

# 45 LET DELOVANJA KRATKOPERIODNEGA ANALOGNEGA SEIZMOGRAFA NA VIDNI ZAPIS NA OBSERVATORIJU NA GOLOVCU V LJUBLJANI

## 45 YEARS OF OPERATION OF THE SHORT-PERIOD ANALOGUE SEISMOGRAPH WITH A PEN-AND-INK RECORDER AT THE GOLOVEC OBSERVATORY IN LJUBLJANA

**Peter Sinčič**

Ministrstvo za okolje in prostor, ARSO, Urad za seizmologijo, Vojkova 1b, Ljubljana, peter.sincic@gov.si

**Izidor Tasič**

mag., Ministrstvo za okolje in prostor, ARSO, Urad za seizmologijo, Vojkova 1b, Ljubljana, izidortasic@gov.si

### Povzetek

Po ponovni vzpostavitvi seizmološke dejavnosti po drugi svetovni vojni na Astronomsko-geofizikalnem observatoriju na Golovcu v Ljubljani so za beleženje potresov najprej uporabljali seizmografe z optičnim zapisom na fotografski papir. Ker tak zapis ni omogočal hitre analize zapisa ob potresu, so se odločili za seizmograf, ki bo zapisoval nihanje tal s črnilom na papir, tako da bi zapis potresa lahko takoj analizirali. Osnovo seizmografa so tvorili kupljeni seizmometri Willmore Mk-II in pisalniki Günter Volk, preostale komponente pa so izdelali strokovnjaki na observatoriju. Opisani seizmograf še vedno deluje.

### Abstract

After the restoration of seismic observations in the Astronomical Geophysical Observatory after World War II, seismographs with photographic recorders were used to record earthquakes on photographic paper. This type of recording does not allow rapid analysis of the record of an earthquake, so it was decided to construct a seismograph which would record the oscillations of the earth with ink on paper, so that the record of an earthquake could be analyzed immediately. The basis of the seismograph was a bought Willmore Mk-II seismometer with the addition of a Günter Volk recorder, and the other components were made by experts at the observatory. The seismograph described is still in operation.

## Uvod

Na observatoriju na Golovcu v Ljubljani že več kot 45 let deluje kratkoperiodni analogni seizmograf, ki beleži nihanje tal v treh med seboj pravokotnih smereh s črnilom na papir.

Seizmograf je splošen izraz za eno ali za več povezanih naprav, s katerimi zaznavamo in natančno beležimo nihanja tal. Na začetku instrumentalne seizmologije je bila to samostojna mehanska naprava, ki je nihanje tal v vodoravni ali navpični ravnini prenesla na osajeni papir [Gostinčar in Vidrih, 1997]. Sestavljena je bila iz nihala v togem ohišju, povezanega z mehanskim, optičnim ali elektromagnetnim zapisovalnikom. Besedo seizmograf sestavljata grški besedi *seismós* [σεισμός] – potres in *gráphō* [γράφω] – zapis [Seismometer, 2017].

Z razvojem znanosti in tehnologije so se za posamezne sklope seizmografa specializirala različna podjetja in

seizmograf je vse pogosteje sestavljalo več med seboj odvisnih naprav različnih proizvajalcev.

Leta 1959 je na Astronomsko-geofizikalnem observatoriju (AGO) na Golovcu začel ponovno delovati samostojni mehanski seizmograf Wiechert, ki je bil narejen in dobavljen že leta 1925. Zapleten mehanski sistem z obrnjenim nihalom z 200-kilogramsko utežjo je prenašal vodoravno nihanje tal na peresi, ki sta praskali po osajenem papirju, časovne oznake so bile narejene tako, da je mehanski urni mehanizem, vgrajen v seizmograf, obe peresi ob polni minuti za eno sekundo dvignili od papirja.

Istega leta je začel delovati tudi kratkoperiodni seizmograf s seizmometrom Stuttgart z zapisom na fotografski papir. Sestavljen je bil iz dveh delov, in sicer navpičnega seizmometra ter »registratorja«, ki je v enem ohišju vseboval galvanometer, valj s fotografskim papirjem in



Slika 1: Pogled na analogne pisalnike na observatoriju na Golovcu v Ljubljani, ki beležijo potrese že 45 let. (arhiv ARSO)

Figure 1: Analogue recorders at the Golovec Observatory in Ljubljana, which have been recording earthquakes for 45 years (ARSO archive).

optičnim sistemom leč in zrcal, ki je vodil svetlobni žarek od izvora do fotografskega papirja.

Leta 1966 so na AGO začeli nameščati vrhunske trikomponentne kratkoperiodne in dolgoperiodne seizmografe z optično registracijo nihanj tal na fotografski papir, katerih lastnosti so ustrezale normativom Svetovnega standardiziranega seizmološkega omrežja [angl. *The World-Wide Standardized Seismographic Network – WWWSN*] (Gosar, 2012). Posamezni deli seizmografa so bili še vedno izdelek enega podjetja, a sestava tega sistema je bila že bolj zapletena. Seizmometri so bili v enem prostoru, optični regulatorji in neodvisno postavljeni galvanometri pa v drugem. Optični sistem je imel dve prednosti pred tedaj še ne dovolj razvitimi zapisovalci na viden zapis. Prvič, ojačitve signala so bile preproste, saj se je s podaljšanjem poti žarka med galvanometrom in foto papirjem povečala tudi amplituda zapisa. Poleg tega je galvanometer s svojim vplivom na prenosno funkcijo celotnega sistema omogočal beleženje podatkov na širšem frekvenčnem območju.

Pomanjkljivost seizmografov z optičnim zapisom na fotografski papir se je pokazala predvsem pri lokalnih potresih, ki so jih čutili prebivalci Slovenije. Po informaciji, da se je v neposredni bližini zgodil potres, je bilo treba najprej (v temi) zamenjati fotografski papir na regulatorju, ga razviti s kemijskim (fotografskim) postopkom, da so se sledi prikazale, in nato papir posušiti, kar je bil zelo zamuden postopek. Šele potem je bilo mogoče iz zapisov določiti parametre potresa. Poleg tega se je lahko v nekaterih, sicer redkih primerih zaradi različnih

sistemskih napak zgodilo tudi to, da je bil zapis potresa nerazpoznaven (okvara papirja, ki je bila razvidna šele po razvijanju, zaradi hitenja nepravilno izpeljan postopek razvijanja papirja, nepravilno delovanje žarka ...). Če o potresu niso poročali prebivalci, ki so ga čutili, ga je bilo mogoče zaslediti in mu določiti parametre šele naslednji dan ob redni menjavi registrirnega papirja.

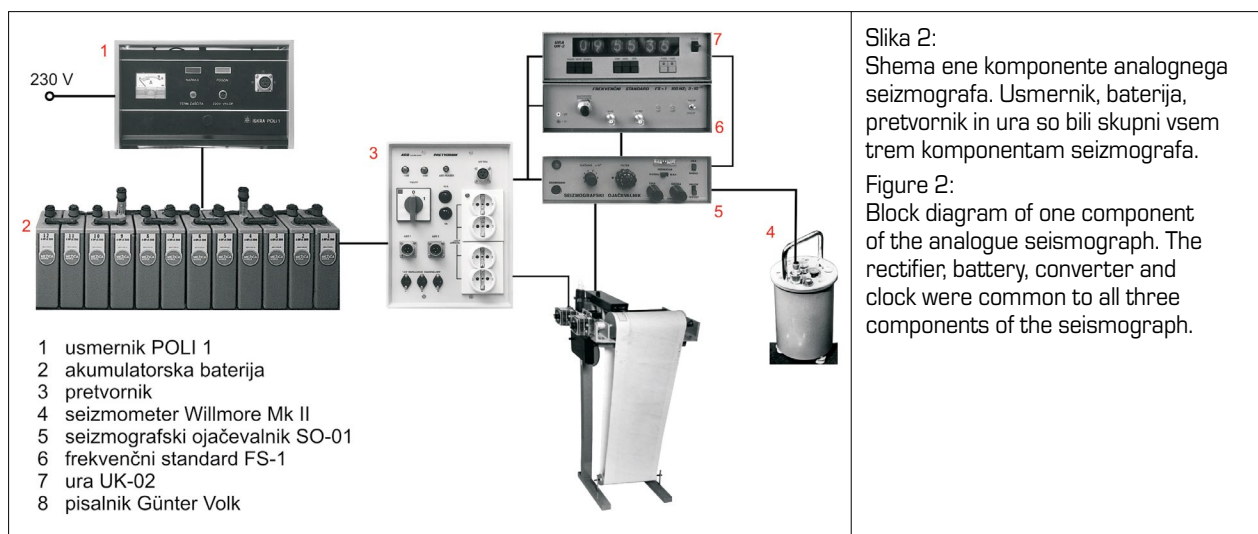
Ker je bila pri lokalnem potresu potreba po podatkih o parametrih potresa takojšna, postopki razvijanja foto papirja pa zamudni, so v začetku sedemdesetih let na AGO sestavili analogni kratkoperiodni seizmograf z vidnim zapisom (slika 1). Kratkoperiodni pomeni, da deluje v frekvenčnem območju, ki večinoma pokriva potresne valove lokalnih potresov.

## Kratkoperiodni »vidni« seizmograf na AGO Golovec

Med letoma 1971 in 1973 so na AGO delno kupili in delno sami izdelali posamezne dele ter nato sestavili kratkoperiodni seizmograf (slika 1), ki še danes skoraj v originalni zasnovi s črnilom zapisuje nihanje tal na papir. Seizmograf ima navpično in dve vodoravni komponenti, kar omogoča prostorsko beleženje nihanja tal. Vsaka komponenta sestoji iz seizmometra tipa Willmore Mk-II, ojačevalca električnih signalov in pisalnika Günter Volk (slika 2). Ura in napajalni del pa sta skupna za vse tri komponente. Ker je seizmograf sestavljen iz delov različnih proizvajalcev, nima enotnega imena, ampak se imenuje samo kratkoperiodni vidni seizmograf. Natančen zgodovinski pregled izdelave seizmografa zaradi pomanjkanja dokumentacije ni mogoče, a nekatera dejstva so vseeno znana. Ribarič (1971) navaja, da so bili 1. avgusta 1971 naročeni seizmometri tipa Willmore Mk-II, model z visokoohmskimi tuljavami za registracijo s tranzistorskimi ojačevalniki, in da bodo ničelno serijo teh ojačevalnikov naredili sami ter jih uporabili z že nabavljenimi pisalniki Günter Volk. Prvi seizmografski ojačevalec so naredili leta 1972.

### Seizmometer Willmore Mk-II

Osnovni del vsakega seizmografa je senzor oziroma seizmometer, ki zaznava nihanje tal. Enokomponentni seizmometer Willmore Mk-II so leta 1963 razvili iz seizmometra Willmore Mk-I, ki je bil v proizvodnji od začetka petdesetih let, a je imel ta model kar nekaj pomanjkljivosti. Pri razvoju novega seizmometra sta sodelovala konstruktor prvega seizmometra P. L. Willmore in D. V. Connel iz podjetja *Hilger and Watts Limited*, ki je prvotni seizmometer tudi izdelovalo. Novi seizmometer je bil za tiste čase vrhunski kratkoperiodni elektromagnetni enokomponentni seizmometer. Omogočal je preprosto nastavitve lastne periode med 0,5 in 3 sekundami, imel je izboljšano termično stabilnost, saj je lahko deloval v temperaturnem območju med  $-40^{\circ}\text{C}$  in  $+60^{\circ}\text{C}$ . Izboljš-



šave na magnetu in tuljavi so omogočale homogeno magnetno polje znotraj celotnega delovnega območja. Izboljšave so bile narejene tudi v sami zasnovi seizmometra, saj je lahko uporabnik s preprostim posegom spremenil seizmometer iz navpičnega v vodoravni merilnik nihanj tal. Preprosto je bil viden tudi indikator položaja lege in izboljšana vodotesnost seizmometra. Leta 1969 je podjetje *Rank Precision Industries* prevzelo podjetje *Hilger and Watts*, vendar je proizvodnja seizmometrov še vedo potekala pod istim imenom. Seizmometer je zasnovan tako, da lahko deluje z galvanometrom za fotooptično zapisovanje nihanja tal, z zamenjavo nizkoohmske tuljave ( $380 \Omega$ ) z visokoohmsko ( $3300 \Omega$ ) pa lahko prek tranzistorskega ojačevalnika pošilja signal v druge analogne sisteme. V drugem primeru je generatorska konstanta, ki nam pove, kakšna je izhodna napetost seizmometra v odvisnosti od hitrosti nihanja tal, enaka  $5,7V/(m/s)$ . Sam seizmometer je težak 14,5 kg, valjaste oblike premera 15,5 cm in velikosti 33 cm (slika 3). Masa nihala, ki je istočasno magnet, pa je 4,75 kg. Glede na izhodne lastnosti instrumenta je spadal v času razvoja med lažje seizmometre.

Od začetka delovanja so trije seizmometri Willmore Mk-II medsebojno pravokotno nameščeni v seizmični sobi na observatoriju na Golovcu (slika 3a) tako, da beležijo nihanje tal v smereh: sever-jug, vzhod-zahod in navpično. Lastna frekvenca je nastavljena na 1,13 sekunde. Na slikah so prikazani še indikator ničelne lege (slika 3b) in primerjava kratkoperiodnega enokomponentnega seizmometra Willmore MK-II s sodobnim širokopasovnim trikomponentnim seizmometrom CMG-40T (slika 3c).

## Seizmografski ojačevalnik SO-01

Strokovnjaki AGO so skupaj z zunanji sodelavci izdelali prve seizmografske ojačevalnike SO-01 s stopenjsko nastavljenim ojačenjem in nastavljenim nizkofrekvenčnim filtrom, ki omogoča nastavev lastnosti sistema glede na seizmični nemir na posamezni lokaciji, kjer je postavljena potresna opazovalnica.

Ojačevalnik sestavljajo predojačevalnik in dve ojačevalni stopnji, njegovo ojačenje pa je v frekvenčnem območju od 0 Hz do 10 Hz konstantno, nato pa pada z naklonom 12 dB/oktavo. S preklopniki na prednji plošči ojačevalnika je možna nastavev ojačenja med  $1 \times 10^3$  in  $1 \times 10^5$  ter mejno frekvenco nizkofrekvenčnega filtra, pri kateri začne ojačenje padati. Z instrumentom v kombinaciji s preklopnikom preverjamo napajalno napetost ali nastavljamo ničelno lego simetričnega izhoda ojačevalnika z gumboma za grobo in fino regulacijo.

Poleg visokoohmskega vhoda za seizmometer ima ojačevalnik še vhoda za sprejem radijskih časovnih signalov in urne značke seizmološke ure, kar omogoča merjenje točnosti ure.

## Ura (UK-02)

Ura je sestavljena iz dveh enot: frekvenčnega standarda FS-1 in monitorja za prikazovanje časa UK-2. Časovni standard ima za frekvenčno osnovo kvaliteten termostataran kremenov oscilator frekvence 5 MHz. To frekvenco digitalno delimo do 100 Hz in jo vodimo na monitor za prikazovanje časa UK-02. Izveden je v TTL-logiki in zaslonom z nixie elektronkami. Točnost ure je  $1 \times 10^{-3}$  s na dan. Pod zaslonom so tipke za nastavev ure, minute, sekunde ter za zagon in ustavev ure.

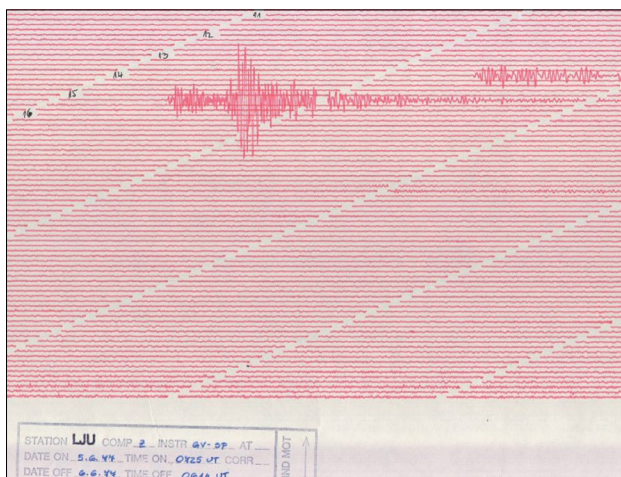
## Pisalnik Günter Volk

Pisalnik Günter Volk je namenjen zveznemu zapisu seizmičnih signalov. Za pogon papirja in igle ima dva sinhrona motorčka s predležji, ki omogočajo različne hitrosti. Prvi motorček služi za pomik peresa, izberemo pa lahko deset nastavev pomika – razmik med posameznimi sledmi zapisa. Drugi motorček služi za pomik papirja in tudi omogoča deset različnih nastavev hitrosti. Hitrost pomika je izbrana tako, da pri hitrosti pomika papirja 120 mm/min omogoča papir 24-urno zapisovanje brez prekinitve, nato pa ga



Slika 3: a) Navpični in dva vodoravna seizmometra Willmore Mk-II, nameščena na betonskem steburu; b) indikator ničelne lege seizmometra; c) primerjava kratkoperiodnega enokomponentnega seizmometra Willmore MK-II (desno) s sodobnim širokopasovnim trikomponentnim seizmometrom CMG-40T (levo). (foto: I.Tasič)

Figure 3: a) One vertical and two horizontal Willmore MK-II seismometers mounted on a concrete pier; b) An indicator of the zero position of the seismometer; c) Comparison between the short-period one-component Willmore MK-II seismometer (right) and the modern broadband three-component seismometer CMG-40T (left) (Photo: I.Tasič)



Slika 4: Zapis Z-komponente potresa 5. junija 1977 z magnitudo  $M_I = 3,3$  v Furlaniji - Julijski krajini.

Figure 4: Z-component record of a magnitude 3.3 earthquake on June 5, 1977, with its epicentre in Friuli Venezia Giulia, Italy.

je treba zamenjati. Papirnati trak napenja s svojo težo valj iz aluminija.

Z izhodnim signalom ojačevalnika krmilimo pisač Gulton s peresom. Operacijski ojačevalnik v pisaču je napetostno tokovni pretvornik s tuljavo za krmljenje peresa, z drugo tuljavo pa je izvedena hitrostna povratna povezava. Pravokotne koordinate zapisa, to je, da pero stalno piše po temenu valja s papirjem in dvakratno ojačitev amplitude zapisa, pa omogoča pantograf, katerega zadnji del ni stalno vpet, temveč se giblje v utoru. Pantograf je naprava, sestavljena iz palic, povezanih na podlagi paralelograma, ki omogoča vzporedno gibanje dveh predmetov, na primer peres, in s tem kopiranje risb.

Vsaka komponenta se zapisuje s črnilom na 180 cm dolg in 30 cm širok papir, ki je na konceh zlepljen skupaj,

tako da tvori neskončen trak. Dolžina minute 120 metrov omogoča odčitavanje časa na najmanj desetinko sekunde natančno. Primer zapisa potresa iz leta 1977 je na sliki 4.

## Napajanje in pretvornik 12 V DC/ 230 V AC

Napajalno enoto sta sestavljala predelani polnilec akumulatorjev Iskra Poli s stabilizirano izhodno napetostjo 13,2 V in akumulatorska baterija, ki je omogočala petdnevno delovanje seizmografa ob izpadu omrežne napetosti.

Pretvornik je omogočal napajanje z električno energijo seizmografskih ojačevalnikov, pisalnikov in ure iz stacionarne baterije, ki je zagotavljala večdnevno delovanje aparatur tudi ob izpadu omrežne napetosti. Sestavljale so ga tri enote: termostatiran s kremenovim kristalom stabiliziran oscilator, pretvorniški del s transformatorjem za izhodno izmenično napetost 230 V in stabilizirani usmernik z izhodno napetostjo  $\pm 12$  V.

En pretvornik je omogočal napajanje dveh pisalnikov in ure z izmenično napetostjo 220 V ter dveh seizmoloških ojačevalnikov z enosmernima napetostma  $\pm 12$  V. Zato smo za delovanje trikomponentnega seizmografa potrebovali dve pretvorniški enoti.

Danes se namesto »pretvornikov« uporabljata univerzalna industrijska AC/DC pretvornika, namesto baterij pa se uporablja industrijska UPS enota z 230 VAC izhodom.

## Sklepne misli

V Sloveniji sta bila pozneje postavljena še dva kratkoperiodna »vidna« seizmografa s seizmometri Willmore Mk-II in drugimi pripadajočimi elektronskimi enotami, leta

1975 v Cerknici in leta 1984 na Vojskem. Razvoj elektronskih komponent se je na takrat že Seizmološkem zavodu Republike Slovenije nadaljeval. Tako so stare komponente nadomestili novejši seizmološki ojačevalniki, uro pa je zamenjala novejša z avtomatskim popravljanjem napake z urnimi signali dolgovalovnega spre-

jemnika točnega časa DCF 77. Z nastopom digitalne tehnologije, ki omogoča zapis tako šibkih kot tudi najmočnejših potresov z isto aparaturo in takojšnjo računalniško obdelavo potresa, je postal kratkoperiodni vidni seizmograf zastarel, danes je na ogled in se uporablja predvsem v demonstracijske namene.

## Viri in literatura

1. Gosar, A., 2012. Petdeseta obletnica Svetovnega standardiziranega seizmografskega omrežja (WWSSN). *Ujma*, 26, 295–297.
2. Gostinčar, M., Vidrih, R., 1997. Seizmograf Wiechert, *Ujma*, 11, 185–187.
3. Ribarič, V., 1971. Seizmologija v Sloveniji 1971 – 1975, Stanje in perspektive, *Astronomsko-geofizikalni observatorij, Univerza v Ljubljani*, 25 str.
4. Sinčič, P., Vidrih, R., 1998. Razvoj instrumentalne seizmologije v Sloveniji (Ob 100-letnici prve potresne opazovalnice v Sloveniji). *Zbornik za zgodovino naravoslovja in tehnike. Slovenska Matica v Ljubljani*, 13–14, 135–166, Ljubljana.
5. Wikipedia, The Free Encyclopedia, 2017. Seismometer: <https://en.wikipedia.org/wiki/Seismometer> [pridobljeno 21. 4. 2017].