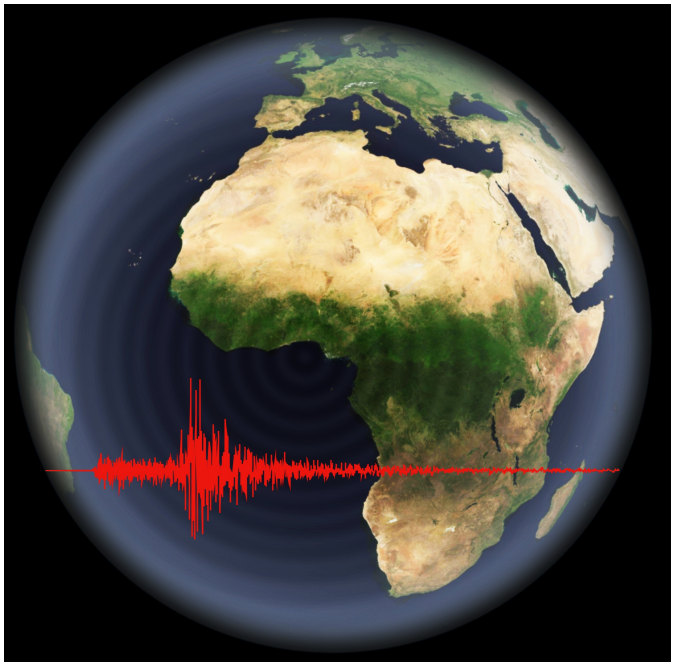
ALTERNATOR
Misliti znanost.

Skrivnostni seizmični signal iz Gvinejskega zaliva



20. 11. 2025

Number: 24/2025

Author:

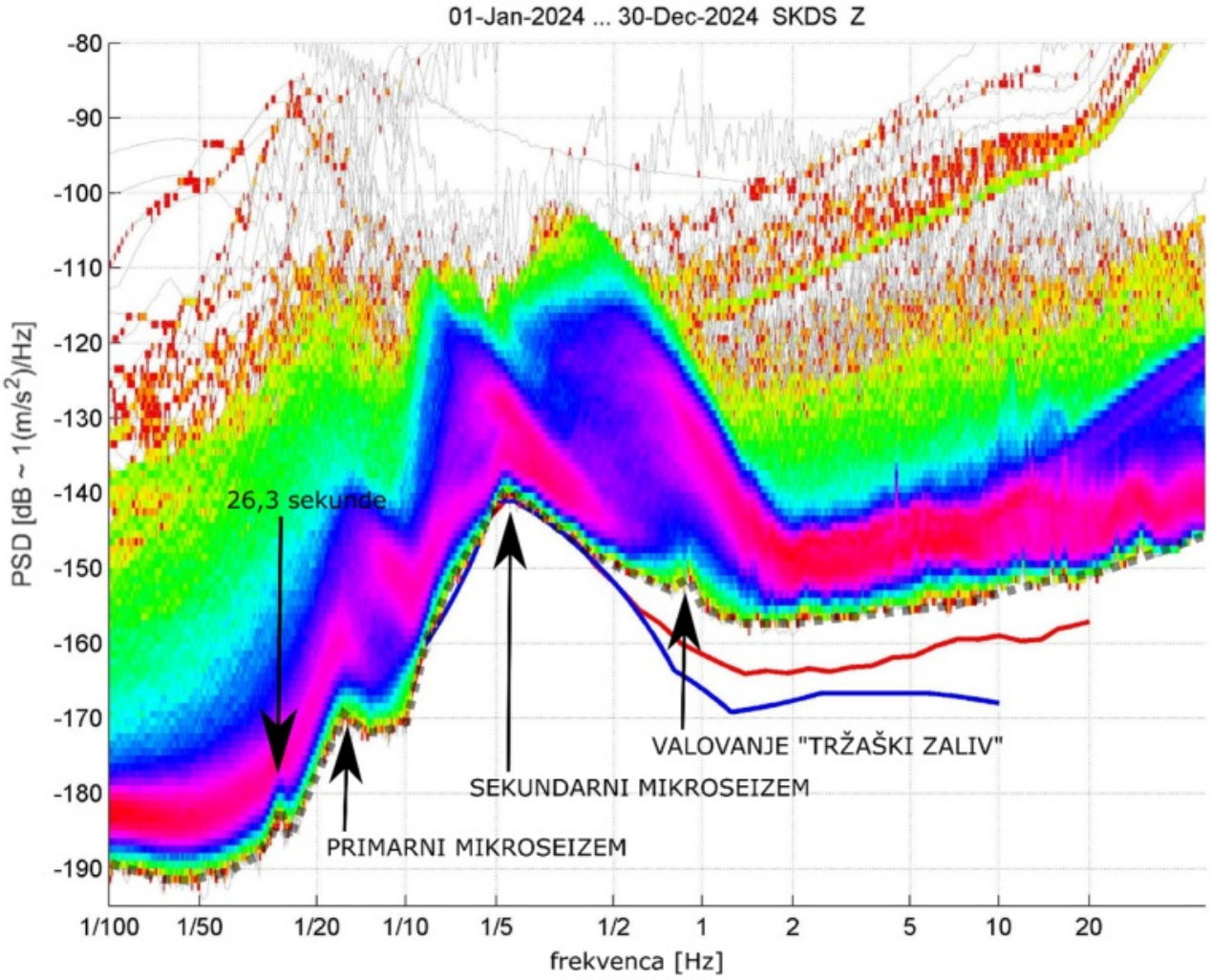
- Izidor Tasič

Znanstveniki po svetu že več desetletij opažajo skrivnosten, skorajda enakomeren utrip našega planeta: (ozkofrekvenčni) seizmični signal s periodo 26,3 sekunde, ki izvira nekje v Gvinejskem zalivu. Kaj pravzaprav povzroča to ritmično tresenje tal, ki ga zaznavajo celo potresne opazovalnice tisoče kilometrov stran, med njimi tudi slovenske, kljub številnim raziskavam ostaja skrivnost.

Tresljaji tal in njihovo zaznavanje

Tla pod našimi nogami se neprestano tresejo, ne glede na to, kje na Zemlji se nahajamo. V veliki večini je nihanje tal tako šibko, da se ga ljudje ne zavedamo, saj ga zaznajo samo občutljivi merilniki nihanja tal, ki jih imenujemo seizmometri. Tresenje tal povzročajo tako bližnji kot tudi zelo oddaljeni izvori, pri čemer so nekateri kratkotrajni, drugi pa trajajo dlje. Najbolj znani občasni izvori so potresi. Šibkejše potrese zaznajo bližnje potresne opazovalnice, nihanje površine tal pa po navadi traja do nekaj deset sekund. Nasprotno zaznajo potrese magnitude 6 ali več potresne opazovalnice po vsem svetu (https://ojs-gr.zrc-sazu.si/ujma/article/view/8969) , tudi tiste najbolj oddaljene, tresenje pa lahko traja več ur. Toda pri veliki oddaljenosti od žarišča potresa so periode nihanja tal tako velike, da jih ljudje kljub relativno velikim amplitudam ne čutimo. Nekateri izvori nihanja tal so stalnejši. Najpomembnejši med njimi so posledica interakcije valovanja v oceanih in morjih z morskim dnom in obalo ter jih imenujemo mikroseizem. Ta prevladujoči vir seizmičnega nemira, ki ga zaznavajo potresne opazovalnice po vsem svetu, tudi globoko v notranjosti kontinenta, se večinoma nahaja na periodi med eno in tridesetimi sekundami, amplituda nihanja tal pa običajno ne presega nekaj mikrometrov. Večina energije seizmičnega signala, ki je posledica valovanja v oceanih, je naložena v nihanju okoli periode 14 sekund in okoli periode 7 sekund. Ti dve območji imenujemo primarni in sekundarni mikroseizem; prvi ima svoj izvor ob obalah (ko se valovi lomijo), drugi na območju nekoliko večjih globin, ko nasproti potujoči oceanski valovi enakih frekvenc povzročajo periodično spreminjanje tlaka (https://www.jstor.org/stable/91470) na morskem dnu. Najlažje ju prikažemo z grafi spektralne gostote moči (angl. *Power Spectral Density* oz. PSD). Ti nam pokažejo, koliko moči (oz. energije na frekvenčno enoto) vsebuje signal v posameznem frekvenčnem pasu, primer spektrov pa lahko vidimo na Sliki 1. V Sloveniji je amplituda nihanja na območju mikroseizma v zimskem času v povprečju večja kot poleti, kar je posledica pogostejšega pojavljanja tropskih ciklonov nad severnim Atlantskim oceanom, ki generira povečano valovanje v oceanu (https://ojs-gr.zrc-sazu.si/ujma/article/view/8637/8076) .

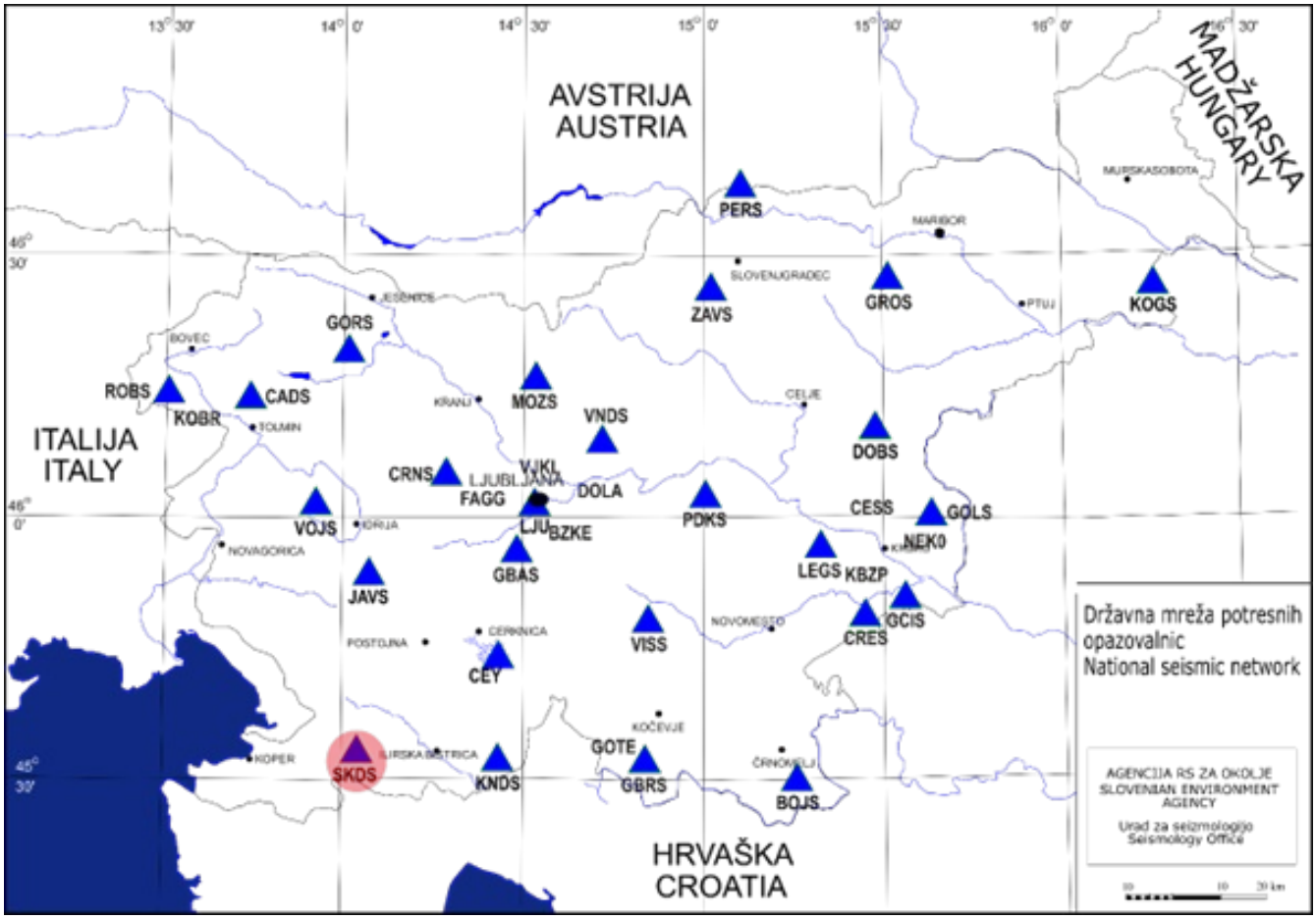
V potresnih opazovalnicah v Sloveniji (Slika 2) občasno zaznavamo povečano nihanje tal tudi na periodi med 1 in 4 sekundami (Slika 1), kar je skladno s povečanim valovanjem v Tržaškem zalivu. To valovanje ima enako periodo kot prevladujoči valovi v zalivu in opazno upada (https://ojs-gr.zrc-sazu.si/ujma/article/view/8765) z oddaljenostjo potresnih opazovalnic od zaliva.



Slika 1: Spektri močnostne gostote enournih seizmičnih podatkov za potresno opazovalnico Skadanščina (Slika 2, oznaka SKDS) za obdobje enega leta. Pogostost ponavljanja na nekem območju je poudarjena z barvo. Na osi x je podana frekvenca na območju med 0,01 Hz in 30 Hz, na osi y pa je relativen prikaz energije na frekvenčno enoto v decibelih (dB). Spodnja meja seizmičnega šuma, to je območje, pod katerim je na določeni frekvenci seizmični šum neprestano prisoten, je prikazana s črtkano prosojno črno črto. S puščicami so za to krivuljo prikazani različni lokalni maksimumi, ki prikazujejo območje primarnega in sekundarnega mikroseizma, valovanje iz Tržaškega zaliva in komaj opazno valovanje pri periodi 26,3 sekunde.

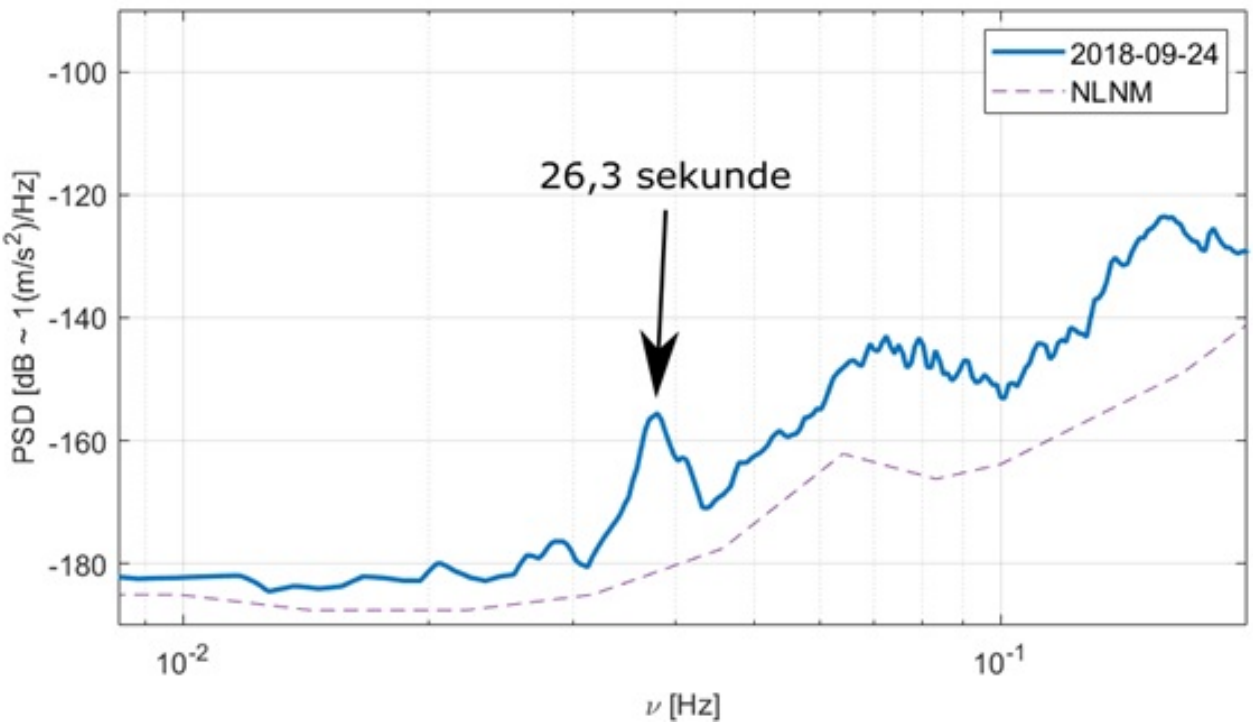
Nihanje s periodo 26 sekund

Pri preučevanju spodnje ravni šuma (https://ojs-gr.zrc-sazu.si/ujma/article/view/8596) v posameznih potresnih opazovalnicah, študija je temeljila na primerjavi z globalnim modelom (https://doi.org/10.3133/ofr93322) spodnje ravni šuma, smo pri periodi 26,3 sekunde (Slika 1) identificirali izoliran seizmični signal, ki je izstopal iz predpostavljene oblike spodnje ravni seizmičnega šuma in za katerega pred tem nismo imeli nobenih informacij. Če bi to odstopanje opazili le na eni opazovalnici, bi to lahko pomenilo napako v postavitvi seizmometra ali pa motnjo iz bližnje okolice. Toda odstopanje od pričakovanih vrednosti pri tej periodi je bilo mogoče zaslediti na vseh lokacijah po Sloveniji, kjer imamo kakovostne širokopasovne seizmometre. Ob dodatni analizi podatkov iz teh seizmometrov se je tudi izkazalo, da ta »neidentificirani« signal na kakovostnih seizmometrih zaznavamo že leta. Visokokakovostne seizmometre smo začeli dobavljati in postavljati po tem, ko smo zaključevali gradbena dela v okviru modernizacije slovenske državne mreže (https://plus.cobiss.net/cobiss/si/sl/data/cobib/228946176/esce) , in sicer po letu 2004. V potresni opazovalnici Skadanščina (Slika 2) je bil sredi leta 2006 postavljen eden prvih takih seizmometrov. Ta ima pri periodi 26 sekund nižji instrumentalni šum od najšibkejšega zaznanega seizmičnega signala na tem območju in na tej lokaciji. S posebnim algoritmom smo na spektrih iz te opazovalnice analizirali pojavnost vrha pri 26 sekundah. Analiza je pokazala, da je ta v seizmičnih podatkih prisoten vse od postavitve seizmometra, najdemo ga v vseh letnih časih in je tudi frekvenčno stalen, toda z različnimi amplitudami. Pogosto je prekrit z drugimi tresljaji, predvsem pozimi, kar je posledica tega, da je pozimi v severnem delu Atlantskega oceana več ciklonov kot poleti, cikloni pa so generator velikih valov.



Slika 2: Državna mreža potresnih opazovalnic. Potresna opazovalnica Skadanščina z oznako SKDS s Slike 1 je obkrožena z rdečo barvo.

Občasno se amplituda signala z vrhom pri periodi 26 sekund bistveno poveča. Eno takih ojačenj signala smo opazili 24. septembra 2018, ko smo v jutranjih urah na tem frekvenčnem območju zaznali izrazito močan ozkopasovni signal, ki je trajal kar nekaj ur in je svoj vrh dosegel med 3. in 4. uro po univerzalnem koordiniranem času (UTC) (Slika 3). V tem času ni bilo nobenega oddaljenega potresa (teleseizma), ki bi lahko ustvaril tako nihanje z dolgo periodo, zato ta signal zagotovo ni bil posledica potresa. Signal je bil dovolj močan, da je omogočal natančno frekvenčno analizo. Ugotovili smo, da ima vrh pri periodi 26,3 sekunde oziroma pri frekvenci 0,038 Hz. Pripravili smo tudi analizo, s pomočjo katere lahko ocenimo smer prihoda seizmičnih valov na območje Slovenije in njihovo hitrost. Ta postopek, ki je sicer najbolj primeren za potresne opazovalnice, razporejene v geometrijsko pravilni obliki, lahko uporabimo, kadar je žarišče dogodka bistveno dlje, kot je premer površine, kjer so postavljene potresne opazovalnice, ki jih uporabimo v izračunu. Ugotovili smo, da imajo potresni valovi s periodo 26,3 sekunde hitrost 3,5 km/s in prihajajo z juga. V času, ko smo izvajali to analizo, smo že naleteli na znanstvene članke (predstavljene v nadaljevanju), ki govorijo o nenavadnem seizmičnem signalu, ki ima svoj izvor v Gvinejskem zalivu. Tudi naš signal je očitno prihajal od tam, z območja, ki je od nas oddaljeno skoraj pet tisoč kilometrov.



Slika 3: Zglajen spekter močnostne gostote enournega seizmičnega zapisa iz potresne opazovalnice SKDS (Skadanščina) za 24. september 2018. Ta dan signal z vrhom pri periodi 26,3 sekunde, ki ga večinoma zasledimo pod –180 dB, izstopi iz ozadja. S črtkano črto je označen Petersonov globalni model spodnje ravni seizmičnega šuma (NLNM; Peterson 1993 (https://doi.org/10.3133/ofr93322)).

Odkrit, pozabljen, odkrit, pozabljen …

Signal pri 26 sekundah je verjetno eden najpogosteje »ponovno odkritih« naravnih pojavov v seizmologiji, predvsem po letu 2010, ko je informacijska tehnologija že močno poenostavila prikazovanje obdelanih podatkov iz večjega števila potresnih opazovalnic. Na podoben način, kot smo signal odkrili v Sloveniji, so ga odkrivale tudi druge institucije po svetu. Prvo presenečenje je bilo, da tak signal obstaja, drugo pa, da se je o njem pisalo že leta 1962.

V šestdesetih letih prejšnjega stoletja je Jack Oliver v znameniti seizmološki reviji *Bulletin of the Seismological Society of America* v dveh člankih (1962 (https://doi.org/10.1785/BSSA0520030507) , 1963 (https://epsc.wustl.edu/~ggeuler/reading/cam_noise_biblio/oliver_1963-bssa-additional_evidence_relating_to_a_worldwide_storm_of_microseisms_with_periods_of_about_27_seconds.pdf)) opisal in poskušal razložiti pojav, ko so 6. junija 1961 analogne potresne opazovalnice po vsem svetu osem ur zaznavale povečan ozkofrekvenčni seizmični signal. Ocenil je, da je perioda signala okoli 27 sekund in da ima svoj izvor v Gvinejskem zalivu. Čeprav je imel Oliver na voljo le analogne zapise, danes vemo, da je bila njegova ocena lokacije izvora pravilna. V prvem članku je kot potencialni izvor navedel dve možnosti: magmatsko aktivnost, ki lahko povzroča takšno ozkopasovno dolgoperiodno nihanje tal, ali valovanje oceana v Gvinejskem zalivu. V članku iz leta 1963 je izvor pripisal dolgoperiodnim oceanskim valovom, ki so po hudem neurju v južnem Atlantskem oceanu zadevali ob obalo v Gvinejskem zalivu.

Nato je vedenje o tem signalu potonilo v pozabo. Ponovno so signal s periodo 26 sekund »odkrili« v osemdesetih letih prejšnjega stoletja. L. Gary Holcomb je ugotovil (https://api.semanticscholar.org/CorpusID:56221136) , da je nihanje tal pri periodi 26 sekund, ki izvira iz Gvinejskega zaliva, prisotno ves čas, se pa spreminja njegova intenziteta. Občasno postane signal iz tega izvora tako močan, da ga lahko zaznajo potresne opazovalnice po vsem svetu. Tak energijski izbruh navadno traja nekaj ur. Potresne opazovalnice, ki so zelo oddaljene od Gvinejskega zaliva, lahko ta signal zaznavajo, ko so na tem frekvenčnem območju seizmični signali drugih izvorov šibki.

Po tem članku najdemo naslednjo omembo tega signala šele leta 2006 (https://doi.org/10.1029/2006GL027010) , ko so raziskovalci pod vodstvom Nikolaja Shapira s sodobnimi numeričnimi tehnikami potrdili, da seizmični signal z vrhom pri 26 sekundah izvira v Gvinejskem zalivu, seizmični valovi pa se v povprečju širijo s hitrostjo približno 3,5 km/s. Potrdili so, da je izvor signala stalen in da je njegova frekvenca časovno stabilna, spreminja pa se amplituda nihanja tal, in sicer se na južni polobli poveča pozimi, ko so tam neurja pogostejša. To je ponovno kazalo na to, da bi lahko bil izvor signala povezan z oceanskimi valovi, vendar pa so periode oceanskih valov bolj razpršene okoli glavne periode, kar se kaže tudi pri obeh vrhovih primarnega in sekundarnega mikroseizma.

Šest let pozneje je Garrett Euler s sodelavci (https://epsc.wustl.edu/~ggeuler/posters/ssa_2013-26s_microseisms.pdf) zožil lokacijo izvora tega signala na Biafrski zaliv (Bight of Bonny) v Gvinejskem zalivu. Kot izvor valovanja je prav tako opredelil valovanje oceana ob obalah zaliva. A vsi raziskovalci se ne strinjajo, da je vzrok 26-sekundnega signala valovanje oceana v

Gvinejskem zalivu. Xia Yingjie s sodelavci je ocenila (https://doi.org/10.1093/gji/ggt076) , da je najverjetnejši vir tega signala vulkanska aktivnost. Vulkanski procesi lahko ustvarijo vulkanski tremor, to je skoraj monokromatski harmonični seizmični signal, ki lahko traja od nekaj minut do nekaj mesecev. V nekaterih primerih lahko dolgoperiodni tremor traja tudi več let, kar je na primer značilnost vulkana Aso na Japonskem, kjer tremor z 10-sekundno periodo zaznavajo že leta. Pri natančnejši spektralni analizi podatkov iz seizmoloških opazovalnic okoli Gvinejskega zaliva so ugotovili, da obstajata dva, med seboj neodvisna seizmična izvora s frekvencama 0,036 in 0,038 Hz oziroma periodama 27,8 in 26,3 s. Izvora imata različni intenziteti. Šibkejše monokromatsko nihanje tal pri periodi 27,8 sekunde so locirali v bližini vulkana (Pico de São Tomé) na otoku São Tomé, ki spada v kamerunsko vulkansko linijo, ki iz Kameruna prehaja v Biafrski zaliv. Seizmični izvor pri periodi 26,3 sekunde pa so locirali nekaj sto kilometrov severozahodneje, v Beninskem zalivu (Bight of Benin), kjer pa ni niti znanih vulkanov niti znane vulkanske aktivnosti. Yingjie s sodelavci zato ocenjuje (https://doi.org/10.1093/gji/ggt076) , da bi lahko bili izvor tega signala neidentificirani vulkanski procesi.

Utripanje Gvinejskega zaliva

Zakaj je tako težko locirati 26-sekundno seizmično utripanje v Gvinejskem zalivu, tudi ko ga zazna veliko število potresnih opazovalnic? Pri močnih potresih je prihod potresnih valov do potresne opazovalnice izrazit, zato je enostavno določiti točno uro njihovega prihoda. Ker dogodek zazna veliko število potresnih opazovalnic, katerih koordinate natančno poznamo, poznamo pa tudi čas prihoda potresnih valov, lahko z obratnim postopkom določimo koordinate žarišča potresa in čas nastanka potresa v žarišču. Če bi bila Zemlja homogena in izotropna, bi teoretično potrebovali podatke o prihodu potresnih valov iz štirih potresnih opazovalnic, da bi potem izračunali lokacijo žarišča in uro nastanka potresa. Ker pa je sestava Zemlje kompleksna, se za izračun lokacije žarišča uporabi podatke iz čim večjega števila potresnih opazovalnic, algoritmi za izračun pa temeljijo na adaptivnih numeričnih postopkih. Pri izvoru iz Gvinejskega zaliva začetka dogodka ne poznamo, saj tla neprestano nihajo s periodo 26,3 sekunde. Tudi ko pride do povečanja amplitude, se ta ne poveča izrazito, temveč postopno, zato na različnih potresnih opazovalnicah po svetu ne moremo enolično določiti začetka nihanja. Za take signale se uporablja postopke, kot je recimo f-k, kjer na omrežjih potresnih opazovalnic iz različnih delov sveta ocenimo smer prihoda potresnih valov in potem poiščemo presečišče žarkov.

Ne glede na izvor ta nenavadni signal ostaja stabilen frekvenčni oscilator, ki že desetletja enakomerno niha. Znanstveniki še vedno razpravljajo, ali ga poganjajo oceanski valovi ali globinska magmatska aktivnost, obe hipotezi pa imata vrzeli, kar priča o tem, da ostajata izvor in mehanizem nastanka signala kljub desetletjem raziskav nepojasnjena. Po prvi hipotezi naj bi bil seizmični signal posledica delovanja oceanskih valov v Biafrskem zalivu, a ta hipoteza ne da zadovoljivega odgovora na vprašanje, zakaj ta seizmični signal obstaja le v ozkem frekvenčnem pasu. Po drugi hipotezi je ozkopasovni seizmični signal posledica magmatske aktivnosti, toda s to hipotezo ni mogoče pojasniti občasnih nekajurnih izrazitih povečanj amplitude, ki jih zasledijo vse opazovalnice na svetu. Ta seizmični signal nas tudi opozarja, da naravni procesi v Zemljini notranjosti in oceanih še vedno niso v celoti razumljeni. Razumevanje tega pojava bo, ob poznavanju natančne lokacije izvora, omogočilo dodaten vpogled v elastične lastnosti in strukturo Zemljine skorje ter zgornjega plašča pod dnom Atlantskega oceana.

https://www.alternator.science/en/long/skrivnostni-seizmicni-signal-iz-gvinejskega-zaliva/