

POMEN TOČNEGA ČASA PRI REGISTRACIJI POTRESOV

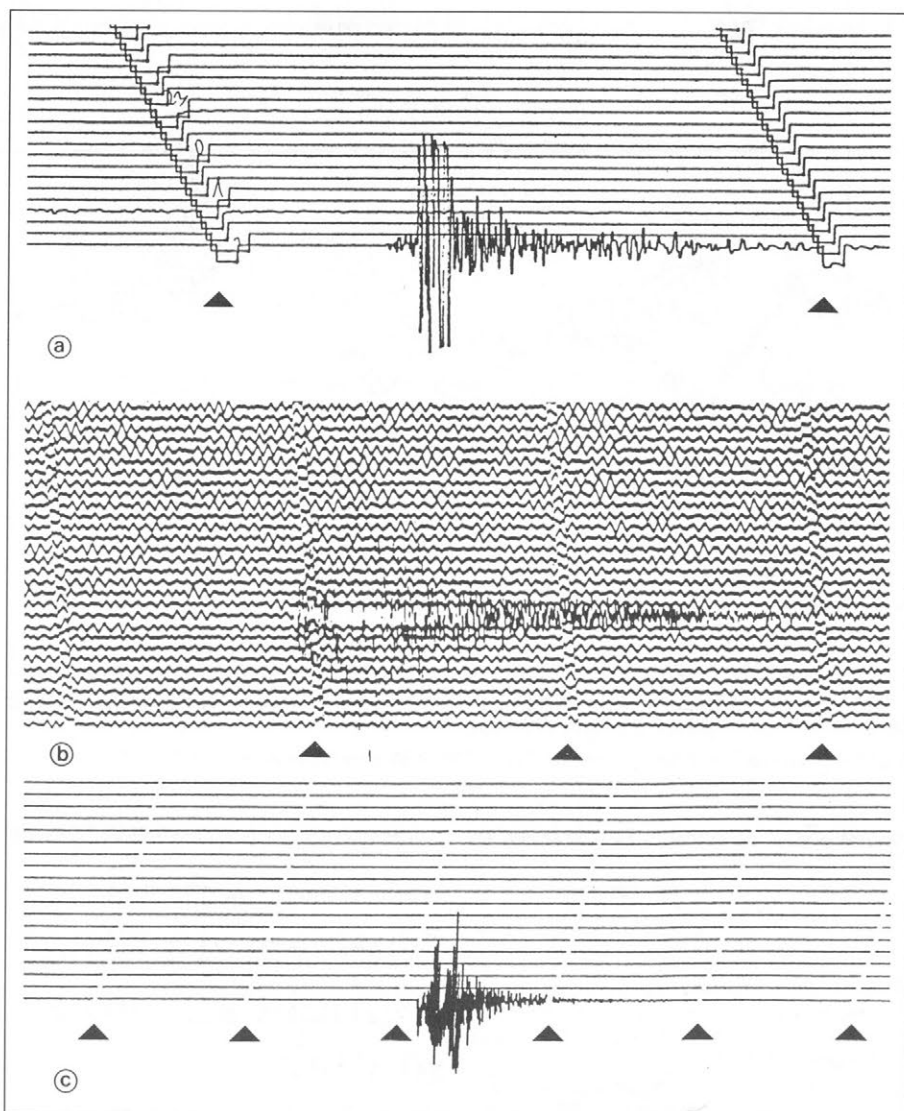
Peter Sinčič*, Renato Vidrih**

UDK 550.34

Seizmografi zabeležijo potres kot funkcijo časa, zato na seizmogram zapisujemo tudi čas, ki nam ga daje točna ura. Danes je osnova vsakega časovnega standarda termostatiran kristalni oscilator z veliko stabilnostjo frekvence. Na Seizmološkemu zavodu Republike Slovenije merimo pri analognih seizmografih točen čas z urami, ki smo jih konstruirali na zavodu, digitalni seizmografi pa imajo že vgrajen kristalni časovni standard. Ure primerjamo in popravljamo z radijskim časovnim standardom DCF77, pri digitalnih seizmografih pa za popravljanje časovnih standardov uporabljamo radijski navigacijski sistem Omega in satelitski GPS (Global Positioning System).

Seizmični valovi se ob potresu razširjajo na vse strani od hipocentra in povzročijo nihanje tal. To premikanje zabeležijo seizmografi kot funkcijo časa. Nihanje, zapisano na pisalniku, mora biti opremljeno s časovnimi znamenji, ki jih daje točna ura. Močne potrese lahko zabeležijo številne potresne opazovalnice po vsej zemeljski obli v različnih časovnih conah in z različnimi lokalnimi časi. Da ne bi prihajalo do zmede pri določanju parametrov dogodkov, uporabljajo vse opazovalnice enotni čas UTC (Universal Time Coordinated). Časovni koledar UTC določa Bureau International de l'Heure in je osnova za koordinirano razširjanje standardnih frekvenc in časovnih signalov. Koledar UTC se ujema z mednarodnim atomskim časom, ki ga prav tako določa Bureau International de l'Heure in se kontinuirano meri v dnevih, urah, minutah in sekundah od svojega začetka 1. januarja 1958. Od njega se razlikuje po skupnem številu sekund. Na določeno obdobje je zato potrebno dodati ali odvzeti prestopno sekundo, da se čas UTC ujame s sončnim časom ekvatorja, ki ga merijo astronomi. Določeno je tudi označevanje dogodkov, ki se lahko zgodijo v dodani ali odvzeti sekundi. Sekunda se dodaja ali odvzema ob 24. uri. Pri dodani sekundi označimo začetek dogodka: dan, mesec, leto, 23 h, 59 m, 60.6 s po UTC, pri odvzeti sekundi pa: dan, mesec, leto, 23 h, 59 m, 58.9 s po UTC⁽³⁾.

Analogni seizmografi, ki zaenkrat še vedno prevladujejo na Seizmološkem zavodu Republike Slovenije, zapisujejo nihanje na papirnat trak (slika 1). Signalu seizmometra so dodani časovni znaki. Časovni znak je ponavadi impulz, ki ga odda ura, dolg 1 do 2 sekundi za vsako minuto in še enkrat daljši za uro. Impulz povzroči odmik peresa, ne sme pa prekiniti zapisa nihanja seizmometra. Amplituda signala se prišteje amplitudi impulza časovnega znaka. Slika 1 a) kaže vidljivi zapis seizmograma, kjer je minuta dolga 120 mm. Na sliki 1 b) je foto zapis s 60 mm dolgo minuto. Na sliki 1 c) pa je prikazan zapis s 30 mm dolgo minuto, kjer

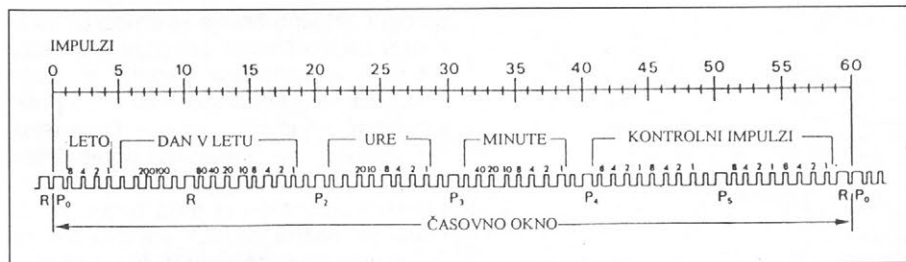


Slika 1. Primeri zapisov minutnih mark na seizmogramih analognih seizmografov: a) seizmogram kratkoperiodnih vidljivih zapisov z dolžino minute 120 mm b) seizmogram kratkoperiodnih fotozapisov z dolžino minute 60 mm c) seizmogram kratkoperiodnih zapisov z majhnim ojačanjem in dolžino minute 30 mm. S puščicami so označeni začetki minut.

Figure 1. Examples of time mark recordings on analogue seismograms: a) short period visual recording with minute 120 millimeters long. b) short period photo recording with minute 60 millimeters long. c) short period visual recording with minute 30 millimeters long. Arrows denote starting points of minutes.

* Ministrstvo za okolje in prostor, Seizmološki zavod Republike Slovenije, Pot na Golovec 25, Ljubljana,

**Mag., Ministrstvo za okolje in prostor, Seizmološki zavod Republike Slovenije, Pot na Golovec 25, Ljubljana.



Slika 2. Časovna koda po standardu VELA, ki se uporablja pri digitalnih zapisih na magnetofonski trak.

Figure 2. VELA standard time code for use in magnetic tape recorders.

minutni znak prekinja zapis signala seizmometra. Papir zadostuje za približno štiriindvajseturni zapis registracij, potem pa ga nadomestimo z novim. Vsak seizmogram opremimo z datumom, uro in minuto začetka zapisovanja in prav tako z datumom, uro in minuto konca zapisa. Na začetku in na koncu zapisa posnamemo še radijski časovni signal, ki služi za kontrolo ure. Hitrost pisalnika in dolžina papirja sta izbrani tako, da razporeditev časovnih mark omogoča hiter pregled seizmograma in določitev časa zapisane ga dogodka.

Pri digitalnih seizmografih je zapis časa drugačen. Ne gleda na to, ali je način zajemanja podatkov neprekinjen ali pa se zajemanje sproži samo ob dogodku, shranjujemo vedno samo tisti del podatkov, ki vsebujejo informacijo o dogodku. Zapis časa, ki se beleži na posebnem kanalu, mora biti tak, da že majhen izsek registracij vsebuje celotno informacijo o času. V ZDA so razvili standard zapisa časovne kode VELA, kjer je čas zapisan v zaporedju različnih dolgih sekundnih impulzov v časovnem oknu ene minute. V minuti imamo kodirano informacijo o letu, dnevu leta, uri in minuti. Na sliki 2 je prikazana časovna koda standarda VELA. Standard VELA je osnova bolj uporabljanega standarda IRIG, ki ima v prvi polovici časovnega okna kodirano enako informacijo o trenutnem času kot standard VELA, v drugi polovici pa vrsto kontrolnih impulzov. Časovni standard IRIG ima tri formate: IRIG B, IRIG E in IRIG H, ki se med seboj razlikujejo po dolžini časovnega okna. Dolžina časovnega okna za IRIG B je 1 sekunda, za IRIG E 10 sekund in za IRIG H 1 minuta. V časovnem okviru je 100 impulzov. V prvih petdesetih je v kodi BCD zapisan čas (sekunde, minute, ure in dnevi leta), impulzi druge polovice pa imajo kontrolno funkcijo.

Ura UK-03

Za prvo informacijo o potresu, to je oddaljenost epicentra potresa od opazovalnice, potrebujemo točen čas vstopa potresnih valov na potresni opazovalnici. Za podrobnejši opis potresa je treba odčitati čase več faz v zapisu potresa, ki pomenijo prihod skupin valov po različnih poteh

do opazovalnice. Zato je potrebna točna ura. Na Seizmološkem zavodu RS smo že pred leti razvili uro UK-03 (slika 3), ki v kombinaciji z dolgovalovnim sprejemnikom časovnih signalov DS-02 kaže do tisočinke sekunde točen čas. Osnova ure je termostatisiran kristalni oscilator B-1326 firme Oscilloquartz, neobčutljiv za temperaturne spremembe okolice. Njegova frekvenčna stabilnost je $< 8 \cdot 10^{-9}$ v temperaturnem področju od -40° do $+60^{\circ}$ C. Sprememba frekvenca zaradi staranja je $1,5 \cdot 10^{-7}$ na leto in $5 \cdot 10^{-10}$ na dan. Opisana stabilnost oscilatorja povzroča napako ure do 1,5 ms na dan. Frekvenco lahko kontroliramo z večobratnim zunanji potenciometro ali z zunanjo pozitivno napetostjo. Trenutni čas je prikazan na zaslonu iz tekočih kristalov. Poleg zaslona sta na prednji plošči ure dve svetleči diodi in devet tipk za upravljanje ure. Izbiramo lahko med avtomatskim popravljanjem teka ure z impulzi sprejemnika časovnih signalov in med ročno nastavitvijo ⁽¹⁾.

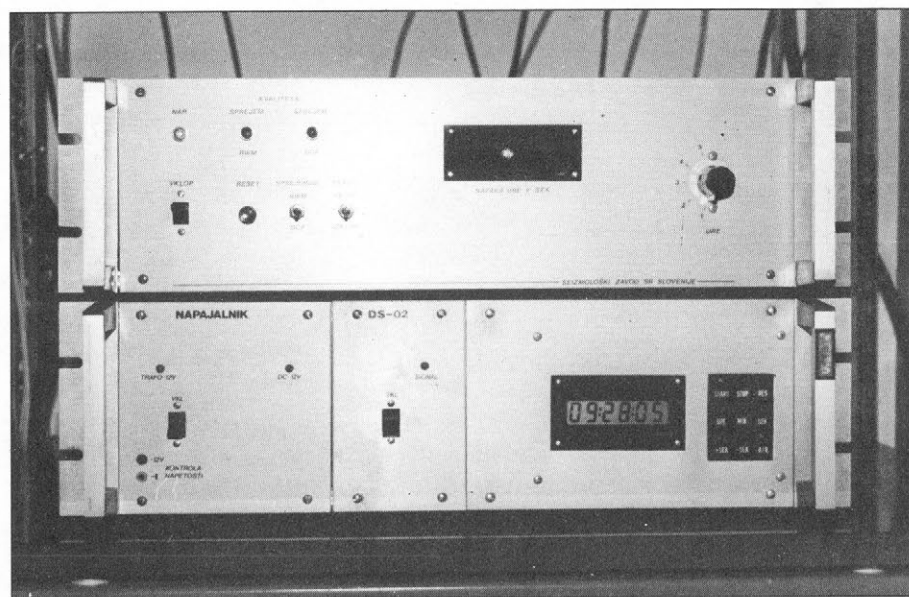
V skupnem ohišju z uro se nahaja dolgovalovni sprejemnik časovnih signalov DS-02. Tudi sprejemnik je delo delavcev Seizmološkega zavoda RS. Sprejemnik deluje na frekvenci 77,5 kHz in sprejema časovne signale radijske oddajne postaje

DCF77, ki oddaja iz Mainflingena v 183 Nemčiji. Z oddajnikom upravlja Physikalisch Technische Bundesanstalt, njegov domet pa je med 1500 in 2500 km. Časovno informacijo, ki jo posredujejo svetu, dobijo s cezijeve ure, katere napaka je 1 sekunda v 300 000 letih. V minuti je shranjena celotna informacija o času. Slika 4 prikazuje kodiranje časovne informacije. Prvih devetnajst impulzov je namenjenih raznim kontrolnim funkcijam, dvajseti impulz pa označuje začetek kode. Po vrsti si sledijo kode minute, ure, dneva v mesecu, dneva v tednu, meseca in leta, ki jih prekinjajo parnostni znaki P1, P2 in P3 za kontrolo pravilnega prenosa časovne informacije. Za prenos informacije je uporabljena amplitudna modulacija. Frekvenca oddajanja je nizka, zato so odboji pri razširjanju površinskih valov zanemarljivi. Kvaliteta sprejema teh signalov je skoraj konstantna v okolici sprejemnika ⁽⁴⁾.

Sekundne impulze sprejemnika na posebnem komparatorskem vezju primerjamo s sekundnimi impulzi ure. Na izhodu vezja dobimo napetost, s katero kontroliramo frekvenco oscilatorja in s tem točnost ure. Da pa bi komparatorsko vezje izpolnilo svojo nalogo, mora imeti ura ob startu točnost $\pm 0,5$ sekunde. Za beleženje časa na seizmografih potrebujemo minutno marko in urno marko kot sklenjen kontakt zaradi vhoda na seizmografskem ojačevalniku, zato posebno vezje krmili rele. Uro UK-03 uporabljamo za merjenje časa na vseh potresnih opazovalnicah z analognimi seizmografi.

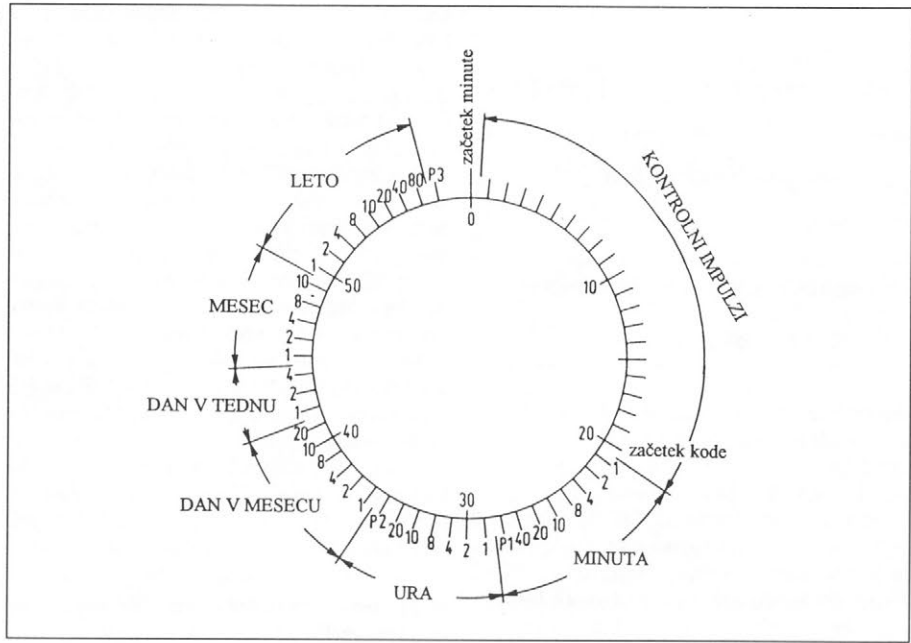
Časovna služba

Naloga časovne službe je vsakodnevno preverjanje točnosti ur. Vsaka okvara ure ali samo prevelika napaka v hodu ure

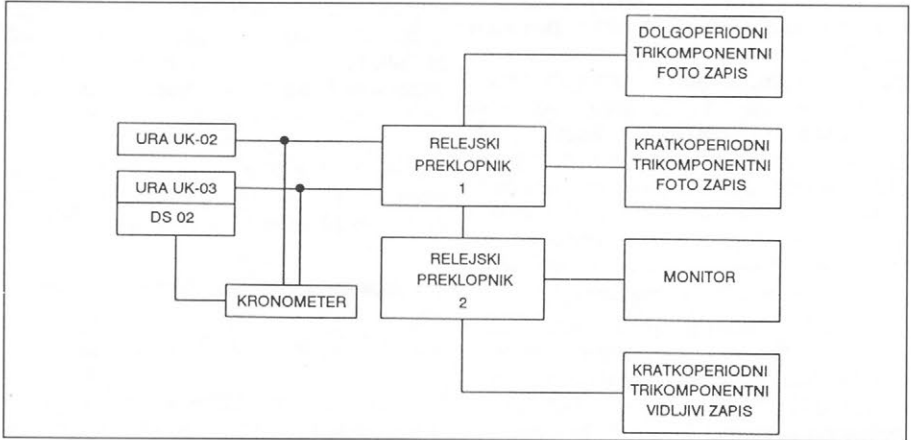


Slika 3. Kronometer za merjenje točnosti ur in ura UK-03 z dolgovalovnim sprejemnikom časovnih signalov DS-02.

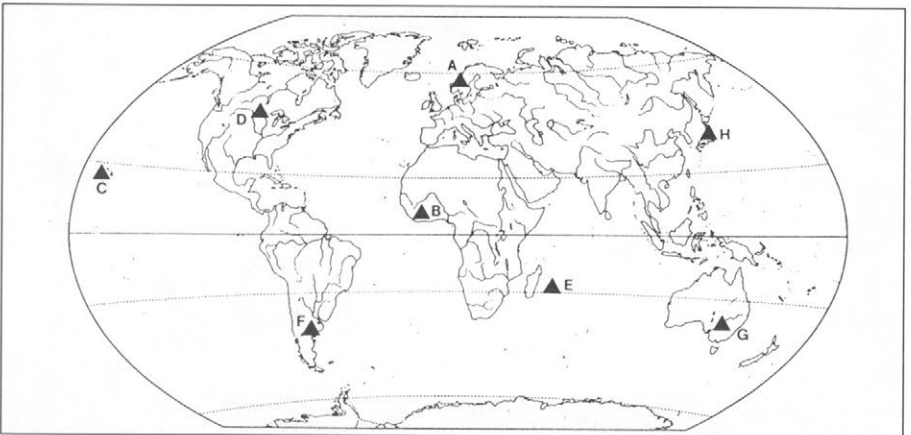
Figure 3. Chronometer for clock accuracy measurement and the UK-03 clock combined with long wave receiver of time signals DS-02.



Slika 4. Časovna koda, ki jo oddaja oddajnik časovnih signalov DCF77 v Mainflingu v Nemčiji.
Figure 4. Time code transmitted by DCF77 transmitter in Mainflingen, Germany.



Slika 5. Shema priključitve ur na seizmografe in na kronometer. Uri UK-02 in UK-03 sta priključeni na seizmografe prek dveh relejskih vezij, ki galvanjsko ločujejo posamezne seizmografe med seboj, zato pa povzročajo zakasnitve pri zapisih minutnih mark.
Figure 5. Block diagram of clocks, seismographs and chronometer. The UK-02 and UK-03 clocks are connected by seismographs via two relay circuits that galvanically separate seismographs, but causes time delays at time mark recordings.



Slika 6. Razporeditev oddajnikov navigacijskega sistema Omega, ki omogoča sprejem signalov po celi zemeljski obli. Oddajniki so postavljeni v naslednjih državah: A - Norveška, B - Liberija, C - Havaji, D - Severna Dakota, E - otok Reunion, F - Argentina, G - Avstralija in H - Japonska.
Figure 6. Arrangement of transmitters of Omega navigation system, that provides reception of time signals all over the world. Transmitters are located in: A - Norway, B - Liberia, C - Hawaii, D - North Dakota, E - Reunion, F - Argentina, G - Australia and H - Japan.

pomeni netočno branje seizmogramov in s tem neuporabnost odčitkov. Pri vsaki menjavi registrirnega papirja je treba zabeležiti še meritev točnosti ure. S preklopnikom vključimo merjenje časa tako, da dobimo na pisalniku zapis časa časovnega sprejemnika in minutne znake ure, ki ju primerjamo med seboj. Na ta način je možno odčitati napako ure na 0,1 s natančno. Meritev je treba opraviti na vsakem seizmogramu dvakrat: na začetku novega seizmograma in na koncu, tako da je za vsak seizmogram znano, če je med beleženjem prišlo do napake na uri.

Ta način merjenja točnosti ur se uporablja v vseh potresnih opazovalnicah v Sloveniji razen v observatoriju na Golovcu v Ljubljani. V observatoriju so štirje analogni seizmografski sistemi: monitor, vidljivi kratkoperiodni trikomponentni seizmograf, trikomponentni kratkoperiodni seizmograf s fotozapisom in dolgoperiodni trikomponentni seizmograf, prav tako s foto zapisom registracij. Časovne marke za vse seizmografe dajeta dve uri, obe izdelani na Seizmološkem zavodu RS: UK-02, ki nima izvedene korekcije z radijskim časovnim signalom, in UK-03. Dve uri zagotavljata večjo zanesljivost delovanja celotne službe, saj imamo ob okvari ene ure še vedno na voljo seizmogramne z vpisanim časom. Signale ur, ki predstavljajo za vidljive zapise samo sklenjen kontakt, za foto zapise pa pojav napetosti ob minuti oziroma urni marki, vodimo na seizmografe prek dveh relejskih vezij. Relejski vezji nam omogočata priključitev več seizmografov na eno uro, poleg tega pa še galvanjsko ločujejo med seboj seizmografe in tudi seizmografske ojačevalnike posameznih komponent. Točnost ur merimo z merilnikom - kronometrom (slika 3), narejenim na Seizmološkem zavodu RS, ki primerja minutne signale ur z radijskimi minutnimi signali časovnega sprejemnika DS-02. Blok shemo povezav ur, kronometra, relejskih vezij in seizmografov prikazuje slika 5. V vsaki enoti sistema nastajajo časovne zakasnitve med vhodnim in izhodnim signalom. Merilnik točnosti ur nam ne izmeri primerjave točnega časa radijskega časovnega signala in zapisa časa na seizmografu, zato moramo pri zapisih časa na seizmogramih upoštevati te časovne zakasnitve pri analizah potresov. Tako časovni signali iz sprejemnika zaostajajo za tistimi na oddajniku, urne marke na seizmografih pa zaradi vmesnega relejnega vezja zaostajajo za tistimi na izhodu ure.

Zakasnitvi signalov točnega časa, ki jih dobimo iz sprejemnika sta ⁽²⁾:

1. Zakasnitev, ki nastane zaradi potovanja radijskih valov od oddajnika do sprejemnika časovnih signalov. Ta zakasnitev raste z oddaljenostjo med oddajnikom in sprejemnikom. Prav tako je odvisna od frekvence nosilnega vala. Za frekvence dolgih valov, na katerih oddaja DCF 77, je navedena hitrost širjenja dolgih valov v literaturi Bureau

International de l'Heure 252 000 km/s. Na razdalji 650 km, kolikor znaša oddaljenost med Ljubljano in Mainflingenom, znaša zakasnitev časovnega signala 0,003 s.

2. Zakasnitev signala nastane v samem sprejemniku. Po teoriji prenosa informacije nastanejo na vsakem prenosnem kanalu omejene širine časovne zakasnitve. Čim selektivnejši je sprejemnik časovnih signalov, večje so zakasnitve tega signala na njegovem izhodu. Zakasnitev signala v sprejemniku smo izmerili v laboratoriju s simulacijo časovnih signalov in znaša 0,013 s.

Prav tako smo v laboratoriju izmerili zakasnitve, ki nastanejo v relejskih vezjih. Za vidljive zapise na monitor znaša zakasnitev 0,033 s in se doda napaki ure UK-03. Za oba seizmografa s foto zapisi je zakasnitev manjša, 0,019 s, in se prišteje napaki ure UK-02.

Seveda pa nastanejo zakasnitve tudi na samih pisalnikih. Te zakasnitve je nemogoče izmeriti, saj hitrosti odziva peresa na pisalniku oziroma prekinitev svetlobnega žarka pri fotozapisih nimamo s čim primerjati. Proizvajalci seizmološke opreme imajo te zakasnitve za zanemarljive in so pravzaprav enake za seizmološki signal in za minutne marke.

Točnost ur merimo s kronometrom na tisočinko sekunde natančno. Ker pa se zadnje mesto odčitane napake spreminja, menimo, da je napaka izmerjena na stotinko sekunde natančno. Pri 120-milimetrski dolžini minute je z običajnim ravnilom težko odčitati čas na desetinko sekunde natančno. Točnost ur pa je izmerjena na stotinko sekunde natančno, kar je za celo dekadno stopnjo boljši rezultat in povsem ustreza za beleženje časa na analognih seizmografih.

Točnost ur pri digitalnih seizmografih

Zahteve po točnosti ur pri digitalnih seizmografih so še strožje. Večina seizmografov ima največjo frekvenco vzorčenja pri pretvorbi analognega signala v digitalno obliko 1000 Hz, kar zahteva točno tisočinko sekunde ure. Tudi pri teh urah je izvor stabilne frekvence temperaturno stabiliziran kristalni oscilator, ki zagotavlja stabilnost frekvence $2 \cdot 10^{-7}$ v temperaturnem področju od -20° do $+70^{\circ}$ C. To pomeni maksimalno spremembo 17,3 ms na dan. Sprememba frekvence zaradi staranja znaša $1 \cdot 10^{-9}$ na dan in $5 \cdot 10^{-7}$ na leto pri konstantni temperaturi. Za večjo stabilnost ure je vgrajeno vezje, ki skrbi za korekcijo ure s pomočjo sprejemnika časovnih signalov navigacijskega sistema Omega, ki generira časovno kodiran signal IRIG.

Radijski navigacijski sistem Omega je zgradila Mornarica Združenih držav Amerike in pokriva celo zemeljsko oblo s samo osmimi oddajniki, ki so postavljeni v naslednjih državah, ki so po vrsti označene s črkami abecede: Norveška (A), Liberija (B), Havaji (C), Severna Dakota (D), otok Reunion (E), Argentina (F), Avstralija (G) in Japonska (H) (slika 6). Vseh osem postaj oddaja fazno in časovno sinhronizirane signale v frekvenčnem pasu VLF na frekvencah od 10 do 14 kHz. Nizke frekvence zagotavljajo vsepovsod stabilen sprejem površinskih valov. Vse postaje oddajajo na štirih skupnih frekvencah: 10.2 kHz, 11.05 kHz, 11.33 kHz in 13.6 kHz. Vse postaje oddajajo te frekvence razdeljene na štiri segmente v 10 - sekundnih ponavljanjih. Vsaka postaja oddaja med štirimi segmenti v vsaki periodi tudi svojo lastno frkvenco. Sprejemnik Omega v digitalnem seizmografu sprejema samo lastno frekvenco najmočnejše postaje. Iz sprejetega signala izračuna informacijo o času in jo primerja s časom ure. Če so odstopanja prevelika, uro popravi. Prav tako izračuna čas potovanja valov od oddajnika. Lokacije vseh osmih postaj so spravljene v spominu. Ko seizmograf vključimo, vnesemo v spomin tudi geografske koordinate sprejemnika. Razdaljo do izbranega oddajnika izračuna mikroprocesor in jo preračuna v zakasnitev v milisekundah, prav tako preračuna čas Omega v čas UTC. V zadnjem času nadomeščajo sprejemnike Omega s sprejemniki satelitskega sistema GPS.

1. Sinčič, P., 1989. Ura UK-03. Publ. No. 95-C-B/77-89. Seizmološki zavod Republike Slovenije, Ljubljana.
2. Trnkoczy, A., P. Ranzinger, A. Rihtaršič, P. Sinčič, 1986. Točnost časovne službe na seizmološki postaji LJU, Publ. No. 95-C-B/12-86. Seizmološki zavod Republike Slovenije, Ljubljana.
3. Willmore, P. L., 1982. Manual of Seismological Observatory practice. World data center A for solid earth geophysics, NOAA, Boulder, Colorado.
4. Zschocke, B., 1993. Precision clock for PCs. Elektor electronics, Dorchester.

Peter Sinčič, Renato Vidrih

The Importance of Accurate Time at Earthquake Recording

Seismographs record earthquakes as a function of time. The track on a seismogram is equipped with time marks provided

by an accurate clock. Nowadays a 185 temperature compensated crystal oscillator with great frequency stability is the main component of every time standard. Time standards that are used with analogue seismographs, have been built in Seismological Survey of Slovenia. Their accuracy is controlled by the time information received from the DCF77 transmitter in Mainflingen, Germany. Digital seismographs have built in quartz time standards that are controlled by Omega or GPS navigation systems.

Engineers at the Seismological Survey of Slovenia developed the time standard UK-03 a few years ago, which combined with long wave receiver of time signals DS-02, provides correct time to an ultimate accuracy of ± 1 ms without further attention. The reference for the clock is the temperature compensated crystal oscillator B-1326 made by Oscilloquartz. The oscillator has a frequency stability over temperature, -40° to $+60^{\circ}$, of $< 8 \cdot 10^{-9}$. Long term aging is $1.5 \cdot 10^{-7}$ per year and $5 \cdot 10^{-10}$ per day. This equates to a maximum drift of 1.5 ms per day. The same casing also contains the DS-02 long wave receiver of time signals. For time recordings on seismographs the minute and hour marks are required and are provided as contact closures at minute and hour intervals. The clock UK-03 is used as a time standard on all seismological stations with analogue seismographs.

The role of time service is the daily measurement of clock accuracy. Each clock trouble or inaccuracy of the clock means that recordings become useless. With the daily changing of recording paper, radio impulses have to be recorded together with minute marks. Radio impulses are recorded at the end of the previous recording and at the beginning of the new. This type of clock accuracy measurement is used in dislocated seismological stations. At the Observatory on Golovec, Ljubljana a specially designed chronometer that can measure clock accuracy at rates of 0.001 s is used to ensure clock accuracy.

Digital recording systems have a built-in receiver option that provides accurate time that is traceable to UTC maintained by the United States Naval Observatory and broadcast internationally by Omega Global Radionavigation System, which consists of eight transmitting stations. The receiver is designed to receive the Omega transmissions, compute the time and then continually update the receivers internal clock. The IRIG serial time code formats are obtained at the output of the receiver. The digital recording system then compares time of its internal time standard with the output of the receiver. The accuracy of time from the receivers is dependent upon signal strength and signal to noise ratio.