

POTRESNE OPAZOVALNICE V SLOVENIJI V LETU 1998

SEISMIC NETWORK IN SLOVENIA IN 1998

Peter Sinčič, Renato Vidrih, Manfred Deterding*

Izvleček. 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, Bovecu, Plužni, Zatoľmini, Čezsoči, Breginju, 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 Cerkniško 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, Zatočmin, Čezsoča, Breginj, Zadnjica, Tolminske Ravne, Trenta, Čagošče and two accelerographs in the Lepena valley.

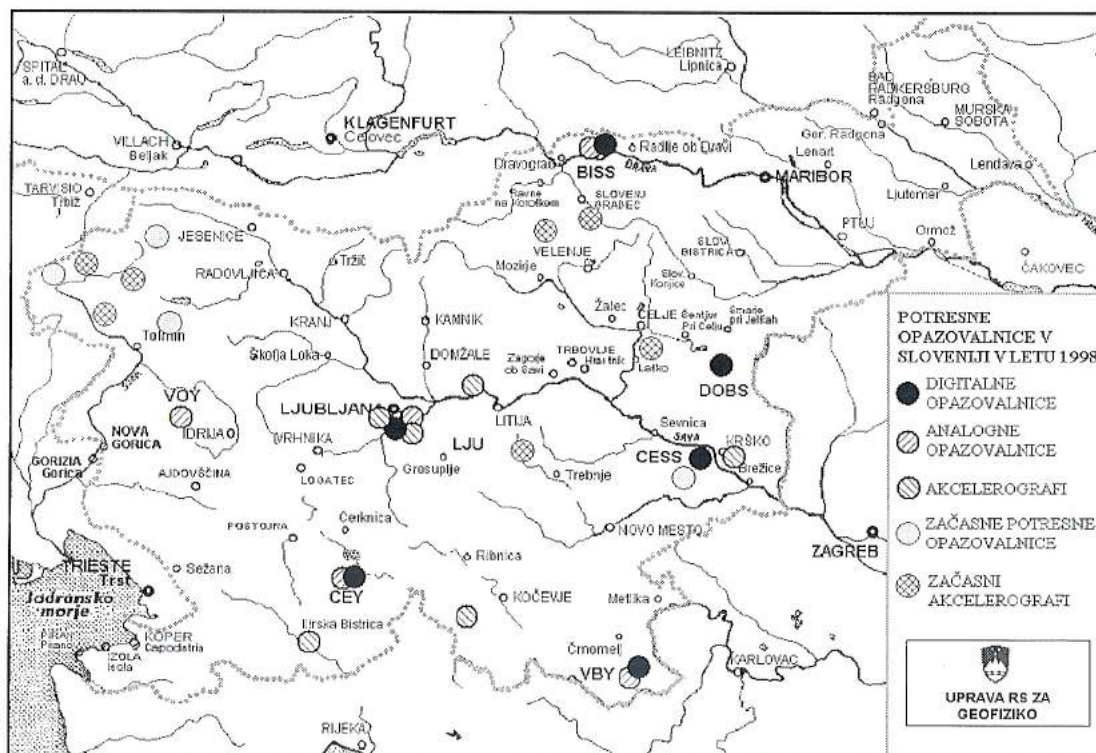
Uvod

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 Cerkljanskem 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 pisaču 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 pisači Günter Volk z galvanometri Astromed. Maksimalna povečava vidljivega sistema je 46 700 pri periodi 0,4 s (vertikalna komponenta).



Slika 1. Potresne opazovalnice v Sloveniji leta 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 konstruirali 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 delovanja 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 pisarji 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), pisarji 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 mrežo 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 Krškim. V drugi polovici leta 1997 je prenosni digitalni seizmograf 72A-07/DAT podjetja Reftek s shranjevanjem podatkov na DAT-kasete zamenjal digitalni seizmograf podjetja Nanometrics. Sestavljajo ga širokopasovni trikomponentni seizmometer Guralp CMG-40T, 24-bitni analogno-digitalni pretvornik 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 akceleroografov
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 akceleroigraf 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 akceleroграфи 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. Akceleroigraf 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 tvori ta 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)

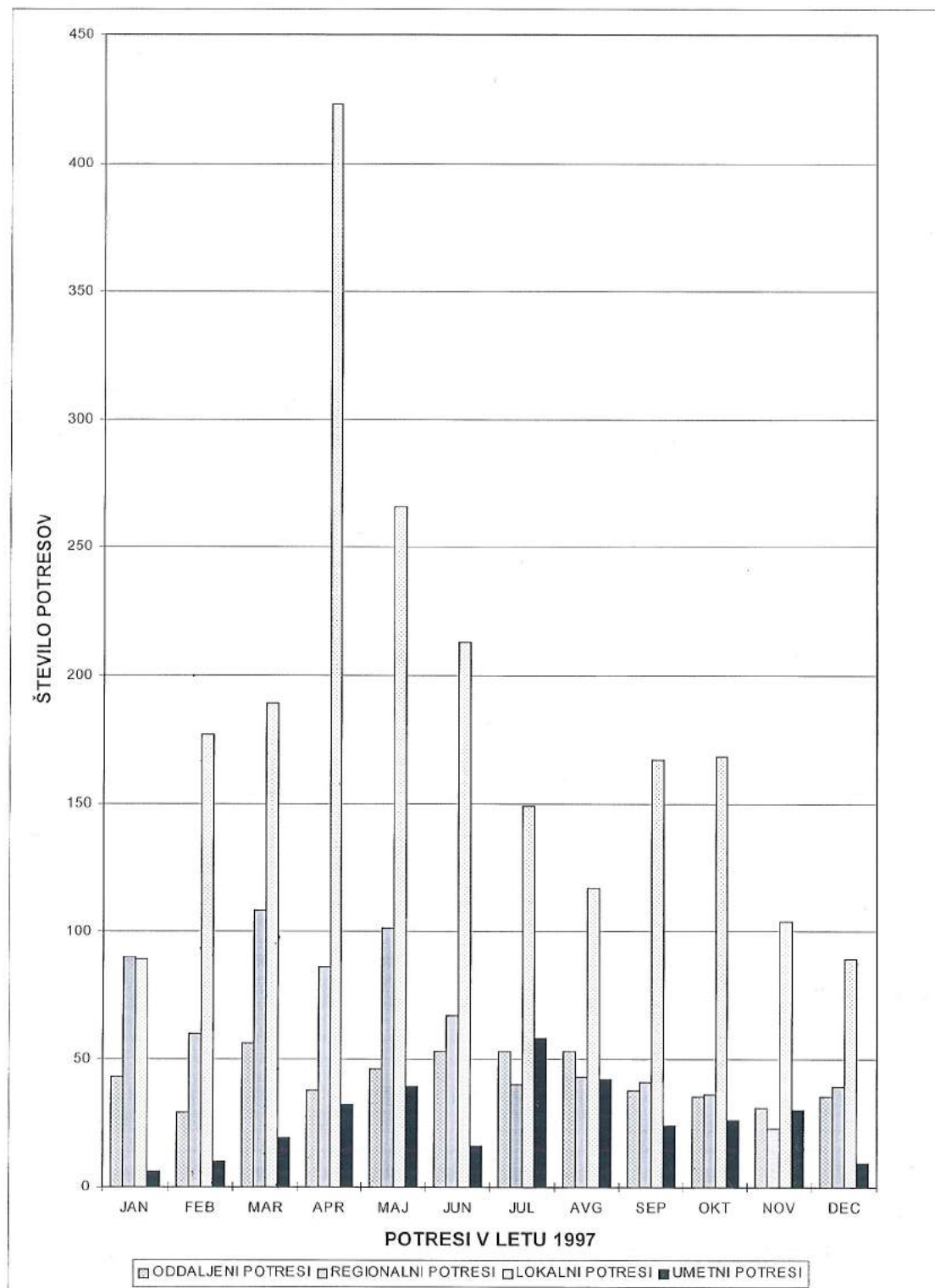
Regionalni potresi / Regional earthquakes

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

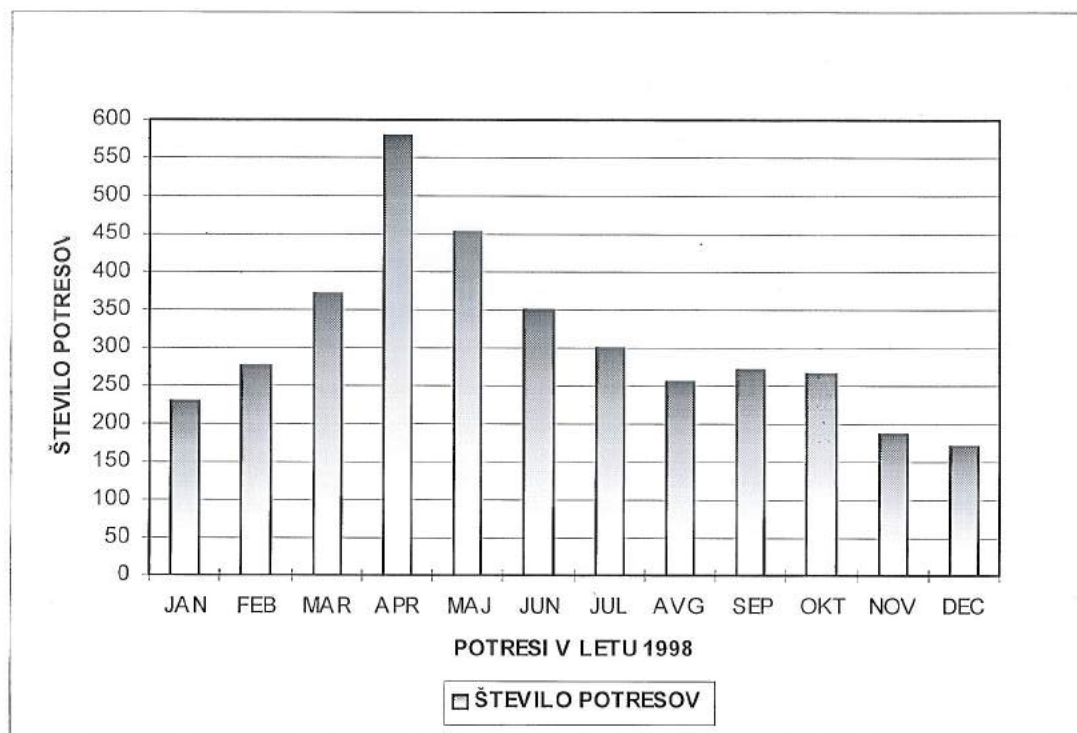
Lokalni potresi / Local earthquakes

$\Delta \approx 1,5^\circ$ (≈ 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 akceleroграфи 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.