

ZVOKI POTRESOV

THE SOUNDS OF EARTHQUAKES

Izidor Tasič

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

Povzetek

Eden od manj znanih neposrednih učinkov potresa je zvok. Nizkofrekvenčne zvoke, podobne bobnenju, grmenju, puku najpogosteje slišimo pri šibkih potresih, če smo na prostem in relativno blizu nadžarišča. Taki zvočni pojavi so človeku neprijetni, vendar gre za nenevaren naravni pojav, ki je prisoten ob številnih lokalnih potresih. Kadar je poslušalec na prostem in zasliši zvok zaradi potresa, najpogosteje istočasno zazna tudi nihanje tal. Ker je hitrost potovanja potresnih valov v Zemljini nekajkrat večja od hitrosti zvoka v zraku, je istočasnost obeh pojavov neposreden pokazatelj, da je izvor zvoka zelo blizu poslušalca. Izvor zvoka so potresni valovi, natančneje, nihanje tal zaradi potresa v neposredni bližini poslušalca.

Abstract

One of the lesser known effects of an earthquake is its sound. Low-frequency sounds like rumbling, thunder, and banging are most often heard during weak earthquakes, if the observer is outdoors and close to the epicentre. People are always unpleasantly surprised by such sounds, as they are always surprised by an earthquake, but these types of sounds are non-hazardous natural phenomena and are actually present during almost every earthquake. When listeners are outdoors and hear the sound of the earthquake, they are most often aware of the oscillation of the ground. Since the velocity of seismic waves in the Earth is several times greater than the speed of sound in the air, the simultaneity of the two phenomena is a direct indication that the sound source is very close to the listener. The sound source is the earthquake itself, more precisely, the ground oscillating due to the earthquake in the immediate vicinity of the listener.

Uvod

Bobnenje, grmenje, puku podoben zvok, zvok izpiha vetra – vse to so zvočni učinki, ki so jih lahko slišali ljudje ob majhnem ali srednje velikem potresu, kadar so bili nekje na prostem in blizu njegovega nadžarišča. Kljub temu da tak zvok ne povzroča škode, lahko med ljudmi zaseje strah, saj je sam pojav nenaden in strašljiv za slušatelja, ki mu zaradi nizkih frekvenc tudi ne more določiti smeri prihoda. Priča, ki je istočasno slišala pok in začutila tresenje tal in je bila 1. novembra 2015 približno 8 kilometrov stran od nadžarišča potresa na Gorjancih (Šket in sod., 2016) z velikostjo potresa 4,2 M_L , je tako opisala ta pojav. »Bilo je v nedeljo, 1. novembra 2015 okoli 9. ure, po jutranji maši. Z gospodom M. sva že prišla iz cerkve, na prostem sva čakala na druge in se pogovarjala tudi o kometu, ki je tedaj letel blizu zemlje in bi jo lahko zadel. Prav v tistem trenutku, ko sem to rekel, se je močno zatreslo s pokom nekje nedaleč vstran. 'Potres!', je vzklilnil gospod M. in zbežal. Sam sem obstal tam in pomislil: 'Menda ja ni komet.' Ljudje so začeli prihajati iz cerkve, nekateri panični. Povedali so, da se je pošteno streslo.«

Zakaj na prostem potres tudi slišimo

Izvor zvoka ob potresu so potresni valovi. Zvok lahko povzročijo posredno, ko nihanje tal povzroči premikanje

objektov, ki nato oddajajo zvok (tresenje omar, pokaenje gradbenih elementov, porušitve), ali neposredno, ko zvok slišimo tudi, kadar smo na prostem, daleč od objektov. Prve omembe zvočnih pojavov ob potresu segajo daleč v preteklost. Opisal jih je že Seneca okoli leta 65 v svoji Latinski enciklopediji, v katalogu potresov Britanskega združenja za napredek znanosti pa so najstarejši zvočni pojavi ob potresu iz leta 122 (Michael, 2011). Torej je to znan pojav, ki slušatelja zaradi svoje nenavadnosti vedno prestraši.

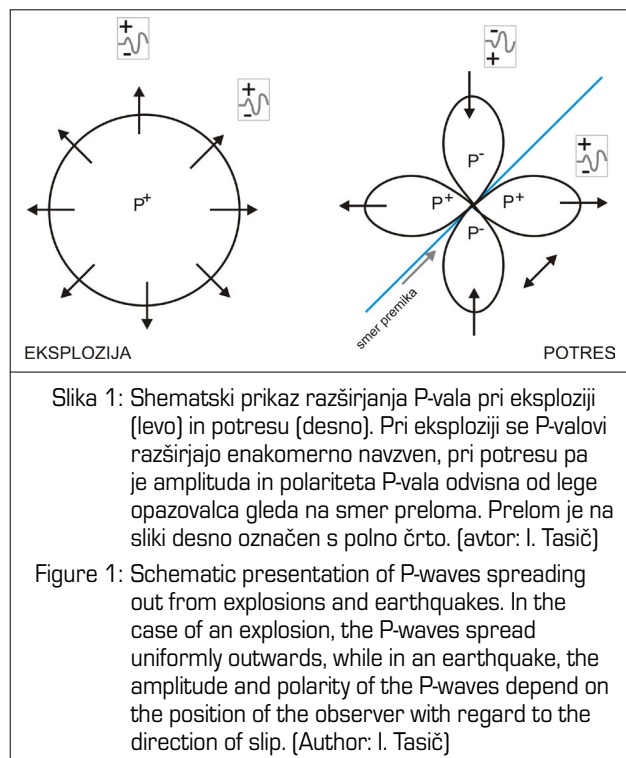
Kadar je poslušalec na prostem in zasliši zvok zaradi potresa, najpogosteje istočasno zazna tudi nihanje tal. Ker je hitrost potovanja potresnih valov v Zemljini skorji skoraj dvajsetkrat večja od hitrosti zvoka v zraku, sovpadanje zvoka s potresnimi valovi kaže, da je izvor zvoka zelo blizu poslušalca in da obstaja neposredna zveza med potresnimi valovi in zvokom. V nekaterih primerih pa oseba samo sliši zvok, medtem ko nihanja tal ne zazna. V takih primerih so se tla stresla tako šibko, da neposrednega tresenja tal telo ni čutilo. V letu 2015 je bilo v Sloveniji vsaj 25 potresov, v letu 2016 pa vsaj 13 potresov, ob katerih so nekateri slišali samo njegov zvok. To ne pomeni, da pri istih potresih na drugih lokacijah ljudje niso zaznali tudi nihanja tal, ampak samo, da so te potrese nekateri tudi samo slišali. Še bolj redki so primeri, ko ljudje najprej slišijo zvok, ki mu takoj sledi tresenje tal. Tudi v teh primerih zvok ni prišel do opazovalca pred potresnimi valovi, ampak spet istočasno, le

da prvih (najhitrejših longitudinalnih) potresnih valov opazovalec ni začutil, slišal je le njihove učinke, površinske potresne valove z večjimi amplitudami, ki so prišli trenutno kasneje, pa je tudi čutil. Žarišče potresa je izvor dveh vrst telesnih valov, longitudinalnih (P) in transversalnih (S). P-valovi so hitrejši od S-valov, ta vrsta valovanja lahko potuje tudi skozi tekočine in pline, imajo pa manjšo amplitudo kot S-valovi. Zvočni pojav ob potresu je v glavnem posledica prenosa manjšega dela energije P-valov v atmosfero (Hill in sod., 1976). Ko P-valovi pridejo do površja, kjer stoji opazovalec, se v veliki meri odbijejo. Vendar površina ni povsem toga in tudi zaniha. Deluje kot velika membrana zvočnika in ustvari spremembe tlaka v zraku, ki sledijo nihanju tal. Zato zvočne lastnosti potresa kažejo značilnosti P-valov (Sylvander in Mogos, 2005). Teoretično bi lahko ustvarili zvok tudi navpično polarizirani S-valovi (SV-valovi), a pričanj o tem ni. Med drugim tudi zato, ker je zastopanost višjih frekvenc pri teh valovih manjša kot pri P-valovih. Hill je s sodelavci raziskoval prenos zvoka v ozračje ob šibkih potresih (Hill in sod., 1976). Njihova analiza je pokazala, da se višje frekvence potresnih valov prekrivajo s spodnjim območjem sluha pri človeku. Človek lahko zazna zvok v frekvenčnem območju med 20 in 20.000 Hz, nihanje tal pri lokalnem potresu pa lahko doseže do nekaj deset Hz. Zato pri potresu lahko slišimo samo nizkofrekvenčne zvoke. Analiza je tudi pokazala, da že šibki potresi ustvarijo dovolj veliko amplitudo zvočnega tlaka, da lahko ljudje zvok slišijo. Ker ima tak zvok veliko daljšo valovno dolžino, kot je velikosti glave poslušalca, slušatelji ne morejo locirati izvora zvoka. Četudi so potresni valovi ustvarili zvok v neposredni bližini poslušalcev, ti opisujejo, kakor da je zvok prišel od daleč. Vendar je to le občutek posameznika, ki je povezan z njegovim razumevanjem in sposobnostjo zaznavanja zvoka. Možgani poslušalca povežejo zvočno zaznavanje potresa s podobnimi zvoki, katerih izvor poslušalec že pozna. Človeško telo je namreč dnevno obkroženo z nešteto zvočnimi pojavi, ki jih doživlja med različnimi opravili, in ljudje jih nezavedno ves čas spremljamo in razpoznavamo.

Vsak potres ima značilen zvok

Kakšen je nizkofrekvenčni zvok pri potresu, je odvisno od nihanja tal na lokaciji poslušalca. Na to pa vpliva več dejavnikov, med katerimi je eden pomembnejših oddaljenost poslušalca od žarišča potresa. Dlje je opazovalec od žarišča potresa, manj zvoka bo slišal, saj se amplitude potresnega valovanja z oddaljenostjo zaradi dušenja zmanjšujejo. Ker pa je dušenje večje za višje frekvence, bo tudi zaradi tega potres na večjih oddaljenostih manj slišen. Nihanje tal je odvisno tudi od fizikalnih lastnosti kamnin, skozi katere valovanje potuje, in od samih fizikalnih lastnosti površine na mestu poslušalca. Predvsem pa je nihanje tal pri poslušalcu močno odvisno od žariščnega mehanizma potresa in od položaja poslušalca glede na seizmično energijo, izsevano iz žarišča. Žariščni mehanizem potresa ni krogelno simetričen, kot je to primer pri podzemnih eksplozijah (slika 1), ampak

je izredno kompleksen pojav. Prostorski potresni valovi se razširjajo iz žarišča sicer v vseh smereh, vendar ne enako. Različni fizikalni procesi v žarišču potresa, kjer ima proces potresnega pojava svoj začetek, ko razpoka na prelomu nastane, in svoj konec, ko se razpoka neha širiti ter se drsenje med ploskvama ustavi, vplivajo na hitrost preloma, način premika ploskev in velikost prelomne ploskve. Vse to pa vpliva na način razširjanja potresnih valov. Potresni valovi so zato posreden pokazatelj dogajanja v žarišču in jih uporabljamo za izračun žariščnega mehanizma. Za uspešen izračun je treba zabeležiti potresne valove na čim večjem območju okoli nadžarišča potresa. Tudi zvok posredno izraža dogajanja v žarišču.

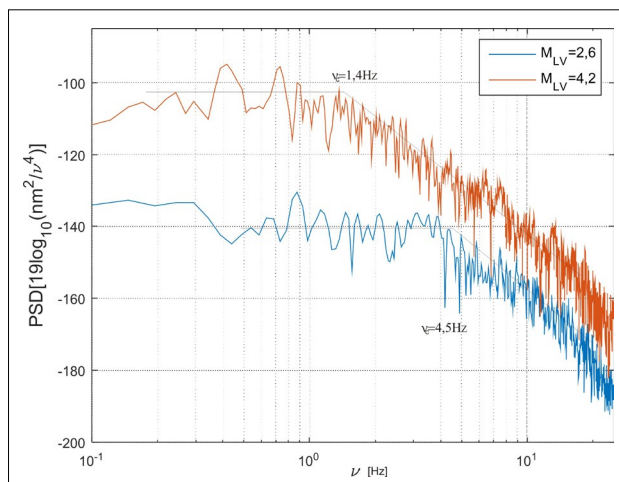


Slika 1: Shematski prikaz razširjanja P-vala pri eksploziji (levo) in potresu (desno). Pri eksploziji se P-valovi razširjajo enakomerno navzven, pri potresu pa je amplituda in polariteta P-vala odvisna od lege opazovalca glede na smer preloma. Prelom je na sliki desno označen s polno črto. (avtor: I. Tasič)

Figure 1: Schematic presentation of P-waves spreading out from explosions and earthquakes. In the case of an explosion, the P-waves spread uniformly outwards, while in an earthquake, the amplitude and polarity of the P-waves depend on the position of the observer with regard to the direction of slip. (Author: I. Tasič)

Tosi in sodelavci (Tosi in sod., 2000) so za štiri potrese z magnitudami med 5,3 in 5,8 primerjali območje slišnosti potresa s teoretično sevalno funkcijo za potresne valove in ugotovili dobro ujemanje s P-valovi in nobenega ujemanja s SV-valovi. Istočasno pa je primerjava med eksperimentalnimi in teoretičnimi modeli pokazala, da so nekateri učinki različni glede na teoretično napoved. Vzrok je lahko v tem, da je zvok potresa, ki ga slišimo, omejen na preozek frekvenčni pas in imamo zato na voljo premalo informacij. Na spektralno porazdelitev potresnih valov pri višjih frekvencah močno vpliva velikost žarišča. Spektralna porazdelitev se spremeni pri neki kotni frekvenci v_c , katere vrednost je najbolj odvisna od velikosti preloma. Kotna frekvenca v_c označuje na frekvenčnem spektru točko, po kateri se delež valov z višjimi frekvencami zmanjšuje. Večji je prelom, bolj se v_c premakne proti nižjim frekvencam in manj bodo v spektru zastopani potresni valovi z višjimi frekvencami. Sledeče vrednosti so orientacijske in veljajo predvsem za Panonski bazen (Süle, 2010): pri magnitudi 3,0 je v_c

približno 4,5 Hz; pri magnitudi 2,5 je v_c približno 7 Hz; pri magnitudi 2,0 je v_c okvirno 10 Hz. Ti podatki kažejo, zakaj bolje slišimo šibke potrese. Pri šibkih potresih so slišne frekvence bližje kotni frekvenci, kar pomeni, da je pri šibkih potresih potrebno manj sproščene energije v obliki potresnih valov, da lahko potres že slišimo. Slika 2 prikazuje spektra dveh slovenskih lokalnih potresov. Močnejši potres je imel velikost 4,2 M_{LV} (opisan je tudi v uvodu), šibkejši potres pa 2,6 M_{LV} . Nadžarišči obeh potresov sta bili oddaljeni med 7 in 8 kilometrov od najbližjih potresnih opazovalnic, od koder so tudi podatki za spektra na sliki. Kljub temu, da se po velikosti potresa bistveno razlikujeta, se amplitude v obeh spektrih močnostne gostote pod 10 Hz več ne razlikujejo tako bistveno kot pri 1 Hz.



Slika 2: Spektra dveh slovenskih lokalnih potresov. Nadžarišči obeh potresov sta bili oddaljeni med 7 in 8 kilometrov od najbližjih potresnih opazovalnic, od koder so tudi podatki za oba spektra. (avtor: I. Tasič)

Figure 2: The spectra of two local earthquakes. Both were detected by the closest seismographs at an epicentral distance of between 7 and 8 kilometres, and their data were used for the calculation of both spectra. (Author: I. Tasič)

Toda, ali ima potres »svoj zvok« tudi, kadar je rušilen? Na prvi pogled odgovor ni preprost, saj so pričanja ljudi v takih primerih nezanesljiva. Nanašajo se predvsem na rušenje, spremljivalni pojavi pa ne pridejo toliko do njihove zavesti. Tudi če so ljudje na prostem, je nihanje tal tako izrazito, da večinoma prevlada nad ostalimi občutki in neposreden zvok potresa ne ostane v spominu. Tudi pri močnejših potresih ljudje v neposredni bližini potresa na prostem zagotovo slišijo zvok, a se tega mogoče ne zavedajo, saj so, kljub temu da je kotna frekvenca premaknjena k nižjim frekvencam, amplitude tal pri visokih frekvencah zadostne za ustvarjanje slišnega zvoka.

Na večjih razdaljah, kjer potresni valovi ne povzročajo več škode, so višje frekvence že močno zadušene, sočasno pa je vpadni kot P-valov na površino zelo majhen, tako da ne ustvarijo več dovolj velike tlačne razlike v slišnem frekvenčnem območju. Najmočnejši potres v osrednji Italiji leta 2016 z velikostjo 6,5 Mw so izrazito zabele-

žile vse potresne opazovalnice na slovenskem ozemlju (najbližja je bila oddaljena 309 km), začutili so ga tudi nekateri ljudje v višjih nadstropjih po vsej Sloveniji, na prostem pa ga ljudje niso čutili in ravno tako ne slišali. Višje frekvence so bile že preveč zadušene.

Kako daleč torej še lahko slišimo zvok ob potresu, je odvisno predvsem od velikosti potresa. Sylvander in Mogos (2005) sta naredila empirično enačbo, ki je temeljila na 184 šibkih potresih z žariščem v francoskih Pirenejih. Po tej enačbi je pri potresu z magnitudo $M_L = 2,0$ mogoče glasno slišati zvok potresa na razdalji približno 8 km in šibko na razdalji 12 km. Pri potresu z magnitudo $M_L = 3,0$ pa bi bilo mogoče glasno slišati zvok potresa na razdalji približno 28 km in šibko na razdalji 55 km. Enačbo sta vezala na maksimalno amplitudo P-valov, kjer izraz »glasno slišati« pomeni amplitudo 1 mikrometer, izraz »šibko slišati« pa amplitudo 0,3 mikrometra. Larsen je s sodelavci (Larsen in sod., 2008) natančno preučil različne učinke lokalnega potresa z magnitudo 2,9 na otoku Sjælland (Danska), med drugim tudi zvočne pojave. Zvok zaradi potresa so slišali tudi 50 km daleč od epicentra. Slišnost potresa je približno sledila empirični enačbi Sylvandersa in Mogosa (2005). Zanimivo pa je, da so priče različno opisovale zvok, tako da raziskovalci niso dobili jasnega vzorca porazdelitve zvočnega pojava okoli nadžarišča. Razlog za to zagotovo leži v sposobnosti posameznika, kako sliši zvok. Na nenavadni zvok se vsak posameznik odzove po svoje in ga tudi opiše na način, ki sledi njegovim prejšnjim izkušnjam o zvokih ali pa se pri opisu odzove na sugestijo osebe, ki izvaja anketo. Zanimiv je primer poročila o zvočnem učinku potresa magnitude $M = 4,0$ leta 1979 na severu ZDA pri mestecu Bath (Michael, 2011). Mnogi anketiranci so opisali, da je bil zvok podoben eksploziji kotla v ogrevalnem sistemu. Izjema je bil anketiranec, ki je v resnici že slišal pravo eksplozijo kotla in je dejal, da temu zvok potresa zagotovo ni bil podoben.

Leta 2015 so na območju Slovenije nekateri posamezniki pri petindvajsetih potresih slišali zvok, ne da bi pri tem čutili tudi tresenje tal. Kako daleč od nadžarišča so bili pričevalci glede na magnitudo potresa, prikazuje slika 3. Ker nimamo podatkov, kako močno so posamezniki slišali potres, smo na sliki prikazali še območji slišnosti, kakor sta ju opredelila Sylvander in Mogos (2005), in sicer kot »zelo glasno območje« in »glasno območje«.

Za opis zvoka ob potresu najdemo ponekod v slovenski literaturi tudi izraz »brontid«. Ta izraz izhaja iz italijanščine (*brontida*), kjer ima bolj splošen pomen: uporablja se za opis vsakega nepričakovanega oziroma na prvi pogled nerazumljivega akustičnega pojava v atmosferi, podobnega topovskemu strelu.

Niso samo potresi krivi

Niso samo potresi izvor teh zvokov. Seizmologi v Virgiji, kjer leži jezero Seneca, s seizmometri niso zabe-

ležili povezave med potresi in temi zvoki (Wheeler in sod., 2017). Te nenavadne zvoke, podobne topovskemu strelu ali grmenju, poznajo ljudje že stoletja. Slišijo jih na različnih koncih sveta, v večni primerov jih slišijo v bližini obal morij, večjih rek in jezer. Pogostokrat jih slišijo ob

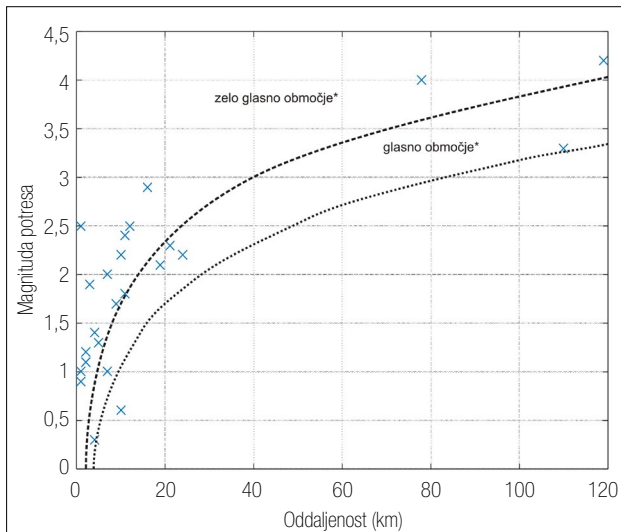
lepem in jasnem vremenu. Pojav nima enotnega imena, na Nizozemskem in v Belgiji te zvoke imenujejo »mistpouffers«, v Bangladešu »guns of Barisak«, v Italiji »brontidi« ali »marine«, v Angliji »mistpouffers«, na Filipinih »retumbos«, na Japonskem »uminari«, v ZDA »guns of the Seneca« v okolici jezera Seneca ali »moodus noises« v spodnjem delu reke Connecticut itd. (Calvert, 2003). Izvori teh zvokov so različni (npr.: Hill, 2011), manjši del povezujejo tudi s potresno aktivnostjo.

V današnjih, sodobnih časih je lahko tak nenavaden zvok tudi posledica človeške dejavnosti ali posrednega vpliva te dejavnosti, kot je recimo vožnja težjih vozil v neposredni bližini, preboj zvočnega zidu testnega letala, izvajanje vojaških vaj, plaz, padec snega s strehe ...

Sklepne misli

Potresni valovi se v zemlji razširjajo kot longitudinalni in transverzalni valovi. Pri potresu se manjši del longitudinalnega valovanja prenese (lomijo) v ozračje. Kadar je frekvenca tega valovanja dovolj visoka, seže v spodnji nivo slišnega območja. Slišno območje človeškega ušesa je med 20 Hz in 20 kHz, in ta zvok poslušalec sliši kot zvok, ki mu ne more določiti smeri izvora, četudi je neposredno povezan z nihanji tal. Zvok je mogoče slišati že pri šibkih potresih. Ker zvok posredno izraža dogajanje v žarišču potresa, bi natančen opis zvoka, ki ga slišimo pri šibkih potresih, ko je število seizmometrov, ki zaznajo potres, relativno majhno, lahko pomagal pri oceni žariščnega mehanizma. Vendar je dožemanje zvoka preveč subjektivno, sami taki dogodki pa prerediti, da bi lahko danes od različnih pričevalcev dobili uporabne podatke.

Zvok pri potresu je torej zanimiv, nenevaren naravni pojav, ki pa med poslušalci, predvsem zaradi nepričakovanosti, lahko povzroči nelagodje ali celo paniko.



Slika 3: Slika prikazuje največjo oddaljenost posameznika, ki je potres na slovenskem ozemlju samo slišal, glede na magnitudo potresa. Podatki so za leto 2015. Ker nimamo podatka, kako močno so posamezniki slišali potres, smo na sliki [*] prikazali še dve območji slišnosti, kakor sta ju opredelila Sylvander in Mogos (2005). (avtor: I. Tasič)

Figure 3: The graph shows the maximum distance of an individual who has only heard a local earthquake against the magnitude of the earthquake. The data are for Slovenia earthquakes in 2015. Since information on how loudly the individual heard the earthquake is missing, two other areas [*] are also presented, as defined by Sylvander and Mogos (2005). (Author: I. Tasič)

Viri in literatura

1. Calvert, J., B., 2003. The Guns of Barisak and Anomalous Sound Propagation, <https://mysite.du.edu/~jcalvert/waves/barisak.htm> [22. 6. 2017].
2. Hill, D., P., Fischer, F., G., Lahr, K., M., Coakley, J., M., 1976. Earthquake sounds generated by body-wave ground motion, *Bul. Seis. Soc. Am.*, 66:159–172.
3. Hill, D., P., 2011. What is That Mysterious Booming Sound?, *Seis. res. Lett.*, 82, št. 5, 619–622.
4. 1938-2057 Larsen, T., B., Gregersen, S., Voss, P., H., Bidstrup, T., Orozova-Bekkevold, V., 2008. The earthquake that shook central Sjælland, Denmark, 6. november, 2001. *Bull. Geol. Soc. Denm.*, Zvezek 56, 27–37.
5. Michael, A., J., 2011. Earthquake sounds. in *Encyclopedia of Solid Earth Geophysics, Seismology*, ur: Harsh Gupta, Springer, 188–191.
6. Süle, B., 2010. Spectral source parameters for weak local earthquakes in the Pannonian basin. *Cent. Eur. J. Geosci* 2: 475–480.
7. Sylvander, M., Mogos, D., G., 2005. The Sounds of Small Earthquakes: Quantitative Results from a Study of Regional Macroseismic Bulletins. *Bul. Seis. Soc. Am.*, 95:1510–1515.
8. Šket Motnikar, B., Čarman, M., Godec, M., Zupančič, P., Cecič, I., 2016. Potres 1. novembra 2015 na Gorjancih, *UJMA* 30, 061–068.
9. Tosi, P., De Rubeis, V., Tertulliani, A., Gasparini, C., 2000. Spatial patterns of earthquake sounds and seismic source geometry. *Geophys. Res. Lett.* 27, 2749–2752.
10. Wheeler, R., Patterson, G., Bodin, P., Johnston., [online]. Earthquake Booms, Seneca Guns and Other Sounds. <https://earthquake.usgs.gov/learn/topics/booms.php> [22. 6. 2017]