

POVEČAN MIKROSEIZEM MED SEPTEMBRSKO POPLAVO

Elevated Microseismic Activity During the September Flooding

Izidor Tasič* UDK 550.343.4(497.4)

Povzetek	Abstract
Med poplavami, ki so septembra 2010 prizadele Slovenijo, smo na državni mreži potresnih opazovalnic na frekvenčnem območju med 0,25 Hz in 1 Hz zaznali povečan seizmični nemir. Zaradi sovpadanja tega pojava s poplavami smo pojav natančneje analizirali in ugotovili, da ga lahko opišemo kot sekundarni mikrosezem, ki ga je kot posledica pojavov ob topli fronti povzročilo valovanje Jadranskega morja v Tržaškem zalivu. Tak lokalni sekundarni mikrosezem je lahko koristen izvor seizmičnega signala za analizo potresne ranljivosti nekaterih objektov, čeprav je časovno in frekvenčno omejen ter prostorsko usmerjen.	During the floods in September 2010 that affected Slovenia, an increased seismic disturbance in the frequency range between 0.25 Hz and 1 Hz was observed on the seismic network of Slovenia. Because this phenomena coincided with floods it has been analysed in detail. The phenomena can be described as secondary macroseismic activity generated by the undulation of the Adriatic Sea in the Gulf of Trieste. The rolling was a result of the warm front. Such local secondary macroseismic activity can be a useful and a free-of-charge source of seismic signal for the analysis of seismic vulnerability of certain facilities despite being limited in time and frequency and spatially focused.

Uvod

Po prepričanju grškega filozofa Aristotela naj bi potres povzročal zrak, stisnjen v zemeljskih razpokah. Zrak naj bi vsake toliko pridrl na površje in pri tem povzročil tresenje zemlje. Zato je po Aristotelu vreme v trenutku pred potresom mirno, brez vetra, šele s prihodom močnih vetrov potresi prenehajo. Danes vemo, da je ta trditev napačna, zrak in veter pri nastanku potresa nimata nobene vloge. Lahko pa vplivata na rahlo nihanje tal, ki ga zaznavajo le občutljivi seizmološki instrumenti. V resnici ti instrumenti ne prestando zaznavajo šibko tresenje tal. Takšnemu šibkemu nihanju tal pravimo seizmični oziroma potresni nemir, ki je lahko naravnega ali umetnega izvora. Zelo močan stalni naravni vir nihanja tal je v nizkofrekvenčnem spektru seizmičnega nemira, in sicer v frekvenčnem območju med 0,02 Hz in 0,2 Hz, in ga imenujemo mikrosezem (Friedrich in sod., 1998). Je posledica valovanja v oceanih, ki nastaja zaradi atmosferskih motenj (vremenskih front), torej zaradi vpliva zraka. Zaradi njegovega izvora zaznavamo oceanski mikrosezem neprestano, kjer koli po vsem svetu, pa naj bodo te lokacije še tako oddaljene od oceanov, če to seveda omogočajo dovolj občutljivi seizmološki instrumenti (Peterson, 1993).

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

Na potresnih opazovalnicah državne mreže občasno zaznavamo tudi izrazit seizmični nemir na frekvenčnem območju med 0,25 Hz in 1 Hz. Izrazitejše nihanje tal na tem frekvenčnem območju smo zaznali tudi med 17. in 19. septembrom 2010, med poplavami, ki so prizadele posamezne dele Slovenije. Zaradi sovpadanja obeh pojavov smo natančneje analizirali izvor tega seizmičnega nemira, ki je bil večji na potresnih opazovalnicah, bližjih Tržaškemu zalivu, iz česar je razvidno, da bi njegov vir lahko bilo povečano valovanje Jadranskega morja v Tržaškem zalivu.

Oceanski primarni in sekundarni mikrosezem

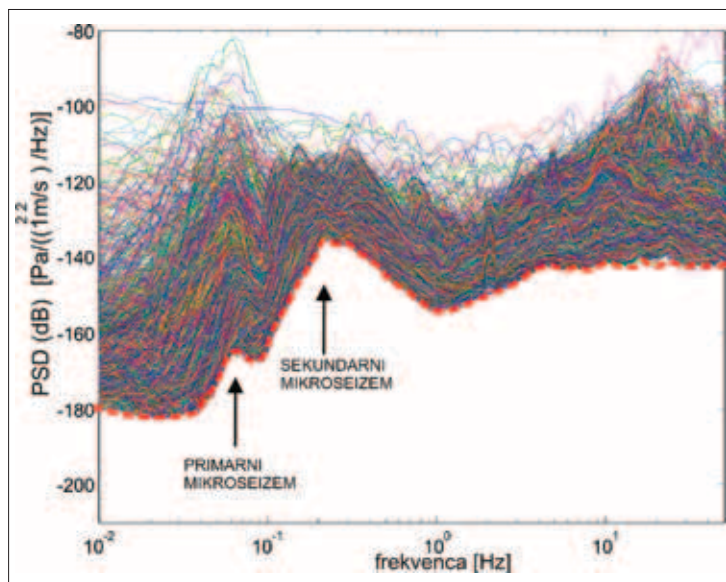
Da valovanje v oceanih vpliva na nihanje tal, so ugotovili že ob začetkih instrumentalne seizmologije. Tako je leta 1904 Wiechert ugotovil povezavo med povečanim mikrosezemom in povečanim valovanjem oceana ob obali. Nov velik korak je bil narejen leta 1950, ko je Longuet-Higgings (Longuet-Higgings, 1950) razložil nastanek sekundarnega oceanskega mikrosezima. Tako imenovani oceanski mikrosezem ima dva vrhova. Prvi vrh, pravimo mu primarni mikrosezem, je na frekvenci približno 0,07 Hz, drugi vrh ali sekundarni mikrosezem je na frekvenci okoli 0,14 Hz. Slika 1 prikazuje spektralno gostoto moči seizmičnega nemira, izračunanega na potresni

opazovalnici Kog, in sicer na vsako polno uro za leto 2010. Spodnja krivulja, označena s črtkano rdečo barvo, označuje mejo, pod katero je seizmični nemir pri določeni frekvenci nenehno prisoten. Pod to mejo instrumenti na tej lokaciji ne morejo zaznati seizmičnega dogodka, ker je prekrit s seizmičnim nemirom. Vrhova primarnega in sekundarnega (oceanskega) mikroseizma sta označena s puščico in sta glavni in stalni vir seizmičnega nemira na tem frekvenčnem območju.

Primarni mikroseizem je rezultat težnih površinskih valov. Površina tekočine, ki se nahaja v gravitacijskem polju, je v ravnovesju ravna. Če v to ravnovesje vnesemo motnjo, ki jo recimo ustvari veter, pride zaradi vala do spremembe površine, kar pomeni spremembo potencialne energije in posledično širjenje valov na prostem površju. Takim valovom pravimo težni površinski valovi. Valovanje ne poteka samo po površju, temveč se nihanje delcev prenese tudi v globino. V globoki vodi prodira nihanje v globino v obliki Rayleighovih valov, pri katerih so orbite delcev vode krožnice (slika 2). V vodnem stolpcu so vsi delci v fazi in ustvarijo spremembo tlaka. Ker se radij orbite eksponentno zmanjšuje z globino, se tako zmanjšuje tudi razlika v spremembi tlaka, ki nastane kot posledica valovanja. Zato v globoki vodi samo zanemarljiv del neposrednih sprememb v tlaku doseže morsko dno (dno oceana) in zato ne more ustvariti nihanja tal. Ko

pa ti valovi pridejo do obale, motnja tako rekoč neoslabljena doseže morsko dno in s tem ustvari sorazmerno močno vertikalno nihanje tal. Poleg tega pri prehajanju valov proti plitvini krožnice nihanja delcev vode vse bolj in bolj mutirajo v elipse. Tako dobimo v plitvini, zaradi trenja med vodo in morskim dnom, še horizontalno nihanje tal. Če lahko vertikalno nihanje tal ustvari samo Rayleighove valove, horizontalne sile ustvarijo tudi tako imenovane Lovejeve valove. Izvor primarnega mikroseizma so tako območja na obalah oceanov, kjer lahko na plažah ali strmih obalah opazujemo velike amplitude valov. Relativna razlika med Lovejevimi in Rayleighovimi valovi, ki jo zaznamo na potresni opazovalnici, je posledica različnih dejavnikov, kot so amplituda valov, globina vode na področjih s plitvo vodo, trenja na morskem dnu in geometrija obale ter morskega dna.

Izvor sekundarnega oceanskega mikroseizma so stoječi oceanski valovi. Superpozicija dveh nasproti potujočih valov lahko privede do stoječega valovanja s polovično valovno dolžino potujočega valovanja. Glede na Bernulijevo enačbo sledi, da pri stojećem valovanju spreminjanje povprečnega tlaka na morskem dnu ni odvisno od globine morja, temveč le od produktov amplitud obeh nasproti potujočih valov, s čimer se na oceanskem dnu ustvari vir za mikroseizmični nemir s polovično valovno dolžino primarnega mikroseizma. Ker je amplituda stoje-

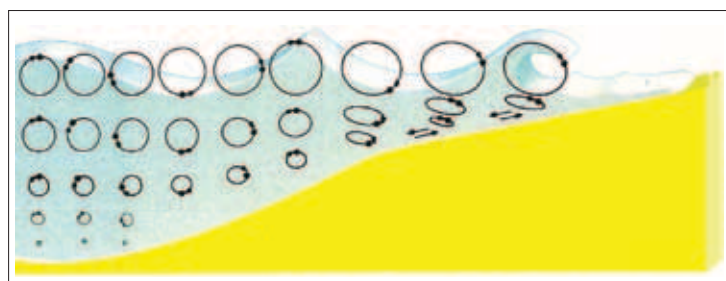


Slika 1:

Spektralna gostota moči seizmičnega signala, zabeleženega na naši potresni opazovalnici z oznako KOGS, leta 2010. Vsaka polna črta na sliki predstavlja izračunan spekter gostote moči signala za posamezno uro. Spodnja rdeča črtkana krivulja označuje mejo, pod katero je seizmični nemir nenehno prisoten. S puščicama sta označena vrhova primarnega in sekundarnega oceanskega mikroseizma.

Figure 1:

The spectral density of the seismic signal strength in 2010 recorded at our seismic station marked KOGS. The lower red dashed curve marks the border below which seismic disturbance is constantly present. The two arrows mark the peaks of the primary and the secondary macroseismic activity in oceans.



Slika 2:

Valovanje na sliki povzročajo vetrovi. Ko se valovanje širi v globino, se kroženje delcev z globino manjša in v globoki vodi motnja ne doseže morskega dna. Izvor primarnega mikroseizma so zato območja na obalah oceanov, kjer lahko na plažah ali strmih obalah opazujemo velike amplitude valov.

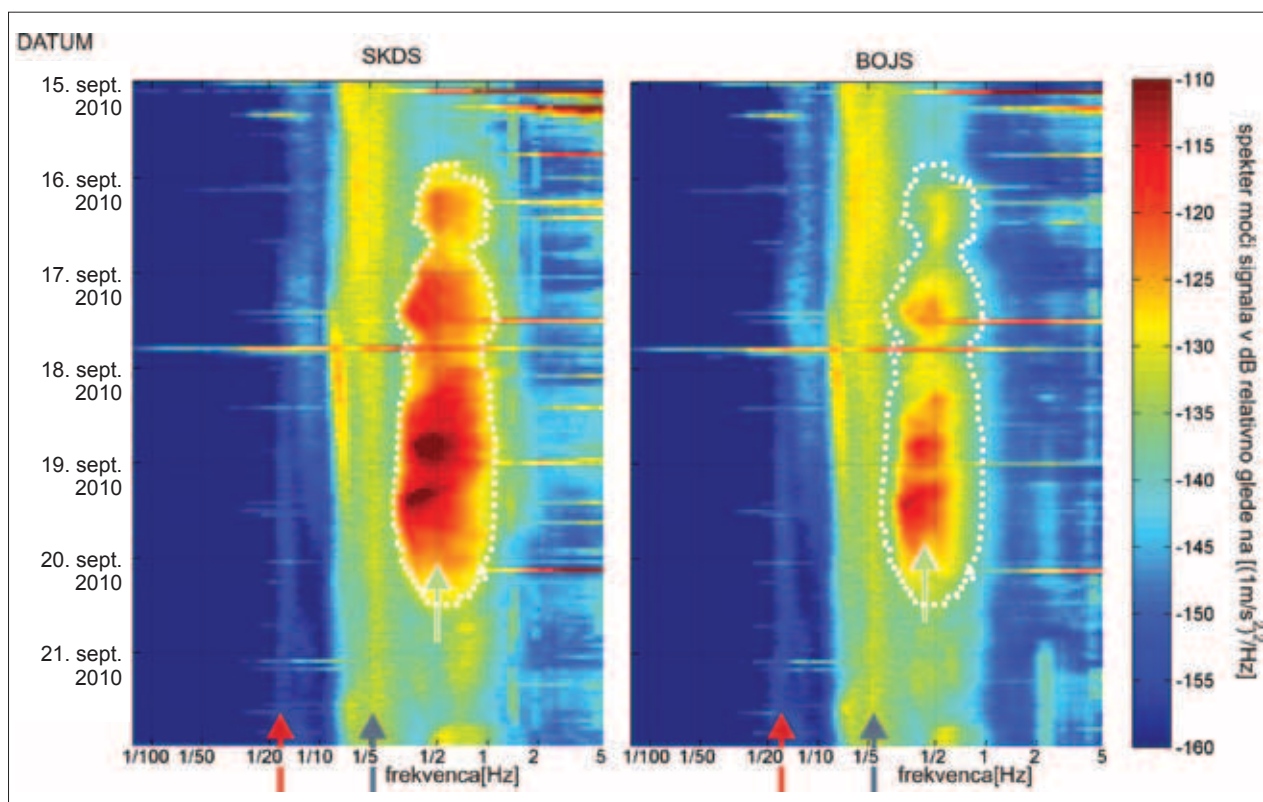
Figure 2: The figure represents the undulation caused by winds. As the undulation spreads in the depth of the sea the circulation of particles decreases and the disturbance never reaches the sea-bed in deep waters. Hence the primary microseismic activity originates in the coastal area of oceans where a large amplitude of waves at steep seashores or at the beach can be observed.

čega vala produkt amplitud obeh nasproti potujočih valov, ima sekundarni mikrosezem mnogo večjo amplitudo kot primarni. Po Longuet-Higgings (Longuet-Higgings, 1950) naj bi sistem stojećih valov nastal v središču ciklona, vendar se s tem Friedrich in sodelavci (Friedrich in sod., 1998) niso strinjali. Ugotovili so, da je smer prihoda sekundarnega mikrosezima do potresnih opazovalnic, ki pripadajo mreži potresnih opazovalnic Gräfenberg v južni Nemčiji, sorazmerno konstantna ter ne sledi premikanju vremenske fronte. Za nastanek sekundarnega mikrosezima je zato poleg vremenske fronte pomembna še lokalna geometrija obale, ki zagotavlja interferenco oceanskih valov.

Povečan mikrosezem zaradi povečanega valovanja Jadranskega morja v Tržaškem zalivu

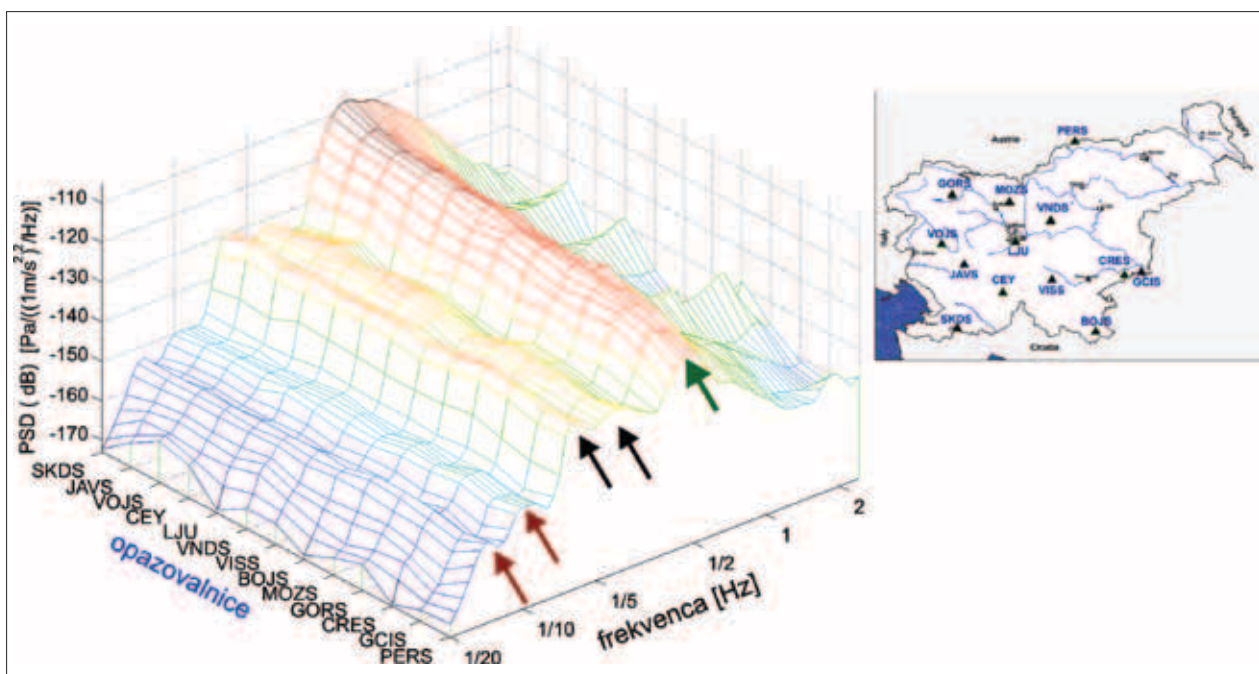
Izrazit seizmični nemir na frekvenčnem območju med 0,2 in 1 Hz smo na državni mreži potresnih opazovalnic zaznali med septembrskimi poplavami. Povečan mikro-

sezem se je začel že 16. septembra, izrazit vrh pa je dosegel ob koncu 18. in sredi 19. septembra (slika 3). Seizmični nemir je bil večji na potresnih opazovalnicah, ki so bile bližje Tržaškemu zalivu (slika 4). Glede na podatke o srednji periodi valov iz oceanografske boje pred Piranom, z upoštevanjem Longuet-Higgingsovih enačb o nastanku primarnih in sekundarnih seizmičnih valov ter ob dejstvu, da velikost seizmičnega nemira na tem frekvenčnem območju pada z oddaljenostjo potresne opazovalnice od Tržaškega zaliva, prepoznamo in razvrstimo ta tip seizmičnega nemira v sekundarni mikrosezem, ki ima izvor v povečanem valovanju Jadranskega morja v Tržaškem zalivu. Povečano valovanje v teh dnevih je bilo torej posredno rezultat tople fronte, ki je bila v tem času nad severnim Jadranom, Tržaški zaliv pa je bil pod vplivom pojavov ob fronti, predvsem močnejših vetrov in hitrih sprememb pritiska ter striženja smeri vetra po višini (slika 5) (Planinšek, 2011). Primarnega mikrosezima, ki ima izvor v povečanem valovanju Jadranskega morja v Tržaškem zalivu, na potresnih opazovalnicah ne moremo zaznati, ker je njegova amplituda zakrita z oceanskim sekundarnim mikrosezimom. Slika 3 prikazuje spektralno gostoto moči signala med 15. in 20. septembrom, in sicer na dveh potresnih opazovalnicah, ki sta opremljeni z enako opremo. Na obeh opazovalnicah za-



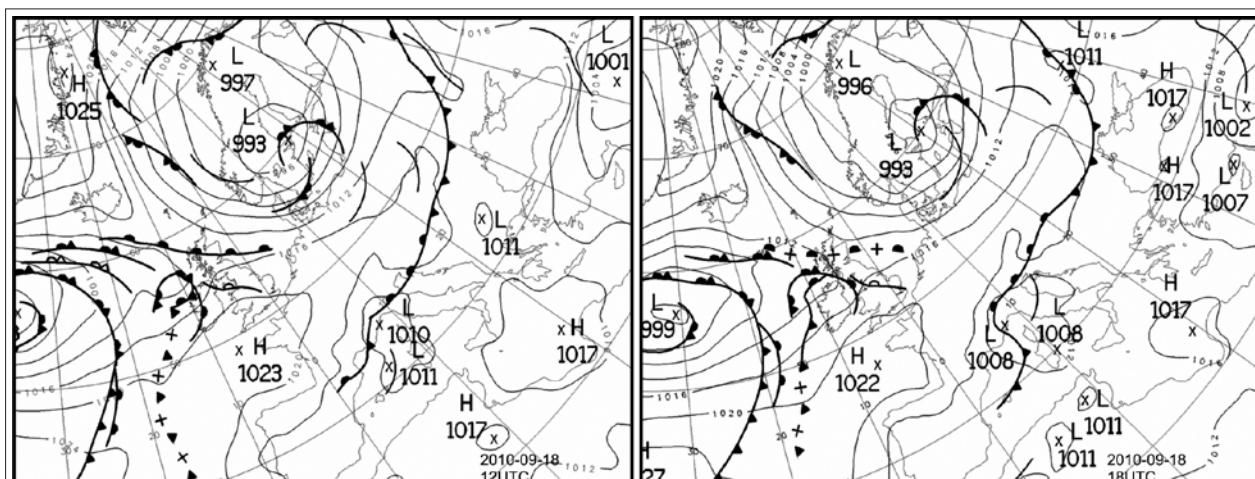
Slika 3: Časovni prikaz spektralne gostote moči signala za potresni opazovalnici SKDS in BOJS. Rdeča puščica kaže na primarni oceanski mikrosezem, siva pa na sekundarnega. Zelena puščica kaže na sekundarni mikrosezem Tržaškega zaliva (označen z belo črtkano črto), ki ima večjo jakost na potresni opazovalnici SKDS kot na opazovalnici BOJS.

Figure 3: Temporal overview of the spectral density of the seismic signal strength for seismic stations SKDS and BOJS. The red arrow shows the primary microseism in the oceans and the grey arrow demonstrates the secondary microseism in the oceans. The green arrow demonstrates the secondary microseismic activity in the Gulf of Trieste (marked with a white dashed line) with greater magnitude at the SKDS seismic station than the BOJS seismic station.



Slika 4: Spektralna gostota moči signala za seizmični nemir na trinajstih slovenskih potresnih opazovalnicah. Spektralna gostota moči za posamezno opazovalnico je bila izračunana za 18. september za seizmični nemir med 20. in 21. uro UTC. Ob tej uri zaznamo dva lokalna maksimuma primarnih (rdeči puščici) in sekundarnih (sivi puščici) oceanskih mikrosezimov. Spektralna gostota moči teh mikrosezimov je na vseh potresnih opazovalnicah približno enaka. To pa ne velja za lokalni mikrosezim (zelena puščica) iz Tržaškega zaliva, kjer spektralna gostota moči pada z oddaljenostjo potresne opazovalnice od zaliva.

Figure 4: Spectral density of the seismic signal strength for determining seismic disturbance at thirteen Slovenian seismic stations. The spectral density of strength for an individual station was calculated for 18 September; for seismic disturbance between 20 and 21 hrs UTC. At this time two local maximum values of primary (red arrow) and secondary (grey arrow) microseismic activities in the oceans are detected. The spectral density of the strength of these microseismic activities is approximately the same at all stations. However, this does not apply to local microseismic activity (green arrow) in the Gulf of Trieste where the spectral density of strength reduces in relation to the distance of a seismic station from the Gulf of Trieste.



Slika 5: Sinoptični karti za 18. 9. 2010 ob 12. in ob 18. uri UTC prikazujeta burno dogajanje nad Tržaškim zalivom.

Figure 5: Synoptic charts for 18 October 2010 at 12h UTC and 18h UTC demonstrate turbulent activity above the Gulf of Trieste.

znava nihanje tal vrhunski seizmometer STS-2. Potresna opazovalnica z oznako SKDS (Skadanščina) je bližje Tržaškemu zalivu kot potresna opazovalnica z oznako BOJS (Bojanci). Jakost spektra gostote moči signala je prikazana v barvah. Vrh primarnega oceanskega mikrosezima je označen z rdečo puščico, vrh sekundarnega

pa s sivo. Jakosti vrhov primarnega (rdeča puščica) in sekundarnega (siva puščica) oceanskega mikrosezima sta na obeh opazovalnicah skoraj enaki. To pomeni, da je razdalja med opazovalnicama majhna glede na razdaljo do izvora primarnega in sekundarnega oceanskega mikrosezima. Sekundarni mikrosezim Tržaškega zaliva, ki

se nahaja na frekvenčnem območju med 0,2 in 1 Hz (mikroseizem je označen z zeleno puščico), je bil izrazitejši na potresni opazovalnici SKDS, ki je bližje Tržaškemu zalivu kot potresna opazovalnica BOJS. Še nazorneje je to prikazano na sliki 4, na kateri je prikazana izračunana spektralna gostota moči signala za trinajst slovenskih potresnih opazovalnic. Spektralna gostota moči je bila izračunana za merske podatke, dobljene 18. septembra med 20. in 21. uro UTC. Na sliki 3 lahko vidimo, da sta bila ta dan ob tej uri dva lokalna maksimuma primarnih in sekundarnih oceanskih mikroseizmov. Na sliki 4 je spektralna gostota moči teh mikroseizmov na vseh potresnih opazovalnicah približno enaka. To pa ne velja za lokalni mikroseizem iz Tržaškega zaliva, pri katerem spektralna gostota moči pada z oddaljenostjo potresne opazovalnice od zaliva.

Uporabnost mikroseizma iz Tržaškega zaliva za opazovanje potresne ranljivosti objektov

Povečan sekundarni mikroseizem, ki ima svoj izvor v Tržaškem zalivu, za nekaj časa poveča seizmični nemir na omejenem frekvenčnem območju in zato v tem času poslabša občutljivost potresne opazovalnice pri zaznavanju zelo šibkih seizmičnih dogodkov. Hkrati pa je to koristen in brezplačen izvor seizmičnega signala, četudi frekvenčno omejenega in prostorsko usmerjenega, za analizo lokalne geologije, predvsem za analizo lokalne geološke strukture (Dolenc in Dreger, 2005; Rhie in Dreger, 2009), ki je v smislu opazovanja dovolj majhna glede na izvor. Ravno tako je ta mikroseizem lahko koristen pri analizi odziva vzdolžnih gradbenih struktur, kot so mostovi, predori ali jezovi, pri katerih nas zanimajo prostorski vplivi seizmičnega nihanja tal na objekte (Zerva, 2009). Sekundarni mikroseizem iz Tržaškega zaliva nam torej odpira dodatne možnosti za analizo in vrednotenje različnih geofizikalnih informacij ter s tem povečuje predvidevanja o odzivu tal in objektov pri morebitnem potresu.

Sklepne misli

Med poplavami, ki so prizadele Slovenijo med 17. in 19. septembrom 2010, smo na opazovalnicah državne mreže potresnih opazovalnic zaznali na frekvenčnem območju med 0,25 in 1 Hz povečan sekundarni mikroseizem, ki ga je povzročilo valovanje Jadranskega morja v Tržaškem zalivu. Valovanje je nastalo kot posledica pojavov ob topli vremenski fronti. Ta je bila tudi vzrok za nastanek poplav v nekaterih delih Slovenije – poplave torej niso vzrok za povečan lokalni mikroseizem, temveč povečano valovanje v Tržaškem zalivu kot posledica vremenske fronte. Pri celoletni analizi spektralne gostote moči seizmičnega signala lahko opazimo, da se pojav povečanega lokalnega mikroseizma ponavlja skozi vse leto, predvsem pa jeseni in pozimi, ob vremenskih frontah. Za nastanek sekundarnega mikroseizma v severnem delu Jadranskega morja je poleg vremenske fronte pomembna še geometrija obale Tržaškega zaliva, ki zagotavlja interferenco valov Jadranskega morja. Ker med opazovalnicami ni korelacije med seizmičnim signalom, obstaja pa korelacija s spektralno gostoto moči seizmičnega signala, sledi, da izvor sekundarnega mikroseizma v Tržaškem zalivu ni točkoven oziroma prostorsko skrajno omejen, temveč zavzema neko območje, ki glede na razdaljo med potresnimi opazovalnicami ni ravno majhno.

Viri in literatura

1. Dolenc, D., in Dreger, D., 2005. Microseisms observations in the Santa Clara Valley, California. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 95, 1137–1149.
2. Friedrich, A., Krüger, F., in Klinge, K., 1998. Ocean generated microseismic noise located with the Gräfenberg array. *J. Seismol.*, 2, 47–64.
3. Longuet-Higgins, M. S., 1950. A Theory on the origin of microseisms. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. A*. 243: 1–35.
4. Peterson, J., 1993. Observations and modelling of background seismic noise. Open-file report 93-322, U. S. Geological Survey, Albuquerque, New Mexico.
5. Planinšek, A., Agencija Republike Slovenije za okolje, osebna komunikacija, februar, 2011.
6. Rhie, J., Dreger, D., 2009. A simple method for simulating microseism H/V spectral ratio in 3D structure, *Geosciences Journal*, 13, 401–406.
7. Zerva, A., 2009. *Spatial Variation of Seismic Ground Motions*, CRC Press.