

PRESKUŠANJE SEIZMOMETROV NA CONRADOVEM OBSERVATORIJU

Seismometer testing at the Conrad Observatory

Izidor Tasič* UDK 550.34.03

Povzetek Abstract

Modernizacijo državne mreže potresnih opazovalnic smo začeli v letu 2000 in končali v letu 2006. Na začetku so bile potresne opazovalnice opremljene s seizmometri CMG 40T s frekvenčnim območjem med 50Hz in 0.0333Hz (nihajni čas 0,02 s in 30 s), pozneje pa smo nekatere opazovalnice nadgradili s seizmometri CMG 3ESPC, ki so občutljivejši in delujejo na širšem frekvenčnem območju med 50Hz in 0.083Hz (nihajni čas med 0,02 s in 120 s). Parametri seizmometrov, ki jih dajo proizvajalci, so splošni in se lahko razlikujejo od dejanskih. Zato smo seizmometra Guralp CMG 40T in Guralp CMG3-ESPC primerjali s seizmometrom STS2, ki je znan kot eden boljših na trgu. S primerjavo smo želeli ugotoviti, ali frekvenčno območje, v katerem je lastni šum instrumentov manjši od šuma, ki ga določa model NLNM, sovpada z območjem, ki ga je posredoval proizvajalec. Za take raziskave je primerna lokacija na Conradovem observatoriju v Avstriji, ki je v lasti Avstrijskega centralnega inštituta za meteorologijo in geodinamiko. V sklopu observatorija je 150 metrov dolg predor, kjer smo preverili naše seizmometre. V nadaljevanju so navedeni predhodni rezultati teh meritve.

The project »Modernisation of the Slovenian National Seismic Network« started in 2000 and ended in 2006. Seismic stations were equipped with Quanterra Q730 data loggers and Guralp CMG-40T seismometers with flat frequency response from 50 Hz to 0.0333 Hz (period 0.02 s to 30 s). Recently some seismic stations were upgraded with Guralp CMG-3ESPC broadband seismometers with flat frequency response from 50Hz to 0.083Hz (period 0.02 s to 120 s). The main parameters of the seismometer indicated by the manufacturer are generic and can deviate from actual values. For this reason, comparing the Guralp CMG-40T and CMG-3ESPC seismometers with the STS2 seismometer, which is known as one of the best seismometers on the market, at a low-noise location, can give us a realistic presentation of the quality of the units tested. The main goal was to determine if the frequency band in which the noise of the seismometer itself is lower than the noise presented by the New Low Noise Model (NLNM) correspond to the one indicated by the manufacturer. For such testing, a low-noise location is needed. The closest and also one of the best laboratories for testing seismometers is the Conrad Observatory of the Central Institute for Meteorology and Geodynamics (ZAMG). The remoteness of the location and the undisturbed surroundings of the underground observatory allow this type of testing. Part of the observatory is a 150-m-long tunnel with several piers for seismometers. The seismometers (CMG-40T and CMG-3ESPC) being tested were installed in the tunnel next to a STS2 seismometer, which was provided by the Conrad Laboratory. Some preliminary results of comparing CMG-40T and CMG-3ESPC seismometers with the STS-2 are presented.

Uvod

Na potresnih opazovalnicah državne mreže potresnih opazovalnic so postavljene zelo občutljive naprave, ki stalno zapisujejo nihanje tal. Osnovna sestavna dela potresne opazovalnice sta seizmometer, to je senzor za

zaznavanje (potresnega) nihanja tal in enota za zapisovanje tega nihanja. Enota za zapisovanje zajame nihanje iz senzorja, ga pretvarja v digitalno obliko, usklajuje podatke s točno uro ter skrbi za urejanje, hranjenje in pošiljanje podatkov v središče za obdelavo podatkov (SOP). Na občutljivost mreže potresnih opazovalnic vplivajo poleg potresnega šuma, geoloških pogojev na kraju opazovanja in oddaljenosti žarišča potresov od potresne opazovalnice tudi lastnosti seizmološke opreme. Značilni lastnosti seizmometra sta dinamično območje in lastni instrumentalni šum. Pri natančnem opazovanju, npr. za namene seizmo-

* mag., Ministrstvo za okolje in prostor RS, ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, Dunajska 47, Ljubljana, Izidor.Tasic@gov.si

tektonske analize je treba zaznati in analizirati tudi zelo šibke potrese, ki sicer ne povzročajo škode, vendar veliko povedo o potresnih značilnostih opazovanih prelomov, je treba uporabiti seizmometre z nizkim instrumentalnim šumom. Proizvajalci instrumentalni šum seizmometra opisujejo tako, da podajo točki, kjer se instrumentalni šum seizmometra izenači s Petersonovim modelom seizmičnega šuma, ki ga poznamo z oznako NLNM (ang. New Low Noise Model, kar pomeni novi nizkošumni model) (Peterson, 1993). Ta podatek je običajno splošen in idealiziran glede na vrsto seizmometra in njegove optimalne sestavne dele. Ker je preverjanje lastnosti seizmometra zaradi seizmičnega nemira zapleteno, uporabniki težko preverimo kakovost seizmometra in se zato zadovoljimo s podatki proizvajalcev.

V letih 2007 in 2008 smo preverili dva seizmometra, seizmometer CMG 3ESPC (s serijsko številko T34238) in seizmometer CMG 40T (s serijsko številko T4B19) (Güralp 2008a, Güralp 2008b) na Conradovem observatoriju v Avstriji. Seizmometra smo preskusili primerjalno s seizmometrom STS-2 podjetja Streckeisen iz Švice (Streckeisen 1995), ki pomeni kakovostni vrh seizmometrov in so nam ga za preskušanje posodili avstrijski kolegi.

Conradov observatorij

Avstrijski centralni inštitut za meteorologijo in geodinamiko (v nadaljnjem besedilu ZAMG) je v letih med 1998 in 2000 zgradil prvo fazo geofizikalnega observatorija v bližini kraja Muggendorf v Avstriji. Poimenovali so ga po svetovno znanem avstrijskem geofiziku Viktorju Conradu (1876–1962), ki velja za odkritelja meje med zgornjim in spodnjim delom Zemljine skorje, kjer se hitrost potresnega valovanja skokovito spremeni (Conradova diskontinuiteta). Observatorij je na območju Alp na Spodnjem Avstrijskem, približno 50 km jugovzhodno od Dunaja,

ter približno 390 kilometrov severno od Ljubljane (slika 1). Zgrajen je na nadmorski višini 1046 m pod vrhom hriba Trafelberg (1146 m). Namenjen je različnim geofizikalnim raziskavam. Kraj se odlikuje po izredno majhnem naravnem in tehnološkem šumu. Najbližje mestece je Pernitz, oddaljeno je 8 kilometrov v zračni črti, najbližje naselje je oddaljeno 6 kilometrov. Ker je celotni observatorij zgrajen pod zemeljskim površjem, so zmanjšana tudi površinska nihanja.

Del observatorija je tudi 150 metrov dolg predor, v katerem je ves čas skoraj stalna temperatura. Za namestitev večjega števila seizmometrov so v predoru postavljeni betonski stebri, ki so temeljeni neposredno v trdni podlagi. Posebni pretvorniki omogočajo uporabo sprejemnikov GPS tudi v predoru, kar pomeni, da lahko več instrumentov med seboj časovno uskladimo z veliko natančnostjo. Na koncu predora je stalno postavljen seizmološki sistem z oznako CONA. Sestavljata ga seizmometer STS2 in zajemalna enota Quanterra Q330 (Quanterra, 2008). Kraj preskusa je bil 100 metrov daleč v predoru. Za dodatno zmanjšanje seizmičnega nemira smo na steber dodali tanko podlago finega kremenčevega peska, na njo pa stekleno ploščo. Lokacijo smo še dodatno toplotno izolirali z izolacijsko kovinsko posodo, ki je hkrati pomenila še zaščito pred elektromagnetnim sevanjem. Kot referenčni seizmometer smo uporabil širokopasovni seizmometer STS-2 (s/n 80448) s frekvenčnim območjem med 50 Hz in 0.0083 Hz (nihajni čas med 0,02 s in 120 s). Za ta seizmometer smo naredili periodogram in po skrbni obdelavi periodograma izbrali časovni interval, ki je bil seizmično najmirnejši. Na sliki 3 je primer periodograma za trideset dni, za vertikalno komponento seizmometra STS2. Z barvno lestvico smo prikazali moč signala. Kljub temu, da je observatorij oddaljen od najbližjega industrijskega mesteca več kakor 8 kilometrov v zračni črti, še vedno opazimo dnevne razlike v seizmičnem šumu, ki so posledica tehnološke dejavnosti.



Slika 1. Lokacija Conradovega observatorija v Avstriji
Figure 1. Location of the Conrad Observatory in Austria.

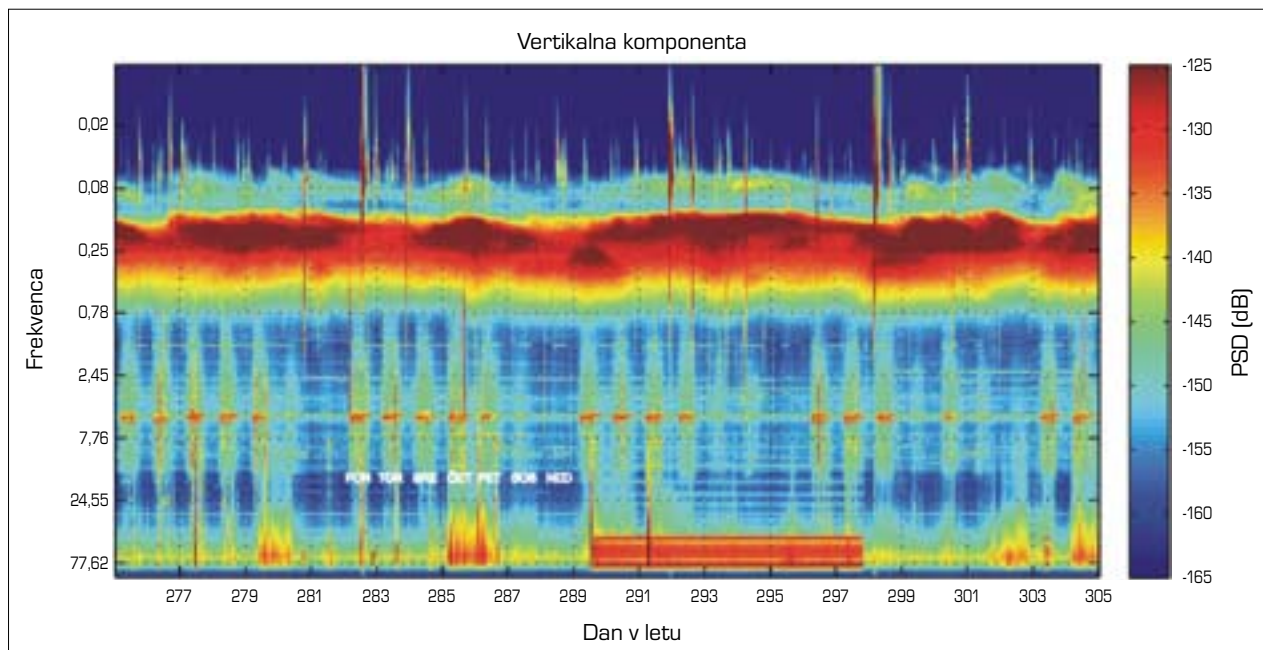


Slika 2. Conradov observatorij.
Figure 2. Conrad Observatory.

Petersonov model seizmičnega šuma

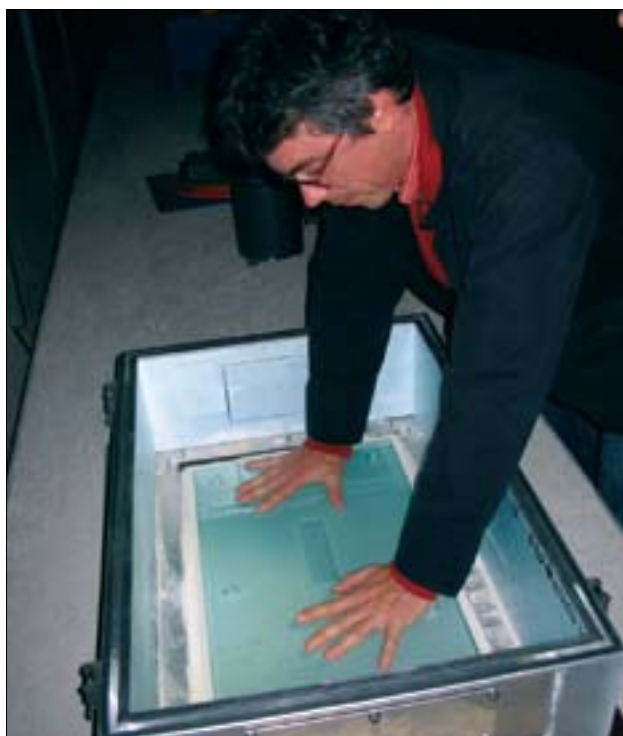
Viri seizmičnega šuma so zelo različni. Najpogostejši povzročitelji seizmičnega šuma so človeška dejavnost,

veter in vremenske spremembe, zelo močan vpliv ima ocean, tudi na opazovalnicah daleč v notranjost celine. Zaradi raznolikosti izvorov lahko seizmični šum obravnavamo kot stacionarni stohastični proces in predstavimo amplitudni spekter z močjo spektralne gostote (angl. power spectral density – PSD) (Čarman in Živčić,



Slika 3. Prikaz spektra moči signala za trideset dni za navpično postavljen senzor seizmometra STS2. Periodogram se začne v ponedeljek, 8. 10. 2008. Dnevne spremembe seizmičnega šuma so vidne med frekvencama 1 Hz in 20 Hz. Od ponedeljka do petka je ta šum večji kakor ob koncu tedna.

Figure 3. Periodogram for 30 days for the vertical component of the STS-2 seismometer. Daily variation can be seen between the frequencies 1 Hz and 20 Hz.



Slika 4. Priprava lokacije za preskušanje seizmometrov.
Figure 4. Preparing the vault for sensors.



Slika 5. Usmerjenje seizmometrov.
Figure 5. Installing the sensors.



Slika 6. Zadnja kontrola pred nastavitvijo izolacijskega pokrova.

Figure 6. Last check before covering.

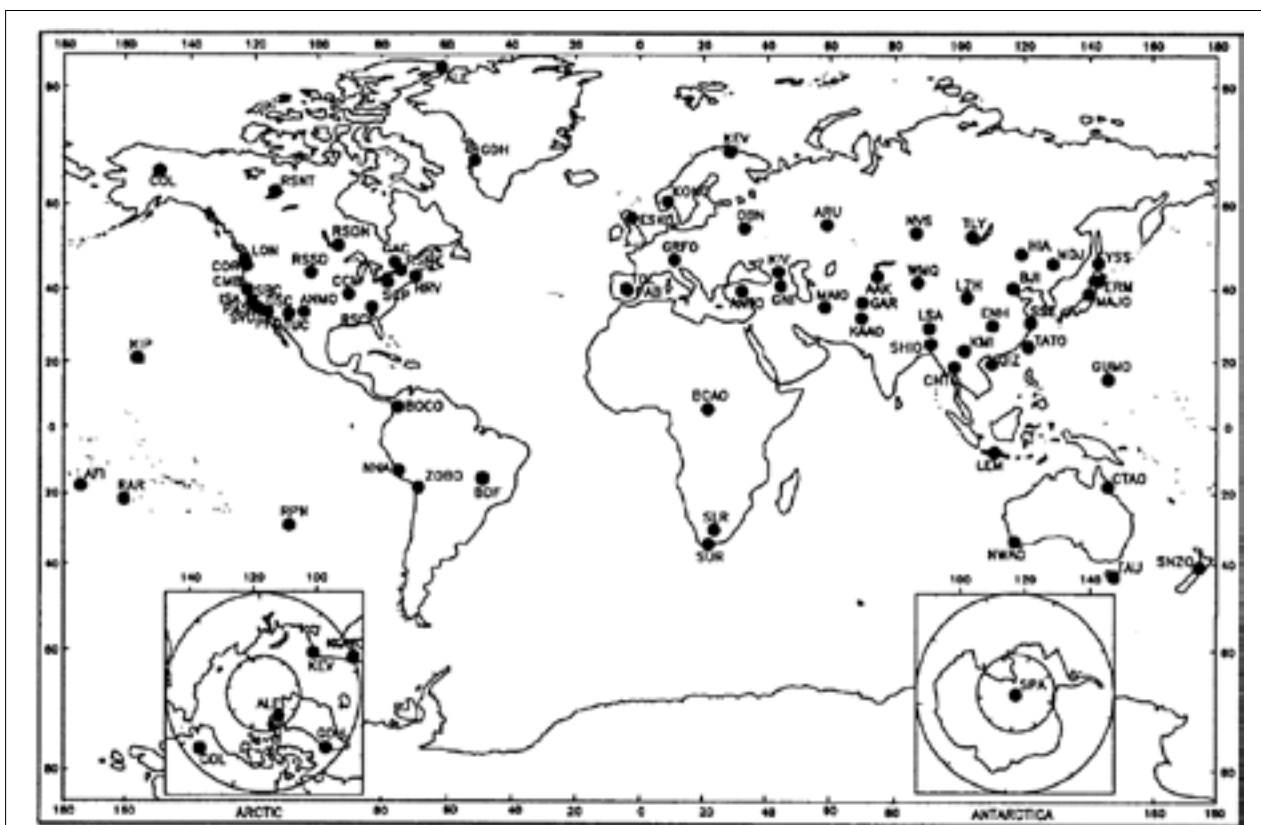


Slika 7. Lokacija preskusnega sistema v predoru.

Figure 7. Location in the tunnel.

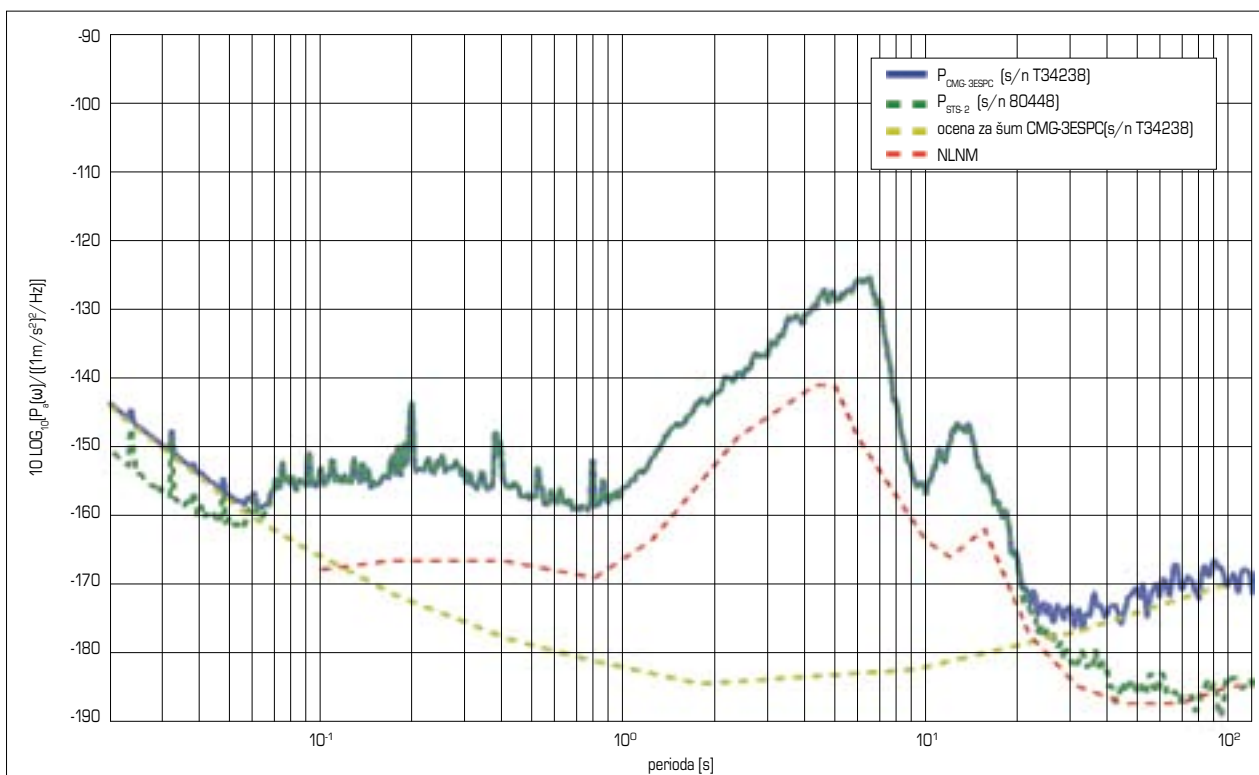
2007), ki opiše, kako je moč signala porazdeljena s frekvenco. V osemdesetih in devetdesetih letih prejšnjega stoletja so v Združenih državah Amerike, v seizmološkem laboratoriju v Albuquerqueju (Albuquerque, 2008), pod vodstvom Jona Petersona zbirali podatke z več deset potresnih opazovalnic s celega sveta, ki so imele zelo majhen seizmičen šum (slika 8). Potresne opazovalnice so bile opremljene z različnimi seizmološkimi sistemi, pri čemer je bilo na posamezni opazoval-

nici postavljenih tudi več različnih sistemov. Najboljši in hkrati najpogostejši seizmometri na opazovalnicah so bili: seizmometri za namestitvev v vrtino KS 36000 (različica od I do IV) podjetja Teledyne-Geotech, seizmometri STS-1 in STS-2 podjetja Streckeisen, seizmometri CMG 3T podjetja Guralp. Veliko dela je bilo opravljenega že samo z večletnim zbiranjem in izborom podatkov iz teh potresnih opazovalnic. Leta 1993 je Jon Peterson objavil poročilo o opazovanju in modeliranju seizmičnega



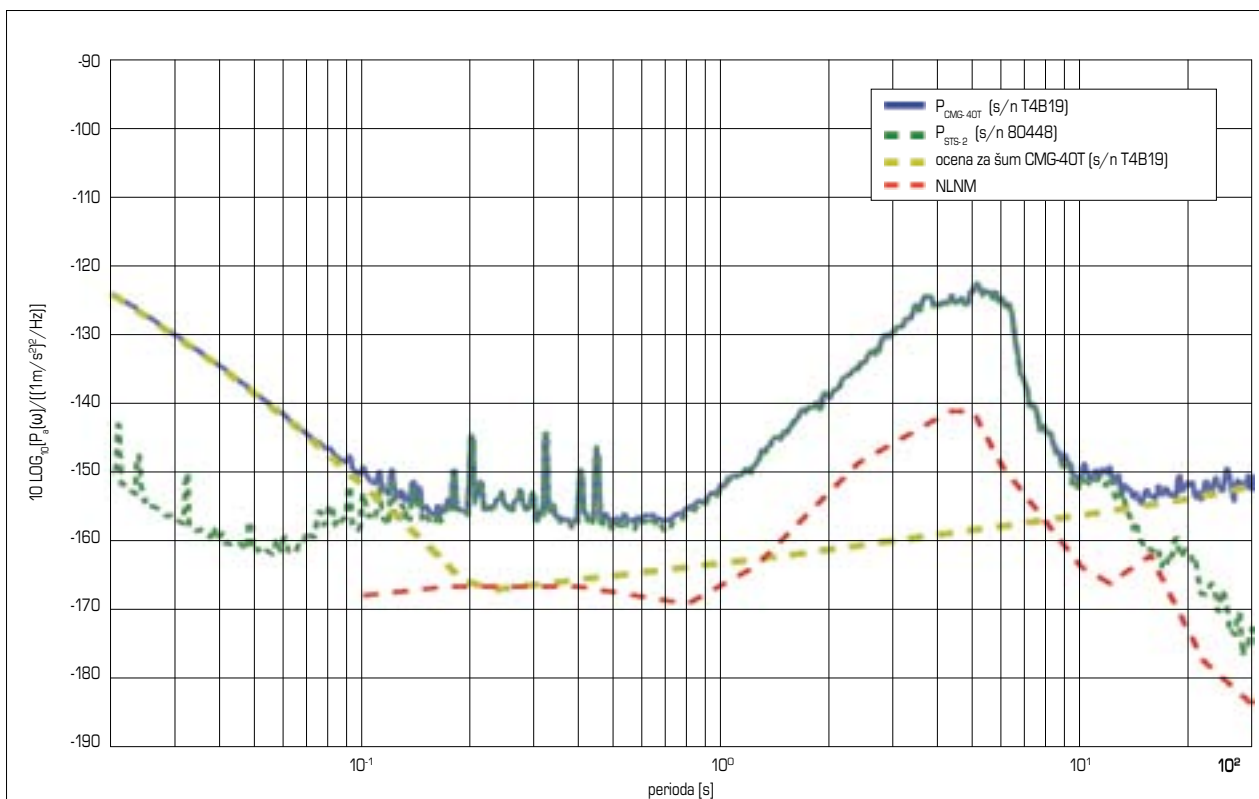
Slika 8. Lokacije 75 potresnih opazovalnic (označene so s tremi ali štirimi črkami), ki jih je Peterson uporabil v svojem poročilu (Peterson 1993).

Figure 8. Locations of 75 seismic stations over the world, used by Peterson in his reports (Peterson 1993).



Slika 9. Spekter moči signala za CMG 3ESPC in STS2. Spektra se prekrivata približno na območju nihajnega časa od 0,1 s—23 s, izven pa se razlikujeta.

Figure 9. Comparing the noise level of the CMG-3ESPC and STS-2 seismometers. Both seismometers recorded a similar seismic signal in the period interval 0.1 s – 23 s.



Slika 10. Spekter moči signala za CMG 40T in STS2. Spektra se prekrivata približno na območju nihajnega časa od 1 s—10 s, izven pa se razlikujeta.

Figure 10. Comparing the noise level of CMG-40T and STS-2 seismometers. Both seismometers recorded a similar seismic signal in the interval 1 s – 10 s.

šuma (Peterson, 1993), v katerem je podal ugotovitve za 75 najmirnejših potresnih opazovalnic s celega sveta. Ugotovitve je strnil v model seizmičnega šuma. V tabeli je podal vrednosti moči spektralne gostote, pod katero pri določeni frekvenci ni bil zabeležen seizmični šum na nobeni od 75 potresnih opazovalnic. Ta model oz. krivuljo poznamo danes z oznako NLNM (ali Petersonov NLNM). Postal je mera kakovosti potresnih opazovalnic, medsebojne primerjave kakovosti lokacij potresnih opazovalnic in opredelitve kakovosti seizmoloških sistemov.

Preskušanje seizmometra

CMG 3ESPC

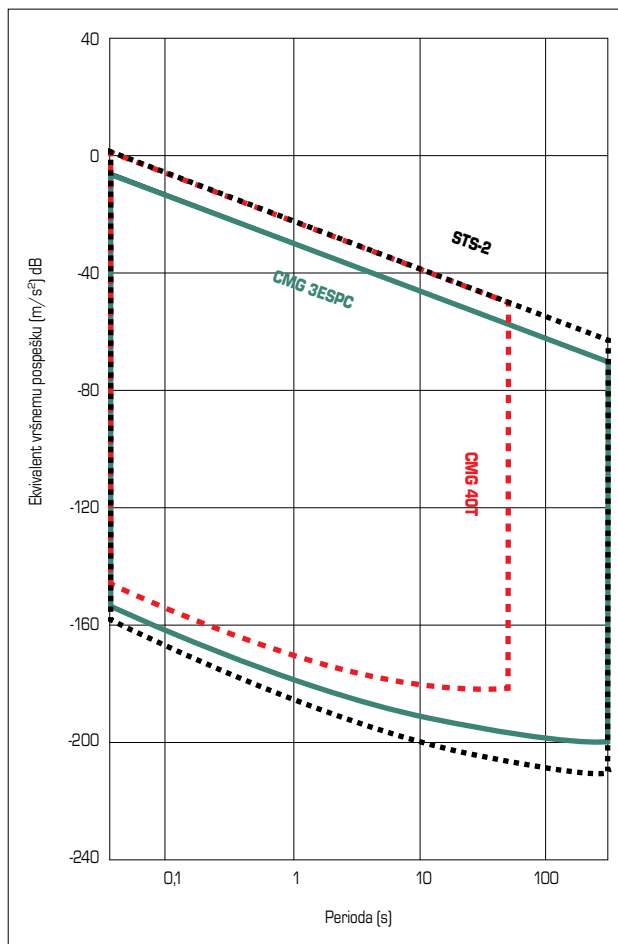
Seizmometer CMG 3ESPC je širokopasovni seizmometer s frekvenčnim območjem med 50 Hz in 0.0083 Hz (nihajni čas med 0,02 s in 120 s). Kakor vsak sodobni širokopasovni seizmometer ima vgrajene tri miniaturne senzorje, postavljene pravokotno med seboj, tako da lahko beleži prostorsko nihanje tal. Pravokotnost je zagotovljena z natančnostjo pod 0,1°. Namenjen je za posebej izbrane kraje z zagotovljenim majhnim seizmičnim šumom. Generatorska konstanta preskušanega seizmometra je 2000 V/(m/s). Celotno frekvenčno območje seizmometra opišemo z eno prenosno funkcijo, ki je ista za vse tri senzorje. Po tovarniških izračunih te vrste seizmometrov sekajo NLNM na območjih med 30 in 1/16 sekundami. Seizmometer je težak 9 kilogramov, visok 26 cm in ima premer 17 cm. Za to vrsto seizmometra proizvajalec navaja tudi podatke o linearnosti sistema in podatek o medsebojnem vplivu senzorjev. Po tovarniških izračunih je dinamično območje nad 140 dB.

Referenčni seizmometer STS2 in preskusni seizmometer CMG 3ESPC smo namestili na poskusni lokaciji 1. 10. 2007; meritev šuma seizmometra CMG 3ESPC je trajala do 10. 12. 2007. S periodogramom referenčnega seizmometra smo ugotovili, da je bilo v času teh meritev obdobje najmanjšega seizmičnega šuma v noči s sobote, 14. oktobra 2007, na nedeljo, 15. oktobra 2007. Spekter moči signala za vertikalno os obeh seizmometrov kaže slika 9. Korelacija šuma obeh seizmometrov daje oceno šuma preskušanega seizmometra (Holcomb, 1989,1990). Iz grafa je razvidno, da spektra obeh seizmometrov skoraj sovpadata na območju nihajnega časa od približno 0,1 s do približno 23 s, izven tega območja pa se razlikujeta.

Preskušanje seizmometra

CMG 40T

Seizmometer CMG 40T je širokopasovni seizmometer s frekvenčnim območjem med 50 Hz in 0,0333Hz (nihajnim časom 0,02 s in 30 s). Namenjen je krajem z manjšimi zahtevami (in možnostmi) glede seizmičnega šuma. Tudi ta seizmometer ima vgrajene tri miniaturne senzorje,



Slika 11. Shematski prikaz območja delovanja seizmometrov CMG 40T, CMG 3ESPC in STS2.

Figure 11. Schematic presentation of the operating region of the CMG-40T, CMG-3ESPC and STS-2 seismometers.

postavljene pravokotno med seboj, ter eno prenosno funkcijo za celotno frekvenčno območje, ki je enaka za vse tri senzorje. Generatorska konstanta preskušanega seizmometra (serijska številka T4B19) je 800V/(m/s). Po tovarniških izračunih je dinamično območje seizmometra nad 140 dB in seka NLNM na območjih med 1 sekundo in 10 sekundami. Seizmometer je težak 5 kilogramov, visok 21 cm in ima premer 17 cm. Po tovarniških izračunih je dinamično območje nad 140 dB.

Seizmometer CMG 40T smo namestili na dan, ko smo odstranili CMG 3ESPC, celotni sistem pa je deloval do 5. 3. 2008.

Periodogram referenčnega seizmometra STS2 je pokazal, da je bil v času preskušanja seizmometra CMG 40T seizmični šum najmanjši v noči s sobote, 12. januarja 2008, na nedeljo, 13. januarja 2008. Spekter moči signala za vertikalni senzor kaže slika 10.

Iz grafa je razvidno, sta spektra obeh seizmometrov skoraj sovpadata na območju nihajnega časa od približno 1 s do približno 10 s, izven tega območja pa se razlikujeta.

Sklepne misli

Dobljeni rezultati se nanašajo izključno na preskušana seizmometra. Rezultati so nekoliko slabši od tistih, ki jih navaja proizvajalec v tehničnih značilnostih, vendar te razlike bistveno ne vplivajo na meritve. Načeloma lahko rečemo, da so rezultati v okviru pričakovanih. Seizmometer CMG-3ESPC ima manjši lastni šum od CMG 40T in je pripravnejši za meritve na mirnih lokacijah (slika 11). Zato opremljamo lokacije z izredno majhnim seizmičnim šumom, na primer VISS in CADs (Čarman in Živčič, 2007), s seizmometri vrste CMG 3ESPC, da dosežemo čim boljše podatke o šibkih potresih.

Viri in literatura

1. Albuquerque, 2008, <http://earthquake.usgs.gov/regional/asl/> [citirano april 2008]
2. Holcomb, G. L., 1989. A direct method for calculating instrument noise levels in side-by-side seismometer evaluations. Open-file report 89-214, U. S. Geological Survey.
3. Holcomb, G. L., 1990. A numerical study of some potential sources of error in side-by-side seismometer evaluations. Open-file report 90-406, U. S. Geological Survey.
4. Peterson, J., 1993. Observations and modelling of background seismic noise. Open-file report 93-322, U. S. Geological Survey, Albuquerque, New Mexico.
5. Bormann, P. (ed.), 2002. IASPEI, New Manual of Seismological Observatory Practice, GeoForschungsZentrum Potsdam, Vol. 1, poglavje 3, 1–94.
6. Guralp (2008a), <http://www.guralp.com/products/3ESPC/> [citirano 01.04.2008]
7. Guralp (2008b), <http://www.guralp.com/products/40T/> [navedeno 01.04.2008].
8. Quanterra (2008), <http://www.q330.com/> [navedeno 01.04.2008]
9. Čarman, M., Živčič, M., 2007. Analiza seizmičnega šuma na opazovalnicah (v letih 2003 in 2004). Potresi v letu 2005, ARSO, Urad za seizmologijo, Ljubljana, 30–40.
10. Streckeisen. Portable Very Broad Band Tri-Axial Seismometer: STS-2 manual, G. Streckeisen AG, SWITZERLAND, 1995.