilo je rahlo gibanje tal z bobnenjem. V Bovcu, Soči in številnih drugih krajih so opazili, da se razpoke večajo iz dneva v dan. V Soči je hrumenje in bobnenje z močnejšim sunkom potresa tako preplašilo ljudi, da so se umaknili iz stavb.

28. maj 1998 ob 12. uri 31 minut UTC. Največje učinke (IV-V EMS-98) je potres imel v Drežnici (slika 16). Ob potresu je zahrumelo. Tudi na prostem se je slišalo močno šumenje.

2. junij 1998 ob 18. uri 3 minute UTC. Žarišče tega potresa je bilo na Hrvaškem, v Podravini. Največje učinke (V-VI EMS-98) je potres dosegel v kraju Novigrad Podravski. V Sloveniji so ga čutili zlasti v severovzhodnem delu, najbolj (IV EMS-

98) pa prebivalci Ormoža in Središča ob Dravi.

13. junij 1998 ob 18. uri 40 minut UTC. Največjo intenziteto (V EMS-98) je tudi ta popotres dosegel na Volarjih (slika 17). Iz Livka so poročali o manjšem bobnenju, ki mu je sledil krajši sunek. V Kobaridu je ljudi bolj prestrašilo bobnenje kot samo tresenje tal. Prebivalci opažajo, da vsak sunek povzroči nekaj dodatnih razpok na že poškodovanih objektih.

29. junij 1998 ob 17. uri 33 minut UTC. Ta popotres je dosegel intenziteto IV-V EMS-98 na Idrskem in v Trenti (slika 18). Potres je spremljalo značilno močno bobnenje. Stare razpoke so se spet povečale.

11. julij 1998 ob 4. uri 1 minuta UTC. Najmočnejše so ta popotres (IV-V EMS-98) čutili na Volarjih, v Soči in v Trenti (slika 19). Ob potresu so se prebivalci prebujali iz spanja, nekateri zaradi dokaj močnega tresenja, druge je zbudil značilen zvok. Ljudje so začeli na poškodovanih objektih vsak dan opazovati male spremembe, razne razpoke na stenah in stropovih ter na ploščicah.

24. julij 1998 ob 3. uri 34 minut UTC. Potres je v Drežnici dosegel učinke IV-V EMS-98 (slika 20). Dva opazovalca sta bila v tem času na planini pod Krnom. S gore se je na planini Polog k Tolminki sprožil podor z veliko kamenja. Rušenje večje količine skalovja nad planino Polog, in sicer iz smeri Čadrg v Tolminko, so zaznali tudi dan pred potresom. Tudi v okolici vasi Soča se je po bližnjih hribih vsak dan krušilo in valilo kamenje. Ta potres je spremljalo močnejše bučanje pred sunkom in po njem.

6. avgust 1998 ob 20. uri 59 minut UTC. Popotres je dosegel učinke IV EMS-98 na Kamnem, v Soči in v Trenti. Na Volarjih so slišali bučanje. V Ligu pri Kanalu so potres čutili kakor zelo kratek, sunkovit udarec.

7. avgust 1998 ob 5. uri 32 minut UTC. Edino poročilo o tem potresu je prišlo iz Adlešičev, kjer so bili opaženi učinki III-IV EMS-98. Ljudje, ki so bili zunaj, so pri okopavanju gredic ali zalivanju vrtov pod nogami občutili rahel stres tal.

10. avgust 1998 ob 2. uri 51 minut UTC. Ta potres so najmočnejše čutili v Tribučah in Adlešičih v Beli Krajini. Ljudje so se prebujali zaradi poka in sunka. Pravijo, da je bilo pri potresu slišati kratko bobnenje iz globine. Opazovalec iz Tribuč je ocenil trajanje nihanja na 3 do 5 sekund.

30. avgust 1998 ob 1. uri 18 minut UTC. Prebivalce Posočja je prebudil še en popotres; močno je zagrmelo, kot bi se nekaj prevrnilo, nato pa so se tla stresla. V Drežnici so se pojavile nove razpoke na zidovih hiš, stare razpoke pa so se poglobile. Potres so čutili mnogi v Bohinju. Pastirji na Pokljuki so opazili, da so bile krave tega dne pred molžo vznemirjene, kar ponavadi niso.

31. avgust 1998 ob 2. uri 32 minut UTC. Potres lokalne magnitude 4,2 z nadžariščem pri Biču na Dolenjskem je največje učinke (VI EMS-98) dosegel v krajih Moravče pri Gabrovki, Male Češnjice in Veliki Gaber (slika 21). Potres je poškodoval osnovne šole v Šmartnem pri Litiji, Primskovem, Velikem Gabru in Gabrovki, cerkve v Moravčah pri Gabrovki in Šentvidu pri Stični ter številne stanovanjske objekte v različnih krajih (URSZR, 1998). Starejša hiša v Zagorici pa po ocenah občinske komisije ni več varna za bivanje. Prebivalce je prestrašilo dokaj močno tresenje tal, padali so manjši nestabilni predmeti (npr. vaze z rožami), slike na stenah so zanihale. Potres so čutili tudi Ljubljancani, precej vznemirjenja pa je povzročil tudi v sosednji Avstriji. V letu 1998 je to bil najmočnejši potres z žariščem zunaj Posočja.

16. september 1998 ob 11. uri in 9 minut po UTC. Čeprav smo prva telefonska obvestila o tem popotresu dobili iz Drežniških Raven, se je po končani obdelavi vseh podatkov izkazalo, da so ga najmočnejše (V EMS-98) čutili prebivalci Volarij (slika 22). Hrumenje in bučanje, ki je spremljalo potres, je bilo precej močno in je spet dodobra prestrašilo ljudi. V Bovcu so opazili, da je juha v krožnikih močno pljusnila čez rob tako, da jih je umazala po obleki.

17. september 1998 ob 5. uri 29 minut po UTC. Žarišče tega potresa je bilo v bližini Litije, toda o najmočnejših učinkih (V EMS-98) so poročali iz 25 kilometrov oddaljene Podpeči v Dobrepoljski dolini (slika 23). V ožjem nadžariščnem območju so opazili vertikalno tresenje tal, škripanje lesenih sten, tresenje pohištva in močno bobnenje. Ponekod so bobnenje slišali tik pred potresom. Zanimivo je, da je več opazovalcev pripomnilo, da tudi težji lestenci niso zanihali.

18. september 1998 ob 6. uri 6 minut UTC. Prebivalci Dvora pri Bogenšperku (slika 24) so ta litijski popotres čutili najmočnejše (IV-V EMS-98). Tudi drugod so opazili nihanje omar, rahlo hrumenje in nekateri so mislili, da pelje mimo tovornjak.

20. september 1998 ob 7. uri 48 minut UTC. Potres, ki je imel žarišče v bližini Krima, so čutili prebivalci nekaterih naselij na Ljubljanskem barju (slika 25). Najmočnejše učinke je imel v Kamniku pod Krimom in v Notranjih Goricah (V EMS-98). Prebivalci so tudi tokrat slišali bobnenje; ponekod so mislili, da mimo hiše pelje vlak ali da minirajo v kamnolomu.

24. september 1998 ob 3. uri 59 minut UTC. Še en potres z žariščem v bližini Litije je prebudil številne prebivalce, celo v Ljubljani. V Litiji so čutili kratkotrajno močno hrumenje in tresenje. O bobnenju pred potresom so poročali tudi iz številnih drugih krajev. Ljudje so slišali škripanje pohištva.

17. oktober 1998 ob 13. uri 24 minut UTC. Ta popotresni sunek je največjo intenziteto (IV EMS-98) dosegel v krajih Volarje, Drežnica, Drežniške Ravne in Soča. Prebivalci so opazili tresenje vrat in oken, slišali rahel hrup in imeli občutek,

kot bi se tla pogrezala.

5. november 1998 ob 18. uri 4 minute UTC. Več potresov, od katerih je imel najmočnejši intenziteto V EMS-98, so čutili prebivalci Pečovnika pri Celju (slika 26). Vas leži na hribu, pod katerim je opuščen premogovnik. Vaščani so menili, da je zaradi močnega deževja in poplav prišlo do posedanja v rovih rudnika. Tresenje tal je spremljalo eksploziji podobno močno bobnenje, ki je še dodatno prestrašilo prebivalce. Nekateri so čutili šibke potrese še naslednji dan.

24. november 1998 ob 13. uri 49 minut po UTC. Čeprav so prebivalci Bovca sporočali, da je predvsem čez dan težko ločiti potres od težkih gradbenih strojev, so ta popotres dokaj močno čutili, še posebej tisti, ki so bili v zaprtih in bolj mirnih prostorih. Občan iz Trnovega ob Soči je takoj po potresu opazil, da se iz Polovnika valijo posamezne skale. Iz več krajev so vnovič poročali o vznemirjenosti mačk in psov med potresom. Potresu je predhodil značilen naraščajoč šum.

14. december 1998 ob 20. uri 6 minut po UTC. Tudi ta popotres je dosegel najmočnejše učinke na Volarjih (V EMS-98), kjer sta ga spremljalo hrumenje in pok (slika 27). V Soči so menili, da je bilo bučanje bolj močno kot samo tresenje. V Tolminu so potres v pritličjih komajda čutili, v višjih nadstropjih pa nekoliko bolj.

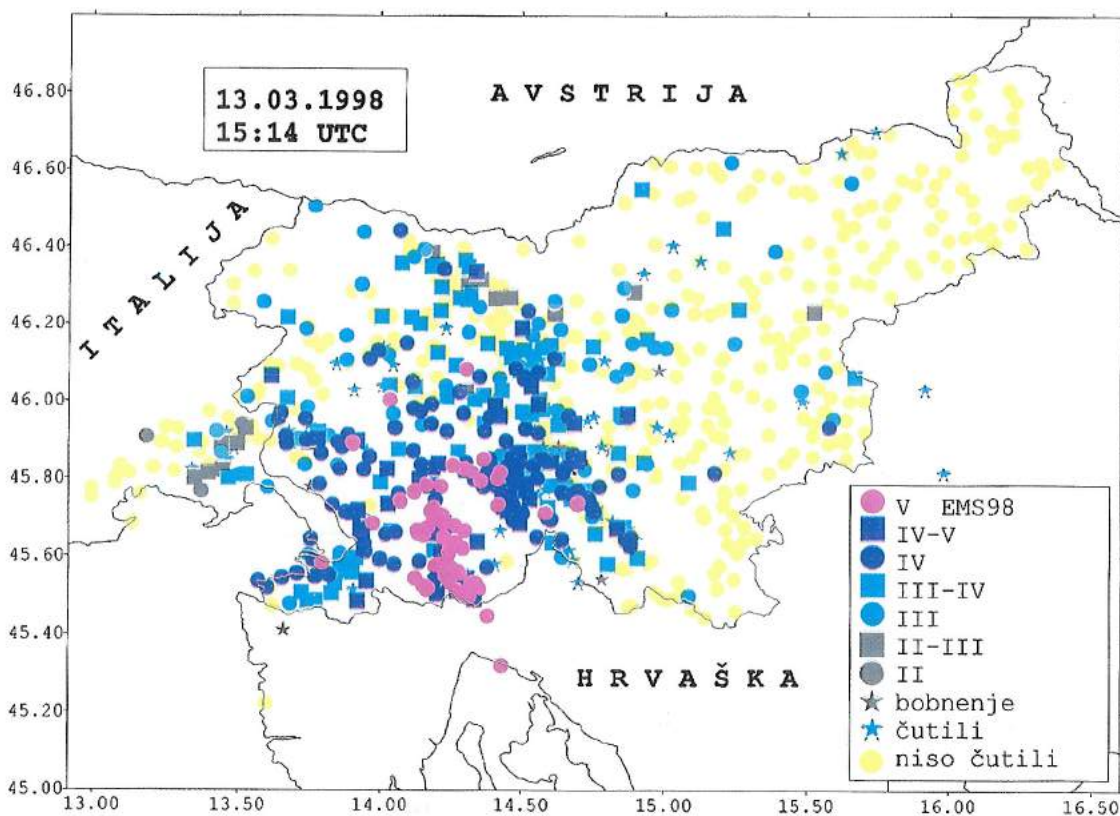
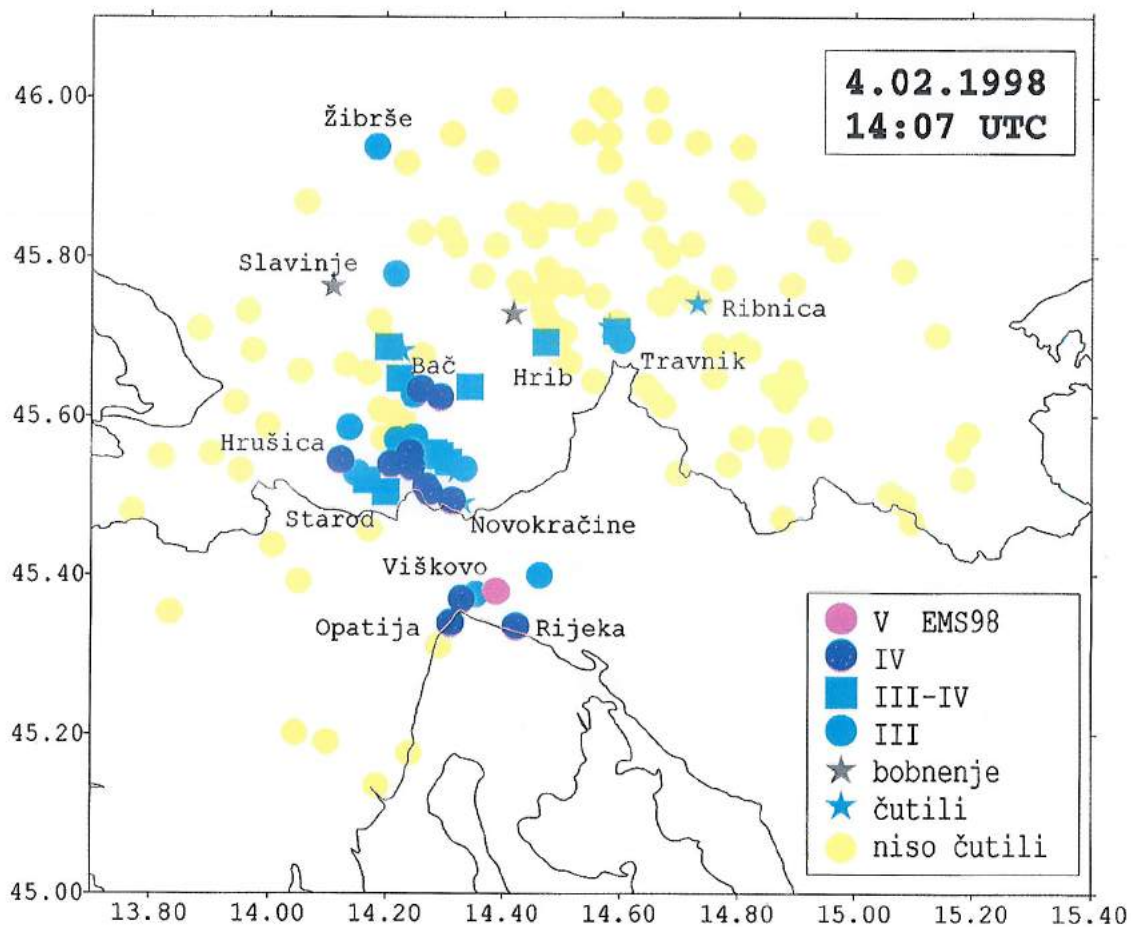
15. december 1998 ob 4. uri 21 minut UTC. Učinke IV EMS-98 so opazili prebivalci Volarij, Drežnice in Soče. Slednji so sporočili, da so čutili močnejše bučanje in rahel stres tal. V Bovcu so potres čutili redki posamezniki, ki so bili v višjih, mirnih prostorih. Na Livku šibkejše tresenje tal, ki ga je spremljalo močno bobnenje, ni pustilo vidnih sprememb na zgradbah.

Slike 3-27:

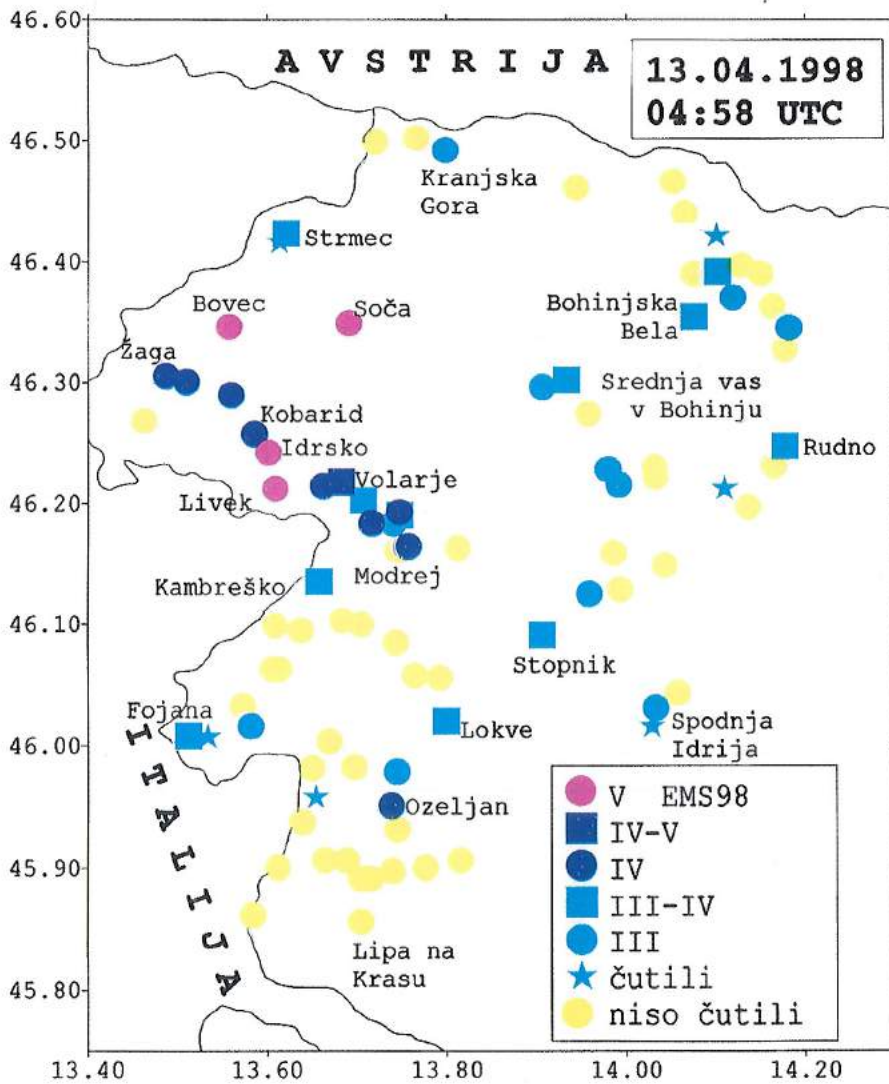
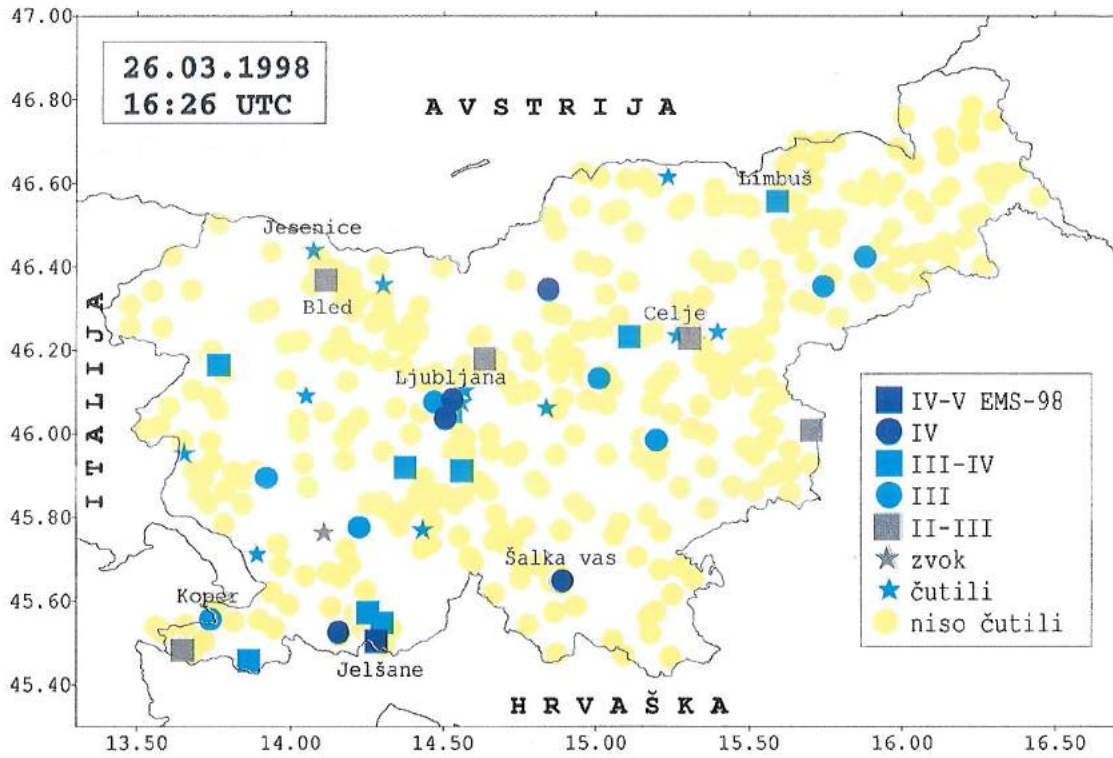
Na slikah 3-27 so prikazani učinki nekaterih potresov, ki so jih v letu 1998 čutili prebivalci Slovenije. Na nekaterih kartah, ki kažejo učinke na manjših območjih, je uporabljena Gauss-Krügerjeva mreža oz. kilometersko merilo, ki olajša ocenjevanje medsebojne oddaljenosti prikazanih krajev.

Figures 3-27:

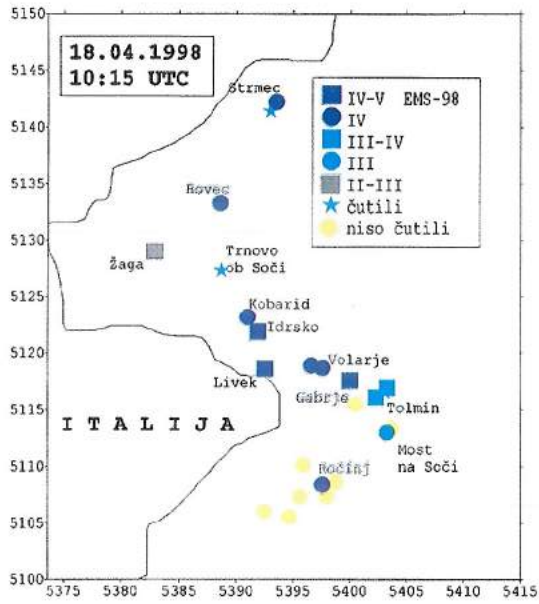
Description of the figures 3-27: The effects of some earthquakes that were felt by the inhabitants of Slovenia are given. EMS-98 was used for estimating the intensities for all earthquakes. Translation of map legends: bobnenje, zvok = sound; čutili = felt; niso čutili = not felt.



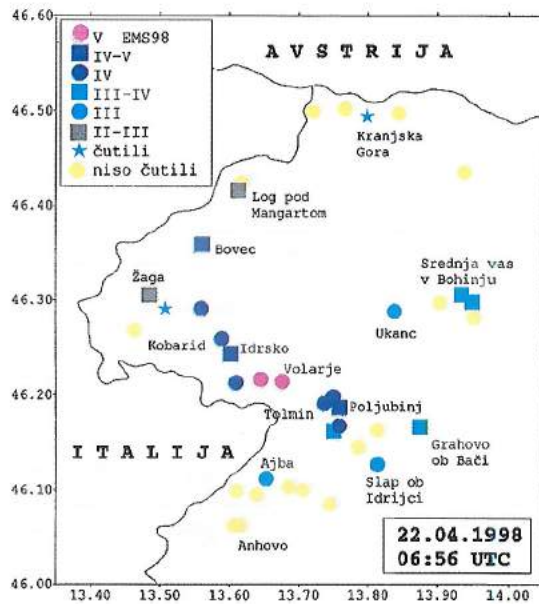
Sliki 3 (zgoraj) in 4



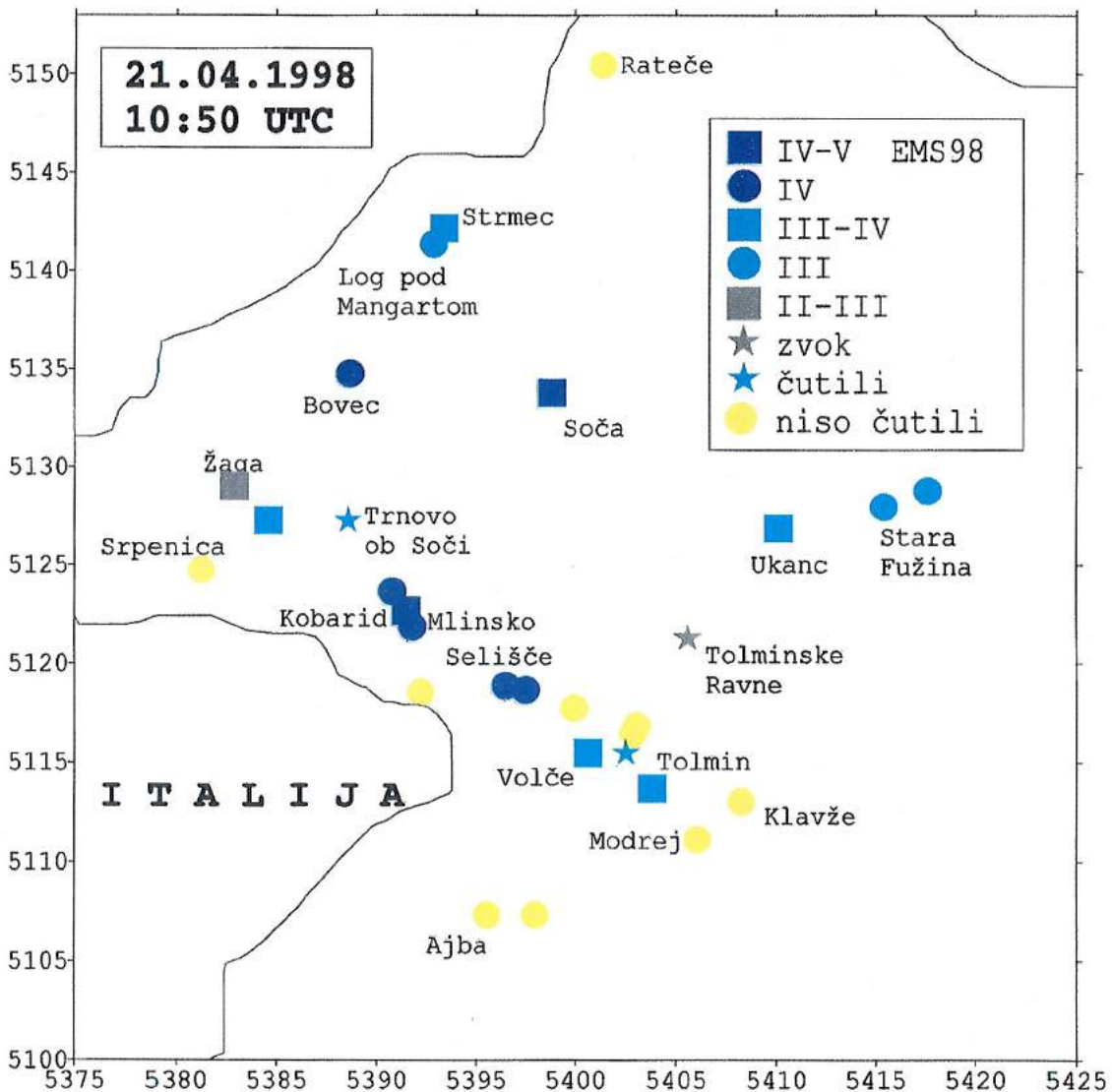
Sliki 5 (zgoraj) in 6



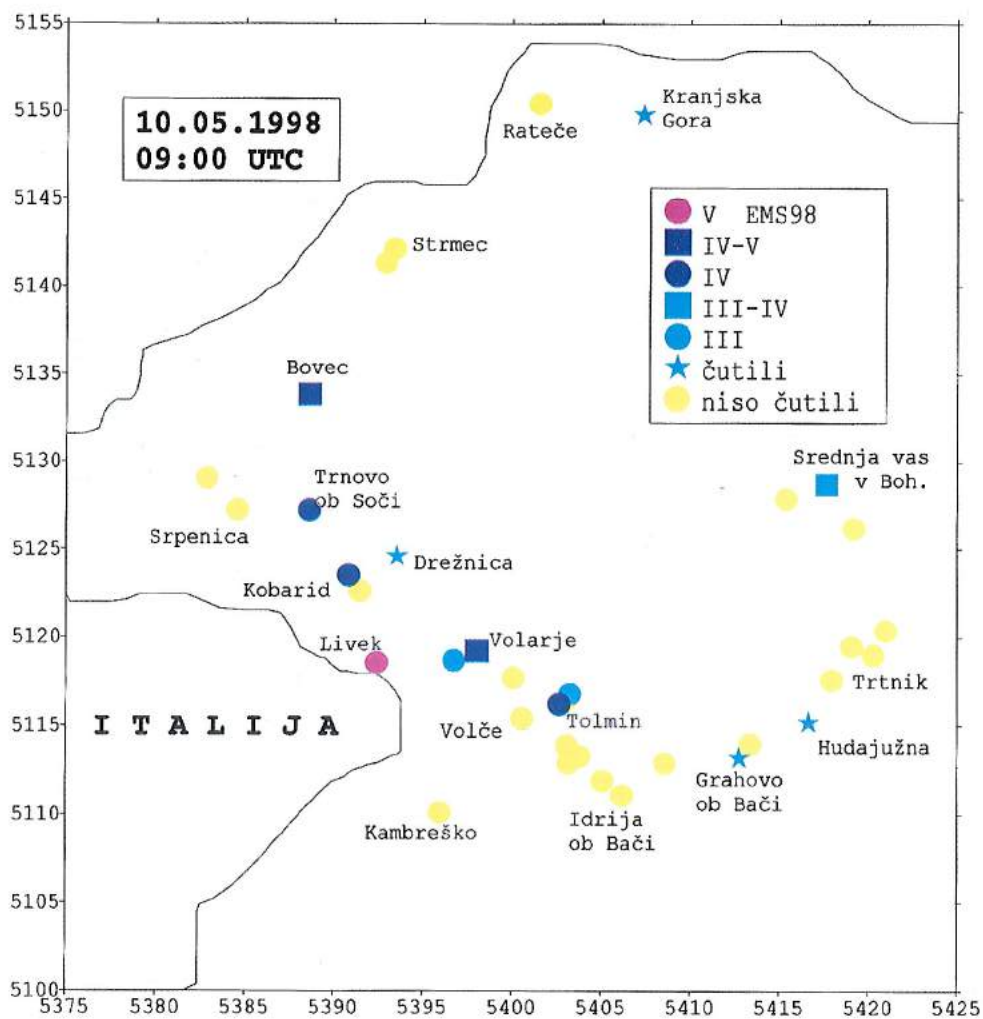
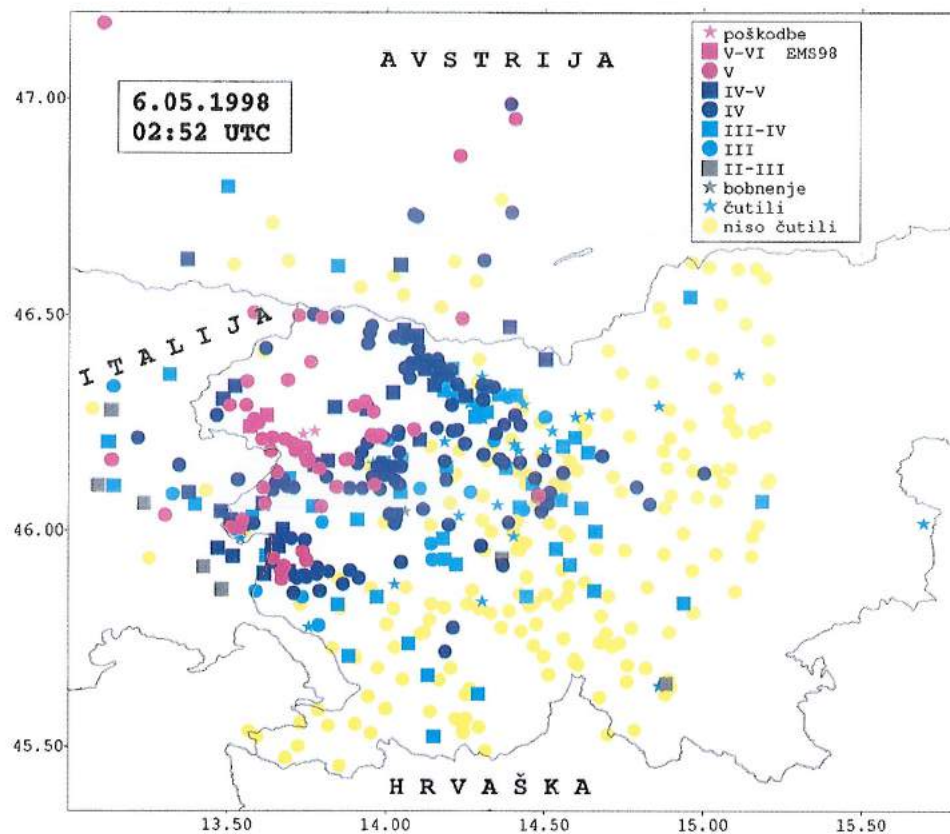
Slika 7



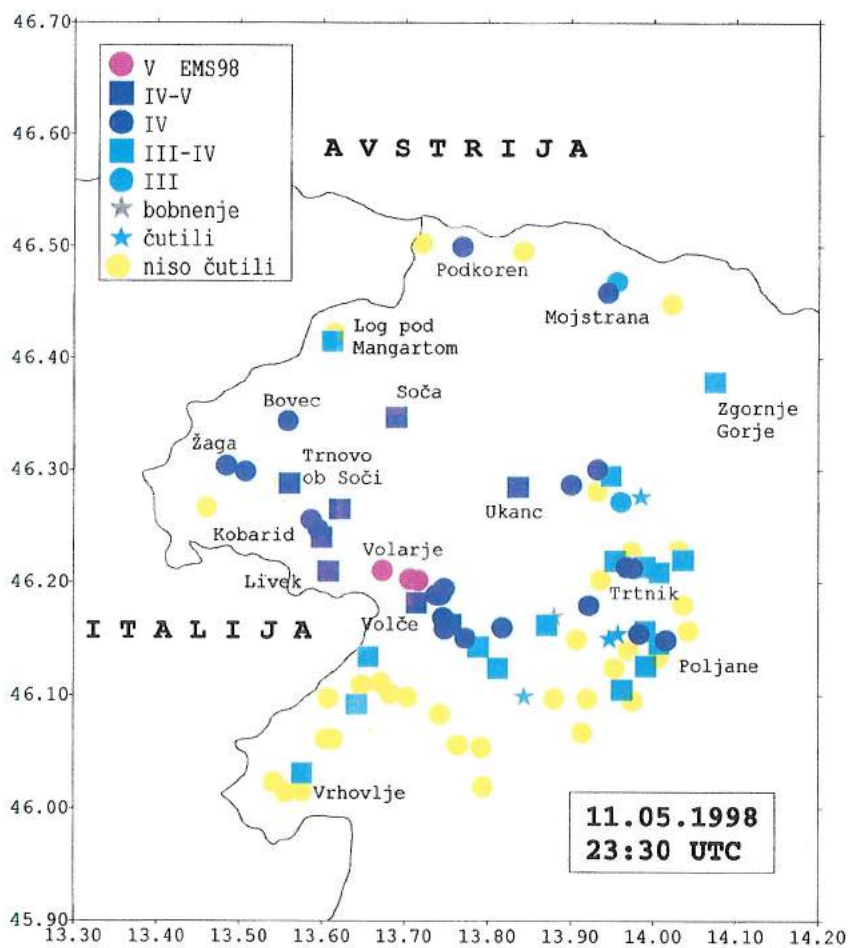
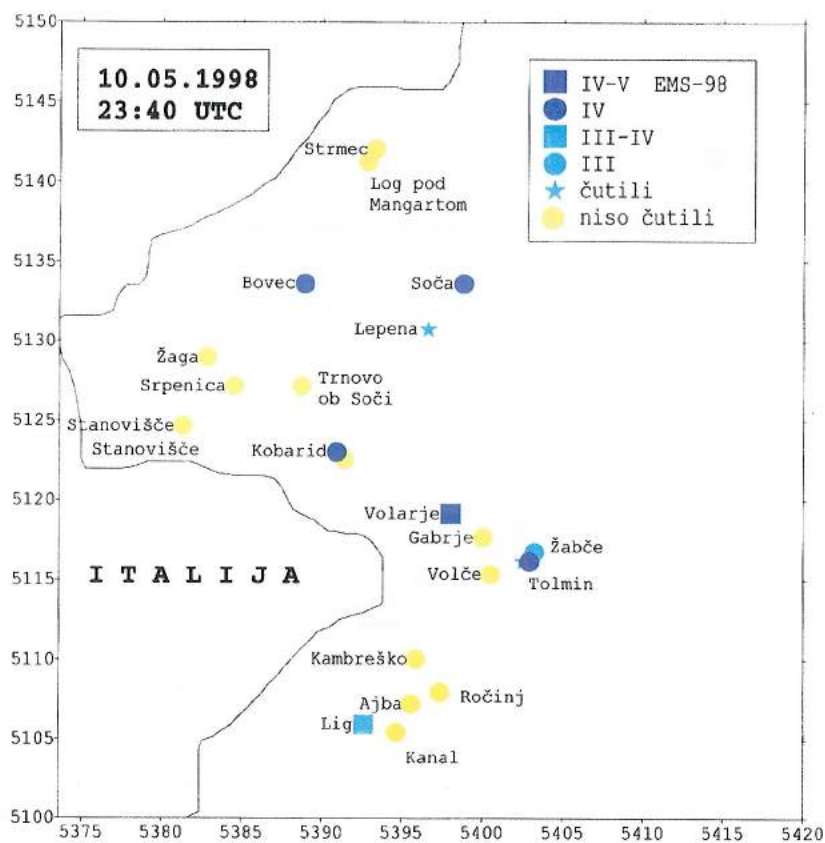
Slika 9



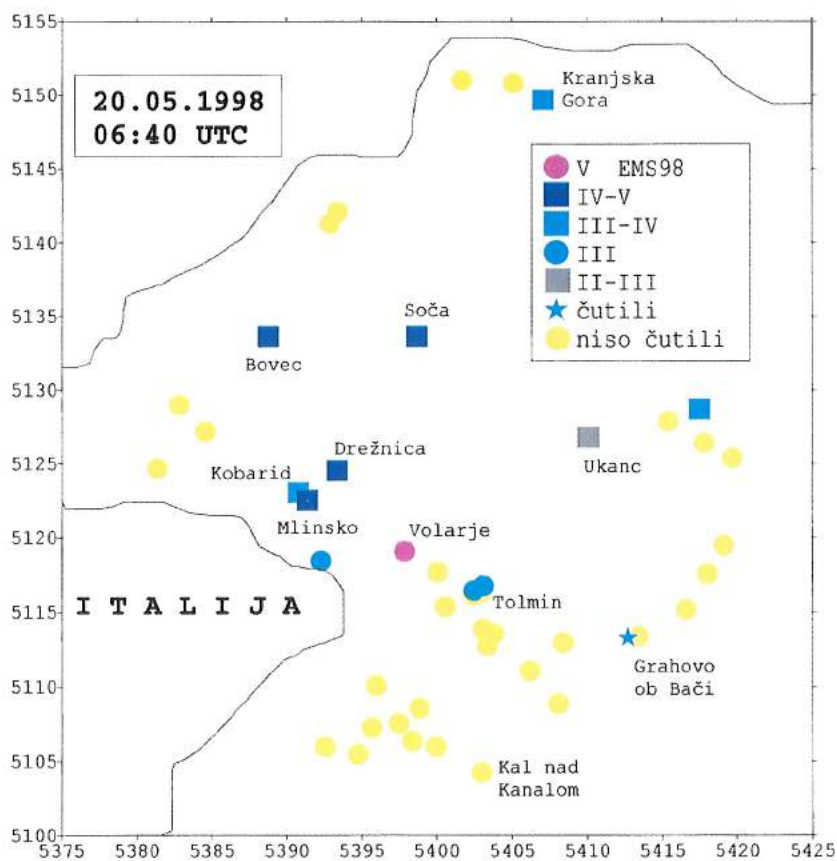
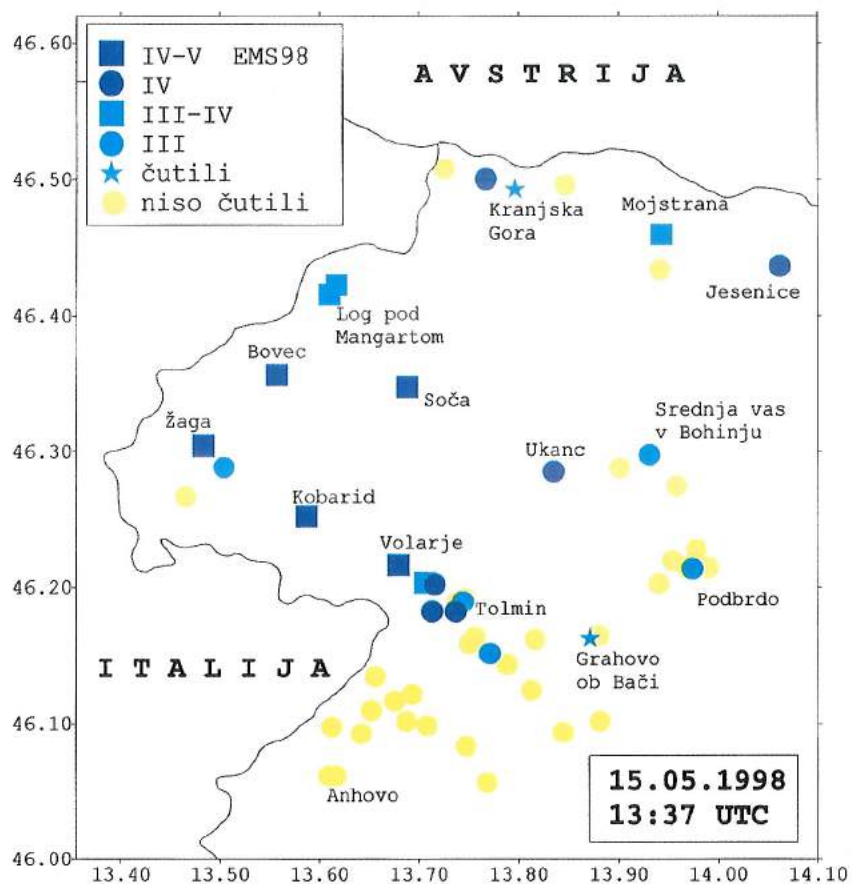
Slika 8



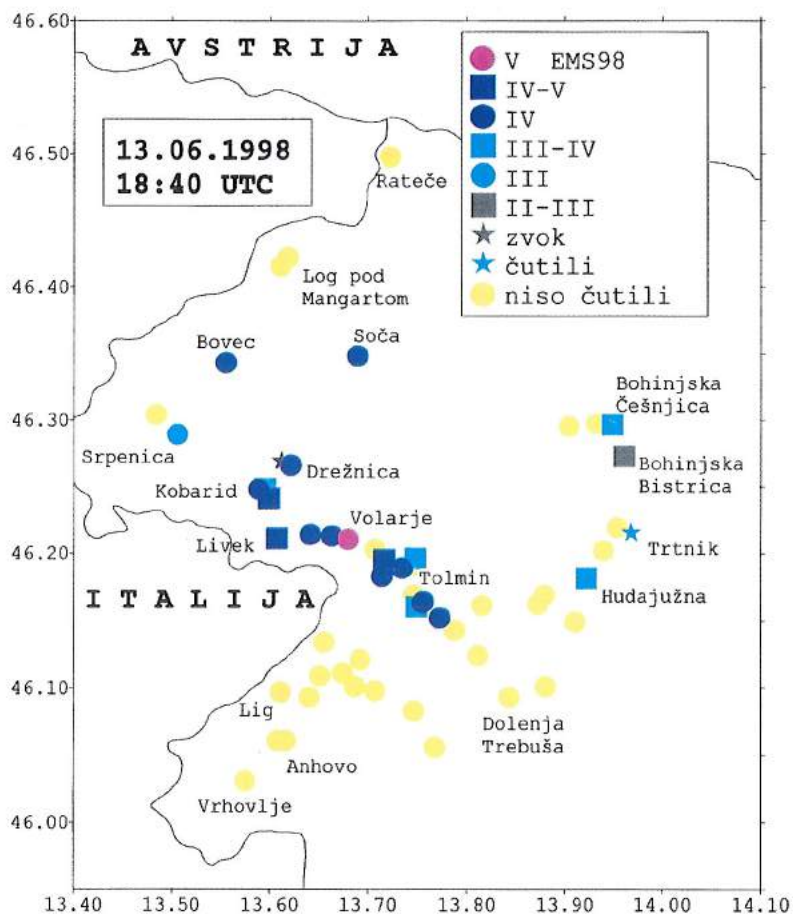
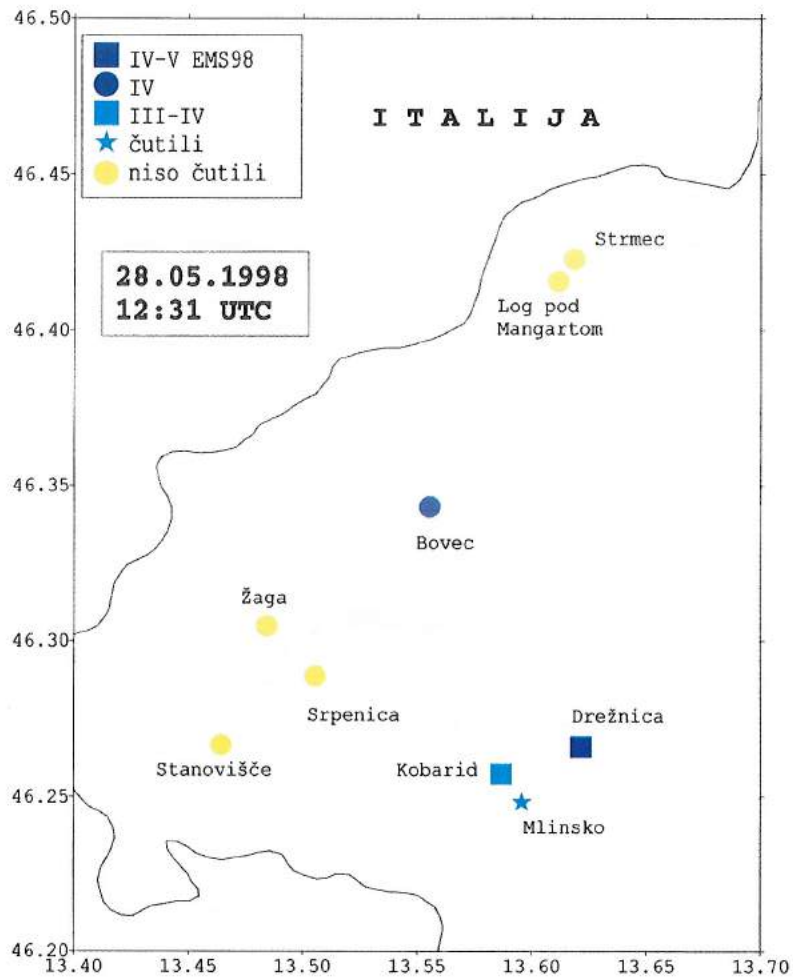
Sliki 10 (zgoraj) in 11



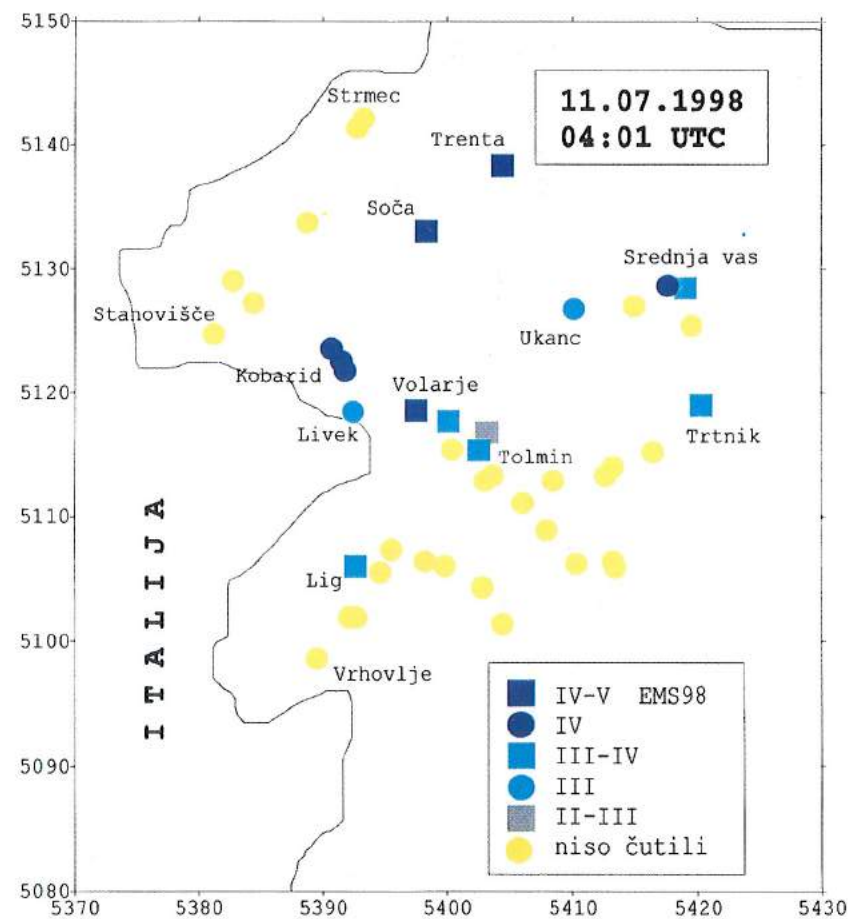
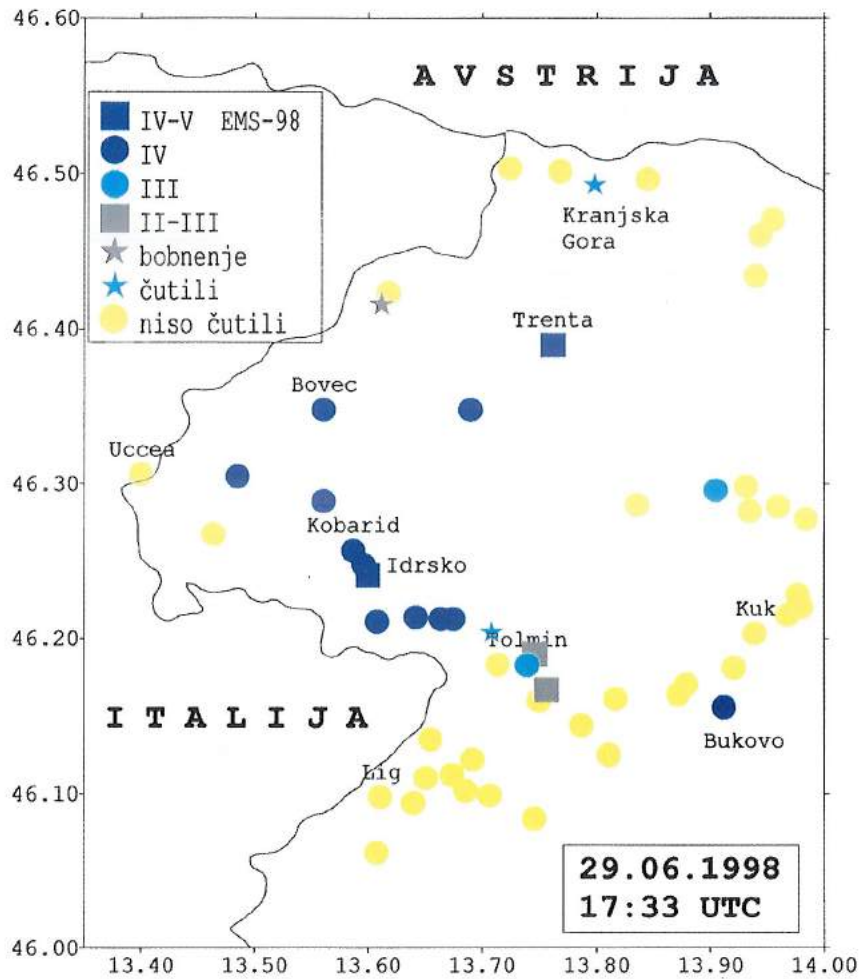
Sliki 12 (zgoraj) in 13



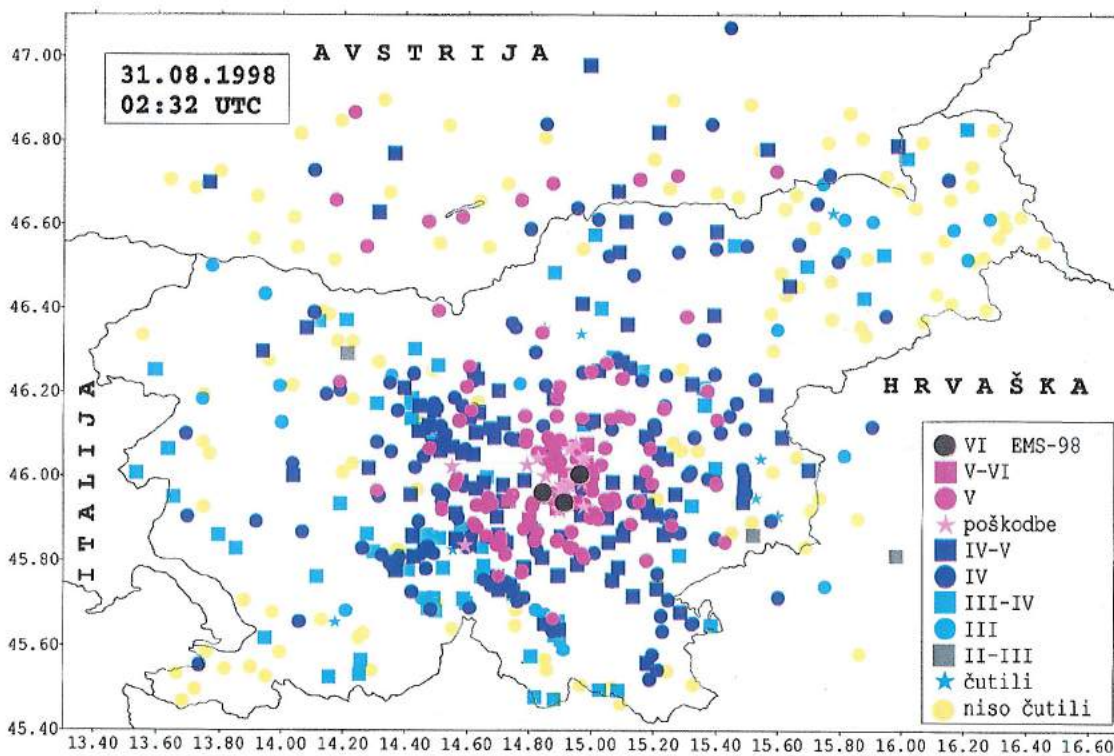
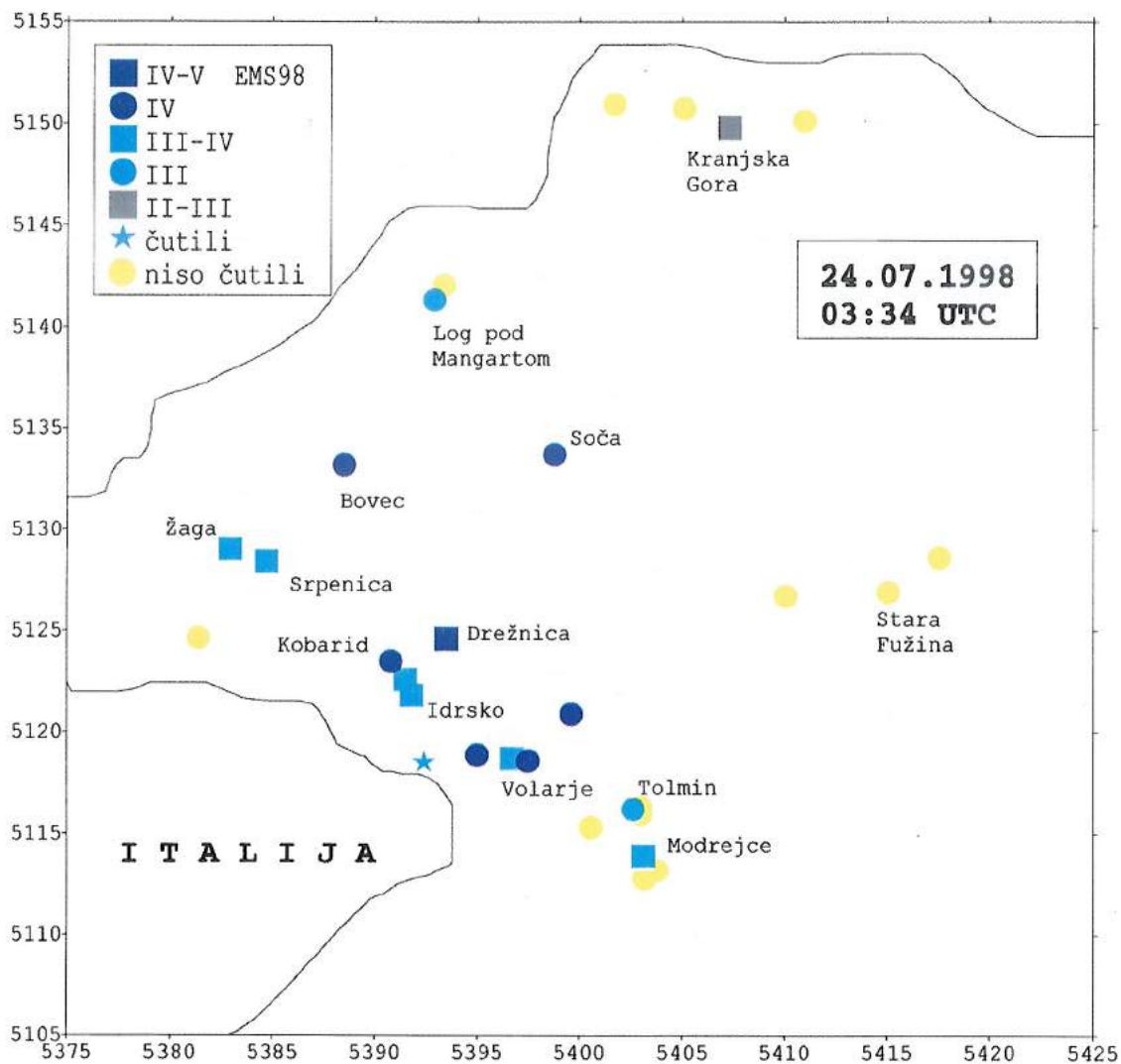
Sliki 14 (zgoraj) in 15



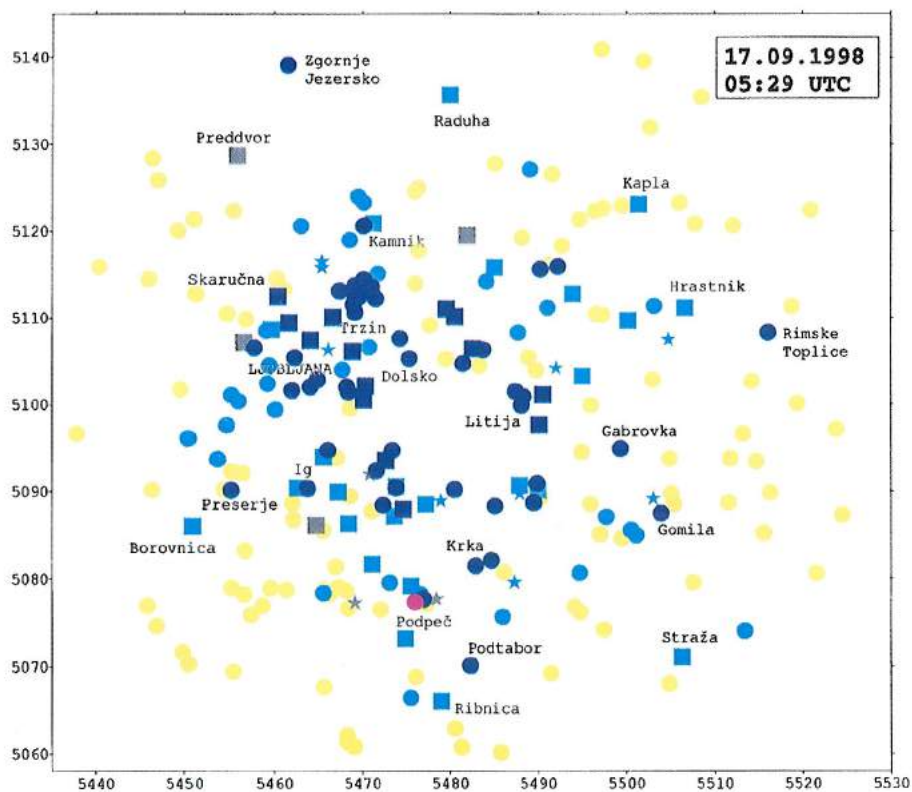
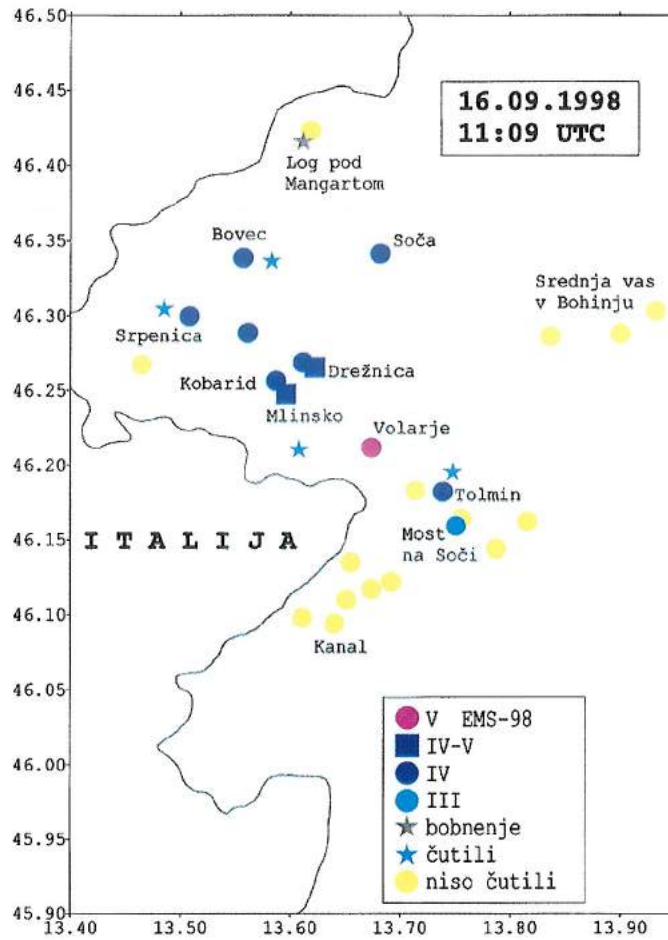
Sliki 16 (zgoraj) in 17



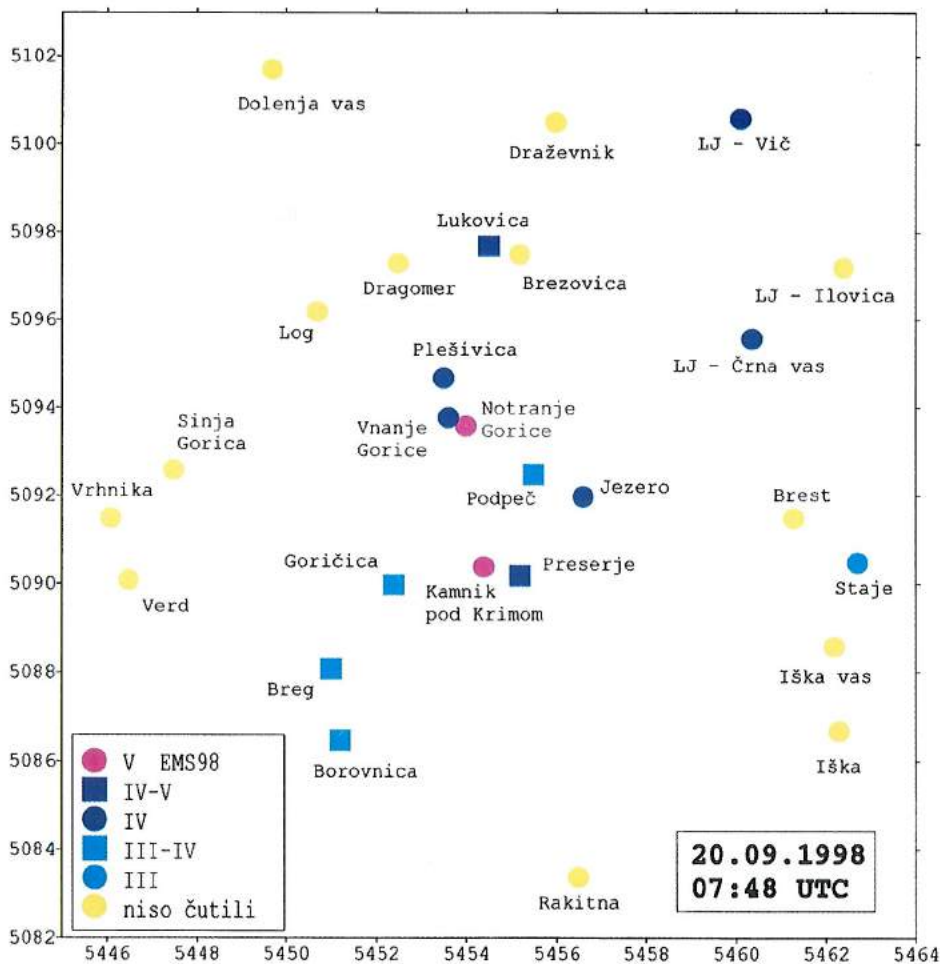
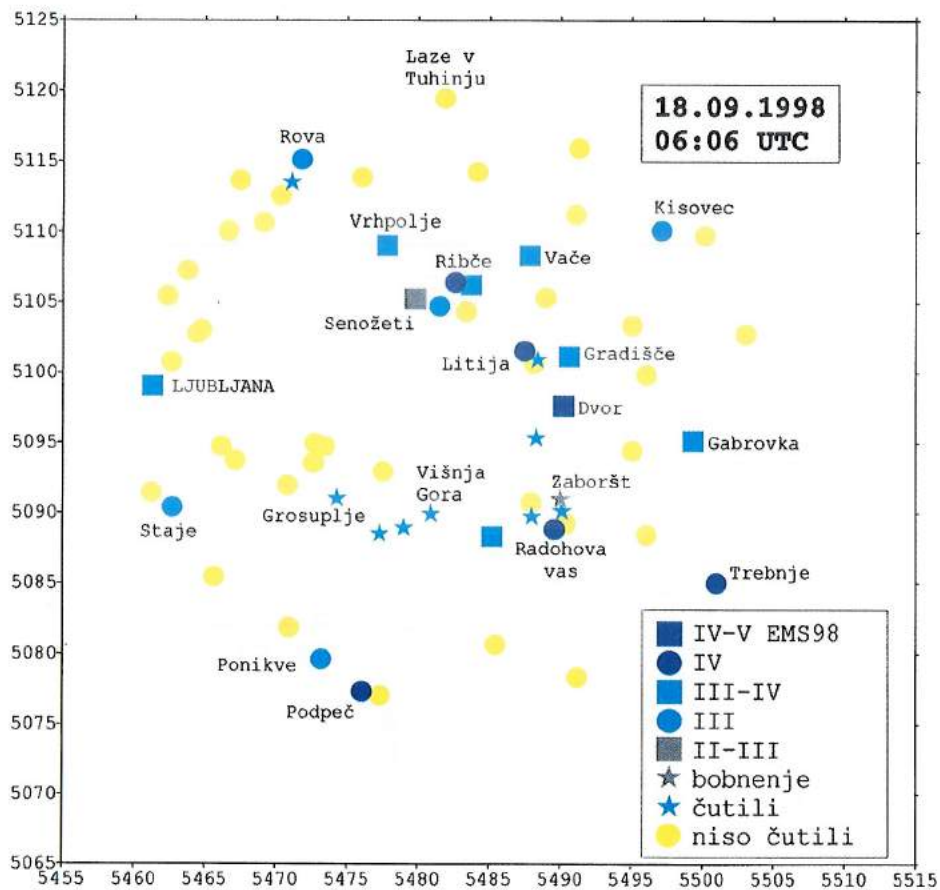
Sliki 18 (zgoraj) in 19



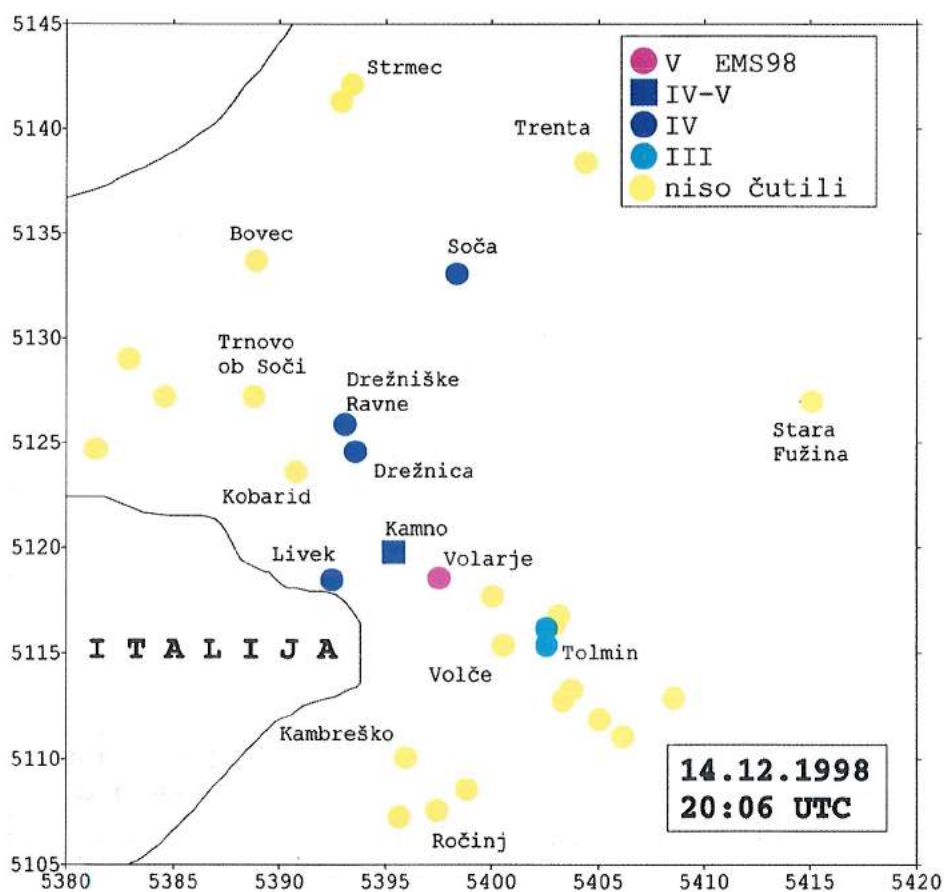
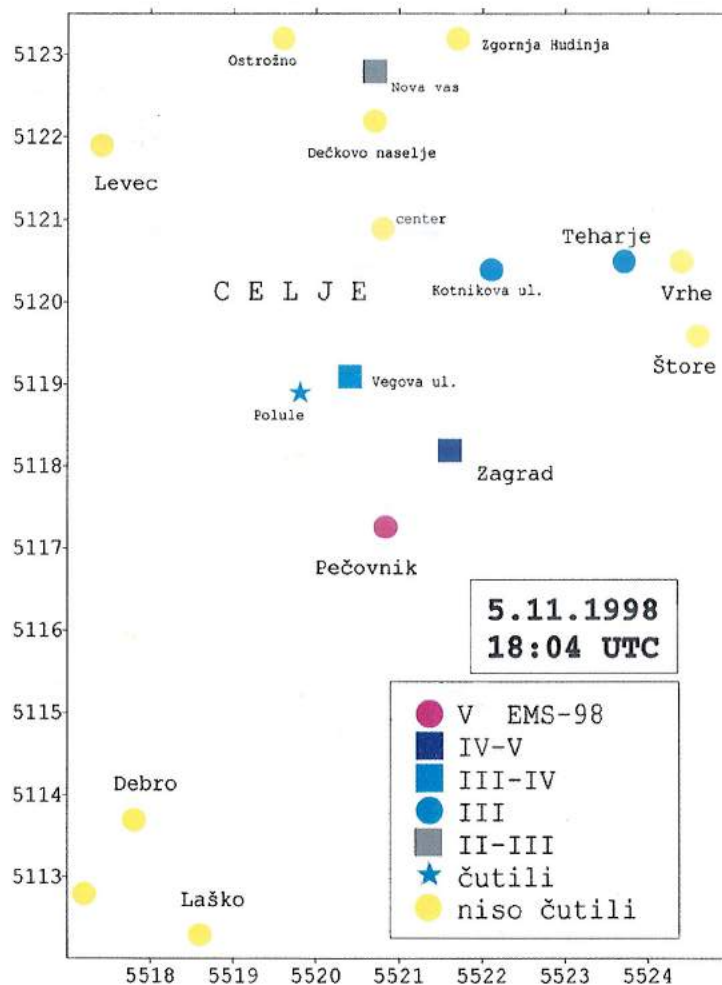
Sliki 20 (zgoraj) in 21



Sliki 22 (zgoraj) in 23



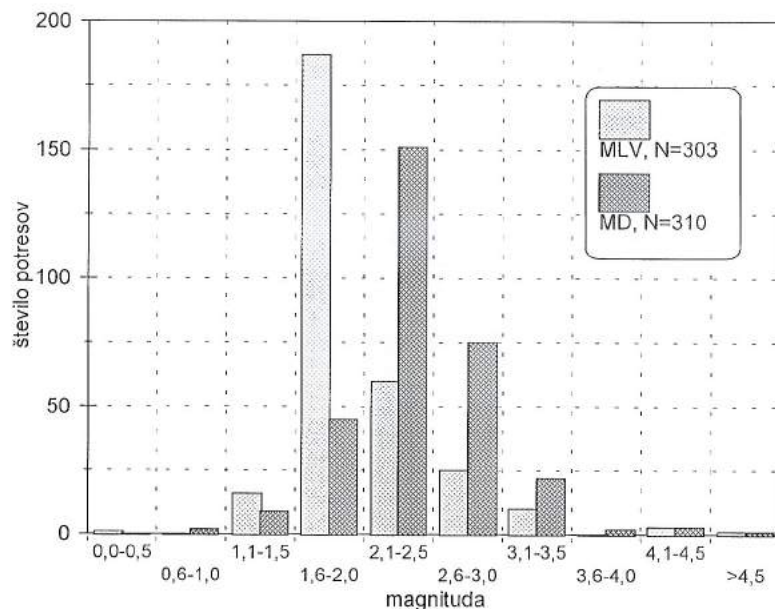
Sliki 24 (zgoraj) in 25



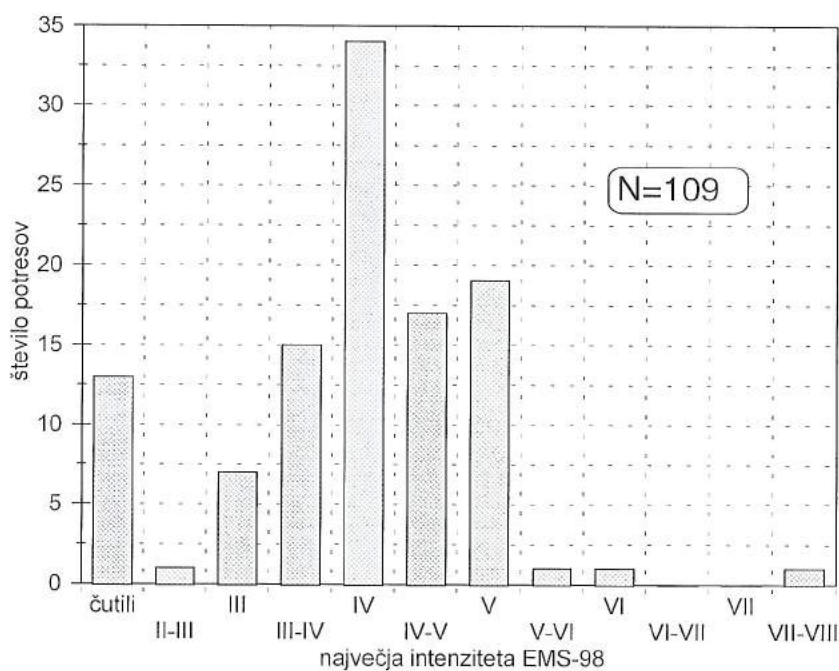
Sliki 26 (zgoraj) in 27

Sklep

Potresna aktivnost v Sloveniji je bila v letu 1998 močno povečana. Kar nekaj potresov je povzročilo gmotno škodo, doživeli pa smo tudi enega najmočnejših potresov tega stoletja.



Slika 28. Porazdelitev potresov glede na magnitudo
Figure 28. Distribution of earthquakes with respect to magnitude.

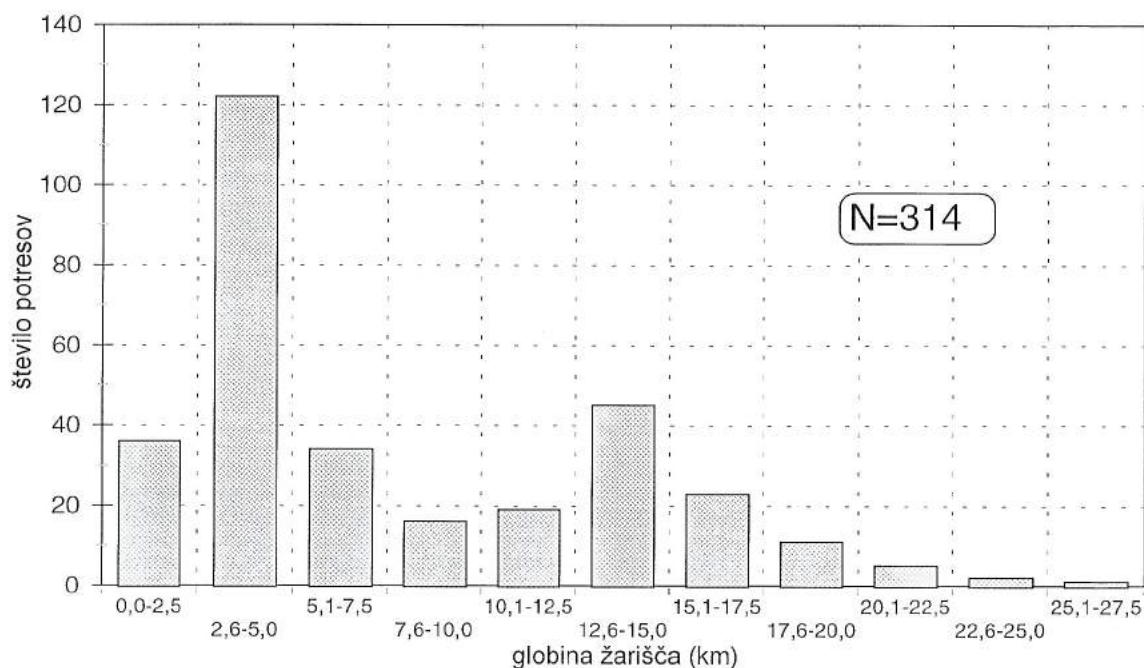


Slika 29. Porazdelitev potresov glede na največjo intenziteto EMS-98 v Sloveniji
Figure 29. Distribution of earthquakes with respect to maximum EMS-98 intensity in Slovenia.

Histogram na sliki 28 kaže porazdelitev M_{LV} in M_D magnitud. Lokalne magnitude (M_{LV}) smo lahko opredelili za 303 potrese, magnitude iz trajanja potresa (M_D) pa za 310 potresov. Največ potresov je imelo magnitudo med 1,6 in 2,5.

Med potresi, za katere smo razposlali makroseizmične vprašalnike ali opravili terenske raziskave, jih je največjo intenziteto IV. stopnje EMS-98 doseglo 34, intenziteto IV.-V. stopnje 17 in intenziteto V. stopnje 19 potresov. Po en potres je dosegel največjo intenziteto V.-VI., VI. in VII.-VIII. stopnje EMS-98. Ostali potresi (36) so imeli največjo intenziteto manjšo od V ali pa so jih ljudje le čutili in stopnje ni bilo mogoče opredeliti (sl. 2 in 29).

Porazdelitev potresov glede na globino žarišč (sl. 30) kaže, da je imela večina potresov žarišča v globini do 15 km z vrhoma med 2,6 in 5,0 km (122 potresov) in med 12,6 in 15 km (45 potresov). Le za 8 potresov smo opredelili žariščno globino večjo od 20 km.



Slika 30. Porazdelitev potresov glede na globino žarišča
Figure 30. Distribution of earthquakes with respect to focal depth.

Tudi lani 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 geofizikalnega inštituta (ING) 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

- Bajc, J., Živčić, M., Močnik, G. in Jesenko, T., 1999. Relokacija velikonočnega potresa in popotresov v zgornjem Posočju. Potresi v letu 1998, URSG, 71-79, Ljubljana.
- Cecić, I., Živčić, M., Gosar, A. in Ravnik, J., 1998a. Potresi v Sloveniji leta 1997. V: J. Lapajne (ur.), Potresi v letu 1997, URSG, 11-42, Ljubljana.
- Grünthal, G. (ur.), 1998a. European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98). Conseil de l'Europe, Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, Volume 15, Luxembourg, 99 pp.
- Grünthal, G. (ur.), 1998b. European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98).
http://www.gfz-potsdam.de/pb1/pg2/ems_new/INDEX.HTM
- 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 Suhadole, 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, 1998-99. Preliminarni tedenski seizmološki bilteni za 1998. Arhiv URSG, Ljubljana.
- Uprava RS za zaščito in reševanje (URSZR), 1998. Dnevni informativni bilteni.
- Živčić, M., Bondár, I. and Panza, G.F., 1999. Upper Crustal Velocity Structure in Slovenia from Rayleigh Wave Dispersion. PAGEOPH, v tisku.

Živčić, M., Cecić, I., Gosar, A. in Zupančič, P., 1999b. Potres 12. aprila 1998 v zgornjem Posočju - Osnovne značilnosti. Potresi v letu 1998, URSG, 49-64, Ljubljana.

Potres 12. aprila 1998 v zgornjem Posočju
OSNOVNE ZNACILNOSTI
The earthquake on April 12, 1998 in the upper Soča Territory
BASIC CHARACTERISTICS

Mladen Živčič, Ina Cencić, Andrej Gosar* in Polona Zupančič⁺

Izvleček. Potres 12. aprila 1998 ob 10. uri in 55 minut po svetovnem času (oz. 12. uri 55 minut po lokalnem poletnem času) v zgornjem Posočju je bil po magnitudi ($m_b=5,3$, $M_m=5,3$, $M_{LV}=5,6$, $M_w=5,6$, $M_S=5,7$, $M_{WA}=6,0$) eden od najmočnejših potresov z nadžariščem v Sloveniji v tem stoletju. Na podlagi žariščnega mehanizma in razporeditve žarišč popotresov sklepamo, da se je glavni potres zgodil ob subvertikalnem prelomu v smeri SZ-JV, ki ima značaj desnega zmičnega preloma. Pretrg v globini, velikosti 10 krat 6 km, ni dosegel površine, saj na površinskih izdankih prelomov v domnevni seizmogeni coni ni znakov koseizmičnega premika. Potres je dosegel največje učinke (VII-VIII EMS-98) v krajih Lepena, Magozd, Spodnje Drežniške Ravne in Tolminske Ravne. Poškodovali so se predvsem starejši objekti, grajeni iz obdelanega in neobdelanega kamna. Začasno postavljena mreža prenosnih potresnih opazovalnic je zabeležila več kot 7000 popotresov. Modificiran Omorijev zakon uspešno opiše gostoto pojavljanja popotresov, če upoštevamo še sekundarni popotresni niz po najmočnejšem popotresu 6. maja 1998.

Abstract. The earthquake on April 12, 1998 at 10h 55m UTC in upper Soča Territory was according to its magnitude ($m_b=5.3$, $M_m=5.3$, $M_{LV}=5.6$, $M_w=5.6$, $M_S=5.7$, $M_{WA}=6.0$) among the strongest in Slovenia in this century. From the earthquake mechanism and the distribution of the aftershock foci we conclude that the main shock has happened on the dextral strike-slip subvertical fault striking NW-SE. No evidence of a surface rupture was found. The largest effects were in villages Lepena, Magozd, Spodnje Drežniške Ravne, and Tolminske Ravne where the maximum intensity VII-VIII EMS-98 was observed. Mainly older buildings, built of rubble and simple stone, were damaged. Temporary network of portable stations deployed immediately after the earthquake has recorded more than 7000 aftershocks. The modified Omori law describes well the aftershocks frequency decay if the secondary aftershock sequence, which followed the strongest aftershock (6 May 1998, $M_{LV}=4.2$), is included.

Uvod

Najmočnejši potres v Sloveniji v devetnajstem stoletju je stresel in hudo poškodoval našo prestolnico zvečer na Veliko noč leta 1895, ko je bil »večji del prebivalstva v svojih stanovanjih, ker ta dan ni bilo nikjer nobene zapeljive zabave, ne gledališča, ne koncerta, kvečjemu kak družinski večer, ki je omejen na malo število oseb.« (Robida, 1895). Po nekaj več kot enem stoletju so velikonočni prazniki spet izzveneli s potresom. Tokrat se je v času kosila na skrajnem zahodu naše države zgodil eden najmočnejših potresov v tem stoletju.

Potres 12. aprila 1998 ob 10. uri in 55 minut po svetovnem času (oz. 12. uri 55 minut po lokalnem poletnem času) v zgornjem Posočju je bil po magnitudi ($M_{WA}=6,0$) eden od najmočnejših potresov z nadžariščem v Sloveniji v tem stoletju. Učinki (največja

^{*} Ministrstvo za okolje in prostor, Uprava RS za geofiziko, Pot na Golovec 25, Ljubljana

⁺ Ministrstvo za okolje in prostor, Uprava RS za geofiziko, Kersnikova 3, Ljubljana

intenziteta) - ali obseg škode - pa so bili večji pri potresih leta 1917 pri Brežicah, leta 1974 na Kozjanskem in leta 1976 pri potresu v Furlaniji (pri slednjem mislimo na učinke na slovenskem ozemlju). Za posoški potres je največja intenziteta ocenjena na VII-VIII po evropski potresni lestvici (EMS-98). Potres je povzročil največ škode v Drežniškem kotu in v Bovški kotlini (Cecić in sod., 1999a). Lokalna geološka zgradba je imela negativen vpliv na stopnjo poškodb v delu Bovca (Mala vas), v Kalu-Koritnici in v Drežniških Ravnah (Gosar, 1999). V visokogorju se je sprožilo več podorov, v nižjih predelih pa nekaj zemeljskih plazov (Ribičič in Vidrih, 1999). Potres so čutili prebivalci celotne Slovenije, pa tudi prebivalci Italije, Švice, Avstrije, Nemčije, Češke, Slovaške, Madžarske, Hrvaške ter Bosne in Hercegovine.

Kje je bil potres

Večina potresov na svetu se zgodi na območjih, kjer se stikajo večje tektonske plošče. Slovenija leži na severozahodnem robu sredozemsko-himalajskega potresnega pasu. Potresno dogajanje v južnem delu Evrope opredeljuje gibanje Afriške in Evrazijske plošče, celotno dogajanje pa zaplete še manjša Jadranska plošča, ki leži med njima. Nedeformiran del Jadranske plošče obsega približno območje celotnega Jadranskega morja, obdajajo pa ga večje gorske verige, ki so se dvignile zaradi trka plošč (Helenidi, Dinaridi, Alpe, Apenini). Raziskave kažejo, da se Jadranska plošča vrti v nasprotni smeri kot urni kazalec, kar na vzhodni in severni strani plošče povzroča zmikanje, gubanje in narivanje. Večji del Slovenije (njen južni in zahodni del) predstavlja severni del Jadranske plošče, ki je zelo deformiran in narinjen na osrednji, manj deformiran del Jadranske plošče. Trk teh plošč povzroča na našem območju napetost v smeri sever-jug, ki se sprošča kot potresi ob prelomih dinarske (severozahod-jugovzhod) in prečnodinarske (severovzhod-jugozahod) smeri ter ob narivih v smeri vzhod-zahod.

Tektonska zgradba širšega nadžariščnega območja je precej zapletena. Geotektonsko uvrščamo to območje v Dinaride, ki so razdeljeni v Južne Alpe in Zunanje Dinaride. Za Južne Alpe so na tem delu značilni regionalni narivi (nariv Julijskih Alp) od severa proti jugu. Zunanji Dinaridi obsegajo jugozahodni del Slovenije. Prelomi potekajo v smeri severozahod-jugovzhod (t.i. dinarska smer), narivi pa so narinjeni v smeri od severovzhoda proti jugozahodu. Prelomi dinarske smeri se nadaljujejo v Furlanijo, kjer pa so prekrti z narivi v smeri vzhod-zahod s smerjo narivanja proti jugu. Med prelomi dinarske smeri je najbolj izrazit idrijski prelomni sistem, ki poteka po dolini Soče od Žage do Kobarida ter prek Idrije proti Planini in Cerknici. Sikošek (1982) je na področju severozahodne Slovenije opisal idrijski prelomni sistem kot sistem, ob katerem bi lahko nastajali močnejši potresi. Razdelil ga je na več segmentov (tolminski, idrijski in cerkniški), kar zmanjšuje možnost nastajanja večjih potresov. Temu sistemu pripada tudi vzporedni Krnski prelom, kjer so, po njegovem mnenju,

možni največji potresi v Sloveniji. Severozahodni del Krnskega preloma imenujejo nekateri avtorji tudi Ravenski prelom (Buser, 1985). Prelom je poimenovan po Tolminskih Ravnah, zato je Ravenski prelom ustrežnejše od Ravnikarski prelom, kot je navedeno v citiranem viru. Na področju med Krnskimi pogorjem in Bovško kotlino so tudi manjši vzporedni prelomi. V Bovški kotlini in na njenem obrobju nastopajo tudi prečnodinarski prelomi (SV-JZ). Prelomi so ugotovljeni v mezozojskih in starejših kvartarnih sedimentih, medtem ko v mlajših kvartarnih sedimentih (holocen) niso bili opaženi.

Lego žarišča potresa v prostoru in času določamo iz zapisov potresnih opazovalnic. Potres v zgornjem Posočju je zaznala večina sodobnih potresnih opazovalnic po celem svetu, vse do Antarktike in Tasmanije. Po predhodnih podatkih, ki smo jih imeli v kratkem času po potresu na voljo je bila lega določena na podlagi zapisov sedmih slovenskih opazovalnic (najbližja je bila na Vojskem, oddaljena 36 km) in 14-ih opazovalnicah furlanske mreže (najbližja v Dreki na Kolovratu, oddaljena 16 km). Po teh izračunih je bilo žarišče na območju Krnskega pogorja v globini 14 km. Kmalu po potresu je URSG postavila začasno mrežo prenosnih opazovalnic, ki so posredovale dragocene podatke, ne le o izjemni popotresni aktivnosti, temveč posredno tudi o razlikah v Zemljini skorji na področju Slovenije. Ti podatki so nam pomagali, da smo ob uporabi metode hkratnega določanja žarišča natančneje opredelili tudi položaj glavnega potresa (Bajc in sod., 1999). Tako smo izračunali, da je potres nastal ob 10. uri 55 minut 32,9 sekund po svetovnem UTC-času (po našem poletnem času je to dve uri kasneje) v točki z zemljepisnimi koordinatami 46,309 stopinj severne širine in 13,632 stopinj vzhodne dolžine na globini 7,6 kilometrov. Ocenjujemo, da napaka opredelitve žariščnega časa ni večja od 0,2 sekunde, oziroma lege žarišča od enega kilometra.

Žarišča večine popotresov so razporejena v 3 km širokem pasu, razpotegnjenem v smeri severozahod–jugovzhod, kar priča o smeri in velikosti pretrga med potresom. Ta je bil v primeru potresa 12. aprila velik 10 krat 6 km in se nahaja v delu, nad katerim so geologi določili potek dveh prelomov: Knežkega in Ravenskega (Placer in dr., 1999). Že Sikošek (1982) je za Ravenski prelom (ki ga imenuje Krnski prelom) ocenil, da je zmožen povzročiti najmočnejše potrese v Sloveniji.

Najmočnejši popotres je bil 6. maja 1998 (23 dni po glavnem potresu) ob 2. uri 53 minut 0,1 sekunde UTC z žariščem približno 5 km jugovzhodno od žarišča glavnega potresa na globini 5,1 km in je imel magnitudo $M_{LV} = 4,2$ (Cecić in sod., 1999b).

Žariščni mehanizem potresa po podatkih različnih mednarodnih seizmoloških organizacij in po naših izračunih kaže na dve možnosti (ob uporabljenih metodah opredelitev ni nikoli enolična): skoraj čisti desni zmik ob navpičnem prelomu v smeri SZ-JV (dinarska smer) ali levi zmik ob prelomu smeri SV-JZ (prečnodinarska smer).

Glede na prevladujočo smer, v kateri so razvrščeni popotresi, ki se praviloma dogajajo na ploskvi, kjer se je zgodil glavni potres, lahko sklepamo, da je potres nastal ob prelomu dinarske smeri. Glavni prelomi na tem območju pripadajo coni Idrijskega preloma in potekajo v dinarski smeri (SZ-JV), tako kot tudi nekateri močnejši prelomi v zgornjem Posočju.

Na podlagi do sedaj pridobljenih podatkov sklepamo, da se je glavni potres zgodil ob subvertikalnem prelomu smeri SZ-JV, ki ima značaj desnega zmičnega preloma. Pretrg v globini ni dosegel površine, saj na površinskih izdankih prelomov v domnevni seizmogeni coni ni znakov koseizmičnega premika. Morfološko najbolj izrazit prelom dinarske smeri na tem območju je Ravenski prelom, ki se razteza od sotočja Soče in Koritnice prek Lemeža in mimo Krnskega jezera v dolino Tolminke ter naprej proti dolini Bače. Trasa preloma poteka ravno ne glede na reliefne oblike, kar govori o vertikalni prelomni ploskvi. Na območju izvira Tolminke prelom rahlo zavije v smeri V-Z.

Čeprav je na karti nadžarišč močnejših potresov od leta 567 naprej (slika 8) precejšnja vrzel, potresi v tem delu Slovenije niso nov pojav, saj večina Slovenije sodi med potresno dejavna območja. V katalogu potresov za območje Slovenije od leta 792 (Ribarič, 1982, 1992, 1994b) je zapisanih več kot 3000 dogodkov. Potresno najbolj dejavna so ljubljansko, brežiško, idrijsko in ilirskobistriško območje ter jugovzhodni del Bele Krajine, v sosednjih državah pa Furlanija ter okolica Zagreba. Tu so se v preteklosti zgodili najmočnejši potresi: idrijski potres leta 1511, potres v Zagrebu 1880, potres v Ljubljani leta 1895, več potresov v Furlaniji - zadnji močnejši leta 1976, če omenimo le tiste, ki so zahtevali smrtne žrtve ter povzročili veliko materialno škodo.

Prebivalci Posočja so v zgodovini večkrat občutili moč potresov, vendar so bila nadžarišča teh potresov skoraj vedno v sosednjih pokrajinah (slika 8). Najmočneje so jih prizadeli potresi z nadžarišči v sosednji Furlaniji ter idrijski potres 1511, pa tudi potresi z nadžarišči na avstrijskem Koroškem. Zgodovinski pregled podatkov o potresih na teh območjih povzemamo po Ribariču (1980). Prva pisana poročila se nanašajo že na potres v Čedadu (Cividale) leta 1279, ko so učinki na Tolminskem in v dolini Soče dosegli VII. stopnjo MCS. Podobne učinke so povzročili tudi potresi leta 1690 pri Beljaku (Villach), potresi leta 1788, 1789 in 1812 v Karnijskih Alpah ter potres leta 1928 v Furlaniji.

Še posebej močno je bilo Posočje poškodovano ob idrijskem potresu 26. marca 1511, ki je bil hkrati tudi najmočnejši potres na slovenskih tleh doslej. Ta dan je, po ocenah nekaterih avtorjev, prišlo do pojava dveh izredno močnih potresov, od katerih je prvi imel žarišče v bližini Idrije, drugi, ki se je zgodil približno pol ure pozneje, pa v Furlaniji blizu Čedada. Tinti in sod. (1987) ocenjujejo, da sta bila potresa približno

enako močna, in kot njuni makroseizmični magnitudi navajajo vrednost 6,3. S tem se strinja tudi Ribarič (1994a) in dodaja, da je glede na razsežnost učinkov v makroseizmičnem polju pomik žarišča za skoraj polovico stopinje proti zahodu realno pričakovati, kar dokazujejo tudi obseg in vrste potresnih poškodb na ozemlju današnje Slovenije. Dogodka sta poškodovala številne gradove, cerkve in mesta na Slovenskem in v sosednjih deželah, najhuje v Furlaniji (Lapajne, 1987; Ribarič, 1994a). Potresa sta na Tolminskem povzročila hudo razdejanje, v dolini Soče sta se porušila dva gradova in več vasi. Močno poškodovan je bil tudi idrijski rudnik živega srebra, ki so ga popolnoma obnovili šele leta 1517. V Furlaniji so bila delno porušena nekatera mesta npr. Humin (Gemona), Čedad in Videm (Udine). Potresa so čutili prebivalci v številnih državah Evrope, po ocenah seizmologov celo do oddaljenosti 750 km od nadžarišča. Ocenjujejo, da je ob teh potresih umrlo 12000 ljudi. Močnejši popotresi so se pojavljali še približno leto po glavnem potresu, najmočnejši se je zgodil 8. avgusta 1511 v okolici Čedada.

Zadnji rušilni potres v Furlaniji je bil 6. maja 1976 z magnitudo $M_S = 6,5$. Potres so čutili prebivalci po vsej Sloveniji, hudo pa je prizadel mnoge kraje v Posočju. Najbolj poškodovani so bili Breginj, Podbela, Žaga, Srpénica, Idrsko, Logje, Kamno, Ladra in Volarje. Do konca junija 1976 so zabeležili 392 popotresov, od katerih so jih prebivalci čutili 180. Potres je terjal tudi smrtne žrtve; po uradnih italijanskih podatkih je umrlo 965 ljudi. Najmočnejši popotres (z magnitudo $M_S = 6,1$) se je zgodil 15. septembra in je še povečal škodo na že poškodovanih objektih. Konec meseca septembra 1976 je število poškodovanih poslopij vseh kategorij preseglo 12000. Približno 4000 objektov je bilo tako poškodovanih, da so jih morali porušiti ali pa temeljito sanirati. Poleg stanovanjskih poslopij so bili poškodovani tudi številni gospodarski objekti, šole, zdravstveni domovi in upravna poslopja.

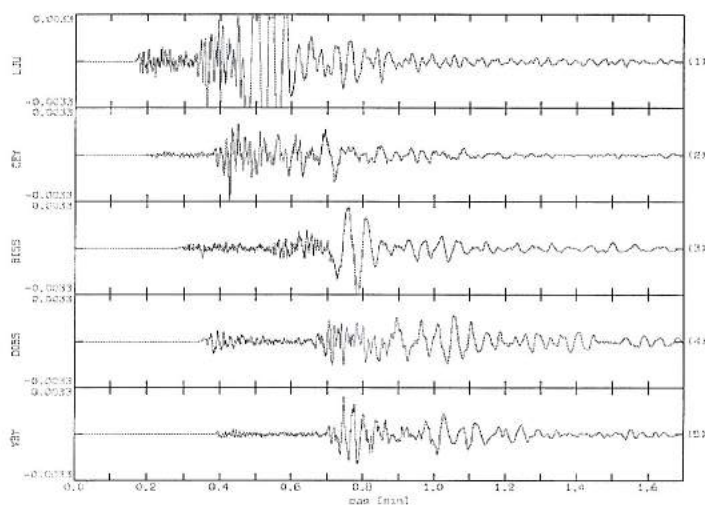
Kako močan je bil

Seizmologi velikost potresa določamo na več načinov. Lahko jo določimo iz deformacij, ki so vidne na površju zemlje, iz zapisov nihanja tal na potresnih opazovalnicah ali iz učinkov, ki jih je potres imel na ljudi in objekte. Za potres 12. aprila nismo ugotovili površinskih deformacij, ki bi bile direktna posledica potresnega pretрга (plazovi in udori so t.i. sekundarni učinki). Lokalna magnituda, izračunana iz štirih zapisov na navpičnih komponentah opazovalnic slovenske državne mreže (slika 1), ki niso bile prekrmljene, je $M_{LV}=5,6$. Magnituda, določena iz vodoravnih komponent treh zapisov, preračunanih v zapise standardnega Wood-Andersonovega seizmografa, je $M_{WA}=6,0$. Svetovni seizmološki centri so magnitudo določili iz zapisov svetovne mreže potresnih opazovalnic. Tako je NEIC določil magnitudo $M_S=5,7$ iz zapisov površinskega valovanja na 71 opazovalnic, in iz 69 zapisov vzdolžnega telesnega valovanja $m_b=5,3$. Harvardska univerza (v Cambridgeu, ZDA)

je iz 49 zapisov določila navorno magnitudo $M_w=5,6$. Magnituda, ocenjena iz makroseizmičnih podatkov (Živčič in Cecić, 1998), je $M_m=5,3$.

Na sliki 1 je zapis vertikalne komponente na petih digitalnih opazovalnicah slovenske državne mreže. V območju največjih amplitud (površinski valovi) je zapis pri bližnjih opazovalnicah prekrmljen. Zato smo lahko magnitudo opredelili le iz zapisov bolj oddaljenih opazovalnic in opazovalnic, ki so opremljene s senzorji za beleženje močnih potresov.

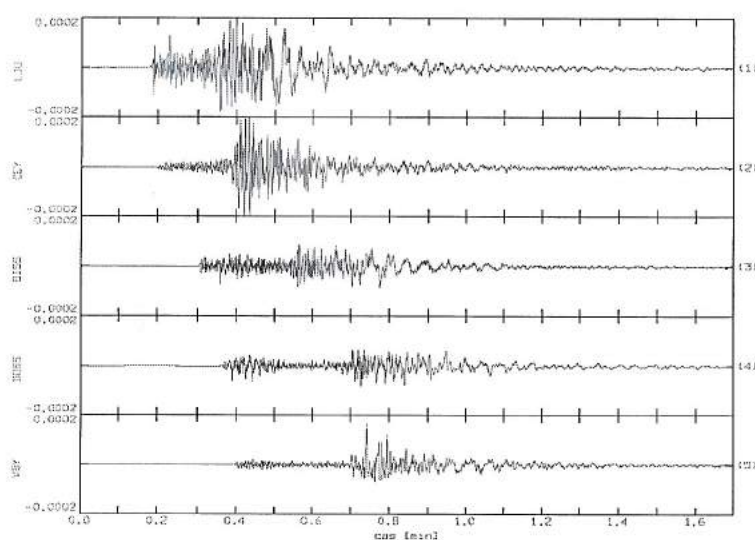
Po potresu smo po pošti poslali vprašalnike na naslove vseh aktivnih prostovoljnih opazovalcev (več kot 4300), ki sodelujejo z URSG. Vprašalnike nam je vrnilo 68% opazovalcev, kar je tako za evropske kot tudi za svetovne razmere zelo visok odstotek (Cecić in sod., 1999a). Natančnejše terenske raziskave smo izpeljali v najbolj prizadetih naseljih. Zbirali smo podatke o poškodbah in drugih učinkih potresa na način, ki nam je omogočal vrednotenje podatkov s pomočjo evropske potresne lestvice iz leta 1998, ali z okrajšavo EMS-98 (Grünthal, 1998a in b). Dodatne podatke so nam posredovale komisije za popis poškodb.



Slika 1: Seizmični zapis potresa v zgornjem Posočju 12. aprila 1998 ob 10. uri in 55 minut po svetovnem času na vertikalnih komponentah petih digitalnih opazovalnic slovenske državne mreže.
Figure 1: Vertical component of the records of the main shock on April 12, 1998 at 10h 55m UTC earthquake on five digital stations of the Slovenian national seismic network.

Tako smo z obdelavo makroseizmičnih podatkov dobili vrednosti intenzitete potresa 12. aprila 1998 v več kot 2000 krajih. Prostorska razporeditev le-teh je prikazana na slikah 3 in 4. Celotno žarišče je bilo na srečo v neposeljenem področju. S tem je pogojena tudi relativno nizka stopnja učinkov na površju. Potres je dosegel največje učinke (VII-VIII EMS-98) v krajih Lepena, Magozd, Spodnje Drežniške Ravne in Tolminske Ravne (Cecić in sod., 1999a; Zupančič in sod., 1999). Na prizadetem območju so komisije za oceno poškodb podrobno pregledale skoraj 1000 objektov. Poškodovali so se predvsem starejši objekti, grajeni iz obdelanega in neobdelanega kamna. Stropovi objektov so leseni, kvaliteta malte pa slaba. V posameznih primerih je prišlo do delnih porušitev sten ali vogalov slabo grajenih hiš. Veliko hiš je utrpelo poškodbe na strehah in dimnikih, zelo pogoste so bile tudi velike in globoke razpoke

v stenah. Poškodovali pa so se tudi novejši, solidno grajeni objekti. Pri teh so na obseg poškodb bistveno vplivala slaba tla. Tak primer je bil zelo očiten v Mali vasi pri Bovcu (Gosar, 1999). Zaradi številnih popotresnih sunkov so se poškodbe na hišah s časom večale; zato v nekaterih primerih ocenjena škoda pomeni kumulativne učinke več potresov. Precej hiš v širšem nadžariščnem območju, ki so utrpele poškodbe, je bilo že poškodovanih v potresih leta 1976. Zaradi neustrezne obnove in slabe ali nikakršne protipotresne ojačitve je na njih znova prišlo do hudih poškodb.



Slika 2: Zapis vertikalne komponente na šestih opazovalnicah državne mreže za najmočnejši popotres dne 6. maja 1998 ob 2. uri 53 minut po svetovnem času z lokalno magnitudo 4,2.

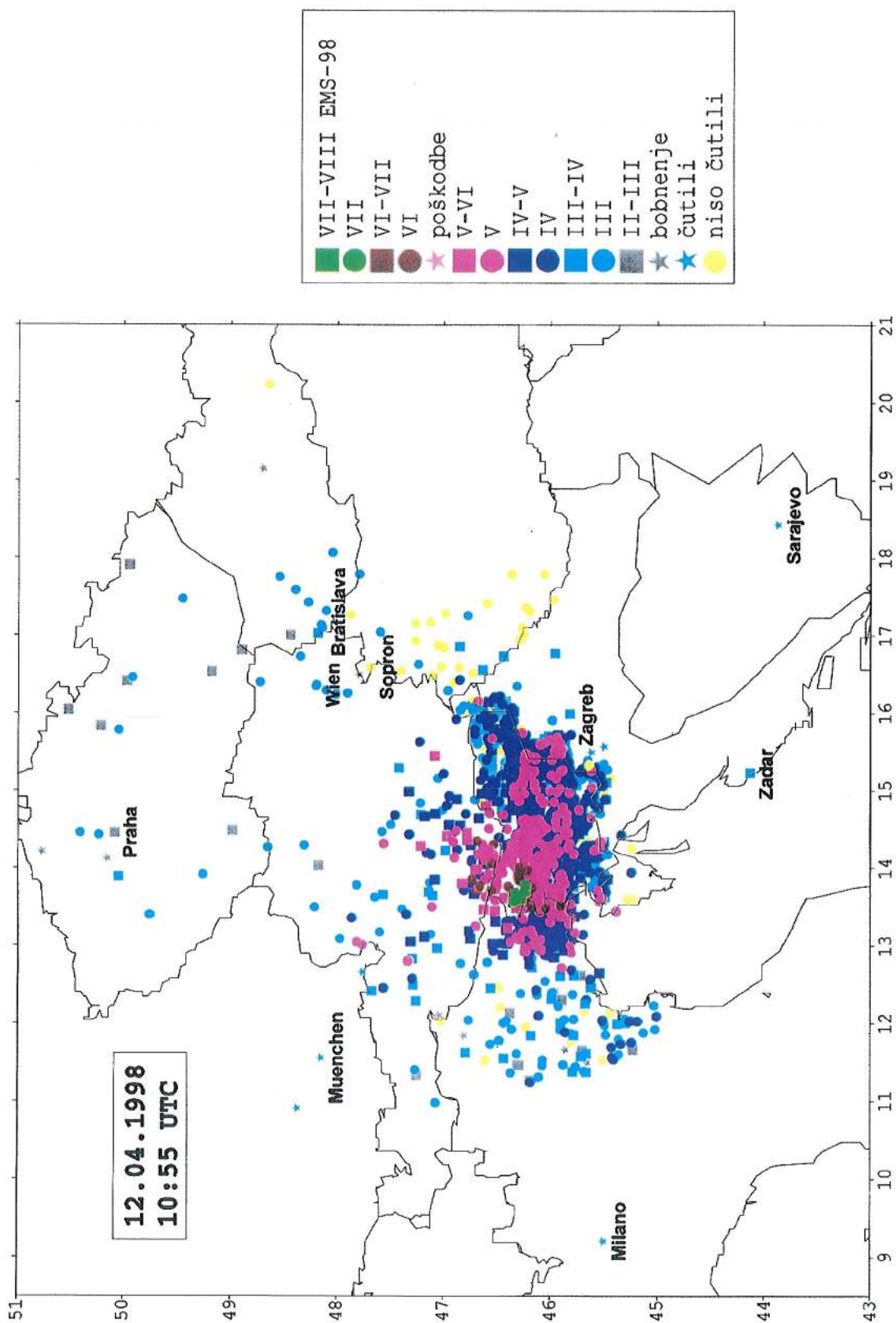
Figure 1: Vertical component of the records of the strongest aftershock on 6 May 1998 at 02h 53m UTC earthquake ($M_{LV}=4.2$) on six digital stations of the Slovenian national seismic network

V ožjem epicentralnem območju so tudi številni spomeniki iz 1. svetovne vojne, ki so ob potresu utrpeli prenekatero poškodbo (Ovčak in Vidrih, 1999), vendar ne gre za standardne objekte in podatkov o poškodbah nismo mogli uporabiti za določanje intenzitet.

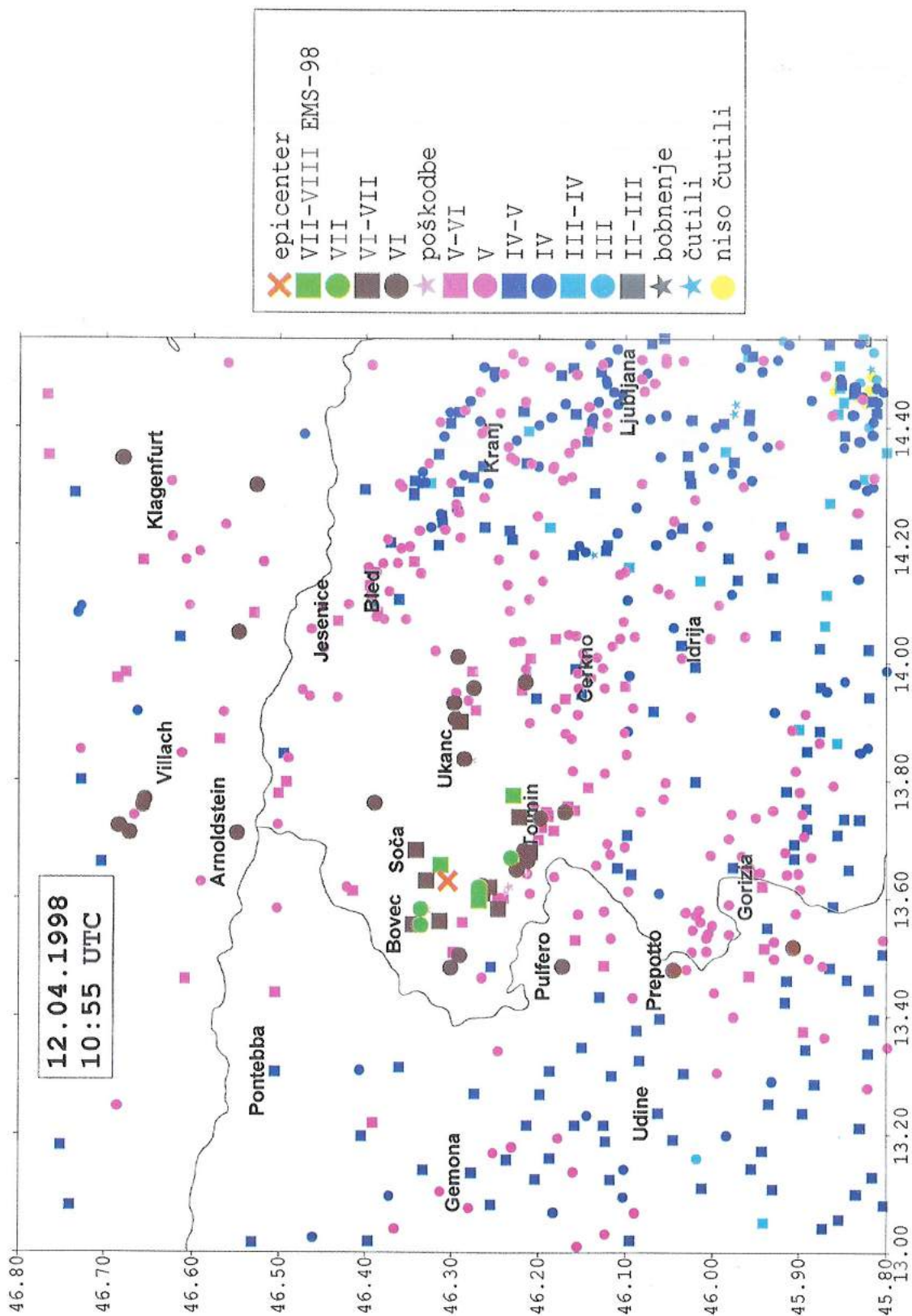
Značilnost potresa 12. aprila 1998 so tudi obsežne poškodbe v naravi, predvsem v obliki hribinskih podorov. Nekaj je bilo tudi zemeljskih plazov. Največji podori so bili na Velikem Lemežu, Osojnici, Krnu in na koti 1776 m med Vršičem in Lipnikom (Vidrih in Ribičič, 1999).

Velikonočni potres so, razen v Sloveniji, čutili še prebivalci Italije, Švice, Avstrije, Nemčije, Češke, Slovaške, Madžarske, Hrvaške ter Bosne in Hercegovine. Poročil o škodi v teh državah skorajda ni. Le v Italiji je bil poškodovan nek starejši objekt v Krminu (Cormonsu) v Furlaniji. Iz Avstrije, predvsem s Koroške, so poročali o manjših razpokah v ometu.

Oddaljenosti nadžarišča od nekaterih krajev, kjer so potres še čutili, so: Milano pribl. 350 km, Sarajevo 450 km, centralna Slovaška nekaj manj kot 500 km. Povprečni polmeri izoseist so podani v preglednici 1.



Slika 3: Intenzitete potresa 12. aprila 1998 ob 10. uri 55 minut UTC.
 Figure 3. Intensities of the earthquake on April 12, 1998 at 10:55 UTC.



Slika 4: Intenzitete, ki jih je potres 12. aprila 1998 ob 10. uri 55 minut UTC dosegel v zahodni Sloveniji.

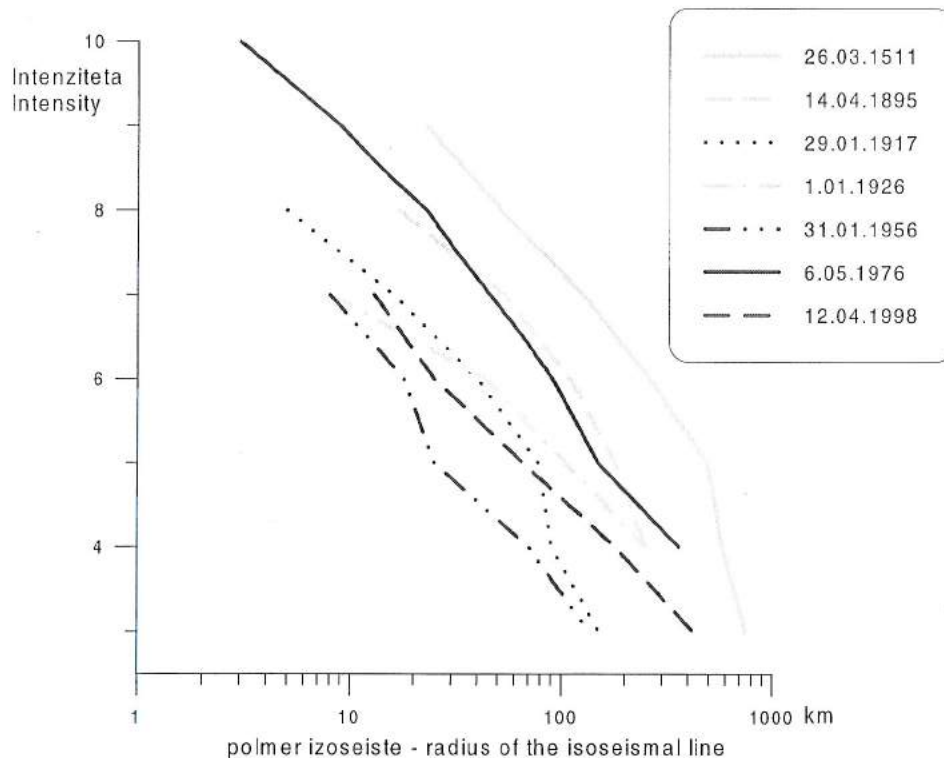
Figure 4. Intensities of the earthquake on April 12, 1998 at 10:55 UTC in western part of Slovenia.

Preglednica 1. Povprečni polmeri izoseist za glavni potres 12. aprila 1998 v kilometrih.

Table 1. Average radii of isoseismal lines for the main shock on April 12, 1998 (in kilometres).

I EMS-98	VII	VI	V	IV	III
r (km)	13	25	66	180	422

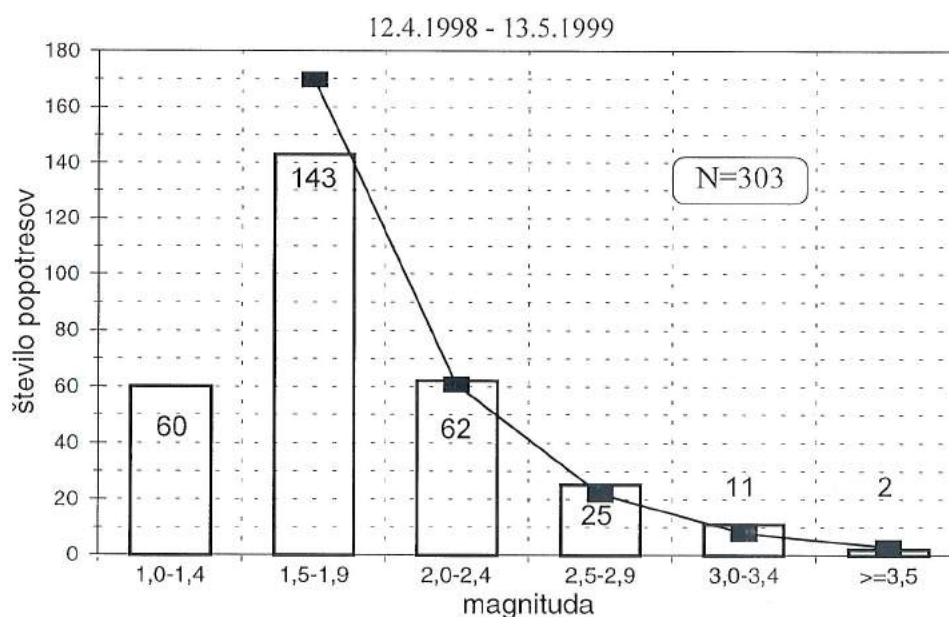
Za primerjavo učinkov potresa 12. aprila 1998 z najmočnejšimi potresi v našem področju smo pripravili diagram (slika 5), na katerem primerjamo polmere izoseist posameznih intenzitetnih stopenj. V ta namen smo zanemarili manjšo razliko med EMS in MSK-lestvico. Manjša odstopanja pri nižjih intenzitetah (V in manj) lahko tolmačimo tudi s tem, da za marsikateri starejši potres podatki za bolj oddaljene kraje niso kompletni in so zato prikazani polmeri mogoče nekoliko podcenjeni. Od potresa 12. aprila 1998 so bili nedvomno močnejši potresi v letih 1511, 1895 in 1976. Od potresov z žariščem v Sloveniji v tem stoletju je učinke na širšem področju imel le potres 1. januarja 1926 z nadžariščem pri Cerknici, za katerega je instrumentalno določena magnituda $M_{LH}=5,6$. Ta potres je imel največje učinke na območju Cerknice, Unca in Logatca, in sicer VII. stopnje po MSK-lestvici. Omenimo kot zanimivost, da so se med zapisovanjem tega potresa razbili skoraj vsi Belarjevi seizmografi v njegovem observatoriju pri Bledu, na pisaču v Ljubljani pa se je zaradi silnosti tresljajev strgalo pero.



Slika 5: Primerjava polmerov izoseist najmočnejših potresov v Sloveniji.
Figure 5: Comparison of the isoseismal radii for the strongest earthquakes in Slovenia.

Koliko popotresov je bilo (bo)

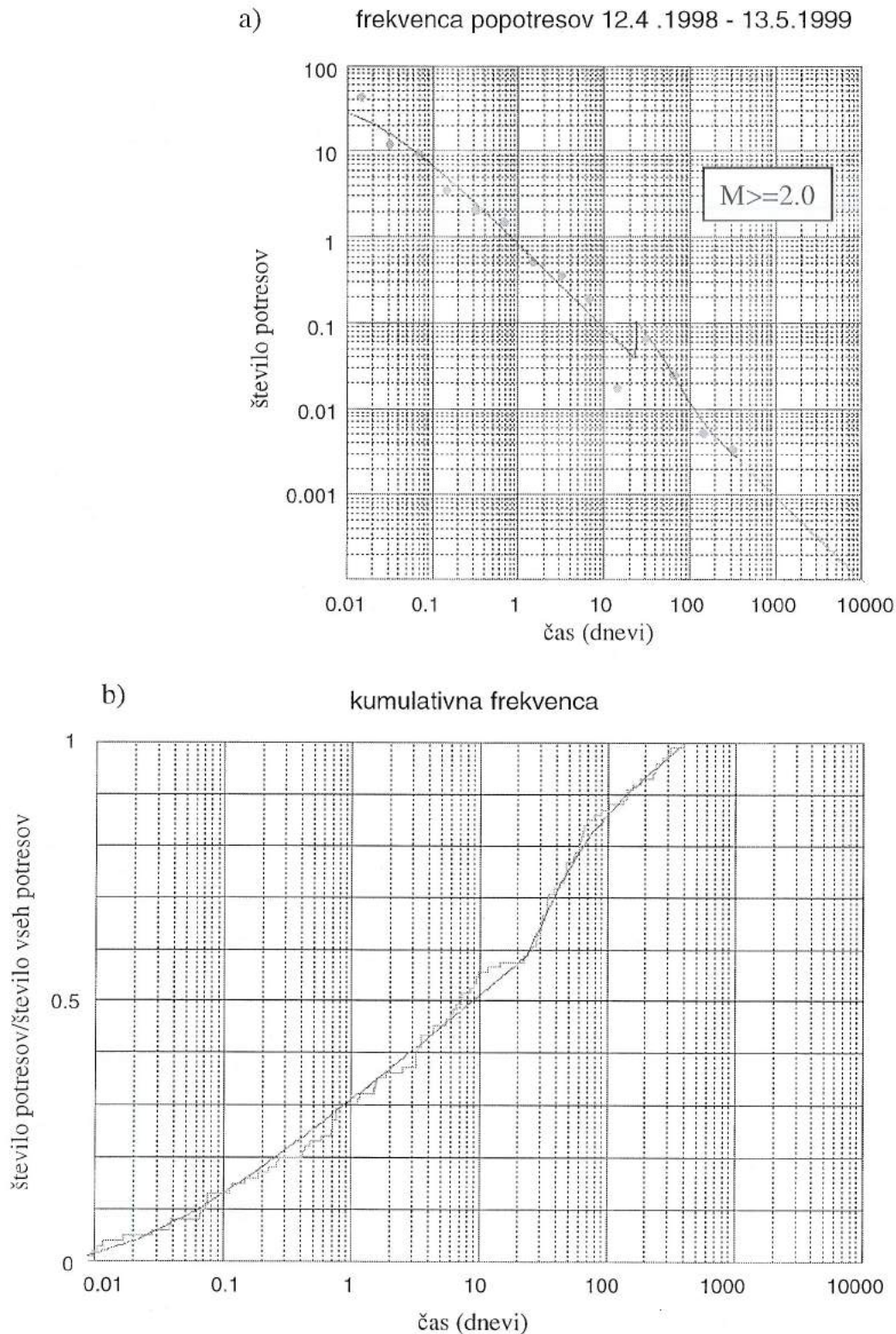
Vsakemu močnejšemu potresu, ki nastane v Zemljini skorji, praviloma sledi krajši ali daljši niz popotresov. Za čimboljše opazovanje le-teh je URSG prvo prenosno opazovalnico v bližini nadžarišča namestila že zvečer na dan potresa. Naslednji dan sta bili postavljeni še dve in 18. aprila naslednji dve opazovalnici. Prva opazovalnica, postavljena v Trenti 12. aprila ob 21. uri, je v prvih petih urah zapisala 107 potresov, v naslednjih 24-ih pa še 234. Opazovalnici v Drežnici in Lepeni sta bili postavljeni 18. aprila še bližje nadžariščnemu področju. Tista v Drežnici je že naslednji dan zaznala 100 popotresov. Skupaj so te tri prenosne opazovalnice do konca leta 1998 zaznale 6429 popotresov. (Opazovalnica v Trenti je bila 12. maja prestavljena na začetek doline Lepene.) Prebivalci Posočja so, posebej v prvih tednih po glavnem sunku, čutili zelo veliko popotresov. Iz njihovih poročil smo lahko nedvomno določili intenzitete za 78 dogodkov.



Slika 6: Pogostost popotresov v odvisnosti od magnitude z Gutenberg-Richterjevo krivuljo.

Figure 6: Magnitude frequency relation with Gutenberg-Richter function.

V dobrem letu po glavnem potresu, do 13. maja 1999, so se zvrstili 303-je popotresi z lokalno magnitudo M_{LV} večjo od 1,0. Popotresov z magnitudo večjo ali enako 3,0 pa je bilo 13. Histogram na sliki 6, kaže pogostost potresov v odvisnosti od magnitude z izpeljano Gutenberg-Richterjevo krivuljo (Gutenberg in Richter, 1944). Popotresni niz je popoln šele za potrese z magnitudo vsaj 2,0, kar je pogojeno predvsem z oddaljenostjo potresnih opazovalnic. Magnitudo 2,0 smo zato tudi uporabili kot spodnjo mejo pri izračunu krivulje modificiranega Omorijevega zakona (slika 7), ki opisuje gostoto pojavljanja popotresov (Utsu, 1992). Pri izračunu smo uporabili program AFT (Utsu in Ogata, 1997). Prvi izračun je pokazal, da ni mogoče doseči

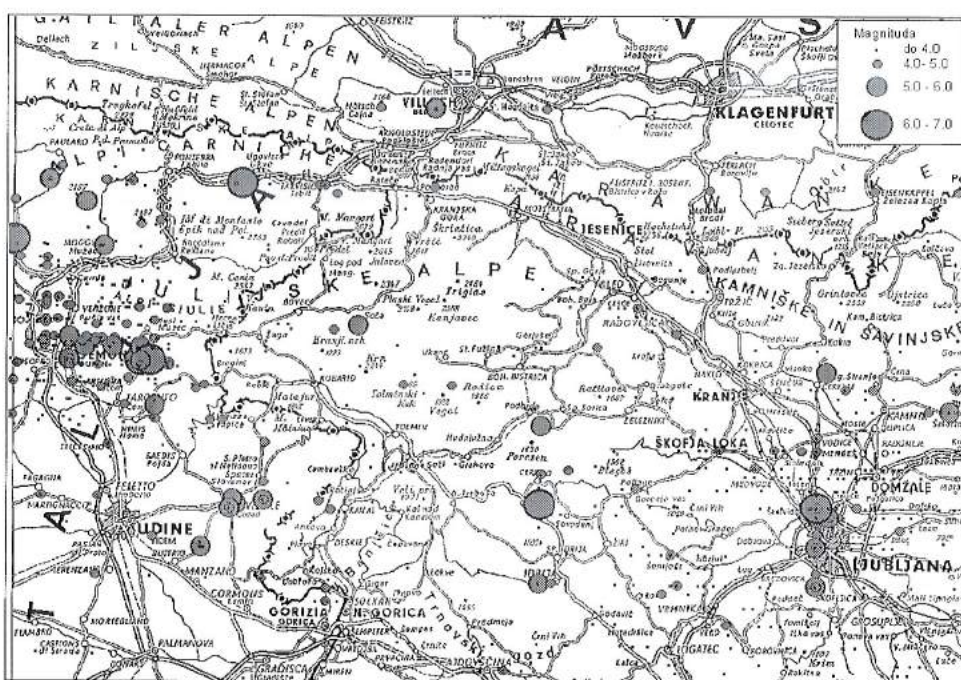


Slika 7: Frekvenca popotresov (a) in kumulativna frekvenca (b) z modificirano Omorijevo krivuljo, ki vključuje sekundarni popotresni niz z začetkom ob najmočnejšem popotresu 6. maja 1998.

Figure 7: Frequency of aftershocks (a) and cumulative frequency (b) with modified Omori law including secondary aftershock sequence following the strongest aftershock on 6 May 1998.

dobrega ujemanja tega eksponentnega zakona z danimi podatki, če ne uporabimo sekundarnega popotresnega niza, ki se prične ob času najmočnejšega popotresa, 6.

maja 1998, in se jasno kaže v "kolenu" na sliki 7b. Opredeljeni parametri Gutenberg-Richterjevega in modificiranega Omorijevega zakona se sicer ujemajo z vrednostmi, znanimi iz literature, in z rezultati prve podobne statistične analize v Sloveniji, ki je obravnavala popotresno serijo pri Žalcu jeseni 1996 (Gosar in sod., 1998). Ob predpostavki, da se bo popotresna aktivnost nadaljevala skladno z opredeljenimi parametri, lahko v letu 2000 pričakujemo sedem popotresov magnitude $M_{LV}=2,0$ ali večje.



Slika 8: Nadžarišča močnejših potresov v zahodni Sloveniji od leta 792 do danes.
Figure 8: Epicenters of stronger earthquakes in western Slovenia since 792.

Namesto sklepa

Potres 12. aprila 1998 je bil poseben dogodek in kljub opravljenim in objavljenim številnim analizam je še veliko prezgodaj govoriti o končnih rezultatih. Ne le, da je bil eden najmočnejših potresov z žariščem v Sloveniji v tem stoletju in obenem najmočnejši, ki ga je večina prebivalcev Slovenije kadarkoli čutila, temveč je to prvi (in edini) tako močan potres pri nas, za katerega smo seizmologi zbrali zares veliko različnih zelo kakovostnih podatkov. Naše delo, predstavljeno v tem in drugih člankih v tej publikaciji, je zato šele začetek zanimivega in brez dvoma plodnega raziskovanja tega potresa in popotresnega niza.

Zahvala

Avtorji se zahvaljujejo A. Tertullianiju (ING, Rim, Italija), E. Fiegweilu (ZAMG,

Dunaj, Avstrija), E. Schmedesu (München, Nemčija), J. Zedniku (GU CAS, Praga, Češka Republika), M. Mucciarelliju (ISMES, Bergamo, Italija), P. Labaku (GI SAS, Bratislava, Slovaška), T. Zsírosu (SO HAS, Budimpešta, Madžarska) in I. Soviču (GZ, Zagreb, Hrvaška) za posredovane makroseizmične podatke.

Literatura

- Bajc, J., Živčič, M., Jesenko, T., Močnik, G., 1999b. Potres 12. aprila 1998 z žariščem v zgornjem Posočju-Relokacija glavnega potresa in popotresov, Potresi v letu 1998, URSG, 71-79, Ljubljana.
- Buser, S., 1985. Tolmač k Osnovni geološki karti SFRJ 1: 100.000; Zvezni geološki zavod, Beograd.
- Cecić, I., Godec, M., Zupančič, P. and Dolenc, D., 1999a. Macroseismic effects of 12 April 1998 Krn, Slovenia, earthquake: an overview. XXII General Assembly of the IUGG, Birmingham, 18-31 July 1999.
- Cecić, I., Živčič, M., Gosar, A. in Jesenko, T., 1999b. Potresi v Sloveniji leta 1998, Potresi v letu 1998, URSG, 11-48, Ljubljana.
- Gosar, A., Cecić, I., Dolenc, D., Živčič, M. 1998. Analiza popotresne serije potresa 3. oktobra 1996 pri Žalcu. Ujma 12, 37-42.
- Gosar, A. 1999. Potres 12. aprila 1998 v zgornjem Posočju - Raziskave ojačenja nihanja tal zaradi lokalne geološke zgradbe. Potresi v letu 1998, URSG, 101-110, Ljubljana.
- Grünthal, G. (ur.), 1998a. European Macroseismic Scale 1998. 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.
http://www.gfz-potsdam.de/pb1/pg2/ems_new/INDEX.HTM
- Gutenberg, B. and Richter, C. F., 1944. Frequency of earthquakes in California. Bull. Seis. Soc. Am., 34, pp. 185-188.
- Lapajne, J., 1987, Veliki potresi na Slovenskem - I, Ujma 1, str. 55-57.
- Ovčak, T. in Vidrih, R., 1999. Potres v Posočju 12. aprila 1998: poškodbe narave in obeležij I. svetovne vojne na Krnskem pogorju. Geološki zbornik, 14. posvetovanje slovenskih geologov, Povzetki referatov, 14, 31-32, Ljubljana.
- Placer, L., Poljak, M., Živčič, M. in Bajc, J., 1999. Potres 12. aprila 1998 z žariščem v zgornjem Posočju - Seizmotektonska interpretacija, Potresi v letu 1998, URSG, 91-100, Ljubljana.

- Ribarič, V., 1980: Potresi v Furlaniji in Posočju leta 1976, kratka seizmološka zgodovina in seizmičnost obrobja Vzhodnih Alp; Potresni zbornik, Tolmin.
- Ribarič, V., 1982. Seizmičnost Slovenije. Katalog potresov (792 n.e.-1981). Publikacije Seizmološkega zavoda SR Slovenije, A1, Ljubljana, 649 pp.
- Ribarič, V., 1992. Seizmičnost Slovenije. Katalog potresov, dodatek 1 (1982-1989). Publikacije Seizmološkega zavoda R Slovenije, A1-2, Ljubljana, 145 pp.
- Ribarič, V., 1994a. Potresi v Sloveniji. Slovenska matica v Ljubljani, 173 pp.
- Ribarič, V., 1994b. Seizmičnost Slovenije. Katalog potresov, dodatek 2 (1990-1993). Publikacije Seizmološkega zavoda R Slovenije, A1-3, Ljubljana, 91 pp.
- Ribičič, M., Vidrih, R., 1999. Potres 12. aprila 1998 z žariščem v zgornjem Posočju - Posledice v naravi. Potresi v letu 1998, URSG, 121-144, Ljubljana.
- Robida, I., 1895. Grozni dnevi potresa v Ljubljani opisani od očividca. Ljubljana, 36 pp.
- Sikošek, B., 1982. Tektonika, neotektonika in seizmotektonika SR Slovenije; Monografija – Publikacija Seizmološkega zavoda SR Slovenije.
- Sinčič, P., Vidrih, R., 1999. Potres 12. aprila 1998 z žariščem v zgornjem Posočju - Instrumentalna opazovanja popotresov, Potresi v letu 1998, URSG, 65-70, Ljubljana.
- Tinti, S., Vittori, T. and Mulargia, F., 1987. On the macroseismic magnitudes of the larges Italian earthquakes. *Tectonophysics*, 138, pp. 159-178.
- Uprava RS za geofiziko, 1998-99a: Potres v Posočju 12. aprila 1998 ob 12:56
<http://www.sigov.si/ugf/slo/posocje/index.html>
- Uprava RS za geofiziko, 1998-99b: preliminarni tedenski seizmološki bilteni za 1998. Arhiv URSG, Ljubljana.
- Utsu, T., 1962. On the nature of three Alaskan aftershock sequences of 1957 and 1958. *Bull., Seis. Soc. Am.*, 52(2), pp. 279-297.
- Utsu, T., Ogata, Y., 1997. Statistical analysis of seismicity. V: Healey, J.H., Kelis-Borok, V.I., Lee, W.H.K., Algorithms for earthquake statistics and prediction. IASPEI software library, Vol. 6, 13-94.
- Vidrih, R., Ribičič, M., 1999. Porušitve naravnega ravnotežja v hribih ob potresu v Posočju 12. aprila 1998 in evropska makroseizmična lestvica. *Geologija*, 41, 365-410.

Zupančič, P., Cecić, I., Gosar, A., Poljak, M., Živčič, M. 1999. Nekatere seizmološke in geološke značilnosti potresa 12. aprila 1998 v zgornjem Posočju. Geološki zbornik 14, 14. Posvetovanje slovenskih geologov-povzetki referatov, 58-59.

Živčič, M. and Cecić, I., 1998. Revised magnitudes of historical earthquakes in Slovenia. XXIII EGS General Assembly, Nice, 20-24 April 1998.

Potres 12. aprila 1998 v zgornjem Posočju
INSTRUMENTALNA OPAZOVANJA POPOTRESOV
The earthquake on April 12, 1998 in the upper Soča Territory
INSTRUMENTAL AFTERSHOCKS OBSERVATIONS

Peter Sinčič, Renato Vidrih*

Izveček. Na velikonočno nedeljo 12. aprila 1998 ob 12. uri in 55 minut po lokalnem času (10:55 UTC) je nastal v Zgornjem Posočju najmočnejši potres v 20. stol. z žariščem na naših tleh. Njegova lokalna magnituda je bila 5,6 ($M_{WA}=6,0$), največji učinki pa so dosegli med VII. in VIII. stopnjo po EMS (12-stopenjska evropska potresna lestvica). Žarišče je nastalo v bližini Lepene, v globini okoli 8 km. Potresni sunek so čutili prebivalci celotne Slovenije, v Posočju pa je povzročil večjo gmotno škodo. Poleg poškodb zgradb so nastale številne poškodbe v naravi. Ker je bilo žarišče potresa v hribovitem svetu, so nastali številni hribinski podori in zdrsi blokov hribin. Takoj po potresu so strokovnjaki Uprave RS za geofiziko postavili na epicentralnem območju prenosne terenske potresne opazovalnice, ki so v naslednjih dneh registrirale več sto popotresnih sunkov, do konca leta 1998 pa več tisoč.

Abstract. At 12:55 a. m. local time (10:55 UTC) on Easter Sunday on April 12, 1998, the strongest earthquake of the 20th century epicentred in Slovenia appeared in upper Soča Territory. Its local magnitude was 5,6 ($M_{WA}=6,0$), with the highest effects reaching between levels VII and VIII of the EMS (12-grade European Macroseismic Scale). The epicentre was in the vicinity of Lepena, around 8 km deep. The earthquake shock was felt by inhabitants right across Slovenia, and in Posočje it caused significant material damage. Apart from damage to buildings, areas of nature were also considerably damaged. Since the epicentre of the earthquake was in the mountainous area, many rockfalls and landslides appeared. Immediately after the earthquake, experts from the Geophysical Survey of the Republic of Slovenia installed portable earthquake monitoring stations, registering several hundred aftershocks in the ensuing days, and several thousand more up until the end of 1998.

Uvod

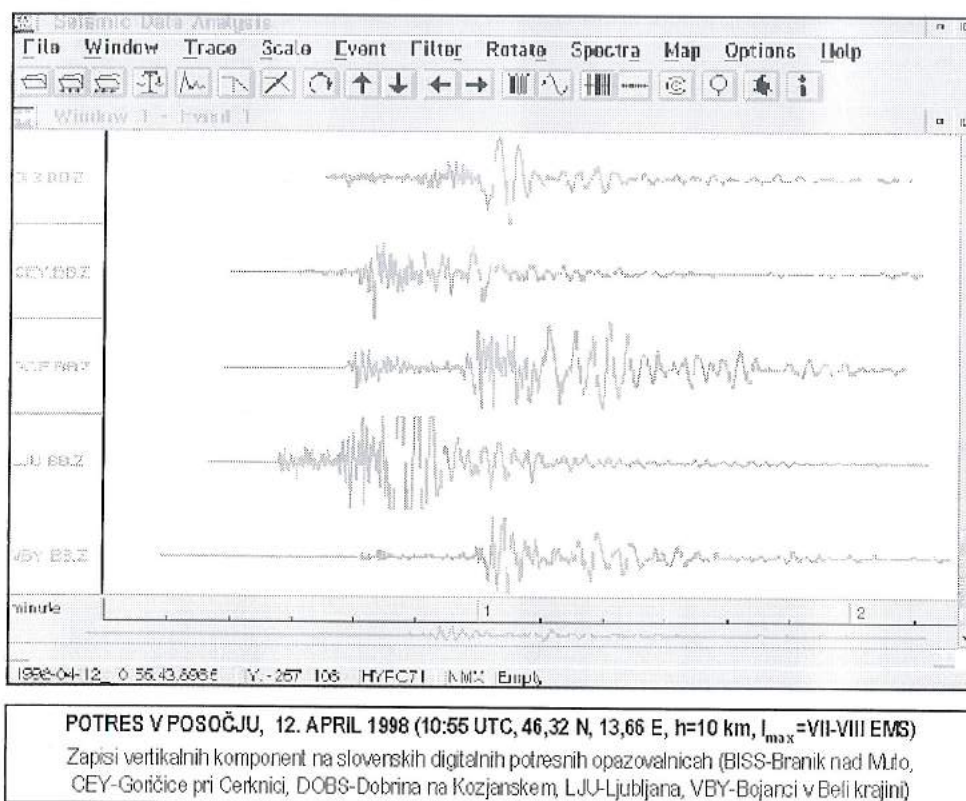
Potres v Posočju seizmologov ni presenetil. Pokazal pa je na nemoč, da bi o njem hitro obveščali javnost. Seizmografi, razporejeni po Sloveniji, so sicer omogočili izračun potresnih parametrov, vendar mnogo prepozno, da bi lahko na Upravi RS za geofiziko opravljali nalogo hitrega obveščanja. Prvi pogoj za hitro obveščanje je avtomatska mreža potresnih opazovalnic, ki v nekaj minutah omogoči bolj ali manj natančen izračun epicentra (nadžarišča) potresa. V prvih trenutkih po tresenju ti podatki zadovoljijo javnost.

V času potresa v zgornjem Posočju je na ozemlju Slovenije delovalo sedem potresnih opazovalnic. Potresnemu žarišču je bila najbližja opazovalnica na Vojskem nad Idrijo. Analogni instrumenti, ki na Vojskem zapisujejo potrese že od leta 1985, ne omogočajo kakovostne registracije močnejših potresov. Zapisi so bili prekrmljeni.

Opazovalnice na Golovcu v Ljubljani, Goričicah pri Cerknici, Bojancih v Beli krajini, Dobrini na Kozjanskem, Braniku nad Muto in Cesti nad Krškim, ki so opremljene z

* Ministrstvo za okolje in prostor, Uprava RS za geofiziko, Pot na Golovec 25, Ljubljana

digitalnimi seizmografi, povezanimi v mrežo, pa so omogočile boljše podatke. Prenos podatkov v centralni računalnik iz opazovalnic v Ljubljani in Cesti poteka po računalniškem omrežju, iz drugih naštetih opazovalnic pa po klicnih telefonskih linijah. Zaradi počasnega prenosa podatkov po klicnih telefonskih linijah je bilo ob potresu v Posočju pet zapisov zbranih pol ure po potresu.



V republiškem načrtu obveščanja in alarmiranja javnosti, ki ga je sprejela Vlada RS Slovenije, mora Uprava RS za geofiziko posredovati podatke v eni uri. Verjetno tu tiči odgovor na (ne)investiranje izgradnje državne mreže potresnih opazovalnic v preteklosti, saj tem zahtevam večinoma zadostimo. V letu 1999 so bila Upravi RS za geofiziko dodeljena dodatna sredstva za pospešeno nadaljevanje izgradnje državne mreže potresnih opazovalnic, kar bo omogočilo hitrejši razvoj seizmologije v Sloveniji.

Za spremljanje popotresnih sunkov v Posočju smo sodelavci Uprave RS za geofiziko še isti dan v Trenti postavili prenosni akcelero graf. Dan po potresu smo postavili prenosna seizmografa v Zato lminu in Breginju. V naslednjih dneh pa smo na potresnem območju postavili še tri prenosne akcelero grafe in seizmograf. Lokalne motnje in mikro seizmični nemir so povzročili, da je bilo treba nekatere opazovalnice premestiti.

Potres in popotresni sunki

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 v bližini Lepene sta 46,31 severne širine in 13,63 vzhodne dolžine.

Prva prenosna potresna opazovalnica, ki so jo sodelavci Uprave Republike Slovenije za geofiziko postavili nekaj ur po potresu, je že v prvih 20-tih urah po glavnem potresu zabeležila več kot 400 popotresnih sunkov. Najmočnejši popotresi v prvih dneh, ki so presegli magnitudo 3,0, so bili 12. aprila ob 15. uri 35 minut ter ob 18. uri in 15 minut, 13. aprila ob 0. uri in 13 minut, 15. aprila ob 21. uri 40 minut, 16. aprila ob 0. uri in 42 minut ter najmočnejša 6. maja ob 4. uri in 52 minut (vsi časi so podani v lokalnem času). Najmočnejši popotresni sunek je imel magnitudo 4,2. Kasneje so bili močnejši sunki redkejši; vsi, ki so dosegli ali pa presegli magnitudo 3,0, pa so podani v preglednici (Preglednica 1).

Preglednica 1. Nekateri osnovni parametri glavnega potresa v zgornjem Posočju 12. aprila. 1998 in najmočnejših popotresnih sunkov ($M \geq 3,0$)

Table 1. Some essential parameters of the main shock in upper Soča Territory on April 12, 1998, and the strongest aftershocks ($M \geq 3,0$).

datum	čas (UTC)	N	E	M
12.04.1998	10:55	46,320	13,662	5.8
12.04.1998	13:35	46,262	13,557	3.2
12.04.1998	16:15	46,314	13,594	3.0
12.04.1998	22:13	46,317	13,628	3.2
15.04.1998	19:40	46,284	13,720	3.4
15.04.1998	22:42	46,320	13,647	3.1
06.05.1998	02:52	46,299	13,705	4.2
11.05.1998	23:30	46,294	13,723	3.2
13.05.1998	01:58	46,294	13,720	3.1
10.06.1998	23:32	46,318	13,638	3.2
30.08.1998	01:18	46,251	13,684	3.1
24.11.1998	13:49	46,235	13,664	3.4

Državna mreža potresnih opazovalnic in postavitvev začasne lokalne mreže v zgornjem Posočju

Državno mrežo potresnih opazovalnic sestavlja sedem stalnih potresnih opazovalnic. Opazovalnica na Vojskem, ki je najbližja epicentralnemu območju potresa v zgornjem Posočju, je opremljena z analognim trikomponentnim seizmografom. Drugih šest opazovalnic je opremljenih s širokopasovnimi trikomponentnimi digitalnimi seizmografi. Prenos podatkov v osrednji računalnik na observatoriju na Golovcu v Ljubljani poteka samodejno iz opazovalnic v Ljubljani in Cesti pri Krškem po državnem računalniškem omrežju. Iz opazovalnic, ki so nameščene v Goričicah pri

Cerkniškem jezeru, Bojancih v Beli krajini, Dobrini na Kozjanskem in Braniku nad Muto, pa poteka po klicnih telefonskih linijah (Sinčič in Vidrih, 1995, Vidrih in Sinčič, 1997). Dosedanja gradnja mreže potresnih opazovalnic je potekala tako, da najprej pokriva osrednji del države. Na vzhodu je potresna aktivnost manjša, na zahodu pa imajo gosto mrežo potresnih opazovalnic v sosednji Italiji, katerega podatki so na voljo tudi Upravi RS za geofiziko. Da bi pridobili čim več podatkov o popotresni dejavnosti na potresnem območju, smo se odločili postaviti mrežo začasnih potresnih opazovalnic v bližnji in daljni okolici epicentra potresa (Lapajne in sod., 1998, Vidrih in Sinčič, 1997).

Na dan potresa smo v večernih urah postavili v Trenti prenosni akcelero graf Etna. Instrument je v naslednjih 20 urah zabeležil več kot 400 popotresnih sunkov. Naslednji dan smo postavili dva prenosna seizmografa Reftek 72A-02 v stanovanjski hiši v Zatolminu in 72A-07 v osnovno šolo v Breginju (slika 3).

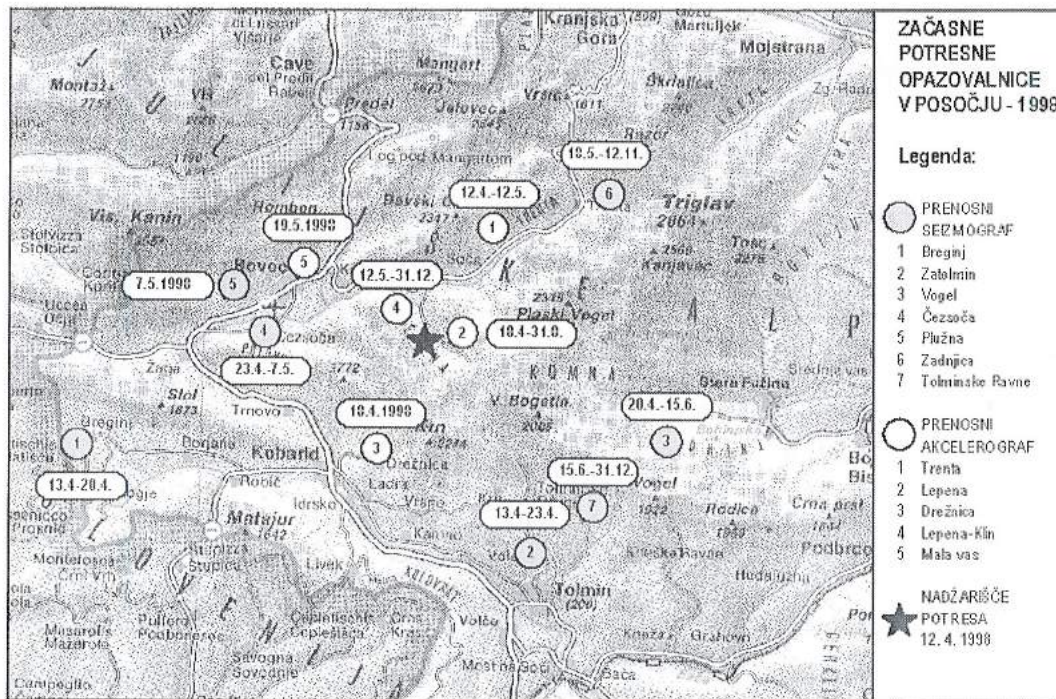
Akcelero graf Etna je prenosni instrument za merjenje pospeškov. Trikanalni senzor z maksimalnim merilnim območjem pospeškov 1, 2 ali 4 g je vgrajen v ohišje akcelero grafa. 18 bitna A/D-pretvorba signala omogoča veliko dinamično območje zajemanja podatkov, ki se shranjujejo na pomnilniško kartico s kapaciteto 40 MB. Podatke nato prenesemo iz instrumenta na prenosni računalnik po serijskem kablu RS232 ali z zamenjavo pomnilniške kartice. Če imamo dostop do telefonskega priključka, nam vgrajeni modem omogoča prenos podatkov na daljavo. Instrument ima vgrajen GPS sprejemnik za točen čas.

Seizmografa 72A-02 in 72A-07 sta digitalna instrumenta z zunanjim trikanalnim seizmometrom in zunanjim trdim diskom SCSI za shranjevanje podatkov. Njuna visoka občutljivost omogoča merjenje najšibkejših potresov v širokem frekvenčnem pasu. Prvemu 16-bitna A/D-pretvorba zagotavlja 96 dB veliko dinamično območje. Dinamično območje drugega je zaradi 24-bitne A/D-pretvorbe signala večje in znaša 140 dB. Ko se notranji pomnilnik napolni na 75% maksimalne vrednosti, se podatki prenesejo na zunanji trdi disk SCSI. Ko je ta poln, ga zamenjamo s praznim. Čeprav omogočata instrumenta kontinuirano zajemanje podatkov, sta delovala v prožilnem načinu, ker bi v prvem primeru zunanji trdi disk zadostoval komaj za teden dni registracij. Upravljanje instrumenta poteka s prenosnim računalnikom po serijskem kablu RS232.

Zaradi velikega števila popotresnih sunkov smo postavili dodatne prenosne opazovalnice. V naslednjem tednu smo postavili akcelero grafa Etna v Drežnici in Lepeni. Akcelero graf v Drežnici smo priključili na telefonsko omrežje in smo podatke sproti prenašali na observatorij na Golovcu v Ljubljani. Prostor v osnovni šoli v Breginju je bil zaradi motenj neprimeren za beleženje potresov, zato smo seizmograf 72A-07 prestavili na Vogel, na vzhodno stran epicentralnega območja potresa. Prav

tako se je izkazala za neprimerno lokacija v Zatoľminu, zato smo seizmograf 72A-02 najprej prestavili v Čezsočo, nato pa na končno lokacijo v Plužni. Akcelerograf iz Trente smo prestavili bližje epicentru, in sicer v stanovanjsko hišo na vhodu v dolino Lepene. Tudi tu smo dobili na razpolago telefonski priključek, ki nam je omogočal prenos podatkov na observatorij. V Zadnjici smo postavili še en prenosni seizmograf 72A-07 in v Mali vasi v Bovcu akcelerograf SSA-2.

Akcelerograf SSA-2 ima vgrajen trikomponentni senzor pospeškov z maksimalnim merilnim območjem 1 g. 12-bitna A/D-pretvorba signala mu omogoča 72 dB veliko dinamično območje. Podatki se shranjujejo v notranji pomnilnik. Zapisi so opremljeni s časom, ki ga zagotavlja notranja ura s kremenovim kristalom. Kontrola delovanja, nastavitve parametrov in prenos podatkov v prenosni računalnik potekajo po serijskem kablu RS232.



Zaradi obnovitvenih del na objektu na Voglu smo seizmograf 72A-02 prestavili v Tolminske Ravne. Postavitev začasnih potresnih opazovalnic je prikazana na sliki. Opazovalnice so v dveh krogih obkrožale epicentralno območje velikonočnega potresa. Notranji krog, bližje epicentru, so sestavljale opazovalnice z akcelerografi Etna, in sicer na vhodu v Lepeno, v Lepeni in Drežnici. Akcelerogrami, zabeleženi na teh instrumentih, bodo služili predvsem za določanje globine, v kateri nastajajo popotresni sunki. Zunanji krog so tvorile opazovalnice s seizmografi v Plužni, Zadnjici in Tolminskih Ravnah, zabeleženi seizmogrami pa bodo dali boljši izračun koordinat epicentrov popotresnih sunkov. Taka postavitev začasnih opazovalnic je ostala do konca leta 1998. Instrumenti so do začetka novembra zabeležili več kot 7000 popotresnih sunkov. Število dogodkov se je po tem zmanjševalo, tako da smo ob

koncu leta 1998 zabeležili 1 do 2 dogodka dnevno. V začetku leta 1999 smo obdržali akcelero grafe v Mali vasi, Lepeni in Drežnici ter seizmograf v Plužni in z njimi spremljamo potresno aktivnost še v prvi polovici leta 1999. Skupno število popotresnih sunkov je preseglo 9000 dogodkov.

Podatke iz akcelero grafov v Drežnici in Lepeni smo sproti prenašali na observatorij v Ljubljani po klicnih telefonskih linijah. Na ostalih opazovalnicah je bilo pobiranje podatkov ročno z zamenjavo pomnilniških kartic in trdih diskov ali s prepisovanjem na prenosni računalnik in magnetni trak. V začetku so bili obiski opazovalnic zaradi prenosa podatkov enkrat tedensko, ko pa se je popotresna aktivnost zmanjšala, je prostor na pomnilniških medijih zadostoval za štirinajstdnevno zapisovanje podatkov. Na koncu leta so zadostovali obiski opazovalnic enkrat mesečno (Sinčič in Vidrih, 1998, Sinčič in Vidrih, 1999).

Sklep

Na seizmografih državne mreže potresnih opazovalnic je bilo število zapisanih popotresnih sunkov nekajkrat manjše od števila potresnih sunkov, zapisanega na terenskih potresnih opazovalnicah. To znova potrjuje, da je potresnih opazovalnic v Sloveniji premalo. Terenske opazovalnice so seveda namenjene beleženju popotresov na prizadetem območju. Pred tem so bile postavljene na ilirskobistriškem območju, ki ga je prizadel potres 13. marca 1998. Državna mreža potresnih opazovalnic vključuje sedem opazovalnic, potrebovali pa bi jih najmanj 25. S tem potresov še vedno ne bi napovedovali, mnogo bolje pa bi poznali seizmičnost slovenskega prostora in s tem zmanjšali potresno tveganje na naših tleh.

Literatura:

- Preliminary seismological bulletin. 1998, Geophysical Survey of Slovenia, Ljubljana.
- Lapajne, J., Sinčič, P., Živčič, M., 1998. Načrti za posodobitev opazovanja potresov v Sloveniji. - Ujma 12, 153-155, Ljubljana.
- Sinčič, P. & Vidrih, R. 1995. Gradnja potresne opazovalnice. Ujma št. 9, 185-189, Ljubljana.
- Sinčič, P., Vidrih, R., 1998. Posledice potresa v Posočju in instrumentalna opazovanja popotresne dejavnosti. IV. strokovno srečanje Slovenskega združenja za geofiziko in geodezijo, 15. december, Zbornik predavanj, 13-31, Ljubljana.
- Sinčič, P., Vidrih, R., 1999. Potres v Posočju 12. aprila 1998. Postavitev začasnega omrežja potresnih opazovalnic. 14. posvetovanje slovenskih geologov. Geološki zbornik-povzetki referatov, Ljubljana.
- Vidrih, R. & Sinčič, P. 1997. Potresne opazovalnice v Sloveniji – Geološki zbornik 11, 39-40, Ljubljana.

Potres 12. aprila 1998 v zgornjem Posočju
RELOKACIJA GLAVNEGA POTRESA IN POPOTRESOV
The earthquake on april 12, 1998 in the upper Soča Territory
RELOCATION OF THE MAIN SHOCK AND THE
AFTERSHOCKS

Jure Bajc, Mladen Živčić, Tamara Jesenko, Griša Močnik*

Izvleček. Z metodo hkratnega določanja žarišč smo natančno določili časovno-krajevne koordinate žarišč popotresnega niza, ki je sledil potresu 12. aprila 1998 v zgornjem Posočju. Lokacije nadžarišč okoli 550 potresov so določene z natančnostjo okoli 500 metrov, kar omogoča vpogled v lokalno geološko ozadje seizmičnosti tega področja. Videti je, da se je pretrg glavnega potresa na eni strani ustavil pred Bovško kotlino, na drugi strani pa na platoju ob izviru Tolminke. Prostorska porazdelitev popotresov se sklada z geometrijo lokalnih prelomov in zmičnim mehanizmom glavnega potresa.

Abstract. The Easter earthquake on April 12, 1998 in upper Soča Territory and its aftershocks are relocated with the adapted joint hypocenter determination method. The epicenters of nearly 550 events are located with the accuracy around 500 meters. Accurate locations of the aftershocks give an insight into the local geological structures and related seismicity. It seems that the rupture of the main shock was stopped by the Bovec basin on one side and by the plateau near the source of the Tolminka river on the other side. Spatial distribution of the aftershocks is in good agreement with the geometry of the faults in the area and with the strike-slip mechanism of the main shock.

Uvod

Eden najmočnejših potresov na slovenskih tleh v tem stoletju se je zgodil 12. aprila 1998 ob 12:55 po lokalnem času (10:55 UTC). Potres je imel lokalno magnitudo 5,6. Sledil je niz popotresnih sunkov, ki so jih poleg stalne državne mreže in začasnih potresnih opazovalnic zabeležile tudi opazovalnice sosednjih držav (Italije, Avstrije, Hrvaške,...). V regionalnem merilu sodi ta popotresni niz med boljše zabeležene, če ni celo najboljše zabeleženi niz v dobi digitalnih potresnih opazovalnic, saj je na nadžariščnem območju hkrati delovalo do pet začasnih opazovalnic. Samo v prvih treh mesecih (od 12. 4. do 30. 6. 1998) so te opazovalnice zabeležile prek 4000 potresnih sunkov, od katerih jih je lokalno magnitudo 3,0 preseglo deset, najmočnejši pa je imel lokalno magnitudo 4,2 in se je zgodil 6. maja. Za primerjavo povejmo, da je bila v primeru popotresnega niza v okolici Žalca leta 1996 (Gosar et al., 1997) na nadžariščnem območju postavljena le ena začasna opazovalnica, na kateri smo v treh mesecih našli okoli 300 popotresnih sunkov.

Tako veliko število začasnih potresnih opazovalnic na širšem nadžariščnem območju omogoča določanje položaja nastanka potresa z natančnostjo okoli enega kilometra oziroma žariščnega časa z natančnostjo nekaj desetink sekunde že z metodami, ki jih uporabljamo za vsakodnevno opredelitev osnovnih parametrov za določen potres. S primerno numerično obdelavo je moč doseči še precej večjo natančnost (za koordinate

* Ministrstvo za okolje in prostor, Uprava RS za geofiziko, Pot na Golovec 25, Ljubljana

nadžarišč se, kot bomo videli, suče okoli vrednosti 500 metrov) krajevno-časovnih parametrov, ki v nadaljnjih raziskavah pomenijo lažjo in jasnejšo geološko interpretacijo dogajanja.

V razdelku Relokacija na kratko opišemo razliko med običajnim (rutinskim) določanjem krajevno-časovnih koordinat žarišč (hipocentrov) potresa in izboljšano metodo (Douglas, 1969; Dewey, 1971; Bajc et al., 1999), ki je primerna za lociranje potresov, ki nastanejo na majhnem, prostorsko omejenem področju. V razdelku Rezultati so predstavljene natančnejše krajevno-časovne koordinate žarišč za niz v zgornjem Posočju, nazadnje pa strnemo najpomembnejše ugotovitve v Sklepu.

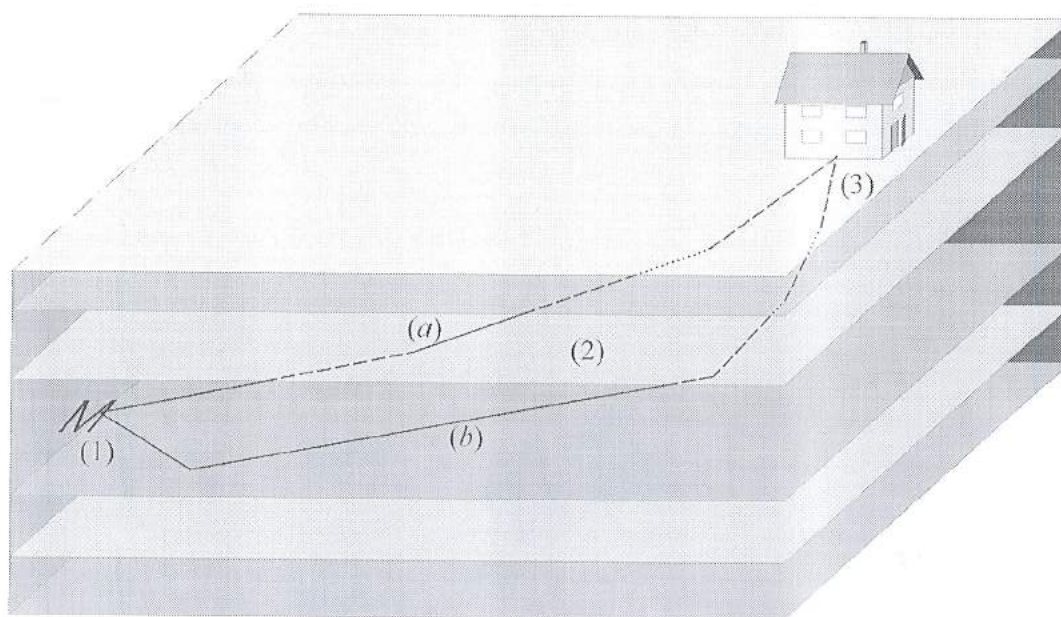
Relokacija

Vsakodnevno delo seizmologov na Upravi RS za geofiziko zajema med drugim sprotno določanje osnovnih parametrov za potrese na ozemlju Slovenije in za bolj oddaljene potrese, ki pa so jih čutili tudi prebivalci naše države. Ti osnovni parametri so čas in kraj nastanka potresa (žarišče) ter jakost (magnituda) in učinek (intenziteta) na našem ozemlju. Slednje je izvzeto iz instrumentalne analize in zahteva podatke o poškodbah oziroma učinkih potresa na določenem predelu ozemlja. Natančnost, ki jo lahko dosežemo pri lokaciji posameznega potresa na ozemlju Slovenije, je običajno nekaj kilometrov za lego nadžarišča, nekaj desetink sekunde za čas nastanka ter nekaj desetink za ocenjeno magnitudo. Taka natančnost je pogojena predvsem z redko posejano mrežo stalnih opazovalnic in relativno slabim poznavanjem strukture Zemljine skorje, skozi katero se razširja potresno valovanje pod našim ozemljem. Zato za rutinsko delo uporabljamo enostaven model skorje, ki jo v približku opišemo kot skladovnico homogenih planparalelnih plasti, ki jim pripišemo konstantne hitrosti za longitudinalne (primarne oziroma "P") in transverzalne (sekundarne oziroma "S") potresne valove. Časovno-krajevne koordinate žarišča spreminjamo tako dolgo, dokler se vsote absolutnih vrednosti razlik med izračunanimi in izmerjenimi časi prihoda P in S-valov do posameznih opazovalnic ne da več zmanjšati. Tak postopek očitno ne zajame niti dobro znanih razlik v strukturi pod, denimo, Julijskimi alpami in Prekmurjem ali slovensko Istro in zato ni prav natančen. Po drugi strani pred uporabo modernih digitalnih seizmometrov dosti večje natančnosti ni bilo mogoče doseči tudi zaradi omejene natančnosti odčitavanja časov prihoda (t.i. vstopnih časov) P in S-valov iz analognih zapisov. Ta je le redko preseгла desetinko sekunde, kar že samo po sebi onemogoča določitev krajevnih koordinat natančneje kot na kilometer. Digitalni zapisi moderne seizmološke opreme brez težav omogočajo odčitavanje vstopnih časov P-valov z napako okoli stotinke sekunde in S-valov z napako nekaj stotink sekunde. Dandanes je za natančnejše določanje časovno-krajevnih koordinat žarišč potrebno predvsem dovolj dobro poznavanje in upoštevanje krajevnih razlik v skorji. S sodobnimi računalniki je tudi slednje, torej tridimenzionalno modeliranje razširjanja

potresnih valov, vse bolj dostopno.

Nehomogene plasti lahko do neke mere upoštevamo z metodo hkratnega določanja časovno-krajevnih koordinat več žarišč na nekem relativno majhnem območju (na primer niz popotresov) in tako imenovanih časovnih popravkov vstopnih časov posameznih vrst potresnih valov (faz) za dano opazovalnico (popravek k fazi na opazovalnici = station-phase correction). Za to metodo se je udomačilo ime "hkratno določanje žarišč" (Joint Hypocenter Determination = JHD). Za kaj pri vsem skupaj gre?

Če za hip pozabimo na napake pri odčitavanju vstopnih časov, so odstopanja izmerjenih časov potovanja od tistih, izračunanih v idealnem enodimenzionalnem planparalelnem modelu Zemeljine skorje, posledica nehomogenosti plasti (1) v bližini žarišč, (2) vzdolž poti valovanja od žarišča do opazovalnice in (3) pod samo opazovalnico (slika 1).



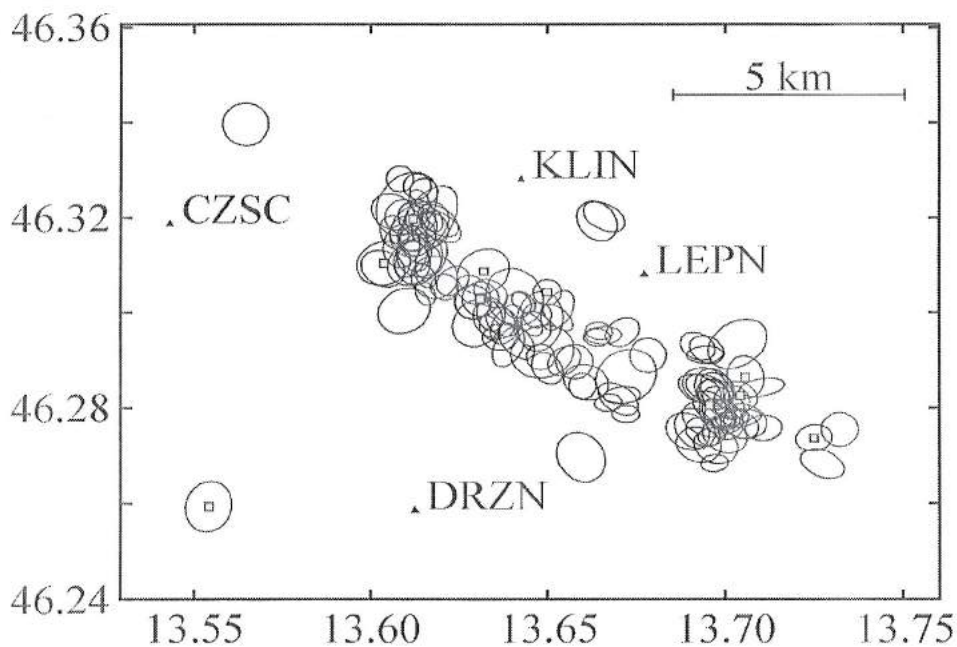
Slika 1. Tridimenzionalna skica potresa in poti potresnih valov (2) od žarišča (1) do opazovalnice (3): primer direktnega (a) in čelnega (b) valovanja. Če so potresi dovolj blizu skupaj, potresni valovi do opazovalnice prepotujejo iste lokalne geološke strukture in imajo podobne prehitke oziroma zaostanke glede na idealiziran planparalelni model.

Figure 1. Three-dimensional view of an earthquake and possible ray-paths (2) from the hypocenter (1) to the station (3). An example of a direct (a) and head (b) wave is shown. For the earthquakes in a small volume the paths are close together. The waves traverse similar local geological structures and the deviations between the actual and the calculated travel times are similar.

Za skupino potresov na prostorsko omejenem področju, ki je majhno v primerjavi z oddaljenostjo opazovalnice od potresov, so poti potresnih valov do seizmometra blizu

skupaj. Zato so za vse potrese odstopanja od idealnega planparalelnega modela podobna in jih lahko za celotno skupino potresov pripišemo posamezni fazi (na primer vstopni časi P ali S-valov) na opazovalnici. Ta sistematičen zaostanek ali prehitke imenujemo "popravek k fazi na opazovalnici". Popravke faz na opazovalnicah določamo za več opazovalnic in potresov hkrati. Spreminajmo tako popravke za faze kot tudi časovno-krajevne koordinate izbrane množice žarišč potresov, ki so bili zabeleženi na teh opazovalnicah. Podobno kot pri lociranju enega samega potresa iščemo minimum vsote absolutnih vrednosti razlik med izračunanimi in izmerjenimi vstopnimi časi, vendar pri tem sproti upoštevamo popravke faz in jih seštevamo po vseh potresih. Popravke k fazam v vsakem koraku izračunamo v grobem kot povprečne (sistematične!) prehitke ali zaostanke faz na opazovalnici.

Na kratko je razlika med "rutinskim" in "hkratnim" lociranjem v tem, da pri rutinskem delu za Zemeljino skorjo predpostavimo, da je sestavljena iz homogenih planparalelnih plasti in se ne menimo za morebitne heterogenosti znotraj plasti, temveč le minimiziramo razlike med izmerjenimi in izračunanimi vstopnimi časi potresnih valov. Hkratno določanje žarišč več potresov omogoča kvantitativno določanje popravkov k fazam na postajah, kar posredno pomeni upoštevanje heterogenosti in zato natančnejše določanje časovno-krajevnih koordinat žarišč.

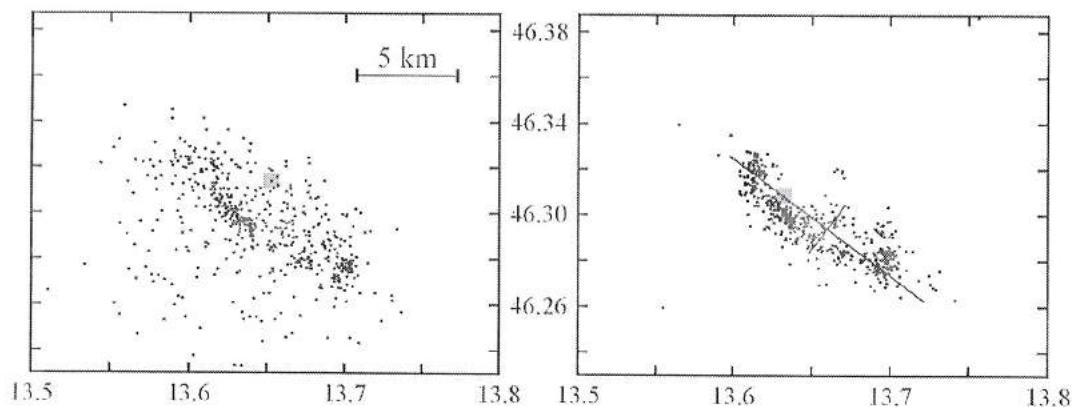


Slika 2. Elipse 90% zanesljivosti lociranih nadžarišč za 122 dobro zabeleženih potresov, za katere smo imeli vsaj 30 zabeleženih P ali S vstopnih časov. Trikotniki označujejo začasne opazovalnice, kvadrati pa potrese z lokalno magnitudo 3,0 ali več.

Figure 2. The 90% epicentral confidence ellipses of the 122 well-recorded events (at least 30 P- or S-wave arrival times recorded). The triangles denote the temporary stations and the squares denote events with local magnitude 3,0 or more.

Rezultati

Zaradi velike množice popotresov smo se za zdaj omejili le na analizo dogodkov, ki so bili zabeleženi z vsaj desetimi P ali S vstopnimi časi in so se zgodili do vključno 30. junija 1998. Takih je bilo 584, zabeležilo pa jih je prek 50 opazovalnic. Glede na to, da je v tem času lokalno magnitudo 3,0 doseglo ali preseгло 10 potresov, medtem ko je bilo do novembra 1999 takih potresov v Posočju 13, sklepamo, da navkljub relativno kratkemu času opazovanja v analizo vključujemo približno tri četrtine vseh popotresov. Kot je to običajno, smo najboljše zabeležene potrese (z največ vstopnimi časi) analizirali s programom za hkratno določanje žarišč in jih uporabili za določanje popravkov faz. Nato smo določili časovno-krajevne koordinate žarišč vsakega posebej



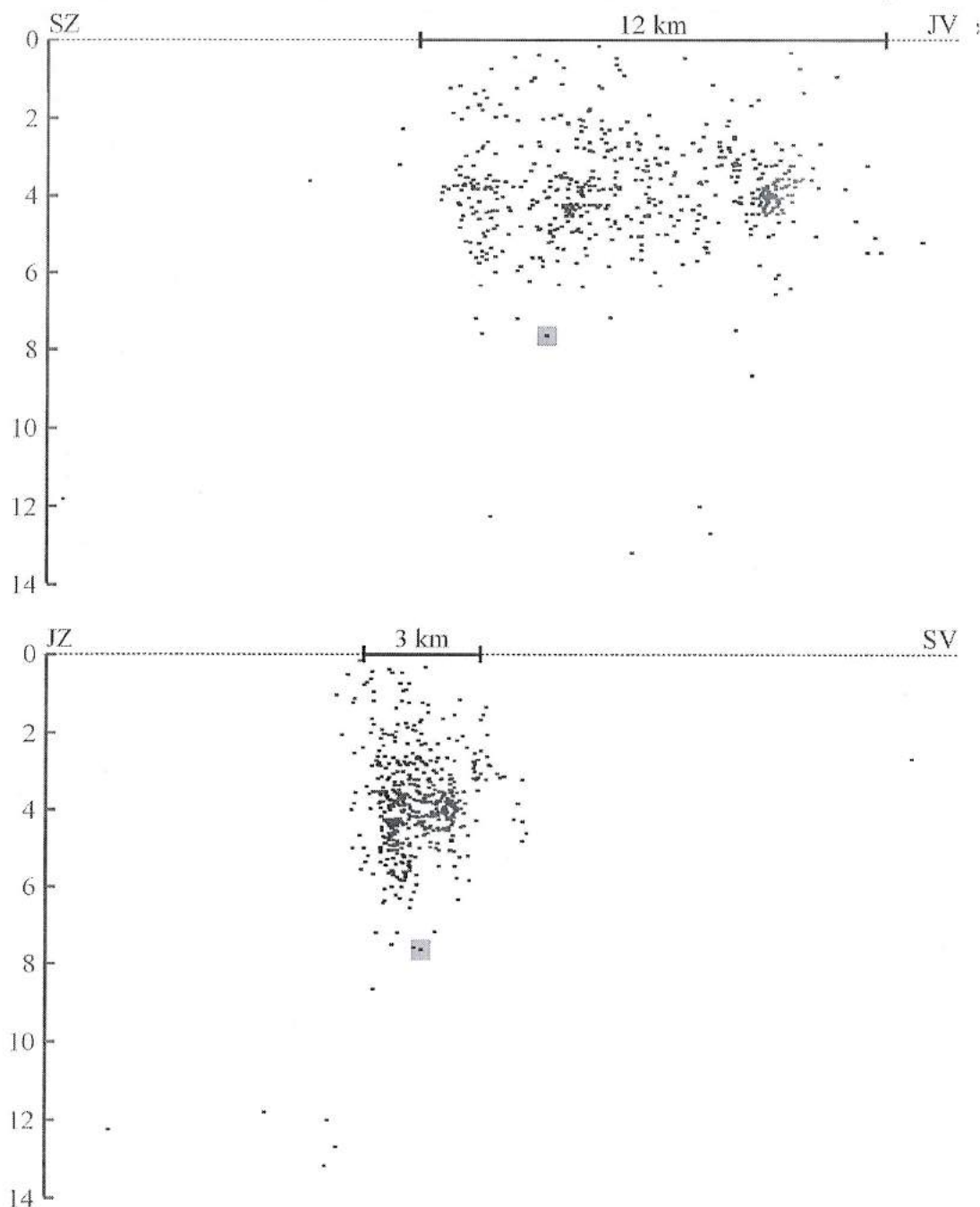
Slika 3. Nadžarišča 548 popotresov v zgornjem Posočju pred (levo) in po (desno) relokaciji z metodo hkratnega določanja žarišč. Glavni potres je označen s sivim kvadratom. Potresi, locirani brez popravkov k fazam na opazovalnicah (preliminarne lokacije), so zbrani v podolgovatem oblaku dimenzij 20 km krat 10 km. Relocirani potresi so razporejeni vzdolž 10 do 12 km dolgega in okoli 3 km širokega pasu v smeri N127°E. Na levi sta dodana preseka, ki ju kaže slika 4.

Figure 3. The epicenters of the 548 earthquakes in the upper Soča Territory before (left) and after (right) the relocation with the joint hypocenter determination method. The main event is denoted by a gray square. The locations obtained with no station-phase corrections can crudely be described as a cloud with the approximate size 20 km times 10 km. After the relocation the area covered by the epicenters is more compact, with the approximate size 10-12 km times 3 km and trending N127°E. The cross-sections in figure 4 are indicated on the left

s programom za lociranje enega potresa (Single Event Location = SEL), vendar ob upoštevanju popravkov faz, ki smo jih izračunali v prejšnjem koraku.

S programom za hkratno določanje žarišč smo obdelali 45 potresov, ki so bili zabeleženi z vsaj 45 P ali S vstopnimi časi, in pri tem določili 97 popravkov faz na 53 opazovalnicah. Navkljub izboljššanemu algoritmu za določanje časovno-krajevnih koordinat so nekateri popotresi ostali precej slabo locirani, predvsem zato, ker v prvih nekaj dneh po glavnem potresu na nadžariščnem področju ni bilo dovolj začetnih opazovalnic (Sinčič et al., 1999). Da bi ohranili le dovolj zanesljive rezultate, smo

izločili vse popotrese, ki so imeli katero od polosi elipsoida, ki omejuje 90% interval zanesljivosti, večjo od 5 km. Ker je zanesljivost običajno najmanjša v navpični smeri, ima 548 potresov, ki smo jih ohranili v obravnavi, nadžarišče oziroma epicenter



Slika 4. Prečni prerez vzporedno (zgoraj) in pravokotno (spodaj) na prelomno ploskev po relokaciji. Glavni potres je označen s sivim kvadratom. Groba ocena vpada prelomne ploskve je okoli 85° , vendar je bolje reči le, da je prelomna ploskev skoraj navpična (subvertikalna), morda v globini malenkost nagnjena proti severovzhodu. Večina žariščnih globin je med 2 in 6 km.

Figure 4. The relocated hypocenters in a cross-section along (top) and perpendicular (bottom) to the fault. The main event is denoted by a gray square. Rough estimate of the fault plane dip is 85° . However, it is better to say that the fault is nearly vertical, just slightly tilted towards the northeast in the profundity. The hypocenters are mainly positioned at depths 2-6 km.

Smiselnost uporabe metode hkratnega določanja žarišč je lepo razvidna s slike 3. Razpršenost "rutinsko" lociranih potresov je prevelika za neposredno sklepanje o povezavi med lokalno geološko zgradbo in seizmično aktivnostjo. Po drugi strani kažejo relocirani potresi prostorsko urejenost (slika 4), ki jo lahko povežemo s prelomno ploskvijo glavnega potresa, za katero dobimo oceno velikosti 10-12 km krat 4-6 km in skoraj navpično orientacijo. Tako orientacija kot velikost prelomne ploskve se dobro skladata z geometrijo zmičnega preloma, ki ga dobimo iz polaritet prvih prihodov P-valov (Bajc et al., 1999), in empirično zvezo med magnitudo in dolžino pretrga, ki jo podajata Wells in Coppersmith (1994).

Tudi globina relociranih potresov (slika 4) je precej bolj smiselna od preliminarnih vrednosti, ki so nihale med 0 in 30 km, kar se glede na lokalno geološko zgradbo zdi preveč. Po relokaciji je le 5 žarišč ostalo globljih od 10 km, pa še ta so odmaknjena od glavne prelomne ploskve in so v talninskem bloku, večina žarišč popotresov pa je nad žariščem glavnega potresa, kar je v skladu s teorijo mehanike prelomov (Sholz, 1999). Glavni potres ima veliko strižno (zmično) komponento (Placer et al., ta publikacija), za take potrese pa je značilno, da so popotresi blizu glavne prelomne ploskve. Prostorska porazdelitev popotresov je skladna tudi s to trditvijo.

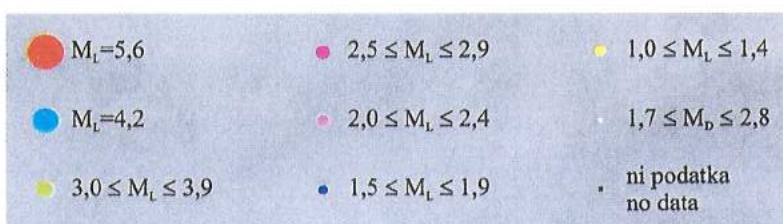
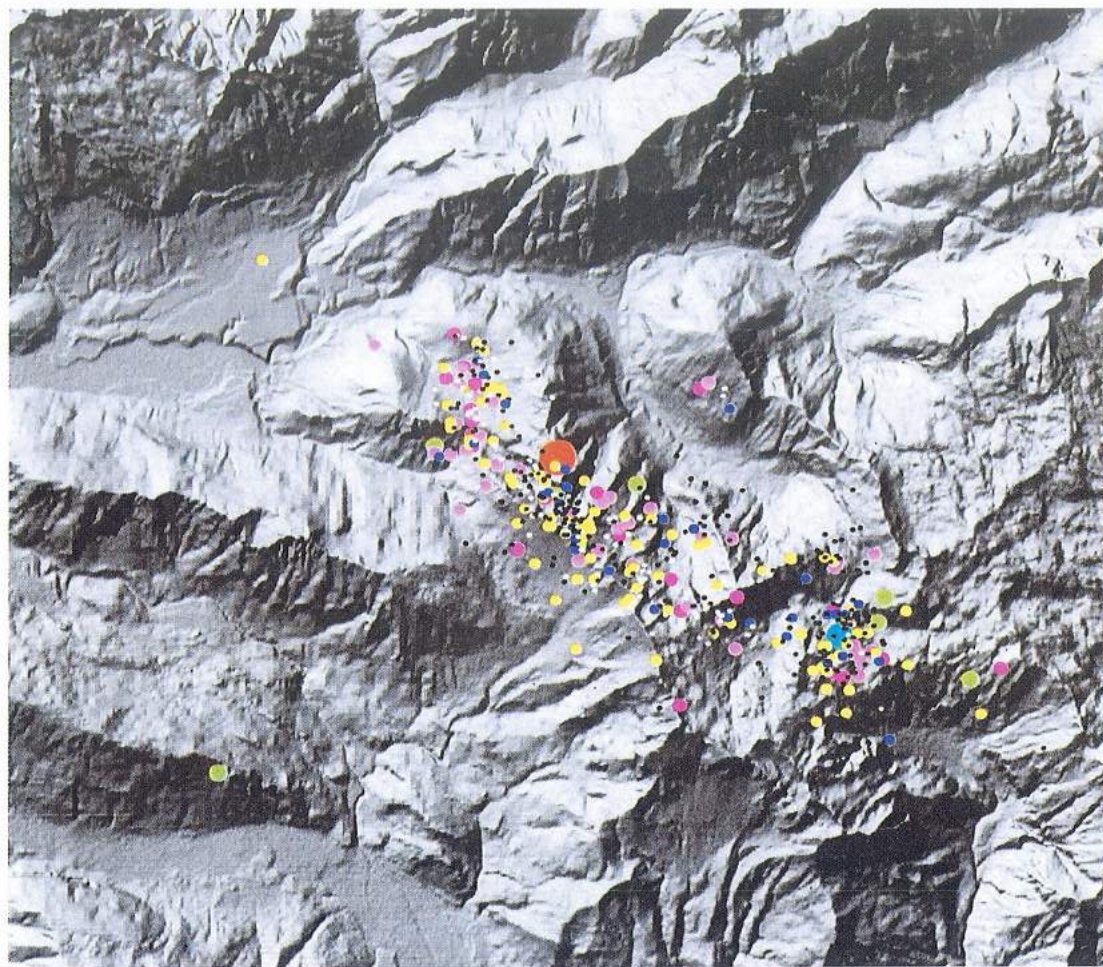
Glavne rezultate lahko povzamemo v številke:

- žarišče glavnega potresa je bilo na globini $7,6 \text{ km} \pm 1,1 \text{ km}$,
- povprečna globina žarišč popotresov je 3,9 km, večina žariščnih globin je med 2 in 6 km,
- nadžarišča se raztezajo v 12 km dolgem in 3 km širokem pasu.

Sklep

Natančna lokacija prek 500 potresov (slika 5), ki so stresali zgornje Posočje od 12. aprila do konca junija 1998, je omogočila pogled v geološko ozadje velikonočnega potresa in s tem povezano morebitno prihodnjo potresno aktivnost. Okoli 12 km dolg in 6 km širok odsek navpičnega preloma, ki teče približno v smeri SZ-JV od Bovške kotline do izvira Tolminke, je verjetno ena od vej Idrijskega preloma, ki se vleče po zahodnem delu Slovenije in je s svojo dolžino okoli 100 km zmožen generirati še precej močnejše potrese (Ribarič, 1979; Sikošek, 1982). Ali je sprostitvev napetosti med velikonočnim potresom obremenila JV del Idrijskega preloma ali kak drug njegov del ostaja izven okvirov pričujočega prispevka. Dejstvo pa je, da se na digitalnem reliefu Slovenije od vzhodnega dela platoja pri izviru Tolminke proti JV lepo vidi kakih 30 kilometrov dolg lineament, ki je posledica prav toliko dolgega preloma, ki se med opazovanimi potresi ni aktiviral. Na osnovi relociranih potresov in smeri širjenja pretrga med glavnim potresom (Saraò in Suhadolc, 1999) lahko

postavimo hipotezo, da je prav plato pri izviru Tolminke površinski odsev strukturno-geološke ovire, ki je ustavila pretrg glavnega potresa.

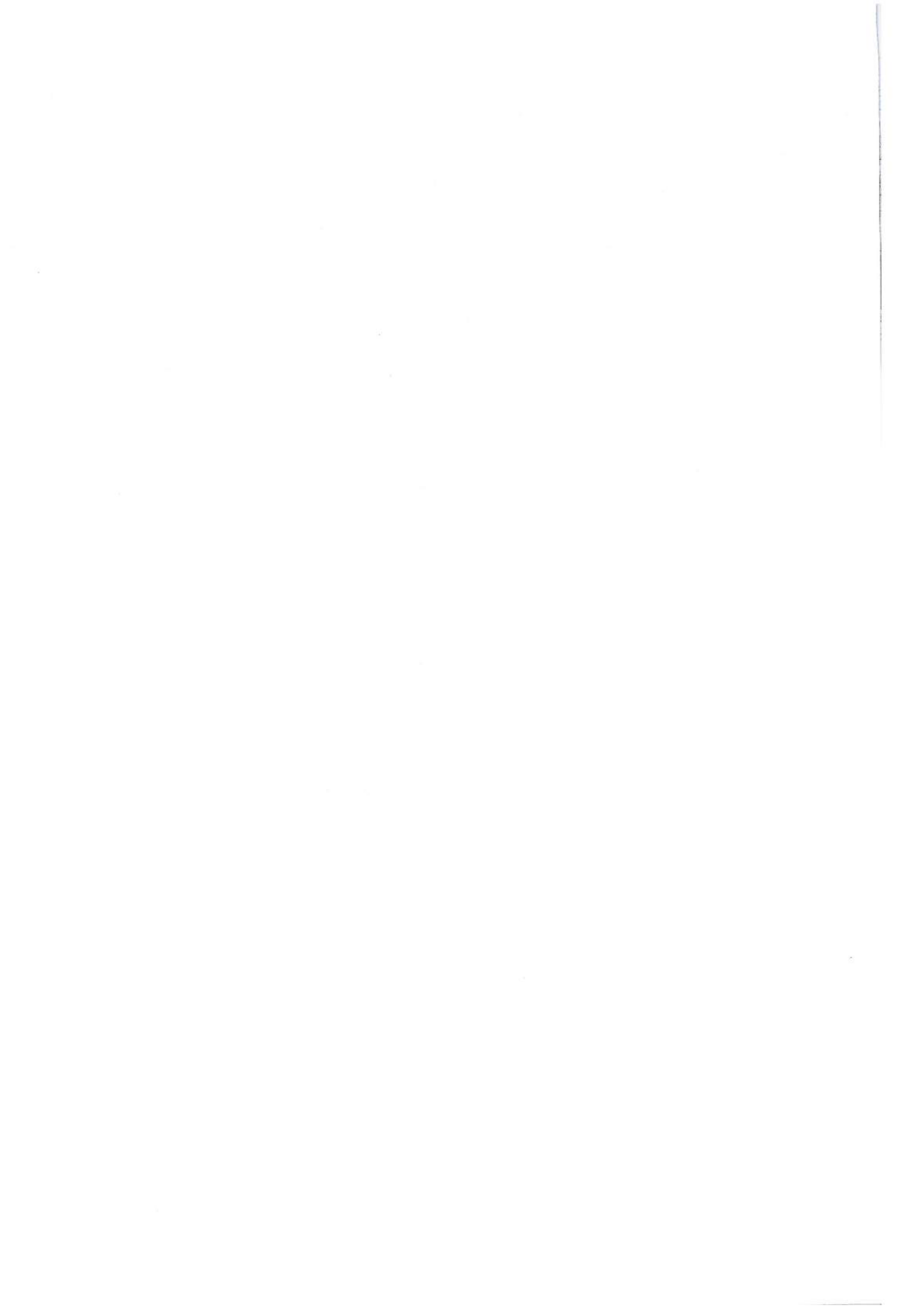


Slika 5. Popotresi na petindvajsetmeterskem digitalnem modelu širšega nadžariščnega območja. Različne barve in velikosti krogov označujejo lokalne magnitude potresov. Za nekatere potrese magnituda ni opredeljena (črni krogi), za nekatere pa smo zabeležili le magnitudo trajanja (beli krogi).

Figure 5. The epicenters of the relocated earthquakes, shown on the 25 m digital elevation model of the area. The colours and sizes of the circles are used to identify the local magnitude. For some events the magnitude is not determined (black circles), for others only the duration magnitude was obtained (white circles).

Literatura

- Bajc, J., Aoudia, A. in Suhadolc, P., 1999. Relocation of the 1998 Bovec (Slovenia) earthquake and its aftershocks: faulting locked between two barriers, submitted to *Geophys. Res. Lett.*
- Douglas, A., 1967. Joint epicentre determination, *Nature* 215, 47-48.
- Dewey, J. W., 1971. Seismicity studies with the method of joint hypocenter determination, Ph.D. Thesis, 163 pp., Univ. of Calif., Berkeley.
- Placer, L., Poljak, M., Živčič, M. in Bajc, J., 1999. Potres 12. aprila 1998 v zgornjem Posočju - Seizmotektonska interpretacija, *Potresi v letu 1998*, URSG, 91-100, Ljubljana.
- Ribarič, V., 1979. The Idrija earthquake of March 26, 1511 - a reconstruction of some seismological parameters, *Tectonophysics* 53, 315-324.
- Saràò, A. in Suhadolc, P., 1999. Near-source inversion for the April 12, 1998 Bovec earthquake. IUGG 99 - Birmingham - 18th-30th July. Abstract vol. **B**, B.178.
- Sinčič, P., Vidrih, R. in Deterding, M., 1999. Potresne opazovalnice v Sloveniji v letu 1998, *Potresi v letu 1998*, URSG, 1-10, Ljubljana.
- Sikošek, B., 1982. Tektonika, neotektonika in seizmotektonika SR Slovenije, Monografija – Publikacija Seizmološkega zavoda SR Slovenije.
- Sholz, C. H., *The Mechanics of Earthquakes and Faulting*, 439 str., Cambridge University Press, Cambridge, 1990.
- Wells, D. L. in Coppersmith, K. J., 1994. New empirical relationships among magnitude, rupture length, rupture width, rupture area, and surface displacement, *Bull. Seism. Soc. Am.* 4, 974-1002.



Potres 12. aprila 1998 v zgornjem Posočju
ANALIZA GIBANJA TAL
The earthquake on april 12, 1998 in the upper Soča Territory
GROUND MOTION ANALYSIS

Iztok Peruš^{*}, Barbara Šket⁺, Peter Fajfar^{*}, Janez Lapajne⁺

Izvleček. Dne 12. aprila 1998 je bil v zgornjem Posočju potres z oceno magnitude 5,8. Gibanje tal med potresom je zabeležilo 17 akceleroagrafov v Sloveniji in Italiji, od katerih je bil najbližji oddaljen okrog 22 km od nadžarišča. V okviru razvojno raziskovalnih nalog so zbrani akcelerogrami ter podatki o instrumentih in o njihovih lokacijah. Iz popravljenih (korigiranih) akcelerogramov so izračunani in narisani časovni poteki hitrosti in pomikov tal ter spektri pospeškov, hitrosti in pomikov. Analizirana sta tudi dva akcelerograma najmočnejšega popotresa 6. maja 1998. Povprečni spektri so primerjani s spektri po Eurocode 8, pojevanje *največjega (vršnega) pospeška tal PGA* pa z modeli pojevanja, ki se uporabljajo za ozemlje Slovenije. Primerjave z dolgoročnimi verjetnostnimi ocenami potresne nevarnosti in ocene pospeška v okolici nadžarišča kažejo, da dobimo z obstoječimi modeli pojevanja precej večje *PGA* od izmerjenih. Tudi normiran spekter odziva po Eurocode 8 je pri večini nihajnih časov konservativen.

Abstract. On 12th April, 1998, a 5.8 magnitude earthquake occurred in upper Soča Territory, Slovenia. The ground motion was recorded on 17 accelerographs in Slovenia and Italy. The nearest one was located at a distance of about 22 km. Within the research projects the recorded accelerograms, data on instruments and on the sites have been collected. The accelerograms were corrected for instrument response and the time-histories of ground velocities and ground displacements, as well as acceleration, velocity and displacement spectra were calculated and plotted. Two records obtained during the strongest aftershock were also analyzed. Attenuation of recorded peak ground acceleration (*PGA*) was compared with attenuation equations used in Slovenia, and mean spectra were compared with spectra according to Eurocode 8. Probabilistic seismic hazard analysis and estimated epicentral acceleration values are also given. It has been shown that both attenuations and EC8 spectra, used in Slovenia, yield larger values than those recorded from the earthquake.

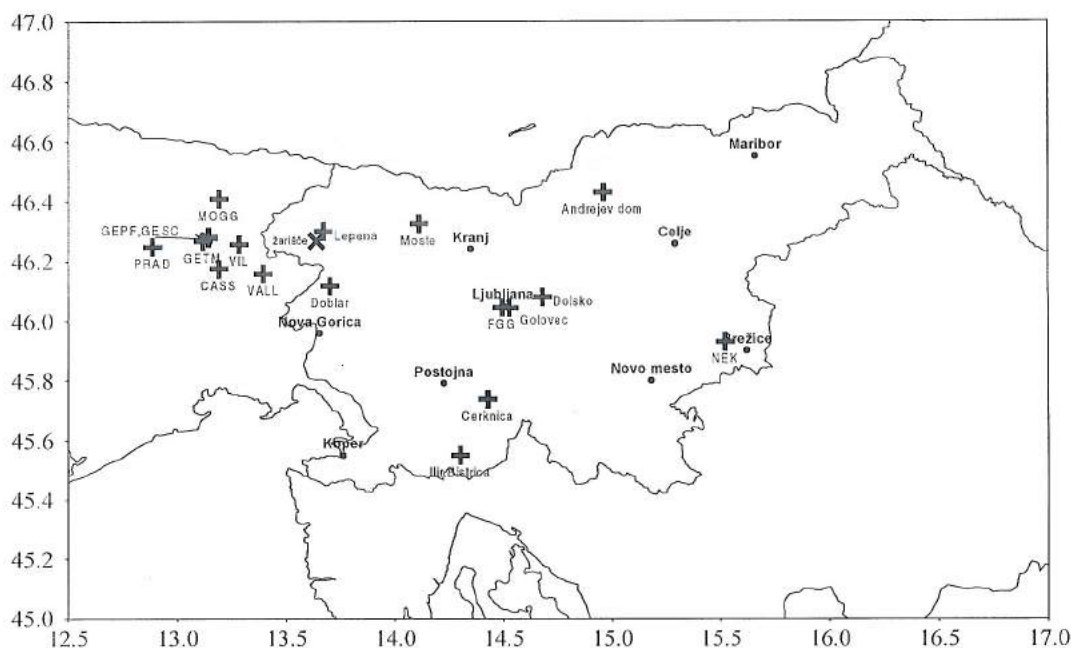
Analiza gibanja tal med potresi v zgornjem Posočju leta 1998

Dne 12. aprila 1998 ob 12:55 je v zgornjem Posočju nastal potres z lokalno magnitudo 5,6. Intenziteta (učinki) potresa v širšem nadžariščnem (epicentralnem) območju je bila VII.–VIII. stopnje po evropski potresni lestvici *EMS*. Nadžarišče (epicenter) je bilo zahodno od Lepene, ocenjene koordinate znašajo 46,31 N in 13,63 E, globina žarišča pa je ocenjena na 8 km. Glavnemu potresnemu sunku je sledilo več popotresov. Najmočnejši med njimi, 6. maja 1998, je imel magnitudo 4,2. Koordinati lokacije nadžarišča sta ocenjeni na 46,28 N in 13,70 E, globina pa na 5 km.

Akcelerogrami glavnega potresnega sunka so bili zapisani na več instrumentih. Žal ni bilo nobenega instrumenta v bližini nadžarišča. Najbližji akcelerogram je bil zapisan

^{*}Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, IKPIR, Jamova 2, Ljubljana

⁺Ministrstvo za okolje in prostor, Uprava RS za geofiziko, Kersnikova 3, Ljubljana



Slika 1: Opazovalnice za močnejše potrese, ki so zapisale potres 12. aprila 1998, in opazovalnica v Lepeni, s katero smo analizirali popotres 6. maja 1998.

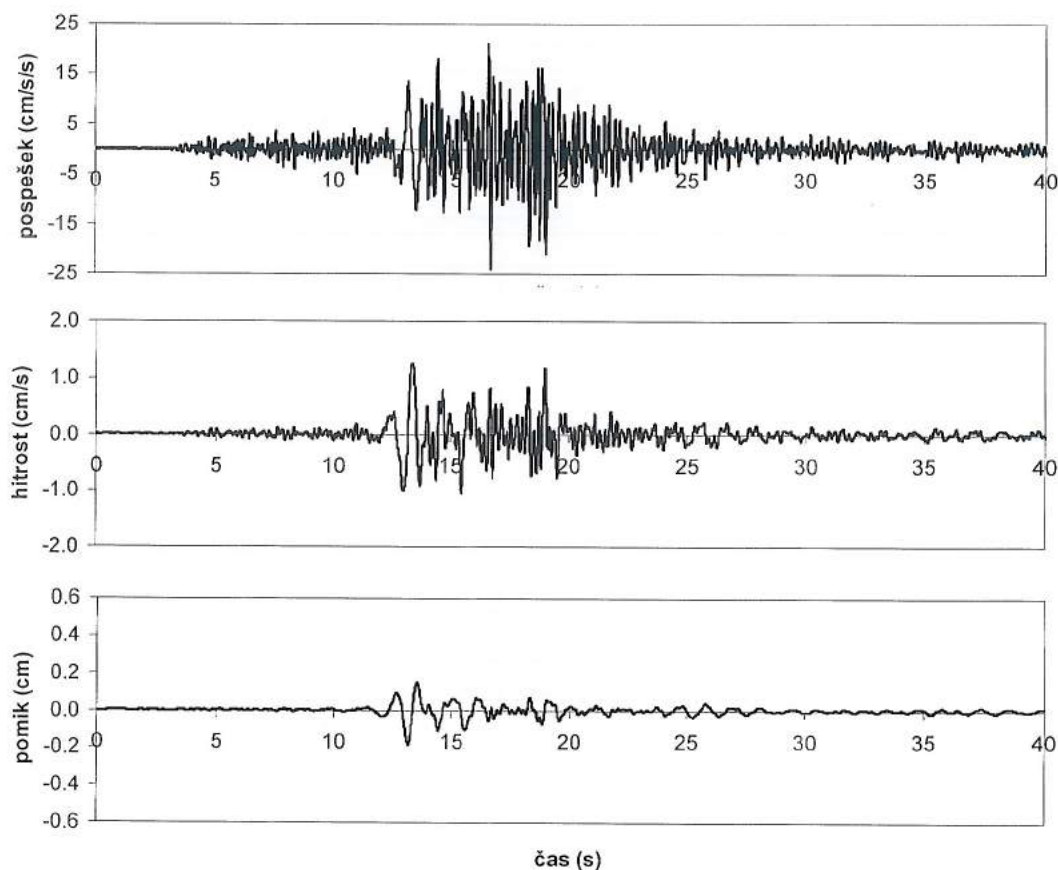
Figure 1: Strong motion accelerographs, which recorded the 12th April 1998 earthquake, and accelerograph in Lepena, whose May 6th 1998 aftershock was analysed.

ob hidroelektrarni Dobljar približno 22 km južno od nadžarišča. Na sliki 1 so označene opazovalnice Uprave RS za geofiziko, Oddelka za vede o zemlji Univerze v Trstu in Instituta za potresno inženirstvo in inženirsko seizmologijo (IZIIS), ki so zapisale potres 12. aprila 1998 v zgornjem Posočju, in naknadno postavljena opazovalnica v Lepeni, s pomočjo katere smo analizirali popotres 6. maja. Kot primer je na sliki 2 prikazan zapis potresa na opazovalnici FGG v Ljubljani.

V okviru razvojno raziskovalnih nalog (Fajfar in sod., 1998b, 1998c) so bili zbrani vsi akcelerogrami glavnega potresa ter dostopni podatki o lokacijah instrumentov, vključno s podatki o vrsti tal in karakteristikah instrumentov. Temeljni podatki so v preglednici 1. Za vse opazovalnice so navedene razdalja do nadžarišča, vrsta tal in vrednosti PGA ter največje (vršne) hitrosti tal PGV in vršnega pomika tal PGD za vse tri komponente.

Po glavnem potresnem sunku je bilo v nadžariščnem območju postavljeno več prenosnih akcelerografov, ki so skupaj zapisali več tisoč akcelerogramov popotresov. V preglednici 2 so za popotres 6. maja 1998 enaki podatki kot za glavni potres, vendar le za dva akcelerograma. Prvi je bil zapisan na lokaciji FGG v Ljubljani, drugi pa blizu nadžarišča v Lepeni.

Obdelava zbranih akcelerogramov je obsegala korekcijo akcelerogramov, izračun časovnega poteka hitrosti in pomikov tal ter izračun spektrov (absolutnih) pospeškov, (relativnih) hitrosti in (relativnih) pomikov. Pri izračunih so bili uporabljeni enaki filtri za vse akcelerograme.



Slika 2: N-S komponenta potresa 12. aprila 1998 na opazovalnici FGG v Ljubljani
 Figure 2: NS component of the 12th April 1998 earthquake at FGG seismic station.

Preglednica 1: Osnovni podatki o zapisih potresa 12. 4. 1998

Table 1. Main ground motion data of the 12th April 1998 earthquake

kraj	R [km]	vrsta tal	komp.	PGA [cm/s ²]	PGV [cm/s]	PGD [cm]
Ilir. Bistrica	98	aluvijalni nanosi vrsta B	N-S	3.7	0.33	0.06
			VER	2.2	0.25	0.05
			E-W	4.1	0.54	0.07
Cerknica	87	apnenec vrsta A	N-S	4.0	0.20	0.03
			VER	4.1	0.34	0.03
			E-W	6.0	0.42	0.06
Dolsko	83	prodnata tla vrsta B	N-S	12.1	0.68	0.07
			VER	4.4	0.36	0.04
			E-W	10.2	0.51	0.06
Ljubljana- FGG	71	prodnata tla vrsta B	N-S	24.6	1.29	0.18
			VER	7.9	0.38	0.05
			E-W	23.4	0.96	0.08
Slime	101	metamorfne kamnine vrsta A	N-S	5.9	0.35	0.04
			VER	3.1	0.16	0.02
			E-W	5.0	0.25	0.02

kraj	R [km]	vrsta tal	komp.	PGA [cm/s ²]	PGV [cm/s]	PGD [cm]
Ljubljana-Golovec	73	peščenjak vrsta A	N-S	13.6	0.76	0.11
			VER	5.3	0.34	0.03
			E-W	10.6	0.64	0.08
Krško NPP	149	grušči, prodi, peski in gline vrsta B	N-S	5.5	0.55	0.06
			VER	5.4	0.48	0.06
			E-W	7.9	0.74	0.08
Valle	27	skala vrsta A	N-S	26.3	1.17	0.10
			VER	18.1	0.69	0.07
			E-W	24.3	1.06	0.08
Pradis	60	skala vrsta A	N-S	6.2	0.17	0.01
			VER	5.1	0.14	0.01
			E-W	4.4	0.14	0.01
Moggio	37	skala vrsta A	N-S	14.4	0.54	0.04
			VER	5.8	0.25	0.04
			E-W	15.5	0.68	0.05
Villanova	30	skala vrsta A	N-S	40.0	0.94	0.12
			VER	47.8	1.41	0.11
			E-W	34.1	0.70	0.07
Cassacco	39	sedimenti vrsta B	N-S	13.9	0.73	0.06
			VER	9.2	0.68	0.09
			E-W	10.1	0.47	0.04
Gemona-PF	40	skala vrsta A	N-S	8.5	0.54	0.07
			VER	9.3	0.63	0.07
			E-W	10.5	0.73	0.06
Gemona-SC	40	sedimenti vrsta B	N-S	23.0	1.50	0.13
			VER	16.9	0.96	0.09
			E-W	40.6	1.40	0.12
Gemona-TM	42	sedimenti vrsta B	N-S	28.6	1.16	0.13
			VER	13.6	0.42	0.05
			E-W	23.3	1.40	0.15
Doblar	22	skala vrsta A	N75E	12.1	0.75	0.09
			VER	7.6	0.65	0.08
			N15W	14.8	0.53	0.05
Moste	35	skala vrsta A	N40W	21.3	1.07	0.12
			VER	12.4	1.01	0.14
			N50E	28.3	1.87	0.19

Preglednica 2: Osnovni podatki o zapisih popotresa 6. 5. 1998

Table 2. Main ground motion data of the 6th May 1998 earthquake.

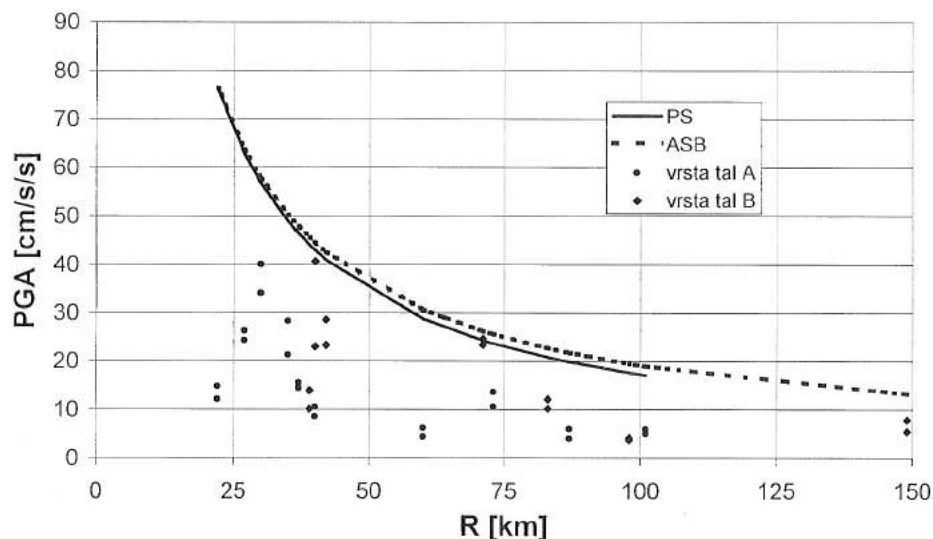
kraj	R [km]	vrsta tal	komp.	PGA [cm/s ²]	PGV [cm/s]	PGD [cm]
Ljubljana- FGG	74	prodnata tla vrsta B	N-S	3.4	0.13	0.01
			VER	0.9	0.05	0.01
			E-W	3.4	0.12	0.01
Lepena	6	laporji vrsta A	N-S	281.1	4.12	0.14
			VER	87.9	1.98	0.10
			E-W	102.5	1.96	0.09

Potresno gibanje tal pojema z oddaljenostjo od nadžarišča oziroma od prelomnega pretrga. Na podlagi statističnih študij lahko določimo modele pojemanja, ki določajo odvisnost gibanja tal (največkrat *PGA*) od magnitude potresa, oddaljenosti od nadžarišča in od vrste tal. Pri nas se največ uporabljata model pojemanja, ki sta ga predlagala Sabetta in Pugliese PS (Sabetta in Pugliese, 1996) na podlagi analize potresov v Italiji in model ASB (Ambraseys, Simpson, Bommer, 1996), ki je bil dobljen na podlagi analize potresov v Evropi in širši okolici. Izmerjeni *PGA* za obe vodoravni komponenti glavnega potresa je za primerjavo skupaj z omenjenima modeloma za magnitudo 5,8 prikazan na sliki 3. Meritve so označene glede na vrsto tal A in B, modela pojemanja pa ustrezata vrsti tal A. Kot kaže slika, so izmerjeni *PGA* precej manjši od vrednosti, ki jih dajeta modela pojemanja.

Potresno gibanje tal pojema z oddaljenostjo od nadžarišča oziroma od prelomnega pretrga. Na podlagi statističnih študij lahko določimo modele pojemanja, ki določajo odvisnost gibanja tal (največkrat *PGA*) od magnitude potresa, oddaljenosti od nadžarišča in od vrste tal. Pri nas se največ uporabljata model pojemanja, ki sta ga predlagala Sabetta in Pugliese PS (Sabetta in Pugliese, 1996) na podlagi analize potresov v Italiji in model ASB (Ambraseys, Simpson, Bommer, 1996), ki je bil dobljen na podlagi analize potresov v Evropi in širši okolici. Izmerjeni *PGA* za obe vodoravni komponenti glavnega potresa je za primerjavo skupaj z omenjenima modeloma za magnitudo 5,8 prikazan na sliki 3. Meritve so označene glede na vrsto tal A in B, modela pojemanja pa ustrezata vrsti tal A. Kot kaže slika, so izmerjeni *PGA* precej manjši od vrednosti, ki jih dajeta modela pojemanja.

Spektre pospeškov, izračunane kot povprečje spektrov vseh zapisov, posebej za vodoravno in posebej za navpično smer, smo primerjali s spektri po evropskem in slovenskem predstandardu Eurocode 8 (CEN, 1994; Slovenski predstandard, 1995). Ugotovili smo, da elastični (prožnostni) spekter odziva po Eurocodu 8 v vseh primerih, z izjemo nekaj pričakovanih konic, ovija izračunane povprečne spektre (slika 4).

Zanimiv je zapis popotresa v Lepeni, kjer je bil med potresom magnitude 4,2 zabeležen vodoravni PGA 281 cm/s^2 . Trajanje močnega dela gibanja tal je bilo izredno kratko (okrog 1 s), prevladovale so zelo visoke frekvence (okrog 10 Hz), hitrosti in pomiki so bili zelo majhni. Takšno gibanje tal je pogosto opaženo med potresi majhnih magnitud v bližini pretrga, med drugim tudi v Krškem. Kljub visokim PGA ne povzroča nobenih poškodb gradbenih objektov. Tako gibanje tal je najboljši dokaz, da PGA ni primerna količina za ocenjevanje škode, ki jo povzroča potres. Iz tega razloga se pri projektiranju gradbenih objektov pogosto uporablja tako imenovan *efektivni* ali (za vrsto tal A) *projektni* pospešek tal, ki ni enolično definiran. Na splošno je *efektivni* pospešek približno enak PGA pri srednje oddaljenih in oddaljenih potresih srednjih do velikih magnitud. Za bližnje potrese z majhno magnitudo je *efektivni* pospešek lahko precej manjši od PGA .



Slika 3: Izmerjeni PGA na tleh vrste A in B obeh vodoravnih komponent akcelorogramov potresa 12. aprila 1998 in modela pojemanja za vrsto tal A pri magnitudi 5,8

Figure 3: Registrated horizontal PGA on soil type A and B of the April 12th 1998 earthquake and attenuation models at magnitude 5,8 for A soil type.

Ocena potresne nevarnosti v nadžariščnem območju

V Sloveniji ocenjujemo potresno nevarnost po metodi prostorskega glajenja potresne dejavnosti in po klasični metodi izvorov (Lapajne in sod., 1997a, 1997b, 1997c). V skladu z Eurocode 8 (EC8) sta končni rezultat raziskav verjetnostna karta *projektnega pospeška tal*, le-ta je opredeljen kot *efektivni pospešek* za vrsto tal A, in normiran elastični (prožnostni) spekter odziva za različne vrste tal. EC8 predvideva izračun za povratno dobo 475 let, kar pomeni, da ocenjeni pospeški z verjetnostjo 0,9 niso

preseženi v 50 letih. V Sloveniji tako za to povratno dobo »napovedujemo« največje projektne pospeške do 250 cm/s^2 , in sicer na skrajnem zahodu države, v okolici Ljubljane in v okolici Brežic (predhodni izračuni v npr. Fajfar in sod., 1998a). Območju v okolici nadžarišča smo pripisali možnost potresov s pospeški do 200 cm/s^2 . Navedene vrednosti so izračunane z modelom PS. Primerjalni izračun z modelom pojemanja ASB je dal v povprečju skoraj za tretjino višje pospeške – npr. v območju nadžarišča do 250 cm/s^2 . Visoke vrednosti pospeška pri modelu ASB niso primerljive z nobenimi preteklimi ocenami potresne nevarnosti Slovenije niti se na mejah ne ujemajo z ocenami sosednjih držav. Karta *PGA* modela PS za povratno dobo 475 let se npr. približno ujema s karto modela ASB za povratno dobo 1000 let. Proti uporabi modela ASB govorijo tudi podatki s slike 3. Zato ocenjujemo, da je model pojemanja PS bolj primeren za ozemlje Slovenije, model ASB pa podajamo le kot primerjavo oz. kot zgornjo mejo ocene potresne nevarnosti.

Poleg *PGA* oz. projektne pospeška tal je za oceno potresne nevarnosti pomemben tudi spekter odziva, ki je lahko izražen s pospeškom, hitrostjo in/ali pomikom. EC8 opredeljuje *elastični (prožnostni) spekter odziva*, to je poenostavljen spekter pospeška, ki ga določajo štiri enačbe za štiri odseke nihajnega časa.

Slika 4 kaže za lokacijo nadžarišča potresa v zgornjem Posočju spekter pospeška za modela pojemanja PS in ASB za povratno dobo 475 let in za vrsto tal A. Na isti sliki je prikazan tudi povprečen spekter, dobljen iz vodoravne komponente iz vseh zapisov opazovalnic. Kot je razvidno iz preglednice 2, so opazovalnice na tleh vrst A in B. Za primerjavo sta dodana elastična (prožnostna) spektra odziva po EC8 za vrsti tal A in B. Vsi spektri so normirani tako, da so vrednosti spektralnega pospeška deljene z vrednostjo *PGA*; pri nihajnem času 0 s imajo vrednost 1,0. Slika kaže, da je oblika normiranega povprečnega spektra pospeška, dobljenega iz zapisov potresa v zgornjem Posočju, primerljiva s spektroma, dobljenima z modeloma PS in ASB, vrednosti pa so v večjem delu nižje od spektrov po EC8.

Ocena največjega pospeška glavnega potresa

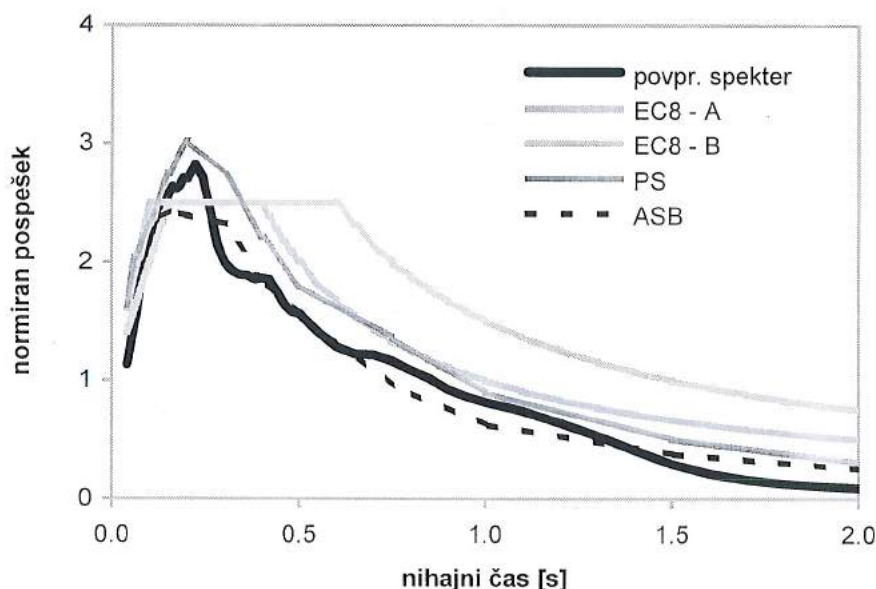
Z opazovalnicami za močne potrese smo lahko izmerili samo pospeške na opazovalnicah, ki so od nadžarišča oddaljene od 22 do 150 km. Seveda pa nas predvsem zanima vrednost pospeška v nadžariščnem območju.

Magnituda potresa v zgornjem Posočju je ocenjena na 5,6, učinki potresa (intenziteta) pa so dosegli VII.-VIII. stopnjo EMS, ki je primerljiva z MSK-lestvico. Po Nacionalnem dokumentu za uporabo EC8 v Sloveniji (Slovenski predstandard, 1995) intenziteti VII. stopnje ustreza projektni pospešek 100 cm/s^2 , intenziteti VIII. stopnje pa projektni pospešek 200 cm/s^2 . Glede na te vrednosti lahko efektivni pospešek (ki po EC8 za vrsto tal A ustreza projektne pospešku) v nadžariščnem območju grobo

ocenimo na 150 cm/s^2 . Do podobnega zaključka so prišli Tomažević in sodelavci (1999). S primerjavo poškodb in izračunanih vrednosti potresne odpornosti stavb so ocenili, da vrednosti efektivnih pospeškov tal niso presegle 150 cm/s^2 .

Na sliki 5 so prikazane povprečne vrednosti vodoravne komponente PGA v 20-km nadžariščnem območju (Bovec je oddaljen približno 8 km), dobljene z neposredno uporabo modelov pojemanja PS in ASB za magnitudo 5,8. Modeli dajejo pri majhnih oddaljenostih precej visoke vrednosti pospeška.

Kot je razvidno iz slike 3, so bili pospeški, izmerjeni ob potresu v zgornjem Posočju, na vseh opazovalnicah (razen v enem primeru) manjši, kot jih dajejo modeli pojemanja.

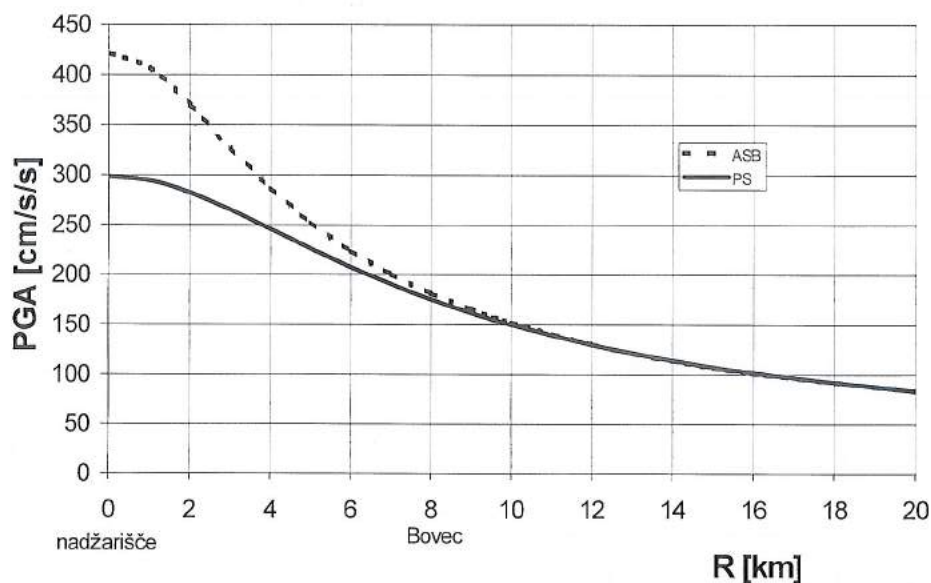


Slika 4: Primerjava vodoravnih normiranih spektrov pospeška
Figure 4: Comparison of horizontal normalized acceleration spectra.

Vrednosti izmerjenega pospeška so bile v povprečju ne glede na vrsto tal kar za polovico manjše od vrednosti PGA modela pojemanja PS za vrsto tal A. (Za model ASB so razlike seveda še večje.) Če predpostavimo, da je odstopanje podobno tudi pri manjših razdaljah, lahko ocenimo pospešek v nadžarišču na 150 cm/s^2 .

Sklep

Potres v zgornjem Posočju je bil po postavitvi opazovalnic za močnejše potrese daleč najmočnejši potres z žariščem v Sloveniji. Zato smo prvič lahko z neposredno meritvijo močnih pospeškov analizirali gibanje tal in ga primerjali z rezultati, ki jih dajejo modeli pojemanja, objavljeni v literaturi. Izkazalo se je, da so izmerjeni pospeški manjši od pospeškov v modelih pojemanja, ki jih uporabljamo pri



Slika 5: Povprečne vrednosti vodoravnega PGA v nadžariščnem območju za modela pojemanja pri magnitudi 5,8 za vrsto tal A
 Figure 5: Mean horizontal PGA values of attenuation models at magnitude 5,8 in the epicentral area for A soil type.

ocenjevanju potresne nevarnosti Slovenije. Pokazalo se je tudi, da so normirani spektri pospeška v večjem delu manjši od spektra po EC8. Tri neodvisne ocene efektivnega pospeška v nadžariščnem območju so dale vrednost 150 cm/s^2 .

Literatura

- Ambraseys N. N., Simpson K. A., Bommer J. J., 1996, Prediction of horizontal response spectra in Europe, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, Vol. 25, 371-400.
- CEN – European Committee for Standardization, 1994, Eurocode 8 – Design provisions for earthquake resistance of structures - Part 1-1: General rules - Seismic actions and general requirements for structures, European Prestandard, ENV 1998-1-1, 25 str.
- Fajfar P., Lapajne J., Fischinger M., Peruš I., Šket Motnikar B., Zabukovec B., Zupančič P., 1998a, Strokovne podlage za določanje potresne obtežbe za slovenski predstandard EC8 – II. faza, Raziskovalno-razvojna naloga, Univerza v Ljubljani - Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo - Inštitut za potresno inženirstvo in računalništvo, Ministrstvo za okolje in prostor - Uprava RS za geofiziko.

- Fajfar P., Lapajne, J., Peruš, I., Šket Motnikar B., 1998b, Ocenjevanje potresne nevarnosti, III. faza. Raziskovalno-razvojna naloga. Ljubljana, Univerza v Ljubljani - Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo - Inštitut za potresno inženirstvo in računalništvo & Ministrstvo za okolje in prostor - Uprava RS za geofiziko.
- Fajfar P., Peruš I., 1998c, Analiza gibanja tal med potresi v Posočju leta 1998, Raziskovalno-razvojna naloga, Univerza v Ljubljani - Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo - Inštitut za potresno inženirstvo in računalništvo, Ljubljana.
- Lapajne J., Šket Motnikar, B., Zabukovec, B., Zupančič, P., 1997a, Državna karta projektnega pospeška tal. Potresi v letu 1996, Ministrstvo za okolje in prostor - Uprava RS za geofiziko, Ljubljana, 63-73.
- Lapajne J. K., Šket Motnikar B., Zupančič P., 1997b, Preliminary seismic hazard maps of Slovenia, *Natural Hazards* 14, 155-164.
- Lapajne J. K., Šket Motnikar B., Zabukovec B., Zupančič P., 1997c, Spatially-smoothed seismicity modelling of seismic hazard in Slovenia, *Journal of Seismology*, Vol. 1, No. 1, 73-85.
- Sabetta F., Pugliese A., 1996, Estimation of response spectra and simulation of nonstationary earthquake ground motions, *Bull. Seism. Soc. Am.* 86, No. 2, 337-352.
- Slovenski predstandard, 1995, SIST ENV 1988-1-1, Eurocode 8 – Projektiranje konstrukcij na potresnih področjih – Potresna obtežba in splošne zahteve za konstrukcije (privzet ENV 1988-1-1:1994 z metodo platnice), MZT, Urad RS za standardizacijo in meroslovje.
- Tomaževič M., Klemenc I., Lutman M., 1999, In situ preiskave zidov in potresna odpornost kamnitih hiš na Bovškem, *Gradbeni vestnik* 47, 199-209.

Potres 12. aprila 1998 v zgornjem Posočju
SEIZMOTEKTONSKA INTERPRETACIJA
The earthquake on April 12, 1998 in the upper Soča Territory
SEISMOTECTONIC INTERPRETATION

Ladislav Placer, Marijan Poljak*, Mladen Živčić, Jure Bajc⁺

Izvleček. Analiza razmer ob potresu 12. 4. 1998 kaže, da se je glavni premik zgodil v prelomni coni enega od prelomov, ki ju Buser (1986) imenuje Kneški in Ravenski. Nadžarišča večine popotresov so razpotegnjena v smeri NW-SE v dolžini približno 10 km in raztresena na širini približno 3 km. Iz profila, narejenega pravokotno na to smer, vidimo, da so žarišča na skoraj navpični ploskvi, ki sega skoraj od površja do globine približno 7 km. Glavni potres se je zgodil na globini 7 km, koseizmični premiki pa so se dogodili v širši prelomni coni v smeri NW-SE, ki zaobsega Kneški in Ravenski prelom, in niso dosegli površja. Žariščni mehanizem glavnega potresa kaže na čisti desni zmik ob navpičnem prelomu. Iz seizmoloških podatkov glavnega potresa in popotresnih sunkov ter iz geološkega odnosa med Južnoalpsko narivno mejo in prelomi Idrijske tektonske cone sklepamo, da je recentna tektonska dejavnost v zahodni Sloveniji dvoplastna, povezana po vsej verjetnosti s podiranjem ob Južnoalpski narivni meji in njej vzporednih narivnih ploskvah ter z zmikanjem ob prelomih v smeri NW-SE. Oba mehanizma bi se lahko dogajala sočasno ali pa izmenoma.

Abstract. The analysis of the April 12, 1998 seismic event shows that the main tectonic displacement happened within a fault zone determined by the Kneža and Ravne faults (named by Buser, 1986). Hypocenters of the majority of aftershocks stretch in a NW-SE elongated belt that is approximately 10 km long and 3 km wide. A cross-section constructed perpendicularly to the seismic zone indicates that the hypocenters lie in a vertical plane that extends from near the surface down to 7 km in depth. The main event happened at the 7 km in depth, co-seismic deformation is distributed in the mentioned fault zone, and it did not reach the surface. Fault plane solution of the main shock is a pure horizontal right lateral strike-slip. On the basis of seismological data and geological relationship between the Southern Alps thrust front and the Idrija fault zone, we can say that the recent tectonic activity in the western part of Slovenia is bimodal. It is related to thrusting along the Southern Alps thrust front as well as to shearing along the NW-SE oriented faults. Both mechanisms may occur simultaneously or in alternation.

Uvod

Potres 12. aprila 1998 je zaradi svoje rušilne moči in povzročene škode na objektih in v naravi vzpodbudil nastanek številnih študij. Tako, npr. Ribičičeva (1998) obsega geološke, geofizikalne, inženirskogeološke in druge raziskave. Nekateri dosežki so bili tudi objavljeni (Gosar in dr., 1999; Ribičič in Vidrih, 1999; Sinčič in Vidrih, 1999; Zupančič in dr., 1999) ali javno predstavljeni (Bajc et al., 1999a; Costa et al., 1996; Poljak et al., 1998; Sarao and Suhadolc, 1999; Bragato et al., 1998). Skupni imenovalec večine študij je bila določitev seizmogene strukture potresnega območja. To naj bi bil prelom v zgornjem Posočju, ki ga je Buser (1987) na listu Tolmin in Videm Osnovne geološke karte, kot najbolj pregledni geološki karti danega ozemlja,

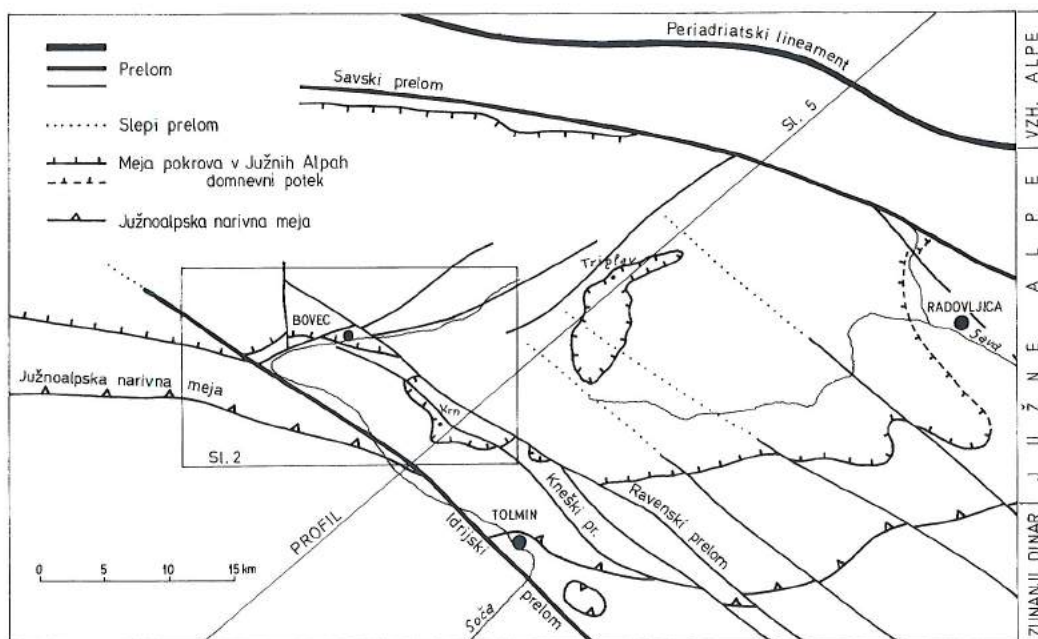
* Geološki zavod Slovenije, Dimičeva 16, Ljubljana

⁺ Ministrstvo za okolje in prostor, Uprava RS za geofiziko, Pot na Golovec 25, Ljubljana

imenoval, po Tolminskih Ravnah, Ravnikarski prelom. Mi smo ga, po književnem standardu, preimenovali v Ravenskega. V tem prispevku smo potresni dogodek 12. aprila 1998 natančneje analizirali s seizmotektonskega stališča.

Širša regionalna geološka zgradba

Obravnavano ozemlje je v geotektonskem smislu del Južnih Alp. Od Vzhodnih Alp na severu so ločene s Periadriatskim lineamentom, njihova južna meja pa je narivna, saj so ob tej meji, imenovani tudi Južnoalpska meja ali Južnoalpska narivna meja, Južne Alpe narinjene proti jugu na Zunanje Dinaride (slika 1). Za razumevanje zgradbe tega prostora so nadalje pomembni prelomi v smeri NW-SE, ki so bistveni tektonski element Zunanjih Dinaridov, in njihovo razmerje do Južnoalpske meje, saj le-to nekateri sekajo, drugi pa so ob njej odrezani. Tisti prelomi, ki sekajo Južnoalpsko mejo v Južnih Alpah, kmalu zamrejo, premiki ob njih pa so manjši kot v Zunanjih Dinaridih. Iz teh razmerij sklepamo, da je narivanje Južnih Alp mlajše od prelomov v smeri NW-SE v Zunanjih Dinaridih, premiki ob teh prelomih v Južnih



Slika 1. Pregledna regionalna geološka karta; položaj Južnih Alp med Vzhodnimi Alpami (Austroalpin) na severu in Zunanji Dinaridi na jugu.

Figure 1. General tectonic map. Position of the Southern Alps between the Eastern Alps (Austro-Alpine) on the north and the External Dinarides on the south.

Alpah pa so po vsem sodeč nasledstvenega značaja. Zaradi tega domnevamo, da segajo nekateri med njimi dlje pod Južne Alpe, kot je videti na površju.

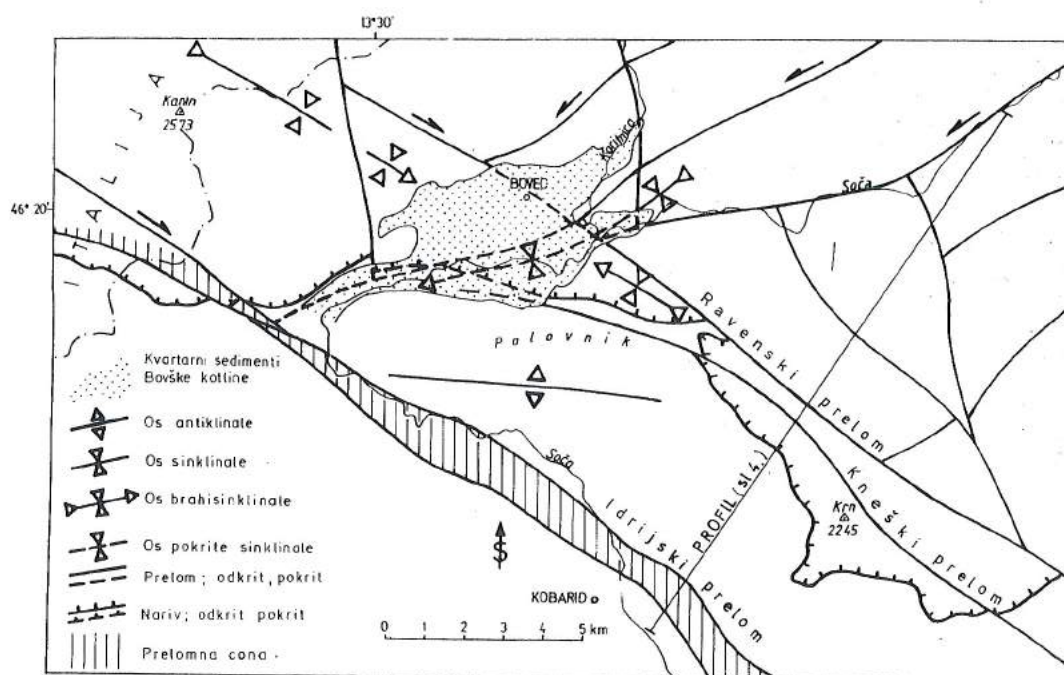
Prelomi v smeri NW-SE so v Zunanjih Dinaridih omejeni na cono, imenovano Idrijska tektonska cona (Placer, 1998a), katere osrednji element je Idrijski prelom. Ta loči omenjeno cono na njen neotektonsko manj aktivni severovzhodni del in

aktivnejši jugozahodni del. Najbolj izrazito seka Južnoalpsko mejo Idrijski prelom. Poleg prelomov v smeri NW-SE so v Južnih Alpah pomembni tudi prelomi v smeri SW-NE, ki so imeli v geometriji premikov ob Savskem prelomu brez dvoma pomembno vlogo.

Geološka zgradba zgornjega Posočja

Območje, ki je bilo najbolj prizadeto ob potresu, pripada Kaninskemu in Krnskemu pogorju ter Bovški kotlini. Geološka zgradba, ki jo podajamo, je plod kartiranja v letu 1998 (Poljak in dr., 1998).

V litostratigrafskem smislu sta Kaninsko in Krnsko pogorje skoraj v celoti zgrajena iz zgornjetriasnega apnenca v dachsteinskem razvoju. Ta postopoma prehaja na robovih Bovške kotline v facialno podoben spodnjejurjski apnenec. Bovško kotlino gradijo na površju v celoti klastične kamnine. Te ležijo superpozicijsko normalno na karbonatno-klastičnih kamninah doggersko-malmske starosti. Razvite so v obliki turbiditnega faciesa ali kot apnenci v razvoju scaglia. Pobočja Bovške kotline pokrivajo ostanki glacialnih morenskih sedimentov, medtem ko je njen osrednji del zapolnjen z glacio-fluvialnimi sedimenti, ki oblikujejo rečne terase. Mestoma je v



Slika 2. Pregledna tektonska karta potresnega območja. Glavne strukture so gube v smeri NW-SE in NE-SW ter vzporedni prelomi. Prelomi v smeri NW-SE kažejo leve in prelomi v smeri NE-SW desne zmike.

Figure 2. General tectonic map of the seismogenic area. The main structures are folds in NW-SE and NE-SW direction, and faults of the same direction. Faults of NW-SE direction express right-lateral and faults of NE-SW direction left-lateral displacements.

podlagi le-teh jezerska kreda.

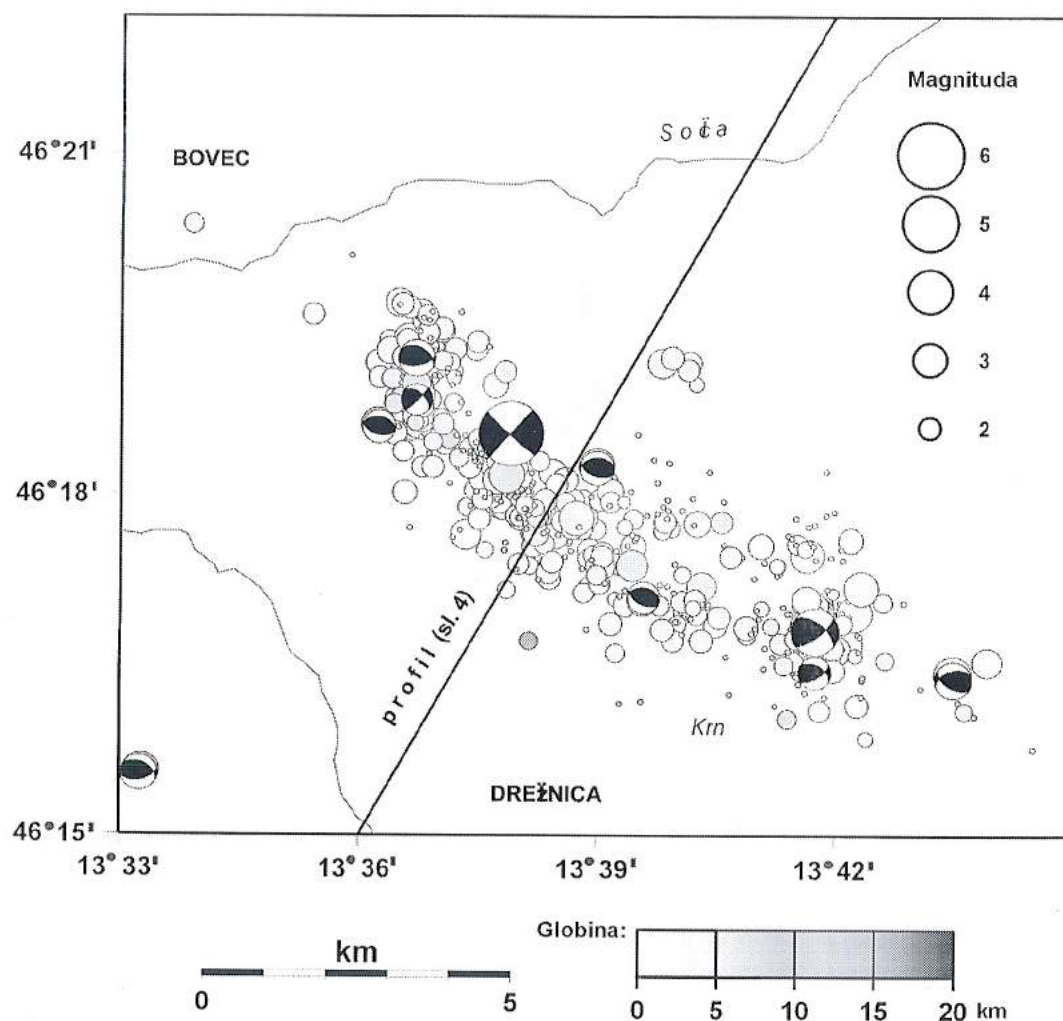
V strukturno-tektonskem smislu zavzemata Krnsko in Kaninsko pogorje južni rob nariva Julijskih Alp (Julijski pokrov, Placer, 1998b). Geološke raziskave v letu 1998 (Poljak in dr., 1998) kakor tudi starejše geofizikalne raziskave (Šumi in Rihter, 1963; 1964) in vrtnanje (Kuščer in dr., 1974) so pokazale, da je Bovška kotlina sinklinala v smeri SW-NE (slika 2). Vanjo so vključeni mezozojski kakor tudi starejši kvartarni (pleistocen) sedimenti (Bavec, 1998). V jugozahodnem delu je sinklinala močno stisnjena, njena os tone proti jugozahodu, tako da pri sotočju Učje in Soče debelina kvartarnih sedimentov presega 200 metrov. Krila sinklinale iz karbonatnih triasno-jurskih in klastičnih jursko-krednih kamnin so delno narinjena proti jedru gube tako, da so karbonatne kamnine mestoma v narivnem kontaktu s klastičnimi. Posledica tega so sekundarne gube enake smeri kot os glavne gube. Čelo glavnega nariva Julijskih Alp se vleče od Krna proti Kaninu in leži domnevno pod kvartarnimi sedimenti jugozahodnega dela Bovške kotline.

V širšem smislu je ozemlje Kaninskega in Krnskega pogorja večja sinklinala, natančneje brahisinklinala v smeri NW-SE, katere osrednji del je prej opisana sinklinala Bovške kotline. Proti jugu omejuje Bovško kotlino sinklinala Polovnika. Za celotno ozemlje so še značilni snopi prelomov v smeri NW-SE in SW-NE. V prvi skupini je najbolj izrazit Idrijski prelom, ki tvori široko prelomno cono. Izrazita sta še dva regionalna preloma na območju Krna in Krnskega jezera, po Buserju (1986) Kneški in Ravenski prelom. Prelomi druge skupine so bolj izraženi v severnem delu Julijskih Alp, kjer pogojujejo značilne ledeniške doline, kot so Krma, Kot in Vrata. Ti segajo proti jugozahodu povečini do Ravenskega preloma, redkeje do Idrijske prelomne cone. Izrazito sečišče z "dinarsko" usmerjenimi prelomi je prav Bovška kotlina. Posledica diferencialne aktivnosti enih in drugih prelomov oz. njihovih odsekov pa je tudi blokovno razkosana sinklinala Bovške kotline.

Seizmološki podatki

Analizirali smo žarišča 584 močnejših popotresov, ki so se zgodili do konca junija 1998. V tem obdobju je bilo približno 80 % vseh popotresov (Živčić in dr., 1999). Koordinate nadžarišč potresov smo določili z metodo vzajemnega določanja žarišč (Bajc in dr., 1999b), in sicer na podlagi enodimenzionalnega izotropnega hitrostnega modela. Ocenjujemo, da je verjetnost, da je napaka opredelitve lokacij večja kot 500 m, približno 10 odstotkov. V času potresa v nadžariščnem področju ni bilo nobene potresne opazovalnice; najbližja je bila v Italiji in je bila oddaljena približno 16 km. S tem je pogojena manjša natančnost pri določitvi lokacije žarišča. URSG je prvo prenosno opazovalnico postavila že 12. aprila zvečer, do 18. aprila jih je bilo že pet (Sinčić in dr., 1999b). S tem se je občutljivost začasne mreže in natančnost opredelitve žariščnih koordinat bistveno izboljšala.

Nadžarišča večine popotresov so razpotegnjena v smeri NW-SE (azimut N127°E) v dolžini približno 10 km in raztresena na širini približno 3 km (sl. 3). Iz profila, narejenega pravokotno na to smer, vidimo, da so žarišča na skoraj navpični ploskvi, ki sega skoraj od površja do globine približno 7 km (sl. 4). Potrebno je poudariti, da so določitve globin pomembno odvisne od obstoja podatkov z bližnjih opazovalnic in zaradi tega, posebej za obdobje takoj po glavnem potresu, manj zanesljive.

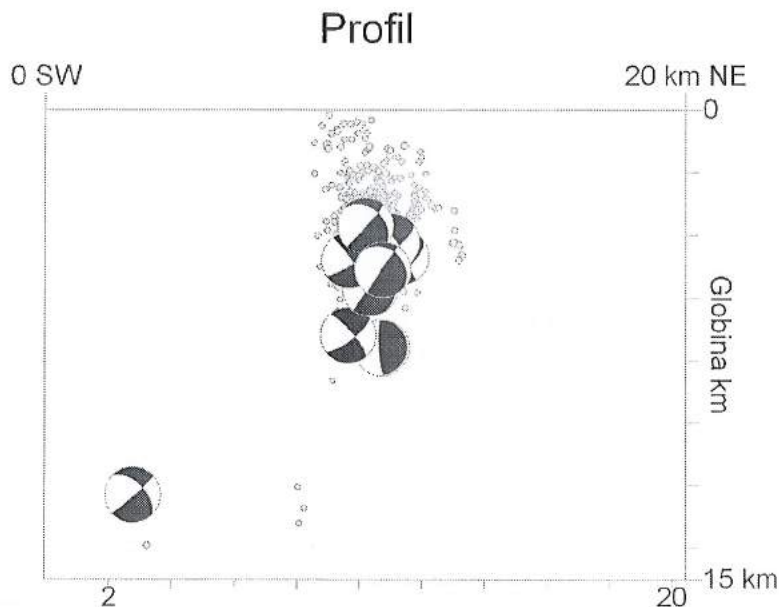


Slika 3. Karta nadžarišč in žariščnih mehanizmov, določenih iz podatkov začasne mreže potresnih opazovalnic (Bajc in dr., 1999b). Označen je profil podan na sliki 4.

Figure 3. Map of epicentres and focal mechanisms determined from the data of the network of portable seismological stations (Bajc et al., 1999b). The line indicates profile shown on the figure 4.

Na sliki 3 so podani tudi žariščni mehanizmi močnejših popotresov ($M_{LV} = 2,8$ ali več) do konca maja 1998. Velikost simbola je sorazmerna magnitudi potresa. Mehanizem glavnega potresa je po naših izračunih, ki so skladni z izračuni več mednarodnih agencij, ki te izračune redno opravljajo za vse močnejše potrese po svetu, čisti zmik ob navpičnem prelomu. Zaradi simetričnosti sevalne funkcije točkovnega potresnega izvora sta možni dve smeri prelomne ploskve; v smeri NW-SE

in v smeri SW-NE. V prvem primeru bi bil zmik desni, v drugem levi. Po močnem potresu nastajajo popotresi predvsem na ploskvi, ki se je aktivirala pri glavnem potresu. To še posebej velja za čas takoj po glavnem potresu. Na podlagi tega lahko sklepamo, da ima v našem primeru prelomna ploskev smer NW-SE. Na to kažejo tudi predhodni rezultati primerjave GPS-meritev iz leta 1994 in septembra 1998 (Miškovič in dr., 1998) - ugotovljeni horizontalni pomiki se v kvalitativnem smislu skladajo z desnim zmikom ob prelomu dinarske smeri.



Slika 4. Profilna projekcija žarišč in žariščnih mehanizmov pravaokotno na dinarsko smer.

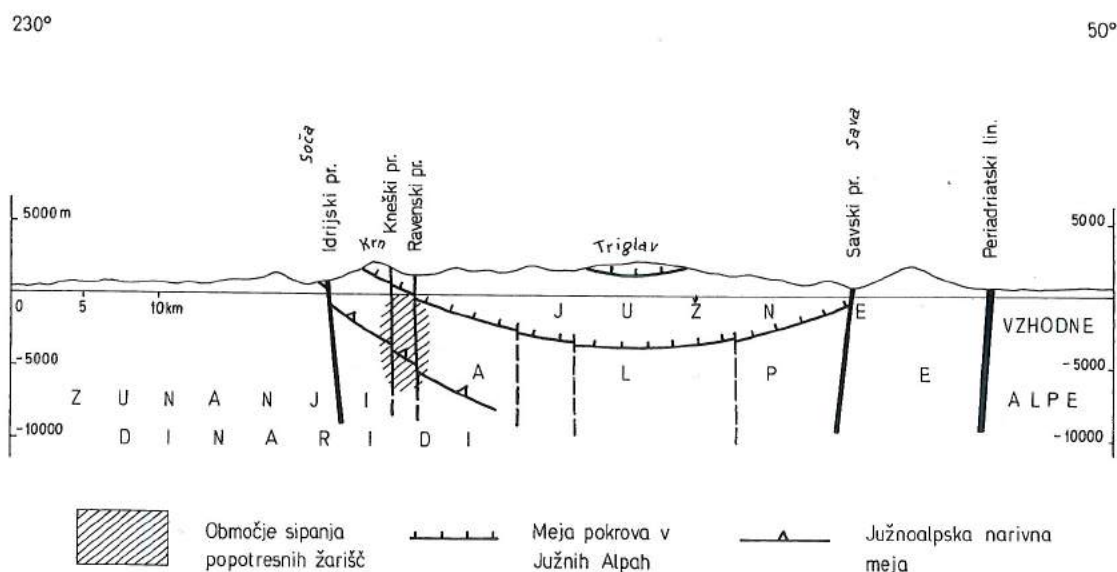
Figure 4. The hypocenters and fault plane solutions projected on the plane striking NE-SW.

Žariščne mehanizme popotresov smo opredelili iz zapisov digitalnih potresnih opazovalnic v Sloveniji in severovzhodni Italiji. Zelo pomembni so bili zapisi prenosnih digitalnih širokopasovnih opazovalnic, začasno nameščenih v nadžariščnem področju. Za izračune smo uporabili smeri prvih premikov pri vstopu vzdolžnega in prečnega valovanja in razmerja med amplitudami SH in P valov (Snoke et al., 1984). Žariščni mehanizmi popotresov so večinoma narivnega tipa in so v območju Kneškega in Ravenskega preloma vsi na globinah manjših od globine žarišča glavnega potresa (sliki 3 in 4). Smer narivov je približno WNW-ESE, pri čemer imata obe možni ploskvi približno enak naklon. Na podlagi do sedaj opravljenih seizmoloških raziskav ni bilo možno ugotoviti, katera od teh dveh je prelomna ploskev. Na podlagi geološke zgradbe danega ozemlja pa sklepamo, da so seizmogene strukture narivne ploskve z naklonom proti severu oziroma severovzhodu. Vsem mehanizmom je skupno, da je največja napetost skoraj horizontalna in je njena približna smer N-S.

Model deformiranja

Regionalno izhodišče za interpretacijo potresa 12. 4. 1998 je razprava o seizmotektoniki severozahodnega dela Zunanjih Dinaridov avtorjev Carullija et al. (1990), kjer so avtorji dopolnili že prej zasnovano idejo o recentnem podrivanju Jadransko Apulijskega predgorja in dela Zunanjih Dinaridov pod Južne Alpe. Iz seizmoloških podatkov glavnega potresa in popotresnih sunkov na sl. 3 in 4 ter iz odnosa med Južnoalpsko narivno mejo in prelomi Idrijske tektonske cone sklepamo, da je recentna tektonska dejavnost v zahodni Sloveniji dvoplastna. Povezana je po vsej verjetnosti s podrivanjem ob Južnoalpski narivni meji in njej vzporednih narivnih ploskvah ter z zмикanjem ob prelomih v smeri NW-SE. Oba mehanizma bi se lahko dogajala sočasno ali pa izmenoma.

Analiza razmer ob potresu 12. 4. 1998 kaže, da se je glavni premik zgodil v prelomni coni enega od prelomov, ki sta vzporedna Idrijskemu in ki ju Buser (1986) imenuje Kneški in Ravenski prelom.



Slika 5. Regionalni profil prek potresnega in žariščnega območja. Slika kaže razmerje med prelomi v smeri NW-SE (Idrijski, Kneški in Ravenski) in Južnoalpsko narivno mejo.

Figure 5. Regional profile across the seismogenic and epicenters area. Figure shows relationship between the faults of NW-SE direction (Idrija, Kneža and Ravne faults) and the Southern Alps thrust front.

Profil na sl. 5 je geološka interpretacija razmer v profilu na sl. 4 in obsega celotno širino Južnih Alp. Območje med Ravenskim prelomom in Periadriatskim lineamentom ni natančneje obdelano, ker ni pomembno za rekonstrukcijo potresa 12. 4. 1998. Iz profila je mogoče razbrati, da so glavni premik (desni zmnik) in drugi

premiki razporejeni v coni obeh znanih zmičnih prelomov. Po vektorjih mogočih premikov so blizu desnim znikom, poševnim desnim znikom in reverznim premikom. Pri tem je treba vedeti, da je prelomna cona vsakega preloma (notranja in zunanja) sestavljena iz notranjih, veznih in spremljajočih prelomnih ploskev različnih smeri in različne geometrije, zaradi česar je smotrno, če vsa žarišča obravnavamo kot dogodke znotraj prelomne cone Kneškega in Ravenskega preloma. Glede na model Carullija in dr. (1990) ter glede na dosedanje izkušnje pa ugotavljamo, da je to prvi jasno opredeljen desni zmik v smeri NW-SE severovzhodno od Idrijskega preloma. Vendar bi zaradi bližine slednjega, ta dogodek obravnavali kot premik znotraj njegovega širšega vplivnega območja. Lahko torej sklepamo, da eden izmed obeh imenovanih prelomov v smeri NW-SE ali oba skupaj pomenita seizmogeno strukturo, vezano na Idrijski prelom. Glavni potres se je zgodil na globini 7 km, koseizmični premiki pa so se dogodili v širši prelomni coni smeri NW-SE, ki zaobsega Kneški in Ravenski prelom in niso dosegli površja. Potresni sunki sledijo v glavnem prelomnim ploskvam v smeri NW-SE ali naravnim ploskvam v smeri WNW-ESE.

Literatura

- Bajc, J., Aoudia, A., Suhadolc, P., Živčič, M., 1999a. Relocation of the Bovec 1998 earthquake sequence: implication for active tectonics in NW Slovenia, IUGG General Assembly, Birmingham, July 19-30, 1999.
- Bajc, J., Živčič, M., Jesenko, T., Močnik, G., 1999b. Potres 12. aprila v zgornjem Posočju-Relokacija glavnega potresa in popotresov, Potresi v letu 1998, URSG, 71-80, Ljubljana.
- Bavec, M., 1998. Kvartarni sedimenti Bovške kotline. V poročilu M. Poljak in dr. Geološka zgradba Bovške kotline. Geološki zavod Slovenije, Ljubljana.
- Bragato, P.L., Bernardis, G., Bressan, G., Candido, M., Dur, G., Govoni, A., Ponton, F., Slejko, D., Suidarcig, A., Urban, S., 1998. The Bovec earthquake of April 12, 1998. Preliminary analysis of the seismological data, XXVI General Assembly of the ESC, Tel Aviv, August 23-28, 1998.
- Buser, S., 1986. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, Tolmač lista Tolmin in Videm. Zvezni geološki zavod, Beograd.
- Buser, S., 1987. Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000, list Tolmin in Videm, Zvezni geološki zavod, Beograd.
- Carulli, G.B., Nicolich, R., Rebez, A., Slejko, D., 1990. Seismotectonics of the Northwest External Dinarides. *Tectonophysics*, 179, 11-25.
- Costa, G., Suhadolc, P., Panza, G.F., 1998. Preliminary analysis of high-quality digital data recorded by the Friuli (NE Italy) accelerometric network during

- the recent Bovec (Slovenia) event, XXVI General Assembly of the ESC, Tel Aviv, August 23-28, 1998.
- Gosar, A., Stopar, R., Car, M., 1999. Geofizikalne raziskave lokalne geološke zgradbe in modeliranje ojačenja nihanja tal ob potresu 12.4.1998 v zgornjem Posočju. 14. posvetovanje slovenskih geologov, Povzetki referatov, 16-18. Oddelek za geologijo, Ljubljana.
- Kuščer, D., Grad, K., Nosan, A., Ogorelec, B., 1974. Geološke raziskave Soške doline med Bovcem in Kobaridom, *Geologija* 17, 425-476, Ljubljana.
- Miškovič, D., Pešec, P., Stangl, G., 1998. GPS Re_measurements in the Bovec-Tolmin Earthquake Region, Second international Symposium "Geodynamics of the Alps-Adria Area by Means of Terrestrial and Satellite Methods", Dibrovnik, Sept. 28 – Oct. 2, 1998 (manuscript).
- Placer, L., 1998a. Strukturni pomen Posavskih gub. *Geologija* 41, 191-211, Ljubljana.
- Placer, L., 1986b. Prispevek k makrotektonski rajonizaciji mejnega ozemlja med Južnimi Alpami in Zunanji Dinaridi. *Geologija* 41, 223-255, Ljubljana.
- Poljak, M., Toman, M., Bavec, M., 1998. Geološka zgradba Bovške kotline. Poročilo, Geološki zavod Slovenije, Ljubljana.
- Ribičič, M., (ured.) 1998. Analiza učinkov potresa v Posočju dne 12.4.1998. Poročilo, Gradbeni inštitut ZRMK, Ljubljana.
- Ribičič, M., Vidrih, R., 1999. Potres v Posočju 12. aprila 1998, Seizmična mikrorajonizacija Posočja. 14. posvetovanje slovenskih geologov, Zbornik predavanj, 40-41, Oddelek za geologijo, Ljubljana.
- Sarao, A., Suhadolc, P., 1999. Near-source inversion for the April 12, 1998 Bovec earthquake, INGG General Assembly, Birmingham, July 19-30, 1999.
- Sinčič, P., Vidrih, R., 1999. Posledica potresa v Posočju in instrumentalna opazovanja popotresne dejavnosti. Raziskovalni projekti s področja geodezije in geofizike, Zbornik predavanj, 13-31, Slovensko združenje za geodezijo in geofiziko Ljubljana.
- Snoke, J.A., Munsey, J.W., Teague, A.G. and Bollinger, G.A., 1984. A Program for focal Mechanism Determination by the Combined Use of Polarity and SV-P Amplitude Ratio Data, *Earthquake Notes* 55, No.3, p.15.
- Šumi, F., Rihter, B., 1963; 1964. Geofizikalne raziskave za HE Trnovo. Poročilo, Geološki zavod Ljubljana.
- Zupančič, P., Cecič, I., Gosar, A., Poljak, M., Živčič, M., 1999. Nekatere seizmološke in geološke značilnosti potresa 12. aprila 1998 v zgornjem Posočju. 14.

posvetovanje slovenskih geologov, Zbornik predavanj, 58-59, Oddelek za geologijo, Ljubljana.

Živčič, M., Cecić, I., Gosar, A., Zupančič, P., 1999. Potres 12. aprila 1998 v zgornjem Posočju-Osnovne značilnosti, Potresi v letu 1998, URSG, 49-64, Ljubljana.

Potres 12. aprila 1998 v zgornjem Posočju
RAZISKAVE OJAČENJA NIHANJA TAL ZARADI LOKALNE
GEOLOŠKE ZGRADBE
The earthquake on April 12, 1998 in the upper Soča Territory
STUDY OF THE GROUND MOTION AMPLIFICATION DUE TO
LOCAL GEOLOGICAL STRUCTURE

Andrej Gosar*

Izvleček. V zgornjem Posočju, ki ga je 12. aprila 1998 prizadel potres ($M_{WA}=6,0$), smo raziskali vpliv lokalne geološke zgradbe na ojačenje nihanja tal in posledično na poškodbe zgradb. Uporabili smo Nakamurajevo metodo analize seizmičnega nemira in enodimenzionalno modeliranje, ki je temeljilo na rezultatih geofizikalnih raziskav (refrakcijska seizmika, meritve seizmičnih hitrosti v vrtnah in geoelektrično sondiranje). Na območju Bovca sta obe metodi pokazali bistveno večje ojačenje v frekvenčnem območju nihanja tal (1-10 Hz), v katerem prihaja do poškodb zgradb, v Mali vasi kot v srednjem delu mesta. To se ujema z razporeditvijo poškodb, nastalih ob potresu. V Mali vasi v Bovecu je bil verjetno pomemben vpliv dvojne resonance lokalnih tal in pretežno dvonadstropnih hiš pri frekvenci okoli 6 Hz. V Koritnici so znatne razlike v ojačenju med vzhodnim robom vasi, ki leži na karbonatni podlagi, in srednjim delom, ki leži na glaciofluvialnih nanosih. V Čezsoči, ki leži na okoli 20 m debelih fluvialnih nanosih, je ojačenje v frekvenčnem območju 1-10 Hz med 2 in 4. V Plužni, ki leži na flišu, prekritem s tanjšo preperino, pa je ojačenje v frekvenčnem območju ranljivosti zgradb nizko. V Sp. Drežniških Ravnah, ki so bile ob potresu med najbolj poškodovanimi, ima funkcija ojačenja dva izrazita vrha pri 2 in 10,5 Hz. V Drežnici, kjer so bile poškodbe le manjše, pa je nivo ojačenja v frekvenčnem območju 1-10 Hz nizek. Opravljena študija je pokazala, da velike razlike v stopnji poškodb ob potresu v Zgornjem Posočju lahko pripišemo predvsem razlikam v debelini in fizikalnih lastnostih kvartarnih sedimentov, ki so se izkazali za precej heterogene.

Abstract. In upper Soča Territory, which was struck by an $M_{WA}=6.0$ earthquake on April 12, 1998, the effect of the local geology on ground motion amplification and damage to buildings was studied. The Nakamura's method of microtremor analysis and one-dimensional modelling based on results of geophysical investigations (seismic refraction method, seismic velocity measurements in boreholes and DC electrical sounding) were applied. In Bovec area both methods showed significantly higher amplification in the frequency range of ground motion (1-10 Hz) in which damage to buildings occurs in Mala vas than in the central part of the town. This is in agreement with the observed distribution of the damage. In Bovec-Mala vas the influence of double resonance effect of local soil and mainly two storey houses at a frequency around 6 Hz might have an important influence. In Koritnica great difference in amplification was observed between the eastern rim of the village, built on carbonate bedrock and in its central part lying on glaciofluvial deposits. In Čezsoča, where the thickness of fluvial deposits is above 20 m, amplifications between 2 and 4 in the frequency range 1-10 Hz were obtained. In Plužna, which is located on flysch rocks covered with thin layer of soil, the amplification in the frequency range of buildings vulnerability was low. In Sp. Drežniške Ravne, that was among most damaged villages, the amplification function has two distinctive peaks at 2 and 10.5 Hz. In Drežnica, where only small damages were reported, the amplification level in the frequency range 1-10 Hz is low. This study has shown that great differences in damage in Zgornje Posočje could be related mainly to the variations in the thickness and physical properties of Quaternary deposits, which appear to be rather heterogeneous.

* Ministrstvo za okolje in prostor, Uprava RS za geofiziko, Pot na Golovec 25, Ljubljana

Uvod

Potres z žariščem v zgornjem Posočju ($M_{WA}=6,0$), ki je 12. aprila 1998 prizadel zgornje Posočje, je povročil največ škode v Drežniških Ravnah, Magozdu, Bovcu, Kalu-Koritnici, Čezsoči in v Lepeni. Največja intenziteta je bila ocenjena na VII.-VIII. stopnjo po evropski potresni lestvici (EMS-98) (Zupančič in sod., 1999). Ena glavnih značilnosti tega potresa je bila velika razlika v stopnji poškodovanosti zgradb na majhnih razdaljah, torej na podobni oddaljenosti od žarišča potresa. To je le deloma posledica različne potresne odpornosti objektov, ker je način gradnje v širšem območju podoben. Zato moramo iskati vzroke predvsem v različnem ojačenju nihanja tal zaradi lokalnih geoloških pogojev. Najbolj izrazita razlika v stopnji poškodovanosti je bila v Bovcu, kjer so tudi novejša zgradbe v Mali vasi utrpeli bistveno hujše poškodbe kot starejše hiše v drugih delih mesta.

Vrednotenje vpliva lokalne geološke zgradbe

Vpliv lokalne geološke zgradbe na učinke potresa (ang. "site effects") je dobro znan pojav, ki pa se je v preteklosti vrednotil predvsem kvalitativno kot ocena prirastka intenzitete glede na izbrano referenčno kamnino (Borcherd, 1970). Ta način se uporablja predvsem pri seizmični mikrorajonizaciji. Glavni dejavniki, ki se pri vrednotenju upoštevajo, so: razlika v akustični impedanci med sedimenti in kamnino v podlagi, nivo podzemne vode in pojav resonance v tleh. Prirastki intenzitete se ocenjujejo s pomočjo empiričnih enačb (Atakan, 1995).

V zgornjem Posočju še ni bila opravljena seizmična mikrorajonizacija, ki bi obsegala tudi dodatne terenske raziskave. Narejena pa je bila podrobnejša rajonizacija za potrebe civilne zaščite, ki je temeljila na obstoječih geoloških kartah (Vidrih in sod., 1991). Kot taka je dobro razmejila obsežnejša območja z različno kvaliteto tal, ni pa seveda mogla predvideti podrobnejših razlik v učinkih, ki so bile značilne za potres 12. aprila, 1998 (Ribičič in Vidrih, 1999)

Medtem ko z opisanimi metodami le ocenjujemo prirastek intenzitete, nam kvantitativne metode omogočajo direktno merjenje ali modeliranje ojačenja nihanja tal. Uporabljajo se predvsem trije pristopi (Atakan, 1995; Gosar in Živčič, 1998):

- primerjava spektrov zapisov potresov na različnih tleh,
- razmerje spektrov horizontalne in vertikalne komponente na isti lokaciji za meritve mikroseizmičnega nemira (mikrotremorje) ali za zapise potresov,
- modeliranje.

Pomembna je uporaba različnih komplementarnih metod, ker samo z empiričnimi seizmološkimi metodami navadno ne moremo pojasniti vzrokov, analitične metode (modeliranje) pa so omejene s praviloma slabšim poznavanjem globinske zgradbe in fizikalnih parametrov kamnin.

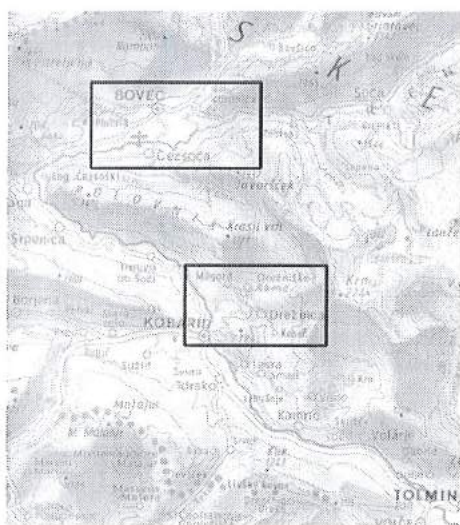
V zgornjem Posočju smo v sodelovanju z inštitutom ISMES iz Bergama (Italija) kmalu po potresu opravili meritve in analize seizmičnega nemira. Sledile so obsežnejše geofizikalne raziskave, ki so bile podlaga za enodimenzionalno modeliranje ojačenja nihanja tal. Te raziskave so bile opravljene deloma v okviru projekta geoloških in geotehničnih raziskav za podporo sanacije objektov, ki ga je koordiniral Gradbeni inštitut ZRMK (Ribičič, 1998), deloma pa v okviru projekta geoloških in geofizikalnih raziskav potresnega območja Uprave RS za geofiziko (Gosar in sod., 1999). V obeh primerih je geofizikalne meritve opravil Oddelek za geofiziko Inštituta za geologijo, geotehniko in geofiziko (sedaj Geoinženiringa), financiralo pa jih je Ministrstvo za okolje in prostor.

Meritve mikrosezmičnega nemira

Da so spektralne lastnosti mikrotremorjev (nizkoamplitudne oscilacije tal naravnega ali umetnega izvora, ki imajo dokaj stalen značaj) povezane z lokalno geološko zgradbo, je znano že okoli tri desetletja. Sprva so pri študiju uporabljali spektre horizontalnih komponent, vendar se je pokazalo, da je težko ločiti vpliv lokalnih tal od vpliva seizmičnega vira. Nakamura (1989) pa je predlagal metodo, ki temelji na spektralnem razmerju horizontalne (H) in vertikalne (V) komponente. Metoda sloni na dveh predpostavkah: (1) da predstavljajo seizmični nemir predvsem Rayleighjevi valovi in (2) da lokalna tla ne vplivajo na vertikalno komponento zapisa. Teoretične študije so pokazale, da je: (1) frekvenca osnovnega vrha na spektralnem razmerju H/V odvisna od lokalnih tal in neodvisna od lastnosti vira in (2) da je amplituda odvisna tako od lokalnih tal kot od oddaljenosti vira (Mucciareli, 1998). Znani problemi Nakamurjeve metode so: (1) da vpliv vira ni dovolj znan, (2) da je težko ločiti seizmični nemir od inštrumentalnega šuma in (3) občutljivost na nekatere vrste motenj (predvsem veter). Pri tem je zanimivo, da teoretično ozadje metode še ni povsem pojasnjeno, čeprav se je metoda v praksi izkazala za uspešno (Mucciareli, 1998). Zato jo v literaturi večinoma uvrščajo med empirične metode. Nakamurjeva metoda je torej bolj zanesljiva pri določitvi frekvenčnih območij s povišanim ojačenjem (predvsem vrhov v funkciji ojačenja) kot pri opredelitvi njegove vrednosti (amplitude).

V zgornjem Posočju smo opravili meritve nemira v sodelovanju z dr. Mucciarellijem iz ISMES-a na desetih lokacijah. Meritve so bile uspešne na osmih lokacijah (Bovec center, Bovec Mala vas, Čezsoča, Plužna, Kal-Koritnica (2 lokaciji), Sp. Drežniške Ravne in Drežnica), na dveh pa zaradi vetrovnosti ne (slika 1). Uporabljali smo trikomponentni seizmograf, ki so ga razvili posebej za tovrstne meritve na ISMES-u in sestoji iz seizmometra Lennartz 3D Lite (lastna frekvenca 1 Hz), zajemalne enote PRAXS-10 (24-bitni A/D protvornik) in računalnika. Zmanjšanje inštrumentalnega šuma je namreč ključno za uspešne meritve nizkoamplitudnega nemira. Ker so

zunanj kabl običajno glavni vir motenj, je vsa oprema integrirana v skupno ohišje. Prav tako računalnik v času meritev ne uporablja nobenih gibljivih sklopov, kot so hladilni ventilator in diski. Meritve so bile opravljene v prvih dveh tednih po glavnem potresu, tako da smo poleg mikrosezmičnega nemira zapisali tudi več šibkih popotresnih sunkov, katerih število s časom praviloma pojenjuje. Na vsaki lokaciji smo opravili do 10 enominutnih meritev, vzorčevanih s frekvenco 125 Hz. Programska oprema omogoča avtomatsko analizo z Nakamurajevo metodo takoj po končanih meritvah, sestoji pa iz pasovnoprepustnega filtriranja v območju 0,1-20 Hz in izračuna spektralnih amplitud za 25 predefiniranih frekvenc v območju 0,1-20 Hz. Funkcijo ojačenja poda aritmetična sredina razmerij obeh horizontalnih komponent proti vertikalni komponenti (H/V) vseh meritev (Mucciarelli in Monachesi, 1999).



Slika 1. Karta zgornjega Posočja z raziskanimi območjema: Bovška kotlina, Drežniški kot
Figure 1. Map of upper Posočje with position of investigated locations: Bovška kotlina, Drežniški kot

Geofizikalne raziskave in modeliranje

Geofizikalne raziskave so obsegale refrakcijske seizmične meritve s P in S-valovi na petnajstih lokacijah, meritve hitrosti seizmičnih P in S-valov v šestih vrtinah globine do 20 m ter 5 globljih in 30 plitvejših geoelektričnih sondiranj (metoda navidezne specifične upornosti) (Stopar, 1998; Stopar in Car, 1998). Z refrakcijsko seizmiko in meritvami v vrtini smo določili hitrostni model v vrhnjih 20-30 m, z opredelitvijo specifičnih električnih upornosti pa smo olajšali litološko identifikacijo plasti. Vzoredna uporaba dveh metod je tudi omogočila, da smo znotraj iste geološke enote (npr. znotraj glacialnih ali fluvialnih sedimentov) ugotovili geofizikalno heterogeno zgradbo. Z globokim geoelektričnim sondiranjem smo ocenili globino do karbonatne podlage fliša vzdolž profila Mala Vas-Čezsoča v Bovški kotlini. Ojačenja nihanja tal med referenčno podlago in površino horizontalno plastovitega modela sedimentov (enodimenzionalno modeliranje) smo modelirali s programom SHAKE91 (Idriss in Sun, 1992). Program izračuna odziv za strižne valove, ki potujejo v vertikalni smeri. Vsaka plast je opredeljena s hitrostjo S-valov, debelino, gostoto, dušenjem in elastičnimi parametri. Tipičen model je sestavljalo od 15 do 17 plasti, ki smo jim

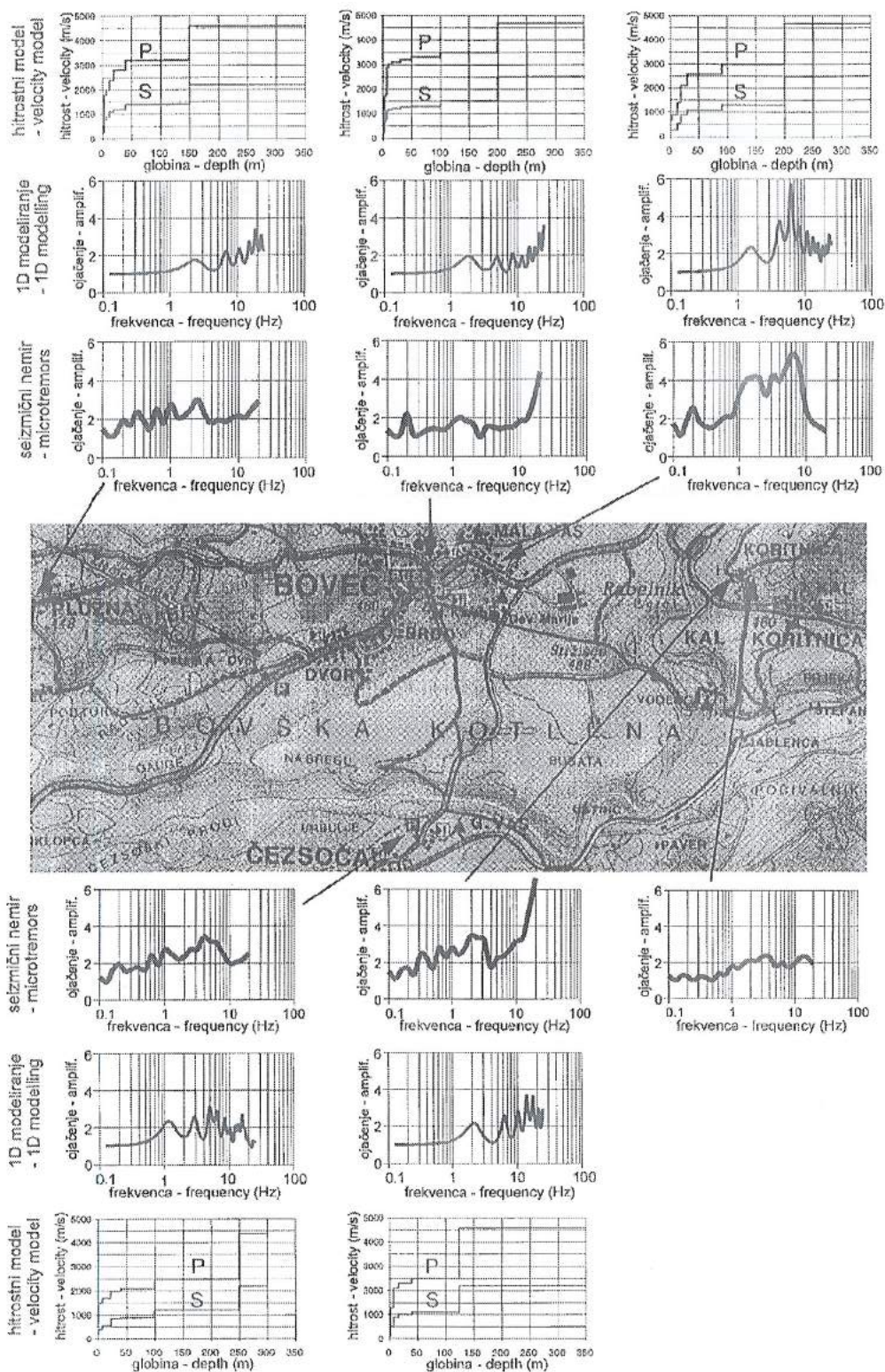
opredelili debelino in hitrost S-valov, njihovo gostoto, dušenje in elastične parametre pa smo privzeli. Z večjim številom plasti smo simulirali gradient vseh parametrov v do 250 m debeli plasti fliša.

Rezultati raziskav

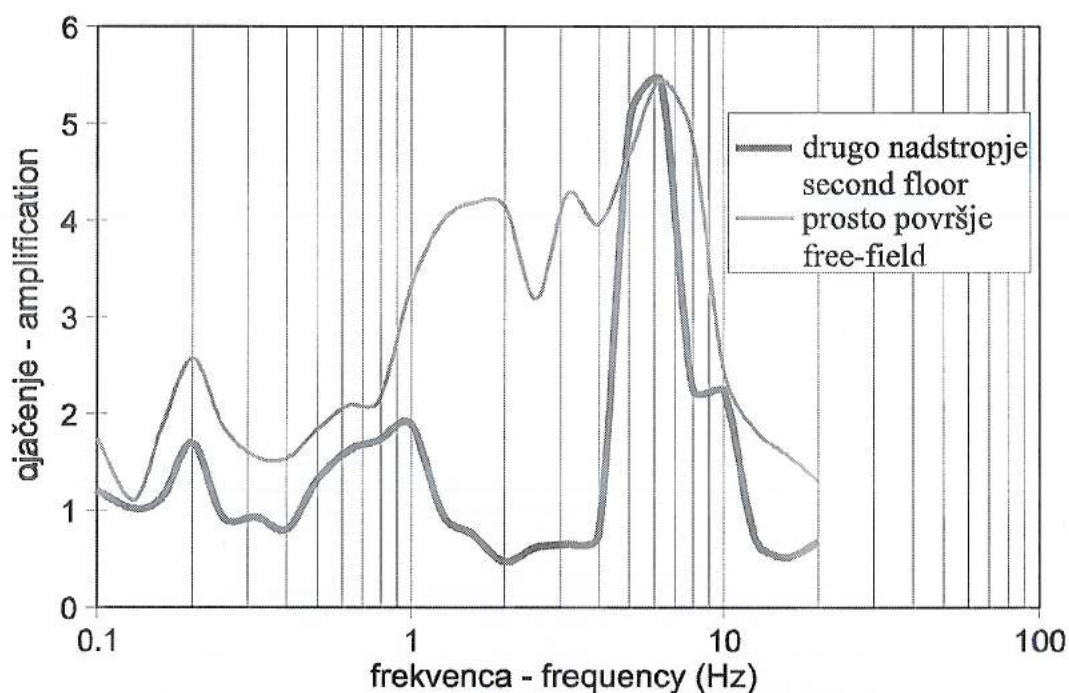
Geološke in geofizikalne raziskave so pokazale, da leži večji del Bovca na precej heterogenih glacigenih sedimentih, in sicer na peščeno-prodnatih, glinenih in gruščnatih sedimentih (til) (Bavec, 1999; Kuščer et al., 1974). Kljub temu pa razlik v stopnji poškodb ni mogoče pripisati kakšnim izrazitim litološkim spremembam v površinski plasti, temveč predvsem razlikam v debelini in fizikalnih lastnostih celotnega paketa kvartarnih sedimentov. Zaradi slabšega poznavanja debeline fliša njegov vpliv ni tako jasen. Analiza seizmičnega nemira po Nakamurjevi metodi je dala bistveno večje ojačenje (do 6) v območju med 1 in 10 Hz (območje ranljivosti običajnih zgradb) v Mali vasi kot v centru Bovca (do 2) (slika 2). Modeliranje je pokazalo, da lahko večje ojačenje pripišemo večji debelini kvartarnih sedimentov (16-30 m) in 2-5 m debeli nizkohitrostni površinski plasti gline. V srednjem delu Bovca je debelina peščenih in gruščnatih sedimentov namreč le 3-6 m. Izmerjene hitrosti S-valov v kvartarnih sedimentih so med 250 in 550 m/s, v flišu in jezerski kredi pa med 900 in 1300 m/s (Gosar in sod., 1999).

Pri tolmačenju vrednosti amplitude ojačenja, določene z Nakamurjevo metodo, se moramo zavedati njenih omejitev. Kot že omenjeno, je ta metoda uspešnejša pri določitvi frekvenčnega območja povečanega ojačenja kot pri oceni amplitude. Za grobo oceno lastne frekvence ene same plasti lahko uporabimo enačbo $f=V_s/4h$, kjer je f frekvenca osnovnega moda, V_s hitrost S-valov in h debelina plasti. Frekvenčno območje ranljivosti zgradb običajne višine (1-10 Hz) lahko po tej enačbi omejimo z uporabo vhodnih parametrov $V_s=1000$ m/s in $h=250$ m, ki podata $f=1$ Hz, oziroma $V_s=300$ m/s in $h=7,5$ m, ki podata $f=10$ Hz. Pri analizi vpliva lokalne geološke zgradbe se torej ne smemo omejiti le na vrhnjih nekaj metrov, ker na frekvenčno območje ranljivosti eno- ali dvonadstropnih zgradb, ki v Posočju prevladujejo, vpliva kar nekaj sto metrov debela plast sedimentov. Na poškodbe ob potresu vpliva seveda tudi kvaliteta samih temeljnih tal in njej primerna izvedba temeljenja, vendar to ne sodi med učinke ojačenja nihanja tal ob potresu, ki jih tu obravnavamo.

Primerjalne meritve seizmičnega nemira med prosto površino tal in drugim nadstropjem močno poškodovane dvonadstropne hiše v Mali vasi so pokazale, da ima



Slika 2. Funkcije ojačenja nihanja tal za šest lokacij v Bovški kotlini, dobljene z meritvami nemira in z modeliranjem ter diagrami intervalnih seizmičnih hitrosti
 Figure 2. Ground motion amplification functions for six locations in Bovška kotlina from microtremor measurements and modelling with graphs of interval seismic velocities.



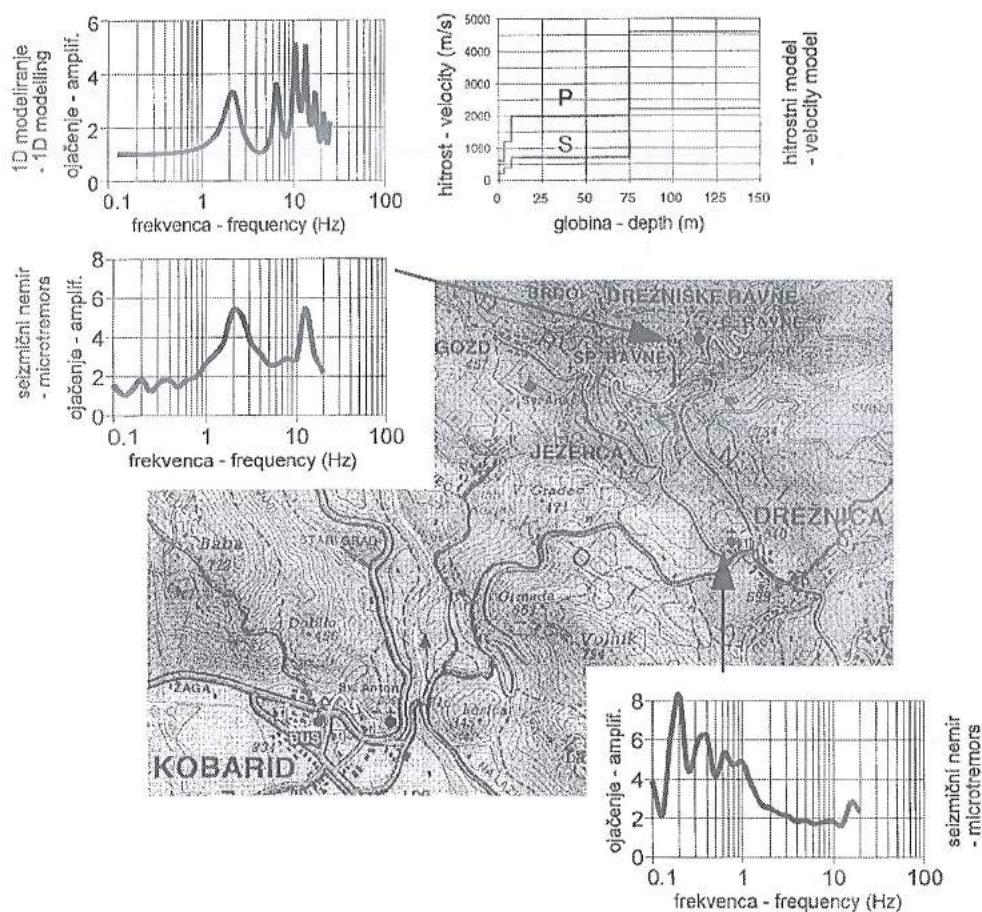
Slika 3. Primerjava med spektrom odziva tipične dvonadstropne hiše v Mali vasi v Bovecu in ojačenjem na prostem površju

Figure 3. Comparison between the response spectrum of a typical two-storey house in Bovec-Mala vas and the free-field amplification.

dinamični odziv zgradbe izrazit vrh pri 6 Hz, kar je zelo blizu vrhu v funkciji ojačenja tal (slika 3). Dvojna resonanca (lokalnih tal in zgradbe) je verjetno imela pomemben vpliv in lahko pojasni razmeroma močne poškodbe v Mali vasi. Za izpeljavo zanesljivejših sklepov bi bilo v sodelovanju z gradbenimi strokovnjaki potrebno opraviti še več meritev, ki v času takoj po potresu iz varnostnih razlogov niso bile mogoče.

V Koritnici so meritve seizmičnega nemira pokazale znatno razliko v ojačenju med vzhodnim robom vasi, ki leži na karbonatni podlagi in je utrpel le manjše poškodbe, in srednjim delom vasi, ki leži na od 3 do 10 m debelih glaciofluvialnih peščenoprodnatih nanosih, odloženih na fliš. Tu je bila večina hiš močno poškodovana. Precej raven spekter z ojačenjem med 2 in 4 v frekvenčnem območju 1-10 Hz smo dobili v Čezsoči, kjer je debelina nesprijetega proda in peska večja od 20 m, pod njo pa je fliš neznane debeline. V Plužni, ki leži na flišu, pokritem s tanjšo preperino, je bilo ojačenje zaradi lokalnih tal pod 10 Hz nizko, kar se ujema s tem, da poškodb praktično ni bilo (slika 2).

V Drežniškem kotu so bile posledice potresa najhujše v Sp. Drežniških Ravnah in v Magozdu, v manj kot 2 km oddaljeni Drežnici pa so bile že bistveno manjše. Meritve nemira v Sp. Drežniških Ravnah so pokazale visoko ojačenje (do 6) z dvema vrhoma pri frekvenci 2 Hz in med 10 in 11 Hz (slika 4). Nizkohitrostni sedimenti (predvsem til) debeline do 10 m, ugotovljeni z vrtnjem in refrakcijsko seizmiko, so pri



Slika 4. Funkcije ojačenja nihanja tal v Drežniškem kotu, dobljene z meritvami nemira in z modeliranjem ter diagrami intervalnih seizmičnih hitrosti
 Figure 4. Ground motion amplification functions for two locations in Drežniški kot from microtremor measurements and modelling with graphs of interval seismic velocities.

modeliranju prav tako podali izrazit vrh med 10 in 11 Hz. Ker globlji podatki niso bili na voljo, smo debelino fliša lahko le ocenili na okoli 70 m in pri modeliranju z uporabo nižje hitrosti S-valov (700 m/s) kot v Bovški kotlini dobili vrh pri 2 Hz, ki se ujema z meritvami nemira. Nižja hitrost je verjetna zaradi večje heterogenosti t.i. "divjega" fliša. V Drežnici so meritve nemira dale nizko ojačenje v območju med 1 in 10 Hz, nenavaden pa je izrazit vrh (do 8) pri 0,2 Hz, ki ga lahko povzroči le zelo debela plast sedimentov, vendar merska napaka ni izključena (slika 4). Gre pa za frekvenco, pri kateri običajne zgradbe niso ranljive.

Sklep

Debelina kvartarnih sedimentov v Bovški kotlini in Drežniškem kotu vpliva pri hitrostih S-valov, opredeljenih z refrakcijsko seizmično metodo, predvsem na spekter ojačenja v frekvenčnem območju med 5 in 10 Hz. Na del spektra med 1 in 5 Hz tako

vpliva debelejša skladovnica predvsem flišnih kamnin oziroma globina do karbonatne podlage. To smo v robnih delih Bovške kotline s pomočjo globokega geoelektričnega sondiranja lahko le ocenili na okoli 250 m, v osrednjem delu pa je globina predvidoma še večja. Ker na ojačenje potresnih valov v sedimentnih bazenih, kjer je izrazit kontrast med akustično impedanco sedimentov in podlago, vpliva tudi oblika bazena, bi bilo v Bovški kotlini smiselno opraviti dvodimenzionalno seizmološko modeliranje. Ker pa je poznavanje reliefa podlage iz obstoječih geoloških in geofizikalnih podatkov še preskromno, bi bilo potrebno pred tem opraviti obsežnejše geofizikalne raziskave, in sicer seizmično refleksijsko profiliranje in globoko geoelektrično sondiranje.

Raziskave vpliva lokalne geološke zgradbe na ojačenje nihanja tal ob potresu z analizo seizmičnega nemira in z enodimenzionalnim modeliranjem na podlagi rezultatov geofizikalnih raziskav v Zgornjem Posočju, so podale funkcije ojačenja, ki se večinoma dobro ujemajo s stopnjo poškodb. Ker so stroški izvedbe obeh metod zmerni, bi ju bilo koristno uporabljati pri kvantitativnem vrednotenju vpliva lokalne geološke zgradbe tudi na drugih potresno ogroženih območjih kot podporo projektiranju potresnovarne gradnje.

Zahvala

Meritve seizmičnega nemira v zgornjem Posočju je opravil dr. M. Mucciarelli iz ISMES-a (sedaj na Univezi v Bazilikati v Potenzi), ki se mu zahvaljujemo za sodelovanje in dovoljenje za objavo rezultatov. Geofizikalne raziskave sta opravila R. Stopar in M. Car iz Inštituta za geologijo, geotehniko in geofiziko (sedaj Geoinženiring) v okviru dveh projektov, ki ju je financiralo Ministrstvo za okolje in prostor.

Literatura

- Atakan, K., 1995. A review of the type of data and the techniques used in empirical estimation of local site response. Proc. Fifth International Conference on Seismic Zonation, Nice, Vol.2., 1451-1459.
- Bavec, M. 1999. Kvartarni sedimenti Bovške kotline. Magistrsko delo. Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, 100 str., Ljubljana.
- Borcherd, R. D. 1970, Effects of Local Geology on Ground Motion near San Francisco Bay. Bull. Seism. Soc. Am., 60/1, 29-61.
- Gosar, A., Živčić, M., 1998. Ojačenje nihanja tal zaradi lokalne geološke zgradbe na južnem obrobju Ljubljane (Rakova Jelša). Potresi v Sloveniji v letu 1997, URSG, 59-66.

- Gosar, A., Stopar, R., Car, M., 1999. Geofizikalne raziskave lokalne geološke zgradbe in modeliranje ojačenja nihanja tal ob potresu 12. Aprila 1998 v zgornjem Posočju. Geološki zbornik 14, 14. Posvetovanje slovenskih geologov-povzetki referatov, 16-18.
- Idriss, I. M., Sun, J. I., 1992. SHAKE91. A computer program for conducting equivalent linear seismic response analyses of horizontally layered soil deposits. Univ. of California, Davis.
- Kuščer, D., Grad, K., Nosan, A., Ogorelec, B. 1974. Geološke raziskave soške doline med Bovcem in Kobaridom. Geologija, 17, 425-476.
- Mucciarelli, M., 1998. Reliability and applicability of Nakamura-s technique using microtremors: an experimental approach, Journ. of Earthq. Eng., 2/4, 625-638.
- Mucciarelli, M., Monachesi, G., 1999. The Bovec (Slovenia) earthquake, April 1998: A preliminary correlation among damage, ground motion amplification and building frequencies, Journ. of Earthq. Eng., 3/3, 317-327.
- Nakamura, Y., 1989. A method for dynamic characteristics estimation of subsurface using microtremor on the ground surface. QR Railway Tech. Res. Inst., 30/1, 25-33.
- Ribičič, M., 1998. Analiza učinkov potresa v Posočju dne 12.04.1998, Končno poročilo. Gradbeni inštitut ZRMK.
- Ribičič, M., Vidrih, R., 1999. Seizmična mikrorajonizacija Posočja. Geološki zbornik 14, 14. Posvetovanje slovenskih geologov-povzetki referatov, 40-41.
- Stopar, R., 1998. Preliminarne seizmične preiskave na širšem področju Bovca in Drežniških Raven. Inštitut za geologijo, geotehniko in geofiziko, 18 str.
- Stopar, R., Car, M., 1998. Geofizikalne raziskave za potrebe odprave posledic potresa v Posočju 1998. Inštitut za geologijo, geotehniko in geofiziko, 30 str.
- Vidrih, R., Godec, M., Lapajne, J. 1991. Potresna ogroženost Slovenije, občine Brežice, Idrija, Krško, Tolmin in Ljubljanske občine. Seizmološki zavod R Slovenije in Republiški štab za civilno zaščito, 214 str.
- Zupančič, P., Cecić, I., Gosar, A., Poljak, M., Živčič, M. 1999. Nekatere seizmološke in geološke značilnosti potresa 12. aprila 1998 v zgornjem Posočju. Geološki zbornik 14, 14. Posvetovanje slovenskih geologov-povzetki referatov, 58-59.

Potres 12. aprila 1998 v zgornjem Posočju
**ODSEV VELIKIH HRIBINSKIH PODOROV V DIGITALNEM
MODELU RELIEFA**

The earthquake on April 12, 1998 in the upper Soča Territory
**EVIDENCE (REFLECTION) OF MASSIVE ROCKFALLS IN
DIGITAL ELEVATION MODELS**

Andrej Gosar*

Izvleček. S primerjavo dveh digitalnih modelov reliefa (DMR) za čas pred (DMR 100) in po potresu (DMR 25) smo ocenili prostornino dveh večjih hribinskih podorov v zgornjem Posočju. Nov 25-metrski DMR je bil izdelan na podlagi cikličnega aerosnemanja julija 1998 (3 mesece po potresu). Za enega najbolj spektakularnih podorov celotnega jugovzhodnega ostenja Osojnice nad dolino Tolminke smo ocenili prostornino 3 milijone m³. Verjetno največji pa je bil podor v severni in zahodni steni Velikega Lemeža nad zatrepom Lepene s prostornino, ocenjeno na 15 milijonov m³. Nekatere sistematične napake in nizka ločljivost DMR 100 so ponekod zmanjšale natančnost analize ali pa celo onemogočile izračun prostornine podora. Preliminarna analiza možne odvisnosti pojava podorov od usmerjenosti pobočij ni pokazala kakšne korelacije. V članku so opisane tudi druge možnosti uporabe visokoločljivega DMR v raziskavah potresnih območij.

Abstract. By comparison of two digital elevation models (DEM) of the terrain before (DEM 100) and after the earthquake (DEM 25) the volume of two larger massive rockfalls in Krn mountains were estimated. The new 25 m DEM is based on cyclic aerial photogrammetry survey performed in July 1998 (3 months after the earthquake). For the one of most spectacular massive rockfall of complete south-east wall of Osojnica mountain above the Tolminka valley, the volume of fallen rock of 3×10^6 m³ was estimated. The largest was perhaps the rockfall in north and west walls of Veliki Lemež above the Lepena valley with the estimated volume of 15×10^6 m³. Some systematic errors and low resolution of DEM 100 reduced the accuracy of analysis in some areas or even precluded estimation of rockfall volume. Preliminary analysis of a possible relation between the appearance of rockfalls and the aspect of the terrain didn't show any correlation. Other possible applications of high-resolution DEM in studies of an earthquake region are also described in the article.

Digitalni modeli reliefa v Sloveniji

Digitalni model reliefa (DMR) je postal eno osnovnih in nepogrešljivih orodij pri analizi različnih prostorskih podatkov. Diskretni podatki o nadmorski višini so pri DMR navadno zapisani v pravilni mreži (grid) različnih gostot. Včasih pa se uporablja tudi nepravilno razporejene podatke, kjer točke sledijo na primer plastnicam.

V Sloveniji so prvi DMR z ločljivostjo 500 m, ki je še zelo omejevala njegovo večjo uporabnost, izdelali že leta 1975. Sledil je DMR 100 z ločljivostjo 100 m, izdelan leta 1984 in izboljšan v letih 1995 in 1997, ki je že omogočal resnejše analize, čeprav tudi v zadnji verziji še niso odpravljene vse napake. Podatki so bili zajeti z ročno digitalizacijo presečišč plastnic s pravilno koordinatno mrežo oziroma s pomočjo

* Ministrstvo za okolje in prostor, Uprava RS za geofiziko, Pot na Golovec 25, Ljubljana

interpolacije vrednosti med posameznimi plastnicami. Ocenjen je 10-metrski srednji pogrešek višin (GURS, 1998).

V zadnjih letih Geodetska uprava RS skupaj s partnerji izdeluje DMR 25 z ločljivostjo 25 m. Do sedaj je z njim pokrito približno 30 odstotkov Slovenije (Podobnikar, 1999). DMR 25 se izdeluje fotogrametrično iz aeroposnetkov (digitalni ortofoto) v postopku izdelave temeljnih topografskih načrtov merila 1 : 5.000. Osnova so posnetki cikličnega aerosnemanja Slovenije. Natančnost je deklarirana s srednjim pogreškom 2 m (GURS, 1998).

Poleg topografskih kart različnih meril in digitalnega ortofota predstavljajo novejši vir podatkov (za Evropo od začetka devetdesetih let) za izdelavo DMR radarski satelitski posnetki. Natančnost, ki jo dosežemo z radarsko interferometrijo, je približno deset metrov v vodoravni smeri in nekaj metrov v navpični smeri. Še bolj zanimiva je diferencialna metoda, pri kateri lahko s primerjanjem različnih posnetkov opazujemo majhne relativne premike tal ali druge časovno odvisne spremembe na površju z natančnostjo nekaj centimetrov. (Oštir, 1998). Radarska interferometrija se v Sloveniji še ne uporablja sistematično za izdelavo DMR, uporablja pa se v okviru nekaterih mednarodnih raziskovalnih projektov.

Uporaba DMR v raziskavah potresnih območij

Visokoločljivi DMR-ji so se uveljavili tudi v geoloških analizah na območjih z aktivno tektoniko ali neotektoniko, s čimer označujemo tektonsko aktivnost v najmlajši geološki dobi – kvartarju. Geomorfološko se namreč aktivni prelom kaže v zmikih različnih linijskih pojavov v naravi, kot so reke, grebeni, rečne terase, morene ali enakomerna pobočja (Audia et al., 1998). Dokaz za močnejše potrese v bližnji geološki preteklosti so lahko tudi paleopodori ali paleoplazovi, ki prav tako predstavljajo geomorfološko posebnost v okolju. Vsi našteti pojavi se preučujejo s pomočjo topografskih kart različnih meril, z geološkim in geomorfološkim kartiranjem na terenu ter z analizo aeroposnetkov. DMR je odprl nove možnosti, ker omogoča različne matematične transformacije (digitalnih) podatkov, s katerimi okrepimo željeno informacijo.

Satelitska metoda radarske interferetrije s sintetično odprtino (synthetic aperture radar – SAR) pa ponuja še možnost študija časovno odvisnih sprememb na Zemljinem površju, kot so premiki ob prelomih, ki spremljajo močnejše potrese. Satelit ERS (European Remote Sensing) posname namreč isto območje površja vsakih 35 dni. Površina enega posnetka je okoli 100 x 100 km. Poleg običajnih podatkov o odboju radarskih valov se pri SAR–metodi uporablja tudi njihova faza. Ena od večjih pomanjkljivosti te metode pri uporabi v hribovitih območjih so nepokrite »sence« zaradi poševnega kota snemanja.

Kmalu po uvedbi SAR–metode so se domislili, da bi z njo lahko opazovali koseizmične premike ob močnejših potresih. Večina klasičnih geodetskih metod namreč zahteva vzpostavitev ustrezne merske mreže že pred samim potresom, medtem ko SAR omogoča poznejšo analizo. S primerjavo SAR–posnetkov, narejenih pred in po potresu 28. junija 1992 v Landersu (Kalifornija) z magnitudo $M_w=7,3$, so z diferencialno metodo dobili koseizmični premik med 3 in 6 m na različnih odsekih preloma, kar se ujema s klasičnimi geodetskimi meritvami in geološkimi opazovanji (Massonnet et al., 1993).

Zadnja možnost uporabe DMR (in seveda tudi SAR) na potresnih območjih je, v primeru velikih hribinskih podorov ali plazov, v analizi odvisnosti teh pojavov od smeri in vpada pobočij ter za ocenjevanje površine in prostornine kamnine, ki je v njih udeležena. Takšna analiza zahteva dva modela reliefa, in sicer za čas pred in po potresu.

Analiza DMR po potresu v zgornjem Posočju

Ena od značilnosti potresa z nadžariščem v zgornjem Posočju, ki je 12. aprila 1998 prizadel zgornje Posočje, so obsežne poškodbe v naravi, predvsem v obliki velikih hribinskih podorov v visokogorju (Vidrih in Ribičič, 1999). Po naključju je bilo širše območje že pred potresom predvideno za ciklično aerosnemanje v poletnih mesecih leta 1998. Dejansko je bilo aerosnemanje potem res izvedeno v juliju 1998, približno tri mesece po potresu. Stereo pari aeroposnetkov, ki smo jih pridobili od GURS, so bili zato dragocen vir podatkov za fotogeološko analizo, pri kateri smo uporabili tudi starejše posnetke iz leta 1995 (Poljak, 1998). GURS in Geodetski zavod Slovenije sta posnetke fotogrametrično obdelala v okviru izdelave TTN 1:5.000. Produkt digitalne ortofoto obdelave je tudi DMR 25, ki je bil za to območje na voljo uporabnikom že konec leta 1998.

Novi DMR 25 smo se odločili uporabiti tudi pri geološki analizi potresnega območja. V prvi fazi smo želeli preveriti predvsem možnost njegove uporabe: (a) pri oceni obsežnosti sprememb v reliefu zaradi velikih hribinskih podorov in (b) pri analizi odvisnosti pojava podorov od usmerjenosti in vpada pobočij. V nadaljnjih raziskavah načrtujemo še podrobnejšo analizo geomorfoloških pojavov. Ko bo celotno območje idrijskega preloma in nekaterih močnejših vzporednih prelomov pokrito z DMR 25, načrtujemo tudi analizo, ki bi lahko prispevala k pojasnitvi neotektonske aktivnosti v Zunanjih Dinaridih in na njihovem stiku z alpskimi strukturami.

Zaenkrat ni dokazov o koseizmičnem premiku na Zemljinem površju ob potresu 12. aprila 1998. Spričo relativno velike globine žarišča (približno 10 km), je pri dani magnitudi potresa ($M_{WA}=5,8$) povsem mogoče, da do trajnega premika na površju sploh ni prišlo. Ne pričakuje se tudi, da bi bile lahko uspešne geološke metode

dokazovanja koseizmičnega premika (pretrga), ker je površje za to zelo neprimerno (močno zakraseli visokogorski podi). Dodati velja, da v Sloveniji zaenkrat še ni bil dokazan koseizmični premik ob kakšnem potresu. Gre za pojav, ki je v Evropi značilen predvsem za močne potrese v Grčiji, Turčiji ter srednji in južni Italiji.

Na območju zahodne Slovenije, Furlanije in avstrijske Koroške so bile v letu 1995 in v avgustu 1998 opravljene geodetske GPS–meritve, ki kažejo na določene horizontalne premike ozemlja v vmesnem obdobju (Mišković et al., 1998), vendar interpretacija, ki bi kazala na nedvoumno povezavo s tem potresom, še ni mogoča. Zelo koristno bi bilo opraviti analize satelitskih posnetkov z diferencialno metodo radarske interferometrije, čeprav bi zaradi razgibanega visokogorskega reliefa naleteli na že omenjene omejitve te metode.

Odsev velikih hribinskih podorov v DMR

Oba novejša digitalna modela reliefa (DMR 100 – zadnja revizija iz leta 1997 in DMR 25) smo uporabili za prikaz reliefa zgornjega Posočja s senčenjem pri položaju »sonca« na severozahodu, na višini 45° nad obzorjem. Razlika v ločljivosti DMR 100 (slika 1) in DMR 25 (slika 2) je zelo jasna. Poleg tega se pri DMR 100 vidijo nekatere sistematične napake v obliki pasov v vodoravni in navpični smeri:

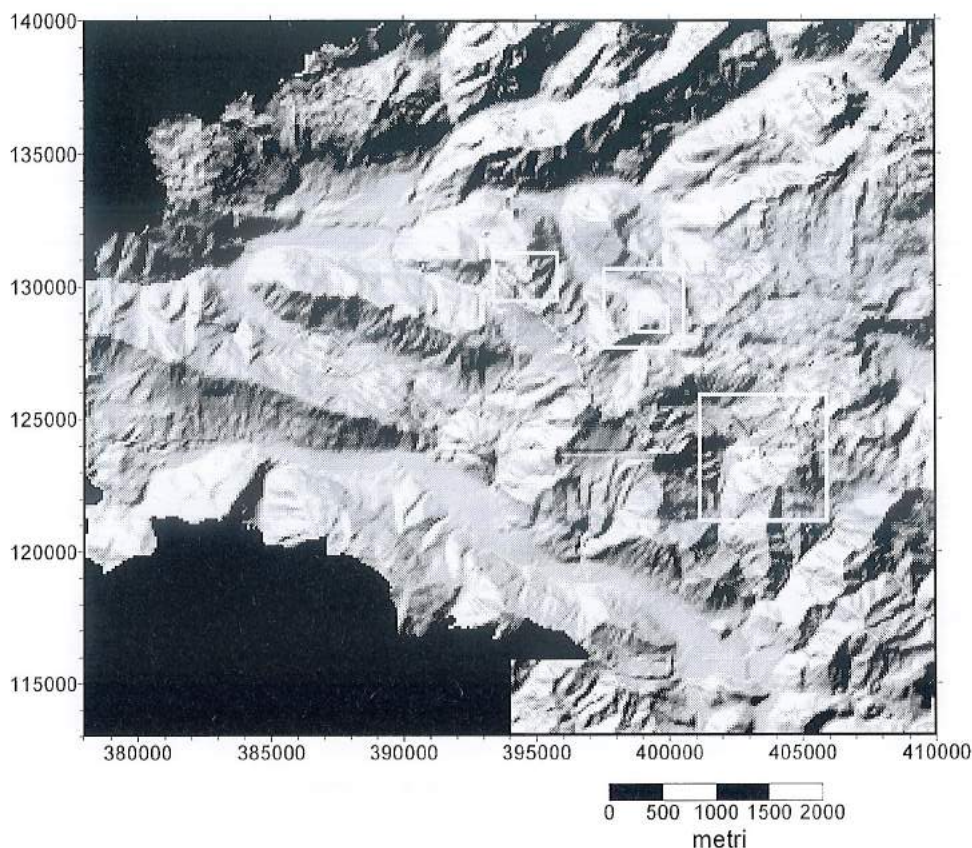
- vodoravno pri $Y=124.000$ (prek južnega pobočja Krna),
- vertikalno, več pasov med $X=392.000$ in $X=395.000$.

Pri DMR 25 (slika 2) podobnih sistematičnih napak nismo opazili. Vse koordinate v članku so Gauss-Krügerjeve in zapisane brez prve cifre 5. Za analize in izris slik smo uporabili program Surfer 6.0 (Golden Software).

Za preučevanje odseva velikih hribinskih podorov v DMR smo izbrali tri območja (sliki 1 in 2), kjer so bili ti pojavi najboljšejši (Vidrih in Ribičič, 1999), in sicer:

- a) Osojnico nad dolino Tolminke,
- b) Veliki Lemež nad zatrepom Lepene,
- c) koto 1776 m med Vršičem in Lipnikom.

Iz DMR 100 (relief pred potresom) in DMR 25 (relief po potresu) smo izpisali območja, označena na slikah 1 in 2, velikosti $2 \times 1,5$ km (kota 1776 m), $2,5 \times 2,5$ km (V. Lemež) in 4×4 km (Osojnica). DMR 25 smo nato prevzorčili na gostoto mreže 100 m, ki je omogočila direktno primerjavo z DMR 100, ter izračunali razliko med obema mrežama. Relief pred in po potresu smo izrisali v perspektivi s pogledom iz različnih smeri in višin ter kot konturno karto (izohipse), s katero smo prikazali tudi razliko med obema površinama (karta debelin ali izopah) (sliki 3 in 4).



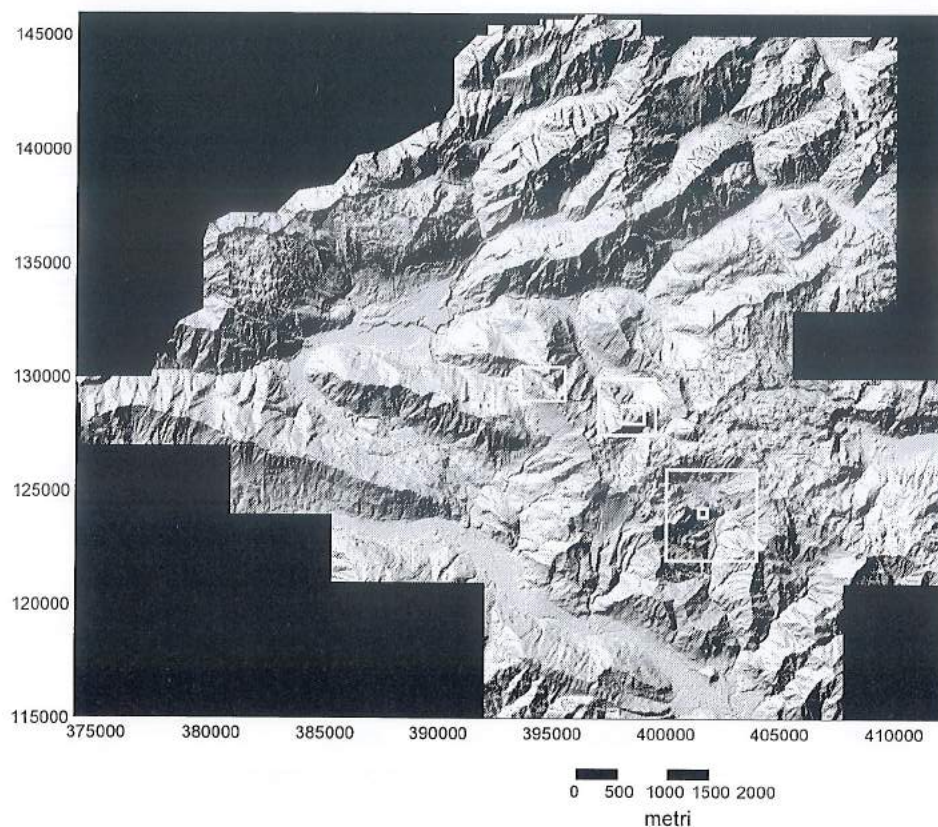
Slika 1: Digitalni model reliefa zgornjega Posočja z gostoto 100 m (DMR 100). Senčenje s položajem »sonca« na severozahodu, 45^o nad obzorjem. Označena so območja raziskav hribinskih podorov, in sicer od leve proti desni (kota 1776 m, V. Lemež, Osojnica).

Fig. 1. Digital elevation model of upper Soča Territory with 100 m density (DEM 100). For shading the northwest position of »sun« was used at 45^o above the horizon. Indicated are areas of massive rockfalls investigations, from left to right (kota 1776 m, V. Lemež, Osojnica).

Pri podrobni analizi so se pokazale nekatere napake v starejšem DMR 100. Prek območja kote 1776 m poteka eden od že omenjenih pasov s sistematično napako v višini, kar je onemogočilo izračun prostornine tega sicer zelo velikega hribinskega podora. Več napak je tudi v reliefu doline Tolminke, vendar na srečo ne na sami Osojnici, ki je označena kot manjši kvadrater (400 x 400 m) na slikah 1 in 2 ter na sliki 3.

Podor na Osojnici

Osojnica (1313 m) je zgrajena iz močno razpokanega in zakraselega zgornjetriasnega apnenca. Močno zakraselost dokazuje eden večjih jamskih sistemov v Sloveniji, ki je nastal v njej – 704 m globoka in 11 km dolga Pološka jama. Jama ima dva vhoda, prvega v vznožju jugovzhodnega ostenja in drugega na vrhu Osojnice pri planini Lašca. Po srečnem naključju je spodnji vhod kljub podoru celotnega ostenja nad njim ostal prehodan. Jamarji, ki so obiskali jamo po potresu, so poročali o prevrnjenih skalnih blokih v vhodnih delih jame, medtem ko dlje v notranjost gore ni bilo vidnih večjih poškodb.

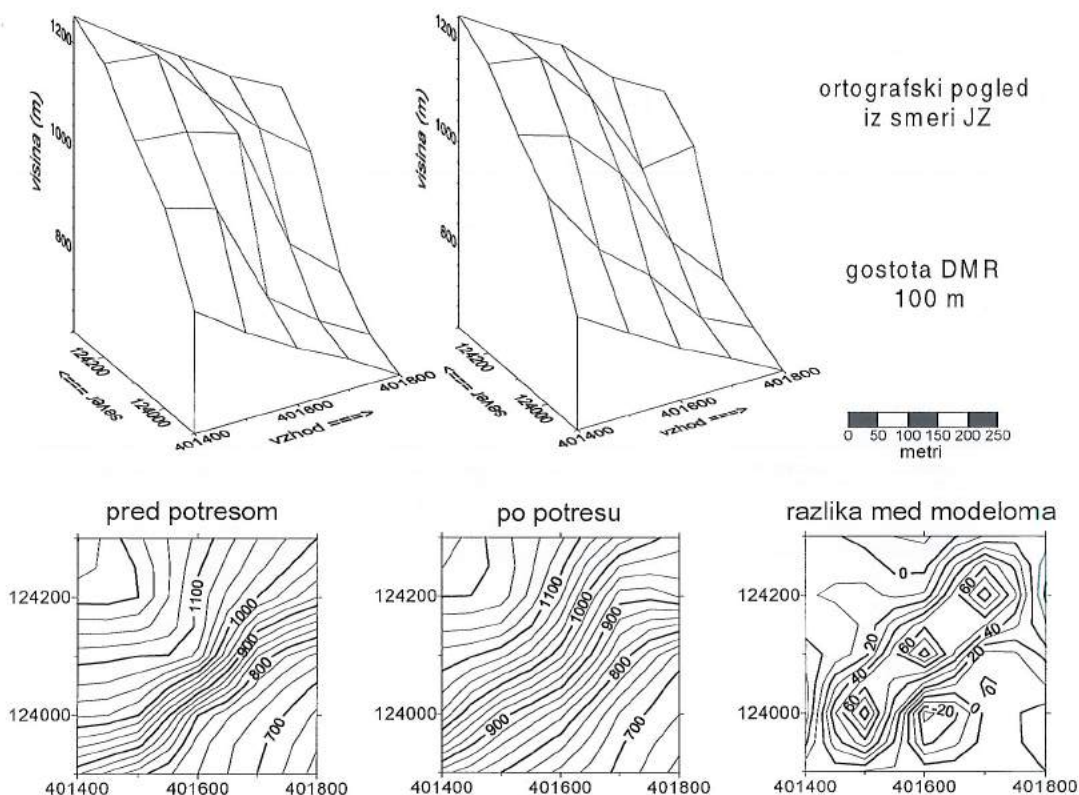


Slika 2: Digitalni model reliefa zgornjega Posočja z gostoto 25 m (DMR 25). Senčenje s položajem »sonca« na severozahodu, 45^o nad obzorjem. Območja raziskav so označena enako kot na sliki 1.

Fig. 2. Digital elevation model of upper Soča Territory with 25 m density (DEM 25). For shading the northwest position of »sun« was used at 45^o above the horizon. Investigated areas are indicated as in Fig. 1.

Osojnica leži približno 8 km jugovzhodno od nadžarišča potresa v bližini ravenskega preloma, ki domnevno predstavlja seizmogeno strukturo in poteka mimo izvirov Tolminke. Tako obsežen podor celotnega jugovzhodnega ostenja je bil zaradi razmeroma majhne nadmorske višine in pokritosti z gozdom manj pričakovan. Zato pa je bil pogled na Osojnico po potresu med njegovimi najbolj dramatičnimi učinki, saj se je spremenila celotna podoba doline Tolminke. Kjer je bilo prej strmo, delno poraščeno, delno skalno pobočje, zijajo sedaj gole stene. V vznožju pa je podor v celoti uničil gozd prav do poti v dolini, posamezne skale pa so se privalile do same struge Tolminke. Inženirskogeološko analizo podora na Osojnici je izdelal Benedik (1999).

Podor se jasno kaže na DMR (slika 3), čeprav je stometrška gostota mreže očitno prerodka za prikaz njegovih podrobnosti. Na karti razlike obeh modelov je največja debelina manjkajoče kamnine okoli 80 m, zaprto območje izopahe 20 m pa je veliko približno 450 x 150 m. Iz karte razlik smo z uporabo trapezoidalnega pravila ocenili prostornino manjkajoče kamnine na $3 \times 10^6 \text{ m}^3$, ki ustreza 38 m debeli plošči, veliki 400 x 200 m. Ocenjen primanjkljaj kamnine zaradi podora ni v celoti kompenziran



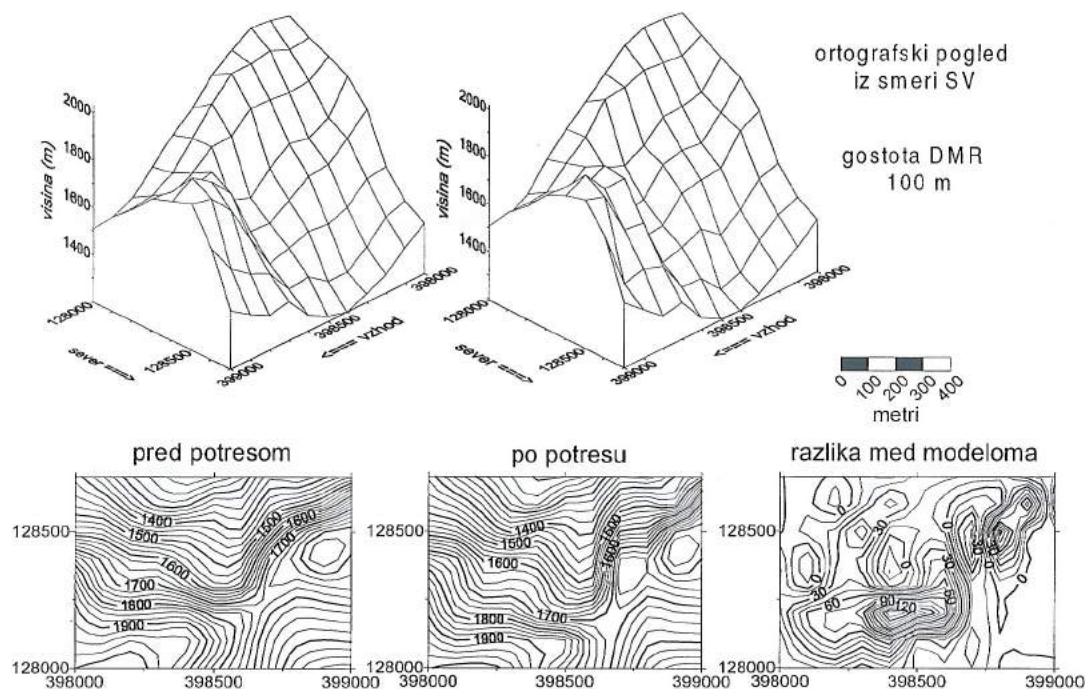
Slika 3: DMR Osojnice pred in po potresu, prikazan v perspektivi in s konturami, ter karta razlik med modeloma.

Fig. 3. DEM of Osojnica mountain showing pre and post-earthquake relief in perspective and as contours together with the map of differences between the models.

kot njen višek v vznožju gore, kjer je nastalo veliko melišče. Površina nasutega dela je mnogo večja od površine podrtega dela, kar skupaj z omejeno natančnostjo DMR lahko pojasni nesoglasje. Na natančnost DMR pred potresom je lahko vplivala tudi višina dreves v gozdu, ki je bil s podorom uničen. Ker mi način korekcij za višino dreves pri izdelavi DMR ni znan, je to lahko le domneva.

Podor na Velikem Lemežu

Verjetno največji hribinski podor je nastal na severni in zahodni steni Velikega Lemeža (2035 m) nad zatrepom Lepene. Odlom je nastal na samem vršnem grebenu, skalne mase pa so po številnih odbojih dosegle dno doline na višini okoli 700 m. Mešanica skal in snega, ki je padala in drsela s take višine, je povzročila močan zračni piš, ki je v gozdu v vznožju podrl drevesa v dveh koridorjih širine okoli 20 m in dolžine več sto metrov. Zračni piš, ki je sledil strugi Lepenice, je dosegel okoli 150 m dolg travnik in na drugi strani za 1 m prestavil leseno lopo, ki je stala na kamnitem podstavku (Vidrih in Ribičič, 1999). Veliki Lemež loči od sosednje Grive sedlo Čez potoče, prek katerega domnevno poteka ravenski prelom. Za prikaz reliefa (slika 4) in



Slika 4: DMR Velikega Lemeža pred in po potresu, prikazan v perspektivi in s konturami, ter karta razlik med modeloma.

Fig. 4. DEM of Veliki Lemež showing pre and post-earthquake relief in perspective and as contours together with the map of differences between the models.

izračun prostornine podora smo uporabili območje velikosti 1000 x 700 m (manjši pravokotnik na slikah 1 in 2). Iz karte razlik med DMR pred in po potresu, se vidi, da je podor manj pravilne oblike kot na Osojnici (potek izopahe 30 m na sliki 4). Največja debelina manjkajoče kamnine je okoli 160 m. Območje, kamor se je podorni material odložil, je zelo obsežno in ni več zajeto na sliki 4. Z uporabo trapezoidalnega pravila smo ocenili prostornino manjkajoče kamnine na $15 \times 10^6 \text{ m}^3$, kar ustreza 68 m debeli plošči velikosti 500 x 500 m. Izključiti ne moremo tudi morebitnih napak v enem od obeh uporabljenih DMR, še posebej, če se zavedamo, da je njihova natančnost pri zelo strmih pobočjih lahko slabša od deklarirane.

Odvisnost pojava podorov od usmerjenosti pobočij in vpada

Digitalni model reliefa zgornjega Posočja smo uporabili tudi za analizo odvisnosti pojava podorov od usmerjenosti in vpada pobočij (Gosar in Zupančič, 1999). Pri tem smo uporabili del podatkov o podorih, ki so jih zbrali na Geoinženiringu ter na Geološkem zavodu Slovenije. Del podatkov za visokogorje pa je bil pridobljen z analizo aeroposnetkov (Poljak, 1998). Preliminarne raziskave niso pokazale kakšne sistematične odvisnosti pojava podorov od usmerjenosti pobočij, večina podorov pa je pričakovano nastala na najbolj strmih pobočjih (več kot 60°). Pri usmerjenosti pobočij bi bila možna hipoteza, da je pojav podorov odvisen od smeri premika, torej bi imeli na obeh krilih preloma različno prevladujočo usmerjenost. Ker pa je bilo žarišče

potresa razmeroma globoko (približno 10 km), je verjetnost takega vpliva v zgornjem Posočju zelo majhna. Vzroke za pojav podorov je tako potrebno iskati predvsem v večji labilnosti kamnine na nekaterih območjih. Karta podorov sicer pokaže razpotegnjenost v smeri severozahod-jugovzhod, vzporedno s smerjo struktur. Zanimivo pa je, da segajo podori od nadžarišča mnogo dlje v smeri proti severozahodu (Trenta in dolina Koritnice) kot pa proti jugovzhodu, kjer jih je jugovzhodno od doline Tolminke bistveno manj.

Sklep

Zanimivo je primerjati podore v zgornjem Posočju s podobnimi pojavi ob večjih potresih v preteklosti, ki pa so v literaturi razmeroma skopo opisani. Nekaj podatkov o podorih in plazovih ob zgodovinskih potresih v Sloveniji in sosednjih pokrajinah sta zbrala Vidrih in Ribičič (1994). Najbolj znan je podor v dolžini 5 km z južnega pobočja Dobrača, ki je nastal ob potresu leta 1348 pri Beljaku (ocenjena magnituda med 6,4 in 6,6). Podor je pod seboj pokopal 17 vasi in zajezil reko Ziljo pri vasi Schutt. Višina nasutja, ki je zajezilo Ziljo, je dosegla 30 m. Za njo je nastalo jezero, ki je odtekalo več stoletij (Vidrih in Ribičič, 1994). Po Ambraseysu (1976) je bila prostornina podornega materiala 1 milijarda m³ (1 km³), kar je 300-krat več kot na Osojnici ali 70-krat več kot na Velikem Lemežu.

Literatura

- Ambraseys, N.N. 1976. The Gemona di Friuli earthquake of 6 May 1976, part II. Italy – promotion of the study of natural hazards of geophysical origin, Unesco, Paris.
- Audia, A., Costa, G., Suhadolc, P. 1998. GIS for earthquake hazards mitigation in the Friuli area (NE Italy). In: Brebbia, C.A., Pascolo, P. (eds.), GIS technologies and their environmental applications, 131-143, Computational Mechanics Publications, Southampton.
- Benedik, A. 1999. Analiza hribinskih podorov na območju Osojnice. Diplomsko delo, NTF – Univerza v Ljubljani, 83. str.
- Gosar, A., Zupančič, P., 1999. Effects of 12 April 1998 Krn, Slovenia, earthquake ($M_{WA}=5.8$) on natural surroundings and their intensity-related distribution. IUGG 99, Book of abstracts, P.189, Birmingham.
- GURS, 1999. Državna geodezija. MOP, Geodetska uprava Republike Slovenije.
- Massonnet, D., Rossi, M., Carmona, C., Adragna, F., Peltzer, G., Feigl, K., Rabante, T. 1993. The displacement field of the Landers earthquake mapped by radar interferometry. Nature, 364, 138-142.

- Mišković, D., Pesec, P., Stangl, G. 1998. GPS re-measurements in the Bovec-Tolmin earthquake region. Second International symposium »Geodynamics of Alps-Adria by means of terrestrial and satellite methods«, 10 pp., Dubrovnik.
- Oštir, K. 1998. Izdelava modela višin z radarsko interferometrijo. V: Krevs, M., Perko, D., Podobnikar, T., Stančič, Z. (uredniki), geografski informacijski sistemi v Sloveniji 1997-1998, 243-252.
- Podobnikar, T. 1999. Le z natančnim DMR moremo izvajati učinkovite prostorske analize. Delo-priloga Znanost, 27.10.1999.
- Poljak, M. 1998. Analiza letalskih posnetkov Bovškega potresnega območja. Neobjavljeno poročilo, arhiv URSG.
- Vidrih, R., Ribičič, M. 1994. Vpliv potresov na nastanek plazov v Sloveniji. Prvo slovensko posvetovanje o zemeljskih plazovih, 33-46, Idrija.
- Vidrih, R., Ribičič, M. 1999. Porušitve naravnega ravnotežja v hribinah ob potresu v Posočju 12. aprila 1988 in Evropska makroseizmična lestvica. Geologija, 41, 365-410.

Potres 12. aprila 1998 v zgornjem Posočju
POSLEDICE V NARAVI
The earthquake on April 12, 1998 in the upper Soča Territory
DAMAGE TO NATURE

Renato Vidrih*, Mihael Ribičič[†]

Izvleček. Potres 12. aprila v zgornjem Posočju je poleg velike gmotne škode na stanovanjskih objektih na Bovškem, Kobariškem in Tolminskem povzročil tudi precejšnje spremembe v naravi, saj so nastali številni hribinski podori in zdrsi. Prav spremembe v naravi so omogočile zanesljivejšo določitev makroseizmičnega epicentra in intenzitete potresa (območje pripada alpskemu svetu in je razen alpskih dolin nenaseljeno).

Širše epicentralno območje potresa je zgrajeno iz karbonatnih kamnin, predvsem apnencev in dolomitov zgornjetriasne do spodnjejurske starosti, ki v seizmogeološkem pogledu predstavljajo ugodna tla. Vmes leži Bovška kotlina, ki je zgrajena pretežno iz klastičnih sedimentov kredne starosti, nad katerimi so ponekod še kvartarni rečni in ledeniški sedimenti. Ti sedimenti so v seizmogeološkem smislu slabši, kar je pokazala tudi razprostranjenost poškodb zgradb in narave.

Pri analizi poškodb (predvsem v naravi) ob potresu v zgornjem Posočju, je zelo pomembno, da je potres nastal v visokogorskem svetu. Značilnosti potresa v goratem alpskem svetu se v mnogočem razlikujejo od značilnosti potresa, ki prizadene dolinske, priobalne, gričevnate ali hribovite terene. Osnovna značilnost alpskega sveta je njegova zgradba, saj ga gradijo trde, večinoma tektonsko poškodovane hribine, ki oblikujejo zelo strma, celo subvertikalna pobočja. Naslednja značilnost je redka naseljenost. Ob potresu v alpskem svetu pride do mnogoterih pojavov, ki so za ta svet edinstveni. Ogroženost narave, favne, flore in človeka ob potresu se v mnogočem razlikuje od ogroženosti v drugih območjih. Predvsem se pojavlja sekundarna ogroženost zaradi sprožanja nestabilnosti v strmih pobočjih, npr. padanje in zdrsi kamninskih gmot. Poleg tega je ogroženost po potresu v alpskem svetu časovno raztegnjena na daljše obdobje nekaj let, ko se še vedno sprožajo hribinski pojavi nestabilnosti ob popotresnih sunkih, deževju, vetru in snežnih plazovih ali pa ob prehodih in plezanju prek labilnih območij.

Abstract. Apart from the substantial material damage to residential buildings in the Bovec, Kobarid and Tolmin regions, the earthquake on April 12, in upper Soča Territory also caused considerable changes in nature, as many rockfalls and landslides appeared. It was the very changes in nature which enabled a more precise definition of the macroseismic epicentre and seismic intensity (the region belongs to the Alpine area and is not inhabited except for the Alpine valleys).

The wider epicentral area of the earthquake is composed of carbonate rocks, mostly limestones and dolomites of the Upper Triassic to Lower Jurassic periods, which is favourable ground in seismological conditions. In-between, there is the Bovec Basin, composed chiefly of clastic sediments of the Cretaceous period, above which there are also in places Quaternary period fluvial and glacial sediments. In the seismological sense, these sediments are worse, as was shown by the extent of damage to buildings and nature.

In analysing the damage (mostly to nature) occurring during the Posočje earthquake, it is very important that it appeared in the Alpine area. The characteristics of earthquakes in an Alpine area are

* Ministrstvo za okolje in prostor, Uprava RS za geofiziko, Pot na Golovec 25, Ljubljana

[†] Gradbeni inštitut, ZRMK, Dimičeva 14, Ljubljana

quite different from earthquakes occurring in valley, coastal, hilly or mountainous. The main characteristic of the Alpine area is its structure, as it is composed of hard, mostly tectonically-damaged rock, forming very steep, even sub-vertical slopes. The next characteristic is sparse settlement. During earthquakes in the Alpine area, many unique phenomena occur. The threat to nature, fauna, flora and people is in many ways different from the threat in other areas. Above all, there is a secondary threat due to instabilities in the steep slopes, e.g. falling and slides of rock masses. Besides, in the Alpine area, the threat during an earthquake extends for several years, when rock instabilities still appear amid aftershocks, rain, wind and avalanches or when walking or climbing over unstable areas.

Uvod

Na karti potresne nevarnosti Slovenije, ki je predpisana v gradbeništvu, lahko vidimo, da so na tem prostoru možni celo močnejši potresi, zato potres za seizmologe ni bil nikakršno presenečenje. Po sproščeni potresni energiji v preteklosti ocenjujemo, da lahko na tem območju nastajajo potresi do IX. stopnje po EMS lestvici (Ribarič, 1987). Glavni razlog za nastanek tovrstnih potresov so premiki velikih tektonskih plošč, v našem primeru afriške in evrazijske. Afriška plošča pritiska na evrazijsko, kar je v geološki zgodovini povzročilo dvig Alp. Med obema ploščama je manjša jadranska plošča, na obrobju katere leži tudi slovenski prostor. V državah severno od nas je potresov bistveno manj, pa tudi šibkejši so, na jugu pa je potresna dejavnost večja. Jadranska plošča se vrti v smeri proti severovzhodu. Dinarske strukture tega območja delimo v Južne Alpe in Zunanje Dinaride. Zunanji Dinaridi zavzemajo celoten prostor jugozahodne Slovenije, nanje pa so iz severa narinjene Julijske Alpe. Prav na epicentralnem območju se stikajo narivne strukture, ki se raztezajo v smeri vzhod - zahod in so narinjene od severa proti jugu s dinarskimi strukturami, ki potekajo v smeri severozahod - jugovzhod. Zadnji potres je po vsej verjetnosti nastal ob prelomu, ki se razprostira v dinarski smeri. To bodo pokazale nadaljnje raziskave.

Posočje se je že treslo

Zadnji potres je obudil spomine domačinov na katastrofo, ki se je zgodila leta 1976 (Ribarič, 1980). Žarišča potresov, ki so maja in septembra 1976 prizadeli Breginjski kot in Posočje, so nastala v Furlaniji. Na srečo pri nas smrtnih žrtev ni bilo (v Italiji je ob potresu umrlo 987 ljudi), nastala pa je ogromna gmotna škoda tako v Posočju kot tudi drugod v severozahodni Sloveniji. Glavna potresna sunka sta bila v maju in septembru, prvi 6. maja zvečer z magnitudo 6,5, drugi pa 15. septembra dopoldne z magnitudo 6,1. Na epicentralnem območju je prvi dosegel učinke med IX. in X. stopnjo po EMS-lestvici (ponekod celo X. stopnjo), drugi pa IX. stopnjo. Pri nas so učinki dosegli VIII. stopnjo v Breginjskem kotu, v Kobaridu med VII. in VIII. stopnjo, v Tolminu VII., v Bohinjskem kotu pa med VI. in VII. stopnjo po EMS-lestvici. Največjo škodo so potresni sunki povzročili v vaseh Breginj, Smast, Ladra, Trnovo in Srpenica. V teh vaseh je brez strehe nad glavo ostalo več kot 80% prebivalcev. Skoraj v celoti je bila porušena vas Podbela. V naseljih Volarje, Borjana,

Čezsoča in Žaga je ostalo brez domov med 50 in 80% ljudi. V Idrskem, Kredi, Kobaridu, Kamnem, Orehku, Bukovem in Kojskem pa med 30 in 50%. Ob obeh serijah potresov je bilo skupno število močno poškodovanih objektov okoli 4000 (porušeni objekti med potresom in tisti, ki so jih morali podreti kasneje). Vsega skupaj pa je bilo bolj ali manj poškodovanih okoli 12000 zgradb. Če seštejemo učinke majskih in septemberskih potresov, lahko rečemo, da so v Breginjskem kotu dosegli IX. stopnjo po EMS-lestvici.

Zanimiva je primerjava z zadnjim potresom, ki je zajel bolj vzhodno ležeče kraje, Bovec ter vasi nad Kobaridom in Tolminom. Furlanske potrese so prebivalci čutili kot nihanje, medtem ko je zadnji potres dobesedno dvignil domačije. Razlaga je zelo enostavna, saj je tokrat žarišče nastalo pod omenjenimi kraji in so potresni valovi pripotovali naravnost navzgor. To dokazujejo poškodbe na zgradbah, pa tudi pojavi v naravi, saj je v dolini Lepene in pod Krnom le redka skala ostala nepremaknjena. Prosto ležeče skale je sunek dvignil in ob padcu na tla se je marsikatera prelomila ali zdrsela po pobočju navzdol (Ribičič, Vidrih, 1998, Vidrih, 1998).

Skupna gmotna škoda še ni ocenjena, po predhodnih podatkih pa lahko ugotovljamo, da bo manjša kot ob potresih leta 1976, saj so bili največji učinki manjši.

Seizmogeološka zgradba ozemlja

Učinki potresa so odvisni tudi od lokalne sestave tal, saj se lahko na slabih tleh povečajo. Epicentralno območje gradijo predvsem karbonatne kamnine (apnenci in dolomiti), ki ponekod prehajajo v laporje. Karbonatne kamnine predstavljajo ugodna tla, laporji pa nekoliko slabša. V seizmogeološkem smislu predstavljajo najslabšo podlago nanosi rek in potokov ter pobočni grušči. Nanosi reke Soče in pritokov gradijo terase, ki jih sestavljajo prod, pesek in redkeje konglomerat. Nevarni pa so tudi pobočni grušči (Ribičič, Vidrih, 1998, Vidrih, Ribičič, 1998). Razprostranjenost poškodb je največja prav na teh območjih. Vsi kraji, kjer je nastalo največ poškodb, so brez izjeme zgrajeni na teh sedimentih. Po ogledu terena lahko ugotovimo, da je bilo največ poškodb v ozkem pasu, ki se vleče v dinarski smeri, severozahod - jugovzhod. Lokalne geološke razmere pa so ponekod učinke še povečale. Največje učinke na zgradbah je potres dosegel v Mali vasi v Bovcu in v vaseh Spodnje Drežniške Ravne, Magozd, Lepena in Tolminske Ravne ter na planinah Polog in Javorca, kjer je po predhodni oceni dosegel med VII. in VIII. stopnjo po EMS-lestvici. Nekoliko manjši pa so bili učinki v Kal-Koritnici, Zgornjih Drežniških Ravnah, Jezerci, Krnu itd. (Vidrih, Godec, 1998, Vidrih, 1998). Največje učinke v naravi je potres dosegel v gorovju nad dolino Lepene, na jugozahodnih pobočjih Krna, grebenu Krnčice, Javorščku, pri izviru Tolminke, pa tudi drugod, kjer so v doline drseli ogromni skalnati podori (Ribičič, Vidrih, 1998).

Številni zdrsi in podori so nastali v slabih kamninah, ki so bile že prej razpokane. To razpokanost je povzročila tektonika, ki poleg velikih prelomov povzroči tudi večjo ali manjšo razpokanost hribin. Hribine, ki pretežno gradijo Južne Alpe in so nastale kot morski sedimenti, so se med orogenetsko fazo dvignile v gorovje. Tektonski procesi so pri dvigovanju in narivanju kamninskih gmot hribino poškodovali. V njej so tako nastali razpoklinski sistemi med seboj sekajočih se vzporednih razpok, ki hribinsko maso razkosavajo v različno velike bloke. Za naš alpski svet je značilno, da ponavadi nastopajo trije med seboj skoraj pravokotni razpoklinski sistemi s povprečno velikostjo blokov od enega decimetra do približno pol metra. En sistem diskontinuitet v hribinah ponavadi predstavlja plastovitost kamnine, ki je nastala, ko se je sediment odlagal. Ti razpoklinski sistemi so zaradi atmosferskih vplivov na površini še močnejše izraženi. Torej do zdrsa v hribinah lahko pride tam, kjer je določen sistem razpok glede na nagib pobočja neugodno usmerjen.

Poleg podorov lahko nastopa ob zelo strmo nagnjenih pobočjih še drsenje, padanje ali valjenje skalnih blokov in kamnov. Največkrat se v prvi fazi sproži drsenje labilnega bloka, ki se spremeni v kotaljenje in odbijanje od pobočja.

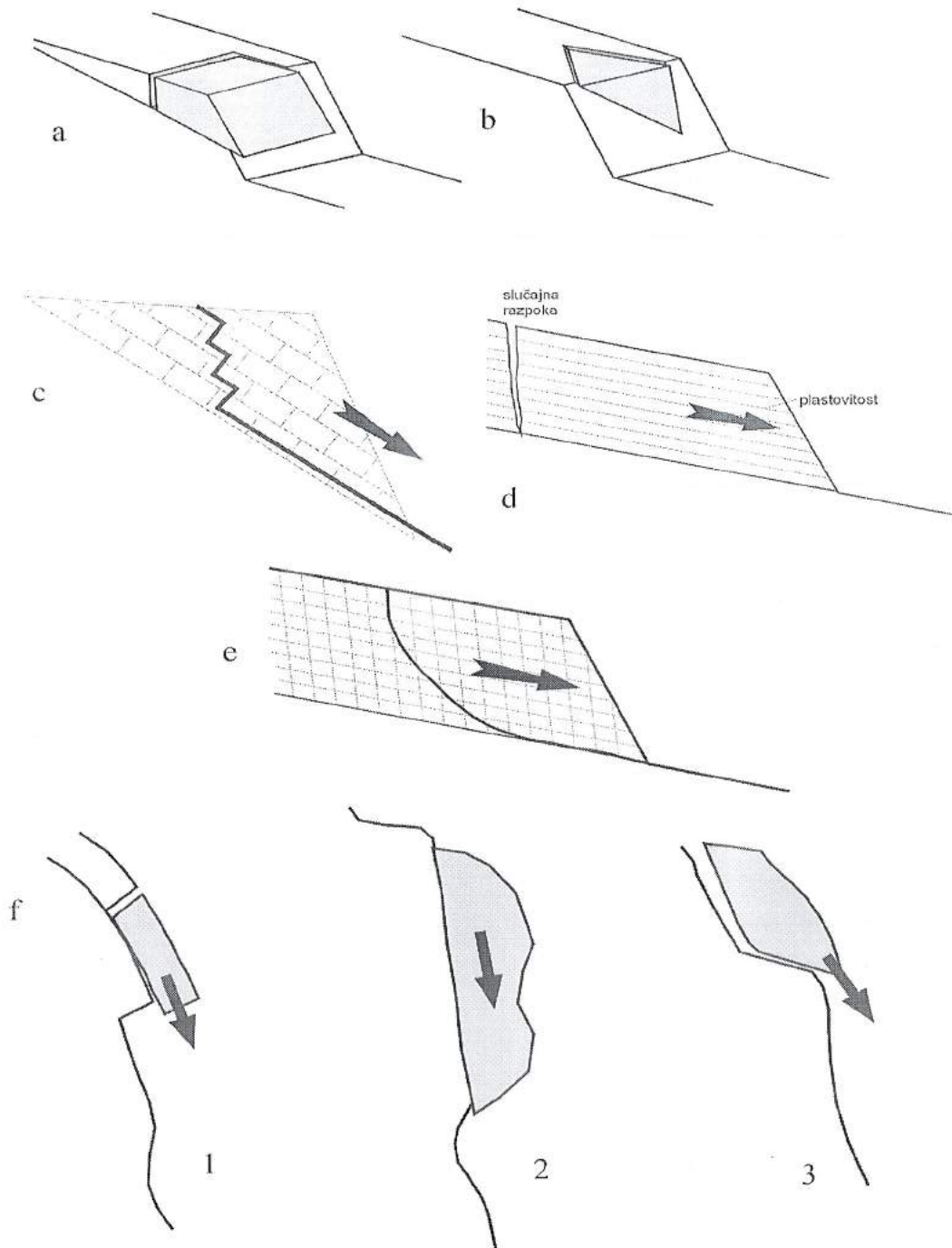
Ob potresu, posebno če je njegova intenziteta VII. ali višje stopnje po EMS-lestvici, se vse naštetе vrste zdrsov, podorov in padanja skalnih blokov lahko zgodijo sočasno.

Hribinski zdrsi, podori in padanje blokov

Številni zdrsi in podori, ki so nastali ob potresu, so vezani na hribine, zato je potrebno najprej razložiti razliko med hribino in zemljino. Besedo hribina uporabljamo takrat, kadar želimo poudariti, da obravnavamo trdo kompaktno kamnino. Na nadžariščnem (epicentralnem) območju so to karbonatne kamnine, predvsem apnenci in dolomiti, ki gradijo alpski svet in njegovo predgorje. Med zemljine pa uvrščamo kamnine, ki kot preperinski pokrov prekrivajo hribine v podlagi ali pa so prenesene v vznožje pobočij in v doline (Hoek, 1997). V zemljinah ali pa na kontaktu med zemljinami in hribinami nastopajo zemljinski plazovi, o katerih skoraj vsak dan beremo v časopisju. Ob zadnjem potresu je nastalo le malo običajnih zemljinskih plazov, večinoma so se aktivirali že do sedaj znani plazovi.

Splošno o zdrsih in podorih

Slika 1 kaže nekaj najbolj značilnih tipov zdrsov, ki so se pojavili tudi ob potresu 12. aprila v zgornjem Posočju. Če naštejemo in na kratko opišemo le najpomembnejše: ravninski ali planarni zdrs, klinasti zdrs, zdrs po različnih sistemih razpok, zdrs po plastovitosti ob slučajni zaledni razpoki, zdrs v močno razpokani kamnini in za konec različne vrste podorov.



Slika 1. Shematski prikazi različnih tipov zdrsov, ki so se pojavljali tudi ob potresu 12. aprila v Posočju. a...ravninski ali planarni zdrs, b...klinasti zdrs, c...zdrs po različnih sistemih razpok, d...zdrs po plastovitosti ob slučajni zaledni razpoki, e...zdrs v močno razpokani kamnini in f...različne vrste podorov (1..podor ob strmo nagnjeni ploskvi plastovitosti, 2...podor ob vertikalni razpoki v pobočju, spodnjedenem v spodnjem delu, 3...zdrs bloka ob poševni razpoki, ki preide v podor ob navpično nagnjenem pobočju).

Figure 1. Schematic presentation of various types of landslides, occurring during the Posočje earthquake on April 12. a...planar landslide, b...wedge failure, c...failure along different crack systems, d...failure along layers along a coincidental zaledna razpoka, e...failure in a heavily cracked rock and f...different types of rockfalls (1...rockfall along a steep layered plate, 2...rockfall along a vertical crack in the slope whose lower part has been eroded, 3...slide of a block along an inclined crack, changing into a rockfall along a vertical slope).

Najpogostejši in najneugodnejši tip plazenja ali drsenja nastopi, kadar sta padnica pobočja in padnica usmeritve določenega sistema razpok v približno isti smeri. V takih primerih lahko pride do ravninskih (planarnih) zdrsov (1a). Taki zdrsi so bili pogosti v Krnskem hribovju in nad dolino Lepene.

Kadar je sečnica dveh sistemov razpok usmerjena v isti smeri kot padnica brežine in nagnjena navzdol, lahko pride do klinastega zdrsa (1b). Redek zdrs je nastal nad dolino Lepene, na kar bo še dolgo opozarjal velik vršaj, ki je nastal nad dolino.

Oba navedena sta čista zdrsa, v naravi pa ponavadi opazujemo manj pravilne zdrse, odvisno od razmer (razpokanosti) na območju, kjer je do njih prišlo. Najpogostejša sta zdrs po različnih sistemih razpok (1c) in zdrs po plastovitosti ob slučajni zaledni razpoki (1d).

Izjemoma se v hribinah lahko pojavlja tudi plazenje, podobno zemljinskemu. To se dogaja v primerih, ko je hribina preprejena s tremi ali več sistemi gostih razpok. V tem primeru pride do krožnega oziroma razpokam prilagojenega zemljinskega drsenja, pri čemer se hribina v splošnem obnaša kot zemljinska masa. Na skici je prikazan tipičen primer takega drsenja (1e). Najlepši primeri so nastali ob poti k izviru Tolminke in v dolini Lepene.

V praksi pogosto srečamo zdrse, ki se kljub dobro določljivim sistemom razpok ne zgodijo po njih, temveč po eni izmed slučajnih razpok, ki je zelo izrazita. Ponavadi ima manjše strižne lastnosti ter je neugodno usmerjena glede na padnico brežine.

Poleg opisanih zdrsov, pa lahko na območjih, kjer so pobočja vertikalna ali skoraj vertikalna nastanejo hribinski podori. Za njih velja, da mora biti v kamninski masi v zaledju brežine šibka ploskev, ki je približno vzporedna brežini in je nagnjena bolj ali manj navpično. Na sliki 1f so prikazani različni tipi podorov.

Naravni pojavi v hribinah in zemljinah

Kot najmočnejši potres v tem stoletju na slovenskem ozemlju je potres v zgornjem Posočju povzročil na sorazmerno majhnem območju izredno veliko število pojavov nestabilnosti terena. Vsak izmed njih ima svoje značilnosti, čeprav ga lahko uvrstimo v enega izmed opisanih tipov v uvodnem delu. To prinaša izredno priložnost strokovnjakom, ki se ukvarjajo s proučevanjem nestabilnosti terena. Omogoča jim sistematsko podrobno proučevanje raznolikih pojavov zdrsov, kar lahko služi kot osnova napovedim ob podobnih dogodkih in bolj premišljenemu poseganju človeka v prostor. Kratki opisi so narejeni na osnovi prvih terenskih ogledov in želijo ponazoriti kompleksnost problematike, povezane z zdrsi, plazenji, kamninskimi tokovi in podori. Podrobneje opisujemo le najzanimivejše pojave, ki so nastali v dolini Lepene, ob toku

in izviru reke Tolminke, na Krnskem gorovju in ob Bohinjskem jezeru (Ribičič, Vidrih, 1998).

Ravninski ali planarni zdrsi

Najznačilnejši primeri ravninskih zdrsov so nastali v Krnskem pogorju in pa na gori Lemež, ki se dviguje nad dolino Lepene. Ogromne mase hribine so zgrmele po pobočjih navzdol in pod seboj uničile vse (slika 2).

Klinasti zdrs iz grebena Šije

Klinasti zdrsi so v primerjavi s planarnimi redkejši pojav v hribinah. Nad kmetijo V koncu, v dolini Lepene, je iz ostrega grebena Šije nastal zelo velik in tipičen klinasti zdrs hribin, ki sega od strmega grebena vrha pobočja do vertikalne previsnice (slika 3). Sestavljen je iz dveh v smeri nagiba pobočja sekajočih se drsniških ploskev (ena je plastovitost in druga tektonska razpoka) in zgornje nepravilne skoraj navpično nagnjene odlomne razpoke. Vse tri ploskve predstavljajo spodnji del klina, po katerem je prišlo do zdrsa. Da je lahko prišlo do zdrsa tako velikega klina, je ob dinamičnih obremenitvah v trenutku potresa morala teža klina preseči vezni odpor na navpični razpoki in trenjske odpore na obeh drsniških ploskvah. Klin je drsel do vertikalne previsnice in se prek nje lomil v velike skalnate bloke, ki so se končno razbili ob padcu na vznožje previsa. Pod klinastim podorom je nastal jezik skalnatega vršaja, ki se končuje v gozdu nad dolino.

Zdrsi po različnih sistemih razpok

Sliki 4 in 5 kažeta tipične zdrse po različnih sistemih razpok, ki so nastajali ob izviru in toku reke Tolminke in na Krnskem pogorju. Sem spadajo tudi veliki podori, ki so spremenili videz gore Krn, saj je na njenem jugozahodnem delu v dolino zgrmelo celo pobočje. Ko smo si po štirinajstih dnevih ogledali podor od blizu, je še vedno v dolino nepretrgano padalo večje in manjše kamenje. Slika 6 kaže eno od številnih razpok, ki so nastale v močno razpokani kamnini ob poti k izviru Tolminke, kjer v dolino drsi celo pobočje. Ob tem so nastale razpoke decimetrskih dimenzij, v dolžini več deset metrov.

Podori na območju izvira Tolminke

Potresni učinki na naravo so bili posebno intenzivni na širšem območju v okolici izvira Tolminke. Nastali so številni podori, majhnih do zelo velikih dimenzij. Podori večinoma spadajo v zdrse po različnih sistemih razpok ali zdrse v zelo močno razpokani hribini. Za te vrste podorov je značilno, da so odlomni robovi zelo nepravilni. Nastali so, ker je hribina na tem območju tektonsko močno poškodovana in dolomitizirana. V geološkem smislu je eden največjih pogledov na hrib

Osojnico, ki se je dobesedno razklal na treh mestih. Največji podor je zgrmel na planino Polog, od koder vodi pot k izviru Tolminke (slika 7 levo), nekoliko manjši je ogrozil lovsko kočo pri izviru Tolminke, tretji pa je na nasprotni strani. Pogled iz zraka na hrib Osojnico (slika 8) kaže, da je hrib ostal brez vrha in treh pobočij.

Kamninski tok v dolini Lepene

Kamninski tok iz levega pobočja Lepene je nastal, ko se je v strmi grapi odloženo kamenje ob potresu sprožilo in se začelo valiti po njej navzdol (slika 9). Kamninski tokovi so značilni za območja Himalajskega gorovja. Pri nas še niso bili opisani. Pri tem so se skale in kamni povprečnih dimenzij od nekaj decimetrov do nekaj centimetrov začeli mešati s snegom, ki je tudi zapolnjeval grapo v debeli plasti. 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 mešanice snega, grušča, kamnov in skal je nastala blatna masa, ki se je po padcu iz grape razlila po dolini. Iz hitro padajoče mase sestavljene iz zemljin, snega in skalnih blokov ter kamnov je torej nastala počasi tekoča masa, ki je ob premikanju po travnatih dolinskih bregovih hitro izgubljala vodo in s tem postajala vedno gostejša ter s tem počasneje tekoča. Ko se je kamninski blatni tok ustavil, je iz njega odtekla še preostala voda in ostal je trd gost zemljin in kamninski material.

Pri terenskem pregledu okolice kamninskega toka smo na travnatih brežinah, zgrajenih iz vršajev, odkrili sveže odprte razpoke v tleh, nastale ob potresu. Predstavljajo zgornji odlomni rob obsežnega plazišča. Taka odkritja nam kažejo, da se bodo vse posledice potresa pokazale šele v bližnji prihodnosti.

Plazenje obale Bohinjskega jezera

Le s podrobnimi preiskavami sestave tal v globini s pomočjo vrtnanja bi bilo mogoče ugotoviti, kako je prišlo do zdrs del obale Bohinjskega jezera v dolžini približno 100 m. Najbolj verjeten mehanizem, ki si ga lahko na osnovi terenskega ogleda predstavljamo, je, da med plastmi ledeniških morenskih nanosov in pobočnih gruščev, ki sicer pretežno gradijo jezersko obalo, na mestu zdrs, v globini nekaj metrov, nastopa vmesna plast fino zrnatih rahlo odloženih jezerskih sedimentov, prepojenih z vodo. Ob njej je ob potresu prišlo do zdrs vseh zgoraj ležečih plasti proti jezeru. Ob tem je nastala navpična razpoka. Nekateri strokovnjaki tudi menijo, da je v njej v primeru, da je ta plast debelejša, ob potresu prišlo do tako imenovane likvefakcije (utekočinjenja tal) in je zdrs samo sekundarni pojav (slika 10).

Zračni udar v dolini Lepene

Iz gore Lemež visoko nad koncem doline Lepene se je ob potresu sprožil velik

hribinski podor. Nastal je na območju, kjer je bila hribina močno razpokana. Razpoklinski sistemi so bili zaradi fizikalnega preperevanja, kot je vpliv zmrzali, še dodatno poudarjeni in strižna trdnost ob razpokah zmanjšana. Ob tresljajih potresnih sunkov je prišlo do zdrsra ob spodnji strmo nagnjeni ploskvi plastnatosti skladov apnenca in do nepravilnih vertikalnih odlomov ob različnih razpoklinskih sistemih. Odlomljen material je zdrsel najprej po prvi odlomni ploskvi plastnatosti prek previsa na drugo, od zelo starih podorov in snega zglajeno ploskev skladnatih apnencev. Na desni strani se je odbijal od navpičnih sten, tako da je bil pas padajočega skalovja zelo ozek. Prek zadnjega previsa se je že močno zdrobljen material zrušil na melišče. Gladke strmo nagnjene ploskve plastovitosti in vmesni previsi, zaradi snežnih plazov očiščeni vseh ovir, hitrosti padajoče gmote niso nič zmanjšali, zato je njena hitrost ob drsenju in padanju iz nadmorske višine več kot 2000 m, kjer je nastal podor, pa do doline, dosegla izredno hitrost. Ob končnem udarcu na melišče je nastal strašen hrup. Skale in kamni so se razbili v manjše drobce in dvignil se je rumen oblak, ki je zatemnil celo dolino Lepene. Temu se je pridružil zračni udar, podoben zračnim udarom, ki nastanejo ob eksplozijah. Močan veter zračnega udara, ki je divjal verjetno s hitrostjo prek 300 km na uro, je prevrnil vse smreke neposredno pod meliščem in nato v dveh krakih udaril prek smrekovega gozda. Prvi ozek, okoli 15 metrov širok piš je zavel skozi visok smrekov gozd in smrekam odlomil gornji del krošnje ali pa jih je prevrnil. Nastala je ozka, neprehodna "poseka" podrtih dreves, vseh zvrnjenih v isto smer (sliki 11 in 12), ki je pričala o izredni moči vetra. Drugi krak piša je sledil strugi potoka, ki izvira izpod melišča, podiral smreke ob levem bregu in udaril na travnik ob kmetiji. Tu je mogočni sunek vetra potisnil celotno streho lope ob tla (slika 13).

Še nekaj zanimivosti

Skale, ki so se kotalile v doline, so ponekod dosegle velikanske razsežnosti. Večinoma so se razbile ob padanju po strmih pečinah, nekatere pa so ostale cele in ponekod dosegle celo do 200 in več kubičnih metrov velikosti. Primer izpod Malega Lipnika, imenovanega tudi Srednja špica (1819 m), kjer se je ogromna skala prikotalila v krnico Dolič, kaže slika 14. Še nekaj tednov po potresu so potoki in reke tekli umazani. Domačini so govorili, da je Tolminka tekla rdeča, kakšne barve je bila Lepenščica, pa vidimo na sliki 15. Med zanimivosti lahko uvrstimo tudi posnetek (slika 16) "snežno kamnite gobe", ki je nastal kmalu po potresu na planini Zagreben nad Lepeno. Na višini 1550 metrov pod jugovzhodno steno kote 1776 je pod delom odlomljene skale ostal sneg in ustvaril zanimivo obliko gobe.

Zanimiv pojav pa smo lahko opazovali na gredicah v vasi Magozd nad Kobaridom. Ob potresu se je zrahljana zemlja dvignila, pravzaprav je vzvalovila s približno valovno dolžino 1,8 m (slika 17).

Vsi smo gledali in se čudili velikanskim podorom, ki so nastajali na Krnu, ob Tolminki, na Krnčici, Lipniku itd., hkrati pa smo zanemarili manj vidne, vendar nič manj pomembne poškodbe v naravi. Podori so nastali v nestabilnih pobočjih in bi do njih prišlo prej ali slej - potres je ta dogajanja le pospešil. Poškodbe, ki so značilne za višje intenzitete potresov, pa so premaknjene ali celo prevrnjene skale na položnih pobočjih, ponekod pa so se skale celo razklale (slika 18). Tovrstne poškodbe bi bilo seveda potrebno statistično obdelati in s tem dopolniti ali celo spremeniti tisti del evropske potresne lestvice, ki opisuje poškodbe v naravi.



Slika 2. Ravninski zdrs iz dvatisočaka Lemeža je ob drugih podorih spremenil podobo te gore.

Figure 2. The planar failure on the 2,000 metre Lemež, together with other failures, changed the image of this mountain.

Slika 3. Klinasti zdrs z grebena Šije je povzročil nastanek velikega melišča, ki na srečo ni ogrozilo objektov v dolini.

Figure 3. Wedge failure from the ridge of Šija caused the appearance of a big scree, luckily not endangering the building in the valley.



Slika 4. Eden od številnih podorov na hribovju v okolici izvira Tolminke. Najbolj je bila prizadeta gora Osojnica, kjer so nastali podori na več mestih.

Figure 4. One of the many rockfalls in the mountains around the spring of the Tolminka river. The most damaged was the Osojnica mountain, where rockfalls occurred in several places.



Slika 5. Gora Krn je na jugozahodni strani spremenila svojo podobo. Ogromni podori so drseli v dolino še nekaj tednov po glavnemu potresu, posamezne večje ali manjše skale pa padajo še danes.

Figure 5: The Krn mountain changed its appearance on the south-western side. Huge rockfalls continued sliding into the valley several weeks after the main shock, with larger or smaller rocks still falling today.



Slika 6. Prekrasna pot, ki iz planine Polog vodi do izvira reke Tolminke, je skoraj v celoti poškodovana. V začetku jo je zasul podor, višje pa jo je razdejalo plazenje, ki je povzročilo nastanek razpok decimetrskih dimenzij, v dolžini več deset metrov.

Figure 6. The magnificent path leading from the Polog alp to the Tolminka spring was almost completely ruined. The beginning was buried beneath a rockfall, while higher up the path was destroyed by slides, causing cracks of several decimetres wide and several tens of metres long.



Sliki 7 in 8. Na sliki 7 vidimo enega največjih podorov, ki je zgrmel z Osojnice proti reki Tolminki, slika 8 pa kaže pogled na vrh Osojnice. Vidimo, da so tri pobočja gore zgrmela v dolino, pa tudi vrha nima več.
Figures 7 and 8. Figure 7 shows one of the largest rockfalls falling from Osojnica towards the Tolminka, while Figure 8 presents the top of Osojnica. One can see that the rock fell into the valley from three sides, and the top of the mountain has dissapeared.



Slika 9. Kamninski tok v začetku doline Lepene v dolžini več sto metrov z razvejanimi kraki je zaradi izgube snega in vode vedno manjši in miruje, vendar je še vedno grozljiv.

Figure 9. Mudstone flow at the beginning of the Lepena valley of a length of several hundred metres with branched courses becoming smaller and also due to the loss of snow and water, but it is still horrifying.



Slika 10. Spremenilo se je tudi Bohinjsko jezero, kjer je del obale v dolžini 100 m zdrsel v jezero.

Figure 10. The Bohinj Lake has also changed, with part of the shore of a length of 100 m having slid into the water.



Sliki 11 in 12. Številne podore iz Lemeža je spremljal močan zračni udar, ki je prevrnil (11) ali polomil (12) vsa drevesa v pasu širine okoli 15 metrov in v dolžini 500 metrov.

Figures 11 and 12. Many rockfalls from Lemež were accompanied by heavy air shocks, turning over (11) or falling (12) all trees in a strip of some 15 metres and of a length of 500 metres.



Slika 13. Piš je dosegel tudi nekatere zgradbe. Na slikah vidimo, kako je potresni sunek dvignil lopo, ki jo je kasnejši piš dobesedno premaknil za več metrov.
Figure 13. Air shocks also reached some buildings. The figures show how the earthquake shock raised a shed, which the subsequent air shock literally moved on several metres further.



Slika 14. Velikanski skalnati bloki grozeče prekrivajo sprehajalne in planinske poti, ponekod pa so poškodovali tudi cestišča (dolina Lepene, cesta čez Vršič ...).
Skala na sliki, velikosti čez 200 m³ se je prikotalila z Malega Lipnika v krnico Dolič.

Figure 14. Huge rock blocks ominously cover the walking and mountain paths, in some places damaging roads (the Lepena valley, the road over the Vršič pass, etc.). The rock block in the picture, of a size exceeding 200m³, rolled down from Mali Lipnik to the Dolič basin.

Slika 15. Večina vodotokov je v prvih dneh po potresu tekla popolnoma umazana.

Pri nekaterih se je spreminjal celo vodostaj. Posnetek kaže strugo Lepenščice.

Figure 15. In the first days after the earthquake, most of the water flows were completely dirty. In some, even the water levels were changing. The picture shows the bed of the Lepenščica.



Slika 16. Na območju planine Zagreben nad Lepeno je nastal zanimiv pojav. Pod delom odlomljene skale, ki se je prikotalila na snežišče, je ob taljenju snega nastala "snežno kamnita goba".

Figure 16. An interesting phenomena occurred in the area of the Zagreben mountain/meadow above Lepena. Under part of a broken-off rock, rolling onto a snowfield, a "snow-stone mushroom" appeared during melting of the snow.



Slika 17. Ob potresu so tla dobesedno vzvalovila in dvignila zemljo v gredicah. Posnetek je bil narejen dan po potresu v vasi Magozd nad Kobaridom.

Figure 17. During the earthquake, the ground was undulated and the soil raised in the form of beds. This picture was taken one day after the earthquake in the Magozd village above Kobarid.



Slika 18. V krnskem gorovju so se številne skale premaknile, prevrnile ali celo razklale.

Figure 18. In the Krn mountain range, many rocks were moved, turned over or even split.

Fotografije R. Vidrih, 14 in 16 T. Ovčak.

Photos by R. Vidrih; 14 and 16 by T. Ovčak.

Tveganje nastanka podorov zaradi potresov

Karta tveganja nastanka hribinskih podorov ob predvidenem potresu maksimalne intenzitete po seizmološki karti Slovenije za povratno dobo potresov 500 let je nastala z računalniškim modeliranjem (Ribarič, 1980, Ribičič, Šinigoj, 1996, Vidrih et al., 1991) (slika 19). Po kriterijih, podanih v naslednji preglednici, so združeni rezultati treh kart:

- seizmološka karta Slovenije za povratno dobo 500 let
- inženirsko-geološka karta Slovenije
- karta nagibov pobočij

STOPNJA TVEGANJA NASTANKA PODOROV			
Intenziteta potresa po EMS-lestvici			
KAMNINA	VII	VIII	IX
Zelo trdne hribine	Majhna	Srednja	Velika
Trdne hribine	Srednja	Velika	zelo velika
Srednje trdne hribine	zelo majhna	Majhna	Srednja
Polhribine	ni tveganja	zelo majhna	zelo majhna
ZEMLJINE	ni tveganja	ni tveganja	ni tveganja

Opomba: Karta tveganja je bila izdelana leta 1994 (R. Vidrih, M. Ribičič: *Vpliv potresov na nastanek plazov v Sloveniji, Prvo slovensko posvetovanje o zemeljskih plazovih, Idrija*) in se sklada s posledicami potresa v Posočju (Ribičič, Vidrih, 1998, Vidrih, Ribičič, 1994).

Splošna geološka zgradba zgornjega Posočja

Splošna geološka zgradba je prikazana na *geološki karti zgornjega Posočja* v merilu 1 : 50000 (slika 20). Karta je služila kot podlaga za izdelavo *pregledne inženirsko-geološke karte* in *pregledne karte seizmične mikrorajonizacije*. Na karti so prikazani tudi hribinski pojavi, ki so se sprožili ob podoru - hribinski podori, planarni in klinasti hribinski zdrsi. V preglednici na naslednji strani so naštetih raznovrstni pojavi v naravi in ocena intenzitete potresa, ob kateri se sprožajo.

Pas največjih poškodb v naravi se vleče od Bovca, kjer je nastalo več manjših podorov, po jugozahodnih grebenih, ki se dvigujejo nad prekrasno dolino Lepene, Krnskem pogorju, do izvira Tolminke in planine Polog nad Tolminom. Številne manjše poškodbe so še na več mestih. Najznačilnejše poškodbe in spremembe v naravi potekajo v pasu dinarske smeri, to je severozahod - jugovzhod.

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

X območje največje uporabnosti za določitev intenzitete

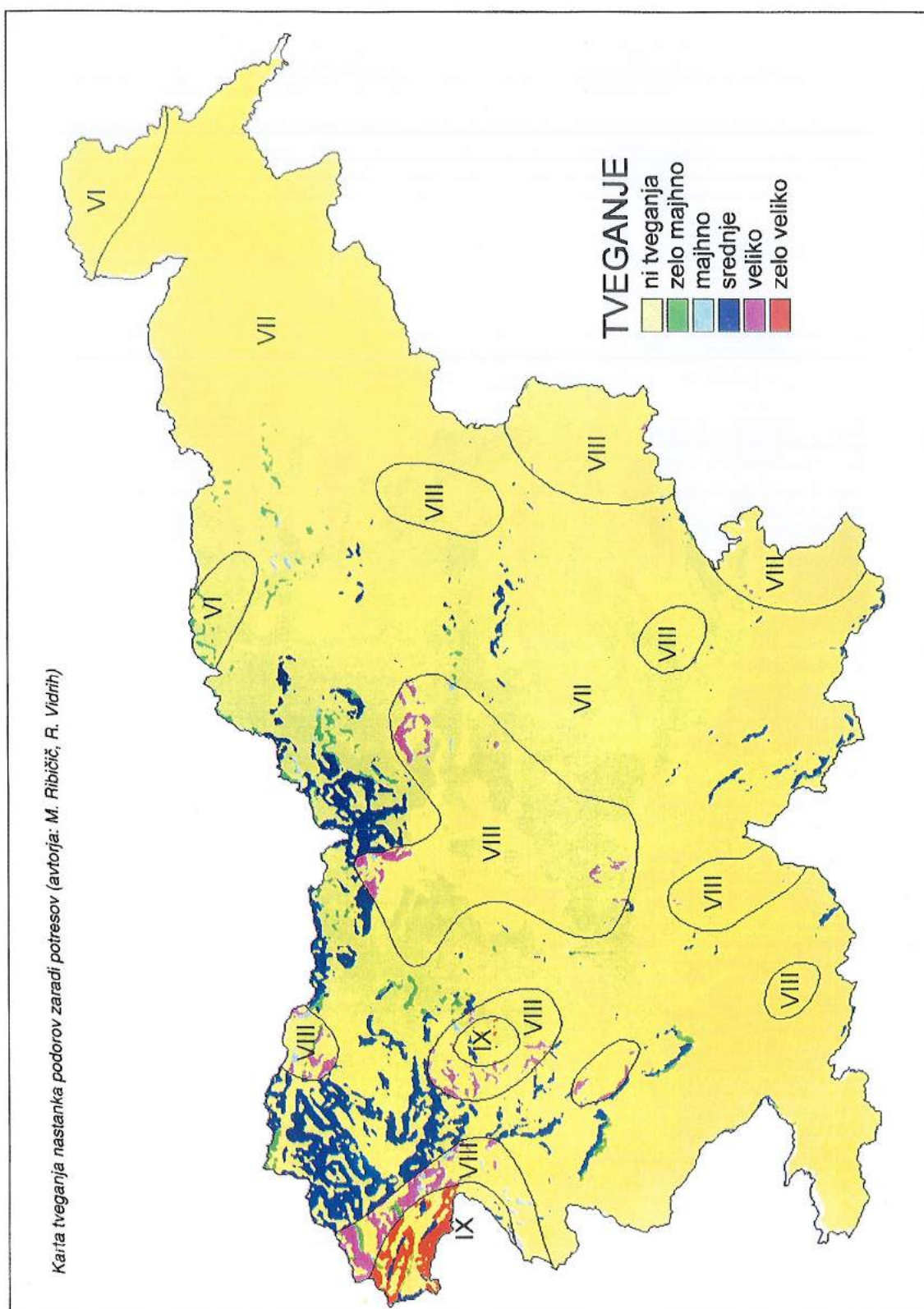
O intenzitete tudi značilne za ta pojav

Opomba: Z večjo intenziteto narašča velikost pojavov in pogostost pojavljanja

Pas največjih poškodb v naravi se vleče od Bovca, kjer je nastalo več manjših podorov, po jugozahodnih grebenih, ki se dvigujejo nad prekrasno dolino Lepene, Krnskem pogorju, do izvira Tolminke in planine Polog nad Tolminom. Številne manjše poškodbe so še na več mestih. Najznačilnejše poškodbe in spremembe v naravi potekajo v pasu dinarske smeri, to je severozahod - jugovzhod.

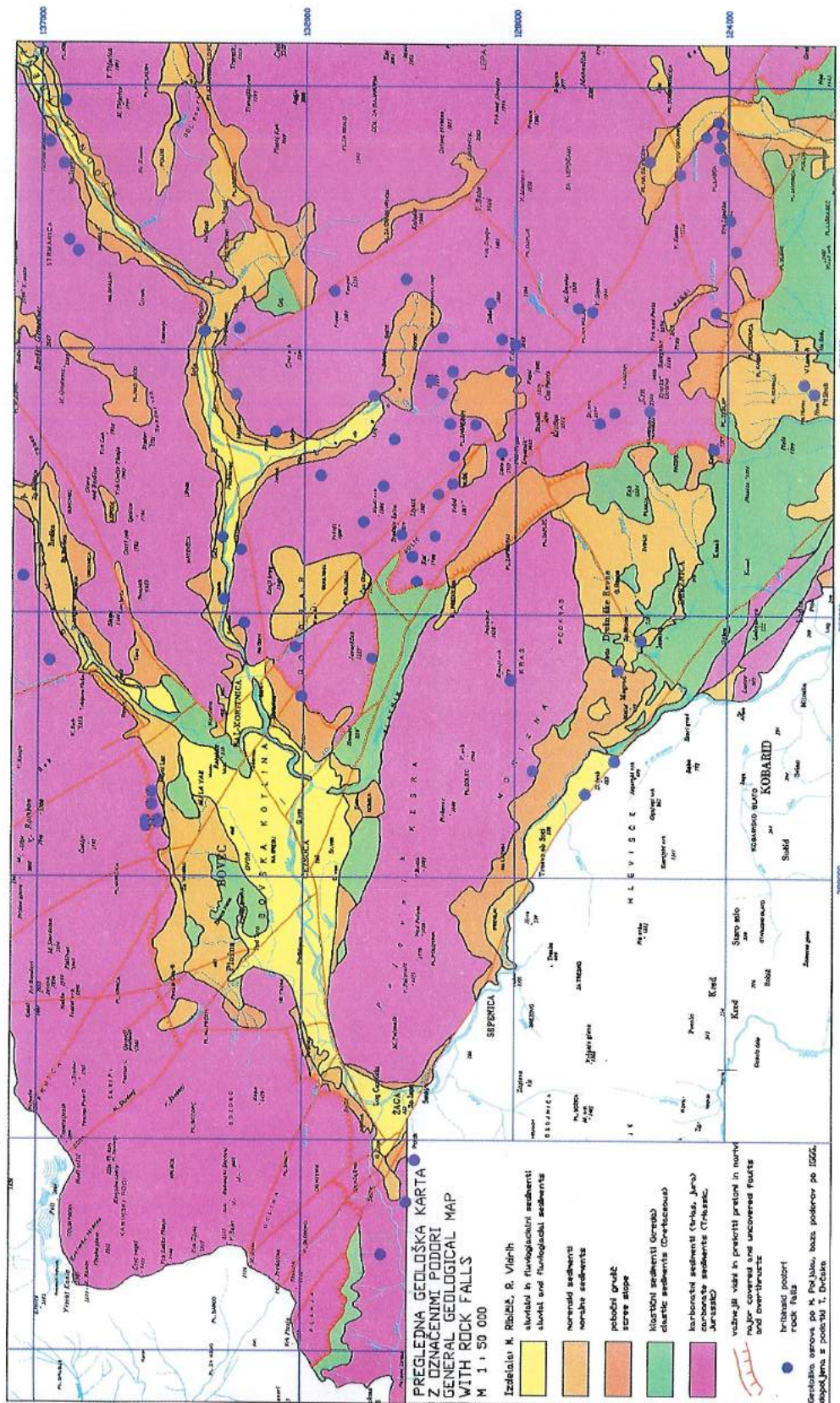
Pregledna karta seizmične mikrorajonizacije posočja

Ob koncu smo izdelali na podlagi geoloških in seizmoloških podatkov novo karto potresne mikrorajonizacije, ki pa jo objavljamo v članku, ki obravnava inženirsko-geološko zgradbo Posočja.



Slika 19. Karta tveganja nastanka hribinskih podorov ob predvidenem potresu maksimalne intenzitete po seizmični karti Slovenije za povratno periodo potresov 500 let (Ribarič, 1987, Vidrih, Ribičič, 1994).

Figure 19. Map of rockfall risk during the maximum intensity earthquake expected according to the seismic map of Slovenia for the return earthquake period of 500 years (Ribarič, 1987, Vidrih, Ribičič, 1994).



Slika 20. Splošna geološka zgradba zgornjega Posočja z vrisanimi hribovskimi podori (geološka osnova M. Poljak, kataster podorov IGGG in T. Ovčak).
Figure 20. General geological structure of upper Soča Territory with marked rockfalls (geological base M. Poljak, register of rockfalls IGGG and T. Ovčak).

Zaključek

Po geološkem ogledu terena smo geologi lahko ugotavljali dve stvari; kakšna je moč narave in kakšen je odnos človeka do nje. Po eni strani smo gledali grozljive posnetke popolnega opustošenja in sprememb, ki v človeku vzbujajo strah in spoštovanje do naravnih sil. Po drugi strani pa smo se "veselili" teh pojavov, saj jih geolog doživi mogoče le enkrat ali nikoli v svojem življenju. Ob tej grozljivi moči narave pa seveda vedno znova in znova ugotavlja, da je potrebno živeti z naravo v sožitju. Večina ljudi, ki so bili sami ogroženi, na poškodbe v naravi sploh ni reagirala. Človek vedno vidi le sebe in če ni sam ogrožen, ga stvari, ki se dogajajo okoli njega, ne zanimajo preveč, pa četudi je to narava, od katere je odvisno celotno človeštvo. Tokratni potres je ponekod naravo tako spremenil, da bodo potrebni celo popravki na geografskih kartah.

Literatura

- Hoek, E. 1997. Rock slope engineering. E & FN Spon, 254 p, London.
- Ribarič, V., 1980. Potresi v Furlaniji in Posočju leta 1976. Kratka seizmološka zgodovina in seizmičnost obrobja Vzhodnih Alp. Potresni zbornik, 17-81, Tolmin.
- Ribarič, V., 1987. Seizmološka karta za povratno periodo 500 let. Zajednica za seizmologiju SFRJ, Beograd.
- Ribičič, M. & Šinigoj, J. 1996. Karte ogroženosti in tveganja zaradi plazov na območju Slovenije. Geografski informacijski sistemi v Sloveniji 1995-1996, Zbornik referatov simpozija, 115-124, 8 pril., Ljubljana.
- Ribičič, M., Vidrih, R., 1998. Poškodbe v naravi ob letošnjem potresu v Posočju. Življenje in tehnika 49, september 1998, Ljubljana, 48-56.
- Ribičič, M., Vidrih, R., 1988. Geološka, seizmološka in gradbena analiza posledic potresa v Posočju. Lep dokaz, da sestava tal lahko zelo ojači ali omili seizmične valove. DELO - Znanost, 14. oktobra 1998, Ljubljana.
- Ribičič, M. & Vidrih, R. 1998. Vpliv potresov na nastanek podorov in plazov. Ujma 12, 95-105, Ljubljana.
- Vidrih, R. et al., 1991. Potresna ogroženost Slovenije. Občine: Brežice, Idrija, Krško, ljubljanske občine, Tolmin. Seizmološki zavod SR Slovenije in Republiški štab za civilno zaščito, Ljubljana, 214 str., 5 prilog.
- Vidrih, R. & Ribičič, M. 1994. Vpliv potresov na nastanek plazov v Sloveniji. Prvo slovensko posvetovanje o zemeljskih plazovih, Idrija 17.-18.11.1994, Zbornik, 33-46, Idrija.

- Vidrih, R., Godec, M., 1998. Potres v Posočju 12. aprila 1998. Življenje in tehnika XLIX, junij 1998, 59-68, Ljubljana.
- Vidrih, R., 1998. Potres v Posočju seizmologov ni presenetil. Vsi kraji, kjer je nastalo največ poškodb, so zgrajeni na slabi podlagi-na nanosih rek in potokov in na pobočnih gruščih. DELO - Znanost, 20. maj 1998, Ljubljana.
- Vidrih, R., Ribičič, M., 1998. Geološke posebnosti potresa 12. aprila v Posočju. Potres je povzročil ne le veliko škodo na hišah, pospešil je tudi geološko dogajanje. DELO -Znanost, 10. junija 1998, Ljubljana.
- Vidrih, R., 1998. Primorska je potresno zelo ogroženo območje - feljton (1-9), Primorske novice, 17. julij - 4. avgust 1998.

Potres 12. aprila 1998 v zgornjem Posočju
**INŽENIRSKO-GEOLOŠKA ZGRADBA TAL IN POŠKODBE
OBJEKTOV**
The earthquake on April 12, 1998 in the upper Soča Territory
**THE ENGINEERING-GEOLOGICAL STRUCTURE AND
DAMAGE TO BUILDINGS**

Matjaž Godec, Renato Vidrih*, Mihael Ribičič⁺

Izvleček. Največ poškodb, nastalih ob velikonočnem posoškem potresu, je bilo na starejših objektih. Pri oceni učinkov potresa na gradbene objekte smo na Upravi RS za geofiziko uporabili podatke, ki smo jih zbrali sami, kot tudi podatke, ki so jih zbrali ocenjevalci poškodb na objektih, ki so delali v okvirju Ministrstva za okolje in prostor. Metodologija ocenjevanja poškodb je dovolj podobna, tako da lahko vse podatke uporabljamo pri ocenjevanju učinkov potresa v skladu z navodili EMS-lestvice (Evropska potresna lestvica).

Namen analize posledic potresa je, da se pridobijo podatki za čim boljše poznavanje seizmičnosti in čim boljše sanacijo objektov ter potresno varnejšo gradnjo v prihodnosti. Pri tem pa je nujno sodelovanje seizmološke, geološke in gradbeniške stroke. Poleg analize škode smo izdelali tudi karto seizmične mikrorajonizacije zgornjega Posočja, ki gradbenikom omogoča pri sanaciji poškodovanih objektov in gradnji novih objektov upoštevanje tudi pričakovane osnovne stopnje seizmičnosti pri verjetnosti potresa s povratno dobo 500 let in lokalno sestavo tal.

Abstract. Most damage caused by the Easter earthquake in Posočje involved older buildings. To assess the effects of the earthquake on buildings, the Geophysical Survey of the Republic of Slovenia used the information which it collected itself as well as data collected by those assessing damage to buildings working within the Ministry of Environment and Spatial Planning. The methodology of assessing damage is sufficiently similar to allow the information to be used in assessing seismic effects according to the EMS (European Macroseismic Scale) instructions.

The purpose of analysing seismic effects is to acquire information leading to the greatest knowledge about seismic activities and the best ways of repairing buildings and constructing more earthquake-resistant ones in future. To achieve this, it is necessary for seismological, geological and civil engineering experts to co-operate. Apart from the damage analyses, we also created a map showing the seismic micro-division of the upper Soča Territory region, enabling civil engineers to take into account the expected basic level of seismic activity with the probability of an earthquake with a return period of 500 years and the local composition of the ground in repairing the damaged buildings.

Kategorije poškodb

Poškodbe na gradbenih objektih so v skladu z navodili EMS-lestvice razdeljene v pet stopenj, in sicer (Grünthal, 1993):

1. stopnja Poškodovanost je zanemarljiva do neznatne (na sami konstrukciji ni poškodb): pojav lasastih razpok na malokaterih zidovih, odpadejo le manjši kosi ometa, pri malokaterih zgradbah je opaziti odpadanje

* Ministrstvo za okolje in prostor, Uprava RS za geofiziko, Kersnikova 3, Ljubljana

⁺ Gradbeni inštitut, ZRMK, Dimičeva 14, Ljubljana

majavih kamnov iz zgornjega dela objekta. Pri teh poškodbah je objekt uporaben.

2. stopnja Poškodovanost je zmerna (konstrukcija je neznatno poškodovana, nekonstrukcijski (nenosilni) elementi pa so srednje močno poškodovani) na mnogih zidovih so razpoke, dokaj veliki kosi ometa odpadejo, deli dimnikov se porušijo. Pri teh poškodbah je objekt uporaben.
3. stopnja Poškodovanost je znatna do velike (konstrukcija je zmerno poškodovana, nekonstrukcijski elementi pa so močno poškodovani): na večini zidov so široke in velike razpoke, drsenje opečnih in skrilastih strešnikov, dimniki se odlomijo v višini strehe. Pri teh poškodbah je objekt začasno neuporaben.
4. stopnja Poškodovanost je zelo velika (težke poškodbe konstrukcije, zelo težke poškodbe na nekonstrukcijskih elementih): bistvene porušitve zidov, delna porušitev konstrukcije. Pri teh poškodbah je objekt začasno neuporaben.
5. stopnja Uničenje (zelo velika poškodovanost konstrukcije): popolna ali skoraj popolna porušitev. Pri teh poškodbah je objekt neuporaben.

Pregledna inženirsko-geološka karta zgornjega Posočja z vrisanimi kategorijami poškodb zgradb

Karta služi za opredelitev splošnih pogojev posegov v teren, ki se bodo v veliki meri izvajali v času sanacije. V legendi, kot prilogi k inženirsko-geološki karti, so ti pogoji podrobno opisani (sliki 1 in 2).

Na karti so prikazane tudi kategorije poškodb na zgradbah ob potresu, kot so jih ugotovili popisovalci škode takoj po potresu. Te kategorije poškodb se dobro ujemajo z navodili EMS-lestvice. Tako smo pri statističnem vrednotenju podatkov za opis učinkov potresa lahko uporabili tudi tako pridobljene podatke.

I. kategorija - manjše poškodbe

Delno razkritje strehe, manjše razpoke na konstrukciji (zidovi, stropovi do 2 mm) razbita zasteklitev, manjše poškodbe instalacij (voda, elektrika, kanalizacija).

OBJEKT UPORABEN stopnja poškodovanosti – do 15 %

II. kategorija - srednje poškodbe

Pretežno razkrita streha, razpoke na konstrukciji (zidovi, stropovi od 2 do 10 mm) premaknjena okna in vrata, razbita zasteklitev, poškodbe na vodoinstalaciji – ta je

neuporabna, manjše poškodbe elektronapeljave.

OBJEKT UPORABEN stopnja poškodovanosti – od 15 % do 30%

III. kategorija - hude poškodbe

Razkrita streha in premaknjeno oziroma poškodovano ostrešje, večje razpoke na konstrukciji (zidovi, stropovi – nad 10 mm) okna in vrata premaknjena, poškodbe na instalacijah – so neuporabne.

OBJEKT JE ZAČASNO NEUPORABEN stopnja poškodovanosti – od 30 % do 50%

IV. kategorija - zelo hude poškodbe

Delne porušitve nosilne konstrukcije (streha, zidovi, stropovi, stopnišča), uničene instalacije – ugotoviti smotrnost in racionalnost sanacije.

OBJEKT JE ZAČASNO NEUPORABEN stopnja poškodovanosti – do 70 %

V. kategorija - porušitev

Porušitev konstruktivnih elementov v taki meri, da sanacija ni upravičena.

OBJEKT JE NEUPORABEN stopnja poškodovanosti – nad 70 %

Še enkrat poudarjamo, da je kategorizacija popisa škode na poškodovanih zgradbah v toliki meri podobna predpisani v EMS, da jo lahko uporabimo v nadaljnji analizi. Nekaj primerov poškodb različnih stopenj, značilnih za posamezne intenzitete, vidimo na slikah 4 do 15 (stopnje poškodb, ki so podane pri slikah, so približne in rabijo le za možnost primerjave; za natančnejšo določitev je potreben opis gradbenih materialov in načina gradnje, ki je bil uporabljen).

Slika 1. Pregledna inženirsko geološka karta zgornjega Posočja z vrisanimi poškodbami zgradb (Ribičič, 1999)

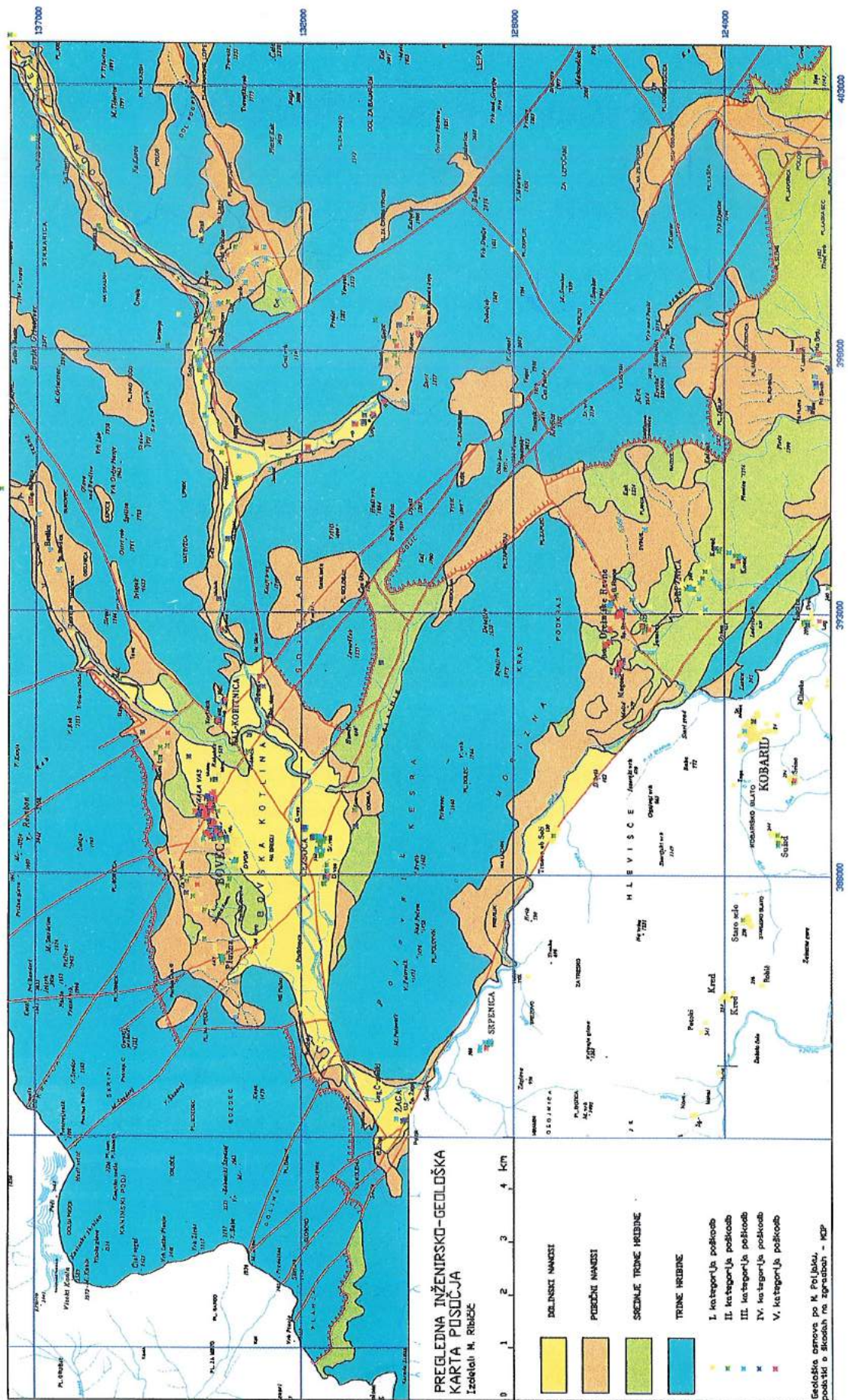
Figure 1. Overview engineering-geological map of upper Soča Territory with damage marked on buildings (Ribičič, 1999).

Slika 2. Legenda k inženirsko-geološki karti zgornjega Posočja



Figure 2. Legend to the engineering-geological map of upper Soča Territory.

Slika 3. Pregledna karta seizmične mikrorajonizacije (na osnovi geološke zgradbe) zgornjega Posočja (Ribičič, Vidrih, 1998)

Figure 3. Overview map showing seismic micro-distribution (on the basis of geological composition) of upper Soča Territory (Ribičič, Vidrih, 1998).



PREGLEDNA INŽENIRSKO-GEOLOŠKA KARTA POSOČJA (RAZŠIRJENA LEGENDA)

DELITEV KAMNIN	OZNAKA	NASTANEK KAMNIN	OPIS KAMNIN	MORFOLOŠKA OBLIKOVANOST	FIZIKALNO GEOLOŠKI POJAVI	PREPERINA		KATEGORIJA IZKOPA		OCENA POGOJEV TEMELJENJA IN GRADNJE				UPORABNOST ZA VGRADNJO
						DEBELINA	VRSTA	USCS	PREFERENA	KAMNINA	OPIS	DOPIJUNA NOSILNOST (kN/m ²)	OCENA PRIMERNOSTI GRADNJE	
ZEMLJINE		nanosi rek in potokov, fluvio-glacialni sedimenti ter odlaganje drobovznatih frakcij v jezernih	prod in pesek; podrejeno melj, gline, konglomerat; vmes lahko velike šale sprinca; ponekod plast jezarske krede (melj in peski)	ravninski svet, terasa od strugah rek in potokov	močna erozija rek in potokov; možnost posegov na glinastih zemljinah in posamezni pojavi nestabilnosti ob robovih teras; jezarska krede pod vplivom vode hitro razpada v ravnje zemljine	humus, rodovitna prst in glinob- gnaščaste zemljine	CL OL CL CH MH	I - II I - II (konglomerat V)	srednje do dobro nosilna tla; primerni pogoji na večjih slojih do srednje nosilna tla, ki zahtevajo izvedbo temeljenja v sušnem razdobju	cca 350; na jaceski kodi	zelo primerno na večjih površinah za sklenjena gradnja	sprenjila nivo vspegljivi reki odprti vodni horizont; jezarska krede neopustna za vodo in v njej hitro razpada	1:1,5 do 1:2 v kledi zaščita gradbene jame	zelo uporaben in primeren razen jezarska krede
			pod strmini skalinami poboči, kot produkt izkalelega preperavanja oziroma posledica ledeniških nanosov	vršaji, melišča, pobočni grušč in tili iz nezaojbljenih in slabo zaojbljenih kosov meliščne kamnine (apnenca), z bolj ali manj zaglijnjene osnove	položno do srednje nagripena pobočja	podvrženi močni pobočni eroziji; plazovi na neugodnih strmine nagripenih pobočjih ali ob posegih	glinast grušč do glina s prodniki	GC CL	II - III II	slabo do srednje nosilna tla; zahtevajo razširitev pri izbiri lokacije in izvedbi temeljev	200 do 250	mejn primerno tola na večjih površinah	dobro prepustni za vodo; brez podtalnice	1:1,5 do 1:2
HRIBINE		morski klastični turbidni sedimenti	klastični in divji fiš; merjavje plast laporjev, kalkarenitov, konglomeratov in glinovcev (s prodniki)	nastopa v dnu dolin na srednje do položno nagripenih pobočjih	preperinski plazovi in usedi na kritičnih lokacijah; močna linijska erozija vzdolž vodotokov	pusa glina in melji s nosi matičnih kamnin	II - III IV - V	srednje nosilna tla; potreben pazljiv izbor lokacije	200 do 300 (v raskani hribini)	primerno na masln površinah	zadrsna podtalna voda v preperinatem pokrovu	1:1 do 1:1,5 (odvisno od vrsta plasti)	pojojno primeren	
			plivomorski in globljemorski sedimenti	dobroplastnati svetlosveti apnenca in podrejeno doornit; ponekod vlož laporjev in breč	alpski svet z zelo strmimi ali nevpljivimi brežinami; alpski vrhovi in planote	hribinski podori in zrcni na zelo strmih ter nevpljivih pobočjih; izrazito fizikalno preperavanje; odporni na erozijo	glinasto gruščasta preperina v manjši debelini ali brez preperine	CL ML	V - VI	zelo dobro nosilna tla; izsak izkop; primerne lokacije na padčnem terenu	>500 (v raskani hribini)	zelo primerno na redkih izbranih lokacijah	dobro prepustni za vodo; kraška poroznost brez podtalnice	2:1 (vertikalne brežine brez zaščite do 5 m)



Slika 4. Zasukani dimnik v dolini Lepene (poškodba 2. stopnje)

Figure 4. Twisted chimney in the Lepena valley (damage of grade 2).



Slika 5. Podrt podporni zid v Magozdu (poškodba 2. stopnje)

Figure 5. Collapsed supporting wall in Magozd (damage of grade 2).



Slika 6. Podrti podporni zidovi na Javorca, lesena cerkev pa je vzdržala brez poškodb (poškodbe 2. do 3. stopnje)

Figure 6. Collapsed supporting walls on Javorca, with the wooden church experiencing no damage (damage of grades 2 and 3).



Slika 7. Poškodbe Ski hotela na Voglu (poškodba 3. stopnje)
Figure 7. Damage to Ski hotel on Mount Vogel (damage of grade 3).



*Slika 8. Zasuk kamnitih blokov na spomeniku pred Bovcem (poškodbe 3. do 4. stopnje)
Figure 8. Twisted stone blocks on the monument outside Bovec (damage of grades 3 and 4).*



*Slika 9. Močno poškodovana zgradba nad Lepeno (poškodbe 3. do 4. stopnje)
Figure 9. Heavily damaged building above Lepena (damage of grades 3 and 4).*



Slika 10. Razdejano pokopališče v Bovcu (poškodba 4. stopnje)
Figure 10. Heavily damaged graveyards at Bovec (damage of grade 4).



Slika 11. Močno poškodovan objekt (diagonalne razpoke) v Bovcu (poškodbe 4. stopnje).
Figure 11. Heavily damaged house (shear cracks) in Bovec (damage of grade 4).



Slika 12. Popolnoma uničen objekt na planini Polog nad Tolminom (poškodba 5. stopnje)

Figure 12. Completely destroyed building on the Polog mountain above Tolmin (damage of grade 5).



Slika 13. Uničena hiša v Spodnjih drežniških Ravnah (poškodba 5. stopnje)
Figure 13. Destroyed house in Spodnje drežniške Ravne (damage of grade 5).



Slika 14. Uničena sirarna na planini Polog nad Tolminom (poškodba 5. stopnje)
Figure 14. Destroyed cheese dairy on the Polog mountain above Tolmin (damage of grade 5).



Slika 15. Močno poškodovana novejša stanovanjska hiša v Mali vasi v Bovcu
(poškodba 5. stopnje)
Figure 15. Heavily damaged, newer residential house at Mala vas in Bovec
(damage of grade 5).

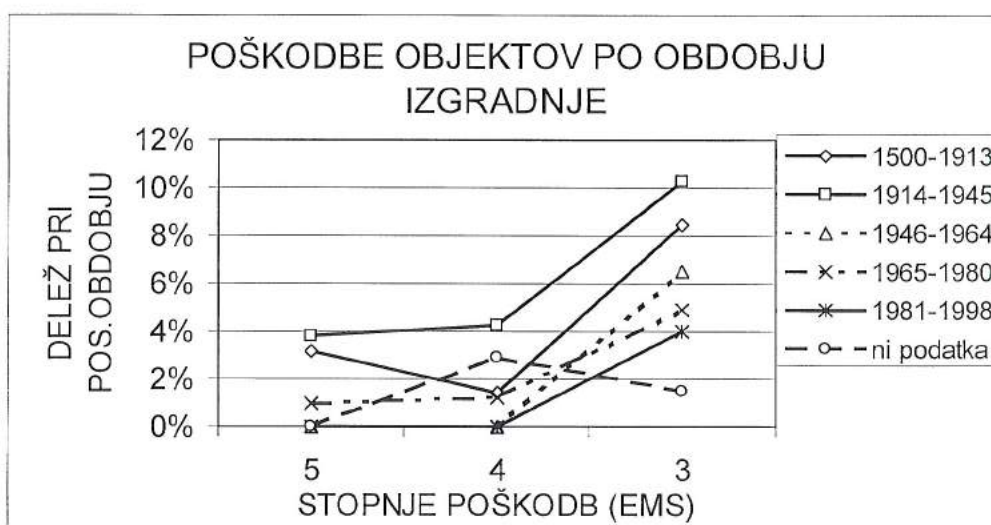
Fotografije R. Vidrih
Photos by R. Vidrih

Analiza podatkov o poškodovanih objektih

Kakšne so splošne značilnosti poškodovanih objektov?

Skupno smo obdelali podatke o 3390 objektih. Večina teh zgradb je bila zgrajena pred letom 1945 (skupno 2492 zgradb). Kar dobrih 6% teh starejših objektov je bilo ocenjenih kot neuporabnih (5. stopnja poškodb). Gre za skupno 160 objektov. V skupnem pregledu pa je to večina vseh tako zelo poškodovanih zgradb. Le 13 zgradb, zgrajenih po koncu druge svetovne vojne, je bilo takšnih, da so utrpele tako hude poškodbe, ki so ocenjene s peto stopnjo. To je dober odstotek pregledanih objektov, zgrajenih po koncu druge svetovne vojne.

Izmed vseh objektov, ki so utrpeli poškodbe 5. stopnje, je bilo kar 93% takšnih, ki so bili grajeni pred letom 1945, večino pa predstavljajo tudi pri drugih poškodbah. Tako je od vseh poškodovanih objektov s poškodbami 4. stopnje kar 91% objektov iz obdobja pred letom 1945, pa tudi med objekti s poškodbami 3. stopnje jih je 87% iz tega obdobja. Skupni delež pregledanih zgradb iz tega obdobja na prizadetem območju predstavlja le 73%. Do podobnih rezultatov pridemo po vsakem potresu, kjerkoli po svetu (slika 16).



Slika 16. Pregled poškodb na objektih glede na obdobje izgradnje

Figure 16. Overview of damage to buildings regarding the period of construction.

Sklepi, ki izhajajo iz analize poškodb na zgradbah

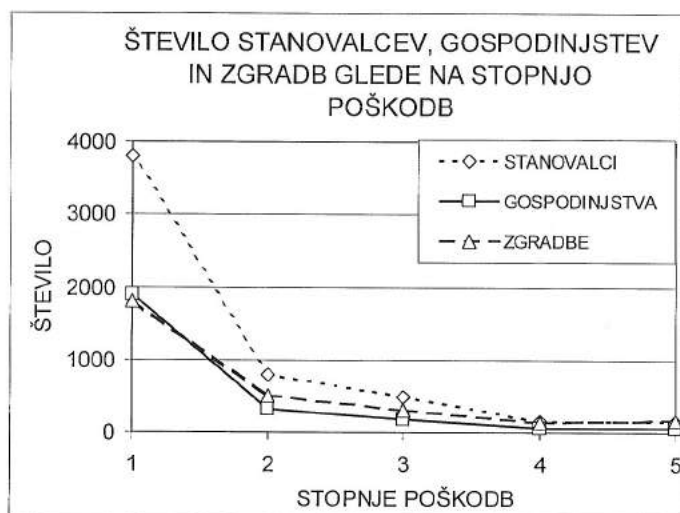
Kaj so tiste bistvene pomanjkljivosti starejših zgradb, da so človeška življenja in dobrine v njih bolj ogrožene.

Tako lahko pri pregledu osnovnih značilnosti objektov, katerih poškodbe ocenjujemo s 5. stopnjo, ugotovimo, da jih je kar dobra petina brez temeljev. Kot primerjavo lahko navedemo, da je med objekti, ki so imeli poškodbe 1. stopnje, kar trikrat manj

takšnih, ki so brez temeljev. Tudi delež objektov s kamnitim zidovjem in lesenimi stropovi je bistveno večji pri objektih s poškodbami 5. stopnje. Ostrešje pa je pri vseh ocenjenih poškodbenih stopnjah v večini (prek 90%) leseno.

Kako pa prebivalci v objektih?

V objektih, ki so utrpeli poškodbe 5. stopnje, je v 67 gospodinjstvih živel 158 ljudi. Večina teh (92%) je živel v zgradbah, zgrajenih pred letom 1945. Tudi v objektih, ki so utrpeli poškodbe 4. stopnje, je v 61 gospodinjstvih živel 157 ljudi. Tudi tu je večina (87%) ljudi živel v starejših objektih, ki so bili zgrajeni pred letom 1945 (slika 17).



Slika 17. Število stanovalcev (gospodinjstev) zgradb glede na stopnjo poškodb

Figure 17. Number of residents (households) of buildings with regard to the level of damage.

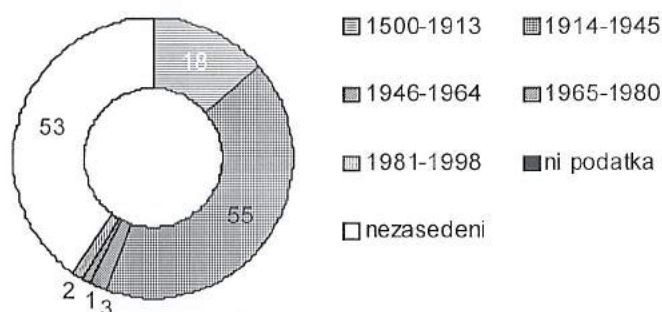
Ob tem pa velja kot zanimivost omeniti, da je med objekti, ki so utrpeli poškodbe 5. stopnje, le 33% takšnih, v katerih so stalno prebivali ljudje (sliki 18 in 19). Preostali objekti so služili drugim namenom. Pri objektih, ki so imeli poškodbe največ 1. stopnje, je objektov, v katerih prebivajo ljudje, kar 60% (slika 20).

Starejše objekte so ljudje vedno obnavljali. Vendar pregled kaže, da niso vsa obnovitvena dela služila temu, da so se objekti tudi potresno ojačili. Pregled poškodovanih objektov je namreč pokazal, da je bilo med objekti, ki so utrpeli poškodbe 5. stopnje, kar 76 (48%) obnovljenih, od tega 53 po letu 1976, ko se je zgodil furlanski potres (slika 21). Tudi med objekti, ki so utrpeli poškodbe 4. stopnje, jih je bilo kar 61 (38%) takšnih, da so bili obnovljeni. Tudi med temi jih je bila večina (53) obnovljena po letu 1976. Že takšen grob pregled daje vtis, da se je pri obnovitvenih delih premalo pozornosti posvečalo ojačevanju objektov. Zato je toliko bolj na mestu odločitev ministrstva, da se vse posege na objektih resda malo počasneje, a zato dosledno in popolno izvaja. Le tako bo verjetnost nastanka hujših

poškodb ob morebitnem novem potresu manjša.

Kakšen je lahko nauk iz pregledanih rezultatov?

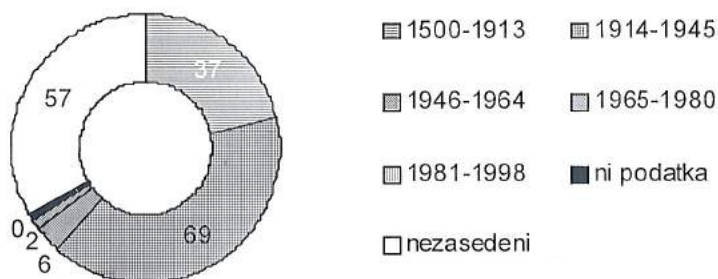
ŠTEVILO ZASEDENIH / NEZASEDENIH OBJEKTOV S POŠKODBAMI 4. STOPNJE



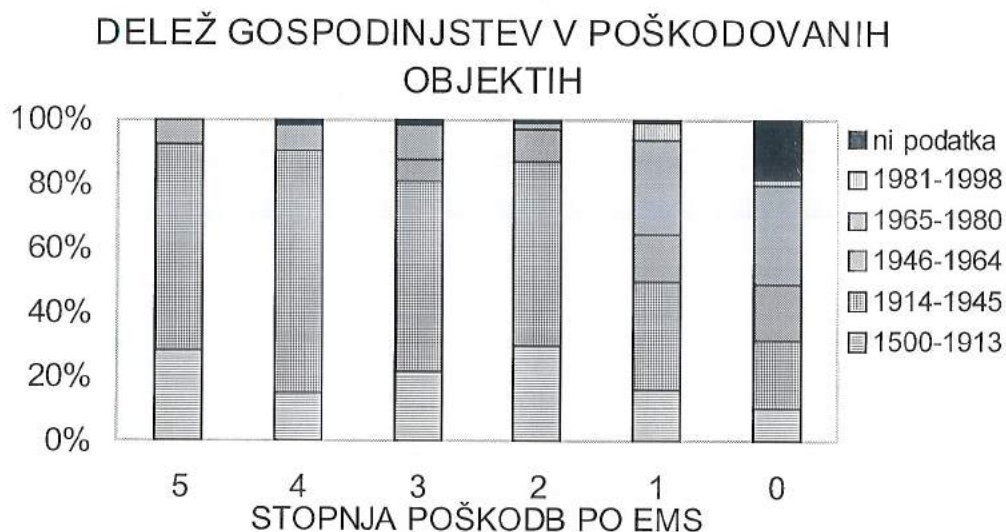
Slika 19. Število zasedenih/nezasedenih objektov s poškodbami 4. stopnje
Figure 19. Number of inhabited/non-inhabited buildings with damage of grade 4.

Znanje in vedenje na področju potresno varne gradnje se nenehno izboljšuje. Tako se izpopolnjujejo tudi predpisi na tem področju. Običajno močnejši potres razgali vse pomanjkljivosti in nepravilnosti, ki so se dogodile v času gradnje (Vidrih, Godec, 1998).

ŠTEVILO ZASEDENIH / NEZASEDENIH OBJEKTOV S POŠKODBAMI 5. STOPNJE



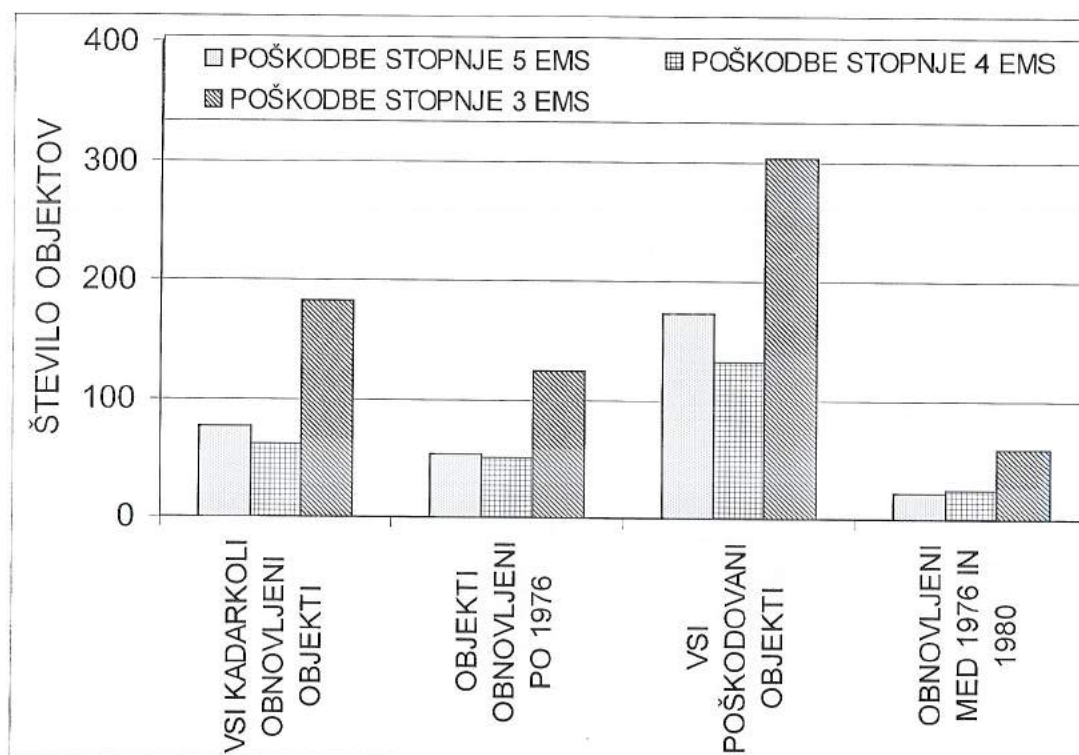
Slika 18. Število zasedenih/nezasedenih objektov s poškodbami 5. stopnje
Figure 18. Number of inhabited/non-inhabited buildings with damage of grade 5.



Slika 20. Gospodinjstva v poškodovanih objektih
Figure 20. Households in damaged buildings.

Uporaba predpisov in izboljšanje vgrajenih materialov se kaže tudi v majhnem deležu novejših objektov, ki so utrpeli hujše poškodbe. Moderen predpis, ki je objektom zagotavljal primerno potresno varnost, smo v Sloveniji sprejeli že leta 1963 (Odredba o dimenzioniranju in izvedbi gradbenih objektov v potresnih območjih – UL SRS 18/63). Sledil mu je leta 1964 izdan Pravilnik o začasnih tehničnih predpisih za gradnjo na seizmičnih področjih (UL SFRJ 39/64). Razvoj stroke in izkušnje po močnih potresih pa so narekovale spremembe predpisov. Tako je leta 1981 stopil v veljavo Pravilnik o tehničnih normativih za graditev objektov visoke gradnje na seizmičnih območjih (UL SFRJ 31/81 z dopolnitvami). Ta pravilnik zagotavlja višji nivo potresne varnosti. Žal za posamezne vrste konstrukcij (inženirski objekti) nimamo primerne predpisa, ker določila predpisa iz leta 1964 za to področje niso uporabna. Tako je Urad Republike Slovenije za standardizacijo in meroslovje kot osnovo za slovenske standarde na področju konstrukcij privzel evropske standarde Eurocode. Področje projektiranja potresno varnih konstrukcij pa obravnava Eurocode 8. Sam standard ima v Sloveniji status predstandarda, nujno pa bo pospešiti dejavnosti, potrebne pri uvedbi prepisov Eurocode v slovenskem prostoru.

Še posebno pozornost pa je potrebno posvetiti povečanju potresne varnosti starejših objektov. Pri pregledu objektov po potresu v zgornjem Posočju je bilo med pregledanimi kar 4/5 grajenih pred letom 1964, ko je bil sprejet predpis o potresno varni gradnji. To še ne pomeni, da so vsi starejši objekti potresno nevarni. Mnogi so solidno zasnovani in kvalitetno izvedeni. Vseeno pa bi bilo potrebno stalno izboljševati potresno odpornost zgradb. Sedaj je najnujnejše obnavljati in potresno ojačevati objekte v Posočju, vendar bo tudi drugod v Sloveniji s sistematičnim ojačevanjem objektov potrebno zmanjšati število potresno nevarnih objektov.



Slika 21. Število kakorkoli popravljenih (obnavljenih) objektov na prizadetem območju

Figure 21. Number of buildings in the area previously repaired (renovated) in any way.

Treba bo narediti marsikaj, da nas potresi v potresno dejavni Sloveniji ne bodo vedno presenečali. Potresi na tem območju so bili in bodo – tudi močnejši. Najboljša zaščita pa je potresno varna gradnja novih in potresno ojačevanje starejših objektov. Vse to pa zahteva sistematično in dolgotrajno delo, pa čeprav močnejšega potresa na posameznem območju ni že nekaj let.

Pri tem pa ne smemo ponavljati lastnih in tujih zmot ter napak, kjer običajno močnejšemu potresu sicer sledijo akcije za trajnejša popravila in izboljšanje predpisov na področju potresno varne gradnje. Vse to pa se v nadaljevanju spremeni v pojemajoč interes ljudi in kasneje (običajno 10 let po potresu pa do naslednjega močnega potresa) celo v zavračanje stroškov in izogibanje predpisom za potresno varno gradnjo.

Preglednica 1a. Tolmač oznak preglednice 1.

Table 1a. Explanation of the notations in Table 1b.

TEMELJI		OSTREŠJA	
1	Brez temeljev	1	Leseno
2	Kamniti temelji	2	Mon.opečno
3	Betonski temelji	3	Betonsk
4	Oostalo	4	ostalo
0	Ni podatka	0	Ni podatka
ZIDOVI		KRITINA	
1	Kamniti	1	korci
2	Mešani	2	strešniki
3	Opečni	3	salonit
4	Betonski	4	ostalo
5	Ostalo	0	Ni podatka
0	Ni podatka	OBDOBJE IZGRADNJE	
STROPI		1	1500-1914
1	Leseni	2	1915- 1945
2	Opečni	3	1946- 1964
3	Betonski	4	1964 – 1980
4	Ostalo	5	1981 – 1998
0	Ni podatka	0	Ni podatka

Preglednica 1. Deleži različnih konstrukcijskih elementov pri objektih s poškodbami različnih stopenj

Table 1. Shares of different construction elements in buildings with damage at different levels.

Preglednica 5. Porazdelitev poškodb po objektih, grajenih v različnih obdobjih.

Table 5. Distribution of damage with buildings constructed in different periods.

stanovalci	5	4	3	2	1	0	skupaj
1500-1913	3%	1%	8%	19%	61%	7%	100%
1914-1945	4%	4%	10%	16%	56%	10%	100%
1946-1964	0%	0%	7%	22%	48%	24%	100%
1965-1980	1%	1%	5%	2%	80%	11%	100%
1981-1998	0%	0%	4%	0%	83%	13%	100%
ni podatka	0%	3%	1%	0%	23%	73%	100%

Preglednica 6. Število poškodovanih, kakorkoli obnavljenih ali ojačevanih objektov.

Posebej je izpostavljeno obdobje po furlanskem potresu (1976).

Table 6. Number of damaged buildings previously renovated or strengthened in any way. The period after the Friulian earthquake is especially stressed (1976)

stopnje poškodb	vsi kadarkoli obnovljeni objekti	obnovljeni po l.1976	obnovljeni med 1976 in 1980	vsi objekti
5	76	53	22	173
4	61	50	24	132
3	182	124	59	304

Preglednica 7. Delež poškodovanih, kakorkoli obnavljenih ali ojačevanih objektov.

Posebej je izpostavljeno obdobje po furlanskem potresu (1976).

Table 7. Share of damaged buildings previously renovated or strengthened in any way. The period after the Friulian earthquake is especially stressed (1976)

stopnje poškodb	vsi kadarkoli obnovljeni objekti	obnovljeni po l.1976	obnovljeni med 1976 in 1980	vsi objekti
5	44%	31%	13%	100%
4	46%	38%	18%	100%
3	60%	41%	19%	100%

Preglednica 8. Število gospodinjstev v objektih, grajenih v različnih obdobjih, glede na stopnje poškodb objektov.

Table 8. Number of households in buildings constructed in different periods regarding the level of damage to buildings.

	5	4	3	2	1	0	skupaj
1500-1913	19	9	40	93	310	40	511
1914-1945	43	46	113	182	633	87	1104
1946-1964	0	0	12	32	285	65	394
1965-1980	5	5	20	8	561	123	722
1981-1998	0	0	2	0	92	9	103
ni podatka	0	1	1	1	23	72	98
	67	61	188	316	1904	396	

Preglednica 9. Število nezasedenih objektov, ki so utrpeli poškodbe 4. in 5. stopnje, glede na obdobje izgradnje.

Table 9. Number of non-inhabited buildings with damages at 4th and 5th levels with regard to the period of construction.

	5	4
1500-1913	37	18
1914-1945	69	55
1946-1964	6	3
1965-1980	2	1
1981-1998	0	2
ni podatka	2	0
	116	79

Pregledna karta seizmične mikrorajonizacije zgornjega Posočja

Kakšni so novi pogoji za potresno varno gradnjo na potresnem območju zgornjega Posočja?

Pri gradnji na različnih območjih Slovenije je treba upoštevati predvideno seizmičnost terena. Po potresu v zgornjem Posočju smo izdelali novo pregledno karto seizmične mikrorajonizacije v merilu 1:25 000 (slika 3). Pri izdelavi karte seizmične mikrorajonizacije je uporabljena uradna *seizmološka karta* (predpisana za uporabo v gradbeništvu) (Ribarič, 1987), ki prikazuje stopnje maksimalne intenzitete potresa za povratno dobo 500 let. Ta karta je veljavna za potresnovarno gradnjo na terenu z različnimi stopnjami intenzitete potresa.

Na karti so z debelimi linijami razmejene cone različnih intenzitet potresa. Obravnavani teren je uvrščen v tri različne stopnje, in sicer v VII., VIII. in IX. stopnjo po EMS-lestvici. Potrebno je opozoriti, da je natančnost določitve meje med conami različne intenzitete ocenjena na napako okoli ± 5 km, zato je treba razmejitve jemati

kot približno prostorsko oceno. Seizmična mikrorajonizacija je bila izdelana na osnovi geološke zgradbe terena (Ribičič, Vidrih, 1998, Vidrih, 1998, Vidrih, Ribičič, 1998).

Predpisi nam omogočajo, da na osnovi sestave tal teren razdelimo znotraj posamezne cone intenzitete potresa v tri kategorije tal. Prvo kategorijo predstavljajo kamnine, ki imajo lastnosti hribin, drugo kategorijo goste in srednje goste zemljine, ki so se odložile v debelejših skladih, in tretjo kategorijo mehkejše in manj goste zemljine. Glede na znano geološko sestavo terena in podatke dosedanjih seizmičnih mikrorajonizacij obravnavanega območja smo posamezne stopnje razdelili, vsako v tri skupine, kar omogoča gradbenikom, da pri potresnovarni gradnji upoštevajo tudi lastnosti tal.

Glede na veljavne predpise, smo na osnovi sestave tal teren razdelili znotraj posamezne cone intenzitete potresa v tri kategorije tal:

1. kategorija (seizmogeološko ugodna tla):

kamnine, ki imajo lastnosti hribin (apnenci, dolomiti, itd.)

2. kategorija (seizmogeološko srednje ugodna tla):

goste in srednje goste zemljine, ki so se odložile v debelejših plasteh ter hribine, ki so prekrite z debelejšo preperino

3. kategorija (seizmogeološko neugodna tla):

mehkejše in manj goste zemljine

Na pregledni karti seizmične mikrorajonizacije smo dolinske in pobočne nanose uvrstili v 3. kategorijo tal. V 2. kategorijo smo uvrstili teren, ki ga gradijo klastične kamnine ali zelo debeli prodi. Za klastične kamnine velja, da jih prekriva sorazmerno debel preperinski pokrov, ki ima slabe seizmične lastnosti. V 1. kategorijo smo uvrstili karbonatne kamnine (Ribičič, Vidrih, 1998, Ribičič, Vidrih, 1999).

Zaključek

Analiza poškodb jasno pokaže, da potresno varna gradnja, pri kateri se upošteva pričakovane intenzitete potresa na določenem območju, prebivalstvu edina zagotavlja varnost in preprečuje kasnejšo, po potresu obsežno in drago sanacijo. Pri tem je treba za stare zgradbe, ki niso bile potresno varno grajene, ugotoviti njihovo konstrukcijsko odpornost na potres in izvesti sanacijo, če je potrebna.

Literatura

Grünthal, G., (ur.), 1993. European Macroseismic Scale 1992 (up-dated MSK-scale).

Conseil de l'Europe, Cahiers du Centre Europeen de Geodynamique et de Seismologie, Volume 7, Luxembourg, 79 pp.

- Ribarič, V., 1987. Seizmološka karta za povratno periodo 500 let. Zajednica za seizmologiju SFRJ, Beograd.
- Ribičič, M., Vidrih, R., 1988. Geološka, seizmološka in gradbena analiza posledic potresa v Posočju. Lep dokaz, da sestava tal lahko zelo ojači ali omili seizmične valove. DELO - Znanost, 14. oktobra 1998, Ljubljana.
- Ribičič, M., Vidrih, R., 1998. Plazovi in podori kot posledica potresov. Ujma 12, 95-106, Ljubljana.
- Ribičič, M., Vidrih, R., 1999. Potresi in pojavi nestabilnosti (podori in plazovi) (potres v Posočju 12. aprila 1998). III. slovensko posvetovanje o zemeljskih plazovih, Rogla.
- Vidrih, R. et al., 1991. Potresna ogroženost Slovenije. Občine: Brežice, Idrija, Krško, ljubljanske občine, Tolmin. Seizmološki zavod SR Slovenije in Republiški štab za civilno zaščito, Ljubljana, 214 str., 5 prilog.
- Vidrih, R., Godec, M., 1998. Potres v Posočju 12. aprila 1998. Življenje in tehnika XLIX, junij 1998, Ljubljana, 59-68.
- Vidrih, R., 1998. Potres v Posočju seizmologov ni presenetil. Vsi kraji, kjer je nastalo največ poškodb, so zgrajeni na slabi podlagi-na nanosih rek in potokov in na pobočnih gruščih. DELO - Znanost, 20. maj 1998, Ljubljana.
- Vidrih, R., Ribičič, M., 1998. Geološke posebnosti potresa 12. aprila v Posočju. Potres je povzročil ne le veliko škodo na hišah, pospešil je tudi geološko dogajanje. DELO - Znanost, 10. junija 1998, Ljubljana.

Potres 12. aprila v zgornjem Posočju
POŠKODBE SPOMINSKIH OBELEŽIJ I. SV. VOJNE V
KRNSKEM GOROVJU
The earthquake on April 12, 1998 in the upper Soča Territory
DAMAGE TO WORLD WAR I MEMORIALS IN THE KRN
MOUNTAIN RANGE

Tomaž Ovčak*, Renato Vidrih[†]

Izvleček. Potres 12. aprila 1998 v zgornjem Posočju je poleg tega, da je povzročil ogromno gmotno škodo na zgradbah in spremembe v naravi, marsikje v visokogorskem svetu poškodoval ali uničil spominska obeležja I. svetovne vojne. Obeležja so bila poškodovana predvsem zaradi padajočega kamenja, ponekod pa so jih skalnati podori dobesedno odnesli. Zaradi težke dostopnosti in poškodovanosti poti, ki jih je na določenih mestih odneslo, je bilo potrebno za ogled obeležij veliko terenskih dni in veliko naporne, ponekod celo nevarne hoje po gorah Krnskega gorovja.

Poškodbe obeležij iz I. svetovne vojne niso zanimive le za zgodovinarje in strokovnjake, ki se ukvarjajo s proučevanjem obdobja soške fronte, ampak tudi za seizmologe. Ogled tovrstnih poškodb rabi za primerjavo učinkov potresnega sunka v naravi in na zidanih objektih, saj drugih človeških posegov (razen opuščenih planin) v tem delu Posočja ni, ker gre večinoma za visokogorski svet.

Abstract. Apart from the extensive material damage to buildings and changes in nature, the upper Soča Territory earthquake on April 12, 1998 damaged or destroyed World War I memorials in many places in the high mountain area. The memorials were mostly destroyed by falling stones, and in some places rockfalls literally carried them away. Because of difficult access and damaged paths, obliterated in certain places, many days of field work and a lot of difficult and, in some places, almost dangerous walking around the upper parts of the Krn mountain range were necessary to inspect the condition of the memorials.

The damage to the memorials from World War I is not only interesting to historians and experts studying the period of the Soča Front, but also to seismologists. The inspection of such damage helps to compare the effects of the earthquake shock on nature and on buildings, as there are no other human interventions in this part of Posočje (except for the deserted mountain pastures), as the area mostly comprises high mountains.

Uvod

24. maja 1915, deset mesecev po začetku prve svetovne vojne, je Italija napovedala vojno svoji nekdanji zaveznici Avstro-Ogrski, s čimer se je tudi na naših tleh odprlo novo, po vrsti četrto evropsko bojišče. Spopad vojska na meji dveh držav se je po začetnih tednih maneverskega bojevanja kmalu spremenil v pozicijsko vojno s frontno črto, ki je potekala po strateško pomembnih geografskih ovirah, kot so gorski grebeni in reke. Na skrajnem vzhodu 600 kilometrov dolge fronte je tako črta, ki je razmejevala dve sovražnici, postala kar reka Soča, po kateri je ta del fronte kmalu dobil tudi ime - soška fronta.

* Ane Zihelove 8, Ljubljana

[†] Ministrstvo za okolje in prostor, Uprava RS za geofiziko, Pot na Golovec 25, Ljubljana

Z vedno daljšim trajanjem soške fronte so v oborožitev obeh armad prihajala vedno težja in smrtonosnejša orožja, pred katerimi so bili vojaki varni le pod zemljo. Vsak trenutek zatišja med dvema bitkama je bilo zato potrebno izkoristiti za poglobitev strelskih jarkov in za izkop novih kavern. Vzporedno s tem pa sta se v obeh zaledjih, italijanskem in avstro-ogrskem, razraščali mogočni vojaški infrastrukturi, ki sta služili le enemu namenu-nemotenemu oskrbovanju fronte. Ob novih vojaških železnicah, cestah in poteh, ki so iz zaledja vodile v prvo bojno črto, so si sledila skladišča, pekarne, klavnice, bolnišnice ... Soška fronta ni bila samo vojna strelskih jarkov, temveč tudi vojna inženirskih enot in vojaških gradbenikov. V Posočju lahko še danes, osemdeset let po koncu vojne, na vsakem koraku naletimo na njihovo dediščino, ki bolj ali manj uspešno kljubuje času in naravi. Eden pomembnejših in pričevalnejših delov so tudi številna spominska vojna obeležja, ki nam govore o enotah, žrtvah, krvavih bitkah, ali pa nam preprosto sporočajo le ime nekdanjega vojaškega objekta. Vsi, prav vsi pomembnejši in večji vojaški objekti, ki so bili zgrajeni med vojno - poti, kaverne, naselja barak, vodna zajetja, mostovi itd., so imeli namreč svoja vojna imena. Slikovita imena, kot so Klet junakov (Heldenkeller, Špilja naših hrabrih junaka), Kaverna stotnika Redla (Hauptmann Redl Stollen), Rov Bosancev (Bosniaken Stollen) ali topničarska Vila polni zadetek (Villa Volltreffer), ki jih lahko še danes preberemo z ohranjenih napisnih plošč, niso bila nikakršna posebnost (Acerbi, 1993, Horstein, 1931-1938, Lichen, 1989, Simić, 1996).

Med vojno je bilo na soški fronti postavljenih na stotine, tisoče tovrstnih vojnih obeležij, od katerih jih je še danes samo v visokogorju Zgornjega Posočja (občine Bovec, Kobarid, Tolmin) ohranjenih več kot 200. Velikonočni potres tudi njim ni prizanesel, zato morda ne bo odveč, če poleg javnosti dobro znane škode na spominski kapeli sv. Duha (predvsem na stopnišču in kamnitih podpornih zidovih) na Javorci v dolini Tolminke, do katere se lahko pripeljemo z avtom, bežno in s posameznimi primeri predstavimo potresno usodo tudi te, (pre)malo poznane zgodovinske dediščine.

Potres

Žarišče potresa je bilo pod Krnskim gorovjem, zato ni nič čudnega, da so bile poškodbe v naravi, na stanovanjskih objektih in kulturni dediščini največje prav tu. Na tem območju je bilo pred potresom tudi 130 dotlej poznanih spominskih vojnih obeležij I. svetovne vojne, od katerih jih je ob potresu nekaj doživelo prav nenavadno usodo (slika 1). Številni skalnati podori, ki so zgrmeli po potresu v doline, in padajoče kamenje so ponekod popolnoma preoblikovali naravo. Podor s kote 1776, ki se dviguje nad dolino Lepene, je le eden izmed podorov, ki so naravi prizadejali nepopravljive poškodbe (slike 2a, 2b, 2c in 2d). Podori so nastali zaradi hribovitega alpskega sveta in pojavov nestabilnosti v njem. Večina teh podorov bi nastala prej ali

slej, vendar je potresni sunek pospešil geološka dogajanja v naravi. Geološki procesi, ki bi trajali več sto ali tisoč let, so se zgodili v nekaj grozljivih in hrupnih sekundah ali minutah (Ovčak, Vidrih, 1998).

Najzanimivejše poškodbe obeležij

Spominsko obeležje avstro-ogrskega tržaškega 20. lovskega bataljona na vrhu Javorščka (1557m)

Na severni strani grebena Javorščka je od vojne naprej stalo vgrajeno v kamnitem zidu obeležje tržaškega 20. lovskega bataljona (Feldjaegerbataillon Nr. 20). 2. stotniji enote, v sestavi katere je bilo kar 43% slovensko govorečih vojakov in ki je bila med vojno očitno na teh položajih, je poveljeval nadporočnik Karl Križ. Že ob obisku obeležja leta 1997 je bilo mogoče videti v zidu velike razpoke, ki so napovedovale skorajšnje porušenje, zato je bil eden prvih popotresnih terenskih ogledov namenjen prav njemu. Negotovosti in spraševanja, ali je objekt preživel potres, je bilo na lokaciji kaj hitro konec. Kjer je bil pred potresom zid z obeležjem, je stal le kup podrtega kamenja, med katerim pa ni bilo moč najti niti enega koščka njegovega napisu. Ta se je očitno v enem kosu prekucnil in po zelo strmem gozdnatem pobočju, ki ima na tem mestu naklon približno 45 stopinj, "odpeljal" v dolino. Da bi se lahko na takšni strmini ustavil pred njenim iztekom, se ni zdelo verjetno (slika 3a in 3b).

V vpadnici obeležja je kašnih 20 metrov nižje ležalo povprek na pobočju le staro deblo, ob katerem pa je bilo z vrha videti nekaj zagozdenih kamnov. Deli zidu? Po odgovor se je bilo potrebno spustiti do debla. Da, to so bili kosi zidu, vendar tudi med njimi o napisu ni bilo niti sledu. Ležal je cel in nepoškodovan kar sredi pobočja še kakšnih deset metrov nižje! Kako se je lahko sploh ustavil na tej strmini, kjer bi ga zopet spravila v gibanje že manjša sapica? Odgovor je tičal v snegu. Ob potresu 12. aprila je bilo tu več kot meter južnega snega, v katerem se je napisnemu kamnu po 30 metrih kotaljenja le uspelo ustaviti. Sneg je v aprilu in maju počasi skopnel in mehko "odložil" kamen na prepadno strmo pobočje.

Da bi ga zavarovali, je bilo potrebno kamen prekotaliti do nekaj korakov oddaljene vdolbine, kjer bo lahko bolj varno počakal na morebitno obnovo. Pri tem nevarnem početju je kotalilec spodrsnilo in le malo je manjkalo, da bi se skupaj z več kot 100 kilogramov težkim kotaljencem skupaj odkotalila proti dolini.

Vojna obeležja na planini Zagreben (1227 m) nad Lepeno

Na območju planine Zagreben, ki se dviguje na levih pobočjih Lepene, se skriva nekaj najlepših spominskih vojnih obeležij soške fronte. Ob »mulatjeri«, ki v nadmorski višini približno 1000 metrov vodoravno preči pobočja med Lemežem in Lipnikom, se jih zvrsti kar šest.

Pogled na skalnate podore, ki so se po potresu videli iz doline, ni obetal nič dobrega. Pot, ki se ob potoku Šumniku vzpenja do njih, je bila z vsakim metrom vzpona bolj grozljiva. Obtolčena in podrtta drevesa - žrtve kamenja in skalovja, ki ga je ob potresu pobočje streslo s sebe - kamor je segel pogled. Nad izviro Šumnika se je pot ob izteku plazovišča skalnatega podora končala. Plaz do deset kubičnih metrov velikih skal, ki je prihrumel s planine Zagreben, je naredil do struge Šumnika 30-50 metrov širok golosek. Prav tu se je pred potresom v serpentinah dvigovala stara vojaška pot, na kateri sta stali dve obeležji. Prvo, z imenom poti (Unger Weg), je moralo stati prav v vpadnici plazu. Da bi ostalo kaj od njega, ni bilo mogoče pričakovati, zato je bilo presenečenje toliko večje, ko se je izkazalo, da skala z nepoškodovanim obeležjem stoji prav na sredini plazu. Da bi bila ironija še večja, je bil napis pred potresom prevrnjen, sedaj pa sredi plazu zopet stoji pravilno (sliki 4a in 4b).

Drugo obeležje, dva metra visok spomenik 15. stotnije mostarskega 4. bosansko-hercegoveškega pehotnega polka, je kamniti plaz ob potresu zgrešil le za nekaj metrov. Pač pa ga je skoraj oplazila približno deset kubičnih metrov velika skala, ki je med njim in le tri metre oddaljeno staro bukviyo po pobočju odlomastila v dolino. Pri tem je podirala vse pred seboj, tako da so debela debela podrtih dreves kot trske frčala naokrog. Eno od njih je priletelo naravnost pred spomenik, se kot kopje zapičilo predenj ter se nato podrla nanj (sliki 5a in 5b).

Nadaljevanje poti do drugih štirih obeležij (eno izmed njih, oznaka poti Majewski Weg, je porušeno) je bilo na več koncih ovirano zaradi plazov in podrtega drevja.

"Viva la pace" na Krnčici

Če danes iz Drežnice pogledamo v ostenje Krna (2245 m), nas v oči zbodeta dva skalnata odloma (Vidrih, Ovčak, 1998). Nastala sta na območju, kjer je bila hribina močno razpokana. Razpoklinski sistemi so bili zaradi fizikalnega preperevanja (predvsem vpliv zmrzali) še dodatno povečani in s tem je bila strižna trdnost ob razpokah zmanjšana. Ob tresenju je prišlo do zdrsa apnenčevih plasti in nepravilnih vertikalnih odlomov ob različnih razpoklinskih sistemih. Večji od obeh podorov je v zahodni steni Krna, manjši pa v steni Srednjega vrha (2134 m) v grebenu Krnčice. Čeprav manjši, je ta drugi bolj zanimiv, saj tik ob njegovem levem robu vodi na vrh Srednjega vrha stara italijanska preskrbovalna pot. Ko doseže višino zgornjega roba odloma, zavije desno na polico, po kateri nato tik nad odlomom izstopi na greben. Na tej polici je med soško fronto stala velika enonadstropna baraka italijanskih gorskih enot, alpinov, ob njej pa kot orlovsko gnezdo na skali še manjši zidan objekt (Vidrih, Ovčak, 1998). Kdorkoli je že med vojno bival v njem, je imel že leta 1916 vojne dovolj in je zato na svež betonu zidu zapisal "Viva la pace" (živel mir).

Kamen s protivojnim geslom je kljuboval ostrim gorski klimi več kot 80 let, do

lanskega potresa. Takrat se je na tem mestu odlomil velik kos stene, ki ga sedaj kot skalnat podor vidimo tudi iz doline. Skala, na kateri so stale ruševine vojaškega objekta, se sicer ni odpeljala v dolino, pač pa se je le za meter ali dva odmaknila od stene. Dovolj, da je vse, kar je bilo zagozdeno vmes, vključno z zidovi objekta, izgubilo oporo in se podrlo v prepad (slike 6a, 6b in 6c).

Proti vsem pravilom logike pa je bila potresna usoda bolj prizanesljiva z nekajmetrskimi zidovi, ki stoje na samem grebenu Krnčice. Po večjem delu grebena Krnčice poteka razpoka, ki je nastala kot posledica plazjenja, pa tudi sicer je tu v naravi veliko poškodb, zato je prav zanimivo, da se ti zidovi niso porušili ali vsaj poškodovali. Med vojno so jih posadke težkih italijanskih havbic in možnarjev, ki so bruhali ogenj nad Drežniškimi Ravnami, uporabljali za orientacijsko točko pri obstreljevanju avstro-ogrskih položajev na planini Duplje (1371 m). Kljub temu, da so zidovi zidani brez malte in iz neobdelanega kamena, ni z njih padel niti en kamen. Verjetno je sneg tudi tu s svojim objemom preprečil njihovo porušitev.

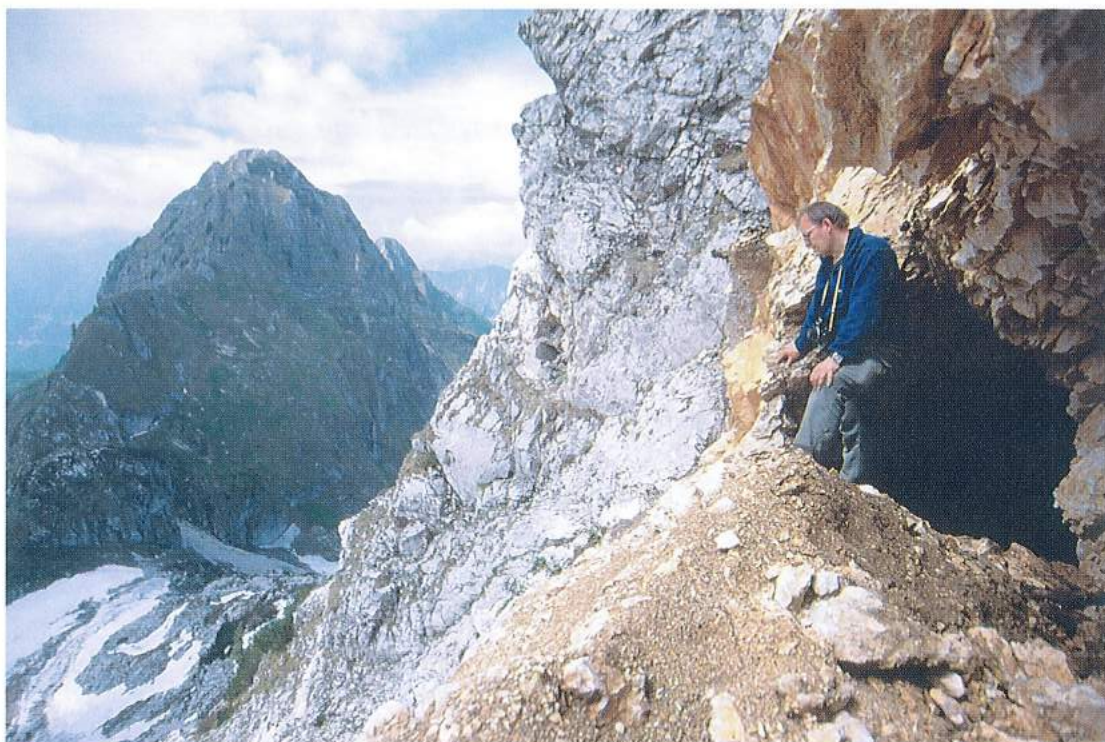
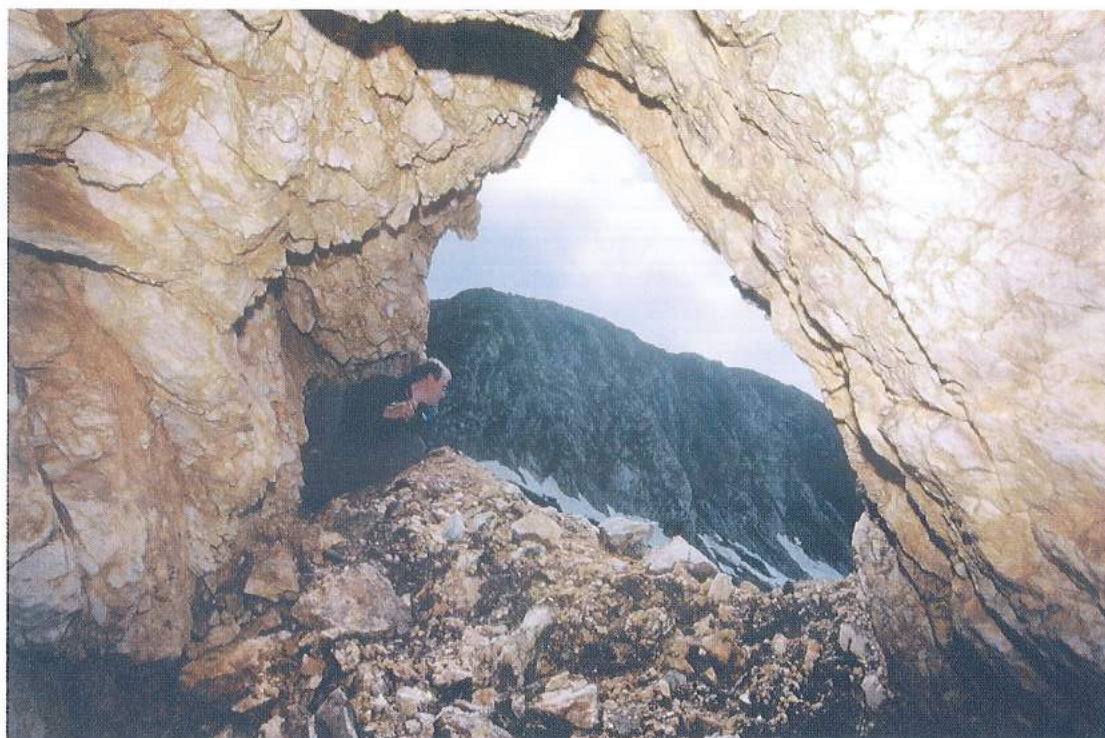


Slika 1. Lokacije, kjer so bila ob potresu poškodovana spominska vojna obeležja iz I. svetovne vojne.

Figure 1. Locations of World War I memorials damaged by the earthquake.



Slike 2a, 2b, 2c in 2d. Kota 1776, nekdanja avstro-ogrška trdnjava med nekoč italijanskim Vršičem (1897 m) in avstro-ogrskima Lipnikoma (1867 m in 1819 m). Podor s kote 1776 (foto 2a in 2b: pogled z vrha Vršiča) se je najavljal že nekaj let, saj je v tleh ene od kavern - napis na njenem vhodu pravi, da gre za Luisin rov (Luise Stollen) - že dolgo zijala široka razpoka. Omenjena kaverna danes ni več prehodna, saj se od 12. aprila 1998 dalje kot okno končuje v steni odloma (foto 2c in 2d: vrh v ozadju je Veliki Lipnik).



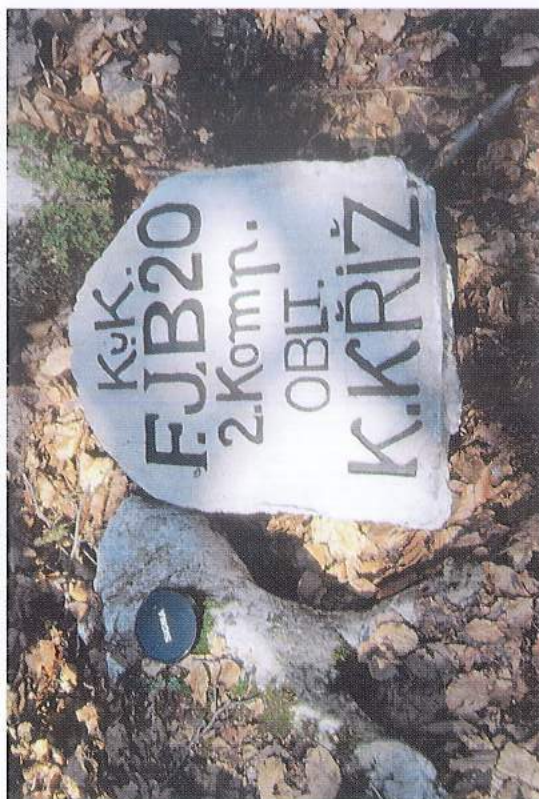
Figures 2a, 2b, 2c and 2d. Kota 1776, once an Austro-Hungarian fortress between the formerly Italian Vršič (1897 m) and Austro-Hungarian Lipniks (1867 m and 1819 m). A rockfall from Kota 1776 (photos 2a and 2b: view from Vršič) had been expected for several years, as a wide crack had existed in the floor of one of the caverns – the inscription on its entrance says that this is Luise's tunnel (Luise Stollen) – for a long time. Today, this cavern is no longer passable, as since 12 April, 1998 it ends as a window in the rock face which was broken off (photos 2c and 2d: the peak in the background is Veliki Lipnik).

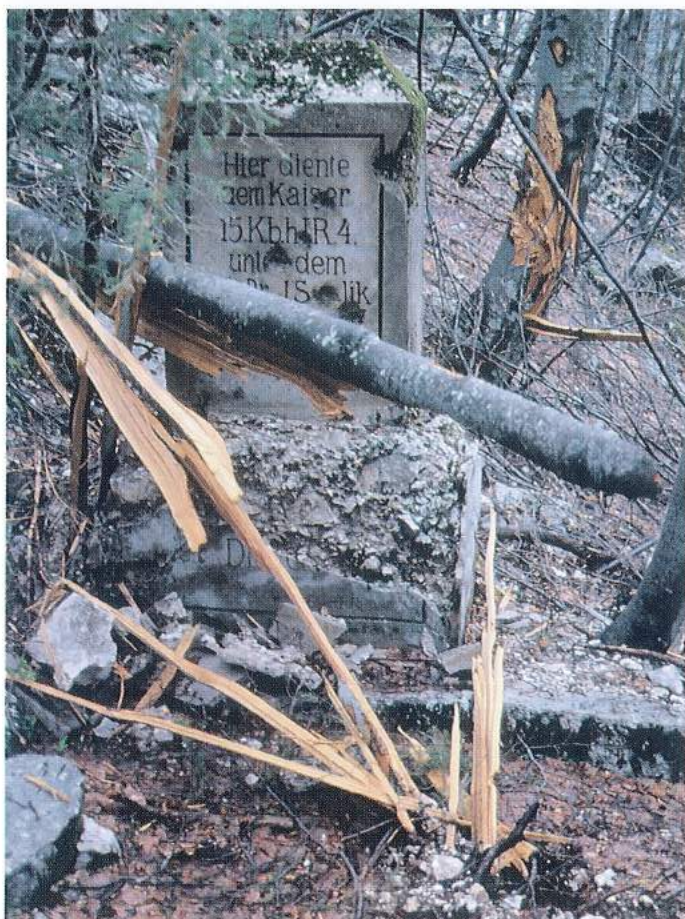
Sliki 3a in 3b. Greben Javorščka (1557 m). Spominsko obeležje 2. stotnije (kompanije) avstro-ogrškega 20. lovskega bataljona (k. u. k. Feldjagerbataillon Nr. 20) iz Trsta je bilo že pred potresom vidno poškodovano (foto 3a: 2. maj 1997). Ob potresu se je zid, v katerem je bilo vgrajeno, popolnoma porušil, kamen z napisno ploščo pa se je odkotalil po strmem severnem gozdnatem pobočju, kjer ga je šele po nekaj desetih metrih kotaljenja ustavila debela snežna odeja. Ko je sneg skopnel, je kamen z napisno ploščo obležal na strmem pobočju (foto 3b: 8. maj 1998), kjer leži še danes.

Figures 3a and 3b. The ridge of Javoršček (1557 m). The memorial to the 2nd company of the Austro-Hungarian 20th Hunters' Battalion (k. u. k. Feldjagerbataillon Nr. 20) from Trieste had already been visibly damaged before the earthquake (photo 3a: 2 May, 1997). During the earthquake, the wall on which it was placed, collapsed completely, with the stone bearing the inscription plaque rolling down the steep northern forest-covered slope, where it was only stopped by the thick snow cover after several metres of rolling. When the snow melted away, the stone bearing the inscription plaque remained on the steep slope (photo 3b: 8 May, 1998), where it still lies today.

Sliki 4a in 4b. Vojaška pot na planino Zagreben nad Lepeno, katere gradnjo v začetku leta 1916 končali vojaki avstro-ogrškega 2. domobranskega pehotnega polka (k. k. Landwehrintanterie-regiment Nr. 2) iz Linza, in ki se je imenovala Unger Weg - po polkovnem poveljniku, polkovniku Franzu Karlu Ungerju von Zurawniki. Napisna plošča z imenom poti je do potresa stala na prevrnjeni skali ob poti (foto 4a), ki se v serpentinah nad izvirov potoka Šumnika dviguje proti planini Zagreben. Ob potresu je z višje ležečih pobočij pridrvel plaz skalovja, ki je pot skupaj z gozdom dobesedno izbrisal z obličja zemlje. Skala z napisno ploščo, na kateri je ovekovečeno ime nekdanje vojaške poti, stoji sedaj sredi strah vzbujajočega plazišča (foto 4b).

Figures 4a and 4b. The military path to the mountain/meadow of Zagreben above Lepena, finished in 1916 by the soldiers of the Austro-Hungarian 2nd home guard infantry regiment (k. k. Landwehrintanterie-regiment Nr. 2) from Linz was called Unger Weg – after the regiment's commander, Colonel Franz Karl Unger von Zurawniki. Before the earthquake, an inscription plaque showing the name of the path stood on a turned-over rock along the path (photo 4a), winding uphill in bends above the source of the Šumnik brook towards the Zagreben mountain/meadow. During the earthquake, a slide of rocks rushed down from the higher slopes, literally erasing the path together with the surrounding forest from the face of the earth. The actual rock with the inscription plaque is now lying among the traces of the frightful landslide (photo 4b).





Sliki 5a in 5b. Na zavoju poti polkovnika Ungerja, le nekaj metrov nad napisno ploščo z imenom poti (glej foto 4), stoji že dolgo propadajoči (foto 5a: junij 1997) spomenik 15. stotnije avstro-ogrskega 4. bosansko-hercegovskega pehotnega polka, ki je bil na planini Zagreben od marca 1916 do septembra 1917. Ob potresu sta ga za las obšla plaz skalovja, ki je le nekaj metrov pred njim povzročil popolno uničenje (glej foto 4b), in približno deset kubičnih metrov velika skala, ki se je tik za njim odkotalila do struge potoka Šumnika. Pred seboj je podirala vse, tudi drevesa - deblo enega izmed njih je obležalo na spomeniku (foto 5b: 30. april 1998).

Figures 5a and 5b. At a bend along Colonel Unger's path, only a few metres above the inscription plaque with the name of the path (see photo 4), stands a long-decaying monument (photo 5a: June 1997) to the 15th company of the Austro-Hungarian 4th Bosnian-Herzegovinian infantry regiment, staying on the Zagreben mountain/meadow from March 1916 until September 1917. During the earthquake, it hardly avoided the deluge of rocks causing complete destruction only a few metres away from it (see photo 4b) and a rock mass of around ten cubic metres, rolling right past it down to the bed of the Šumnik brook. The rock mass tore down everything beneath it, even trees – the trunk of one of them fell on the monument (photo 5b: 30 April, 1998).



Slike 6a, 6b in 6c. Srednji vrh (2134 m) v grebenu Krnčice. Zahodna pobočja grebena Krnčice so še danes polna ruševin vojaških zgradb, ki so jih med prvo svetovno vojno zgradili italijanski alpini (pripadniki gorskih enot). Na eni od dolgih polic v zahodni steni Srednjega vrha je med soško fronto stala velika enonadstropna baraka, ob njej pa kot orlovsko gnezdo na skali še manjši zidan objekt (foto 6a), kjer je na zidu ostal zapisan tudi izjemno privlačen vojni grafit "VIVA LA PACE" - živel mir (foto 6b). Ob potresu se je na tem kraju odlomil velik del stene, ki ga sedaj kot skalni podor vidimo tudi iz doline. Skala, na kateri so stale ruševine vojaškega objekta, se sicer ni podrlo v dolino, ampak se je le za meter ali dva odmaknila od stene. Dovolj, da je vse, kar je bilo zagazdeno vmes, z zidovi objekta in na njih zapisanim vojnim grafitom vred, izgubilo oporo in se podrlo v prepad (foto 6c).

Figures 6a, 6b and 6c. Srednji vrh (2134 m) on the ridge of Krnčica. The western slopes of the Krnčica ridge are nowadays still full of the ruins of military buildings constructed by the Italian members of mountain units during World War I. On one of the long shelves on the western face of Srednji vrh, a large single-storey hut stood during the Soča Front. Near the hut, there was a smaller building placed on a rock like an eagle's nest (photo 6a), on whose wall extremely special war graffiti "VIVA LA PACE" - live the peace - remained (photo 6b). During the earthquake, a large part of the face broke off in this place, which can now also be seen as a rockfall from the valley. The rock bearing the ruins of the military building did not collapse into the valley, but was only separated from the face by a metre or two. Enough for everything in-between, including the walls of the building together with the inscribed war graffiti, to lose support and collapse into the precipice (photo 6c).

Fotografije T. Ovčak.

Photos by T. Ovčak



Zaključek

Po pregledu spominskih vojnih obeležij I. svetovne vojne v Krnskem gorovju lahko ugotovimo, da je približno 10% vseh obeležij poškodovanih ali uničenih. Seveda pa ne moremo mimo dejstva, da marsikje obeležjem, pa tudi nekaterim planinskim potem grozi viseče skalovje, ki ga je potres le zrahljal in povečal razpoklinske sisteme v njem. Vse posledice potresa v naravi se bodo pokazale šele v prihodnosti.

Literatura

- Acerbi, E., 1993. Le truppe da montagna dell'esercito austro-ungarico nella Grande Guerra 1914-1918. Edizioni Gino Rosalto, Valdagno.
- Horstenau, E.G., (ur. Kiszling, R.), 1931-1938. Österreich-Ungarns letzter Krieg 1914-1918. Hrsg. vom österreichischen Bundesministerium für Heereswesen (Landesverteidigung) and vom Kriegsarchiv, 7 Text und 7 Kartenbände, Wien.
- Lichem, H., 1989. Gebirgskrieg 1915-1918, Band III, Karnische und Julische Alpen, Monte Grappa, Piave, Isonzo. 2.auf., Verlagsanstalt Athesia, Bozen.
- Ministero della Guerra (Difesa), Comando del Corpo di Stato Maggiore (Stato Maggiore Esercito), Ufficio Storico, 1927-1954: L'esercito italiano nella grande guerra (1915-1918). Vol. I-IV, Roma.
- Simić, M., 1996. Po sledih Soške fronte, Mladinska knjiga, Ljubljana.
- Vidrih, R., Ovčak, T., V Posočju poškodovani pomniki prve svetovne vojne. Spomin na Vilo polni zadetek (I. del), Delo - Reportaže in zanimivosti, 7. oktobra 1998, Ljubljana.
- Vidrih, R., Ovčak, T., V Posočju poškodovani pomniki prve svetovne vojne. "Živel mir" na Krnčici (II. del), Delo-Reportaže in zanimivosti, 8. oktobra 1998, Ljubljana.
- Ovčak, T., Vidrih, R., Potres 12. aprila 1998 v Posočju. Poškodbe spominskih vojnih obeležij I. svetovne vojne na Krnskem gorovju. 14. posvetovanje slovenskih geologov. Geološki zbornik 14 - povzetki referatov, Oddelek za geologijo, Ljubljana.



Potres 12. aprila 1998 v zgornjem Posočju
**ZNAČILNOSTI DOSTOPOV DO INFORMACIJ NA NAŠIH
SPLETNIH STRANEH**

**The earthquake on April 12, 1998 in the upper Soča Territory
EXPERIENCES WITH THE WWW**

Bojan Uran*

Povzetek. Po potresih leta 1998 sem preučil značilnosti dostopov javnosti do informacij na naših straneh na svetovnem spletu. Primerjal sem število dostopov in količino prenesenih podatkov za potrese v zgornjem Posočju in pri Trebnjem. Poleg tega sem naredil statistiko odgovorov na vprašanja, ki jih vsebuje interaktivni vprašalnik o učinkih potresa na svetovnem spletu. Ugotovil sem različne vzorce vedenja pri različnih potresih. Pri najmočnejšem, 12. aprila 1998 z žariščem v zgornjem Posočju, je bilo zelo veliko odgovorov posredovanih neposredno po potresu. Pri šibkejšem potresu 31. avgusta pri Trebnjem so odgovori prišli v času, ko ljudje največ brskajo po internetu. Potresi z magnitudo nad 4 povzročijo mnogo večje zanimanje za seizmološke podatke.

Abstract. Uprava za geofiziko is present on the WWW since 1995. We prepared different kinds of seismological data. In the year 1998 much stronger earthquakes struck Slovenia than in the years before. It was possible to find the correlation between the earthquakes and the number of requests for our web pages. Events with magnitude 4 and more were interesting for people and the number of requests increased. Some people also responded to our interactive macroseismic questionnaire. After the April 12, 1998 earthquake in upper Soča Territory with local magnitude 5,6, we obtained a lot of responses immediately after the earthquake. The origins of the responses were not indicative for the location of the earthquake. Trebnje earthquake on August 31 was smaller, with local magnitude 4,2. The origins of responses were limited to the earthquake area. In this case the people were looking for information when they came to work and start surfing the Internet. The increased interest in our WWW pages and experiences obtained by analyzing the response after the earthquakes in 1998 will help us to improve our site.

Uvod

Na Upravi Republike Slovenije za geofiziko smo že pred časom spoznali, da je svetovni splet pomemben medij za obveščanje javnosti (Uran, 1995). Kazalci na naše strani so od začetka avgusta 1995 objavljeni na slovenskem (<http://www.ijs.si/slo/>) in angleškem seznamu (<http://www.geophys.washington.edu/seismosurfing.html>) internetnih naslovov. Dokaz, da so naše strani opazili, je tudi priporočilo in kazalec na naše strani v CD-ROM in spletni različici Encyclopedia Britannica za leto 1998.

V prejšnjih letih je bila potresna aktivnost zmerna, tako da so bili obiski na naših straneh predvsem posledica naključnega brskanja po svetovnem spletu in odziv na nove kazalce, ki smo jih dodajali v indekse (recimo ob stoti obletnici prve potresne opazovalnice v Sloveniji pred dvema letoma). Leta 1998 je bila potresna aktivnost bistveno večja: potresa v zgornjem Posočju in pri Trebnjem sta bila precej močnejša od povprečne aktivnosti v preteklih letih. S tem se je zelo povečalo zanimanje za seizmološke podatke, kar si bomo ogledali v nadaljevanju prispevka.

* Ministrstvo za okolje in prostor, Uprava RS za geofiziko, Pot na Golovec 25, Ljubljana

Močnejši potresi leta 1998

Pogledali si bomo nekaj potresov, ki so bili leta 1998 in zaradi katerih se je zvečal obisk naših strani na internetu. Podrobnejše podatke o potresih v Sloveniji leta 1998 si oglejte v članku v tej številki (Cecić in sod., 1999).

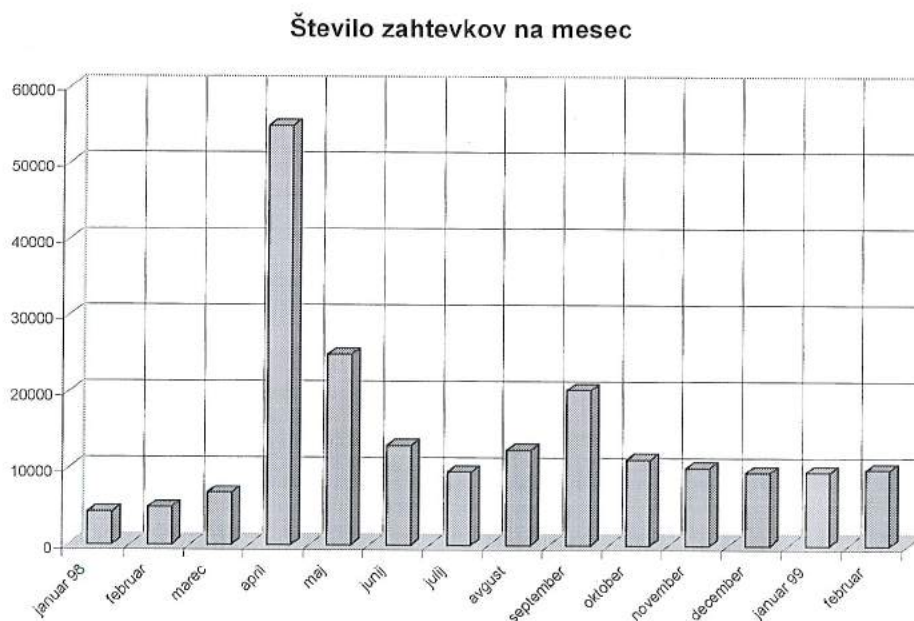
Najmočnejši potres v Sloveniji v zadnjem stoletju je bil 12. aprila 1998 ob 10.55 po svetovnem času, oziroma ob 12.55 po srednjeevropskem poletnem času. Močan potresni sunek je prizadel območje zgornjega Posočja. Njegova Wood-Andersonova magnituda je bila 6,0. Intenziteta v širšem nadžariščnem območju je bila med sedmo in osmo stopnjo po evropski potresni lestvici (EMS). Nadžarišče je bilo zahodno od Lepene, v pogorju Krna. Čutili so ga prebivalci vse Slovenije in okoliških držav.

V seriji več tisoč popotresov, ki so sledili glavnemu sunku, je bil najmočnejši 6. maja ob 4.53 po srednjeevropskem poletnem času z lokalno magnitudo M_{LV} 4,2.

Drugi močnejši potres je bil 31. avgusta ob 2.32 po svetovnem času oziroma 4.32 po srednjeevropskem poletnem času z nadžariščem v bližini Trebnjega. Njegova lokalna magnituda M_{LV} je bila 4,3, jakost pa peta do šesta stopnja po evropski potresni lestvici (EMS). Čutili so ga po vsej Sloveniji (Cecić in sod., 1999).

Statistika dostopov do naših spletnih strani

Po potresu v zgornjem Posočju smo dodali spletno stran, ki naj bi vsebovala čim več najrazličnejših podatkov o potresu in naj bi bila nekakšna osrednja stran z



Slika 1. Število zahtevkov za naše spletne strani na mesec med januarjem 1998 in februarjem 1999.

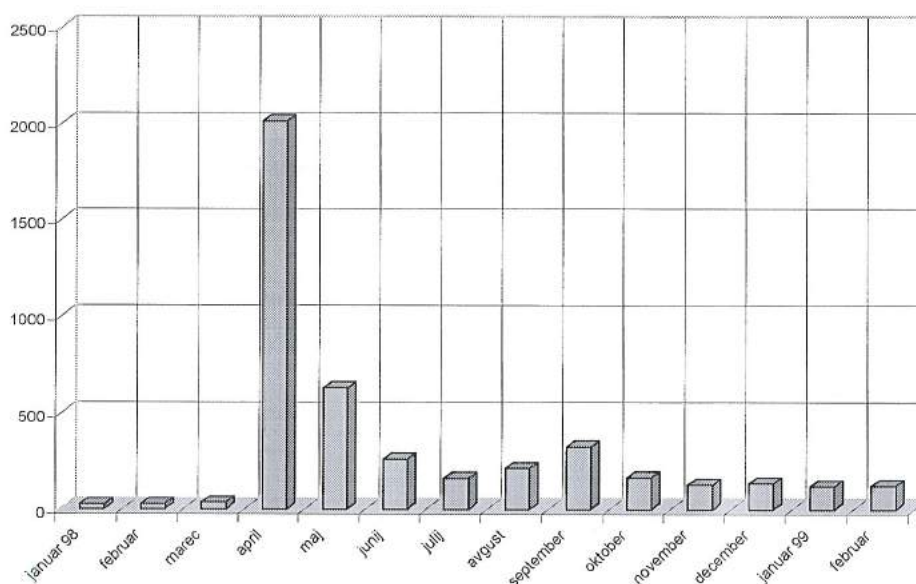
Figure 1. The number of requests for our WWW server between January 1998 and February 1999.

informacijami. Osnova so bili podatki URSG s seizmološkimi podatki o potresu. Od seizmoloških podatkov smo dodali še kazalce na italijanske ustanove z njihovimi podatki in rezultati različnih študij o potresu. Zbrani so bili tudi kazalci na strani domačinov iz Posočja, ki so pripravili veliko predvsem slikovnega gradiva in lokalnih informacij, ter Ministrstva za okolje in prostor o popotresni obnovi.

Na našem strežniku WWW na naslovu <http://www.sigov.si/ugf/slo/gf.html> se izpisujejo dostopi in količine prenesenih podatkov po mesecih. Poglejmo si najprej statistiko dostopov do naših spletnih strani. Na sliki 1 je predstavljeno časovno obdobje od začetka leta 1998 do februarja 1999. Zvečanje števila dostopov do strežnika aprila je manj izrazito, kot bi bilo, če bi pripravljali statistike za krajše obdobje. Kljub temu je opazen velik skok pri številu obiskov.

Aprila je bilo okrog 55 000 dostopov do naših strani. Zanimanje je pojemale do potresa v Trebnjem, ki je bil 31. avgusta. Takrat se je spet povečalo. Del obiskov zaradi tega potresa je še v statistiki za avgust, ko je vrednost višja kot julija. Septembra je bil tako obisk dvakrat večji kot proti koncu leta. Zanimiva je tudi primerjava števila zahtevkov na začetku leta 1998 s številom zahtevkov na začetku leta 1999. Promet na naših straneh se je povečal za približno dvakrat. Nekaj gre gotovo na račun povečanja števila uporabnikov interneta, drugo pa povečani poznanosti naših strani.

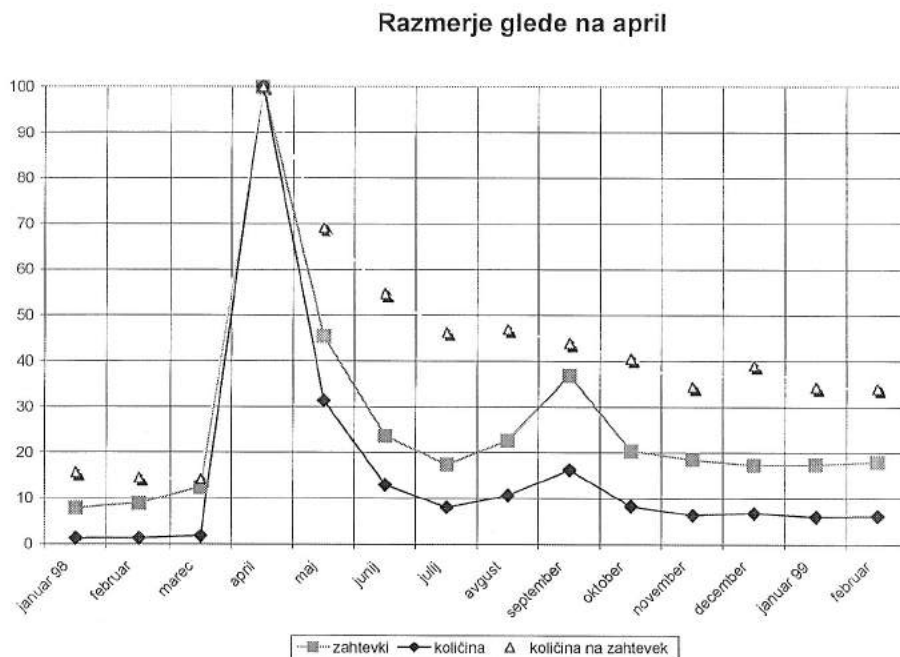
Količina prenesenih podatkov v Mb na mesec



Slika 2. Količina prenesenih podatkov z naših spletnih strani med januarjem 1998 in februarjem 1999 v Mb na mesec.

Figure 2. The quantity of transferred data in Mb per month for our WWW server between January 1998 and February 1999.

Na sliki 2 je predstavljena količina prenesenih podatkov. Tu je povečanje aprila še bolj izrazito, kar je povezano z obilico slikovnega in grafičnega gradiva, ki smo ga pripravili ob potresu. Drugi vrh septembra je v primerjavi z vrednostjo v aprilu sorazmerno precej manjši kot pri številu dostopov. Potres v Trebnjem ni povzročil večje škode, zato ni posnetkov škode. Primerjava količine podatkov, prenesenih v začetku leta 1998, s količino podatkov, ki je bila prenesena v začetku leta 1999, kaže, da se je količina prenesenih podatkov povečala bolj kot število dostopov.

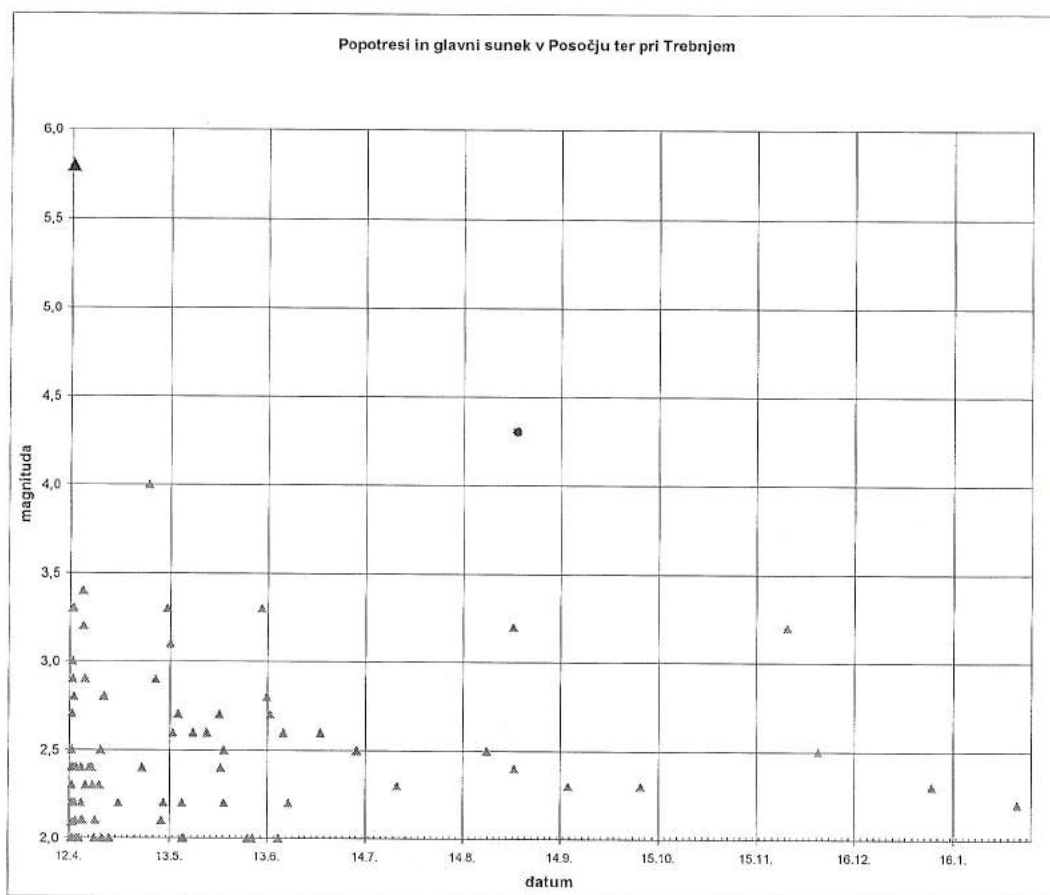


Slika 3. Relativno razmerje zahtevkov, količine prenesenih podatkov in količine na zahtevek glede na vrednosti aprila za obdobje med januarjem 1998 in februarjem 1999.

Figure 3. Relative relations between the number of requests, amount of transferred data and relative amount per request for our WWW server between January 1998 and February 1999.

Na sliki 3 so predstavljena razmerja zahtevkov, količine prenesenih podatkov in količine prenesenih podatkov na zahtevek glede na vrednosti aprila. Tu se še bolj vidi, da se je sorazmerno najbolj povečala količina prenesenih podatkov, ki se je potem tudi najbolj zmanjšala. Relativno število zahtevkov se je povečalo nekoliko manj kot relativno razmerje količine prenesenih podatkov. Pri obeh je viden drugi vrh septembra, povezan s potresom pri Trebnjem. Relativna količina prenesenih podatkov na zahtevek tega vrha nima. Obiskovalci so pri obisku aprila prenesli relativno največjo količino podatkov, predvsem slik. Pozneje se je ta količina manjšala, mogoče tudi zato, ker so si te slike že enkrat ogledali in so iskali le novosti.

Na sliki 4 je časovna predstavitev popotresnih sunkov v zgornjem Posočju, ki je tudi na internetu. Posebej sta označena glavni sunek 12. aprila z magnitudo 5,6 in glavni sunek potresa pri Trebnjem 31. avgusta. En dan pred potresom pri Trebnjem je bil



Slika 4. Popotresi v Posočju; z večjim trikotnikom je označen glavni sunek 12. aprila 1998, krog predstavlja potres pri Trebnjem 31. avgusta 1998.

Figure 4. Aftershocks of the 12 April, 1998 earthquake. Big triangle-main shock. Circle- earthquake that occurred on 31 August, 1998 near Trebnje.

potres v zgornjem Posočju z magnitudo 3,2. Enako magnitudo je imel tudi potres v Posočju 24. novembra. Na sliki 3 vidimo, da se novembra obisk na naših straneh ni opazno povečal, ker je potres čutilo malo ljudi. Sklepamo lahko, da k povečanju obiskov konec avgusta in septembra tudi podobno močan potres v zgornjem Posočju 30. avgusta ni bistveno prispeval in da je bil glavni razlog za večji obisk potres pri Trebnjem s svojo močjo in predvsem bližino Ljubljane.

Število obiskov je povezano s številom uporabnikov interneta in njihovimi navadami. Nekateri imajo dostop do interneta doma, drugi samo v službi. Iz statistik lahko tudi ugotovimo, kdaj ljudje brskajo po svetovnem spletu. Običajno je največ obiskov dopoldne, med službenim časom.

Za primerjavo pogledimo podatke o uporabnikih interneta, ki jih vsako leto na podlagi ankete po internetu pripravi RIS (RIS, 1999). V njej je sodelovalo okrog 6500 ljudi. Za nas je zanimiv podatek o deležu uporabnikov glede na telefonsko omrežno skupino. Na območju telefonske omrežne skupine 061 (Ljubljana z okolico) živi kar 45,9 odstotka anketirancev, ki uporabljajo internet, medtem ko živi na območju 065

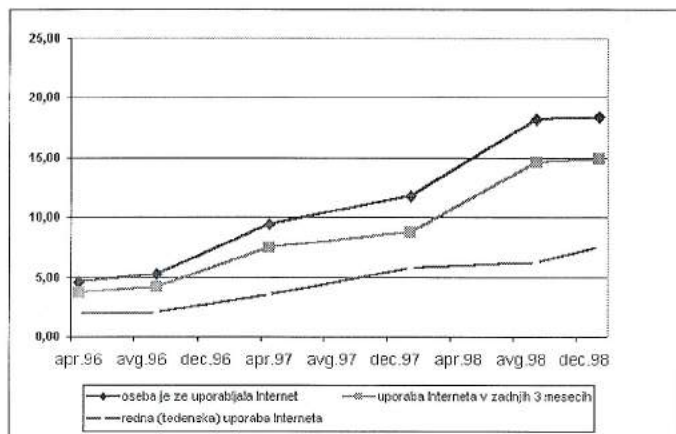
(Nova Gorica) le desetina te vrednosti oziroma 4,6 odstotka (slika 5). To je verjetno glavni razlog, da se je število obiskov septembra za toliko povečalo. Obstaja nekakšen prag učinkov, ki morajo biti pri potresu preseženi, da ljudje preverijo podatke na internetu. To bi bil lahko predmet kake druge študije.



Slika 5. Relativni delež uporabnikov interneta po telefonskih omrežnih skupinah; primerjava med ljubljansko (061) in novogoriško (065) omrežno skupino (RIS, 1999).

Figure 5. Relative amount of Internet users according to the telephone area number (RIS, 1999).

Pomemben podatek je tudi delež uporabnikov interneta v celotni populaciji. Na sliki 6 so rezultati raziskave RIS (RIS, 1999). Število rednih uporabnikov interneta, ki so nanj priključeni vsaj enkrat na teden, se je v času, ki ga opazujemo, povečalo za približno dvakrat. To se ujema tudi s povečanjem obiska naših strani (slika 3). Delež rednih uporabnikov predstavlja okrog 12 odstotkov celotne populacije.



Slika 6. Delež uporabnikov interneta v celotni populaciji glede na pogostost uporabe (RIS, 1999).

Figure 6. Percentage of the Internet users in the whole population (RIS, 1999).

Kaj naredijo ljudje, ko začutijo potres? Center CATI iz Ljubljane je po potresu pri Trebnjem opravil javnomnenjsko telefonsko raziskavo med prebivalci Ljubljane (CATI, 1998). Ugotovili so, da je potresni sunek spravil na noge tri četrtine anketiranih. Kar slaba polovica ljudi, ki jih je potres zbudil, neposredno po potresu ni sprejela nobenega priporočenega ukrepa, temveč je zaspala nazaj. Četrtnina je ostala še malce budna, potem pa prav tako zaspala. Le dobra petina anketiranih, ki so čutili potres, je storila katero od dejanj, ki bi ga lahko šteli za ustrezno. Mednje sodi poleg iskanja varnega mesta v stavbi ali zunaj nje tudi dostop do dodatnih informacij prek radijskih sprejemnikov ali celo svetovnega spleta. Kdaj iščejo ljudje podatke o

potresih na internetu, si bomo pogledali na primeru odgovorov na interaktivne vprašalnike o učinkih potresa.

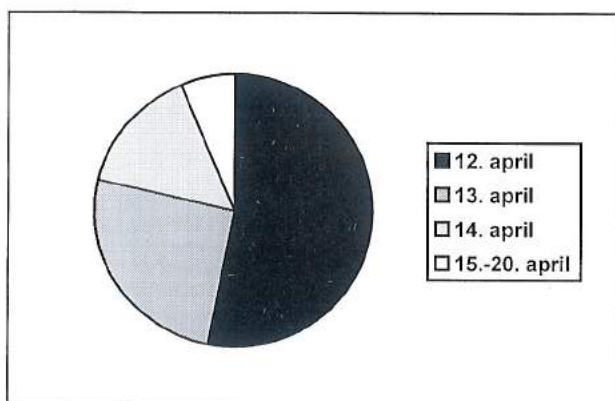
Odgovori na interaktivne vprašalnike

Poleg instrumentalno določene magnitude opišemo potres še z makroseizmično stopnjo njegovih učinkov na predmete in ljudi. To je že star način zbiranja podatkov, ki se uporablja pri močnejših potresih.

Po glavnem potresnem sunku v Posočju smo prostovoljcem iz vse Slovenije po pošti poslali okrog 6000 vprašalnikov. Iz odgovorov nanje smo ocenili vpliv potresa (Cecić in sod., 1999). Zbiranje odgovorov s pomočjo vprašalnikov traja precej časa, saj jih pošiljamo po pošti, anketiranci pa nam odgovore prav tako vrnejo po pošti.

S pomočjo interneta pridemo do podatkov, ki so pomembni za oceno škode na prizadetem območju, in učinkov potresa nasploh, hitreje in ceneje. Na našem spletnem strežniku imamo dve obliki vprašalnika. Prva je skenirana oblika, ki jo lahko natisnemo, izpolnimo in odpošljemo po faksu ali pošti. Druga je interaktivna različica, kjer lahko anketiranec vnese podatke in jih odpošlje na naš naslov po elektronski pošti. Vprašalnik o učinkih potresa je že nekaj časa na svetovnem spletu, vendar pred aprilom 1998 ni bilo močnejših potresov, ki bi jih čutili na večjem območju. Pri nekaterih potresih smo sicer dobili po en ali dva izpolnjena vprašalnika. Ogleдали si bomo, kako so ljudje odgovarjali na interaktivno različico vprašalnika pri močnih potresih leta 1998 in kakšne so značilnosti.

Leta 1998 je bilo sedem potresov, pri katerih smo dobili odgovore na interaktivne vprašalnike na našem strežniku za svetovni splet. Ugotovitve so zbrane v preglednici 1.



*Slika 7. Odgovori za potres 12. aprila 1998 ob 12.55 CET po dnevih.
Figure 7. Response for earthquake of 12. April 1998 by date.*

Preglednica 1. Seznam potresov leta 1998, za katere smo dobili odgovore na vprašalnik na našem strežniku za svetovni splet; čas je srednjeevropski poletni, M - lokalna magnituda.

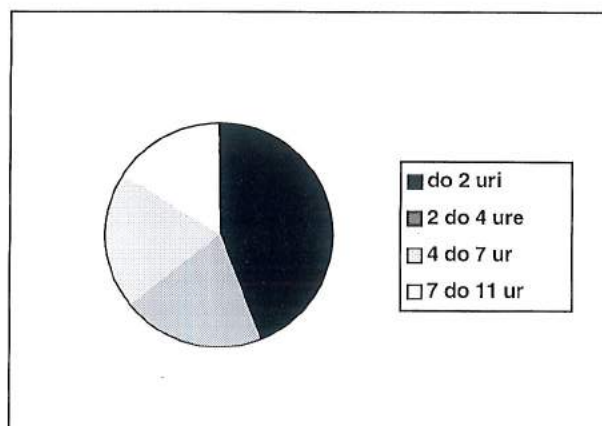
Table 1. List of all earthquakes in the year 1998 with the number of responses. Date, magnitude and location of earthquake are shown together with the number of responses and remarks.

datum	M	lokacija	št. odg.	opombe
12. 4., 12.55	5,6	zg. Posočje	47	posebej obdelano
15. 4., 21.40	3,4	zg. Posočje	1	naslednji dan, iz Ljubljane
22. 4., 8.56	2,8	zg. Posočje	2	oba iz Bovca
6. 5., 4.53	4,2	zg. Posočje	16	po 8 iz zg. Posočja in Ljubljane; 14 isti dan, 2 naslednji, prvi trije med 7.00 in 7.30, med 8.30 in 11.30 še 10.
31. 8., 4.32	4,3	Trebnje	18	12 iz Ljubljane, 2 iz Trbovelj, preostalo iz Grosuplja, Kranja, Višnje Gore, Kamnika in Kopra
17. 9., 7.29	3,4	Litija	3	2 iz Ljubljane, eden iz Grosuplja; dva med 9.30 in 10.00, eden ob 13.30
24. 9., 5.59	3,3	Velika Štanga	2	iz Ljubljane in Grosuplja; naslednji dan

Od teh potresov so imeli trije magnitudo nad 4, dobili pa smo tudi več odgovorov. Pri potresih s tolikšno magnitudo čuti potres večje število ljudi na večjem prostoru, potres sam pa vzbudi večje zanimanje. Pri manjših potresih tega zanimanja ni in ljudje nanj kmalu pozabijo.

Poglejmo si najprej odzive po potresu 12. aprila 1999 v zgornjem Posočju. Skupno smo dobili 47 izpolnjenih vprašalnikov, od tega isti dan 25, naslednji dan 12, čez dva dneva še sedem, preostale pa do 20. aprila (slika 7). Na sliki 8 so odgovori razporejeni glede na to, kdaj po potresu v zgornjem Posočju so prispeli. Slaba polovica jih je prispela že v prvih dveh urah po potresu. Prvi odgovor je prišel že celo po 12 minutah, in sicer ga je iz Ljubljane poslal nekdo, ki je verjetno prav takrat brskal po internetu.

V preglednici 2 je seznam odgovorov, ki so prispeli v prvih dveh urah po potresu 12. aprila. Zanimivi so kraji, od koder so bili poslani, saj so odgovori prispeli iz vse Slovenije. Med prvimi enajstimi sta le dva iz bližine potresnega območja. Podatek, od kod je bilo sporočilo poslano, nam vsaj za ta primer ne pove dosti o lokaciji potresa.



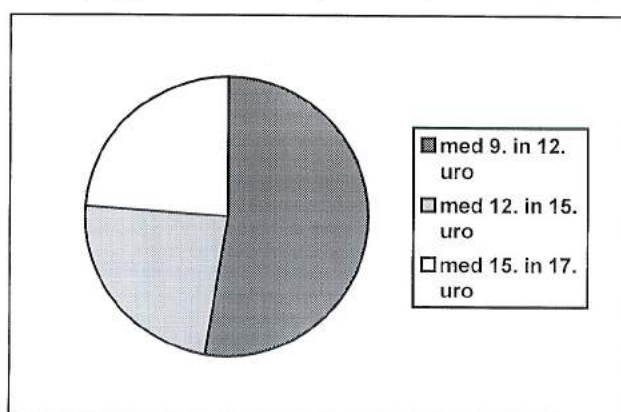
Slika 8. Odgovori za potres 12. aprila 1998 ob 12.55 CET v urah po potresu
 Figure 8. Response for earthquake of 12. april 1998 by hours after event

Preglednica 2. Seznam prvih odzivov po elektronski pošti po potresu 12. aprila 1998
Table 2. List of the first responses after the April 12, 1998 earthquake. The origin of the sender, time and time in minutes after the earthquake are shown

kraj	ura	čas po potresu v minutah
Ljubljana	13.07	12
Horjul	13.11	16
Brežice	13.19	24
Kamnik	13.29	34
Muta	13.31	36
Pesnica pri Mariboru	13.33	38
Anhovo	13.35	40
Prevalje	13.50	55
Ljubljana	13.54	59
Ljubljana	14.09	74
Tolmin	14.29	94

Potres pri Trebnjem 31. avgusta ob 4.32 po srednjeevropskem poletnem času so prav tako čutili prebivalci po vsej Sloveniji. Dobili smo 18 odgovorov, od tega 17 istega dne. Na sliki 9 so predstavljeni odgovori po urah. Ljudje so začeli iskati informacije po jutranji kavi. Med deveto in dvanajsto uro smo dobili dobro polovico odgovorov.

Ugotavljamo, da lahko odgovore pričakujemo od rednih uporabnikov interneta, ki ga v okviru svojih navad uporabljajo predvsem dopoldan. Močan potres, kot je bil tisti v Posočju, ljudi dodatno spodbudi, zato so zamude pri odzivanju manjše.



Slika 9. Odgovori po potresu pri Trebnjem 31. avgusta 1998 ob 4.32 po srednjeevropskem poletnem času se ujemajo s povprečnim dnevnim ciklom dostopov.

Figure 9. Response for earthquake of 31. August 1998 near Trebnje by the day time

Sporočila in opažanja

Imeli smo nekaj težav z elektronsko pošto, prek katere pošiljamo vprašalnike. Pri pošiljanju prek strežnika MS Exchange je prispelo namreč nekaj sporočil brez besedila. Jeseni smo dobili nekaj odgovorov tudi iz Microsofta, ko so odkrivali napako.

Pri nekaterih poštnih sistemih in verjetno nastavitvah časovnega območja na računalnikih so bile težave, tako da je bilo treba te razlike ugotoviti in popraviti.

Komentarji so bili v glavnem pozitivni. Nekaj jih je bilo tudi iz tujine. V glavnem so jih zanimali podatki o potresu in škodi. Informacije o potresu so bile v slovenščini bolj obsežne kot v angleščini, kjer smo se omejili na osnovne podatke.

Bilo je tudi nekaj sporočil s pripombami. Predvsem so ljudje želeli videti, kako se tresejo tla v realnem času. Na žalost jim zaradi trenutne konfiguracije mreže in z njo povezanega delovanja nismo mogli ustreči. Z novo mrežo bo možno dobiti valovne zapise prek sistema AutoDRM in svetovnega spleta (Uran, 1997).

Sklep

Potres mora biti dovolj močan, da ga čuti večje število ljudi in postane zanje zanimiv. Po izkušnjah z odgovori na interaktivne vprašalnike na našem spletnem strežniku ugotavljamo, da prejmemo več odgovorov, kadar je magnituda potresa nad 4. Podobno velja za dostope do strani s seizmološko vsebino. Manjši potresi za množice niso zanimivi oziroma jim zadošča že kratko obvestilo po radiu ali notica v časopisu. To kaže primerjava dostopov po dveh potresih v Posočju z magnitudo 3,2 v primerjavi s potresom pri Trebnjem z magnitudo 4,3. Medtem ko se pri prvih dveh število obiskov ni bistveno zvečalo, se pri zadnjem je.

Več obiskov je iz Ljubljane, kjer je več uporabnikov interneta. Tudi čas obiskov ustreza času, ko največ ljudi brska po svetovnem spletu.

Odziv je odvisen od dela dneva, saj je bilo več obiskov med službenim časom. To je bilo izrazito po potresu pri Trebnjem, ko smo dobili največ odgovorov v času, ko ljudje največ brskajo po internetu.

Komentarji so bili v glavnem pozitivni. Nekaj pripomb je bilo tehtnih; povezane so bile z dostopom do seizmogramov in možnostjo opazovanja nihanja tal v realnem času. To na žalost s trenutno organizacijo seizmološke mreže ni možno. Ob posodobitvi je dostop do seizmogramov predviden tako prek sistema AutoDRM kot prek svetovnega spleta.

Upam, da smo v okviru naših možnosti javnost dobro obveščali o potresu. Z dobljenimi izkušnjami bomo svoje delovanje še izboljšali.

Literatura

Uran, B., 1997. Seizmološki strežnik WWW. Ujma 11, 198-200, Ljubljana.

Cecić, I., Živčić, M., Deterding, M., Gosar, A., 1999. Potresi v letu 1998. Potresi v Sloveniji v letu 1998, v tej številki, Ljubljana.

RIS, 1999. RIS'98 - raba Interneta v Sloveniji. <http://www.ris.org/si/index.html>.

CATI, 1998. Ljubljančani o potresu pred tednom dni. CATI center. <http://cati.over.net/potres.html>.

Uran, B., 1995. Izmenjava podatkov v seizmologiji. Ujma 9, 182-184, Ljubljana.

MOČNEJŠI POTRESI PO SVETU LETA 1998 WORLD'S LARGEST EARTHQUAKES IN 1998

Griša Močnik, Renato Vidrih*

Povzetek. 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 61 potresi, ki so dosegli ali presegli navorno magnitudo 6,5 oziroma povzročili večjo gmotno škodo in zahtevali človeška življenja, smo natančneje opisali 32 potresov. Potres z največ smrtnimi žrtvami je bil na meji Afganistana in Tadžikistana 30. maja 1998. V njem je umrlo približno 4000 ljudi. Močan potres blizu severne obala Papue Nove Gvineje je 17. julija 1998 povzročil tsunami, ki je popolnoma uničil več vasi. Umrlo je 2183 ljudi. Potres z največ sproščene energije je bil 29. novembra 1998 v Ceramskem morju. Imel je magnitudo 7,8. Najgloblji potres je bil 27. januarja 1998 južno od otoka Fidži in je imel žarišče v globini okoli 600 km. Leta 1998 je po svetu zaradi potresov umrlo skoraj 9000 ljudi. V več kot 150000 bolj ali manj porušenih zgradbah je bilo ranjenih okoli 25000 ljudi.

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 61 earthquakes that either reached a moment magnitude of 6.5 or more, caused major material damage, or claimed human lives. We mention 32 of them. The most devastating earthquake in 1998 occurred on 30 May on the Afghan-Tajikistani border, where approximately 4000 people were killed. A strong earthquake near the north coast of Papua New Guinea generated a devastating tsunami on 17 July. Several villages were wiped away which resulted in more than 2100 dead. The 29 November earthquake in the Ceram sea ranks first in terms of released energy, with magnitude of 7.8. The deepest earthquake occurred on 27 January earthquake south of Fiji islands, with a hypocentre approximately 600 km below the surface. In 1998, earthquakes claimed almost 9000 human lives. More than 150000 buildings were damaged or demolished. Approximately 25000 people were injured.

Preglednica 1. Seznam potresov v letu 1998, katerih navorna magnituda M_w je bila enaka ali večja od 6,5; dodani so potresi, katerih magnituda je sicer manjša, a so povzročili večjo gmotno škodo, ranjene ali smrtne žrtve; z zvezdico so zaznamovani potresi, ki so opisani v besedilu.

Table 1. List of earthquakes in 1998 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.

* Ministrstvo za okolje in prostor, Uprava RS za geofiziko, Pot na Golovec 25, Ljubljana

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	
4. 1.	06:11:58.9	22,301 S	170,911 E	6,4		7,4	101	otočje Loyalty
10. 1.	03:50:41.5	41,083 N	114,500 E	5,8	5,7	5,8	30	severovzhodna Kitajska
10. 1.	08:20:05.7	14,374 N	91,473 W	6,1	6,2	6,6	33	Gvatemala
12. 1.	10:14:07.6	30,985 S	71,410 W	5,8	6,2	6,6	35	blizu obale osrednjega Čila
12. 1.	16:36:20.2	15,848 S	179,376 W	5,8	6,7	6,7	23	otočje Fidži
14. 1.	17:24:10.3	15,731 S	179,329 W	5,8	6,5	6,5	33	otočje Fidži
27. 1.	21:05:44.3	22,411 S	179,035 E	5,6		6,5	610	južno od otočja Fidži
30. 1.	12:16:08.6	23,913 S	70,207 W	6,3	6,5	7,0	42	blizu obale severnega Čila
4. 2.	14:33:21.2	37,075 N	70,089 E	5,6	6,1	5,9	33	meja Afganistan.-Tadžikistan
16. 2.	23:53:19.5	52,666 N	33,665 W	6,2	6,5	6,7	10	severni Atlantik
19. 2.	14:14:51.1	4,476 S	129,082 E	6,1	6,4	6,5	33	Bandsko morje
20. 2.	12:18:06.2	36,479 N	71,086 E	5,8	5,7	6,4	236	meja Afganistan – Tadžikistan
14. 3.	19:40:27	30,154 N	57,605 E	5,9	6,9	6,6	9	severni Iran
19. 3.	13:51:33.7	39,977 N	76,731 E	5,4	5,6	5,6	33	južni Xinjang, Kitajska
20. 3.	21:08:08.5	50,008 S	163,107 E	5,8	6,1	6,7	10	otočje Auckland
25. 3.	03:12:25	62,877 S	149,527 E	6,6	8,0	7,7	10	otočje Balleny
25. 3.	12:17:22.5	63,612 S	147,937 E	5,8	6,1	6,5	10	južno od Avstralije
26. 3.	16:26:11.5	43,255 N	12,969 E	5,4	4,8	5,4	10	osrednja Italija
29. 3.	19:48:16.2	17,552 S	179,092 W	6,5		7,1	537	otočje Fidži
1. 4.	17:56:23.3	0,544 S	99,261 E	6,2	6,9	6,9	56	južna Sumatra, Indonezija
1. 4.	22:42:56.9	40,316 S	74,874 W	6,2	6,0	6,5	9	ob obali južnega Čila
2. 4.	17:56:14.7	1,20 S	98,60 E	6,5			28	južna Sumatra, Indonezija
3. 4.	07:26:36.6	43,164 N	12,701 E	5,1	4,8	5,2	10	osrednja Italija
3. 4.	22:01:48.2	8,148 S	74,238 W	6,1	5,6	6,6	165	meja Peru – Brazilija
10. 4.	15:00:53.1	32,457 N	59,976 E	5,3	5,7	5,6	33	severni Iran
12. 4.	10:55:32.5	46,245 N	13,652 E	5,3	5,7	5,8	10	zgornje Posočje, Slovenija
13. 4.	15:14:33.5	39,238 N	41,055 E	4,8	4,8	5,3	33	Turčija
3. 5.	23:30:21.9	22,306 N	125,308 E	6,4	7,3	7,4	33	južnovzhodno od Tajvana
13. 5.	23:02:05.6	5,147 S	151,714 E	6,0		6,5	61	Nova Britanija, Papua Nova Gvineja

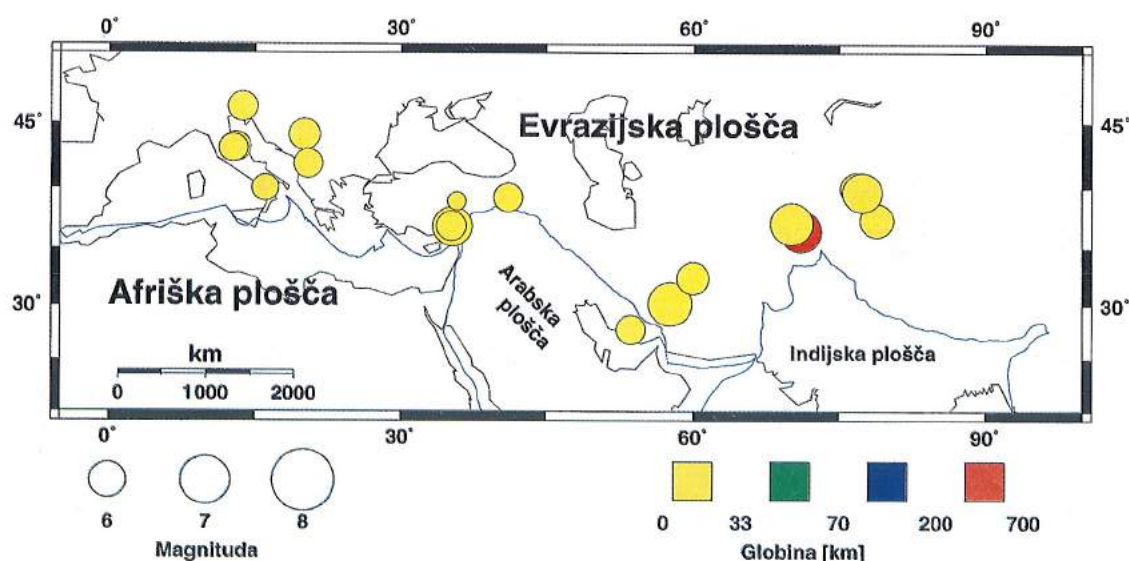
datum	čas (UTC)	koordinati		magnituda			globina	območje
	ura min sek	širina	dolžina	Mb	Ms	Mw	km	
date	time (UTC)	coordinates		magnitude			depth	area
	hour min sec	lat	lon	Mb	Ms	Mw	km	
16. 5.	2:22:03.2	22,227 S	179,519 W	6,1		6,8	586	južno od otočja Fidži
21. 5.	05:34:25.5	0,207 N	119,584 E	6,2	6,3	6,6	33	polotok Minahasa, Sulavezi
22. 5.	04:48:50.4	17,731 S	65,431 W	5,9	6,6	6,5	24	osrednja Bolivija *
28. 5.	21:11:44.1	37,388 N	78,843 E	5,2	5,6	5,8	33	južni Xinjang, Kitajska *
30. 5.	06:22:28.9	37,106 N	70,110 E	5,9	6,9	6,5	33	meja Afganistan - Tadžikistan *
1. 6.	05:34:03.5	52,889 N	160,067 E	6,2	6,3	6,5	44	blizu obale vzhodne Kamčatke
27. 6.	13:55:52	36,878 N	35,307 E	5,8	6,2	6,3	33	Turčija *
4. 7.	02:15:44.3	36,897 N	35,157 E	5,0	4,5	5,4	10	Turčija *
9. 7.	05:19:07.3	38,650 N	28,626 W	5,7	6,0	6,2	10	Azorski otoki *
9. 7.	14:45:39.9	30,487 S	178,994 W	6,2	6,2	6,9	130	otočje Kermadec, Nova Zelandija
16. 7.	11:56:36.4	11,040 S	166,160 E	6,4	6,7	7,1	110	otočje Santa Cruz
17. 7.	04:51:14.7	23,407 N	120,736 E	5,5	5,4	5,7	13	Tajvan *
17. 7.	08:49:13.2	2,961 S	141,926 E	5,8	7,1	7,1	10	blizu severne obale Papue Nove Gvineje *
29. 7.	07:14:24	32,312 S	71,286 W	6,3		6,5	51	blizu obale osrednjega Čila
29. 7.	18:00:29.9	2,693 S	138,901 E	5,9	6,7	6,5	33	Irian Džaja, Indonezija
4. 8.	18:59:20.1	0,593 S	80,393 W	6,2	7,1	7,0	33	blizu obale Ekvadorja *
12. 8.	14:10:25.1	36,755 N	121,464 W	4,8	5,0	5,2	9	osrednja Kalifornija *
20. 8.	06:40:55.8	28,932 N	139,329 E	6,1		7,0	441	otočje Bonin
23. 8.	13:56:15.3	11,663 N	88,038 W	5,7	6,3	6,5	55	ob obali centralne Amerike
27. 8.	09:03:36.6	39,660 N	77,343 E	5,6	6,4	6,3	33	južni Xinjang, Kitajska *
2. 9.	08:37:29.9	5,410 N	126,764 E	6,6	6,7	6,8	50	Mindanao, Filipini
3. 9.	17:37:58.2	29,450 S	71,715 W	6,2	6,6	6,5	27	blizu obale osrednjega Čila
9. 9.	11:27:59.3	40,035 N	15,980 E	5,2	5,2	5,0	10	južna Italija *
28. 9.	13:34:29.7	8,181 S	112,465 E	6,3		6,5	153	Java, Indonezija *
29. 9.	22:14:49.7	44,194 N	20,037 E	5,2	5,3	5,5	10	severovzhodni Balkan ; osrednja Jugoslavija
30. 9.	23:42:54.3	41,936 N	20,418 E	4,8	5,1	5,3	10	Albanija *
13. 11.	13:01:10.5	27,791 N	53,608 E	5,3	5,1		33	južni Iran *
19. 11.	11:38:14.7	27,270 N	100,970 E	5,2	5,6		33	Junan, Kitajska *
29. 11.	14:10:31.4	2,051 S	124,925 E	6,5	7,7	7,8	33	Ceramsko morje *
6. 12.	00:47:13.5	1,302 N	126,253 E	6,3	6,2	6,4	33	severno Moluško morje

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	
14. 12.	13:06:09.8	38,950 N	35,762 E	4,5	3,9		10	Turčija
27. 12.	00:38:26.8	21,497 S	176,412 W	6,1		6,9	144	otočje Fidži

Potresi in tektonika plošč

Zemljina litosfera je sestavljena iz nekaj večjih in več manjših tektonskih plošč (slika 1). Najpomembnejše plošče so pacifiška (tihooceanska), severno- in južnoameriška, evrazijska, afriška, avstralska in antarktična. Za svetovno potresno dejavnost pa niso nič manj pomembne številne manjše plošče. Tektonske plošče so v stalnem (sicer počasnem) gibanju. Med seboj se lahko primikajo - primične (konvergentne) ločnice, razmikajo - razmične (divergentne) ločnice, lahko pa druga ob drugi drsijo - strižne ločnice plošč. Severnoameriška in južnoameriška plošča se oddaljujeta od evrazijske in afriške plošče. Loči ju razmična ločnica, ki se kaže v srednjatlantskem 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 podiranje 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. 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 1998 so medsebojna premikanja omenjenih plošč povzročila veliko potresov na celotnem območju od Sredozemskega morja do Tihega oceana. Slika 1 jasno kaže povezanost tektonike plošč s potresno dejavnostjo, saj so vsi močnejši potresi nastali na stikih tektonskih plošč. Narisani so le najmočnejši svetovni potresi. Če bi izrisali nadžarišča (epicentre) vseh potresov, bi še bolje videli, da potresi nastajajo na mejah med posameznimi ploščami. Pravzaprav je prav porazdelitev potresov razkrila ločnice oz. stičišča plošč.

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 (ne političnih) območij.



Slika 2. Porazdelitev najmočnejših potresov leta 1998 v sredozemsko-himalajskem potresnem pasu, ki je za obtihomorskim drugo najdejavnejše potresno območje na Zemlji.

Figure 2. Distribution of the most powerful earthquakes in 1998 in the Mediterranean-Himalayan belt, which is, after the circum-Pacific belt, subject to the most frequent earthquake shocks.

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

10. 1. (severovzhodna Kitajska). Potres je zahteval 70 žrtev, okoli 11500 ranjenih, povzročil večjo škodo s požari na območju Shangyija in Zhangbeija, tako da je 44000

družin ostalo brez domov. Poškodovani so bili deli Kitajskega zidu na severozahodu province Hebei. Potres so čutili celo v Pekingu, močno pa v Zhangjiakou.

10. 1. (Gvatemala). Ranjenih je bilo vsaj 16 ljudi v okrožju Quetzaltenango in trije v okrožju San Marcos. Potres je porušil nekaj hiš v okrožju Solola. Čutili so ga po celi južni in zahodni Gvatemali do okrožij Alta Verapaz in Zacapa. Čutili so ga tudi v El Salvadorju in delih Mehike.

4. 2. (meja Afganistan - Tadžikistan). Na območju Rostaq je umrlo 2323 ljudi, 818 pa je bilo ranjenih. Potres je porušil 8094 hiš, poginilo je 6725 glav živine, sprožili so se zemeljski plazovi. Čutili so ga tudi v Dušanbeju (Tadžikistan).

20. 2. (meja Afganistan – Tadžikistan). Ena oseba je izgubila življenje, tri pa so bile ranjene v Yar-Husainu, 6 ljudi je bilo ranjenih v Ravalpindiju, dva pa v Pešavarju (vse Pakistan). Snežni plaz, ki ga je sprožil potres, je v območju Astor v Kašmirju uničil 35 hiš (vključno z mošejo), tako da je brez prebivališč ostalo 300 ljudi, in pobil več deset glav živine. Poškodbe so se pojavljale od Chirtala do Swabija v Pakistanu in v zahodnem Kašmirju in Rostaqu v Afganistanu. Potres so čutili v večini severnega Pakistana, na jugu pa celo do Lahoreja, v Afganistanu pa do Kabula in Mazar-e Šarifa. Čutili so ga v delih Tadžikistana.

14. 3. (severni Iran). V Golbafu je bilo ubitih 5 ljudi, 50 pa ranjenih. Na širšem področju Golbafa se je porušilo 2000 hiš, 10000 ljudi je ostalo brez domov, poginilo je 1200 glav živine in prekinjene so bile vodne, električne in komunikacijske povezave. Čutili so ga v mestih Baft in Kerman.

19. 3. (južni Xinjang, Kitajska). Potres je porušil približno 400 hiš in pobil nekaj živine 90 km severovzhodno od mesta Artux. Potres so čutili v Artuxu, Kašgarju (oboje Kitajska) in v Alma-Ati (Kazahstan).

26. 3. (osrednja Italija). V Peruggi je ena oseba umrla zaradi srčne kapi. Potres je povzročil še manjše poškodbe na zgradbah (v Camerinu, Sant Ippolitu in Urbinu), ki so že bile poškodovane med potresi 26. 9. 1997 in njihovimi popotresi. Potres so čutili od Bologne do Rima, v Sloveniji in zahodnem delu Avstrije (karta intenzitet je v članku Potresi v Sloveniji 1998).

3. 4. (osrednja Italija). V potresu je bilo na območju Gualdo Tadina in Nocera Umbre lažje ranjenih 5 oseb in poškodovanih ali porušeni 300 hiš. Potres so močno čutili v Assisiju, čutili pa so ga tudi v Rimu na jugu in v Kopru na severu (omenjen je v članku Potresi v Sloveniji 1998).

10. 4. (severni Iran). Na območju med Birjandom in Gonabadom je življenje izgubilo vsaj 12 ljudi, 20 pa jih je bilo ranjenih. Več kot 600 zgradb je bilo močno

poškodovanih.

12. 4. (Avstrija). Potres je povzročil škodo na področju severozahodne Slovenije. Ena oseba je umrla zaradi srčne kapi. Potres je podrobno opisan v drugih člankih.

13. 4. (Turčija). V Karilovi (vzhodna Turčija) je bilo ranjenih 11 ljudi in več zgradb poškodovanih ali uničenih.

22. 5. (osrednja Bolivija). Na območju Aquilee in Totore je bilo ubitih vsaj 105 ljudi, 150 pa ranjenih. V Aquilei je potres porušil 80% zgradb, v Tortori pa 70%. Osem do dvanajst sekund po začetku potresa sta sledila vsaj še dva večja dogodka.

28. 5. (južni Xinjang, Kitajska). V nadžariščnem področju je bilo ranjenih 28 oseb in uničenih več kot 2000 zgradb. Potres je poškodoval še 3000 zgradb in poginilo je 5000 glav živine.

30. 5. (meja Afganistan - Tadžikistan). V provincah Badahstan in Tahar je umrlo vsaj 4000 ljudi, več tisoč pa je bilo ranjenih. Potres so močno čutili v Mazar-e Šarifu (Afganistan). Potres so čutili še v Kabulu (Afganistan), Islamabadu, Pešavarju in Ravalpindiju (vse Pakistan) in Dušanbeju (Tadžikistan). To je bil najmočnejši potres na tem območju.

27. 6. (Turčija). V Adani in Čejhanu na jugu Turčije je umrlo vsaj 145 ljudi, 1500 pa je bilo ranjenih. Vsaj 6 večjih zgradb se je porušilo, v provinci Adana pa je bilo uničenih še 17000 hiš. Potres so čutili na Cipru, v Izraelu in Siriji. To je bil najmočnejši potres v Turčiji.

4. 7. (Turčija). V okolici Adane (jug Turčije) je bilo ranjenih vsaj 500 ljudi.

9. 7. (Azorski otoki). Na otoku Faial je umrlo 10 ljudi, kakih 100 pa je bilo ranjenih in 1000 jih je ostalo brez domov. Potres je povzročil nekaj škode tudi na otokih Pico in Terceira. Čutili so ga še na otokih Corvo in San Jorge.

17. 7. (Tajvan). V območju Chia-i je umrlo 5 ljudi, 27 pa je bilo ranjenih. Več zgradb je bilo poškodovanih, sprožili so se tudi zemeljski plazovi. Čutili so ga po celem Tajvanu in na obalah provinc Fujian in Zhejiang (oboje Kitajska).

17. 7. (blizu severne obale Papue Nove Gvineje). Na območju Sissano je zaradi potresa nastal tsunami, zaradi katerega je umrlo 2183 ljudi, tisoče je bilo ranjenih, okrog 9500 pa jih je ostalo brez domov. Najvišji valovi so bili ocenjeni na 10 metrov. Več vasi je bilo popolnoma uničenih, druge pa so bile močno poškodovane. Nekaj centimetersko višino valov tsunamija so izmerili na Japonskem in na Novi Zelandiji.

29. 7. (blizu obale osrednjega Čila). V Santiagu in okolici sta dve osebi umrli zaradi srčne kapi, več deset ljudi pa je bilo lažje ranjenih. Štirje rudarji so bili ranjeni v

rudniku zlata Boton de Oro. Potres so čutili v osrednjem Čilu.

4. 8. (blizu obale Ekvadorja). Tri osebe so umrle in 40 ljudi je bilo ranjenih na področju Bahia de Caraquez in Canoe. Približno 60% zgradb v Canoi je bilo močno poškodovanih. V Bahia de Caraquez so bili poškodovani vodovod, električno in telefonsko omrežje in večina tro- ali večnadstropnih zgradb. Pomembnejše poškodbe so se pojavljale po celi zahodni provinci Manabi. Zemeljski plazovi so pretrgali cestno povezavo med Bahia de Caraquez in Canoo. Potres so močno čutili v Guayaquilu in Quitu. Čutili so ga po celem Ekvadorju in celo v 550 km oddaljenem Caliju (Kolumbija). Potres je bil sestavljen iz manjšega dogodka, ki mu je približno 3 sekunde kasneje sledil večji.

12. 8. (osrednja Kalifornija). V najmočnejšem kalifornijskem potresu tega leta sta bili okrožju Santa Cruz dve osebi ranjeni. V okrožju San Benito je bilo poškodovanih več prikoličnih domov in na avtocesti 101 so se pojavile manjše razpoke, poškodovana je bila cerkev v San Juan Bautista. Precejšnja škoda je bila posledica padcev izdelkov s polic v trgovinah. Potres so čutili po celotni osrednji obali Kalifornije.

27. 8. (južni Xinjang, Kitajska). V okrožju Jiashi so umrli 3 ljudje, 7 pa je bilo ranjenih. Več kot 3000 hiš je bilo uničenih, 18000 pa poškodovanih. To je bil najmočnejši potres na tem področju.

9. 9. (južna Italija). Eno osebo so ubile padajoče skale, druga pa je umrla zaradi srčne kapi. Vsaj 12 ljudi je bilo ranjenih in več zgradb poškodovanih v območju Castellicia in Laurie. Potres so čutili od Neaplja do Kalabrije.

28. 9. (Java, Indonezija). V območju Malang je ena oseba umrla, 200 pa jih je ostalo brez doma. Osemtrideset zgradb se je porušilo, 62 pa jih je bilo poškodovanih. Potres so čutili v osrednji in vzhodni Javi, na Baliu, Lomboku in Surabavi.

29. 9. (severovzhodni Balkan). V območju Beograda in Valjeva je ena oseba umrla zaradi srčne kapi, 17 pa jih je bilo ranjenih. Potres je povzročil nekaj škode. Potres so čutili na večini osrednje Jugoslavije, v okolici Vidina (Bolgarija), v Sarajevu in v delih Hrvaške in severne Grčije.

30. 9. (Albanija). V področju Kukeša je bilo poškodovanih vsaj 100 hiš. Potres so čutili v območjih Peškopov, Tirane in Elbasana.

18. 10. (Nikaragva). V območju Ticuantepe so bili ranjeni trije ljudje, dve hiši uničeni, 45 pa močno poškodovanih. To je bil najmočnejši potres med dvestotimi, ki so nastali med 18. in 19. oktobrom.

13. 11. (južni Iran). V območjih Bigerd in Kondž je umrlo 5 ljudi, 105 pa je bilo

ranjenih. Zaradi potresa in zaradi sproženih zemeljskih plazov je bilo poškodovanih vsaj 850 hiš.

19. 11. (Junan, Kitajska). V okrožjih Huaping, Ninglang in Yongsheng so trije ljudje umrli, več kot 1500 pa je bilo ranjenih. Potres je povzročil veliko škodo na hišah in cestah. Zemeljski plazovi so zajezili reko v nadžariščnem področju.

29. 11. (Ceramsko morje). Na otoku Mangole je umrlo najmanj 34 ljudi. Na otokih Mangole in Taliabu je bilo ranjenih 153 ljudi. V Mandau na Sulaveziju je bilo 7 žrtev potresa in 8 ranjenih. Potres je povzročil večjo gmotno škodo in porušil več zgradb. Zemeljski plaz je zaprl cesto na Mangolu. Potres so čutili na vzhodnem Sulaveziju in Ambonu. To je bil potres z največ sporoščene energije v letu 1998.

14. 12. (Turčija). V Kajseru (osrednja Turčija) sta bili ranjeni dve osebi, 20 hiš se je porušilo in 118 jih je bilo poškodovanih.

Literatura

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

NEIC, 1998. Significant Earthquakes of the World. US Department of the Interior. Geological Survey, National Earthquake Information Center,

<http://earthquake.usgs.gov/neis/eqlists/significant.html>

URSG, 1998. Preliminarni seizmološki bilten, 1998. Uprava Republike Slovenije za geofiziko, Ljubljana.