

NENEHNO SEIZMIČNO PULZIRANJE S PERIODO 26 SEKUND IN NJEGOV IZVOR

Izidor Tasič¹

Povzetek

Na modelu spodnje ravni seizmičnega šuma za Slovenijo lahko pri periodi približno 26 sekund opazimo šibek lokalni vrh. Ta vrh je posledica neobičajnega nenehnega ozkofrekvenčnega nihanja tal, ki ima svoj izvor približno 4800 kilometrov stran v Gvinejskem zalivu. Čeprav je bil ta pojav prvič omenjen v 60. letih prejšnjega stoletja, še vedno ni poenotene razlage, kaj točno je ta vir, da ustvarja nenehno nihanje tal s periodo 26 sekund, občasno pa celo s tako amplitudo, da ga lahko zaznajo potresne opazovalnice po vsem svetu.

A CONTINUOUS SEISMIC PULSATION WITH A PERIOD OF 26 SECONDS AND ITS ORIGIN

Abstract

In the low-noise model for Slovenian territory, a weak local maximum can be observed at a period of about 26 seconds. This maximum is due to unusual, ever-present narrow-frequency oscillations of the ground, which originate about 4,800 kilometres away in the Gulf of Guinea. Despite the fact that this phenomenon was first mentioned in the 1960s, there is still no unified theory as to what exactly is the origin of this phenomenon, which creates continuous oscillations of the ground with a period of 26 seconds, occasionally even with such an amplitude that it can be detected by seismic stations around the whole world.

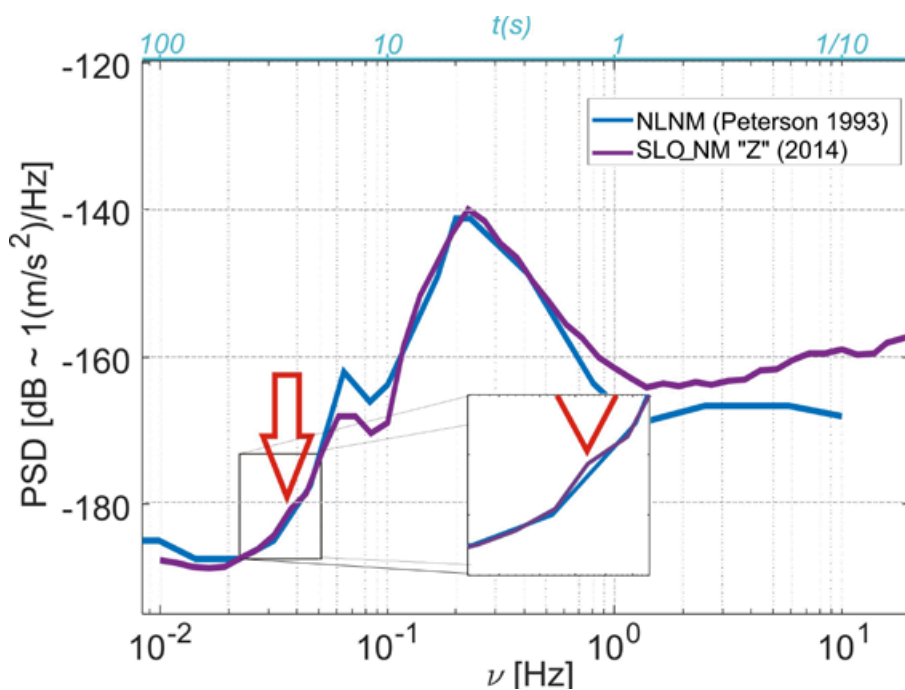
¹ mag., Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo, Vojkova 1b, Ljubljana, izidor.tasic@gov.si

UVOD

Model spodnje ravni seizmičnega šuma za Slovenijo (Tasič, 2015), ki je bil narejen na podlagi zglajenih spektrov gostote spektralne moči iz seizmičnih zapisov državne mreže potresnih opazovalnic (Vidrih in sod., 2006), ima na navpični komponenti pri periodi 26 sekund oziroma 0,0385 Hz komaj opazen šibek lokalni maksimum (slika 1). Ta pojav na globalnem modelu spodnje ravni seizmičnega šuma (NLNM; Peterson, 1993) ni opazen, čeprav se sicer okoli bližnjega periodnega območja modela dobro pokrivata. Po dodatni analizi postopka izračuna slovenskega modela in ponovni kontroli vhodnih podatkov smo potrdili, da ta lokalni vrh ni napaka izračuna. Ta signal tudi ni posebnost le slovenskega ozemlja, saj ga občasno zaznavajo potresne opazovalnice po vsem svetu, in to že desetletja. Prvi zapis o njem najdemo v strokovni literaturi že leta 1962 (Oliver, 1962), ko so nihanje tal zaznali le analogni seizmogrami, ki niso omogočali take analize, kot je to mogoče danes z digitalnimi seizmološkimi podatki. Še bolj zanimivo je, da tudi po 60 letih kljub velikemu razvoju v seizmološki merilni tehniki ni poenotene razlage, kaj točno je izvor tega nihanja tal.

Zemlja pod nami se nenehno trese, kar povzročajo tako bližnji kot tudi zelo oddaljeni izvori. Nekateri so občasni, kot so na primer potresi. Šibkejša potresa zaznajo le bližnje opazovalnice (Tasič, 2018), potrese magnitude 6 ali več pa zaznajo potresne opazovalnice po vsem svetu in so tako tudi vir za raziskave notranje zgradbe Zemlje (Tasič in Vidrih, 2007). Nekateri izvori nihanj tal so stalnejši. Najpomembnejše je valovanje v oceanih oziroma interakcije valovanja z dnom in obalo (Tasič, 2015). To je prevladujoči vir seizmičnega nemira na nizkofrekvenčnem delu spektra in ga zaznajo potresne opazovalnice po vsem svetu. Iz spektrov gostote spektralne moči seizmičnih zapisov se vidi, da ima prevladujoče valovanje periodo približno 14 sekund in da je za najmočnejši nenehen seizmični nemir pri periodi približno sedem sekund prav tako krivo valovanje v oceanih, vendar z drugačnim fizikalnim delovanjem na morsko dno (Longuet-Higgins, 1950).

Bistveno manj znan nenehen izvor nihanja tal s periodo 26 sekund oziroma 0,0385 Hz izvira v Gvinejskem zalivu in ga občasno, ko ima izvor tega signala povečano amplitudo nihanj tal, zaznajo potresne opazovalnice po vsem svetu.



Slika 1: Petersonov globalni model spodnje ravni seizmičnega šuma (NLNM; Peterson, 1993) in model spodnje ravni seizmičnega šuma za Slovenijo (SLO_NM; Tasič, 2015). Puščica označuje šibki maksimum (dodatno povečan v okvirčku) pri periodi približno 26 sekund oziroma 0,0385 Hz, ki je viden le na modelu SLO_NM (avtor: I. Tasič).

Figure 1: Peterson's global seismic low-noise model (NLNM; Peterson, 1993) and the low-noise model for the vertical component for Slovenian territory (SLO_NM; Tasič, 2015). The arrow indicates a weak maximum (additionally enlarged in the figure) at a period of about 26 seconds, which is visible only in the SLO_NM model (Figure: I Tasič).

SEIZMIČNO PULZIRANJE PRI PERIODI 26 SEKUND

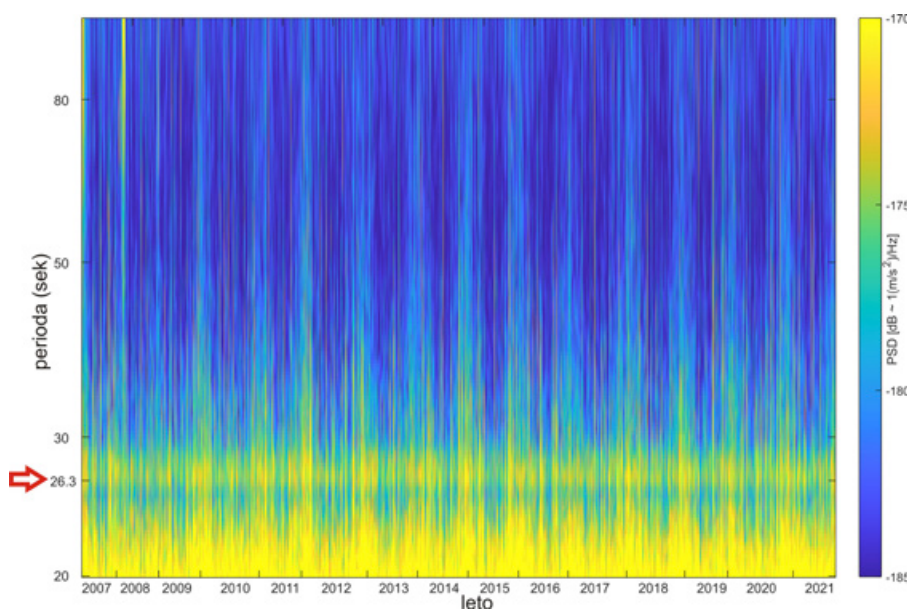
V začetku 60. letih prejšnjega stoletja je Oliver (1962, 1963) ugotovil, da so 6. junija 1961 analogne potresne opazovalnice po vsem svetu zaznale povečan seizmični signal pri periodi približno 27 sekund, trajal pa je vsaj osem ur. Ta povečani seizmični nemir je pripisal dolgoperiodnim oceanskim valovom, ki so zadevali obalo v Gvinejskem zalivu kot posledica hudega neurja v južnem Atlantskem oceanu. Čeprav je imel Oliver na voljo le analogne zapise, danes vemo, da je bila njegova lokacija izvora točna.

Naslednjo omembo tega pojava najdemo šele slabih 20 let pozneje. Holcomb (1980) je ugotovil, da pojav, ki ga navaja Oliver, ni bil izoliran, temveč se to povečano nihanje tal, in sicer pri periodi 26 sekund, dogaja nenehno, se pa spreminja njegova intenziteta. Občasno postane signal tako močan, da ga lahko zaznajo potresne opazovalnice po vsem svetu, če je le raven drugega seizmičnega šuma v tem času dovolj nizka. Tak energijski »izbruh« navadno traja nekaj ur. To je tudi razlog, zakaj ta signal v Petersonovem globalnem modelu spodnje ravni šuma, ki je pri modeliranju uporabljal potresne opazovalnice z vsega sveta, ne izstopa. Potresne opazovalnice, ki so bistveno dlje od Gvinejskega zaliva, kot so potresne opazovalnice DMPO, zaznajo ta signal le, ko je na tem frekvenčnem območju seizmični signal drugih izvorov šibek, amplituda seizmičnega pulziranja iz Gvinejskega zaliva pa je bistveno večja od svojega povprečja, torej le v času energijskega izbruha, kar

se dogaja redkeje. Lastnost tega signala je tudi, da je nedisperziven, kar pomeni, da njegov izvor ne more biti globokomorska disperzija oceanskih valov (Holcomb, 1980). Dobrih 25 let pozneje so raziskovalci pod vodstvom Shapiro (Shapiro in sod., 2008) s sodobnimi numeričnimi tehnikami potrdili, da ima seizmični nemir z vrhom pri 26 sekundah svoj izvor v Gvinejskem zalivu, potresni valovi pa se v povprečju širijo s hitrostjo približno 3,5 km/s, kar je skoraj skladno s skupinsko hitrostjo Rayleighovih površinskih valov za to periodo. Potrdili so tudi, da je lokacija vira stalna in da je frekvenčno območje časovno stabilno, spreminja pa se amplituda nihanj tal, in sicer se poveča med zimo na južni polobli, ko so neurja pogostejša.

Šest let pozneje je Euler s sodelavci (2013) izvor tega signala zožil na zaliv Bonny v Gvinejskem zalivu. Kot izvor valovanja je prav tako opredelil valovanje oceana, ki zadeva obalo.

Vsi raziskovalci se niso strinjali, da je izvor tega seizmičnega signala valovanje oceana. Yingjie s sodelavci (2013) je ocenila, da so najverjetnejši vir 26-sekundnega nihanja tal vulkani. Vulkanski procesi lahko ustvarijo vulkanski tremor, torej skoraj monokromatski harmonični seizmični signal, ki lahko traja od nekaj minut do nekaj mesecev. V nekaterih primerih lahko zelo dolg periodni tremor traja tudi več let, kar je na primer značilnost vulkana Aso na Japonskem. Pri natančnejši spektralni analizi iz seizmoloških opazovalnic okoli Gvinejskega zaliva so namreč ugotovili, da obstajata dva med seboj



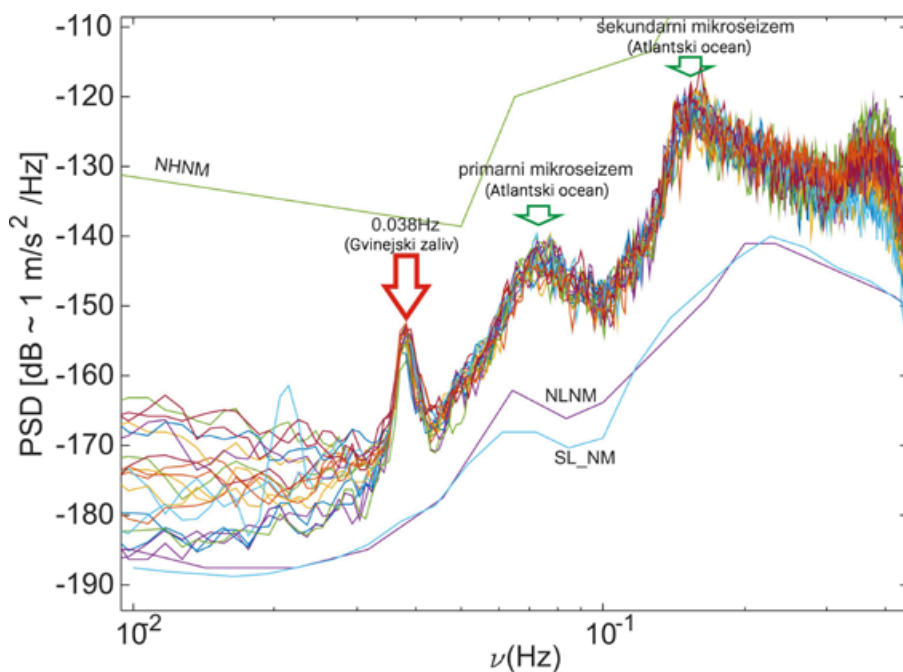
Slika 2: Prikaz dolgoperiodnega dela spektra gostote spektralne moči podatkov potresne opazovalnice SKDS, ki vsebujejo lokalni vrh okoli periode 26,3 sekunde (rdeča puščica) za 14 let, in sicer od leta 2007 do 2021

Figure 2: The long-period part of the power spectral density spectrum with data from the SKDS seismic station, containing a local maximum around a period of 26.3 seconds (red arrow) for a period of 14 years (2007-2021)

neodvisna seizmična izvora s frekvencama 0,036 in 0,038 Hz oziroma periodama 27,8 ter 26,3 s. Izvora imata različne intenzitete. Šibkejše nihanje tal pri 0,036 Hz so locirali v bližino vulkana Sao Tome v kamerunski vulkanski liniji, ki iz Kameruna prehaja v zaliv Bonny. Monokromatski spekter tega signala je podoben zelo dolgemu periodnemu vulkansemu tremorju. Seizmični izvor pri frekvenci 0,038 Hz so locirali nekaj sto kilometrov bolj severozahodno glede na izvor pri frekvenci 0,036 Hz v zaliv Benin, kjer pa ni nobenih znanih vulkanov oziroma nobene znane vulkanske aktivnosti. Yingjie s sodelavci (2013) zato ocenjuje, da bi lahko bili izvor tega signala neidentificirani vulkanski procesi na tej lokaciji.

ZAZNAVANJE 26-SEKUNDNEGA PULZIRANJA V SLOVENIJI

V potresni opazovalnici Skadanščina z oznako SKDS (Vidrih in sod., 2006) je od sredine leta 2006 postavljen seizmometer Streckeisen STS 2, ki ima na dolgoperiodnem delu spektra instrumentalni šum nižji od modela NLNM (Peterson, 1993). To nam je omogočilo, da smo lahko v daljšem obdobju analizirali pojavnost 26-sekundnega seizmičnega pulziranja. Za 14 let, in sicer od leta 2007 do 2021, smo najprej izračunali enourne spektre gostote spektralne moči (PSD), nato pa smo z avtomatiziranim algoritmom poiskali tiste spektre, ki vsebujejo lokalni maksimum okoli periode 26 sekund (slika 2). Povečan signal okoli periode 26



Slika 3: Enurni spektri seizmičnega signala, ki so ga zaznale potresne opazovalnice v Sloveniji 24. septembra 2018 med 3. in 4. uro po univerzalnem koordiniranem času, pokažejo precej močnejši ozkofrekvenčni dogodek, ki ima svoj vrh pri 0,038 Hz (rdeča puščica) in izvor v Gvinejskem zalivu.

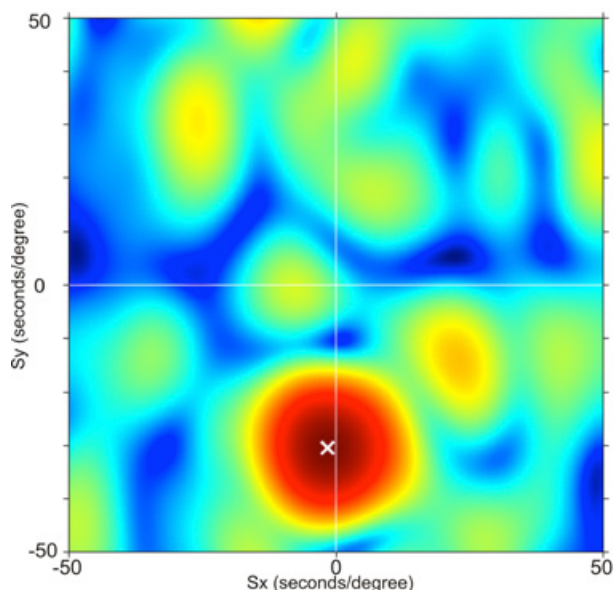
Figure 3: One-hour seismic signal spectra (PSD) of the Slovenian National Seismic Station Network for 24 September 2018 between 03:00 and 04:00 UTC, showing a strong narrow-frequency event with a peak at 0.038 Hz (red arrow), originating in the Guinea bay.

sekund je v podatkih nenehno prisoten v vseh letnih časih in je tudi frekvenčno stalen, toda z različnimi amplitudami. Poleti je v severnem delu Atlantskega oceana manj ciklonov kot pozimi, zato ima v Sloveniji seizmični šum na območju primarnega mikrosezima, to je na območju, kjer je dolgoperiodni seizmični šum posledica valovanja v oceanih, v povprečju nižjo intenziteto kot pozimi. Amplitude nihanj tal s periodo 26 sekund se poleti povečajo (Shapiro in sod., 2008), kar pomeni, da je poleti v Sloveniji ta signal lažje zaznaven, zato se je tudi izrazil na modelu spodnje ravni seizmičnega šuma za Slovenijo (slika 1).

Da obstajajo dogodki, ko se signal v frekvenčnem oknu okoli 0,038 Hz bistveno poveča, smo opazili tudi v Sloveniji. Primer je dogajanje 24. septembra 2018. Na tem frekvenčnem območju smo zaznali izrazito močen zelo ozkopasovni signal, ki je trajal kar nekaj ur in je svoj vrh dosegel 24. septembra med 3. in 4. uro po univerzalnem koordiniranem času (UTC). Spekter gostote spektralne moči seizmičnega signala, zaznanega s seizmometri državne mreže potresnih opazovalnic, je za to uro prikazan na sliki 3. Signal je bil dovolj močen, da je omogočal analizo v prostoru f-k, torej prostoru frekvence in valovnega števila, z njeno pomočjo pa lahko ocenimo smer prihoda potresnih valov in njihovo skupinsko hitrost (slika 4). Potresni valovi s periodo 26,3 sekunde prihajajo z juga oziroma odklon od smeri juga je 2,3 stopinje v smeri urnega kazalca, kar kaže v smer Gvinejskega zaliva. Hitrost seizmičnih valov je 3,5 km/s. V tem času ni bilo nobenega telesezima in je torej edini izvor lahko enak, kot ga je že v 60. letih prejšnjega stoletja opazil Oliver (1962, 1963) in je od Slovenije oddaljen približno 4800 kilometrov.

SKLEPNE MISLI

Trenutno dve hipotezi razlagata mogoč izvor nenehna ozkopasovnega nihanja tal pri 0,038 Hz oziroma periodi 26,3 sekunde v Gvinejskem zalivu. Po prvi je izvor valovanje oceana v Gvinejskem zalivu, pri čemer pa ta hipoteza ne da zadovoljivega odgovora, zakaj je seizmični signal le v razmeroma ozkem frekvenčnem pasu, saj je to v nasprotju z opazovanji primarnih in sekundarnih mikrosezimov, ki so tudi posledica oceanskih valovanj. Po drugi hipotezi je ozkopasovno valovanje posledica magmatske aktivnosti. Vulkanski procesi lahko namreč generirajo tudi dolgoperiodne vulkanske tremorje, ki lahko trajajo več let. S to hipotezo ni mogoče pojasniti dogodkov, kot je bil 24. septembra 2018 (slika 3), saj do zdaj



Slika 4: Analiza dogodka v prostoru f-k, torej prostoru frekvence in valovnega števila, ki so ga 24. septembra 2018 med 3. in 4. uro po univerzalnem koordiniranem času zaznale potresne opazovalnice v Sloveniji, pokaže, da valovanje na frekvenčnem območju okoli 0,038 Hz prihaja do Slovenije skoraj povsem z juga s poprečno hitrostjo približno 3,5 km/s.

Figure 4: Analysis of the event in f-k space (frequency and wavenumber space) recorded by seismic stations in Slovenia on September 24 2018 between 03:00 and 04:00 UTC, showing that waves in a frequency range around 0.038 Hz come to Slovenia almost entirely from the south with an average speed of about 3.5 km/s.

noben aktivni vulkan ni povzročil svetovno opaznega monokromatskega nihanja tal.

Ne glede na izvor je pulzar iz Gvinejskega zaliva stabilni frekvenčni oscilator, ki niha enako že več let. Kljub veliki oddaljenosti Slovenije je signal občasno dovolj močen, da ga zaznajo vse slovenske potresne opazovalnice s širokopasovnimi seizmometri, zato ga lahko uporabimo za kontrolo točnega časa v seizmoloških zapisih. Natančna časovna usklajenost seizmoloških opazovanj je bistvenega pomena za vse količinske analize v seizmologiji. Yingjie in sodelavci (2015) so na primer pokazali, da se lahko 26-sekundno pulziranje iz Gvinejskega zaliva, kadar je signal dovolj močen, uporabi za alternativno časovno sinhronizacijo potresnih opazovalnic, ki so med seboj zelo oddaljene. Glede na to študijo lahko zato pričakujemo, da bomo lahko podoben postopek časovne sinhronizacije s pomočjo pulziranja iz Gvinejskega zaliva uporabili tudi pri starih seizmoloških analognih zapisih, ki so nastali pred letom 1971, ko bodo kakovostno digitalizirani. Leta 1971 je namreč začel delovati prvi svetovni radijski navigacijski sistem Omega, ki je pomagal pri časovnem usklajevanju potresnih opazovalnic med seboj po vsem svetu (Sinčič in Vidrih, 1994).

Viri in literatura

1. Euler, G. G., Wiens, D. A., Nyblade, A., 2013. Global 26s noise peak produced by primary microseisms generated in the Bight of Bonny, West Africa, SSA 2013. https://epsc.wustl.edu/~ggeuler/posters/ssa_2013-26s_microseisms.pdf, 27. 4. 2022.
2. Holcomb, L. G., 1998. Microseisms: A twenty-six-second spectral line in long-period earth motion. *Bull. Seismol. Soc. Amer.*, 70(4), 1055–1070.
3. Longuet-Higgins, M. S., 1950. A Theory on the origin of microseisms. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. A.* 243, 1–35.
4. Oliver, J., 1962. A worldwide storm of microseisms with periods of about 27 seconds. *Bull. Seismol. Soc. Amer.*, 52(3), 507–517.
5. Oliver, J., 1963. Additional evidence relating to A worldwide storm of microseisms with periods of about 27 seconds. *Bull. Seismol. Soc. Amer.*, 53(3), 681–685.
6. Peterson, J., 1993. Observations and modeling of background seismic noise. Open-file report 93–322, U. S. Geological Survey.
7. Shapiro, N., Ritzwoller, M., Bensen, G., 2006. Surce location of the 26 sec microseism from cross-correlations of ambient seismic noise. *Geophys. Res. Lett.*, 33, 1616–1623.
8. Sinčič, P., Vidrih, R., 1994. Pomen točnega časa pri registraciji potresov. *Ujma*, št. 8, 182–185.
9. Sinčič, P., Tasič, I., 2019. Prispevek k zgodovini seizmologije: 50 let neprekinjenega instrumentalnega tridimenzionalnega beleženja širokopasovnega spektra seizmičnih valov v Sloveniji. *Ujma*, št. 33, 211–218.
10. Tasič, I., 2015. Spodnja raven seizmičnega šuma v Sloveniji. *Ujma*, št. 29, 343–349.
11. Tasič, I., 2018. Seizmometer in pospeškometer – merilni par na potresni opazovalnici. *Ujma*, št. 32, 210–217.
12. Tasič, I., Vidrih, R., 2007. Zapisi oddaljenih potresov in notranja zgradba Zemlje. *Ujma*, št. 21, 155–163.
13. Vidrih, R., Sinčič, P., Tasič, I., Gosar, A., Godec, M., Živčič, M., 2006. Državna mreža potresnih opazovalnic, ur. Vidrih, R., Agencija RS za okolje, Ljubljana.
14. Yingjie, X., Sidao, N., Xiangfang, Z., 2013. Twin enigmatic microseismic sources in the Gulf of Guinea observed on intercontinental seismic stations *Geophys. J. Int.*, 194(1), 362–366.
15. Yingjie, X., Sidao, N., Xiangfang, Z., Jun, X., Baoshan, W., Songyong, Y., 2015. Synchronizing Intercontinental Seismic Networks Using the 26 s Persistent Localized Microseismic Source *Bull. Seismol. Soc. Amer.*, 105(4), 2101–2108.