

Potresi v letu 2020 **Earthquakes in 2020**



Potresi v letu 2020, letnik 30

Izid: maj 2023

Izdajatelj

Ministrstvo za okolje, podnebje in energijo
Agencija za okolje
Vojkova 1b, Ljubljana
Spletni naslov: www.arso.gov.si
e-naslov: gp.arso@gov.si

Urednik

dr. Andrej Gosar

Grafična priprava

Miha Lanjšček

Uredniški svet

dr. Andrej Gosar
Ina Cević
dr. Martina Čarman
Matjaž Godec
mag. Tamara Jesenko
dr. Barbara Šket Motnikar
mag. Izidor Tasič
Polona Zupančič
mag. Mladen Živčič

Naslovnica:

Poškodovane hiše ob Ljubljanici po potresu 14. aprila 1895. Avtor risbe je slikar Mihael Ruppe, ki je naslikal številne vedute mesta po potresu. Razglednico s sliko rdeče hiše (pod naslovom ČERNY'sches Haus) je izdala ljubljanska založba Kleinmayr & Fed. Bamberg razglednico hranimo v makroseizmičnem arhivu ARSO.

Od potresa, ki je spremenil izgled Ljubljane, je minilo 125 let.

Cover Page:

Damaged buildings at the banks of Ljubljanica River, in the aftermath of the 14 April 1895 earthquake. The author of the painting was Mihael Ruppe, an artist who painted several motives of the city after the earthquake. The postcard with the red house (title says "ČERNY'sches Haus") was published by Kleinmayr & Fed. Bamberg in Ljubljana (Laibach). The postcard is preserved in the ARSO Macro seismic Archive.

The earthquake that changed Ljubljana in many ways happened 125 years ago.

Mednarodna standardna serijska številka:
ISSN 1318 - 4792

Kazalo / Contents

<i>Anita Jerše Sharma, Tamara Jesenko, Barbara Šket Motnikar, Ina Cecić, Mladen Živčić</i> Potresi v Sloveniji leta 2020 Earthquakes in Slovenia in 2020	6
<i>Ina Cecić, Danijela Birko, Martina Čarman, Matjaž Godec, Tamara Jesenko, Miha Lanjšček, Milka Ložar Stopar, Jurij Pahor, Barbara Šket Motnikar, Polona Zupančič, Mladen Živčić</i> Potres 22. marca 2020 pri Zagrebu na Hrvaškem Earthquake near Zagreb, Croatia, on 22 March 2020	30
<i>Danijela Birko, Ina Cecić, Martina Čarman, Anita Jerše Sharma, Tamara Jesenko, Barbara Šket Motnikar, Polona Zupančič, Mladen Živčić</i> Potres 29. decembra 2020 pri Petrinji na Hrvaškem Earthquake near Petrinja, Croatia, on 29 December 2020	41
<i>Milka Ložar Stopar, Mladen Živčić</i> Žariščni mehanizmi močnejših potresov v Sloveniji v letu 2020 Fault Plane Solutions of Earthquakes in Slovenia in 2020	53
<i>Tamara Jesenko</i> Najmočnejši potresi po svetu leta 2020 The World's Largest Earthquakes in 2020	60
<i>Peter Sinčič, Izidor Tasič</i> Potresne opazovalnice v Sloveniji letu 2020 Seismic Network of the Republic of Slovenia in 2020	72
<i>Izidor Tasič, Marko Mali, Luka Pančur, Peter Sinčič, Igor Pfundner, Bojan Uran, Jože Prosen</i> Delovanje državne mreže potresnih opazovalnic v letu 2020 Operation of the Seismic Network of the Republic of Slovenia in 2020	80
<i>Izidor Tasič</i> Vpliv betonskega podstavka na seizmične meritve na potresni opazovalnici Knežji Dol (KNDS) Impact of the Seismic Pier on Seismic Measurements at Knežji Dol Seismic Station (KNDS)	90
<i>Izidor Tasič</i> Funkcionalnost seizmometrov ob potresu v Zagrebu in Petrinji Functionality of Seismometers during the earthquakes in Zagreb and Petrinja	102

Martina Čarman, Mladen Živčić

Zbirka vršnih pospeškov tal na slovenskih potresnih opazovalnicah, zabeleženih v potresih v obdobju 1992-2020

Collection of Peak Ground Accelerations at Slovenian Seismic Stations for the Earthquakes in the Period 1992-2020108

Martina Čarman

Zmožnost Državne mreže potresnih opazovalnic za lociranje potresa v Sloveniji

The Capability of the Seismic Network of the Republic of Slovenia to Locate Earthquakes in Slovenia..... 117

Dogodki v letu 2020

Events in 2020132



Anita Jerše Sharma, Tamara Jesenko, Barbara Šket Motnikar, Ina Cecić,
Mladen Živčić

Potresi v Sloveniji leta 2020

Earthquakes in Slovenia in 2020

Povzetek

Leta 2020 je državna mreža potresnih opazovalnic zabeležila 2209 potresov z žariščem v Sloveniji ali bližnji okolici. Dvaindvajset od njih je imelo lokalno magnitudo večjo ali enako 2,0. Najmočnejši potres v Sloveniji leta 2020, z lokalno magnitudo 3,9, se je zgodil 17. julija ob 2.50 po univerzalnem koordiniranem času (UTC) z nadžariščem pri naselju Čezsoča. Največja intenziteta potresa je bila IV–V po evropski potresni lestvici (EMS-98). Prebivalci Slovenije so čutili vsaj 154 lokalnih potresov ter 29 bolj oddaljenih, in sicer enega z žariščem na Madžarskem ter 28 z žariščem na Hrvaškem. Največjo intenziteto v Sloveniji so imeli leta 2020 prav trije regionalni potresi, z žariščem na Hrvaškem. Prvi, ki je v Sloveniji povzročil kar nekaj strahu, se je zgodil 22. marca pri Zagrebu in je imel lokalno magnitudo 5,6 ter največjo intenziteto V EMS-98 (v Sloveniji). Največjo intenziteto v Sloveniji V–VI EMS-98 pa sta imela dva potresa z žariščem pri Petrinji. Močnejši, lokalne magnitude 6,1, je povzročil nekaj gmotne škode tudi na ozemlju Slovenije.

Abstract

In 2020 the Seismic Network of the Republic of Slovenia recorded 2209 local earthquakes. There were 22 earthquakes with a local magnitude equal to or higher than 2.0. The strongest earthquake with the epicentre in Slovenia in 2020, with a local magnitude of 3.9, was observed on 17 July at 02:50 UTC near Čezsoča. Its maximum intensity was IV–V EMS-98. The inhabitants felt at least 154 local earthquakes and 29 regional earthquakes, one with the epicentre in Hungary and 28 with the epicentres in Croatia. Maximum intensity in 2020 in Slovenia was reached by three regional earthquakes with epicentre in Croatia. The first one, which caused quite some fear across Slovenia, occurred on 22 March near Zagreb (Croatia) and had a local magnitude of 5.6 and maximum intensity of V EMS-98 in Slovenia. Maximum intensity in Slovenia V–VI EMS-98 was reached by the other two earthquakes with epicentres near Petrinja in Croatia. The stronger among the two, with local magnitude 6.1, caused some damage to buildings also in Slovenia.

Uvod

V državni mreži potresnih opazovalnic (v nadaljnjem besedilu: DMPO) je leta 2020 delovalo 26 digitalnih potresnih opazovalnic z neprekinjenim prenosom podatkov v podatkovno središče na Agenciji Republike Slovenije za okolje (ARSO) in rezervno podatkovno središče na observatoriju na Golovcu, oboje v Ljubljani (Vidrih in drugi, 2006). V letu 2020 je DMPO dopolnjevalo 17 dopolnilnih potresnih opazovalnic v različnih časovnih obdobjih, ki so opremljene z raznoliko seizmološko opremo. Dve dopolnilni potresni opazovalnici pa sta opremljeni z enako opremo in neprekinjenim prenosom podatkov (opazovalnica na Cesti pri Krškem – CESS) in opazovalnica v meteorološki postaji na Lisci – LISS) kot DMPO (Sinčič in Tasič, 2022). Poleg tega so se v stvarnem času zbirali tudi podatki nekaterih tujih potresnih opazovalnic v okviru osrednje- in vzhodnoevropske seizmološke raziskovalne mreže (Central and East European Earthquake Research

Network; CE3RN, 2021). Predvsem tisti z opazovalnic sosednjih držav (Avstrija, Hrvaška, Italija, Madžarska) omogočajo natančnejši izračun potresnih parametrov potresov, nadžarišča katerih so blizu državne meje.

Za spremljanje potresne dejavnosti Slovenije ni pomembno le instrumentalno beleženje potresov, temveč tudi zbiranje podatkov o njihovih učinkih na ljudi, predmete, stavbe in naravo, saj tako opredeljujemo intenziteto potresov po naseljih. Ti makroseizmični podatki bi bili zelo pomanjkljivi ali celo nedostopni, če nam ne bi pomagali številni prostovoljni poročevalci. Septembra 2021 je bilo registriranih 4141 aktivnih poročevalcev (959 jih izpolnjuje papirne vprašalnike, 3197 pa spletne vprašalnike). Veseli nas, da njihovo število iz leta v leto narašča. Za sodelovanje se jim lepo zahvaljujemo, prav tako pa tudi številnim neregistriranim poročevalcem, ki po potresu izpolnijo spletni vprašalnik o učinkih potresa.

Registriranim poročevalcem smo leta 2020 za 24 potresov poslali 13.425 makroseizmičnih vprašalnikov. Spletnih vprašalnikov je bilo poslanih 12.637, poročevalci so jih na naš poziv izpolnili 6559 (52 %). Skupaj (zaprošenih ali poslanih na lastno pobudo) smo prejeli 38.338 izpolnjenih spletnih vprašalnikov, med katerimi je bilo:

- 32.617 poročil, da so zaznali potres,
- 4426 poročil, da niso zaznali potresa,
- 1295 poročil, ki jih nismo mogli prirediti potresu (rudniški dogodek, razstreljevanje, promet, brez podane lokacije idr.).

Zaradi epidemije covid-19 smo le za štiri potrese poslali tudi papirne vprašalnike (788). Poročevalci so vrnilo 639 izpolnjenih papirnih vprašalnikov (81 %), od tega:

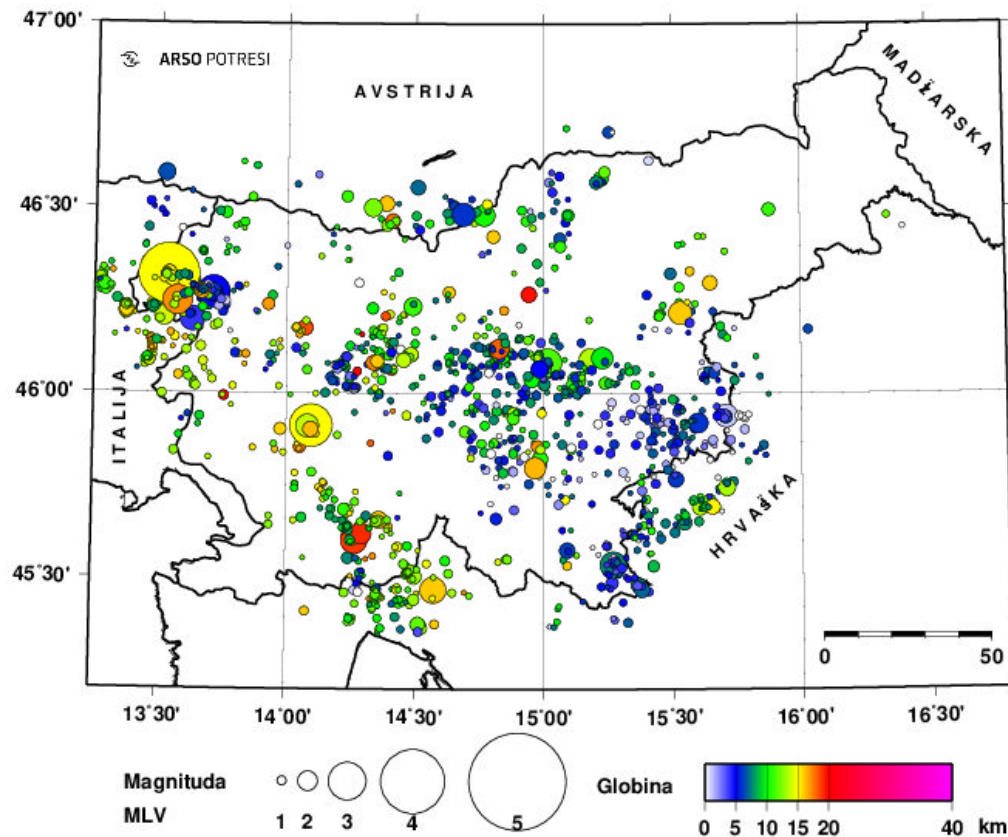
- 135 poročil, da so zaznali potres,
- 475 poročil, da niso zaznali potresa,
- 29 poročil, ki jih nismo mogli prirediti potresu (rudniški dogodek, razstreljevanje, promet, brez podane lokacije idr.).

Tudi leta 2020 smo pri zbiranju in izmenjavi podatkov sodelovali s seizmologi iz sosednjih držav (Italije, Avstrije in Hrvaške). Zahvaljujemo se jim za poslane (za območje Hrvaške) oziroma na spletu objavljene makroseizmične podatke (za območje Italije, INGV Effect maps, 2020).

Potresna dejavnost v Sloveniji leta 2020

Potresne opazovalnice državne mreže so leta 2020 zabeležile 2209 lokalnih potresov z žariščem v Sloveniji ali njeni bližnji okolici. Za 1544 lokalnih potresov smo zbrali dovolj podatkov, torej zapisov z vsaj treh opazovalnic, da smo lahko izračunali lokacijo žarišča. Za 1543 izmed njih, ki so prikazani na sliki 1, smo lahko določili tudi magnitudo.

Po podatkih za obdobje 2000–2020 se v Sloveniji vsako leto v povprečju zgodi 34 potresov z lokalno magnitudo, večjo ali enako 2,0. Ko iz kataloga odstranimo pred- in popotrese, bi bilo takih dogodkov v povprečju 24. Trije potresi na leto imajo v povprečju lokalno magnitudo večjo ali enako 3,0 (ARSO, 2021). Leta 2020 je imelo 22 potresov lokalno magnitudo večjo ali enako 2,0, od tega sta bila dva z

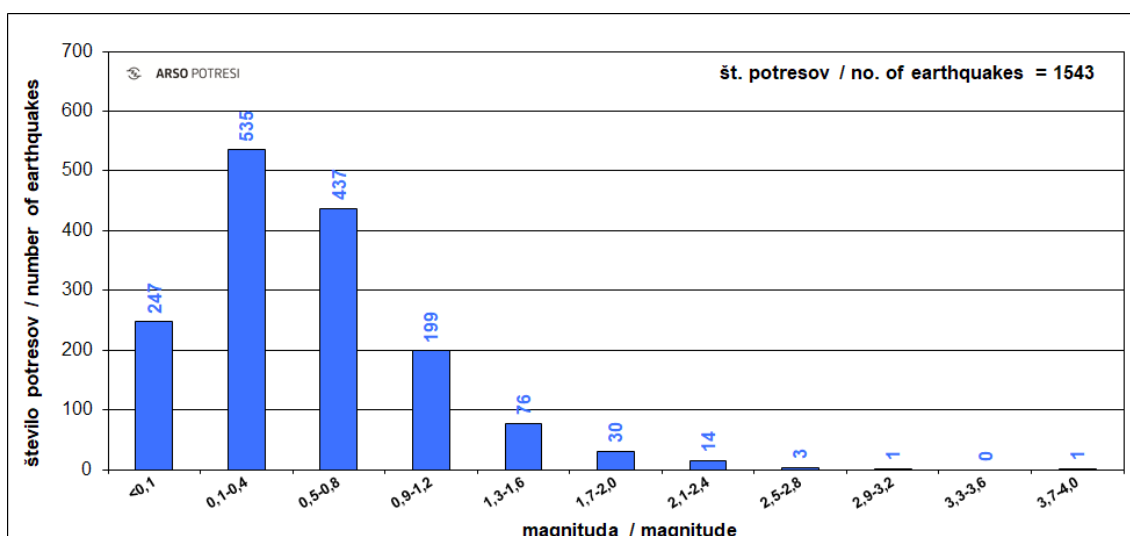


Slika 1: Nadžarišča potresov leta 2020, ki smo jim določili žariščni čas, koordinati nadžarišča in globino žarišča. Barva simbola ponazarja žariščno globino, njegova velikost pa vrednost lokalne magnitude MLV. Potresi so zrisani kronološko (kasnejši močnejši potres lahko zakrije morebitne predhodne šibkejše na istem nadžariščnem območju). Slika je bila narejena s programom GMT (Wessel in Smith, 1991, 1998).

Figure 1: Distribution of earthquake epicentres in 2020, with calculated hypocentral time, epicentral coordinates and focal depth; the coloured symbols of varying sizes denote focal depth and local magnitude MLV. The earthquakes are plotted chronologically (subsequent stronger earthquakes may overlap previous weaker ones with the same epicentre). Magnituda = magnitude; Globina = depth. Figure was made using GMT software (Wessel and Smith, 1991, 1998).

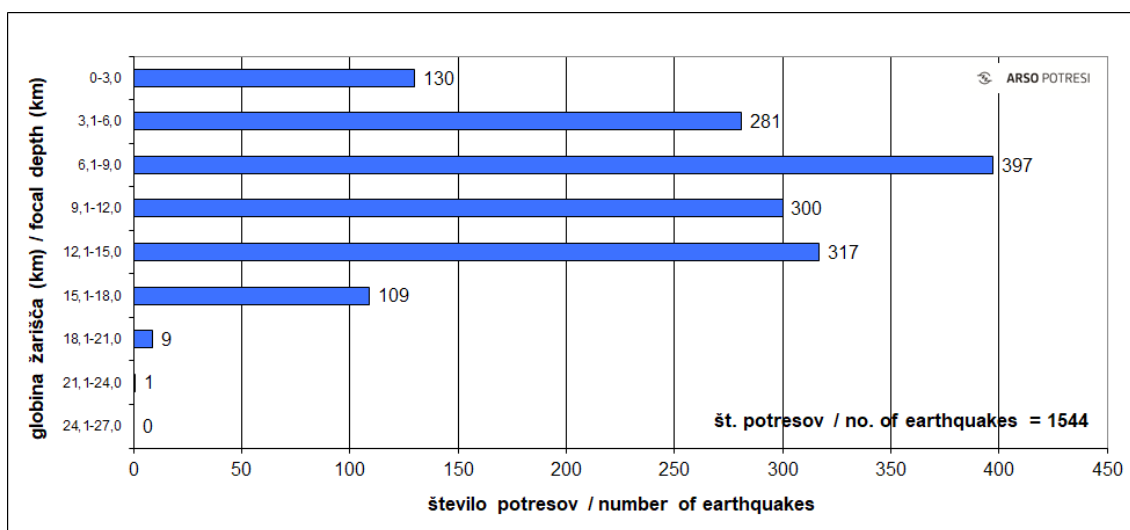
magnitudo 3,0 ali več. Histogram na sliki 2 kaže porazdelitev lokalne magnitude (M_{LV}); 98 odstotkov vseh lociranih potresov je imelo lokalno magnitudo manjšo od 1,7. Vsi potresi Slovenije in bližnje okolice so imeli žarišča do globine 24 km (slika 3).

Leta 2020 sta dva potresa z nadžariščem v Sloveniji imela lokalno magnitudo večjo ali enako 3,0. Prvi, z lokalno magnitudo 3,2, se je zgodil 3. aprila ob 16.16 po UTC (18.16 po lokalnem času) v bližini naselja Lome na Črnovrški planoti. Drugi se je zgodil 17. julija ob 2.50 po UTC (ob 4.50



Slika 2: Porazdelitev magnitude (M_{LV}) potresov v Sloveniji leta 2020

Figure 2: Distribution of earthquakes in Slovenia in 2020 with respect to M_{LV} magnitude.



Slika 3: Porazdelitev globine žarišča potresov v Sloveniji leta 2020 (v kilometrih)

Figure 3: Distribution of focal depth (in kilometres) with respect to the number of earthquakes in Slovenia in 2020.

po lokalnem času) pri naselju Čezsoča. Z lokalno magnitudo 3,9 je bil to najmočnejši potres z nadžariščem v Sloveniji leta 2020.

V preglednici 1 so osnovni podatki za 76 lokalnih potresov z izračunano lokalno magnitudo, večjo ali enako 1,5, od katerih so jih prebivalci Slovenije čutili 56. Poleg teh je navedenih še 98 šibkejših potresov, ki so jih prebivalci Slovenije čutili in smo jim lahko izračunali koordinate nadžarišča. Za lokalne

potrese štejemo tiste potrese, ki so nastali v Sloveniji oziroma njeni bližnji okolici (zato so v preglednici 1 navedeni tudi tisti, ki so imeli žarišče na Hrvaškem (11), v Italiji (7) oziroma v Avstriji (7), in sicer v neposredni bližini slovenske državne meje). Za vsak potres so navedeni datum (leto, mesec, dan), žariščni čas (ura, minuta, sekunda) po UTC (univerzalni svetovni čas, ki ga uporabljamo v seizmologiji in se od slovenskega, lokalnega časa razlikuje za eno uro; da bi dobili poletni čas, mu je treba prišteti dve uri), koordinati nadžarišča (zemljepisna širina °N, zemljepisna dolžina °E), globina žarišča (km), lokalna magnituda (M_{LV}) in največja intenziteta (I_{max}) po EMS-98, ki jo je potres dosegel v Sloveniji. V stolpcu Nadžariščno območje je za večino nadžarišč v Sloveniji napisano ime naselja, ki je najbližje nadžarišču in je navedeno v seznamu naselij Geodetske uprave RS (GURS, 2018), za preostala (nadžarišče je več kot 5 km oddaljeno od najbližjega naselja iz omenjenega seznama ali pa je zunaj slovenskih meja) smo toponim poiskali s pomočjo storitev Google Zemljevidi (Google Maps, 2020). Ocena intenzitete po naseljih je najprej določena s samodejnim algoritmom (Šket Motnikar, 2020) na podlagi spletnih vprašalnikov o učinkih potresa. Če je bila največja samodejna ocena intenzitete ali ocena dežurnega seizmologa večja od IV EMS-98, smo ocene intenzitet za vsa naselja, v katerih so zaznali ta potres, tudi ročno preverili. Če za neko naselje podatki niso zadoščali za nedvoumno določitev intenzitete, smo potresu pripisali razpon mogočih vrednosti (npr. IV–V). Kadar razpoložljivi podatki niso omogočali potresu določiti niti razpona mogočih vrednosti, smo mu pripisali oznako »čutili«.

Za določitev osnovnih parametrov potresov, navedenih v preglednici 1, smo analizirali zapise iz potresnih opazovalnic državne mreže v Sloveniji, dopolnilnih opazovalnic za močnejše dogodke in opazovalnic sosednjih držav ter dodali podatke iz biltenov iz Avstrije (ZAMG, 2020–2021), Hrvaške (GEOF-PMF, 2021), Italije (OGS, 2021) in Madžarske (Tóth in drugi, 2021). Žariščni čas (čas nastanka potresa), koordinati nadžarišča in žariščno globino smo določili iz časa prihodov vzdolžnega (P) in prečnega (S) valovanja na potresno opazovalnico. Potrese smo locirali s programom HYPOCENTER (Lienert in drugi, 1988; Lienert, 1994). Uporabili smo povprečni hitrostni model za ozemlje Slovenije, določen iz trirazsežnostnega modela za prostorsko valovanje (Michellini in drugi, 1998) in modela za površinsko valovanje (Živčić in drugi, 2000). Potresom, ki smo jim lahko določili le koordinati nadžarišča, smo za žariščno globino privzeli sedem kilometrov (Poljak in drugi, 2000). Lokalno magnitudo M_{LV} potresov smo določili iz največje hitrosti navpične komponente nihanja tal na slovenskih opazovalnicah in oddaljenosti nadžarišča do potresne opazovalnice. V preglednici 1 je navedena povprečna vrednost M_{LV} za opazovalnice v Sloveniji. Največja intenziteta (I_{max}), ki jo je potres dosegel na ozemlju Slovenije, je ocenjena po EMS-98.

V preglednici 2 so navedeni bližnji (regionalni) potresi, ki so jih čutili tudi v Sloveniji. Prebivalci so na ozemlju Slovenije čutili en potres z žariščem na Madžarskem in kar 28 potresov z žariščem na Hrvaškem. Večina izmed slednjih so del dveh potresnih nizov, ki sta leta 2020 prizadela Hrvaško. Prvi niz se je začel s potresom 22. marca v bližini Zagreba, drugi pa je konec decembra stresel hrvaško pokrajino Banijo. Te potrese zaradi večje oddaljenosti nadžarišča do najbližjega slovenskega kraja (> 50 km) že štejemo za bližnje oziroma regionalne potrese. V preglednici je poleg datuma in časa (UTC) potresa, njegove magnitude (povzeta po Tóth in drugi, 2021, za Madžarsko oz. GEOF-PMF, 2021, za Hrvaško) in nadžariščnega območja navedena še največja intenziteta, ki jo je posamezen potres dosegel v Sloveniji.

Preglednica 1: Seznam potresov leta 2020, ki so imeli lokalno magnitudo, večjo ali enako 1,5, in smo jim lahko izračunali žarišni čas, koordinati nadžarišča (epicentra) ter globino žarišča. Pri potresih, ki so jih ljudje čutili, je navedena še največja intenziteta. V preglednici je tudi 98 potresov s sicer manjšo lokalno magnitudo, vendar so jih prebivalci Slovenije čutili in smo jim tudi lahko določili osnovne parametre. * – največja intenziteta v Sloveniji

Table 1: List of earthquakes with MLV ≥ 1.5 in 2020, for which the hypocentral time, coordinates of the epicentre and the focal depth were calculated; the maximum intensity of the felt earthquakes is also stated. Parameters are given for 98 earthquakes of a lower magnitude, felt by the inhabitants of Slovenia, for which we also calculated the hypocentral time, coordinates of the epicentre and the focal depth. h = focal depth; nst = number of stations used; RMS = the root mean square of time residuals. Čutili= felt; * – maximal intensity in Slovenia

leto	datum		čas (UTC)			z. šir.	z. dolž.	h	nst	RMS		M _{LV}	I _{max} EMS 98	nadžariščno območje
	mesec	dan	h	m	s					lat	lon			
year	month	day	h	min	s	lat	lon	°N	°E	km	nst	RMS	s	epicentral area
2020	1	1	1	53	56,9	46,15	14,91	8	25	0,4	0,9	IV	Razpotje	
2020	1	2	7	12	17,3	46,24	13,48	15	45	0,4	1,6	III	Borjana	
2020	1	2	8	31	4,0	46,34	13,60	5	22	0,3	1,2	III	Kal-Koritnica	
2020	1	2	14	51	59,7	46,18	14,07	19	37	0,3	1,7		Zala	
2020	1	4	19	28	49,6	45,49	15,26	4	45	0,5	1,4	III-IV	Podklanec	
2020	1	12	21	4	6,7	46,49	13,76	10	26	0,3	1,3	III	Podkoren	
2020	1	13	3	18	2,4	46,35	13,69	9	15	0,3	0,8	III	Soča	
2020	1	14	1	45	10,8	45,48	15,36	8	43	0,4	1,6	III-IV	Žuniči	
2020	1	14	18	15	33,8	45,48	15,39	6	23	0,5	1,0	čutili*	Donje Prilišče, meja Hrvaška - Slovenija	
2020	1	15	4	50	39,9	45,49	15,38	8	16	0,5	0,9	III-IV	Milčiči, meja Slovenija - Hrvaška	
2020	1	18	13	23	26,9	45,58	15,19	0	5	0,3	0,1	III	Črnomej	
2020	1	20	7	52	42,2	46,28	13,67	6	28	0,3	1,4	III	Lepena	
2020	1	20	18	44	11,5	45,89	14,11	14	84	0,4	2,3	IV	Novi Svet	
2020	1	21	6	48	5,6	45,54	15,27	8	66	0,4	2,4	IV-V	Bedenj	
2020	1	21	23	3	35,4	45,59	15,24	4	19	0,4	0,8	III	Zastava	
2020	1	23	7	34	56,1	46,04	15,13	11	52	0,5	1,9	IV	Kladje pri Krmelju	

datum			čas (UTC)				z. šir.		z. dolž.		h		nst		RMS		M _{LV}		I _{max}		nadzariško območje	
leto	mesec	dan	h	m	s	°N	°E	km	km	h	km	h	km	h	km	s	s	s	s	EMS 98	EMS 98	epicentral area
year	month	day	h	min	s	lat	lon	h	km	h	km	h	km	RMS	s	RMS	s	M _{LV}	I _{max}	EMS 98	epicentral area	
2020	1	27	11	33	28,8	45,55	15,27	4	21	0,5	1,3	III-IV	Bedenj									
2020	2	2	7	14	59,3	45,67	14,17	8	32	0,4	1,1	III	Kal									
2020	2	4	1	6	58,3	46,23	14,33	10	47	0,4	1,3	III-IV	Zgornje Bitnje									
2020	2	5	16	20	35,5	45,92	15,60	6	50	0,5	2,0	III-IV	Cundrovec									
2020	2	7	8	7	33,5	46,28	13,67	6	30	0,4	1,3	čutili	Lepena									
2020	2	9	21	36	31,9	45,85	14,05	18	33	0,3	1,4	III-IV	Podkraj									
2020	2	10	23	28	55,0	46,50	15,88	11	15	0,5	1,5	II	Zasadi									
2020	2	18	23	41	7,2	46,21	13,52	14	50	0,3	2,0	III-IV*	Montemaggiore (Matajur), Italija									
2020	2	19	13	28	43,1	46,12	14,80	8	33	0,4	1,6	III-IV	Zapodje									
2020	2	22	11	12	36,4	46,43	14,80	16	13	0,5	1,5		Bistra									
2020	2	22	20	9	54,1	45,65	15,54	8	43	0,5	1,6		Brezarič, Hrvaška									
2020	2	25	15	49	41,0	45,69	14,89	3	9	0,4	1,0	IV	Mala Gora									
2020	3	1	22	50	51,5	46,51	14,39	16	47	0,5	1,7		Hintergupf (Zavrth), Avstrija									
2020	3	6	9	58	31,1	46,10	14,49	13	30	0,3	1,5	III	Ljubljana - Šentvid									
2020	3	7	5	14	11,3	46,56	14,51	7	32	0,4	1,6		Gallizien (Galicija), Avstrija									
2020	3	8	1	29	45,2	46,20	13,63	4	68	0,5	2,3	IV	Livške Ravne									
2020	3	10	1	36	27,7	45,91	15,43	4	29	0,3	1,2	III-IV	Gržeča vas									
2020	3	14	1	6	58,2	46,01	15,41	5	21	0,4	0,8	III-IV	Selce nad Blanco									
2020	3	21	22	45	20,8	46,32	13,58	7	9	0,2	0,8	III	Čezsoča									
2020	3	24	2	3	50,3	46,01	15,69	5	18	0,4	1,1	IV	Bizeljisko									
2020	3	30	5	8	36,3	46,30	14,99	9	11	0,2	0,9	III-IV	Dobrovlje									
2020	3	30	7	10	12,2	46,50	14,33	12	37	0,4	1,9		Fentach (Borovlje), Avstrija									

datum			čas (UTC)				z. šir.		z. dolž.		h		nst		RMS		M _{LV}		I _{max}		nadzariško območje	
leto	mesec	dan	h	m	s	°N	°E	km	h	min	s	lat	lon	h	min	s	M _{LV}	I _{max}	EMS 98	epicentral area		
year	month	day	h	min	s	°N	°E	km	h	min	s	lat	lon	h	min	s	M _{LV}	I _{max}	EMS 98	epicentral area		
2020	3	31	18	31	49,1	46,05	13,58	16	22	0,2	1,1	III	Plave									
2020	4	1	19	57	40,0	46,11	14,48	14	50	0,4	1,6	III-IV	Ljubljana - Šentvid									
2020	4	3	16	16	9,5	45,91	14,10	15	90	0,5	3,2	IV	Lome									
2020	4	3	16	16	36,7	45,91	14,08	14	10	0,2	2,2		Lome									
2020	4	3	17	25	40,3	45,89	14,11	15	12	0,1	0,9	III-IV	Vodice									
2020	4	3	22	28	16,2	46,00	14,62	13	10	0,2	0,6	III	Brezje pri Lipoglavu									
2020	4	5	20	12	53,9	45,68	14,24	13	43	0,5	1,5	III-IV	Trnje									
2020	4	6	14	53	15,3	45,90	14,10	16	51	0,4	1,7	III	Javornik									
2020	4	8	5	37	15,8	46,24	14,49	11	56	0,4	1,9	III-IV	Spodnji Brnik									
2020	4	9	18	57	5,5	45,69	14,23	11	25	0,2	1,4	III	Trnje									
2020	4	10	4	15	14,5	46,10	14,23	3	29	0,5	1,2	III-IV	Bukov Vrh nad Visokim									
2020	4	12	7	43	7,5	45,71	14,27	12	17	0,2	0,9	II	Palčje									
2020	4	12	9	38	14,8	46,21	13,63	6	17	0,3	0,8	III	Kamno									
2020	4	14	5	27	20,8	45,94	15,71	1	55	0,5	2,2	IV	Slogonsko									
2020	4	14	17	10	54,4	45,95	14,82	9	26	0,3	1,2	čutili	Vir pri Stični									
2020	4	15	15	42	58,0	45,94	15,71	7	41	0,5	1,5	IV	Jereslavec									
2020	4	19	4	13	14,8	46,27	13,72	17	68	0,3	1,9	III-IV	Mahavšček									
2020	4	19	18	0	11,3	45,94	14,47	12	9	0,2	0,4	čutili	Strahomer									
2020	4	22	14	17	21,5	45,94	15,70	3	19	0,4	1,3	III-IV	Slogonsko									
2020	4	27	2	38	13,2	46,11	14,46	10	18	0,2	0,4	III	Dvor									
2020	4	28	23	3	47,7	46,71	15,25	6	7	0,3	1,3	čutili*	Altenmarkt, Avstrija									
2020	5	2	2	10	36,4	46,14	15,15	6	14	0,2	0,9	III	Brdce									

datum			čas (UTC)				z. šir.		z. dolž.		h		nst		RMS		M _{LV}		I _{max}		nadzariščno območje	
leto	mesec	dan	h	m	s	°N	°E	h	km	h	km	h	km	s	s	s	s	I _{max}	EMS 98			
date			time (UTC)				lat		lon		h		nst		RMS		M _{LV}		I _{max}		epicentral area	
year	month	day	h	min	s	°N	°E	h	km	h	km	h	km	s	s	s	s	I _{max}	EMS 98			
2020	5	2	7	26	44,8	45,66	14,20	8		9	0,2	0,6	II								Velika Pristava	
2020	5	3	23	13	20,4	45,69	15,60	14		40	0,5	1,7									Srednjak, Hrvaška	
2020	5	4	2	36	16,2	46,47	14,41	18		47	0,5	1,6									Zell (Sele), Avstrija	
2020	5	8	1	35	53,0	46,33	13,61	9		28	0,3	0,9	čutili								Kal-Koritnica	
2020	5	10	16	46	47,1	45,94	13,66	9		21	0,3	1,0	čutili								Stara Gora	
2020	5	11	3	10	24,7	46,10	14,63	10		22	0,3	1,0	čutili								Zaboršt pri Dolu	
2020	5	11	4	50	48,2	46,11	14,84	11		51	0,5	1,9	III-IV								Tolsti Vrh	
2020	5	14	14	13	26,2	45,47	15,38	7		32	0,4	1,7	III*								Donje Prilišće, Hrvaška	
2020	5	15	19	14	37,4	46,29	13,29	11		23	0,3	1,5	III*								Lusevera (Bardo), Italija	
2020	5	20	7	47	14,0	45,60	14,27	19		65	0,4	2,4	III-IV								Šembije	
2020	5	23	14	9	19,0	46,35	14,97	9		10	0,1	1,0	III-IV								Brezje	
2020	5	24	20	29	45,0	45,38	14,51	12		35	0,5	1,6									Soboli, Hrvaška	
2020	5	26	23	51	41,4	45,62	14,29	19		57	0,3	2,1	III-IV								Koritnice	
2020	5	29	14	5	31,6	45,77	15,51	6		42	0,5	1,7	III*								Mrzlo Polje Žumberačko, Hrvaška	
2020	5	29	21	59	38,2	46,29	13,64	7		32	0,2	1,3	čutili								Lepena	
2020	5	30	2	44	3,6	46,27	14,38	15		7	0,2	0,4	III-IV								Bobovek	
2020	5	31	2	45	20,2	46,27	14,94	20		13	0,1	1,7									Čreta	
2020	6	1	21	47	17,0	45,50	14,50	13		56	0,4	1,7	III*								Klana, Hrvaška	
2020	6	3	5	43	10,9	46,11	14,70	5		15	0,3	1,1	II								Vrh pri Doliskem	
2020	6	4	2	20	25,0	45,89	14,96	9		33	0,4	1,1	III-IV								Železno	
2020	6	4	18	3	26,7	46,00	15,13	8		19	0,3	1,0	čutili								Veliki Cirmik	
2020	6	4	19	45	51,9	45,58	15,09	6		45	0,4	1,7	III-IV								Miklarji	

datum			čas (UTC)				z. šir.		z. dolž.		h		nst		RMS		M _{LV}		I _{max}		nadzariško območje	
leto	mesec	dan	h	m	s	°N	°E	km	km	h	h	h	h	h	s	s	s	s	EMS 98	EMS 98		
date		day	h	min	s	lat	lon	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	epicentral area		
year	month	day	h	min	s	°N	°E	km	km	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h	h		
2020	6	5	3	6	14,9	45,66	14,82	6	6	14,9	45,66	14,82	6	30	0,4	1,3	III				Mrtvice	
2020	6	14	0	35	10,0	46,03	15,12	11	44	0,4	1,6	III		44	0,4	1,6	III				Kal pri Krmelju	
2020	6	17	15	49	51,7	46,02	14,27	8	28	0,4	1,1	čutili		28	0,4	1,1	čutili				Vrzdeneč	
2020	6	21	18	12	15,8	46,09	15,01	8	43	0,4	1,7	III-IV		43	0,4	1,7	III-IV				Rodež	
2020	6	21	19	22	9,2	46,08	15,02	12	73	0,4	2,5	IV-V		73	0,4	2,5	IV-V				Rodež	
2020	6	22	0	56	47,8	46,09	15,01	7	26	0,4	1,1	III-IV		26	0,4	1,1	III-IV				Rodež	
2020	6	25	17	11	5,8	46,21	13,60	13	20	0,2	1,1	III		20	0,2	1,1	III				Livek	
2020	6	30	6	47	2,5	45,47	14,57	16	56	0,4	2,4			56	0,4	2,4					Platak, Hrvaška	
2020	7	1	2	35	4,9	45,66	14,36	16	63	0,5	1,8	III-IV		63	0,5	1,8	III-IV				Juršče	
2020	7	4	15	42	37,5	46,09	15,18	14	42	0,4	2,1	IV-V		42	0,4	2,1	IV-V				Veliko Širje	
2020	7	9	19	38	12,0	46,06	15,64	7	27	0,3	1,2	III		27	0,3	1,2	III				Hrastje ob Bistrici	
2020	7	12	15	53	50,0	46,58	15,22	10	31	0,6	1,6	III-IV		31	0,6	1,6	III-IV				Sv. Anton na Pohorju	
2020	7	17	2	50	57,1	46,32	13,54	15	103	0,5	3,9	IV-V		103	0,5	3,9	IV-V				Čezsoča	
2020	7	17	3	11	38,0	46,32	13,53	14	24	0,2	1,4	III		24	0,2	1,4	III				Čezsoča	
2020	7	17	4	8	45,3	46,32	13,54	17	34	0,3	1,4	IV		34	0,3	1,4	IV				Čezsoča	
2020	7	17	17	37	30,2	46,32	13,54	15	34	0,3	1,6	III		34	0,3	1,6	III				Čezsoča	
2020	7	18	16	18	41,0	46,22	15,53	16	58	0,5	2,2	IV		58	0,5	2,2	IV				Brecijevo	
2020	7	23	4	26	59,8	45,55	14,24	8	38	0,5	1,3	III		38	0,5	1,3	III				Koseze	
2020	7	24	0	0	39,8	45,89	15,37	1	18	0,4	0,8	III		18	0,4	0,8	III				Mali Koren	
2020	7	25	4	35	23,7	46,48	14,77	10	56	0,5	2,1	III-IV		56	0,5	2,1	III-IV				Topla	
2020	7	27	12	2	7,4	46,09	14,46	14	36	0,4	1,6	II		36	0,4	1,6	II				Ljubljana - Šentvid	
2020	7	29	14	11	20,9	46,30	15,65	16	33	0,5	1,6	III		33	0,5	1,6	III				Hrastovec pod Bočem	

datum			čas (UTC)				z. šir.		z. dolž.		h		nst		RMS		M _{LV}		I _{max}		nadzariščno območje	
leto	mesec	dan	h	m	s	°N	°E	km	km	h	km	h	km	h	s	h	s	h	s	EMS 98	EMS 98	epicentral area
year	month	day	h	min	s	lat	lon	h	km	h	km	h	km	RMS	s	RMS	s	M _{LV}	s	I _{max}	EMS 98	epicentral area
2020	8	2	16	4	55,6	46,27	13,71	5	84	0,6	2,7	IV	Mahavšček									
2020	8	2	19	49	0,1	46,27	13,72	5	71	0,5	1,8	III-IV	Mahavšček									
2020	8	3	6	24	57,6	46,11	14,92	7	18	0,4	1,2	III-IV	Senožeti									
2020	8	3	7	27	43,7	46,59	13,52	7	42	0,3	1,8		Vorderberg (Blače), Avstrija									
2020	8	3	20	23	35,3	46,04	14,95	10	38	0,4	1,7	III	Zglavnica									
2020	8	6	10	17	26,2	46,32	13,53	13	18	0,1	0,7	III	Plužna									
2020	8	6	14	2	16,8	46,12	14,83	18	48	0,5	2,0	III	Vače									
2020	8	7	16	41	5,5	46,28	13,71	5	20	0,3	1,2	čutili	Mahavšček									
2020	8	7	17	36	30,7	45,88	14,88	7	13	0,4	1,1	III	Orlaka									
2020	8	7	19	30	9,3	46,32	13,54	16	52	0,3	1,7	III-IV	Čezsoča									
2020	8	8	4	50	19,2	46,32	13,54	15	58	0,5	1,5	III	Bovec									
2020	8	8	7	38	39,8	46,27	13,71	5	52	0,5	1,8	III	Mahavšček									
2020	8	9	1	19	56,9	46,31	13,53	16	18	0,2	0,8	čutili	Srpenica									
2020	8	9	11	3	10,8	46,27	13,71	5	21	0,4	1,1	II	Mahavšček									
2020	8	10	19	15	51,8	46,32	13,53	14	30	0,2	1,1	III	Čezsoča									
2020	8	13	8	32	3,5	46,31	13,55	15	31	0,3	1,6	III	Čezsoča									
2020	8	14	12	39	54,0	46,28	13,72	6	19	0,4	1,3	III	Mahavšček									
2020	8	15	21	29	55,0	46,14	14,85	8	26	0,4	1,1	III	Kandrše									
2020	8	18	9	56	3,8	45,82	14,99	11	45	0,4	1,7	III-IV	Mali Lipovec									
2020	8	19	18	41	10,0	46,10	13,84	17	22	0,3	0,9	III	Prapetno Brdo									
2020	8	19	23	35	33,8	46,32	13,53	14	21	0,3	0,6	čutili	Čezsoča									
2020	8	21	15	49	59,0	46,25	13,57	17	91	0,4	2,6	IV	Kobarid									

datum			čas (UTC)				z. šir.	z. dolž.	h	nst	RMS	M _{LV}	I _{max}	nadzariško območje
leto	mesec	dan	h	m	s	°N	°E	km		s		EMS 98		
year	month	day	h	min	s	lat	lon	h	nst	s	M _{LV}	I _{max}	epicentral area	
2020	8	22	22	18	5,4	45,92	15,55	8	28	0,5	1,2	III	Gorenje Skopice	
2020	8	25	11	37	29,6	45,85	15,11	11	8	0,3	1,0	III-IV	Mali Vrh	
2020	8	25	20	33	14,8	45,47	14,43	14	12	0,2	0,9	III*	Klana, Hrvaška	
2020	8	28	19	44	57,9	46,10	15,23	10	43	0,4	2,1	IV-V	Gračnica	
2020	9	3	15	0	55,2	46,32	13,61	7	14	0,2	1,0	čutili	Lepena	
2020	9	4	4	58	10,1	45,88	14,55	7	17	0,2	0,9	III	Sekirišče	
2020	9	18	11	36	47,2	46,57	15,21	8	8	0,2	1,5		Sv. Anton na Pohorju	
2020	9	18	17	51	22,9	45,75	15,71	13	35	0,4	1,8		Klake, Hrvaška	
2020	9	22	4	41	22,2	45,85	15,21	5	10	0,3	0,9	III-IV	Herinja vas	
2020	10	4	16	32	39,3	45,79	14,88	2	13	0,2	1,1	čutili	Sela pri Hinjah	
2020	10	6	17	44	23,7	45,69	15,65	15	32	0,4	1,7		Donja Reka, Hrvaška	
2020	10	7	20	28	23,7	46,14	14,50	10	23	0,4	0,9	III	Srednje Gameljne	
2020	10	13	4	51	38,5	46,22	13,37	15	40	0,3	1,5		Taipana (Tipana), Italija	
2020	10	13	5	0	11,5	46,22	13,37	15	46	0,3	1,7		Taipana (Tipana), Italija	
2020	10	13	5	10	13,0	46,23	13,37	13	12	0,1	1,5		Taipana (Tipana), Italija	
2020	10	13	14	31	32,3	46,22	13,37	16	43	0,2	1,5	III*	Taipana (Tipana), Italija	
2020	10	15	20	14	24,8	46,40	15,07	11	32	0,5	1,3	III-IV	Ravne	
2020	10	20	3	4	24,7	46,02	14,49	8	14	0,2	0,6	II	Črna vas	
2020	10	22	14	35	7,5	46,27	13,67	17	44	0,2	1,7	III	Koseč	
2020	10	25	3	37	56,5	45,93	15,70	4	16	0,4	0,9	III	Jereslavec	
2020	10	27	22	40	27,2	45,87	14,81	11	21	0,3	1,0	II	Male Lese	
2020	10	29	14	33	8,1	45,76	14,94	6	15	0,7	1,0	čutili	Smuka	

datum			čas (UTC)				z. šir.		z. dolž.		h		nst		RMS		M _{LV}		I _{max}		nadzariško območje	
leto	mesec	dan	h	m	s	°N	°E	km	km	h	km	h	km	s	s	M _{LV}	I _{max}	EMS 98	epicentral area			
year	month	day	h	min	s	lat	lon	h	km	h	km	nst	RMS	s	M _{LV}	I _{max}	EMS 98					
2020	11	1	0	9	44,3	45,95	14,70	9	20	0,3	0,5	20	0,3	0,3	0,5	II			Žalna			
2020	11	1	18	56	29,7	46,13	15,06	7	17	0,4	0,8	17	0,4	0,4	0,8	II			Retlje nad Trbovljami			
2020	11	4	3	4	27,8	45,80	14,97	16	66	0,6	2,1	66	0,6	0,6	2,1	III-IV			Podgozd			
2020	11	18	20	52	45,4	45,86	15,41	2	7	0,2	0,5	7	0,2	0,2	0,5	IV			Malence			
2020	11	22	19	17	57,8	46,48	15,10	10	21	0,4	1,4	21	0,4	0,4	1,4	III			Šmartho pri Slovenj Gradcu			
2020	11	24	4	16	27,2	46,49	14,69	6	58	0,5	2,2	58	0,5	0,5	2,2	III-IV*			Koprein Sonnseite (Koprivna), Avstrija			
2020	12	2	8	3	48,3	45,79	14,84	9	20	0,4	1,2	20	0,4	0,4	1,2	III			Žvirče			
2020	12	6	2	6	43,1	45,76	14,15	16	12	0,1	0,4	12	0,1	0,1	0,4	čutili			Orehok			
2020	12	6	12	7	48,2	45,93	14,88	11	40	0,4	1,4	40	0,4	0,4	1,4	II			Pokojnica			
2020	12	12	20	14	16,1	45,76	14,15	15	12	0,1	0,6	12	0,1	0,1	0,6	čutili			Studeneč			
2020	12	13	12	26	33,6	45,84	13,57	13	17	0,3	1,1	17	0,3	0,3	1,1	III*			Bonetti (Boneti), Italija			
2020	12	15	5	47	55,5	46,08	14,34	17	35	0,4	1,6	35	0,4	0,4	1,6	III			Setnica			
2020	12	16	23	5	31,2	46,09	14,35	16	51	0,4	1,5	51	0,4	0,4	1,5				Belo			
2020	12	19	18	56	25,3	46,15	14,34	9	9	0,2	0,3	9	0,2	0,2	0,3	III			Pungert			
2020	12	21	14	47	56,0	45,50	15,33	5	9	0,2	0,6	9	0,2	0,2	0,6	čutili			Marindol			
2020	12	22	20	2	10,7	46,09	13,68	14	13	0,2	1,1	13	0,2	0,2	1,1	III			Kanalski Vrh			
2020	12	22	22	7	40,1	45,51	15,25	5	6	0,2	0,7	6	0,2	0,2	0,7	IV			Bojanci			
2020	12	26	18	12	8,7	45,66	14,06	9	16	0,3	1,2	16	0,3	0,3	1,2	čutili			Gornje Ležeče			
2020	12	30	3	21	19,6	45,99	14,74	11	10	0,3	0,6	10	0,3	0,3	0,6	III			Gorenje Brezovo			
2020	12	30	20	41	27,5	45,79	14,10	11	29	0,3	1,0	29	0,3	0,3	1,0	III			Strane			
2020	12	30	21	24	7,0	46,11	13,81	16	20	0,2	0,8	20	0,2	0,2	0,8	III-IV			Roče			
2020	12	30	22	6	16,9	46,07	14,99	5	8	0,2	0,9	8	0,2	0,2	0,9	III-IV			Stranski Vrh			

datum		čas (UTC)			z. šir.		z. dolž.		h		nst		RMS		M _{LV}		I _{max}		nadzariščno območje	
leto	meseč	dan	h	m	s	°N	°E	h	km	lat	lon	h	km	RMS	s	M _{LV}	I _{max}	EMS 98		
year	month	day	h	min	s	°N	°E	h	km	time (UTC)	time (UTC)	h	km	RMS	s	M _{LV}	I _{max}	EMS 98	epicentral area	
2020	12	30	23	24	0,5	46,07	14,98	8	8	34	34	0,4	0,4	1,4	0,4	1,4	III-IV	Preveg		
2020	12	31	1	28	52,1	45,92	15,45	2	2	7	7	0,2	0,2	0,7	0,2	0,7	III-IV	Velika vas pri Krškem		
2020	12	31	1	43	2,9	45,97	14,57	8	8	12	12	0,2	0,2	0,4	0,2	0,4	III	Gumnišče		
2020	12	31	4	50	7,9	46,07	14,98	5	5	49	49	0,5	0,5	1,8	0,5	1,8	III-IV	Stranski Vrh		

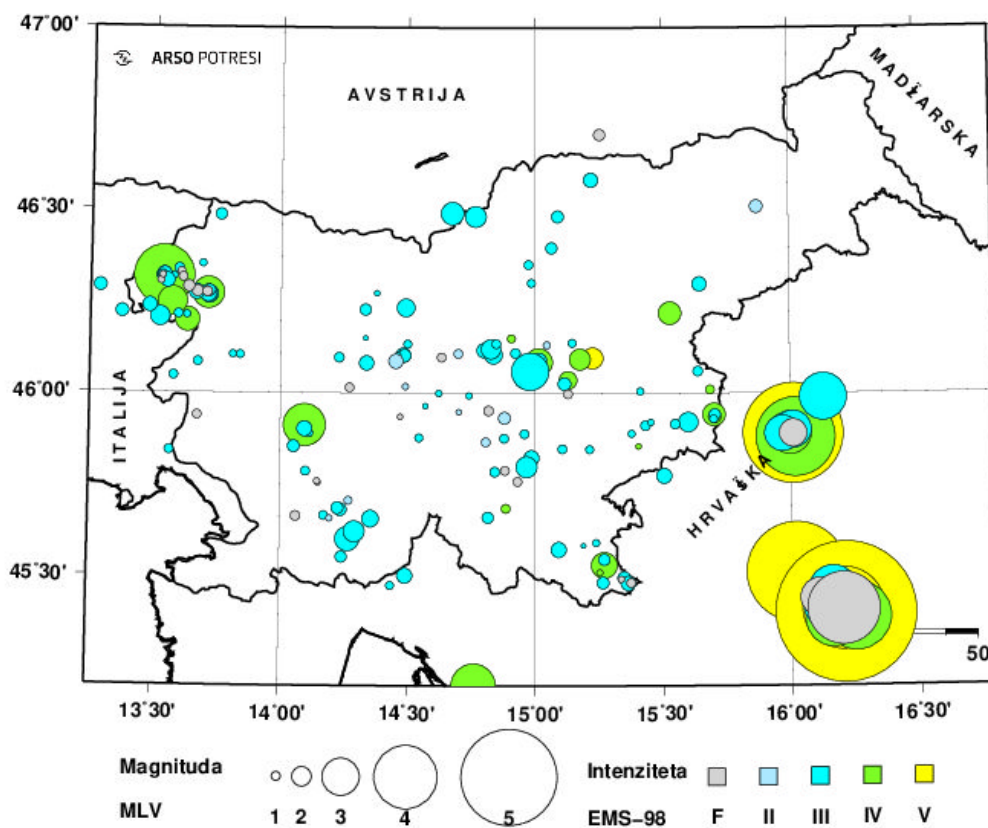
Preglednica 2: Seznam bližnjih (regionalnih) potresov, ki so jih leta 2020 čutili prebivalci Slovenije.
Table 2: List of regional earthquakes that were felt by the inhabitants of Slovenia in 2020.

datum			čas (UTC)		M_w	intenziteta	potresno območje
			h	min		EMS-98	
date			time (UTC)		M_w	intensity	epicentral area
			h	min		EMS-98	
2020	1	5	1	13	3,5	III	Surd (Šurd), Madžarska
2020	1	28	7	53	3,4	III–IV	Marija Bistrica, Hrvaška
2020	3	22	5	24	5,6	V	Zagreb, Hrvaška
2020	3	22	6	1	4,9	IV	Zagreb, Hrvaška
2020	3	22	6	41	3,4	IV	Zagreb, Hrvaška
2020	3	22	7	37	2,7	čutili	Zagreb, Hrvaška
2020	3	22	8	4	3,1	III–IV	Zagreb, Hrvaška
2020	3	22	9	11	3,1	III	Zagreb, Hrvaška
2020	3	23	10	12	3,2	IV	Zagreb, Hrvaška
2020	4	23	7	52	3,2	III	Zagreb, Hrvaška
2020	5	13	9	9	3,8	IV	Crikvenica, Hrvaška
2020	11	1	13	15	4,7	III	Starigrad Paklenica, Hrvaška
2020	12	28	5	28	5,1	V–VI	Petrinja, Hrvaška
2020	12	28	6	49	4,6	IV	Petrinja, Hrvaška
2020	12	29	11	19	6,1	V–VI	Petrinja, Hrvaška
2020	12	29	11	40	3,3	čutili	Petrinja, Hrvaška
2020	12	29	12	34	4,2	IV	Petrinja, Hrvaška
2020	12	29	17	57	3,8	III–IV	Petrinja, Hrvaška
2020	12	29	19	31	3,6	III–IV	Petrinja, Hrvaška
2020	12	29	20	23	3,3	IV	Petrinja, Hrvaška
2020	12	30	1	7	3,2	III	Petrinja, Hrvaška
2020	12	30	5	15	4,8	V	Petrinja, Hrvaška
2020	12	30	5	26	4,6	čutili	Petrinja, Hrvaška
2020	12	30	8	21	3,8	III–IV	Petrinja, Hrvaška
2020	12	30	19	31	3,5	III–IV	Petrinja, Hrvaška
2020	12	31	3	33	4,1	IV	Petrinja, Hrvaška
2020	12	31	4	24	3,6	III	Petrinja, Hrvaška
2020	12	31	8	15	3,8	III–IV	Petrinja, Hrvaška
2020	12	31	10	42	3,1	III	Petrinja, Hrvaška

Podatki o nekaterih močnejših potresih, ki so jih čutili prebivalci Slovenije

Leta 2020 ni bilo potresov z žariščem v Sloveniji, ki bi povzročili gmotno škodo, le posamezne lasaste razpoke v ometu, so pa potresi na Hrvaškem povzročili nekaj škode tudi v Sloveniji. Prebivalci v Sloveniji so čutili skupno vsaj 183 potresov, 154 lokalnih in 29 regionalnih. Dva potresa sta v Sloveniji imela največjo intenziteto V–VI EMS-98, dva intenziteto V EMS-98 in pet intenziteto IV–V EMS-98.

Nadžarišča potresov so prikazana na sliki 4, na kateri so poleg lokalnih potresov prikazani še regionalni potresi z žariščem pri Zagrebu in Petrinji, Hrvaška. Velikost kroga označuje lokalno magnitudo, barva pa največjo doseženo intenziteto potresa v Sloveniji. Potresi na sliki 4 niso zrisani kronološko, temveč od največje magnitudo do najmanjše, da močnejši potresi ne bi zakrili šibkejših.



Slika 4: Nadžarišča lokalnih potresov ter potresov z žariščem pri Zagrebu in Petrinji, Hrvaška, ki so jih leta 2020 čutili prebivalci Slovenije. Barva simbola ponazarja največjo doseženo intenziteto v Sloveniji, njegova velikost pa vrednost lokalne magnitudo MLV. Pri razponu mogočih vrednosti intenzitete je prikazana spodnja vrednost. Slika je bila narejena s programom GMT (Wessel in Smith, 1991, 1998).

Figure 4: Epicentres of local earthquakes along with earthquakes from Zagreb and Petrinja, Croatia, felt in Slovenia in 2020. The size of the symbols represents local magnitude, while the colour represents maximum intensity in Slovenia. Lower value of intensity is shown for possible intensity ranges. Magnituda = magnitude; Intenziteta = intensity. Figure was made using GMT software (Wessel and Smith, 1991, 1998).

V nadaljevanju so opisani trije potresi, in sicer najmočnejši potres, ki se je zgodil na območju Slovenije leta 2020, in dva potresa iz Hrvaške, ki sta na ozemlju Slovenije pustila največ posledic. Potres pri

Bovcu ($M_{LV} = 3,9$) je imel največjo intenziteto IV–V EMS-98, potresa na Hrvaškem ($M_L = 5,6$ in $M_L = 6,1$; GEOF-PMF, 2021) pa sta v Sloveniji imela intenziteto V in V–VI EMS-98. Za vsakega izmed teh potresov je prikazana karta intenzitete po naseljih (slike 5–7) z vrisanim instrumentalno določenim nadžariščem. Če so opazovalci poročali le o zvočnih učinkih brez tresenja tal, je kraju pripisana oznaka »zvok«.

Intenziteta potresa v posameznem naselju je ocenjena na podlagi vprašalnikov o učinkih potresa. Vprašalnike po potresu pošljemo registriranim prostovoljnim poročevalcem ali pa jih občani sami izpolnijo na spletni strani:

- ARSO (<http://potresi.arso.gov.si/vprasalnik>)
- ali evropsko-sredozemske seizmološke organizacije EMSC (https://www.emsc-csem.org/Earthquake/Contribute/choose_earthquake.php).

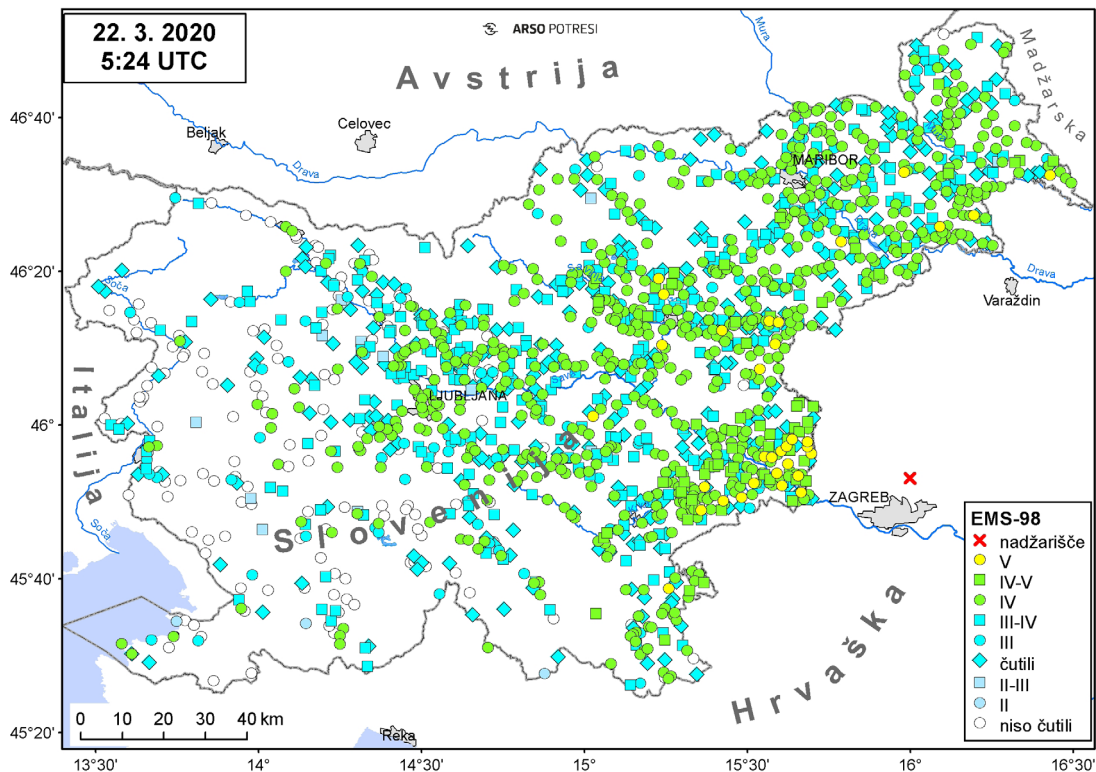
Na sliki 8 so prikazana vsa naselja, od koder smo dobili podatke, da so ljudje čutili učinke katerega izmed potresov. Barva in oznaka na sliki opredeljujeta največjo intenziteto, doseženo v posameznem naselju leta 2020.

Potres 22. marca 2020 ob 5.24 UTC pri Zagrebu (slika 5)

Prvi močen potres, ki je leta 2020 v Sloveniji povzročil kar nekaj strahu, se je zgodil v nedeljo 22. marca ob 5.24 UTC (ob 6.24 po lokalnem času) z magnitudo 5,6 in z nadžariščem na območju gore Medvednica, 7 km severno od središča Zagreba, glavnega mesta Hrvaške (GEOF-PMF, 2021). Sledili so mu številni popotresi. Potres je v centru Zagreba močno poškodoval zgodovinske in stanovanjske objekte. Več kot 26.000 zgradb je bilo poškodovanih, 1900 tako močno, da v njih ni več možno bivati. Triindvajset ljudi je bilo ranjenih, ena deklica pa je izgubila življenje. Glavni potres so čutili po vsej Sloveniji. Mnoge je potres prebudil. Na ARSO smo prejeli skoraj 6000 izpolnjenih spletnih vprašalnikov. Poročevalci iz krajev bližje nadžarišču potresa so poročali o močnem 10–20 sekundnem tresenju tal, bobnenju, loputanju vrat, nihanju luči, žvenketanju posode. Nekateri so iz strahu zbežali na prosto. Dobili smo tudi nekaj poročil o poškodbah (pojav lasastih razpok, odpadanje ometa in podobno). Ocenjena največje intenzitete potresa v Sloveniji je V EMS-98, predvsem v vzhodnem delu Slovenije (Cecić in drugi, 2023).

Potres 17. julij 2020 ob 2.50 UTC pri Bovcu (slika 6)

Najmočnejši potres z nadžariščem v Sloveniji v letu 2020 se je zgodil 17. julija ob 2.50 UTC (ob 4.50 po lokalnem času) v bližini naselja Čezsoča. Lokalna magnituda potresa je bila 3,9 in največja intenziteta IV–V EMS-98 v naseljih Bukovo, Dolje, Lepena, Logje, Plužna, Poljubinj, Stržišče, Trnovo ob Soči, Volarje in Vrtoče ter italijanskih naselij Arta Terme, Artegna, Grado in Grimacco (INGV, 2020). Potres so čutili v celotni Sloveniji, v območju do 193 km od nadžarišča, pa tudi v Avstriji, Italiji in na Hrvaškem. Mnoge je potres prebudil. Opazovalci iz krajev bližje nadžarišču potresa so poročali o močnem nekaj sekundnem tresenju tal, bobnenju, škripanju pohištva, žvenketanju kozarcev. Potres je v posameznih primerih povzročil nekaj lasastih razpok, v naselju Krnice se je s hriba sprožilo nekaj večjih skal.



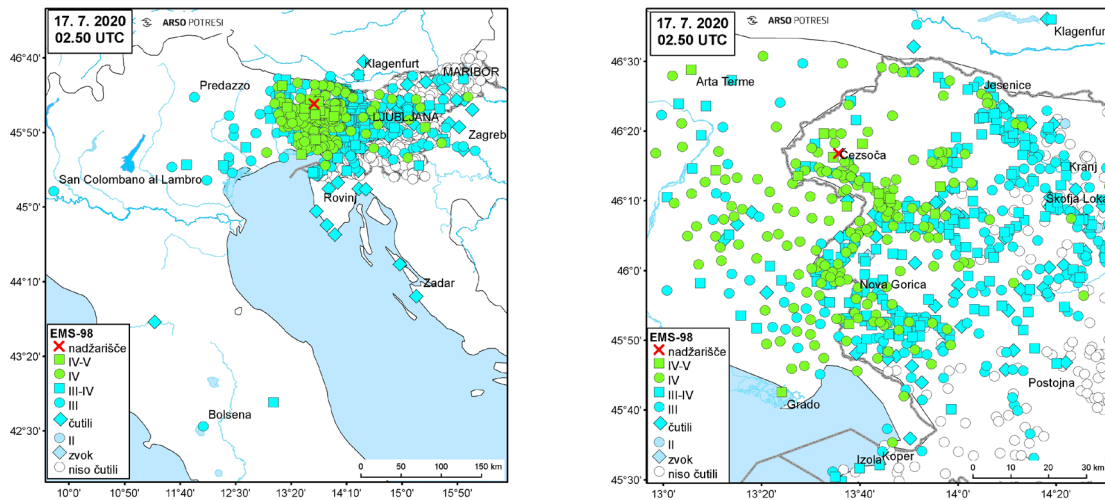
Slika 5: Intenziteta potresa magnitude 5,6 pri Zagrebu, Hrvaška, 22. marca 2020 ob 5.24 UTC v posameznih naseljih.

Figure 5: Intensity of the earthquake near Zagreb, Croatia ($M_L=5.6$) on 22 March 2020 at 5:24 UTC in individual settlements. Nadžarišče = epicentre; čutili = felt; niso čutili = not felt.

Potres 29. december 2020 ob 11.19 UTC pri Petrinji (slika 7)

Niz potresov, ki je konec leta 2020 pretresel hrvaško pokrajino Banijo, se je začel s predpotresom 28. decembra 2020 ob 5.28 UTC (ob 6.28 po lokalnem času) z magnitudo 5,1. Naslednji dan, 29. decembra 2020 ob 11.19 UTC (ob 12.19 po lokalnem času), mu je sledil glavni potres z magnitudo 6,1. Nadžarišče potresa je bilo šest km jugozahodno od Petrinje oz. 50 km jugozahodno od Zagreba, Hrvaška (GEOF-PMF, 2021). Sledili so mu številni popotresi. V glavnem potresu je sedem oseb izgubilo življenje, 26 je bilo ranjenih. Povzročil je veliko škode v območju nekaj deset km okrog nadžarišča, kjer so bile številne zgradbe močno poškodovane ali porušene. Glavni potres so čutili prebivalci vseh okoliških držav. (Markušić, 2021)

Na ARSO smo prejeli 8350 izpolnjenih spletnih vprašalnikov. Opazovalci so poročali o močnem tresenju, zaradi katerega je veliko ljudi v strahu zbežalo na prosto. Ponekod so popadali predmeti s polic, manjši predmeti so se prestavili ali prevrnili, manj stabilno pohištvo se je premaknilo, poročali so o loputanju vrat, vzvalovanju tekočin in tresenju pohištva. V višjih nadstropjih so posamezniki s težavo ohranili ravnotežje.



Slika 6: Intenziteta potresa magnitude 3,9 pri Bovcu 17. julija 2020 ob 2.50 UTC v posameznih naseljih a) celotno območje, kjer so potres čutili; b) širše nadžariščno območje.

Figure 6: Intensity of the earthquake near Bovec ($M_{LV}=3.9$) on 17 July 2020 at 2:50 UTC in individual settlements; a) felt area; b) wider epicentral area

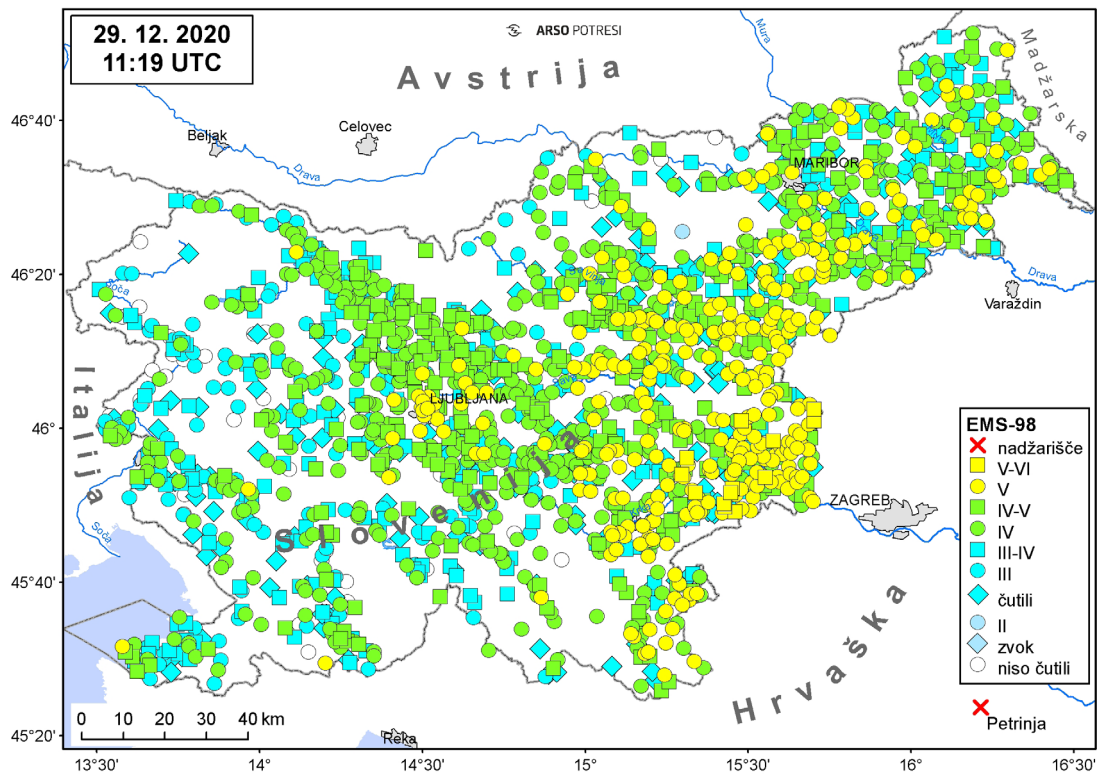
Nadžarišče = epicentre; čutili = felt; zvok = thunder; niso čutili = not felt.

Potres je imel v Sloveniji največjo intenziteto (V–VI EMS-98) v naseljih Črneča vas, Dolenje Skopice, Drama, Drenovec pri Bukovju, Globočice pri Kostanjevici, Hrastulje, Kalce-Naklo, Kostanjevica na Krki, Malo Mraševo, Močvirje, Orešje na Bizeljskem, Senovo in Volčje. Iz Ljubljane smo prejeli 21 % vseh pozitivno izpolnjenih vprašalnikov, zato je bilo tu opisanih največ učinkov potresa in prijavljenih tudi največ poškodb, a je šlo predvsem za manjše lasaste razpoke. Manjšo gmotno škodo je potres povzročil v Brežicah, Globočicah pri Kostanjevici, Kostanjevici na Krki in Senovem (Birko in drugi, 2022).

Sklepne misli

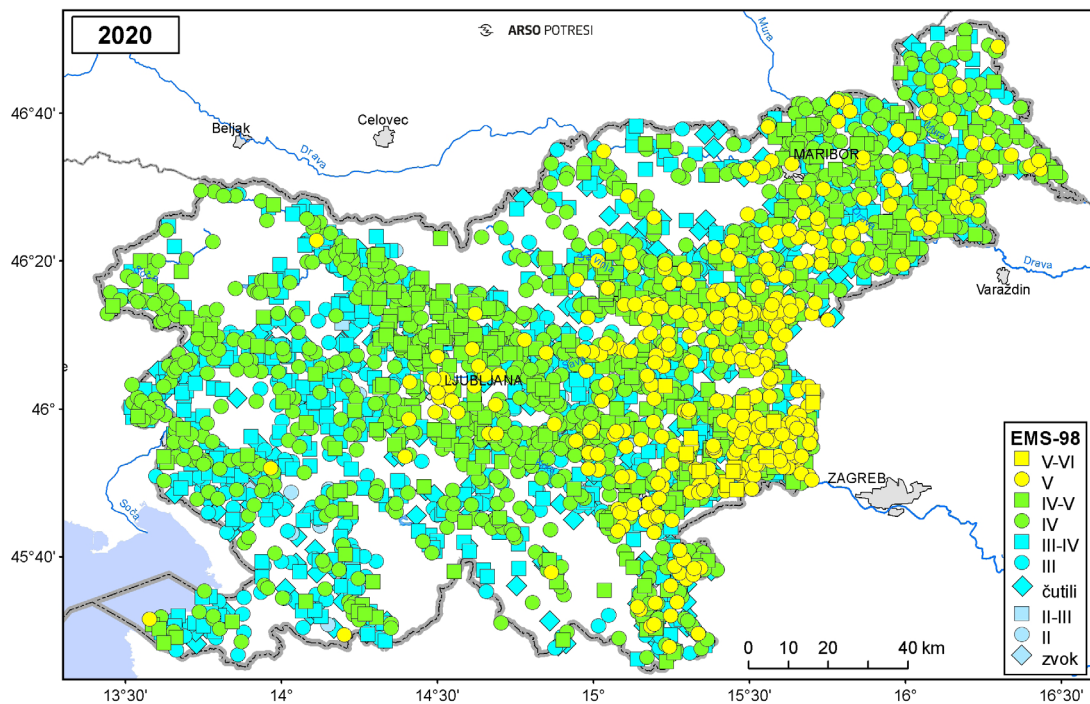
Leta 2020 se je v Sloveniji ali njeni bližnji okolici zgodilo 2209 potresov. Dvajset potresov je imelo lokalno magnitudo med 2,0 in 2,9, dva potresa pa sta imela magnitudo 3,0 ali več. Večina potresov (98 %) je imela lokalno magnitudo manjšo od 1,7. Vsi potresi na območju Slovenije in bližnje okolice so imeli žarišča do globine 24 km (sliki 1 in 3).

V Sloveniji so leta 2020 prebivalci čutili vsaj 183 potresov (sliki 4 in 9). Dva potresa sta v Sloveniji imela največjo intenziteto V–VI EMS-98, dva potresa intenziteto V in pet potresi intenziteto IV–V. Za preostale potrese (174) v letu 2020 smo uporabili samodejno ocenjeno intenziteto: 23 potresov je imelo največjo intenziteto IV, 52 potresov je imelo intenziteto III–IV, 64 potresov intenziteto III in 11 potresov intenziteto II EMS-98. Za 24 potresov nismo prejeli dovolj informacij o učinkih, zato jim ni bilo mogoče določiti intenzitete po evropski potresni lestvici. Intenziteta je pri teh potresih ocenjena samo opisno, in sicer z oznako »čutili« (slika 9).



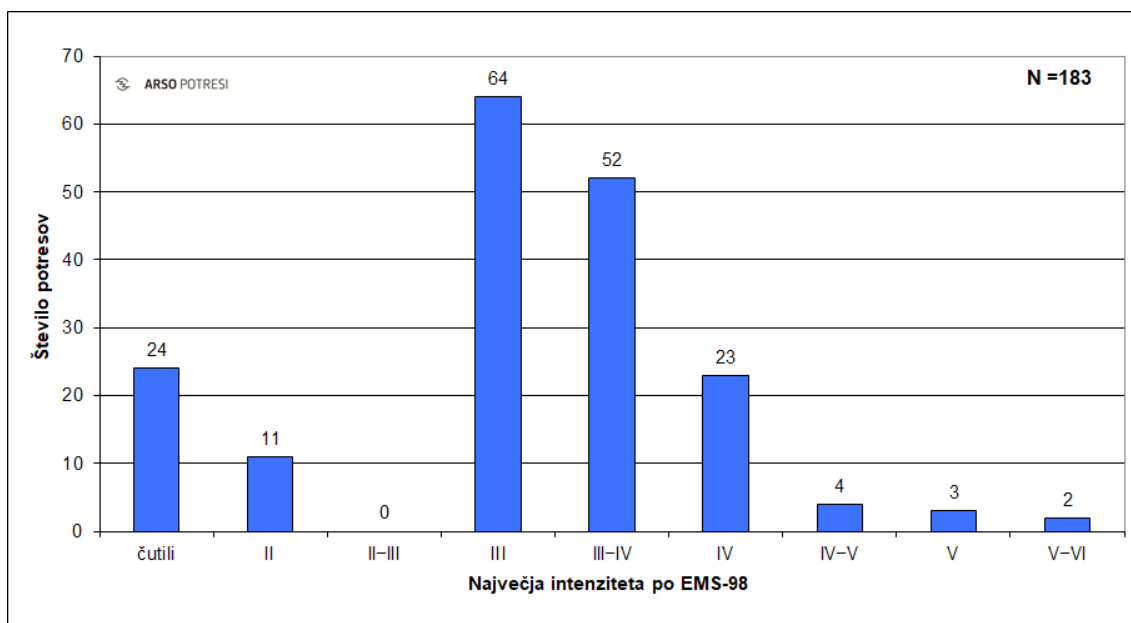
Slika 7: Intenziteta potresa magnitude 6,1 pri Petrinji, Hrvatska, 29. decembra 2020 ob 11.19 UTC v posameznih naseljih.

Figure 7: Intensity of the earthquake near Petrinja, Croatia (ML=6.1) on 29 December 2020 at 11:19 UTC in individual settlements. Nadžarišče = epicentre; čutili = felt; zvok = thunder; niso čutili = not felt.



Slika 8: Največja intenziteta potresa izmed vseh, ki so se zgodili leta 2020, ocenjena v posameznem naselju v Sloveniji.

Figure 8: Overall map of the maximum intensity in individual settlements in Slovenia of all the earthquakes in 2020 felt by the inhabitants of Slovenia. Čutili = felt; zvok = thunder.



Slika 9: Porazdelitev največje intenzitete po EMS-98 potresov, ki so jih prebivalci v Sloveniji čutili leta 2020.

Figure 9: Distribution of maximum EMS-98 intensity with respect to number of earthquakes in Slovenia in 2020. Čutili = felt.

Viri in literatura

ARSO, 2021. Letni seizmološki bilteni, 2000–2020. Arhiv Agencije RS za okolje, Ljubljana.

Cecić, I., Birko, D., Čarman, M., Godec, M., Jesenko, T., Lanjšček, M., Ložar Stopar, M., Pahor, J., Šket Motnikar, B., Zupančič, P., Živčič, M., 2022. Potres 22. marca 2020 pri Zagrebu na Hrvaškem. Potresi v letu 2020. Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo. Ljubljana.

Birko, D., Cecić, I., Čarman, M., Jerše Sharma, A., Jesenko, T., Šket Motnikar, B., Zupančič, P., Živčič, M., 2023. Potres 29. decembra 2020 pri Petrinji na Hrvaškem. Potresi v letu 2020. Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo. Ljubljana.

The Central and Eastern European Earthquake Research Network – CE3RN, 28 April 2021. <http://www.ce3rn.eu/> (uporabljeno 28.4.2021).

EMSC/CSEM, 2020. European-Mediterranean Seismological Centre – EMSC/CSEM. https://www.emsc-csem.org/Earthquake/Contribute/choose_earthquake.php

Google Maps, 2020. <https://www.google.com/maps> (uporabljeno 25.03.2021).

GEOF-PMF, 2021. Data reports (online). Geofizički odsjek Prirodoslovno matematičnog fakulteta, Zagreb, Hrvaška. https://www.pmf.unizg.hr/geof/seizmoloska_sluzba/seizmoloski_bilteni (uporabljeno 21.11.2022).

GURS (Geodetska uprava RS), 2018. Centroidi naselij (geografske koordinate), računalniški

seznam.

- Grünthal, G. (ur.), 1998. European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98). Conseil de l'Europe, Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, Volume 15, Luxembourg.
- INGV, Osservatorio Nazionale Terremoti (National Earthquake Observatory), Roma, 2020. <http://cnt.rm.ingv.it> (uporabljeno 21.11.2022).
- INGV Effect maps (2020). <https://www.hsit.it/> (uporabljeno 25. 1. 2022).
- Lienert, B. R., Berg, E., Frazer, L. N. 1988. HYPOCENTER: An earthquake location method using centered, scaled, and adaptively least squares. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 76, 771–783.
- Lienert, B. R. 1994. HYPOCENTER 3.2 – A Computer Program for Locating Earthquakes Locally, Regionally and Globally. Hawaii Institute of Geophysics & Planetology, Honolulu, 70 str.
- Markušić, S., Stanko, D., Penava, D., Ivančić, I., Bjelotomić Oršulić, O., Korbar, T., Sarhosis, V., 2021. Destructive M6.2 Petrinja Earthquake (Croatia) in 2020 - Preliminary Multidisciplinary Research, Research Gate https://assets.researchsquare.com/files/rs-2136108/v1_covered.pdf?c=1667992339 (uporabljeno 21.11.2022)
- Michellini, A., Živčić, M., Suhadolc, P. 1998. Simultaneous inversion for velocity structure and hypocenters in Slovenia. *Journal of Seismology*, 2 (3), 257–265.
- OGS (Osservatorio Geofisico Sperimentale), 2020. Bollettino della Rete Sismometrica del Friuli Venezia Giulia. OGS, Centro ricerche sismologiche, Udine, computer file. Spletni naslov: <http://www.crs.inogs.it/bollettino/RSFVG/2019/RSFVG-2019.en.html>.
- Poljak, M., Živčić, M., Zupančič, P. 2000. The Seismotectonic Characteristics of Slovenia. *Pure appl. Geophys.*, vol. 1, 57, 37–55.
- Šket Motnikar, B., Jerše Sharma, A. 2020. Statistična analiza spletnih vprašalnikov, interno predavanje, Agencija za okolje, Ljubljana, februar 2020.
- Sinčič P., Tasič I., 2022. Potresne opazovalnice v Sloveniji v letu 2020, Potresi v letu 2020, Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo, Ljubljana
- Tóth, L., Mónus, P., Kiszely, M., Trosits, D., 2021. Hungarian Earthquake Bulletin 2020. *Geo-Risk*, Budapest. http://www.georisk.hu/Bulletin/HEB_2020.pdf.
- Vidrih, R., Sinčič, P., Tasič, I., Gosar, A., Godec, M., Živčić, M. 2006. Državna mreža potresnih opazovalnic. Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo, Ljubljana, 287 str.
- Wessel, P., Smith, W. H. F. 1991. Free software helps map and display data. *Eos, Trans. Amer. Un.*, Vol. 72 (441), 445–446.
- Wessel, P., Smith, W. H. F. 1998. New, improved version of the Generic Mapping Tools released. *EOS Trans. AGU*, Vol. 79, 579.
- ZAMG, 2019–2020. Preliminary bulletin of regional and teleseismic events recorded with ZAMG-stations in Austria. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien.
- Živčić, M., Bondár, I., Panza, G. F. 2000. Upper Crustal Velocity Structure in Slovenia from Rayleigh Wave Dispersion. *Pure Appl. Geophys.*, Vol. 157, 131–146.



Ina Cević, Danijela Birko, Martina Čarman, Matjaž Godec, Tamara Jesenko, Miha Lanjšček, Milka Ložar Stopar, Jurij Pahor, Barbara Šket Motnikar, Polona Zupančič, Mladen Živčić

Potres 22. marca 2020 pri Zagrebu na Hrvaškem Earthquake near Zagreb, Croatia, on 22 March 2020

Povzetek

22. marca 2020 ob 6. uri in 24 minut po lokalnem času se je severno od Zagreba zgodil močen potres z lokalno magnitudo (M_L) 5,5*. V Zagrebu in okoliških krajih je povzročil veliko škode, umrla je ena oseba. Zatresele je tudi slovenska tla. V Sloveniji so ga najmočneje čutili prebivalci obmejnih območjih Gorjancev, Bizeljskega, Kozjanskega in Halož. V prispevku so opisane glavne značilnosti potresa, predstavljeni so učinki potresa v Sloveniji in podatki potresnih opazovalnic v Sloveniji.

Abstract

On 22 March 2020 at 6:24 CET (5:24 UTC), a strong earthquake with a local magnitude of M_L 5.5* occurred north of Zagreb, the capital of Croatia. Substantial damage was observed in Zagreb and neighbouring area; one person was killed. The earthquake was also felt in Slovenia, most strongly by the inhabitants of the border areas of Gorjanci, Bizeljsko, Kozjansko and Haloze. In this paper main characteristics of the earthquake sequence, the effects of the main earthquake in Slovenia and the data of seismic stations in Slovenia are described.

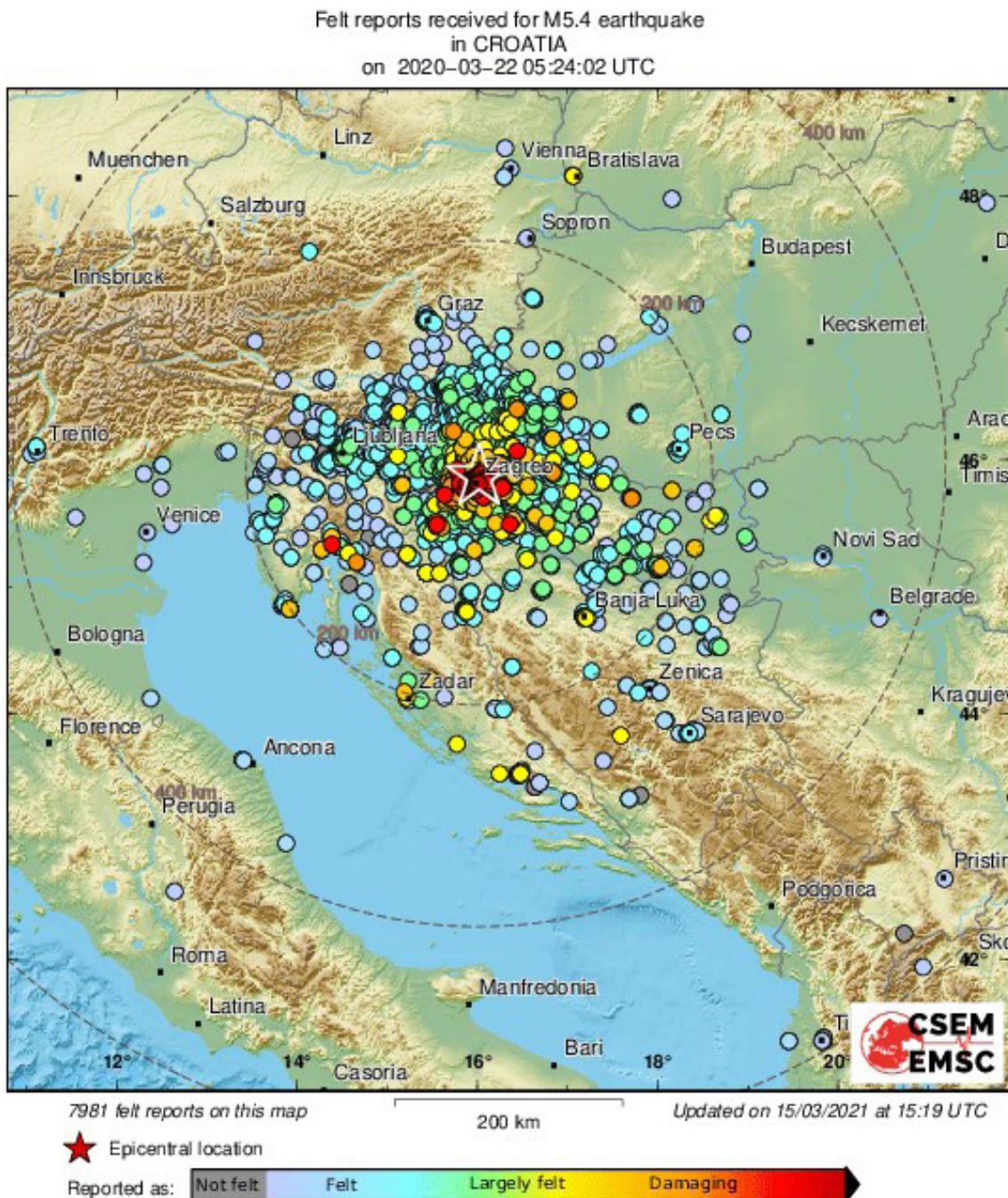
Uvod

Na nedeljsko jutro, 22. marca ob 6. uri in 24 minut po lokalnem času (5.24 UTC), so številni prebivalci Slovenije čutili tresenje tal. Močen potres, ki je nastal 10 kilometrov globoko pod pobočjem planine Medvednica, 7 km severno od centra Zagreba, v bližini Markuševca in Čučerja, je imel lokalno magnitudo M_L 5,5* in navorno magnitudo M_W 5,4 (Markušić in drugi, 2020; Herak in drugi, 2021), intenziteta v nadžariščnem območju pa je bila VII* EMS-98 (Geofizički odsjek, 2022); (vse magnitude in intenzitete, označene z zvezdico tu in v nadaljevanju, so povzete po članku Herak in drugi, 2021, ter podatkih Hrvaške seizmološke službe GEOF-PMF, 2021). EMS-98 je okrajšava za Evropsko potresno lestvico (Grünthal, 1998).

Zaradi plitkega žarišča in bližine mesta je potres najhuje prizadel Zagreb in okolico, čutili pa so ga v vseh okoliških državah. Slika 1 prikazuje učinke potresa, ki jih je zbral Evropsko-sredozemski seizmološki center (EMSC). Vsaka pika na zemljevidu predstavlja informacijo posameznika o tem, kje in kako je potres zaznal. Modre, zelene in rumene pike označujejo lokacijo poročevalca, ki je potres le čutil, medtem ko pike, obarvane oranžno in rdeče, nakazujejo lokacije, kjer bi potres lahko povzročil poškodbe objektov.

V širšem nadžariščnem območju so se ljudje zelo prestrašili in zbežali na prosto. V stanovanjih se je ponekod prevrnilo težko pohištvo. V Zagrebu in okolici je potres poškodoval približno

26.000 stanovanjskih, javnih in monumentalnih zgradb (slika 2). Med njimi je bilo približno 1.400 predvsem starejših zgradb tako poškodovanih, da njihova nadaljnja uporaba ni bila več mogoča, približno 5.200 objektov pa je po pregledu dobilo oznako o začasni neuporabnosti. Dobro grajene



Slika 1. Učinki potresa, podatke je zbral Evropsko-sredozemski seizmološki center (EMSC, 2021).

Figure 1. Earthquake effects collected by the European-Mediterranean Seismological Centre (EMSC, 2021).



Slika 2. Delna porušitev fasade cerkve v kraju Čučerje, 11 km SV od centra Zagreba. (foto I. Sović, Hrvatska seizmološka služba).

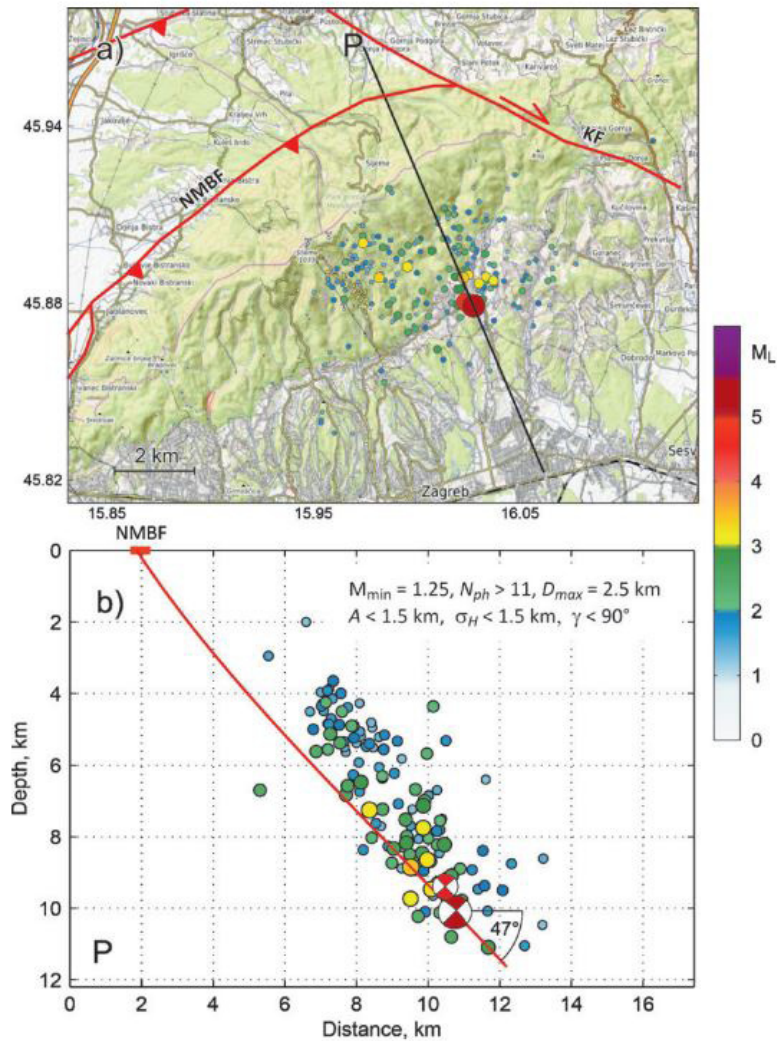
Figure 2. Partial collapse of the facade wall of the church in Čučerje, 11 km NE from the centre of Zagreb. (photo I. Sović, Croatian Seismological Survey).

stavbe so utpele nekonstrukcijske poškodbe, kot je odpadanje dimnikov, razpoke v zidovih ter odpadanje ometa (Grad Zagreb, 2020). V potresu je bilo 17 oseb poškodovanih, med njimi tudi 15-letna deklica, na katero se je porušil del stavbe na Đorđićevi ulici v Zagrebu in je naslednji dan v bolnišnici umrla.

Potres se je zgodil v nedeljo zgodaj jutraj med časom, ko so bili prebivalci zaradi ukrepov med epidemijo covid-19 doma. To je botrovalo majhnemu številu ranjenih, saj so v potresu deli fasad, dimnikov, strešnikov in fasadnih dekoracij padali na avtomobile in prazne mestne pločnike. Zaradi poškodovanosti stavbe Geofizikalnega zavoda in izpada strežnikov, so se hrvaški kolegi morali obrniti tudi na družbene medije, da so lahko posredovali nujne podatke in informacije o potresih ter prebivalcem ponudili odgovore na številna vprašanja (Mustać in drugi, 2021).

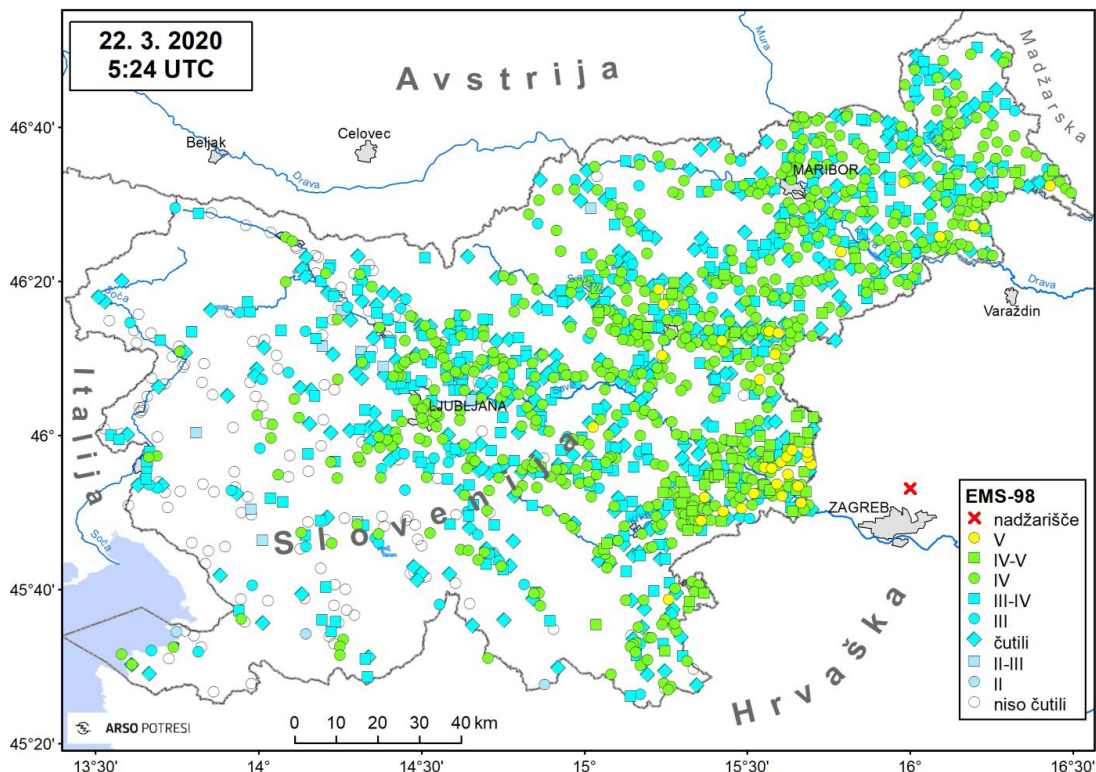
Številni popotresi so zgradbe še dodatno oslabilili in večali škodo. Najmočnejši popotres lokalne magnitude $M_L 4,9^*$ se je zgodil le 37 minut po glavnem potresu, ob 7.01. Kasneje, ob 7.41, mu je sledil še potres lokalne magnitude $M_L 3,5^*$. Vsi ostali potresi v popotresnem nizu so bili šibkejši. Hrvatski seizmologi so izračunali, da se bodo tla po najmočnejšem potresu umirjala približno 6 let (Herak in drugi, 2021).

Potresni niz, prikazan na sliki 3 (slika in nadaljnji opis iz Herak in drugi, 2021), se je zgodil severno od Zagreba pod goro Medvednica. Sleme gore se širi od jugozahoda proti severovzhodu. Prostorska analiza popotresnega niza in izračun žariščnih mehanizmov desetih močnejših popotresov sta razkrila, da so se glavni potres in glavnina popotresov zgodili na prelomu Severna Medvednica (NMBF – North Medvednica boundary fault). Gre za reverzni prelom smeri JZ–SV, katerega ploskev na površju izdanja severozahodno vzdolž pobočja Medvednice v Hrvatskem Zagorju, v nasprotni smeri - proti jugovzhodu – pa tone pod goro Medvednica v globino. Slika 3b prikazuje navpični prerez skorje vzdolž trase, katera je na sliki 3a označena z daljico P. Prerez gre skozi žarišče glavnega potresa in je pravokoten na smer prelomne ploskve žariščnega meha-



Slika 3. Potres 22. marca 2020 pri Zagrebu in popotresni niz. Slika je prevzeta iz Herak in drugi (2021). a) Potresni niz lociranih potresov na zemljevidu. Rdeče polne črte prikazujejo trase prelomov in so prilagojene po Tomljenoviću in Csontosu (2001). Legenda: NMBF – Severno medvedniški prelom; KF – Kašinski prelom; P – daljica označuje traso globinskega prereza spodnje slike. Osnovni zemljevid je iz OpenTopoMap. b) Potresi prikazani v globinskem prerezu. Prerez je narejen navpično v globino in pravokotno na usmerjenost prelomne ploskve 67° , ki jo podaja žariščni mehanizem glavnega potresa.

Figure 3. The earthquake near Zagreb on 22 March 2020 and its aftershocks. The image was published by Herak et al. (2021). a) Map view of located earthquakes. Traces of main faults (red lines) are modified after Tomljenović and Csontos (2001). Legend: NMBF - North Medvednica boundary fault; KF - Kašina fault; The P - line indicates the trace of the depth's cross-section of the image below. Base-map is from OpenTopoMap. b) Earthquakes shown in depth's cross-section. The cross-section is made vertically in depth and perpendicular to the strike of the fault plane, which is 67° given by the focal mechanism of the main earthquake.



Slika 4. Karta intenzitet potresa 22. marca 2020 ob 5.24 UTC pri Zagrebu v posameznih naseljih.
Figure 4. Intensities of the earthquake on 22 March 2020 at 5:24 UTC near Zagreb in individual settlements. Nadžarišče = epicentre; čutili = felt; niso čutili = not felt.

nizma glavnega potresa. Vpadni kot prelomne ravnine, ki ga zarišejo popotresi, je 47° . Pretrg na površini ni bil odkrit, zato lahko sklepamo, da ta ni dosegel površja.

Makroseizmični podatki za Slovenijo

V potresu so se stresla tudi slovenska tla. Karta intenzitet vsebuje podatke za 1646 naselij v Sloveniji, iz katerih smo prejeli podatke o tem, kako so prebivalci čutili potres. Analizirali smo vse zbrane makroseizmične podatke: spletne vprašalnike, vprašalnike in podatke iz aplikacije EMSC, kot tudi vtise očitidcev na družbenih omrežjih in v medijih. Na sliki 4 vsaka oznaka predstavlja intenziteto potresa za posamezno naselje, ocenjeno po EMS-98. Iz nekaterih naselij ob slovensko-hrvaški meji (Gorjanci, Bizeljsko, Kozjansko in Haloze) so prišla posamezna poročila o lasastih razpokah v stenah, odpadlem beležu in ometu ter poškodovanih strešnikih.

Potres so najbolj čutili prebivalci na vzhodu Slovenije. Povzročil je nekaj preplaha, posebej zato, ker se je zgodil v nedeljo zjutraj. V nedeljskih jutranjih urah običajno še mirujemo in se zadržujemo v mirnih prostorih, v katerih smo bolj dovtetni in pozorni na učinke potresa. Na zahodu Slovenije so potres večinoma čutili le tisti, ki so se nahajali v višjih nadstropjih. Ob tem potresu je bilo zaradi

Preglednica 1. Osnovni parametri potresov pri Zagrebu, ki so jih čutili prebivalci Slovenije, in število prejetih makroseizmičnih podatkov (vprašalnikov in piktogramov) od 22. 3. 2020 do konca leta 2020. Magnitude M_L so povzete po Herak in drugi, 2021 in GEOF-PMF, 2021.

Table 1. Basic parameters of earthquakes near Zagreb, felt by the people in Slovenia, and the number of macroseismic data (questionnaires and pictograms) received from 22 March 2020 till the end of the year. Magnitudes M_L are taken from Herak et al, 2021, and GEOF-PMF, 2021.

Datum in lokalni čas (UTC+1)	Magnituda M_L	Največja intenziteta EMS-98 v Sloveniji	Št. makroseizmičnih podatkov
Date and local time (UTC+1)	Magnitude M_L	I_{max} EMS-98 in Slovenia	No. of macroseismic data
22. 3. 2020 6.24	5,5*	V	5788
22. 3. 2020 7.01	4,9*	IV	546
22. 3. 2020 7.41	3,5*	IV	44
22. 3. 2020 8.37	2,7*	čutili/felt	1
22. 3. 2020 9.04	3,1*	III–IV	21
22. 3. 2020 10.11	3,0*	III	1
23. 3. 2020 11.12	3,3*	IV	13
23. 4. 2020 9.52	3,3*	III	6

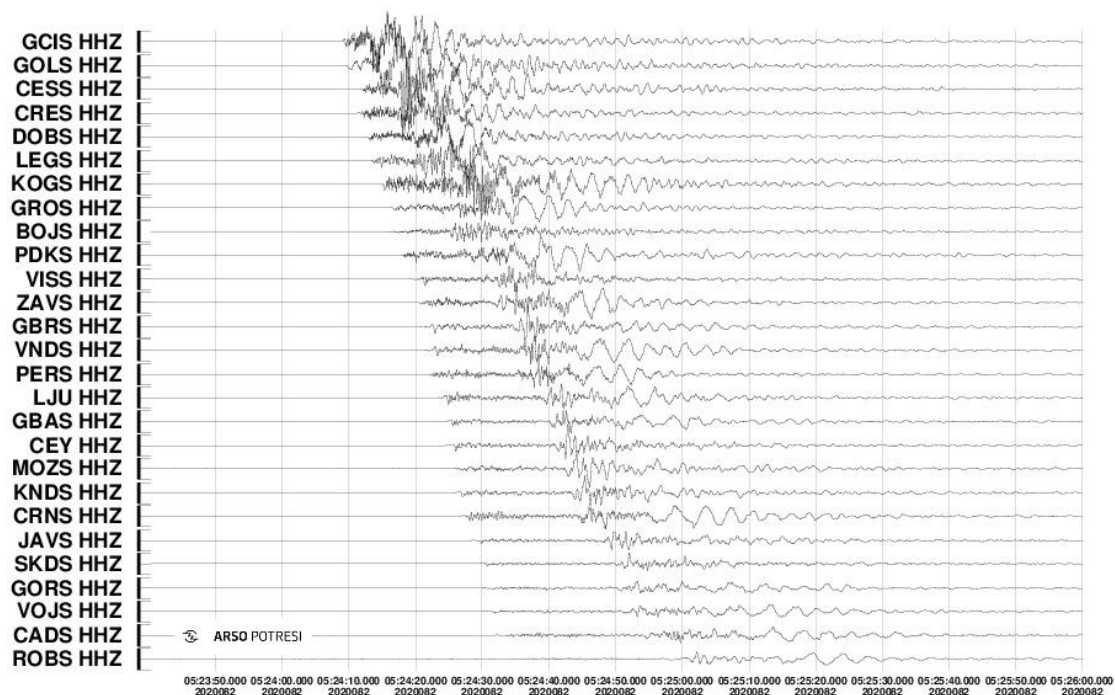
epidemije covid-19 gibanje ljudi zelo omejeno, prometa malo, obenem pa so se ljudje spraševali, kako naj se v takih okoliščinah ob potresu in po njem obnašajo. Na srečo nikjer v Sloveniji ni bila dosežena intenziteta, pri kateri bi bila potrebna evakuacija ljudi.

V Sloveniji je bila največja intenziteta, V EMS-98, ocenjena v 33 naseljih. Intenziteta V EMS-98 opisuje močan potres. V zaprtih prostorih ga čuti večina, na prostem pa posamezniki. Mnogi se zbudijo. Posamezniki se prestrašijo. Ljudje čutijo tresenje celotne stavbe. Viseči predmeti vidno zanihajo. Majhni predmeti se premaknejo. Vrata in okna loputajo.

Poleg glavnega potresa so prebivalci Slovenije čutili še sedem popotresov. V preglednici 1 je naveden čas, lokalna magnituda M_L , povzeta po Heraku in drugih (2021), največja intenziteta EMS-98 v Sloveniji in število prejetih vprašalnikov za vsak (po)potres. Ocene intenzitete po naseljih je za glavni potres določil seizmolog, za popotrese pa le samodejni računalniško podprt postopek.

Instrumentalni podatki slovenske Državne mreže potresnih opazovalnic

Najmočnejši potres so zabeležile vse potresne opazovalnice državne mreže. Seizmogrami navpične komponente vseh opazovalnic so v istem merilu prikazani na sliki 5. Zapisi so izrisani od najbližje do najbolj oddaljene opazovalnice. Valovanje je od žarišča potresa do najbližje, 30 kilo-



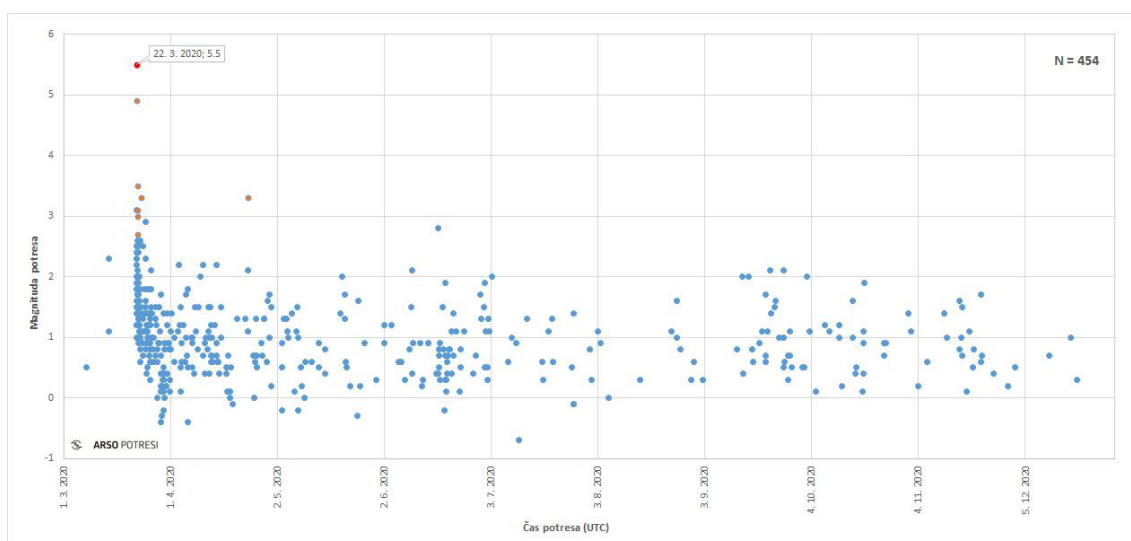
Slika 5. Vertikalne komponente seizmogramov najmočnejšega potresa pri Zagrebu, 22. 3. 2020 ob 6.24 po lokalnem času (5.24 UTC) zabeleženi na Državni mreži potresnih opazovalnic.

Figure 5. Vertical components of the seismograms of the strongest earthquake near Zagreb, on 22 March 2020 at 6:24 local time (5:24 UTC) recorded on the Seismic Network of the Republic of Slovenia.

metrov oddaljene potresne opazovalnice GCIS pri vasi Cirknik na Gorjancih, prišlo v 6 sekundah, medtem ko je do 197 kilometrov oddaljene opazovalnice ROBS pri Robiču potovalo 30 sekund. Čas na sliki je koordinirani univerzalni čas UTC. Srednjeevropski ali lokalni zimski čas dobimo, če univerzalnemu prištejemo eno uro, poleti pa dve uri.

Najmočnejšem potresu pri Zagrebu je do konca leta 2020 sledilo preko 3000 popotresov (Geofizički odsjek, 2022). Na ARSO Uradu za seizmologijo smo z analizo seizmogramov državne mreže potresnih opazovalnic (DMPO) locirali več sto popotresov (slika 6). Zaradi oddaljenosti šibkejši popotresi niso bili jasno zapisani na opazovalnicah DMPO, veliko se jih je tudi prekrivalo in smo za analizo izbrali le bolj kvalitetne zapise. Večina popotresov se je zgodila v nekaj dneh po glavnem potresu, od takrat pa njihovo število počasi upada.

Uradna karta potresne nevarnosti Slovenije za povratno dobo 475 let določa pospešek tal, ki ga morajo projektanti in gradbeniki upoštevati pri projektiranju in gradnji stavb. Stavbi, ki je grajena tako, da prenese te pospeške tal brez večjih konstrukcijskih poškodb, pravimo, da je potresno odporno grajena. Po najmočnejšem potresu pri Zagrebu smo odčitali vršne pospeške tal (PGA) tega potresa, ki smo jih zabeležili na lokacijah opazovalnic državne mreže. Na sliki 7 je poleg posamezne opazovalnice zapisana vrednost PGA (v tisočinkah zemeljskega težnega pospeška (g), tj. v mg), večja izmed obeh odčitanih na vodoravnih komponentah akceleroograma. Barva



Slika 6. Potres 22. marca 2020 pri Zagrebu in popotresi, prikazani na časovni osi (do konca leta 2020) glede na lokalno magnitudo, analizirani na opazovalnicah Državne mreže Republike Slovenije. Z rdečo je označen glavni potres, z oranžno barvo pa še 7 popotresov, za katere smo lahko nedvoumno določili, da so jih prebivalci Slovenije čutili.

Figure 6. Earthquake on 22 March 2020 near Zagreb and its aftershocks shown on time axis (till the end of 2020) with respect to local magnitude, analysed on the stations of Seismic Network of the Republic of Slovenia. Red dot represents the main shock, and orange dots represent 7 aftershocks that were felt in Slovenia.

oznake ustreza vrednosti $\log(\text{PGA}[\text{mg}])/0,3$. Vse izmerjene vrednosti PGA v Sloveniji so bile bistveno nižje od pospeškov, določenih za potresno odporno projektiranje.

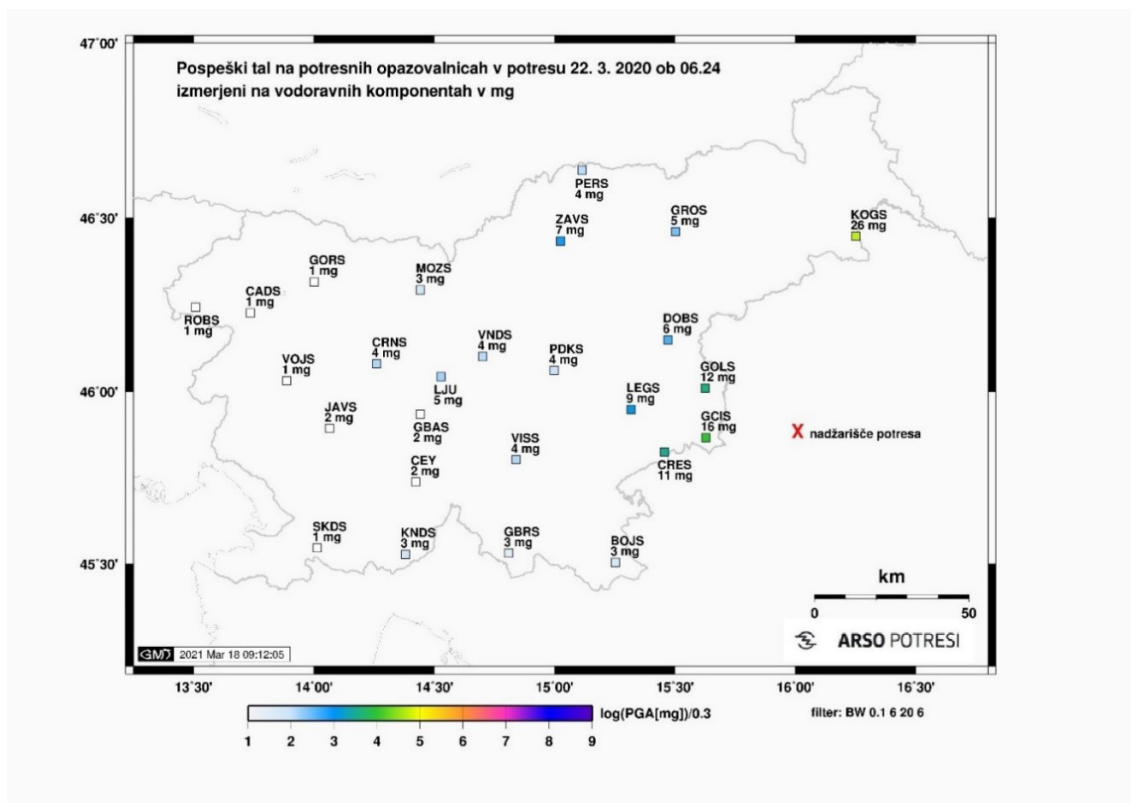
Zabeležene vrednosti vršnega pospeška tal se običajno z oddaljenostjo opazovalnice od potresa zmanjšujejo. Do bistvenih sprememb gibanja tal lahko pride zaradi vpliva lokalnih tal. Potresne opazovalnice državne mreže (DMPO) so večinoma postavljene na prsto površje in so zgrajene na tleh, ki po standardu Evrokod-8 (SIST EN 1998-1:2005) ustrezajo tipu tal A, na katerih ojačanja ali oslabitve potresnega valovanja ne pričakujemo. Tipi tal na začasno postavljenih opazovalnicah pa so različni, poleg tega so opazovalnice običajno postavljene v objektih, kar še dodatno vpliva na gibanje tal v potresu. V neposredni okolici nadžarišča je PGA odvisen tudi od lege opazovalnice glede na prelomno ploskev in od porazdelitve sevalne energije, povezane z žariščnim mehanizmom. Na sliki 8 so izrisani vršni pospeški DMPO opazovalnic (rdeče pike) in dopolnilnih opazovalnic v Sloveniji (modre pike) glede na oddaljenost od nadžarišča potresa. Trend zmanjševanja vrednosti PGA z oddaljenostjo se na grafu lepo zazna, vsi zgoraj opisani vplivi pa doprinejajo k zmernemu raztrosu vrednosti.

Zahvala

Vsak posameznik, ki izpolni vprašalnik, je v prenesenem pomenu potresna opazovalnica za popis učinkov potresa. Pri tem je tudi informacija, da potresa ni čutil, pomembna. Za glavni potres pri

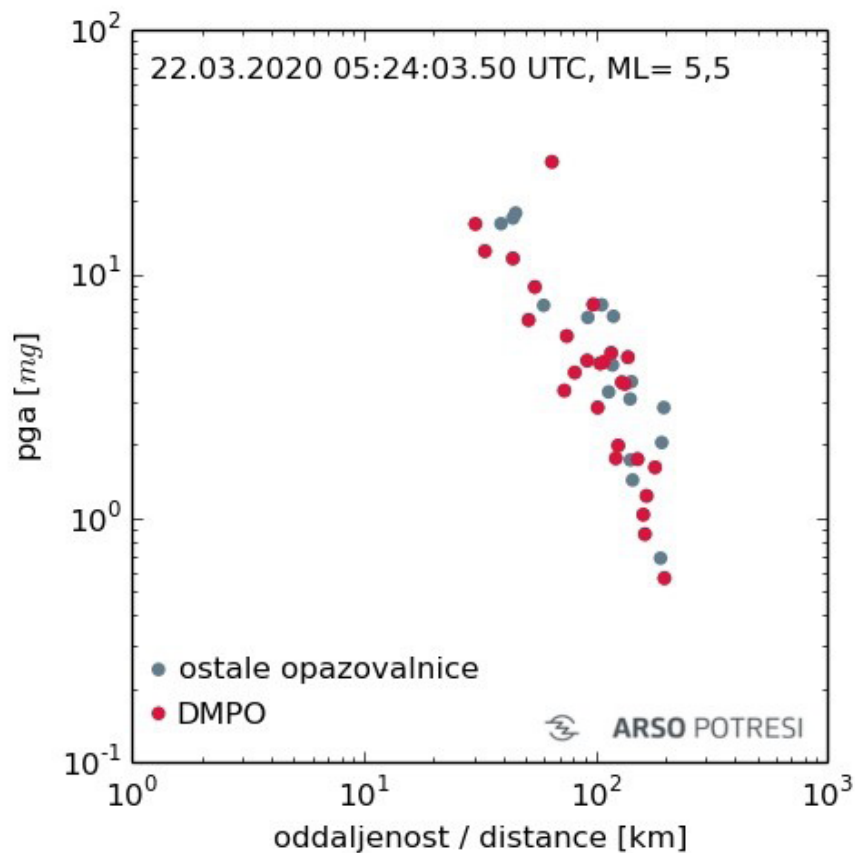
Zagrebju smo zbrali 5788 izpolnjenih vprašalnikov o učinkih potresa. Hvaležni smo vsem, ki ste si vzeli čas in izpolnili vprašalnik ter tako omogočili ocenjevanje intenzitet potresa.

Zahvala gre tudi dr. Ivici Soviču iz Hrvaške seizmološke službe, ki nam je dovolil objavo fotografij iz Čučerja (slika 2), kot tudi prof. Marijanu Heraku, PMF Univerze v Zagrebu, za dovoljenje, da objavimo sliko 3.



Slika 7. Vršni pospešek tal v tisočinkah zemeljskega težnega pospeška (g), tj. v mg; prikazan je večji izmed obeh odčitanih na vodoravnih komponentah akceleroگرامa, zabeleženih na potresnih opazovalnicah državne mreže.

Figure 7. Peak ground accelerations, in thousandths of Earth's gravitational acceleration (g), i.e. in mg; larger among the two readings on the horizontal components of the accelerogram, recorded on the Seismic Network of the Republic of Slovenia, is shown. Nadžarišče potresa = earthquake epicentre.



Slika 8. Vršni pospeški tal v tisočinkah zemeljskega težnega pospeška (g), tj. v mg ; prikazan je večji izmed obeh odčitanih na vodoravnih komponentah akceleroograma, zabeleženih na potresnih opazovalnicah državne mreže glede na oddaljenost opazovalnice od potresa.

Figure 8. Peak ground accelerations in thousandths of Earth's gravitational acceleration (g), i.e. in mg ; larger among the two readings on the horizontal components of the accelerogram, recorded on the Seismic Network of the Republic of Slovenia with respect to the epicentral distance, is shown.

Literatura

EMSC, 2021. <https://static2.emsc.eu/Images/FELTREPORTS/84/840695/IntensityMap.png>. (uporabljeno 14. 11. 2022).

Geofizički odsjek, 2022. Dvije godine od zagrebačkog potresa.

https://www.pmf.unizg.hr/geof/seizmoloska_sluzba/o_zagrebackom_potresu_2020/druga_godisnjica_zagrebackog_potresa. (uporabljeno 14.11.2022).

GEOF-PMF, 2021. Data reports (online). Geofizički odsjek Prirodoslovno-matematičkog fakulteta, Zagreb, Hrvatska. Spletni naslov: https://www.pmf.unizg.hr/geof/seizmoloska_sluzba/seizmoloski_bilteni (uporabljeno 21.11.2022).

- Grad Zagreb, Gradski Ured za strategijsko planiranje i razvoj grada, Odjel za statističke i analitičke poslove, 2020. Štete uzrokovane potresom u gradu Zagrebu, Stanje 22. rujna 2020.
https://www.zagreb.hr/userdocsimages/arhiva/statistika/2020/Potres_priop%C4%87enje_26.10.2020.docx.pdf. (uporabljeno 14. 11. 2022).
- Grünthal, G. (ur.), 1998. European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98). Conseil de l'Europe, Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, Volume 15, Luxembourg.
https://gfzpublic.gfz-potsdam.de/rest/items/item_227033_4/component/file_227032/content (dosegljivo 14. 11. 2022).
- Herak, M., Herak, D., Orlić, N., 2021. Properties of the Zagreb 22 March 2020 earthquake sequence – analyses of the full year of aftershock recording. *Geofizika*, vol. 38, no. 2, 93-116.
DOI: <https://doi.org/10.15233/gfz.2021.38.6> http://geofizika-journal.gfz.hr/vol_38/No2/38-2_Herak_et_al_a.pdf (uporabljeno 14.11.2022).
- Markušić, S., Stanko, D., Korbar, T., Belić, N., Penava, D., Kordić, B., 2020. The Zagreb (Croatia) M5.5 Earthquake on 22 March 2020. *Geosciences*, vol. 10, no. 252; doi:10.3390/geosciences10070252 <https://www.mdpi.com/2076-3263/10/7/252> (uporabljeno 14. 11. 2022).
- Mustać, M., Dasović, I., Latečki, H., Cecić, I. (2021): The public response and educational outreach through social media after the Zagreb earthquake of 22 March 2020. *Geofizika*, 38, 215–234, DOI: <https://doi.org/10.15233/gfz.2021.38.7>
http://geofizika-journal.gfz.hr/vol_38/No2/38-2_Mustac_et_al.pdf (dosegljivo 14. 11. 2022).
- OpenTopoMap <https://opentopomap.org> (uporabljeno 14.11.2022).
- SIST EN 1998-1:2005 - Evrokod 8 - Projektiranje potresno otpornih konstrukcij - 1. del: Splošna pravila, potresni vplivi in pravila za stavbe, slovenski standard. Slovenski inštitut za standardizacijo, Ljubljana.
- Tomljenović, B., Csontos, L., Marton, E. and Marton, P. (2008). Tectonic evolution of the north-western Internal Dinarides as constrained by structures and rotation of Medvednica Mountains, North Croatia, in: *Tectonic aspects of the Alpine-Dinaride-Carpathian system*, edited by Siegesmund, S., Fuegenschuh, B. and Fritzsche, N. Bodmin, Cornwall, Geological Society London, 145–167. https://www.researchgate.net/publication/249551976_Tectonic_evolution_of_the_northwestern_Internal_Dinarides_as_constrained_by_structures_and_rotation_of_Medvednica_Mountains_North_Croatia (uporabljeno 14. 11. 2022).



Danijela Birko, Ina Cević, Martina Čarman, Anita Jerše Sharma, Tamara Jesenko, Barbara Šket Motnikar, Polona Zupančič, Mladen Živčić

Potres 29. decembra 2020 pri Petrinji na Hrvaškem

Earthquake near Petrinja, Croatia, on 29 December 2020

Povzetek

5 km jugozahodno od Petrinje se je 29. decembra 2020 ob 12. uri in 19 minut po lokalnem času (oz. 11.19 UTC) zgodil močen potres z lokalno magnitudo 6,2. Zatresele je tudi slovenska tla. Najmočnejše so ga čutili prebivalci obmejnih območjih Slovenije s Hrvaško. V prispevku so opisane glavne značilnosti potresa, predstavljeni so učinki potresa v Sloveniji in podatki potresnih opazovalnic v Sloveniji.

Abstract

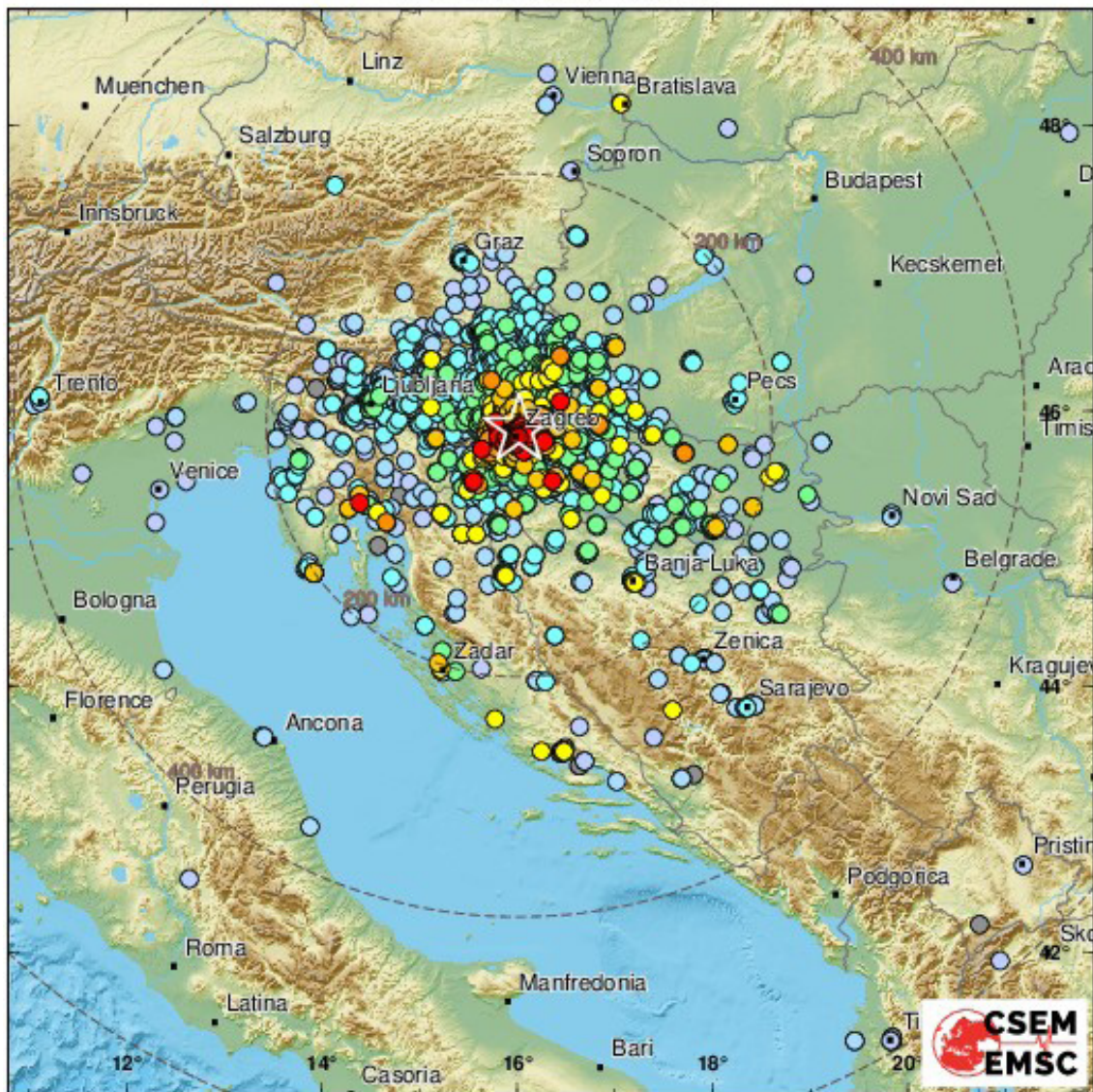
On 29 December 2020 at 12:19 CET (11:19 UTC), a strong earthquake with a local magnitude of M_L 6.2 occurred 5 km southwest of Petrinja, Croatia. It was also felt in Slovenia, most strongly by the inhabitants of the Croatia-Slovenia border areas. The paper describes main characteristics of the earthquake sequence and presents the effects of the main earthquake in Slovenia, as well as the instrumental data recorded on seismic stations in Slovenia.

Uvod

Hrvaško pokrajino Banijo je 28. decembra 2020 ob 6. uri in 28 minut po lokalnem, srednjeevropskem času (CET = UTC + 1) prizadel močen potres. Lokalna magnituda M_L potresa je bila 5,1, intenziteta v nadžariščnem območju pa VII EMS-98. EMS-98 je okrajšava za Evropsko potresno lestvico (Grünthal, 1998). Sledilo mu je več šibkejših potresov, nakar se je naslednji dan, 29. decembra 2020 ob 12. uri in 19 minut po lokalnem času, 5 km jugozahodno od Petrinje zgodil najmočnejši potres v nizu. Njegova lokalna magnituda M_L je bila 6,2, intenziteto v nadžariščnem območju pa hrvaški seizmologi ocenjujejo na VIII–IX EMS-98. Žarišče je nastalo na globini med 6 in 7 km. Sledilo je veliko število popotresov – do 29. marca 2021 so hrvaški seizmologi locirali 9350 potresov (Dasović in drugi, 2022). Vse magnitude in intenzitete so v tem prispevku povzete po podatkih Hrvaške seizmološke službe, razen če je navedeno drugače.

Najmočnejši potres 29. decembra 2020 so čutili prebivalci vseh okoliških držav, tudi v krajih, oddaljenih 600 in več kilometrov od nadžarišča (EMSC, 2021). Potres je povzročil velike poškodbe v območju nekaj 10 km okrog nadžarišča, najbolj poškodovano področje je bilo v okolici krajev Petrinja, Sisak in Glina. Poškodbe so se zgodile tudi v bolj oddaljenih krajih, npr. v Zagrebu, ki ga je močen potres prizadel že 22. marca 2020, in v Zaprešiću. Slika 1 prikazuje učinke potresa, ki jih je takoj po dogodku zbral Evropsko-sredozemski seizmološki center (EMSC). Vsaka pika na zemljevidu predstavlja lokacijo posameznika in informacijo o učinkih potresa. Modre, zelene in rumene pike označujejo učinke brez poškodb, medtem ko pike, obarvane oranžno in rdeče, nakazujejo lokacije, kjer je potres verjetno povzročil poškodbe objektov.

Felt reports received for M5.4 earthquake
in CROATIA
on 2020-03-22 05:24:02 UTC



7981 felt reports on this map

200 km

Updated on 15/03/2021 at 15:19 UTC

★ Epicentral location

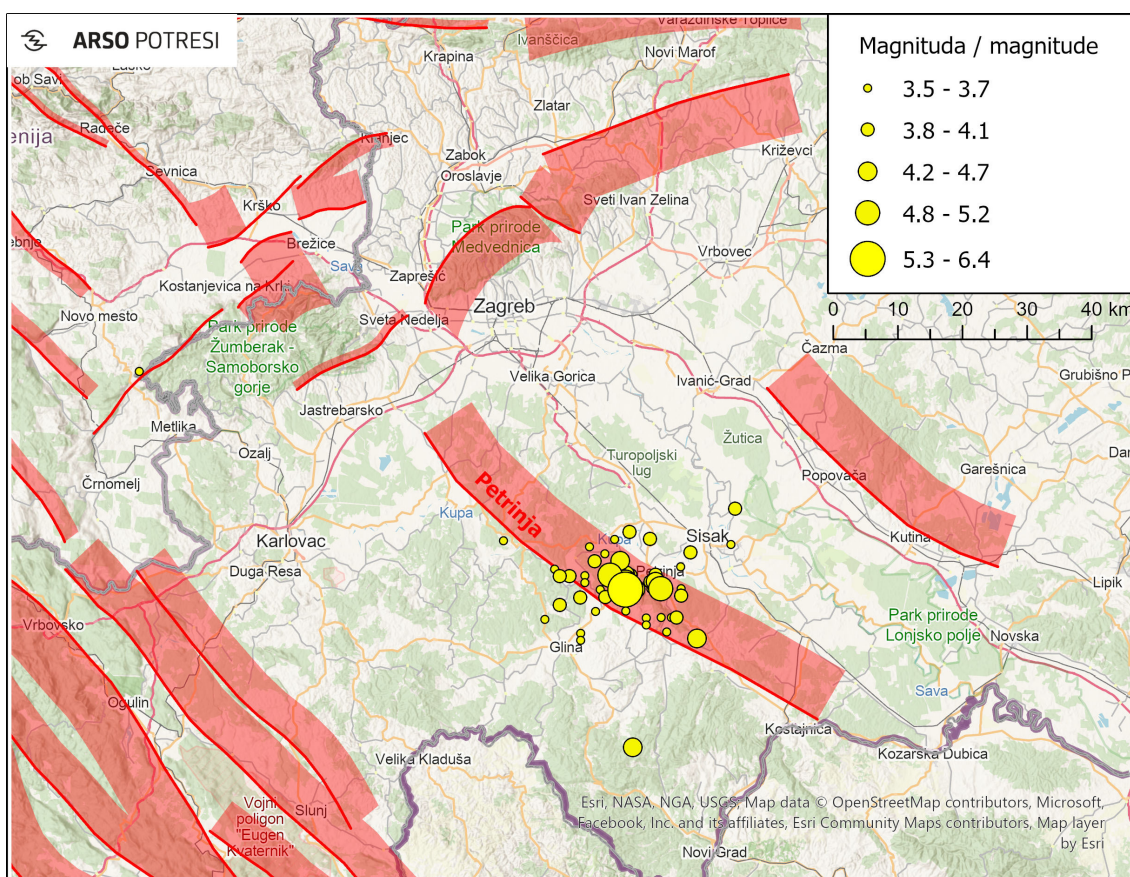
Reported as: Not felt Felt Largely felt Damaging

Slika 1. Učinki potresa, ki jih je zbral Evropsko-sredozemski seizmološki center (EMSC, 2021).
Figure 1. Earthquake effects collected by the European-Mediterranean Seismological Center (EMSC, 2021).

Nadžariščno območje se nahaja ob stiku dveh struktur, Dinaridov in Panonske nižine. Aktivno tektoniko tega območja povzroča nenehno premikanje Afriške plošče v smeri severa, ter povzroča rotacije Jadranske mikroplošče v nasprotni smeri urinega kazalca. Zaradi tega se na stiku Di-

naridov in Panonskega bazena ustvarja napetost, ki se občasno sprošča med potresi. V tem območju je več aktivnih prelomov, med katerimi je najbolj znan Petrinjski. Na sliki 2 je prikazana karta območja, na kateri so izrisani prelomni potresni viri (Atanackov in drugi, 2022) ter močnejši potresi v obdobju od 28. 12. 2020 do 31. 12. 2022.

Ob potresu je prišlo do prelomnega pretrga na površju ter številnih učinkov v naravi. Zaradi prisotnosti aluvialnih nanosov so nastali številni peščeni vulkani, ki so posledica utekočinjenja tal (likvefakcije). Na območju, kjer je podlaga sedimentov apnenec, so nastala številna ugrezanja tal. Največji ugrez je imel premer 20 metrov. Prav tako je potres reaktiviral veliko plazov z manjšimi premiki, ki so poškodovali precej hiš (Pollak in drugi, 2021; Baize in drugi, 2022).



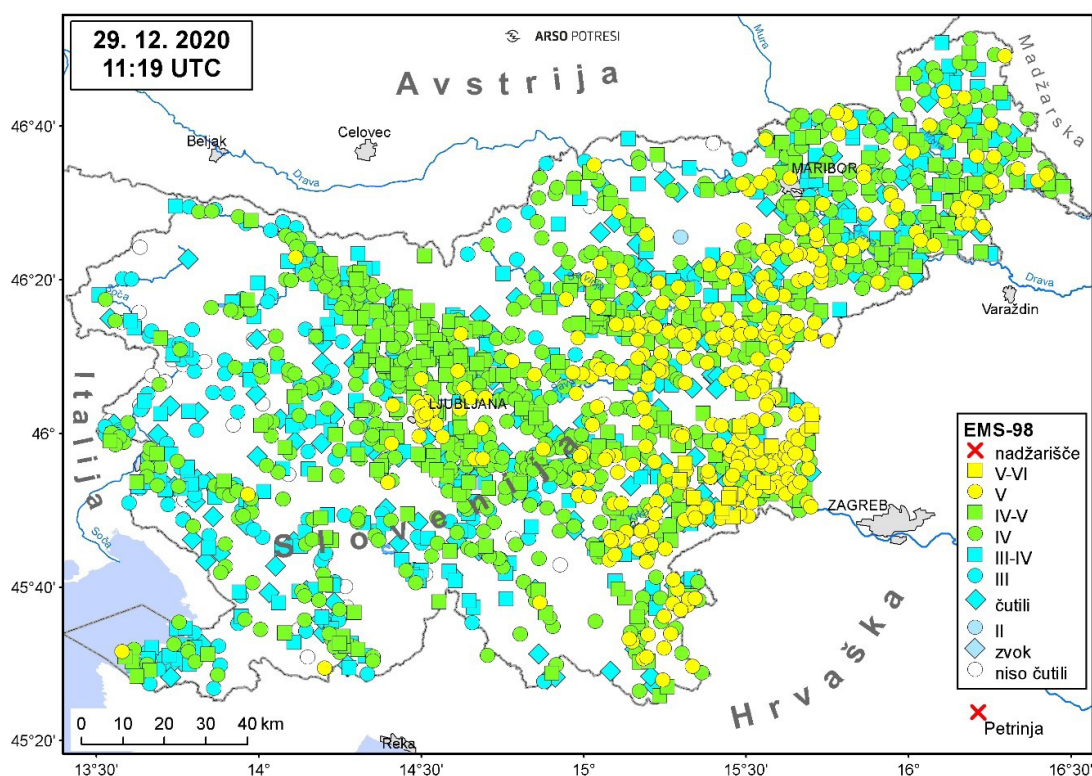
Slika 2. Prelomni potresni viri na širšem območju Petrinje (Atanackov in drugi, 2022). Rumeni krogi so nadžarišča potresov z magnitudo (M_L ali m_b) vsaj 3,5 v obdobju od 28. 12. 2020 do 31. 12. 2022 (EMSC, 2023).

Figure 2. Fault seismic sources in Petrinja area (Atanackov et al, 2022). Yellow dots represent earthquake epicenters with magnitude (M_L or m_b) 3.5 and larger, in the time period from 28. 12. 2020 to 31. 12. 2022 (EMSC, 2023).

Makroseizmični podatki za Slovenijo

Tresenje tal ob najmočnejšem potresu pri Petrinji so čutili tudi prebivalci v Sloveniji. Na ARSO smo prejeli 8679 izpolnjenih vprašalnikov o učinkih potresa, od tega 8351 pozitivnih, kar pomeni, da je opazovalec potres čutil. Z upoštevanjem dodatnih informacij (EMSC, socialna omrežja, mediji...) smo zbrali podatke o učinkih potresa za 1986 naselij po vsej Sloveniji in jim ocenili intenziteto (slika 3). Največjo intenziteto V–VI EMS-98 smo ocenili v naseljih Črneča vas, Dolenje Skopice, Drama, Drenovec pri Bukovju, Globočice pri Kostanjevici, Hrastulje, Kalce-Naklo, Kostanjevica na Krki, Malo Mraševo, Močvirje, Orešje na Bizeljskem, Senovo in Volčje, intenziteto V EMS-98 pa še v 327 naseljih. Intenziteta V EMS-98 pomeni, da potres čuti večina ljudi v zaprtih prostorih, na prostem pa posamezniki. Viseči predmeti vidno zanihajo, sliši se žvenketanje steklenih ali porcelasnih predmetov, majhni nestabilni predmeti se lahko premaknejo ali padejo, vrata in okna loputajo. Tekočina vzvalovi in se lahko prelije čez rob polnih posod.

Prejeli smo 600 vprašalnikov iz 251 naselij, ki omenjajo poškodbe, vendar te niso bile preverjene. Po številu je bilo največ poškodb (predvsem manjših razpok) v Ljubljani, od koder smo prejeli

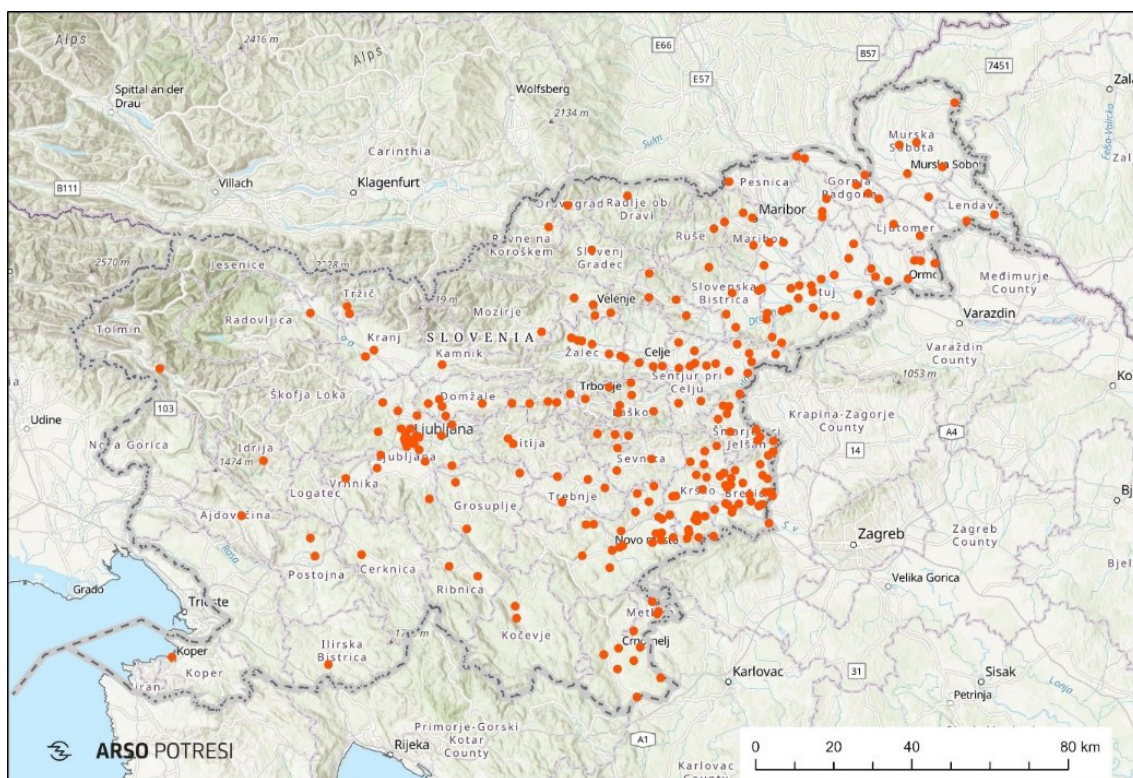


Slika 3. Intenzitete potresa magnitude 6,2 pri Petrinji, 29. decembra 2020 ob 11.19 UTC, v slovenskih naseljih.

Figure 3. The intensities of the earthquake near Petrinja ($ML=6.2$) on 29 December 2020 at 11:19 UTC in individual Slovenian settlements. Nadžarišče = epicentre; čutili = felt; zvok = thunder; niso čutili = not felt.

tudi največ vprašalnikov. Veliko poročil o poškodbah smo prejeli iz naselij Brežice, Globočice pri Kostanjevici, Kostanjevica na Krki in Senovo. Nastale so lasaste razpoke, odpadli so koščki ometa, nastale so razpoke v ometu in zidovih. V primeru bolj ranljivih zgradb pa se je poškodoval ali porušil dimnik, odpadli so strešniki, razbilo se je okensko steklo, nastale so tudi večje razpoke sten. Ker pa so te poškodbe le osamljeni primeri ranjivejših zgradb, ne zadoščajo za oceno intenzitete VI EMS-98 ali več. Vsa naselja, za katera so bile v vprašalnikih navedene poškodbe, so izrisana na sliki 4.

Za potrese pri Petrinji smo od predpotresa 28. 12. 2020 do 31. 12. 2022 prejeli 21.415 izpolnjenih vprašalnikov. V tem obdobju so prebivalci Slovenije po podatkih iz prejetih vprašalnikov čutili vsaj 43 potresov z nadžariščem pri Petrinji. Slika 5 prikazuje najštevilčnejše odzive prebivalcev Slovenije na potrese pri Petrinji. Prikazani so samo potresi, za katere smo prejeli več kot 500 izpolnjenih vprašalnikov. Število prejetih vprašalnikov narašča z magnitudo potresa.



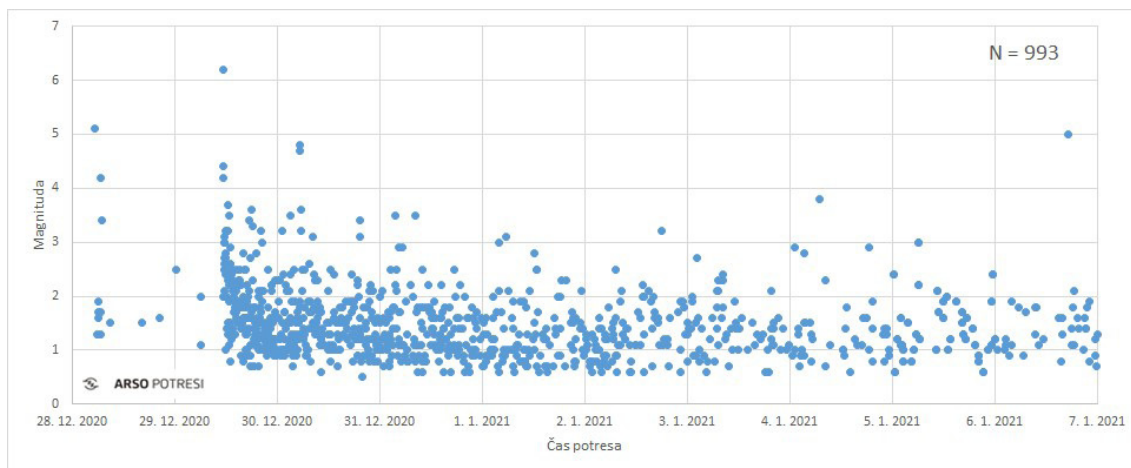
Slika 4. Naselja v Sloveniji, za katera smo ob potresu pri Petrinji 29. decembra 2020 prejeli poročila o poškodbah na objektih. Poškodbe niso preverjene.

Figure 4. Settlements in Slovenia for which macroseismic questionnaires that report the damage were received by ARSO.

Podatki slovenske Državne mreže potresnih opazovalnic (DMPO)

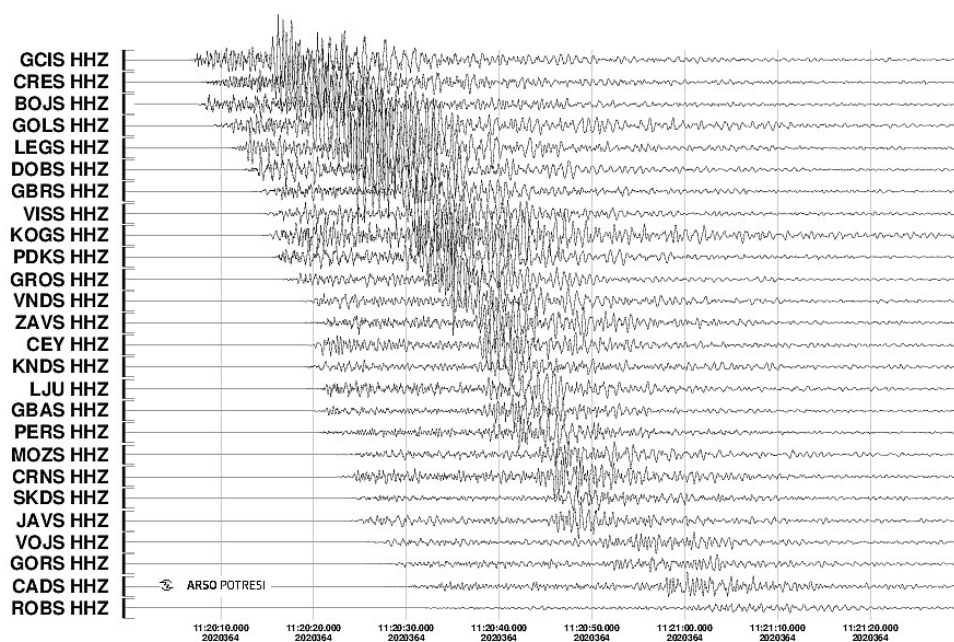
Najmočnejši potres pri Petrinji so zabeležile vse potresne opazovalnice državne mreže. Seizmični zapisi navpične komponente so prikazani na sliki 6 v enakem merilu. Zapisi so izrisani od najbližje

(zgoraj) do najbolj oddaljene (spodaj) opazovalnice. Valovanje je od žarišča potresa do najbližje, 69 kilometrov oddaljene potresne opazovalnice GCIS pri vasi Cirkov na Gorjancih, prišlo v 12 sekundah, medtem ko je do 230 kilometrov oddaljene opazovalnice ROBS pri Robiču potovalo 35 sekund. Čas na sliki je UTC.



Slika 5. Število na ARSO prejetih izpolnjenih vprašalnikov in lokalna magnituda potresov na območju Petrinje med 28. 12. 2020 in 31. 12. 2022 z vsaj 500 odzivi.

Figure 5. A number of received macroseismic questionnaires (ARSO) for seven largest earthquakes (at least 500 questionnaires) in period from 28. 12. 2020 to 31. 12. 2022.

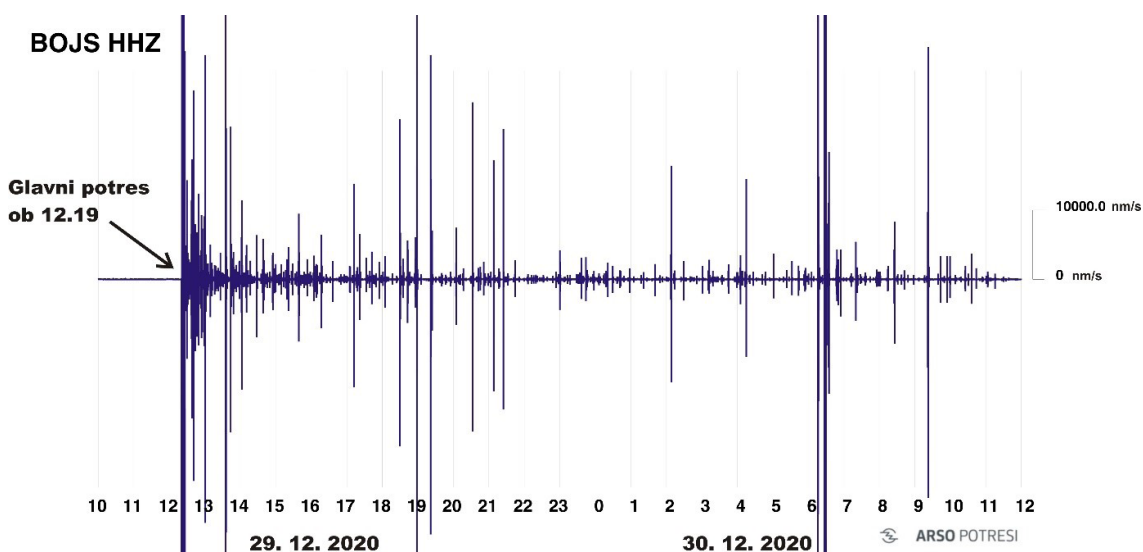


Slika 6. Seizmogrami najmočnejšega potresa pri Petrinji, 29. 12. 2020 ob 12.19 CET (na sliki je čas UTC), ki jih je zabeležila Državna mreža potresnih opazovalnic.

Figure 6. Seismograms of the main shock near Petrinja, on 29 December 2020 at 12:19 CET (UTC in Figure), as recorded on the stations of Seismic network of the Republic of Slovenia.

Na sliki 7 lahko vidimo, kako veliko število potresov je v 24 urah po glavnem potresu zabeležila potresna opazovalnica BOJS v vasi Bojanci v Beli Krajini. Prvi dve uri pred potresom so bila tla mirna (ravna vodoravna modra črta), po potresu 29. 12. 2020 pa so se tla neprestano tresla. Črta je ves čas debelejša. Vsaka navpična črta predstavlja potres, zapisi posameznih potresov se pogosto prekrivajo. Daljša je pokončna črta, močnejši je potres. Le pri najmočnejših potresih so črte odrezane, omejene z višino izrisa.

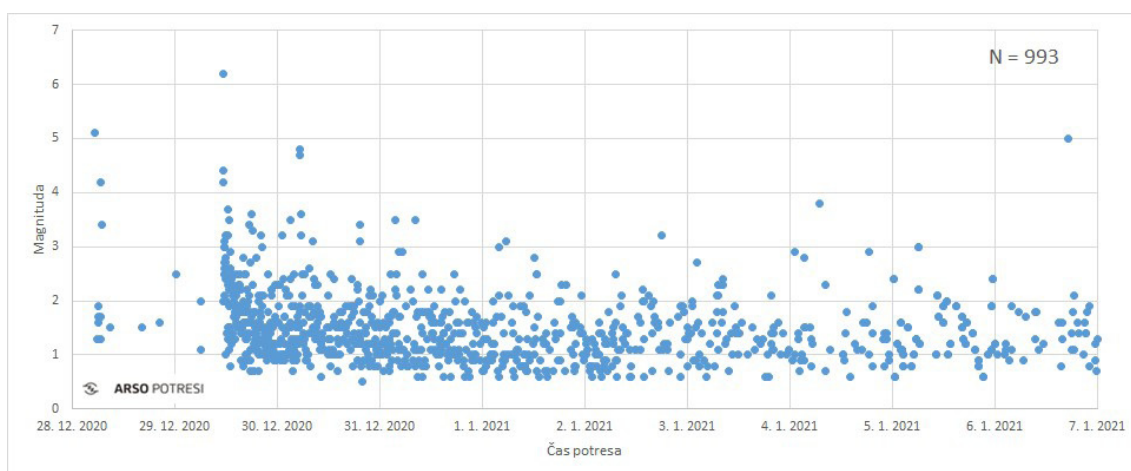
Sistem ARSO za samodejno analizo seizmogramov in lociranje dogodkov je v obdobju med 28. 12. 2020 in vključno 6. 1. 2021 lociral 993 potresov v tem območju (slika 8). Po tako močnem potresu se tla tresejo več let. Vendar pa s časom število potresov upada.



Slika 7. 26-urni seizmični zapis navpične komponente na potresni opazovalnici BOJS v vasi Bojanci v Beli Krajini. Najmočnejši potres 29. 12. 2020 ob 12.19 CET je označen s puščico. Sledijo mu številni popotresi.

Figure 7. 26-hour seismic record of the vertical component at the BOJS seismic station. Arrow shows the mainshock on 29 December 2020 at 12:19 CET. It was followed by numerous aftershocks.

Uradna karta potresne nevarnosti Slovenije za povratno dobo 475 let določa pospešek tal, ki ga morajo projektanti in gradbeniki upoštevati pri projektiranju in gradnji stavb. Stavbi, ki je grajena tako, da prenese te pospeške tal brez večjih konstrukcijskih poškodb, pravimo, da je potresno odporno grajena. Po najmočnejšem potresu v Petrinji smo odčitali vršne pospeške tal (PGA), ki smo jih zabeležili na lokacijah opazovalnic državne mreže. Na sliki 9 je poleg posamezne opazovalnice zapisana vrednost PGA v tisočinkah zemeljskega težnega pospeška (označena z mg), in sicer večja izmed obeh odčitanih na vodoravnih komponentah akceleroگرامa. Barva oznake ustreza vrednosti $\log(\text{PGA}[\text{mg}])/0,3$. Vse izmerjene vrednosti PGA v Sloveniji so bile bistveno nižje od pospeškov, določenih za potresno odporno projektiranje, kar pa je glede na oddaljenost od nadžarišča pričakovano.



Slika 8. Potres pri Petrinji in popotresi, prikazani na 10-dnevni časovni osi glede na lokalno magnitudo, izračunano na zapisih Državne mreže potresnih opazovalnic v Sloveniji.

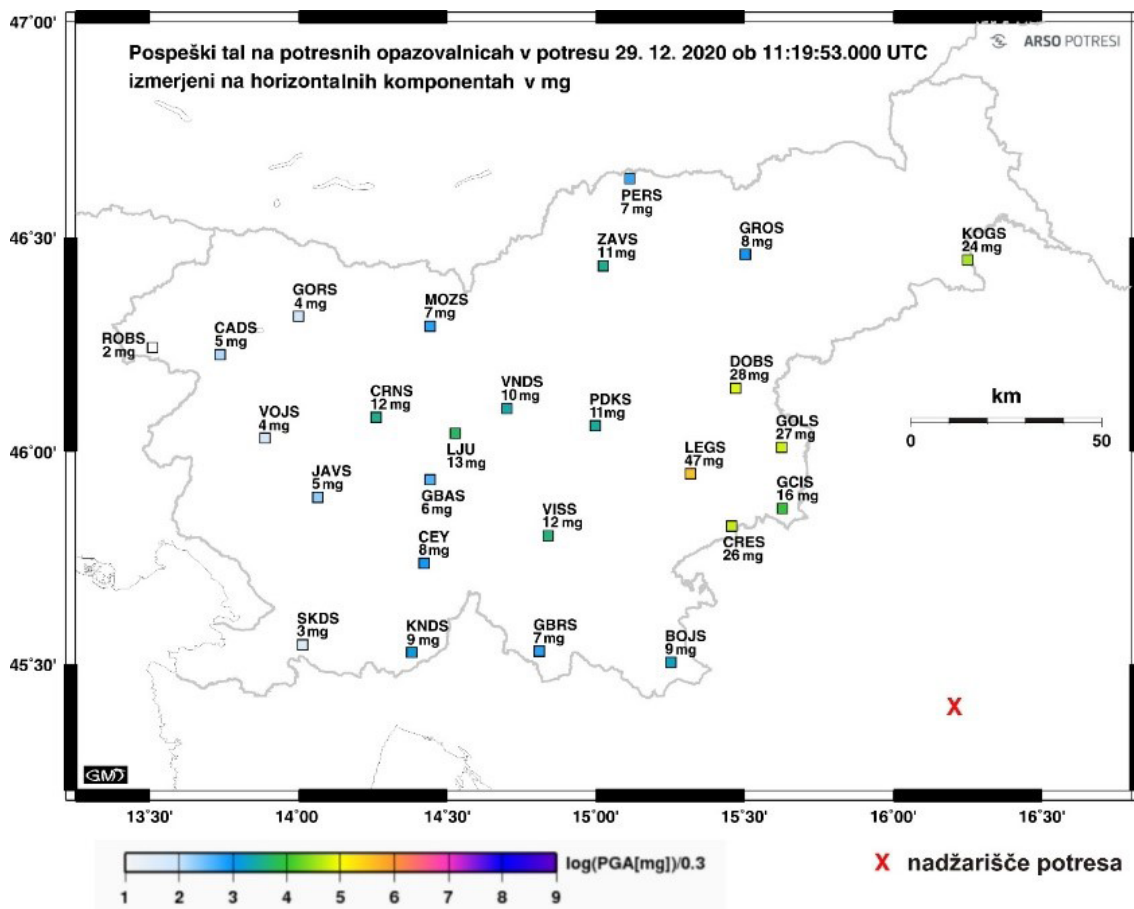
Figure 8. Petrinja earthquake on 29 December 2020 and its for- and aftershocks, shown on 10-day time axis (28 December 2020 – 7 January 2021) according to local magnitude, analysed on the stations of Seismic Network of the Republic of Slovenia.

Zabeležene vrednosti vršnega pospeška tal se običajno z oddaljenostjo opazovalnice od potresa zmanjšujejo. Do bistvenih sprememb nihanja lahko pride zaradi vpliva lokalnih tal. Potresne opazovalnice državne mreže so večinoma postavljene na prosto površje, ki po standardu Evrokod-8 (SIST EN 1998-1:2005) ustreza tipu tal A, na katerih ojačanja ali oslabitve potresnega valovanja ne pričakujemo. Tip tal na začasno postavljenih opazovalnicah pa je različen, poleg tega so opazovalnice običajno postavljene v objektih, kar še dodatno vpliva na gibanje tal ob potresu. V neposredni okolici nadžarišča je PGA odvisen tudi od lege opazovalnice glede na prelomno ploskev in od porazdelitve sevalne energije, povezane z žariščnim mehanizmom. Na sliki 10 so izrisani vršni pospeški opazovalnic DMPO (rdeče pike) in dopolnilnih opazovalnic v Sloveniji (modre pike) glede na oddaljenost od nadžarišča potresa. Trend zmanjševanja vrednosti PGA z oddaljenostjo se na grafu lepo zazna, vsi zgoraj opisani vplivi pa doprinesejo k zmernemu raztrosu vrednosti.

Iz potresne zgodovine

Območje je že v preteklosti doživelo močne potrese. Najbolj znan se je zgodil 8. oktobra 1909. Nadžarišče tega potresa je bilo približno 40 km južno od Zagreba, v bližini kraja Pokupsko, na robu trenutno aktivnega področja. Največja intenziteta tega potresa je bila VIII EMS-98, njegova magnituda M_S pa 5,75 (Herak in Herak, 2010; Herak, 2005). Potres je močno poškodoval kamnite in zidane stavbe, medtem ko so tradicionalne lesene hiše utrpeli veliko manj poškodb. Potres so močno čutili tudi v Zagrebu, kjer je porušilo nekaj dimnikov. Umrla sta dve osebi (v Lasinji in Šišljaviću), številni so bili ranjeni. Opaženi so bili številni učinki v naravi, npr. pojav muljastih in peščenih vulkanov kot posledica utekočinjenja tal.

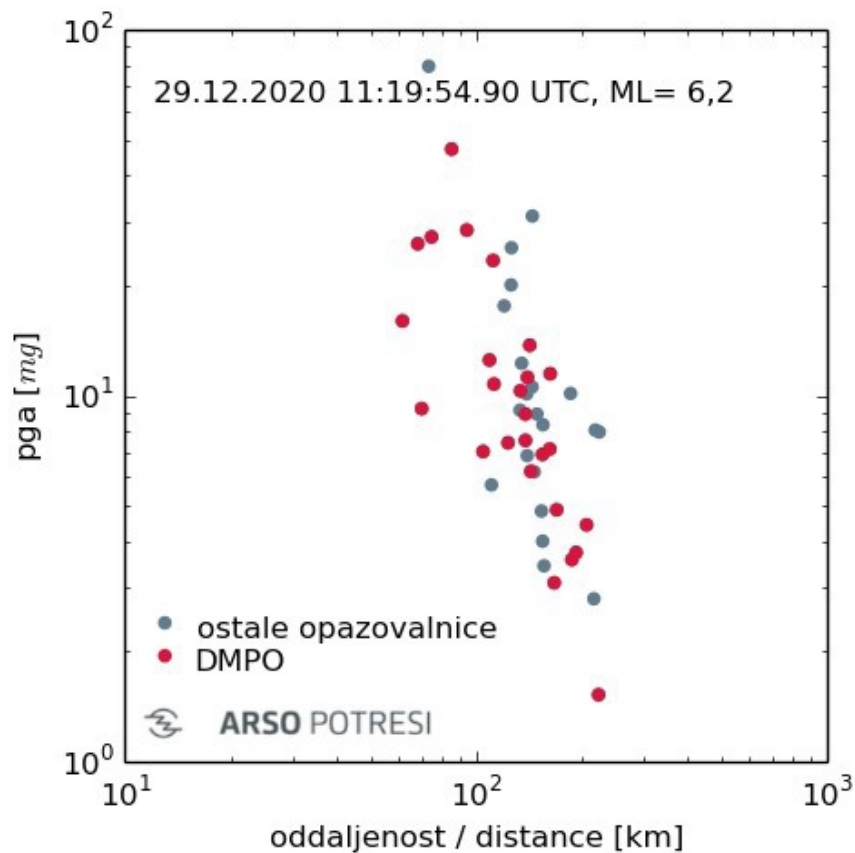
Na sliki 11 so prikazane intenzitete potresa 8. oktobra 1909 v posameznih naseljih (iz Herak in Herak, 2010).



Slika 9. Vršni pospeški tal (v tisočinkah zemeljskega težnega pospeška (g), t.j. v mg), večji izmed obeh odčitanih na vodoravnih komponentah akcelerograma, zabeleženih na DMPO opazovalnicah.

Figure 9. Peak ground accelerations (in thousandths of Earth's gravitational acceleration (g), i.e. in mg); larger of the two readings on the horizontal components of the accelerogram, recorded on the Seismic Network of the Republic of Slovenia, is presented for each station.

S skrbno analizo seizmogramov tega potresa je hrvaški seizmolog Andrija Mohorovičič odkril mejo med Zemljino skorjo in plaščem, ki ji danes pravimo Mohorovičičeva diskontinuiteta (Moho).



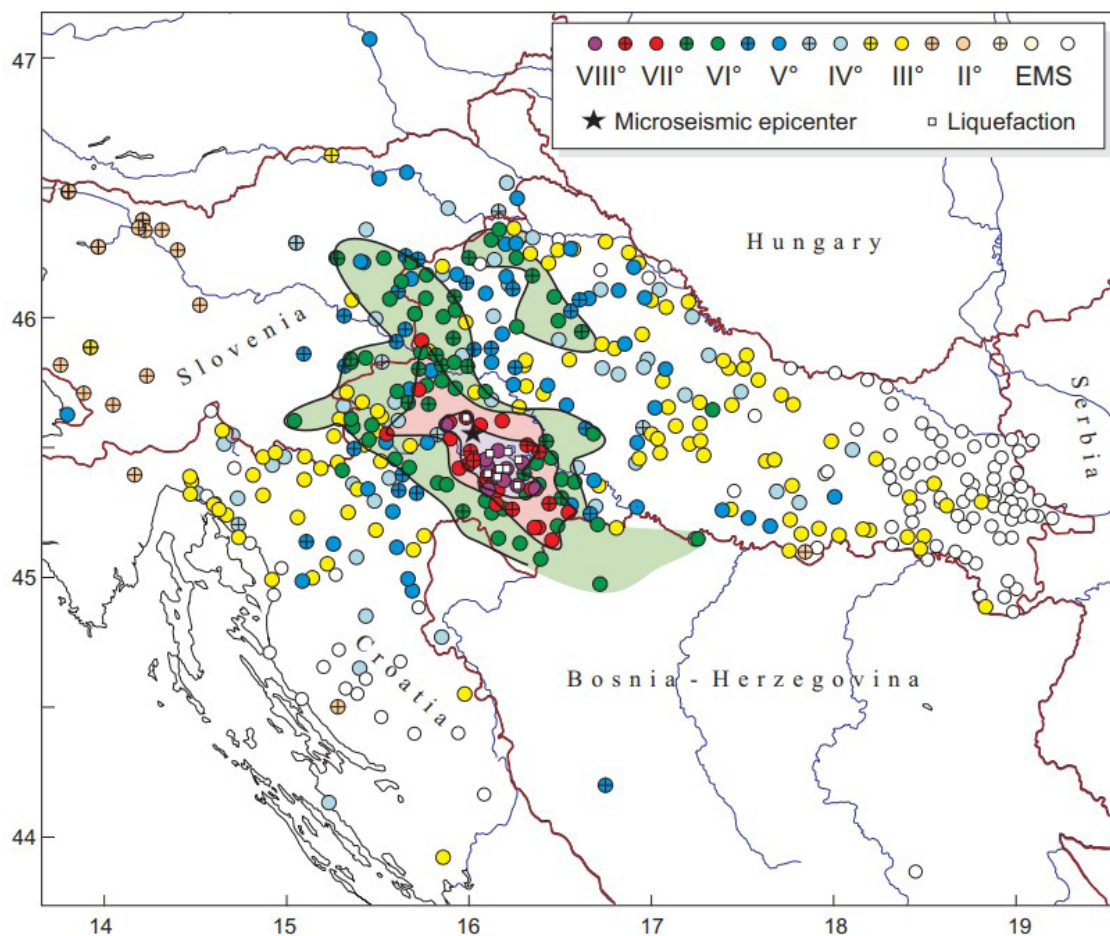
Slika 10. Vršni pospeški tal v mg, večji izmed obeh odčitanih na vodoravnih komponentah akceleroograma, zabeleženih na potresnih opazovalnicah državne mreže (rdeče pike) in dopolnilnih opazovalnicah v Sloveniji (modre pike) glede na oddaljenost opazovalnice od nadžarišča potresa.

Figure 10. Peak ground accelerations in mg; larger of the two readings on the horizontal components of the accelerogram, recorded on the stations of Seismic network of the Republic of Slovenia (red dots) and temporary stations (blue dots), are presented according to the epicentral distance.

Zahvala

Odgovori opazovalcev na vprašalnike o učinkih potresa so naš najpomembnejši vir podatkov, iz katerih ocenimo intenziteto potresa. Vsak posameznik, ki izpolni vprašalnik, je v prenesenem pomenu potresna opazovalnica za popis učinkov potresa. Pri tem je pomembna tudi informacija, da potresa ni čutil. Za najmočnejši potres pri Petrinji smo zbrali rekordnih 8351 odgovorov, da so prebivalci Slovenije potres čutili, in 328 odgovorov, da ga niso čutili, kar je izjemno tudi v svetovnem merilu. Hvaležni smo vsem, ki so si vzeli čas in izpolnili vprašalnik ter tako omogočili ocenjevanje intenzitet potresa.

Zahvaljujemo se tudi prof. dr. sc. Marjanu Heraku iz Fakultete za naravoslovje na Univerzi v Zagrebu, ki nam je dovolil objavo slike 11.



Slika 11. Intenzitete potresa 8. oktobra 1909 pri Pokupskem v posameznih naseljih. Vijoličasta, roza in zelena območja med izoseistami ustrezajo intenzitetam VIII, VII in VI EMS. Beli kvadrati označujejo območja, kjer je prišlo do utekočinjanja tal in s tem povezanimi učinki (Herak in Herak, 2010).

Figure 11. Intensities of the Kupa Valley earthquake, 8 October 1909. The isoseismal areas corresponding to the VIII, VII, and VI EMS are shown in purple, pink, and green, respectively. Small white squares show locations where liquefaction-related effects were observed. (Herak and Herak, 2010)

Literatura

- Atanackov, J., Jamšek Rupnik, P., Zupančič, P., Šket Motnikar, B., Živčič, M., Čarman, M., Milanič, B., Kastelic, V., Rajh, G., Gosar, A., 2022. Seismogenic fault and area sources for probabilistic seismic hazard model in Slovenia. PANGAEA, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.940100>.
- Baize, S., Amoroso, S., Belić, N., Benedetti, L., Boncio, P., Budić, M., Cinti, F. R., Henriquet, M., Jamšek Rupnik, P., Kordić, B., Markušić, S., Minarelli, L., Pantosti, D., Pucci, S., Špelić, M.,

- Testa, A., Valkaniotis, S., Vukovski, M., Atanackov, J., Barbača, J., Bavec, M., Brajkovič, R., Brčić, V., Caciagli, M., Celarc, B., Civico, R., De Martini, P. M., Filjak, R., Iezzi, F., Moulin, A., Kurečić, T., Métois, M., Nappi, R., Novak, A., Novak, M., Pace, B., Palenik, D., Ricci, T., 2022. Environmental effects and seismogenic source characterization of the December 2020 earthquake sequence near Petrinja, Croatia. *Geophysical Journal International*, Volume 230, Issue 2, August 2022, Pages 1394–1418, <https://doi.org/10.1093/gji/ggac123>. (uporabljeno 16. 1. 2023).
- Dasović, I., Herak, D., Herak, M., Latečki, H., Sečanj, M., Stipčević, J. in Tomljenović, B., 2022. Veliki petrinjski potres – godinu dana poslije. https://www.pmf.unizg.hr/geof/popularizacija_geofizike/o_petrinjskoj_seriji_potresa/za_prvu_godisnjicu (uporabljeno 14. 11. 2022).
- EMSC, 2021. <https://static2.emsc.eu/Images/FELTREPORTS/84/840695/IntensityMap.png>. Dosegljivo dne 16. 1. 2023.
- EMSC, 2023. <https://www.emsc-csem.org/Earthquake/?filter=yes> (uporabljeno dne 13. 1. 2023).
- Grünthal, G. (ur.), 1998. European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98). Conseil de l'Europe, Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, Volume 15, Luxembourg. https://gfzpublic.gfz-potsdam.de/rest/items/item_227033_4/component/file_227032/content (uporabljeno 14. 11. 2022).
- Herak, M., 2005. Andrija Mohorovičić's Memorial Rooms. <http://www.gfz.hr/sobe-en/discontinuity.htm> (uporabljeno 13. 1. 2023).
- Herak, M. in Herak, D., 2010. The Kupa Valley (Croatia) Earthquake of 8 October 1909--100 Years Later. *Seismological Research Letters*, Vol. 81, No. 1, 30-36. https://www.researchgate.net/publication/250075334_The_Kupa_Valley_Croatia_Earthquake_of_8_October_1909--100_Years_Later (uporabljeno 13. 1. 2023).
- Pollak, D., Gulam, V., Novosel, T., Avanić, R., Tomljenović, B., Hećej, N., Terzić, J., Stipčević, J., Bačić, M., Kurečić, T., Dolić, M., Boštjančić, I., Wacha, L., Kosović, I., Budić, M., Vukovski, M., Belić, N., Špelić, M., Brčić, V., Barbača, J., Kordić, B., Palenik, D., Filjak, R., Frangen, T., Pavić, M., Urumović, K., Sečanj, M., Matoš, B., Govorčin, M., Kovačević, M. S., Librić, L. 2021. The preliminary inventory of coseismic ground failures related to December 2020 – January 2021 Petrinja earthquake series, *Geologica Croatica*.
- SIST EN 1998-1:2005 - Evrokod 8 - Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij - 1. del: Splošna pravila, potresni vplivi in pravila za stavbe, slovenski standard. Slovenski inštitut za standardizacijo, Ljubljana.



Žariščni mehanizmi močnejših potresov v Sloveniji v letu 2020

Fault Plane Solutions of Earthquakes in Slovenia in 2020

Povzetek

Močnejšim potresom, ki so se leta 2020 zgodili v Sloveniji, smo iz seizmogramov odčitali smeri prvih premikov ob vstopu vzdolžnega (longitudinalnega) valovanja. Pri desetih potresih smo zbrali zadostno število podatkov za določitev žariščnega mehanizma. Lokalna magnituda (M_{LV}) obravnavanih potresov je bila v razponu od 2,0 do 3,9. Žariščni mehanizem obravnavanih potresov je največkrat zmik ali kombinacija zmika in nariva.

Abstract

The first onsets of the arrivals of the longitudinal waves were picked on the seismograms of selected earthquakes in Slovenia in 2020. For 10 events with local magnitudes ranging from $M_{LV}=2.0$ to 3.9 there was enough available data to determine fault plane solutions. Focal mechanisms are found to be mostly of strike - slip or transpressive type.

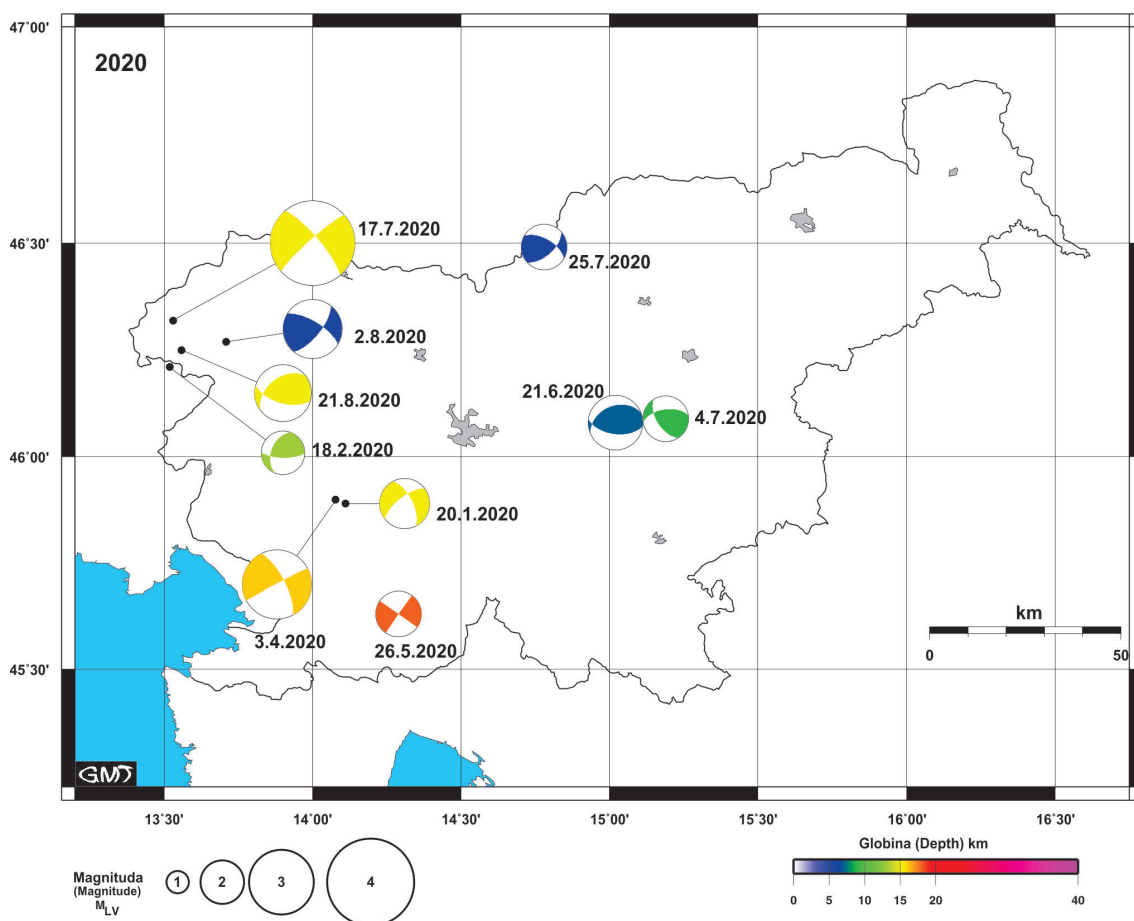
Uvod

Z žariščnim mehanizmom opišemo izvor potresnega valovanja. Uporabljeni postopek (Snoke in drugi., 1984) temelji na določitvi smeri prvega premika vzdolžnega potresnega valovanja na lokaciji potresne opazovalnice. Smer premika odčitamo na navpični komponenti zapisa potresa kot zgoščenina (kompresija) ali razredčina (dilatacija). Uporabljeno metodo smo natančneje opisali v publikacijah preteklih let (Ložar Stopar in Živčić, 2008, 2011).

Rezultati

V tem prispevku podajamo parametre žariščnega mehanizma za potrese, ki so se v letu 2020 zgodili v Sloveniji ali njeni neposredni bližini. Če želimo določiti žariščni mehanizem, potrebujemo zadostno število seizmogramov, s katerih lahko na navpični komponenti zapisa posamezne opazovalnice odčitamo smer vstopa vzdolžnega valovanja. Za to leto smo parametre žariščnega mehanizma uspeli določiti desetim potresom.

Število seizmogramov, na katerih je bila smer premika jasno določljiva, je od potresa do potresa različno. Lokalna magnituda (M_{LV}) vseh potresov je v razponu od 2,0 do 3,9. Največjo magnitudo $M_{LV} = 3,9$ je imel potres, ki se je zgodil 17. julija 2020 v bližini Bovca. Smer vstopnega valovanja pri tem potresu smo določili na seizmogramih stopetnajstih opazovalnic. Za najšibkejši potres, z magnitudo $M_{LV} = 2,0$, ki se je zgodil 18. februarja pri Kobaridu, smo z enako metodo kot za potres pri Bovcu določili le šestnajst vstopov, kar je bilo tudi najmanj med vsemi obravnavanimi potresi.



Slika 1. Lokacije desetih močnejših potresov z njihovimi žariščnimi mehanizmi na ozemlju Slovenije v letu 2020. Obarvani kvadranti predstavljajo zgoščenine, beli kvadranti razredčine, barva predstavlja žariščno globino, velikost pa vrednost lokalne magnitude M_{LV}

Figure 1. Locations and fault plane solutions of ten earthquakes with epicentres in Slovenia in 2020. Coloured quadrants represent compression, colour represents focal depth and size represents local magnitude M_{LV}

Za vse potrese so bili poleg seizmogramov državne mreže potresnih opazovalnic pregledani tudi seizmogrami, ki so dostopni v evropskem arhivu seizmičnih zapisov (ORFEUS, 2020). Pri večini obravnavanih potresov smo uporabili seizmogramе začasne mednarodne mreže opazovalnic Alparray (AlpArray Seismic Network, 2015). Najbolj oddaljena opazovalnica St. Georges, Gimel, z mednarodno oznako GIMEL (SED, 2021), je del švicarske seizmološke mreže. Nameščena je v skalni steni na skrajnem zahodu Švice in je od nadžarišča potresa pri Bovcu oddaljena 560 km. Tudi na seizmogramu te opazovalnice smo uspeli odčitati prvi premik pri vstopu valovanja pri najmočnejšem potresu tega leta.

Parametri žariščnih mehanizmov vseh potresov so zbrani v preglednici 1, njihova geografska lega je prikazana na sliki 1. Rešitve prelomnih ravnin z relativno lego potresnih opazovalnic in odčitano smerjo vstopa vzdolžnega valovanja so predstavljene na sliki 2. Na vseh slikah so žariščni meha-

nizmi izrisani v stereografski projekciji na spodnjo poloblo.

Rešitve prelomnih ravnin na sliki 2 kažejo, da je bil za štiri potrese značilen zmični prelom, za enega reverzni, večino ostalih pa najbolje opišejo kombinacije med zmičnimi in reverznimi prelomi. Kot smo pri določanju žariščnih mehanizmov za območje Slovenije ugotovili že v prejšnjih letih, se tudi v tem letu niso pojavljale rešitve žariščnega mehanizma, za katero bi bil značilen samo normalni prelom. Izjema je januarski potres na območju Javornika, kjer se nakazuje šibko izražena normalna komponenta in ga razvrstimo med zmično normalne potrese. Razvrščanje posameznega potresa glede na značilen tip žariščnega mehanizma smo naredili z računalniškim programom FMC (Álvarez-Gómez, 2014). Razvrstitev po tej metodi je podana v zadnjem stolpcu preglednice 1.

Za najmočnejši potres v Sloveniji v 2020 so z metodo inverzije tenzorja potresnega navora določili parametre žariščnega mehanizma tudi v Helmholtz-Zentrum Potsdam - Deutsches GeoForschungsZentrum, GFZ (GFZ, 2021), v Bologni na Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV_a, INGV_b, 2021) ter v Franciji v GEOAZUR (OCA Sismoazur, 2021).

Povzetki parametrov žariščnega mehanizma tega potresa so zbrani v preglednici 2. Tudi te rešitve kažejo, da je bil potres zmičnega tipa in so primerljive z rešitvijo, ki smo jo naredili na ARSO (preglednica 1).

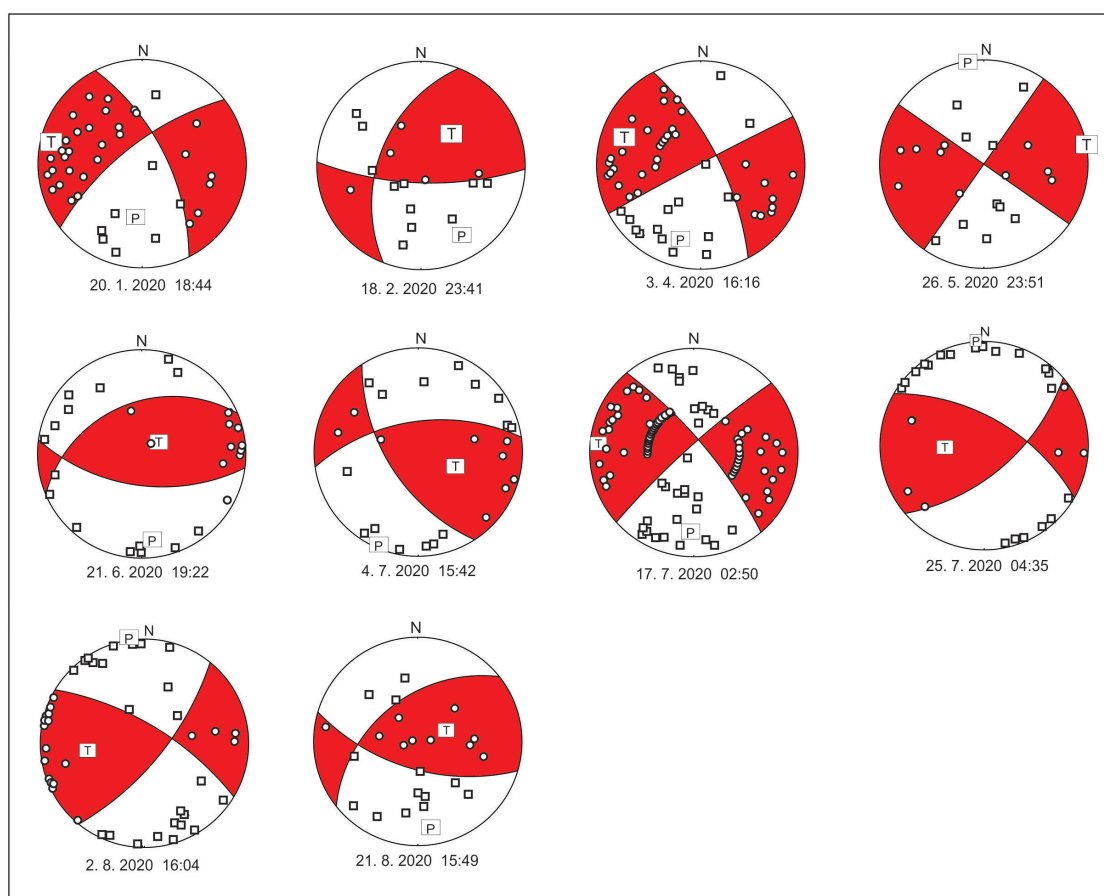
Zahvala

Zapise potresov na opazovalnicah v Avstriji, na Češkem, v pokrajini Furlanija - Julijska krajina v Italiji in na Hrvaškem smo pridobili v okviru Mednarodnega sporazuma o izmenjavi seizmoloških podatkov v stvarnem času v okviru Srednje in vzhodno evropske mreže za raziskave potresov CE3RN (2016) in v arhivu seizmičnih zapisov pri ORFEUS (2020). Slike smo izdelali s programom GMT (Wessel in Smith, 1991, 1998).

Preglednica 1. Parametri žariščnih mehanizmov obravnavanih potresov na ozemlju Slovenije v letu 2020. Smer je merjena od severa proti vzhodu, tako da je prelomna ploskev nagnjena v desno, naklon prelomne ploskve je merjen od vodoravne ravnine, smer premika na prelomu je merjena v od smeri preloma (Aki in Richards, 2002). P je os največje in T os najmanjše napetosti. Np je število uporabljenih podatkov o smeri prvih premikov. Nnp je število odčitkov, neskladnih z rešitvijo. Klasifikacija tipa žariščnega mehanizma posameznega potresa je določena po metodi, ki jo uporablja program FMC (Álvarez-Gómez, 2014), kjer posamezne črke predstavljajo značilnost preloma, SS: zmični prelom; SS-R: zmično reverzni prelom; R-SS: reverzno zmični prelom, SS-N: zmično normalni prelom in R: reverzni prelom.

Table 1. Focal mechanism solutions of the selected earthquakes with epicentres in Slovenia in 2020. Strike is the azimuth of the fault direction taken so that the plane dips to the right, measured from the North through East (Aki's convention), dip of the fault is measured from the horizontal plane and rake is the angle of slip, measured in the plane of the fault from the strike direction to the slip vector. P is maximum and T is minimum pressure axis, respectively. Np is the number of P-wave first motion polarities used. Nnp is number of inconsistent P-wave first motion polarities. Classification diagram (Álvarez-Gómez 2014). SS: Strike-slip; SS-R: Strike-slip - Reverse; R-SS: Reverse - Strike-slip; SS-N: Strike-slip - Normal; R: Reverse.

datum	čas (UTC)		z širina		dolž. globina		ravnilina 1				ravnilina 2				P		T		Np	Nnp	tip žariščnega mehanizma
	hh:mm	mm	°N	°E	km	km	nodal plane 1		nodal plane 2		smer	naklon	smer	naklon	smer	naklon	število vstopov	rupture type			
	time (UTC)	hh:mm	lat.	long.	depth	km	strike	dip	rake	strike	dip	rake	azimuth	plunge	azimuth	plunge	all polarities				
20. 1. 2020	18,44		45,89	14,11	14	2,3	232	68	-28	333	64	-155	192	35	283	4	30	0	0	SS-N	
18. 2. 2020	23,41		46,21	13,52	15	2,0	201	46	27	96	71	132	152	15	45	46	16	0	0	R-SS	
3. 4. 2020	16,16		45,91	14,10	15	3,2	242	88	-19	333	71	-178	196	15	289	12	52	0	0	SS	
26. 5. 2020	23,51		45,62	14,29	18	2,1	35	90	0	305	90	-180	350	0	80	0	20	0	0	SS	
21. 6. 2020	19,22		46,09	15,01	10	2,5	247	38	65	98	56	108	175	9	54	72	26	1	1	R	
4. 7. 2020	15,42		46,09	15,18	13	2,1	262	57	40	147	57	140	205	0	115	50	24	0	0	SS	
17. 7. 2020	2,50		46,32	13,54	15	3,9	228	83	-13	320	77	-172	183	14	274	4	115	0	0	SS	
25. 7. 2020	4,35		46,48	14,77	11	2,1	49	60	35	300	60	145	354	0	264	45	26	0	0	SS-R	
2. 8. 2020	16,04		46,27	13,71	5	2,7	39	69	22	301	70	158	350	0	260	30	44	0	0	SS-R	
21. 8. 2020	15,49		46,25	13,57	17	2,6	232	45	45	106	60	125	172	8	68	59	23	0	0	R-SS	



Slika 2. Žariščni mehanizmi desetih močnejših potresov na ozemlju Slovenije leta 2020. Kvadratki oz. krogi predstavljajo izstopno mesto - trajektorije valovanja iz žarišča do opazovalnice – iz spodnje poloble žariščnega prostora. Kvadratki predstavljajo opazovalnice, ki so kot prvi premik tal zaradi potresa zabeležile razredčino, krogi pa opazovalnice, ki so zabeležile zgoščenino. Označeni sta smeri največje (P) in najmanjše (T) napetosti. Podana je projekcija na spodnjo poloblo.

Figure 2. Fault plane solutions of ten selected earthquakes in Slovenia in 2020. Squares denote stations with dilatation as the first onset and circles denote stations with compression. P and T describe maximum and minimum stress axes, respectively. Lower hemisphere projection is applied.

Preglednica 2. Primerjava parametrov žariščnih mehanizmov za potres 17. julija 2020 ob 2.50 UTC, določenih z inverzijo tenzorja potresnega navora v Potsdamu pri GFZ (GFZ, 2020), na INGV (INGV_a, INGV_b, 2021) in na Geoazur (OCA 2021)

Table 2. Comparison of focal mechanisms parameters for earthquake on 17. July 2020 at 02:50 UTC, determined by inversion of seismic moment tensor at GFZ Potsdam (GFZ, 2021), INGV (INGV_a, INGV_b, 2021) and at Geoazur (OCA, 2021).

datum	čas (UTC)	avtor	širina	dolžina	globina	M_{LV}	ravnina 1			ravnina 2			Np
	hh.mm		°N	°E	km		smer	naklon	premik	smer	naklon	premik	število vstopov
date	time (UTC)	author	lat.	long.	depth	M_{LV}	nodal plane 1			nodal plane 2			Np
	hh.mm		°N	°E	km		strike	dip	rake	strike	dip	rake	all polarities
17. 7. 2020	2.50	GFZ	46,32	13,52	10	3,80	51	87	-8	142	81	-177	63
17. 7. 2020	2.51	INGV_a	46,23	13,48	25,4	4,11	54	89	5	323	85	179	9
17. 7. 2020	02.50	INGV_b	46,3233	13,5353	12	3,8	231	86	-14	322	76	-176	15
17. 7. 2020	02.50	OCA	46,28	13,60	7	3,8	231	78	5	140	85	168	37

Literatura

- Aki, K. in Richards, P. G., 2002. Quantitative Seismology. University Sausalito Books, Sausalito CA, 700 str.
- AlpArray Seismic Network, 2015. AlpArray Seismic Network (AASN) temporary component. AlpArray Working Group. https://doi.org/10.12686/ALPARRAY/Z3_2015.
- Álvarez-Gómez, J. A. (2014) FMC: a one-liner Python program to manage, classify and plot focal mechanisms. Geophysical Research Abstracts, Vol. 16, EGU2014-10887.
- CE3RN, 2016. The Central and Eastern European Earthquake Research Network - CE3RN, 2016. <http://www.ce3rn.eu/> (uporabljeno 10. 2. 2019).
- GFZ, 2021. Deutsches GeoForschungsZentrum, Potsdam.
<https://geofon.gfz-potsdam.de/data/alerts/2020/gfz2020nxzg/mt.txt> (uporabljeno 28. 2. 2021).
- INGV_a, 2021. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Bologna.
<http://autorcmt.bo.ingv.it/QRCMT-on-line/QRCMT20-on-line/E2007170250A.html> (uporabljeno 28. 2. 2021).
- INGV_b, 2021. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, Bologna.
<http://cnt.rm.ingv.it/event/3440571/?tab=MeccanismoFocale#TDMTinfo> (uporabljeno 28. 2. 2021).
- Ložar Stopar, M., Živčič, M., 2008. Žariščni mehanizmi nekaterih močnejših potresov v Sloveniji v letih 2006 in 2007. Potresi v letu 2007 (ur. R. Vidrih). Agencija za okolje, Ljubljana, 48–53.
- Ložar Stopar, M., Živčič, M., 2011. Žariščni mehanizmi nekaterih močnejših potresov v Sloveniji v letih 2008 in 2009. Potresi v letu 2010 (ur. A. Gosar). Agencija za okolje, Ljubljana, 71–75.

- ORFEUS, 2020. Observatories & Research Facilities for European Seismology. <https://www.orfeus-eu.org/data/eida/> (uporabljeno 22. 7. 2020).
- OCA, 2021. Regional focal mechanisms. Geoazur and Observatoire Côte d'Azur. http://sismoazur.oca.eu/focal_mechanism_emsc (uporabljeno 28. 2. 2021).
- SED, 2021. Swiss Seismological Service (SED) at ETH Zurich (2015). The Site Characterization Database for Seismic Stations in Switzerland. Zurich: Federal Institute of Technology. doi: 10.12686/sed-stationcharacterizationdb <http://stations.seismo.ethz.ch/en/station-information/station-details/station-given-networkcode-and-stationcode/index.html?networkcode=CH&stationcode=GIMEL> (uporabljeno 3. 3. 2021).
- Snoke, J.A., Munsey, J.W., Teague, A.G. in Bollinger, G.A., 1984. A Program for Focal Mechanism Determination by the Combined Use of Polarity and SV-P Amplitude Ratio Data, Earthquake Notes, 55, No. 3, p. 15.
- Wessel, P., Smith, W. H. F., 1991. Free software helps map and display data, Eos, Trans. Amer. Un., Vol.72(441), str. 445-446.
- Wessel, P., Smith, W. H. F., 1998. New, improved version of the Generic Mapping Tools released, EOS Trans. AGU, Vol. 79, str. 579.



Najmočnejši potresi po svetu leta 2020

The World's Largest Earthquakes in 2020

Povzetek

Leta 2020 je bilo po svetu 29 potresov, ki so dosegli ali presegli navorno magnitudo 6,5. Devet potresov je imelo navorno magnitudo med 7,0 in 7,8. Najmočnejši potres ($M_w = 7,8$) je nastal 22. julija pod morskim dnom v bližini Aljaske v globini 28 km. Vsaj 14 potresov je zahtevalo človeška življenja, skupaj so bile vsaj 203 žrtve. Med temi potresi sta tudi dva močna potresa na Hrvaškem. Največ žrtev, vsaj 119, je zahteval potres, ki se je zgodil 30. oktobra pod Egejskim morjem. Z magnitudo 7,0 je bil tudi najmočnejši potres tega leta v Evropi.

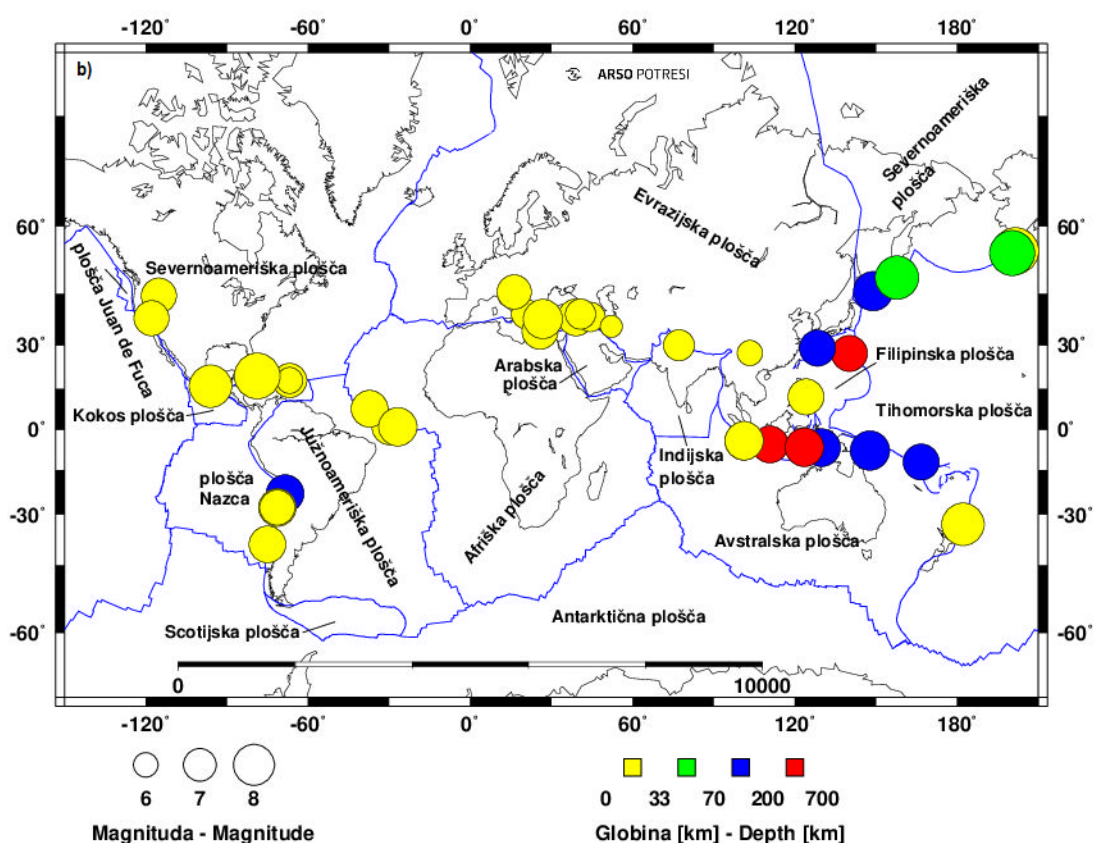
Abstract

In 2020 there were 29 earthquakes across the world that either reached or exceeded a moment magnitude of 6.5. Nine among them had a moment magnitude between 7.0 and 7.8. At least 14 earthquakes claimed human lives; in total there were at least 203 victims. Two strong earthquakes in Croatia were also among the ones that claimed human lives. The 22 July 2020 earthquake offshore Alaska ranked highest in terms of the released energy, with a moment magnitude of 7.8. The strongest earthquake in Europe, with a moment magnitude of 7.0, struck Aegean Sea on 30 October 2020. It was the most devastating earthquake as well, with at least 119 victims.

Uvod

Zemlja je v svoji notranjosti razdeljena na plasti, ki se med seboj razlikujejo po kemijski in fizikalni sestavi, reološkem stanju in temperaturi ter veliko drugih lastnostih. V osnovi jo lahko razdelimo na skorjo, plašč (zgornji, spodnji) in jedro (zunanje, notranje). Zemljina trdna lupina se imenuje litosfera in obsega Zemljino skorjo ter vrhnji del zgornjega plašča. Povprečno je debela okoli 100 km pod celinami in 50 km pod oceani. Sestavlja jo več tektonskih plošč (slika 1), izmed teh so največje Tihomorska, Severnoameriška, Južnoameriška, Evrazijska, Afriška, Avstralska in Antarktična. Za svetovno potresno dejavnost so pomembne tudi številne manjše plošče. Pod litosfero je astenosfera (preostali del zgornjega plašča), ki je zaradi visokih temperatur viskozna oziroma židka, zaradi česar nastajajo počasni konvekcijski tokovi, ki v dolgem časovnem obdobju premeščajo snov. Tektonske plošče se zaradi konvekcijskih tokov v astenosferi nenehno počasi premikajo (s hitrostjo od 0,6 do 10 centimetrov na leto). Med seboj se lahko razmikajo (razmične ali divergentne meje), primikajo (primične ali konvergentne meje) ali drsijo druga ob drugi (zmične ali transformne meje plošč). Razmikanje tektonskih plošč lahko poteka na območju oceanov (vdiranje magme iz astenosfere skozi razpoko med ploščama, pri čemer se magma strjuje v novo oceansko skorjo in nastanejo oceanski grebeni) ali na celinah (tektonsko ugrezanje ob nastajanju razsežnega tektonskega jarka ali razpoke v celinski plošči, ki končno postane meja plošč). Na območjih primikanja plošč se oceanska plošča podriva pod drugo oceansko ali celinsko ploščo, lahko pa celinski plošči trčita, kar povzroči dviganje skorje in nastanek gorovij. Prelom, ob katerem plošči drsita druga ob drugi, imenujemo transformni prelom (Lapajne, 2013; Struktura Zemlje, 2021).

Potresi so posledica nenadnega premika dveh tektonskih blokov. Nastajajo predvsem na stikih in v bližini stikov plošč. Največ potresov (približno 90 %), tudi večina najmočnejših, se zgodi v obihomorskem pasu, imenovanem tudi Ognjeni obroč, ki obkroža Tih ocean (NEIC, 2022). Na sliki 1 so narisane lokacije potresov, ki so leta 2020 dosegli ali presegli navorno magnitudo 6,5 (oz. 5,5 za evropsko-sredozemsko območje), in tisti šibkejši, ki so zahtevali človeška življenja. Navorna magnituda je mera za velikost potresa, ki velja tudi za najmočnejše potrese in je določena s potresnim navorom. Ta je opredeljen kot zmnožek strižnega modula kamnine prelomnega območja, površine potresnega pretрга in povprečne velikosti zdrsa vzdolž preloma. Lahko jo izračunamo iz zapisov potresnega valovanja ali ocenimo iz geoloških opazovanj (Lapajne, 2013).



Slika 1: Porazdelitev najmočnejših potresov leta 2020. Velikost krogov kaže potresno magnitudo, barva pa žariščno globino. Označene so tudi glavne tektonske plošče.

Figure 1: Distribution of the strongest earthquakes in 2020. The size of the circle indicates the magnitude and the colour designates the focal depth. The main tectonic plates are also shown.

Pregled najmočnejših potresov

V preglednici 1 so podatki o najmočnejših potresih, ki so zaznamovali leto 2020 (NEIC, 2022a; NEIC, 2022b; List of earthquakes in 2020, 2022). Za vsak potres so navedeni datum (mesec, dan), žariščni čas po svetovnem času (Universal Time Coordinated) – UTC, koordinati nadžarišča, globina žarišča,

Preglednica 1: Seznam potresov leta 2020, katerih navorna magnituda M_w je bila enaka ali večja od 6,5 (5,5 za evropsko-sredozemsko območje). Dodani so potresi (7), katerih magnituda je bila sicer manjša, a so zahtevali smrtne žrtve.

Table 1: List of the earthquakes in 2020 with a moment magnitude (M_w) equal to or greater than 6.5 (5.5 for the European-Mediterranean region). Earthquakes with magnitudes below 6.5 which claimed human lives are also included. J = South; S = North; Z = West; V = East;

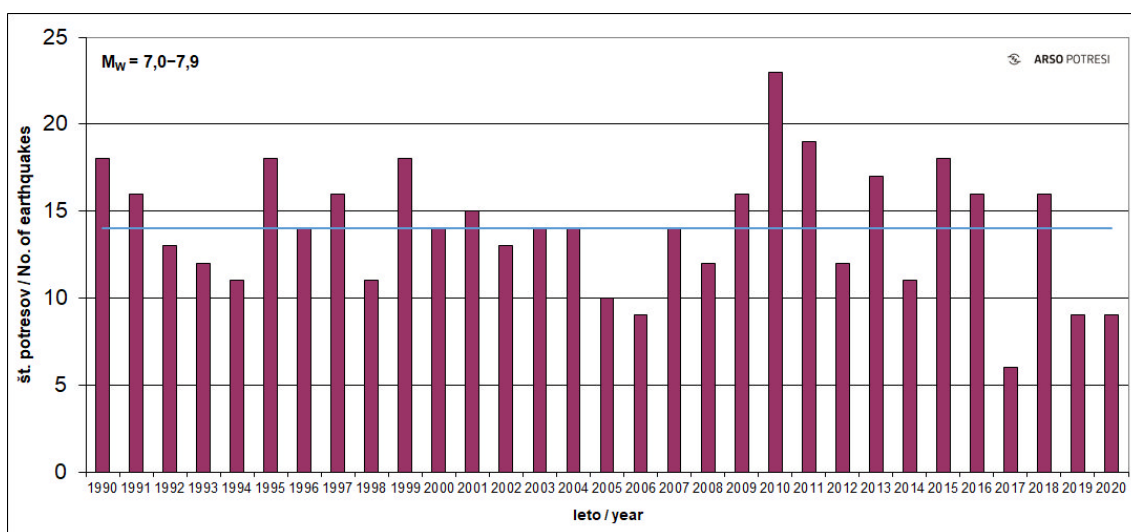
datum	čas (UTC)	koordinati nadžarišča		magnituda	globina	število žrtev	potresno območje
	ura.min	širina (°)	dolžina (°)	M_w	km		
date	time (UTC)	epicentral coordinates		magnitude	depth	number of victims	area
	hh.min	lat (°)	lon (°)	M_w	km		
7. 1.	8.24	17,86 S	66,83 Z	6,4	7	3	pod morskim dnom, območje Portorika
10. 1.	22.26	17,94 S	66,88 Z	5,2	9	1	pod morskim dnom, območje Portorika
19. 1.	13.27	29,84 S	77,11 V	6,0	6	1	Arzak, Kitajska
24. 1.	17.55	38,41 S	39,06 V	6,7	10	41	Doganyol, Turčija
28. 1.	19.10	19,42 S	78,76 Z	7,7	15		pod morskim dnom, območje Jamajke
13. 2.	10.33	45,63 S	148,93 V	7,0	144		pod morskim dnom, območje Kurilskih otokov
23. 2.	5.53	38,54 S	44,45 V	5,8	10	10	Zahodni Azerbajdžan, Iran
21. 3.	0.49	39,37 S	20,63 V	5,7	10		Paramythia, Grčija
22. 3.	5.24	45,91 S	15,97 V	5,3	10	1	Zagreb, Hrvaška
25. 3.	2.49	48,97 S	157,69 V	7,5	55		pod morskim dnom, območje Kurilov
31. 3.	23.52	44,46 S	115,14 Z	6,5	15		Challis, Idaho, ZDA
18. 4.	8.25	27,13 S	140,13 V	6,6	453		pod morskim dnom, Filipinsko morje
2. 5.	12.51	34,18 S	25,71 V	6,6	9		pod morskim dnom, južno od Krete, Sredozemsko morje
6. 5.	13.53	6,80 J	129,86 V	6,8	107		pod morskim dnom, Bandsko morje
7. 5.	20.18	35,74 S	52,05 V	4,6	10	2	Damavand, Iran
12. 5.	22.41	12,07 J	166,65 V	6,6	107		pod morjem, območje Salomonovih otokov
15. 5.	11.03	38,17 S	117,85 Z	6,5	3		Nevada, ZDA
18. 5.	13.48	27,26 S	103,30 V	5,1	10	4	Zhaotong, Junan, Kitajska
3. 6.	7.35	23,30 J	68,42 Z	6,8	103		San Pedro de Atacama, Čile
13. 6.	15.51	28,94 S	128,26 V	6,6	160		pod morskim dnom, Vzhodnokitajsko morje
14. 6.	14.24	39,38 S	40,71 V	5,9	10	1	Yedisu, Turčija
18. 6.	12.49	33,29 J	177,84 Z	7,4	10		pod morskim dnom, SV od Nove Zelandije
23. 6.	15.29	15,88 S	96,01 Z	7,4	20	10	Santa Maria Xadani, Mehika

datum	čas (UTC)	koordinati nadžarišča		magnituda	globina	število žrtev	potresno območje
	ura.min	širina (°)	dolžina (°)	M_w	km		
date	time (UTC)	epicentral coordinates		magnitude	depth	number of victims	area
	hh.min	lat (°)	lon (°)	M_w	km		
6. 7.	22.54	5,60 J	110,70 V	6,7	538		pod morskim dnom, Javansko morje
17. 7.	2.5	7,84 J	147,77 V	7,0	80	1	pod morskim dnom, območje Papue Nove Gvineje
22. 7.	6.12	55,03 S	158,52 Z	7,8	28		pod morskim dnom, blizu Aljaske
18. 8.	0.03	12,02 S	124,13 V	6,6	10	2	pod morskim dnom, območje Filiponov
18. 8.	22.23	4,33 J	101,13 V	6,8	22		pod morskim dnom, območje Indonezije
18. 8.	22.29	4,21 J	101,24 V	6,9	26		pod morskim dnom, območje Indonezije
21. 8.	4.09	6,69 J	123,48 V	6,9	628		pod morskim dnom, Bandsko morje
30. 8.	21.20	0,78 S	29,87 Z	6,5	10		pod morskim dnom, Srednjeatlantski hrbet
1. 9.	4.09	27,97 J	71,31 Z	6,8	21		pod morskim dnom, obala Čila
1. 9.	21.09	27,92 J	71,37 Z	6,5	15		pod morskim dnom, obala Čila
6. 9.	6.51	7,69 S	37,22 Z	6,7	10		pod morskim dnom, Srednjeatlantski hrbet
18. 9.	21.43	0,92 S	26,84 Z	6,9	10		pod morskim dnom, Srednjeatlantski hrbet
19. 10.	20.54	54,62 S	159,64 Z	7,6	35		pod morskim dnom, območje Aljaske
30. 10.	11.51	37,92 S	26,79 V	7,0	21	119	pod morskim dnom, severno od grškega otoka Samos
27. 12.	21.39	39,34 J	74,99 Z	6,7	10		pod morskim dnom, ob obali Čila
29. 12.	11.19	45,42 S	16,26 V	6,4	10	7	Petrinja, Hrvaška

navorna magnituda in število žrtev za posamezen potres. Preglednica se konča z imenom širšega nadžariščnega območja potresa.

Leta 2020 je bilo 29 potresov, ki so dosegli ali presegli navorno magnitudo 6,5. Devet izmed njih je imelo navorno magnitudo med 7,0 in 7,9, nobeden pa ni imel magnitude, večje ali enake 8,0. V obdobju 1990–2020 se je v povprečju vsako leto zgodil en potres z magnitudo, večjo ali enako 8,0; 14 pa jih je imelo magnitudo med 7,0 in 7,9 (slika 2; NEIC, 2022c), kar pomeni, da je bilo slednjih v letu 2020 manj od dolgoletnega povprečja. Štirinajst potresov je leta 2020 zahtevalo skupaj 203 človeška življenja.

Najmočnejši potres leta 2020 ($M_w = 7,8$) se je zgodil 22. julija ob 6.12 po UTC (21. julija ob 22.12 po lokalnem času) z žariščem na globini 28 km pod morskim dnom na območju Aljaske. Ni zahteval življenj, ne povzročil večje škode, saj je obalno območje redko poseljeno. Pri potresu se je aktiviral 193 kilometrov dolg in 97 kilometrov širok del preloma. Čutili so ga vse do Victorie in Vancouvra v Kanadi, več kot 2400 kilometrov daleč. Zaradi nevarnosti cunamija se je začela evakuacija prebivalstva z nižje ležečih obalnih območij na višje. Po štirih urah je bila nevarnost



Slika 2: Letno število potresov (1990–2020) na svetu z navorno magnitudo med 7,0 in 7,9 (NEIC, 2022c). Modra črta označuje letno povprečje števila potresov.

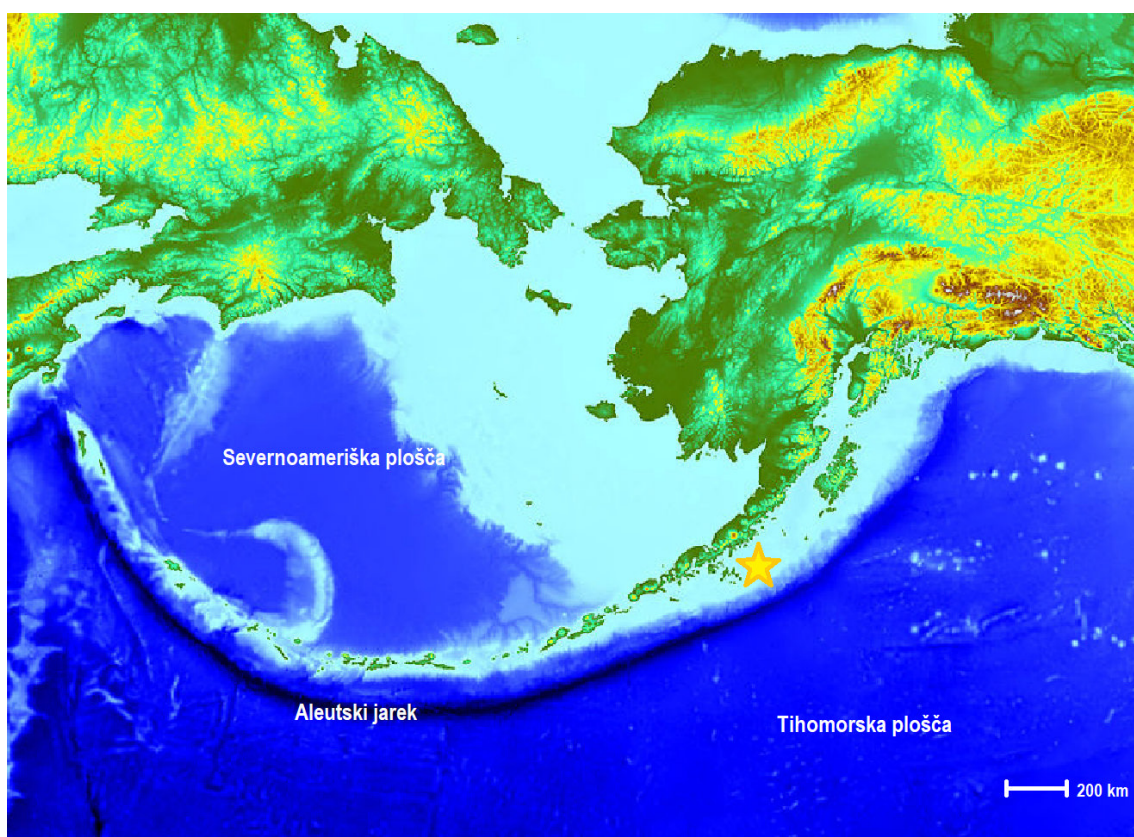
Figure 2: Annual number of earthquakes in the world with a moment magnitude between 7.0 and 7.9 for the period from 1990 to 2020 (NEIC, 2022c). The blue line represents the annual average number of earthquakes.

preklicana, saj meritve morske gladine niso potrdile nastanka večjega cunamija.

Potres je nastal na območju Aleutskega jarka, kjer se Tihomorska plošča podriva pod Severnoameriško ploščo s hitrostjo do 65 mm na leto. Aleutski jarek je 3400 kilometrov dolg oceanski jarek na primičnem stiku plošč, ki se razteza med Aljasko in Kamčatko ter poteka vzdolž južne obale Aljaske in Aleutov (slika 3). Območje je potresno zelo dejavno. V zadnjih 75 letih so se tu zgodili štirje potresi z magnitudo, večjo od 8,0. Med njimi tudi drugi najmočnejši instrumentalno zaznan potres, in sicer 27. marca 1964 v Aljaškem zalivu z navorno magnitudo 9,2, ko se je aktiviral prelom dolžine 970 kilometrov (NEIC, 2020a; July 2020 Alaska Peninsula earthquake, 2022; Aleutian Trench, 2021).

Potresni valovi so od žarišča potresa (22. 7. 2020 na Aljaski) do slovenske potresne opazovalnice v Ljubljani (LJU) potovali približno 12 minut (slika 4). Oddaljenost opazovalnice LJU od izvora potresa je približno 78 stopinj oziroma okoli 8780 kilometrov.

Leta 2020 je bil najmočnejši potres v Evropi po številu žrtev (119) tudi najbolj uničujoč potres na svetu. 30. oktobra ob 11.51 po UTC (ob 14.51 po lokalnem grškem času oziroma 15.51 po lokalnem turškem času) je potres z magnitudo 7,0 stresel območje Egejskega morja. Nadžarišče potresa je bilo v zalivu Kuşadasi, 14 km severno od grškega otoka Samos in 20 km jugozahodno od turškega mesta Özdereje oziroma 65 kilometrov jugozahodno od Izmirja s 4,3 milijona prebivalcev (slika 5). Potres je nastal znotraj Evrazijske tektonske plošče in je bil tako imenovani znotrajploščni potres, ki nastane ob nenadnem zdrsu ob pretrgu znotraj tektonske plošče. Do 8. novembra mu je sledilo več kot 2400 popotresov, 21 jih je imelo magnitudo večjo od 4,0. Že v preteklosti je to območje prizadelo več močnih potresov, večina pa je močneje prizadela območje Izmirja v Turčiji kot grški otok Samos. Razlog je najbrž ta, da je mesto Izmir zgrajeno na mehkih



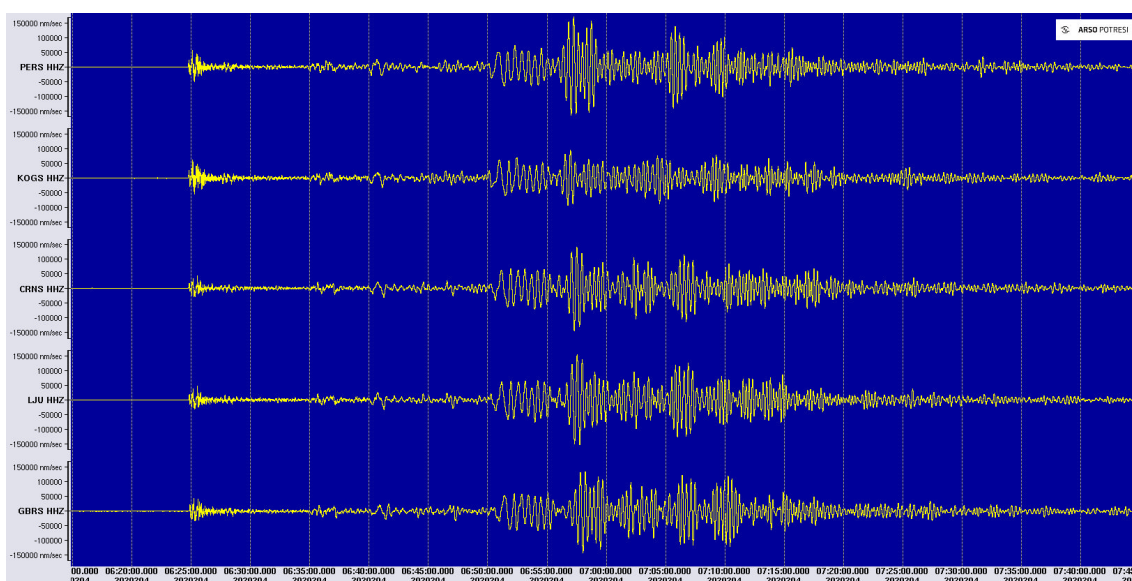
Slika 3: Zemljevid Aleutskega jarka, na katerem je dodano nadžarišče potresa 22. julija 2020 (Vir: Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=617555>).

Figure 3: Map of Aleutian Trench with location of the earthquake that occurred on 22 July 2020 (Source: Public Domain, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=617555>).

sedimentih znotraj Izmirskega zaliva, ki predstavljajo slabo podlago, še posebej, če so zasičeni z vodo. Najbolj uničujoč je bil potres leta 1688, ki je na območju Izmirja zahteval okoli 16.000 življenj, ocenjena magnituda pa je bila 7,0.

Tokrat je bilo na Samosu poškodovanih veliko zgradb, porušila se je cerkev, pod ruševinami pa sta umrla tudi dva najstnika. Še več škode in žrtev je zahteval potres v Izmirju. Tu se je popolnoma porušilo vsaj 20 zgradb (slika 6) in pod seboj pokopalo 117 oseb, več kot 1000 je bilo ranjenih. Brez strehe nad glavo je ostalo okoli 15.000 ljudi. Pojavil se je tudi cunami, ki je z višino 1,9 metra prizadel predvsem obalno območje turškega okrožja Seferihisar. Morje je poplavilo obalno območje tudi do 1,3 km v notranjost (NEIC, 2020b; 2020 Aegean Sea earthquake, 2022).

Evropo so pretresli še potresi, ki so prizadeli Hrvaško, njihovo moč pa smo občutili tudi v Sloveniji. Močen potres, ki se je zgodil 22. marca ob 5.24 po UTC (6.24 po lokalnem času), je nastal deset kilometrov globoko pod Medvednico, le sedem kilometrov severno od središča Zagreba ($M_w = 5,3$). Zaradi plitvega žarišča in bližine je potres najhuje prizadel Zagreb in okolico, kjer je bila ena smrtna žrtev, čutili pa so ga v vseh okoliških državah. V Sloveniji so ga najmočneje čutili



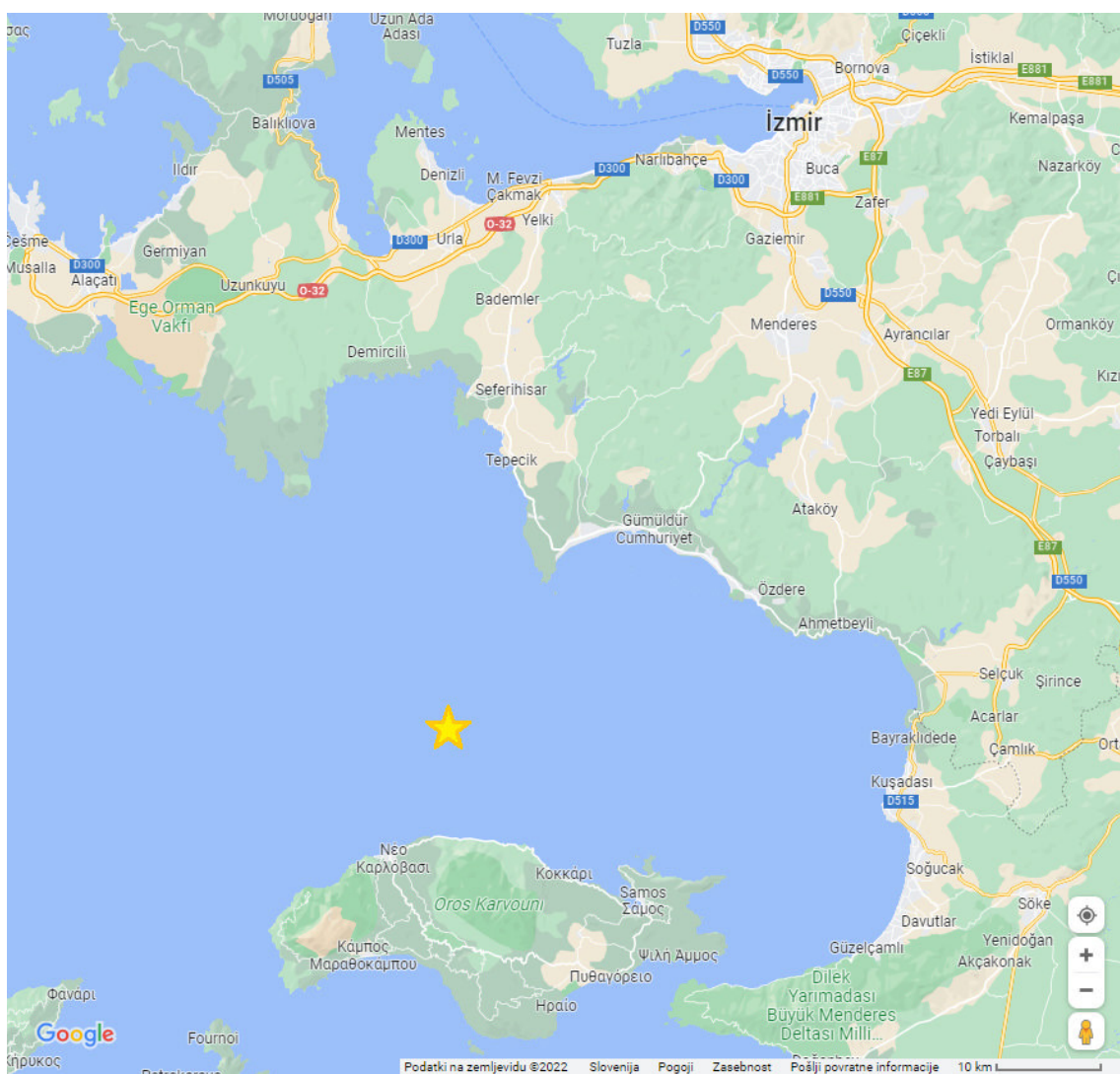
Slika 4: Zapis potresa 22. julija 2020 magnitude 7,8 pri Aljaski na nekaterih slovenskih potresnih opazovalnicah. Prikazan je 90-minutni zapis (navpična komponenta).

Figure 4: Seismogram of the earthquake on 22 July 2020 ($MW = 7.8$) near Alaska, as recorded on some Slovenian seismic stations. The figure shows a 90-minute long record (vertical component).

na njenem vzhodnem delu. Iz nekaterih naselij ob slovensko-hrvaški meji (Gorjanci, Bizeljsko, Kozjansko in Haloze) so ljudje poročali o lasastih razpokah v stenah, odpadlem beležu in ometu ter poškodovanih strešnikih. Potresu so sledili številni popotresi, nekatere močnejše so čutili tudi posamezniki v Sloveniji. Konec leta je Hrvaško pokrajino Banijo prizadel rušilen potres z navorno magnitudo 6,4. Zgodil se je 29. decembra ob 11.19 po UTC (12.19 po lokalnem času) pet kilometrov jugozahodno od Petrinje. Pred njim je bil dan prej močan predpotres (28. decembra ob 5.28 po UTC, $Mw = 5,2$). Čutili so ga v vseh okoliških državah, največ škode pa je povzročil v Glini, Petrinji in Sisku (slika 7). Glavni potres, ki je zahteval 7 življenj, so čutili po vsej Sloveniji, najmočnejše na jugovzhodu, kjer je bilo tudi nekaj poškodb stavb. Sledil je dolg popotresni niz, ki traja še danes, t. j. leta 2022 (2020 Petrinja earthquake, 2022; 2020 Zagreb earthquake, 2022).

Sklepne misli

Leta 2020 je bilo po svetu 29 potresov, ki so dosegli ali presegli navorno magnitudo 6,5, med njimi jih je bilo pet, ki svojega žarišča niso imeli pod morskim dnom. Štirinajst potresov je zahtevalo človeška življenja. Skupaj so ti potresni dogodki terjali vsaj 203 življenja, največ (119) potres, ki se je konec oktobra zgodil v bližini grškega otoka Samos. Z navorno magnitudo 7,0 je bil to tudi najmočnejši potres v Evropi. Dva močna potresa sta prizadela tudi Hrvaško in terjala 8 življenj.



Slika 5: Nadžarišče potresa 30. oktobra 2020 pod Egejskim morjem (© Google)

Figure 5: Epicentre of the earthquake in Aegean Sea on 30. October 2020 (© Google).



Slika 6. Popolnoma porušena zgradba v Izmirju, Turčija, ob potresu 30. oktobra 2020.
(vir: <https://www.voanews.com/europe/powerful-quake-strikes-major-turkish-city-greek-islands>)
Figure 6. Building that collapsed during the 30 October 2020 earthquake in Izmir, Turkey
(Source: <https://www.voanews.com/europe/powerful-quake-strikes-major-turkish-city-greek-islands>)



Slika 7. V Petrinjskem potresu (29. 12. 2020) uničena cerkev v Žažini, Hrvatska.
(vir: Slavica Gostić, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=98597002>)

Figure 7. The church in Žažina destroyed in the 2020 Petrinja earthquake
(Source: Slavica Gostić, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=98597002>)

Viri in literatura

- 2020 Aegean Sea earthquake. Wikipedia [online] (posodobljeno 14. januarja 2022). https://en.wikipedia.org/wiki/2020_Aegean_Sea_earthquake (uporabljeno 21. januarja 2022).
- 2020 Petrinja earthquake. Wikipedia [online] (posodobljeno 14. januarja 2022). https://en.wikipedia.org/wiki/2020_Petrinja_earthquake (uporabljeno 21. januarja 2022).
- 2020 Zagreb earthquake. Wikipedia [online] (posodobljeno 14. januarja 2022). https://en.wikipedia.org/wiki/2020_Zagreb_earthquake (uporabljeno 21. januarja 2022).
- Aleutian Trench. Wikipedia [online] (posodobljeno 24. novembra 2021). https://en.wikipedia.org/wiki/Aleutian_Trench (uporabljeno 21. januarja 2022).
- Gosar, A. 2017. Likvifikacija sedimentov ob potresu, Ujma št. 31, 151–156.
- July 2020 Alaska Peninsula earthquake. Wikipedia [online] (posodobljeno 10. januarja 2022). https://en.wikipedia.org/wiki/July_2020_Alaska_Peninsula_earthquake (uporabljeno 21. januarja 2022).
- Lapajne, J. 2013. Inženirsko-seizmološki terminološki slovar [elektronski vir], Amebis, d. o. o., Kamnik in Agencija RS za okolje, Ljubljana (Zbirka Termania). <http://www.termania.net/slovarji/131/seizmoloski-slovar>.
- List of earthquakes in 2020. Wikipedia [online] (posodobljeno 19. januarja 2022). https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_earthquakes_in_2020 (uporabljeno 21. januarja 2022).
- NEIC, 2020a. M 7.8 – 99 km SSE of Perryville, Alaska. US Department of the Interior. Geological Survey, National Earthquake Information Center. <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us7000asvb/executive> (uporabljeno 21. januarja 2022).
- NEIC, 2020b. M 7.0 – 13 km NNE of Néon Karlovásion, Greece. US Department of the Interior. Geological Survey, National Earthquake Information Center. <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us7000c7y0/executive> (uporabljeno 21. januarja 2022).
- NEIC, 2022. Cool Earthquake Facts. Geological Survey, National Earthquake Information Center. https://www.usgs.gov/natural-hazards/earthquake-hazards/science/cool-earthquake-facts?qt-science_center_objects=0#qt-science_center_objects (uporabljeno 21. januarja 2022).
- NEIC, 2022a. Significant Earthquakes – 2020. US Department of the Interior. Geological Survey, National Earthquake Information Center. <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/browse/significant.php?year=2020> (uporabljeno 21. januarja 2022).
- NEIC, 2022b. Search Earthquake Catalogue. US Department of the Interior. Geological Survey, National Earthquake Information Center. <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/> (uporabljeno 21. januarja 2022).
- NEIC, 2022c. Lists, Maps and Statistics. US Department of the Interior. Geological Survey, National Earthquake Information Center. <https://www.usgs.gov/natural-hazards/earthquake-hazards/lists-maps-and-statistics> (uporabljeno 21. januarja 2022).
- Struktura Zemlje. Wikipedija [online] (posodobljeno 3. april 2021). https://sl.wikipedia.org/wiki/Struktura_Zemlje (uporabljeno 21. januarja 2022).



Potresne opazovalnice v Sloveniji v letu 2020

Seismic Network in Slovenia in 2020

Povzetek

Leta 2020 je na območju Slovenije delovala »Državna mreža potresnih opazovalnic« (DMPO) s 26 potresnimi opazovalnicami. »Dopolnilne potresne opazovalnice« (DoPO) dopolnjujejo potrebno opazovanje DMPO-ja, v letu 2020 je v različnih časovnih obdobjih delovalo 17 opazovalnic DoPO. Poleg teh opazovalnic ARSO nadzoruje še 6 začasnih opazovalnic, postavljenih leta 2020, ki tvorijo »Mrežo prenosnih potresnih opazovalnic južno od Postojne« (SLO Karst NFO) in so del projekta »Razvoj raziskovalne infrastrukture za mednarodno konkurenčnost slovenskega RRI prostora – RI-SI-EPOS«.

Abstract

In the year 2020, the » Seismic network of the Republic of Slovenia« (SNRS) consisted of 26 seismic stations. The seismic observation of the Slovenian territory was increased by additional 17 seismic stations, that operated in different time periods in 2020, yet they are not part of the SNRS . In addition to these observatories, ARSO supervises yet another 6 temporary observatories, set up in 2020, which form the »Network of portable earthquake observatories south of Postojna« (SLO Karst NFO) and are part of the project »Development of Research Infrastructure for the International Competitiveness of the Slovenian RRI area - RI-SI-EPOS«

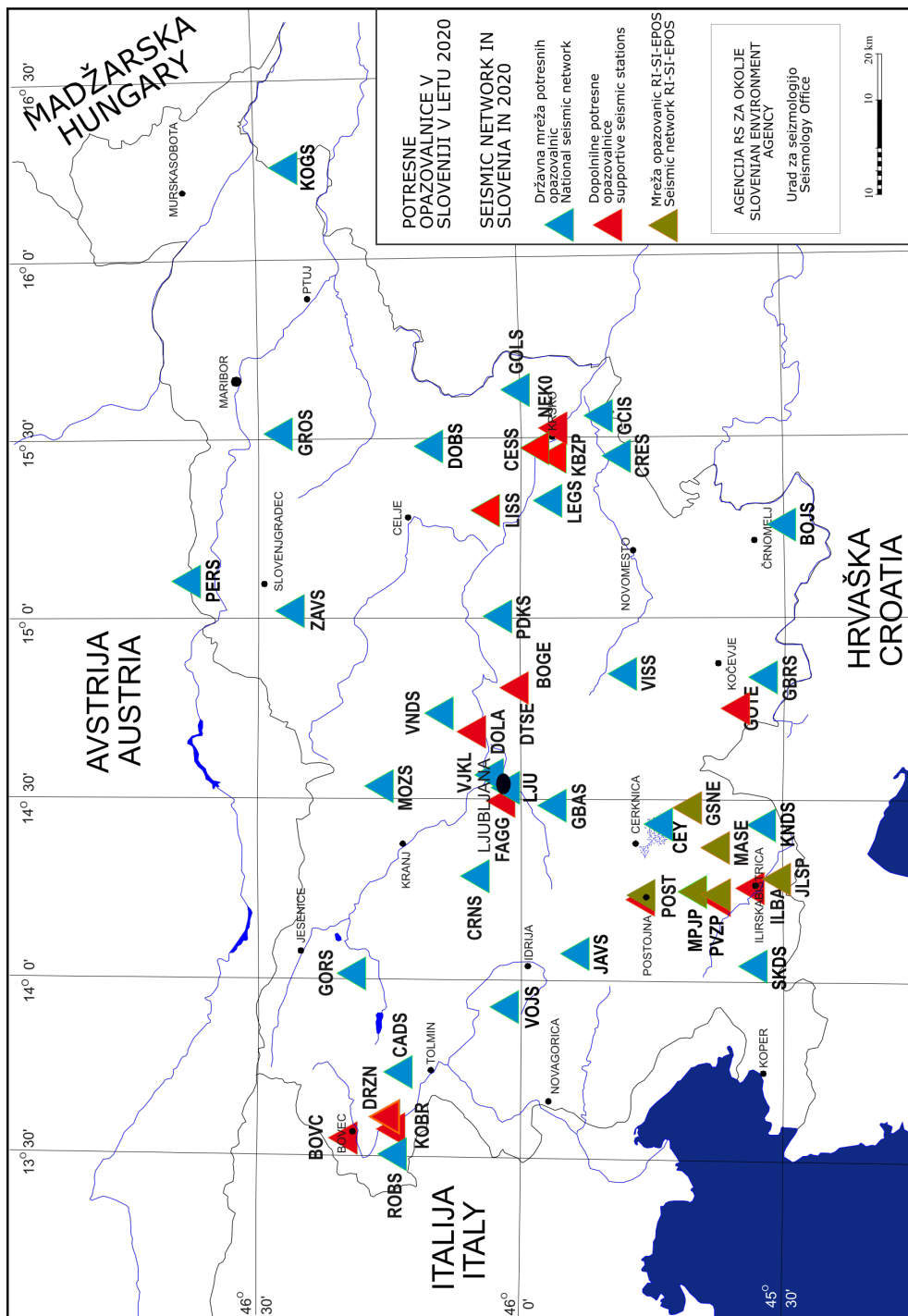
Uvod

Potresne opazovalnice ARSO (ARSO 2020) so glede na protokol delovanja, kvaliteto seizmološke merilne opreme, časovno stalnost delovanja ter druge parametre razdeljene v dve skupini. Osnovna je »Državna mreža potresnih opazovalnic« (DMPO), ki s 26 potresnimi opazovalnicami tvori hrbtenico potresnega opazovanja v Sloveniji. V drugi skupini so t. i. dopolnilne potresne opazovalnice (DoPO), ki dopolnjujejo potresno opazovanje DMPO-ja za natančnejše opredelitve potresnih parametrov za posamezno območje, kot tudi za dopolnilno potresno opazovanje v urbanih območjih.

V letu 2020 je ARSO, poleg državnih opazovalnic, v okviru projekta »Razvoj raziskovalne infrastrukture za mednarodno konkurenčnost slovenskega RRI prostora – RI-SI-EPOS« (Šebela, 2018) nadzoroval še začasne opazovalnice »Mreže prenosnih potresnih opazovalnic južno od Postojne« (SLO Karst NFO).

Državna mreža potresnih opazovalnic

Državno mrežo potresnih opazovalnic (DMPO) sestavlja 26 potresnih opazovalnic (slika 1), ki so opremljene s širokopasovnim seizmometrom in s pospeškometro (Tasič, 2018). Prvi meri hitrost, drugi pospešek nihanja tal. Kombinacija obeh merilnih sistemov na enem mestu omogoča večje skupno dinamično območje merjenja. Uporabnost povečanega dinamičnega območja z dvema sistemoma



Slika 1: Potresne opazovalnice ARSO in »SLO Karst NFO« (RI-SI-EPOS, Šebela, 2018) leta 2020.

Figure 1: Seismic stations in Slovenia supervised by ARSO in 2020 and Slovenian Karst NFO Seismic Network (SLO Karst NFO).

Preglednica 1: Državna mreža potresnih opazovalnic v Sloveniji v letu 2020

* - opazovalnica je delovala že prejšnje leto

** - delovanje opazovalnice se nadaljuje v prihodnjem letu

x - oprema je del projekta »Razvoj raziskovalne infrastrukture za mednarodno konkurenčnost slovenskega RRI prostora – RI-SI-EPOS« (Šebela, 2018).

Table 1: National seismic network in Slovenia in 2020

* - station has been in function in previous year

** - station continues to operate in 2020

x - is part of the project »Development of Research Infrastructure for the International Competitiveness of the Slovenian RDI area – RI-SI-EPOS« (Šebela, 2018).

opaz. vzpostavljena station established	ozn. code	zem. šir. latitude	zem.dol. longit.	n. viš. elev. [m]	litološka podlaga/ lithology	sensor/ser. št. sensor type/Ser No	zajemalna naprava/ser. št. acquisition unit/Ser No	čas delovanja operational time	
		°N	°E					od/from	do/to
Bojanci 1986	BOJS	45,5043	15,2518	252	apnenec limestone	STS-2/10417 EpiSensor/1723	Q330HRS/6309	☆	3. 9. 2020
						T360(x)/1001 EpiSensor/1723		3. 9. 2020	☆☆
Cerknica (Goričice) 1975	CEY	45,7381	14,4221	579	apnenec limestone	Fortis/TF465 T120QA/2967	Q330HRS/6104	☆	☆☆
						CMG-40T/T4B12		Q730/ 2000102	☆
Čadrg 2003	CADS	46,2281	13,7369	751	apnenec limestone	CMG-3ESP/ T36897 CMG-T5/T5JD6	Q330HRS/5797	☆	☆☆
Črešnjevce 2002	CESS	45,8259	15,4569	431	dolomit dolomite	STS-2/90733 EpiSensor/782	Q330HRS/5878	☆	☆☆
Črni Vrh 2005	CRNS	46,0807	14,2613	712	dolomit, apnenec dolomite, limestone	CMG-3ESP/T36081 CMG-T5/T5JD4	Q330HRS/6105	☆	☆☆
Dobrina 1996	DOBS	46,1495	15,4695	465	lapor marlstone	CMG-3ESP/ T35605 CMG5T/T5HL8	Q330HRS/6314	☆	☆☆
Gorenja Brezovica 2008	GBAS	45,9348	14,4434	525	dolomit dolomite	T120QA/3091 CMG-5T/T5HL9	Q330HRS/6100	☆	21. 2. 2020
						T120QA/3091 T120QA/2975		21. 2. 2020	29. 5. 2020
						T120QA/3091 CMG-5T/T5HL9		29. 5. 2020	29. 9. 2020
						Q330HRS/7329		29. 9. 2020	☆☆
Gornja Briga 2007	GBRS	45,5311	14,8101	610	dolomit dolomite	CMG-3ESP/T35893 CMG-5TC/T5KU6	Q330HRS/6315	☆	☆☆
Gornji Cirknik 2003	GCIS	45,8672	15,6275	385	dolomit dolomite	CMG-3ESP/ T34749 CMG-5TC/ T5KU5	Q330HRS/6311	☆	☆☆
Goliše 2002	GOLS	46,0108	15,6245	559	dolomit dolomite	CMG-40TBH/ T4B26 FBA23/32206	Centaur-6/101	☆	17. 9. 2020
						CMG-40TBH/ T4B26 FORTIS sn TF459		Q330HRS/6311	17. 9. 2020

opaz. vzpostavljena station established	ozn. code	zem. šir.	zem.dol.	n. viš. elev. [m]	litološka podlaga/ lithology	sensor/ser. št. sensor type/Ser No	zajemalna naprava/ser. št. acquisition unit/Ser No	čas delovanja operational time	
		latitude °N	longit. °E					od/from	do/to
Gorjuše 2004	GORS	46,3174	13,9999	1048	apnec limestone	STS-2.5/151206 EpiSensor/785	Q330HRS/5657	☆	☆☆
Grobnik 2002	GROS	46,4610	15,5018	930	tonalit tonalite	CMG-3ESP/T39558 FBA23/32168	Q330HRS/6312	☆	20. 10. 2020
						CMG-3ESP/T39558 FBA23/32206		20. 10. 2020	☆☆
Javornik 2003	JAVS	45,8934	14,0643	1100	dolomit dolomite	CMG-3T/T37725 CMG-5TC/ T5HL6	Q330HR/5881	☆	☆☆
Knežji dol 2003	KNDS	45,5279	14,3806	1024	apnec limestone	STS-2/120925 CMG-5TC/ T5HL5	Q330HRS/5798	☆	9. 9. 2020
						STS-2/10416 CMG-5TC/ T5HL5		9. 9. 2020	☆☆
Kog 2004	KOGS	46,4481	16,2504	245	glinavec mudstone	CMG-3T/ T37085 EpiSensor/784	Q330HRS/5653	☆	☆☆
Legarje 2002	LEGS	45,9488	15,3177	390	dolomit dolomite	CMG-40TB/ T4B29 FBA-23/32168	Centaur-6/105	☆	24. 11. 2020
						CMG-40TB/ T4B29 FORTIS/TF466	Q330HRS/7331	24. 11. 2020	☆☆
Ljubljana 1958	LJU	46,0438	14,5278	396	peščenjak sandstone	STS-2/40316 EpiSensor/783	Q330HRS/5656	☆	☆☆
Možjanca 2005	MOZS	46,2941	14,4433	660	apnec limestone	CMG 3T/T37529 Fortis/TF089	Q330HRS/5654	☆	10. 11. 2020
						STS-2/20417 Fortis/TF089		10. 11. 2020	☆☆
Pernice 2002	PERS	46,6365	15,1139	795	filit schist	CMG-3ESP/ T35616 CMG-5T/T5JD5	Q330HRS/6102	☆	☆☆
Podkum 2002	PDKS	46,0612	14,9977	679	dolomit dolomite	CMG-40TB/ T4B28 FBA-23/42178	Centaur-6/198	☆	☆☆
Robič 2002	ROBS	46,2445	13,5094	245	apnec limestone	CMG-3ESP/ T34746 Fortis/TF090	Q330HRS/5880	☆	☆☆
Skadanščina 2006	SKDS	45,5464	14,0143	552	apnec limestone	STS-2/10416 EpiSensor/786	Q330HRS/5658	☆	25. 8. 2020
						STS-25/172109 EpiSensor/786		25. 8. 2020	☆☆
Višnje 2003	VISS	45,8033	14,8393	399	apnec limestone	STS-2.5/151206 T120QA/2975	Q330HRS/5879	☆	19. 2. 2020
						STS-2.5/151206 CMG 5T/T5HL7		19. 2. 2020	☆☆
Vojsko 2004	VOJS	46,0322	13,8877	1072	dolomit dolomite	T120QA/2973 CMG 5T/T5V48	Q330HRS/6103	☆	☆☆
Vrh pri Dolskem 2006	VNDS	46,1016	14,7014	531	kremenov peščenjak quartz sandstone	CMG-3ESP/ T35448 EpiSensor/1722	Q330HRS/5880	☆	☆☆
Zavodnje 2005	ZAVS	46,4342	15,0246	741	granodiorit granodiorite	T120QA/2976 Fortis/TF467	Q330HRS/6310	☆	☆☆

se je potrdila decembra leta 2020 ob Petrinjskem potresu, kjer so bili na nekaterih lokacijah seizmometri prekrmiljeni, zato pa so pospeškometri pravilno zabeležili tudi največje nihanje tal (Tasič, 2023).

Oba merilna sistema sta povezana s sodobnim seizmološkim 6-kanalnim podatkovnikom (zajemalno enoto), ki podatke digitalizira in opremi s točnim časom ter jih nato samodejno neprekinjeno prenese v središče za obdelavo podatkov (SOP) na Vojkovo 1b v Ljubljani (Vidrih in drugi, 2006) in v rezervno središče na observatoriju na Golovcu v Ljubljani.

Tudi v letu 2020 smo na lokacijah DMPO izvedli nekaj večjih posodobitev seizmološke opreme, ki so opisane v članku »Delovanje državne mreže potresnih opazovalnic v letu 2020« (Tasič in drugi, 2023). Stanje leta 2020 je zapisano v preglednici 1.

Dopolnilne potresne opazovalnice

Dopolnilne potresne opazovalnice (DoPO), ki dopolnjujejo potresno opazovanje DMPO-ja, so opremljene z raznoliko seizmološko opremo. Večina teh opazovalnic je opremljena samo z akclerografom ETNA, ki pošiljajo v SOP samo prožene dogodke, se pravi dogodke, ki so prešli vnaprej določeno amplitudo nihanja tal. Ostale dopolnilne potresne opazovalnice pošiljajo v SOP podatke v neprekinjenem načinu. Nekatere od teh so opremljene samo s seizmometri, VJKL ima tako pospeškometer kot tudi seizmometer, nekatere pa samo pospeškometer. V letu 2020 je na ozemlju Slovenije delovalo skupaj

Preglednica 2: Dopolnilne potresne opazovalnice v Sloveniji v letu 2020

* - opazovalnica je delovala že prejše leto

** - delovanje opazovalnice se nadaljuje v prihodnjem letu

x - oprema je del projekta »Razvoj raziskovalne infrastrukture za mednarodno konkurenčnost slovenskega RRI prostora – RI-SI-EPOS« (Šebela, 2018).

(NEK) - oprema je v lasti NEK.

Table 2: Supportive seismic stations in Slovenia in 2020..

* - station has been in function in previous year

** - station continues to operate in 2021

x - is part of the project »Development of Research Infrastructure for the International Competitiveness of the Slovenian RDI area – RI-SI-EPOS« (Šebela, 2018).

(NEK) - the equipment is owned by NEK.

opaz. vzpostavljena station established	ozn. code	zem. šir. latitude	zem.dol. longit.	n. viš. elev. [m]	litološka podlaga/lithology	sensor/ser. št. sensor type/Ser No	zajemalna naprava/ser. št. acquisition unit/Ser No	čas delovanja operational time	
		°N	°E					od/from	do/to
Brezje pri Senušah 1990	KBZP	45,9405	15,4390	208	apnenec, lapor limestone, marlstone	CMG-40T/T4B09	CMG-DM24S3/A2526	☆	☆☆
Cesta 1996	CESS	45,9733	15,4632	372	dolomit dolomite	CMG-40T/T4B18	EDR-209/6786	☆	6. 8. 2020
							EDR-209/6787	6. 8. 2020	☆☆
Pivka Muzej Vojaške zgodovine 2019	PVZP	45.6685	14,1885		apnenec limestone	LE-3D/5s /0059	PR6-24/ 4976	☆	23. 1. 2020
						LE-3D/5s /0726	PR6-24/ 4975	23. 1. 2020	15. 7. 2020
Vače 2020	VACE	46,1194	14,8379	521	apnenec limestone	LE-3D/5s /0059	PR6-24/ 4976	25. 9. 2020	☆☆

opaz. vzpostavljena station established	ozn. code	zem. šir. latitude	zem.dol. longit.	n. viš. elev. [m]	litološka podlaga/lithology	sensor/ser. št. sensor type/Ser No	zajemalna naprava/ser. št. acquisition unit/Ser No	čas delovanja operational time	
		°N	°E					od/from	do/to
Velika Štanga 2020	VSTG	46,0428	14,7704	464	kremenov peščenjak quartz sandstone	LE-3D/5s /0768	PR6-24/ 4653	4. 9. 2020	☆☆
Lisca 2002	LISS	46,0674	15,2907	948	dolomit dolomite	CMG-40T/ T4B06	Q730/2000104	☆	☆☆
Ljubljana ARSO 2019	VJKL	46,0652	14,5131	298	glina, prod clay, gravel	CMG-40T/T4B11 FBA-23/26045	Q730/2000092	☆	☆☆
Ilirska Bistrica	ILBA	45,5638	14,2446	404	lapor, peščenjak marlstone, sandstone	FBA-23/ 26033 0.25g	EDR 209/6143	☆	1. 9. 2020
						TITAN (x)/2023 (2g)	CENTAUR(x)/ 7058	1. 9. 2020	☆☆
Postojna	POST	45,7756	14,2129	553	lapor, peščenjak marlstone, sandstone	EpiSensor/ 31186 2g	Etna/6353	☆	22. 5. 2020
Bovec	BOVC	46,3382	13,5543	455	prod, pesek gravel, sand	FBA-23 1g	Etna/811	☆	☆☆
Dolsko	DOLA	46,0938	14,6781	265	prod, pesek gravel, sand	FBA-23 1g	Etna/810	☆	☆☆
Drežnica	DRZN	46,2586	13,6126	544	lapor, peščenjak marlstone, sandstone	EpiSensor 2g	Etna/2134	☆	22. 9. 2020
							Etna/6354	22. 9. 2020	☆☆
DSO Tisje	DTSE	46,0251	14,8395	279	glina, prod clay, gravel	EpiSensor 2g	Etna/6349	☆	☆☆
Gotenica	GOTE	45,6095	14,7464	670	dolomit dolomite	FBA-23	Etna/1246	☆	☆☆
Kobarid	KOBR	46,2474	13,5786	234	konglomerat conglomerate	EpiSensor 2g	Etna/2133	☆	☆☆
Krško(NEK)	NEK0	45,9391	15,5185	156	prod, pesek gravel, sand	FBA-23 2g	Etna/1334	☆	☆☆
Lju - FGG	FAGG	46,0459	14,4944	295	prod, pesek, melj gravel, sand, silt	FBA-23 2g	Etna/6597	☆	☆☆

17 dopolnilnih potresnih opazovalnic. Začasni potresni opazovalnici VACE in VSTG sta bili postavljeni septembra 2020.

Mreža prenosnih potresnih opazovalnic južno od Postojne – »SLO Karst NFO«

ZRC SAZU je v letu 2020, kot vodilni partner v okviru projekta »Razvoj raziskovalne infrastrukture za mednarodno konkurenčnost slovenskega RRI prostora – RI-SI-EPOS« (Šebela, 2018), v sodelovanju z ARSO, na območju Postojna-Jelšane-Kozarišče, namestil 6 prenosnih potresnih opazovalnic (preglednica 3), ki tvorijo »Mrežo prenosnih potresnih opazovalnic južno od Postojne - (SLO Karst NFO)« (Šebela, 2020). Delovanje teh opazovalnic spremlja in preverja ARSO. Pri tem sta lokaciji POST in PVZP nehali delovati kot dopolnilni potresni opazovalnici (preglednica 2), ampak sta z menjavo opreme postali del »SLO Karst NFO« (preglednica 3).

Preglednica 3: Mreža prenosnih potresnih opazovalnic južno od Postojne – »(SLO Karst NFO)« v Sloveniji v letu 2020.

* - opazovalnica je delovala že prejšnje leto

** - delovanje opazovalnice se nadaljuje v prihodnjem letu

x - oprema je del projekta »Razvoj raziskovalne infrastrukture za mednarodno konkurenčnost slovenskega RRI prostora – RI-SI-EPOS« (Šebela, 2018).

Table 3: Network of portable seismic observatories south of Postojna - »RI-SI-EPOS« in Slovenia in 2020.

* - station has been in function in previous year

** - station continues to operate in 2021

x - is part of the project »Development of Research Infrastructure for the International Competitiveness of the Slovenian RDI area – RI-SI-EPOS« (Šebela, 2018).

opaz. vzpostavljena station established	ozn. code	zem. šir. latitude	zem.dol. longit.	n. viš. elev. [m]	litološka podlaga/lithology	sensor/ser. št. sensor type/Ser No	zajemalna naprava/ser. št. acquisition unit/Ser No	čas delovanja operational time	
		°N	°E					od/from	do/to
Postojna	POST	45,7756	14,2129	553	lapor, peščenjak marlstone, sandstone	EpiSensor 2g	Etna2(x)/103025	22.5.2020	24.7.2020
							Etna2(x)/103026	24.7.2020	☆☆
Jelšane	JLSP	45,5008	14,2734	509	apnenec limestone	EpiSensor 2g	Etna2(x)/103028	9.7.2020	☆☆
Muzej presihajočih jezer	MPJP	45,7011	14,2117	519	apnenec limestone	EpiSensor 2g	Etna2(x)/103024	15.7.2020	☆☆
Pivka, Muzej Vojaške zgodovine	PVZP	45.6685	14,1885	559	apnenec limestone	EpiSensor 2g	Etna2(x)/103027	15.7.2020	☆☆
Mašun	MASE	45,6290	14,3734	1043	apnenec limestone	EpiSensor 2g	Etna2(x)/103025	13.8.2020	☆☆
Grad Snežnik	GSNE	45,6829	14.4692	575	dolomit, apnenec dolomite, limestone	EpiSensor 2g	Etna2(x)/103029	26.8.2020	☆☆

Sklepne misli

V letu 2020 smo na ARSO skrbeli za nemoteno delovanje potresnih opazovalnic in pri svojem vsakodnevem delu uporabljali podatke 47-ih potresnih opazovalnic v Sloveniji.

Literatura

ARSO, 2020 Baza podatkov za potrese na ozemlju Slovenije. Arhiv ARSO, Ljubljana, 2020.

Vidrih, R., Sinčič, P., Tasič, I., Gosar, A., Godec, M., Živčič, M., 2006. Državna mreža potresnih opazovalnic. Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo, Ljubljana, 287 str.

Tasič, I., Mali, M., Pančur, L., Sinčič P., Pfundner, I., Uran B., Prosen, J., 2023. Delovanje državne mreže potresnih opazovalnic v letu 2020, Potresi v letu 2020.

Tasič, I., 2018. Seizmometer in pospeškometer – merilni par na potresni opazovalnici. Ujma 2018, 210–217.

Tasič, I., 2023. Funkcionalnost Potresnih Opazovalnic Ob Potresu v Zagrebu in Petrinji, Potresi v letu 2020.

Šebela, S., 2018. <https://www.zrc-sazu.si/sl/programi-in-projekti/ri-si-epos> (uporabljeno 30. 3. 2022)

Šebela S., Tasič I., Živčič M., Mali, M., Krebelj, M., Čeligoj Biščak, J., Pančur, L., Pahor, J., Čarman, M., Zupančič, P., Gosar, A., 2020. Mreža prenosnih potresnih opazovalnic južno od Postojne - „RI-SI-EPOS“.

https://www.zrc-sazu.si/sites/default/files/prenosne_potresne_opazovalnice_a3_format.pdf (uporabljeno 30. 3. 2022)



Delovanje državne mreže potresnih opazovalnic v letu 2020

Operation of the seismic network of the Republic of Slovenia in 2020

Povzetek

Z glavnimi parametri, ki so vplivali na zanesljivost delovanja Državne mreže potresnih opazovalnic (DMPO) v letu 2020, predstavlja mo povzetek analize delovanja ter pregled pomembnejših dogodkov in posodobitev. Podajamo število prekinitev komunikacije (izpadov) za posamezno potresno opazovalnico glede na trajanje prekinitve. Za najdaljši izpad na posamezni potresni opazovalnici smo opisali njegov vzrok. Podajamo tudi časovne intervale, znotraj katerih ni delovalo po več potresnih opazovalnic hkrati, ter vzroke za omenjeno nedelovanje. Na osnovi rezultatov analize poteka tudi razvoj in izvedba posodobitev, ki prispevajo k boljšemu in zanesljivejšemu delovanju DMPO.

Abstract

The results of analysis of operation of the Seismic Network of the Republic of Slovenia (SNRS) in 2020 are presented. The main upgrades, as well as the events that have influenced the operating quality of SNRS are also presented, along with parameters describing its reliability. The number and duration of out-of-operation periods (OOOP) for all seismic stations were evaluated. The analysis of causes of the longest OOOP for particular seismic station was made. Time intervals, when more seismic stations were out of service simultaneously, are identified. Based on the results of the analysis, improvements are being constantly implemented, contributing to better and more reliable operation of SNRS.

Uvod

Državno mrežo potresnih opazovalnic (DMPO) sestavlja 26 sodobno opremljenih digitalnih opazovalnic (slika 1, slika 2). Vsaka potresna opazovalnica je opremljena z zajemalno enoto in dolgo-periodnim seizmometrom ter s pospeškometrom. Tip seizmološke opreme na posamezni potresni opazovalnici, ki je bila nameščena v začetku leta 2020, je prikazan na sliki 1, na sliki 2 pa je prikazano stanje ob koncu leta 2020. Poleg seizmološke merilne opreme se na opazovalnicah nahaja še podporna oprema, ki jo lahko razdelimo v štiri sklope: komunikacijska oprema, oprema za zagotavljanje neprekinjene oskrbe z električno energijo, oprema za dodaten nadzor delovanja zajemalnih enot ter oprema za nadzor vdora vode in beleženje temperature ob seizmometru.

Glavna naloga Sektorja za potresna opazovanja na Uradu za seizmologijo je neprestano spremljanje delovanja vse opreme na DMPO in zagotavljanje optimalne kakovosti seizmoloških podatkov ter v največjem možnem obsegu preprečevanje njihove izgube. V ta namen na DMPO izvajamo različne analize, na osnovi katerih izboljšujemo njeno delovanje.

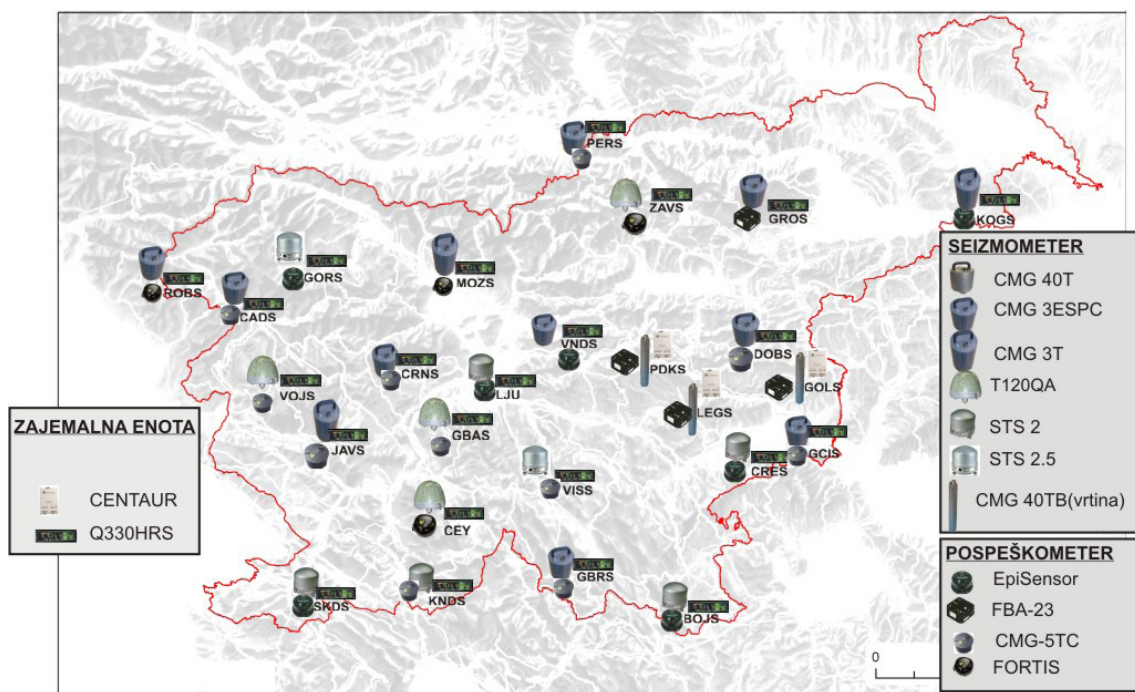
Vsi posegi na DMPO ter rezultati obsežne analize vseh pomembnih parametrov, ki vplivajo na kakovost delovanja DMPO, so podani v internem poročilu Sektorja za potresna opazovanja (SPO, 2020). Le-to obravnava naslednje parametre, ki opisujejo kakovost delovanja DMPO:

- Podroben opis vseh del in posodobitev, ki so bile izvedene na posamezni potresni opazovalnici.
- Število izpadov komunikacije posamezne potresne opazovalnice glede na trajanje izpada. Za daljše izpade (več kot 2 uri), ki niso bili posledica napake na komunikacijah, podajamo tudi njihove vzroke.
- Skupno trajanje izpadov posamezne potresne opazovalnice glede na določen časovni interval ter skupno trajanje izpadov posamezne potresne opazovalnice v določenem mesecu. Rezultati za posamezno opazovalnico so podani v obliki preglednic in grafov.
- Podroben opis izpadov, ki so povzročili izgubo podatkov.
- Število avtomatskih nastavitvev mirovne lege seizmometra (za opazovalnice, opremljene s tipom seizmometra, ki to funkcijo omogoča).
- Analiza nivoja celotnega seizmičnega nemira (predstavlja kombinacijo naravnih in umetnih seizmičnih izvorov) na posamezni potresni opazovalnici. Omenjena analiza je zelo pomembna zaradi ugotavljanja morebitnih okvar na seizmološki merilni opremini. Večina menjav seizmometrov oziroma pospeškometrov se izvede na osnovi te analize.
- Časovni potek mirovne lege seizmičnih senzorjev in napajalne napetosti na posamezni potresni opazovalnici.
- Časovni potek vrednosti temperature ob seizmometru.
- Analiza vdorov vode v jaške potresnih opazovalnic. Podajamo število vdorov vode in datume omenjenih dogodkov.

V tem prispevku podajamo le pomembnejše točke iz internega poročila (SPO, 2020). Glavne posodobitve, ki smo jih v letu 2020 izvedli na DMPO, pa so naslednje:

- Menjave seizmometrov: Seizmometer tipa Trillium 360 (Seizmometer Trillium T360 je del projekta »razvoj raziskovalne infrastrukture za mednarodno konkurenčnost slovenskega RRI prostora – RI-SI-EPOS«) smo namestili na potresno opazovalnico BOJS. Na potresni opazovalnici DOBS smo delno okvarjen seizmometer nadomestili z enakim tipom (CMG-3ESPC). Na KNDS smo seizmometer STS-2 zamenjali z drugim STS-2 seizmometrom. Na MOZS smo namestili seizmometer tipa STS-2. Na SKDS smo namestili seizmometer tipa STS-2.5. Na ostalih potresnih opazovalnicah smo redno spremljali pravilnost delovanja merilne opreme.
- Menjave pospeškometrov: Na potresni opazovalnici GROS smo namestili pospeškometer tipa FBA-23. Na LEGS smo namestili pospeškometer tipa Fortis.
- Menjave zajemalnih enot: Na potresni opazovalnici GBAS smo zajemalno enoto Q330HRS, zaradi okvare zamenjali z istim tipom zajemalne enote. Na potresni opazovalnici LEGS smo zajemalno enoto Centaur zamenjali z Q330HRS.
- Vzdrževanje nadzornih sistemov: V letu 2020 smo izvajali kontrolo omenjenega sistema – na nekaterih opazovalnicah smo zamenjali ArduinoUno kontroler, na nekaterih pa le temperaturno sondo oziroma plovec.
- Vzdrževanje napajalnih sistemov: menjava AKU polnilca (KNDS).

- Vzdrževanje jaškov in sidranje betonske podlage (seismic pier): Betonsko podlago smo sidrali (s tremi sidri dolžine 40 cm) na potresni opazovalnici KNDS. Ponovno tesnjenje (s silikonom) in barvanje obodov jaškov smo izvedli na potresnih opazovalnicah CRNS, GBAS, MOZS, SKDS in VNDS.



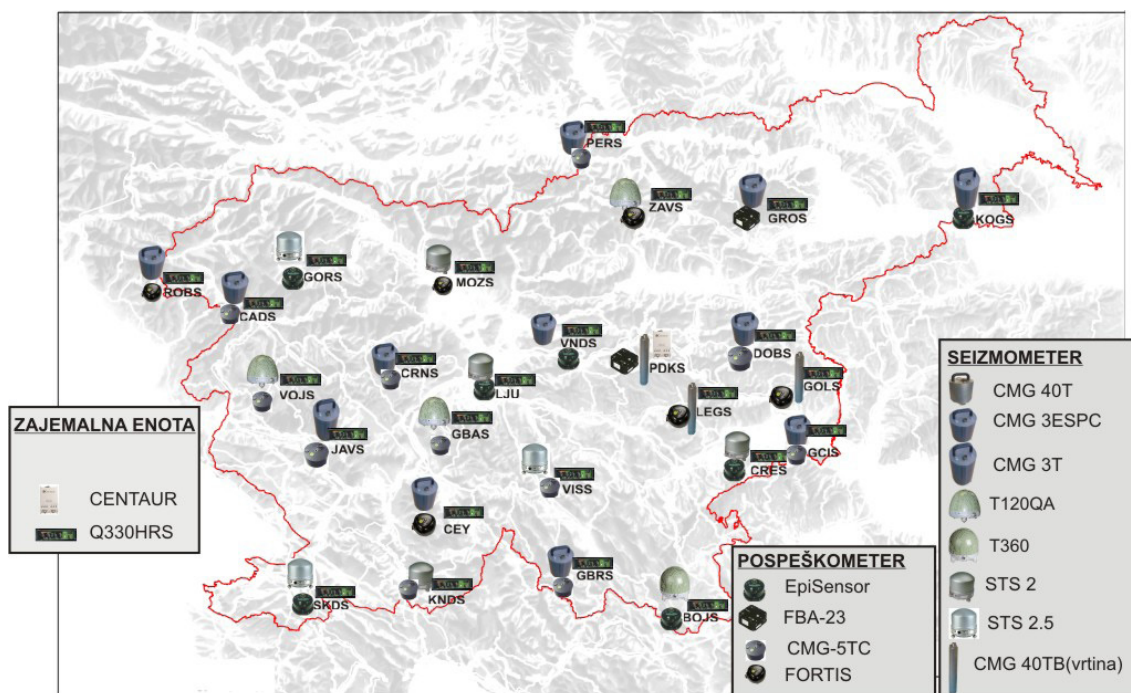
Slika 1. Državna mreža potresnih opazovalnic na začetku leta 2020. Prikazana je razporeditev različnih tipov seizmometrov, pospeškometrov in zajemalnih enot po posameznih potresnih opazovalnicah.

Figure 1. Seismic network of Slovenia (seizmometer = seismometer, pospeškometer = accelerometer; zajemalna enota = digitizer) in the beginning of the year 2020.

Delovanje DMPO v letu 2020

V letu 2020 je bila celotna DMPO opremljena z zajemalnimi enotami Q330HRS, z izjemo PDKS, kjer je bila nameščena zajemalna enota Centaur. Oba tipa zajemalnih enot dodatno nudita tudi hranjenje podatkov v primeru izpada komunikacij. Z dvojnim hranjenjem podatkov na lokaciji potresne opazovalnice (zajemalna enota + dodatna enota JetBox oziroma Raspberry Pi) do izgube podatkov zaradi daljše prekinitve komunikacije praktično ne more več priti.

Do trajne izgube seizmičnih podatkov še vedno lahko pride zaradi daljše prekinitve napajanja potresne opazovalnice z električno energijo. Z nadgraditvijo napajalnih sistemov (Mali in drugi, 2008) in ločenim napajanjem komunikacijske opreme in zunanjih pomnilniških enot je avtonomija delovanja seizmološke opreme najmanj en teden. Avtonomija delovanja komunikacijske opreme pa je najmanj en dan.



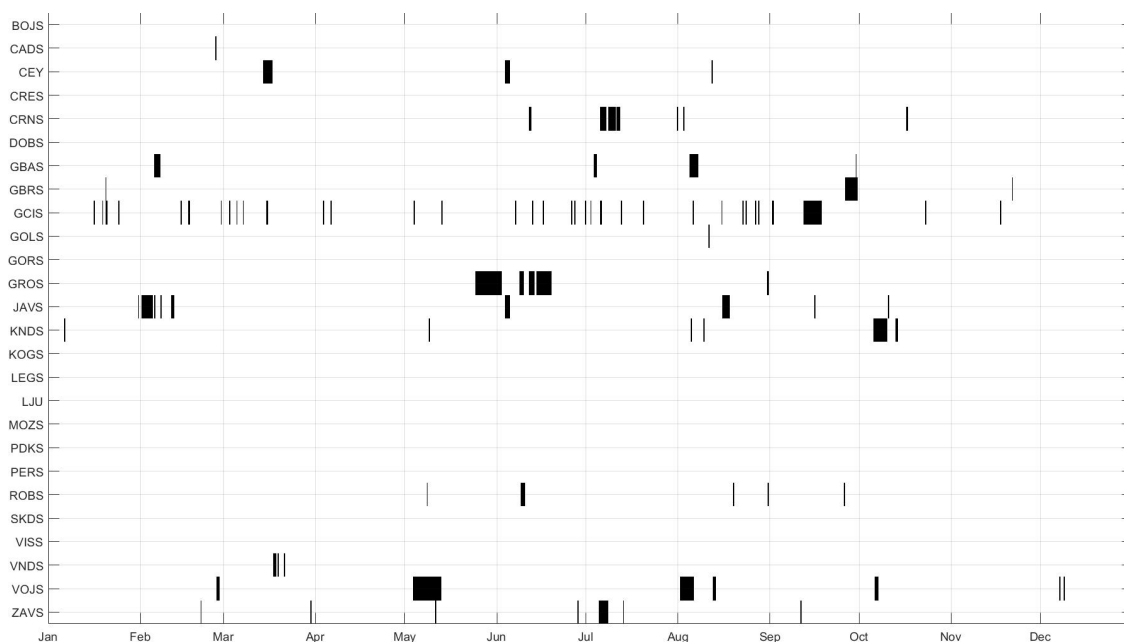
Slika 2. Državna mreža potresnih opazovalnic ob koncu leta 2020. Prikazana je razporeditev različnih tipov seizmometrov, pospeškometrov in zajemalnih enot po posameznih potresnih opazovalnicah.

Figure 2. Seismic network of Slovenia (seizmometer = seismometer, pospeškometer = accelerometer; zajemalna enota = digitizer) in the end of the year 2020.

V letu 2020 je bilo 21 potresnih opazovalnic opremljenih z nadzornim sistemom (Mali, 2014), temperature ob seizmometru in v obeh jaških preverja potencialni vdor vode ter v primeru odstopanja parametrov od mejnih vrednosti o tem obvesti dežurnega instrumentalista.

Na slikah 3 in 4 je prikazan pregled delovanja DMPO v letu 2020, kjer črna barva predstavlja nedelovanje oziroma izpad potresne opazovalnice. Pregled vseh izpadov ter opis najdaljših izpadov za posamezno potresno opazovalnico so podani v preglednicah 1 in 2. Večina daljših izpadov, ki so posledica izpada na komunikacijskih poteh, ne predstavlja več trajne izgube podatkov, ampak le nezmožnost analize morebitnega seizmičnega dogodka v realnem času.

Na sliki 5 je prikazano skupno trajanje izpadov glede na število sočasno nedelujočih opazovalnic. Posamezna vrednost predstavlja skupno trajanje vseh sočasnih izpadov določenega števila opazovalnic. Stolpci se med seboj izključujejo. Skupno trajanje izpadov v posameznem stolpcu sestavlja več izpadov v katere je bilo vključeno enako število potresnih opazovalnic. Postopek samodejnega lociranja potresa vsebuje ocenjevanje številnih neznank, zato potrebuje podatke čim večjega števila potresnih opazovalnic. Če v trenutku potresa pride do izpada večjega števila potresnih opazovalnic, je določitev potresnih parametrov otežena oziroma manj natančna. Pregled sočasnih izpadov je podan v preglednici 3.



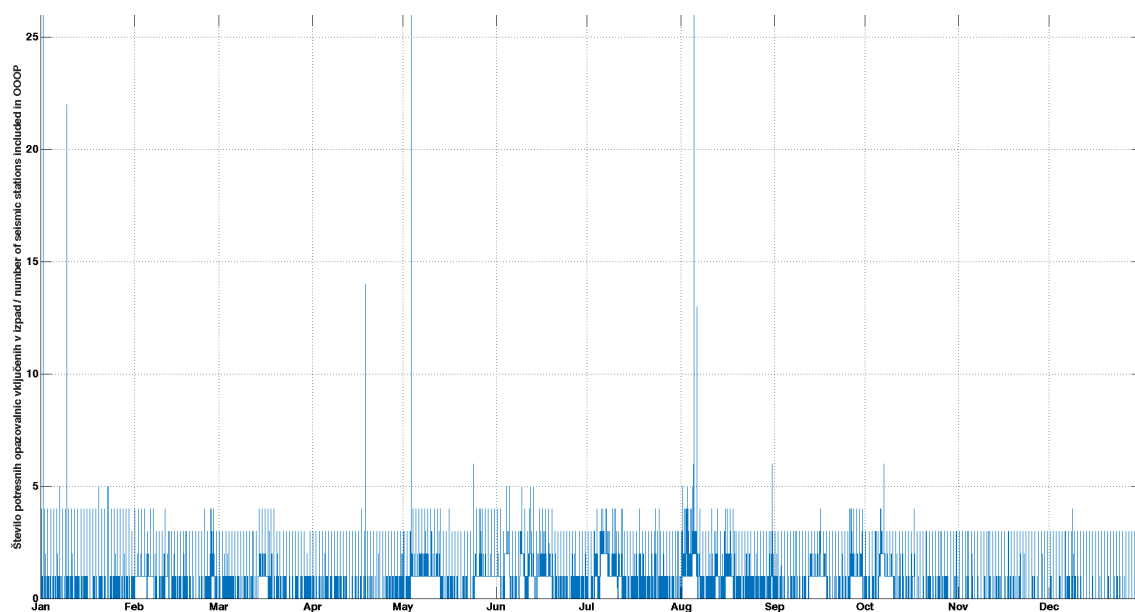
Slika 3: Pregled delovanja DMPO v letu 2020. Izpadi so označeni s črno barvo. Ločljivost slike omogoča, da so vidni le izpadi, daljši od treh ur.

Figure 3: An overview of out-of-operation periods (black lines) for Seismic network of Slovenia in the year 2020. Due to the resolution, only out-of operation periods longer than three hours are shown.

Zaključek

Predstavili smo povzetek analize delovanja DMPO v letu 2020 in najpomembnejše izvedene posodobitve. Ugotovili smo, da se izpadi (prekinitev v komunikaciji s posamezno potresno opazovalnico) pojavljajo neprestano. Medtem, ko je vzrok krajših izpadov vedno neka prekinitev na komunikacijah, pa so vzroki daljših izpadov raznovrstni in jih v grobem lahko delimo v tri skupine. V prvi skupini so problemi z napajanjem z električno energijo, v drugo skupino sodijo izpadi, ki so povezani s komunikacijsko potjo in opremo, v tretjo skupino pa uvrščamo okvare na seizmološki opremi (na seizmometrih ali zajemalnih enotah). S podpornimi sistemi, ki jih razvijamo in dopolnjujemo ter z rednimi posodobitvami in testiranjem seizmološke merilne opreme, zmanjšujemo število in dolžino izpadov zaradi vseh naštetih vzrokov. V letu 2020 smo skupno zabeležili 8815 izpadov od tega 61 daljših od dveh ur (v letu 2019 je bilo zabeleženih 17048 izpadov od tega 108 daljših od dveh ur).

Podali smo tudi analizo izpadov več potresnih opazovalnic hkrati. V letu 2020 smo imeli tri izpade, v katere je bila vključena celotna DMPO, in en izpad, v katerega je bilo vključenih 22 potresnih opazovalnic. Vsi štiri izpadi so bili krajši od petih minut in so bili posledica krajšega izpada komunikacij. Posebno pozornost smo namenili predvsem tako imenovanim kritičnim izpadom, pri katerih več kot 75 % potresnih opazovalnic (20 ali več) izpade za več kot 5 minut. Ugotovili smo, da v letu 2020 do tovrstnih izpadov ni prišlo, v letu pred njim (2019) pa jih je bilo sedem.



Slika 4: Pregled delovanja DMPO v letu 2020. Izpadi so označeni z modro barvo. Na ordinatni osi je podano število opazovalnic, ki so sočasno vključene v izpad.

Figure 4: An overview of out-of-operation periods (black lines) for Seismic network of Slovenia in the year 2020.

Rezultati analiz delovanja opreme so nam v veliko pomoč pri nadaljnjem delu. Na njihovi osnovi vsakoletno izluščimo najpogostejše napake, ki povzročijo posamezen izpad oziroma so vzrok za slabšo kvaliteto zajetih seizmičnih signalov. S pomočjo teh spoznanj izboljšujemo opremo in postopke na mreži potresnih opazovalnic in tako izboljšujemo njeno delovanje ter preprečujemo morebitno škodo.

Preglednica 1: Skupni podatki o številu izpadov in njihovem trajanju za DMPO v letu 2020.

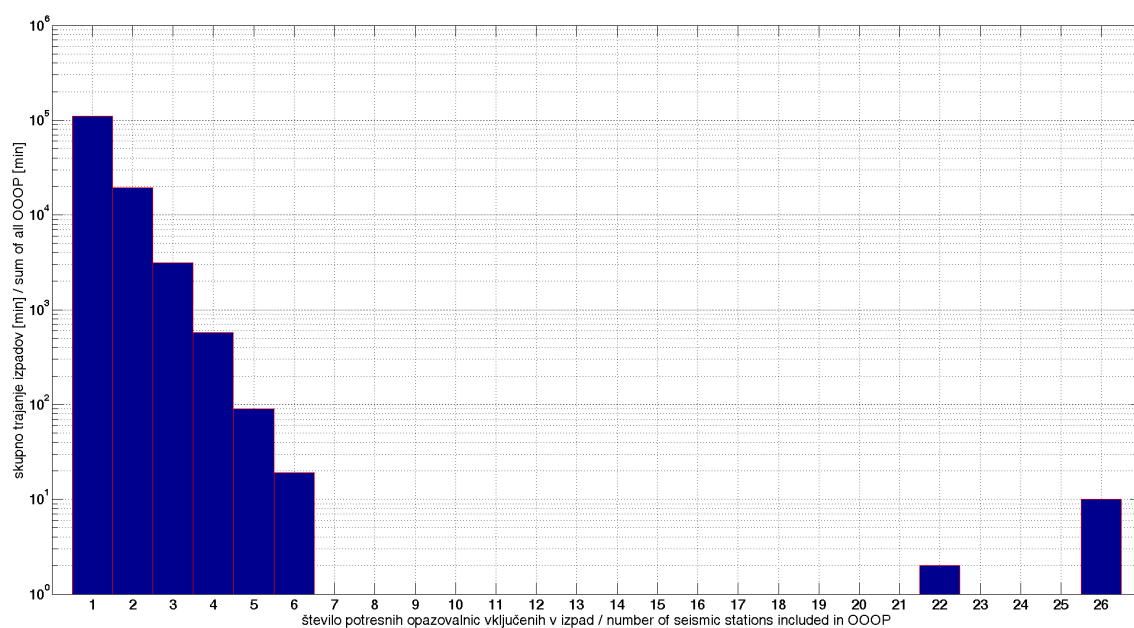
Table 1: An overview of the out-of-operation periods (OOOP) for Seismic Network of the Republic of Slovenia in the year 2020.

oznaka opazovalnice	število vseh izpadov	skupno trajanje vseh izpadov	število izpadov daljših od dveh ur
station code	total number of OOOP	total duration of OOOP	number of OOOP > 2h
BOJS	10	0h 17m 41s	0
CADS	140	8h 13m 40s	0
CEY	53	5d 5h 38m 18s	2
CRES	12	0h 49m 6s	0
CRNS	138	9d 2h 4m 0s	7
DOBS	10	0h 50m 13s	0
GBAS	454	6d 9h 42m 37s	9
GBRS	63	4d 9h 29m 49s	2
GCIS	3759	20d 2h 33m 6s	9
GOLS	401	1d 4h 7m 8s	3
GORS	132	7h 25m 48s	0
GROS	70	17d 2h 37m 41s	5
JAVS	333	10d 7h 50m 57s	6
KNDS	1453	7d 15h 2m 33s	4
KOGS	11	0h 25m 2s	0
LEGS	202	4h 24m 20s	0
LJU	18	1h 13m 11s	0
MOZS	58	6h 2m 28s	1
PKDS	18	1h 9m 50s	0
PERS	213	2h 27m 49s	0
ROBS	139	2d 3h 40m 20s	1
SKDS	20	0h 42m 9s	0
VISS	49	2h 17m 43s	0
VNDS	253	23h 24m 41s	4
VOJS	113	18d 13h 22m 50s	6
ZAVS	693	5d 1h 41m 55s	2
Σ	8815		61

Preglednica 2: Pregled najdaljših izpadov za posamezno potresno opazovalnico DMPO v letu 2020 in razlogi zanje.

Table 2: An overview and causes for the longest OOP's for each station of the Seismic Network of the Republic of Slovenia in the year 2020.

oznaka opazovalnice	nastop najdaljšega izpada datum/ura.min	trajanje najdaljšega izpada	vzrok
station code	date/time of the longest OOP date/hh.min	duration of the longest OOP	cause
BOJS	8. 4. /7.32	0h 3m	izpad na komunikacijah
CADS	7. 8. /22.00	1h 12m	izpad na komunikacijah
CEY	3. 13. /0.28	3d 8h 53m	izpad na komunikacijah
CRES	4. 29. /9.04	0h 22m	izpad na komunikacijah
CRNS	7. 7. /8.36	2d 15h 55m	izpad na komunikacijah
DOBS	11. 4. /9.39	0h 13m	izpad na komunikacijah
GBAS	2. 5. /9.39	2d 3h 28m	okvara komunikacijskih vodov
GBRS	9. 25. /4.04	4d 3h 37m	okvara krona zaščite zaradi udara strele
GCIS	9. 11. /7.55	5d 23h 53m	okvara usmerjevalnika
GOLS	8. 28. /22.01	2h 1m	izpad na komunikacijah
GORS	10. 11. /16.40	0h 25m	izpad na komunikacijah
GROS	5. 23. /15.19	8d 17h 57m	napaka na komunikacijski opremi
JAVS	2. 1. /6.07	3d 20h 23m	okvara modema
KNDS	10. 4. /12.46	4d 19h 15m	izpad napajanja – izklopljeno FID stikalo
KOGS	6. 14. /15.19	0h 4m	izpad na komunikacijah
LEGS	11. 24. /9.18	1h 19m	izpad na komunikacijah
LJU	1. 23. /7.29	0h 35m	izpad na komunikacijah
MOZS	3. 11. /8.48	2h 44m	izpad na komunikacijah
PDKS	4. 24. /17.45	0h 30m	izpad na komunikacijah
PERS	6. 14. /14.44	0h 7m	izpad na komunikacijah
ROBS	6. 7. /19.58	1d 12h 45m	okvara usmerjevalnika
SKDS	8. 25. /9.16	0h 5m	izpad na komunikacijah
VISS	7. 22. /16.02	0h 10m	izpad na komunikacijah
VNDS	3. 17. /3.16	3h 10m	izpad na komunikacijah
VOJS	5. 2. /12.27	9d 21h 14m	udar strele – menjava komunikacijske opreme
ZAVS	7. 4. /7.01	3d 3h 0m	napaka na usmerjevalniku



Slika 5. Skupno trajanje izpadov več potresnih opazovalnic hkrati (leto 2020).

Figure 5. Total duration of OOP's that occurred at several seismic stations simultaneously in 2020.

Preglednica 3: Število izpadov po dolžini in številu sočasno izpadlih potresnih opazovalnic.

Table 3: An overview of simultaneous OOP's for Seismic Network of the Republic of Slovenia.

Število opaz./ no. of stations	dolžina trajanja izpadov / length of downtime						
	0–5 min	5–15 min	15–30 min	30–45 min	45–60 min	60–120 min	> 120 min
2	1874	284	50	25	14	33	27
3	774	68	9	1	3	3	0
4	163	5	1	0	0	0	0
5	30	3	0	0	0	0	0
6	9	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0

število opaz./ no. of stations	dolžina trajanja izpadov / length of downtime						
	0–5 min	5–15 min	15–30 min	30–45 min	45–60 min	60–120 min	> 120 min
16	0	0	0	0	0	0	0
17	0	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0
22	1	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0
26	3	0	0	0	0	0	0

Literatura

Mali, M., 2014. Nadzorni sistem za kontrolo nivoja vode in stabilnosti temperature, Potresi v letu 2013. Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo, Ljubljana.

Mali, M., Tasič, I., Pančur. L., 2008. Vpliv brezprekinitvenega napajanja na delovanje potresne opazovalnice. Potresi v letu 2007. Agencija za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo, Ljubljana.

SPO, 2020. Državna mreža potresnih opazovalnic, delovanje v letu 2020. Interno poročilo. Agencija za okolje, Urad za seizmologijo. Ljubljana.



Vpliv betonskega podstavka na seizmične meritve na potresni opazovalnici Knežji Dol (KNDS)

Impact of the Seismic Pier to Seismic Measurements at Seismic Station „KNDS“

Povzetek

Na potresni opazovalnici Knežji Dol (KNDS) smo poleti 2020 začeli opazovati občasne signale na seizmičnih zapisih, ki niso bili reprezentativni za to lokacijo. Ker se tudi po menjavi vseh ključnih elementov seizmološke opreme (napajalnik, seizmometer ..) ter ostalih ustaljenih ukrepih pojavnost motenj ni zaznavno spremenila, je padel sum na betonski podstavek za seizmometre, četudi motnje niso bile izražene tako kot na potresni opazovalnici Črni Vrh (CRNS). Presenečeni smo ugotovili, da je betonski podstavek za seizmometer vzdignjen od betonske podlage dna za slab centimeter in da spektri nihanja tal kažejo na to, da že od začetka delovanja ni bil vpet v osnovno podlago lokacije. Podstavek smo sanirali z vijačenjem le tega preko sider v osnovno betonsko dno.

Abstract

In the summer of 2020, we began to observe occasional signals on seismic records at KNDS seismic station that were not representative for this site. Even after the replacement of all key elements of seismic equipment (power supply, seismometer, ..) and other established measures, the incidence of disturbances did not change notably. Concrete seismic pier was suspected for the disturbances, even though they were not expressed in a way as they were at the CRNS seismic station (Tasič and Mali 2012). Surprisingly we found out that the concrete base for the seismometer was raised from the concrete base of the bottom by a centimeter and that the power spectral densities (PSDs) indicate that it has not been attached to the base of the site from the very beginning of operation. The base was repaired by screwing it over the anchors into the concrete base of the bottom.

Uvod

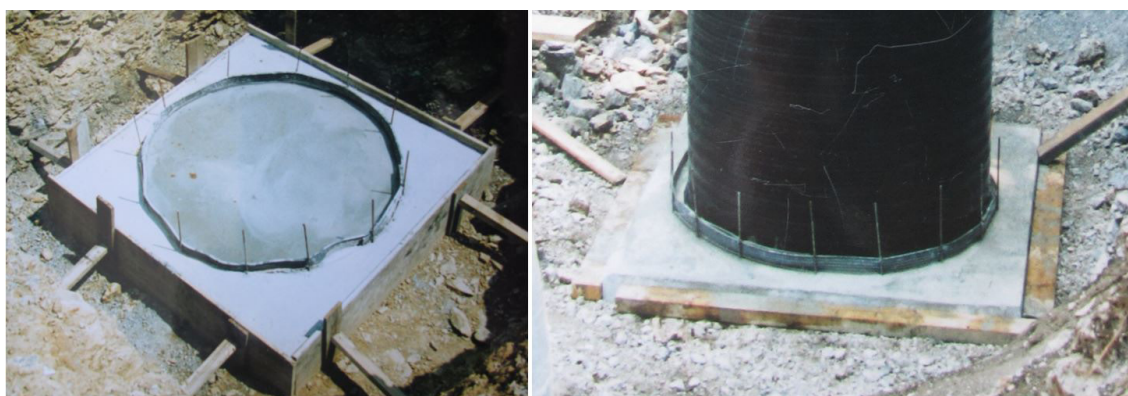
Poleti 2020 smo začeli opazovati občasne signale na seizmičnih zapisih potresne opazovalnice KNDS, predvsem na vodoravnih komponentah, ki niso bili reprezentativni za to lokacijo. Odkrivanje izvora netipičnih občasnih signalov, ki jih opazimo na seizmičnem zapisu, je bistveno težje od odkrivanja izvora konstantnih motenj, saj je po vsakem ukrepu, ki bi lahko vplival na zmanjšanje oziroma odstranitev take motnje, treba počakati določen čas, preden se lahko oceni uspešnost ukrepanja. Da bi tako odkrili izvor občasnih netipičnih signalov na opazovalnici KNDS, smo na tej lokaciji v nekajmesečnem obdobju parcialno izvajali razne dejavnosti, med drugim smo zamenjali napajalnik, seizmometer, itd. Ker nobed od ukrepov ni opazno spremenil pojavnosti občasnih

motenj, smo preverili še betonski podstavek za seizmometre (ang: seismic pier), četudi motnje niso bile izražene tako kot na opazovalnici CRNS (Tasič in Mali, 2012).

Kako je na lokacijah državne mreže potresnih opazovalnic (DMPO) narejen betonski podstavek za seizmometre

Ko smo leta 2012 in 2013 iskali vzroke za nenavadne signale na lokaciji CRNS, smo od oseb, ki so leta 2000 sodelovale pri načrtovanju in gradnji potresnih opazovalnic (IBE d.o., nadzornik) dobili naslednje informacije o izgradnji betonskega podstavka za seizmometre:

- Betonski podstavki oziroma podstavki za seizmometre so na 18 potresnih opazovalnicah DMPO, kjer ni vrtine, narejeni po istem načrtu.
- Betonski podstavek za seizmometer je na betonsko podlago (betonska tla) vlit potem, ko so na seizmološkem jašku končana ostala gradbena dela: že položeni temelji, na notranji strani temeljev vlita betonska podlaga (slika 1 levo), nanjo postavljena PEHD (ang: polietilen high density) konstrukcija črne barve (slika 1 desno), ki je obdana z gradbeno železno mrežo in oblita z betonom. PEHD konstrukcija je oblikovana tako, da istočasno tvori tudi okvir za betonski podstavek, ki je preko toroidno oblikovane PEHD plošče na dnu povezan z večjo navpično PEHD cevjo (valj v valju, oba valja pa sta na dnu povezana). Zgornji del velikega osnovnega PEHD valja se zadnjih 80 cm nadaljuje z ožjim valjem, ki je preko ekscentrične toroidne PEHD ploskve (streha) povezan z večjim. Notranjost seizmičnega jaška je zato cela v PEHD materialu, vključno z streho, razen betonskega podstavka za seizmometre in samega vhoda (bolj podrobno v Vidrih in drugi, 2006).
- Betonska podlaga, debelina le te ni znana, na lokacijah brez vrtine ni armirana, ni sidrana v tla in ni znano, ali je v tla temeljena.
- Beton za betonski podstavek za seizmometre je bil nalit na betonsko podlago, ki je bila pred tem premazana z »betonskim lepilom«, stik ni ojačan (npr. ni železne povezave). Kalup za be-



Slika 1: Gradbena dela na potresni opazovalnici: temelji in betonska podlaga (slika levo) ter (zunanja) PEHD konstrukcija na betonski podlagi (slika desno).

Figure 1: Construction works on the seismic station: foundations and concrete base (Left figure) and (external) PEHD construction on concrete base (Right figure).

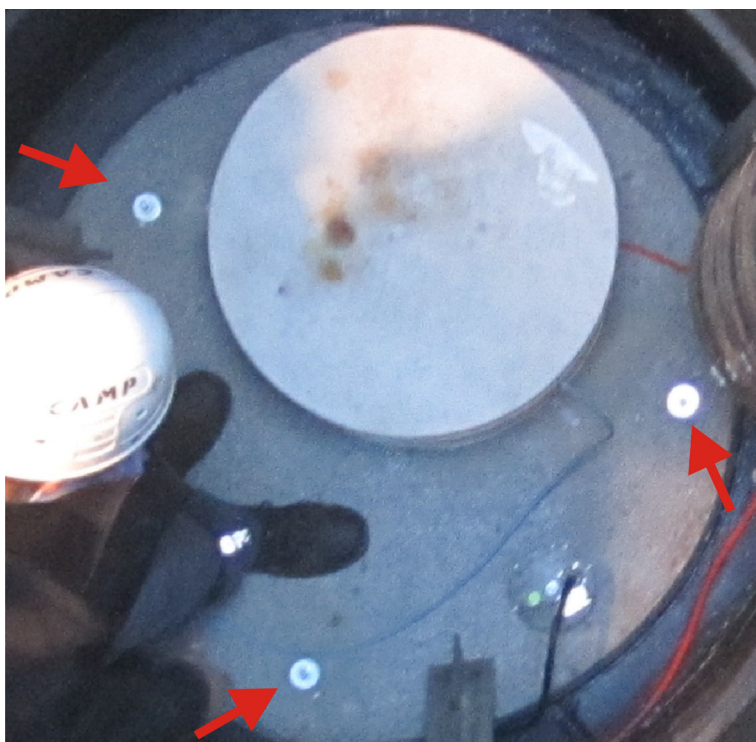
tonski podstavek za seizmometre je del PEHD konstrukcije (PEHD valj višine cca 14 cm), ki je z zunanjim, osnovnim PEHD valjem, povezan tudi z PEHD materialom in zato ostane (objema betonski podstavek) tudi po strditvi betona. Betonski podstavek za seizmometre ni armiran.

- Med betonskim podstavkom in betonsko podlago lahko pride do popustitve šibke vezave (lepi-la) oziroma se ne sprime z podlago, če površina na betonski podlagi ni bila pravilno pripravljena (npr. zelo čista); - (črna) PEHD konstrukcija (povezava med zunanjim in notranjim valjem) lahko ob robu betonskega podstavka za seizmometre sega delno (cm ali več, podatek ni znan) pod betonski podstavek.

Opis intervencije 6. 11. 2020 na potresni opazovalnici KNDS

Na potresni opazovalnici KNDS smo 6. 11. 2020 trikrat prevrtali betonski podstavek pri čemer so bile luknje enakomerno oddaljene druga od druge (slika 2) in so segale v betonsko dno. Pri vrtanju je sveder v globini, kjer se predvidoma konča betonski podstavek in začne betonsko dno (za razlago glej poglavje Kako je narejen betonski podstavek), naletel na območje, kjer je »padel skozi« do naslednje trše podlage (med dvema betonskima mejama je bil zračni žep ali vodni žep).

Nato smo ugotovili, da z nihanjem (nagibanjem) telesa, ko stojimo na betonskem podstavku, dosežemo, da iz izvrtanih lukenj slišimo pljuskanje vode. To je pomenilo samo eno: betonska



Slika 2: Poseg 6.11.2020: »privijačen« podstavek (rdeče puščice).

Figure 2: Intervention on 06/11/2020: "screwed" base (red arrows).

podlaga niha pod našimi nogami!

Iz izvrtane luknje smo izsesali med 10 in 14 litrov vode. Iz tega podatka lahko ocenimo, da je betonski podstavek »plaval« na vodni blazini višine približno 1 cm. Glede na zvok pljuskanja lahko sklepamo, da voda ni segala do samega betonskega podstavka (prostor med betonskim podstavkom in dnom ni bil zapolnjen samo z vodo), vendar se je lahko nahajala tudi pod dnom PEHD konstrukcije.

V luknje smo vstavili kovinske vložke in betonski podstavek »privijačili«.

Pri tem se pojavijo naslednja vprašanja: Kdaj v času delovanja potresne opazovalnice je prišlo do odstopanja betonskega podstavka od betonskega dna?, Zakaj je kar za nekaj milimetrov betonski podstavek vzdignjen nad betonsko dno?, Kako uspešen je bil poseg dne 6. novembra 2020? (Ali še vedno ostaja reža?)

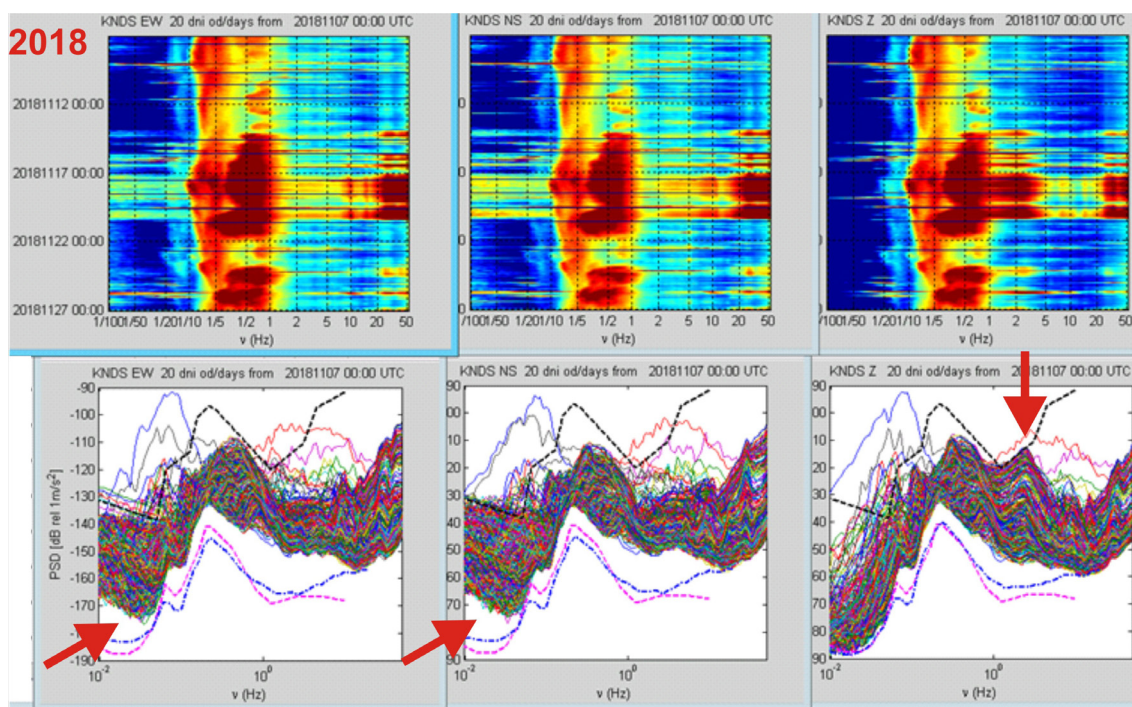
Kdaj je v času delovanja potresne opazovalnice KNDS prišlo do odstopanja betonskega podstavka od betonskega dna?

Izkaže se, da je od vseh zgoraj zastavljenih vprašanj najlažje odgovoriti ravno na prvo. Pri nihanju betonskega podstavka smo nezavedno, da bi dobili čim večji učinek pljuskanja vode v vrtini, nihali betonski podstavek v njegovi resonančni frekvenci, za katero ocenjujemo, da je nekje med 2 Hz in 3 Hz. Slike 3, 4 in 5 prikazujejo enourne spektre (PSD - Power Spectral Density) za časovno obdobje 20 dni iz 2018, 2019 in 2020, vsi se začnejo s 7. novembrom. V tem obdobju je na lokaciji KNDS vedno nekaj dni pihala burja. Zelo močno izstopajoč signal pri okrog 2,3 Hz, viden na slikah 3 in 4 (v letih 2018 in 2019), ni več prisoten na sliki 5 (leto 2020). Signal pri tej frekvenci, v nadaljevanju bomo zanjo uporabili izraz "resonančna frekvenca", ki je izginil po intervenciji 6. 11. 2020, bo tudi indikator za odgovor na zgoraj zastavljeno vprašanje. Iz primerjav slik 3 in 4 glede na sliko 5 lahko tudi ocenimo, da je betonski podstavek, ki ni bil pritrjen, vplival tudi na povečan šum na dolgih periodah vodoravnih komponent.

Leta 2011 smo seizmometer CMG 40T (z maso 7 kg) zamenjali s STS-2 (z maso 13 kg). Na sliki 6 so spektri PSD za navpično komponento za leta 2009, 2010, 2012 in 2013. Pred menjavo širokopasovnega seizmometra so bile največje amplitude nihanj tal pri "resonančni frekvenci" za 13 dB večje kot po menjavi, kar bi se lahko razložilo z nekoliko večjo težo betonskega podstavka zaradi težjega seizmometra, saj imata pri "resonančni frekvenci" oba tipa seizmometrov ravno prenosno funkcijo.

Tudi ko kontroliramo še bolj pretekle spektre, je na navpični komponenti vedno opazen vpliv resonance. Na sliki 7 je enourni spekter PSD navpične komponente 15. 10. 2003 z začetkom ob 12 uri. Ta dan je na lokaciji burja in je tudi vidna ista "resonančna frekvenca" pri 2,3 Hz. Opazovalnica je začela delovati 14. 10. 2003.

Odgovor na vprašanje »Kdaj je v času delovanja potresne opazovalnice KNDS prišlo do odstopanja betonskega podstavka (Seismic pier) od betonskega dna?« se torej glasi: pri vzpostavitvi delovanja potresne opazovalnice KNDS oktobra 2003 je bil betonski podstavek že fizično ločen



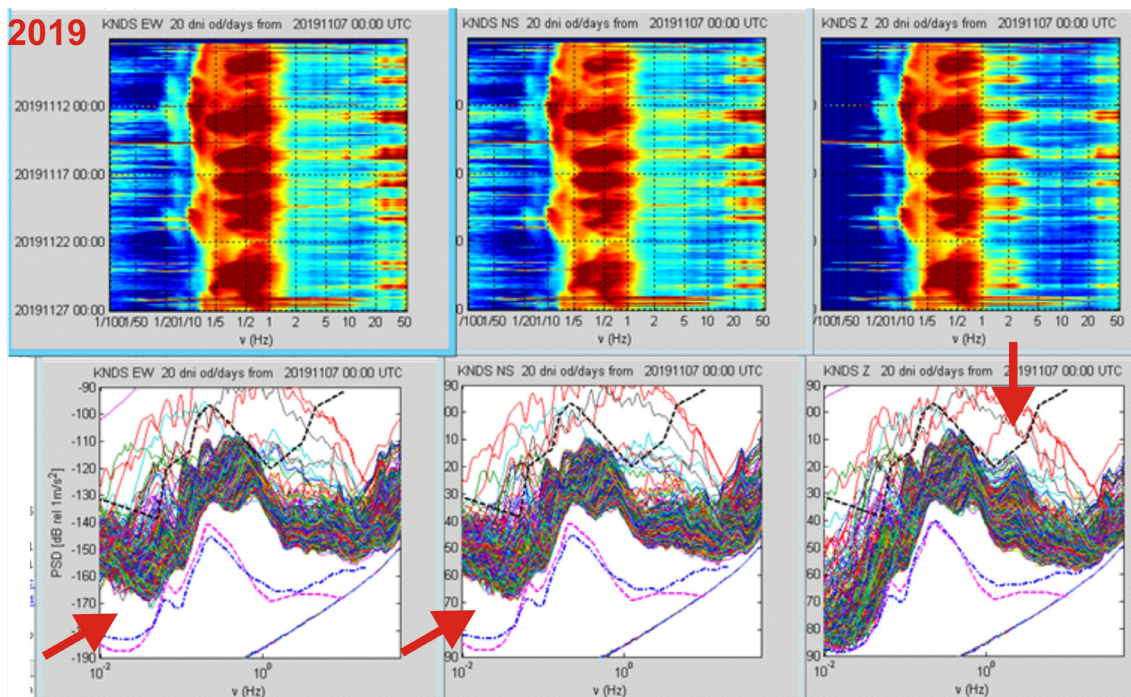
Slika 3: Leto 2018, enourni spektri PSD za obdobje med 7. 11. 2018 in 26. 11. 2018. Puščice: povečan dolgo-periodni šum na vodoravnih komponentah; povečan signal med 1 in 7 Hz na navpični komponenti.

Figure 3: Year 2018, 1 hour PSDs for the period between 7/11/2018 and 26/11/2018. Arrows: increased long-period noise on horizontal components; increased signal between 1 and 7Hz on the vertical component.

in dvignjen od betonskega dna (ni bil pritrjen). Kdaj se je ločil od podlage? Tega verjetno ne bomo nikoli zvedeli, ker nimamo nobenih meritev, a najverjetneje kmalu po strditvi betona.

Zakaj je bil (na lokaciji KNDS) betonski podstavek vzdignjen nad betonsko podlago kar za nekaj milimetrov?

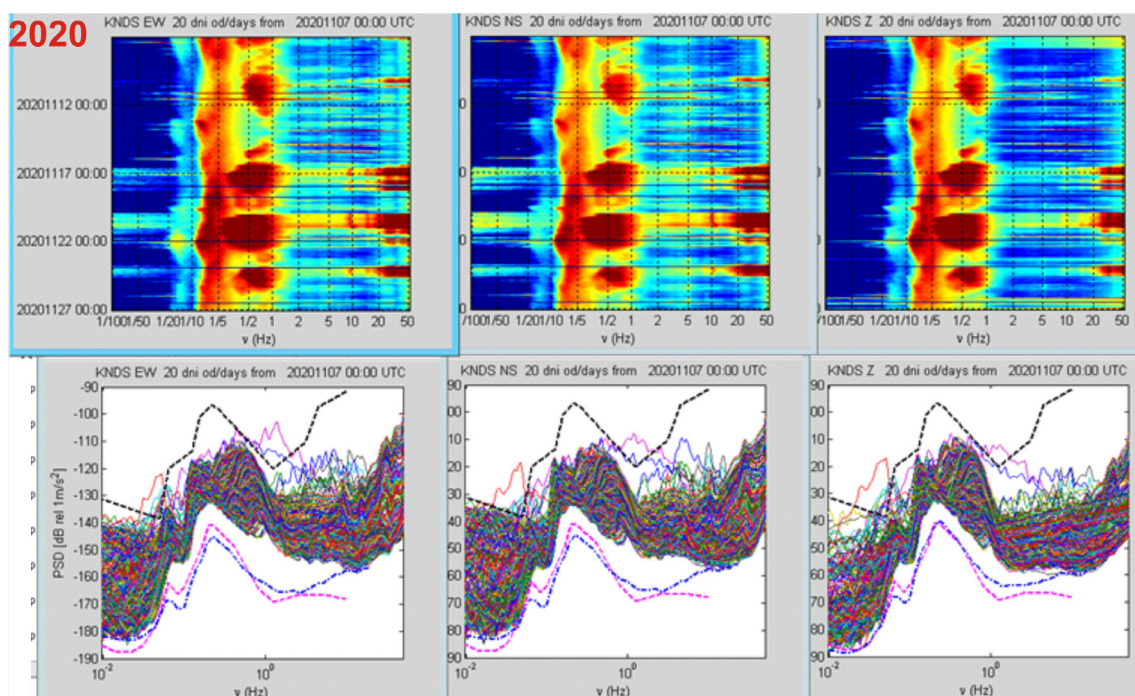
Po pregledu PSD-jev z opazovalnice KNDS pred in po posegu je najbolj verjetno, da se je betonski podstavek dvignil nad betonsko podlago zaradi skrčenja PEHD materiala kot posledica razlik v temperaturi materiala med postavitvijo le tega (na soncu pregret PEHD material) in kasnejšo stabilno temperaturo PEHD materiala na dnu jaška. Lahko, da pri tem igra določeno vlogo tudi dolžina cevi, saj jašek na lokaciji KNDS spada med globlje jaške. Temperaturni koeficient dolžinskega raztezka za material PEHD je približno 20-krat večji kot za beton (Engineeringtoolbox, 2022). Zaradi izpostavljenosti temperaturni razliki, od temperature PEHD jaška med postopkom vgradnje, do temperature PEHD materiala v stabilnem okolju, se je PEHD material (obe cevi) na dnu jaška skrčil. PEHD kalup je zaradi skrčitve »močnejše objel« betonski podstavek, ki pa ni dopustil bistvene skrčitve kalupa. Če bi bil PEHD kalup samostojen, tak »objem« ne bi igral nobene vloge. Je pa kalup preko osnovne PEHD ploskve v obliki (pravokotnega) toroida na dnu jaška povezan z zunanjo radialno PEHD konstrukcijo. Če je bila razlika v temperaturi 20 stopinj (ob poletnem



Slika 4: Leto 2019, enourni spektri PSD za obdobje med 7. 11. 2019 in 26. 11. 2019. Puščice: enako kot slika 3.

Figure 4: Year 2019, 1 hour PSDs for the period between 7/11/2019 and 26/11/2019. Arrows: same as Figure 3.

sončnem dnevu tik pred vgradnjo je bila temperatura materiala okrog 32°C , zakopana cev pa je imela na koncu na dnu jaška temperaturo okrog 12°C , se je premer samostojnega zunanega dela radialne PEHD konstrukcije zmanjšal za 3 mm, a na dnu betonskega jaška je to skrčitev preprečil betonski podstavek, ki je bil preko PEHD elementov povezan z navpično zunanjo cevjo. Zato je bila na dnu jaška prisotna napetost, ki je radialno preko toroidnega PEHD dna delovala proti centru, kjer pa betonski podstavek ni dopuščal zožitve cevi (slika 8). Napetost se je sprostila, ko se je betonski podstavek vzdignil. To je povzročil nek zunanji dogodek. Ne glede na PSD, je na lokaciji KNDS to lahko bila že burja, manj verjetno pa voda. Polmer zunanje PEHD cevi se je torej lahko zmanjšal, če je prišlo do dviga betonskega podstavka. Da se vzdigne 370 kg težka utež, sila ni zanemarljivo majhna. Glavni krivec za dvig betonskega podstavka je torej osnovna (zunanja) radialna PEHD konstrukcija v seizmičnem jašku. Ker je bila napetost radialna, je bil tudi dvig betonske plošče enakomeren. Ob predpostavkah, da je betonski podstavek neskončno tog in izredno lahek, da je temperaturni koeficient dolžinskega raztezka za material PEHD približno 20-krat večji kot za beton, ter da se PEHD toroidni podstavek ne zvije in skrči, smo izračunali, da je pri temperaturni razliki 20°C , teoretični navpični dvig podstavka 2,3 cm. Slika 9 povezuje višino dviga betonskega podstavka v odvisnosti od razlike v temperaturi materiala pri omenjenih predpostavkah. Dejanska reža pri spremembi temperature 20°C je verjetno nekoliko manjša, saj nismo upoštevali vpliva teže betonskega podstavka (približno 370 kg).

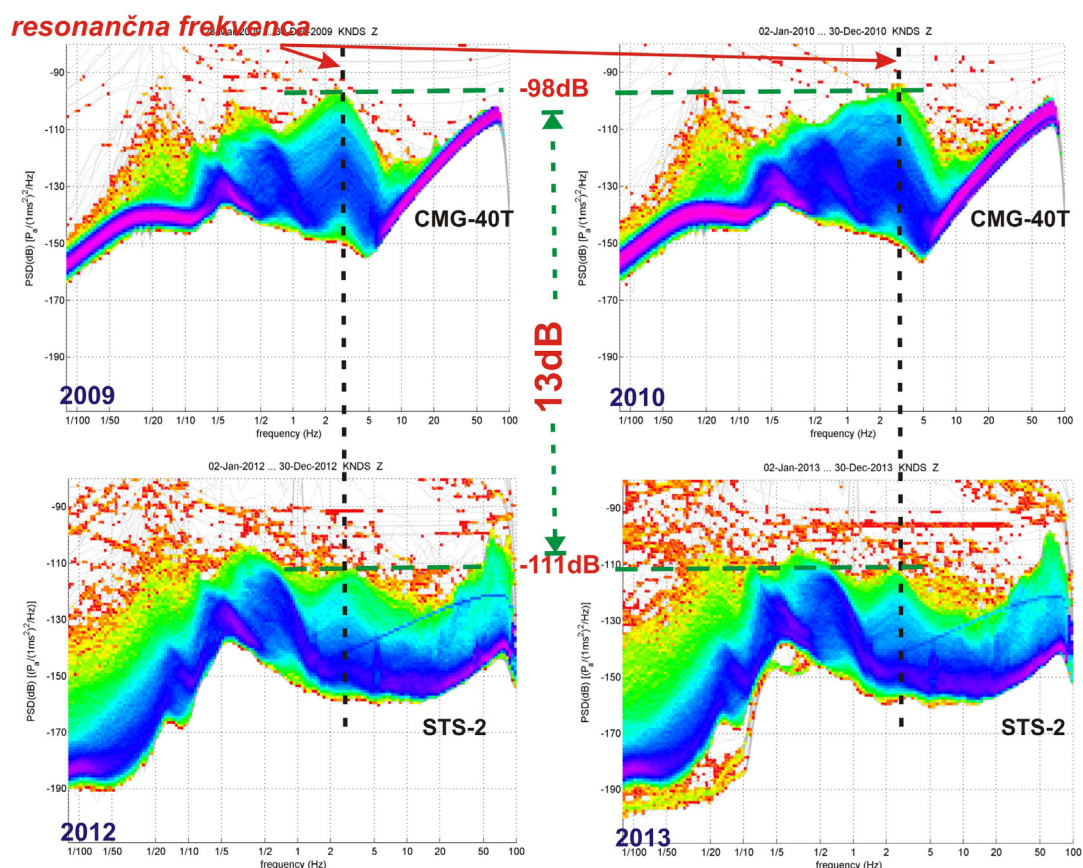


Slika 5: Leto 2020, enourni spektri PSD za obdobje med 7. 11. 2020 in 26. 11. 2020.
Figure 5: Year 2020, 1 hour PSDs for the period between 7.11.2020 and 26.11.2020.

Pri vzdigu betonskega podstavka predpostavimo, da v času vzdiga pod njim ni obstajal vakuum (saj bi za vzdig bile potrebne bistveno večje sile oz. navor), ampak je sočasno z vzdigom pod podstavek pritekel zrak (ali voda ali oboje). Predpostavko, da se je PEHD cev skrčila kmalu po postavitvi, podpira tudi pohodno dno iz PEHD elementa v sosednjem, komunikacijskem jašku, ki je plitkejši. Že pri prvih obiskih potresne opazovalnice smo opazili, da je PEHD dno servisnega jaška usločeno navzgor, pod njim pa klokota voda. Do danes je veljala ideja, da je bila za to kriva sama postavitvev in je bilo dno usločeno že pri varjenju oziroma pritrditvi pohodnega dna na cevasto konstrukcijo. Verjetno pa so tudi v plitkem jašku potekali enaki procesi kot v globokem jašku: PEHD dno je bilo pri instalaciji ravno, se je pa naknadno zvil zaradi skrčitve PEHD cevi.

Ker so tekočine za razliko od plinov nestisljive, mora zaradi navpičnega nihanja betonskega podstavka pod njim obstajati zračni žep. Iz seizmičnega zapisa iz leta 2003 dobimo podatek, da je bila največja amplituda nihanja podstavka nekaj desetih mikrometra. Iz tega sledi, da je med betonskim dnom in podstavkom reža, kje se nahaja zrak, visoka vsaj 0,5 μm . Za to relativno majhno amplitudo lahko predpostavimo, da velja za "vzmet" Hookov zakon. Betonski podstavek je skupaj z toroidnim dnom in spodnjim delom zunanje radialne PEHD konstrukcije tvoril "dušeno nihalo" z resonančno frekvenco okoli 2,3 Hz (slika 10).

Nihanje betonskega podstavka so povzročale tlačne spremembe v cevi seizmičnega jaška kot posledica izrazito nestanovitnega vetra - burje. Na vertikalno nihanje ozračja v jašku vpliva turbulenca vetra, ki povzroči zvezno in v nekem omejenem frekvenčnem prostoru tudi linearno

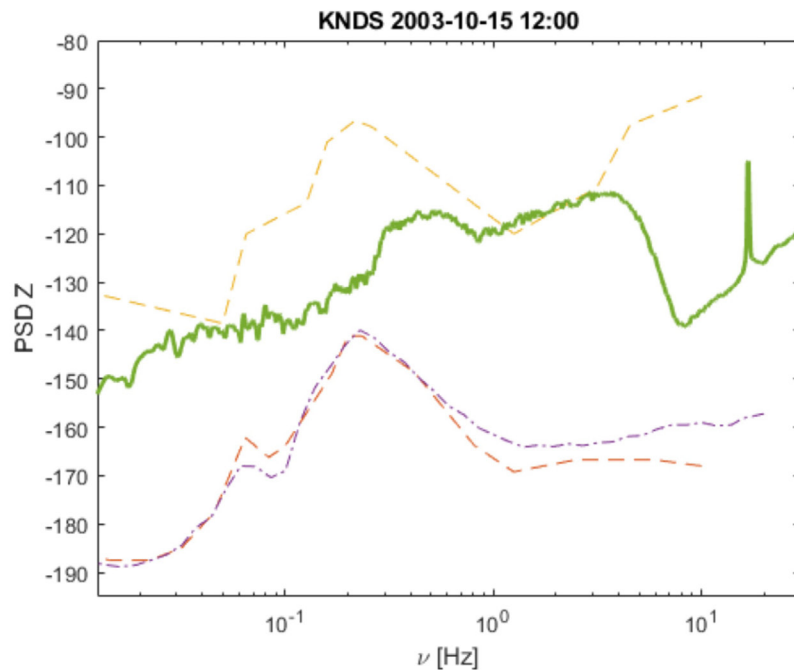


Slika 6: Primerjava spektrov navpični komponent na opazovalnici KNDS v obdobju, ko je bil postavljen CMG-40T seizmometer (zgoraj), in v obdobju, ko je bil postavljen STS-2 seizmometer (spodaj). Pred menjavo seizmometrov so bile amplitude nihanj tal pri "resonančni frekvenci" večje kot po menjavi.

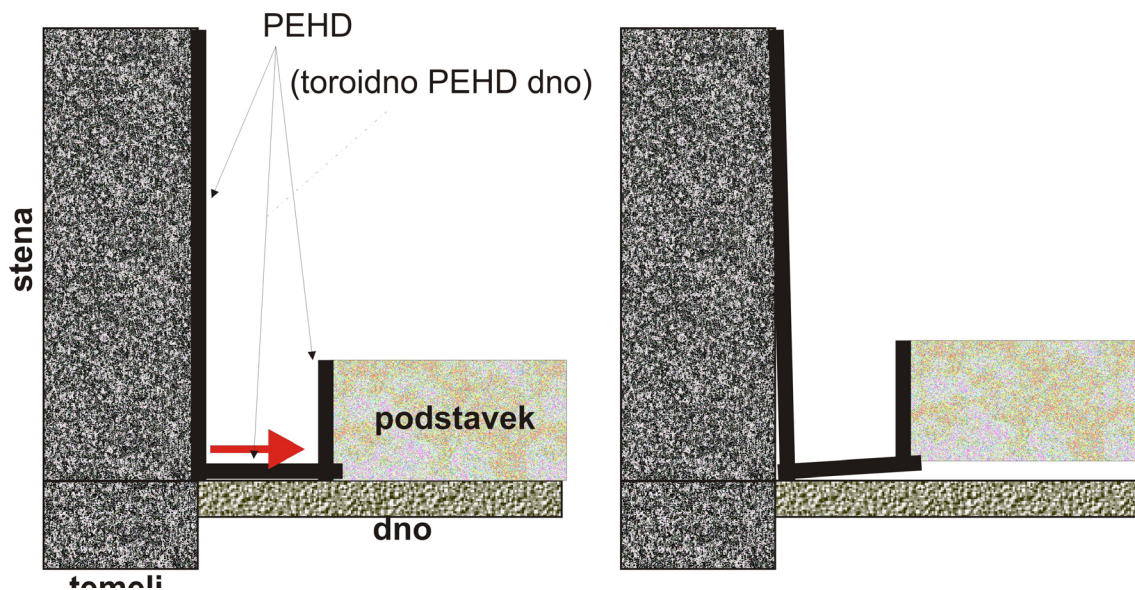
Figure 6: Comparison of the spectra of vertical components at the KNDS station, for the period when the CMG-40T seismometer was installed (above), and for the period when the STS-2 seismometer was installed (below). Before the replacement of seismometers, the amplitudes of ground oscillations at the "resonant frequency" were higher than after the replacement.

frekvenčno porazdelitev nihanja zračnega stolpca. Vertikalno nihanje, ki smo ga zabeležili od leta 2003 naprej, podpira to predpostavko.

Slika 6 pokaže spremembo v nihanju tal pri »resonančni frekvenci«, ko smo zamenjali seizmometer CMG-40T s seizmometrom STS-2. Glede na to, da je STS-2 težak okoli 13 kg, CMG-40T pa 7 kg, masa betonskega podstavka pa je okoli 370 kg, se masa celotne uteži spremeni za manj kot 2%. To ni ravno veliko in najverjetneje kaže na nelinearne vplive pri šibki spremembi mase, kar pomeni, da sta koeficient vzmeti in faktor dušenja tudi funkciji teže.

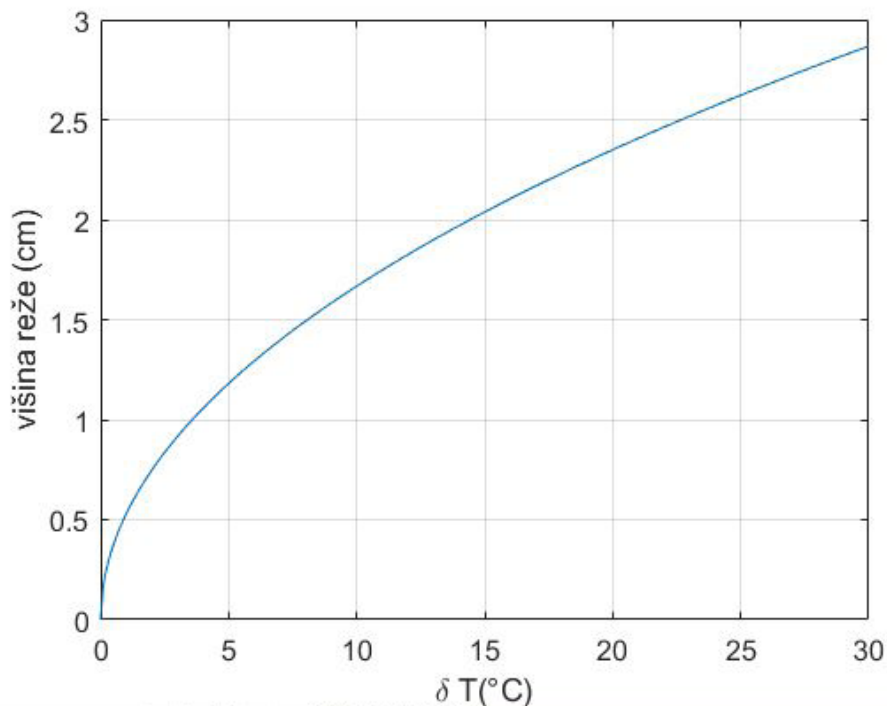


Slika 7: Spekter PSD [dB ~ Pa/(1ms-2)2/Hz] navpične komponente z dne 15.10.2003
Figure 7: PSD[dB ~ Pa/(1ms-2)2/Hz] of the vertical component from 15.10.2003



Slika 8: Levo: pozicija betonskega podstavka pred sprostitvijo napetosti zaradi skrčitve materiala (smer sile je pokazana z rdečo puščico). Desno: pozicija betonskega podstavka potem, ko so se radialne napetosti sprostile zaradi vzdiga betonskega podstavka.

Figure 8: Left: position of the seismic pier before the stress is released due to the material contraction (the direction of the force is indicated by the red arrow). Right: position of the seismic pier after the radial stresses have been released due to the lifting of the seismic pier.

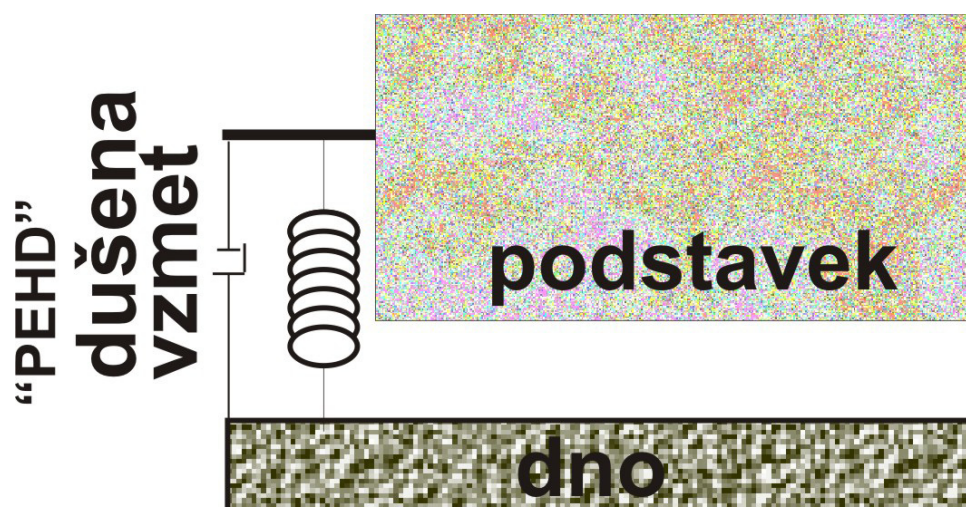


Slika 9: Navpični vzdig »izredno lahkega in trdega« betonskega podstavka s polmerom 0,6 m, ki je z idealno nestisljivo ploskvijo (in z idealnim tečajem ob robovih) pritrjen na notranjo PEHD cev, glede na razliko začetne in končne temperature PEHD (notranje) cevi s polmerom 0,7 m, pod predpostavko, da je temperaturni koeficient dolžinskega raztezka za material PEHD približno 20-krat večji kot za beton.

Figure 9: Vertical lift of an “extremely light and hard” seismic pier with a radius of 0.6 m, which is attached with an ideal incompressible surface (and with an ideal hinge at the edges) to the inner HDPE pipe, depending on the difference between the initial and final HDPE (indoor) temperature pipe with a radius of 0.7, under assumption that the temperature coefficient of longitudinal expansion for the PEHD material is approximately 20 times greater than the temperature coefficient of longitudinal expansion for concrete.

Stanje po sanaciji betonskega podstavka

Na sliki 11 so prikazane gostote spektrov PSD za tri različna petmesečna obdobja za navpično komponento. Slika na sredi prikazuje gostoto spektra PSD v obdobju med januarjem in majem 2021, se pravi za obdobje po posegu 6. 11. 2020. Na navpični komponenti se v območju visokih frekvencah še vedno opazi vpliv burje, nihanje zaradi burje je v tem obdobju enakomerno porazdeljeno. To je še vedno kazalo na nenavadno dinamično nihanje podlage seizmometra na lokaciji KNDS oziroma še na drugo neodkrito napako v celotnem sistemu. Intervencija 6. 11. 2020 je bila torej delno uspešna. Ponovna kontrola betonskega podstavka s prevrtavanjem je bila izvedena 8. 6. 2021. Pri tem je bilo ugotovljeno, da eden od vijakov dejansko ni sidral in da je še vedno zaznana reža (ter tudi voda), kar je občasno povzročalo neobičajne spektre na navpični



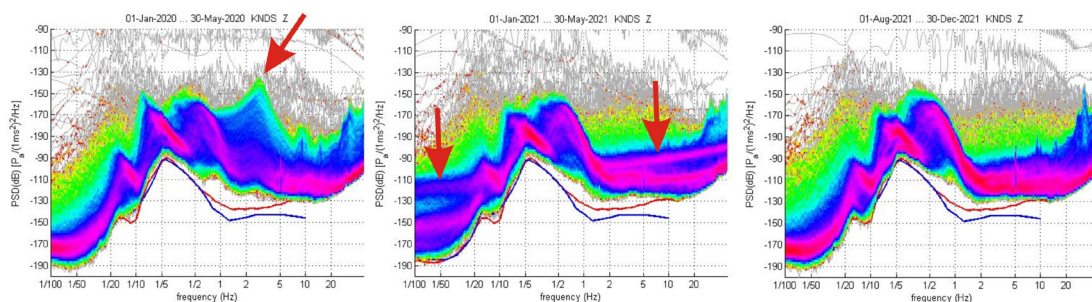
Slika 10: Shema dušenega nihala, kjer podstavek predstavlja maso, ki je preko »vzmeti« povezana na steno. Toroidno PEHD dno s spodnjim delom zunanje PEHD cevi tvori »dušeno vzmet« (vzmet in linearna dušilka).

Figure 10: Scheme of a damped pendulum, where the seismic pier represents the mass, which is connected to the wall via a "spring". The toroidal HDPE bottom of the lower part of the outer HDPE tube forms a "damped spring" (spring and linear damper).

komponenti. Zato je bil betonski podstavek dodano pritrjen še z tremi sidri. Tako sedaj pet sider drži skupaj betonski podstavek in betonsko dno. Skrajno desna slika na sliki 11 prikazuje gostoto spektra PSD v obdobju med septembrom in majem 2021, se pravi po drugem posegu na betonskem podstavku. Po tej intervenciji se ob burji ne ustvarjajo dodatni parazitski nihaji, PSD pa predstavlja pričakovane strukture po celotnem frekvenčnem območju. To pomeni, da je bila zadnja sanacija v juniju 2021 uspešna.

Sklepne misli

V jeseni leta 2020 smo ugotovili, da betonski podstavek za seizmometer na potresni opazovalnici KNDS že od začetka delovanja le te, se pravi od leta 2003, ni bil statično pritrjen na osnovno podlago kamenine. To se je lahko razpoznalo pri spektrih PSD, ker je prišla do izraza tako imenovana "resonančna frekvenca" betonskega podstavka v navpični smeri, ki je imela vrh pri 2,3 Hz in je predvsem prihajala do izraza ob močnejšem vetru (burja). Betonski podstavek je sedaj pritrjen s petimi sidri. Spektri močnostne gostote kažejo, da je ta intervencija zadostna za pravilno beleženje nihanj tal.



Slika 11. Gostota spektrov PSD za tri različna 5 mesečna obdobja. Slika levo (jan–maj 2020) prikazuje navpično komponento pred intervencijo na betonskem podstavku, slika na sredi (jan–maj 2021) prikazuje obdobje po prvi intervenciji, ki je bila 6. 11. 2020, slika desno (avg–dec 2021) pa obdobje po končni intervenciji na betonskem podstavki po juniju 2021.

Figure 11. PSD density for three different five-month periods. The figure on the left (Jan-May 2020) shows the vertical components before the intervention on the seismic pier, the figure in the middle (Jan-May 2021) shows the period after the first intervention, which took place on 6/11/2020, and the figure on the right (Avg-Dec 2021) shows the period after the final intervention on a seismic pier after June 2021.

Literatura

- Agencija Republike Slovenije za Okolje, . Baza podatkov za potrese na ozemlju Slovenije. Arhiv ARSO, Ljubljana.
- Vidrih, R., Sinčič, P., Tasič, I., Gosar, A., Godec, M., Živčič, M. 2006. Državna mreža potresnih opazovalnic. Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo, Ljubljana.
- Tasič, I., Mali, M., 2012. Nestabilna »ničelna lega« seizmometra na lokaciji CRNS. Potresi v letu 2012, Agencija za okolje, Urad za seizmologijo, Ljubljana.
- Engineeringtoolbox, 2022. Temperature coefficient of longitudinal expansion.
https://www.engineeringtoolbox.com/pipes-temperature-expansion-coefficients-d_48.html



Funkcionalnost seizmometrov ob potresu v Zagrebu in Petrinji

Seismometer functionality during earthquakes in Zagreb and Petrinja

Povzetek

Močni potresi, ki so sicer redki, nam med drugim tudi povedo, kako delujejo potresne opazovalnice ob takšnih izrednih dogodkih. Pri zagrebškem potresu ($M_w = 5,3$), marca 2020, je bil prekrmljen en seizmometer, a ker je poleg seizmometra postavljen tudi pospeškometer, imamo vseeno zabeležen celoten obseg nihaj tal ob potresu. Pri petrinjskem potresu ($M_w = 6,4$), decembra 2020, so bili prekrmljeni seizmometri na štirinajstih potresnih opazovalnicah, a le na treh ni postavljenega pospeškometra v neposredni bližini seizmometra kar pomeni, da imamo le na teh treh lokacijah nepopoln obseg zabeleženega nihanja tal ob potresu. Če pa bi bile ob petrinjskem potresu vse opazovalnice opremljene z enakim seizmometrom, kot je opremljena potresna opazovalnica GCIS, potem bi imeli kar na triindvajsetih potresnih opazovalnicah prekrmljene seizmometre.

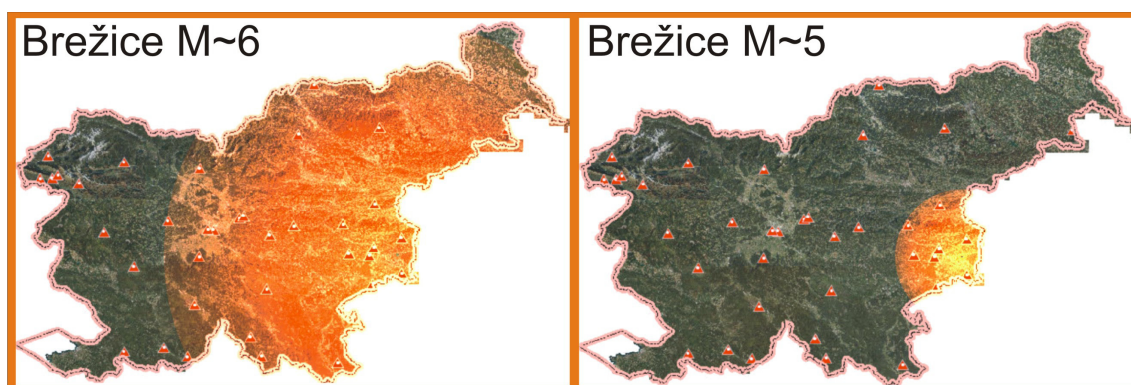
Abstract

Strong earthquakes do not happen very often in Slovenia and its close vicinity; among other things, they provide information on the functionality of seismic stations during these extraordinary events. During the Zagreb earthquake ($M_w=5.3$) in March 2020, signal was clipped at one seismometer (go off-scale), but as an accelerometer was installed side by side with the seismometer, we have still detected the full range of ground oscillations during the earthquake. During the Petrinja earthquake ($M_w=6.4$) in December 2020, seismometers were »clipped« at fourteen seismic stations; three among them do not have an accelerometer installed in the immediate vicinity of the seismometer, therefore we have an incomplete earthquake record. In case that all seismic stations of the Slovenian network were at equipped with the same type of seismometer as is installed at the station GCIS, then twenty-three seismometers would be clipped during Petrinja earthquake.

Uvod

Namen potresne opazovalnice je kakovostno merjenje nihanja tal na čim večjem dinamičnem in frekvenčnem območju. A ker so amplitude nihanja tal ob potresu zelo različne, ne obstaja univerzalen merilnik, ki bi lahko zajel celotno dinamiko pričakovanih nihanj tal, tako ob šibkem, kakor tudi ob zelo močnem potresu. Za zaznavanje šibkih in srednje močnih lokalnih potresov, ki nam veliko povedo o dinamiki neke prelomne cone, so najbolj primerni seizmometri. Ti pa so lahko prekrmljeni ob močnejših nihanjih tal (slika 1, slika 2). V urbanih okoljih, kjer so seizmične motnje zaradi človeške dejavnosti močno prisotne, so na potresnih opazovalnicah najpogosteje postav-

ljeni akceleroграфи, katerih merilni senzor predstavlja pospeškometer, in niso primerni za merjenje šibkih potresnih signalov, beležijo pa lahko večje nihanje tal kot seizmometri. Za spremljanje celovite dinamike nihanj tal ob potresu, se na sodobnih potresnih opazovalnicah državnih mrež vse pogosteje postavi ob širokopasoven seizmometru tudi pospeškometer (Vidrih in drugi, 2006; Tasič in drugi, 2023). V primeru prekrmljenosti seizmometra, pospeškometer pravilno zabeleži nihanje tal (Tasič, 2018). Za izračun lokalne magnitude potresa je treba podatek iz pospeškometra pretvoriti v hitrost nihanja podlage, kar pa velikokrat še ni izvedeno samodejno in se zato ta podatek ne uporablja v preliminarni samodejno analizi lokalne magnitude. Slovenska Državna mreža potresnih opazovalnic je vsa opremljena tako s seizmometri kot tudi s pospeškometri (Tasič, 2023).

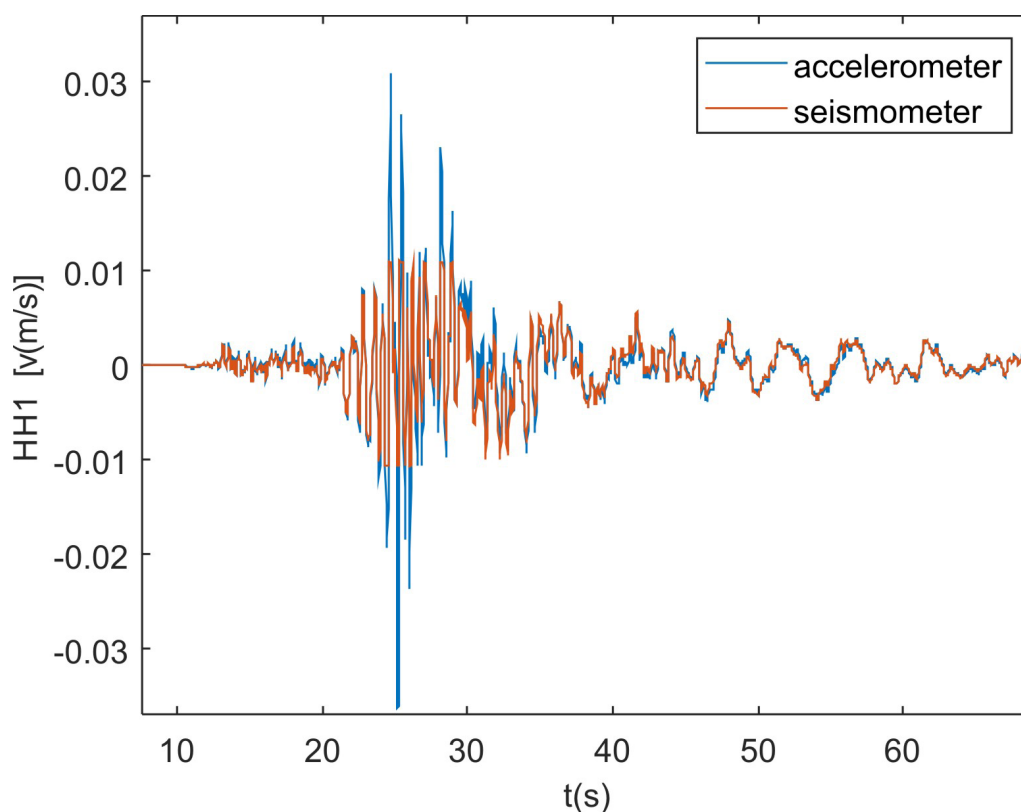


Slika 1: Ocena verjetnosti prekrmljenja sodobnega širokopasovnega seizmometra (npr. STS-2) pri potresu z magnitudo 6 (leva) ali 5 (desna), če bi se potres zgodil na območju Brežic.

Figure 1: Estimation of the probability that a modern broadband seismometer (e.g. STS-2) would be clipped in case of an earthquake in the Brežice area with magnitude 6 (left image) or 5 (right image).

Potres pri Zagrebu, 22. 3. 2020 ($M_w = 5,3$)

Potres z navorno magnitudo $M_w = 5,3$ (2020 Zagreb earthquake, 2022) je 22. marca 2020 ob 6.24 po lokalnem času prizadel Zagreb, glavno mesto Hrvaške. Nadžarišče potresa je bilo 7 kilometrov severno od središča mesta. Potresu najbližja slovenska potresna opazovalnica je bila GCIS (Gornji Cirknik), a izmed vseh slovenskih opazovalnic ta ob potresu ni zabeležila največje amplitude nihanj tal. Največjo je zabeležila opazovalnica KOGS, in sicer z amplitudo 1,27 cm/s (preglednica 1) na vodoravni komponenti vzhod–zahod (angl. EW). Ta podatek smo razbrali iz pospeškometra, saj je bil seizmometer na tej komponenti prekrmljen. Druge potresne opazovalnice niso imele prekrmljenih seizmometrov. Najbližje temu je bila potresna opazovalnica GCIS, kjer bi do prekrmljenja prišlo, če bi amplituda nihanja tal presegla 0,86 cm/s, izmerjeno pa je bilo 0,71 cm/s na vodoravni komponenti v smeri sever–jug (angl. NS). Noben od pospeškometrov ni bil prekrmljen.

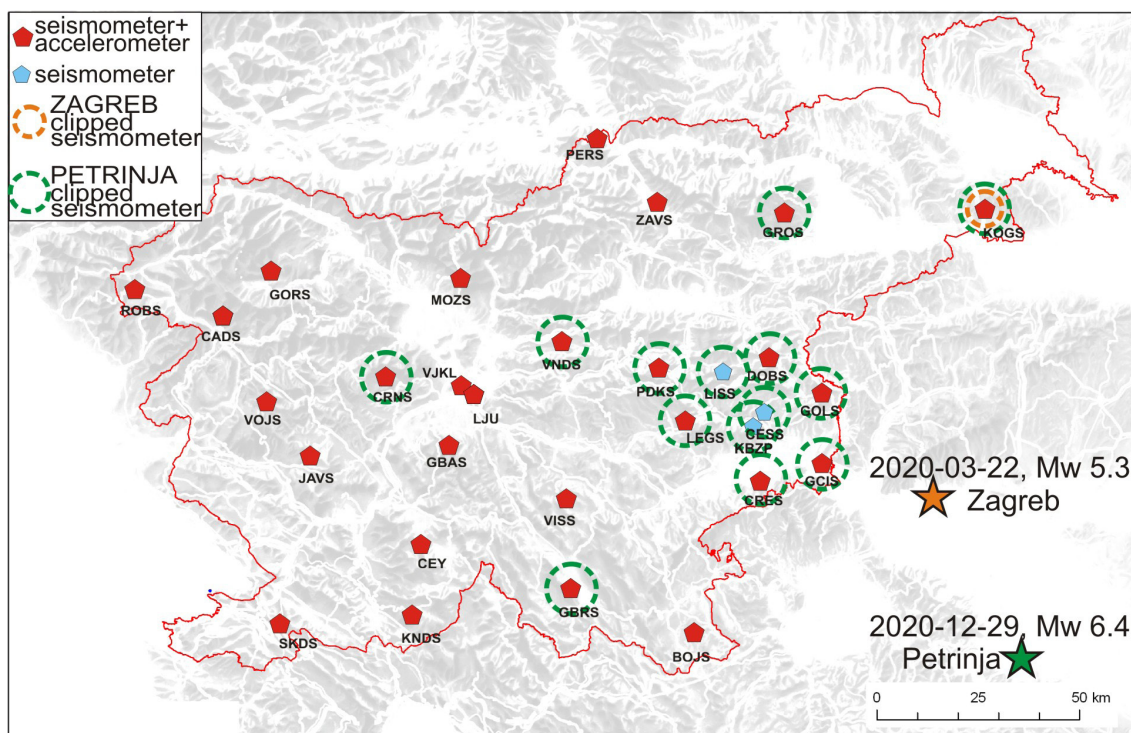


Slika 2: Prekrmljenost seizmometra (rdeča črta, prikazan je HH1 kanal seizmometra, modra črta je podatek pridobljen iz pospeškometra) z dne 29. 12. 2020 (Hrvaška, Petrinja, $M_w = 6,4$) na potresni opazovalnici LEGS.

Figure 2: Clipped signal at seismometer of Petrinja earthquake (29 December 2020, $M_w=6.4$) at the LEGS seismic station (red line, data from HH1 seismometer channel is shown, blue line is data from accelerometer).

Potres pri Petrinji, 29. 12. 2020 ($M_w = 6,4$)

Hrvaško je 29. decembra 2020 ob 12.19 po lokalnem času prizadel potres z navorno magnitudo $M_w = 6,4$, z nadžariščem približno 3 km zahodno–jugozahodno od Petrinje (2020 Petrinja earthquake, 2023). Najbližja potresna opazovalnica na slovenskem ozemlju (GCIS) je bila od nadžarišča oddaljena približno 70 kilometrov. Na štirinajstih potresnih opazovalnicah je bil seizmometer prekrmljen (slika 3, preglednica 1). Od teh le tri opazovalnice nimajo v neposredni bližini seizmometra postavljenega tudi pospeškometra (CESS, KBZP, LISS), kar pomeni, da podatka o največjih amplitudah hitrosti nihanj tal na teh lokacijah nimamo. Merilno območje seizmometra je odvisno od tipa seizmometra. Na naših potresnih opazovalnicah ima najmanjše merilno območje seizmometer tipa CMG-3ESPC. Največja še merljiva amplituda hitrosti nihanj tal je 0,86 cm/s. Če bi imeli na vseh potresnih opazovalnicah na slovenskem ozemlju postavljene seizmometre tega tipa (postavljen je npr. na lokaciji GCIS), potem bi imeli kar na triindvajsetih lokacijah prekrmljene



Slika 3: Prekrmiljeni seizmometri pri potresu v Zagrebu (oranžen krog) in Petrinji (zelen krog).
Figure 3: "Clipped seismometers" during 22 March 2020 Zagreb earthquake (orange circle) and 29 December 2020 Petrinja earthquake (green circle).

seizmometre. Na potresnih opazovalnicah BOJS, VISS, KNDS, MOZS in LJU so postavljeni seizmometri STS-2 oziroma STS-2.5, ki lahko beležijo amplitudo hitrosti nihanj tal do 1,35 cm/s. Na teh potresnih opazovalnicah so bile zabeležene sledeče največje amplitude hitrosti nihanj tal: 1,26 cm/s (BOJS), 1,09 cm/s (VISS), 0,92 cm/s (KNDS), 1,32 cm/s (MOZS) in 1,35 cm/s (LJU). Na lokacijah ZAVS, GBAS in CEY so bili postavljeni seizmometri tipa T120QA, ki lahko beležijo amplitudo hitrosti nihanj tal do 1,7 cm/s. Zabeležili so sledeče največje amplitude hitrosti nihanj tal: 1,21 cm/s (ZAVS), 0,96 cm/s (GBAS) in 0,97 cm/s (GBAS). Na potresni opazovalnici VJKL je postavljen seizmometer CMG-40T, ki lahko beleži amplitudo hitrosti nihanj tal do 2,2 cm/s, največja zabeležena amplituda pri tem potresu pa je bila 1,25 cm/s.

Tudi pri tem potresu noben od pospeškometrov ni bil prekrmiljen.

Sklepne misli

Močni potresi, ki so sicer redki, nam med drugim povedo tudi, kako funkcionirajo potresne opazovalnice ob izrednih dogodkih. Zato so ti dogodki sočasno tudi test delovanja seizmološke opreme ob močnem potresu. Prekrmiljenost seizmometra je lahko kritičen dejavnik, če na isti lokaciji ni postavljen tudi pospeškometer, ki ni prekrmiljen. V tem primeru nimamo verodostojnega

Preglednica 1. Prekrmiljeni seizmometri v letu 2020.

(BH) - seizmometer je postavljen v vrtino, pospeškometer je na površini

* - na lokaciji je postavljen samo seizmometer

(+) - seizmometer (Zagreb, Mw = 5.3) ni bil prekrmiljen

Table 1: Clipped seismometers in 2020 in Slovenia.

(BH) - seismometer is placed in the borehole

* - only a seismometer is installed on the site

(+) - signal at seismometer (Zagreb, Mw=5.3) was not clipped.

IME	Seizmometer/podatkovnik	prekrmiljenje	Zagreb, Mw = 5,3, (22. 3. 2020)	Petrinja, Mw = 6,4 (29. 12. 2020)
Date and local time (UTC+1)	seismometer/acquisition unit	“clipped”	max. ampl.	max. ampl.
KOGS	CMG T3/Q330HRS	1.1 5cm/s	1,27cm/s	1,57 cm/s
PDKS(BH)	CMG 4TBH/CENTAUR	0.65 cm/s	(+)	2,09 cm/s
LEGS(BH)	CMG 4TBH/Q330HRS	1.10 cm/s	(+)	4,11 cm/s
GOLS(BH)	CMG 4TBH/Q330HRS	1.10 cm/s	(+)	2,46 cm/s
GROS	CMG3ESPC/Q330HRS	0.86 cm/s	(+)	1,01 cm/s
DOBS	CMG3ESPC/Q330HRS	0.86 cm/s	(+)	2,54 cm/s
GCIS	CMG3ESPC/Q330HRS	0.86 cm/s	(+)	1,87 cm/s
VNDS	CMG3ESPC/Q330HRS	0.86 cm/s	(+)	1,24 cm/s
GBRS	CMG3ESPC/Q330HRS	0.86 cm/s	(+)	0,93 cm/s
CRNS	CMG3ESPC/Q330HRS	0.86 cm/s	(+)	1,24 cm/s
CRES	STS-2/Q330HRS	1,35 cm/s	(+)	2,23 cm/s
CESS*	CMG-40T/EDR209	1.01 cm/s	(+)	ni podatka
KBZP*	CMG-40T/CMG-EAM	0.90 cm/s	(+)	ni podatka
LISS*	CMG-40T/EDR209	1.01 cm/s	(+)	ni podatka

podatka o celovitem nihanju tal. Prekrmiljenost seizmometra je lahko kritičen dejavnik tudi pri hitrih samodejnih izračunih osnovnih parametrov potresa, predvsem, če potresna opazovalnica nima postavljenega tudi pospeškometra, če je lokacij s prekrmiljenim seizmometrom sočasno več, ali če samodejni proces ne upošteva tudi podatkov iz pospeškometra.

V Sloveniji so vse potresne opazovalnice Državne mreže potresnih opazovalnic opremljene s pospeškometri. To pa ne velja za Podporne potresne opazovalnice (Sinčič in Tasič, 2023). Zato bomo v naslednjih letih z pospeškometrom opremili vsaj še lokacijo CESS.

Literatura

- 2020 Zagreb earthquake. Wikipedia [online] (posodobljeno 14. januarja 2022). https://en.wikipedia.org/wiki/2020_Zagreb_earthquake (uporabljeno 21. januarja 2022).
- 2020 Petrinja earthquake. Wikipedia [online] (posodobljeno 14. januarja 2022). https://en.wikipedia.org/wiki/2020_Petrinja_earthquake (uporabljeno 21. januarja 2022).
- Agencija za okolje, 2021. Letni seizmološki bilteni, 2000-2020. Arhiv ARSO. Ljubljana.
- Vidrih, R., Sinčič, P., Tasič, I., Gosar, A., Godec, M., Živčič, M., 2006. Državna mreža potresnih opazovalnic, Potresi v letu 2020. Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo, Ljubljana, 287 str.
- Sinčič, P., Tasič, I., 2023, Potresne opazovalnice v Sloveniji v letu 2020, Potresi v letu 2020. Agencija za okolje, Urad za seizmologijo. Ljubljana.
- Tasič, I., Mali, M., Pančur, L., Sinčič P., Pfundner, I., Uran B., Prosen J., 2023. Delovanje državne mreže potresnih opazovalnic v letu 2020, Potresi v letu 2020. Agencija za okolje, Urad za seizmologijo. Ljubljana.
- Tasič, I., 2018. Seizmometer in pospeškometer – merilni par na potresni opazovalnici. Ujma 2018, 210–217.
- Tasič, I., 2023. Potresne opazovalnice v Sloveniji v letu 2020, Potresi v letu 2020. Agencija za okolje, Urad za seizmologijo. Ljubljana.



Zbirka vršnih pospeškov tal na slovenskih potresnih opazovalnicah, zabeleženih v potresih v obdobju 1992–2020

Collection of peak ground accelerations at Slovenian seismic stations for the earthquakes in the period 1992-2020

Povzetek

V prispevku je predstavljena zbirka vršnih pospeškov tal močnejših potresov na potresnih opazovalnicah v Sloveniji za obdobje 1992–2020. Podrobneje so pojasnjeni postopki analize, predstavljena sta obseg in glavne značilnosti zbirke. V 29-letnem obdobju se je zgodilo 824 potresov z magnitudo vsaj $M_{LV} 2,0$, v katerih so vršni pospeški tal na vsaj eni komponenti 107-ih slovenskih potresnih opazovalnic presegli vrednost 1 cm/s^2 . Zbirka predstavlja osnovo za analizo zahtevnejših inženirskih parametrov ter omogoča izpeljavo relacij med različnimi parametri potresov.

Abstract

The paper presents a collection of peak ground accelerations of earthquakes with magnitudes $M_{LV} 2.0$ and stronger at seismic stations in Slovenia for the period 1992-2020. The analysis procedures, as well as the extent and the main characteristics of the collection, are described. In 29 years, 824 earthquakes occurred, in which the peak ground accelerations at 107 Slovenian seismic stations exceeded the value of 1 cm/s^2 on at least one component. The collection represents the basis for the more demanding engineering analysis and enables the derivation of relations between different earthquake parameters.

Uvod

Analiza gibanja tal na slovenskih potresnih opazovalnicah po močnih potresih omogoča izpeljavo relacij med posameznimi parametri gibanja tal in učinki potresa na predmete, naravno in grajeno okolje. Poznavanje relacij ponuja možnost hitre ocene potresnih učinkov v stvarnem času takoj po potresu. Po letu 2018 je ocenjevanje vršnih pospeškov tal v stvarnem času postalo možno, saj je danes večina seizmičnih zapisov dosegljiva v stvarnem času, obenem so vse opazovalnice državne mreže od leta 2018 (Tasič in Mali, 2018) opremljene tudi z akceleroграфи – instrumenti za beleženje močnih potresov – kar zagotavlja, da zapisi pri močnem potresu niso prekrmljeni.

Iz seizmičnih zapisov lahko razberemo številne parametre, ki vsak na svoj način povzemajo lastnosti tresenja tal. V prispevku smo se osredotočili na vršni pospešek tal ali krajše PGA (ang. peak ground acceleration), ki ustreza absolutno največji amplitudi pospeška gibanja tal. V inženirski seizmologiji se za enoto običajno uporablja cm/s^2 . Vršni pospešek tal ne nudi celostnega vpogleda v intenzivnost in predvsem v trajanje tresenja tal. Vendar ga kljub temu uporabimo, ker je dober kazalnik močnega gibanja tal in ga je enostavno odčitati iz seizmičnega zapisa. Tako

lahko postopek avtomatiziramo ter ga izvedemo na obsežni bazi seizmičnih zapisov. Za analizo zahtevnejših inženirskih parametrov lahko nadalje iz baze izberemo le močnejše vršne pospeške tal oz. pripadajoče potrese.

Namen predstavljene naloge je bil vzpostaviti zbirko vršnih pospeškov tal, odčitanih iz seizmičnih zapisov slovenskih opazovalnic za obdobje 1992–2020 ter oceniti obseg, glavne značilnosti in uporabno vrednost zbirke.

Podatki in izračun vršnih pospeškov tal

Seizmični zapisi močnih potresov nudijo seizmologom in gradbenim inženirjem vpogled v značilnosti gibanja tal. Nepogrešljivi so predvsem zapisi, zabeleženi v bližini potresnega nadžarišča, kjer lahko pričakujemo poškodbe. Z nobenim instrumentom ne moremo popolnoma verodostojno zabeležiti gibanja tal, temveč le v omejenem frekvenčnem območju, odvisno od vzorčenja in lastnosti instrumenta. Seizmični zapisi poleg gibanja tal zaradi potresa vsebujejo tudi naravni šum, civilizacijski šum, ki ga s svojo dejavnostjo povzroča človek, in šum, ki ga povzročajo komponente instrumentov, ter razne napake pri digitalizaciji (konice, vrzeli, neničelna, popačena osnovna lega). V nekaterih primerih lahko z ustrezno obdelavo zapisov rekonstruiramo gibanje tal in odpravimo motnje in popačenja, vendar še vedno le v omejenem frekvenčnem območju, ki ga instrument zazna. Pri izbiri parametra, ki ga bomo odčitali iz zapisa, je zato zelo pomembno, da poznamo tako zmožnost instrumenta za beleženje gibanja tal kot vpliv obdelave seizmičnega zapisa na izbran parameter. Univerzalnega postopka za 'najustreznejšo' pripravo podatkov ni, zato je določena mera subjektivnosti vedno prisotna in odvisna predvsem od namena nadaljnje uporabe odčitanih parametrov. Pomembno je, da je način priprave podatkov smiseln, dobro dokumentiran in ponovljiv.

Pred odčitavanjem vršnih pospeškov tal smo zbrali vse razpoložljive zapise 2115 potresov z lokalno magnitudo M_{LV} 2,0 in več, ki so se zgodili v Sloveniji in bližnji okolici med leti 1992–2020 (ARSO, 1992–2020a, 1992–2020b). Za nekatere starejše potrese nismo imeli lokalne magnitude M_{LV} , zato smo namesto te upoštevali magnitudo trajanja M_D . Slovenske potresne opazovalnice so bile v obdobju 1992–2020 zelo različno opremljene, nekatere so imele le akcelerografe, ki zapisujejo pospeške gibanja tal, nekatere so imele le seizmografe, ki zapisujejo hitrosti gibanja tal. S samo eno vrsto senzorja je bila opremljena in je še danes večina potresnih opazovalnic, razen redkih izjem ter opazovalnic državne mreže, kjer sta od leta 2018 nameščeni obe vrsti senzorjev (Tasič in Mali, 2018).

Postopek odčitavanja vršnih pospeškov tal smo avtomatizirali in izvedli s programom dbwfmeas iz programskega paketa Antelope (Boulder Real Time Technologies, 2021). Kljub različnim instrumentom, ki so v obravnavanem 29-letnem obdobju beležili potrese, smo se na podlagi izsledkov raziskav (Boore in Bommer, 2005; Douglas in Boore, 2011; Akkar in Bommer, 2006) in namena analize – odčitavanja PGA vrednosti – odločili, da odziva instrumenta ne odstranimo iz seizmičnega zapisa. Ker je nizkofrekvenčni del seizmičnega zapisa lahko zelo obremenjen s šumom zaradi valovanja morja in prehoda vremenskih front, smo seizmične zapise filtrirali s filtrom Butterworth, propustnim za frekvence nad 0,1 Hz. V primeru seizmičnega zapisa hitrosti

gibanja tal smo zapise odvajali še po času v zapis pospeška gibanja tal. Pred odčitavanjem vršnih pospeškov tal smo signal na vsaki komponenti zapisa predhodno zmanjšali za povprečno vrednost signala (zero_mean).

Analiza rezultatov

V 29-letnem obdobju smo v pregled zajeli seizmične zapise 2115 potresov, zabeleženih na 137 slovenskih opazovalnicah. Vršne pospeške smo odčitali na 153.365 seizmičnih zapisih (če upoštevamo vse razpoložljive komponente zapisa) na 107-ih opazovalnicah, kar ustreza 71.025-im parom potres-opazovalnica.

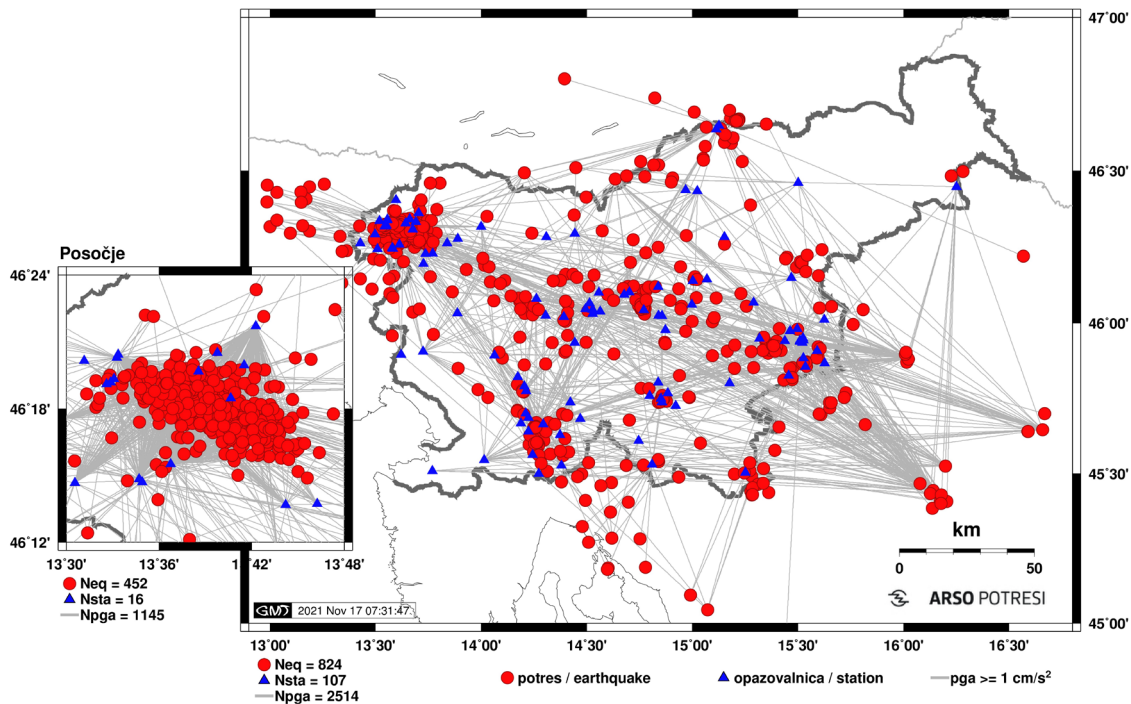
V tem naboru smo ročno pregledali vse seizmične zapise opazovalnic, na katerih je vršni pospešek tal v potresu na vsaj eni komponenti zapisa dosegel ali presegel vrednost 1 cm/s^2 . Po ročnem pregledu seizmičnih zapisov potresov smo izločili tiste, katerih vršni pospeški tal niso ustrezali največji amplitudi zapisa potresa, bodisi so bili zapisi med potresom prekrmljeni ali pa so imeli prekinitev in razne motnje. Tako je v obdobju 1992–2020 vršni pospešek tal dosegel ali presegel vrednost 1 cm/s^2 v 824-ih potresih, ki so na sliki 1 označeni z rdečo piko, ter na 107 različnih opazovalnicah, ki so označene z modrim trikotnikom. Črne črte na zemljevidu povezujejo potres z opazovalnico, na kateri je vršni pospešek tal na vsaj eni komponenti zapisa dosegel oziroma presegel 1 cm/s^2 , takih parov je 2514.

Približno 46 % (1145 od 2514) vseh vršnih pospeškov tal, večjih ali enakih 1 cm/s^2 , je bilo zabeleženih na zapisih 16 opazovalnic v Posočju v 452 potresih v Posočju.

Na sliki 2 smo za vsak par opazovalnica-potres izrisali največji vršni pospešek tal v odvisnosti od nadžariščne oddaljenosti potresne opazovalnice. Barva kroga ustreza globini žarišča, velikost kroga pa magnitudi M_{LV} potresa. Čeprav vsakemu paru opazovalnica-potres v naboru lahko ustreza več kot ena vrednost PGA, kar pomeni, da je vršni pospešek tal prekoračil vrednost 1 cm/s^2 na več komponentah seizmičnega zapisa hkrati, smo izrisali le največjo vrednost. Večinoma je največji PGA dosežen na eni izmed vodoravnih komponent, le v 10 % primerov (226 od 2288) je največja vrednost PGA zabeležena na navpični komponenti.

Potresno gibanje tal na potresnih opazovalnicah je odvisno od žariščnega mehanizma, lastnosti kamnin, vzdolž katerih se potresno valovanje razširja, geološke zgradbe pod potresno opazovalnico, ki lahko izrazito spremeni tako frekvenčno kot amplitudno sestavo valovanja, in interakcije tal z objektom. Običajno pa vršni pospešek tal pada z nadžariščno oddaljenostjo in se veča z magnitudo potresa. V neposredni okolici potresa je gibanje tal pri zelo močnih potresih kompleksnejše. Vršni pospeški tal so tu odvisni tudi od žariščnega mehanizma ter smeri in hitrosti širjenja pretrga.

V 29-letnem obdobju se potresi v zbirki niso dogajali enakomerno v času (slika 3). Po močnejših potresih se običajno zgodi veliko število popotresov. S časom se njihovo število manjša, a vendar so med njimi tudi številni tako močni, da vršni pospeški tal presegajo vrednost 1 cm/s^2 . Na sliki 3 levo se število potresov, v katerih je bil na vsaj eni opazovalnici vršni pospešek tal vsaj 1 cm/s^2 , izrazito poveča po močnejših potresih v Posočju, 12. 4. 1998 in 12. 7. 2004. Obenem so odčitki



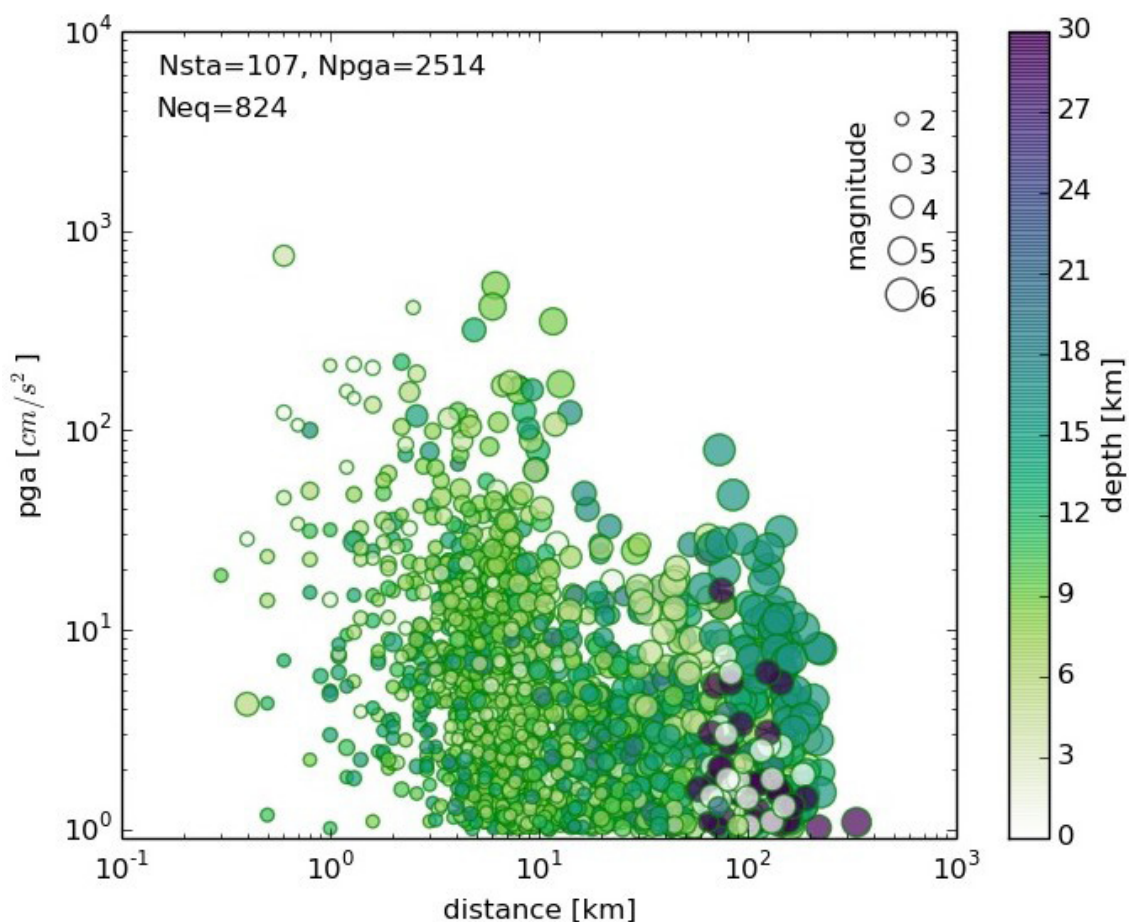
Slika 1. Zemljevid, ki prikazuje pare opazovalnica-potres, pri katerih je vršni pospešek tal vsaj na eni komponenti opazovalnice v potresu v letih 1992–2020 dosegel ali presegel vrednost 1 cm/s^2 . Neq je število potresov, označenih z rdečo piko, v izrisanem območju. Nsta predstavlja število opazovalnic v izrisanem območju, označenih z modrim trikotnikom. Npga predstavlja število pga vrednosti, odčitanih na opazovalnicah znotraj izrisanega območja za potrese znotraj izrisanega območja.

Figure 1. Station-earthquake pairs in 1992-2020, in which the peak ground acceleration on at least one component of the station in the earthquake reached or exceeded the value of 1 cm/s^2 . Neq is the number of earthquakes (marked with a red dot) in the plotted area. Nsta is the number of stations (marked with a blue triangle) in the plotted area. Npga is the number of pga values read at the stations within the plotted area, for the earthquakes within the plotted area.

številnejši tudi zato, ker smo po posoških potresih v nadžariščno območje začasno postavili večje število prenosnih potresnih opazovalnic, s katerimi smo tudi v številnih šibkih potresih v neposredni bližini žarišča zabeležili večje vršne pospeške.

Iz levega histograma na sliki 3 lahko razberemo, da so vršni pospeški tal nad izbranim pragom ($\text{pga} \geq 1 \text{ cm/s}^2$) večinoma odčitani iz zapisov potresov manjših magnitud. Tako ima 708 potresov (86 %) magnitudo manjšo od $M_{LV} 3,0$, čemur ustreza 59 % vseh odčitanih vršnih pospeškov tal v naboru (desni histogram na sliki 3).

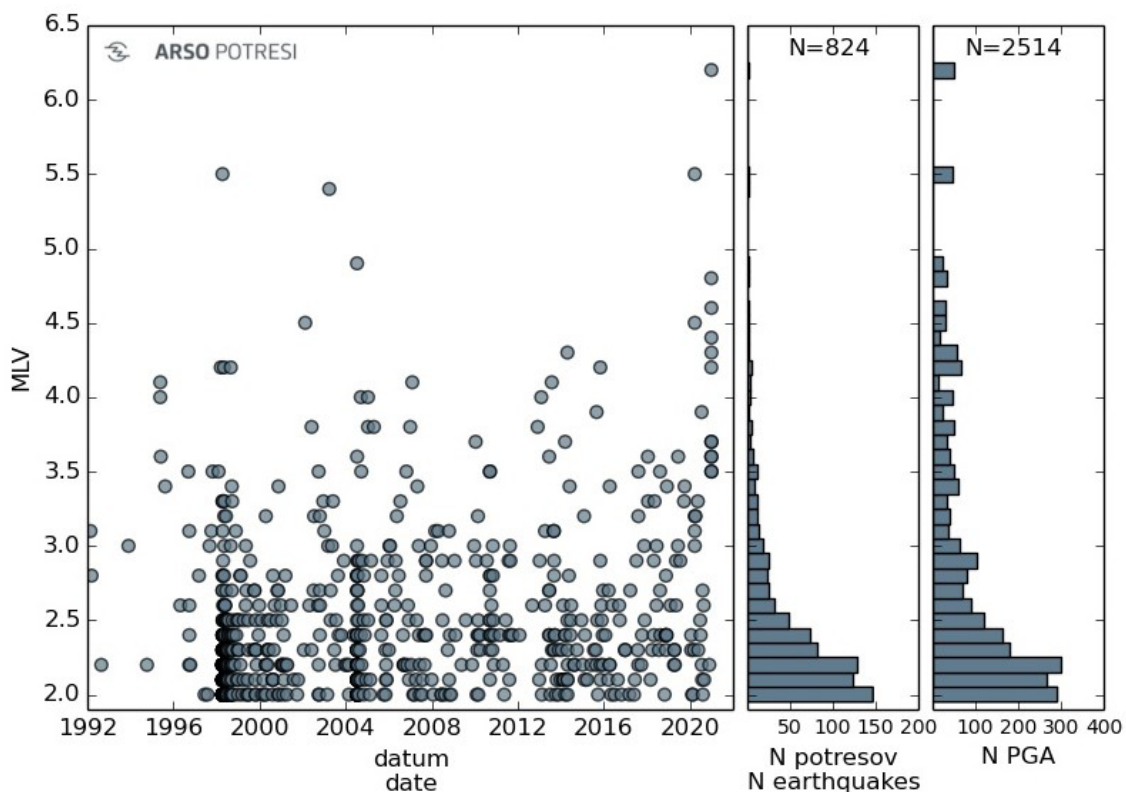
Najmočnejši potres v izbranem obdobju se je zgodil 29. decembra 2020 pri Petrinji z magnitudo $M_{LV} 6,2$. Pri tem potresu so bili vršni pospeški tal nad 1 cm/s^2 zabeleženi na 49 potresnih opa-



Slika 2. Vršni pospeški tal na slovenskih potresnih opazovalnicah glede na oddaljenost od nadžarišča potresa. V analizi smo upoštevali potrese z magnitudo vsaj M_{LV} 2,0 ali M_D 2,0 v letih 1992–2020. Barva ustreza globini žarišča potresa, velikost krogca pa magnitudi M_{LV} ali M_D . Nsta pove število opazovalnic, Neq število potresov in Npga predstavlja število vršnih pospeškov tal večjih ali enakih 1 cm/s^2 . Distance = oddaljenost; magnitude = magnituda M_{LV} ; depth = globina.

Figure 2. Peak ground accelerations at Slovenian seismic stations with respect to the distance from the earthquake epicentre. In the analysis we took into account the earthquakes in 1992–2020 with a magnitude $\geq M_{LV}$ 2.0 or M_D 2.0. The color corresponds to the depth of the epicentre and the size of the circle to the magnitude M_{LV} or M_D . Nsta indicates the number of stations, Neq is the number of earthquakes and Npga represents the number of PGA values greater than or equal to 1 cm/s^2 .

zovanicah. Po potresu magnitude M_{LV} 4,3, ki se je zgodil 22. aprila 2014 pri Pivki, je bil vršni pospešek tal prekoračen na 45 opazovalnicah, po potresu magnitude M_{LV} 5,1 pri Zagrebu, ki se je zgodil 22. marca 2020, pa na 39 opazovalnicah. Na sliki 4 smo vse zabeležene vršne pospeške teh treh potresov, tudi manjše vrednosti, izrisali glede na nadžariščno oddaljenost potresne opazovalnice. Z rdečo barvo smo obarvali vrednosti, odčitane na zapisih potresnih opa-

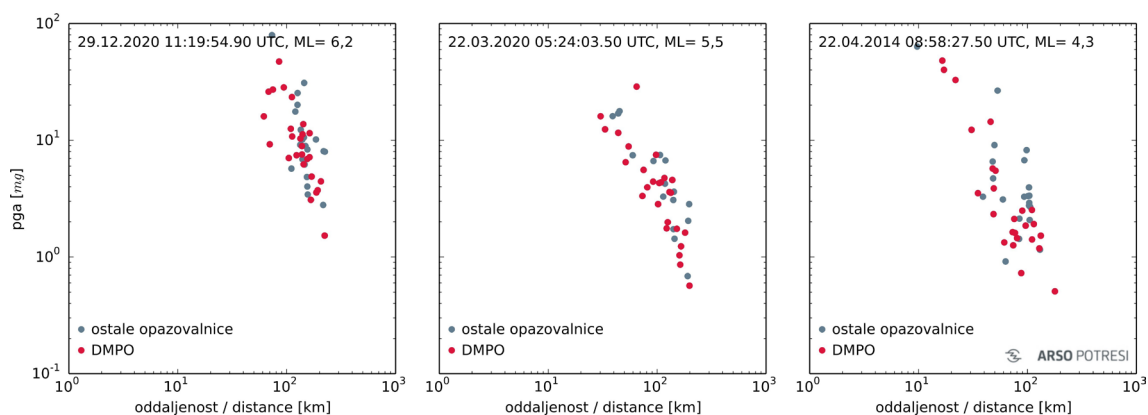


Slika 3. Levo: Magnituda M_{LV} potresov na časovni osi, za katere je vršni pospešek tal vsaj na eni opazovalnici presegel 1 cm/s^2 . V sredini: Porazdelitev magnitude 824 potresov, za katere je vršni pospešek tal vsaj na eni opazovalnici presegel 1 cm/s^2 . Desno: Porazdelitev magnitude 2514 parov potres-opazovalnica, za katere je vršni pospešek tal vsaj na eni opazovalnici presegel 1 cm/s^2 .

Figure 3. Left: The magnitude M_{LV} of earthquakes on the time axis for which the peak ground acceleration at at least one station exceeded 1 cm/s^2 . Centre: Magnitude distribution of 824 earthquakes with the peak ground acceleration $> 1 \text{ cm/s}^2$ at at least one station. Right: Magnitude distribution of 2514 earthquake-station pairs of the earthquakes with the peak ground acceleration $> 1 \text{ cm/s}^2$ at at least one station.

zovalnic državne mreže (DMPO), z modro pa dopolnilne potresne opazovalnice. Potresne opazovalnice državne mreže so običajno postavljene na skalo, kar po standardu Evrokod 8 (SIST EN 1998-1:2005) predstavlja tip tal A, na katerih ojačanja ali oslabitve zaradi lokalne geološke podlage ne pričakujemo. Tipi tal na ostalih začasno postavljenih opazovalnicah pa so različni, poleg tega so opazovalnice običajno postavljene v objektih, kar še dodatno vpliva na beleženje gibanja tal v potresu. Nadaljnjih odvisnosti med vrednostmi PGA in tipom tal na opazovalnicah v nalogi nismo raziskovali.

Pri ostalih potresih je vršni pospešek tal prekorajčil vrednost 1 cm/s^2 na manjšem številu opazovalnic. V tabeli 1 so zbrani potresi, pri katerih smo našli vsaj 10 vršnih pospeškov tal, ki so dosegli ali presegli izbrano vrednost.



Slika 4. Vršni pospešek tal na slovenskih potresnih opazovalnicah glede na oddaljenost od nadžarišča za potres 29. 12. 2020 pri Petrinji na Hrvaškem (levo), 22. 3. 2020 pri Zagrebu (v sredini) in 22. 4. 2014 pri Pivki (desno).

Figure 4. Peak ground acceleration, recorded at Slovenian seismic stations, with respect to the distance from the epicentre for the earthquakes on 29 December 2020 near Petrinja, Croatia (left), 22 March 2013 near Zagreb, Croatia (centre) and 22 April 2014 near Pivka, Slovenia (right).

Preglednica 1. Potresi v obdobju 1992-2020, pri katerih so vršni pospeški tal dosegli ali presegli vrednost 1 cm/s^2 na vsaj 10 slovenskih opazovalnicah

Table 1. Earthquakes in the period 1992-2020, with peak ground accelerations $\geq 1 \text{ cm/s}^2$ at at least 10 Slovenian stations

leto-mesec-dan ura:minuta:sekunda	MLV	Število opazovalnic s $\text{PGA} \geq 1 \text{ cm/s}^2$
year-month-day hour:minute:second	MLV	Number of stations $\text{PGA} \geq 1 \text{ cm/s}^2$
1998-08-31 2:32:09.5	4,2	12
2004-07-12 13:04:06.4	4,9	25
2004-07-14 4:37:37.6	3,6	10
2005-01-14 7:58:11.5	4,0	13
2005-01-14 08:05:18.2	3,8	11
2007-01-01 14:59:44.8	3,8	12
2010-01-15 14:20:54.0	3,7	16
2010-02-24 5:21:25.0	3,2	11
2011-08-20 10:49:04.5	3,0	12
2012-12-03 4:36:00.7	3,8	22

leto-mesec-dan ura:minuta:sekunda	MLV	Število opazovalnic s PGA ≥ 1 cm/s ²
year-month-day hour:minute:second	MLV	Number of stations PGA ≥ 1 cm/s ²
2013-02-02 13:35:34.1	4,0	23
2013-06-16 20:04:58.9	3,6	12
2014-03-13 17:31:59.1	3,7	15
2014-04-22 8:58:27.5	4,3	45
2014-05-29 7:24:18.3	3,4	12
2015-08-29 18:47:03.9	3,9	13
2015-11-01 7:52:33.1	4,2	29
2015-11-24 19:04:06.6	2,5	10
2016-03-22 2:12:02.2	2,7	10
2016-04-09 13:02:33.2	3,4	13
2018-12-05 16:23:59.5	3,4	11
2019-10-01 22:24:18.3	3,4	12
2020-03-22 5:24:03.5	5,5	39
2020-03-22 6:01:20.1	4,5	24
2020-07-17 2:50:57.2	3,9	12
2020-12-28 5:28:06.5	5,1	34
2020-12-28 6:49:56.0	4,6	14
2020-12-29 11:19:54.9	6,2	49
2020-12-29 11:23:47.3	4,4	16
2020-12-30 5:15:04.4	4,8	29
2020-12-30 5:26:40.3	4,3	13

Povzetek

Analizirali smo vršne pospeške tal 2115 potresov z lokalno magnitudo M_{LV} 2,0 in več, ki so se zgodili v Sloveniji in širši okolici med leti 1992–2020. V 824 potresih je vršni pospešek tal na slovenskih potresnih opazovalnicah dosegel ali presegel vrednost 1 cm/s², in sicer na vsaj eni komponenti zapisa. Vsi vršni pospeški tal predstavljajo Zbirko vršnih pospeškov tal na slovenskih opazovalnicah, zabeleženih v potresih v obdobju 1992–2020. Seizmični zapisi, na katerih so vršni pospeški tal dosegli ali presegli vrednost 1 cm/s², so bili ročno pregledani. V prispevku so predstavljene glavne lastnosti zbirke.

V nadaljnjih raziskavah lahko zbirko uporabimo za izpeljavo relacij med vršnim pospeškom tal ter drugimi parametri in/ali učinki potresa, pri tem pa upoštevamo tudi lokalno geološko zgradbo, na kateri stoji opazovalnica. Zbirka omogoča tudi študije zahtevnejših analiz gibanja tal.

Literatura

- Akkar, S. and Bommer, J.J., 2006. Influence of long-period filter cut-off on elastic spectral displacements. *Earthquake engineering & structural dynamics*, [online] 35(9), pp.1145–1165. doi:10.1002/eqe.577.
- ARSO, 1992–2020a. Baza podatkov za potrese na ozemlju Slovenije za obdobje 1992-2020. Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo, Ljubljana.
- ARSO, 1992–2020b. Arhiv seizmičnih zapisov za obdobje 1992–2020. Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo, Ljubljana.
- Boore, D.M. and Bommer, J.J., 2005. Processing of strong-motion accelerograms: needs, options and consequences. *Soil dynamics and earthquake engineering* (1984), [online] 25(2), pp. 93–115. doi:10.1016/j.soildyn.2004.10.007.
- Boulder Real Time Technologies, inc. (online), 2021. Antelope Real Time System. Dostopno na naslovu: <http://www.brtt.com> (uporabljeno 4. 5. 2021).
- Douglas, J., Boore, D.M., 2011. High-frequency filtering of strong-motion records. *Bulletin of earthquake engineering*, [online] 9(2), pp.395–409. doi:10.1007/s10518-010-9208-4.
- SIST EN 1998-1:2005 - Evrokod 8 - Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij - 1. del: Splošna pravila, potresni vplivi in pravila za stavbe, slovenski standard, Slovenski inštitut za standardizacijo, Ljubljana, 2005 - Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, angl. standard, I.
- Tasič, I., Mali, M., 2018. Posodobitev državne mreže potresnih opazovalnic s pospeškometri. Potresi v letu 2016. Agencija RS za okolje, Ljubljana.



Martina Čarman

Zmožnost Državne mreže potresnih opazovalnic za lociranje potresa v Sloveniji

The capability of the Seismic Network of the Republic of Slovenia to locate earthquakes in Slovenia

Povzetek

Zmožnost Državne mreže potresnih opazovalnic (DMPO) za lociranje potresa v Sloveniji smo določili z verjetnostno analizo magnitude kompletnosti (Probability-based Magnitude of Completeness, v nadaljevanju PMC), ki sta jo vpeljala Schorlemmer in Woessner (2008). Z analizo izključno empiričnih podatkov smo ugotovili, da se magnituda kompletnosti na ozemlju Slovenije krajjeveno precej spreminja. Pri ročni analizi lahko z opazovalnicami DMPO brez težav analiziramo potrese magnitude vsaj 1,2 kjerkoli v Sloveniji, razen v Prekmurju, medtem ko magnituda kompletnosti v osrednjem delu države zahodno od Ljubljane in na območju Posavja seže celo pod 0,5. Vzporedno smo proučili zmožnost sistema za samodejno obveščanje na spletu, ki se proži šele, ko pri lociranju potresa sodeluje vsaj 7 opazovalnic. S simulacijo raznih dogodkov, npr. nedelovanja opazovalnic ali postavitve dodatnih opazovalnic, pa smo dobili vpogled v spreminjanje zmožnosti DMPO za lociranje šibkih potresov.

Abstract

The ability of Seismic Network of the Republic of Slovenia (DMPO) to locate an earthquake in Slovenia was determined by Probability-based Magnitude of Completeness analysis (hereinafter PMC), introduced by Schorlemmer and Woessner (2008). By analysing exclusively empirical data, we found that the magnitude of completeness varies considerably throughout the territory of Slovenia. In manual analysis, anywhere in Slovenia, earthquakes of magnitude 1.2 can be reliably located with DMPO stations, except in Prekmurje (NE part of Slovenia), while the magnitude of completeness in the central part of the country (west of Ljubljana) and in the Posavje (E Slovenia) region reaches even below 0.5. In parallel, we examined the ability of the system to place automatic notifications on websites, which is triggered only when at least seven stations are involved in locating the earthquake. By simulating various events, e.g. failure of stations or the installation of additional stations, we gained insight into changing the ability of the DMPO to locate weak earthquakes.

Uvod

Današnja državna mreža 26 stalnih potresnih opazovalnic (Vidrih in drugi, 2006) deluje v polni sestavi od avgusta leta 2008. Z njeno postavitvijo je beleženje seizmičnosti postalo zanesljivejše, zmožnost lociranja potresov pa se je bistveno izboljšala, kar je pripomoglo k natančnejšemu določanju potresnih parametrov, boljšemu poznavanju žariščne dinamike močnejših potresov (ARSO, 2002–2020) in prepoznavanju prelomov, tudi tistih s trenutno šibko seizmično aktivnostjo (Čarman in drugi, 2009).

Zanimalo nas je, kako nizke magnitude potresov še uspemo locirati s potresnimi opazovalnicami DMPO. Za merilo smo vzeli magnitudo kompletnosti, ki predstavlja najnižjo magnitudo potresa, ki ga še uspemo locirati. Z drugimi besedami, potres te magnitude ali večje zagotovo zabeležimo. Magnituda kompletnosti $M_c(L,t)$ se s časom (t) in krajem (L) spreminja, kot se spreminja in posodablja mreža opazovalnic. Poleg geometrije postavljenih opazovalnic v izbranem obdobju je magnituda kompletnosti odvisna tudi od lokalnih geoloških razmer opazovalnic, seizmičnega šuma na opazovalnicah, instrumentov za beleženje potresov, od zanesljivosti prenosa podatkov ter od načina obdelave podatkov.

Vpliv vseh dejavnikov na zaznavanje in lociranje lokalnih potresov je težko zaobjeti in še težje brez privzetkov opredeliti fizikalno, zato smo za oceno kompletnosti magnitude uporabili verjetnostno analizo magnitude kompletnosti – PMC (Probability-based Magnitude of Completness), ki sta jo vpeljala Schorlemmer in Woessner (2008). Podatki, ki jih potrebujemo, so izključno empirični; to so odčitki časa vstopov prečnega in vzdolžnega valovanja na opazovalnice DMPO, lokacije teh opazovalnic ter lokacije in magnitude potresov. Z analizo teh podatkov smo vsaki opazovalnici posebej najprej opredelili detekcijsko zmožnost glede na magnitudo potresa in žariščno oddaljenost. Natančneje, detekcijsko zmožnost opazovalnice 's' definiramo kot množico pogojnih verjetnosti $P_s(M,L)$, da na opazovalnici lahko odčitamo vstopne čase valovanja za potres magnitude M z žariščno oddaljenostjo L , pri čemer pa moramo predpostaviti, da je potres lociran. Na podlagi detekcijske zmožnosti vsake od opazovalnic smo nadalje z uporabo pravil verjetnosti in kombinatorike določili verjetnost za lociranje potresa pri izbrani magnitudi in magnitudo kompletnosti za celotno ozemlje Slovenije v obravnavanem obdobju. Pod drobnogled smo vzeli verjetnost, da je potres dane magnitude na dani lokaciji zabeležen vsaj na 3 opazovalnicah DMPO, kar običajno zadostuje za ročno lociranje potresov. Vzoredno smo ocenili tudi verjetnost, da je potres lociran vsaj s sedmimi opazovalnicami, kar je pomemben kriterij za samodejno objavo potresa na spletnih straneh ARSO.

Prostorsko poznavanje zmogljivosti DMPO nam omogoča ustrezno postavitve dodatnih potresnih opazovalnic na območja, ki lahko izboljšajo zmogljivost obstoječe mreže. Velika prednost analize PMC je, da lahko tudi za področja, kjer so potresi le redki ali jih trenutno ni, predvidimo, katere potrese bi z mrežo še uspeli zanesljivo locirati, česar metode, ki vzorčijo potrese, ne zmorejo. Obenem nam rezultati omogočajo predvideti razlike v zmogljivosti DMPO za lociranje potresa v dnevnem in nočnem času, lahko pa z njimi simuliramo tudi zmožnost DMPO ob različnih težavah, kot je na primer odpoved zajema dela seizmičnih podatkov, kar se občasno zgodi.

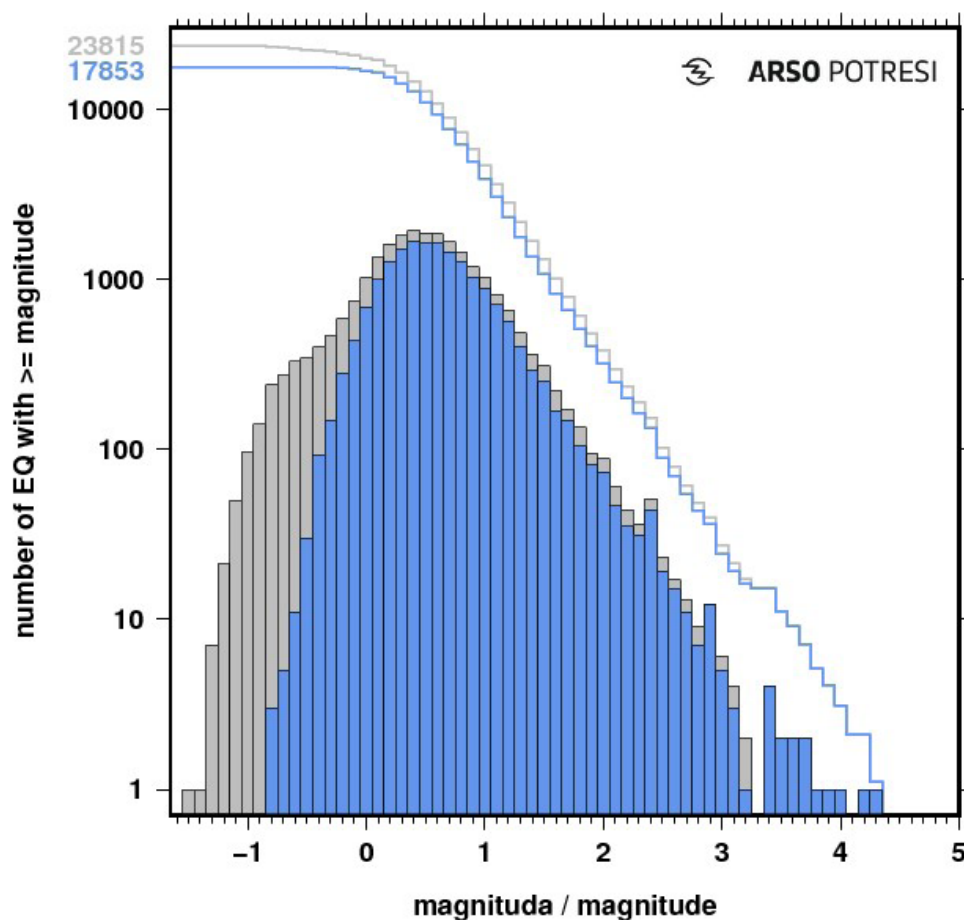
Podatki

Današnja DMPO je bila zgrajena med leti 2002 in 2008. Zato smo se v tej študiji omejili na obdobje po izgradnji opazovalnic, in sicer na potresno obdobje 2009–2019 (ARSO, 2009–2019) in na potrese na območju $13,25^\circ - 16,80^\circ$ VZD in $45,20^\circ - 47,00^\circ$ SZŠ. V tem obdobju so delovale vse opazovalnice, včasih je prišlo le do krajših izpadov, medtem ko se geometrija mreže ni spreminjala.

Pri rutinskem lociranju lahko žarišče potresa določimo z vstopnimi časi potresnega valovanja na vsaj treh opazovalnicah. Pri analizi poleg zapisov opazovalnic DMPO vedno uporabimo tudi zapise dopolnilnih opazovalnic, ki so postavljene na seizmično aktivnejših območjih, kot tudi seizmične zapise

opazovalnic Avstrije, Italije in Hrvaške, ki si jih z institucijami omenjenih držav izmenjujemo že od leta 2001.

Slika 1 prikazuje število potresov v obdobju 2009–2019. Najmočnejši potres v obravnavanem območju in obdobju je imel lokalno magnitudo 4,3. S sivo barvo so prikazani vsi locirani potresi v katalogu ARSO, z modro pa tisti, za katere so bile pri lociranju udeležene vsaj tri opazovalnice DMPO. Skoraj 6000 potresov je bilo lociranih z manj kot tremi opazovalnicami DMPO, a s pomočjo zapisov tujih



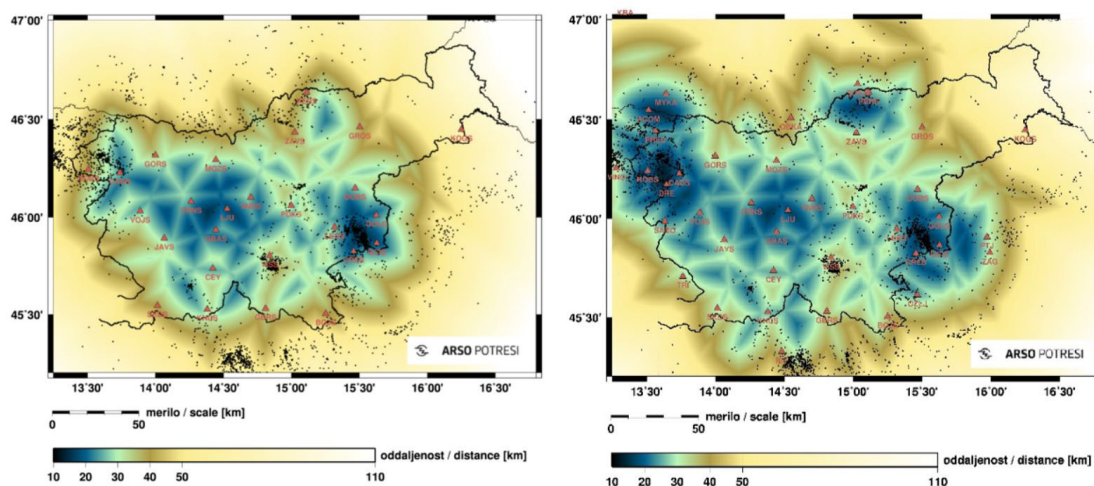
Slika 1. Število lociranih potresov v obdobju 2009–2019 v Sloveniji in njeni bližnji okolici. Črta prikazuje kumulativno število potresov z izbrano in večjo magnitudo, stolpiči pa prikazujejo število potresov z ustrežno magnitudo. Siva barva ustreza vsem lociranim potresom v katalogu ARSO, modra pa tistim, za katere so bile pri lociranju udeležene vsaj tri opazovalnice DMPO.

Figure 1. Number of earthquakes located in Slovenia and its surrounding area in the time period 2009-2019. The lines show the cumulative number of earthquakes of selected and greater magnitude, while the columns show the number of earthquakes of selected magnitude. The grey colour corresponds to all located earthquakes in the ARSO catalogue, and the blue colour to those for which at least three DMPO stations were involved in locating.

obmejnih opazovalnic in začasno postavljenih opazovalnic po močnejših potresih. Razlika med histogramoma je izrazita pri šibkih potresih.

Potrese, ki jih izključno z opazovalnicami DMPO ne bi uspeli locirati, smo na sliki 2 izrisali s črno piko. Barvna podlaga na zemljevidih (slika 2) prikazuje oddaljenost posamezne 10 km globoke točke ozemlja od tretje najbližje potresne opazovalnice DMPO (levo) oz. od tretje najbližje potresne opazovalnice, kjer upoštevamo tudi zapise tujih opazovalnic (desno). Globina 10 km je bila izbrana kot povprečna vrednost za potrese v Sloveniji, saj se jih približno dve tretjini zgodi od 5 do 16 km globoko.

Iz levega zemljevida slike 2 razberemo, da bi nelocirani ostali številni šibki potresi ob meji z Avstrijo, Hrvaško in Italijo, saj imajo ti potresi na večjem delu obmejnega območja za tretjo potresno opazovalnico DMPO prešibek zapis. Kljub temu so v katalogu potresov, saj smo jih locirali s pomočjo zapisov tujih obmejnih potresnih opazovalnic. Primerjava zemljevidov na sliki 2 pokaže, da lahko le z mednarodno izmenjavo seizmičnih zapisov med seizmološkimi institucijami Avstrije, Italije in Hrvaške spremljamo šibko seizmično aktivnost na obmejnih območjih. Navkljub mednarodni izmenjavi podatkov pa ostajajo nekatera območja znotraj Slovenije od tretje opazovalnice še vedno oddaljena več kot 35 km, med njimi Suha Krajina, okolica Zagorja ob Savi, obalni del in vzhodni del Slovenije, širše področje Jesenic, Kokre, Jezerskega, območje Velenja, Črnea na Koroškem, Celja ...



Slika 2. Barvna podlaga ponazarja oddaljenost posamezne točke na globini 10 km od tretje najbližje opazovalnice. Lokacije opazovalnic so označene z rdečimi trikotniki. Pri izrisu podlage smo upoštevali levo samo opazovalnice DMPO in desno opazovalnice DMPO in opazovalnice v Avstriji, Italiji in na Hrvaškem, z zapisi katerih samodejno lociramo potrese. Potresi, ki so bili odčitani na manj kot treh opazovalnicah DMPO, so označeni s črnimi pikami.

Figure 2. The colour background illustrates the distance of an individual location at a depth of 10 km from the third nearest station. The locations of the stations are marked with red triangles. When plotting the background of the left map, only the DMPO stations were taken into consideration, while in the right map, DMPO stations and stations in Austria, Italy and Croatia were used. Earthquakes picked at less than three stations are marked with black dots.

Številni šibki potresi znotraj ozemlja Slovenije, ki niso zapisani na treh opazovalnicah DMPO, so locirani z dopolnilnimi opazovalnicami, postavljenimi na nadžariščno območje po močnejših potresih, ali z dodatno lokalno mrežo potresnih opazovalnic, npr. v Krško-Brežiški kotlini. Sklepamo lahko, da se šibka seizmična aktivnost dogaja tudi na nekaterih ostalih rjavih območjih slik 2, a potresi znotraj teh območij niso zabeleženi na treh opazovalnicah DMPO in tako ostanejo nelocirani.

Magnituda kompletnosti za lociranje potresov z opazovalnicami DMPO se znotraj Slovenije krajevno spreminja. Glede na sliko 2 predvidevamo, da imajo modro obarvana območja nižje magnitude kompletnosti od rjavo obarvanih območij.

Metoda PMC

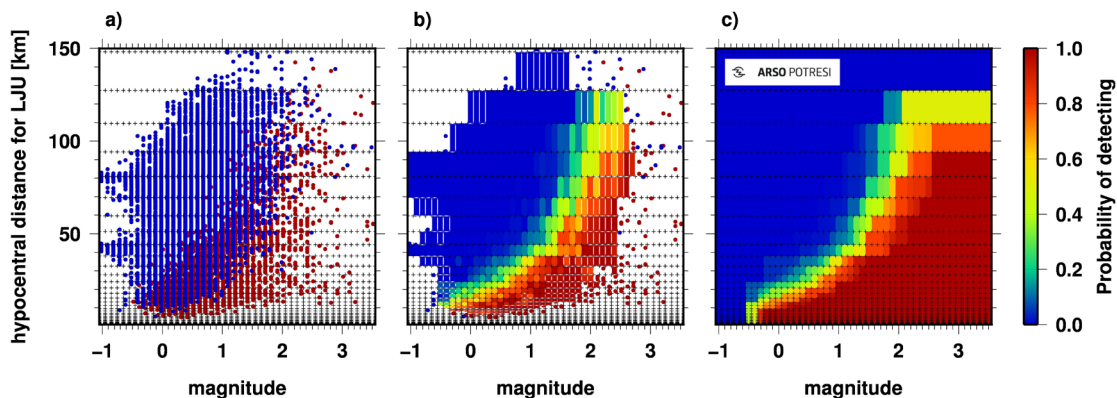
Pri verjetnostni analizi PMC uporabimo izključno empirične podatke, ki veljajo za izbrano obdobje, in sicer lokacijo izbranih opazovalnic, lokacijo in magnitudo potresov, ter informacijo o tem, ali je bilo vzdolžno in/ali prečno valovanje odčitano na opazovalnici. Izvedemo jo v dveh korakih.

V prvem koraku za vsako opazovalnico zberemo trojice podatkov o tem, ali je bil potres v katalogu odčitano na opazovalnici ali ne (+/-), magnitudo potresa M in žariščno oddaljenost potresa od opazovalnice L . Slika 3a prikazuje trojice za opazovalnico LJU v Ljubljani na Golovcu. Trojica, za katero je bil potres na opazovalnici zabeležen, je označena z rdečo, če opazovalnica potresa ni zaznala, pa z modro piko. Iz trojic nadalje določimo verjetnost $P_S(M, L)$, da bo potres magnitude M zabeležen na žariščni razdalji L . Celoten graf razdelimo na celice z magnitudnimi razmiki $\Delta M = 0,1$ magnitudne enote oz. razmiki v (nad)žariščni oddaljenosti $\Delta L \propto 10^{(\Delta M/1,52)}$. Na sliki so robovi celic označeni s črnimi znaki +.

V vsaki posamezni celici preštejemo vse pozitivne in negativne trojice (N_+ + N_-). Če je teh vsaj osem, potem preštejemo še tiste trojice, za katere je bil potres na opazovalnici zabeležen (N_+). Verjetnost, da bi bil potres v izbrani celici zabeležen, je

$$P_S(M, L) = \frac{N_+}{N_+ + N_-}$$

V primeru, da v celici ni osem trojic, dodamo izbrani celici še trojice treh sosednjih celic (zgornje, leve in zgornjo-leve), za katere velja, da imajo potresi manjšo magnitudo in so zabeleženi na večji razdalji. S tem kriterijem skušamo doseči željeno število trojic in obenem ne preceniti verjetnost detekcije za izbrano celico, saj ji dodamo le tiste celice, pri katerih je verjetnost detekcije zaradi šibkejšega zapisa manjša. Na sliki 3b so obarvane vse celice, za katere smo določili verjetnost po zgornjih kriterijih. Z belo so obrobene tiste celice, katerim smo dodali trojice treh sosednjih celic. Nekatere celice nimajo dovolj trojic in so ostale nepobarvane. Tu gre predvsem za celice v desnem delu grafa, ki predstavlja višje magnitude in v spodnjem delu grafa, ki predstavlja potrese v neposredni bližini potresne opazovalnice. V splošnem velja, da verjetnost opazovalnice za beleženje močnejših potresov pri isti žariščni oddaljenosti ne sme padati, in podobno velja tudi, da da bo potres bolj verjetno zabeležila bližja opazovalnica. Ta dva privzeta uporabimo pri glajenju, da dobimo verjetnostno porazdelitev posamezne opazovalnice za beleženje potresov z vsaj tremi opazovalnicami. Končni rezultat je prikazan na sliki 3c.

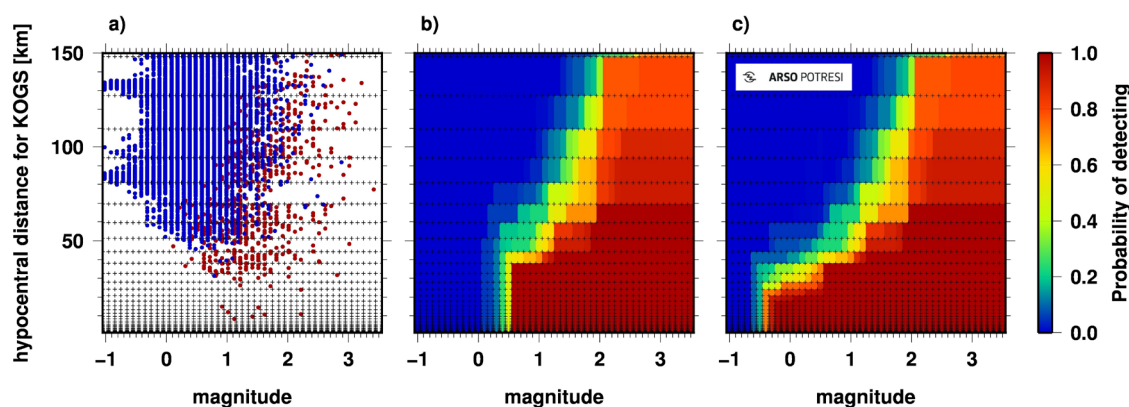


Slika 3. Koraki do izračuna detekcijske zmožnosti potresne opazovalnice LJU glede na magnitudo in žariščno oddaljenost; a) prikaz analiziranih (rdeča)/neanaliziranih (modra) potresov na zapisih LJU glede na žariščno oddaljenost in magnitudo potresa; b) pogojna verjetnost detekcije potresa v celicah z dovolj podatki; c) glajena detekcijska zmožnost opazovalnice. Probability of detecting = Verjetnost detekcije; magnitude = magnituda M_{LV} ; hypocentral distance for = žariščna razdalja za.

Figure 3. Procedure to define the detection probability of an earthquake at the seismic station LJU, with given magnitude and hypocentral distance; a) display of analysed (red)/unanalysed (blue) located earthquakes at LJU records with given hypocentral distance and magnitude; b) detection probability of an earthquake in cells with enough data; c) smoothed detection probability of an earthquake.

V zavesti moramo imeti nekaj omejitev, ki jih predstavljajo uporabljeni podatki. V analizi smo uporabili le podatke lociranih potresov, kar pomeni, da je bil potres zabeležen vsaj na treh opazovalnicah. V primeru, da se je šibek potres zgodil zelo blizu le eni ali dvema opazovalnicama, ta ni bil lociran. V območju šibkih magnitud na kratkih žariščnih oddaljenostih zato delež negativnih trojic manjka, s tem pa je verjetnost za beleženje potresov precenjena. Drugačen primer je potresna opazovalnica KOGS na Kogu v Slovenskih goricah, kjer potresov v neposredni bližini opazovalnice v izbranem obdobju skorajda nismo zabeležili (slika 4a). Zaradi pomanjkanja podatkov na kratkih žariščnih razdaljah do približno 35 km verjetnosti za beleženje potresov po postopku PMC ne moremo izračunati. Vemo, da rezultat na sliki 4b ne predstavlja dejanske detekcijske zmožnosti opazovalnice. Ker je opazovalnica za beleženje magnitud na večjih žariščnih oddaljenostih popolnoma primerljiva ostalim v mreži DMPO, smo privzeli manjkajoče verjetnosti detekcije potresov pod magnitudo 0,6. V ta namen smo primerjali verjetnosti za detekcijo potresov opazovalnice KOGS v magnitudnem območju 0,6-2,0 in do oddaljenosti 150 km z verjetnostmi vseh ostalih opazovalnic. Ugotovili smo, da se vrednosti za opazovalnico KOGS najbolj ujemajo z vrednostmi opazovalnice MOZS. Popravek je izrisan na sliki 4c.

Primerjava detekcijskih zmožnosti vseh opazovalnic DMPO, da zabeležijo potres z magnitudo 0,5, je izrisana na sliki 5. Nizke verjetnosti detekcije na opazovalnici KOGS smo pokomentirali zgoraj in gre za rezultat pomanjkanja podatkov v bližini opazovalnice. Opazovalnica LJU ima pričakovano slabšo verjetnost detekcije potresov, ker je postavljena v mestu Ljubljana, kjer je se-



Slika 4. Detekcijska zmožnost potresne opazovalnice KOGS. a) prikaz analiziranih (rdeča) / ne-analiziranih (modra) lociranih potresov na zapisih KOGS glede na žariščno oddaljenost in magnitudo potresa. b) ocenjena detekcijska zmožnost potresne opazovalnice KOGS; c) popravljena detekcijska zmožnost potresne opazovalnice KOGS, pri čemer so popravljene vrednosti za magnitudo pod 0,6. Probability of detecting = Verjetnost detekcije; magnitude = magnituda M_{LV} ; hypocentral distance for = žariščna razdalja za.

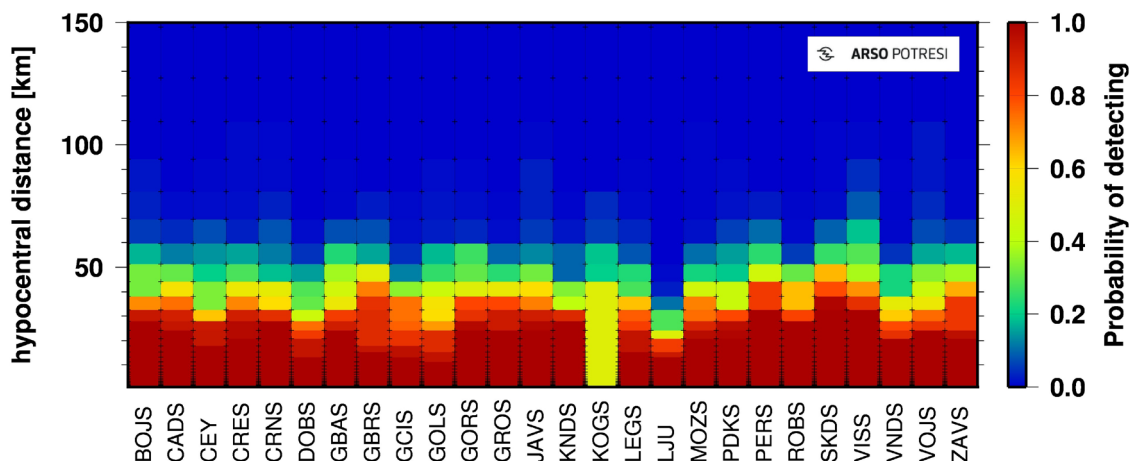
Figure 4. A probability distribution for earthquake location at the seismic station KOGS according to magnitude and hypocentral distance; a) display of analysed (red) / unanalysed (blue) earthquakes with given hypocentral distance and magnitude; b) detection probability of an earthquake in cells with enough data; c) smoothed and corrected detecting probability of an earthquake at the seismic station KOGS for magnitudes below 0.6.

izmični šum velik. Ta onemogoča detekcijo zelo šibkih potresov. Tudi opazovalnice CEY, DOBS, GCIS in GOLS beležijo potrese magnitude 0,5 do bistveno krajših žariščnih oddaljenosti kot ostale potresne opazovalnice.

Razlike med verjetnostjo detekcije potresov podnevi in ponoči smo na sliko 6 izrisali za dve potresni opazovalnici, LJU in PDKS. Verjetnost je pričakovano slabša podnevi kot ponoči. Opazovalnica PDKS je postavljena v mirnejše okolje, zato šibke potrese tudi podnevi beleži do bistveno večjih žariščnih oddaljenosti kot opazovalnica LJU.

V drugem koraku iščemo verjetnost, da n potresnih opazovalnic DMPO zabeleži dogodek magnitude M na območju Slovenije, $P_{DMPO}^n(M)$, kot tudi prostorsko porazdelitev magnitude kompletnosti, M_c . Najprej za vsako posamezno opazovalnico preberemo verjetnost za detekcijo $P_s(M, L_s) = p_s$ oziroma ne-detekcijo $(1-p_s)$ potresa v izbrani točki v prostoru. Žariščna oddaljenost L_s je za vsako opazovalnico drugačna, poleg tega pa izračun vedno delamo za izbrano globino potresa.

Verjetnost, da seizmolog na nobeni opazovalnici ne odčita potresa, je produkt verjetnosti za ne-detekcijo, $(1-p_s)$, vseh opazovalnic:



Slika 5. Primerjava verjetnosti detekcije potresa magnitude 0,5 na opazovalnicah DMPO do žariščne oddaljenosti 150 km. Probability of detecting = Verjetnost detekcije; hypocentral distance for = žariščna razdalja za.

Figure 5. Comparison of the detection probability of an earthquake of magnitude 0.5 on DMPO stations up to a hypocentral distance of 150 km.

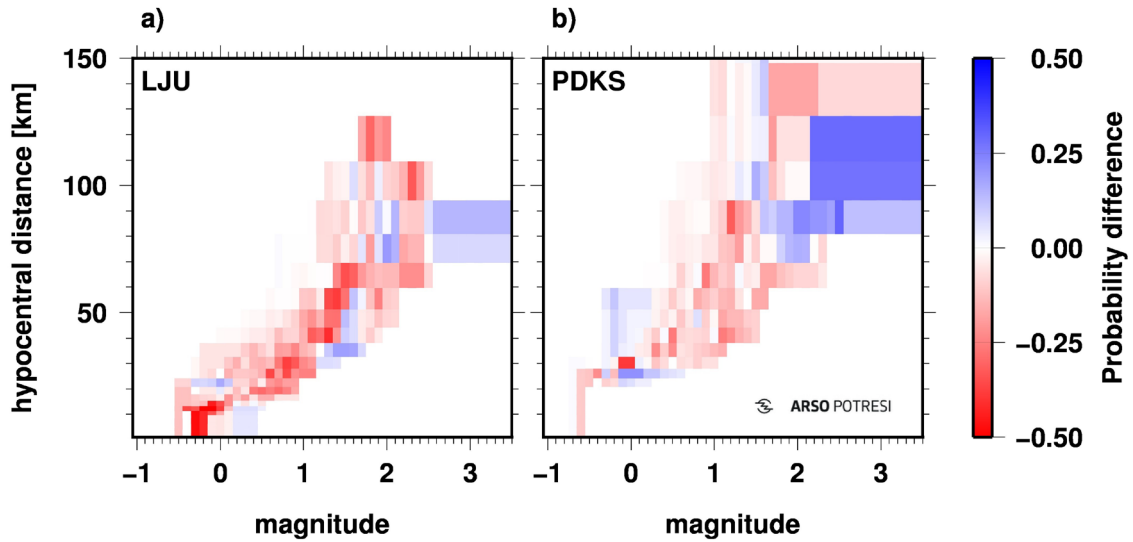
$$P^0 = \prod_{s=1}^{26} (1 - p_s).$$

Skupna verjetnost, da seizmolog dogodek odčita na natanko eni opazovalnici, je enaka vsoti 26 delnih verjetnosti, ki predstavljajo primere, ko je dogodek odčitani na eni opazovalnici, na ostalih pa ne:

$$P^1 = \sum_{i=1}^{26} \left[p_i \prod_{\substack{s=1, \\ s \neq i}}^{26} (1 - p_s) \right].$$

Pri izračunu verjetnosti, da je potres odčitani na n opazovalnicah, obstaja $C_n^{26} = 26! / (n!(26-n)!)$ možnih setov. Vsota verjetnosti posameznih setov predstavlja skupno verjetnost. Posamezen člen zapišemo kot produkt verjetnosti, da je potres odčitani na n opazovalnicah, $\prod Comb_n^{26}(p_s)$, in produkt ostalih $(26-n)$ opazovalnic, torej komplementa opazovalnic v mreži, na katerih potres ni odčitani, $\prod Comb_n^{26}(1-p_s)$:

$$P^n = \sum_{i=1}^{C_n^{26}} \left[\prod Comb_n^{26}(p_s) \prod \overline{Comb_n^{26}(1-p_s)} \right]_i.$$



Slika 6. Razlike med verjetnostjo detekcije potresa v dnevnem (6.00–20.00 UTC) in nočnem času (20.00–6.00 UTC) na opazovalnicah a) LJU in b) PDKS. Rdeča barva predstavlja večjo verjetnost za beleženje potresa v nočnem času, modra pa v dnevnem času. Probability difference = razlika verjetnosti detekcije; magnitude = magnituda M_{LV} ; hypocentral distance = žariščna razdalja.

Figure 6. Differences in detection probability of an earthquake between day (06.00 - 20.00 UTC) and night-time (20.00 - 06.00 UTC) a) at LJU and b) at PDKS stations. The red colour represents higher probability of detecting an earthquake at night, and blue during the day.

V nadaljevanju nas zanima verjetnost, da je potres odčitán na vsaj 3 opazovalnicah. Ker imamo mrežo 26 opazovalnic, je veliko lažje izračunati verjetnost, da potres ni bil odčitán na nobeni opazovalnici, P^0 , da je bil potres odčitán le na eni opazovalnici, P^1 , in da je bil odčitán na 2 opazovalnicah, P^2 , in nato vse te vrednosti odšteti od gotovega dogodka:

$$P_{DMPO}^3(M) = 1 - P^0 - P^1 - P^2 = 1 - \sum_{i=0}^2 P^i.$$

V splošnem je zapis sledeč

$$P_{DMPO}^n(M) = 1 - \sum_{i=0}^{n-1} P^i.$$

Magnitudo kompletnosti M_c v dani točki dobimo po enakem postopku, le da magnitudo spreminjamo, npr. višamo, toliko časa, da verjetnost lociranja potresa magnitude M_c v dani točki doseže vrednost 1, oz. zaradi napak pri zaokroževanju izberemo vrednost zelo blizu 1, v našem primeru $P_{DMPO}^n(M_c) > 0,999$.

Rezultati

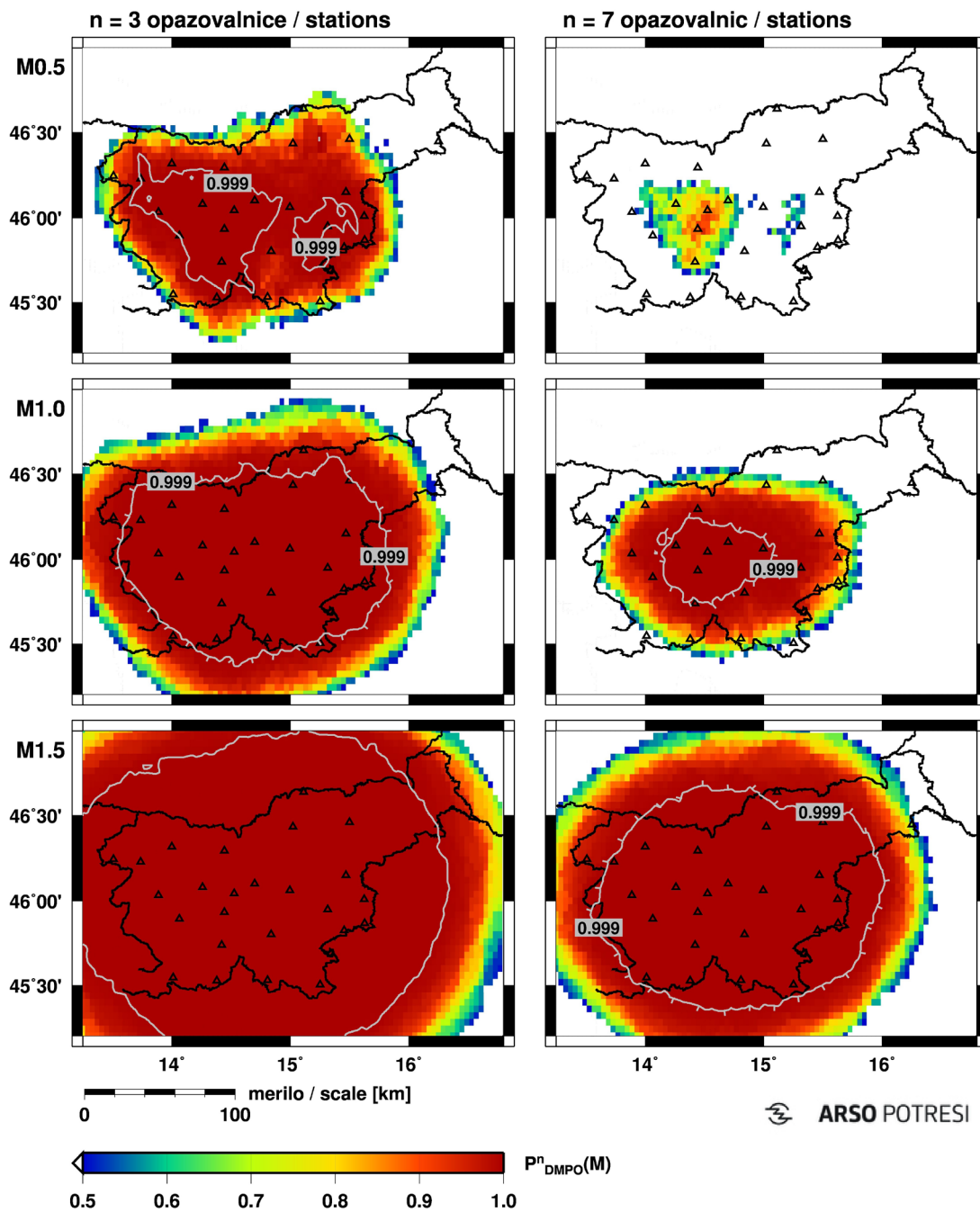
Prostorsko porazdelitev vrednosti $P^n_{DMPO}(M)$ in $M_c(P^n_{DMPO}(M_c) > 0,999)$ smo dobili tako, da smo te vrednosti izračunali po mreži točk prek cele Slovenije. Razdalja med mrežnimi točkami je $0,04^\circ$ zemljepisne širine oz. dolžine.

Najprej smo analizirali verjetnosti za lociranje potresa na treh ($n = 3$) oz. sedmih opazovalnicah ($n = 7$) pri treh različnih magnitudah ($M = 0,5, 1,0$ in $1,5$). Na sliki 7 smo s sivo izolinijo označili verjetnost $0,999$, in z njo omejili območje, kjer potres dane magnitude z gotovostjo lahko lociramo. Dogodek, zabeležen na treh opazovalnicah, že zadošča za ročno lociranje potresa. Iz levih zemljevidov na sliki 7 lahko razberemo, da seizmolog analizator potres z magnitudo $1,5$ brez težav locira, kjerkoli v Sloveniji se ta zgodi, razen na skrajnem severovzhodu države. V tem območju je seizmičnost izjemno nizka, zato je bilo že pri načrtovanju mreže odločeno, da tu ne postavimo opazovalnic. Potres magnitude $1,0$ bi lahko zgrešil na nekaterih obmejnih območjih, vendar imamo obmejna območja večje seizmične aktivnosti, npr. Posočje, krita z zajemom seizmičnih zapisov sosednjih držav. Potres z magnitudo $0,5$ pa pri analizi z gotovostjo zabeležimo le še v osrednjem delu države zahodno od Ljubljane in v nekaterih vzhodnih predelih, če uporabimo samo opazovalnice DMPO.

Desni zemljevidi na sliki 7 predstavljajo zmožnost lociranja 10 km globokega potresa s 7 opazovalnicami DMPO, oz. z drugimi besedami odražajo verjetnost proženja sistema za samodejno obveščanje javnosti o potresu. Pri potresu magnitude $1,5$ imamo lahko nekaj težav z samodejno objavo potresov na nekaterih obmejnih predelih, vendar, kot že večkrat povedano, si tu pomagamo z zajemom seizmičnih zapisov tujih potresnih opazovalnic. Potres magnitude $1,0$ bi bil z gotovostjo samodejno objavljen le, če bi se zgodil v okolici Ljubljane, do 40 km oddaljen od središča mesta. Medtem ko potres magnitude $0,5$ z veliko verjetnostjo ne bi prožil sistema za samodejno obveščanje o potresu, česar tudi ne zahtevamo. Kompletnost proženja sistema po potresu z magnitudo nad $1,5$ popolnoma zadosti zahtevam samodejnega obveščanja.

Na sliki 8 smo izrisali prostorsko porazdelitev magnitude kompletnosti, $M_c(P^n_{DMPO}(M_c) > 0,999)$, oz. magnitude, pri kateri je v dani točki verjetnost za lociranje 10 km globokega potresa vsaj $0,999$. Pri ročni analizi, kjer za lociranje potrebujemo najmanj tri opazovalnice, bi z opazovalnicami DMPO brez težav locirali potres magnitude $1,2$. Pod magnitudo $0,5$ pa potrese lahko lociramo le še v osrednjem delu države zahodno od Ljubljane in na Krško-Brežiškem polju. Za samodejno objavo potresa na spletu pa pri lociranju potrebujemo 7 opazovalnic, kar pomeni, da so potresi magnitude $1,5$ z gotovostjo objavljeni, ne glede na to, kje v Sloveniji so se zgodili, razen tistih v Posočju in Prekmurju. Potresi magnitude $1,0$ pa so z gotovostjo objavljeni le, če se zgodijo do 40 km od Ljubljane.

Vsi prostorski prikazi – zemljevidi – prikazujejo vrednosti za potrese na globini 10 km. Ker pa je žariščna oddaljenost neposredno odvisna od globine, pričakujemo, da se magnituda kompletnosti z globino manjša. Za boljšo predstavbo smo magnitude kompletnosti izrisali v globinskem prerezu vzdolž vzporednika $46,00^\circ$ SZŠ med poldnevnikoma $13,25^\circ$ in $16,80^\circ$ VZD (slika 8 spodaj). Iz levega profila razberemo, da v osrednjem delu države pri ročni analizi ne moremo spregledati potresov nad magnitudo $1,0$, medtem ko potrese z magnitudo $0,5$ lociramo le v osrednjem delu države, če ti niso globlje od 18 km. Potrese pod magnitudo $0,0$ pa z opazovalnicami DMPO

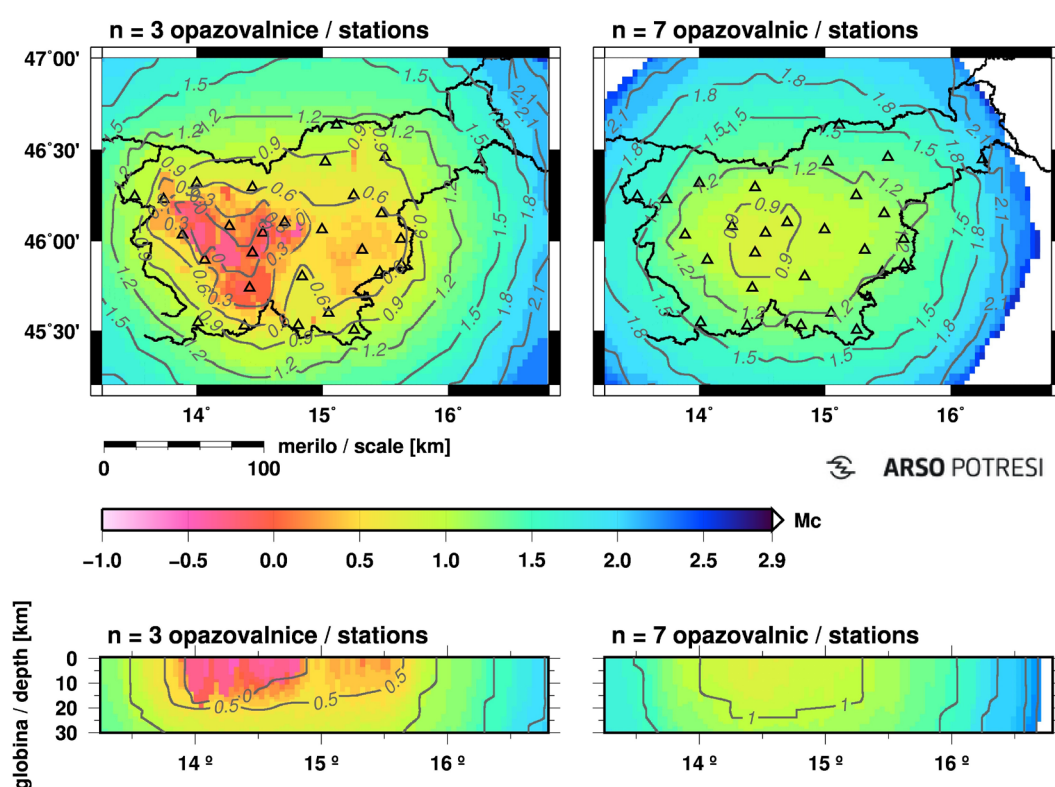


Slika 7. Prostorska porazdelitev verjetnosti, $P^n_{DMPO}(M)$, za lociranje 10 km globokega potresa pri različnih magnitudah in številu opazovalnic DMPO (levo: $n = 3$, desno: $n = 7$); zgoraj za $M = 0,5$, v sredini za $M = 1,0$ in spodaj za $M = 1,5$.

Figure 7. Spatial probability distribution $P^n_{DMPO}(M)$ for locating 10 km deep earthquake at different magnitudes and number of stations (left: $n=3$; right: $n=7$). Above for $M=0.5$, centre for $M=1.0$, below for $M=1.5$.

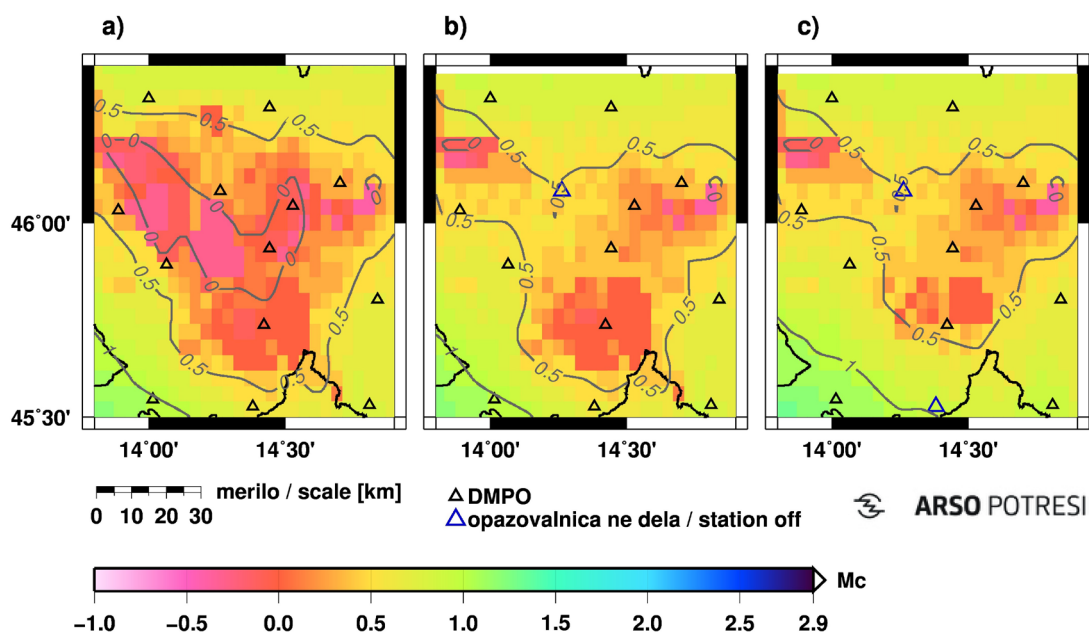
lahko z gotovostjo lociramo le zahodno od Ljubljane (14,53° VZD). Tudi magnitude potresov, ki jih samodejno objavimo na spletnih straneh, so odvisne od tega, kako globoko je potres nastal. Za potrese z magnitudo nad 1,5 v osrednjem delu države se samodejni sistem za postavljanje obvestil z gotovostjo proži, pri potresih nad magnitudo 1,0 pa to velja le za tiste, ki se zgodijo v okolici Ljubljane in do globine 20 km.

Nadalje smo pod drobnogled najprej vzeli zahodni del države, kjer so magnitude completeness najnižje. Zanimalo nas je, kako nedelovanje ene ali dveh opazovalnic okrne zmožnost DMPO za lociranje šibkih 10 km globokih potresov. Simulacijo prikazuje slika 9. Na zemljevidu 9a je prikazana magnituda completeness, ko delujejo vse opazovalnice DMPO, na naslednjem



Slika 8. Zgoraj: Prostorska porazdelitev magnitude completeness, $M_c(P_{DMPO}^n(M_c) > 0,999)$, za lociranje 10 km globokih potresov na vsaj treh opazovalnicah DMPO (levo) in na vsaj sedmih opazovalnicah DMPO (desno). Spodaj: Magnituda completeness za lociranje potresa na vsaj treh (levo) in vsaj sedmih (desno) opazovalnicah DMPO v globinskem prerezu vzdolž vzporednika 46,00° SZŠ med poldnevnikoma 13,25° in 16,80° VZD.

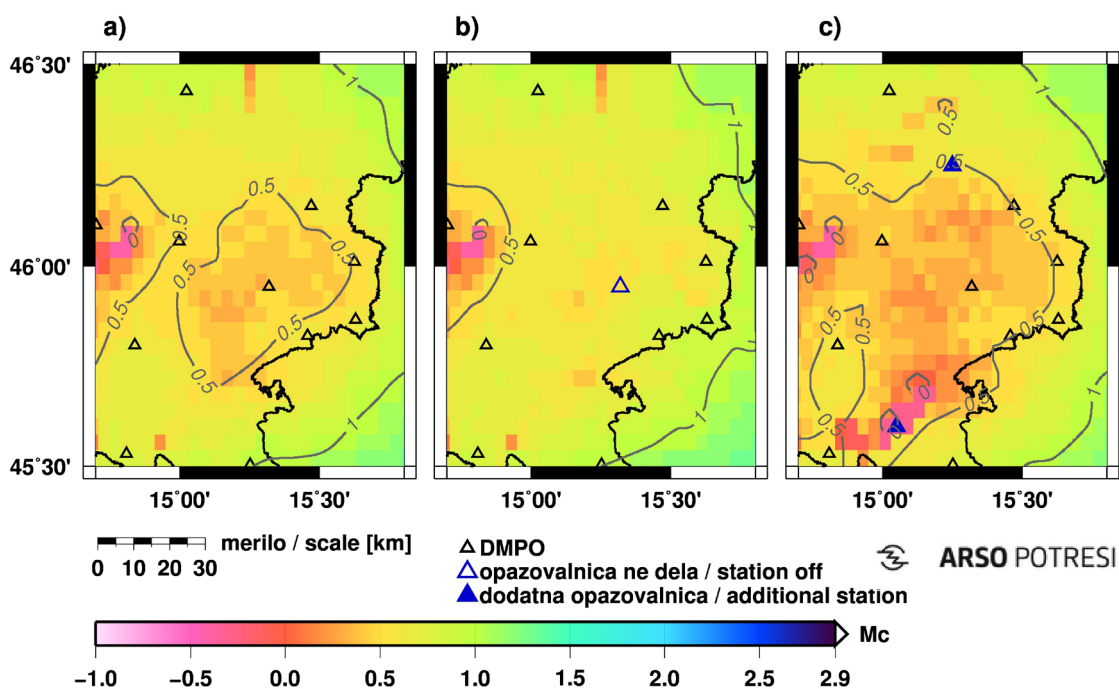
Figure 8. Above: Spatial distribution of completeness magnitude, $M_c(P_{DMPO}^n(M_c) > 0,999)$, for locating 10 km deep earthquakes at at least three DMPO stations (left) and at least seven DMPO stations (right). Below: The completeness magnitude for earthquake location at at least three (left) and at least seven (right) DMPO stations, shown in depth section along the parallel 46.00 ° N between the meridians 13.25 ° E and 16.80 ° E.



Slika 9. Prostorska porazdelitev magnitude kompletnosti, $M_c(P_{DMPO}^n(M_c) > 0,999)$ v zahodni Sloveniji za detekcijo 10 km globokih potresov na vsaj treh opazovalnicah mreže a) DMPO, b) DMPO, ko opazovalnica CRNS ne dela, in c) DMPO, ko opazovalnici CRNS in KNDS ne delata.
Figure 9. Spatial distribution of completeness magnitude, $M_c(P_{DMPO}^n(M_c) > 0,999)$, for locating 10 km deep earthquakes in western Slovenia at at least three a) DMPO stations, b) DMPO when the CRNS station is out of operation, and c) DMPO when CRNS and KNDS stations are out of operation.

zemljevidu 9b v izračunu nismo upoštevali opazovalnice CRNS (moder trikotnik), na zemljevidu 9c pa dveh opazovalnic, CRNS in KNDS. Območje, kjer pri analizi lahko zanesljivo lociramo potrese pod magnitudo 0,5, se občutno zmanjša.

Podobno simulacijo smo izvedli tudi za vzhodni del države (slika 10). Na zemljevidu 10a je prikazana magnituda kompletnosti, ko delujejo vse opazovalnice DMPO, medtem ko na naslednjem zemljevidu 10b v izračunu nismo upoštevali opazovalnice LEGS (moder trikotnik). Magnituda kompletnosti na Krško-Brežiškem polju se je pričakovano zvišala. Zanimalo nas je tudi, kako bi se odrazila postavitve dodatnih opazovalnic na tem območju. Eno opazovalnico smo postavili v Koprivnik pri Črnomlju, drugo v Celje (polna modra trikotnika). Za verjetnostno porazdelitev lociranja potresa na teh dveh opazovalnicah smo privzeli vrednosti opazovalnice MOZS. Prostorska porazdelitev magnitude kompletnosti je s postavitvijo dodatnih opazovalnic z neprekinjenim beleženjem potresov postala primerljiva s tisto na zahodnem delu države.



Slika 10. Prostorska porazdelitev magnitude kompletности, $M_c(P_{DMPO}^n(M_c) > 0,999)$ v vzhodni Sloveniji za detekcijo 10 km globokih potresov na vsaj treh opazovalnicah mreže a) DMPO, b) DMPO, ko opazovalnica LEGS ne dela, in c) DMPO ter dveh dopolnilnih opazovalnic, pri Celju in pri Kočevju.

Figure 10. Spatial distribution of completeness magnitude, $M_c(P_{DMPO}^n(M_c) > 0,999)$, for locating 10 km deep earthquakes in eastern Slovenia at at least three a) DMPO stations, b) DMPO when the LEGS station is out of operation, and c) DMPO with two additional stations, near Celje and Kočevje.

Zaključek

Zmožnost Državne mreže potresnih opazovalnic (DMPO) za lociranje potresa v Sloveniji smo določili z verjetnostno analizo magnitude kompletности (Schorlemmer in Woessner, 2008). PMC z analizo izključno empiričnih podatkov vsaki opazovalnici opredeli verjetnost detekcije potresov glede na magnitudo in žariščno oddaljenost, pri čemer smo upoštevali le locirane potrese v katalogu, nato pa s sintezo teh verjetnostni za vse opazovalnice DMPO opredeli bodisi verjetnost za lociranje potresa posamezne magnitude bodisi magnitudo kompletности na celotnem ozemlju Slovenije.

Mreža potresnih opazovalnic se s časom spreminja. V Sloveniji smo v času posoškega potresa leta 1998 imeli le 5 digitalnih opazovalnic, po letu 2008, ko je bila končana posodobitev mreže potresnih opazovalnic, pa 26. To stalno mrežo dopolnjujemo z dopolnilnimi potresnimi

opazovalnicami. Po močnejših potresih na nadžariščno območje nameščamo tudi začasne opazovalnice. Pri opazovanju šibke seizmičnosti so še posebej pomembne tiste, ki seizmičnost merijo neprekinjeno. Vsaka nova sprememba vodi do spremembe v zgoraj izračunani prostorski porazdelitvi magnitude kompletnosti, ki velja le za trenutno konfiguracijo mreže. V splošnem bi bilo treba vsakič, ko se mreža spremeni, verjetnosti preračunati, vendar je to nemogoče zaradi pomanjkanja vhodnih empiričnih podatkov na komaj postavljenih opazovalnicah. Poleg tega so verjetnosti za lociranje dogodkov na obmejnih območjih višje, saj k temu pripomore mednarodna izmenjava zapisov tujih opazovalnic v realnem času. Tujih opazovalnic pri PMC izračunu nismo upoštevali, ker v polnosti ne poznamo detekcijskih zmožnosti teh opazovalnic.

PMC izračun pa nam vseeno nudi vpogled v prostorsko porazdelitev magnitude kompletnosti in verjetnosti za lociranje potresov dane magnitude v osrednjem delu Slovenije in posledično razkriva, kaj lahko pričakujemo od mreže DMPO. Že slika 2 je nakazala, da bi lahko najnižje magnitude kompletnosti beležili v osrednji Sloveniji, zahodno od Ljubljane. Analiza PMC je ta predvidevanja potrdila. Najnižje vrednosti M_c smo dobili na območju zahodno od Ljubljanskega barja, natančneje na širšem območju Horjula, Logatca in Vrhnike. Drugo območje, kjer slika 2 kaže veliko detekcijsko občutljivost mreže DMPO, pa je območje Krško-Brežiške kotline. Območje je dobro »vidno« tudi za tretjo opazovalnico, saj njena oddaljenost ne presega 20 km. Vrednosti, ki jih poda PMC analiza, pa so kljub temu, da na tem območju deluje 5 opazovalnic, slabše od pričakovanih. Razlog je najverjetneje v slabši zmožnosti za detekcijo šibkih potresov opazovalnic DOBS, GCIS in GOLS, ki smo jo razbrali tudi iz slike 5.

Literatura

- ARSO, 2009–2019. Baza podatkov za potrese na ozemlju Slovenije za obdobje 2009–2019. Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo, Ljubljana.
- ARSO, 2002–2020. Baza žariščnih mehanizmov za potrese na ozemlju Slovenije. Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo, Ljubljana.
- Čarman, M., Živčič, M., Ložar Stopar, M., 2009. Relokacija potresov v bližini Litije, Potresi v letu 2008. Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo, Ljubljana.
- Schorlemmer, D., Woessner, J., 2008. Probability of detecting an earthquake. *Bull. seism. Soc. Am.*, 98(5), 2103-2177, doi:10.1785/0120070105.
- Schorlemmer, D., Mele, F., Marzocchi, W., 2010. A completeness analysis of the National Seismic Network of Italy. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 115, B04308, doi:10.1029/2008JB006097.
- Vidrih, R., Sinčič, P., Tasič, I., Gosar, A., Godec, M., Živčič, M., 2006. Državna mreža potresnih opazovalnic = Seismic network of Slovenia. Ur. Vidrih, R. Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo, 287 strani.



Dogodki v letu 2020

Events in 2020

Seizmologija v idrijskem Geoparku, 7. januar 2020



V sodelovanju Geoparka Idrija z ARSO smo 7. januarja 2020 v Centru za obiskovalce Geoparka Idrija postavili zaslone, ki prikazuje sprotne zapise iz opazovalnice VOJS. Postavitev je del stalne razstave

Center za obiskovalce Geoparka Idrija je bil oblikovan s pomočjo evropskih sredstev v projektu Danube GeoTour in odprt oktobra 2019. V njem obiskovalci dobijo podrobne informacije o poteh in ciljnih točkah Geoparka, spotoma pa si lahko ogledajo zanimivo in zelo lepo izdelano stalno razstavo z naslovom »Zapisano v kamninah«, v kateri se geologija prepleta z naravno in kulturno dediščino.



Razstava je oblikovana kot zgodba, ki nas vodi od nastanka našega planeta in izoblikovanja celin, preko prikaza različnih geomorfoloških procesov s slikami, maketami, videi in interaktivnimi poskusi. Prikazuje kamninsko in morfološko pestrost, kateri se prilagajajo vsa živa bitja na Zemlji. Sporoča, da se globalni procesi odražajo tudi lokalno.

Del razstave je posvečen seizmologiji, saj ravno na idrijskem območju deluje ena najstarejših slovenskih potresnih opazovalnic. Opazovalnica na Vojskem z mednarodno oznako VOJS, je del Državne mreže potresnih opazovalnic in neprekinjeno beleži nihanje tal od leta 1985. Prvotno analogno zapisovanje seizmogramov, ki še vedno deluje, je leta 2004 dopolnil digitalni seizmograf. Ta digitalne podatke pošilja v stvarnem času v središče za obdelavo seizmičnih podatkov na ARSO, kjer se izvaja stalno spremljanje potresne dejavnosti.

Vaja Potres, 23. januar 2020

V okviru vaje SIQUAKE2020 smo na ARSO izvedli vajo POTRES, pri kateri smo vsi seizmologi preverjali znanje in postopke pri dostopanju in analizi podatkov na Golovcu.

Obisk dr. Aleksandra Rudloffa, generalnega tajnika IUGG, 29. januar 2020



Dr. Aleksander Rudloff, generalni tajnik IUGG, se je 30. januarja 2020 udeležil slavnostne akademije Slovenskega združenja za geodezijo in geofiziko (SZGG), ki je to leto praznovalo 25-letnico sprejema slovenskega nacionalnega komiteja v Mednarodno zvezo za geodezijo in geofiziko (IUGG).

Ob tej priložnosti se je dan prej, 29. januarja 2020, srečal s predstavniki Agencije Republike Slovenije za okolje, ki delujejo znotraj štirih sekcij te organizacije, in sicer sekcije za seizmologijo

in fiziko notranjosti Zemlje (IASPEI), sekcije za meteorologijo in atmosferske znanosti (IAMAS), sekcije za hidrologijo (IAHS) in sekcije za fizikalno oceanografijo (IAPSO).

ARSO s svojim sodelovanjem v mednarodnem in slovenskem združenju za geodezijo in geofiziko ostaja povezan z raziskovalno in strokovno mednarodno skupnostjo ter sledi raziskovalnim tokovom. Opremljen z najnovejšimi znanji lahko doprinese k razumevanju dogajanja v okolju in pripravi verodostojnih podlag za pogumnejše odločitve politike ter celovite ukrepe na področju okolja.

Ura seizmologije – interna predavanja

Za boljše sodelovanje in poznavanje dela kolegov smo se seizmologi odločili, da nekajkrat letno pripravimo interna predavanja in ostalim predstavimo svoje delo. V letu 2020 smo imeli 2 predavanja:

Statistična analiza spletnih vprašalnikov o učinkih potresov, Barbara Šket Motnikar, Anita Jerše Sharma, 13. 2. 2020

Spletni vprašalniki o učinkih potresov ter pripadajoča relacijska podatkovna baza vprašalnikov, potresov in poročevalcev omogoča hitro in samodejno analizo podatkov. Zanima nas, ali samodejni oceni intenzitete lahko zaupamo. V zadnjem času mobilne naprave prevzemajo nekatere vloge osebnih računalnikov in vedno več uporabnikov želi klikati z miško namesto pisati. Poleg klasičnega besedilnega vprašalnika smo zato ponudili tudi slikovni vprašalnik. Ali se slikovna intenziteta ujema z besedilnimi odgovori? Kako pogosto dobijo spletni registrirani poročevalci prošnjo, da izpolnijo vprašalnik? Kolikšen je delež papirnih vprašalnikov? Ali je veliko naselij, kjer so registrirani samo papirni poročevalci? Po šestih letih uporabe spletne različice vprašalnika na ta in druga vprašanja odgovarjajo rezultati obsežne statistične analize.

"XYZ" in "UVW" tri-osni širokopasovni seizmometri, Izidor Tasič, 9. 3. 2020

Sodobni triosni seizmometri merijo nihanje tal v treh med seboj pravokotnih smereh, v navpični (Z) in v dveh vodoravnih smereh (X,Y). Zato bi pričakovali, da so tako postavljeni tudi

trije senzori v samem seizmometru. Taki postavitvi senzorjev pravimo XYZ-konfiguracija. Na začetku devetdesetih let prejšnjega stoletja pa se je na tržišču pojavil seizmometer z novo zasnovo postavitve senzorjev, kjer so trije med seboj pravokotni senzori postavljeni tako, da z navpičnico tvorijo kot $54,74^\circ$ (UVW-konfiguracija oziroma postavitve senzorjev, poimenovana cubecorner). To je bil zelo znan seizmometer STS-2 švicarskega podjetja Streckeisen. Danes, več kot 25 let pozneje, si tržišče delita obe zasnovi skoraj enakovredno, obe pa imata svoje prednosti in slabosti. V naši DMPO imamo postavljene seizmometre obeh konfiguracij ...

Zaradi preventivnih ukrepov za zajezitev širjenja covid-19 smo izvedli le dve predavanji.

Padec meteorita, 28. februar 2020

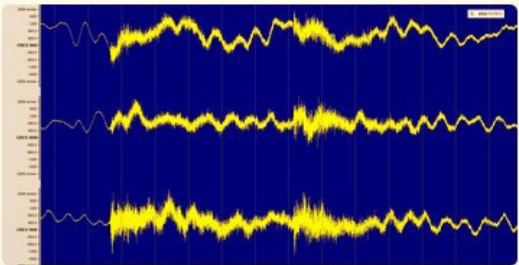
Feb 2020 • 29 days

TWEET HIGHLIGHTS

Top Tweet earned 14.1K impressions

Državna mreža potresnih opazovalnic je ob 10.32 zabeležila padec meteorita. Slika prikazuje zapis dogodka na potresni opazovalnici Črešnjevce.

pic.twitter.com/X5QWkTu06H



V petek, 28. 2. 2020, je ob 10.32 nebo nad delom Slovenije in Hrvaške prečkal meteorit. Ko je zgorel v atmosferi, je za seboj na nebu pustil sled. Prejeli smo poročila občanov, predvsem z območja Črnomlja in Vinice, ki so poročali o zvoku podobnemu grmenju, eksploziji, tresenju oken ... Zvok pri petkovem padcu je zaznala vrsta seizmoloških opazovalnic v vzhodni polovici Slovenije in opazovalnice v okolici Zagreba. Pravzaprav sta bila dogodka dva: prvega je zaznalo sedem opazovalnic v širši okolici Novega mesta, drugi in močnejši pok pa je zabeležilo kar 12 opazovalnic.

Tvit, ki prikazuje zapis dogodka na potresni opazovalnici Črešnjevce (CRES), si je ogledalo več tisoč ljudi, omenjen pa je bil tudi na spletnih straneh številnih časopisnih člankov.

Potres pri Zagrebu 22. marca 2020

Mnoge med nami je na nedeljsko jutro, 22. marca ob 6. uri in 24 minut, zbudilo tresenje tal. Potres se je zgodil le 7 kilometrov severno od Zagreba in je imel magnitudo $M_L = 5,5$. Ker je bilo njegovo žarišče le približno 10 kilometrov globoko, je imel na površju velike učinke. Najhuje je prizadel Zagreb in ostale kraje nad žariščem. Ljudje so se zelo prestrašili ter zbežali na prosto. Potres je številne starejše objekte tako poškodoval, da so bili mnogi med njimi začasno ali trajno neuporabni. Dobro grajene stavbe pa so utrepele nekonstrukcijske poškodbe. Učinki potresa v središču Zagreba so dosegli vsaj VII. stopnjo po evropski potresni lestvici, medtem ko so bila naselja severno od Zagreba še huje prizadeta. Potres smo čutili tudi v Sloveniji. Iz nekaterih naselji ob slovensko-hrvaški meji so ljudje poročali o lasastih razpokah v stenah, odpadlem ometu in poškodovanih strešnikih. Več o potresu lahko preberete v članku te publikacije.

Prvi seizmološko obarvan ARSO podcast o potresih v preteklosti, 8. april 2020

Matija Klančar se je pogovarjal s seizmologinjo Ino Cecić o potresih v preteklosti ter splošno o potresih in njihovem merjenju. Podcast epizode 037 – Potresi v preteklosti je dosegljiv na naslovu

<http://www.meteo.si/uploads/probase/www/fproduct/media/sl/podcast/podcast-index.html>

Pred 125 leti je Ljubljano stresel rušilni potres, Torkov kviz, Radio Slovenija, 14. april 2020

V Torkovem kvizu na Radio Slovenija so se spomnili velikega ljubljanskega potresa, ki je pred natanko 125. leti močno prizadel Ljubljano in okoliške kraje ter prebivalce tega območja. V oddaji je o potresu, ki se je zgodil na velikonočno nedeljo 14. aprila 1895, pozno zvečer, ob 23. uri in 17 minut po lokalnem času, pripovedovala seizmologinja Ina Cecić iz ARSO.

V kvizu je bilo zastavljeno naslednje vprašanje: Če je bil velikonočni potres, ki je stresel Ljubljano leta 1895 drugi najmočnejši na slovenskih tleh, kateri potres velja za najmočnejšega v naših krajih? Poznate odgovor?

Sodelovanje v oddaji Intelakta ob 125-letnici ljubljanskega potresa na Radiu Slovenija, 14. april 2020

Ob 125-ti obletnici ljubljanskega potresa, 14. aprila 2020, je bila na Radio Slovenija oddaja Intelakta z naslovom Ponovitev ljubljanskega potresa bo mnogo večja katastrofa.

V oddaji je novinarka Nina Slaček preverjala, zakaj strokovnjaki gradbenih strok opozarjajo, da danes številne zgradbe, šole in bolnice v Ljubljani ne bi preživele podobno močnega potresa, ki je pred 125. leti porušil Ljubljano, kakšne so rešitve in koliko je možnosti, da jih uresničimo še pravočasno.

V oddaji smo se z novinarko Nino Slaček pogovarjali mag. Marjana Lutman iz Zavoda za gradbeništvo, akademik prof. dr. Peter Fajfar z ljubljanske Fakultete za gradbeništvo in geodezijo, antropolog prof. dr. Rajko Muršič z ljubljanske Filozofske fakultete, ekonomist dr. Jure Stojan z Inštituta za strateške rešitve in seizmologinja dr. Martina Čarman iz Agencije RS za okolje.

<https://radioprvi.rtvsl.si/2020/03/ponovitev-ljubljanskega-potresa-bo-mnogo-vecja-katastrofa/> .

Sodelovanje v oddaji Radia Ognjišče, 8. maj 2020

Seizmologinja Ina Cecić iz Agencije RS za okolje se je 8. maja 2020 na Radio Ognjišče v oddaji Doživetja narave pogovarjala o potresih.

Letna seizmološka publikacija Potresi v letu 2018

10. junija 2020 je izšla elektronska verzija naše letne publikacije "Potresi v letu 2018", ki govori o potresih in drugih zanimivostih iz seizmologije. Dostopna na naši spletni strani <https://www.arso.gov.si/potresi/poro%C4%8Dila%20in%20publikacije/Potresi%20v%20letu%202018.pdf>.



Prijetno branje!

Postavitev prenosnih potresnih opazovalnic južno od Postojne

Med 22. majem in 1. septembrom 2020 je bila v okviru projekta »RAZVOJ RAZISKOVALNE INFRASTRUKTURE ZA MEDNARODNO KONKURENČNOST SLOVENSKEGA RRI PROSTORA – RI-SI-EPOS« postavljena mreža šestih prenosnih potresnih opazovalnic proizvajalca Kinometrics (Pasadena, California, USA):

- opazovalnica POST v prostorih IZRK ZRC SAZU v Postojni,
- opazovalnica MPJP v Ekomuzej Pivških presihajočih jezer v Slovenski vasi,
- opazovalnica PVZP v Parku vojaške zgodovine v Pivka),
- opazovalnica JLSP v OŠ Jelšane,
- opazovalnica MASE v Mašunu,
- opazovalnica GSNE na Gradu Snežnik.

Hkrati smo 1. septembra 2020 v prostorih Občine Ilirska Bistrica postavili zajemalno enoto in pospeškometer proizvajalca Nanometrics (Kanada). Opazovalnica z oznako ILBA je prav tako del mreže opazovalnic postavljene v projektu »RI-SI-EPOS«.

Namen raziskave je določitev potresno aktivnih tektonskih struktur z analizo šibke seizmičnosti v Pivški kotlini in v okolici Snežnika. Več o lokalni mreži južno od Postojne je dosegljivo na:

https://www.zrc-sazu.si/sites/default/files/prenosne_potresne_opazovalnice_a3_format.pdf

O seizmičnem nemiru v oddaji Ugriznimo znanost, 22. oktober 2020



Letošnja epidemija covid-19 ni ustavila samo našega življenja, ampak je umirila tudi Zemljo. Opazovalnice po svetu so zaznale manj visokofrekvenčnega seizmičnega nemira, ki ga povzroča človek. Tla pod našimi nogami se nenehno tresejo, izvori so lahko čisto naravni, kot so valovanje morja, prehajanje vremenskih front, vetrovi, hude nevihte, nihanje dreves ob vetrovnem vremenu. Seizmični nemir otežuje analizo potresov, a ni vedno samo motnja. Lahko je tudi dober pomočnik, saj z njim znanstveniki merijo vpliv tal na objekte ...



V pripravi oddaje so sodelovali seizmologi mag. Izidor Tasič, dr. Andrej Gosar in dr. Martina Čarman iz ARSO. Oddaja je bila na sporedu 22. oktobra 2020 ob 17.25 in je shranjena v spletnem arhivu na TV SLO 1 na naslovu

<https://4d.rtv slo.si/arhiv/ugriznimo-znanost/174726657>

Potres pri Petrinji 29. decembra 2020

Konec leta 2020 je zaznamoval močen potres pri Petrinji z magnitudo $M_L = 6,2$

V Sloveniji so prebivalci največjo intenziteto (V–VI EMS-98) čutili v naseljih Senovo, Kostanjevica na Krki, Volčje, Drenovec pri Bukovju, Orešje na Bizeljskem, Dolenje Skopice, Hrastulje, Močvirje, Drama, Črneča vas, Globočice pri Kostanjevici, Kalce-Naklo in Malo Mraševo. Potres je povzročil poškodbe tudi na nekaterih spomeniških objektih v Sloveniji – na gradu v Brežicah, Lendavi in Hošperku (Haasberg) na Planinskem polju. Več o potresu lahko preberete v članku te publikacije.

