

PREBOJ ZVOČNEGA ZIDU DVEH LETAL NA ZAPISIH DRŽAVNE MREŽE POTRESNIH OPAZOVALNIC

THE SONIC BOOM OF TWO AIRCRAFT RECORDED ON SEISMOGRAMS BY THE SEISMIC NETWORK OF THE REPUBLIC OF SLOVENIA

Polona Zupancič

Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija RS za okolje, Vojkova 1b, Ljubljana, polona.zupancic@gov.si

Jurij Pahor

Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija RS za okolje, Vojkova 1b, Ljubljana

Povzetek

Prebivalce Dolenjske in Posavja je 5. julija 2016 malo po 9. uri zjutraj presenetilo močno bobnenje in tresenje. Večina je najprej pomislila na potres, vendar smo seizmologi Agencije RS za okolje kmalu potrdili, da dogodek ni bil potres, ampak najverjetneje preboj zvočnega zidu dveh letal. Dogodek so zabeležile štiri opazovalnice državne mreže potresnih opazovalnic. Preboj zvočnega zidu dveh vojaških letal je pozneje potrdilo Ministrstvo za obrambo Republike Slovenije. Z analizo seizmogramov in na podlagi več kot dvajsetih poročil, ki so nam jih posredovali občani telefonsko ali z izpolnitvijo makroseizmičnega vprašalnika, smo približno določili položaj in dolžino poti, kjer sta letali leteli z nadzvočno hitrostjo.

Abstract

On 5 July 2016, soon after 9 o'clock in the morning, the inhabitants of the Dolenjska and Posavje regions were surprised by loud thunder and shaking. The first impression was that an earthquake had hit the region, but seismologists at the Slovenian Environment Agency soon realized that there had been a sonic boom caused by two aircraft over the region. Four stations of the Seismic Network of the Republic of Slovenia recorded the incident. The sonic boom of two military aircraft was later confirmed by the Ministry of Defence of the Republic of Slovenia. Based on the seismograms and more than 20 witness reports, who either phoned us or sent a macro-seismic questionnaire, we are able to reconstruct the approximate path of the aircraft's supersonic flight.

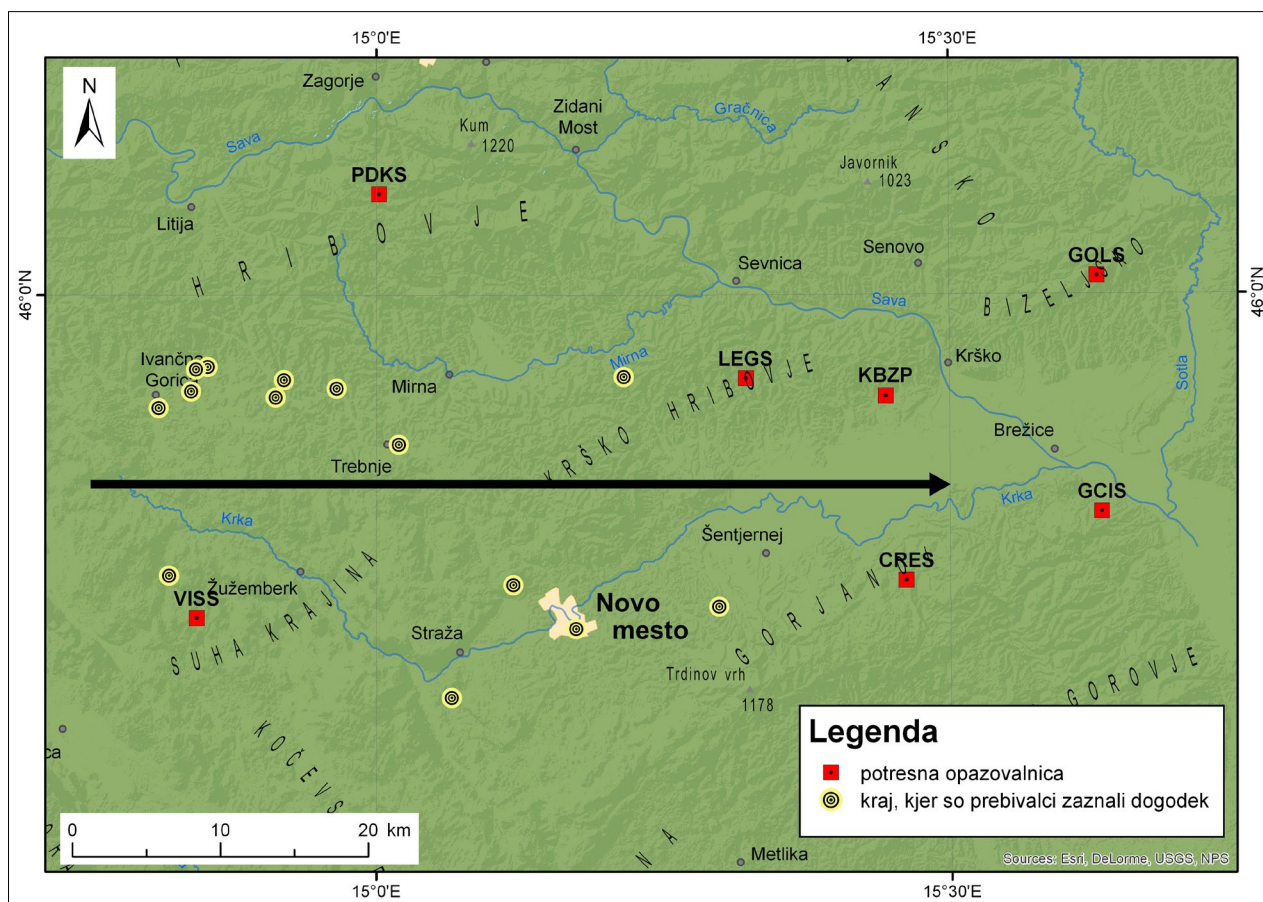
Uvod

5. julija 2016 ob 9. uri in 13 minut po srednjeevropskem poletnem času (SEPC) smo na Uradu za seizmologijo Agencije RS za okolje (ARSO) prejeli klic operativca iz Centra za obveščanje (CORS), da so v bližini Brežic čutili potres. Kmalu za tem smo začeli prejemati telefonske klice vznemirjenih občanov in izpolnjene spletne makroseizmične vprašalnice o potresu iz širšega območja Dolenjske in Posavja. Večina občanov je opisovala dva močna sunka in močan pok. Glede na množičen odziv je dežurni seizmolog začel analizirati zapise potresnih opazovalnic, vendar je že prvi pregled seizmogramov pokazal, da po vsej verjetnosti ne gre za potres. Dogodek ob 9. uri in 8 minut SEPC (07.08 UTC) je bil zelo šibko zabeležen le na opazovalnici Višnje pri Ambrusu (VISS), oblika zapisa pa ni bila skladna z običajnim zapisom potresa. Podrobnejša analiza je razkrila podobne zapise približno dve minuti pozneje še na treh opazovalnicah, ki ležijo kakih 50 km vzhodnje. Iz zapisov smo sklepali, da

gre za površinsko eksplozijo ali za preboj zvočnega zidu letala. Tako informacijo smo poslali operativcu CORS.

Zaradi tega dogodka smo prejeli več kot deset telefonskih klicev (iz Ambrusa, Šentvida pri Stični, Šentpavla, Velikega Gabra, Dolenjskih Toplic, Novega mesta in Male Loke pri Trebnjem) ter deset izpolnjenih vprašalnikov o učinkih potresa (iz naselij Mrzlo Polje, Glogovica, Novo mesto, Kuzarjev Kal, Trebnje, Žubina, Malkovec in Tolsti Vrh). Občani so navedli dva močna poka, tresenje in škripanje pohištva, tresenje televizijskih ali računalniških zaslonov, žvenket steklenine in šip, nihanje luči ter pljuskanje tekočin v posodah. Kraji, od koder smo prejeli sporočila o dogodku, in lokacije potresnih opazovalnic so prikazani na sliki 1.

Pozneje istega dne je Slovenska vojska v sporočilu za javnost zapisala, da je pristojno poveljstvo NATO v sodelovanju s Slovensko vojsko aktiviralo zavezniška lovca italijanske vojske za zavarovanje slovenskega zračnega prostora. Lovca sta spremljala sumljivo plovilo (civilno letalo) v slovenskem



Slika 1: Kraji, od koder smo prejeli sporočila o dogodku, in lokacije opazovalnic državne mreže potresnih opazovalnic. Črna puščica ponazarja približno pot, po kateri sta leteli leteli z nadzvočno hitrostjo (vir slike: ARSO).

Figure 1: Locations of witness reports and the stations of the Seismic Network of the Republic of Slovenia. The black arrow indicates the approximate path on which the aircraft were flying supersonic (Picture source: ARSO).

zračnem prostoru in pri tem zaradi potrebe po hitrem odzivu prebila zvočni zid [Ministrstvo za obrambo, 2017].

Razlaga pojava in zapis na seizmogramih

Preboj zvočnega zidu je pojav, ko predmet leti v zraku s hitrostjo, ki je večja od hitrosti zvoka, zaradi česar nastaja

jajo ob predmetu zgoščine zraka [Strnad, 1977; Wikipedia, 2017]. Po prehodu predmeta se zgoščine širijo kot udarni valovi na vse strani s hitrostjo zvoka, kar poslušalec zazna kot pok. Ker se predmet giblje skozi zrak in zgoščine nastajajo ves čas letenja z nadzvočno hitrostjo, ti udarni valovi tvorijo valovno čelo oblike stožca, ki ga imenujemo Machovo valovno čelo (slika 3). Opazovalci na tleh, ki so na območju preleta nadzvočnega letala, slišijo pok, ko jih doseže Machovo valovno čelo.

Potresna opazovalnica	Čas udarnega vala (UTC)	Relativni čas t [s]	Rel. razdalja od VISS s [km]	Povprečna hitrost v [m/s]
VISS	07:08:14,99			
LEGS	07:10:03,53	108,45	37,0	341
KBZP	07:10:30,00	135,01	46,5	344
CRES	07:10:31,85	136,86	48,0	351

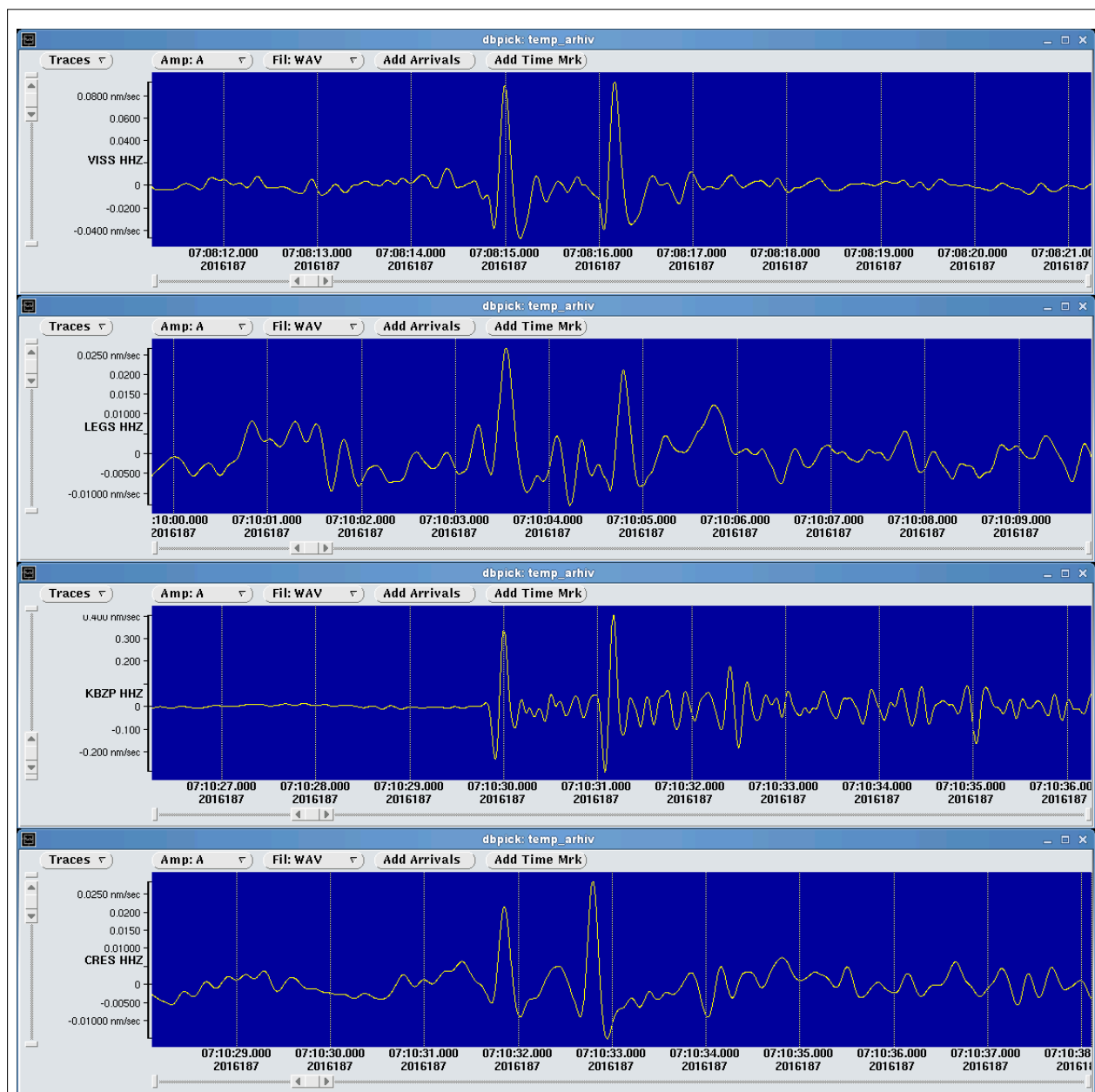
Preglednica 1: Podatki, potrebni za izračun povprečne hitrosti letal (v). V prvem stolpcu je navedeno ime opazovalnice, v drugem je odčitani čas udarnega vala prvega letala, v tretjem je preračunana časovna razlika (t) med zapisom na trenutni opazovalnici in na prvi opazovalnici (VISS), v četrtem je razdalja (s) od opazovalnice VISS, v petem pa je izračunana povprečna hitrost ($v = s/t$) (vir: ARSO).

Table 1: Measured and calculated quantities used for the calculation of the average speed of the aircraft (v). The first column shows the station name; the second column shows the measured arrival time of the first shockwave; the third the calculated time (t) elapsed since the first record on VISS; the fourth the longitude difference (s) between the current station and VISS; and the fifth the calculated average speed ($v = s/t$) (Source: ARSO).

Podroben pregled seizmogramov je pokazal, da gre za dva ločena dogodka v razmiku dobre sekunde (slika 2). Sklepamo, da dva najizrazitejša vrhova ustrezata prehodu Machovega valovnega čela posameznega letala prek seizmične opazovalnice. Za nadaljnjo razpravo moramo poznati hitrost zvoka v zraku, ki znaša v običajnih vremenskih razmerah [temperatura 20 °C, tlak 10^5 Pa] 343 m/s. Iz časovne razlike dveh vrhov izračunamo, da sta lovca letela v medsebojni razdalji okrog 400 metrov. Zapis preboja zvočnega zidu je najizraziteje viden na opazovalnici Višnje (VISS), slabše pa na opazovalnicah Legarje (LEGS), Brezje pri Senušah (KBZP) in

Črešnjevca (CRES). Na drugih opazovalnicah zapisa preboja ni videti, iz česar sklepamo, da sta lovca letela z nadzvočno hitrostjo le v tem območju in na razdalji dobrih 50 km (slika 1). To je tudi skladno z odzivom občanov, ki so dogodek zaznali in nas o tem obvestili.

Da bi ocenili hitrost letenja letal, smo iz seizmogramov opazovalnic odčitali čas vrhov prehoda udarnega vala prvega letala (preglednica 1). Po informacijah iz sporočila za javnost Slovenske vojske sklepamo, da sta vojaška lovca vzletela iz letališča Aviano v Italiji in sledila civilnemu letalu, ki je državo zapustilo v območju Dobove. Točne



Slika 2: Zapis preboja zvočnega zidu dveh letal na vertikalni komponenti potresnih opazovalnic Višnje (VISS), Legarje (LEGS), Brezje pri Senušah (KBZP) in Črešnjevca (CRES). Zabeležen je prehod Machovega valovnega čela vsakega od letal v razmiku približno ene sekunde. Časovna skala prikazuje čas UTC, datum je označen z letom in zaporednim dnevom v letu (vir slik: ARSO).

Figure 2: Records of the sonic boom at the seismic stations at Višnje (VISS), Legarje (LEGS), Brezje pri Senušah (KBZP) and Črešnjevca (CRES). The two spikes approximately 1 second apart correspond to the shockwave from each aircraft. The time scale is in UTC, and the date format shows the day of the year (Picture source: ARSO).

trajektorije leta lovcev seveda ne poznamo, za oceno hitrosti pa privzemimo, da sta letela naravnost proti vzhodu, po črti približno simetrično glede na navedene opazovalnice, kar tudi smiselno sovпада z najkrajšo potjo prestrežanja civilnega letala. Zaradi tega privzетка lahko upoštevamo za razdaljo preleta med posameznimi opazovalnicami kar razlike geografskih dolžin, saj so časi potovanja udarnih valov od privzete trajektorije letal do opazovalnic prečno na smer letenja približno enaki. Izračunane povprečne hitrosti letal, ki znašajo med 341 m/s in 351 m/s, so kljub preprostim predpostavkam skladne z domnevo, da sta lovca letela nadzvočno. Izmerjene čase, razdalje in izračunane vrednosti povprečne hitrosti smo zbrali v preglednici 1.

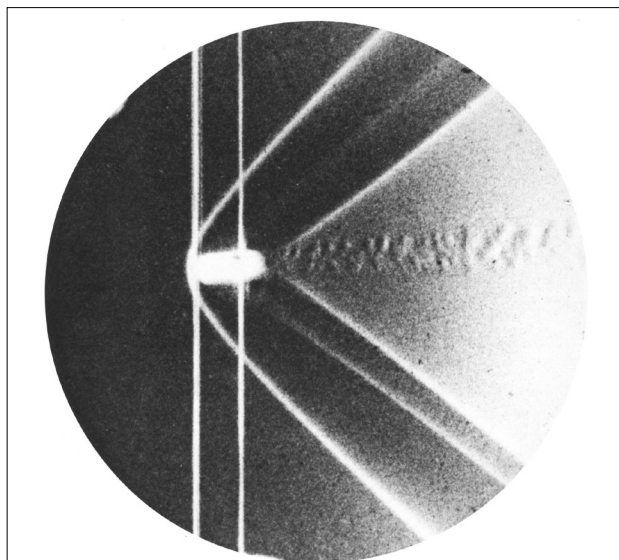
Sklepne misli

Učinki preboja zvočnega zidu na prebivalce, stavbe in predmete so podobni učinkom potresa. Vendar pa se zapis takega dogodka na seizmogramih zelo razlikuje od zapisa potresa. Po začetni zmedeni glede narave dogodka 5. julija 2016 je analiza podatkov in ocena povprečne hitrosti potrdila domnevo, da je šlo za letali, ki sta prek jugovzhodne Slovenije leteli z nadzvočno hitrostjo.

Preboj zvočnega zidu letala je v Sloveniji redek dogodek. Poleg dogodka, opisanega v članku, so do zdaj potresne opazovalnice v Sloveniji zabeležile le dva taka dogodka. Opazovalnica na Golovcu v Ljubljani je 2. julija 1991 in 3. januarja 1992 zabeležila preboj zvočnega zidu letal Jugoslovanske ljudske armade (Cecić, 1992, Vidrih in Sinčič, 1992).

Viri in literatura

1. Cecić, I., 1992. The Yugoslavia War on Seismic Map. China Disaster reduction press, 8. 9. 1992, str: 3 (v kitajščini, uvod napisal Wu Zhongliang).
2. Ministrstvo za obrambo, Slovenska vojska. Sporočila za javnost (posodobljeno 5. 7. 2016) <http://www.slovenskavojska.si/odnosi-z-javnostmi/sporocila-za-javnost/novica/nov/zavezniska-lovca-aktivirana-za-zavarovanje-slovenskega-zracnega-prostora/> [citirano 19. 6. 2017].
3. Strnad, J., 1977. Fizika. Prvi del. Mehanika/Toplota, str: 170, DZS Ljubljana.
4. Vidrih, R., Sinčič, P., 1992. Zapis prebojev zvočnega zidu nad Ljubljano na seizmogramih. Ujma, 6, 52-53.
5. Wikipedia, 2017. Sonic Boom, (posodobljeno 15. 5. 2017), https://en.wikipedia.org/wiki/Sonic_boom [citirano 19. 6. 2017].



Slika 3: Machovo valovno čelo projektila. Najočitnejša sta udarna vala na začetku in koncu projektila. Vmes vidimo še en šibkejši udarni val, ki izvira iz spremenljive oblike čelnega profila predmeta. Dve navpični črti sta najverjetneje optični pojav pri fotografiranju. Fotografijo sta objavila Ernst Mach in Peter Salcher leta 1887 (vir slike: https://en.wikipedia.org/wiki/Shock_wave).

Figure 3: Mach shockwave of a projectile. The most prominent shockwaves are in front of and behind the projectile. There is another shockwave in between, which results from the changing profile of the object. The two vertical lines are most probably optical artefacts. This photograph was published by Ernst Mach and Peter Salcher in 1887 (Picture source: https://en.wikipedia.org/wiki/Shock_wave).