

SEIZMOMETER IN POSPEŠKOMETER – MERILNI PAR NA POTRESNI OPAZOVALNICI

SEISMOMETER AND ACCELEROMETER – A PAIR OF MEASURING INSTRUMENTS AT A SEISMIC STATION

Izidor Tasič

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

Povzetek

Sodoben širokopasoven seizmometer in seizmološki pospeškometer merita različne veličine nihanja tal, prvi meri hitrost, drugi pospešek. Vsak zase imata svoje prednosti in pomanjkljivosti. Toda ko sta postavljena drug ob drugem in povezana s sodobno seizmološko šestkanalno zajemalno enoto, tvorijo vsi trije elementi napreden merilni sistem, ki je sposoben beležiti izredno šibke potresne signale in tudi močnejše potresne sunke, ki se zgodijo v bližini potresne opazovalnice. Z obema sistemoma povečamo obseg meritve nihanj tal na eni lokaciji, kar bomo pokazali na primerih potresa iz zgornjega Posočja leta 2004. Dodaten razlog, da opremimo potresne opazovalnice s pospeškometri in seizmometri, je v podvojitvi najšibkejšega dela merilnega sistema – merilnika nihanj tal. Iz izkušenj namreč vemo, da se najpogosteje okvari ravno seizmometer, nato pa pospeškometer. Kontrola kakovosti delovanja opreme je tretji razlog, zakaj postavljamo seizmometer in pospeškometer skupaj. Oba merilnika se na nekem območju nihanja tal prekrivata in to območje izkoristimo za primerjavo in preverjanje meritev iz obeh senzorjev.

Abstract

A modern broadband seismometer and seismic accelerometer measure different physical quantities of ground motion; the first measures velocity and the second, acceleration. Each has advantages and disadvantages, but when they are placed together and connected to a modern seismic six-channel acquisition unit, they form an advanced seismological measuring system. This system is capable of recording extremely weak seismic signals, as well as more powerful seismic shocks which occur in the vicinity of the seismic station. With both systems, the dynamic range of measurement is increased at this location, which will be shown by the data of an earthquake in the upper Soča valley in 2004. An additional reason for equipping earthquake stations with accelerometers and seismometers is for the duplication of the weakest part of the measurement system – the seismometer. From experience, we know that the seismometer is a weaker part of the equipment than the accelerometer. Quality control of equipment is the third reason why seismometers and accelerometers are installed together. Both meters overlap in a certain area of ground movement; this area is used to compare and check the measurements of both sensors.

Uvod

V zadnjih petintridesetih letih je bil napredek na področju seizmoloških merilnih naprav zelo velik. Dinamično in frekvenčno območje komercialnih seizmometrov se je zaradi uporabe povratne zanke v merilnem sistemu povečalo za vsaj dva velikostna reda (Wielandt in Streckeisen, 1982, Wielandt in Steim, 1986), bistveno razširjeno pa je tudi frekvenčno območje, v katerem ti merilniki delujejo. Napredek v zajemalnih sistemih za registracijo seizmičnih signalov je še večji, najnovejši 26-bitni digitalizatorji zapisujejo v primerjavi z analognimi snemalnimi napravami neprimerljivo natančnejše. Relativno debelo črto analognega zapisa na optičnem registratorju (Sinčič in Tasič, 2017) je zamenjal zelo natančen digitalni podatek, ki poleg tega omogoča še nadaljnjo obdelavo signalov. V zadnjih desetletjih je prišlo tudi do velikih sprememb v komunikacijah med potresno opazovalnico in središčem za obdelavo seizmičnih podatkov (SOP) v

obdelavi digitalnih signalov in zmožnostih arhiviranja digitalnih podatkov. Vse nove zmogljivosti nam omogočajo, da uporabljamo nove strategije pri zaznavanju in beleženju seizmičnih nihanj tal ter s tem tudi v merilni tehniki prestopimo omejitve, ki so posledica zgodovinskih dejavnikov. Ena od novih strategij je opremljenost sodobnih potresnih opazovalnic. Na potresnih opazovalnicah regionalnih mrež je po klasični definiciji postavljen seizmograf, tj. naprava za zaznavanje in natančno zapisovanje nihanja tal, pri čemer je amplituda zapisa lahko sorazmerna pomiku, hitrosti ali pospešku nihanja tal. Seizmograf ima navadno enega (enokomponentni seizmograf) ali tri (trikomponentni seizmograf) seizmometre (Lapajne, 2013). Mehanski seizmometri so merili pomik nihanja tal, pri elektromagnetnih pa je amplituda zapisa sorazmerna hitrosti nihanja tal. Taki sistemi so najprimernejši za zaznavanje šibkih in srednje močnih lokalnih potresov, ki nam veliko povedo o dinamiki neke prelomne cone. V urbanih okoljih, kjer so seizmične motnje zaradi

človeške dejavnosti zelo velike, so na potresnih opazovalnicah postavljali akcelerografe, katerih merilni senzor je predstavljal pospeškometer, in so zabeležili samo močnejše nihanje tal.

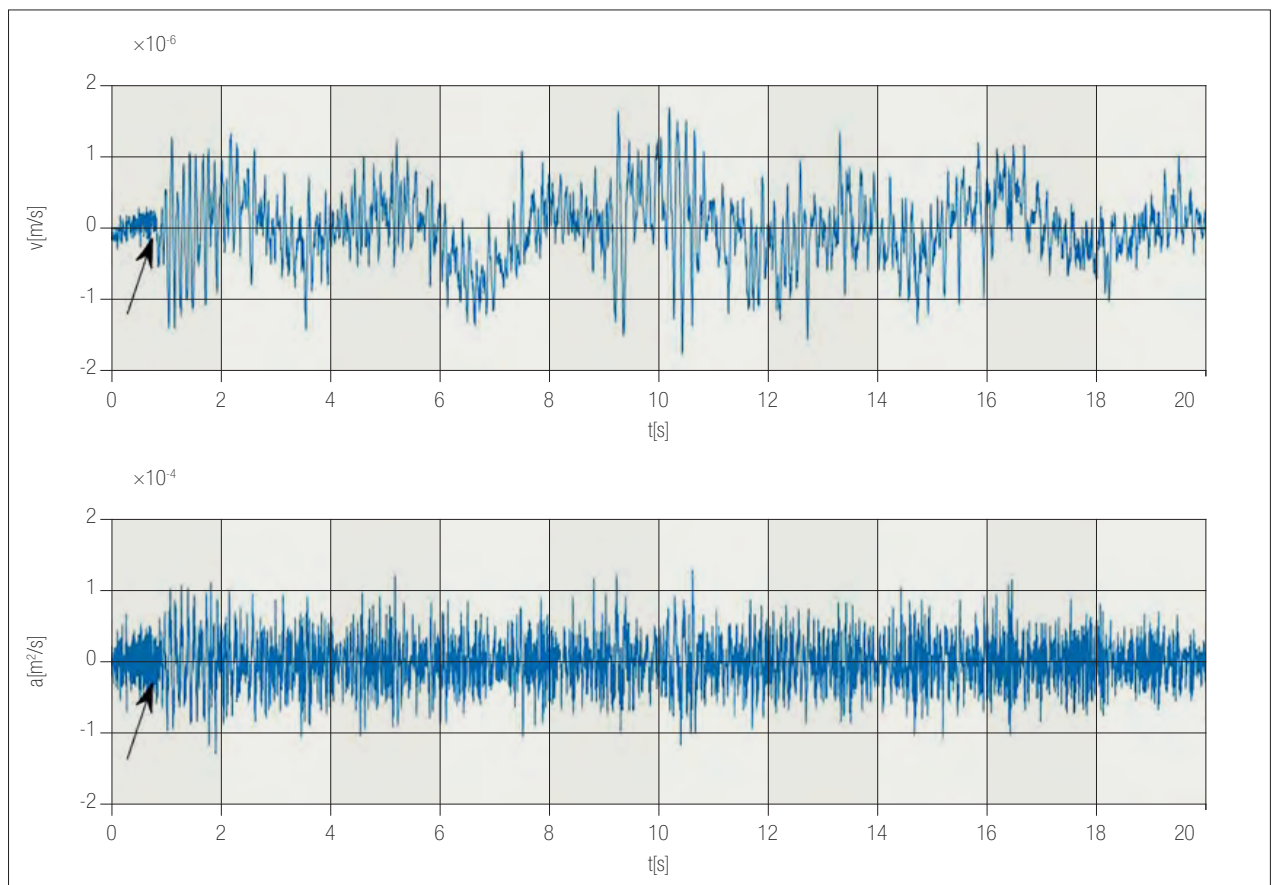
V preteklosti je bila delitev na akcelerografe in seizmografe posledica omejitev merilne opreme in opreme za beleženje in arhiviranje seizmoloških podatkov, zato je prišlo do specializacije seizmoloških merilnih sistemov. V »inženirski« seizmologiji so pomembni podatki o sili, ki pri močnem potresu delujejo na konstrukcijo, zato jih šibko nihanje tal ne zanima, ampak močnejši pospeški tal ob potresu. Za take sisteme so bili najprimernejši akcelerografi, ki so zabeležili in shranili samo take dogodke.

Za »klasično« seizmologijo so pomembni vsi potresi, ki morajo biti čim pravilneje zabeleženi. Cilj potresne opazovalnice je kakovostno merjenje nihanja tal na čim večjem dinamičnem in frekvenčnem območju. Amplitude nihanja tal ob potresu so tako zelo različne, da še vedno ne obstaja senzor, ki bi lahko meril celoten pričakovani razpon nihanj. Zato se danes za spremljanje celovite dinamike nihanj tal ob potresu na sodobnih

potresnih opazovalnicah nacionalnih mrež vse pogosteje postavljajo drug ob drugem širokopasoven seizmometer in pospeškometer, podatki iz obeh merilnikov pa se zajemajo na skupni šestkanalni enoti. Zajemalna oprema, sodobne osnovne zajemalne enote se tako danes prodajajo že s šestimi vhodnimi kanali, integrira vse senzorje v napreden merilni sistem, vse vhodne analogne signale neodvisno pretvarja v digitalne in jih opremi s točnim časom ter shrani v lokalni arhiv in jih tudi pošlje v središče za obdelavo seizmičnih podatkov (SOP). Danes je sodoben seizmograf naprava za prostorsko zaznavanje nihanja tal, kjer so zabeležene amplitude sorazmerne tako hitrosti kot tudi pospešku nihanj tal.

Pospeškometer in seizmometer

V seizmologiji se za detekcijo nihanja tal večinoma uporabljajo senzorji inercialnega tipa, kjer merimo relativni premik podlage glede na referenčno točko (Havskov in Alguacil, 2006). Referenčna točka je utež, ki je dinamično vpeta v ohišje. Sodobni senzorji pretvarjajo relativni premik tal v električni signal. Pri pasivnih senzorjih

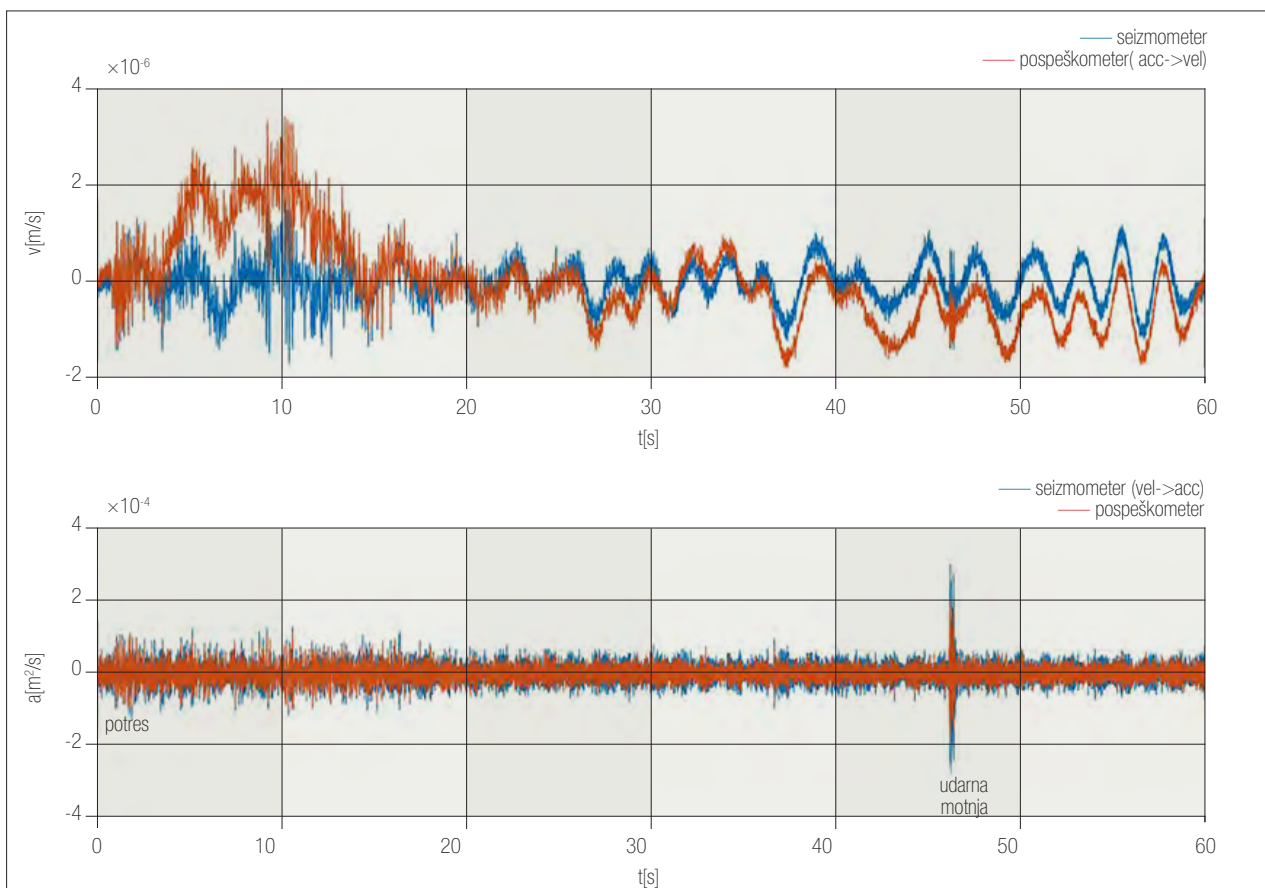


Slika 1: Zapis šibkega nihanja tal zaradi potresa. Začetek potresa je označen s puščico. Zgoraj je prikazana hitrost nihanja tal, spodaj pa pospešek nihanja. Na spodnjem grafu začetek potresa ni viden zaradi seizmičnega »pospeškovnega« šuma.
(avtor: I. Tasič)

Figure 1: A record of the weak ground movement caused by an earthquake. The start of the earthquake is marked by an arrow. The upper graph shows velocity and the lower graph acceleration. In the lower graph, the beginning of the earthquake is not visible due to seismic "acceleration" noise (Author: I. Tasič).

pretvorimo v električni signal odmik uteži iz ravnovesne lege. Taki senzori so enostavnejši za izdelavo, vendar delujejo na zelo omejenem frekvenčnem pasu, sčasoma pa se njihove dinamične lastnosti zaradi staranja občutno spremenijo. Zato so uporabnejši senzori s povratno zanko, saj delujejo na širšem frekvenčnem območju z boljšimi in stabilnejšimi dinamičnimi lastnostmi. Ta vrsta senzorjev deluje na principu ravnovesja sil. To pomeni, da je premik uteži zaradi nihanja tal kompenziran s povratno električno ustvarjeno silo. Tako ostaja utež v ravnovesni legi, zato pa je izhodna napetost merilnika sorazmerna s pospeškom, ki deluje na merilnik. Ti merilniki so torej pospeškometri. Zaradi principa delovanja, pri katerem utež miruje, merimo pa silo, ki obdrži utež na miru kljub nihanju okolice, zasledimo v tuji literaturi za take pospeškometre kratico FBA [angl.: *force-balance accelerometer*]. Teoretično lahko merijo nihanje tal do ničelne frekvence, pri visokih frekvencah pa zaradi omejitev v povratni zanki delujejo do neke kotne frekvence f_0 . Taki sistemi se množično uporabljajo v seizmologiji pri beleženju močnih nihanj tal. Merilno območje komercialnih seizmoloških pospeškometrov je naslednje: 0,25 g, 1 g, 2 g, 4 g, pri čemer je »g« težnostni pospešek.

Pospeškometri niso primerni za detekcijo šibkih seizmičnih signalov, saj pri visokih frekvencah izrazito prevladuje signal stalno prisotnega seizmičnega nemira in je zato težje ovrednotiti začetek zapisa. Slika 1 prikazuje zapis šibkega potresa, zabeleženega s seizmometrom, kot funkcijo hitrosti nihanja tal (slika 1 zgoraj) in pretvorjenega v pospešek nihanja tal (slika 1 spodaj). Prihod potresnega valovanja, na sliki je označen s puščico, je mogoče določiti samo na zapisu, ki prikazuje hitrost nihanja tal. Na zapisu, ki prikazuje pospešek nihanja tal, je prihod valovanja prekrit s (pospeškovnim) šumom seizmičnega ozadja. Pri zapisih, ki nastanejo s pospeškometrom, so izrazite tudi udarne motnje. Na sliki 2 vidimo (slika 2 spodaj), da šibak potres, ki ga zabeležimo kot pospešek nihanja podlage, skoraj ne izstopa iz ozadja, udarna motnja pa je izrazita. Tudi zato avtomatski algoritmi za detekcijo šibkih potresov, ki obdelujejo podatke skoraj v realnem času, uporabljajo signale, ki predstavljajo hitrost nihanja podlage. Pospeškometri za detekcijo šibkih nihanj tal niso primerni niti pri nizkih frekvencah, saj bi bil sistem redko v idealnem ravnovesju že zaradi malih sprememb temperature in bi v elektro-

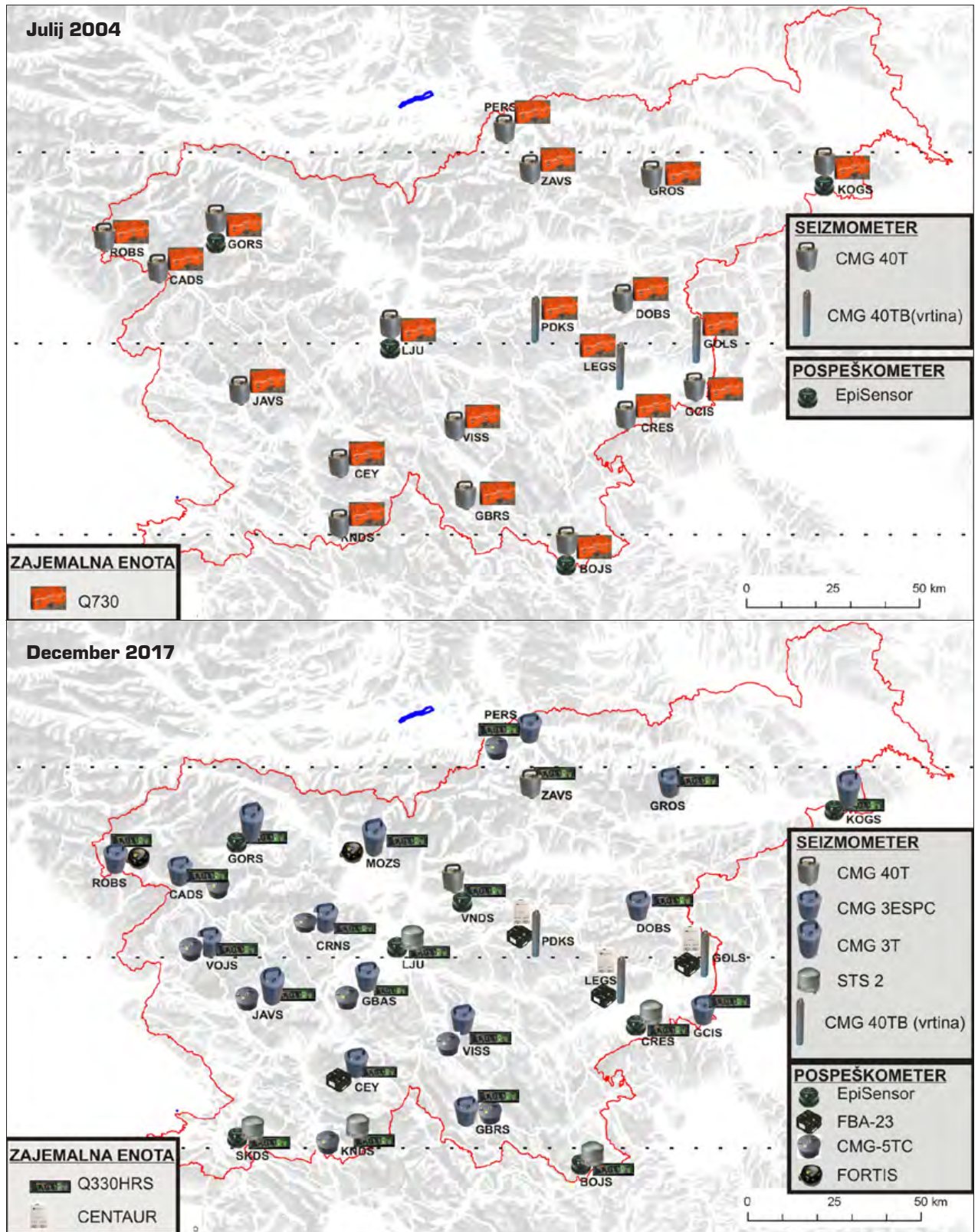


Slika 2: Isti dogodek kot na sliki 1, le da vsebuje daljši časovni zapis. Zgoraj: Ko zapis iz pospeškometra integriramo (rdeča sled), so na njem vidne dolge periode, ki niso rezultat dejanskega nihanja tal, ampak so posledica instrumentalnega šuma. Spodaj: šibak potres, ki ga zabeležimo kot pospešek nihanja tal, skoraj ne izstopa iz ozadja, udarna motnja pa je izrazita. (avtor: I. Tasič)

Figure 2: The same event as in Figure 1, only with a longer time interval. Upper graph: when the record from the accelerometer is integrated (red line), long periods are visible which are not the result of actual ground movement, but of instrumental noise. Lower graph: a record of a weak earthquake hardly stands out from the background, while the shock disorder is pronounced (Author: I. Tasič).

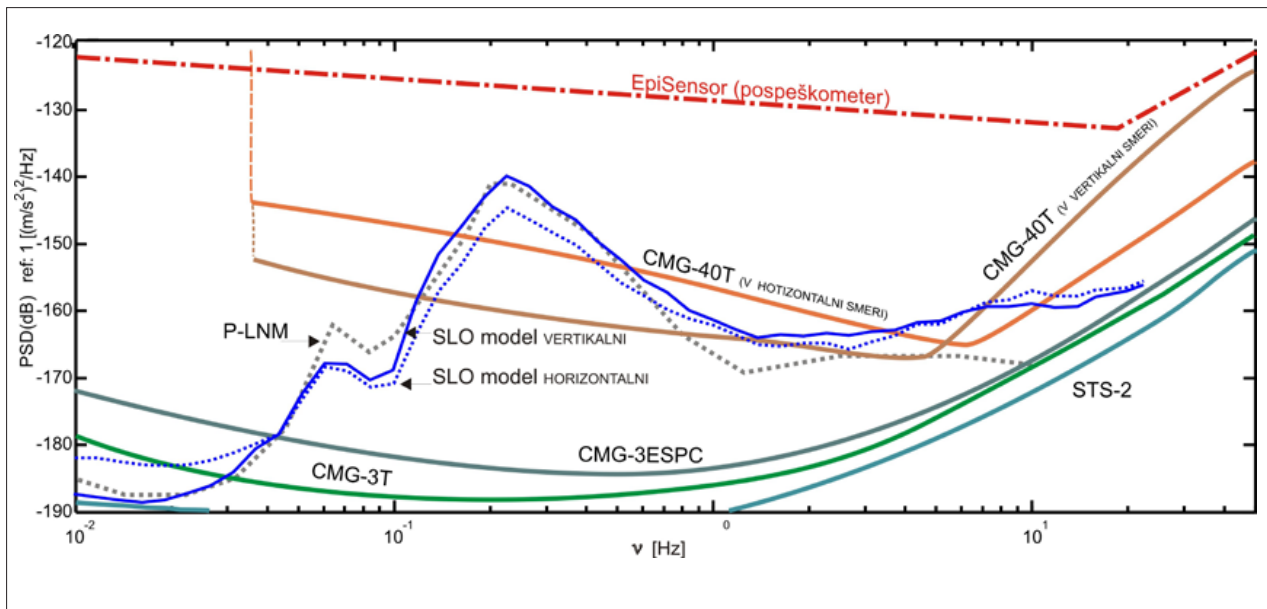
niki prišlo do nasičenja. Slika 2 kaže isti dogodek kot slika 1, le v daljšem časovnem intervalu. Ko zapis iz pospeškometra pretvorimo v hitrostni odziv, so na njem vidne dolge periode, ki niso rezultat dejanskega

nihanja tal, ampak posledica instrumentalnega šuma (slika 2 zgoraj, rdeča sled). Pri še šibkejših signalih je vpliv šuma še večji, vpliva že na celotno frekvenčno območje in lahko povzroči napačno interpretacijo



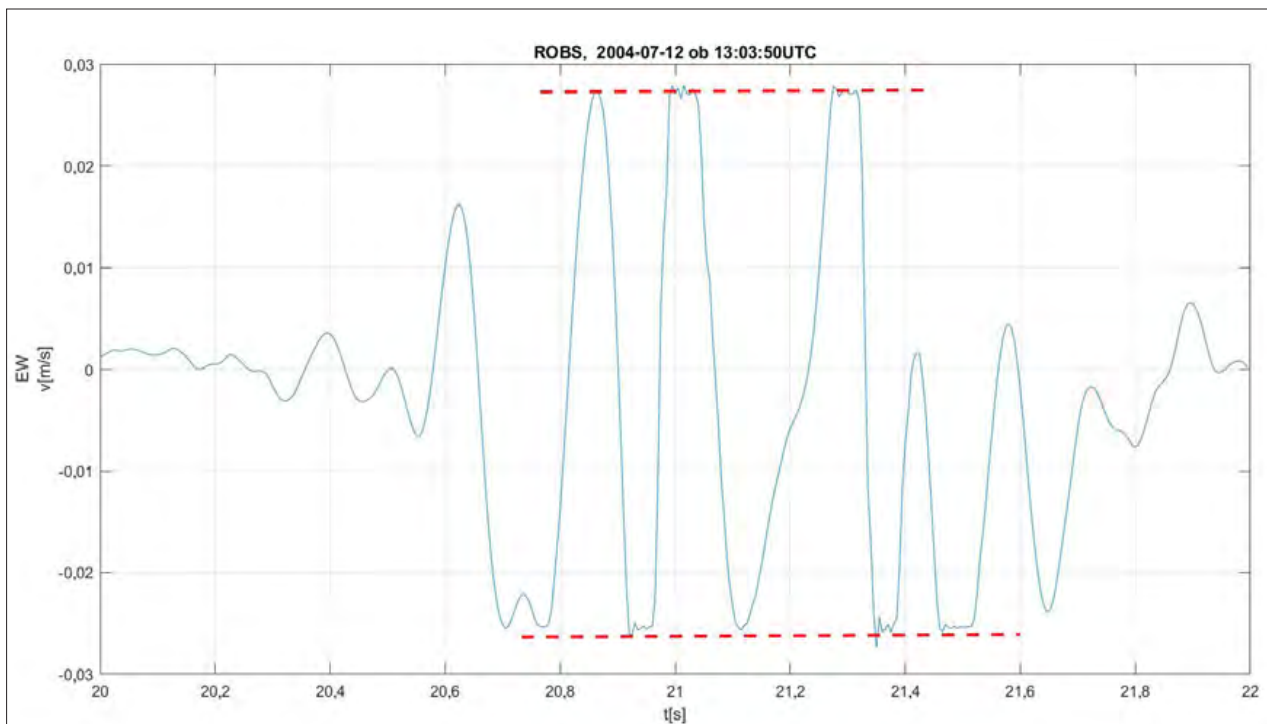
Slika 3: Seizmološka oprema državne mreže potresnih opazovalnic konec junija 2004 in konec decembra 2017. (avtor: I. Tasič)

Figure 3: Seismological equipment of the Slovenia national seismic network at the end of June 2004 and at the end of December 2017 (Author: I. Tasič).



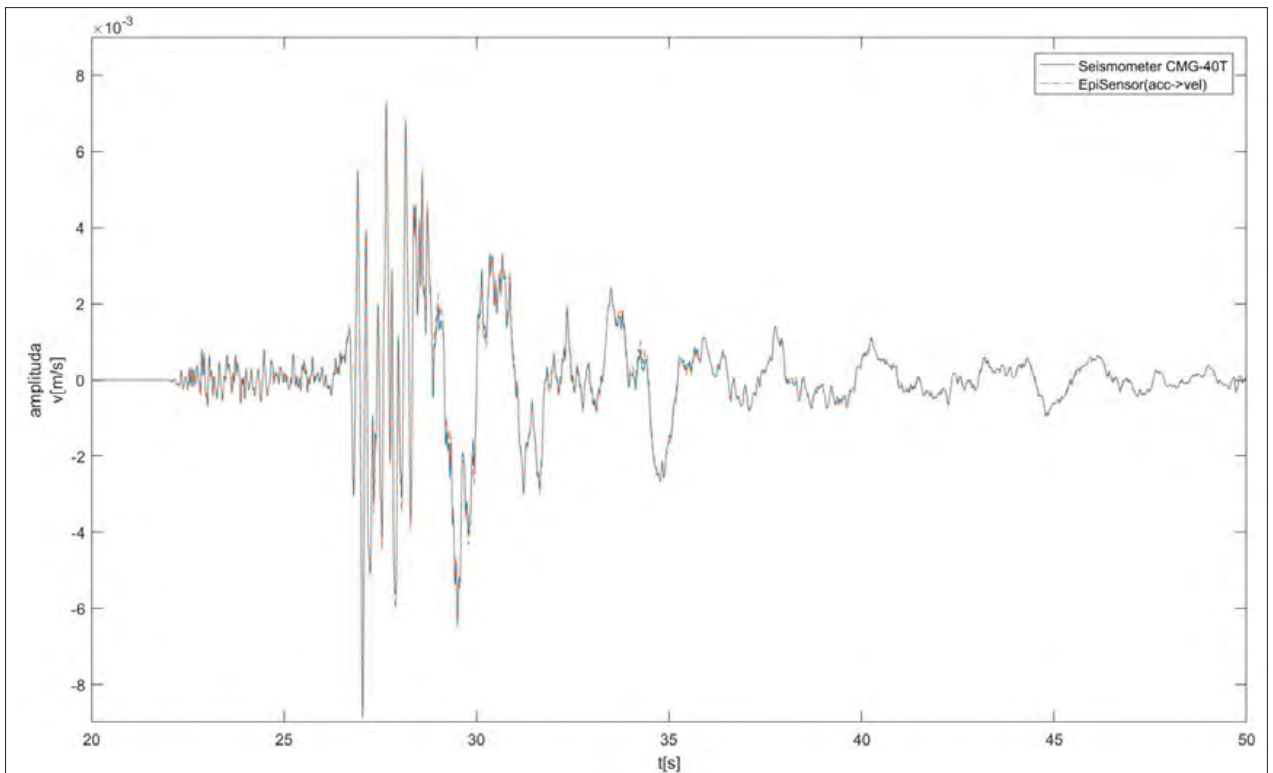
Slika 4: Modeli instrumentalnih šumov (spodnja meja za detekcijo koristnega signala) za seizmometre CMG-40T, CMG-3ESPC, CMG-3T in STS-2 in pospeškometer EpiSensor glede na Petersonov model spodnje ravni seizmičnega šuma (P-LNM; Peterson, 1993) in glede na model spodnje ravni seizmičnega šuma za slovensko ozemlje (SLO-model, vertikalni in horizontalni; Tasič, 2015). Seizmometer CMG-40T ima frekvenčni razpon od 0,033 do 50 Hz, preostali modeli seizmometrov imajo frekvenčni razpon od 0,008 do 50 Hz. (avtor: I. Tasič)

Figure 4: Self-noise models [the lowest limit for detection of a useful signal] for CMG-40T, CMG-3ESPC, CMG-3T, STS-2 seismometers and the EpiSensor accelerometer, according to the Peterson Noise Model (Peterson, 1993) and Slovenia's low noise model [SLO-model; Tasič 2015]. The CMG-40T seismometer has a frequency range of 0.033 Hz to 50 Hz, and the other types of seismometers have a frequency range of 0.008 Hz to 50 Hz (Author: I. Tasič).



Slika 5: Prekrmljen« del zapisa potresa na komponenti EW (rdeče črtkano). Zapis je nastal na potresni opazovalnici z oznako ROBS (Robič). Potresna opazovalnica je bila oddaljena 11,1 km od nadžarišča potresa (12. julij 2004 ob 13.04 po UTC, $M_{LV} = 4,9$). (avtor: I. Tasič)

Figure 5: "Clipped" part of the earthquake record on the E-W component (red dashed line). The record is from the ROBS (Robič) seismic station. It was 11.1 km from the earthquake hypocenter (July 12, 2004 at 13: 04UTC, $M_{LV} = 4.9$) (Author: I. Tasič).



Slika 6: Zapis nihanja tal zaradi potresa (12. julij 2004; $M_{LV}=4,9$) v smeri sever-jug (smer NS). Zapis je nastal na potresni opazovalnici GORS (Gorjuše). Zabeležila sta ga seizmometer CMG-40T (modra linija) in pospeškometer EpiSensor; pri čemer smo zapis iz pospeškometra (rdeče črtkano) naknadno numerično integrirali, da smo dobili zapis v istih enotah kot pri seizmometru. [avtor: I. Tasič]

Figure 6: Record of the earthquake (July 12, 2004; $M_{LV}=4.9$) in the N-S direction, recorded at GORS (Gorjuše) seismic station by the CMG-40T seismometer (blue line) and the EpiSensor accelerometer (red dotted line), where the data from the accelerometer was subsequently numerically integrated to obtain a record in the same units as the seismometer (Author: I. Tasič).

dogodka. Za natančno zaznavanje šibkih seizmičnih nihanj tal se uporabljajo širokopasovni seizmometri, ki so pravzaprav predelani FBA pospeškometri. Pospeškometer je predelan tako, da je izhod sorazmeren s hitrostjo nihanj tal v nekem omejenem frekvenčnem območju, ki najbolj zanima seizmologe. Najpogosteje se komercialni širokopasovni seizmometri proizvajajo s frekvenčnim območjem delovanja med 0,083 Hz (perioda 120 sekund) in 50 Hz. Teoretično obstaja veliko različnih načinov pretvorbe pospeškometra v širokopasovni seizmometer, vendar je le malo od njih dejansko učinkovitih in zato uporabnih v seizmologiji. Razlog leži v zapletenih zahtevah, kako kakovostno naj seizmometri zaznavajo nihanje tal (Havskov in Alguacil, 2006). Širokopasovni seizmometri morajo imeti tako dinamično območje, da lahko zaznajo šibko in srednje močno nihanje tal. Frekvenčno območje mora biti dovolj široko, da lahko beleži tako lokalne in regionalne potrese kakor tudi oddaljene potrese (teleseizme). Na celotnem frekvenčnem območju morajo biti seizmometri zelo občutljivi, da lahko z njimi zabeležimo in identificiramo zelo šibak seizmični signal. Prav tako pa močan signal na nekem določenem frekvenčnem območju ne sme vplivati na ločljivost in pravilnost beleženja šibkega signala na drugem frekvenčnem območju (ne sme biti parazitskih frekvenc). Sodobni

širokopasovni seizmometri so sestavljeni iz več med seboj povezanih povratnih zank z zelo dobrimi in nizkošumnimi elektronskimi komponentami (Havskov in Alguacil, 2006) ter zelo natančnim mehanskim nihalom, ki ima vzmet skoraj neobčutljivo za temperaturne spremembe. Ker je konstrukcija seizmometra zahtevnejša od pospeškometra, je zato komercialni širokopasoven seizmometer 3 do 8-krat dražji od kakovostnega seizmološkega pospeškometra.

Razvoj opazovanja potresov v Sloveniji

V začetku julija 2004 je v državni mreži potresnih opazovalnic (DMPO) v Sloveniji delovalo 20 potresnih opazovalnic od načrtovanih 26 (slika 3). Vse so bile opremljene s seizmometri srednjega razreda CMG-40T. V primerjavi s kakovostnejšimi seizmometri, kot so STS-2, CMG-3T in CMG-3ESPC, deluje CMG-40T na ožjem frekvenčnem območju in ima večji instrumentalni šum (slika 4), zato ni najbolj primeren za zaznavanje zelo šibkih seizmičnih signalov tako pri visokih kakor tudi pri nizkih frekvencah, saj je seizmični signal lahko popačen zaradi instrumentalnega šuma.

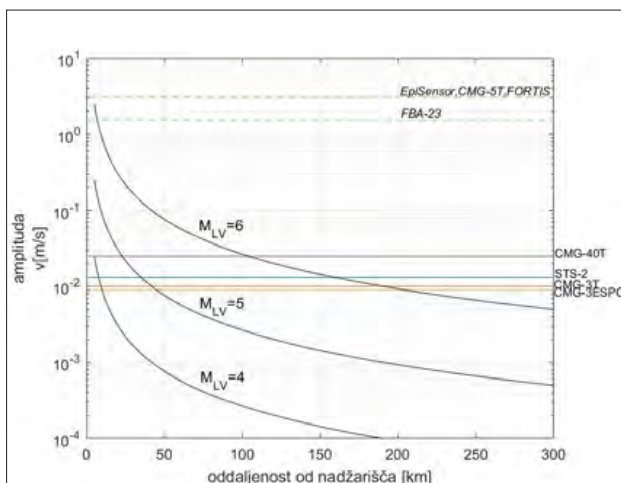
Zato smo že takrat načrtovali, da bi seizmometre DMPO pozneje zamenjevali s kakovostnejšimi. Močan potres v zgornjem Posočju leta 2004 pa je pokazal, da bomo s postavitvijo občutljivejših seizmometrov sicer zaznali več šibkejših potresov, a bodo lahko ti seizmometri prej prekrmljeni pri močnih potresnih sunkih. Največja amplituda hitrosti nihanja tal, ki jo seizmometri še lahko pravilno zaznajo, se med različnimi modeli seizmometrov razlikuje. Za seizmometre tipa STS-2 je največja amplituda tal, ki jo lahko sistem pravilno zazna, 1,3 cm/s, za seizmometre CMG-3T je 1,1 cm/s, za CMG-3ESPC je 0,9 cm/s in CMG-40T je 2,5 cm/s. Kljub temu da od vseh naštetih seizmometrov CMG-40T zazna največjo amplitudo nihanja tal, pa so bile ob potresu leta 2004 horizontalne komponente seizmometrov CMG-40T na najbližjih potresnih opazovalnicah CADS in ROBS prekrmljene, kar pomeni, da je bilo nihanje tal večje, kot je to lahko zaznal seizmometer. 12. julija 2004 ob 13.04 po UTC je zgornje Posočje stresel močnejši potresni sunek z magnitudo M_{LV} 4,9 in je povzročil največje učinke v vasi Čezsoča in okolici ter nekaterih predelih Bovca (Vidrih, 2005). Nadžarišču najbližje sta bili potresni opazovalnici z oznakama ROBS (Robič) in CADS (Čadrg). Seizmometer v Robiču, potresna opazovalnica je bila oddaljena 11,1 km od nadžarišča, je imel prekrmljeno samo komponento EW (slika 5). Najverjetneje je nihanje tal v smeri EW presegló amplitudo 3 cm/s. Na potresni opazovalnici z oznako CADS, ki je bila oddaljena od nadžarišča 12,6 km, sta bili prekrmljeni obe horizontalni komponenti. Potresna opazovalnica z oznako GORS je bila tretja najbližja potresna opazovalnica DMPO (slika 3). Od nadžarišča je bila oddaljena 29,3 km. Največja amplituda nihanja tal je bila zabeležena na komponenti NS in je bila 0,9 cm/s, kar je blizu omejitvi nekaterih širokopasovnih seizmometrov.

A na tej lokaciji je bil postavljen tudi pospeškometer, ki je ravno tako pravilno beležil nihanje tal. Če zapis potresa iz pospeškometra numerično integriramo, dobimo zapis, ki je skoraj identičen zapisu seizmometra (slika 6). Manjše razlike, ki na sliki niso vidne, so posledica neupoštevanja vpliva prenosnih funkcij.

Vse te informacije so vplivale na nadaljnje načrtovanje posodobitve DMPO. Z občutljivejšimi seizmometri pridobimo zaradi večjega števila natančneje zabeleženih šibkih potresov (slika 4) nove informacije, ki pomembno prispevajo k izboljšavam globinskega geofizikalnega modela ozemlja Slovenije. A iz zgodovinskih podatkov vemo, da velikost potresa z žariščem v Sloveniji ali neposredni bližini lahko preseže magnitudo 6,0. Če bi potresne opazovalnice opremili samo s sodobnimi širokopasovnimi seizmometri, bi bili pri potresu te velikostne stopnje seizmometri s potresnih opazovalnic v radiju sto kilometrov od nadžarišča potresa najverjetneje prekrmljeni vsaj na eni komponenti, podatki z bližnjih opazovalnic pa bi bili v celoti neuporabni. Pri potresu 12. aprila leta 1998 v zgornjem Posočju ($M_{LV} = 5,6$) so na primer instrumenti na observatoriju Golovec v Ljubljani zabeležili največjo amplitudo nihanja tal 1,34 cm/s (v smeri NS), kar pomeni, da bi bili na tej lokaciji vsi sodobni »občutljivi« širokopasovni seizmometri prekrmljeni. Da to preprečimo, je treba opremiti potresne opazovalnice tudi s pospeškometri (slika 7).

Dodaten razlog, da opremimo potresne opazovalnice s pospeškometri, je v podvojitvi najšibkejšega dela merilnega sistema. Iz izkušenj namreč vemo, da se najpogosteje okvari ravno seizmometer. Pospeškometer je v takih primerih rezervni senzor in če bi med okvaro prišlo do pomembnejšega seizmičnega dogodka, bi bili kljub okvari seizmometra ti dogodki še vedno zabeleženi.

Dodaten, a prav tako pomemben razlog, da na potresnih opazovalnicah DMPO postavimo seizmometer in pospeškometer, pa je v kontroli kakovosti delovanja opreme. Oba merilnika se na nekem območje nihanja tal prekrivata oziroma merita enako dobro. To območje lahko zato izkoristimo za primerjavo meritev iz obeh senzorjev. S soodvisno kontrolo lahko zelo natančno preverimo, ali neko izrazitejše nihanje tal merilnika merita enako natančno in točno ali pa se meritvi med seboj razlikujeta. Ta postopek v primerjavi s kalibracijskimi signali ne prekinja meritve, saj je vhodni podatek že samo (srednje močno) seizmično nihanje tal. S to metodo smo recimo na potresni opazovalnici BOJS odkrili napako na kablu seizmometra in naknadno še prevelik zamik usmeritve v vodoravni ravnini med obema sistemoma. Ugotovili smo tudi nepravilno delovanje pospeškometra na lokaciji LJU. Na lokaciji potresne opazovalnice CRES smo ugotovili in tudi odpravili preveliko odstopanje v usmeritvi pospeškometra glede na seizmometer.



Slika 7: Ocena območja prekrmljenosti za seizmometre (polna črta) in pospeškometra (črtkana črta) glede na oddaljenost od nadžarišča potresa in velikost potresa (M_{LV}). (avtor: I. Tasič)

Figure 7: "Clip level" zone for seismometers (full line) and accelerometers (dashed line) with respect to the distance from the earthquake and the size of the earthquake (M_{LV}) (Author: I. Tasič).

Sklepne misli

Seizmometri so zelo občutljive naprave in merijo že izredno majhno hitrost nihanja tal, vendar so pri močnih potresih lahko prekrmljeni. Zato se dinamično območje merjenja na sodobnih opazovalnicah poveča s pospeškometrom, ki ni primeren za detekcijo šibkih nihanj tal, a omogoča merjenje večjih amplitud nihanj, na primer močan potres v bližini opazovalnice. S postavitvijo pospeškometra in seizmometra drug ob drugem dosežemo skupno dinamično območje več kot 200 dB. Drugače povedano, z uporabo obeh merilnikov dosežemo, da je signal močnega potresa, ko na pospeškometru skoraj pride do prekrmljenja, skoraj 10.000.000.000-krat večji od šibkega seizmičnega signala, ki ga s seizmometrom komaj še lahko zaznamo. Ko se je v letu 2006 končala gradnja in opremljanje 26 potresnih opazovalnic DMPO, je bil

samo na petih potresnih opazovalnicah poleg seizmometra postavljen tudi pospeškometer (Vidrih in sod., 2006). S posodobitvijo zajemalnih enot, ki se je začela leta 2014, smo vse opazovalnice opremili s šestkanalnimi zajemalnimi enotami (Tasič in sod., 2016). Sodobni pospeškometri in tudi seizmometri imajo po tri med seboj pravokotne senzorje, ki omogočajo prostorsko zaznavanje nihanj tal. S šestkanalnimi zajemalnimi enotami smo poleg treh kanalov za signal s seizmometra pridobili še tri dodatne kanale za trikomponentni seizmološki pospeškometer. Tako je bilo ob koncu leta 2017 že 23 od skupno 26 potresnih opazovalnic opremljenih s seizmometri in tudi pospeškometri. Ob koncu leta 2017 (slika 3) imamo na potresnih opazovalnicah naslednje tipe seizmometrov: CMG-3ESPC, CMG-3T, CMG-40T, STS-2 in naslednje tipe pospeškometrov: EpiSensor ES-T ($\pm 2g$), CMG-5TC ($\pm 2g$), FBA-23 ($\pm 1g$).

Viri in literatura

1. Sinčič, P., Tasič I., 2015. 45 let delovanja kratkoperiodnega analognega seizmografa na vidni zapis na observatoriju na Golovcu v Ljubljani. *Ujma*, 31, 202–206.
2. Tasič I., 2015. Spodnja raven seizmičnega šuma v Sloveniji. *Ujma*, 29, 343–349.
3. Tasič, I., Mali, M., Pfundner, I., Pančur, L., 2016. Zajemalna enota Quanterra Q330HRS; preliminarni test šestih enot. *Potresi v letu 2014* (ur. A. Gosar), ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 50–54.
4. Vidrih, R., Sinčič, P., Tasič, I., Gosar, A., Godec, M., Živčić, M., 2006. Državna mreža potresnih opazovalnic (ur. Vidrih, R.), Agencija RS za okolje, Ljubljana.
5. Vidrih R., 2015. Potres 12. julija 2004 v Zgornjem Posočju, *Ujma*, 19, 60–73.
6. Wielandt, E., Streckeisen G., 1982. The leaf spring seismometer: design and performance, *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 72, 2349–2368.
7. Wielandt, E. Steim J. M., 1986. A digital very-broad-band seismograph. *Annales Geophysicae* 4, 227–232.
8. Havskov, J., Alguacil G., 2006. *Instrumentation in earthquake seismology*. Dordrecht, Springer.
9. Lapajne, K. J., 2013. Inženirsko seizmološki terminološki slovar [Elektronski vir], Amebis, Ljubljana; Agencija RS za okolje, 2013. [Zbirka Termania], <http://www.termania.net/slovarj/131/seizmosloski-slovar> [nazadnje dostopano 5. 4. 2018].
10. Peterson, J., 1993. Observations and modeling of background seismic noise. Open-file report 93–322, U. S. Geological Survey.
11. Scherbaum, F., 2001. *Of Poles and Zeros: Fundamentals of Digital Seismology*. Springer.