

SPODNJA RAVEN SEIZMIČNEGA ŠUMA V SLOVENIJI

THE LOWER LEVEL OF SEISMIC NOISE IN SLOVENIA

UDK 550.348.432(497.4)

Izidor Tasič

mag., Ministrstvo za okolje in prostor, ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, Dunajska 47, Ljubljana, izidortasic@gov.si

Povzetek

Struktura in raven seizmičnega šuma, ki ju v potresni opazovalnici izmerimo hkrati kot potres, lahko vplivata na pravilno prepoznavanje šibkega signala potresa. Vnaprejšnje poznavanje spodnje ravni seizmičnega šuma na lokaciji potresne opazovalnice nam zato omogoča predvideti uspešnost prepoznavanja šibkih signalov potresov na tem območju. Opredelitev vseh izvirov seizmičnega šuma je za vsako potresno opazovalnico zelo kompleksna naloga, zato si raje pomagamo z modelom spodnje ravni seizmičnega šuma. Pri pripravi modela spodnje ravni seizmičnega šuma za Slovenijo je bilo treba poznati značilnosti seizmološke opreme državne mreže potresnih opazovalnic, preučiti lastnosti seizmičnega šuma na posameznih lokacijah ter zbrati in analizirati kakovostne meritve, ki so obsegale čim daljši časovni interval merjenja.

Abstract

The seismic noise recorded at the same time as an earthquake could affect the proper identification of weak earthquake signals. The prior knowledge of seismic noise level at the location of the seismic station allows us to predict the performance of the identification of weak earthquake signals. Since the definition of all the sources of seismic noise for each particular seismic station is a very complex task, the use of so-called "Low Seismic Noise Model" is preferred. For the development of "Slovenian Low Noise Model" it was necessary to understand the characteristics of the seismic equipment of the national seismic network, to examine the characteristics of seismic noise at particular seismic stations and to collect and analyse quality seismic data in as long as possible time interval.

Uvod

Glavni namen potresne opazovalnice je merjenje potresov. Zapis potresa, ki je nastal v potresni opazovalnici, je vhodni podatek za opredeljevanje potresnih parametrov in posledično drugih geofizikalnih podatkov. Ob močnejšem potresu tako s pomočjo podatkov iz več opazovalnic omogočimo hitro obveščanje pristojnih služb in javnosti o lokaciji nadzornišča potresa ter velikosti oziroma magnitudi potresa. Instrumenti v potresnih opazovalnicah morajo zaznati tudi zelo šibke lokalne potrese, ki ne povzročajo škode, vendar so pomemben vir informacij za analizo potresnih značilnosti potencialnih aktivnih prelomov na opazovanem območju. Šibki signali potresa so lahko tudi teleseizmi oziroma oddaljeni potresi, katerih vrednotenje je pomembno za pripravo geofizikalnega modela notranjosti Zemlje. Takšnega šibkega nihanja tal zaradi potresa ljudje s svojimi čutili ne zaznajo, sodobni instrumenti v potresnih opazovalnicah pa jih. Na kakovost merjenja šibkih signalov potresov vplivajo šumi ali motnje, ki niso posledica potresa. Da lahko pravilno razlagamo šibek signal potresa, je bistveno, da ga lahko ločimo od šumov. Signal potresa je torej želeni del izmerjenih podatkov, šumi pa predstavljajo neželeni del zapisa na seizmogramu in izvirajo iz vibracij tal nepotresnega izvora. Raven seizmičnega šuma glede

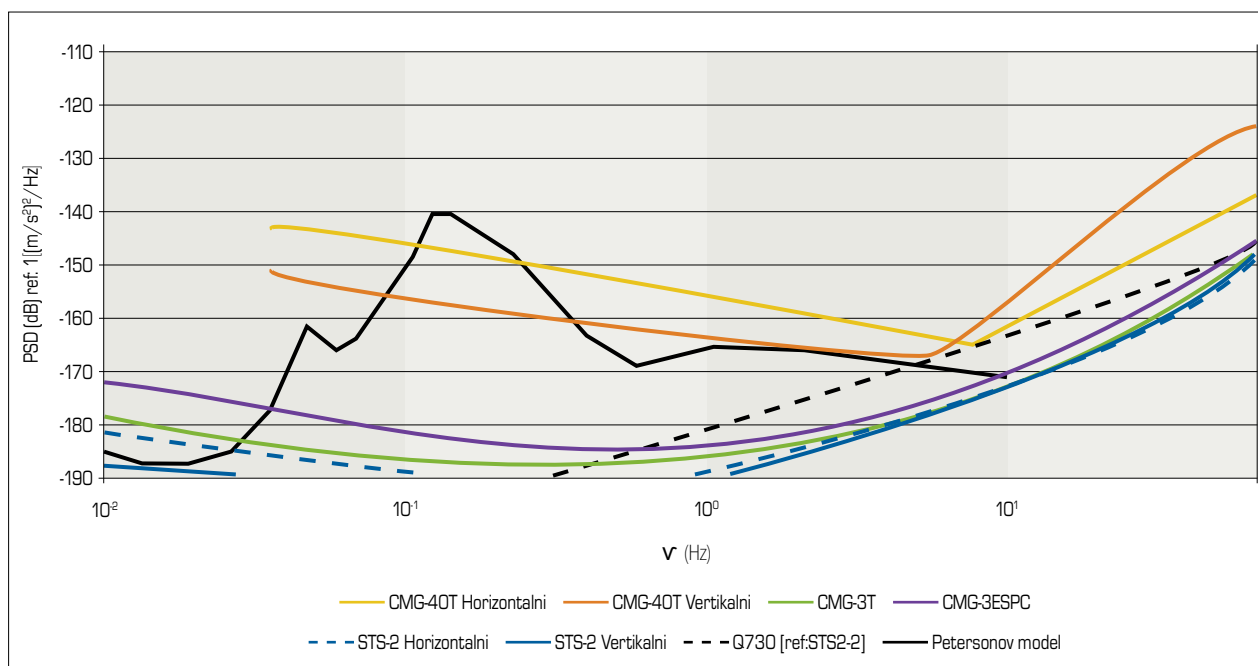
na raven signala potresa opredeljuje možnost pravilne prepoznave potresa. Vnaprejšnje poznavanje spodnje ravni seizmičnega šuma na izbranem frekvenčnem območju v nekem lokalnem okolju nam omogoča predvideti uspešnost prepoznave šibkih potresov na tem območju.

Izvori seizmičnih šumov se prostorsko in časovno zelo razlikujejo, prav tako se razlikujejo njihove amplitude nihanja tal, različna pa so tudi njihova frekvenčna območja. Seizmični šum na neki lokaciji je posledica različnih lokalnih, regionalnih in globalnih virov, in sicer je nihanje tal posledica valovanja v oceanih, ko valovi udarjajo ob obalo, povzročajo jih delovanje vetra na drevesa ali zgradbe, industrijski stroji, avtomobili in vlaki ali hoja posameznika v bližini merilne točke itn. S prepoznavo teh šumov in poznavanjem njihove dinamike skozi čas poskušamo razumeti fizikalne pojave izvorov ter tako določiti njihove značilnosti. Opredelitev vseh izvirov za vsako posamezno potresno opazovalnico je zelo kompleksna naloga, zato si pogosto raje pomagamo z oceno spodnje ravni seizmičnega šuma na nekem območju v obliki modela, ki ga prikažemo na spektrih močnostne gostote seizmičnih signalov.

Globalni model spodnje ravni seizmičnega šuma

Modele spodnje ravni šuma delimo na globalne in regionalne. Cilj globalnega modela je prikazati absolutno, na svetu najnižjo izmerjeno raven seizmičnega nemira na prostem površju v celotnem frekvenčnem območju seizmičnih meritev. Tak globalni model je zelo uporaben kot referenca za ocenjevanje kakovosti potresnih opazovalnic. Zelo pomemben je tudi pri vrednotenju kakovosti seizmoloških naprav, kot so seizmometri in zajemalne enote. Z njim si pomagamo pri iskanju novih primernih lokacij za potresne opazovalnice. Uporaben je še na drugih področjih, kot je na primer napovedovanje zmožnosti odkrivanja šibkih signalov na nekem opazovanem območju. Prve take modele so začeli pripravljati že ob koncu petdesetih let prejšnjega stoletja. Na njihovo kakovost in predvsem slabo uporabnost je poleg razmeroma majhne gostote potresnih opazovalnic po svetu vplival predvsem analogni način shranjevanja podatkov o nihanjih tal. Na večini potresnih opazovalnic so se meritve nihanja tal v tem času še vedno beležile s črnilom na papir, zato sta bili dostopnost do podatkov in njihova naknadna obdelava oteženi. Ob koncu osemdesetih in v začetku devetdesetih let prejšnjega stoletja je imel pomembno vlogo pri analizi in katalogiziranju ozadja seizmičnega šuma Peterson. Leta 1993 je v poročilu z naslovom *Observation and modeling of seismic background noise* (Peterson, 1993) predstavil nov model spodnje ravni šuma (new low noise model).

Za tisti čas je Peterson zbral zelo velik nabor spektrov močnostne gostote navpičnih seizmogramov iz potresnih opazovalnic, ki so bile po vsem svetu. Model spodnje ravni šuma je bil pripravljen s podatki petin-sedemdesetih potresnih opazovalnic in je zajel široko frekvenčno območje od 10 do 10^{-5} Hz. Njegov model je v tem času predstavljal najnižji prispevek navpičnega nihanja tal zaradi naravnih virov na prostem površju, zato se je zelo razširil med različnimi uporabniki seizmoloških podatkov in seizmološke merilne opreme. Tako je postal neuraden standard in se široko uporablja še danes. S Petersonovim modelom se raziskave globalnega modela seizmičnega šuma niso končale, saj ima kljub priljubljenosti nekaj pomanjkljivosti. Glavna je, da je narejen le za navpično komponento nihanja tal, sodobni seizmometri pa merijo nihanja tal prostorsko, tudi v vodoravni ravnini. Nova analitična orodja so postala dostopna in število potresnih opazovalnic se je močno povečalo, zato je obstajalo vedno več kazalnikov, da na nekaterih frekvenčnih območjih ta model ne predstavlja več resničnega najtišjega prispevka nihanja tal na prostem površju in da obstajajo pomembne razlike na spodnji ravni šuma med vodoravno in navpično komponento nihanja tal. Leta 2004 je Berger s sodelavci predstavil nov globalni model spodnje ravni šuma (Berger in drugi, 2004) tako za navpično kot vodoravno komponento. Model je temeljil na enoletnih podatkih iz obdobja 2002–2003 iz 118 potresnih opazovalnic seizmološkega omrežja Global Seismographic Network (GSN). To je sodobna seizmološka mreža, sestavljena iz več kot 150 potresnih opazovalnic, ki so v več kot 80 državah



Slika 1: Modeli instrumentalnih šumov za seizmometre CMG-40T, CMG-3ESPC, CMG-3T in STS-2 ter povprečni lastni šum za zajemalno enoto Q730. Za primerjavo je Petersonov model spodnje ravni seizmičnega šuma. Seizmometer CMG-40T ima frekvenčni razpon od 0,033 do 50 Hz, drugi tipi seizmometrov, uporabljeni v DMPD, imajo frekvenčni razpon od 0,008 do 50 Hz.

Figure 1: Self-noise models for seismometers CMG-40T, CMG-3ESPC, CMG-3T, STS-2 and acquisition unit Q370, regarding to the Peterson Noise Model. Seismometer CMG-40T has the frequency range from 0.033 Hz to 50 Hz, other types of seismometers, used in SNSN, have the frequency range from 0.008 Hz to 50 Hz.

po vsem svetu. Potresne opazovalnice GSN so opremljene z zelo kakovostno opremo, na vsaki lokaciji pa so vsaj dva vrhunska širokopasovna seizmometra in en pospeškometer. S tako kombinacijo lahko v teh potresnih opazovalnicah hkrati zaznavajo tako vpliv Lune na Zemljo, saj lahko zaznajo nihanje tal s periodami nekaj tisoč sekund, kot tudi močna visokofrekvenčna nihanja tal, ki so posledica potresov v neposredni bližini, kjer so periode nekaj desetih sekunde. Zaradi globalne razporeditve in vrhunske opremljenosti teh potresnih opazovalnic ter tudi statusa te mreže v svetovni seizmologiji so snovalci novega globalnega modela za določanje spodnje ravni seizmičnega nemira uporabili seizmične podatke le s te mreže. Rezultati njihovega modela (model GSN) so zanimivi za uporabnike, predvsem na območjih nizkih frekvenc. Navpični model potrjuje, da Petersonov model pri nizkih frekvencah manj kot približno 0,1 Hz ne predstavlja več najtišjega prispevka navpičnega nihanja tal zaradi naravnih virov na prostem površju. Vodoravnega modela GSN ne moremo neposredno primerjati s Petersonovim, ker tak model pri Petersonu ne obstaja, je pa po primerjavi modelov očitno, da so razlike med ravnjo šumov navpične in vodoravne komponente. Glavna slabost modela GSN je, da je zajel le enoletno obdobje, zato predvsem pri nižjih frekvencah ni mogel preveriti sprememb, ki se dogajajo v daljših obdobjih. Kot primer lahko navedemo, da lokalni maksimum primarnega mikroseizma, ki je pri približno 0,06 Hz, ni vsako leto na popolnoma isti frekvenci in nima enake velikosti. Obdobje 2003–2004 na tem frekvenčnem območju ni bilo »najtíšje«. Poglobljene študije o teh dolgočasovnih spremembah tudi še ni bilo narejene.

Čeprav je model GSN novejši, ni splošno sprejet v seizmologiji. Razloga sta predvsem dva. Petersonov model že dolgo predstavlja orientacijske vrednosti, na katere so ljudje navajeni, in to je verjetno najpomembnejši razlog. Drugi razlog je, da je velika večina seizmoloških instrumentov definirana za območje do 0,0083 Hz in ima instrumentalni šum, ki je v mejah Petersonovega modela. Prav tako se pri veliki večini predstavitev spektrov močnostne gostote seizmoloških instrumentov še vedno uporabljajo le podatki iz navpičnih komponent. Tako razvijalci nove opreme kot uporabniki nimajo potrebe, da bi svoje rešitve primerjali z dvema različnima modeloma, saj zadostuje že Petersonov. Pomembno je tudi, da je kljub boljši opremljenosti potresnih opazovalnic omrežja GSN navpični model GSN na posameznih frekvenčnih območjih celo nad ravnjo Petersonovega modela, za kar je najverjetneje kriv že omenjeni časovni interval, uporaben pri pripravi modela GSN. Vse to zmanjšuje njegovo vrednost oziroma lahko podvomimo o resnični izboljšavi ter njegovi uporabnosti v seizmologiji, saj bi novejši globalni model moral upoštevati tudi pozitivne ugotovitve analiz starejših modelov. Model GSN je pokazal, da obstajajo tišje lokacije, ki jih je smiselno iskati naprej, in da znani globalni modeli trenutno še ne predstavljajo absolutno najtišjih območij na prostem površju.

Regionalni model spodnje ravni šuma

Regionalni modeli spodnje ravni šuma so namenjeni prostorsko omejenemu območju, na katerem opravljamo meritve lokalna mreža potresnih opazovalnic. Pri lokalnih mrežah je glavni cilj spremljanje potresne dejavnosti v regiji. Poznavanje spodnje ravni detekcije lokalnih potresov je pomembno pri razumevanju občutljivosti mreže. Model spodnje ravni šuma je pomemben tudi za prepoznavanje lokalnih značilnosti seizmičnega nemira, pri nadzoru kakovosti delovanja potresnih opazovalnic in načrtovanju njihovih izboljšav. Frekvenčno območje regionalnih modelov pokriva frekvenčno območje instrumentov v mreži, zato pogosto ne zavzema tako širokega, kot to velja za globalne modele. Lokalni modeli lahko prispevajo svoje ugotovitve tudi h globalni analizi seizmičnega nemira (na primer Abd el-aal in Soliman, 2013).

Zaradi različnih razlogov je opremljenost potresnih opazovalnic v nekem omejenem regionalnem okolju pogosto manj enotna kot v globalnih mrežah. Kadar je oprema slabša, se to kaže na večjem instrumentalnem šumu, kar posredno lahko vpliva tudi na vrednosti lokalnega modela spodnje ravni šuma. Šibke signale potresa lahko v potresni opazovalnici zakrije seizmični nemir ozadja ali instrumentalni šum. Oboje skupaj sestavlja spodnjo raven šuma v posamezni opazovalnici. Če na spodnjo raven šuma vplivajo seizmološki instrumenti, se lahko ta izboljša z uporabo bolj kakovostne opreme. Včasih pomaga tudi, da zagotovimo boljše delovne razmere. Primer za to je kakovostna termična izolacija dolgoperiodnih seizmometrov, s čimer vplivamo na kakovost pridobivanja podatkov pri nizkih frekvencah (Mali in Tasič, 2011). Če spodnjo raven šuma predstavlja le seizmični nemir ozadja, nanj v večini primerov ne moremo vplivati. Priprava regionalnega modela spodnje ravni šuma je kombinacija poznavanja značilnosti seizmološke opreme, značilnosti izvorov seizmičnega šuma in kakovostnih meritev, ki naj obsegajo čim daljši časovni interval. To je veljalo tudi pri pripravi modela spodnje ravni seizmičnega šuma za Slovenijo.

Vpliv seizmološke opreme na slovenski model

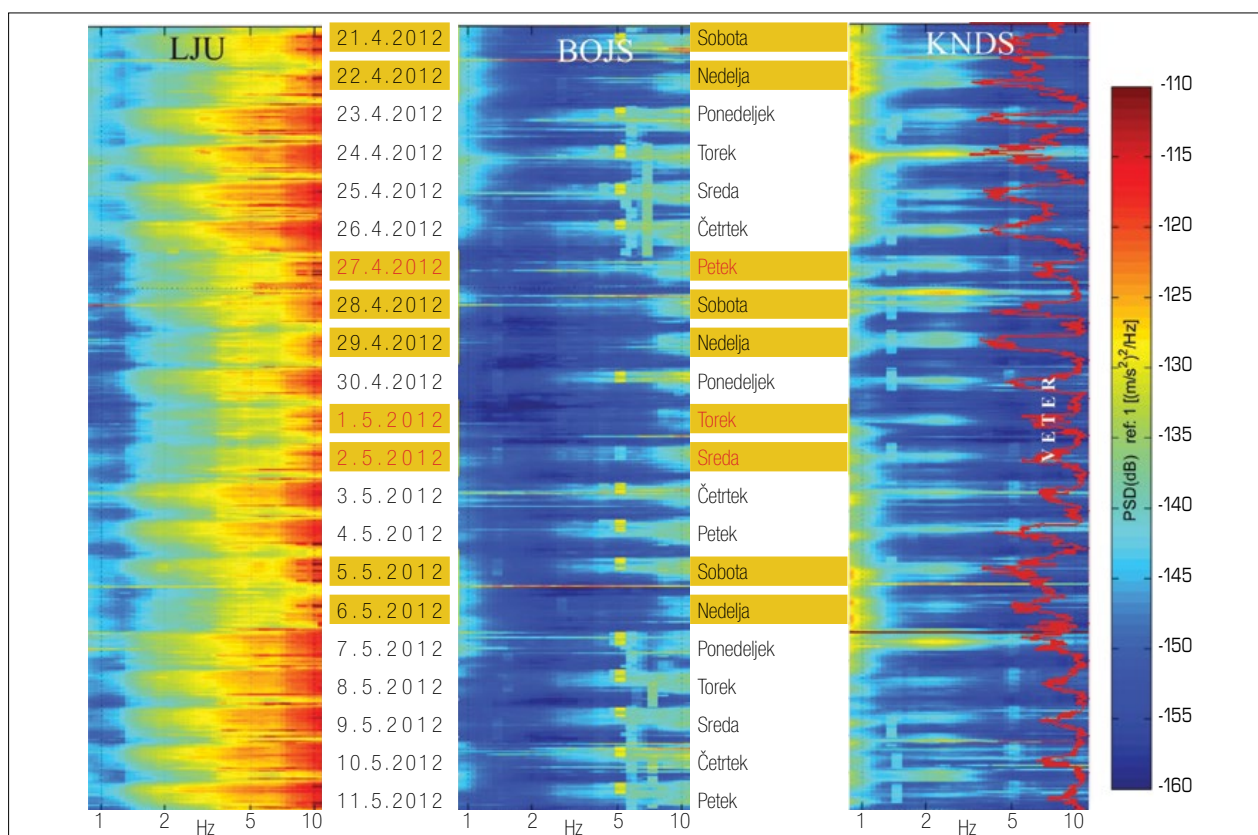
Državno mrežo potresnih opazovalnic (DMPO) sestavlja šestindvajset potresnih opazovalnic, ki so bile do konca leta 2014 opremljene z zajemalnimi enotami Quanterra Q730, toda z različnimi tipi seizmometrov CMG-3ESPC, CMG-3T, STS-2 in CMG-40T. Najbolj kakovosten med njimi je seizmometer STS-2, ki je v petih opazovalnicah, deluje pa na frekvenčnem območju od 50 do 0,0083 Hz in ima najnižji instrumentalni šum. Seizmometri tipa CMG-3T in CMG-3ESPC delujejo na istem frekvenčnem območju, vendar imajo predvsem pri nižjih frekvencah višji lastni šum. Seizmometri CMG-40T delujejo na ožjem

frekvenčnem območju od 0,03 do 50 Hz in so slabše kakovosti. Vodravne komponente teh seizmometrov imajo skoraj na celotnem frekvenčnem območju večji instrumentalni šum od Petersonovega modela, zato lahko posredno vplivajo na pripravo lokalnega modela spodnje ravni šuma, saj zaradi večjega instrumentalnega šuma, tudi če so postavljeni na seizmično mirnih lokacijah, tega ne zaznajo. Slika 1 predstavlja modele instrumentalnih šumov za različne seizmološke instrumente, ki so nameščeni v DMPO, in primerjavo s Petersonovim modelom. Modeli predstavljajo pričakovane najnižje vrednosti instrumentalnega šuma za posamezni tip seizmometra, resnični instrumentalni šum seizmometra pa je lahko tudi slabši od prikazanega modela. Kot primer naj navedemo, da je lahko ocenjeni lastni šum seizmometrov STS-2 slabši od modela na sliki tudi za več kot pet dB. Na sliki je za lastni šum zajemalnih enot Quanterra Q730 predstavljena povprečna vrednost, saj se lastni šumi na posameznih kanalih zajemalnih enot, predvsem pri visokih frekvencah, med seboj razlikujejo tudi za več kot 15 dB (Mali in Tasič, 2012), vendar se signali iz seizmometrov STS-2 pridobivajo s tistimi enotami Q730, ki imajo manjši instrumentalni šum.

Izvori visokofrekvenčnega seizmičnega šuma

Seizmični šum na visokofrekvenčnem območju ima dva glavna izvora, in sicer naravni ter človeški (na primer Bonnefoy-Claudet in drugi, 2006). Kadar je posledica človeške dejavnosti, mu pravimo tudi urbani oziroma civilizacijski šum. Visoke frekvence se hitro dušijo, zato se seizmična energija teh izvorov ne razširja na velike razdalje, temveč izzveni na razdalji do nekaj (deset) kilometrov. Urbani šum je zaradi svojega izvora časovno zelo spremenljiv in že samo na podlagi intenzitete seizmičnega nemira lahko opazujemo dnevne spremembe. Ponoči je nemira manj, čez dan pa se poveča. Prav tako je razlika med delavniki in dela prostimi dnevi.

Na povečano raven seizmičnega nemira na visokih frekvencah vplivajo tudi naravni viri, na primer veter. Objekti se odzivajo na veter, nihanje pa se prek temeljev prenaša v tla. Primer so tudi nihanja dreves, saj tla niso toga, čeprav se nam zdi, da so drevesa trdno zakoreninjena v zemljo. Na povečan visokofrekvenčni seizmični



Slika 2: Seizmični šum na frekvenčnem intervalu med 1 in 10 Hz na treh lokacijah DMPO. Rdeča pisava dneva predstavlja praznike, rumena podlaga pa dela proste dneve. Na lokaciji KNDS so prikazani še relativni podatki hitrosti vetra z bližnje meteorološke postaje. Moč seizmičnega šuma je predstavljena z barvo. Razvidna sta tako vpliv urbanega šuma (LJU in BOJS) kot vpliv vetra (KNDS).

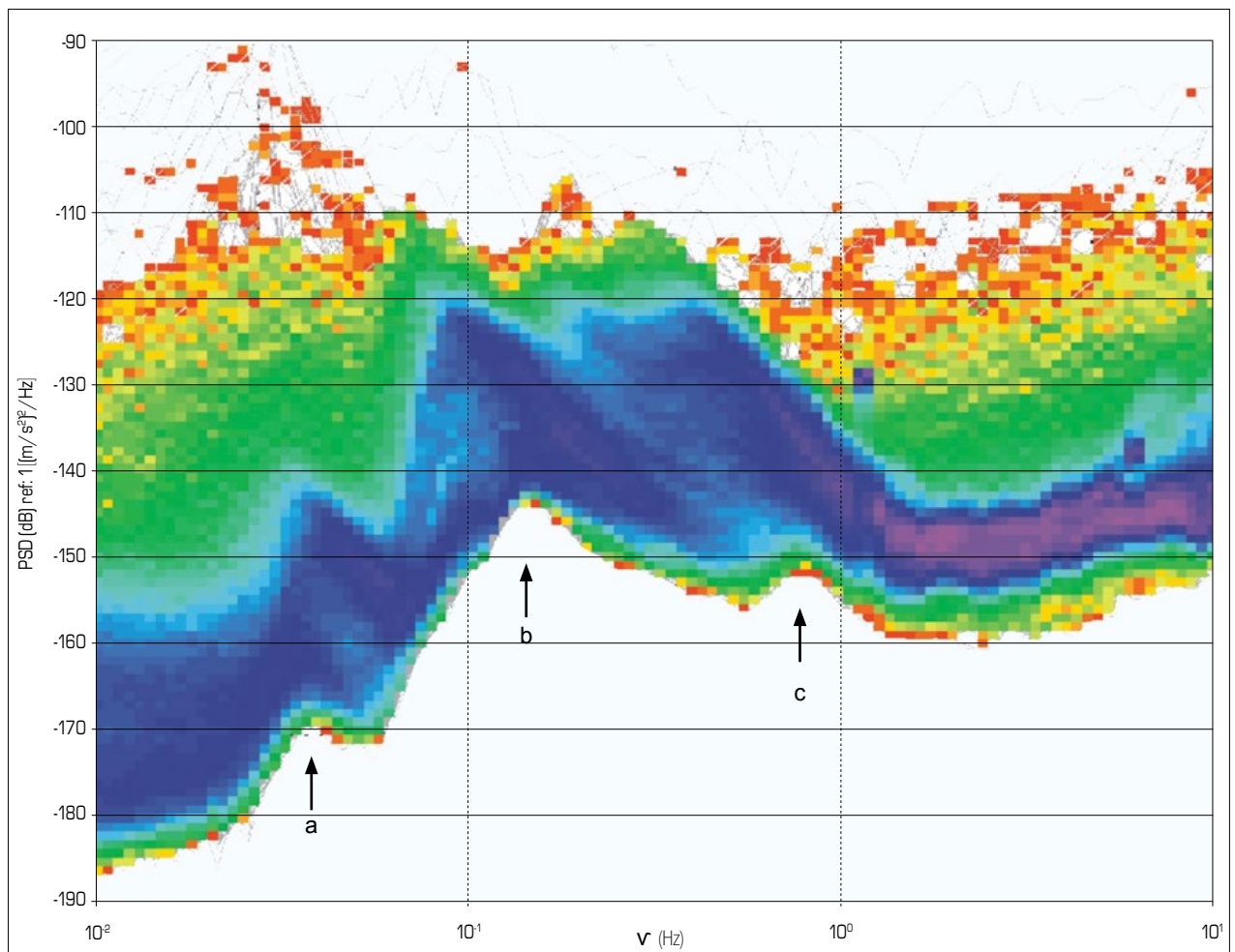
Figure 2: Presentation of seismic noise in the frequency interval between 1 Hz and 10 Hz at three locations of SNSN. Days in red font are holidays; the yellow basis presents work-free days. Seismic Observatory LJU stands on the outskirts of Ljubljana, seismic station BOJS lies at the edge of Bojanci in Bela Krajina, seismic station KNDS is on a relatively isolated karst plateau Knežji Dol, but exposed to the winds. The KNDS location shows the relative wind speed data from a nearby meteorological station. The colour represents the strength of a seismic noise. The influence of urban noise (LJU, BOJS) as well as of the wind (KNDS) is visible.

nemir lahko vplivajo še drugi naravni dejavniki, kot so reke, slapovi, grmenje, zemeljski plazovi itn.

Na sliki 2 so primeri visokofrekvenčnega seizmičnega nemira na treh lokacijah DMPO v istem obdobju. Lokacije so različno oddaljene od mestnih središč. Prva potresna opazovalnica je na obrobju Ljubljane (LJU), druga je bolj oddaljena od večjih mestnih središč, vendar je na robu vasi Bojanci (BOJS), tretja pa je na razmeroma osamljeni kraški planoti Knežji dol (KNDS), ki pa je izpostavljena vetrovom. Za to lokacijo je prikazana še relativna hitrost vetra, izmerjena na najbližji meteorološki postaji, ki je oddaljena dobrih deset kilometrov. Moč seizmičnega šuma glede na frekvenčno območje je predstavljena z barvo. Pri močnejšem nemiru se intenziteta bolj preliva proti rdeči barvi. Kot zanimivost smo vzeli obdobje med prvomajskimi prazniki, ko je bila industrija manj dejavna. Urbani seizmični šum je na višjih frekvencah močnejši kot šum, ki ga povzroči veter.

Izvori nizkofrekvenčnega seizmičnega šuma

Prava meja med nizkofrekvenčnim in visokofrekvenčnim nemirrom ni natančno opredeljena. To mejo so določili približno na območju enega Hz, vendar taka klasifikacija lahko hitro zavede, saj lahko dvomimo pri signalih, ki izvirajo v okolici te frekvence. Primer za to vidimo na sliki 3, ki prikazuje relativno gostoto spektrov močnostne gostote na frekvenčnem območju med 0,011 in 10 Hz za komponento N-S opazovalnice Skadanščina (SKDS) leta 2014. Na sliki lahko vidimo tri lokalne maksimume spodnje ravni seizmičnega nemira. Lokalna maksimuma, označena z a in b, sta posledica primarnega ter sekundarnega mikroseizma. Mikroseizem je posledica valovanja v oceanih oziroma interakcije valovanja z dnom ter obalo in je prevladujoči vir seizmičnega nemira na nizkofrekvenčnem delu spektra. Šibkejši lokalni maksimum je



Slika 3: Relativna gostota vrednosti spektrov močnostne gostote za komponento N-S iz potresne opazovalnice SKDS (Skadanščina) za leto 2014. Puščici z oznakama a in b kažeta na lokalna maksimuma primarnega ter sekundarnega mikroseizma, ki nastaneta zaradi interakcije valovanja v severnem Atlantskem oceanu in Sredozemskem morju z morskim dnom ter obalo. Lokalni maksimum pri enem Hz (oznaka c) je ocenjen kot posledica prevladujočega valovanja Jadranskega morja v Tržaškem zalivu in Istri.

Figure 3: Relative Power Spectral Density Probability Density Functions for the N-S component of the seismic station SKDS (Skadanščina). The arrows, marked 'a' and 'b', show the local maximum of the primary and secondary microseism. Local maximum at one Hertz [arrow 'c'] is caused by the interaction of waves of the Adriatic Sea in the Trieste Gulf to the bottom of the gulf and along the coast.

pri 0,6 Hz in prikazuje prevladujočo frekvenco valovanja v oceanih, močnejši lokalni maksimum je približno pri 0,12 Hz in ima izvor še vedno v prevladujočem valovanju v oceanih, vendar z drugačnim fizikalnim delovanjem na morsko dno (Longuet-Higgins, 1950). Taka oblika seizmičnega signala na tem frekvenčnem območju je prevladujoča za vse opazovalnice na prostem površju po svetu. Na sliki 3 opazimo lokalni maksimum pri enem Hz (oznaka c), ki je glede na porazdelitev spektrov močnostne gostote ocenjen kot posledica prevladujočega valovanja Jadranskega morja v Tržaškem zalivu in ob obali Istre. Z oddaljenostjo potresnih opazovalnic od tega izvora se ta vpliv na spodnjo raven šuma zmanjšuje. Za potresne opazovalnice v Avstriji je vpliv tega izvora zanemarljiv.

Model spodnje ravni seizmičnega šuma za Slovenijo

Model spodnje ravni seizmičnega šuma za Slovenijo je bil narejen na podlagi zglajenih spektrov gostote spektralne moči iz seizmičnih zapisov DMPO. Od sredine leta 2009 se ti spektri izračunavajo samodejno. Izračunani so na podlagi enournih in šesturnih segmentov seizmičnih zapisov. Spektre močnostne gostote iz enournih segmentov smo uporabili za modeliranje visokofrekvenčnega dela spodnje ravni šuma, vključno z območjem, ki ga pokriva sekundarni mikroseizem. Za območje primarnega mikroseizma do 0,01 Hz smo pri modeliranju uporabili spektre moči signala, izračunane za šesturne segmente. Modela za nižje frekvence nismo računali, ker so seizmometri, ki so v DMPO, tovarniško nastavljeni do frekvenčnega območja 0,0083 Hz. Po natančni analizi, vrednotenju spektrov in naknadni odstranitvi neza-

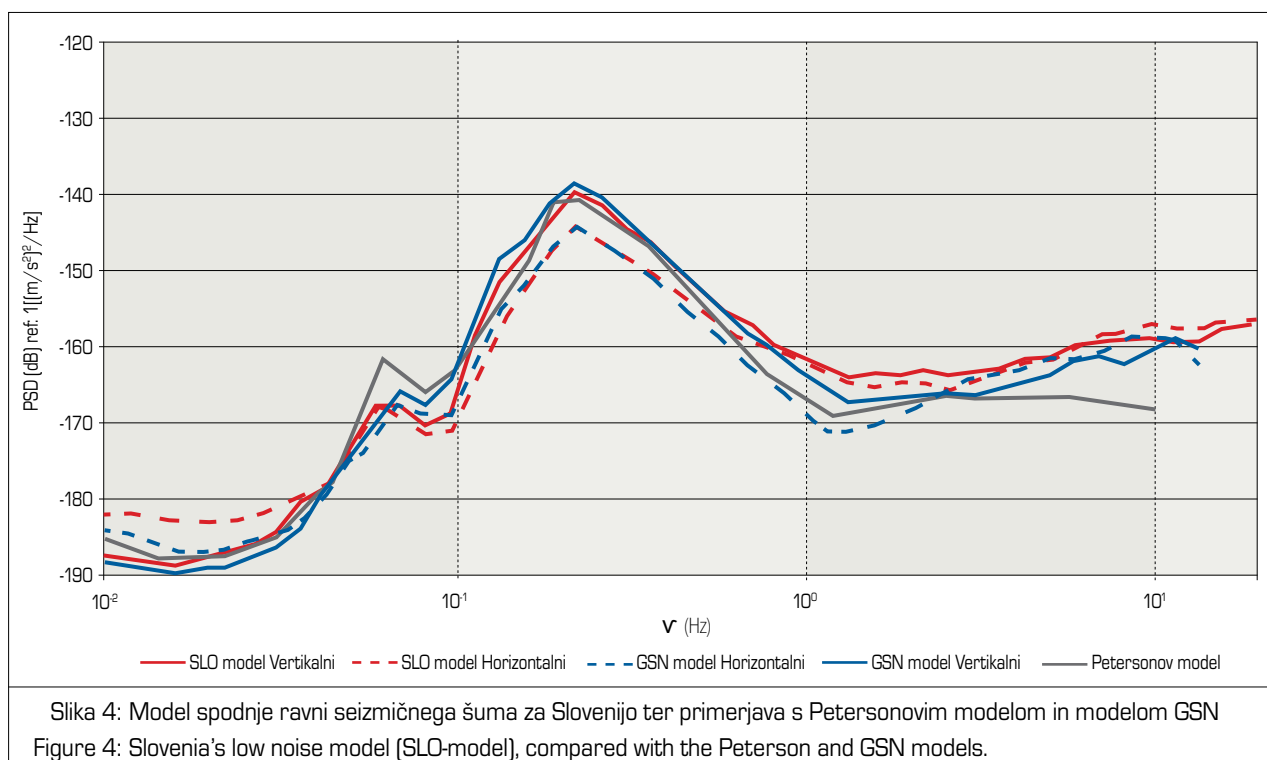
nesljivih vrednosti smo za model uporabili povprečno vrednost desetih najtišjih odčitkov spektrov na posamezni frekvenci. Nato smo zaradi lažje neposredne primerjave frekvenčni vektor prilagodili vrednostim modela GSN. Model spodnje ravni seizmičnega šuma za Slovenijo je narejen za vodoravno in navpično komponento nihanj tal. Na sliki 4 sta za primerjavo prikazana še Petersonov model in model GSN.

Analiza modela

Model spodnje ravni seizmičnega šuma za Slovenijo korelira z modelnimi krivuljami Petersonovega modela in modela GSN, med njimi pa je tudi nekaj manjših, toda zanimivih razlik (slika 4). Na večini lokacij DMPO je instrumentalni šum seizmoloških instrumentov pri frekvencah več kot 10 Hz višji, kot kaže model, zato bi lahko z izboljšavo seizmoloških instrumentov model na tem frekvenčnem območju izboljšali. Potresna opazovalnica KNDS je nad 10 Hz prispevala največ »tihih« podatkov k obstoječemu modelu.

V frekvenčnem intervalu med 0,5 in 10 Hz je viden vpliv različnih lokalnih izvorov seizmičnega nemira. Večina opazovalnic DMPO je v bližini večjih ali manjših mestnih središč, zato predstavlja nihanje tal kompleksno superpozicijo seizmičnih signalov, ki nastanejo zaradi mestnih in naravnih virov. Pomemben izvor seizmičnega nemira na območju okoli enega Hz, predvsem za opazovalnice na jugozahodu Slovenije, je valovanje Jadranskega morja, zato se na tem območju model tudi ne izenači z vrednostmi v Petersonovem modelu in modelu GSN.

Na frekvenčnem območju, na katerem sta dominantna sekundarni in primarni mikroseizem (na primer Cessaro,



1994), slovenski model sledi obliki Petersonovega modela in modela GSN. Kljub temu se vidijo nekateri manjši odmiki na območju med primarnim in sekundarnim mikrosezimom, kjer je naš lokalni model celo pod območjem obeh globalnih modelov. To je mogoče pojasniti z drugim in daljšim časovnim intervalom meritev. V daljšem časovnem intervalu je večja verjetnost, da zajamemo tudi zelo tiho obdobje, saj so viri seizmičnega nemira zelo zapleteni in časovno neusklajeni.

Nizkofrekvenčni del spektra modela, približno manj kot 0,015 Hz, je bil opredeljen na podlagi podatkov iz potresnih opazovalnic, opremljenih s seizmometri STS-2. Glede na globalne modele lahko sklepamo, da model pod 0,02 Hz predstavlja lastni šum teh seizmometrov. To velja tako za vodoravno kot navpično komponento.

Sklepne misli

Leta 2000 se je začela posodobitev državne mreže potresnih opazovalnic (Vidrih in drugi, 2006). Najprej

je bila mreža 26 potresnih opazovalnic opremljena z zajemalnimi enotami Q730 in seizmometri CMG-40T. Kmalu je bil instrumentalni šum seizmometrov CMG-40T prepoznan kot glavni vir motenj pri vrednotenju šibkega seizmičnega signala, zato so se ti seizmometri sčasoma zamenjevali z boljšimi modeli, kar je omogočilo tudi bolj kakovostno merjenje potresov, posledično pa tudi vrednotenje kompleksnih signalov seizmičnega šuma, na podlagi katerega smo pripravili model spodnje ravni šuma na prostem površju za Slovenijo. Model, ki temelji na večletnih podatkih spektrov močnostne gostote, nam bo pomagal k boljšemu razumevanju različnih virov seizmičnega šuma ter pri spremljanju dnevnih in sezonskih sprememb intenzitete seizmičnega šuma. Hkrati bo model pripomogel k analizi in vrednotenju izboljšav posameznih delov seizmološke opreme v potresnih opazovalnicah. Po drugi strani bomo na podlagi izboljšav in optimizacije merilne seizmološke opreme lahko čez čas model spodnje ravni seizmičnega šuma za Slovenijo, predvsem na visokofrekvenčnem in nizkofrekvenčnem delu spektra, še izboljšali.

Viri in literatura

1. Abd el-aal, A.-A. K., Soliman, M. S., 2013. New Seismic Noise Models Obtained Using Very Broadband Stations. *Pure Appl. Geophys.*, 170, 1849–1857.
2. Cessaro, K. R., 1994. Sources of primary and secondary microseisms. *Bull Seism Soc Am* 84, 142–148.
3. Berger, J., Davis, P., Ekström, G., 2004. Ambient Earth noise: A survey of the Global Seismographic Network. *J. Geophys. Res.*, 109, 2156–2202.
4. Bonnefoy-Claudet, S., Cotton, F., Bard, P. Y., 2006. The nature of noise wavefield and its applications for site effects studies: a literature review. *Earth-Sci. Rev.*, 79(3-4), 205–227.
5. Longuet-Higgins, M. S., 1950. A Theory on the origin of microseisms. *Philos. Trans. R. Soc. Lond. A*. 243, 1–35.
6. Mali, M., Tasič, I., 2011. Vpliv temperaturnih sprememb na delovanje dolgoperiodnih seizmometrov. *Potresi v letu 2010*, Agencija RS za okolje, Ljubljana, Slovenija, 62–70.
7. Mali, M., Tasič, I., 2012. Analiza lastnega šuma zajemalnih enot Quanterra Q730. *Potresi v letu 2011*, Agencija RS za okolje, Ljubljana, Slovenija, 46–50.
8. Peterson, J., 1993. Observations and modeling of background seismic noise. Open-file report 93–322, U. S. Geological Survey.
9. 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.