

# ZAPISI POTRESOV SKOZI ČAS

## (ob 100-bletnici prve potresne opazovalnice na Slovenskem)

### Earthquake Records through Time

Peter Sincic\*, Renato Vidrih\*\*, Manfred Deterding\*\*\* UDK 550.34(497.4)

#### Povzetek

*Enajst dni po ljubljanskem potresu 14. aprila 1895 so na Akademiji znanosti na Dunaju ustanovili komisijo, ki je bila zadolžena za potresno problematiko. Poleg zbiranja podatkov o učinkih potresov in starih zapisov o potresih so določili še pet mest, kjer naj bi postavili potresne opazovalnice z instrumentalnim merjenjem potresov. Tako je že leta 1897, torej le dve leti po potresu, začela v kletnih prostorih realke na Vegovi ulici v Ljubljani delovati prva potresna opazovalnica v takratni Avstro - Ogrski monarhiji. Od takrat dalje poteka beleženje potresov na Slovenskem, v začetku s številnimi večletnimi prekinivami, zadnjih štiri deset let pa nemoteno. Razvoj znanosti in tehnologije, ki sta zelo pomembna tudi v instrumentalni seismologiji, sta povzročila številne izboljšave, posodobitve in zamenjave v načinu, predvsem pa v kvaliteti beleženja potresov. Večina seizmogramov ni ohranjenih, razen iz zadnjega obdobja, ti pa so skrbno shranjeni v sicer prenatrpanih prostorih na observatoriju Uprave RS za geofiziko na Golovcu.*

#### Abstract

*The first seismograph began to operate on 18 September, 1897 and, since 1900, data on earthquakes has been publicly announced. Prof.Dr. A. Belar, who led the earthquake observatory, constructed seismographs according to his own designs. These operated in the Ljubljana observatory until the first world war, but were later moved to his private observatory - the "Sir Humphry Davy Observatory" at Podhom, Bled. This observatory*

*was active until 1930. The official observatory was subordinate to Belgrade, where most of the instruments and a library were moved. The Wiechert seismograph was active from 1926 until the second world war.*

*Regular earthquake monitoring was frequently interrupted up to 1958, when the seismological service was renewed and is still active. During this period, many different types of seismographs were used, from Belar's first instruments to the Weichert, Askania with the Hiller's "Stuttgart" instrument, Lehner & Griffith to the Willmore with Günther - Volk recorder, Vegik and SKD.*

*The scientists from the Institute of Seismology developed a seismograph that operated until 1982 and proved to be very flexible. Its development took place from 1976 until 1979. Observation stations in Goričice (Lipsenj) - Cerknica, Vojsko, Bojanci and Bistriški jarek gradually began to join the observatory on Golovec, Ljubljana. The gear in these stations is becoming more up-to-date each year. At the Golovec observatory, a digital seismograph began to operate in 1990. Three more of its kind were installed in Ljubljana, Krško and Horjul in 1995 and Dobrina on Kozjansko, Branik nad Muto and Bistriški jarek in 1996.*

*The scientists from the Geophysical Survey are trying to set up a state seismic network and two local networks of observation stations around Ljubljana and the Krško - Brežice plain. Only the restoration of such networks will improve the quality level of observing earthquake activity and provide better knowledge of earthquake sources.*

## Začetki instrumentalne seismologije

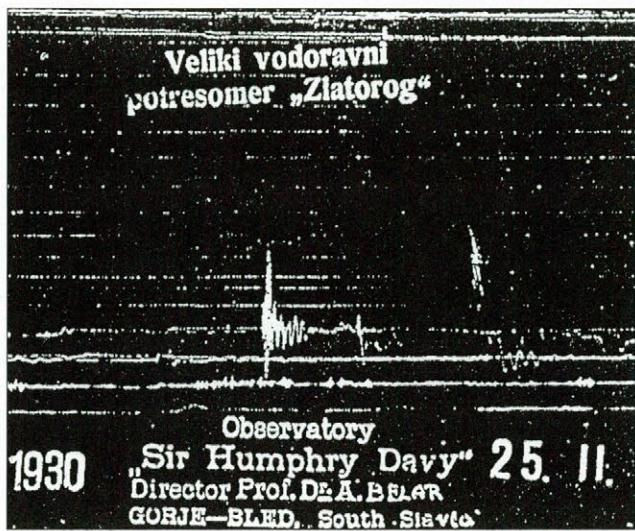
Leta 1896 je na realki v Ljubljani začel službovati profesor kemije in naravoslovnih znanosti dr. Albin Belar. Po ureditvi kemijskega laboratorija je želel postaviti tudi potresno opazovalnico. Leto dni po potresu je ljudem že uhajal iz spomina katastrofalni dogodek, tako da se je zanimanje za postavitev potresnih instrumentov zmanjšalo. Šibak potres z epicentrom v bližini Kamnika, ki je nastal 17. januarja 1987, pa je znova preplasil prebivalce in lokalne oblasti so podprt dr. Belarja pri njegovih naporih moralno in materialno. Ker takrat ni bilo v celotni Avstro-Ogrski monarhiji znanstvenikov, ki bi se ukvarjali s tem področjem, je Belar odpotoval v Italijo, da si pridobi nekaj izkušenj in nabavi instrumente. Na podlagi nasvetov priznanih strokovnjakov tistega časa se je Belar odločil za nakup dveh horizontalnih seismografov različnih občutljivosti tipa Vicentini, konstrukcije profesorja G. Vicentinija, ravnatelja meteorološkega in geodinamičnega observatorija v Sieni v Italiji. Oba instrumenta sta delovala na principu nihala, ki je preko mehanskega prenosa premikalo pero, ki je pisalo po osajenem

papirju. 18. septembra 1897 je začel delovati prvi seismograf na potresni opazovalnici v Ljubljani. To je bil Vicentinijev seismograf za registracijo oddaljenih potresov. Seismograf je sestavljal nihalo s stokilogramsko utežjo z dolžino 1,5 m. Lastna perioda nihala je bila 1 do 2 s. Seismograf je imel dve vodoravni komponenti s 100-kratno statično povečavo, hitrost zapisa je bila 315,5 mm/h. Seismograf je imel več pomanjkljivosti, ki pa so bile značilne za vse tedanje instrumente:

- komponenti sta vplivali ena na drugo
- nihalo je bilo nedušeno, kar je onemogočalo določitev dinamične povečave za različne nihajne čase
- ni bilo mogoče določiti parametrov nihala
- trenje pri mehanskem prenosu nihanja na pero ni dopuščalo zapisa šibkih potresov zaradi premajhne mase nihala, ki bi morala za zapis šibkih lokalnih potresov znašati 5 t za 100 kratno povečavo
- hitrost zapisa je bila premajhna za natančno odčitavanje potresov
- širina registrirnega valja je bila premajhna, zato so pri močnejših potresih peresa padla iz ležišč.

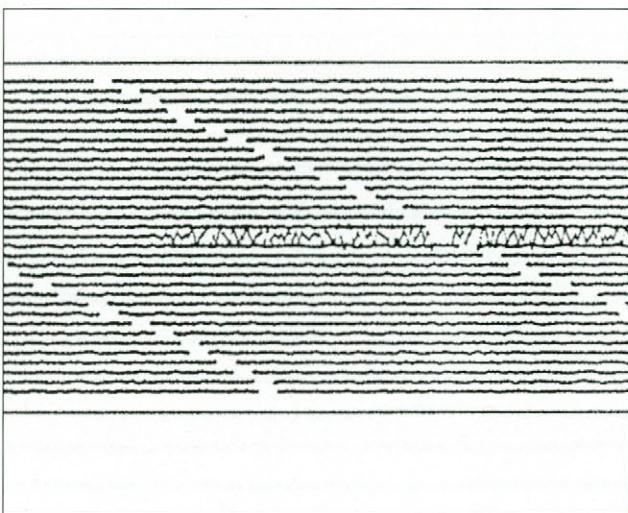
\*: \*\*\* Ministrstvo za okolje in prostor, Uprava Republike Slovenije za geofiziko, Pot na Golovec 25, Ljubljana

\*\*: Mag., Ministrstvo za okolje in prostor, Uprava Republike Slovenije za geofiziko, Pot na Golovec 25, Ljubljana



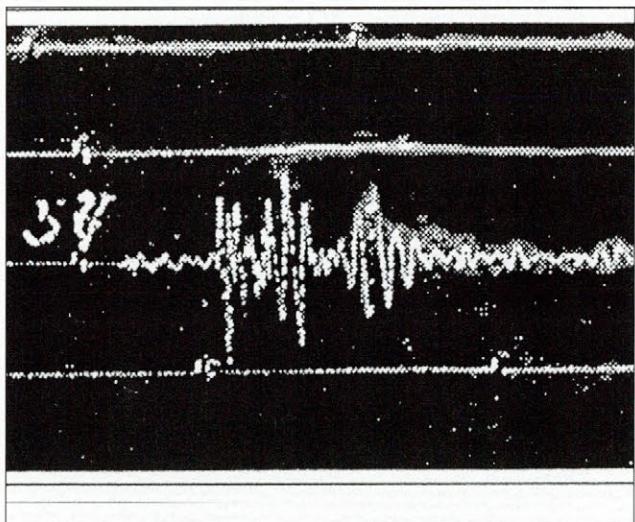
Slika 1. Zapis lokalnega potresa 25. februarja 1930 ob 13. uri in 35 minut UTC na Belarjevem seizmografu ZLATOROG. Seizmograf je bil postavljen v Belarjevem privatnem observatoriju v Podhomu pri Bledu. Deloval je v obdobjih 1902 - 1919 in 1924 - 1930. Zapis je bil na osajenem papirju, namenjen pa je bil beleženju bližnjih potresov.

Figure 1. Seismogram from Belar's ZLATOROG seismograph. Record of local earthquake of February 25, 1930 at 13.35 UTC. Seismograph was located at Belar's private observatory at Podhom, Bled. It was active in the periods 1902 - 1919 and 1924 - 1930. The record was on smoked paper, and was used for recording regional earthquakes.



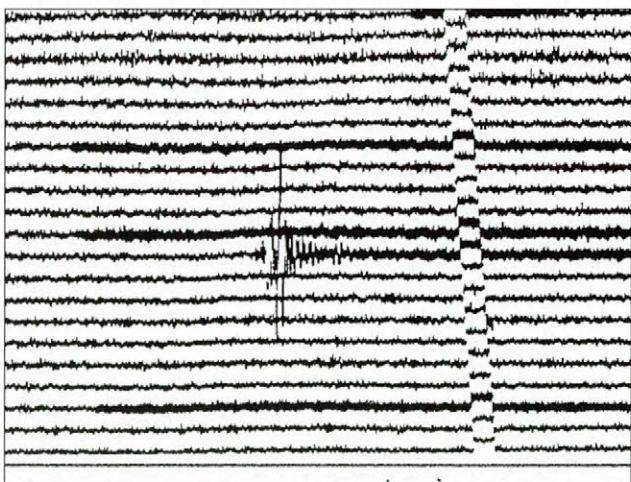
Slika 3. Zapis grškega potresa 4. oktobra 1962 ob 19. uri 48 minut UTC z epicentrom (nadžariščem) v Korintski ožini na seizmografu HILLER. Potres je imel magnitudo 4,5. Seizmograf je redno deloval v observatoriju na Golovcu od marca 1959 do sredine leta 1979. V začetnem obdobju delovanja je bil najmodernejši seismograf na Balkanu. Namenjen je bil beleženju bližnjih potresov. Zapis je bil na foto papirju, dolžine 90 cm. Minuta je dolga 60 mm.

Figure 3. Seismogram from the HILLER seismograph. Record of the Greek earthquake of October 4, 1962 at 19.48 UTC with epicentre at Korint passway and a magnitude of 4.5. The seismograph operated regularly at Golovec observatory from 1959 until 1979. It was the most modern seismograph at the beginning of its operation in the Balkans. It was used for recording regional earthquakes. The record was on photographic paper that was 90 cm long, the length of a minute was 60 mm.



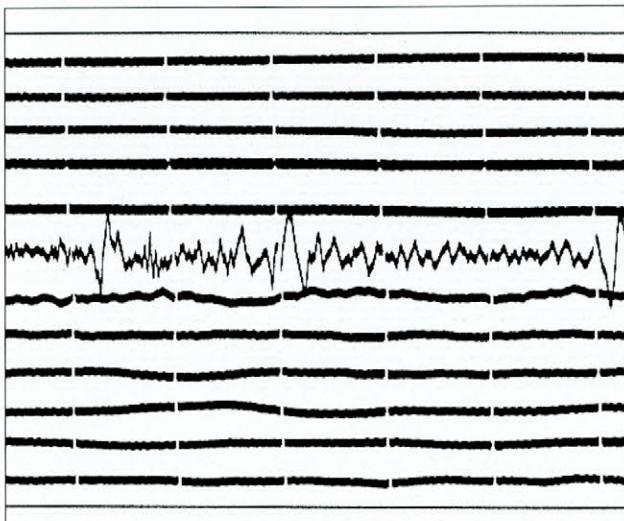
Slika 2. Zapis potresa v Karnijskih Alpah 13. junij 1959 ob 22. uri in 57 minut UTC na seizmografu WIECHERT. Seizmograf Wiechert je deloval v Ljubljani v letih 1926 - 1941 v realki na Vegovi ulici in kasneje od septembra 1959 do leta 1970 na observatoriju na Golovcu. Danes je shranjen na observatoriju URSG na Golovcu. Namenjen je bil za beleženje bližnjih, predvsem pa srednje oddaljenih potresov. Zapis je bil na osajenem, 150 cm dolgem papirju, dolžina minute je bila 15 mm.

Figure 2. Seismogram from the WIECHERT seismograph. Record of the earthquake in the Karnia Alps of June 13, 1959, at 22.57 UTC. The Wiechert seismograph was used in Ljubljana from 1926 until 1941 at the high school in Vega Street, and later from 1959 until 1970 at the Golovec observatory, where it is still being kept. It was used for recording regional earthquakes. The record was on smoked paper that was 150 cm long, the length of a minute was 15 mm.



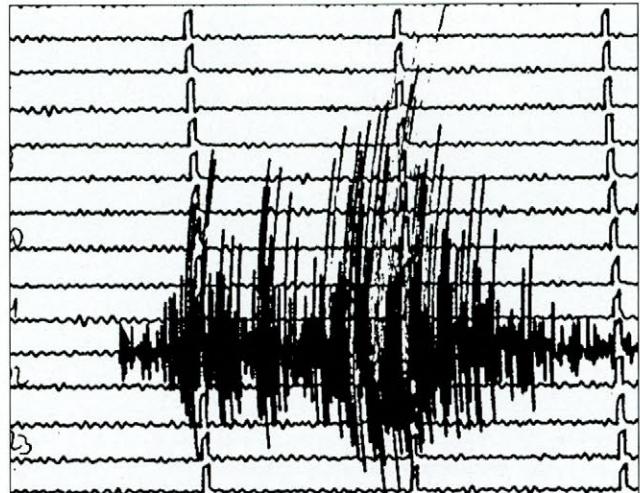
Slika 4. Zapis lokalnega potresa 29. aprila 1990 ob 14. uri 15 minut UTC z epicentrom v Ljubljanski kotlini na seismografu LEHNER GRIFFITH. Magnituda potresa je bila 1,2. Na observatoriju na Golovcu deluje nemoteno od prve polovice leta 1969 in je še danes namenjen beleženju predvsem lokalnih, pa tudi bližnjih potresov. Zapis je na foto papirju, dolžine 90 cm. Minuta je dolga 60 mm.

Figure 4. Seismogram from the LEHNER GRIFFITH seismograph. Record of the local earthquake of April 29, 1990 at 14.15 UTC with epicentre in the Ljubljana basin and a magnitude of 1.2. It has been used at the Golovec observatory since 1969 for recording local and regional earthquakes. The record is on photographic paper that is 90 cm long, the length of a minute is 60 mm.



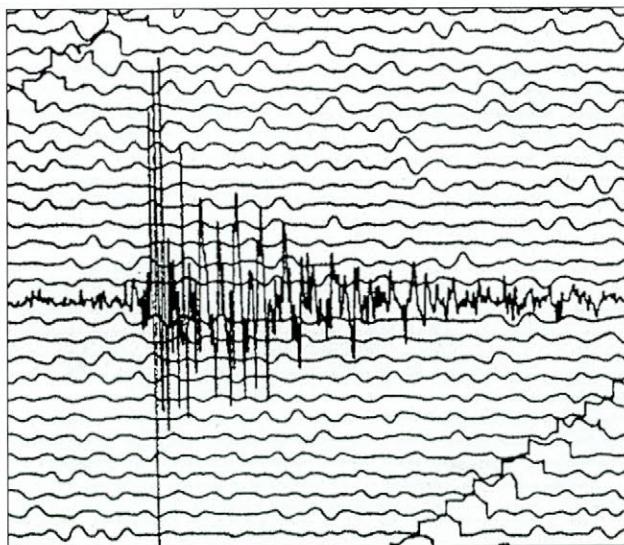
Slika 5. Zapis potresa 30. junija 1994 ob 9. uri in 30 minut UTC na mejnem območju med Tadžikistonom in Afganistanom na seizmografu SPRENGNETHER. Magnitudo potresa je bila 5,7. Na observatoriju deluje od prve polovice leta 1969. Zapisi na foto papirju, dolžine 90 cm so namenjeni predvsem oddaljenim potresom, pa tudi nekaterim bližnjim. Dolžina minute je 15 mm.

Figure 5. Seismogram from the SPRENGNETHER seismograph. Record of the Tadzhikistan/Afghanistan earthquake of June 30 1994 at 9.30 UTC. The magnitude of the earthquake was 5.7. It has been used at the Golovec observatory since 1969 for recording teleseisms. The record is on photographic paper that is 90 cm long; the length of a minute is 15 mm.



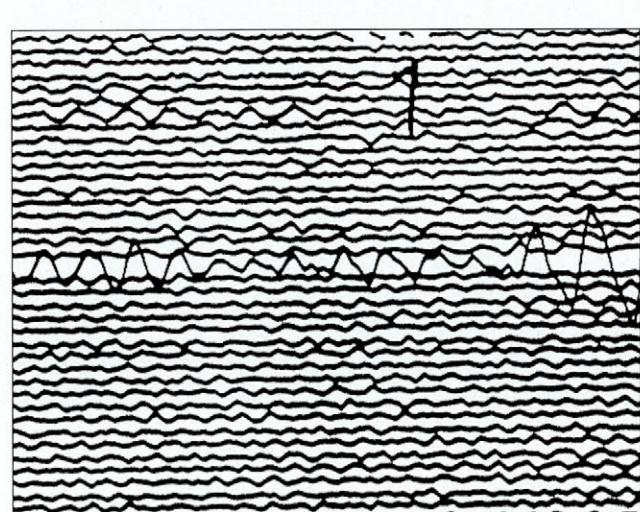
Slika 7. Zapis potresa 31. decembra 1995 ob 21. uri in 30 minut UTC z epicentrom v centralni Italiji in magnitudo 3,8 na seismografu VEGIK/MONITOR. Začel je delovati koncem 1971 in je nemoteno deloval do januarja 1996. Namenjen je bil predvsem preliminarni določitvi časa vstopa primarnih in sekundarnih valov za vse vrste potresov. Zapisoval je na navaden papir, dolžine 90 cm in z dolžino minute 30 mm.

Figure 7. Seismogram from the VEGIK/MONITOR seismograph. Record of an earthquake of December 31, 1995 at 21.30 with epicentre in central Italy and a magnitude of 3.8. It was used at Golovec observatory from the end of 1971 until January 1996. It was used for preliminary definition of the time of entry of primary and secondary waves for all kinds of earthquakes. The record was on regular paper that was 90 cm long; the length of a minute was 30 mm.



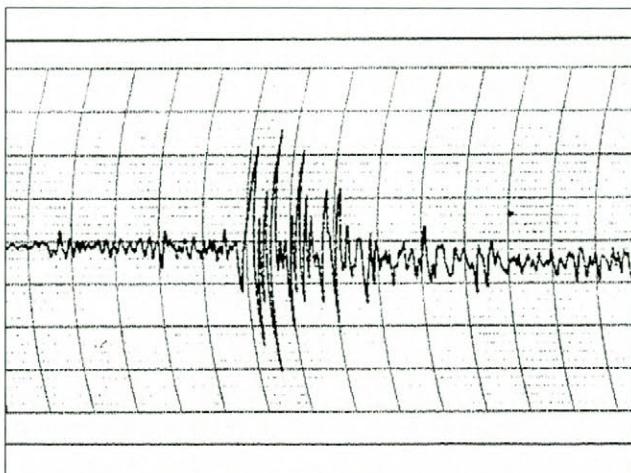
Slika 6. Zapis potresa dne 2. marca 1996 ob 12. uri 53 minut UTC z epicentrom v Gorskem Kotarju na seismografu WILLMORE/GÜNTHER-VOLK. Magnitudo potresa je bila 2,3. V službi na observatoriju je od junija 1972 (že prej je poskusno deloval 14 mesecev). Še danes je namenjen registraciji lokalnih in bližnjih potresov na navaden papir, dolžine 180 cm. Minuta je dolga 120 mm.

Figure 6. Seismogram from the WILLMORE/GÜNTHER-VOLK seismograph. Record of an earthquake of March 2, 1996 at 12.53 UTC with epicentre at Gorski Kotar and a magnitude of 2.3. It has been used used at Golovec observatory since 1972 for recording local and regional earthquakes on regular paper that is 180 cm long; the length of a minute is 120 mm.



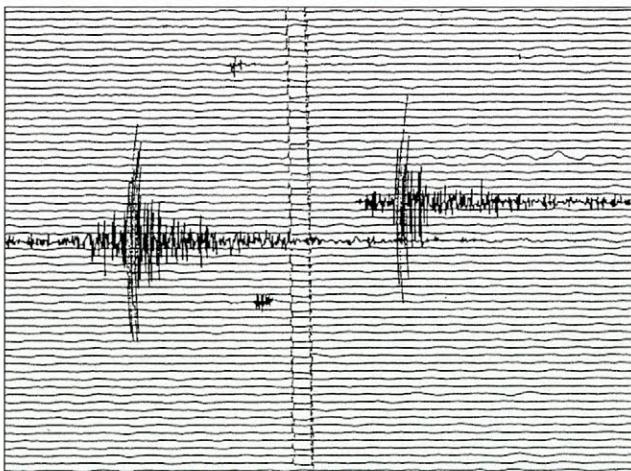
Slika 8. Zapis potresa 28. aprila 1989 ob 4. uri in 4 minute UTC z epicentrom v Egejskem morju in magnitudo 4,7 na seismografu SKD. Seismograf je redno deloval na observatoriju od decembra 1973 do maja 1989. Beležil je na foto papir dolžine 90 cm. Namenjen je bil beleženju srednje oddaljenih in oddaljenih potresov. Zaradi razpona možnosti beleženja potresov velja za prvi širokopasovni instrument.

Figure 8. Seismogram from the SKD seismograph. Record of an earthquake of April 28, 1989 at 4.04 UTC with epicentre in the Aegean Sea and a magnitude of 4.7. It was used at Golovec observatory from December of 1973 until May 1989 for recording regional earthquakes and teleseisms. The record was on regular paper that was 90 cm long. Because of the wide range of possibilities of recording earthquakes, it is said to be the first wide-range instrument.



Slika 9. Zapis potresa 18. avgusta 1982 ob 2. uri 32 minut UTC z epicentrom v Ljubljanski kotlini na seismografu WILLMORE/ ANALOGNA ZAKASNILNA LINIJA. Seismograf so sestavili strokovnjaki Seismološkega zavoda (danes URSG) in je deloval predvsem poskusno, v obdobju od druge polovice leta 1979 do avgusta 1982 pa je bil v redni službi. Namenjen je bil beleženju lokalnih potresov, manj pa tudi za bližnje. Registracije so potekale na mrežnem papirju neomejene dolžine z dolžino minute 300 mm.

Figure 9. Seismogram from the WILLMORE/ANALOG DELAY LINE seismograph. Record of an earthquake of August 18, 1982 at 2.32 UTC with epicentre in the Ljubljana basin. This seismograph was put together by scientists of the Golovec observatory and was used mainly for tests. Its active service lasted from 1979 until August 1982. It was used for recording local earthquakes. The records were on grid paper of unlimited length; the length of a minute was 300 mm.



Slika 10. Zapis lokalnih potresov 27. februarja 1996 ob 19. uri in 11 minut in 19. uri 48 minut UTC z epicentri v okolici Vojskega na seismografu WILLMORE/KINEMETRICS. Delovati je začel na potresni opazovalnici na Vojskem januarja 1991 in nemoteno deluje še danes. Zapis beleži na navaden papir dolžine 90 cm z dolžino minute 120 mm. Namenjen je beleženju lokalnih in bližnjih potresov.

Figure 10. Seismogram from the WILLMORE/KINEMETRICS seismograph. Record of local earthquakes of February 27, 1996 at 19.11 and 19.48 UTC with epicentres in the vicinity of Vojsko. It began to operate in January 1991 at Vojsko observatory and is still active. The record is on regular paper that is 90 cm long; the length of a minute is 120 mm. It is used for recording local and regional earthquakes.

Zaradi pomankljivosti Vicentinijevega seismografa se je Belar odpovedal nakupu drugega instrumenta istega proizvajalca in se odločil, da sam izdelal seismograf manjše občutljivosti za beleženje lokalnih potresov. Pomoč sta mu ponudili firmi Tönnies in Samassa. Firma Tönnies je izdelala kopijo Vicentinijevega seismografa z maso 100 kg in 10-kratno povečavo. Nihalo je bilo še vedno nedušeno. Za beleženje potresov so ga začeli uporabljati v januarju leta 1898. Izdelali so še eno dvojno nihalo. Prav tako je izdelala eno dvojno nihalo firma Samassa. Obe nihali sta začeli z registriranjem v marcu 1899. Belar se je lotil tudi izdelave dvojnega nihala Grablowitzeve konstrukcije. Nihalo je imelo 20-kilogramsko utež z lastnim nihajnim časom 7s in 10-kratno statično povečavo. Koncem leta 1898 je 5 horizontalnih seismografov beležilo potrese na ljubljanski potresni opazovalnici, podatke o njih pa so objavljali od leta 1900 dalje.

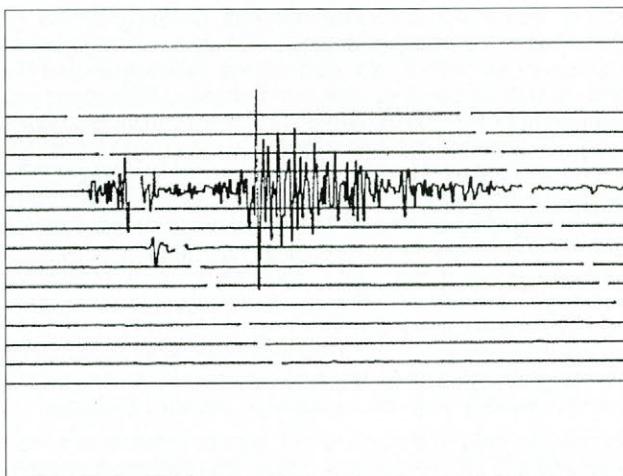
Pri svojem delu je Belar ugotovil, da sta potrebni dve vrsti instrumentov za beleženje potresov. Za registracijo močnih lokalnih potresov je potreben kratkoperiodni seismograf z manjšo občutljivostjo, za zapis oddaljenih potresov pa mora biti seismograf občutljivejši in z daljšo lastno periodo. Še naprej je razvijal instrumente. Tako je skonstruiral horizontalni seismograf za beleženje oddaljenih potresov. Seismograf z imenom "Zlatorog" je dobil prvo nagrado na razstavi meteoroloških in seismoloških instrumentov v Faenzi v Italiji leta 1909. Ko so po končani I. svetovni vojni Belarji odpustili iz službe, je del instrumentov, ki so bili njegova last, preselil v svojo hišo v Podhomu pri Bledu. Svoj privatni observatorij je poimenoval "Observatory Sir Humphry Davy" in nadaljeval s seismološkimi raziskavami vse do konca leta 1930. Slika 1 prikazuje zapis potresa na seismografu "Zlatorog", ki je nastal na območju med Planino in Rakekom 25. februarja 1930 ob 13. uri in 35 minut. Zapis je bil na osajenem papirju (3,4).

## Razvoj instrumentalne seismologije po I. svetovni vojni

Po prvi svetovni vojni je postala potresna opazovalnica na ljubljanski univerzi podrejena Seismološkemu zavodu v Beogradu, kamor so odpeljali večino instrumentov in knjižnico. V Ljubljani sta ostala bolj ali manj ohranjena le dva Belarjeva horizontalna instrumenta z masama po 360 kg. Konec leta 1925 so nabavili Wiechertov dvokomponentni horizontalni astaticni seismograf z maso 200 kg in z 80-kratno statično povečavo. Zapis je bil na osajenem, 150 cm dolgem papirju, dolžina minute je bila 15 mm. Seismograme so pošiljali v obdelavo na Seismološki zavod v Beograd, ki pa so med vojno izginili (1, 4). Začetek druge svetovne vojne na jugoslovanskih tleh je leta 1941 prekinil delovanje instrumentov na potresni opazovalnici. Prekinitev je trajala še nekaj let po koncu vojne.

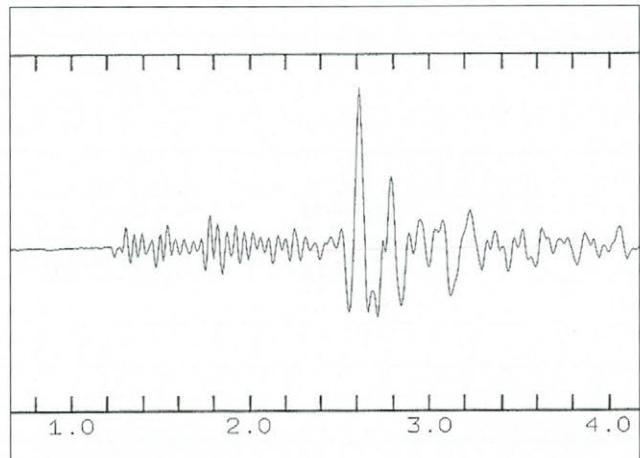
## Razvoj instrumentalne seismologije po II. svetovni vojni

Šele leta 1954, ko so na Naravoslovno matematični fakulteti ljubljanske univerze ustanovili Geofizikalni inštitut, so pripravili načrte za Astronomsko - geofizikalni observatorij. Wiechertov seismograf je bil prvi instrument nove potresne opazovalnice, ki so jo pričeli graditi leta 1955 na Golovcu v Ljubljani. Seismograf je bil potreben temeljite obnove in pojavilo se je vprašanje, ali je sploh smiselno obnavljati zastarel mehanski instrument. Odločeno je bilo, da se instrument usposobi za ponovno delovanje in postavi v kleti observatorija. Tako je ponovno beležil potrese od septembra 1959 pa do leta 1970. Namenjen je bil za merjenje



Slika 11. Zapis potresa 27. marca 1996 ob 9. uri 18 minut UTC z epicentrom na območju Velebita na Hrvaškem na seizmografu VEGIK/GÜNTHER-VOLK. Magnituda potresa je bila 3,6. Delovati je začel januarja 1996 in je namenjen predvsem preliminarnemu odčitavanju časa nastanka potresa in prihodu S - valov. Beleži na 180 cm dolg navaden papir.

Figure 11. Seismogram from the VEGIK/GÜNTHER-VOLK seismograph. Record of an earthquake of March 27, 1996 at 9.18 UTC with epicentre in the Velebit region, of Croatia and a magnitude of 3.6. Its active service began in January 1996 and is mainly used for preliminary readout of the time of the beginning of an earthquake and the coming of S-waves. The record is on regular paper that is 180 cm long.



Slika 12. Zapis potresa 27. marca 1996 ob 15. uri in 25 minut UTC z epicentrom na območju Dola pri Ljubljani na seizmografu KINEMETRICS WR - 1 / SSR - 1. Magnituda potresa je bila 1,4. Namenjen je beleženju vseh potresov, trenutno predvsem lokalnih in bližnjih. Digitalni zapis omogoča poljubno povečevanje in zmanjševanje zapisa, na sliki je 1 sekund dolga 27 mm.

Figure 12. Seismogram from the KINEMETRICS WR-1/ACQUISITION SYSTEM SSR-1 seismograph. Record of an earthquake of March 27, 1996 at 15.25 UTC with epicentre at Dol, Ljubljana and a magnitude of 1.4. It is used for recording all earthquakes but momentarily only for local and regional earthquakes. The digital record allows optional magnifying, the length of a second on the picture is 27 mm.

bližnjih in srednje oddaljenih potresov. Slika 2 prikazuje eno komponento zapisa potresa na tem seismografu, ki je nastal 13. junija 1959 ob 22. uri in 57 minut po UTC v Karnijskih Alpah (1, 4).

Iz zapisov seismografa s samo horizontalnimi komponentama je nemogoče določiti smer, v kateri se nahaja žarišče potresa. Za določitev smeri je nujno potrebna še vertikalna komponenta. V prvi polovici leta 1958 so pri firmi Askania nabavili kratkoperiodni elektromagnetni vertikalni seismograf "Stuttgart" z galvanometrom kot registratorjem z zapisom na fotografiski papir. Seismograf je skonstruiral znani nemški seismolog prof. Wilhelm Hiller in je bil prvi moderni seismograf takega tipa na ozemlju takratne Jugoslavije. Povečava seismografa je bila 10 150-kratna pri nihajnjem času 1s. Tako velika povečava je pomenila veliko občutljivost instrumenta, ki je omogočala zaznavanje potresov z magnitudo do 3 stopnje po Richterju na območju Slovenije. Povečalo se je število zabeleženih šibkih potresov, tako bližnjih (lokalnih) kot tudi oddaljenih (teleseizmov). V juniju istega leta je začelo poskusno obratovanje seismografa, po odpravi začetnih težav pa se je v marcu naslednjega leta pričelo redno obratovanje. Na sliki 3 je zapis potresa 4. oktobra 1962 ob 19. uri in 48 minut po UTC z epicentrom (nadžariščem) v Korintski ožini. Zapis je bil na fotografiskem papirju dolžine 90 cm. Dolžina minute je bila 60 mm. Seismograf je deloval do sredine leta 1979.

V letu 1966 so bili nabavljeni novi instrumenti, ki so ustrezali normativom Svetovnega standardiziranega seismografskega omrežja (WWSSN - World-Wide Standardised Seismograph Network). Observatorij so opremili s kratkoperiodnim in dolgoperiodnim sistemom, ki sta omogočala meritve bližnjih potresov in teleseizmov.

Trikomponentni kratkoperiodni sistem Lehner & Griffith firme Teledyne sestavljajo trije nizkoohmski elektromagnetni seismometri, galvanometri in trojni registrirni valj s papirjem za zapis potresov. Horizontalna in vertikalna seismometer imajo lastni nihajni čas dolžine 1 sekunde in so pri-

ključeni na galvanometre z lastnim nihajnjim časom 0,5 sekunde. Zapis je optičen, kar pomeni, da zrcalo na galvanometru odklanja svetlobni žarek, ki piše po fotografiskem papirju dolžine 90 cm in širine 30 cm. Vsaka komponenta ima na ohišju valja lasten svetlobni izvor s kontrolo jakosti svetlobe in odklonski sistem za časovne oznake (2). Dolžina minute znaša 60 mm. Povečava sistema pri periodi dolžine 1s je 12 000. Na sliki 4 je zapis vertikalne komponente lokalnega potresa tega instrumenta z epicentrom v ljubljanski kotlini, ki je nastal 29. aprila 1990 ob 14. uri 15 minut po UTC.

Sistem za zapisovanje dolgoperiodnih potresov sestavljajo vertikalni in horizontalni elektromagnetni seismometri Sprengnether z nastavljivim lastnim nihajnjim časom v območju od 6 do 60 sekund. Za zapisovanje na fotografiski papir so uporabljeni galvanometri s svetlobnim žarkom z lastnim nihajnjim časom 100 sekund. Na registrirnem valju je prostor za papir za vse tri komponente. Vsaka komponenta ima svoj svetlobni izvor s kontrolo jakosti svetlobe in lečami za nastavitev širine svetlobnega žarka, odklonski sistem za časovne oznake in nastavljivo hitrost vrtenja, tako, da je dolžina minute lahko 15, 30 ali 60 mm. Valj je pokrit s pokrovom, ki varuje registrirni papir pred nenadno osvetlitvijo. Povečava sistema pri nihajnjem času 1s je 1300. Slika 5 prikazuje zapis vertikalne komponente oddaljenega potresa, ki je nastal 30. junija 1994, ob 9. uri in 30 minut po UTC na mejnem območju med Tadžikistanom in Afganistanom.

V letu 1971 so bili nabavljeni kratkoperiodni elektromagnetni seismometri Willmore MkII. Seismometer je zgrajen tako, da z majhnim posegom v njegovo zgradbo lahko deluje kot vertikalni ali kot horizontalni seismometer. Navitje tuljave je visokohumsko, kar omogoča ojačevanje signalov seismometra z elektronskimi ojačevalniki. Komplet sestavljajo trije seismometri s seismografskimi ojačevalniki SO-01 in pisači Günter-Volk. Seismografski ojačevalnik SO-01 so razvili strokovnjaki takratnega Astronomsko -

geofizikalnega observatorija na Golovcu v Ljubljani. Ojačevalnik ima stopenjsko nastavljivo ojačanje, ki omogoča nastavitev povečave glede na seizmični nemir na posamezni lokaciji, kjer je postavljena potresna opazovalnica. Poleg vhoda za signal seismometra ima še vhoda za časovne signale ure in signale časovnega sprejemnika, kar omogoča merjenje točnosti ure. V ojačevalniku je vgrajen stopenjsko nastavljeni nizki filter za izločitev visokofrekvenčnih motenj iz koristnega signala. Zapis na pisačih Günter-Volk je vidljiv. Pero s črnilom zapisuje nihanja tal na 180 cm dolg in 30 cm širok navaden papir. Prednost vidljivih zapisov pred zapisi na fotografski papir je v tem, da je takoj vidno, ali se je zgodil potres. Pri zapisih s svetlobnim žarkom je potrebno najprej zamenjati papir na registrirnem valju in opraviti celoten fotografski postopek razvijanja in fiksiranja zapisu, predno se potem analizira zabeležena nihanja. Ta vrsta seismografa deluje na observatoriju na Golovcu od junija leta 1972. Maksimalna povečava sistema je 50 800 pri nihajnjem času 0,33s. Na sliki 6 je zapis vertikalne komponente potresa, ki je nastal 2. marca 1996 ob 12. uri 53 minut po UTC z epicentrom v Gorskem Kotarju. Minuta je dolga 120 mm. Enak seismograf deluje od leta 1975 na potresni opazovalnici v Goričicah pri Grahovem ob Cerkniškem jezeru. Zaradi mirnejše lokacije je povečava tam večja in je maksimalna 95 740 pri nihajnjem času 0,5 s.

Koncem leta 1971 je začel delovati seismograf, ki so ga sestavljali horizontalni seismometer Vegik (smer sever-jug), seismografski ojačevalnik SO-01 in vidljivi pisač Sprengnether. Zapis je potekal na navaden papir dolžine 90 cm in širine 30 cm. Dolžina minute je bila 30 mm. Na sliki 7 je zapis horizontalne komponente potresa na tem seismografu, ki je nastal 31. decembra 1995 ob 21. uri in 30 minut po UTC z epicentrom v srednji Italiji. Seismograf je bil namenjen predvsem predhodni določitvi časa vstopa primarnih in sekundarnih valov za vse vrste potresov, predvsem ob večjem seizmičnem nemiru zaradi manjše občutljivosti instrumenta. Seismograf je nemoteno deloval do januarja 1996, ko je moral svoje mesto odstopiti modernejšim instrumentom.

Slika 8 prikazuje zapis vertikalne komponente potresa na trikomponentnem srednjeperiodnem seismografu SKD sovjetske izdelave, ki je nastal 28. aprila 1989 ob 4. uri in 4 minute po UTC v Egejskem morju. Seismograf je leta 1973 podaril Astronomsko - geofizikalnemu observatoriju UNESCO. Namenjen je bil beleženju srednje oddaljenih in oddaljenih potresov. Zapis vseh treh komponent je potekal na fotografski papir dolžine 90 cm. Zaradi razpona možnosti beleženja potresov velja za prvi širokopasovni instrument na observatoriju. Seismograf je zaradi pomanjkanja nadomestnih delov prenehral delovati maja leta 1989 (5).

Vsi do sedaj omenjeni seismografi delujejo tako, da neprekiniteno zapisujejo nihanja tal na papir. V letih 1976 do 1979 pa so se strokovnjaki na observatoriju lotili izgradnje seismografa, ki je deloval v prožilnem načinu. Ob dovolj velikem signalu senzorja se je vključil pisač in na papir zapisal dogodek, ki je sprožil aparaturo. Sekundarni potresni valovi imajo večjo amplitudo, zato so sprožili seismograf. To pomeni, da začetka potresa, to je prihoda primarnih valov, ne bi bilo zapisanega. Zato so delavci observatorija razvili analogno zakasnilno linijo, ki je za 10 sekund zakasnila signal, ki ga je beležil pisač, za signalom proženja. Tako je seismograf beležil tudi prihod primarnih valov. Zaradi kratkega časa zakasnitve je bil primeren za beleženje lokalnih in bližnjih potresov. Seismograf so sestavljali seismometri Sensonic, zakasnilna linija, seismografski ojačevalniki SO-02 in pisač Sefram, ki je pisal na neskončni papir z že natisnjeno mrežo. Na sliki 9 je zapis vertikalne komponente potresa na seismografu z analogno zakasnilno linijo, ki je nastal 18. avgusta 1982 ob 2. uri in 32 minut po UTC v Ljubljanski kotlini. Dolžina minute je bila 300 mm. Seismo-

graf je bil do avgusta leta 1982 v redni službi, kasneje pa zaradi nestabilnega delovanja analogne zakasnilne linije samo še občasno.

Na potresni opazovalnici na Vojskem je od začetka njenega delovanja v januarju leta 1985 pa do januarja leta 1991 deloval enak seismograf kot na opazovalnicah v Ljubljani in v Goričicah pri Grahovem ob Cerkniškem jezeru. Takrat pa so strokovnjaki tedanjega Seismološkega zavoda zamenjali zastareli seismografski ojačevalnik SO-01 z novejšo verzijo SO-03 z izboljšanimi karakteristikami, pisače pa so zamenjali pisači VR-2 firme Kinematics. Sedaj seismograf sestavlja trije seismometri Willmore Mk.II, trije seismografski ojačevalniki SO-03 in trije pisači VR-2, ki pišejo na 90 cm dolg papir. Dolžina minute znaša 120 mm. Maksimalna povečava seismografa je 557 000 pri 0,1 s. Na sliki 10 sta zapis vertikalnih komponent lokalnih potresov, ki sta nastala 27. februarja 1996 ob 19. uri in 11 minut ter ob 19. uri in 48 minut po UTC z epicentri v okolici Vojskega (5).

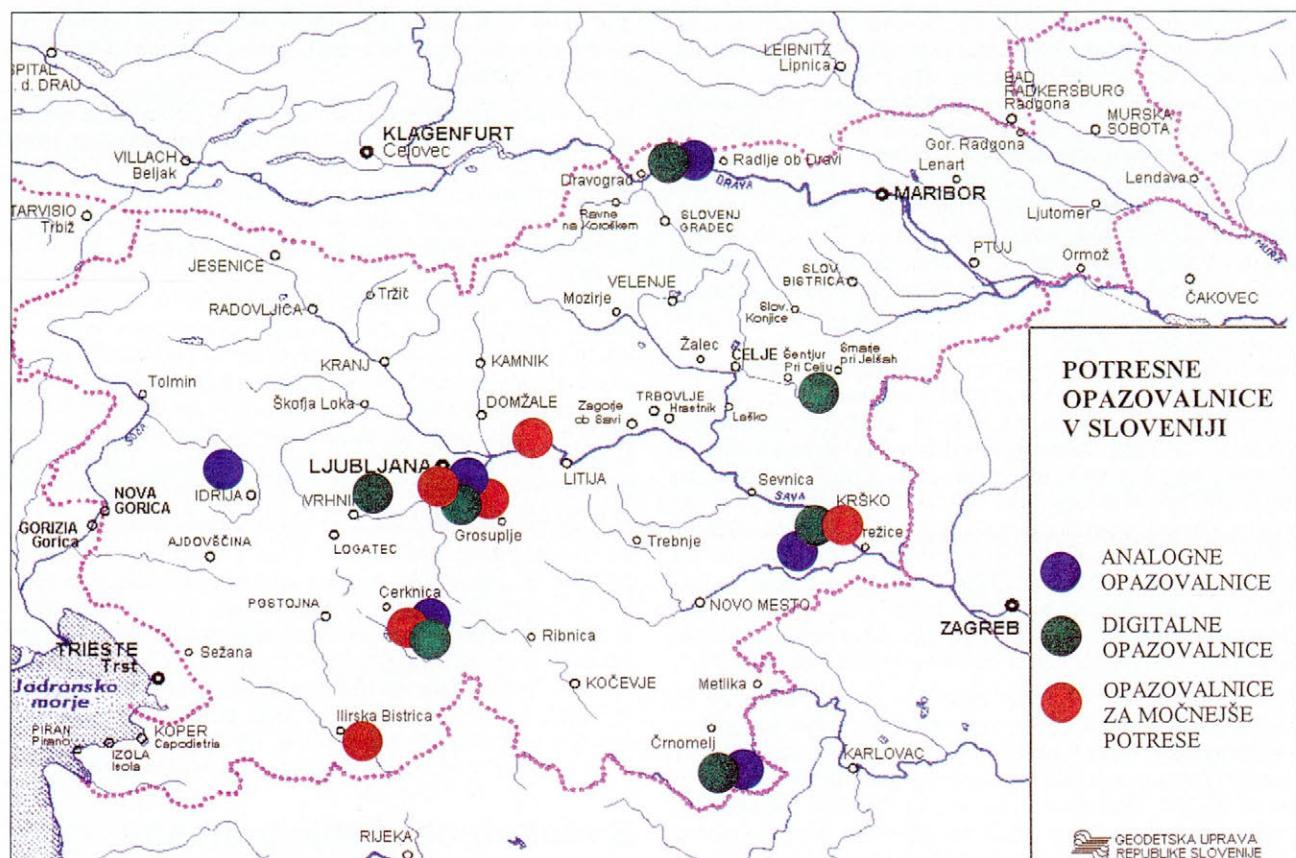
Za preliminarno odčitavanje časa nastanka potresa in prihoda S - valov v času povečanega seizmičnega nemira je v januarju 1996 začel delovati enokomponentni seismograf, ki ga sestavljajo horizontalni seismometer Vegik (smer sever - jug), seismografski ojačevalnik SO-01 in pisač Günter - Volk. Beleži na 180 cm dolg navaden papir. Minuta je dolga 60 mm. Na sliki 11 je zapis potresa tega seismografa, ki je nastal 27. marca 1996 ob 9. uri in 18 minut po UTC z epicentrom na območju Velebita na Hrvaškem.

## Sodobno beleženje potresov

Analogni seismografi imajo kar nekaj pomanjkljivosti. Majhno dinamično področje, ki v najboljšem primeru znaša 40 dB. To pomeni, da lahko beležimo pojave, katerih jakost je v razmerju 1:100. Največje magnitude lokalnih potresov, ki jih še registriramo, gredo od 2,5 do 4 stopnje po Richterju, kar je odvisno od oddaljenosti žarišča potresa od opazovalnice. Če povečamo občutljivost seismografa, lahko beležimo šibke potrese, instrument pa pri močnejših potresih postane prekrmljen in drugih parametrov potresa razen časa začetka ne moremo odčitati. Če ima seismograf majhno občutljivost, lahko odčitavamo močnejše potrese, vsi šibkejši dogodki pa ostanejo nezabeleženi. Pri sunkovitih odklonih peresa črnilo ne doteka dovolj hitro v pero in zapis je prekinjen. Enako je pri zapisih svetlobnega žarka na fotografski papir. Zaradi prekratke ekspozicije ni zapis. Pri lokalnih potresih je zaradi prekratke dolžine minute težko določiti periode posameznih skupin valov. S prihodom digitalnih instrumentov so te težave odpravljene. Dinamika instrumentov, ki je odvisna od analogno/digitalne (A/D) pretvorbe, se je močno povečala. Pri 16-bitni A/D pretvorbi je 96 dB, pri 24-bitni A/D pretvorbi pa 144 dB. Redki potresni dogodki na naših tleh bi lahko povzročili prekrmljenje seismografa.

Že od leta 1990 deluje na ljubljanski opazovalnici na Golovcu digitalni seismograf SSR-1 s šestimi kanali. Na treh so priključeni širokopasovni seismometri WR-1, na drugih treh pa akcelerometer FBA-23 firme Kinematics. Deluje v prožilnem načinu, primeren je za beleženje lokalnih in bližnjih potresov, predvsem zaradi premajhnega pomnilnika. Od leta 1995 pa delujejo še trije digitalni instrumenti firme Reftek s širokopasovnimi seismometri Guralp. Eden izmed njih deluje na observatoriju na Golovcu v kontinuirnem načinu delovanja in služi za registracijo oddaljenih potresov, ki jih shranjuje na trdi disk. Od drugih dveh je eden v Horjulu, drugi pa v Krškem. Delujeta v prožilnem načinu, dogodki pa se shranjujejo na DAT kasete.

Na sliki 12 je digitalni zapis vertikalne komponente potresa na seismografu SSR-1, ki je nastal 27. marca 1996 ob 15. uri in 25 minut po UTC z epicentrom na območju Dola pri Ljubljani. Obdelava zapisov poteka na računalniku.



Slika 13. Potresne opazovalnice v Sloveniji  
Figure 13. Seismic station in Slovenia

## Sklep

Instrumentalna seizmologija je mlada veda, ki pa se z razvojem instrumentov vse bolj razvija. Večja občutljivost seizmografov omogoča beleženje večjega števila šibkejših potresov, s tem pa je omogočen kvalitetnejši študij potresne nevarnosti (natančnejša opredelitev potresnih virov). Na območju Slovenije se že več let trudimo vzpostaviti državno mrežo potresnih opazovalnic ter lokalni mreži okoli Ljubljanske kotline in Krško-Brežiškega polja, pri tem pa nimamo rešenih niti osnovnih delovnih pogojev. Del operativne službe v observatoriju na Golovcu opravljamo v najetih prostorih.

V letu 1996 smo modernizirali potresni opazovalnici v Bojancih v Beli Krajini in v Braniku nad Muto v Bistriškem jarku, izgradili pa smo tudi dve novi. Na obrobju Krško-Brežiškega polja v vasi Cesta in v vasi Dobrina na severnem obrobju Kozjanskega smo postavili moderni digitalni opazovalnici, ki sta del državne mreže potresnih opazovalnic.

## Literatura

1. Gostinčar, M., Vidrih, R., Seismograf Wiechert, 1997. Ujma št. 11. Ljubljana.
2. Ribarič, V., 1971. Seizmologija v Sloveniji 1971–1975, Stanje in perspektive, Astronomsko geofizični observatorij, Ljubljana. Arhiv Uprave Republike Slovenije za geofiziko.
3. Ribarič, V., 1990. A short history of instrumental seismology in Yugoslavia (1880–1941), Gli strumenti sismici storici, Italia e contesto europeo, a cura di Graciano Ferrari. SGA Storia – Geofisica – Ambiente, Bologna.
4. Ribarič, V., 1994. Potresi v Sloveniji. Ob stoti obletnici velikega ljubljanskega potresa. Slovenska matica v Ljubljani, Ljubljana.
5. Vidrih, R., 1990. Seizmološka služba v Sloveniji. Seizmološki zavod SR Slovenije. Ljubljana. Arhiv Uprave Republike Slovenije za geofiziko.