

Izbruh vulkana Hunga Tonga-Hunga Ha'apai 15. januarja 2022, njegove značilnosti in opazovanje s slovensko državno mrežo potresnih opazovalnic

Tamara Jesenko*, Ina Cecić*, Martina Čarman*, Andrej Gosar*,
Gregor Rajh*, Polona Zupančič*

Povzetek

Petnajstega januarja 2022 ob 4.14 po UTC (17.14 po lokalnem času) je izbruhnil vulkan Hunga Tonga-Hunga Ha'apai, podvodni vulkan na območju Tonge. Izbruh vulkana je bil najmočnejša eksplozija zabeležena s sodobnimi instrumenti, precej silovitejša od vulkanskih izbruhov 20. stoletja ali jedrskih eksplozij. Začetna eksplozija in oblak sta sprožila valovanje v kamninah Zemljine notranjosti, v oceanski vodi in v atmosferi. Seizmično valovanje skozi Zemljino notranjost in atmosfersko valovanje so zabeležile tudi slovenske potresne opazovalnice, ki so od vulkana oddaljene okoli 17.000 km. Čelo seizmičnega valovanja je pot od vulkana do Slovenije, ki vodi preko Zemljinega jedra, prepotovalo v 20 minutah. Tresenje tal je bilo enakovredno potresu z navorno magnitudo med 5,8 in 6,3. Prehod atmosferskega valovanja čez Slovenijo, ki tudi povzroča gibanje tal, je bilo na slovenskih potresnih opazovalnicah zabeleženo med 15 in 20 ur po vulkanskem izbruhu.

Ključne besede: vulkan Hunga Tonga-Hunga Ha'apai, izbruh

Key words: Hunga Tonga-Hunga Ha'apai volcano, eruption, Slovenia

O izbruhu vulkana

Petnajstega januarja 2022 ob 4.14 po UTC (17.14 po lokalnem času) je izbruhnil vulkan Hunga Tonga-Hunga Ha'apai, podvodni vulkan na območju Tonge. Izbruh vulkana je bila najmočnejša eksplozija zabeležena s sodobnimi instrumenti, precej silovitejša od vulkanskih izbruhov v 20. stoletju ali jedrskih eksplozij.

Tonga (uradno Kraljevina Tonga) je polinezijska država in arhipelag s 169 otoki, od katerih je 36 naseljenih. Skupna površina arhipelaga je približno 750 km² in se razprostira na 700.000 km² južnega Tihega oceana. Tonga je od severnega otoka Nove Zelandije oddaljena približno 1.800 km. Tongatapu je njen glavni in najbolj poseljen otok, kjer se nahaja tudi glavno mesto Nuku'alofa (Tonga, 2022). Vulkan Hunga Tonga-Hunga Ha'apai je le eden izmed aktivnih vulkanov na tem območju in se nahaja 65 km severno od otoka Tongatapu. Leži na območju podrivanja Tihooceanske plošče pod Avstralsko, na območju Tongovskega in Kermadeškega oceanskega jarka, ki se razteza med Samoo in Novo Zelandijo (slika 1). Vulkan Hunga Tonga-Hunga Ha'apai (slika 2) leži skoraj popolnoma pod vodo. Izjema sta dva majhna nenaseljena vulkanska otoka, Hunga Tonga in Hunga Ha'apai, ki sta ostanka severnega in zahodnega roba kaldere in, po katerih je vulkan tudi poimenovan (2022 Hunga Tonga-Hunga Ha'apai eruption and tsunami, 2022).

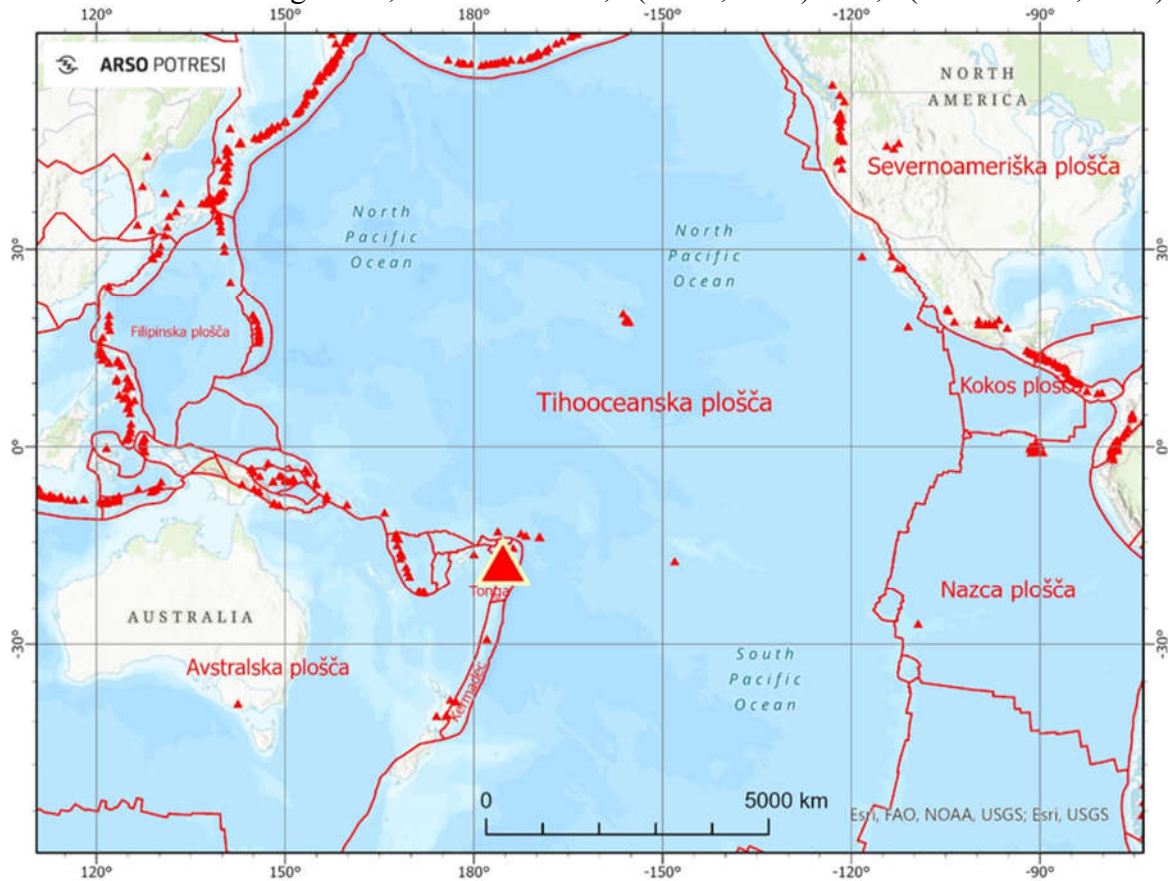
Vulkanska aktivnost se je začela 20. decembra 2021 in se po vmesni umiritvi okoli 11. januarja 2022 čez tri dni (14. januarja) spet povečala ter dosegla vrh 15. januarja s silovitim izbruhom, ki je vulkanski oblak pognal 58 km visoko, vse do mezosfere. Izbruh so prebivalci

* ARSO, Urad za seizmologijo, Vojkova 1 b, 1000 Ljubljana

jasno slišali na otočju Fidži (500 km), čez dve uri na Novi Zelandiji (1.600–2.000 km) in čez 9 ur celo na 9.400 km oddaljeni Aljaski.

V 12 ur trajajočem izbruhu naj bi po Yuen et al. (2022) izbruhana snov dosegla prostornino 1,9 km³ in maso 2.900 megaton (10⁹ kg).

Tresenje tal zaradi izbruha so zabeležile potresne opazovalnice po vsem svetu. Če bi za vulkanski izbruh predpostavili, da gre za potres in po ustaljenih seizmoloških metodah izračunali navorno magnitudo, bi bila ta med 5,8 (NEIC, 2022) do 6,3 (Thurin et al., 2022).



Slika 1. Območje Tihega oceana leži na Tihooceanski tektonski plošči, ki se na robovih stika z drugimi tektonskimi ploščami (rdeče črte). Ob stikih so nastali številni vulkani (rdeči trikotniki). Vulkan Hunga Tonga-Hunga Ha'apai je označen z večjim rdečim trikotnikom.



Slika 2. Vulkan Hunga Tonga-Hunga Ha'apai leta 2014 (USGS, 2014).

Za izbruhe ognjenikov se sicer uporablja osem stopenjska lestvica Volcanic Explosivity Index (Newhall & Self, 1982), po kateri je bil izbruh vulkana Hunga Tonga-Hunga Ha'apai ocenjen na vsaj peto stopnjo (Yuen et al., 2022) (po nekaterih ocenah celo blizu šeste stopnje). To pomeni, da je skupna prostornina izbruhane snovi vsaj 1 km³. Na peto stopnjo sta npr. ocenjena tudi zelo znana izbruha Vezuva leta 79 in izbruh gore Svete Helene leta 1980. Na šesto stopnjo (prostornina izbruhane snovi vsaj 10 km³) je ocenjen izbruh Krakataua leta 1883, na sedmo stopnjo (vsaj 100 km³ izbruhane snovi) pa izbruh Santorinija leta 1620 pred našim štetjem. Na najvišjo osmo stopnjo (vsaj 1.000 km³ izbruhane snovi) sta ocenjena dva izbruha v Yellowstonu pred 2,3 milijoni let in pred 630.000 leti. Ob slednjem je nastala današnja Yellowstonska kaldera (Volcanic Explosivity Index, 2022).

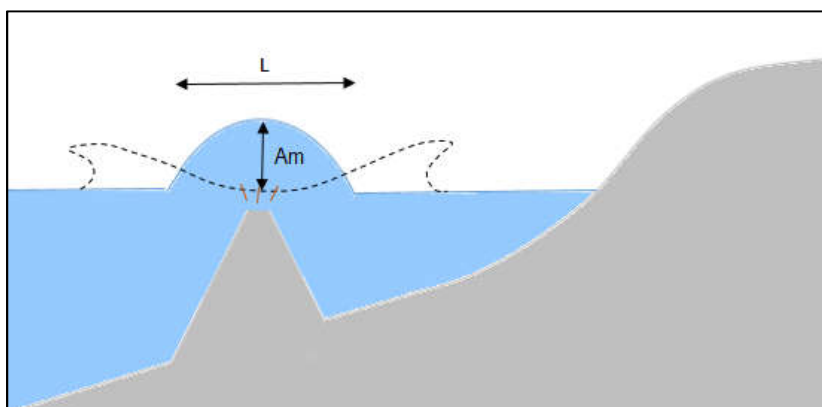
Za vrednotenje moči potresov ali vulkanskih izbruhov se uporablja tudi primerjava z ekvivalentno maso klasičnega (TNT) eksploziva ali atomskimi bombami. Po oceni NASA je bila moč izbruha stokrat večja od atomske bombe odvržene na Hirošimo in večja od katere koli atomske bombe, ki so jih pred uveljavitvijo mednarodnega sporazuma o prepovedi testirali v 20. stoletju. Díaz in Rigby (2022) sta na podlagi meritev zračnega tlaka ocenila, da je moč izbruha Hunga Tonga–Hunga Ha'apai ustrezala ekvivalentu 61 megaton TNT. To pomeni, da je preseгла najmočnejšo testno eksplozijo termonuklearne bombe (Tsar bomba), ki jo je leta 1961 izvedla Sovjetska zveza in, za katero je ekvivalentna moč ocenjena na 50–58 megaton TNT.

Otočje Tonga je bilo kar nekaj časa odrezano od sveta zaradi poškodb podmorskega komunikacijskega kabla. Pepel v zraku je onemogočal polete ter hitro oceno posledic in onesnažil vire pitne vode. Vlada je šele 18. januarja 2022 uspela izdati obvestilo o evakuacijah, ki so jih začeli izvajati takoj po začetku zaporedja izbruhov.

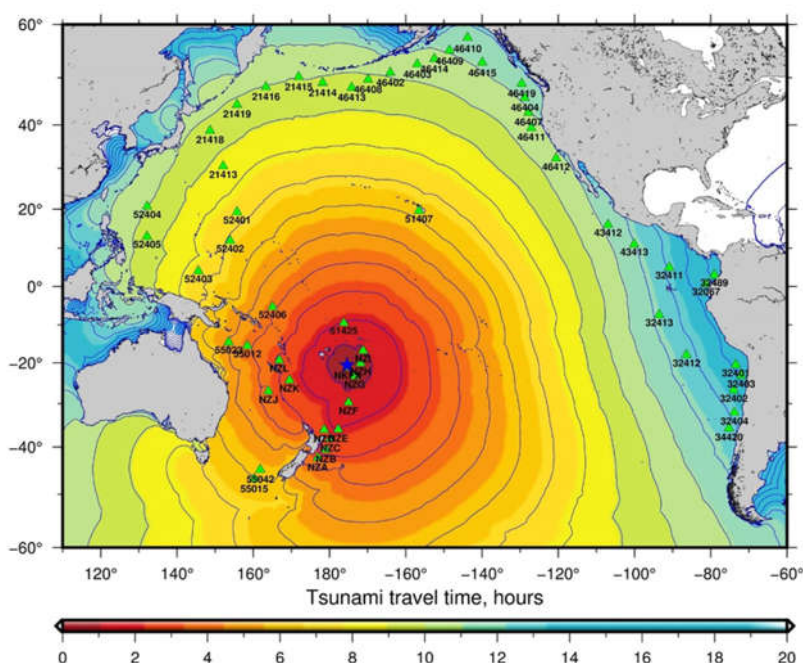
Cunami – potujoči val oceanske vode

Vulkanski izbruh je sprožilunami, ki je potoval s hitrostjo 720 km/h in so ga zabeležili na Tongi, Fidžiju, Ameriški Samoi, Vanuatuju, pa tudi na Novi Zelandiji, Japonskem, v Rusiji, ZDA, Čilu in Peruju. Na Tongi so valovi, ki so se dvignili tudi do 20 m visoko, zahtevali vsaj štiri življenja, dvometrski valovi pa še dve življenji v Peruju (Toulkeridis et al., 2022; USGS, 2022). Cunami sicer nastanejo predvsem ob močnih potresih zaradi pretrga Zemljine skorje pod oceanskim dnom, pri tem se dviga velika količina morske vode. V zadnjih dveh stoletjih je bilo zabeleženih manj kot 100 cunamijev, ki so jih povzročili podvodni izbruhi vulkanov.

Raziskovalci novozelandskega geološkega zavoda (GNS Science) domnevajo, da jeunami na Hunga Tongi povzročil predhodni podvodni izbruh, ki se je zgodil 14. januarja in uničil del otoka. Ta je odprl razpoke in s tem morski vodi omogočil, da je prišla v stik z magmo. Hitro uparjanje velikih količin vode je povzročilo glavni izbruh 15. januarja (2022 Hunga Tonga–Hunga Ha'apai eruption and tsunami, 2022). Ta je bil tako močan, da je povzročil dvig ogromne količine oceanske vode, ki se je potem razlila v obliki uničujočega cunamija. Heidarzadeh et al. (2022) so na podlagi meritev sistema za opozarjanje pred cunami v Tihem oceanu DART (Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunamis) ocenili začetni val cunamija ob izbruhu. Uporabili so podatke 22 priobalnih merilcev plime, 8 globokomorskih boj in zapise na osmih merilcih zračnega tlaka ter s spektralno analizo in modeliranjem izračunali, da se je ob izbruhu premaknilo 6,60 km³ oceanske vode. Val je imel na mestu izvora začetno značilno dolžino 12 km in amplitudo (višino) 90 m (slika 3). Čas potovanja cunamija zaradi izbruha vulkana Hunga Tonga-Hunga Ha'apai v Tihem oceanu je prikazan v urah na sliki 4.



Slika 3. Skica, ki prikazuje hipotetični začetni val, upoštevan za modeliranje vulkanskega cunamija (Hunga Tonga-Hunga Ha'apai, 15. januar 2022). Z L je označena značilna dolžina in z A_m značilen največji vodni izpodriv (začetna amplituda valov) na mestu izvora cunamija (po Heidarzadeh et al., 2022).



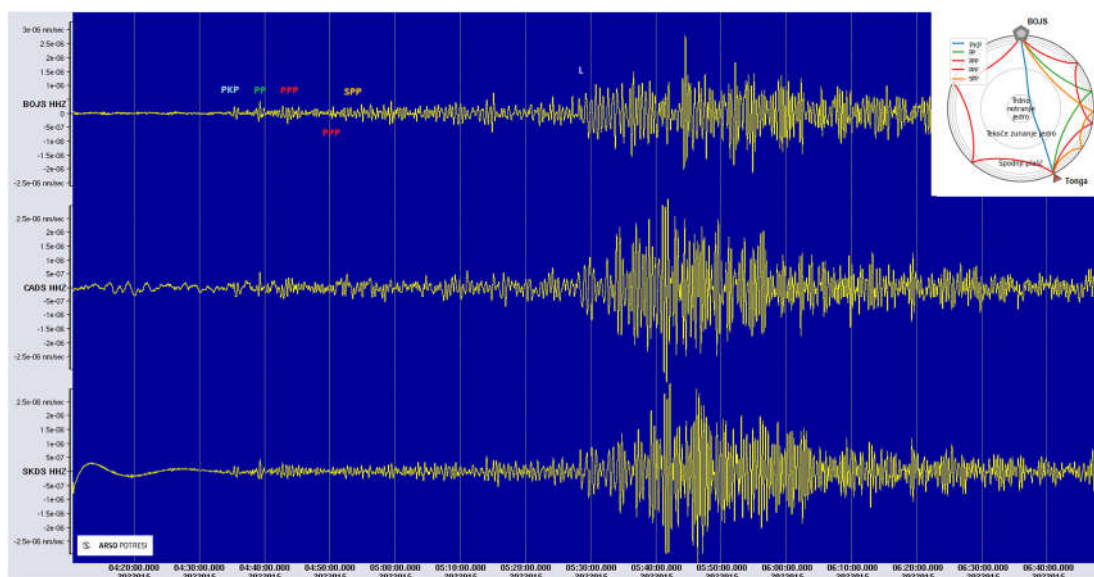
Slika 4. Čas potovanja cunamija preko Tihega oceana zaradi izbruha vulkana Hunga Tonga-Hunga Ha'apai v urah. Z zelenimi trikotniki so označeni merilniki sistema DART, sistema za opozarjanje pred cunamiji v Tihem oceanu (NOAA, 2022).

Seizmično in atmosfersko valovanje zabeleženo na slovenskih opazovalnicah

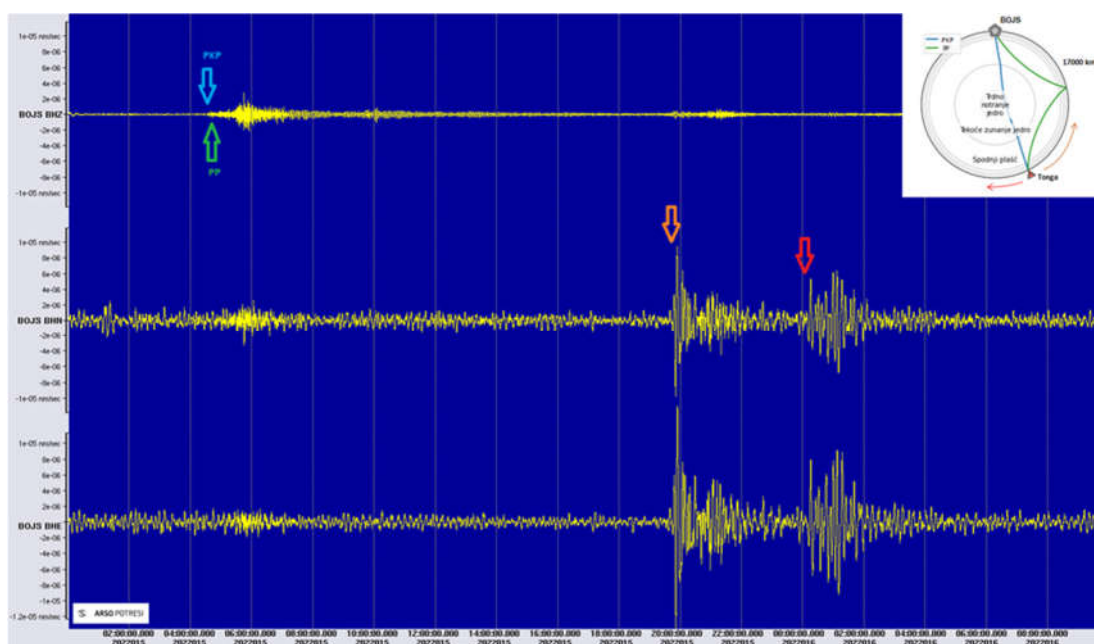
Del energije, sproščene ob vulkanskem izbruhu, je prešel v seizmično valovanje. Zabeležile so ga potresne opazovalnice po vsem svetu, tudi slovenske, ki so od vulkana oddaljene okoli 17.000 km. Čelo seizmičnega valovanja je pot od vulkana do Slovenije, ki vodi preko Zemljinega jedra, prepotovalo v približno 20 minutah (slika 5).

Ognjeniški steber je s stiskom okoliškega zraka povzročil infrazvočno valovanje. To je potovalo v vse smeri okoli Zemljine oble in pri prehodu vzbujalo valovanje Zemljinega površja. Motnja je od vulkana potovala po površini s hitrostjo okoli 300 m/s. Slovenijo je

prvič prešla po 15 urah po krajši poti in po približno 20 urah po daljši poti. Tudi ta fenomen je bil zabeležen na slovenskih potresnih opazovalnicah (slika 6).



Slika 5. Zapis izbruha vulkana 15. januarja 2022 na treh slovenskih potresnih opazovalnicah (BOJS, CADS in SKDS). Prikazan je 2 uri in pol dolg zapis (navpična komponenta), na katerem so označeni vstopni časi nekaterih faz. V zgornjem desnem kotu je z enako barvo shematsko prikazana njihova pot skozi Zemljo (od vulkana do opazovalnice BOJS).



Slika 6. Zapis izbruha vulkana in valovanja zraka v atmosferi 15.–16. januarja 2022 na potresni opazovalnici BOJS. Prikazan je 34-urni zapis (tri komponentni), na katerem so s puščicami označeni vstopni časi nekaterih faz seizmičnega valovanja (modra, zelena) in prihodov valovanja zraka (oranžna, rdeča). V zgornjem desnem kotu je z enako barvo shematsko prikazana njihova pot skozi Zemljo in okoli nje (od vulkana do opazovalnice BOJS).

Sklep

Izbruh vulkana Hunga Tonga-Hunga Ha'apai je bil za vse nas, ki se ukvarjamo z geoznanostmi, poseben. Dogodek smo lahko spremljali na različnih instrumentih in mrežah, ker je bil tako močan, da ga je lahko opazoval ves svet. Ta kratek prispevek je pripravljen z namenom, da ohranimo spomin na 15. januar 2022 in mogoče spodbudimo kakšno multidisciplinarno raziskavo.

Literatura

- 2022 Hunga Tonga–Hunga Ha'apai eruption and tsunami, Wikipedia [online] (posodobljeno 5. decembra 2022). https://en.wikipedia.org/wiki/2022_Hunga_Tonga%E2%80%93Hunga_Ha%27apai_eruption_and_tsunami (uporabljeno 7. 12. 2022)
- Díaz, J. S.; Rigby, S. E. 2022: Energetic output of the 2022 Hunga Tonga–Hunga Ha'apai volcanic eruption from pressure measurements. *Shock Waves*. 32 (6): 553–561.
- Heidarzadeh, M., Aditya Riadi, G., Takeo, I., Ramtin, S., Šepić, J. (2022). Estimating the eruption-induced water displacement source of the 15 January 2022 Tonga volcanic tsunami from tsunami spectra and numerical modelling. *Ocean Engineering*. 261: 112165. doi:10.1016/j.oceaneng.2022.112165
- NEIC, 2022. M 5.8 Volcanic Eruption - 68 km NNW of Nuku'alofa, Tonga. US Department of the Interior. Geological Survey, National Earthquake Information Center. <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/pt22015050/executive> (uporabljeno 8. decembra 2022).
- Newhall, C., G.; Self, S. (1982). "The Volcanic Explosivity Index (VEI): An Estimate of Explosive Magnitude for Historical Volcanism". *Journal of Geophysical Research*. 87 (C2): 1231–1238. doi:10.1029/JC087iC02p01231.
- NOAA, 2022. January 15, 2022 Tonga Tsunami (NOAA DART®, NOAA/NOS/CO-OPS and NOAA/NESDIS/STAR Satellite Altimeter Data). <https://ngdc.noaa.gov/hazard/dart/2022tonga.html> (uporabljeno 6. 12. 2022)
- Thurin, J., C. Tape, Modrak R. (2022). Multi-Event Explosive Seismic Source for the 2022 Mw 6.3 Hunga Tonga Submarine Volcanic Eruption, *The Seismic Record*. 2(4), 217–226, doi: 10.1785/0320220027
- Tonga, Wikipedia [online] (posodobljeno 6. decembra 2022). <https://en.wikipedia.org/wiki/Tonga> (uporabljeno 8. 12. 2022)
- Toulkeridis; Th., Martinez, N., Barrantes G., Rentería, W., Barragan-Aroca, G., Simón-Baile, D., Palacios; I., Salazar, R., de Jesús Salcedo-Hurtado E., Pararas-Carayannis, G., 2022. Impact and response in Central and South America due to the tsunami generated by the submarine eruption of Hunga Tonga-Hunga Ta'apai volcano. *Journal of Tsunami Society International*, 41 (1), 1-38
- USGS, 2014. Hunga Tonga-Hunga Ha'apai. <https://www.usgs.gov/media/images/hunga-tonga-hunga-haapai> (uporabljeno 7. 12. 2022)
- USGS, 2022. Massive Volcanic Eruption and Tsunami Informs Plan for Future Eruptions, Sea-Level Rise. August 12, 2022. <https://www.usgs.gov/news/featured-story/massive-volcanic-eruption-and-tsunami-informs-plan-future-eruptions-sea-level> (uporabljeno 25.11.2022)
- Volcanic Explosivity Index, Wikipedia [online] (posodobljeno 7. decembra 2022). https://en.wikipedia.org/wiki/Volcanic_explosivity_index (uporabljeno 8. 12. 2022)
- Yuen, D.A., Scruggs, M.A., Spera, F.J., Zheng, Y., Hao Hu, H., McNutt, S.R., Thompson, G., Mandli, K., Keller, B.R., Shawn Wei, S., Peng, Z., Zhou, Z., Mulargia, F., Tanioka, Y. (2022). Under the Surface: Pressure-Induced Planetary-Scale Waves, Volcanic Lightning, and Gaseous Clouds Caused by the Submarine Eruption of Hunga Tonga-Hunga Ha'apai Volcano Provide an Excellent Research Opportunity. *Earthquake Research Advances*. 2 (3). doi:10.1016/j.eqrea.2022.100134