

ALI JE USTAVITEV JAVNEGA ŽIVLJENJA V SLOVENIJI ZARADI COVIDA-19 ZNIŽALA RAVEN SEIZMIČNEGA ŠUMA

Izidor Tasič¹

Povzetek

Po izbruhu koronavirusne bolezni covid-19 so bili v prvi polovici leta 2020 v večini držav po svetu uvedeni strogi ukrepi omejevanja javnega življenja. V tujini se je za tak ukrep uveljavilo ime »lockdown«, pri nas pa zapiranje države. Kmalu po uvedbi teh ukrepov so iz nekaterih seizmoloških centrov prišla sporočila, da v večjih urbanih središčih seizmometri zaznavajo bistveno manjši seizmični šum ali nemir pri visokih frekvencah. Zato je mnoge zanimalo, ali ta pojav opazamo tudi v Sloveniji. Na državni mreži potresnih opazovalnic (DMPO) tega pojava neposredno nismo zasledili, zaznali smo ga le na potresni opazovalnici na območju Ljubljane, za Bežigradom. Posredno smo pojav zaznali tudi na še dveh opazovalnicah DMPO, pri čemer se je na eni visokofrekvenčni seizmični šum celo povečal. Dvanajstega aprila 2020 pa smo zaznali zanimiv pojav – zmanjšanje visokofrekvenčnega seizmičnega nemira podnevi na večini potresnih opazovalnic, ki je prav tako povezan z zaprtjem države.

DID THE LOCKDOWN OF SLOVENIA DUE TO COVID-19 CAUSE A REDUCTION IN SEISMIC NOISE

Abstract

Following the outbreak of Covid-19 in the first half of 2020, special measures were introduced in most countries, which drastically limited various human activities. These measures were given the uniform term "lockdown". Shortly after they began, reports came from some seismological centres that in larger urban areas seismometers were detecting significantly less seismic noise at high frequencies in a seismological sense. There was interest in whether this phenomenon had also been observed in Slovenia. In fact it was not directly detected at the Slovenia National Seismic Network (SNSN), but it was detected at the seismic station located in the area of Ljubljana-Bežigrad. Indirectly, the phenomenon was also detected at two seismic stations of the SNSN, but with high-frequency seismic noise actually increasing at one of them. On 12 April 2020, we also noticed an interesting phenomenon – the reduction of high-frequency seismic noise during the day at most seismic stations, which was also related to the lockdown.

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

UVOD

Človeška dejavnost vpliva na povečan seizmični šum pri visokih frekvencah (Tasič, 2015), saj človek s svojim delovanjem ustvarja vibracije, ki se širijo v tla in se kot visokofrekvenčni seizmični valovi od izvora razširjajo nekaj kilometrov radialno in nekaj sto metrov v globino. Zato se seizmični signal, ki ga z občutljivimi seizmološkimi sistemi zaznavamo v bližini urbanih središč, opazno razlikuje po tem, ali ga zaznavamo podnevi ali ponoči ter med delovniki oziroma med dela prostimi dnevi. To je dokaz vpliva človeškega delovanja na povečan seizmični šum pri visokih frekvencah. Kolikšen vpliv bodo imele različne aktivnosti na seizmični šum, je odvisno od intenzitete in vrste urbane dejavnosti in seveda od

velikosti območja, kjer se taka dejavnost izvaja. Večje kot je urbano okolje, izrazitejši je visokofrekvenčni seizmični šum kot posledica antropogene dejavnosti (Tasič, 2015).

Po izbruhu koronavirusne bolezni covid-19, ki jo je svetovna zdravstvena organizacija marca 2020 razglasila za pandemijo, so bili v prvi polovici leta 2020 v večini držav, predvsem zato, da se zmanjša možnost širjenja virusa, uvedeni posebni ukrepi, ki so drastično omejili javno življenje. Ukrepe so v tujini imenovali »lockdown«, pri nas pa zapiranje države. Ti posebni ukrepi so močno vplivali na družbeno in hkrati družabno življenje, na ekonomijo in industrijo ter na mednarodni in lokalni turizem. Manjša aktivnost industrijske družbe bi posledično morala povzročati manj vibracij

in tako posredno tudi manjši seizmični šum, kar bi morali zaznati tudi zelo občutljivi seizmometri.

To so že kmalu po prvem zapiranju opazili na kar nekaj potresnih opazovalnicah po svetu (npr. Millapaty, 2020, Lecocq in sod., 2020, Yabe in sod., 2020, Maciel in sod., 2020, Roy in sod., 2021 itn.). Med prvimi so na podlagi zapisov seizmografa, ki deluje na Kraljevem observatoriju v Bruslju, na to opozorili seizmologi iz Belgije (Millapaty, 2020). Na podlagi zmanjšane visokofrekvenčne seizmične dejavnosti, ki so jo zaznavale potresne opazovalnice znotraj večjih urbanih središč na različnih kontinentih, so lahko celo prikazali časovno sled prvega zapiranja po vsem svetu (Lecocq in sod., 2020). Obdelani seizmogrami že ob koncu januarja 2020 pokažejo zmanjšan seizmični šum na nekaterih potresnih opazovalnicah na območju Azije, predvsem na Kitajskem. Nato slab mesec in pol skoraj ni zaznati zapiranje, v začetku marca pa sledi plaz zapiranje. Zmanjšana visokofrekvenčna seizmična dejavnost se najprej zasledi na nekaterih seizmografih na območju severne Italije in v Albaniji. V naslednjih dveh tednih sledi skokovit porast zapiranje tako v Evropi kot tudi drugod po svetu, kar je vse mogoče razbrati iz seizmičnih zapisov. Dober mesec po prvih zapiranjih v Evropi zaznajo zmanjšano seizmično dejavnost pri visokih frekvencah tudi seizmografi v Tokiu in na Sejšelih (Lecocq in sod., 2020). V večjih urbanih središčih se je v večini primerov intenziteta seizmičnega šuma zaradi zapiranja zmanjšala v frekvenčnem območju med 4 Hz in 14 Hz. Niso pa pojava zmanjšane seizmične dejavnosti zaradi zaprtja zasledili na vseh potresnih opazovalnicah. To velja predvsem za opazovalnice, ki so odmaknjene od urbanih središč.

Kako pa je bilo s potresnimi opazovalnicami na slovenskem ozemlju? Kako in ali so sploh zaznale zapiranje države? Preden odgovorimo na to vprašanje, je treba razumeti, kaj v seizmologiji pomeni visokofrekvenčni seizmični signal in kakšna sta pomen in namen potresnih opazovalnic na slovenskem ozemlju (Vidrih in sod., 2006).

IZVORI VISOKOFREKVENČNEGA SEIZMIČNEGA ŠUMA

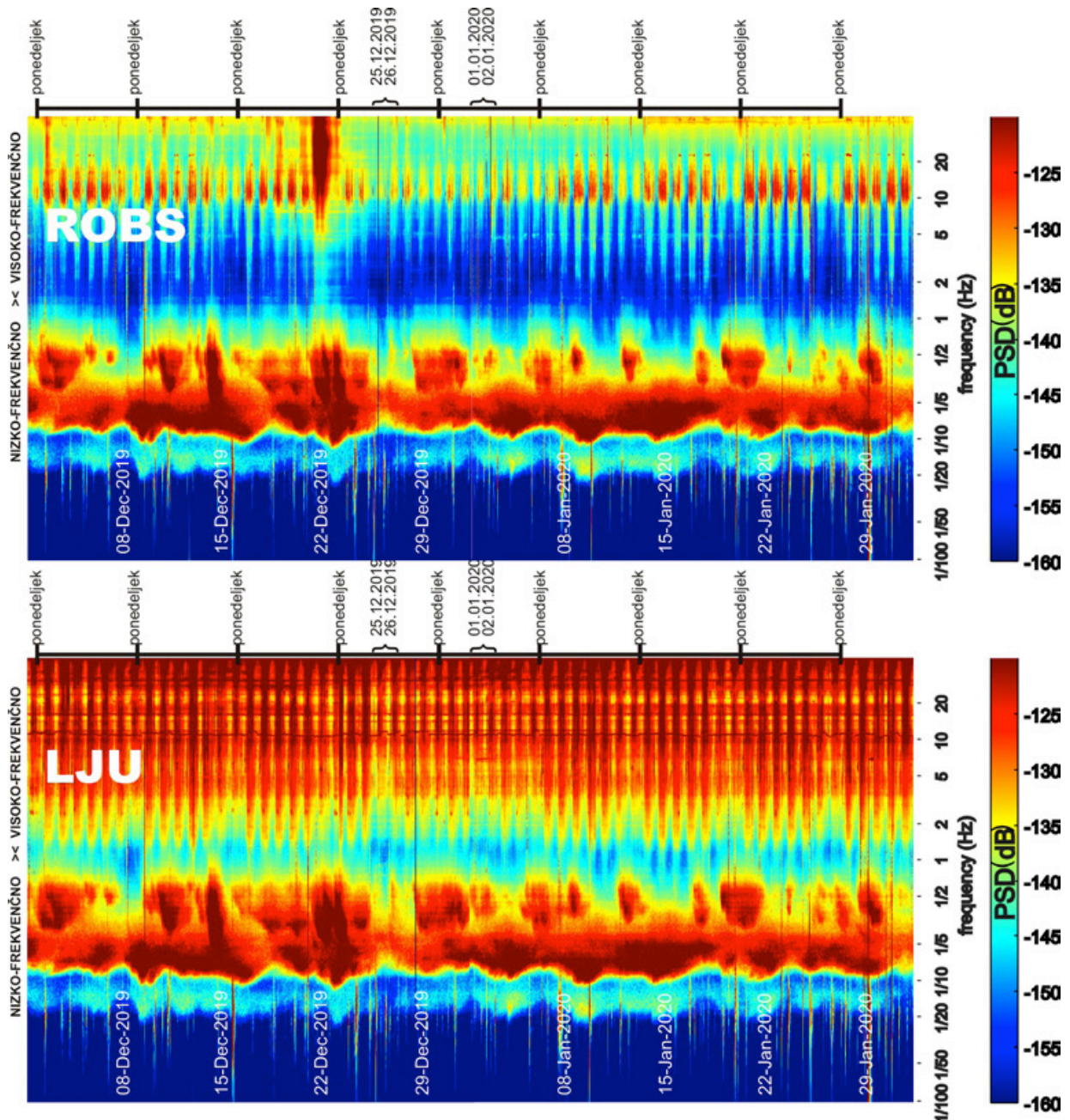
Izraz seizmični šum se uporablja za vsako zabeleženo nihanje tal, ki nima svojega izvora v potresu. Danes se v nekaterih literaturah uporablja tudi termin vibracije v okolju (angl. ambient vibration), ki pa ni uveljavljen. Uporablja se tudi termin seizmični nemir, saj sodobna seizmologija ugotavlja, da je

tudi šum lahko za nekatere raziskave koristen signal. Seizmično nihanje tal, ki ga potresne opazovalnice s kakovostno seizmološko opremo neprestano zaznavajo in ki ni posledica potresa, delimo v grobem na nizkofrekvenčno in visokofrekvenčno nihanje tal. Meja med obema območjema je okoli enega Hertza (Tasič, 2015). Šibko nihanje tal pri nizkih frekvencah je predvsem posledica valovanj v oceanih in morjih, medtem ko visokofrekvenčno nihanje tal povzročajo drugi pojavi, najbolj izrazita sta veter in dejavnosti človeka. En Hertz ni ostra ločnica med obema območjema, saj lahko različni visokofrekvenčni izvori, tako naravni kot umetni, ustvarjajo nihanje tal tudi pri nižjih frekvencah od enega Hertza in prav tako nizkofrekvenčni izvori povzročajo nihanje tal tudi v nekoliko višjem frekvenčnem območju od enega Hertza.

Kadar je seizmični šum posledica človeške dejavnosti, mu pravimo tudi urbani, antropogeni ali civilizacijski šum in je prisoten predvsem pri frekvencah, višjih od enega Hertza. Visoke frekvence se hitro dušijo, zato se njihova seizmična energija ne razširja na velike razdalje, temveč izzveni na razdalji do nekaj kilometrov. Urbani šum je zaradi svojega izvora kvazi periodičen, že samo na podlagi intenzitete seizmičnega nemira lahko opazujemo razlike med dnevom in nočjo. Ponoči je nemira manj, čez dan se poveča. Časovna obdobja, ko na potresnih opazovalnicah zasledimo manjši vpliv urbanega seizmičnega šuma, vključujejo tudi vikende ter druge dela proste dni, na primer praznike. Slika 1 prikazuje spekter močnostne gostote za navpično komponento za dve potresni opazovalnici v Sloveniji za obdobje med 1. decembrom 2019 in 30. januarjem 2020. Potresni opazovalnici z oznakama LJU (observatorij na Golovcu v Ljubljani) in ROBS (Robič v Posočju) sta med seboj oddaljeni približno 82 kilometrov (slika 2). Kljub taki oddaljenosti sta obe opazovalnici skoraj enako zaznali dolgoperiodni seizmični šum. Pri frekvencah, višjih od 0,8 Hz, pa je med obema opazovalnicama očitna razlika v moči signala, ki sta ga zaznali, saj je potresna opazovalnica LJU na območju večjega visokofrekvenčnega seizmičnega šuma kot potresna opazovalnica ROBS. Še vedno pa je na obeh opazovalnicah na visokofrekvenčnem območju lepo vidna razlika med dnevom in nočjo. Med 1 Hz in 20 Hz se da opaziti tudi razlika med dela prostimi dnevi in delovniki, ko vidimo vpliv božično-novoletnih praznikov. Intenziteta seizmičnega šuma je v tem frekvenčnem območju med prazniki nižja kot pred prazniki in po njih. Primerjava slik 1 in 2 pokaže, da je urbani šum izrazitejši na območju z večjo gostoto poseljenosti.

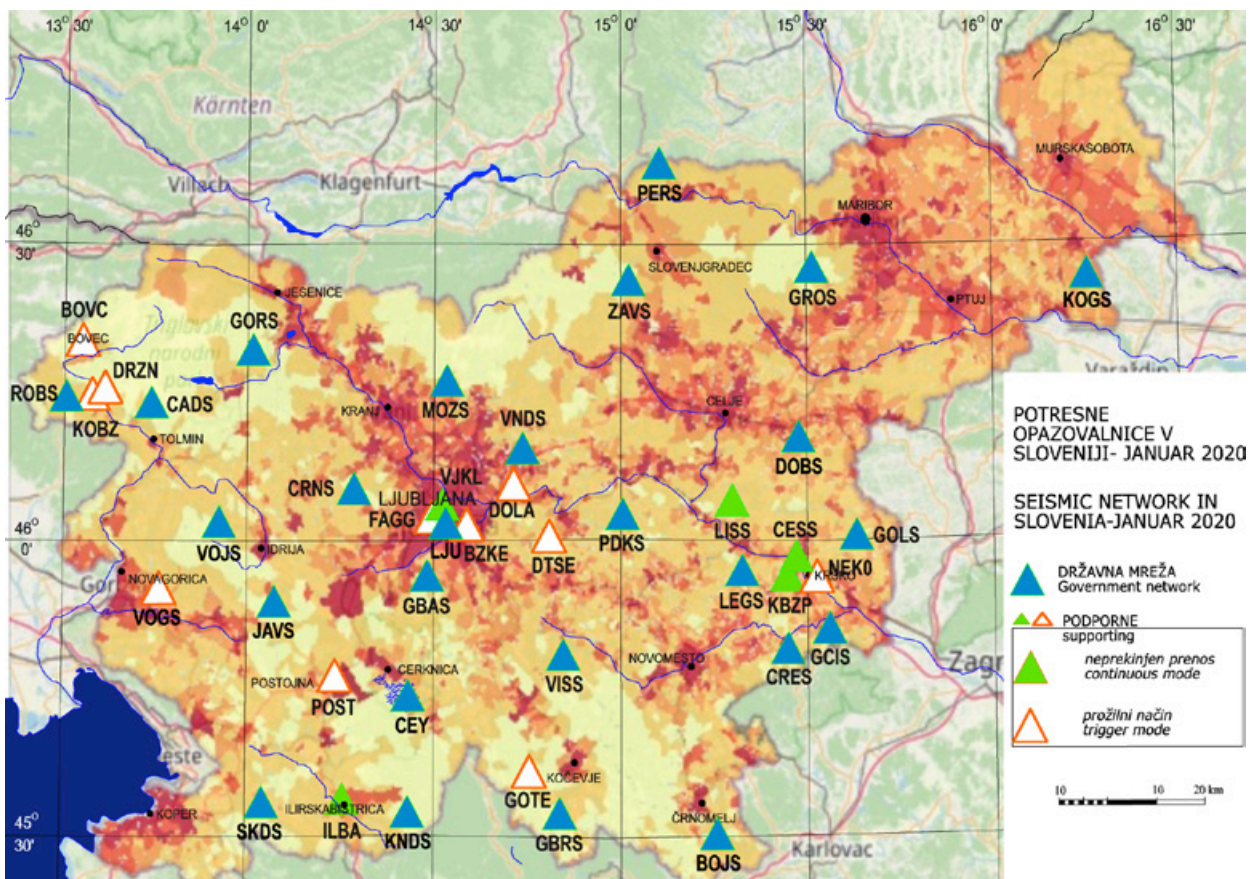
Potresne opazovalnice zaznavajo spremembe tako v nizkofrekvenčnem kot tudi v visokofrekvenčnem urbanem šumu. Državna mreža potresnih opazovalnic (DMPO) pokriva Slovenijo s 26 potresnimi opazovalnicami (slika 2). Lokacije teh opazovalnic

so kompromis med željo po čim bolj mirni lokaciji v seizmičnem smislu, po enakomerni umeščenosti potresnih opazovalnic v prostor in tehnično izvedljivostjo na nekem območju. Vse potresne opazovalnice so opremljene s širokopasovnim seizmometrom



Slika 1: Spekter močnostne gostote (PSD) za navpično komponento za potresni opazovalnici ROBS in LJJ, med seboj sta oddaljeni 82 kilometrov, za obdobje med 1. decembrom 2019 in 30. januarjem 2020. Obe opazovalnici skoraj enako zaznata nizkofrekvenčni seizmični šum. Pri višjih frekvencah je med obema opazovalnicama očitna razlika v moči signala, ki sta ga zaznali. Je pa pri obeh vidna razlika med dnevom in nočjo. Med 1 Hz in 20 Hz se da opaziti tudi razlika med dela prostimi dnevi in delovniki, ko zasledimo tudi vpliv božično-novoletnih praznikov.

Figure 1: The power spectral density (PSD) for the vertical component for the ROBS and LJJ seismic stations, 82 kilometres apart, between 1 December 2019 and 30 January 2020. Low-frequency seismic noise was almost equal at the two locations. At higher frequencies, there was an obvious difference between the two locations in the strength of the signal they detected; however, the difference between day and night is visible in both. At between 1 Hz and 20 Hz, the difference between days off and weekdays can be noticed, and the influence of the Christmas and New Year holidays can also be seen.



Slika 2: Državna mreža potresnih opazovalnic (modri trikotniki) in lokacije dodatnih potresnih opazovalnic (zeleni in beli trikotniki) v začetku leta 2020, glede na gostoto prebivalstva (www.stat.si)

Figure 2: The National Seismic Network (blue triangles) and locations of additional seismic stations (green and white triangles) at the beginning of 2020, according to population density (www.stat.si)

in pospeškometrom (Tasič, 2004, 2018). Analogni signali iz senzorjev se v zajemalni enoti neprekinjeno zajemajo in v digitalni obliki v stvarnem času pošiljajo v središče za obdelavo podatkov (SOP) v Ljubljani. Poleg DMPO imamo tudi dopolnilne potresne opazovalnice. Te so namenjene natančnejši opredelitvi potresnih parametrov za posamezna ciljna območja (npr. opazovanja nekega območja zaradi povečane potresne dejavnosti). Lokacija teh opazovalnic v začetku leta 2020 je prikazana na sliki 2, na kateri je vidna tudi gostota prebivalstva (www.stat.si). Večina dodatnih opazovalnic je opremljena samo s pospeškometri, ki so manj občutljivi na šibka nihanja tal in pošiljajo v SOP samo prožene dogodke, torej dogodke, ki so prešli vnaprej določeno amplitudo nihanja tal. Te lokacije ne omogočajo neprekinjenega spremljanja sprememb v aktivnosti seizmičnega šuma. Nekatere dopolnilne potresne opazovalnice pa so opremljene s seizmometri. Te pošiljajo podatke v neprekinjenem načinu v SOP.

VPLIV ZAPRTJA DRŽAVE NA VISOKOFREKVENČNI SEIZMIČNI NEMIR

Ljubljana je največje urbano območje v Sloveniji, zato bi pričakovali, glede na poročila iz nekaterih svetovnih seizmoloških centrov, da bo na območju Ljubljane zelo opazen vpliv zaprtja na spremembe v seizmičnem nemiru. Na območju Ljubljane imamo dva seizmološka sistema s seizmometri, ki neprekinjeno zajemata seizmične podatke (slika 3). Oznaki obeh lokacij sta LJU in VJKL. Potresna opazovalnica LJU je na observatoriju na Golovcu in neprekinjeno zajema visokofrekvenčne digitalne seizmične podatke od leta 2001. Zaradi dopolnilnega seizmičnega opazovanja Ljubljane je od srede leta 2019 postavljen seizmološki sistem VJKL s seizmometrom in pospeškometrom tudi v kletnih prostorih Agencije za okolje v Ljubljani (Bežigrad), ki tudi omogoča shranjevanje neprekinjenih seizmičnih podatkov. Čeprav sta potresni opazovalnici druga od druge oddaljeni samo 2,7 kilometra, pa seizmometer na lokaciji VJKL zaznava večji visokofrekvenčni seizmični šum



Slika 3: Lokaciji potresnih opazovalnic LJU in VJKL v Ljubljani

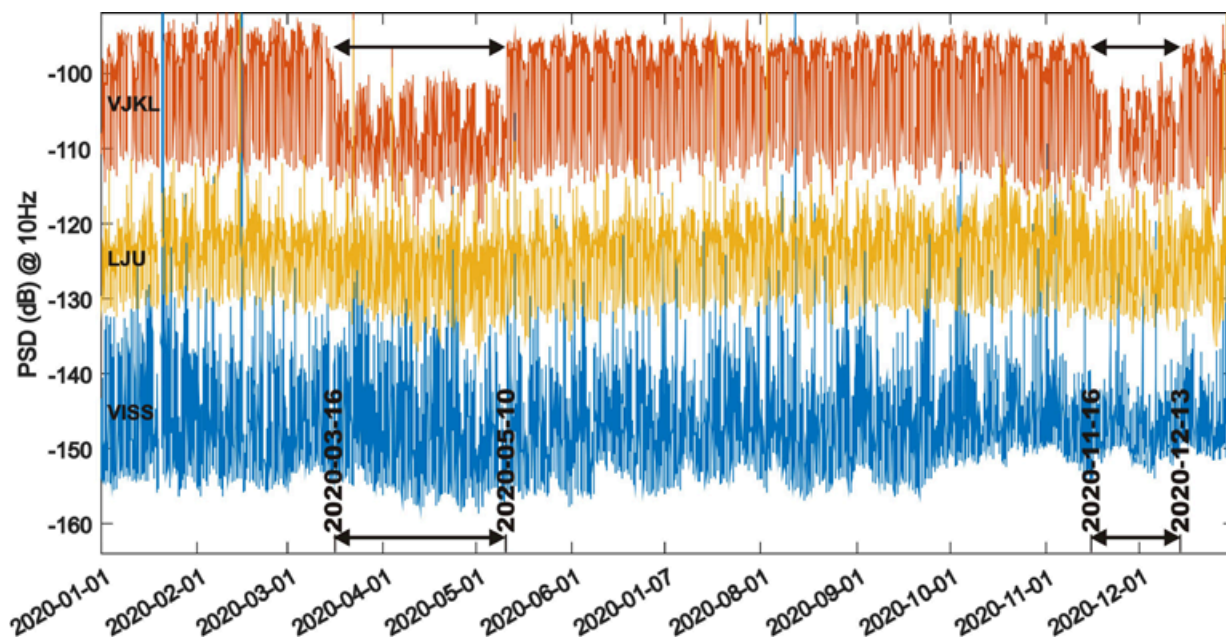
Figure 3: Locations of the seismic stations LJU and VJKL in Ljubljana

kot seizmometer na lokaciji LJU. Tudi med zaprtjem je bila intenziteta seizmičnega šuma na obeh lokacijah različna.

VPLIV ZAPRTJA DRŽAVE NA VISOKOFREKVENČNI SEIZMIČNI NEMIR LETA 2020

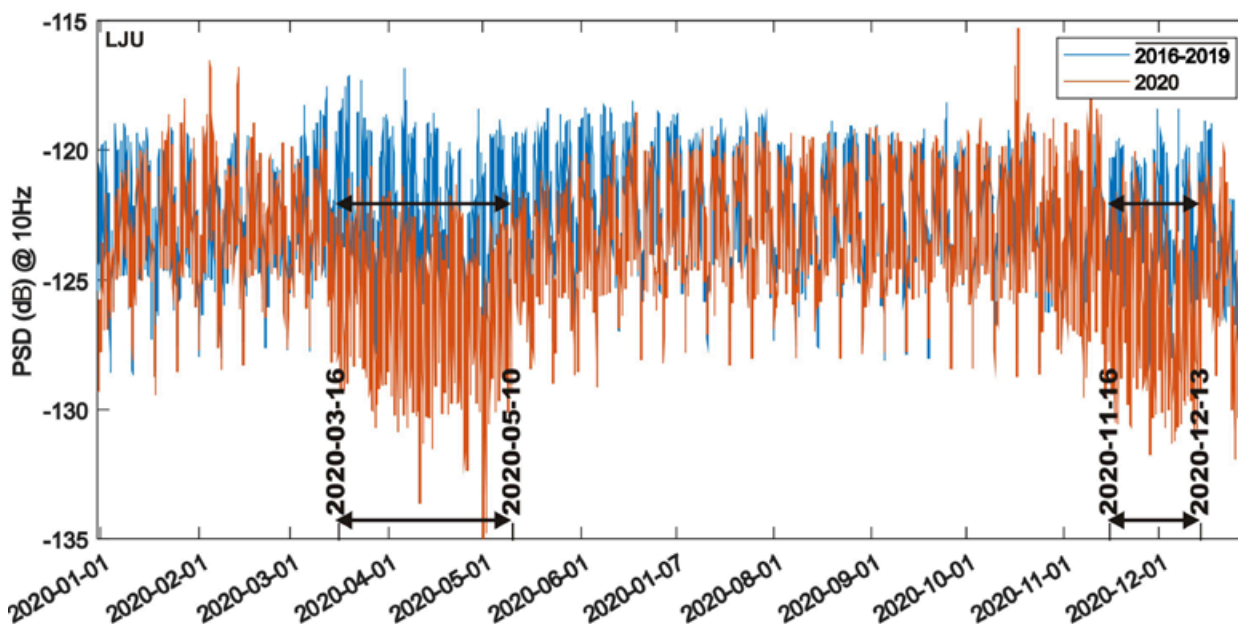
Slika 4 prikazuje podatke spektra močnostne gostote (PSD) pri 10 Hz za leto 2020 za potresne

opazovalnice z oznakami VJKL, LJU in VISS. Potresna opazovalnica z oznako VISS leži v bližini vasi Višnje, 36 kilometrov jugozahodno od potresne opazovalnice LJU (slika 2). Podatek iz te opazovalnice je namenjen temu, da pokaže, koliko nižji je seizmični šum pri 10 Hz na lokaciji, kjer v bližini ni večjega naselja. Iz slike je razvidno, da je največji seizmični šum na lokaciji VJKL, nekoliko nižji je na lokaciji LJU, na obeh lokacijah pa je bistveno višji kot na lokaciji VISS. Na potresni opazovalnici VJKL izstopata dve obdobji, pri čemer je PSD seizmičnega signala izrazito manjši kot na drugih območjih. Prvo obdobje je med 16. marcem in 10. majem, drugo pa med 16. novembrom in 13. decembrom. Ti dve obdobji sta neposredno povezani z zapiranjem države. V ponedeljek, 16. marca, se je namreč začela prva bistvena ustavitev javnega življenja v Sloveniji. Ta dan je začel veljati odlok o prepovedi neposredne prodaje blaga in storitev potrošnikom. Obstal je tudi javni potniški promet, ki je ponovno stekel 10. maja. Seizmični šum je takrat takoj narasel. Vrednosti iz leta 2019 je dosegel dva tedna po koncu zapiranja. V poletnih mesecih ni bilo razlike med letoma 2019 in 2020. Nato je zaradi drugega vala epidemije 16. novembra ponovno sledila ustavitev javnega življenja. Trinajstega decembra 2020 je vlada začasno sprostila kar nekaj ukrepov. Obdobja, v katerih smo na opazovalnici VJKL zaznali bistveno manjši seizmični šum, so



Slika 4: Spektri močnostne gostote (PSD) pri 10 Hz za leto 2020 za tri potresne opazovalnice: VJKL, LJU in VISS (slika 2). Zapiranje države je vidno na potresni opazovalnici VJKL, ki je tudi najbolj »zašumljena.« Tudi v času zaprtja je šum te opazovalnice še vedno višji kot na opazovalnici LJU.

Figure 4: The power spectral density (PSD) at 10 Hz for 2020 for three seismic stations: VJKL, LJU and VISS (see Figure 2). The lockdown is visible at VJKL, which is also the noisiest seismic station. Even during the lockdown period, the seismic noise at this location was higher than at the LJU seismic station.

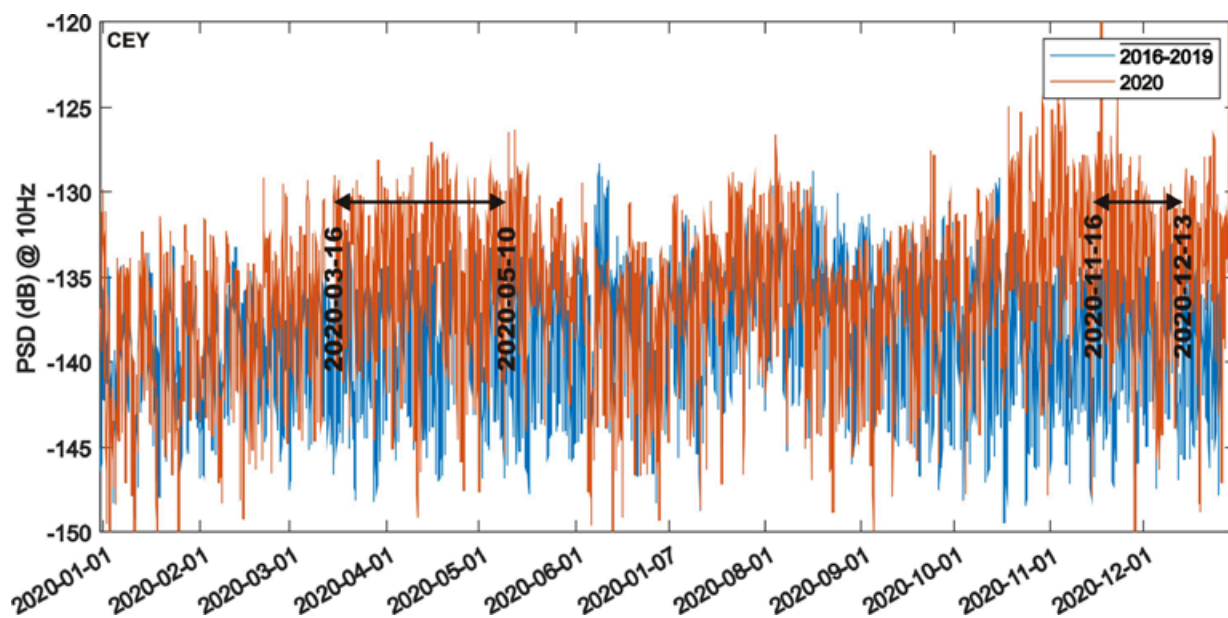


Slika 5: Po obdelavi podatkov potresne opazovalnice LJU s slike 4 z median filtrom, dolžine 12 h (rdeča barva), se pokažejo obdobja zapiranja države. Z modro barvo je pokazano povprečje štirih let pred zapiranjem (2016–2019). Pri tem se za večji poudarek razlik med delovniki in sobotami ter nedeljami pred postopkom povprečevanja začetek vsakega zapisa postavi isti dan v tednu – na sredo.

Figure 5: After the data for LJU from Figure 4 was processed with a 12-hour median filter (red), the „lockdown“ periods are shown. Blue shows the average of the four years before the lockdown (2016–2019). The beginning of each record is set on the same day of the week – Wednesday.

torej skladna s časom zapiranja države. Sprememba intenzitete seizmičnega šuma v obeh časovnih obdobjih je bila na tej potresni opazovalnici zaznana na širšem frekvenčnem območju med 2 Hz in 20 Hz, a je bila najbolj izrazita pri 10 Hz. Iz slike je razbrati, da je bila moč signala seizmičnega šuma v času zaprtja sredi dneva manjša, kot je bila moč signala v nočnih urah v obdobju pred zaprtjem. Vendar zaprtje države na izboljšanje lokacije potresne opazovalnice v smislu manjše prisotnosti seizmičnega šuma ni imelo tako močnega vpliva, da bi lahko rekli, da je ta lokacija v tem času bistveno pridobila na kakovosti. V tem času je bil namreč seizmični šum na tej lokaciji še vedno večji kot na potresni opazovalnici LJU in bistveno večji kot na potresni opazovalnici VISS. Kako to, da je v Bruslju postavljena potresna opazovalnica, v obdobju, ko je bila država zaprta, imela bistveno nižji seizmični šum kot pred zaprtjem, v primerjavi s potresno opazovalnico, ki je v času zaprtja delovala sredi Bežigrada in tako bistvene izboljšave ni zaznala? Razlog sta gostota prebivalstva in velikost poseljenega območja (Wiki, 2022 a, b). V Bruslju živi 1,21 milijona ljudi s povprečno gostoto prebivalstva 7025 ljudi/km², v Ljubljani pa 290.000 ljudi s povprečno gostoto prebivalstva 1664 ljudi/km². Na območju Ljubljane je torej v normalnih razmerah bistveno manj urbane dejavnosti kot na območju Bruslja.

Na potresni opazovalnici LJU, ki je od potresne opazovalnice VJKL oddaljena manj kot tri kilometre, na prvi pogled (slika 4) ni opaziti, da bi zaprtje države povzročilo manjši seizmični šum. A ko smo PSD-signal obdelali z median filtrom, dolgim pol dneva, sta prišli do izraza isti časovni območji zapiranja, kot smo ju zasledili na lokaciji VNDS (slika 5). Ti dve območji prideta še bolj do izraza, ko zapise za leto 2020 primerjamo z zapisi iz prejšnjih let. Na sliki 5 so v modri barvi narisani povprečni PSD-podatki pri 10 Hz za štiriletno obdobje med 2016 in 2019, ki so bili pred tem obdelani z median filtrom. Za večji poudarek razlik med delovniki ter s sobotami in nedeljami smo pred povprečevanjem signalov izenačili vsako od teh štiri letnih obdobj tako, da smo začetek zapisa za vsako leto nastavili na sredo, ker se je ta dan začelo leto 2020. Zanimivo je, glede na relativno bližino obeh opazovalnic, da na opazovalnici LJU v času zapiranja države zaznamo bistveno manjše razlike med delovniki in dela prostimi dnevi kot na opazovalnici VJKL. Zanimivo je tudi, da se je intenziteta seizmičnega šuma na lokaciji LJU uskladila s povprečjem iz prejšnjih let šele v poletnih mesecih, kar je pozneje, kot smo to opazili na lokaciji VJKL. Oboje kaže na to, kako zapletena je struktura urbanega seizmičnega šuma, in tudi na močno odvisnost mikrolokacije potresne opazovalnice glede na izvore šuma.

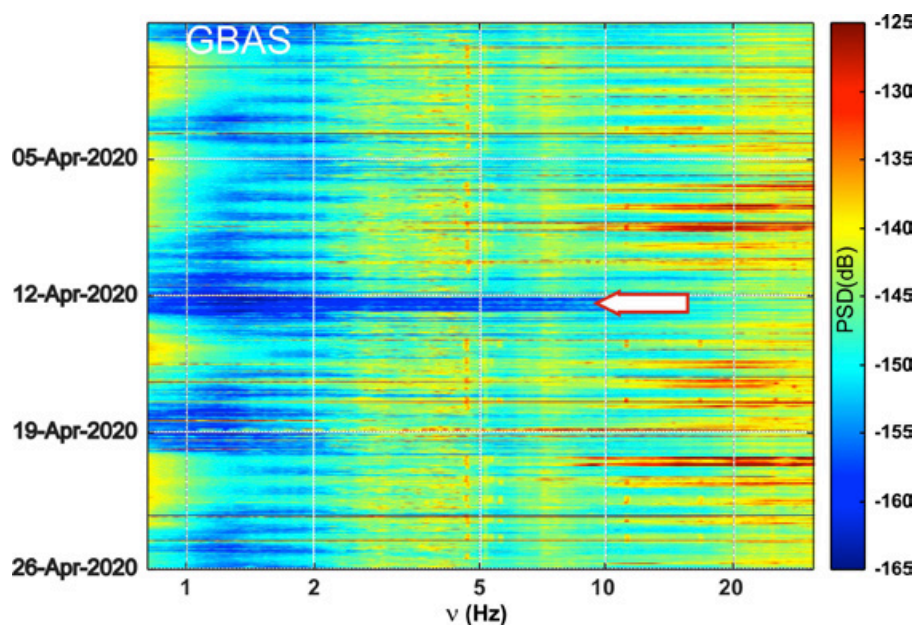


Slika 6: Prikaz obdelanih podatkov za potresno opazovalnico CEY (razlaga obdelave signalov je v besedilu, ki pripada sliki 5). V času zapiranja pride celo do povečanega seizmičnega šuma, kar je verjetno posledica povečanega dela od doma v neposredni bližini potresne opazovalnice.

Figure 6: Processed data for seismic observation CEY (explanation of signal processing is in the text of Figure 5). During the lockdown increased seismic noise can be seen, which is probably due to increased working from home in the immediate vicinity of the seismic instruments.

Ko smo preverili podatke iz preostalih potresnih opazovalnic v Sloveniji, v katerih imamo postavljene seizmometre in neprekinjene seizmične podatke za leta 2019, 2020 in 2021, zmanjšanje seizmičnega šuma v časovnih okvirjih, ki predstavljajo zapiranje države, nismo odkrili nikjer drugje. Smo pa zasledili pojav, ki ga literatura po svetu ne omenja. Vsi govorijo o zmanjšanju seizmičnega šuma zaradi zaprtja, nihče pa ne omenja, da lahko pride lokalno tudi do povečanja seizmičnega šuma zaradi zaprtja države. To smo zasledili na potresni opazovalnici CEY

v Goričicah pri Cerkniškem jezeru (slika 6), ki je del omrežja DMPO (slika 2). Ta potresna opazovalnica je iz zgodovinskih razlogov (opazovalnica deluje že od leta 1975) v bivalnem objektu, znotraj katerega je na ločenem betonskem podstavku postavljen seizmometer. Danes sta gostota prebivalcev in stalna poseljenost v neposredni bližini instrumentov potresne opazovalnice CEY bistveno večji kot v preteklosti. To se je zelo očitno pokazalo med zapiranjem države, saj je bil seizmični nemir v tem obdobju povečan in je odstopal od povprečja. Povečan je bil tudi v zimskem



Slika 7: Spekter močnostne gostote (PSD) za štiri tedne za potresno opazovalnico GBAS (slika 2). V nedeljo podnevi, 12. aprila 2020, zasledimo obdobje z izrazito nižjim seizmičnim šumom na frekvenčnem območju med 1 Hz in 10 Hz (puščica).

Figure 7: The power spectral density (PSD) for four weeks for the GBAS seismic station (see Figure 2). On Sunday afternoon, 12 April 2020, a period with markedly lower seismic noise in the frequency range between 1 Hz and 10 Hz was observed (arrow).

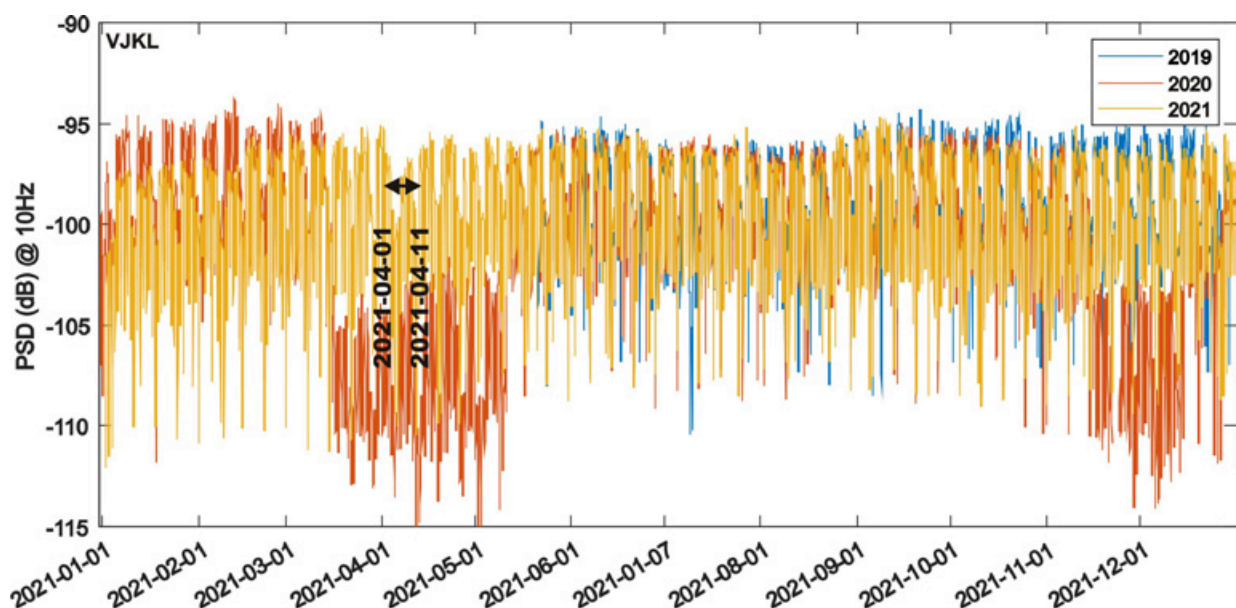
času. Sklepamo lahko, da je bil povečan seizmični šum posledica povečanega bivanja v objektih, predvsem zaradi dela od doma.

Če smo izrazito znižanje seizmičnega nemira v času zapiranja zaznali samo na potresni opazovalnici VJKL, pa 12. april 2020 izstopa iz povprečja. Ta dan, približno med 5.30 in 18. uro po lokalnem času, so potresne opazovalnice na slovenskem ozemlju v frekvenčnem območju med 1,5 Hz in 4 Hz zaznale opazno manjši seizmični šum. Na nekaterih potresnih opazovalnicah je bilo to celo najtišje dnevno obdobje v zadnjih nekaj letih. Med te opazovalnice spada potresna opazovalnica GBAS (slika 7), v kateri je bil manjši seizmični šum zaznan celo na nekoliko širšem frekvenčnem območju (med 1 Hz in 10 Hz). Tak opazno manjši seizmični šum ugotavljamo po navadi v času daljših praznikov, ko si več dni zapored sledijo dela prosti dnevi. To so dnevi okoli prvega maja ali pa božično-novoletni prazniki. Velikonočni prazniki s samo enim dodatnim dela prostim dnevom ne spadajo v ta okvir, zato lahko sklepamo, da je na znižan seizmični šum 12. aprila 2020, na velikonočno nedeljo, zagotovo vplivala zaprtost države. To potrjuje tudi dejstvo, da dan pozneje, v ponedeljek, ko je bil tudi praznik, nismo zaznali odstopanja od pričakovanih vrednosti v seizmičnem šumu. Da v ponedeljek, 13. aprila 2020, kljub prazniku intenziteta seizmičnega šuma ni bila tako nizka kot v nedeljo, lahko odgovor poiščemo v vremenu. Ta dan je prišlo do ohladitve, kar je zagotovo vplivalo na večjo aktivnost v območjih

bivanjskih skupnosti, v primerjavi z dnevi, ko so ljudje večinoma zunaj. Toda tako v soboto, 11. aprila 2020, kot tudi v nedeljo, 12. aprila 2020, je bilo skoraj enako toplo in sončno. To sta bila prva zelo topla dneva leta 2020, ko se je temperatura povzpela celo nad 24 stopinj. Iz tega bi lahko sklepali, da bi potresne opazovalnice oba dneva morale zaznati približno enako intenziteto seizmičnega šuma. Nedelja je bila zgodaj popoldne celo opazno bolj vetrovna od sobote. Zakaj so potresne opazovalnice v nedeljo ugotovile znatno manjši seizmični šum v območju, ki ga uvrščamo v spodnjo raven visokofrekvenčnega šuma, kot v soboto? Pravega odgovora ne poznamo. Zagotovo pa je to povezano z navadami ljudmi, skupinskimi migracijami in podobno, kar bo zanimivo v prihodnje še analizirati. Je pa prav zapiranje države zaradi koronavirusa razkrilo, kako kompleksen je izvor nizkofrekvenčnega urbanega šuma, ter zapleteno soodvisnost urbanih in naravnih virov seizmičnih signalov.

VPLIV ZAPRTJA DRŽAVE NA VISOKOFREKVENČNI SEIZMIČNI NEMIR LETA 2021

Na sliki 8 imamo PSD-podatke pri 10 Hz za potresno opazovalnico VJKL za leta 2019, 2020 in 2021. Podatki so obdelani z median filtrom (dvanajsturnim) in so kompletni za leti 2020 in 2021, za leto 2019 pa imamo le podatke od začetka delovanja sistema. Za lažjo primerjavo podatkov med seboj se vsi zapisi



Slika 8: Prikaz obdelanih podatkov za potresno opazovalnico VJKL (razlaga obdelave signalov je v besedilu pod sliko 5) za leta 2019, 2020 in 2021. S puščico je označeno zapiranje države zaradi tretjega vala epidemije.

Figure 8: Display of processed data for the VJKL seismic station (explanation of signal processing is in the text for Figure 5), for 2019, 2020 and 2021. The arrow indicates the lockdown due to the third wave of Covid-19.

začnejo na isti dan tedna, in to glede na leto 2021. Iz zapisov razberemo, da v prvi četrtini leta 2021 seizmični šum ni dosegel ravni pred obdobjem covid-19. To pomeni, da je bilo v tem obdobju leta 2021 manj urbane aktivnosti kot leto prej. Zaprtje zaradi tretjega vala med 1. in 11. aprilom 2021 se sicer zana, a ne tako izrazito kot v obeh zaprtjih leta 2020. V poletnih mesecih pa je signal vsa tri leta enak. V poletnih mesecih je bilo zaradi manjše interakcije ljudi s koronavirusom manj ukrepov, ki bi v tem časovnem obdobju vplivali na spremembe aktivnosti v urbanih okoljih. Sredi septembra 2021 pa je, glede na leto 2019, začela amplituda jakosti seizmičnega šuma rahlo upadati. V drugi polovici novembra, ki seže nato še v december, je bil upad intenzitete seizmičnega šuma nekoliko izrazitejši. To je bilo obdobje četrtega vala epidemije. Na potresni opazovalnici LJU tretje zapiranje komaj zaznavno izstopa. Se pa poveča raven dnevnega seizmičnega šuma septembra in oktobra, kar je verjetno posledica večje aktivnosti v objektu potresne opazovalnice (prenovitevna dela, selitve knjižnice itn.), kar seveda ponovno kaže na to, kako močan vpliv imajo lokalni urbani izvori na povečano intenziteto seizmičnega šuma.

SKLEPNE MISLI

Občutljivi seizmometri so pokazatelj tako naravnih procesov kot tudi dejavnosti ljudi. Ker na območjih

z večjo poseljenostjo ljudje ustvarjajo več vibracij, lahko z merjenjem visokofrekvenčnega seizmičnega signala sledimo intenziteti teh dejavnosti. Tako nam seizmična opazovanja v večjih urbanih središčih lahko pokažejo, kako so se zaradi zaprtja države zaradi koronavirusa aktivnosti ljudi zmanjšale in tudi, kdaj se je po prenehanju ukrepov dinamika življenja vrnila na običajno raven. Kako lahko temu sledimo, je odvisno od lokacije potresne opazovalnice v urbanem okolju, od velikosti urbanega okolja in od vrste človeške dejavnosti. V Sloveniji smo to lahko neposredno opazovali le na eni potresni opazovalnici, ki deluje v Ljubljani za Bežigradom. Posredno pa smo sicer opazili vpliv zaprtja države tudi na potresni opazovalnici LJU in CEY. Zanimiv je praznični 12. april 2020, ko smo podnevi na večini potresnih opazovalnic zaznali zmanjšan visokofrekvenčni seizmični nemir, kar spet kaže na to, da s seizmološkimi instrumenti lahko zaznamo tudi skupinsko dinamiko prebivalcev.

Da pa druge potresne opazovalnice na slovenskem ozemlju niso zaznale vpliva zaprtja države, pomeni, da so njihove lokacije dobro izbrane, saj njihov namen ni zaznavanje antropogenih motenj, temveč signalov zelo šibkih potresov, ki so prešibki, da bi jih zaznali ljudje, nam pa veliko povejo o geofizikalnih pojavih pod našim površjem. Zato tudi potresne opazovalnice postavljamo predvsem na območjih z redko poseljenostjo.

Viri in literatura

1. Corradini, M. The sound of Covid-silence. EGU Blogs. <https://blogs.egu.eu/divisions/sm/2020/04/29/the-sound-of-covid-silence/>, december 2021.
2. Lecocq, T., in 76 avtorjev, 2020. Global quieting of high-frequency seismic noise due to COVID-19 pandemic lockdown measures. SCIENCE, Vol 369, Issue 6509: 1338–1343.
3. Mallapaty, S., 2020. How sewage could reveal true scale of coronavirus outbreak. Nature. 2020 Apr; 580(7802):176–177.
4. Maciel, S. T. R., Rocha, M. P., Schimmel, M., 2021. Urban seismic monitoring in Brasília, Brazil.
5. PLoS One. 2021 Aug 5;16(8):e0253610. doi: 10.1371/journal.pone.0253610. eCollection 2021.
6. Roy, K. S., Sharma, J., Kumar, S., Kumar, R. V., 2021. Effect of coronavirus lockdowns on the ambient seismic noise levels in Gujarat, northwest India. Sci Rep 11, 7148.
7. Tasič, I., 2004. Kako merimo potrese. Ujma, 17-18, 251–256.
8. Tasič, I., 2015. Spodnja raven seizmičnega šuma v Sloveniji. Ujma, 29, 343–349.
9. Tasič, I., 2018. Seizmometer in pospeškometer – merilni par na potresni opazovalnici. Ujma, 32, 210–217.
10. 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. 5. Vidrih R., 2015. Potres 12. julija 2004 v Zgornjem Posočju. Ujma, 19, 60–73.
11. Yabe, S., Imanishi, K., Nishida, K., 2020. Two-step seismic noise reduction caused by COVID-19 induced reduction in social activity in metropolitan Tokyo, Japan. Earth Planets Space 72, 167.
12. Wiki 2021a. <https://en.wikipedia.org/wiki/Brussels>, 30. 12. 2021.
13. Wiki 2021b. <https://en.wikipedia.org/wiki/Ljubljana>, 30. 12. 2021.