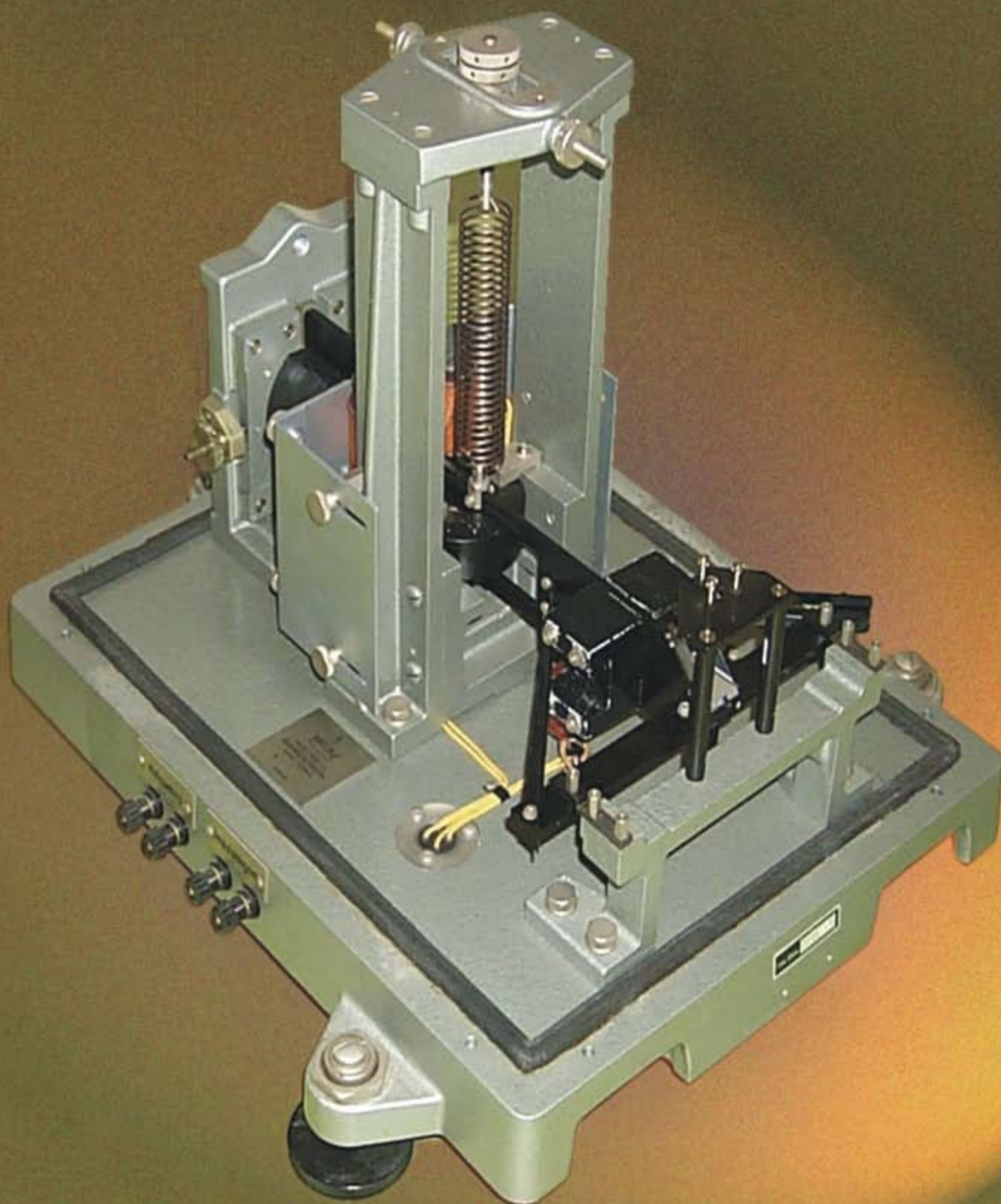




AGENCIJA RS ZA OKOLJE



POTRESI
V LETU 2007



AGENCIJA REPUBLIKE SLOVENIJE ZA OKOLJE

ENVIRONMENTAL AGENCY OF THE REPUBLIC OF SLOVENIA

POTRESI V LETU 2007 EARTHQUAKES IN 2007

AGENCIJA REPUBLIKE SLOVENIJE ZA OKOLJE
URAD ZA SEIZMOLOGIJO IN GEOLOGIJO

ENVIRONMENTAL AGENCY OF THE REPUBLIC OF SLOVENIA
SEISMOLOGY AND GEOLOGY OFFICE

Ljubljana 2008

POTRESI V LETU 2007 EARTHQUAKES IN 2007

IZDALA IN ZALOŽILA / PUBLISHED BY

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

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

GENERALNI DIREKTOR AGENCIJE / DIRECTOR GENERAL OF AGENCY

dr. Silvo Žlebir

UREDNIK / EDITOR

dr. Renato Vidrih

RAČUNALNIŠKO OBLIKOVANJE / COMPUTER DESIGN

Peter Sinčič

UREDNIŠKI SVET / EDITORIAL BOARD

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

TISK / PRINTED BY

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

Mednarodna standardna serijska številka:

ISSN 1318 - 4792

NASLOVNICA:

Vertikalni seizmometer »Stuttgart« elektromagnetnega tipa s stalno pritrjeno tuljavo z magnetnim jedrom in magnetom na nihalu. Na observatoriju na Golovcu v Ljubljani je začel delovati marca leta 1959 in je neprekinjeno deloval do sredine leta 1979. Kratkoperiodni seizmograf z galvanometriškim optičnim registratorjem z zapisom na fotografski papir je konstruiral znani nemški seizmolog Wilhelm Hiller.

Glej članek Peter Sinčič, Renato Vidrih, Matjaž Gostinčar:

OB 110-OBLETNICI PRVE POTRESNE OPAZOVALNICE V SLOVENIJI

COVER PAGE:

Electromagnetic vertical seismometer »Stuttgart« with permanent attached coil with magnetic core and magnet on pendulum. On March 1959 it started recording in Observatory on Golovec in Ljubljana and was continuously in operation by mid 1979. Short period seismograph with galvanometric optical recorder with recordings on photo paper was constructed by known German seismologist Wilhelm Hiller.

See: Peter Sinčič, Renato Vidrih, Matjaž Gostinčar:

110TH ANNIVERSARY OF THE FIRST SEISMIC STATION IN SLOVENIA

KAZALO / CONTENTS

Renato Vidrih

PREDGOVOR	I
PREFACE.....	IV

Peter Sinčič, Renato Vidrih, Izidor Tasič, Mladen Živčič, Tatjana Prosen

POTRESNE OPAZOVALNICE V SLOVENIJI V LETU 2007	
SEISMIC NETWORK IN SLOVENIA IN 2007	1

Izidor Tasič, Marko Mali, Luka Pančur, Peter Sinčič, Igor Pfundner, Bojan Uran, Jože Prosen

DELOVANJE POTRESNIH OPAZOVALNIC V LETU 2007	
SEISMIC STATIONS OPERATION IN 2007	12

Jurij Pahor, Mladen Živčič

UČINKOVITOST PRIDOBIVANJA PODATKOV V LETU 2007	
SEISMIC DATA ACQUISITION EFFICIENCY IN 2007	20

Ina Cecič, Milka Ložar Stopar, Tamara Jesenko in Mladen Živčič

POTRESI V SLOVENIJI LETA 2007	
EARTHQUAKES IN SLOVENIA IN 2007	24

Milka Ložar Stopar, Mladen Živčič

ŽARIŠČNI MEHANIZMI NEKATERIH MOČNEJŠIH POTRESOV	
V SLOVENIJI V LETIH 2006 IN 2007	
FAULT PLANE SOLUTIONS OF SOME STRONGER EARTHQUAKES	
IN SLOVENIA IN 2006 AND 2007	48

Marko Mali, Izidor Tasič, Luka Pančur

VPLIV BREZPREKINITVENEGA NAPAJANJA NA	
DELOVANJE POTRESNE OPAZOVALNICE	
UNINTERRUPTIBLE POWER SUPPLY INFLUENCES	
ON SEISMIC STATION'S FUNCTION	54

Igor Pfundner

NAPAKE IN OKVARE STROJNE OPREME INSTRUMENTA QUANTERRA Q730	
QUANTERRA Q730 SEISMIC DATA LOGGER HARDWARE ERRORS	60

Izidor Tasič, Marko Mali, Luka Pančur

TESTNE MERITVE DVEH SEIZMOMETROV V CONRADOVEM OBSERVATORIJU
TESTING OF TWO SEISMOMETERS AT CONRAD OBSERVATORY 66

Jurij Pahor, Mladen Živčić, Janko Kolar

PREGLED PRIKAZA TER OBISKANOSTI SPLETNE STRANI
S SAMODEJNO DOLOČENIMI PARAMETRI POTRESOV
AUTOMATIC EARTHQUAKE LOCATION DISPLAY
ON ARSO WEB PAGE AND ACCESS OVERVIEW.....73

Peter Sinčič, Renato Vidrih, Matjaž Gostinčar

OB 110-OBLETNICI PRVE POTRESNE OPAZOVALNICE V SLOVENIJI
110TH ANNIVERSARY OF THE FIRST SEISMIC STATION IN SLOVENIA.....78

Tamara Jesenko, Renato Vidrih

MOČNEJŠI POTRESI PO SVETU LETA 2007
WORLD'S LARGEST EARTHQUAKE IN 2007 115

Matjaž Godec, Renato Vidrih

POTRES 15. AVGUSTA 2007 V PERUJU
THE 15 AUGUST 2007 EARTHQUAKE IN PERU 123

Renato Vidrih, Peter Sinčič, Ina Cecić

VAJA »IDASSA 2007«
EXERCISE »IDASSA 2007« 140

Izidor Tasič, Peter Sinčič

GENERALNA SKUPŠČINA EVROPSKEGA ZDRUŽENJA GEOZNANOSTI
GENERAL ASSEMBLY OF EUROPEAN GEOSCIENCES UNION 153

PREDGOVOR

Izšla je sedemnajsta zaporedna publikacija Urada za seizmologijo in geologijo Agencije Republike Slovenije za okolje »Potresi v letu...«. Publikacija v prvem delu obravnava delovanje državne mreže potresnih opazovalnic. V drugem delu je predstavljena potresna dejavnost Slovenije, sledijo pa besedila o problemih in izboljšavah v delovanju instrumentov državne mreže. V letu 2007 smo praznovali 110-letnico prve potresne opazovalnice v Sloveniji, zato je obširen članek namenjen zgodovinskemu pregledu razvoja instrumentalne seizmologije v Sloveniji. Publikacijo zaključujejo potresna dogajanja po svetu.

V letu 2007 je na območju Slovenije delovalo 26 digitalnih potresnih opazovalnic, povezanih v omrežje z neprekinjenim prenosom podatkov v središče za obdelavo v Ljubljani, tri začasne ter enajst potresnih opazovalnic z akcelerometri za opazovanje seizmičnosti na urbanih območjih. Poleg naštetih delujeta na Golovcu v Ljubljani in na Vojskem analogna seizmografa. Seizmografi so zabeležili 3748 seizmičnih dogodkov, od tega 1117 oddaljenih potresov (oddaljenih več kot 1100km), 554 regionalnih potresov (oddaljenih med 160 in 1100km), 1394 lokalnih potresov (oddaljenih manj kot 160km) in 683 umetnih potresov (razstreljevanj).

V nadaljevanju sledi niz člankov o delovanju državne mreže potresnih opazovalnic v letu 2007 in o učinkovitosti pridobivanja podatkov. Vzroki manjših izpadov so problemi s komunikacijami, vzroki daljših izpadov pa so problemi z dobavo električne energije in okvar na instrumentih. Za kontrolo delovanja potresnih opazovalnic smo v letu 2007 na Uradu nadgradili programsko opremo, ki smo jo razvili v letu 2005 in ki na osnovi statusnih podatkov analizira tako delovanje posamezne potresne opazovalnice kakor tudi delovanje celotne državne mreže potresnih opazovalnic. Analiza poteka redno in omogoča razvoj in izvedbo možnih posodobitev, ki naj bi prispevale k boljšemu in zanesljivejšemu delovanju mreže. Celotna izguba podatkov v letu 2007 je znašala 8,5% za podatkovne nize s frekvenco vzorčenja 200 vzorcev v sekundi (HH) ter 7,9% za podatkovne nize s frekvenco vzorčenja 20 vzorcev v sekundi (BH).

Osrednji članek opisuje potresno dejavnost v Sloveniji. Potresna dejavnost je bila zmerna. Prebivalci različnih območij Slovenije so čutili 44 potresnih sunkov, od tega sedem z intenziteto V. stopnje po EMS ali več. Najmočnejši potresni sunki so bili 26. maja ob 6. uri in 3 minute UTC (sve-tovni čas) oz. dve uri kasneje po srednjeevropskem času pri Ziljah, 29. septembra ob 1. uri in 24 minut UTC oz. dve uri kasneje po srednjeevropskem času pri Cirju in 18. decembra ob 3. uri in 26 minut UTC oz. dve uri kasneje po srednjeevropskem času pri Rakovcu. Našteti potresi so dosegli V. stopnjo po EMS. Največje učinke – intenziteto sta dosegla potresa 26. septembra ob 19. uri in 47 minut ter 20. uri in 39 minut UTC oz. dve uri kasneje po srednjeevropskem času z žarišči v okolici Brežic. Prvi je imel magnitudo 2,8, drugi pa 2,9, oba sta dosegla največjo intenziteto med V. in VI. stopnje po EMS. Šest potresov je imelo intenziteto IV. stopnje po EMS, pet potresov IV. do V. stopnje po EMS, pet potresov V. stopnje po EMS in dva potresa med V. in VI. stopnjo po EMS lestvici. Ostali potresi so dosegli največjo intenziteto nižjo od IV. stopnje po EMS ali pa so jih prebivalci le čutili in stopnje ni bilo mogoče natančneje opredeliti. Večina žarišč je nastala v globini do 18km,

največ v globini med 6 in 9 km. Za močnejše potrese so bile odčitane smeri prvih premikov in s tem opredeljene rešitve prelomne ploskve. Večina močnejših potresov je bila naravnega značaja s prelomno ploskvijo v smeri približno vzhod-zahod. Pri ostalih je šlo za približno vodoravne premike ob skoraj navpičnih prelomih.

Sledijo članki o delovanju posameznih komponent mreže, od vpliva napajalnega sistema, napak na strojni opremi, testnih meritev seizmometrov do prikaza obiskanosti spletne strani. V letu 2007 se je izkazal pomen pravilnega izbora napajalnega sistema (UPS enote), saj je v minulem obdobju ta sistem povzročal na visokofrekvenčnem področju dodaten šum. Z razvojem in testiranjem nove UPS enote so bili vsi moteči elementi odpravljeni. Prav tako je bilo veliko pozornosti posvečene reševanju napak in okvar na instrumentih Q730. Najpogostejši okvari sta bili na diskih in spominskih karticah, pa tudi v vezjih GPS sprejemnika, napajalnega vezja in mrežnih karticah. Med drugim smo v letu 2007 na Observatoriju Conrad v Avstriji (ZAMG-Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik) testirali seizmometre Guralp in STS-2. Meritve in testi so potekali v 150 m dolgem tunelu, ki zaradi seizmičnega miru omogoča tovrstno testiranje.

Računalniki s komercialno ter lastno programsko opremo na Uradu za seizmologijo in geologijo neprekinjeno beležijo seizmično aktivnost ter samodejno določajo osnovne parametre potresov. Parametre samodejno objavijo na spletnih straneh Agencije RS za okolje, s čimer je prva informacija o potresu dostopna širši javnosti že v nekaj minutah. Prikaz je omejen na bližnjo okolico Slovenije. Poleg preglednice z osnovnimi parametri je objavljena tudi slika z grafičnim prikazom položaja nadžarišča ter slika seizmogramov iz izbranih seizmičnih opazovalnic. Iz evidence o dostopnosti do spletne strani je vidna korelacija povečanega števila dostopov z zabeleženimi lokalnimi potresi.

Obsežen članek je posvečen 110-letnici prve potresne opazovalnice na Slovenskem in zajema razvoj instrumentalne seizmologije do danes. 18. septembra 1897, slabi dve leti po velikem ljubljanskem potresu, je začel beležiti potrese prvi seizmograf na slovenskih tleh in hkrati prvi v takratni Avstro-Ogrski monarhiji in tudi v kasnejši kraljevini Jugoslaviji. Od takrat dalje, seveda s presledki, ki sta jih povzročili obe vojni in druge politične nevšečnosti, je delež slovenske seizmologije opazen tudi v svetovnih razsežnostih. Že leta 1966 se je takratni Astronomsko-geofizikalni observatorij uvrstil med najboljše potresne opazovalnice na svetu, saj je bil sprejet v World-Wide Standardised Seismograph Network, po letu 2006 pa smo z izgradnjo nove državne mreže potresnih opazovalnic ponovno posegli v svetovno seizmologijo.

Vsako leto zatrese Zemljo več stotisoč potresov, ki presegajo magnitudo 2,0 in katerih žarišča so predvsem na stikih večjih geotektonskih plošč. Potresno najdejavnejši območji sta obtihocean-ski in sredozemsko-himalajski pas, ki vključuje tudi naše kraje. Večina potresov je šibkih, ne povzročajo gmotne škode in ne zahtevajo človeških življenj, med njimi pa je vsako leto nekaj deset takih, ki povzročijo veliko razdejanje in zahtevajo smrtno žrtve. Med 76 potresi, ki so v letu 2007 dosegli ali presegli magnitudo 6,5 in povzročili večjo gmotno škodo ter zahtevali človeška življenja, je natančneje opisanih 34 potresov. Največ energije se je sprostito pri potresu 12. septembra na južni Sumatri, Indonezija. Imel je navorno magnitudo 8,4 in je zahteval 25 človeških življenj. Najgloblji potres je tudi v letu 2007 stresel otočje Fidži. Nastal je 6. maja in je imel žarišče v globini 676 km ter navorno magnitudo 6,5. Potresi v letu 2007 so zahtevali vsaj 704 žrtev.

Potres z največjim številom smrtnih žrtev je nastal 15. avgusta 2007 ob 23. uri in 40 minut po svetovnem času (UTC) oz. 18. uri in 40 minut po lokalnem času okoli 145 km jugo-jugo-vzhodno od Perujske prestolnice Lime. Po znanih podatkih je potres z magnitudo $M_w=8,0$ zahteval najmanj 519 življenj in povzročil ogromno gmotno škodo. Žarišče je nastalo na stičišču dveh velikih tektonskih plošč, Južnoameriške na severovzhodu in plošče Nazca na jugozahodu. Ker je na tem območju najbolj poznano obalno mesto Pisco, je potres dobil tudi ime »Potres Pisco«.

V letu 2007 smo si ogledali eno največjih vaj civilne zaščite, ki je potekala v času od 19. do 24. maja 2007 v okolici Zadra na Hrvaškem. NATO-ov koordinacijski center za reagiranje v primeru nesreč - Euro-Atlantic Disaster Response Coordination Centre (EADRCC) in hrvaška

Državna uprava za zaščito i spašavanje (DUZS) v sodelovanju z nekaterimi drugimi partnerskimi državami in članicami zveze sta organizirala največjo mednarodno civilno vajo v letu 2007. Na njej je sodelovalo 21 držav iz Euro-Atlantic Partnership Council (EAPC) ter več kot 1200 pripadnikov civilne zaščite in podobnih institucij, ki so bili razdeljeni v 55 reševalnih ekip. Med njimi so bile tudi štiri ekipe iz Slovenije. Vajo je spremljalo več kot 120 opazovalcev iz 35 držav, med njimi tudi iz Slovenije. Cilj vaje IDASSA 2007 je doseči napredek v povezavah in koordinaciji dežel NATO-a in Partnerstva za mir ter preizkušanje odziva na morebitno katastrofo, zmožnosti in skupnega delovanja v krizni situaciji. Scenarij vaje je bil pripravljen tako, da so bili preizkušeni načini, kako odgovoriti na naravno nesrečo in teroristični napad v istem času. Civilne institucije in vojaške enote so delovale skupno.

Tudi ob izidu publikacije Potresi v letu 2007 se sodelavci Agencije RS za okolje, Urada za seizmologijo in geologijo zahvaljujemo več kot 5000 prebivalcem različnih območij Slovenije, ki so nam z odgovori na makroseizmične vprašalnike (v letu 2007 smo jih poslali 5157) pomagali k boljši oceni potresnih parametrov.

Urednik

Renato Vidrih

PREFACE

The seventeenth annual publication »Earthquakes in year...« published by Seismology and Geology Office of The Environmental Agency of the Republic of Slovenia comes out. The first part of the publication discusses operation of the state seismic network. In the second part the seismic activity in Slovenia, as well as the problems and innovations in the seismic network are presented. The 110th anniversary of the first seismic station in Slovenia was celebrated in 2007; therefore an extensive paper is dedicated to historical overview of the instrumental seismology in Slovenia. The last part of the publication is dedicated to world seismicity.

In 2007 there were 26 digital seismic stations incorporated in seismic network with real-time continuous data transmission to data centre in Ljubljana. Three temporary stations and 11 stations with accelerometers for monitoring seismic activity on urban areas were also operating. Analogue seismographs on VOJS and LJU seismic stations are still in use. 3748 seismic events were recorded, among them 1117 teleseismic (more than 1100 km away), 554 regional earthquakes (distance between 160 km and 1100 km), 1394 local earthquakes (distance less than 160 km) and 683 artificial events.

The papers that follow speak about seismic stations' operation and data collection efficiency. The cause of short breaks are communications' problems, longer interruptions are effects of power failures and seismic equipment breakdowns. A computer program was developed in order to analyze the operation of a single seismic station, as well as the operation parameters of the entire network. In 2007 8.5 % of data from data stream with 200 sps (HH) and 7.9 % of data from data stream with 20 sps (BH) were lost from permanent stations. The greatest data loss is accounted for seismic stations CADS and VOJS, due to changing the communication type from wireless HSCSD to ADSL and station MOZS, which was hit by lightning.

The central paper is on seismic activity in Slovenia in 2007. Earthquake activity was moderate in 2007. The inhabitants felt more than 44 earthquakes. The strongest earthquakes were on 26 May at 06.03 UTC near Zilje, on 29 September at 01.24 UTC near Cirje and 18 December at 03.26 UTC near Rakovec, with local magnitudes 3.0. The earthquakes on 26 September at 19.47 and 21.39 UTC or 21.47 and 22.39 Central European time, with hypocentres in the vicinity of Brežice and magnitudes of 2.8 and 2.9 respectively were with the strongest effects and reached the intensity V-VI EMS-98. Six earthquakes had maximum intensity IV EMS-98, five IV-V EMS-98, five V EMS-98 and two events V-VI EMS-98. The majority of the earthquakes originated in the depth less than 18 km, most of them between 6 and 9 km. From the seismograms of stronger earthquakes in Slovenia in 2006 and 2007 we read the first onsets of the arrivals of the longitudinal waves. For 23 of them there was enough data to determine the fault plane solutions. The mechanism is mostly of the thrust type with the fault plane striking approximately east – West. The remaining earthquakes were of the strike-slip type with the almost horizontal movement along the fault.

The next part consists of papers on particular components of the network, influence of the power supply units, errors on equipment, test measurements of the seismometers and the web page access frequency analysis. The choice of the UPS unit turned out to be important in 2007, as the UPS units were found to be the cause of the high frequency noise. The problem was eliminated by using the last generation of UPS units instead of older versions. Beside this, other kinds of errors have been appearing on Q730s of Slovenian National Seismic Network, the most common being flash disk failure and memory card failure. Two among our seismometers were tested at the Conrad Observatory of the Central Institute for Meteorology and Geodynamics (ZAMG). Part of the observatory is a 150 m long tunnel with several piers for seismometers. Tested seismometers (CMG - 40T and CMG3-ESPC) were installed in a tunnel next to a STS2 seismometer, which was provided from Conrad Laboratory.

Seismic activity is automatically monitored by computers with commercial and proprietary software. A tabular display of basic earthquake parameters along with a geographical view of the epicenter and a picture of related seismograms is available within minutes after the earthquake occurrence. Only the earthquakes in Slovenia and in the close border region are published. Web page access frequency was studied from access logs maintained by the web server, for the period between December 2007 and May 2008. The correlation between web page access peaks and earthquake occurrence was accounted for some earthquakes.

An extensive article is dedicated to 110th anniversary of the first seismic station in Slovenia. In 1897, nearly two years after the well-known Ljubljana earthquake, the first seismograph was set up in Ljubljana; that was the beginning of seismological observations in Austro-Hungarian Empire (and later on the territory of the Kingdom of Yugoslavia). The contribution of Slovene seismology has been (with the exception of the two war periods and occasionally due to other political inconveniences) noticed world-wide ever since.

Every year the Earth is shaken by several hundred thousand earthquakes with magnitudes over 2.0, 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 76 earthquakes in year 2007 that either reached a magnitude of 6.5 or more, caused minor or major material damage, or even claimed human lives. Thirty-four of them are mentioned. The most devastating earthquake in 2007 happened on 15 August near the coast of central Peru, where at least 519 were killed. The 12 September earthquake on Southern Sumatra, Indonesia, rank first in terms of released energy, with a moment magnitude of 8.4 and it claimed 25 human lives. The deepest earthquake happened on 6 May near Fiji with a hypocentre 676 km below the surface and the moment magnitude of 6.5. In 2007, earthquakes claimed more than 704 human lives.

Earthquake with the highest number of fatalities occurred on 15 August 2007 at 23:40 UTC or 18:40 local time around 145 km south-south-east from Peruvian capital Lima. By known data earthquake with magnitude $M_w = 8.0$ demanded at least 519 lives and caused enormous material damage. Focal point occurred at the junction of two major tectonic plate, the South American in the northeast and Nazca plate in the south-west.

The Euro-Atlantic Disaster Response Coordination Centre (EADRCC) conducted the disaster response exercise IDASSA 2007 in the coastal Zadar county of Croatia from 19 to 24 May 2007. Twenty-one Euro-Atlantic Partnership Council (EAPC) nations participated in the exercise, by deploying some 55 national expert teams each with the expertise and capability to deal with a different aspect of the fictitious emergency situation. All together, approximately 1,200 participants, including more than 120 observers from 35 countries took part in the event. IDASSA 2007 allowed NATO and Partner countries to practice disaster response mechanisms and capabilities and to enhance co-operation in emergency situations. The exercise scenario was designed to test best

practices of how to respond a natural disaster and a terrorist threat at the same time, providing an opportunity for civilian responders and military units to work together. The fictional scenario for the field exercise comprised a devastating earthquake, further aggravated by chemical leaks in an industrial seaport and a threat of terrorists using a biological agent onboard a passenger plane.

On this occasion the staff of Environmental Agency, Seismology and Geology Office would like to thank more than 5000 voluntary observers for their answers to macroseismic questionnaires (5157 of them were sent in 2006), and in that way help us to make better evaluation of earthquake parameters.

Editor

Renato Vidrih

POTRESNE OPAZOVALNICE V SLOVENIJI V LETU 2007

SEISMIC NETWORK IN SLOVENIA IN 2007

Peter Sinčič, Renato Vidrih, Izidor Tasič, Mladen Živčić, Tatjana Prosen

Povzetek

V letu 2007 je na območju Slovenije delovalo 24 digitalnih potresnih opazovalnic nove mreže in dve stari, povezanih v omrežje z neprekinjenim prenosom podatkov v središče za obdelavo v Ljubljani, 3 začasne potresne opazovalnice ter 11 opazovalnic z akcelerometri za opazovanje seizmičnosti na urbanih območjih. Na opazovalnicah na Vojskem in na observatoriju na Golovcu v Ljubljani še vedno delujeta analogna seizmografa z zapisom s črnilom na papir. Po projektu PM2000 smo v državno mrežo potresnih opazovalnic vključili opazovalnico GBRS v Gornji Brigi na območju Borovške gore. Nedokončana je ostala le še opazovalnica v Gorenji Brezovici zaradi težav pri zagotovitvi prenosa podatkov.

Abstract

In the year 2007 there are 24 digital seismic stations of new network and two old stations incorporated in seismic network, with real-time continuous data transmission to data centre in Ljubljana. Three temporary stations and 11 stations with accelerometers for monitoring seismic activity in urban areas are also operating, as well as analogue seismographs on VOJS and LJU seismic stations. Seismic station GBRS in Gornja Briga was included in seismic network of Slovenia. Seismic station in Gorenja Brezovica is not finished yet because of difficulties in providing transmission line.

Uvod

Septembra leta 2007 je preteklo 110 let od začetka delovanja prve potresne opazovalnice na Slovenskem. Dve leti po potresu, ki je na velikonočno nedeljo leta 1895 porušil Ljubljano, je 18. septembra 1897 začela delovati prva potresna opazovalnica v prostorih realke na Vegovi 4 v Ljubljani, ki jo je vodil dr. Albin Belar. Opazovalnica je delovala do leta 1919, ko so večino opreme preselili v Beograd. Leta 1921 je Albin Belar v svoji vili v Podhому pri Bledu ustanovil privatno potresno opazovalnico »Sir Humphry Davy«, ki je delovala do leta 1930. Potresna opazovalnica na ljubljanski Univerzi je znova začela obratovati decembra 1924 in je delovala do začetka II. svetovne vojne. Podrejena je bila Seizmološkemu inštitutu v Beogradu, kamor so tudi pošiljali v obdelavo vse seizmogramе. Po koncu II. svetovne vojne so se možnosti za seizmična opazovanja odprle z izgradnjo Astronomsko-geofizikalnega observatorija na Golovcu v Ljubljani leta 1954. Z beleženjem potresov na observatoriju so začeli s poskusnim delovanjem seizmografov leta 1958. Potresna opazovalnica Ljubljana (LJU) je danes opremljena s kratkoperiodnim seizmografom z vidljivim zapisom ter s širokopasovnimi digitalnimi seizmografi. Leta 1975 je bila zgrajena potresna opazovalnica CEY v Goričicah pri Cerknškem jezeru. Opremljena je bila z analognim trikomponentnim kratkoperiodnim seizmografom, ki mu je bil leta 1997 dodan digitalni širokopasovni seizmograf. Januarja 1985 je na Slovenskem začela delovati tretja potresna opazovalnica VOY, ki smo jo postavili na Vojskem nad Idrijo (Trnkoczy in Vidrih, 1986). V začetku je bila opremljena z analognim kratkoperiodnim seizmografom z vertikalno komponento, januarja leta 1991 pa sta bili dodani še horizontalni komponenti. Leta 1986 je bila zgrajena potresna opazovalnica VBY v Bojancih v Beli krajini, ki je bila prav tako opremljena z analognim kratkoperiodnim seizmografom z vertikalno komponento. Leta 1996 smo ji dodali širokopasovni digitalni seizmograf s prenosom podatkov po klicni telefonski liniji v središče za obdelavo podatkov (SOP) v Ljubljani. Za opazovanje seizmičnosti Krško - Brežiškega polja je bila leta 1990 postavljena začasna potresna opazovalnica KBZ z enokomponentnim prenosnim analognim seizmografom v Brezju pri Senušah, leta 1996 pa še opazovalnica CESS v Cesti nad Krškim. Tu je bil na začetku nameščen prenosni širokopasovni digitalni seizmograf s shranjevanjem podatkov na magnetni trak, ki smo ga leta 1997 zamenjali s seizmografom s prenosom podatkov po državnem računalniškem omrežju v

SOP. Zaradi možnosti povečanja seizmičnosti ob polnjenju akumulacijskega jezera v sosednji Avstriji je bila leta 1991 postavljena začasna potresna opazovalnica BISS z enokomponentnim prenosnim analognim seizmografom v Braniku nad Muto. Leta 1996 ji je bil zgrajen jašek za senzor in postavljen širokopasovni digitalni seizmograf s prenosom podatkov po klicni telefonski liniji v SOP. Leta 1996 je začela delovati potresna opazovalnica DOBS v Dobrini na Kozjanskem. Opremljena je z enakim digitalnim seizmografom kot v Braniku nad Muto. V Horjulu občasno deluje prenosni digitalni seizmograf s shranjevanjem podatkov na magnetni medij (Sinčič in Vidrih, 1993, 1995). V okviru projekta modernizacije državnega omrežja potresnih opazovalnic PM 2000 smo leta 2001 v Ljubljani vzpostavili novo središče za zajem in analizo podatkov (SOP). V opazovalnici v Ljubljani, Goričicah, Dobrini in jedrsko elektrarno v Krškem smo namestili nove digitalne seizmografe ter začeli z gradnjo novih opazovalnic, najprej na območju Krškega, nato pa tudi drugod po Sloveniji, tako da smo v letu 2002 vključili v omrežje sedem novih potresnih opazovalnic, leta 2003 štiri, naslednje leto tri nove opazovalnice in modernizirani dve stari (Bojanci in Vojsko), v letih 2005 in 2006 po dve novi potresni opazovalnici ter leta 2007 eno novo potresno opazovalnico (slika 1).

Analogne potresne opazovalnice

Urad za seizmologijo in geologijo uporablja tudi analogne seizmografe za beleženje potresov (preglednica 1). Analogni seizmograf sestavljajo seizmometer, seizmografski ojačevalnik z ustreznimi filtri in pisar z zapisom s črnilom na navaden papir. Slabost analognih seizmografov je majhno dinamično območje (40 – 45 dB) in ločljivost. Šibkih potresov zaradi majhne ločljivosti ni možno analizirati, močni potresi pa prekrmilijo inštrument in je zapis potresa manj uporaben. Druga, še večja pomanjkljivost je, da pri obdelavi potresov ne moremo uporabljati računalnika, saj danes večji del analiz temelji na računalniški obdelavi. Analogni seizmografi v letu 2007 še vedno delujejo na potresnih opazovalnicah na observatoriju na Golovcu v Ljubljani in na Vojskem.

opaz. station	ozn. code	zem. šir. latitude °N	zem. dolž. longitude °E	n. viš. elev. [m]	geološka podlaga local geology	seizmometer sensor type	pisac recorder	začetek/konec delovanja start/stop time
Ljubljana	LJU	46,0438	14,5277	396	karbonski peščenjak sandstone	kratkoperiodni Willmore MkII 3 komp./comp.	ojačevalnik SO-01 pisac/ recorder Günter-Volk (črnilo/ ink)	01. 01. 1974 še deluje/ operating
Vojsko	VOY	46,0316	13,8882	1073	zgornjetriasni dolomit dolomite	kratkoperiodni shortperiod Willmore MkII 3 komp./comp.	ojačevalnik SO-03 pisac/ recorder VR - 2 (črnilo/ ink)	28. 11. 1984/ še deluje/ operating

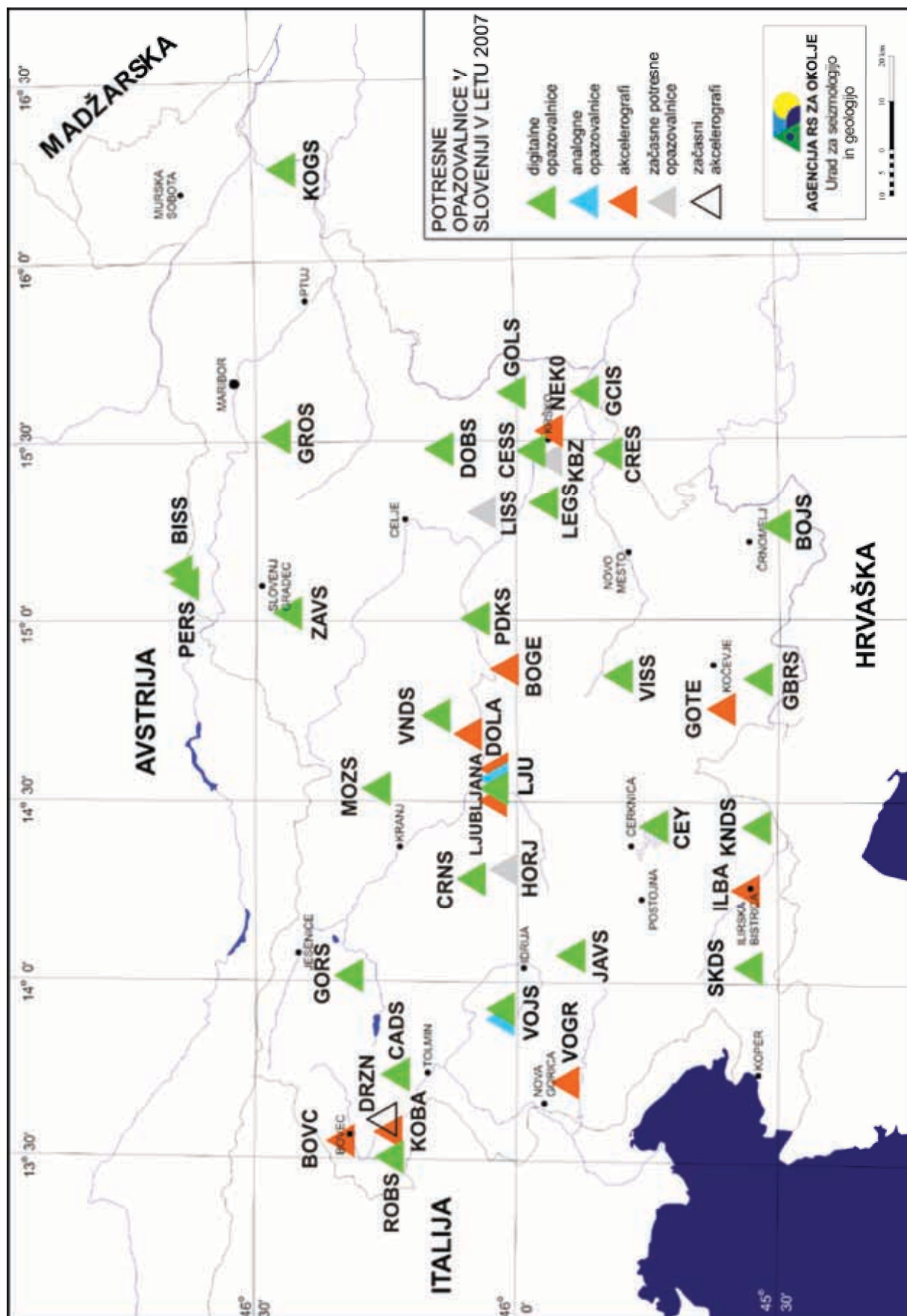
Preglednica 1. Analogni potresni opazovalnici v Sloveniji.

Table 1. Analogue seismic stations in Slovenia.

Digitalne potresne opazovalnice

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

V potresni opazovalnici na Golovcu v Ljubljani je leta 1990 začel delovati prvi digitalni instrument. To je bil šestkanalni digitalni seizmograf s tremi enokomponentnimi širokopasovnimi seiz-



Slika 1. Potresne opazovalnice v Sloveniji leta 2007.

Figure 1. Seismic network in Slovenia in 2007.

opaz. station	ozn. code	zem. šir. latitude	zem. dol. longitude	n. viš. elev. [m]	geološka podlaga local geology	seizmometer sensor type	zajemalna naprava acquisition unit	začetek delovanja start time
		°N	°E					
Ljubljana	LJU	46,04381	14,52776	396	karbonski peščenjaki sandstone	širokopasovni/ broadband CMG-40T 3 komp./ comp.	RD3-1639	22. 05. 1996
						širokopasovni/ broadband STS-2 3 komp./ comp. akcelerometer/ accelerometer 3-komp./ comp. EpiSensor	Q 730	30. 03. 2001
Bojanci	BOJS	45,50435	15,25178	252	kredni apnenec limestone	širokopasovni/ broadband STS-2 3 komp./ comp. akcelerometer/ accelerometer 3-komp./ comp. EpiSensor	Q 730	17. 02. 2004
Branik nad Muto	BISS	46,64794	15,12703	490	metamorfne kamnine metamorphic rocks	širokopasovni/ broadband CMG-40T 3 komp./ comp.	RD3-1639	28. 08. 1996
Dobrina	DOBS	46,14942	15,46943	427	spodnjetriasni laporji marl	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	HRD24-2432	29. 09. 2006
						širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	Q 730	07. 04. 2001
Cerknica (Goričice)	CEY	45,73814	14,42214	579	apnenec limestone	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	RD3-1639	14. 01. 1997
						širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	Q 730	30. 03. 2001
Cesta	CESS	45,97325	15,46317	372	dolomit dolomite	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	HRD24-2432	04. 09. 1997
Goliše	GOLS	46,01074	15,62451	559	masiven dolomit massive dolomite	širokopasovni/ broadband CMG-40T BH 3 komp./ comp.	Q 730	26. 02. 2002
Črešnjevec	CRES	45,97325	15,46317	372	dolomit dolomite	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	Q730	07. 03. 2002
Legarje	LEGS	45,94880	15,31771	390	sivi dolomit dolomite	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40TBH	Q 730	02. 09. 2002
Podkum	PDKS	46,06120	14,99777	679	dolomit dolomite	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40TBH	Q 730	11. 11. 2002
Robič	ROBS	46,24448	13,50944	265	apnenec limestone	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	Q 730	20. 11. 2002
Pernice	PERS	46,63595	15,11666	795	blestnik schist	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	Q 730	11. 12. 2002
Grobnik	GROS	46,46100	15,50177	930	tonalit tonalite	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	Q 730	12. 12. 2002
Čadrg	CADS	46,22804	13,73685	700	kredni apnenec limestone	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	Q 730	10. 07. 2003
Gornji Cirknik	GCIS	45,86720	15,62750	320	dolomit dolomite	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	Q 730	11. 08. 2003
Višnje	VISS	45,80329	14,83929	403	siv apnenec limestone	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	Q 730	14. 08. 2003
Javornik	JAVS	45,89342	14,06433	1100	zgornje triasni dolomit dolomite	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	Q 730	21. 08. 2003
Knežji dol	KNDS	45,52791	14,38056	1024	zgornje jurski apnenec limestone	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	Q 730	14. 10. 2003
Kog	KOGS	46,44816	16,25028	240	glina clay	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T akcelerometer/accelerometer 3-komp./ comp. EpiSensor	Q 730	22. 01. 2004
Gorjuše	GORS	46,31741	13,99991	1048	ploščasti apnenec z roženci platty limestone with chert	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T akcelerometer/accelerometer 3-komp./ comp. EpiSensor	Q 730	17. 05. 2004
Vojsko	VOJS	46,03217	13,88774	1073	zgornjetriasni dolomit dolomite	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	Q 730	30. 07. 2004
Zavodnje	ZAVS	46,43393	15,02421	750	granodiorit granodiorite	širokopasovni/ broadband 3 komp./comp. CMG-40T BH	Q 730	07. 09. 2004
Možjanca	MOZS	46,29410	14,44334	660	ploščasti apnenec platty limestone	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	Q 730	07. 07. 2005

opaz. station	ozn. code	zem. šir. latitude	zem. dol. longitude	n. viš. elev. [m]	geološka podlaga local geology	seizmometer sensor type	zajemalna naprava acquisition unit	začetek delovanja start time
		°N	°E					
Črni Vrh	CRNS	46,08060	14,26135	689	sp.triasni sivi dolomit dolomite	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	Q 730	16. 12. 2005
Vrh pri Dolskem	VNDS	46,10169	14,70143	531	kremenov peščenjak quartz sandstone	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	Q 730	18. 01. 2006
Skadanščina	SKDS	45,54647	14,01317	558	ploščati apnenci platy limestone	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. STS-2 akcel./ accelerometer 3-komp./ comp. EpiSensor	Q730	12. 04. 2006
dokončana in vključena v omrežje leta 2007 / finished and connected to network in 2007								
Gornja Briga	GBRS	45,53110	14,1007	610	zgornjetriasni dolomit dolomite	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	Q730	13. 04. 2007

Preglednica 2. Digitalne potresne opazovalnice v Sloveniji v letu 2007.**Table 2.** Digital seismic stations in Slovenia in 2007.

mometri WR-1 in trikomponentnim akcelometrom FBA-23 podjetja Kinometrics. Seizmograf ima 16-bitni analogno-digitalni pretvornik analognega signala in deluje v prožilnem načinu delovanja in s frekvenco vzorčenja 200 vzorcev na sekundo. V letu 2005 je deloval seizmograf redno do 18. marca, nato občasno še do začetka oktobra, nato pa je zaradi okvare dokončno nehal z beleženjem potresov.

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

Leta 2001 smo začeli v okviru projekta posodobitve državne mreže potresnih opazovalnic s posodabljanjem starih in z gradnjo novih opazovalnic. Osnovni namen posodobitve je vzpostavitev takega državnega potresnega opazovalnega omrežja, ki bo omogočilo za vse potrese na območju Slovenije obveščanje o osnovnih parametrih z ustrezno natančnostjo in zanesljivostjo v realnem času. V Ljubljani smo vzpostavili novo središče za zajem in analizo podatkov. V opazovalnice v Ljubljani, Goričicah, Dobrini in v jedrsko elektrarno v Krškem smo namestili nove digitalne seizmografe. Z gradnjo smo začeli najprej na območju Krškega, nato pa tudi drugod po Sloveniji, tako da smo jih leta 2002 vključili v omrežje sedem: Goliše (GOLS), Črešnjevce (CRES) in Legarje (LEGS) na širšem območju Krškega, Podkum (PDKS) na Dolenjskem, Grobnik (GROS) na Pohorju, Pernice (PERS) na Kobanskem in Robič (ROBS) v zgornjem Posočju.

V letu 2003 so bile v mrežo potresnih opazovalnic vključene opazovalnice v Čadrgu nad Tolminom (CADS), v Višnjah v Suhi krajini (VISS), v Gornjem Cirkniku na Gorjancih (GCIS),

na Knežjen dolu v snežniškem pogorju (KNDS) in na Javorniku nad Črnim vrhom nad Idrijo (JAVS). V letu 2004 smo v neposredni bližini opazovalnic v Bojancih in na Vojskem zgradili novi opazovalnici in vanje namestili novo merilno opremo. Opazovalnici sta dobili tudi novi oznaki: BOJS za Bojance in VOJS za Vojsko. Poleg modernizacije teh dveh opazovalnic so bile zgrajene še tri nove po istem projektu: na Kogu v vzhodnem delu Slovenskih goric (KOGS), v Gorjušah na Pokljuki (GORS) in v Zavodnjah nad Šaleško dolino (ZAVS). V letu 2005 sta bili dokončani opazovalnici na Možjanci (MOZS) in na Črnem Vrhju (CRNS) nad Polhovim Gradcem in v prvi polovici leta 2006 opazovalnici Vrh pri Dolskem (VNDS) in Skadanščina (SKDS). Leta 2007 pa je bila v omrežje vključena opazovalnica Gornja Briga (GBRS) na Kočevskem (slika 2). Na vseh opazovalnicah razen v Robiču, Goričicah, Dobrini in Ljubljani je oprema, ki jo sestavljajo senzor, zajemalna enota, komunikacijska oprema za kontinuirani prenos podatkov v središče za obdelavo podatkov (SOP) in brezprekinitveno napajanje, nameščena v dveh jaških. V seizmičnem jašku sta nameščena trikomponentni širokopasovni seizmometer Guralp CMG-40T in zajemalna enota Quanterra Q730. Enota ima na vhodu tri (pri petih opazovalnicah šest) predojačevalnike, neod-



Slika 2. Nova potresna opazovalnica Gornja Briga (GBRS) (foto: P. Sinčič).

Figure 2. New seismic station Gornja Briga (GBRS) (Photo: P. Sinčič).

visne Delta Sigma 24 bitne analogno-digitalne (A/D) med seboj galvansko ločene pretvornike, sprejemnik časovnih signalov, lokalni pomnilnik, komunikacijski vmesnik in strojno programsko opremo za nadzor delovanja sistema. Trije podatkovni nizi s frekvencami vzorčenja 200, 20 in 1 vzorec na sekundo se neprekinjeno pošiljajo po podatkovnem omrežju v SOP. V pomožnem jašku je nameščena komunikacijska oprema za vključitev opazovalnice v državno računalniško omrežje, ki jo tvorita usmerjevalnik in modem, 12-voltno baterijsko napajanje s polnilcem in razsmernikom, ki omogoča večurno delovanje potresne opazovalnice ob izpadu omrežne napetosti, ter priključek na omrežno napetost 230 V in priključek na najeto linijo za prenos podatkov. Prenos podatkov v središče za obdelavo (SOP) poteka v realnem času. V zračniku je skrita antena GPS sprejemnika točnega časa (Vidrih in sod., 2002).

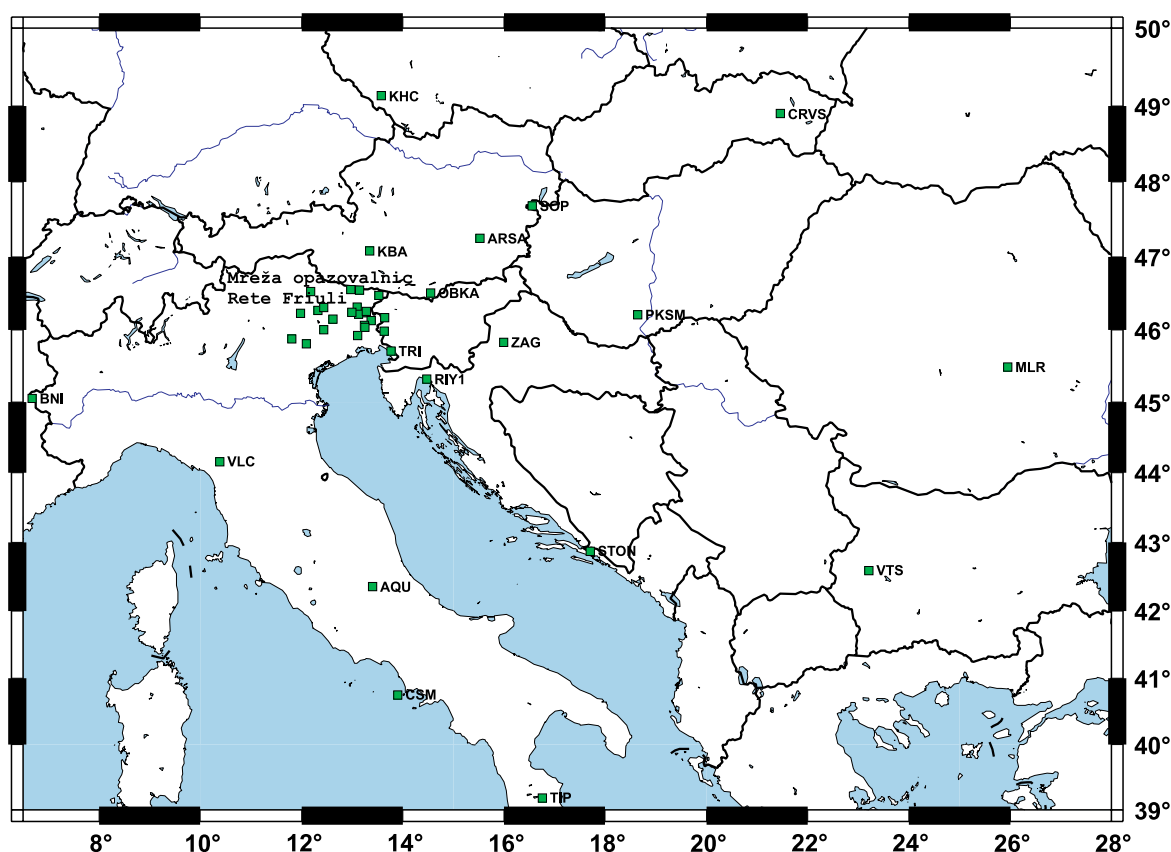
Na opazovalnicah Legarje, Goliše, Zavodnje in Podkum je seizmometer nameščen v vrtino. Na potresni opazovalnici Robič je vsa oprema nameščena v skalni votlini, v Ljubljani pa v kleti observatorija na Golovcu. Podatki o vseh digitalnih potresnih opazovalnicah v Sloveniji v letu 2007 so zbrani v preglednici 2.

Zaradi prevelike podražitve prenosa podatkov po GSM omrežju smo tekom leta zamenjali vrsto prenosa podatkov z opazovalnic, kjer ni možnosti priklopa na omrežje Telekoma Slovenije. Za potresne opazovalnice Gornja Briga (GBRS), Gornji Cirknik (GCIS), Javornik (JAVS), Knežji dol (KNDS) in Zavodnje (ZAVS) smo za prenos podatkov uporabili satelitsko internetno povezavo.

Že nekaj časa poteka prenova omrežja HKOM z nabavo nove komunikacijske opreme, ki podpira VPN/MPLS tehnologijo, omogočila pa bi poenostavitev in večjo standardizacijo omrežja ter znižanje stroškov lastništva in upravljanja. MPLS tehnologija zamenjuje starejši ATM in 'frame relay' tehnologiji zaradi boljše podpore sedanjim in prihodnjim potrebam uporabnikov. Ta tehnologija med drugim omogoča uporabo ADSL priključkov za zanesljiv in varen prenos podatkov po telefonskih linijah in zagotavlja širokopasovno povezavo ob precej nižjih stroških v primerjavi z najetimi linijami. Tako smo v letu 2007 pričeli z nameščanjem nove opreme na potresnih opazovalnicah Bojanci (BOJS), Čadrg (CADS), Dobrina (DOBS), Gorjuše (GORS), Ljubljana (LJU), Robič (ROBS), Višnje (VISS) in Vojsko (VOJS).

Ker je ta tip komunikacije omejen na dolžino medija oziroma oddaljenosti med potresno opazovalnico in centralo Telekoma bo na potresnih opazovalnicah Bistriški jarek (BISS), Cerknica (CEY), Črešnjevce (CRES) Goliše (GOLS), Grobnik (GROS), Kog (KOGS), Legarje (LEGS), Možjanca (MOZS), Podkum (PKDS), Pernice (PERS), Skadanščino (SKDS) in Vrh pri Dolskem (VNDS), ki so preveč oddaljene od centrale, ostal prenos podatkov po najetih linijah.

Komunikacijski protokol omogoča uporabniku nastavitve prioritete pri pošiljanju podatkov, na primer samo prenos posameznih dogodkov z manjšo frekvenco vzorčenja ali neprekinjen prenos zajemanega kanala. Tako tudi ob krajši prekinitvi prenosnih linij ne ostanemo brez podatkov.



Slika 3. Virtualna mreža tujih potresnih opazovalnic, iz katerih dobivamo podatke v realnem času. Podatke prenašamo iz opazovalnic iz Italije, Avstrije, Hrvaške, Madžarske, Slovaške, Češke, Romunije in Bolgarije.

Figure 3. Virtual network of foreign seismic stations from which we receive real-time seismic data. Data are transferred from stations in Italy, Austria, Croatia, Hungary, Slovakia, Czech Republic, Romania and Bulgaria.

Komunikacija lahko poteka asinhrono preko serijskih vrat ali s TCP/IP protokolom preko vgrajene Ethernet kartice. Komunikacija je dvosmerna, tako da lahko iz osrednjega računalnika daljinsko nastavljamo parametre zajemalnega sistema in kalibriramo seizmometer. Ura v zajemalnem sistemu je usklajena z GPS sistemom točnega časa, njena napaka pa je manjša od 1 ms.

Razvoj računalniških komunikacij je v zadnjem času omogočil tudi nastanek tako imenovanih virtualnih mrež potresnih opazovalnic. Samo opazovalnico in na njej nameščeno opremo vzdržuje lokalna institucija, vendar so podatki dosegljivi vsem zainteresiranim, tudi iz drugih delov sveta. Tako v Sloveniji v SOP podatke slovenske državne mreže integriramo s podatki nekaterih opazovalnic iz sosednjih držav (Avstrije, Hrvaške, Italije in Madžarske) (slika 3). Na ta način povečamo območje bolj natančnega določanja žariščnih parametrov ter se lažje izognemo izpadu in nasičenosti zapisov v primeru močnega potresa. Za spremljanje potresne aktivnosti v širši regiji v realnem času pridobivamo podatke iz še nekaterih držav osrednje in jugovzhodne Evrope. Seveda so tudi naši podatki na voljo vsem zainteresiranim institucijam v tujini. Prednosti virtualnih mrež so predvsem v tem, da so opazovalnice in oprema vzdrževane lokalno, podatki pa dostopni globalno. Upravitelcem virtualnih mrež je na voljo možnost, da za določen namen od vseh ponujenih zapisov v svojo konfiguracijo vključijo le tiste najbolj primerne (Živčič et al., 2005, Živčič, 2006).

Začasne potresne opazovalnice

Že več let imamo začasno postavljene instrumente v Horjulu, Brezjah pri Senušah in na Lisci v meteorološki postaji. Čeprav instrumenti delujejo že vrsto let na omenjenih lokacij, uporabljamo termin začasno zaradi tega, ker same lokacije niso najbolj primerne za spremljanje potresne dejavnosti zaradi nemira, ki ga povzročajo ljudje.

opaz. station	ozn. code	zem. šir. latitude °N	zem. dol. longitude °E	n. viš. elev. [m]	senzor ensor type	zajemalna naprava acquisition unit	začetek delovanja start time	konec delovanja stop time
Brezje pri Senušah	KBZ	45,9334	15,4334	208	3-komp. širokopasovni 3-comp. broadband CMG 40T	PR6	14. 03. 2005	konec 2007 še deluje end of 2007 operational
Horjul	HORJ	46,0252	14,305	350	3-komp. akcelerometer 3 comp. accelerometer FBA-23	SSA-2	08. 12. 2006	konec 2007 še deluje end of 2007 operational
Lisca	LISS	46,0673	15,2906	948	3-komp. širokopasovni 3-comp. broadband CMG 40T	Q 730	07. 02. 2002	konec 2007 še deluje end of 2007 operational

Preglednica 3. Začasne potresne opazovalnice in akcelerografi v letu 2007.

Table 3. Temporary seismic stations and accelerographs in 2007.

Opazovalnice za beleženje močnih potresov

Urad za seizmologijo in geologijo upravlja tudi z mrežo opazovalnic za beleženje močnih potresov, v katerih so nameščeni akcelerografi. Opazovalnice so v Ljubljani (na observatoriju na Golovcu in na Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo - FGG), v Dolskem, Ilirski Bistrici, Bovcu, Kobaridu, na gradu Bogenšperk in v Gotenici (preglednica 4).

Poleg tega imamo dostop do akcelerografa v Nuklearni elektrarni Krško. Akcelerograf na FGG tvori akcelerometer FBA-23 z merilnim območjem 1 g in zajemalna aparatura SSA-2 z 12-bitnim analogno digitalnim pretvornikom. Enak akcelerograf je nameščen v Dolskem. Akcelerografa v Ilirski Bistrici in v jedrski elektrarni v Krškem imajo občutljivejši senzor FBA-23 z merilnim območjem 0,25 g. Akcelerograf SSA-2 v Nuklearni elektrarni Krško je bil decembra 1999 zamenjan z akcelerografom Etna in je vključen v državno računalniško omrežje, po katerem teče prenos podatkov na observatorij.

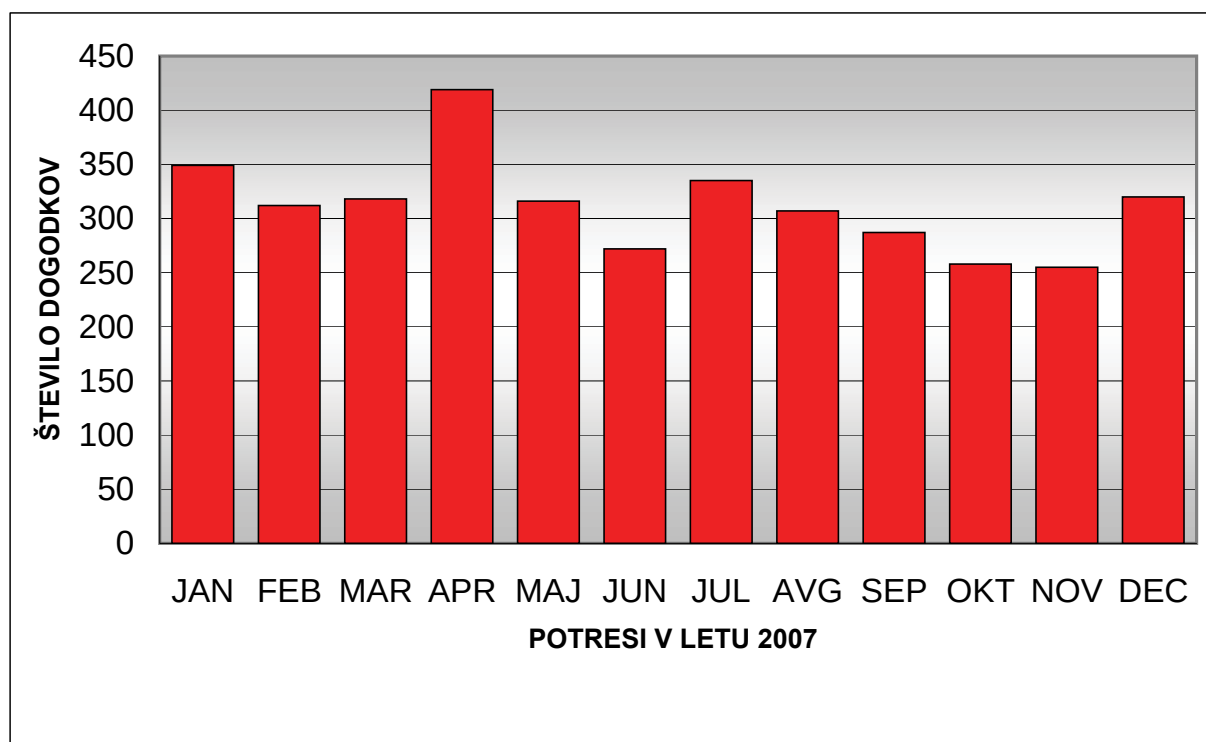
opaz. station	ozn. code	zem. šir. latitude	zem. dol. longitude	n. viš. elev. [m]	senzor sensor type	zajemalna naprava acquisition unit	merilni obseg full scale range	čas delovanja operational time	št. zab. potresov No. of reg. events
		°N	°E						
Bogenšperk	BOGE	46,0237	14,8572	422	FBA-23	Etna	1 g	01.01-31.12.	12
Bovec	BOVC	46,3382	13,5543	455	FBA-23	Etna	4 g	01.01-31.12.	10
Drežnica	DRZN	46,2586	13,6126	544	EpiSensor	Etna	2 g	01.01-31.12.	15
Gotenica	GOTE	45,6095	14,7464	670	FBA-23	Etna	1 g	01.01-31.12.	14
Horjul	HORJ	46,0252	14,3050	350	FBA-23	SSA-2	0,25 g	01.01-31.12.	2
Kobarid	KOBR	46,2474	13,5786	234	FBA-23	Etna	4 g	01.01-31.12.	7
Krško (NEK)	NEK0	45,9391	15,5185	156	FBA-23	Etna	2 g	01.01-31.12.	2
Vogršček	VOGR	45,9057	13,7258	106	EpiSensor	K2	1 g	01.01-31.12.	3
FGG	FAGG	46,0459	14,4944	295	FBA-23	SSA-2	1 g	01.01-31.12.	2
Dolsko	DOLA	46,0938	14,6781	265	FBA-23	SSA-2	1 g	01.01-31.12.	1
Ilirska Bistrica	ILBA	45,5638	14,2445	404	FBA-23	Etna	0,25 g	01.01-31.12.	0

Preglednica 4. Opazovalnice za beleženje močnih potresov v letu 2007.**Table 4.** Strong motion stations in 2007.

mesec	oddaljeni potresi	regionalni potresi	lokalni potresi	umetni potresi	potresi	dogodki
month	distant earthquakes	regional earthquakes	local earthquakes	artificial	earthquakes	events
januar January	97	40	122	90	259	349
februar February	68	57	122	65	247	312
marec March	71	55	108	84	234	318
april April	172	54	157	36	383	419
maj May	83	52	127	54	262	316
junij June	58	47	122	45	227	272
julij July	106	54	118	57	278	335
avgust August	94	52	99	62	245	307
september September	122	30	90	45	242	287
oktober October	72	38	97	51	207	258
november November	76	24	100	55	200	255
december December	98	51	132	39	281	320
skupaj Total	1117	554	1394	683	3065	3748
legenda Legend	Oddaljeni potresi / Distant earthquakes $\Delta > 10^\circ$ (> 1.100 km) Regionalni potresi / Regional earthquakes $1,5^\circ < \Delta < 10^\circ$ (< 1.100 km) Lokalni potresi / Local earthquakes $\Delta \leq 1,5^\circ$ (≤ 160 km)					

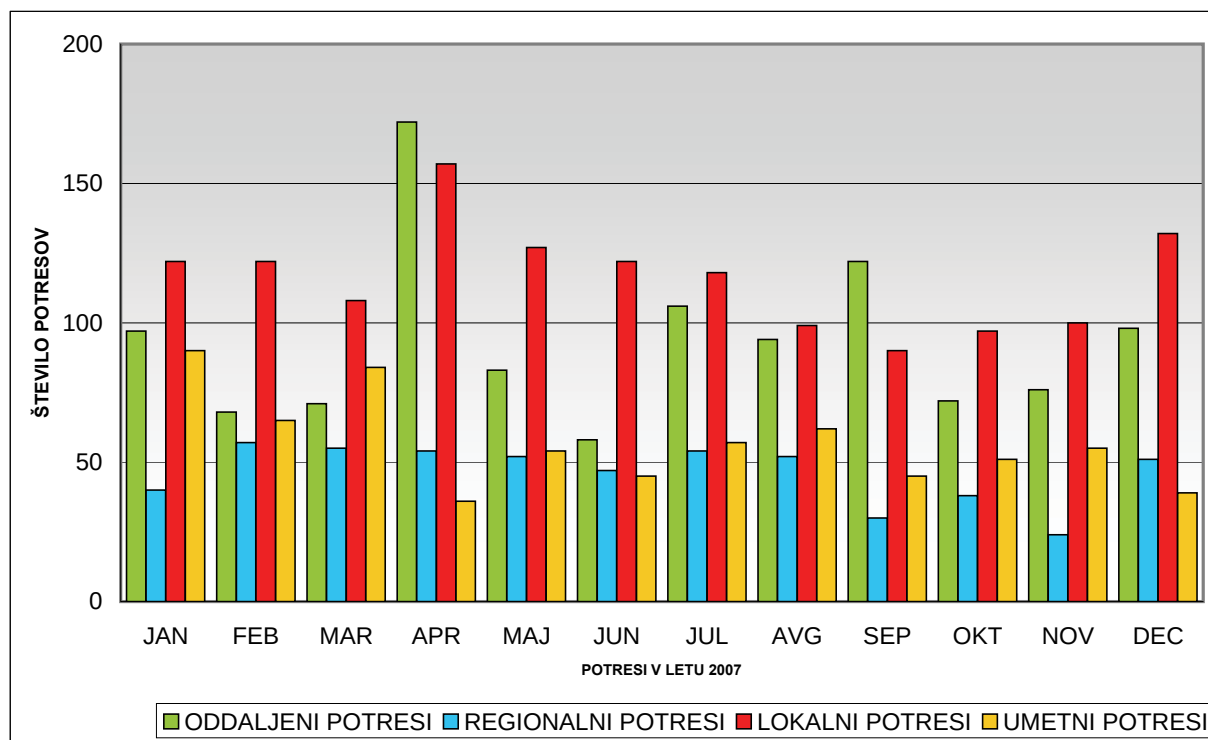
Preglednica 5. Potresi v letu 2007, zabeleženi na slovenskih potresnih opazovalnicah.**Table 5.** Earthquakes in 2007 recorded at Slovenian earthquake stations.

V Gotenici je nameščen akcelero graf Etna z vgrajenim senzorjem FBA-23 z merilnim območjem 1 g in z 18-bitno analogno digitalno pretvorbo, prenos podatkov na observatorij pa poteka po klicni telefonski liniji. Na gradu Bogenšperk je prav tako postavljen akcelero graf Etna z vgrajenim senzorjem FBA-23 s prenosom podatkov po klicni telefonski liniji. V zgornjem Posočju



Slika 4. Skupno število potresnih dogodkov po mesecih.

Figure 4. Distribution of all seismic events by months.



Slika 5. Število naravnih in umetnih potresov po mesecih.

Figure 5. Monthly distribution of earthquakes and artificial events.

so v opazovalnicah v Bovcu, Drežnici in Kobaridu nameščeni akceleroграфи Etna s prenosom podatkov po klicni telefonski liniji. V Ilirski Bistrici je nameščen akceleroграф Etna s prenosom podatkov po omrežju GSM. Na vodni pregradi Vogršček je bil v letu 2004 nameščen akceleroграф K2 z vgrajenim in dvema zunanjima akcelerometroma EpiSensor in s prenosom podatkov po klicni telefonski liniji. Akceleroграф je nameščen v jašku na kroni pregrade, prvi zunanji akcelero-meter je nameščen v jašku ob temelju pregrade, drugi pa prav tako v jašku ob jezeru približno 100 m stran od pregrade (Prosen, 2006). Podatke z akceleroграфov SSA-2 zbere delavec s pomočjo prenosnega računalnika ob obisku opazovalnice.

Potresne opazovalnice so v letu 2007 zabeležile 3065 potresov (sliki 4 in 5), od tega 1394 lokalnih potresov, 554 regionalnih in 1117 oddaljenih. Seizmografi so zapisali tudi 683 umetnih potresov (razstreljevanj) (preglednica 5).

Literatura

- Prosen, T., 2006. Akceleroграфи slovenske mreže potresnih opazovalnic. Potresi v letu 2004 (ur. R. Vidrih), ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 185-188.
- Sinčič, P., Vidrih, R., 1993. Mreža potresnih opazovalnic v Sloveniji. Ujma 7, 130-137, Ljubljana.
- Sinčič, P., Vidrih, R., 1995. Gradnja potresne opazovalnice. Ujma 9, 185-189, Ljubljana.
- Trnkoczy, A., Vidrih, R., 1986. Seizmološka stanica Vojsko (VOY) u SR Sloveniji. Acta seismologica Iugoslavica 12, 17-34, Beograd.
- Vidrih, R., Sinčič, P., 1997. Potresne opazovalnice v Sloveniji. Povzetki referatov; 13. posvetovanje slovenskih geologov, 39-40, Ljubljana.
- Vidrih, R., Gosar, A., Sinčič, P., 2002. Omrežje potresnih opazovalnic okoli jedrske elektrarne Krško. Življenje in tehnika, letnik 53/11, 59-67, Ljubljana.
- Vidrih, R., Godec, M., Gosar, A., Sinčič, P., Tasič, I., Živčič, M., 2002. Omrežje potresnih opazovalnic okoli NEK. Knjiga povzetkov, 1. slovenski geološki kongres, 100-101, Črna na Koroškem.
- Živčič, M., Kobal, M., Kolar, J., Pahor, J., 2005. Performance of the New Seismic Network of the Republic of Slovenia – First Results, NATO Advanced Research Workshop: Earthquake Monitoring and Seismic Hazard Mitigation in Balkan Countries, 11-17 September 2005. Borovetz.
- Živčič, M., 2006. Seismic Network of the Republic of Slovenia, 30 anni dal Terremoto del Friuli 30 anni di Protezione Civile, Udine, Italy, 4-6 May 2006. Udine.