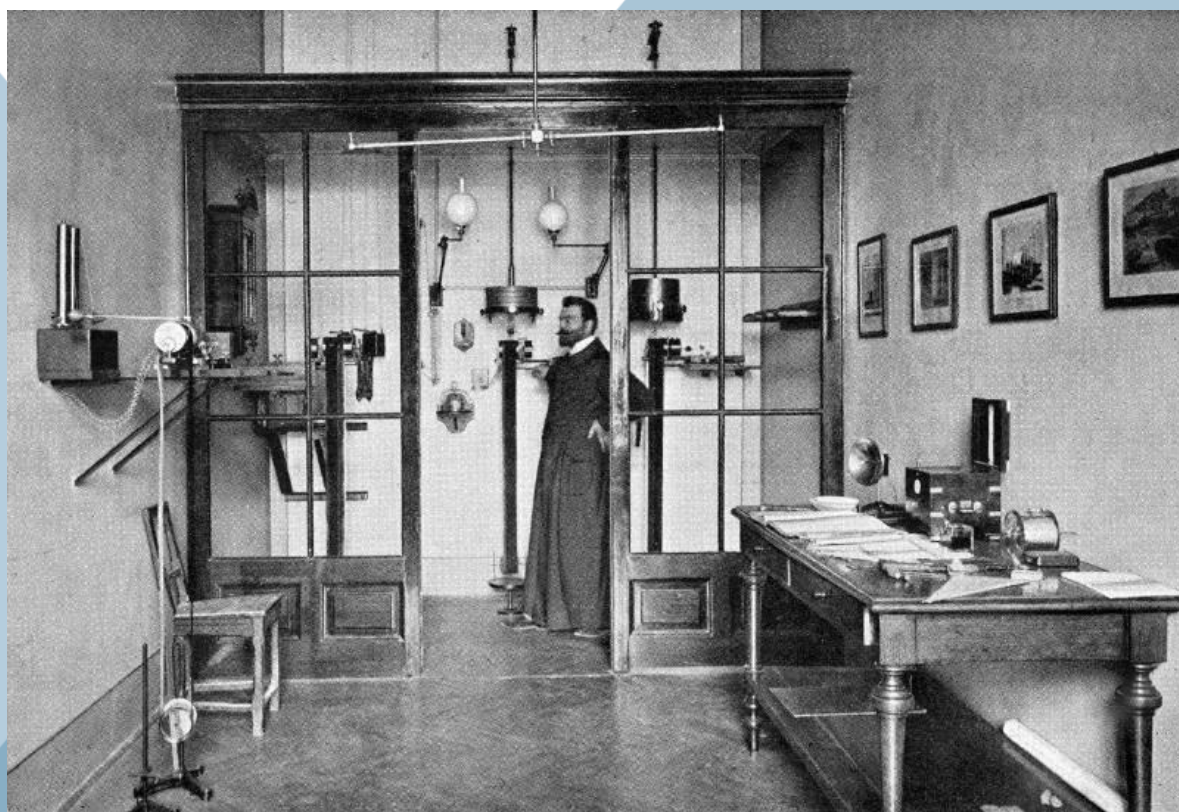




REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA OKOLJE, PODNEBJE IN ENERGIJO
AGENCIJA REPUBLIKE SLOVENIJE ZA OKOLJE

Potresi v letu 2022

Earthquakes in 2022



Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana, 2024

ISSN 1318 – 4792

Potresi v letu 2022, letnik 32

Izdajatelj

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

Glavni urednik

dr. Andrej Gosar

Uredniški svet

Ina Cecić
dr. Martina Čarman
mag. Tamara Jesenko
Jurij Pahor
Tatjana Prosen
dr. Gregor Rajh
dr. Barbara Šket Motnikar
mag. Izidor Tasič
Polona Zupančič

Oblikovanje

Miha Lanjšček

Naslovnica:

Obeležnje 125-letnice postavitve prve potresne opazovalnice v Ljubljani. Na sliki je potresna opazovalnica na višji realki v Ljubljani in njen upravitelj Albin Belar.

Cover Page:

Commemoration of the 125th anniversary of the installation of the first seismic station. Image shows the seismic station in the Oberrealschule in Ljubljana operated by Albin Belar.

Publikacijo je dovoljeno razširjati pod pogoji Creative Commons licence CC BY-NC-ND 4.0 v celoti ali po delih, nekomercialno, brez sprememb in z navedbo vira.



Kataložni zapis o publikaciji (CIP) pripravili v Narodni in univerzitetni knjižnici v Ljubljani

COBISS.SI-ID 1234567890

ISSN 1318 – 4792

Kazalo

<i>Anita Jerše Sharma, Tamara Jesenko, Tatjana Prosen, Barbara Šket Motnikar</i>	
Potresi v Sloveniji leta 2022	
Earthquakes in Slovenia in 2022	5
<i>Milka Ložar Stopar, Mladen Živčić</i>	
Žariščni mehanizmi močnejših potresov v Sloveniji v letu 2022	
Fault Plane Solutions of Earthquakes in Slovenia in 2022	23
<i>Tamara Jesenko</i>	
Najmočnejši potresi po svetu leta 2022	
The World's Largest Earthquakes in 2022	29
<i>Ina Cević, Martina Čarman, Andrej Gosar, Tamara Jesenko, Gregor Rajh, Polona Zupančič, Mladen Živčić</i>	
Izbruh vulkana Hunga Tonga-Hunga Ha'apai 15. januarja 2022, njegove značilnosti in opazovanje v Sloveniji	
Eruption of the Hunga Tonga-Hunga Ha'apai volcano on 15 January 2022, its characteristics and observations in Slovenia	38
<i>Izidor Tasič</i>	
Potresne opazovalnice v Sloveniji v letu 2022	
Seismic Network in Slovenia in 2022	48
<i>Marko Mali, Izidor Tasič, Igor Pfundner, Bojan Uran, Jože Prosen, Matej Nemec</i>	
Delovanje Državne mreže potresnih opazovalnic v letu 2022	
Operation of the seismic network of the Republic of Slovenia in 2022	56
<i>Igor Pfundner</i>	
Poprava časa digitalnega signala zajemalne enote Q730 v sistemu Antelope	
Time correction of Q730 datalogger's digital signal in Antelope system	65
<i>Izidor Tasič</i>	
Vpliv okvarjenega priključka seizmometra na seizmične meritve	
The effect of defected seismometer connector on seismic measurements	71
Dogodki v letu 2022	
Events in 2022	78
Objave v letu 2022	
Publications in 2022	85

Anita Jerše Sharma, Tamara Jesenko, Tatjana Prosen, Barbara Šket Motnikar

Potresi v Sloveniji leta 2022

Earthquakes in Slovenia in 2022

Povzetek

Leta 2022 je državna mreža potresnih opazovalnic zabeležila 1992 potresov v Sloveniji ali bližnji okolici, 31 izmed njih je imelo magnitudo vsaj 2,0. Najmočnejši potres v Sloveniji, z lokalno magnitudo 2,8, se je zgodil 28. marca ob 9.00 po univerzalnem koordiniranem času (UTC) z nadžariščem v bližini Bavšice (okolica Bovca). Največja intenziteta potresa je bila IV po evropski potresni lestvici (EMS-98). Potres 31. avgusta ob 10.41 po UTC z nadžariščem v Gorskem kotarju, v neposredni bližini meje s Slovenijo, je imel lokalno magnitudo 2,9 in največjo intenziteto III EMS-98. Prebivalci Slovenije so leta 2022 čutili vsaj 174 lokalnih potresov in osem bolj oddaljenih, in sicer enega z žariščem na Hrvaškem, dva v Bosni in Hercegovini ter pet v Italiji. V Sloveniji so največjo intenziteto IV–V EMS-98 dosegli štiri potresi z žariščem v Sloveniji ter en potres z žariščem v Bosni in Hercegovini.

Abstract

The Seismic Network of the Republic of Slovenia recorded 1992 local earthquakes in 2022. There were 31 earthquakes with a local magnitude equal to or higher than 2.0. The strongest earthquake with an epicentre in Slovenia in 2022, with a local magnitude of 2.8, occurred on 28 March at 9:00 UTC near Bavšica in the municipality of Bovec. Its maximum intensity was IV EMS-98. An earthquake on 31 August at 10:41 UTC with epicentre in Croatia, close to the Slovenian border, had a local magnitude of 2.9. Its maximum intensity in Slovenia was III EMS-98. In 2022 the inhabitants of Slovenia felt at least 174 local earthquakes and 8 regional earthquakes (one with its epicentre in Croatia, two in Bosnia and Herzegovina, and five in Italy). In Slovenia, in 2022, the maximum intensity of IV-V EMS-98 was reached by four earthquakes with their epicentres in Slovenia and one earthquake with its epicentre in Bosnia and Herzegovina.

Uvod

Leta 2022 je bilo v državno mrežo potresnih opazovalnic vključenih 26 digitalnih potresnih opazovalnic z neprekinjenim prenosom podatkov v podatkovno središče na Agenciji Republike Slovenije za okolje (ARSO) in v rezervno središče na observatorij na Golovcu, oboje v Ljubljani (Vidrih in drugi, 2006; ARSO, 2023). Mrežo je v različnih časovnih obdobjih leta 2022 dopolnjevalo 19 začasnih opazovalnic z neprekinjenim prenosom podatkov (Tasič, 2024), začeli pa smo tudi sodelovati z osnovnimi šolami po Sloveniji in do konca leta 2022 postavili štiri seizmografe Raspberry Shake za poučne namene, ki jih prav tako uporabljamo pri določevanju parametrov potresa (Čarman in drugi, 2023). Leta 2022 je južno od Postojne delovala tudi mreža prenosnih potresnih opazovalnic SLO Karst NFO (Šebela in drugi, 2023), postavljenih v okviru projekta RI-SI-EPOS (RI-SI-EPOS, 2023).

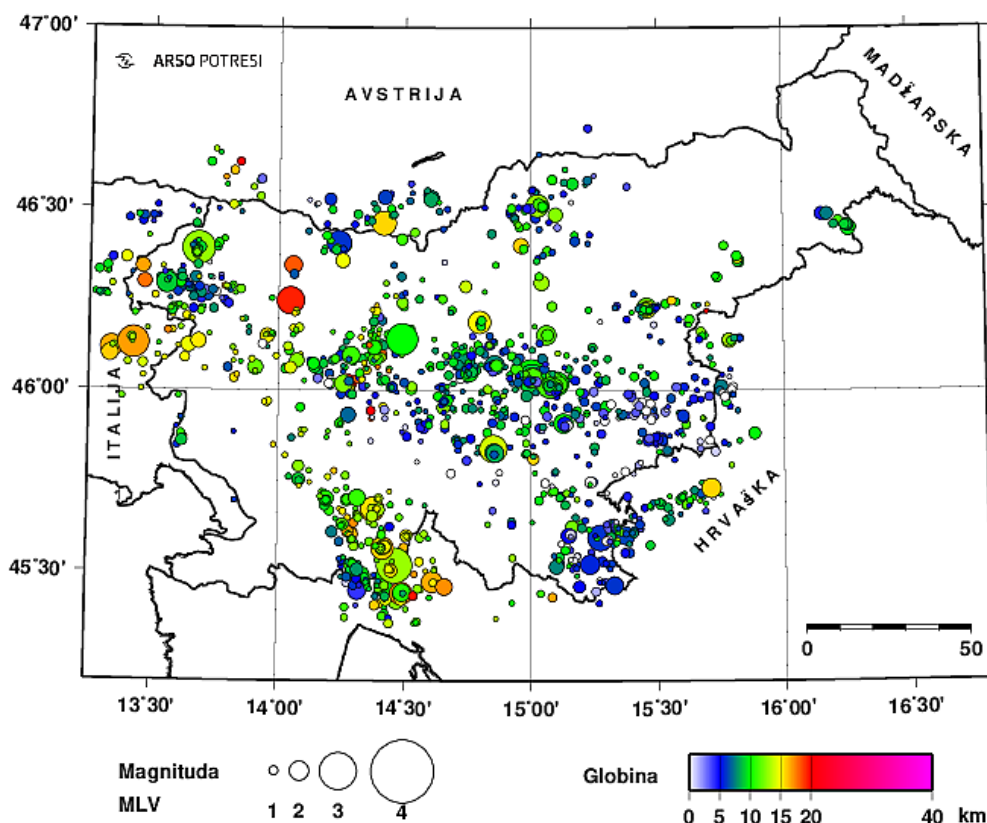
Za spremljanje potresne dejavnosti Slovenije ni pomembno le instrumentalno beleženje potresov, temveč tudi zbiranje makroseizmičnih podatkov. Makroseizmični podatki opisujejo učinke potresa na ljudi, predmete, stavbe in naravo, iz katerih določamo intenziteto potresa po naseljih. Ti podatki bi bili zelo pomembni ali celo nedostopni, če nam ne bi pomagali številni prostovoljni poročevalci. Maja 2023 je bilo registriranih 3492 aktivnih poročevalcev. Veseli nas, da njihovo število iz leta v leto narašča.

Registriranim poročevalcem smo leta 2022 poslali 12.647 makroseizmičnih vprašalnikov za 29 potresov, izpolnjenih pa je bilo 4402 vprašalnikov (35 odstotkov). Skupno smo prejeli 14.416 vprašalnikov (zaprosenih ali poslanih na lastno pobudo) iz 1949 naselij, med katerimi je bilo:

- 9916 poročil, da so zaznali potres,
- 3953 poročil, da niso zaznali potresa,
- 547 poročil, ki se niso nanašala na potrese (rudniški dogodek, razstreljevanje, promet, brez podane lokacije idr.).

Potresna dejavnost v Sloveniji leta 2022

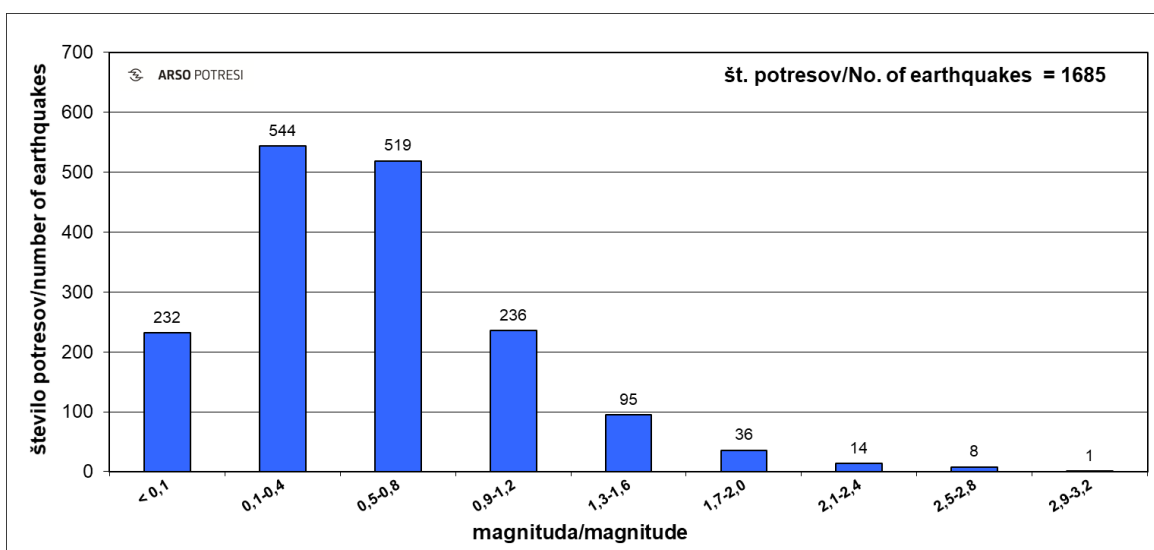
Potresne opazovalnice državne mreže so leta 2022 zabeležile 1992 lokalnih potresov z žariščem v Sloveniji ali njeni bližnji okolici. Lokalni potresi so tisti, ki so nastali v Sloveniji ali njeni bližnji okolici (do 50 km od najbližjega slovenskega obmejnega kraja). Oddaljeni so tisti potresi, katerih žarišče je od Ljubljane oddaljeno več kot 11 stopinj (nekaj več kot 1200 km, $1^\circ \approx 111$ km). Preostale potrese imenujemo bližnji oziroma regionalni potresi. Seizmografi so zapisali tudi številna (1107) umetno povzročena tresenja tal zaradi razstreljevanja ali rudarske dejavnosti.



Slika 1: Potresi v Sloveniji in bližnji okolici leta 2022, ki smo jim določili žariščni čas, koordinati nadžarišča in globino žarišča. Barva simbola ponazarja žariščno globino, njegova velikost pa lokalno magnitudo M_{LV} . Potresi so zrisani kronološko, zato lahko poznejši potres zakrije predhodnega na istem območju.

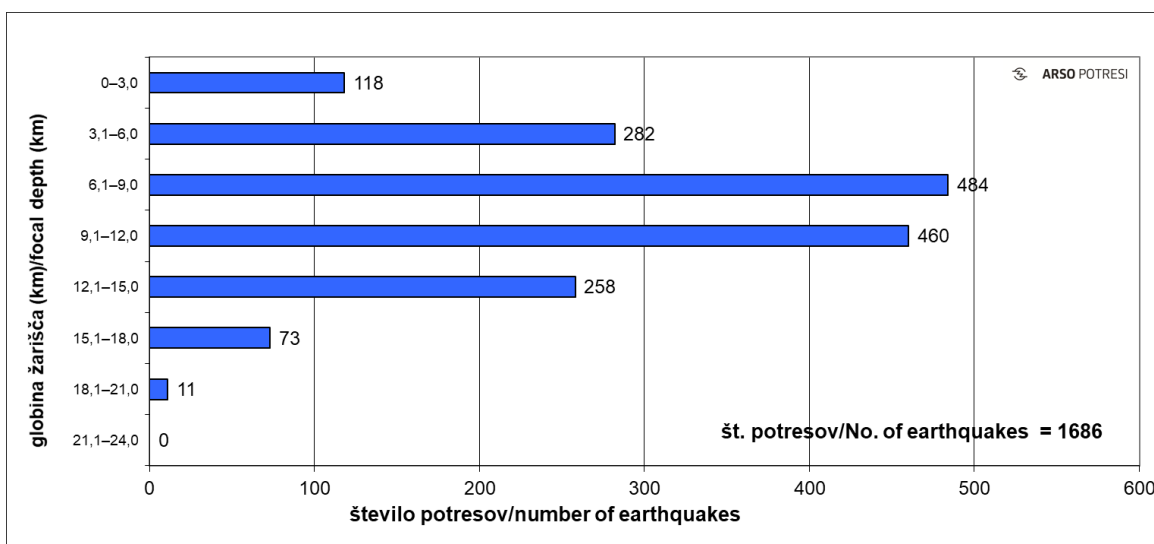
Figure 1: Distribution of local earthquake epicentres in 2022, with calculated hypocentral time, epicentral coordinates and focal depth; the coloured symbols of varying sizes denote focal depth and local magnitude (M_{LV}). The earthquakes are plotted chronologically (subsequent stronger earthquakes may overlap previous weaker ones with the same epicentre). Magnituda = magnitude; Globina = depth

Za 1686 lokalnih potresov smo zbrali dovolj podatkov, torej zapisov z vsaj treh opazovalnic, da smo lahko izračunali lokacijo žarišča. Vsem potresom razen enemu smo lahko določili tudi magnitudo (slika 1). Po podatkih za obdobje 2000–2020 se v Sloveniji vsako leto v povprečju zgodi 34 potresov z lokalno magnitudo vsaj 2,0, od tega je povprečno 24 glavnih dogodkov ter 10 pred in popotresov. Trije potresi na leto imajo v povprečju lokalno magnitudo vsaj 3,0 (ARSO, 2022). Leta 2022 je 31 potresov imelo lokalno magnitudo vsaj 2,0, vendar nobeden magnitude 3,0 ali več. Torej je bila potresna dejavnost v Sloveniji leta 2022 nekoliko manjša od dolgoletnega povprečja. Na sliki 2 je prikazana porazdelitev lokalne magnitude (M_{LV}); 96 odstotkov vseh lociranih potresov je imelo lokalno magnitudo manjšo od 1,7. Vsi potresi v Sloveniji in bližnji okolici so imeli žarišče do globine 21 kilometrov (slika 3).



Slika 2: Porazdelitev magnitude (M_{LV}) potresov v Sloveniji leta 2022

Figure 2: Distribution of earthquakes in Slovenia in 2022 with respect to M_{LV} magnitude



Slika 3: Porazdelitev globine žarišča potresov v Sloveniji leta 2022 (v kilometrih)

Figure 3: Distribution of earthquakes in Slovenia in 2022 with respect to focal depth (in kilometres)

Leta 2022 je imel najmočnejši potres z nadžariščem v Sloveniji lokalno magnitudo 2,8. Zgodil se je 28. marca ob 9.00 po UTC (ob 11.00 po lokalnem času) v bližini Bavšice. Potres lokalne magnitude 2,9, ki se je zgodil 31. avgusta ob 10.41 po UTC (ob 12.41 po lokalnem času), je imel nadžarišče sicer na Hrvaškem, vendar ga zaradi bližine državne meje še vedno prištevamo k lokalnim potresom. Zgodil se je v Gorskem kotarju v bližini danes opuščenega gozdarskega naselja na Gomancah.

V preglednici 1 so osnovni podatki za 92 lokalnih potresov z izračunano magnitudo vsaj 1,5, od katerih so jih prebivalci Slovenije čutili 71. Poleg teh so navedeni še 103 šibkejši potresi, ki so jih prebivalci Slovenije čutili in smo jim lahko izračunali lokacijo nadžarišča. V preglednici 1 so navedeni tudi tisti, ki so imeli žarišče na Hrvaškem (26), v Italiji (3) oziroma v Avstriji (3), 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, v poletnem času pa za 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 (Grünthal, 1998), ki jo je potres dosegel v Sloveniji. V stolpcu *Potresno območje* je za večino nadžarišč v Sloveniji napisano ime naselja, ki je najbližje nadžarišču in je navedeno v seznamu naselij Geodetske uprave Republike Slovenije (GURS, 2018), za preostala (nadžarišče je več kot pet kilometrov oddaljeno od najbližjega naselja iz omenjenega seznama ali pa je zunaj slovenskih meja) smo toponim poiskali s storitvijo Google Zemljevidi (Google Maps, 2023). Ocena intenzitete po naseljih je najprej določena s samodejnim algoritmom na podlagi spletnih vprašalnikov o učinkih potresa. Vsakemu učinku, ki je podan na vprašalniku, algoritem pripiše stopnjo intenzitete, ki je za ta učinek najbolj značilna. Algoritem nato povpreči intenziteto vseh učinkov vseh vprašalnikov iz danega naselja. V algoritmu je tudi nekaj izjem, za katere se določenih učinkov ne upošteva, saj smo po raziskavi ugotovili, da velikokrat precenjujejo intenzitetno stopnjo. Če je največja samodejna ocena intenzitete večja od IV EMS-98, ali če je taka ocena dežurnega seizmologa, smo ocene intenzitet za vsa naselja, v katerih so zaznali ta potres, tudi ročno preverili. Če podatki niso zadoščali za nedvoumno določitev intenzitete, smo potresu pripisali razpon vrednosti (na primer IV–V). Kadar z razpoložljivimi podatki za neko naselje nismo mogli določiti intenzitete, smo mu pripisali oznako »čutili«.

Za določitev osnovnih parametrov potresov smo analizirali zapise na potresnih opazovalnicah državne mreže v Sloveniji, na dopolnilnih opazovalnicah (ARSO, 2023), na opazovalnicah mreže SLO Karst NFO (Šebela in drugi, 2023) ter na takrat obstoječih šolskih seizmografič Raspberry Shake. 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, 2022). Uporabili smo tudi seizmološke biltene iz Avstrije (ZAMG, 2022–2023) in Hrvaške (GEOF-PMF, 2023). Podatki opazovalnic sosednjih držav omogočajo natančnejši izračun parametrov potresov, katerih nadžarišča so blizu državne meje. Žariščni čas (čas nastanka potresa), koordinati nadžarišča in žariščno globino smo določili iz časa prihoda 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 državni mreži potresnih opazovalnic in oddaljenosti nadžarišča do

potresne opazovalnice. V preglednici 1 je navedena povprečna vrednost M_{LV} za opazovalnice v Sloveniji.

Preglednica 1: Seznam lokalnih potresov leta 2022, ki so imeli lokalno magnitudo vsaj 1,5 in smo jim lahko izračunali žariščni čas, koordinati nadžarišča (epicentra) ter globino žarišča. Pri potresih, ki so jih ljudje čutili, je navedena še največja intenziteta v Sloveniji. V preglednici so tudi 103 potresi 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 local earthquakes with $M_{LV} \geq 1.5$ in 2022, for which the hypocentral time, epicentral coordinates, and focal depth were calculated; the maximum intensity of the earthquakes felt in Slovenia is also provided. Information is included for 103 earthquakes of a lower magnitude felt by the inhabitants of Slovenia, for which we also calculated the hypocentral time, epicentral coordinates, and focal depth. * – maximum intensity in Slovenia

datum			čas (UTC)			zem. šir.	zem. dolž.	h	nst	M_{LV}	I_{max}	nadžariščno območje
leto	mes.	dan	h	min	s	°N	°E	km			EMS-98	
date			time (UTC)			lat	lon	h	nst	M_{LV}	I_{max}	epicentral area
year	mon.	day	h	min	s	°N	°E	km			EMS-98	
2022	1	1	21	45	24,8	46,15	13,95	16	37	1,6	III	Jesenica
2022	1	2	22	54	14,2	45,75	15,24	4	11	0,4	čutili	Vrhe
2022	1	8	16	8	7,9	46,45	16,26	10	38	1,6	III–IV	Jastrepci
2022	1	11	6	32	26,8	45,46	14,43	12	27	1,7		Klana, Hrvaška
2022	1	11	6	32	41,3	45,46	14,43	8	8	1,6		Klana, Hrvaška
2022	1	14	2	13	8,7	45,95	14,65	12	63	1,5	III–IV	Grosuplje
2022	1	14	18	25	31,4	46,01	14,53	13	26	1,2	čutili	Ljubljana
2022	1	15	2	40	24,6	46,45	16,26	9	5	1,5		Lačaves
2022	1	15	20	12	33,9	46,04	15,00	10	74	2,7	IV–V	Spodnje Jelenje
2022	1	17	6	20	51,9	45,46	14,42	13	24	1,5		Klana, Hrvaška
2022	1	17	9	8	26,4	45,46	14,42	12	27	1,5		Klana, Hrvaška
2022	1	18	6	27	13,4	45,95	15,05	9	23	1,2	III–IV	Trbinc
2022	1	22	22	27	7,5	45,77	15,09	7	23	0,8	III	Prapreče pri Straži
2022	1	23	5	47	36,4	45,46	14,43	10	47	1,8	III*	Klana, Hrvaška
2022	1	24	0	15	27	46,40	14,26	13	42	1,5	III–IV	Podljubelj
2022	1	24	5	23	57,8	45,67	14,38	16	71	2,3	III–IV	Juršče
2022	1	24	5	33	41,3	45,68	14,38	16	66	2,2	III–IV	Juršče
2022	1	24	22	0	49,7	46,02	15,10	10	63	2,3	IV	Kostanjevica
2022	1	25	13	48	40,1	45,93	14,28	7	32	1,7	IV	Verd
2022	1	25	17	10	50,6	46,49	15,10	13	6	1,6		Šmartno pri Slovenj Gradcu
2022	1	26	20	18	30,9	45,86	15,06	6	13	0,5	III	Gorenji Globodol
2022	1	28	3	47	47,1	45,93	14,60	10	24	0,7	čutili	Udje
2022	1	30	0	57	33,3	46,14	15,78	12	32	1,6	čutili*	Valentinovo, Hrvaška
2022	1	30	6	49	18,1	46,14	15,78	13	24	1,5		Valentinovo, Hrvaška
2022	2	1	22	17	56,6	45,59	15,28	6	75	2,4	IV–V	Krasinec

datum			čas (UTC)			zem. šir.	zem. dolž.	h	nst	M _{LV}	I _{max}	nadžariščno območje
leto	mes.	dan	h	min	s	°N	°E	km			EMS-98	
date			time (UTC)			lat	lon	h	nst	M _{LV}	I _{max}	epicentral area
year	mon.	day	h	min	s	°N	°E	km			EMS-98	
2022	2	3	17	2	58,8	46,03	15,01	9	81	2,6	IV	Bistrica
2022	2	4	11	50	14,9	46,01	15,10	9	11	0,8	III–IV	Svinjsko
2022	2	7	6	43	21,9	46,10	14,70	10	17	1,0	III	Vrh pri Dolskem
2022	2	7	14	50	19,7	45,75	15,24	2	21	1,3	III–IV	Veliki Cerovec
2022	2	12	3	48	59,7	46,46	16,20	8	24	1,1	III	Vinski Vrh
2022	2	12	8	59	59,9	46,08	14,74	8	60	2,1	IV	Zgornja Jevnica
2022	2	13	15	1	34,4	46,23	15,46	12	52	2,0	IV	Šentvid pri Grobelnem
2022	2	13	23	34	33,3	46,27	15,41	6	12	0,7	čutili	Razbor
2022	2	14	13	49	30,7	45,59	15,39	9	55	1,9	III–IV*	Jugovac, Hrvaška
2022	2	16	8	56	8,9	45,45	14,32	4	50	1,9		Škalnica, Hrvaška
2022	2	16	23	44	55,9	45,71	15,12	3	23	1,2	III	Dobindol
2022	2	17	22	44	47,6	46,03	15,00	10	36	1,0	III	Bistrica
2022	2	19	6	14	34,4	46,16	15,06	8	37	1,6	III–IV	Ojstro
2022	2	20	8	14	49,6	45,92	14,42	2	5	0,4	III	Gorenja Brezovica
2022	2	20	11	30	9	46,03	15,01	8	18	0,9	čutili	Jelenska Reber
2022	2	20	14	10	14,3	45,65	15,17	8	11	0,8	čutili	Semič
2022	2	20	21	5	2	46,12	13,34	17	57	2,2	III*	Campeglio (Čempej), Italija
2022	2	21	0	15	57	45,86	14,71	11	29	1,0	čutili	Zdenska vas
2022	2	21	17	21	38,1	46,02	14,28	20	49	1,8	III	Vrzdenc
2022	2	23	0	9	10,5	46,12	13,35	14	22	1,8	čutili*	Remanzacco, Italija
2022	2	25	7	13	50,2	45,63	15,16	10	40	1,5	III	Trebnji Vrh
2022	3	2	2	32	59,4	46,02	15,08	12	71	2,5	IV	Ravne nad Šentrupertom
2022	3	2	3	44	31,8	46,02	15,08	8	20	0,6	III–IV	Ravne nad Šentrupertom
2022	3	2	10	12	15,6	45,50	15,11	11	27	1,6	III	Močile
2022	3	3	18	42	34,3	45,43	14,47	12	36	1,8	III*	Kukuljani, Hrvaška
2022	3	7	17	11	30,7	46,02	15,11	11	36	1,4	III	Kal pri Krmelju
2022	3	7	17	54	24,8	46,02	15,10	9	24	1,0	III	Kostanjevica
2022	3	8	21	53	58,3	46,04	15,00	16	56	2,0	III–IV	Preženjske Njive
2022	3	13	5	55	21,2	45,95	15,30	10	48	1,4	III	Jelendol
2022	3	13	14	36	49,1	45,93	15,48	1	11	0,6	III	Drnovo
2022	3	15	9	9	53,2	46,12	13,64	15	15	1,7	III	Kambreško
2022	3	23	7	47	32,4	46,35	14,06	18	34	1,9		Bohinjska Bela
2022	3	24	9	14	27,9	46,06	13,91	12	41	1,7	III	Gorenja Kanomlja
2022	3	24	19	13	50,7	46,02	15,08	10	30	1,2	III	Ravne nad Šentrupertom
2022	3	28	8	2	28	46,00	15,76	8	23	1,5		Radakovo, Hrvaška

datum			čas (UTC)			zem. šir.	zem. dolž.	h	nst	M _{LV}	I _{max}	nadžariščno območje
leto	mes.	dan	h	min	s	°N	°E	km			EMS-98	
date			time (UTC)			lat	lon	h	nst	M _{LV}	I _{max}	epicentral area
year	mon.	day	h	min	s	°N	°E	km			EMS-98	
2022	3	28	9	0	2	46,39	13,68	13	76	2,8	IV	Bavšica
2022	4	1	7	11	0,2	45,56	15,24	4	5	0,7	III	Desinec
2022	4	3	21	48	20,2	46,10	14,25	6	33	1,2	čutili	Črni Vrh
2022	4	7	20	36	15	46,04	14,75	7	29	1,0	II	Račica
2022	4	9	16	21	52,2	46,06	15,02	4	9	0,4	čutili	Zavrh
2022	4	10	20	48	54,4	45,91	14,88	10	32	1,0	III	Sela pri Šumberku
2022	4	13	20	56	46,8	46,53	14,60	8	22	1,7	III*	Rechberg (Rebrca), Avstrija
2022	4	14	21	48	12,8	46,17	14,37	10	9	0,3	III-IV	Reteče
2022	4	17	21	43	26,7	46,00	15,75	7	20	1,0	čutili*	Kapelski Vrh, Hrvaška
2022	4	18	1	26	38,8	45,53	15,28	6	15	1,2	IV	Bedenj
2022	4	27	13	0	46,6	46,53	14,60	8	34	1,6		Rechberg (Rebrca), Avstrija
2022	4	29	7	54	21	46,29	14,74	14	23	1,4	III-IV	Nova Štifta
2022	4	30	11	52	15,5	45,67	14,21	11	34	1,2	II	Parje
2022	5	2	19	14	14,1	46,30	15,04	13	44	1,7	IV	Male Braslovče
2022	5	4	11	35	56,2	46,04	15,01	11	42	2,0	III-IV	Jelenska Reber
2022	5	5	17	36	17,8	46,28	13,62	4	14	0,7	III	Drežniške Ravne
2022	5	8	5	4	5,8	46,48	16,18	7	26	1,4	čutili	Jeruzalem
2022	5	9	8	24	3,8	46,27	13,69	8	13	1,2	III	Krn
2022	5	10	12	25	40,2	46,02	15,11	16	46	1,8	III	Kal pri Krmelju
2022	5	11	11	3	45,4	46,41	14,24	6	61	2,3	III-IV	Podljubelj
2022	5	12	18	12	43,9	45,50	15,18	9	8	0,9	II	Mali Nerajec
2022	5	12	18	20	37,7	45,51	15,18	8	13	0,9	III	Obrh pri Dragatušu
2022	5	15	9	15	11,8	46,28	13,64	8	18	1,0	čutili	Drežniške Ravne
2022	5	21	15	51	46,9	46,01	15,10	14	42	1,7	III	Kostanjevica
2022	5	26	21	14	37,5	46,07	14,85	11	59	2,0	IV	Breg pri Litiji
2022	5	26	21	25	18,4	46,07	14,85	7	29	0,8	III	Breg pri Litiji
2022	5	26	21	52	11,6	46,07	14,85	7	33	1,2	IV	Breg pri Litiji
2022	5	28	13	54	48,7	45,52	15,18	4	7	0,8	III	Dragatuš
2022	6	1	18	4	58,8	45,52	15,19	6	5	0,3	III	Dragatuš
2022	6	4	19	23	30,7	46,39	13,76	9	15	0,8	čutili	Trenta
2022	6	8	10	41	37,4	46,02	15,07	11	39	1,6		Strmec
2022	6	10	12	43	27,7	46,28	13,54	9	11	1,4	čutili	Trnovo ob Soči
2022	6	10	16	49	11,7	45,60	15,15	5	30	1,7	IV	Rodine
2022	6	11	9	45	55,2	46,29	13,56	9	33	2,1	III-IV	Trnovo ob Soči
2022	6	11	21	25	8,4	45,48	14,61	16	47	2,1	III*	Gerovski Kraj, Hrvaška

datum			čas (UTC)			zem. šir.	zem. dolž.	h	nst	M _{LV}	I _{max}	nadžariščno območje
leto	mes.	dan	h	min	s	°N	°E	km			EMS-98	
date			time (UTC)			lat	lon	h	nst	M _{LV}	I _{max}	epicentral area
year	mon.	day	h	min	s	°N	°E	km			EMS-98	
2022	6	15	9	33	50,4	45,70	14,32	11	51	1,8	III	Juršče
2022	6	16	9	48	28,6	46,47	16,18	7	32	1,5	III	Veličane
2022	6	18	21	0	58,6	45,61	14,28	17	34	1,3	II	Koritnice
2022	6	19	2	5	4	45,51	15,18	6	10	0,7	II	Veliki Nerajec
2022	6	20	15	23	17,1	45,85	14,29	13	3	0,3	čutili	Laze
2022	6	26	20	3	56,6	46,39	13,67	10	13	1,1	II	Bavšica
2022	6	29	17	35	44,4	46,38	13,67	10	10	1,3	II	Bavšica
2022	7	1	17	1	26,7	45,93	15,48	1	14	0,8	čutili	Veniše
2022	7	9	19	56	56,1	46,05	14,76	10	37	1,8	III–IV	Velika Štanga
2022	7	9	20	24	4,5	46,19	14,80	15	53	2,2	IV	Veliki Jelnik
2022	7	13	1	48	54	46,41	15,17	6	24	1,2	III–IV	Završe
2022	7	13	12	18	3,3	45,95	14,42	2	23	1,0	III–IV	Dolenja Brezovica
2022	7	13	23	49	49,5	45,62	15,33	7	13	0,8	III–IV*	Bubnjarački Brod, Hrvaška
2022	7	14	16	10	52,6	45,62	15,32	9	32	1,6	IV*	Bubnjarački Brod, Hrvaška
2022	7	15	6	32	44,1	46,42	14,49	11	21	1,3	III*	Trögern (Korte), Avstrija
2022	7	18	19	5	42,3	45,44	14,49	16	43	2,1		Kukuljani, Hrvaška
2022	7	19	11	34	40,7	46,22	15,47	16	38	1,8		Gornja vas
2022	7	19	11	37	27,2	46,36	14,25	15	37	1,6	III	Paloviče
2022	7	19	12	38	27,3	46,11	14,73	10	18	0,9	II	Velika vas
2022	7	20	22	0	23,2	46,22	15,44	9	15	1,0	čutili	Završe pri Grobelnem
2022	7	22	17	42	45,5	45,64	15,33	6	4	0,5	čutili	Križevska vas
2022	7	23	10	17	48,2	46,51	15,03	13	46	2,2	III–IV	Sele
2022	7	27	16	19	31,7	46,07	14,72	8	25	1,0	III	Zgornja Jevnica
2022	8	2	0	45	43,7	45,46	15,19	4	21	1,4	III–IV	Drežnik
2022	8	3	18	45	55	46,02	14,26	12	51	1,9	IV	Vrzdenc
2022	8	4	3	13	38,7	46,25	14,05	19	64	2,5	III–IV	Zgornje Danje
2022	8	8	6	14	18,1	45,44	14,50	11	14	1,9		Podkilavac, Hrvaška
2022	8	10	14	47	7,1	46,51	15,05	10	6	1,4	III	Stari trg
2022	8	10	23	12	25,3	45,93	15,60	6	36	1,4	III–IV	Cundrovec
2022	8	11	20	35	47,7	45,67	14,85	4	23	0,8	IV	Mlaka pri Kočevju
2022	8	12	13	33	22,9	46,39	13,69	9	14	1,3	III	Bavšica
2022	8	13	19	42	1,5	45,91	15,13	10	60	2,0	IV	Vrh pri Trebelnem
2022	8	13	19	42	25,7	45,91	15,13	5	19	1,6		Vrh pri Trebelnem
2022	8	16	23	45	9,2	45,84	14,85	14	76	2,5	IV–V	Drašča vas
2022	8	16	23	52	1,5	45,83	14,86	16	23	0,8	III	Plešivica

datum			čas (UTC)			zem. šir.	zem. dolž.	h	nst	M _{LV}	I _{max}	nadžariščno območje
leto	mes.	dan	h	min	s	°N	°E	km			EMS-98	
date			time (UTC)			lat	lon	h	nst	M _{LV}	I _{max}	epicentral area
year	mon.	day	h	min	s	°N	°E	km			EMS-98	
2022	8	20	14	43	8,8	45,63	14,26	12	20	1,4	čutili	Bač
2022	8	21	9	21	0,6	45,81	15,01	16	30	1,3	III	Sela pri Ajdovcu
2022	8	23	1	56	0,8	46,23	15,46	15	36	1,1	III	Bodrišna vas
2022	8	26	15	48	12,6	46,09	14,38	11	31	1,6	III	Osredek pri Dobrovi
2022	8	28	14	27	7,2	45,61	15,35	11	12	0,9	III*	Žakanje, Hrvaška
2022	8	30	7	5	5,2	45,86	15,46	5	29	1,3	III	Podbočje
2022	8	31	10	41	31,4	45,52	14,46	13	80	2,9	III*	meja Hrvaška - Slovenija, blizu Gomanc
2022	8	31	11	4	12	45,52	15,23	6	44	2,0	IV	Bojanci
2022	9	1	19	31	41,1	45,62	15,35	10	4	0,3	III*	Gornji Bukovac Žakanjski, Hrvaška
2022	9	3	7	14	35,8	45,50	14,45	15	34	1,5		Klana, Hrvaška
2022	9	3	10	51	10,3	45,45	15,33	6	23	1,9	III-IV	Balkovci
2022	9	4	9	44	37,8	45,61	15,33	6	13	0,6	III-IV*	Žakanje, Hrvaška
2022	9	8	15	3	32,4	45,83	14,85	9	48	1,9	III-IV	Brezovi Dol
2022	9	9	16	35	28,4	46,07	14,14	9	36	1,4	III	Žirovski Vrh Sv. Urbana
2022	9	10	8	53	7,2	46,30	13,47	18	23	1,6		Žaga
2022	9	10	10	7	5,9	45,83	14,86	6	52	1,9	IV	Brezovi Dol
2022	9	11	14	38	17,7	45,69	15,23	6	12	0,8	III	Maline pri Štrekljencu
2022	9	15	2	21	48,5	45,97	14,67	10	49	1,4	II	Mala Stara vas
2022	9	16	21	37	1,6	46,10	14,29	11	60	1,9	III-IV	Selo nad Polhovim Gradcem
2022	9	18	2	54	37	45,54	15,11	9	12	1,0	III	Miklarji
2022	9	19	8	0	47,8	46,01	15,07	10	32	1,3	čutili	Ravne nad Šentrupertom
2022	9	23	3	2	58,3	46,46	14,42	16	64	2,3	III-IV*	Zell-Freibach (Sele-Borovnica), Avstrija
2022	9	24	7	17	13,2	46,52	15,03	11	19	1,3	II	Vrhe
2022	9	28	14	10	18	46,05	14,77	9	34	1,3	III-IV	Velika Štanga
2022	10	3	15	41	32,8	45,57	15,15	1	5	0,5	II	Blatnik pri Črnomlju
2022	10	3	17	28	32,5	45,56	15,16	6	7	0,6	III	Blatnik pri Črnomlju
2022	10	9	18	49	6,1	45,52	14,29	11	43	1,5	III	Nova vas pri Jelšanah
2022	10	10	4	16	54,9	45,50	14,29	9	29	1,3	III	Nova vas pri Jelšanah
2022	10	12	12	41	13,4	46,01	14,45	6	22	1,1	čutili	Črna vas
2022	10	12	16	51	39,2	46,01	14,45	6	36	1,2	III	Črna vas
2022	10	15	5	42	48,5	45,91	14,58	5	14	0,6	III	Vrh nad Želimljami
2022	10	18	11	45	25,9	45,70	14,19	11	35	1,7	III-IV	Selce
2022	10	18	17	21	6,5	45,70	14,20	10	18	1,0	čutili	Selce
2022	10	21	13	43	38,8	45,46	14,66	16	27	1,8		Gerovski Kraj, Hrvaška
2022	10	22	0	3	0,3	46,46	16,21	11	31	1,5	III	Vinski Vrh

datum			čas (UTC)			zem. šir.	zem. dolž.	h	nst	M _{LV}	I _{max}	nadžariščno območje
leto	mes.	dan	h	min	s	°N	°E	km			EMS-98	
date			time (UTC)			lat	lon	h	nst	M _{LV}	I _{max}	epicentral area
year	mon.	day	h	min	s	°N	°E	km			EMS-98	
2022	10	24	23	37	1,2	46,04	14,96	8	23	0,7	čutili	Velika Preska
2022	10	24	23	41	9,2	45,64	15,22	4	15	0,6	III–IV	Praprot
2022	10	29	2	37	15,1	46,07	14,86	8	36	1,0	III–IV	Ponoviče
2022	11	1	20	17	22,1	46,13	13,42	17	64	2,7	IV*	Torreano (Tavorjana), Italija
2022	11	2	1	51	43,6	45,44	15,26	2	32	1,0	III*	Bosanci, Hrvaška
2022	11	5	5	31	59,3	45,79	14,08	13	40	1,3	III	Strane
2022	11	8	15	37	59,7	46,08	14,07	14	33	1,6	III	Koprivnik
2022	11	10	3	13	46,4	46,07	14,14	10	27	1,4	čutili	Žirovski Vrh Sv. Urbana
2022	11	23	21	21	26,3	46,06	14,05	14	46	1,4	III–IV	Javorjev Dol
2022	11	26	22	35	59,2	45,51	14,31	8	21	1,5		Trpčane
2022	11	27	2	59	29,7	45,73	15,72	16	50	2,0	III–IV*	Beter, Hrvaška
2022	11	27	18	49	15,2	45,71	15,11	6	22	0,9	čutili	Travnj Dol
2022	12	2	19	22	50,7	46,28	13,74	7	19	1,0	čutili	Mahavšček
2022	12	4	23	0	27,7	45,49	14,28	7	18	1,1	čutili*	Rupa, Hrvaška
2022	12	8	8	40	39,4	46,13	13,68	15	34	1,6	III	Volčanski Ruti
2022	12	8	12	24	30,4	46,12	14,38	11	34	1,6		Studenčice
2022	12	10	7	17	34,1	46,34	13,46	17	25	1,6	III	Log Čezsoški
2022	12	15	7	19	43,2	46,14	14,49	11	81	2,7	IV–V	Povodje
2022	12	21	1	54	38,1	46,40	14,96	16	51	1,7	III–IV	Lepa Njiva
2022	12	21	4	59	52,4	45,75	14,08	9	44	1,5	III	Slavinje
2022	12	22	11	6	30,6	46,15	15,06	13	53	2,0	IV	Ojstro
2022	12	23	21	35	53	46,15	14,77	4	19	0,7	III–IV	Gabrje pod Limbarsko Goro
2022	12	24	7	14	26,6	45,56	14,42	17	65	2,2	III	Snežnik
2022	12	24	8	12	57,1	45,57	14,42	15	24	1,3	čutili	Snežnik
2022	12	24	10	26	24,2	45,57	14,42	15	44	1,6	III	Snežnik
2022	12	25	1	10	37,6	45,57	14,42	15	52	1,4	II	Snežnik
2022	12	27	19	15	19,1	45,98	14,87	7	28	0,9	III–IV	Čagošče
2022	12	28	0	50	35,2	46,15	15,07	12	49	1,4	IV	Ojstro
2022	12	30	6	21	18,5	45,81	14,75	3	26	1,0	III	Četež pri Strugah
2022	12	31	20	45	52,2	45,86	13,62	9	10	1,3	III	Lokvica

V preglednici 2 so navedeni bližnji (regionalni) potresi, ki so jih čutili tudi v Sloveniji, in sicer en potres z žariščem na Hrvaškem, dva v Bosni in Hercegovini in pet v Italiji. V preglednici je poleg datuma in časa (UTC) potresa, njegove magnitude in nadžariščnega območja navedena še največja intenziteta, ki jo je posamezni potres dosegel v Sloveniji.

Preglednica 2: Seznam bližnjih (regionalnih) potresov, ki so jih čutili prebivalci Slovenije leta 2022
Table 2: List of regional earthquakes felt by the inhabitants of Slovenia in 2022

datum			čas (UTC)		magnituda	Imax v Sloveniji	nadžariščno območje
leto	mesec	dan	h	min	M _L	EMS-98	
date			time (UTC)		magnitude	Imax in Slovenia	epicentral area
year	month	day	h	min	M _L	EMS-98	
2022	1	5	20	1	2,5	II	Tolmezzo (Tolmeč), Italija
2022	2	11	6	33	3,8	IV	15 km SZ od Petrinje (Hrvaška)
2022	2	15	2	12	3,4	III–IV	Dogna (Dunja), Italija
2022	4	22	21	7	5,7	IV–V	Suzina, Bosna in Hercegovina
2022	4	24	4	27	4,8	III–IV	Suzina, Bosna in Hercegovina
2022	11	9	6	7	5,5	IV	pod morskim dnom, v bližini Pesara, Italija
2022	11	20	5	20	4,2	III–IV	pod morskim dnom, v bližini Pesara, Italija
2022	1	5	20	1	2,5	II	Tolmezzo (Tolmeč), Italija

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

Leta 2022 potresi v Sloveniji niso povzročili gmotne škode. Prebivalci so čutili vsaj 181 potresov, 174 lokalnih in 8 regionalnih. Pet potresov je doseglo intenziteto IV–V EMS-98. Nadžarišča potresov, ki so jih prebivalci čutili, so prikazana na sliki 4. Velikost kroga označuje lokalno magnitudo, barva pa največjo doseženo intenziteto potresa. Potresi niso zrisani kronološko, temveč od največje magnitude do najmanjše, da močnejši potresi ne bi zakrili šibkejših.

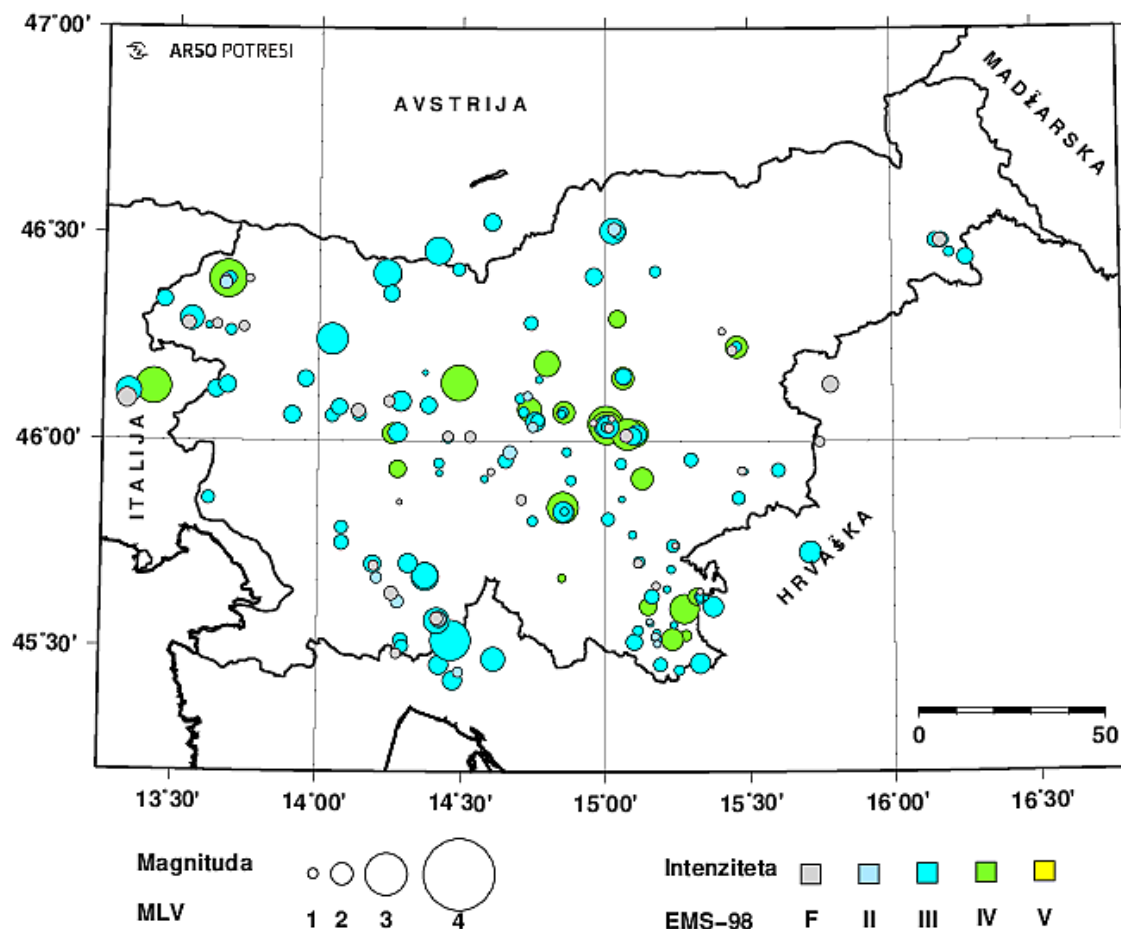
V nadaljevanju so opisani štirje potresi, ki so se zgodili na območju Slovenije in so imeli največje učinke na ljudi, zgradbe, predmete in naravo. Vsi so dosegli učinke IV–V EMS-98. Za vsakega izmed njih je prikazana karta intenzitete po naseljih (slike 5 do 8) z vrisanim nadžariščem. Intenziteto IV–V EMS-98 je v Sloveniji dosegel tudi potres 22. aprila 2022 z žariščem v Bosni in Hercegovini. Magnituda potresa je bila 5,7 (po podatkih Evropske sredozemske seizmološke službe EMSC). Čutili so ga po vsej Sloveniji. O najmočnejših učinkih pa so poročali iz naselja Turški Vrh v Halozah, ki je od nadžarišča oddaljeno 396 kilometrov.

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

- ARSO (<http://potresi.arso.gov.si/vprasanik>) ali
- evropsko-sredozemskega seizmološkega centra EMSC (https://www.emscsem.org/Earthquake/Contribute/choose_earthquake.php).

Na sliki 9 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 2022.

V nadaljevanju so vse navedene magnitude lokalne (M_{LV}).

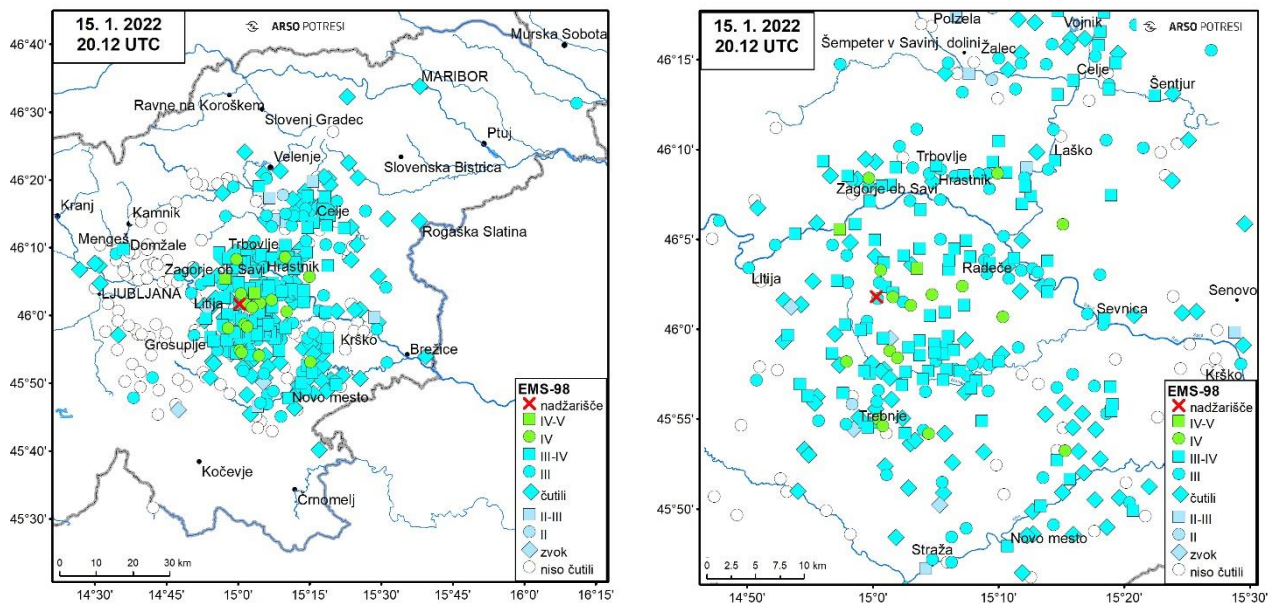


Slika 4: Nadžarišča lokalnih potresov, ki so jih leta 2022 čutili prebivalci Slovenije. Barva simbola ponazarja največjo doseženo intenziteto v Sloveniji, njegova velikost pa vrednost lokalne magnitude M_{LV} . Pri razponu mogočih vrednosti intenzitete je prikazana spodnja vrednost.

Figure 4: Epicentres of local earthquakes felt in Slovenia in 2022. The size of the symbols represents local magnitude, while the colour represents the maximum intensity in Slovenia. In the range of possible intensity values, the lower value is shown. Magnituda = magnitude; Intenziteta = intensity

Potres 15. januarja 2022 ob 20.12 po UTC pri Spodnjem Jelenju (slika 5)

Potres z žariščem v Sloveniji, za katerega smo prejeli največ vprašalnikov (968), se je zgodil 15. januarja ob 20.12 po UTC (ob 21.12 po lokalnem času) blizu naselja Spodnje Jelenje v občini Litija. Potres magnitude 2,7 so najmočneje (IV–V po EMS-98) čutili v naseljih Magolnik in Selo pri Mirni. Čutili so ga vse do 108 kilometrov od nadžarišča oddaljenega Ljutomerja. Opazovalci so poročali o kratkotrajnem močnem tresenju tal, ki ga je spremljalo neprijetno, močno bobnenje. Ponekod so se manjši nestabilni predmeti prevrnili ali prestavili. Pohištvo se je streslo, kozarci zažvenketali, tekočina vzvalovila, domače živali pa so se preplašile.

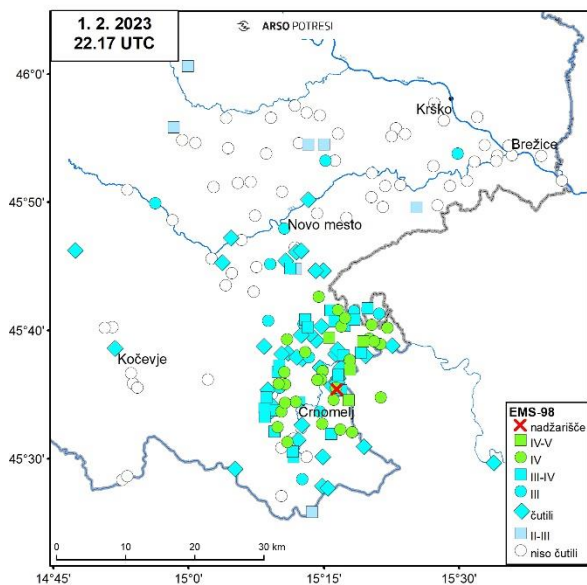


Slika 5: Intenziteta potresa magnitude 2,7 pri Spodnjem Jelenju 15. januarja 2022 ob 20.12 po UTC v posameznih naseljih a) celotno območje, kjer so potres čutili; b) širše nadžariščno območje.

Figure 5: Intensity map of the earthquake near Spodnje Jelenje ($M_{LV}=2.7$) on 15 January 2022 at 20:12 UTC in individual settlements; a) felt area; b) wider epicentral area Nadžarišče = epicentre; čutili = felt; zvok = thunder; niso čutili = not felt

Potres 1. februarja 2022 ob 22.17 po UTC pri Krasincu (slika 6)

Potres, ki je 1. februarja ob 22.17 po UTC (ob 23.17 po lokalnem času) stresel Belo krajino, je imel žarišče blizu naselja Krasinec in magnitudo 2,4. Potres so najmočnejše (IV–V EMS-98) čutili v naseljih Griblje, Krvavčji Vrh, Metlika in Otok. Opazovalci so ga opisali kot močen potres. Slišati je bilo glasen in močan pok ali bobnenje, kar je prebudilo nekaj prebivalcev. Zaropotala so okna, manjši nestabilni predmeti so se prestavili, pohištvo se je zatreslo.

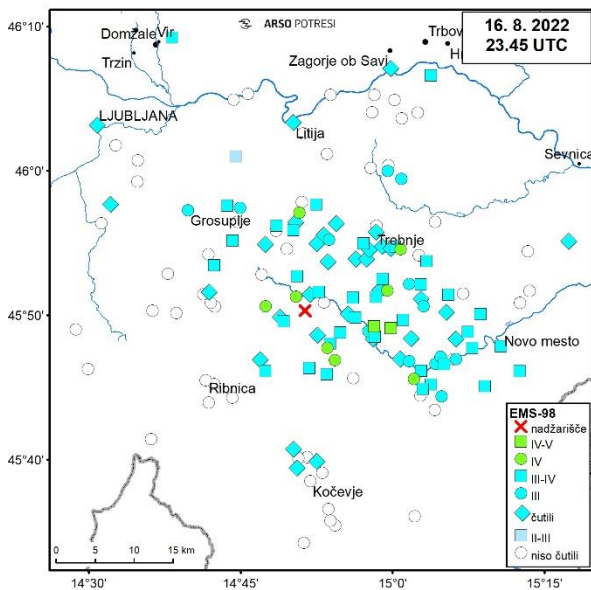


Slika 6: Intenziteta potresa magnitude 2,4 pri Krasincu 1. februarja 2022 ob 22.17 po UTC v posameznih naseljih

Figure 6: Intensity map of the earthquake near Krasinec ($M_{LV}=2.4$) on 1 February 2022 at 22:17 UTC in individual settlements. Nadžarišče = epicentre; čutili = felt; niso čutili = not felt

Potres 16. avgusta 2022 ob 23.45 po UTC pri Drašči vasi (slika 7)

Potres magnitude 2,5 je 16. avgusta ob 23.45 po UTC (17. avgusta ob 1.45 po lokalnem času) imel žarišče v Suhi krajini v bližini Drašče vasi. Predvsem zaradi močnega bobnenja je prebudil in prestrašil prebivalce dolenske regije. Največja ocenjena intenziteta je bila IV–V EMS-98. Opazovalci so nam v izpolnjenih vprašalnikih sporočili, da jih je potres prebudil, slišali so rahlo škripanje pohištva in žvenketanje steklovine. V nadžariščnem območju so opazili tudi lahko nihanje visečih stvari, vrat in tresenje ploskih zaslonov. Ponekod se je prevrnil kakšen majhen predmet. Domače živali so bile vznemirjene. Najmočnejše so potres čutili v naseljih Sadinja vas pri Dvoru in Mali Lipovec, kjer je bila intenziteta IV–V EMS-98.

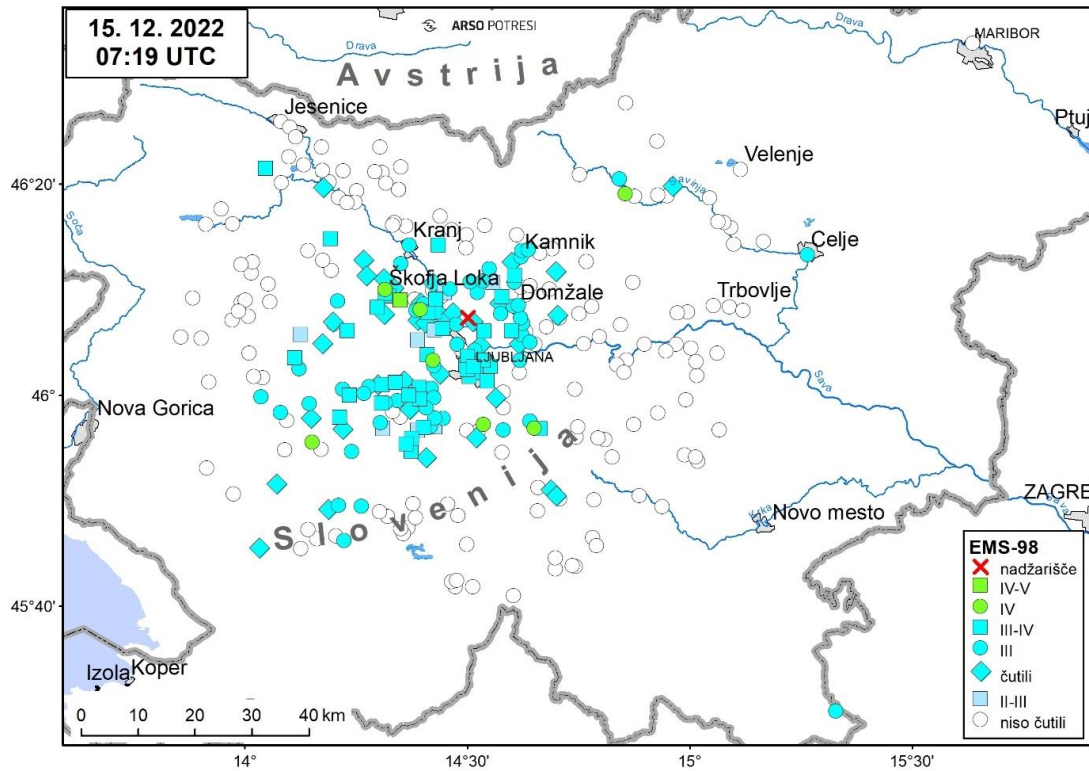


Slika 7: Intenziteta potresa magnitude 2,5 pri Drašči vasi 16. avgusta 2022 ob 23.45 po UTC, v posameznih naseljih

Figure 7: Intensity map of the earthquake near Drašča vas ($M_{LV}=2.5$) on 16 August 2022 at 23:45 UTC in individual settlements. Nadžarišče = epicentre; čutili = felt; niso čutili = not felt

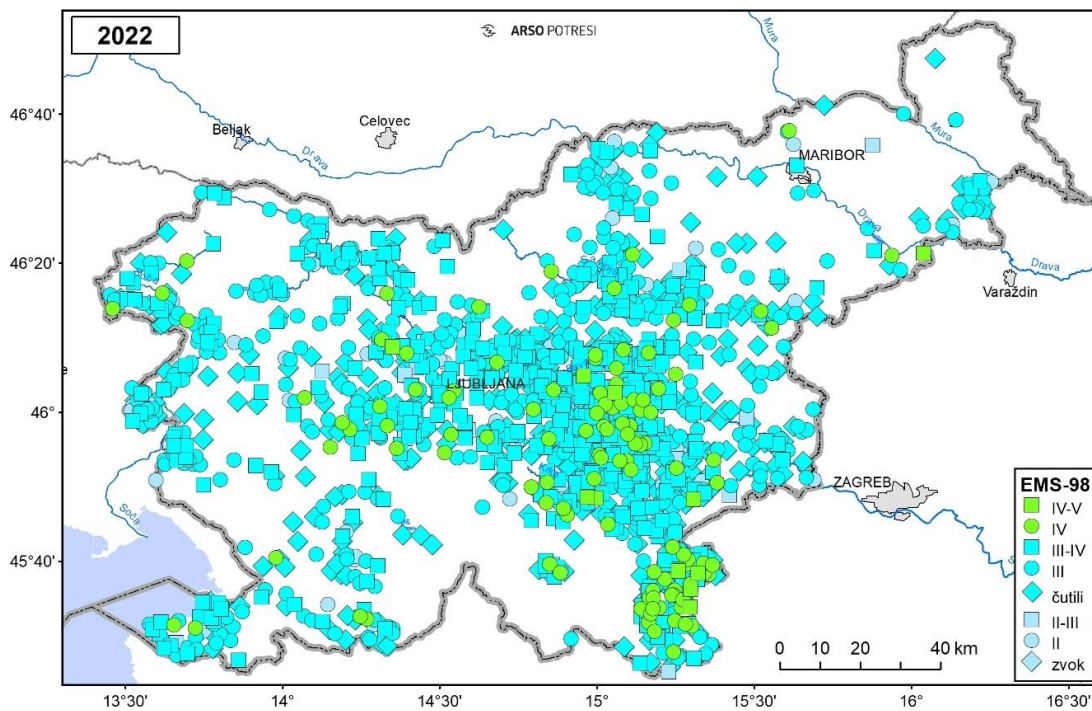
Potres 15. decembra 2022 ob 7.19 po UTC pri Povodju (slika 8)

Potres, za katerega smo prejeli 513 vprašalnikov, se je zgodil 15. decembra ob 7.19 po UTC (8.19 po lokalnem času) v bližini Povodja v občini Vodice. Lokalna magnituda potresa je bila 2,7, največja ocenjena intenziteta pa IV–V po EMS-98. Največje učinke je potres povzročil v naselju Pungert. Potres so čutili v območju do 95 kilometrov od nadžarišča. Opazovalci so omenjali predvsem kratek močan tresljaj, ki ga je spremljalo kratkotrajno bobnenje, kot bi se mimo peljal velik tovornjak. Ponekod so zažvenketala stekla, zaškripalo je pohištvo in zanimali so ploski zasloni. Ponekod so se manjši nestabilni predmeti prevrnili ali prestavili.



Slika 8: Intenziteta potresa magnitude 2,7 pri Povodju (občina Vodice) 15. decembra 2022 ob 7.19 po UTC v posameznih naseljih

Figure 8: Intensity map of the earthquake near Povodje in municipality Vodice ($M_{LV}=2.7$) on 15 December 2022 at 7:19 UTC in individual settlements. Nadžarišče = epicentre; čutili = felt; niso čutili = not felt



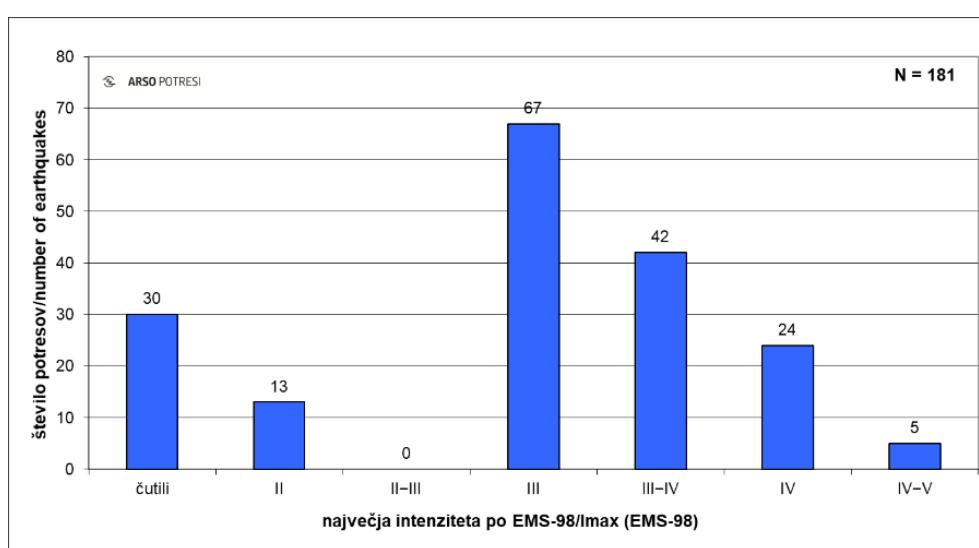
Slika 9: Največja intenziteta potresa izmed vseh potresov, ki so se zgodili leta 2022, ocenjena v posameznem naselju v Sloveniji

Figure 9: Maximum intensity in individual settlements of all the earthquakes felt by the inhabitants of Slovenia in 2022. Čutili = felt; zvok = thunder

Sklepne misli

Leta 2022 smo v Sloveniji ali njeni bližnji okolici zabeležili in locirali 1992 potresov. Enaintrideset potresov je imelo lokalno magnitudo med 2,0 in 2,9, nobeden pa ni imel magnitude 3,0 ali več. Večina potresov (96 odstotkov) je imela lokalno magnitudo manjšo od 1,7. Vsi potresi v Sloveniji in bližnji okolici so nastali do globine 21 kilometrov (sliki 1 in 3).

V Sloveniji so leta 2022 prebivalci čutili vsaj 181 potresov (sliki 4 in 10). Pet potresov je doseglo intenziteto IV–V EMS-98. Za preostale potrese (176) smo uporabili samodejno ocenjeno intenziteto: 24 potresov je imelo največjo intenziteto IV EMS-98, 42 jih je imelo intenziteto III–IV EMS-98, 67 potresov intenziteto III EMS-98 in 13 intenziteto II EMS-98. Za 30 potresov nismo prejeli dovolj informacij o učinkih, zato jim ni bilo mogoče določiti intenzitete in so dobili le oznako »čutili« (slika 10).



Slika 10: Porazdelitev največje intenzitete EMS-98 potresov, ki so jih prebivalci v Sloveniji čutili leta 2022
Figure 10: Distribution of the earthquakes in Slovenia in 2022 with respect to maximum EMS-98 intensity.
 Čutili = felt

Zahvala

Vsem registriranim poročevalcem se za sodelovanje lepo zahvaljujemo, prav tako pa tudi številnim neregistriranim poročevalcem, ki izpolnjujejo spletne vprašalnike o učinkih potresov.

Zapise potresov na opazovalnicah v Avstriji, na Madžarskem, 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 (2022) in v arhivu seizmičnih zapisov pri ORFEUS (2022). Pri lociranju potresov smo uporabili tudi zapise, zabeležene na opazovalnicah mreže SLO Karst NFO (SLO KARST NFO, 2020; Šebela in drugi, 2023), postavljene v okviru projekta RI-SI-EPOS (RI-SI-EPOS, 2023).

Viri in literatura

- ARSO, 2022. Letni seizmološki bilteni, 2000–2022. Arhiv Agencije Republike Slovenije za okolje, Ljubljana.
- ARSO, 2023. Državna mreža potresnih opazovalnic. <https://potresi.arso.gov.si/potresne-opazovalnice>, 13. 3. 2024.
- Čarman, M., Lanjšček, M., Pahor, J., Rajh, G., Živčič, M., 2023. Seizmografi v slovenskih šolah. *Ujma*, 37. <https://ojs-gr.zrc-sazu.si/ujma/article/view/9320/8753>, 14. 3. 2024.
- CE3RN, 2022. The Central and Eastern European Earthquake Research Network – CE3RN. <http://www.ce3rn.eu/>, 13. 3. 2023.
- GEOF-PMF, 2023. Data reports (online), Geofizički odsjek Prirodoslovno-Matematičnog Fakulteta, Zagreb, Hrvaška. http://www.pmf.unizg.hr/geof/seizmoloska_sluzba/seizmoloski_bilteni, 13. 3. 2023.
- Google Maps, 2023. <https://www.google.com/maps>, 22.3.2024
- GURS, 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. http://media.gfz-potsdam.de/gfz/sec26/resources/documents/PDF/EMS-98_Original_englisch.pdf, 14. 3. 2024.
- Lienert, B. R., Berg, E., Frazer, L. N., 1986. HYPOCENTER: An earthquake location method using centered, scaled, and adaptively least squares. *Bull. Seism. Soc. Am.*, 76, 771–783. <https://doi.org/10.1785/BSSA0760030771>, 15. 03. 2024
- 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.
- Michelini, A., Živčič, M., Suhadolc, P., 1998. Simultaneous inversion for velocity structure and hypocenters in Slovenia. *Journal of Seismology*, 2(3), 257–265. <https://doi.org/10.1023/A:1009723017040>, 15. 3. 2024
- ORFEUS, 2022. Observatories & Research Facilities for European Seismology. <https://www.orfeus-eu.org/data/eida/>, 22. 3. 2024
- Poljak, M., Živčič, M., Zupančič, P., 2000. The Seismotectonic Characteristics of Slovenia. *Pure appl. Geophys.*, Vol. 1, 57, 37–55. <https://doi.org/10.1007/PL00001099>, 15. 3. 2024
- RI-SI-EPOS, 2023. <http://epos-ip.zrc-sazu.si/ri-si-epos/>, 13. 3. 2024.
- SLO KARST NFO, 2020. Research Centre of the Slovenian Academy of Sciences and Arts, & Slovenian Environment Agency. (2020). Slovenian Karst NFO Network [Data set]. ZRC SAZU and Slovenian Environmental Agency. <https://doi.org/10.7914/7w0j-ge89>
- Šebela, S., Tasič, I., Pahor, J., Mali, M., Novak, U., Năpăruș Aljančič, M., 2023. Development of SLO KARST Near Fault Observatory site in SW Slovenia. *Carbonates Evaporites* 38, 43. <http://doi.org/10.1007/s13146-023-00864-y>, 13. 3. 2024.

- Tasič, I., 2024. Potresne opazovalnice v Sloveniji v letu 2022. Potresi v letu 2022, Agencija Republike Slovenije za okolje, 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, 287 str., 961-6024-29-9 (ISBN-10)
- ZAMG, 2022–2023. Preliminary bulletin of regional and teleseismic events recorded with ZAMG-stations in Austria. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien.
- Živčič, M., Bondár, I., Panza, G. F., 2000. Upper Crustal Velocity Structure in Slovenia from Rayleigh Wave Dispersion. *Pure Appl. Geophys.*, Vol. 157, 131–146.
<https://doi.org/10.1007/PL00001091>, 15. 3. 2024

Kazalo

Milka Ložar Stopar, Mladen Živčić

Žariščni mehanizmi močnejših potresov v Sloveniji v letu 2022 Fault Plane Solutions of Earthquakes in Slovenia in 2022

Povzetek

Močnejšim potresom, ki so se leta 2022 zgodili v Sloveniji oz. njeni neposredni bližini, smo s seizmogramov odčitali smeri prvih premikov ob vstopu vzdolžnega (longitudinalnega) valovanja. Pri osmih potresih smo zbrali zadostno število podatkov za določitev žariščnega mehanizma. Lokalna magnituda (M_{LV}) obravnavanih potresov je v razponu od 2,3 do 2,9. Njihov žariščni mehanizem največkrat nakazuje na kombinacijo zmika in nariva.

Abstract

The first onsets of the arrivals of the longitudinal waves were picked on the seismograms of selected earthquakes in Slovenia and its vicinity respectively in 2022. For eight events we had sufficient data to determine fault plane solutions. Their local magnitude (M_{LV}) ranged from 2.2 to 2.9. Focal mechanisms are found to be mostly of transpressive type.

Uvod

Z žariščnim mehanizmom opišemo izvor potresnega valovanja. Uporabljali smo postopek, s katerim določimo žariščni mehanizem potresa iz smeri prvega premika vzdolžnega potresnega valovanja na lokaciji potresne opazovalnice (Snook in drugi, 1984). Smer premika odčitamo na navpični komponenti zapisa potresa kot zgoščino (kompresija) ali razredčino (dilatacija). Uporabljeno metodo smo natančneje opisali v publikacijah preteklih let (Ložar Stopar in Živčić, 2008, 2011).

Rezultati

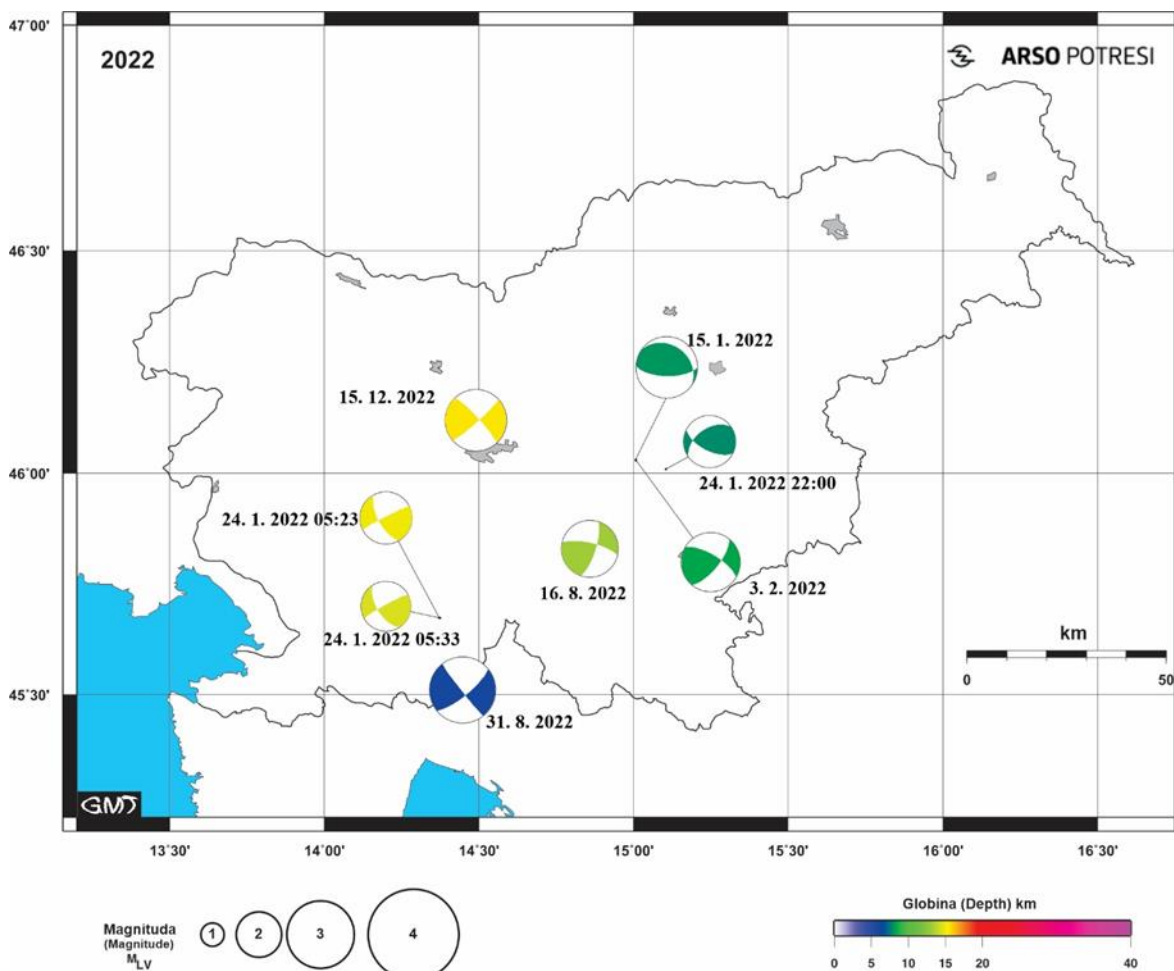
V prispevku podajamo parametre žariščnih mehanizmov za potrese, ki so se v letu 2022 zgodili v Sloveniji ali njeni neposredni bližini. Če želimo določiti žariščni mehanizem, potrebujemo zadostno število seizmogramov, s katerih lahko na navpični komponenti zapisa posamezne opazovalnice odčitamo smer vstopa vzdolžnega valovanja. Število vstopov, ki jih uspemo določiti posameznemu potresu, je odvisno predvsem od sproščene potresne energije, tehničnih lastnosti in prostorske razporeditve potresnih opazovalnic.

Za leto 2022 smo parametre žariščnega mehanizma uspeli določiti osmim potresom. Lokalna magnituda (M_{LV}) vseh potresov je v razponu od 2,3 do 2,9. Število seizmogramov, na katerih je bila smer premika jasno določljiva, je od potresa do potresa različno. Potres z največjo magnitudo $M_{LV} = 2,9$, se je zgodil 31. avgusta 2022 v Gorskem kotarju (Hrvaška) v bližini danes opuščene gozdarskega naselja na Gomancah. Smer vstopnega valovanja smo pri tem potresu določili na seizmogramih trintridesetih opazovalnic. Najšibkejšemu potresu, z magnitudo $M_{LV} = 2,3$, ki se je zgodil 24. januarja v okolici Juršč, smo odčitali petindvajset vstopov. Največ zgoščin in razredčin smo določili potresu magnitude $M_{LV} = 2,7$, ki se je zgodil 15. decembra pri Povodju. Temu potresu je bilo določenih osemindvajset smeri vstopov valovanja.

Za vse potrese so bili poleg seizmogramov državne in dopolnilne mreže potresnih opazovalnic v Sloveniji (ARSO, 2023) pregledani tudi seizmogrami iz drugih držav, ki so dostopni v evropskem arhivu seizmičnih zapisov (ORFEUS, 2024) ter seizmogrami SLO Karst NFO

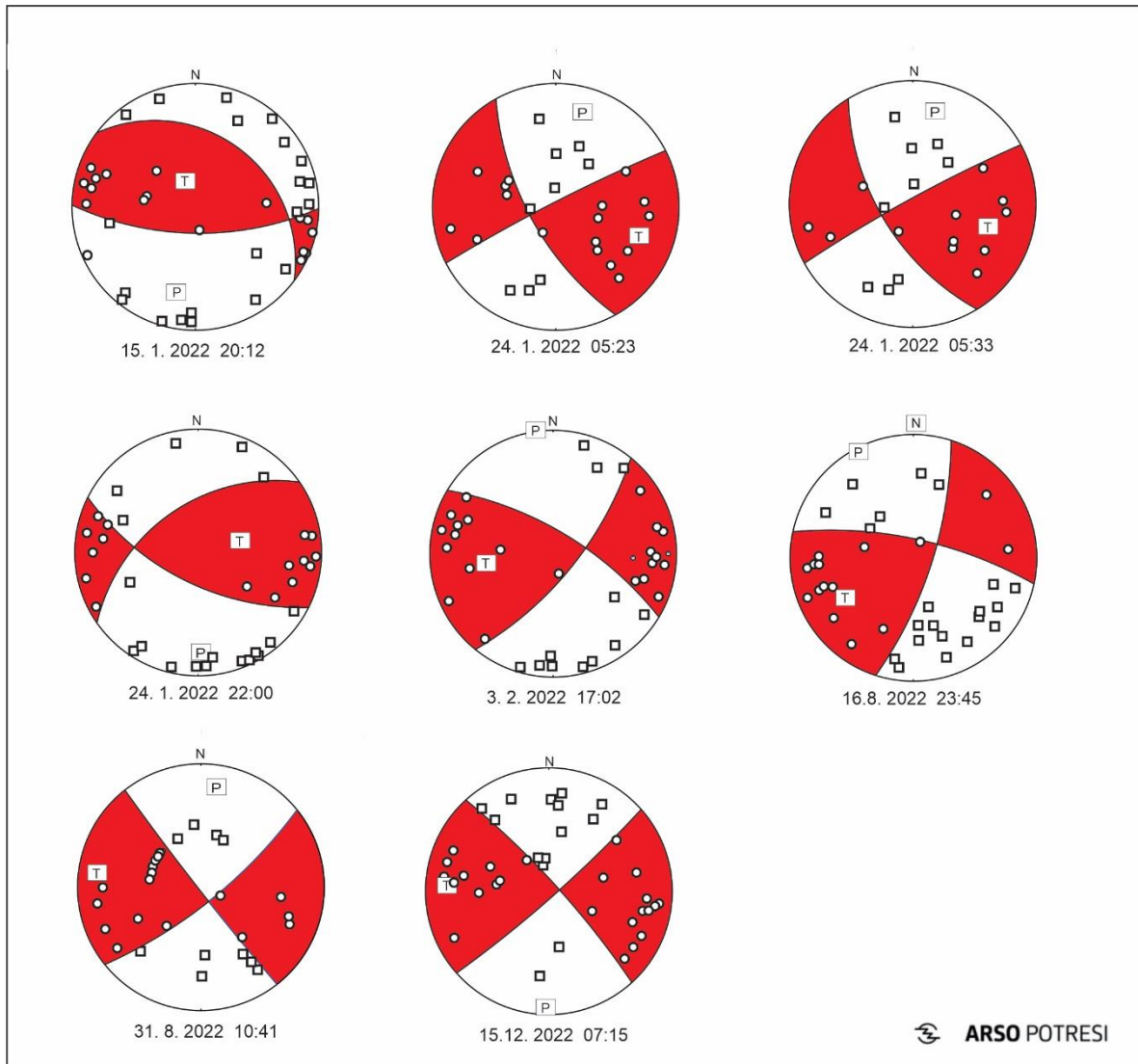
mreže (SLO KARST NFO, 2020; Šebela in drugi, 2023), ki deluje v okviru raziskovalnega projekta RI-SI-EPOS (RI-SI-EPOS, 2023). Pri večini obravnavanih potresov smo uporabili tudi seizmograme začasne mednarodne mreže opazovalnic AlpArray (AlpArray Seismic Network, 2015).

Parametri žariščnih mehanizmov 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 obeh slikah so žariščni mehanizmi izrisani s stereografsko projekcijo geometrije prelomne ravnine na spodnjo poloblo.



Slika 1. Lokacije in žariščni mehanizmi osmih močnejših potresov na ozemlju Slovenije oz. v bližini njene državne meje v letu 2022. Obarvani kvadranti predstavljajo zgoščine, beli kvadranti razredčine, barva žariščno globino in velikost vrednost lokalne magnitude (M_{LV}).

Figure 1. Locations and fault plane solutions of eight earthquakes with epicentres in Slovenia or near its state border in 2022. Coloured quadrants represent compression, white quadrants dilatation, colour focal depth, and size local magnitude (M_{LV}).



Slika 2. Žariščni mehanizmi osmih močnejših potresov na ozemlju Slovenije oz. v bližini njene državne meje leta 2022. Kvadrati oz. krogi predstavljajo izstopno mesto glede na geometrijo poti potovanja valovanja od žarišča potresa do opazovalnice iz spodnje poloble žariščnega prostora. Kvadrati predstavljajo opazovalnice, ki so kot prvi premik tal zaradi potresa zabeležile razredčino, krogi pa opazovalnice, ki so zabeležile zgoščino. Označeni sta smeri največje (P) in najmanjše (T) napetosti. Izrisana je stereografska projekcija na spodnjo poloblo.

Figure 2. Fault plane solutions of eight selected earthquakes in Slovenia or near its state border in 2022. Squares or circles denote take-off position based on the geometry of the path seismic waves take between hypocenter and specific station. Squares denote stations with dilatation as the first onset, while circles denote stations with compression. P and T describe maximum and minimum stress axes, respectively. Lower hemisphere stereographic projection is applied.

Rešitve prelomnih ravnin so zbrane na sliki 2. Večino potresov najbolje opišejo različne kombinacije zmičnih in reverznih premikov ob prelomnih ploskvah. Le potresu 15. januarja pri Spodnjem Jelenju smo glede na odčitane vstopne določili izrazito reverzni žariščni mehanizem. Za potresa pri Gomancah in Juršču (31. 8. in 15. 12.) je prevladujoča zmična komponenta. 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 zadnji vrstici preglednice 1.

Institucije v tujini, ki določajo rešitve žariščnih mehanizmov na globalni ali regionalni ravni, za obravnavane potrese v Sloveniji v letu 2022 niso imele rešitev žariščnih mehanizmov.

Preglednica 1. Parametri žariščnih mehanizmov obravnavanih potresov na ozemlju Slovenije oz. v bližini njene državne meje v letu 2022. 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 na prelomni ploskvi v smeri nasproti urinemu kazalcu od vodoravne lege. (Aki in Richards, 2002). P je os največje in T os najmanjše napetosti. N_p je število uporabljenih podatkov o smeri prvih premikov. N_{np} 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 in R: reverzni prelom. **Table 1.** Focal mechanism solutions of the selected earthquakes with epicentres in Slovenia or near its state border in 2022. 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. N_p is the number of P-wave first motion polarities used. N_{np} 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; R: Reverse.

datum		date		15. 1. 2022	24. 1. 2022	24. 1. 2022	24. 1. 2022	3. 2. 2022	16. 8. 2022	31. 8. 2022	15. 12. 2022
čas (UTC)	hh.mm	time (UTC)	hh.mm	20.12	5.23	5.33	22.00	17.02	23.45	10.41	7.19
širina	°N	lat.	°N	46,03	45,67	45,67	46,01	46,03	45,83	45,51	46,12
dolžina	°E	long.	°E	15,01	14,37	14,38	15,11	15,01	14,86	14,45	14,49
globina	km	depth	km	8	15	14	8	8	13	6	16
M_{LV}		M_{LV}		2,7	2,3	2,2	2,3	2,6	2,5	2,9	2,7
ravnina 1	smer	nodal plane 1	strike	91	243	241	235	39	18	51	48
	naklon		dip	66	86	85	48	69	73	75	84
	premik		rake	74	25	30	39	22	18	-3	8
ravnina 2	smer	nodal plane 2	strike	306	151	148	117	301	283	142	317
	naklon		dip	29	65	85	62	70	73	87	82
	premik		rake	122	176	30	131	158	162	-165	174
P	smer	P	azimuth	193	14	11	179	350	150	7	182
	naklon		plunge	20	14	17	8	0	0	13	1
T	smer	T	azimuth	333	110	109	78	260	240	275	273
	naklon		plunge	65	20	24	54	30	25	8	10
N_p	število vstopov	N_p	all polarities	40	27	25	35	41	39	33	48
N_{np}	neskladni vstopi	N_{np}	inconsistent polarities	1	0	0	0	0	0	0	0
tip žariščnega mehanizma		rupture type		R	SS-R	SS-R	R-SS	SS-R	SS-R	SS	SS

Zahvala

Zapise potresov na opazovalnicah v Avstriji, Nemčiji, 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 (2022) in v arhivu seizmičnih zapisov pri ORFEUS (2024). Uporabili smo seizmogramе tudi iz SLO Karst NFO mreže (SLO KARST NFO, 2020; Šebela in drugi, 2023), ki je del raziskovalnega projekta RI-SI-EPOS (RI-SI-EPOS, 2023) in začasne mednarodne mreže opazovalnic Alparray (AlpArray Seismic Network, 2015). Slike smo izdelali s programom GMT (Wessel in Smith, 1991, 1998).

Literatura

- Aki, K., 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, 14. 2. 2023.
- Álvarez-Gómez, J.A., 2014. FMC: a one-liner Python program to manage, classify and plot focal mechanisms. Geophysical Research Abstracts, 16, EGU2014-10887.
- ARSO, 2023. Arhiv seizmičnih zapisov za leto 2022. Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana.
- CE3RN, 2022. The Central and Eastern European Earthquake Research Network - CE3RN. <http://www.ce3rn.eu>, 3. 7. 2023.
- Ložar Stopar, M., Živčič, M., 2008. Žariščni mehanizmi nekaterih močnejših potresov v Sloveniji v letih 2006 in 2007. Potresi v letu 2007. Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana, 48–53. ISSN 1318-4792.
- Ložar Stopar, M., Živčič, M., 2011. Žariščni mehanizmi nekaterih močnejših potresov v Sloveniji v letih 2008 in 2009. Potresi v letu 2010. Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana, 71–75. ISSN 1318-4792.
- ORFEUS, 2024. Observatories & Research Facilities for European Seismology. <https://www.orfeus-eu.org/data/eida/>, 18. 1. 2024.
- RI-SI-EPOS, 2023. <https://epos-ip.zrc-sazu.si/ri-si-epos/>, 3. 7. 2023.
- SLO KARST NFO, 2020. Research Centre of the Slovenian Academy of Sciences and Arts, & Slovenian Environment Agency. (2020). Slovenian Karst NFO Network [Data set]. ZRC SAZU and Slovenian Environmental Agency. <https://doi.org/10.7914/7w0j-ge89>
- Snoke, J.A., Munsey, J.W., Teague, A.G., 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, 3, 15. str.
- Šebela, S., Tasič, I., Pahor, J., Mali, M., Novak, U., Năpăruș Aljančič, M., 2023. Development of SLO KARST Near Fault Observatory site in SW Slovenia. Carbonates Evaporites 38, 43. <http://doi.org/10.1007/s13146-023-00864-y>, 3. 7. 2023.

Wessel, P. in Smith, W.H.F., 1991. Free software helps map and display data. Eos, Trans. Amer. Un.,72 (441), 445-446.

Wessel, P., Smith, W.H.F., 1998. New, improved version of the Generic Mapping Tools released. EOS Trans. AGU, 79, 579.

Kazalo

Tamara Jesenko

Najmočnejši potresi po svetu leta 2022

The World's Largest Earthquakes in 2022

Povzetek

Leta 2022 je bilo po svetu 43 potresov navorne magnitude 6,5 ali več. Noben potres ni imel magnitude, večje ali enake 8,0, enajst pa jih je imelo magnitudo med 7,0 in 7,9. Vsaj 30 potresov je zahtevalo človeška življenja, skupaj je bilo vsaj 1761 žrtev. Najmočnejša potresa leta 2022 sta imela magnitudo 7,6, oba sta se zgodila septembra. Prvi je nastal 10. septembra na Papui Novi Gvineji v globini 117 kilometrov, drugi 19. septembra v Mehiki v globini 26 kilometrov. Največ žrtev, vsaj 1163, je zahteval potres 21. junija v Afganistanu z magnitudo 6,0. Močen potres je 11. januarja stresel tudi Ciper, z magnitudo 6,6 je bil to najmočnejši potres tega leta v Evropi.

Abstract

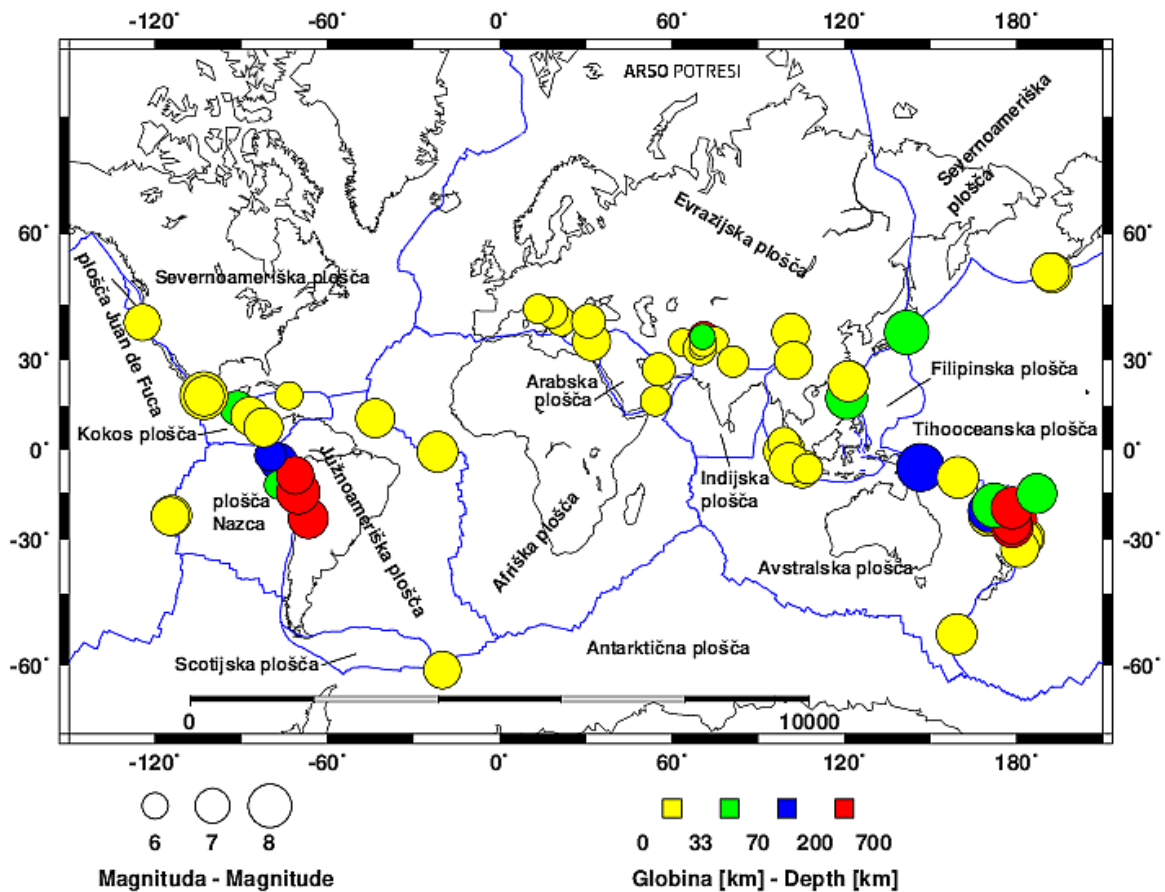
In 2022, there were 43 earthquakes across the world, which either reached or exceeded a moment magnitude (M_w) of 6.5. None had a magnitude greater than or equal to 8.0; eleven were between 7.0 and 7.9. At least 30 earthquakes claimed human lives; in total, there were at least 1761 victims. The 10 September 2022 earthquake on Papua New Guinea and the 19 September 2022 earthquake in Mexico ranked highest in terms of released energy, both of them with a moment magnitude of 7.6. The most devastating earthquake, with at least 1163 victims, occurred on 21 June in Afghanistan, with a moment magnitude of 6.0. The strongest earthquake in Europe, with a moment magnitude of 6.6, struck Cyprus on 11 January 2022.

Uvod

Potresi so posledica pretrga in zdrsa tektonskih blokov ob prelomih. Zemlja v svoji notranjosti ni homogena, temveč je razdeljena na več plasti, ki se med seboj razlikujejo po kemični in fizikalni sestavi, reološkem stanju, temperaturi in drugih lastnostih. Glede na kemične lastnosti jo lahko razdelimo na skorjo, zgornji in spodnji plašč ter zunanje in notranje jedro. Glede na mehanske lastnosti pa ločimo litosfero, astenosfero, mezosfero in zunanje ter notranje jedro. Litosfera je zemljina trdna lupina, ki obsega Zemljino skorjo in vrhnji del zgornjega plašča ter je povprečno debela približno 100 kilometrov pod celinami in 50 kilometrov pod oceani. Sestavlja jo več večjih in manjših tektonskih plošč. Pod litosfero je astenosfera oziroma preostali del zgornjega plašča, ki je zaradi visokih temperatur viskozen oziroma židek, zaradi česar nastajajo počasni konvekcijski tokovi, ki v dolgem 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). Mezosfera ali spodnji plašč je bolj vroč in gostejši od zgornjega plašča. Kljub visoki temperaturi, ki bi v normalnih razmerah ustrezala temperaturi taljenja kamnin, ostaja zaradi visokega tlaka spodnji plašč trden. Zemljino jedro delimo na tekoče zunanje jedro in trdno notranje jedro (Lapajne, 2013; Tasič in Vidrih, 2007).

Potresi nastajajo predvsem na stikih in v bližini stikov tektonskih plošč. Površino, ob kateri sta se premaknili prelomni krili, imenujemo prelomna ploskev, žarišče potresa je točka, v kateri se je pretrg začel, nadžarišče pa mesto na Zemljinem površju, navpično nad žariščem (Lapajne, 2013). Čeprav se v povprečju vsak dan po svetu zgodi več sto potresov (ISC, 2022), je večina šibkih in so zabeleženi le instrumentalno. Na sliki 1 so prikazani potresi, ki so leta

2022 dosegli ali presegli navorno magnitudo 6,5 oziroma 5,5 za evropsko in sredozemsko območje, in šibkejši, ki so zahtevali človeška življenja. Označene so tudi večje tektonske plošče, za svetovno potresno aktivnost pa so pomembne še številne manjše. Navorna magnituda je mera za velikost potresa, ki velja tudi za najmočnejše potrese in je določena s potrebnim navorom. Ta je zmnožek strižnega modula (razmerja med strižno napetostjo in strižno deformacijo) kamnine prelomnega območja, površine potresnega pretrga in povprečne velikosti zdrsa vzdolž preloma. Lahko ga izračunamo iz zapisov potresnega valovanja ali iz geoloških opazovanj (Lapajne, 2013).



Slika 1: Porazdelitev najmočnejših svetovnih potresov leta 2022. Velikost kroga kaže magnitudo, barva pa globino žarišča potresa. Prikazane so glavne tektonske plošče (modra črta).

Figure 1: Distribution of the world's strongest earthquakes in 2022. The size of the circle indicates the magnitude, and the colour designates the focal depth. The main tectonic plates are also shown (blue line).

Pregled najmočnejših potresov

V preglednici 1 so podatki o najmočnejših potresih, ki so zaznamovali leto 2022 (NEIC, 2024a; NEIC, 2024b; Wikipedia, 2024a). Za vsak potres so navedeni datum (mesec, dan), žariščni čas po svetovnem času oziroma Universal Time Coordinated – UTC (ura, minuta), koordinati nadžarišča (zemljepisna širina $^{\circ}$, zemljepisna dolžina $^{\circ}$), globina žarišča (km), navorna magnituda (M_w), število žrtev in širše nadžariščno območje potresa.

Preglednica 1: Seznam potresov leta 2022, katerih navorna magnituda M_w je bila enaka ali večja od 6,5 oziroma 5,5 za evropsko in sredozemsko območje. Dodani so tudi potresi z manjšo magnitudo (21), ki so zahtevali smrtno žrtve.

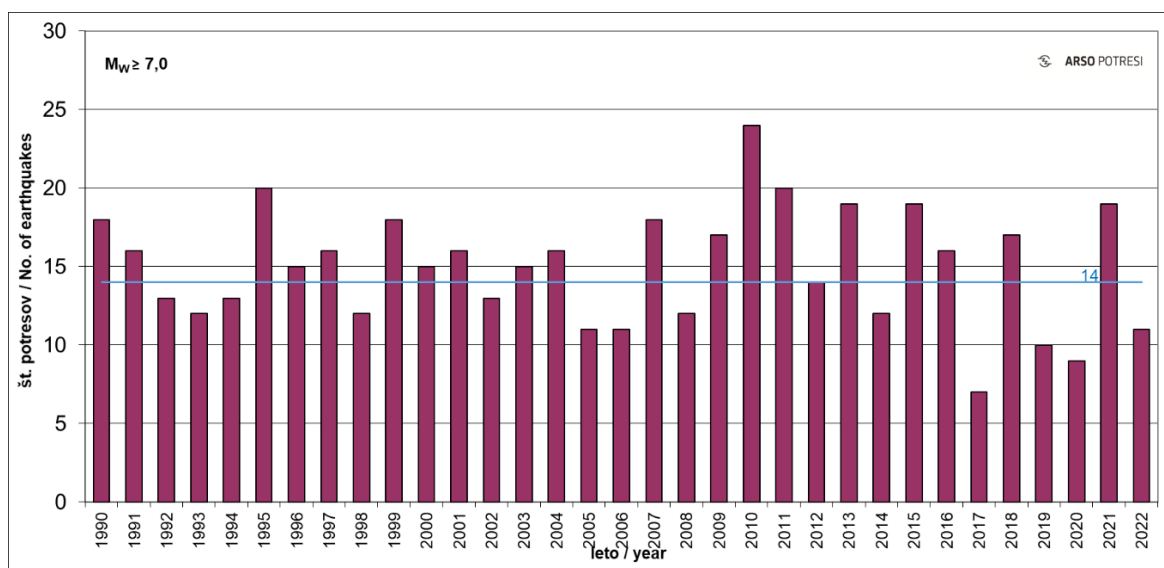
Table 1: List of the earthquakes in 2022 with a moment magnitude (M_w) equal to or greater than 6.5 (5.5 for the European-Mediterranean region). Earthquakes with magnitudes below 6.5 (5.5), which claimed human lives are also included. J = South; S = North; Z = West; V = East

datum	čas (UTC)	koordinati nadžarišča		magnituda	globina	št. žrtev	širše nadžariščno območje
	ura.min	zem. šir. (°)	zem. dolž. (°)				
date	time (UTC)	epicentral coordinates		magnitude	depth	no. of victims	wider epicentral area
	h.min	Lat (°)	Lon (°)				
7. 1.	17.45	37,83 S	101,29 V	6,6	13		Jinchang, Kitajska
9. 1.	21.43	40,83 S	21,39 V	5,5	13		Florina, Grčija
11. 1.	1.07	35,23 S	31,94 V	6,6	21	3	pod morskim dnom, v bližini Cipra
11. 1.	11.35	52,34 S	167,76 Z	6,8	20		pod morskim dnom, območje Aljaske
11. 1.	12.39	52,58 S	168,33 Z	6,6	19		pod morskim dnom, območje Aljaske
14. 1.	9.05	6,86 J	105,29 V	6,6	33		pod morskim dnom, območje Indonezije
17. 1.	11.40	34,92 S	63,59 V	5,3	14	30	Qadis, Afganistan
24. 1.	13.16	18,46 S	73,34 Z	5,3	10	2	Anse-á-Veau, Haiti
29. 1.	2.46	29,53 J	176,75 Z	6,5	10		pod morskim dnom, otočje Kermadec
3. 2.	15.58	4,47 J	76,93 Z	6,5	110		Barranca, Peru
5. 2.	4.16	36,43 S	71,126 V	5,8	212	3	Zebak, Afganistan
16. 2.	7.12	14,18 S	91,37 Z	6,2	70	3	Tiquisate, Gvatemala
16. 2.	20.21	23,77 J	179,99 V	6,8	535		pod morskim dnom, območje Fidžija
25. 2.	1.39	0,21 S	100,09 V	6,1	5	27	Salibawan, Zahodna Sumatra, Indonezija
2. 3.	12.52	30,08 J	177,73 Z	6,6	24		pod morskim dnom, območje otočja Kermadec
13. 3.	21.09	0,63 J	98,63 V	6,7	28		pod morskim dnom, območje Indonezije
16. 3.	13.35	35,59 S	74,94 V	5,1	10	1	Hindukuš, Pakistan
16. 3.	14.36	37,73 S	141,60 V	7,3	63	4	pod morskim dnom, območje Japonske
22. 3.	16.35	10,75 S	43,38 Z	6,7	10		pod morskim dnom, Srednjeatlantski hrbet
22. 3.	17.41	23,39 S	121,61 V	6,7	24		pod morskim dnom, območje Tajvana
30. 3.	20.56	22,67 J	170,38 V	6,9	10		pod morskim dnom, območje Nove Kaledonije
31. 3.	5.44	22,59 J	170,38 V	7,0	10		pod morskim dnom, območje Nove Kaledonije
21. 4.	7.42	11,55 S	86,96 Z	6,6	27		pod morskim dnom, blizu obale Nikaragve
22. 4.	21.07	43,07 S	18,18 V	5,7	10	1	Stolac, Bosna in Hercegovina
10. 5.	23.06	23,50 J	66,65 Z	6,8	220		San Antonio de los Cobres, Argentina
12. 5.	21.55	12,39 J	76,90 Z	5,4	51	2	San Bartolo, Peru
19. 5.	10.13	54,13 J	159,06 V	6,9	10		pod morskim dnom, severno od otoka Macquarie
24. 5.	7.11	36,13 S	70,29 V	4,9	107	2	Korogah, Afganistan
26. 5.	12.02	14,89 J	70,20 Z	7,2	252		Azángaro, Peru

datum	čas (UTC)	koordinati nadžarišča		magnituda	globina	št. žrtev	širše nadžariščno območje
	ura.min	zem. šir. (°)	zem. dolž. (°)				
date	time (UTC)	epicentral coordinates		magnitude	depth	no. of victims	wider epicentral area
	h.min	Lat (°)	Lon (°)				
26. 5.	15.37	22,84 J	172,14 V	6,6	15		pod morskim dnom, vzhodno od Nove Kaledonije
1. 6.	9.00	30,40 S	102,96 V	5,8	12	4	Linqiong, Kitajska
8. 6.	0.55	9,09 J	71,21 Z	6,5	609		Tarauacá, Brazilija
21. 6.	20.54	33,06 S	69,48 V	6,0	4	1163	Srah Kandah, Afganistan
24. 6.	1.43	33,01 S	69,54 V	4,2	10	5	Miran Shah, Pakistan
25. 6.	3.37	16,73 S	54,27 V	5,6	10	1	Kīsh, Iran
1. 7.	21.32	26,91 S	55,24 V	6,0	16	7	Bandar-e Lengeh, Iran
12. 7.	19.16	22,59 J	114,26 Z	6,8	10		pod morskim dnom, območje Velikonočnih otokov
12. 7.	19.17	22,78 J	114,63 Z	6,6	33		pod morskim dnom, območje Velikonočnih otokov
14. 7.	22.30	2,04 J	79,79 Z	5,7	73	1	Samborondón, Ekvador
27. 7.	0.43	17,55 S	120,80 V	7,0	46	11	Bucay, Filipini
14. 8.	13.44	32,74 J	179,01 Z	6,6	30		pod morskim dnom, območje Nove Zelandije
4. 9.	9.42	0,93 J	21,72 Z	6,9	10		pod morskim dnom, osrednji Srednjeatlantski hrbet
4. 9.	21.57	34,66 S	70,71 V	5,1	10	18	Dara-l-Nur, Afganistan
5. 9.	4.52	29,68 S	102,24 V	6,6	12	93	Sečuan, Kitajska
6. 9.	7.04	36,62 S	70,65 V	4,8	69	6	Jurm, Afganistan
10. 9.	23.47	6,30 J	146,50 V	7,6	116	21	Sukurum, Papua Nova Gvineja
14. 9.	11.04	21,19 J	170,27 V	7,0	137		pod morskim dnom, območje Vanuatov
17. 9.	13.41	23,10 S	121,42 V	6,5	12		pod Filipinskim morjem, območje Tajvana
18. 9.	6.44	23,16 S	121,36 V	6,9	10	1	Tajvan
19. 9.	18.05	18,50 S	102,98 Z	7,6	26	2	Michoacán, Mehika
22. 9.	6.16	18,25 S	102,95 Z	6,8	20	3	Michoacán, Mehika
29. 9.	3.03	60,84 J	20,03 Z	6,5	11		pod morskim dnom, območje Južnih Sandwichevih otokov
30. 9.	19.28	2,11 S	98,92 V	5,9	19	2	Severna Sumatra, Indonezija
20. 10.	0.50	7,69 S	82,34 Z	6,7	20		pod morjem, ob obali Paname
8. 11.	20.27	29,30 S	81,17 V	5,7	11	6	Nepal
9. 11.	6.07	43,93 S	13,32 V	5,5	6		pod morskim dnom, Marotta, Italija
9. 11.	9.38	26,01 J	178,28 V	6,8	630		pod morskim dnom, območje Fidžija
9. 11.	9.51	26,10 J	178,34 V	7,0	660		pod morskim dnom, območje Fidžija
9. 11.	10.14	25,58 J	178,26 V	6,6	625		pod morskim dnom, območje Fidžija
11. 11.	10.48	19,29 J	172,15 V	7,3	37		pod morskim dnom, območje Tonge
12. 11.	7.09	20,09 J	178,34 V	7,0	587		pod morskim dnom, območje Fidžija
18. 11.	13.37	4,90 J	100,79 V	6,9	25		pod morskim dnom, območje Indonezije
21. 11.	6.21	6,85 J	107,10 V	5,6	10	335	Java, Indonezija
22. 11.	2.03	9,81 J	159,59 V	7,0	14		pod morskim dnom, območje Salomonovih otokov
23. 11.	1.08	40,84 S	30,98 V	6,1	10	2	Elmacik, Turčija
4. 12.	19.24	15,35 J	172,99 Z	6,8	38		pod morskim dnom, območje Tonge

datum	čas (UTC)	koordinati nadžarišča		magnituda	globina	št. žrtev	širše nadžariščno območje
	ura.min	zem. šir. (°)	zem. dolž. (°)	M _w	km		
date	time (UTC)	epicentral coordinates		magnitude	depth	no. of victims	wider epicentral area
	h.min	Lat (°)	Lon (°)	M _w	km		
20. 12.	10.34	40,53 S	124,42 Z	6,4	18	2	pod morskim dnom, blizu mesta Ferndale, Kalifornija, ZDA

Leta 2022 je bilo 43 potresov, ki so dosegli ali preseгли navorno magnitudo 6,5. Enajst potresov je imelo navorno magnitudo med 7,0 in 7,9, nobeden pa večjo ali enako 8,0. Od leta 1990 do 2022 se je v povprečju vsako leto zgodil en potres z magnitudo večjo ali enako 8,0 in 14 z magnitudo med 7,0 in 7,9 (slika 2; NEIC, 2024c), kar pomeni, da je bilo teh potresov leta 2022 manj od dolgoletnega povprečja. Trideset potresov je zahtevalo človeška življenja, umrlo je vsaj 1761 ljudi.



Slika 2: Letno število potresov z navorno magnitudo 7,0 ali več (NEIC, 2024c). Modra črta označuje povprečno število takih potresov na leto v obdobju 1990–2022.

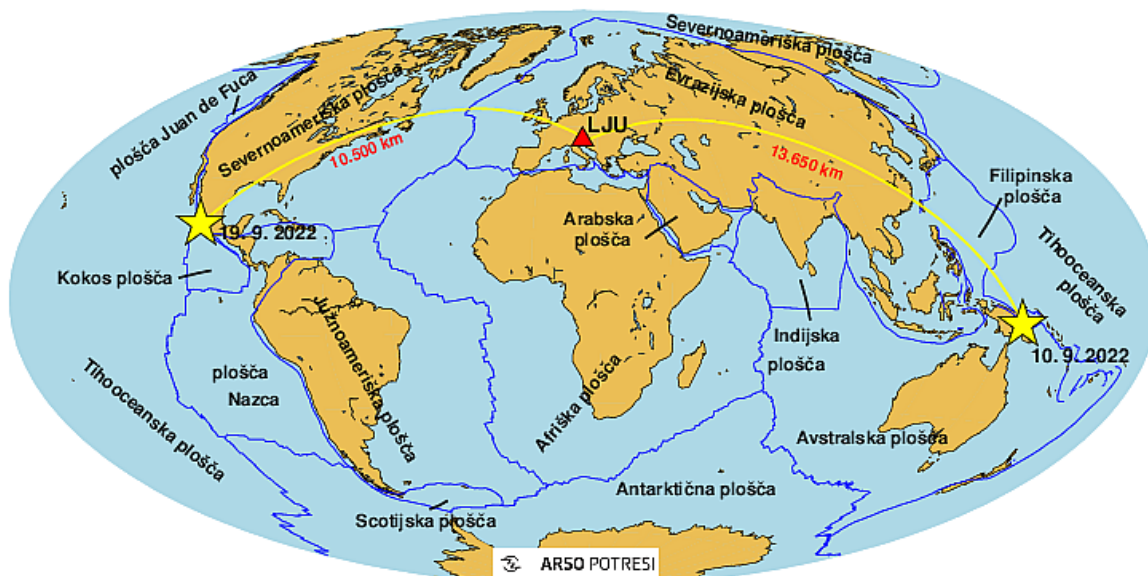
Figure 2: Annual number of earthquakes with a moment magnitude ≥ 7.0 for the period 1990–2022 (NEIC, 2024c). The blue line indicates the annual average number of such earthquakes in this period.

Najmočnejša potresa leta 2022 sta imela navorno magnitudo 7,6. Prvi se je zgodil 10. septembra na Papui Novi Gvineji ob 23.46 po UTC oziroma 11. septembra ob 9.46 po lokalnem času. Papua Nova Gvineja je otoška država v Oceaniji, ki zaseda vzhodni del otoka Nova Gvineja (druga polovica je del Indonezije) in okoliške otoke. Leži v jugozahodnem Tihem oceanu, severno od Avstralije in zahodno od Salomonovih otokov. Potres se je zgodil na severnem delu province Marobe, 116 kilometrov globoko pod gorsko verigo Finisterre Range z najvišjim vrhom Mount Boising s 4150 metri nadmorske višine. Gorovje je vulkanskega izvora in je zaradi dežja ter potresov podvrženo pogostemu proženju zemeljskih plazov. Pod plazovi, ki jih je sprožil tokratni potres, je ugasnila tudi večina življenj od skupno 21 žrtev potresa. Žrtev je bilo, glede na magnitudo potresa, relativno malo zaradi časa potresa (ljudi ni presenetil med spanjem), globine žarišča (srednje globok potres) in redke poseljenosti nadžariščnega območja (posamezne, med seboj razpršene gorske vasice) (Wikipedia, 2024b; Wikipedia, 2024c).

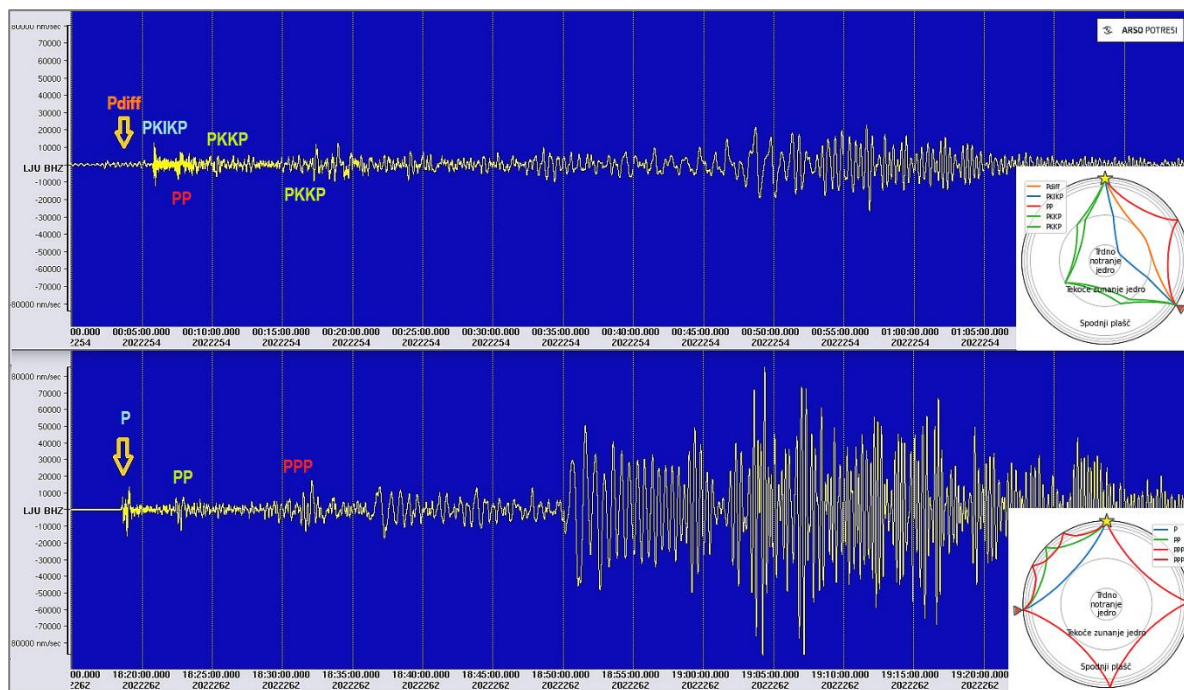
Potres je nastal na območju, kjer se Avstralska plošča podriva pod Tihooceansko ploščo. Poleg teh dveh glavnih plošč na potresno aktivnost tega območja vpliva tudi več mikroplošč, predvsem Južna Bismarckova plošča, mikroplošča Salomonovega morja in plošča Woodlark. Potresi, kot je dogodek 10. septembra, spadajo med srednje globoke potrese (z žariščnimi globlinami med 70 in 300 km), za katere navadno velja, da povzročijo manjšo škodo na površini Zemlje kot potresi s plitvim žariščem, ki se jih lahko čuti dlje od nadžarišča (NEIC, 2022a; Wikipedia, 2024c).

Devet dni pozneje je potres z magnitudo 7,6 stresel tudi Mehiko. Zgodil se je 19. septembra ob 18.05 po UTC (ob 13.05 po lokalnem času). Po naključju se je zgodil ravno na 37. obletnico potresa v Mexico Cityju leta 1985, ki je povzročil smrt okoli 10.000 ljudi, in peto obletnico potresa v Puebli leta 2017, ki je povzročil smrt 370 ljudi (Jesenko, 2018). Državna potresna vaja, organizirana na dan obletnice predhodnih potresov, je potekala malo manj kot uro pred potresom. Ta se je zgodil 26 kilometrov globoko na JZ delu mehiške zvezne države Michoacán, blizu stičišča treh tektonskih plošč: Severnoameriške plošče na severovzhodu, plošče Rivera na severozahodu in Kokosove plošče na jugu. Tako plošča Rivera kot Kokosova se podrivata pod Severnoameriško ploščo. V potresu sta dve osebi izgubili življenje, 37 je bilo ranjenih. Nacionalna mareografska služba je zabeležila tudi cunami, ki je največjo višino valov (1,75 m) dosegel v obalnem pasu blizu nadžarišča potresa (NEIC, 2022b; Wikipedia, 2024c).

Potresno valovanje obeh potresov je zabeležila tudi potresna opazovalnica v Ljubljani. Vzrok, da se zapisa med seboj razlikujeta, je predvsem v različni oddaljenosti opazovalnice LJU od izvora posameznega potresa (sliki 3 in 4). Žarišče potresa na Papui Novi Gvineji je bilo od Ljubljane oddaljeno približno 13.650 kilometrov, primarno potresno valovanje pa je na poti do nje potovalo tudi skozi Zemljino jedro. Žarišče potresa v Mehiki je bilo Ljubljani bližje, oddaljeno okoli 10.500 kilometrov. Primarno potresno valovanje do nje ni potovalo tako globoko skozi Zemljino notranjost, temveč le skozi njen (Zemljin) plašč (sliki 3 in 4).



Slika 3: Nadžarišči dveh najmočnejših potresov leta 2022 (10. septembra 2022 na Papui Novi Gvineji; 19. septembra 2022 v Mehiki). Z rdečim trikotnikom je označena lokacija potresne opazovalnice v Ljubljani (LJU). **Figure 3:** Epicentres of the two strongest earthquakes in 2022 (10 September 2022 in Papua New Guinea; 19 September 2022 in Mexico). Red triangle marks the location of the seismic station in Ljubljana (LJU).

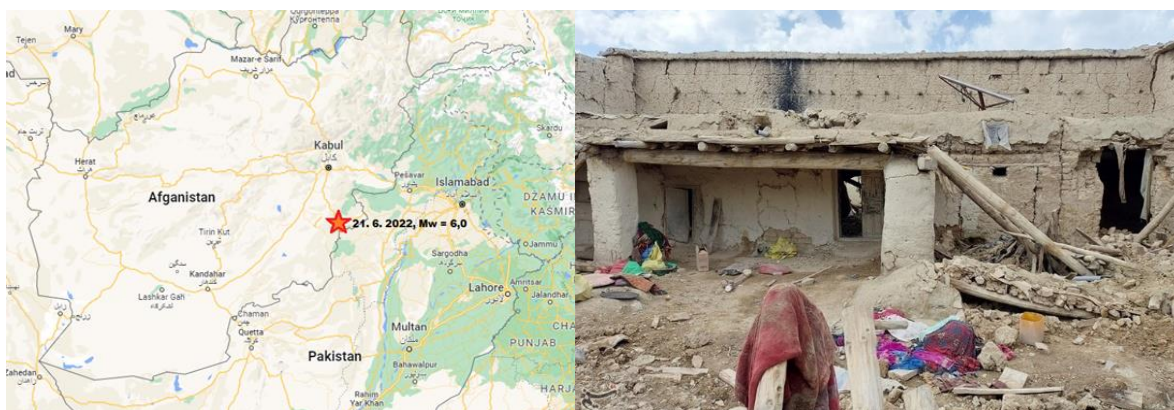


Slika 4: Seizmični zapis navpične komponente potresa 10. septembra 2022 magnitude 7,6 na Papui Novi Gvineji (zgoraj) in potresa 19. septembra 2022 magnitude 7,6 v Mehiki (spodaj) na potresni opazovalnici v Ljubljani. Prikazana sta 120-minutna zapisa, izrisana v enakem merilu amplitude nihanja tal (navpična os). Na posameznem zapisu so označeni vstopni časi nekaterih faz potresnega valovanja, v spodnjem desnem kotu pa je z enako barvo shematsko prikazana njihova pot skozi Zemljo (od žarišča potresa do opazovalnice LJU).

Figure 4: Vertical component seismogram of the earthquake on 10 September 2022 (Mw 7.6) in Papua New Guinea (above) and of the earthquake on 19 September 2022 (Mw 7.6) in Mexico (below), as recorded at a station in Ljubljana (LJU). Both records are 120-minute long and drawn to the same ground motion amplitude scale. The arrival times of some phases are marked on each record, and their path through the Earth (from the hypocentre of the earthquake to the LJU station) is shown schematically in the same colour in the lower right corner.

Potres z navorno magnitudo 6,0, ki je 21. junija ob 20.54 po UTC oziroma 22. junija ob 1.24 po lokalnem času stresel Afganistan, je bil po številu žrtev najbolj uničujoč potres na svetu leta 2022. Nadžarišče plitvega potresa (4 km) je bilo na SV delu province Paktika, blizu meje s Pakistanom (slika 5, levo). V Afganistanu in Pakistanu je bilo 1163 mrtvih. Najbolj prizadete province v Afganistanu so bile Paktika, Paktia, Khost in Nangarhar ter pakistanska pokrajina Khyber Pakhtunkhwa. Najmanj 10.000 domov se je zrušilo ali je bilo hudo poškodovanih (slika 5, desno). K tako uničujočim učinkom potresa so prispevali plitvo žarišče potresa, bližina gosto naseljenih območij in slaba kakovost gradnje ter nočni čas, ko so bili ljudje doma, in ne na prostem. Tedni močnega deževja pred potresom so prav tako oslabil zgradbe. Številne hiše, zgrajene predvsem iz lesa in blata, so bile zravnane z zemljo. Močno deževje in potres sta sprožila tudi zemeljske plazove, ki so še dodatno uničili prizadeto območje.

Potresi in aktivni prelomi v vzhodnem Afganistanu ter zahodnem in severnem Pakistanu so posledica premikanja Indijske plošče proti severu s hitrostjo približno 40 mm na leto in nje-nega trčenja z Evrazijsko ploščo. Vz dolž severnega roba indijske podceline se Indijska plošča podriva pod Evrazijsko ploščo, kar povzroča dviganje gorovja (med njimi so tudi najvišji gorski vrhovi na svetu), vključno s pogorji Himalaja, Karakorum, Pamir in Hindukuš (NEIC, 2022c; Wikipedia, 2024d).



Slika 5: Levo: Nadžarišče potresa 21. junija 2022 v Afganistanu (karta narejena s storitvijo Google zemljevidi). Desno: Poškodovan dom v Afganistanu po potresu junija 2022

(Vir: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:June_2022_Afghanistan_earthquake_damage_6.jpg)

Figure 5: Left: Location of the epicentre of the 21 June 2022 earthquake in Afghanistan (map drawn using Google Maps). Right: A damaged home in Afghanistan after an earthquake, June 2022

(Source: https://commons.wikimedia.org/wiki/File:June_2022_Afghanistan_earthquake_damage_6.jpg)

Najmočnejši potres v Evropi ($M_w = 6,6$) se je zgodil 11. januarja ob 1.07 po UTC oziroma ob 3.07 po lokalnem času pod Sredozemskim morjem v bližini Cipra, ki leži med Anatolsko in Afriško ploščo. Del tega mejnega območja plošč je tudi Ciperski lok, ki se prilagaja gibanju Afriške plošče glede na Anatolsko ploščo. Potres je imel nadžarišče približno 50 kilometrov zahodno od obale Cipra. Čutili so ga po vsem otoku in tudi v Turčiji, Grčiji, Egiptu, Izraelu in Libanonu. Povzročil je manjšo škodo v okrožjih Paphos in Lefke na Cipru, v Egiptu pa se je zaradi potresa v kraju Damietta (400 kilometrov južno od nadžarišča potresa) zrušila štiri-nadstropna zgradba in pod seboj pokopala tri osebe (NEIC, 2022d; Wikipedia, 2024e).

Sklepne misli

Leta 2022 je bilo po svetu 43 potresov, ki so dosegli ali presegli navorno magnitudo 6,5. Od tega jih le enajst ni imelo žarišča pod morskim dnem. Trideset potresov je v tem letu skupaj zahtevalo 1761 človeških življenj, največ žrtev (1163) je bilo v potresu magnitudo 6,0, ki je junija prizadel Afganistan. Najmočnejši potres v Evropi z navorno magnitudo 6,6 je januarja stresel Ciper in zahteval tri življenja v Egiptu.

Viri in literatura

ISC, 2022. International Seismological Centre, Summ. Bull. Internatl. Seismol. Cent., July–December 2019, Vol 56 (No II), Thatcham, United Kingdom, 2022, <http://publications.isc.ac.uk/index.php/summary>, 13. 2. 2024.

Jesenko, T., 2018. Močnejši potresi po svetu 2017, Ujma, št. 32, 116–122. ISSN 0353-085X.

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>.

NEIC, 2022a. M 7.6 - 70 km E of Kainantu, Papua New Guinea. US Department of the Interior. Geological Survey, National Earthquake Information Center. <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us6000iitd/executive>, 13. 2. 2024.

- NEIC, 2022b. M 7.6 - 35 km SSW of Aguililla, Mexico. US Department of the Interior. Geological Survey, National Earthquake Information Center. <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us7000i9bw/executive>, 13. 2. 2024.
- NEIC, 2022c. M 6.0 - 55 km SW of Khost, Afghanistan. US Department of the Interior. Geological Survey, National Earthquake Information Center. <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us7000hj3u/executive>, 13. 2. 2024.
- NEIC, 2022d. M 6.6 - 48 km WNW of Pólis, Cyprus. US Department of the Interior. Geological Survey, National Earthquake Information Center. <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us7000gaqu/executive>, 13. 2. 2024.
- NEIC, 2024a. Significant Earthquakes – 2022. US Department of the Interior. Geological Survey, National Earthquake Information Center. <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/browse/significant.php?year=2022>, 13. 2. 2024.
- NEIC, 2024b. Search Earthquake Catalogue. US Department of the Interior. Geological Survey, National Earthquake Information Center. <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/>, 13. 2. 2024.
- NEIC, 2024c. 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>, 13. 2. 2024.
- Tasič, I., Vidrih, R. 2007. Zapisi oddaljenih potresov in notranja zgradba Zemlje, Ujma št. 21, 155–163. ISSN 0353-085X.
- Wikipedia, 2024a. List of earthquakes in 2022. https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_earthquakes_in_2022, 13. 2. 2024.
- Wikipedia, 2024b. Papua New Guinea. https://en.wikipedia.org/wiki/Papua_New_Guinea, (10. 5. 2023).
- Wikipedia, 2024c. 2022 Papua New Guinea earthquake. https://en.wikipedia.org/wiki/2022_Papua_New_Guinea_earthquake, 13. 2. 2024.
- Wikipedia, 2024č. 2022 Michoacán earthquake. https://en.wikipedia.org/wiki/2022_Michoac%C3%A1n_earthquake#Aftershocksearthquake, 13. 2. 2024.
- Wikipedia, 2024d. June 2022 Afghanistan earthquake. https://en.wikipedia.org/wiki/June_2022_Afghanistan_earthquake, 13. 2. 2024.
- Wikipedia, 2024e. 2022 Cyprus earthquake. https://en.wikipedia.org/wiki/2022_Cyprus_earthquake, 13. 2. 2024.

Kazalo

Ina Cević, Martina Čarman, Andrej Gosar, Tamara Jesenko, Gregor Rajh, Polona Zupančič, Mladen Živčić

Izbruh vulkana Hunga Tonga-Hunga Ha'apai 15. januarja 2022, njegove značilnosti in opazovanje v Sloveniji

Eruption of the Hunga Tonga-Hunga Ha'apai volcano on 15 January 2022, its characteristics and observations in Slovenia

Povzetek

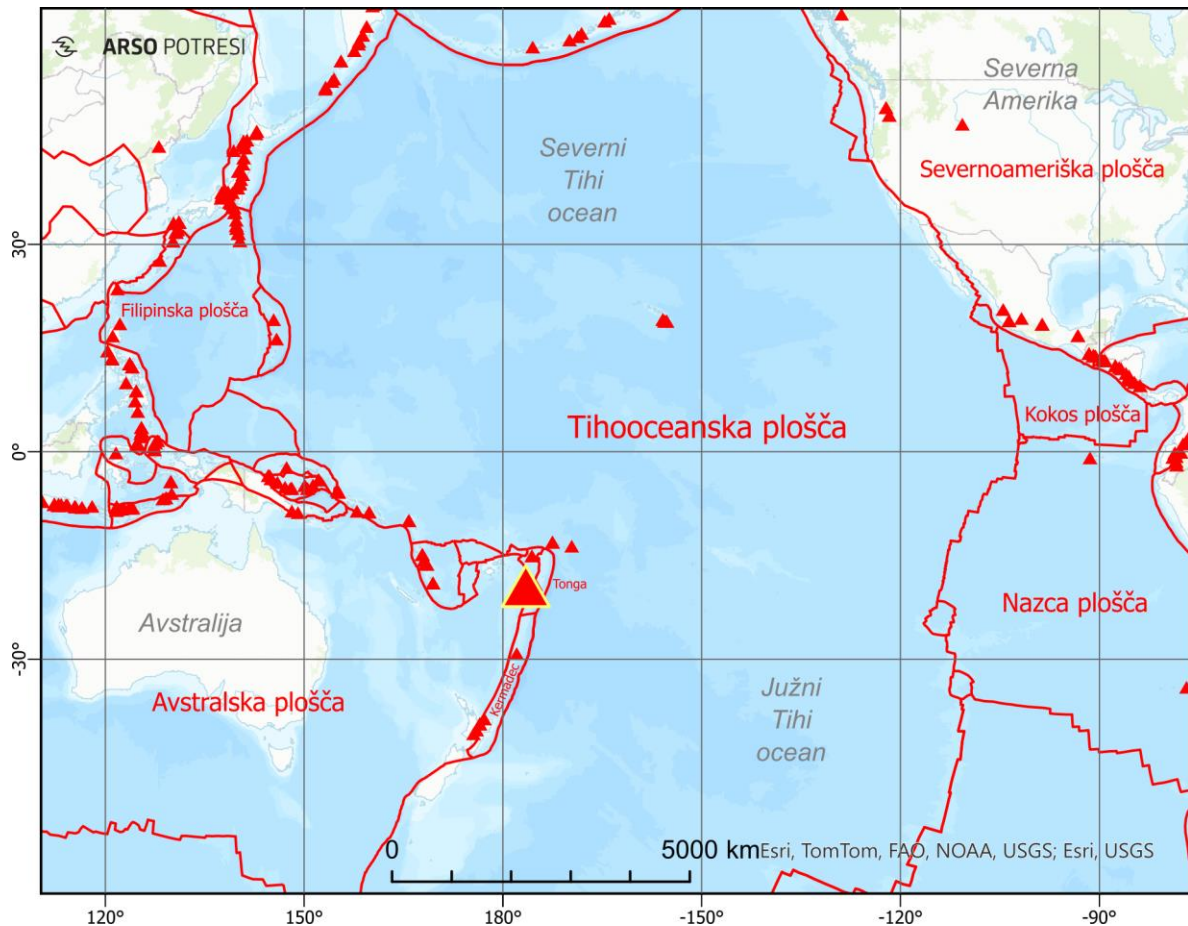
Petnajstega januarja 2022 okoli 4.15 po UTC (17.15 po lokalnem času) je na območju Tonge silovito izbruhnil podmorski vulkan Hunga Tonga-Hunga Ha'apai. Izbruh vulkana je bil najmočnejša eksplozija, zabeležena s sodobnimi instrumenti in silovitejša od vseh vulkanskih izbruhov 20. stoletja ali jedrskih eksplozij. Sproščena energija izbruha je bila enakovredna potresu z navorno magnitudo med 5,8 in 6,3. Niz eksplozij je povzročil valovanje v Zemljini notranjosti, oceanih in atmosferi. Potresno valovanje skozi Zemljino notranjost in zvočno valovanje skozi atmosfero je zabeležila državna mreža potresnih opazovalnic, ki je od vulkana oddaljena okoli 17.000 km. Čelo potresnega valovanja je pot od vulkana do Slovenije, ki poteka skozi Zemljino jedro, prepotovalo v približno 20 minutah. Prehodi zvočnega valovanja po dveh različnih poteh okoli Zemlje, so bili v Sloveniji zabeleženi 15 in 20 ur po vulkanskem izbruhu. Atmosfersko motnjo so zaznale tudi meteorološke postaje.

Abstract

Hunga Tonga-Hunga Ha'apai, an underwater volcano in Tonga, violently erupted on 15 January 2022 at 4:15 UTC (17:15 local time). The eruption was the largest explosion ever registered with modern equipment, more powerful than any nuclear explosion or other volcanic eruptions in the 20th century. The energy release of the Hunga Tonga-Hunga Ha'apai eruption was equivalent to an earthquake of magnitude in the range 5.6-6.3. The series of explosions have generated seismic and acoustic waves in the Earth's interior, oceans, and atmosphere. The seismic network of the Republic of Slovenia recorded seismic and atmospheric waves caused by the eruption 17,000 km away. It took about 20 minutes for the first seismic waves to reach Slovenia. The atmospheric waves travelling along two different paths around the Earth were observed on the seismic network in Slovenia 15 and 20 hours after the eruption. The atmospheric disturbance was also detected on Slovenian meteorological stations.

O izbruhu vulkana

Kraljevina Tonga je polinezijska država in arhipelag s 169 otoki, od katerih je 36 naseljenih. Skupna površina otokov je približno 750 km², razprostirajo pa se na 700.000 km² južnega Tihega oceana, približno 1.800 km severovzhodno od Nove Zelandije. Najbolj poseljen otok je Tongatapu, kjer je tudi glavno mesto Nuku'alofa. Vulkan Hunga Tonga-Hunga Ha'apai je le eden izmed dejavnih vulkanov na tem območju in se nahaja 65 km severno od Tongatapuja, skoraj popolnoma pod morjem. Leži na območju Tongovskega in Kermadeškega oceanskega jarka, kjer Tihooceanska plošča tone pod Avstralsko (slika 1). Edini del vulkana nad gladino morja sta dva majhna nenaseljena vulkanska otoka, Hunga Tonga in Hunga Ha'apai (slika 2a) na severnem in zahodnem robu kaldere (slika 3a). Po otokih je vulkan tudi poimenovan, povezala pa ju je razmeroma šibka vulkanska dejavnost v letih 2014 in 2015 (slika 2b, Terry in drugi, 2022).

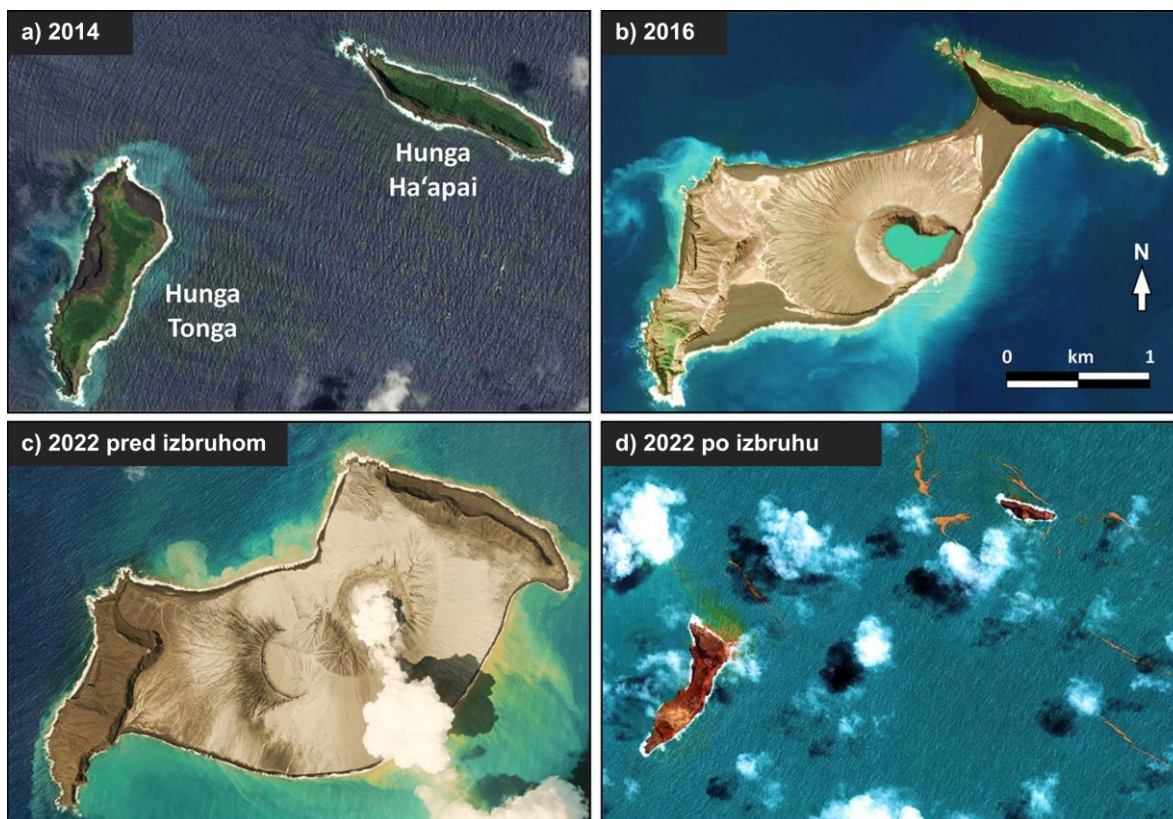


Slika 1. Tih ocean leži večinoma na Tihooceanski tektonski plošči, ki se na robovih (rdeče črte) stika z drugimi tektonskimi ploščami (Bird, 2003). Ob stikih so nastali številni vulkani, trikotniki prikazujejo večje vulkanske izbruhe v zadnjih 2000 letih (National Geophysical Data Center / World Data Service, 2024). Vulkan Hunga Tonga-Hunga Ha'apai je označen z večjim trikotnikom.

Figure 1. Pacific Ocean is primarily situated on the Pacific tectonic plate. Contacts between tectonic plates are outlined in red (Bird, 2003). Triangles denote large volcanic eruptions in the last 2000 years that are situated on the plate contacts (National Geophysical Data Center / World Data Service, 2024). Big triangle denotes Hunga Tonga-Hunga Ha'apai volcano.

Zadnja vulkanska dejavnost se je začela 20. decembra 2021 in se po vmesni tridnevni umiritvi spet povečala 14. januarja. Vrh je dosegla 15. januarja s silovitim izbruhom, ki je povzročil niz močnih eksplozij in vulkanski oblak pognal 58 km visoko, vse do mezosfere. Izbruh so kmalu jasno slišali prebivalci otočja Fidži (več kot 700 km stran), čez manj kot dve uri prebivalci več kot 2000 km oddaljene Nove Zelandije in čez približno osem ur celo prebivalci na Aljaski, okoli 9400 km stran od mesta izbruha (Wikipedia, 2022).

V 12 ur trajajočem nizu izbruhov je vulkan v atmosfero izbruhal okoli 1,9 km³ snovi z maso 2,9 gigaton (10¹² kg) (Yuen in drugi, 2022). Izbruh je ločil in zmanjšal otoka (slika 2) ter za sabo pustil več kot 800 m globoko kaldero (slika 4).



Slika 2. Kopenski del vulkana Hunga Tonga-Hunga Ha'apai pred (a, b, c) in po (d) izbruhu (prirejeno po Terry in drugi, 2022).

Figure 2. Subaerial parts of the Hunga Tonga-Hunga Ha'apai volcano before (a, b, c) and after (d) the eruption (modified after Terry et al., 2022).

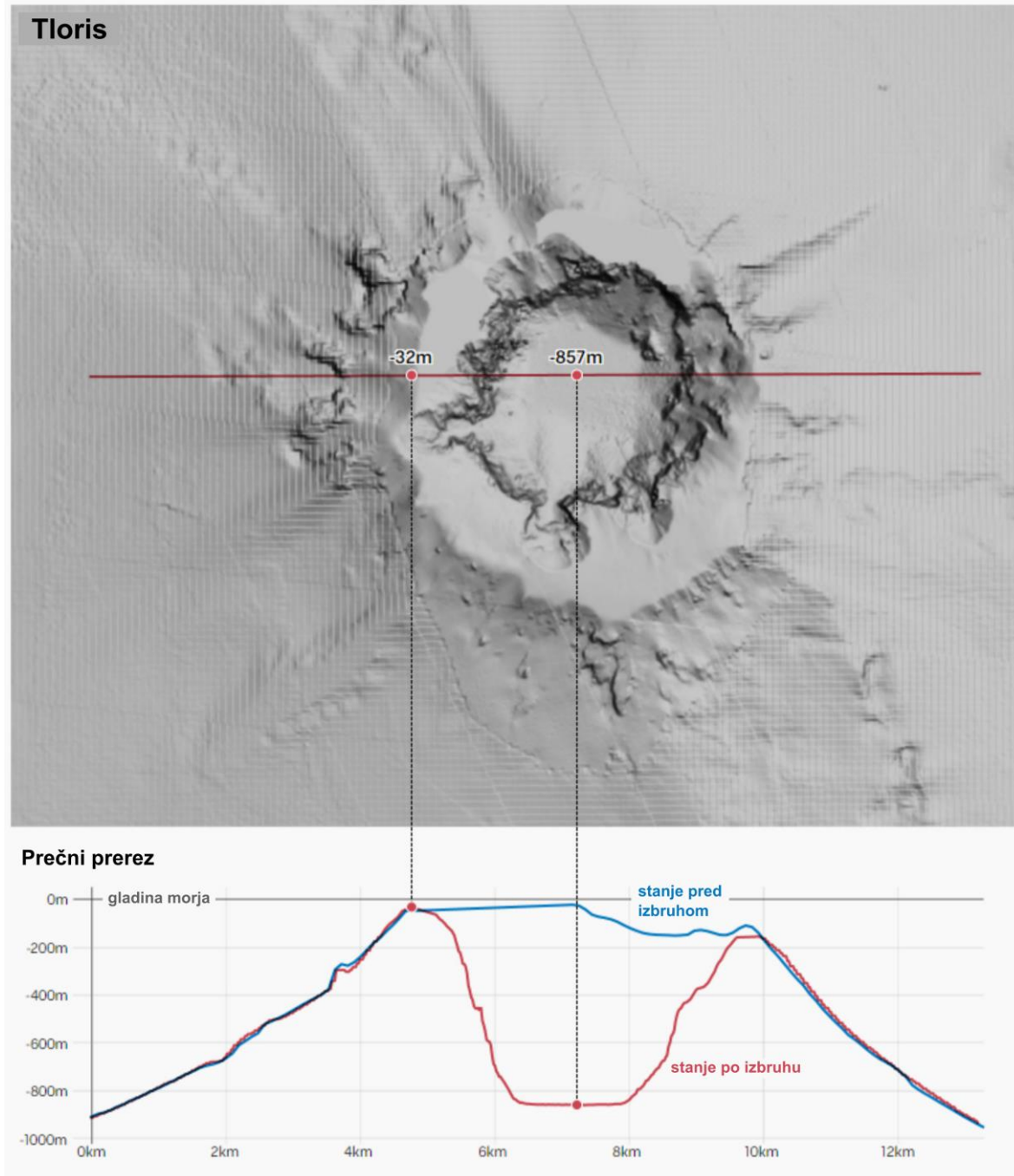


Slika 3. Relief morskega dna območja vulkana Hunga Tonga-Hunga Ha'apai pred zadnjim izbruhu. Prikazana sta pogled od zgoraj z obrisom otočja in pogled od strani na vulkan (prirejeno po Doman in drugi, 2022). Premer kaldere je okoli 5 km.

Figure 3. Sea floor relief of the Hunga Tonga-Hunga Ha'apai volcano area before the last eruption. Top view with marked subaerial part and side view of the volcano (modified after Doman et al., 2022). The diameter of the caldera is approx. 5 km.

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

Prerez skozi podvodno kaldero, ki je nastala po zadnjem izbruhu vulkana (prirejeno po Doman in Palmer, 2022).



Slika 4. Prerez skozi podvodno kaldero, ki je nastala po zadnjem izbruhu vulkana (prirejeno po Doman in Palmer, 2022).

Figure 4. Cross-section through the submerged caldera formed after the last eruption (modified after Doman in Palmer, 2022).

Za izbruhe ognjenikov se uporablja osemstopenjska lestvica Volcanic Explosivity Index (Newhall in Self, 1982), po kateri je bil izbruh vulkana Hunga Tonga-Hunga Ha'apai ocenjen

vsaj na peto stopnjo (Yuen in drugi, 2022). To pomeni, da je skupna prostornina izbruhane snovi (plina in kamnin) vsaj 1 km^3 . Na peto stopnjo sta npr. ocenjena tudi zelo znana izbruha Vezuva leta 79 in izbruh gore Svete Helene (severozahod ZDA) leta 1980. Na šesto stopnjo (prostornina izbruhane snovi vsaj 10 km^3) je ocenjen izbruh Krakataua leta 1883, na sedmo stopnjo (prostornina izbruhane snovi vsaj 100 km^3) pa izbruh Santorinija leta 1620 pred našim štetjem (Global Volcanism Program, 2023). Na najvišjo osmo stopnjo (prostornina izbruhane snovi vsaj 1000 km^3) sta ocenjena dva izbruha v Yellowstonu, prvi pred 2,3 milijona let in drugi pred 630.000 leti, ko je nastala današnja Yellowstonska kaldera (Smith in Siegel, 2000).

Za vrednotenje velikosti potresov ali vulkanskih izbruhov se uporablja tudi primerjava z ekvivalentno maso klasičnega (TNT) eksploziva ali atomskimi bombami. Díaz in Rigby (2022) sta na podlagi meritev zračnega tlaka ocenila, da je velikost izbruha Hunga Tonga-Hunga Ha'apai ustrezala ekvivalentu 61 megaton TNT. To pomeni, da je presegla najmočnejšo testno eksplozijo termonuklearne bombe (Tsar bomba), ki jo je leta 1961 izvedla Sovjetska zveza in za katero je ekvivalentna masa ocenjena na 50-58 megaton TNT.

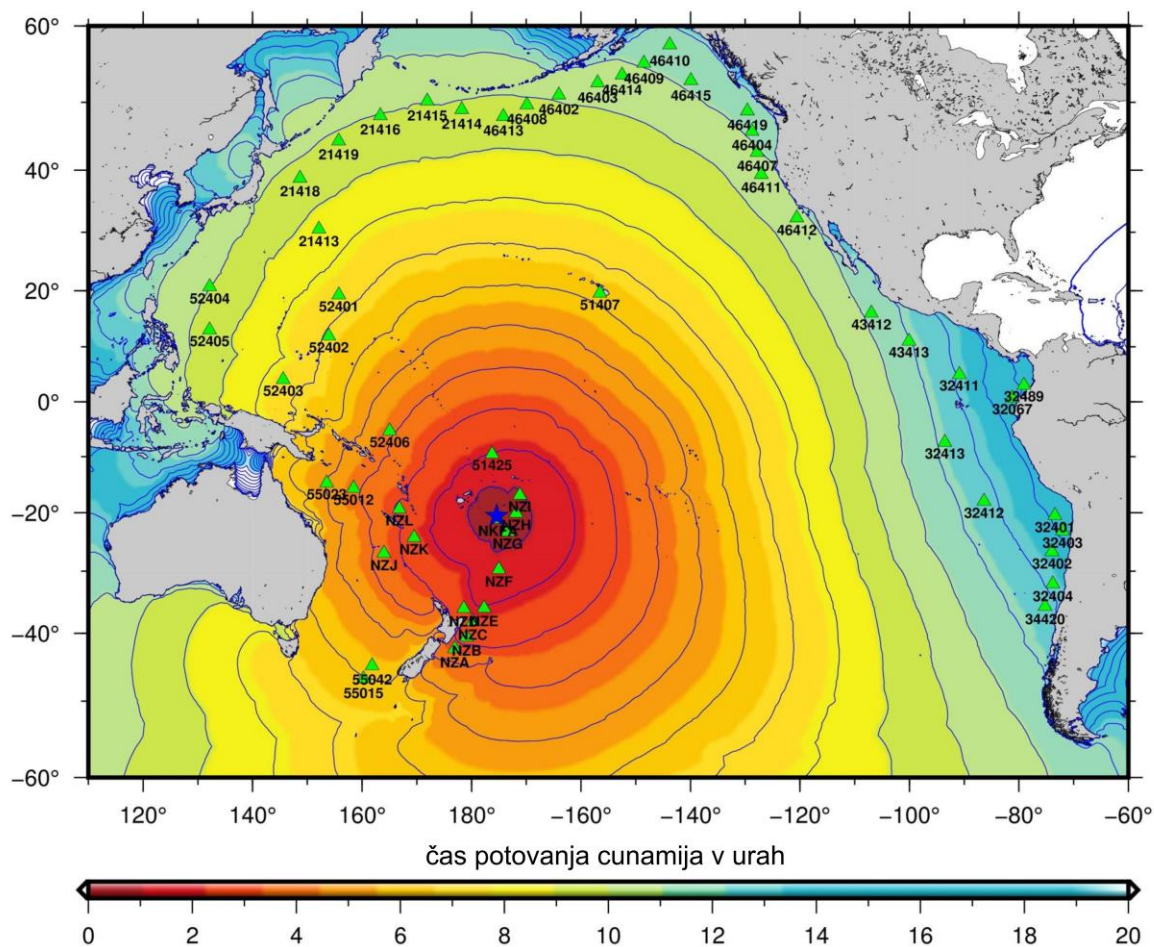
Otočje Tonga je bilo po izbruhu 2022 nekaj časa odrezano od sveta zaradi poškodb podmorskega komunikacijskega kabla. Pepel v zraku je onemogočal polete ter hitro oceno posledic in onesnažil vire pitne vode.

Cunami – potujoči val oceanske vode

Cunamiji nastanejo predvsem ob močnih potresih zaradi pretrga Zemljine skorje pod oceanskim dnom. Pri dvigu ali spustu morskega dna se nenadoma dvigne ali spusti velika količina morske vode. Ob izravnavi vodne gladine se voda prelije v nižje dele gladine in nastane potujoči vodni val. V zadnjih dveh stoletjih je bilo zabeleženih manj kot 100 cunamijev, ki so jih povzročili podvodni izbruhi vulkanov.

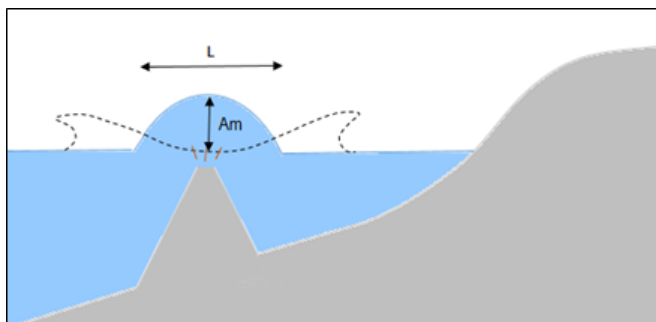
Vulkanski izbruh je sprožil cunami, ki je potoval s hitrostjo do 720 km/h in so ga zabeležili na Tongi, Fidžiju, Ameriški Samoa, Vanuatuju, pa tudi na Novi Zelandiji, Japonskem, v Rusiji, ZDA, Čilu in Peruju. Hitrost potovanja cunamija je odvisna od globine oceana in zato ni enaka v vseh smereh (slika 5). Na Tongi so valovi, ki so se dvignili tudi do 20 m visoko, zahtevali vsaj štiri življenja, še dve življenji pa dvometrski valovi v Peruju (Toulkeridis in drugi, 2022; USGS, 2022; Wikipedia, 2022).

Heidarzadeh in drugi (2022) so na podlagi meritev sistema za opozarjanje pred cunamiji v Tihem oceanu DART (Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunamis; NOAA, 2022) ocenili začetni val cunamija ob izbruhu. Uporabili so podatke 22 priobalnih mareografov in 8 barometrov, postavljenih na Novi Zelandiji in tihomorskih otokih v območju približno do 180 km od vulkana, ter 8 globokomorskih boj. S spektralno analizo in modeliranjem so izračunali, da je izbruh premaknil $6,6$ milijonov m^3 oceanske vode. Val je imel na mestu izvora začetno dolžino 12 km (L) in višino 90 m (Am; slika 6).



Slika 5. Čas potovanja cunamija preko Tihega oceana zaradi izbruha vulkana Hunga Tonga-Hunga Ha'apai v urah. Z zelenimi trikotniki so označeni merilniki sistema DART, sistema za opozarjanje pred cunamiji v Tihem oceanu (NOAA, 2022). Modra zvezda označuje lokacijo vulkana Hunga Tonga-Hunga Ha'apai. (Gusman in Roger, 2022)

Figure 5. Deep-ocean Assessment and Reporting of Tsunami (DART) buoy stations (green triangles) and the theoretical tsunami (long wave) travel time map. The contour intervals for the theoretical tsunami travel time is 1 hour. Blue star represents the location of Hunga Tonga-Hunga Ha'apai volcano. (Gusman and Roger, 2022)

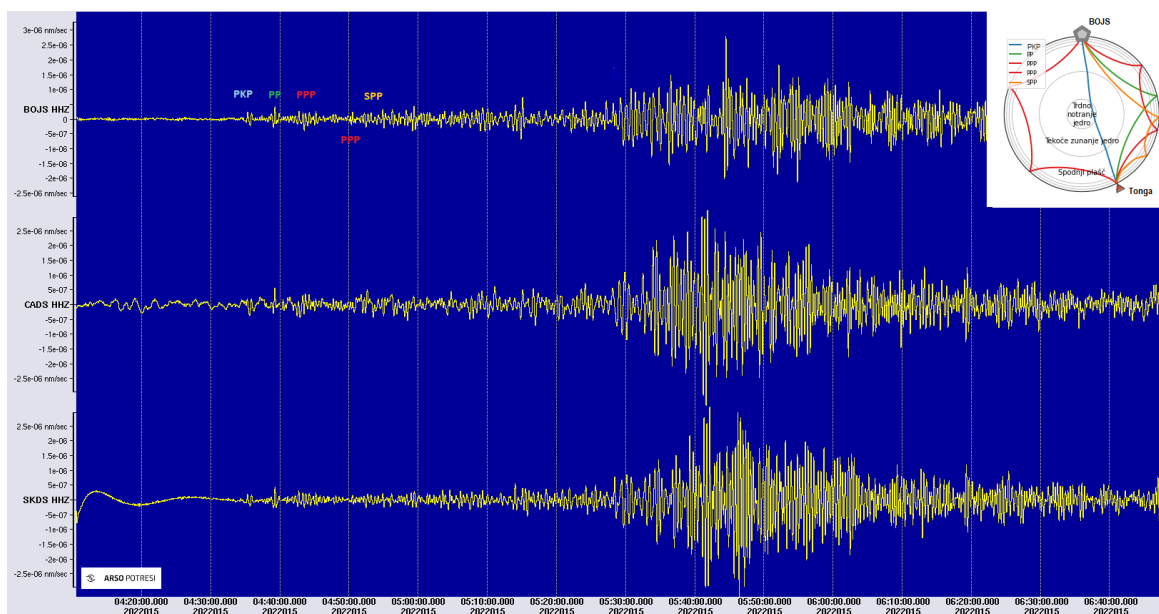


Slika 6. Skica, ki prikazuje obliko začetnega vala (modra kupola Gaussove oblike), upoštevano pri modeliranju vulkanskega cunamija (Hunga Tonga-Hunga Ha'apai, 15. januar 2022). Z L je označena dolžina in z A_m največji vodni izpodriv (začetna amplituda valov) na mestu izvora cunamija (Heidarzadeh in drugi, 2022). Črtkana črta prikazuje nadaljnje širjenje cunamijevega vala.

Figure 6. Sketch showing the hypothetical shape of the initial wave considered in modelling the 15 January 2022 Tonga volcanic tsunami. Here, L is the characteristic length, and A_m is the characteristic maximum water displacement (initial wave amplitude) of the tsunami source (Heidarzadeh et al., 2022). The dashed line shows further propagation of the tsunami wave.

Potresno in atmosfersko valovanje zabeleženo v Sloveniji

Izbruh vulkana se je zgodil od nekaj deset do nekaj sto metrov pod gladino morja (slika 4). Morska voda je zato hipoma zavrela in dosegla stratosfero (Wright in drugi, 2022). Del energije, sproščene ob vulkanskem izbruhu, je prešel v potresno valovanje. Zabeležile so ga potresne opazovalnice po vsem svetu, med njimi tudi seizmografi v Sloveniji, ki so del državne mreže potresnih opazovalnic in od vulkana oddaljeni okoli 17.000 km ali 153 ločnih stopinj. Čelo potresnega valovanja je pot od vulkana do Slovenije, ki vodi skozi Zemljino jedro, prepotovalo v približno 20 minutah (slika 7).

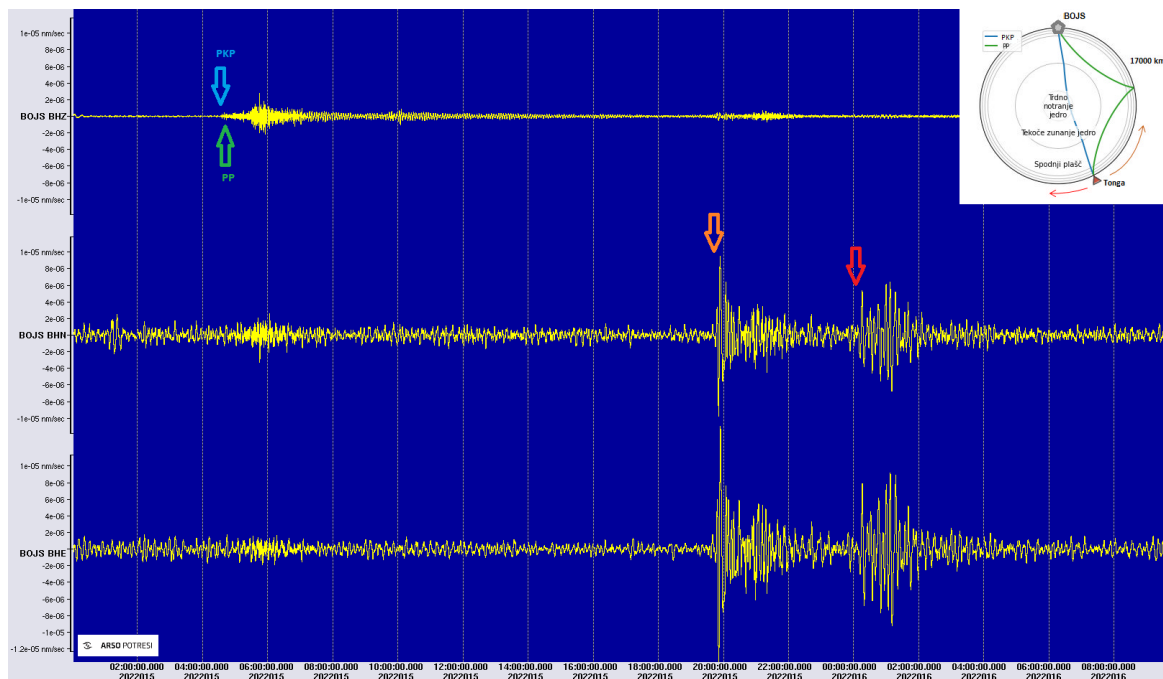


Slika 7. Zapis izbruha vulkana 15. januarja 2022 na treh slovenskih potresnih opazovalnicah (BOJS, CADS in SKDS). Prikazan je 2 uri in pol dolg zapis (navpična komponenta), na katerem so označeni vstopni časi nekaterih faz potresnega valovanja. V zgornjem desnem kotu je z ujemajočo barvo shematsko prikazana pot ustrezne faze valovanja skozi Zemljo (od vulkana do opazovalnice BOJS).

Figure 7. Two and a half hours long continuous recording (vertical component) of the volcanic eruption on 15 January 2022 on three Slovenian seismic stations (BOJS, CADS and SKDS). Arrivals of some phases of the seismic wave are noted in different colours, and the same colour scale is used to illustrate the path the waves took traveling from the volcano to the station BOJS. Spodnji plašč = lower mantle, Tekoče zunanje jedro = liquid outer core, Trdno notranje jedro = solid inner core.

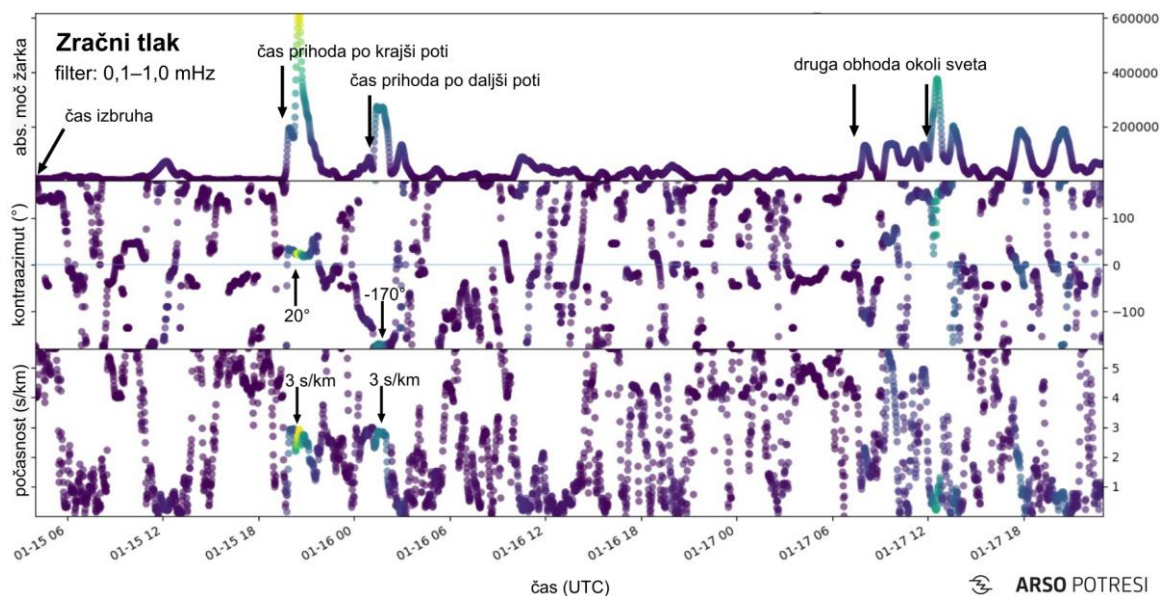
Ognjeniški steber je s stiskom okoliškega zraka povzročil infrazvočno valovanje, ki je potovalo v vse smeri okoli Zemljine oble. Motnja je od vulkana potovala vzdolž površine s hitrostjo okoli 330 m/s (Wright in drugi, 2022). Slovenijo je prvič prešla po 15 urah po krajši poti in po približno 20 urah po daljši poti (slika 8). Kasneje je viden še drugi obhod okoli sveta (slika 9). Na zapisih meritev zračnega tlaka (barogramih) s petih meteoroloških postaj v Sloveniji smo uporabili v seizmologiji pogosto uporabljeno metodo (f–k analiza; Capon, 1969), pri kateri združimo zapise z mreže merilnih mest (seizmografov ali barometrov) in predpostavimo, da se valovanje širi z ravnim čelom. Večkratni prehod infrazvočnega valovanja čez območje Slovenije je bilo mogoče prepoznati neposredno z barogramov, z dodatno analizo pa smo določili še njegovo počasnost (obratna vrednost hitrosti) in dve smeri (kontraazimuta), ki ustrezata krajši in daljši poti od vulkana do meteoroloških postaj (slika 9). Kontraazimut je kot med severom in določeno točko, merjeno v nasprotni smeri urinega kazalca. Počasnost infrazvočnega čela po daljši in krajši poti, ki jo lahko razberemo iz spodnjega grafa slike 9, je približno 3 s/km, kar ustreza hitrosti 330 m/s in se sklada s hitrostjo

infrazvoka v zraku. Na sredinskem grafu slike 9 pa lahko odčitamo kontraazimuta obeh prihodov, in sicer 20° za prihod čela valovanja po krajši poti in -170° po daljši poti.



Slika 8. Zapis gibanja tal in valovanja zraka v atmosferi ob izbruhu vulkana, 15.–16. januarja 2022 na potresni opazovalnici BOJS. Prikazan je 34-urni trikomponentni zapis, na katerem so s puščicami označeni vstopni časi nekaterih faz potresnega valovanja (modra, zelena) in prihodov atmosferskega zvočnega valovanja (oranžna, rdeča). V zgornjem desnem kotu je z ujemajočo barvo shematsko prikazana pot ustreznega valovanja skozi Zemljo in okoli nje (od vulkana do opazovalnice BOJS).

Figure 8. Thirty-four hours long three-component recording of the ground and atmospheric air movement during the volcanic eruption on 15-16 January 2022 on seismic station BOJS. Arrivals of seismic phases are noted in blue and green, and the atmospheric sound wave phases are marked with orange and red. The same colour scale is used to illustrate the path the waves took traveling from the volcano to the station BOJS. Spodnji plašč = lower mantle, Tekoče zunanje jedro = liquid outer core, Trdno notranje jedro = solid inner core.



Slika 9. Rezultati f - k analize z zapisov meritev zračnega tlaka na petih meteoroloških postajah v Sloveniji.

Figure 9. Results of the f - k analysis from recordings of air pressure measurements at five meteorological stations in Slovenia.

Sklepne misli

Otoka Hunga Tonga in Hunga Ha'apai se nahajata v južnem delu Tihomorskega ognjenega obroča, ki je znan po visoki potresni aktivnosti. Izbruh vulkana Hunga Tonga-Hunga Ha'apai je bil poseben za vse, ki se ukvarjajo z geoznanostmi, ker smo ga lahko spremljali s številnimi instrumenti ter zmogljivo programsko opremo, s katerimi smo lahko izjemno hitro obdelali podatke in pripravili analize dogodka. Silovit dogodek so zaznale različne merilne naprave po vsem svetu. V prispevku smo opisali, kako so v Sloveniji različne vrste valovanja zabeležili seizmografi državne mreže potresnih opazovalnic in barometri na meteoroloških postajah. Vse raziskave in spoznanja, pridobljena po izbruhu vulkana Hunga Tonga-Hunga Ha'apai, imajo pomembno vlogo pri razumevanju procesov oblikovanja zemeljskega površja, pri razvijanju strategij za obvladovanje morebitnih tveganj in pripravljenosti lokalnih prebivalcev na morebitne prihodnje vulkanske izbruhe (GRADE Report, 2022).

Viri

- Bird, P., 2003. An updated digital model of plate boundaries, *Geochem. Geophys. Geosyst.*, 4, 1027, doi:10.1029/2001GC000252.
- Capon, J., 1969. High-resolution frequency-wavenumber spectrum analysis. *Proceedings of the IEEE*, 57, 8, 1408–1418.
- Díaz, J. S., Rigby, S. E., 2022. Energetic output of the 2022 Hunga Tonga–Hunga Ha'apai volcanic eruption from pressure measurements. *Shock Waves*, 32 (6), 553–561.
- Doman, M., Palmer, A., 2022. The 'mind-blowing' sea floor changes caused by Tongan volcanic eruption. <https://www.abc.net.au/news/2022-11-21/sea-floor-map-reveals-huge-cavity-left-behind-by-tonga-volcano/101674708>, 5. 7. 2023.
- Doman, M., Palmer, A., Shatoba, K., 2022. How a Tongan volcano shocked the world. <https://www.abc.net.au/news/2022-01-22/satellite-data-images-reveal-power-of-tonga-volcano-eruption/100773458>, 5. 7. 2023.
- Global Volcanism Program, 2023. [baza podatkov] Volcanoes of the World (v. 5.1.0; 9 June 2023). Smithsonian Institution. doi:10.5479/si.GVP.VOTW5-2023.5.1.
- The January 15, 2022 Hunga Tonga-Hunga Ha'apai eruption and tsunami, Tonga. Global rapid post disaster damage estimation (GRADE) report, 2022 <https://reliefweb.int/report/tonga/january-15-2022-hunga-tonga-hunga-haapi-eruption-and-tsunami-tonga-global-rapid-post>, 5. 7. 2023.
- Gusman, A., Roger, J., 2022. HungaTonga-Hunga Ha'apai volcano-induced sea level oscillations and tsunamisimulations. GNS Science webpage on 15 February 2022, accessed 31 January. <https://www.gns.cri.nz/news/hunga-tonga-hunga-haa-pai-volcano-induced-sea-level-oscillations-and-tsunami-simulations/>, 5. 9. 2023
- Heidarzadeh, M., Aditya Riadi, G., Takeo, I., Ramtin, S., Šepić, J., 2022. Estimating the eruption-induced water displacement source of the 15 January 2022 Tonga volcanic tsunami from tsunami spectra and numerical modelling. *Ocean Engineering*, 261, 112165. doi:10.1016/j.oceaneng.2022.112165.
- National Geophysical Data Center / World Data Service (NGDC/WDS): NCEI/WDS Global Significant Volcanic Eruptions Database, 2024 NOAA National Centers for Environmental Information. doi:10.7289/V5JW8B5H, 19.2.2024.

- NEIC, 2022. M 5.8 Volcanic Eruption - 68 km NNW of Nuku'alofa, Tonga. US Department of the Interior, Geological Survey, National Earthquake Information Center. <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/pt22015050/executive>, 8. 12. 2022.
- Newhall, C., G., Self, S., 1982. The Volcanic Explosivity Index (VEI): An Estimate of Explosive Magnitude for Historical Volcanism. *Journal of Geophysical Research*, 87 (C2), 1231–1238. doi:10.1029/JC087iC02p01231.
- NOAA, 2022. January 15, 2022 Tonga Tsunami (NOAA DART®, NOAA/NOS/CO-OPS and NOAA/NESDIS/STAR Satellite Altimeter Data). <https://ngdc.noaa.gov/hazard/dart/2022tonga.html>, 6. 12. 2022.
- Smith, R. B., Siegel, L. J., 2000. *Windows into the Earth: The Geologic Story of Yellowstone and Grand Teton National Parks*. Oxford Academic, New York. doi:10.1093/oso/9780195105964.001.0001.
- Terry, J. P., Goff, J., Winspear, N., Bongolan, V. P., Fisher, S., 2022. Tonga volcanic eruption and tsunami, January 2022: globally the most significant opportunity to observe an explosive and tsunamigenic submarine eruption since AD 1883 Krakatau. *Geoscience Letters* 9, 24. doi:10.1186/s40562-022-00232-z.
- Thurin, J., Tape, C., Modrak R., 2022. Multi-Event Explosive Seismic Source for the 2022 Mw 6.3 Hunga Tonga Submarine Volcanic Eruption. *The Seismic Record*, 2 (4), 217–226. doi: 10.1785/0320220027.
- Toulkeridis, Th., Martinez, N., Barrantes G., Rentería, W., Barragan-Aroca, G., Simón-Baile, D., Palacios, I., Salazar, R., de Jesús Salcedo-Hurtado E., Pararas-Carayannis, G., 2022. Impact and response in Central and South America due to the tsunami generated by the submarine eruption of Hunga Tonga-Hunga Ta'apai volcano. *Journal of Tsunami Society International*, 41 (1), 1–38.
- USGS, 2022. Massive Volcanic Eruption and Tsunami Informs Plan for Future Eruptions, Sea-Level Rise. <https://www.usgs.gov/news/featured-story/massive-volcanic-eruption-and-tsunami-informs-plan-future-eruptions-sea-level>, 25. 11. 2022.
- Wright, C. J., Hindley, N. P., Alexander, M. J., Barlow, M., Hoffmann, L., Mitchell, C. N., Prata, F., Bouillon, M., Carstens, J., Clerbaux, C., Osprey, S. M., Powell, N., Randall, C. E., Yue, J., 2022. Surface-to-space atmospheric waves from Hunga Tonga–Hunga Ha'apai eruption. *Nature*, 609, 741–746. doi:10.1038/s41586-022-05012-5.
- Wikipedia, 2022. Hunga Tonga–Hunga Ha'apai. https://en.wikipedia.org/wiki/Hunga_Tonga–Hunga_Ha'apai, 5. 9. 2023
- Yuen, D. A., Scruggs, M. A., Spera, F. J., Zheng, Y., Hao Hu, H., McNutt, S. R., Thompson, G., Mandli, K., Keller, B. R., Shawn Wei, S., Peng, Z., Zhou, Z., Mulargia, F., Tanioka, Y., 2022. Under the Surface: Pressure-Induced Planetary-Scale Waves, Volcanic Lightning, and Gaseous Clouds Caused by the Submarine Eruption of Hunga Tonga-Hunga Ha'apai Volcano Provide an Excellent Research Opportunity. *Earthquake Research Advances*, 2 (3). doi:10.1016/j.eqrea.2022.100134.

Kazalo

Izidor Tasič

Potresne opazovalnice v Sloveniji v letu 2022

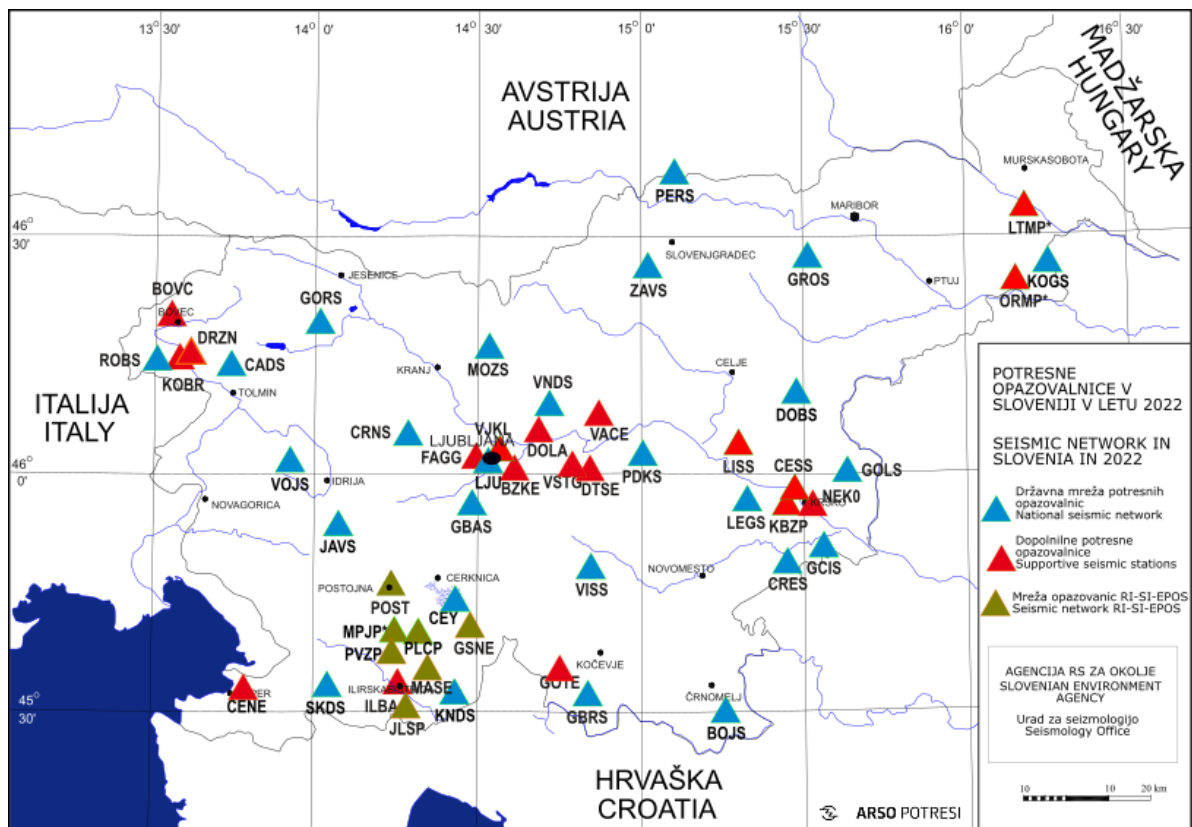
Seismic Network in Slovenia in 2022

Povzetek

Leta 2022 je na območju Slovenije delovala Državna mreža potresnih opazovalnic s 26 potresnimi opazovalnicami. V različnih časovnih obdobjih tega leta je delovalo še 19 dopolnilnih potresnih opazovalnic. ARSO upravlja še 6 začasnih opazovalnic, postavljenih leta 2020, ki tvorijo Mrežo "SLO Karst NFO" in so del projekta "Razvoj raziskovalne infrastrukture za mednarodno konkurenčnost slovenskega RRI prostora – RI-SI-EPOS".

Abstract

In the year 2022, 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 19 seismic stations that operated in different periods in 2022, yet they are not part of the SNRS. In addition to these stations, ARSO supervises another six temporary stations, set up in 2020, which form the SLO Karst NFO Network and are part of the project "Development of Research Infrastructure for the International Competitiveness of the Slovenian RRI area - RI-SI-EPOS".



Slika 1: Potresne opazovalnice ARSO (rdeči in modri trikotniki) in SLO Karst NFO (zeleno-rjavi trikotniki; RI-SI-EPOS, Šebela, 2021) leta 2022. (Oznaka * pomeni, da je prenehala z delovanjem v letu 2022.)

Figure 1: Seismic network in Slovenia, supervised by ARSO (red and blue triangles) in 2022 and Slovenian Karst NFO Seismic Network (SLO Karst NFO, greenish brown triangles, Šebela, 2021). (*: it had stopped operation in 2022.)

Uvod

Potresne opazovalnice ARSO (ARSO, 2022) delimo v dve skupini (slika 1). Državna mreža potresnih opazovalnic (DMPO) s 26 potresnimi opazovalnicami tvori hrbtenico potresnega opazovanja v Sloveniji (modri trikotniki na sliki 1). V drugi skupini (rdeči trikotniki na sliki 1) so tako imenovane dopolnilne potresne opazovalnice (DoPO). Njihov osnovni namen je boljša parcialna geografska pokritost prostora in s tem natančnejše določanje potresnih parametrov. Potresne opazovalnice v obeh skupinah se med seboj ločijo glede na protokol delovanja, kvaliteto seizmološke merilne opreme, kvaliteto lokacije in čas delovanja.

V letu 2022 je ARSO v okviru projekta Razvoj raziskovalne infrastrukture za mednarodno konkurenčnost slovenskega RRI prostora – RI-SI-EPOS (RI-SI-EPOS, 2023) upravljalo šečasne opazovalnice SLO Karst NFO mreže (zeleni trikotniki na sliki 1) (Šebela in drugi, 2020, 2023).

Preglednica 1: Državna mreža potresnih opazovalnic
Table 1: National seismic network in Slovenia.

oznaka	ime opazovalnice	začetek delovanja	zem. šir.	zem. dol.	n. viš.	litološka podlaga
code	station name	the start of operation	lat.	lon.	elev.	lithology
		leto / year	°N	°E	[m]	
BOJS	Bojanci	2004	45,5043	15,2518	252	apnenec / limestone
CEY	Cerknica	1975	45,7381	14,4221	579	apnenec / limestone
CADS	Čadrg	2003	46,2281	13,7369	751	apnenec / limestone
CRES	Črešnjevce	2002	45,8259	15,4569	431	dolomit / dolomite
CRNS	Črni Vrh	2005	46,0807	14,2613	712	dolomit, apnenec / dolomite, limestone
DOBS	Dobrina	1996	46,1495	15,4695	465	lapor / marlstone
GBAS	Gorenja Brezovica	2008	45,9348	14,4434	525	dolomit / dolomite
GBRS	Gornja Briga	2007	45,5311	14,8101	610	dolomit / dolomite
GCIS	Gornji Cirknik	2003	45,8672	15,6275	385	dolomit / dolomite
GOLS	Goliše	2002	46,0108	15,6245	559	dolomit / dolomite
GORS	Gorjuše	2004	46,3174	13,9999	1048	apnenec / limestone
GROS	Grobnik	2002	46,461	15,5018	930	tonalit / tonalite
JAVS	Javornik	2003	45,8934	14,0643	1100	dolomit / dolomite
KNDS	Knežji dol	2003	45,5278	14,3807	1035	apnenec / limestone
KOGS	Kog	2004	46,4481	16,2504	245	glinavec / mudstone
LEGS	Legarje	2002	45,9488	15,3177	390	dolomit / dolomite
LJU	Ljubljana	1958	46,0438	14,5278	396	peščenjak / sandstone
MOZS	Možjanca	2005	46,2941	14,4433	660	apnenec / limestone
PERS	Pernice	2002	46,6365	15,1139	795	filit / schist
PKDS	Podkum	2002	46,0612	14,9977	679	dolomit / dolomite
ROBS	Robič	2002	46,2445	13,5094	245	apnenec / limestone
SKDS	Skadanščina	2006	45,5464	14,0143	552	apnenec / limestone
VISS	Višnje	2003	45,8033	14,8393	399	apnenec / limestone
VOJS	Vojsko	2004	46,0322	13,8877	1072	dolomit / dolomite
VNDS	Vrh pri Dolskem	2006	46,1016	14,7014	531	kremenov peščenjak / quartz sandstone
ZAVS	Zavodnje	2005	46,4342	15,0246	741	granodiorit / granodiorite

Državna mreža potresnih opazovalnic

Državno mrežo potresnih opazovalnic (DMPO) sestavlja 26 potresnih opazovalnic (preglednici 1 in 2), ki so opremljene s širokopasovnim seizmometrom in s pospeškometrom (Tasič, 2018; Tasič in drugi, 2023). Prvi meri hitrost, drugi pospešek nihanja tal. Kombinacija obeh merilnih sistemov na enem mestu omogoča večje skupno dinamično območje merjenja. Zaradi take postavitve lahko na potresni opazovalnici merimo zelo šibke seizmične signale, ki jih zaznajo samo občutljivi seizmometri, lahko pa zabeležimo tudi velika nihanja tal. Primer slednjega je močen Petrinjski potres leta 2020 na Hrvaškem, kjer so bili na nekaterih lokacijah v Sloveniji seizmometri prekrmljeni, pospeškometri pa so pravilno zabeležili tudi največje nihanje tal (Tasič, 2023). Merilna sistema sta povezana s sodobnim seizmološkim 6-kanalnim podatkovnikom (zajemalno enoto) tipa Q330HRS podjetja Kinometrics, ki podatke digitalizira in opremi s točnim časom ter jih nato samodejno neprekinjeno prenaša 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.

V letu 2022 smo na lokacijah DMPO izvedli nekaj večjih posodobitev seizmološke opreme, ki so opisane v članku Delovanje državne mreže potresnih opazovalnic v letu 2022 (Mali in drugi, 2024). Popis opreme na DMPO leta 2022 je zapisan v preglednici 2.

Preglednica 2: Oprema na opazovalnicah DMPO v letu 2022

* - 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 prostora RRI – RI-SI-EPOS (RI-SI-EPOS, 2023).

Table 2: Equipment on National seismic network in Slovenia in 2022.

* - station has been in function in previous year;

** - station continues to operate in 2022

^x – the equipment is a part of the project "Development of Research Infrastructure for the International Competitiveness of the Slovenian RRI area – RI-SI-EPOS" (RI-SI-EPOS, 2023).

oznaka opazovalnice	senzor/ser. št.	čas delovanja (od-do)	zajemalna naprava/ser.št.	čas delovanja (od-do)
station code	sensors type/ser. no.	operating (from-to)	acquisition unit/ser. no.	operating (from-to)
BOJS	T360 ^(x) /1001	*_**	Q330HRS/6309	*_**
	EpiSensor/1723	*_**		
CEY	CMG-3ESPC/T35617	*_**	Q330HRS/6104	*_**
	Fortis/TF465	*_**		
	CMG-40T/T4B19	*_**	Q730/2000102	*_**
CADS	CMG-3ESPC/T39926	*_ 28. 1. 2022;	Q330HRS s/n 5797	*_ 28. 1. 2022;
	TRILLIUM 120QA/3091	28. 1. 2022 –**		
CRES	CMG-T5/T5JD6	*_**	Q330HRS/5878	*_**
	STS-2/90733	*_**		
CRNS	EpiSensor/782	*_**	Q330HRS/6105	*_**
	CMG-3ESPC/T36081	*_ 10.10.2022;		
	CMG-3T/T37529	10.10.2022 –**		
DOBS	CMG-T5/T5JD4	*_**	Q330HRS/6314	*_**
	CMG-3ESPC/T34749	*_**		
GBAS	CMG5T/T5HL8	*_**	Q330HRS/5655	*_**
	TH120/2080	*_**		
	CMG-5T/T5HL9	*_**		

oznaka opazovalnice	senzor/ser. št.	čas delovanja (od-do)	zajemalna naprava/ser.št.	čas delovanja (od-do)
station code	sensors type/ser. no.	operating (from-to)	acquisition unit/ser. no.	operating (from-to)
GBRS	CMG-3ESPC/T35893	*_**	Q330HRS/6315	*_**
	CMG-5TC/T5KU6	*_**		
GCIS	STS-2/120925	*_**	Q330HRS/6311	*_**
	EpiSensor/9755	*_**		
GOLS	CMG-40TBH/T4B26	*_**	Q330HRS/6311	*_**
	FORTIS sn TF459	*_**		
GORS	STS-2.5/151206	*_**	Q330HRS/5657	*_**
	EpiSensor/785	*_**		
GROS	T120QA/2973	*_**	Q330HRS/6312	*_**
	EpiSensor sn 9756	*_**		
JAVS	STS 2.5/192434	*_**	Q330HRS/5881	*_**
	CMG-5TC/T5HL6	*_**		
KNDS	STS-2/10416	*_**	Q330HRS/5798	*_**
	CMG-5TC/T5HL5	*_**		
KOGS	CMG-3T/T37085	*_**	Q330HRS/5653	*_**
	EpiSensor/784	*_**		
LEGS	CMG-40TB/T4B29	*_**	Q330HRS/7331	*_**
	FORTIS/TF466	*_**		
LJU	STS-2/40316	*_**	Q330HRS/5656	*_**
	EpiSensor/783	*_**		
MOZS	STS-2/20417	*_**	Q330HRS/5654	*_**
	Fortis/TF089	*_**		
PERS	CMG-3ESPC/T35616	*_**	Q330HRS/6102	*_**
	CMG-5T/T5JD5	*_**		
PDKS	CMG-40TB/T4B28	*_**	Q330HRS/7329	*_**
	FBA-23/42178	*_**		
ROBS	TH120/2070	*_**	Q330HRS/5880	*_**
	Fortis/TF090	*_**		
SKDS	STS-25/172109	*_**	Q330HRS/5658	*_**
	EpiSensor/786	*_**		
VISS	STS-2.5/151206	*_**	Q330HRS/5879	*_**
	CMG 5T/T5HL7	*_**		
VOJS	STS 2.5/172149	*_**	Q330HRS/6103	*_**
	CMG 5T/T5V48	*_**		
VNDS	CMG-3T/T37725	*_**	Q330HRS/6100	*_**
	EpiSensor/1722	*_**		
ZAVS	T120QA/2976	*_**	Q330HRS/6310	*_**
	Fortis/TF467	*_ 29. 7. 2022;		
	EpiSensor/10026	29. 7. 2022 -**		

Dopolnilne potresne opazovalnice

Dopolnilne potresne opazovalnice (DoPO; preglednici 3 in 4), ki dopolnjujejo potresno opazovanje DMPO, so opremljene z različno seizmološko opremo. V letu 2022 je na ozemlju Slovenije skupno delovalo 19 dopolnilnih potresnih opazovalnic. Od tega je bilo devet opazovalnic opremljenih s pospeškometri ETNA, ki pošiljajo v SOP samo prožene dogodke, se pravi dogodke, katerih amplituda nihanja tal je večja od vnaprej določenega praga proženja. Ostale dopolnilne potresne opazovalnice pošiljajo v SOP podatke v neprekinjenem načinu (preglednica 4). Nekatere od teh so opremljene samo s seizmometri (LISS, VACE, VSTG, ORMP, LTMP), potresne opazovalnice VJKL, CESS in KBZP imajo pospeškometer in seizmometer, še dve (ILBA, NEK0) pa samo pospeškometer. V letu 2022 smo zaključili z merjenjem na dveh opazovalnicah v severozahodnem delu Slovenije (Ljutomer in Ormož).

Preglednica 3: Dopolnilne potresne opazovalnice v Sloveniji v letu 2022
(NEK) - oprema je v lasti NEK.

Table 3: Additional seismic stations in Slovenia in 2022.
(NEK) – the equipment is owned by NEK.

oznaka	ime opazovalnice	začetek delovanja	zem. šir.	zem. dol.	n. viš.	litološka podlaga
code	station name	the start of operation	Lat.	Long.	elev.	Lithology
		leto / year	°N	°E	[m]	
BZKE	Bizovik - Ljubljana	2020	46,038	14,5646	288	prod. pesek, melj / gravel, sand, silt
BOVC	Bovec	2000	46,3382	13,5543	455	prod. pesek / gravel, sand
CENE	Čentur	2020	45,5097	13,77	161	laportj, peščenjak, breča, apnenec / marlstone, sandstone, limestone
CESS	Cesta	1996	45,9733	15,4632	372	dolomit / dolomite
DOLA	Dolsko	1995	46,0938	14,6781	265	prod. pesek / gravel, sand
DRZN	Drežnica	1998	46,2586	13,6126	544	lapor, peščenjak / marlstone, sandstone
DTSE	DSO Tisje	2019	46,0251	14,8395	279	glina, prod / clay, gravel
GOTE	Gotenica	1997	45,6095	14,7464	670	dolomit / dolomite
FAGG	FGG - Ljubljana	1995	46,0459	14,4944	295	prod. pesek, melj / gravel, sand, silt
ILBA	Iirska Bistrica	1995	45,5638	14,2446	404	lapor, peščenjak / marlstone, sandstone
KBZP	Brezje pri Senušah	1990	45,9405	15,439	208	apnenec, lapor / limestone, marlstone
KOBR	Kobarid	2000	46,2474	13,5786	234	konglomerat / conglomerate
LISS	Lisca	2002	46,0674	15,2907	948	dolomit / dolomite
NEK0 ^(NEK)	Krško (NEK)	1994	45,9391	15,5185	156	prod. pesek / gravel, sand
VACE	Vače	2020	46,1194	14,8379	521	apnenec / limestone
VSTG	Velika Štanga	2020	46,0428	14,7704	464	kremenov peščenjak / quartz sandstone
VJKL	ARSO - Ljubljana	2019	46,0652	14,5131	298	glina, prod / clay, gravel
ORMP	Ormož	2021	46,4079	16,1490	217	glina / gravel
LTMP	Ljutomer	2021	46,5314	16,1907	177	glina / gravel

Preglednica 4: Oprema na opazovalnicah DoPO v letu 2022

* - 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« (RI-SI-EPOS, 2023),

(xx) – ser. številka sensorja je povezana s ser. številko zajemalne enote

(NEK) - oprema je v lasti NEK. Med 1.9.2022 in 14. 10. 2022 je bil instrument na začasni lokaciji.

Table 4: Equipment on additional seismic stations in Slovenia in 2022.

* - station has been in function in previous year;

** - station continues to operate in 2022

(x) – the equipment is part of the project "Development of research infrastructure for the international competitiveness of the Slovenian RRI area – RI-SI-EPOS« (RI-SI-EPOS, 2023),

(xx) – ser. number of sensor is connected to a ser. number of acquisition unit

(NEK) – the equipment is owned by NEK. Between 1 September 2022 and 14 October 2022, the instrument was in a temporary location.

oznaka opazovalnice	senzor/ser. št	čas delovanja (od–do)	zajemalna naprava/ser.št.	čas delovanja (od–do)
station code	sensors type/ser. no.	operating (from-to)	acquisition unit/ser. no.	operating (from-to)
BZKE	FBA-23 1g ^(xx)	*_**	Etna/1245	*_**
BOVC	FBA-23 1g ^(xx)	*_**	Etna/811	*_**
CENE	EpiSensor 2g ^(xx)	*_**	Etna/6352	*_**
CESS	CMG-3ESPC/ T3S67	*_**	Centaur SN. 0105	*_**
	Fortis/TF455	*_**		
DOLA	FBA-23 1g ^(xx)	*_**	Etna/810	*_**
DRZN	EpiSensor 2g ^(xx)	*_**	Etna/6354	*_**
DTSE	EpiSensor 2g ^(xx)	*_**	Etna/6349	*_**
GOTE	FBA-23 1g ^(xx)	*_**	Etna/1246	*_**
FAGG	FBA-23 2g ^(xx)	*_**	Etna/6597	*_**
ILBA	TITAN ^(x) /2023 (2g)	*–1. 12. 2022	CENTAUR ^(x) / 7058	*–1. 12. 2022
	TITAN/2984 (2g)	1. 12. 2022 – **	CENTAUR/ 101	1. 12. 2022 – **
KBZP	CMG-40T/T4B22	*–8.11.2022	CMG-DM24S3/A2526 CENTAUR/198 PR6/4977	*– 23. 9. 2022
	CMG-40T /T4B23	8.11.2022 –**		23. 9.–29. 11. 2022
	FBA -23/32168 FBA -23/32206	29. 11.–7. 12. 2022 7.12.2022 –**		29. 11. 2022 –**
KOBR	EpiSensor 2g ^(xx)	*_**	Etna/2133	*_**
LISS	CMG-40T/T4B06	*_**	Q730/2000104	*– 7. 7. 2022
			Q730/2000108	7. 7.–4. 8. 2022
			Q730/2000104	4.8.2022 –**
NEK ^(NEK)	FBA-23 2g ^(xx) 2g ^(xx)	*–14. 10. 2022 14. 10. 2022 –**	Etna/1334 GMS-scai/ 200024	*–14. 10. 2022 14. 10. 2022 –**
VACE	LE-3D/5s /0059	*_**	PR6-24/4976	*_**
VSTG	LE-3D/5s /0768	*_**	PR6-24/4653	*_**
VJKL	CMG-40T/T4B11	*_**	Q730/2000092	*_**
	FBA-23/26045	*_**		
ORMP	LE-3D/5s /B-072	*– 8. 3. 2022	EDR-209/6787	*–8. 3. 2022
LTMP	LE-3D/5s /AB-0726	*–8. 3. 2022	EDR-209/6143	*–8. 3. 2022

SLO Karst NFO mreža

V letu 2022 je delovalo tudi 6 prenosnih, začasnih opazovalnic na območju Postojna-Jelšane-Kozarišče (preglednici 5 in 6). Te so bile postavljene v letu 2020 v okviru projekta Razvoj raziskovalne infrastrukture za mednarodno konkurenčnost slovenskega RRI prostora – RI-SI-EPOS (RI-SI-EPOS, 2023) v sodelovanju ZRC SAZU in ARSO. V letu 2022 je bila zaradi prenove objekta Muzeja presihajočih jezer (oznaka MPJP) oprema prenesena na novo lokacijo, in sicer v vas Palčje, v objekt "Stara osnovna šola". Te opazovalnice tvorijo Mrežo SLO Karst NFO (SLO KARST NFO, 2020; Šebela in drugi, 2020, 2023).

Preglednica 5: Mreža SLO Karst NFO v Sloveniji v letu 2022.

Table 5: Network SLO Karst NFO - "RI-SI-EPOS" in Slovenia in 2022.

oznaka	ime opazovalnice	začetek delovanja	zem. šir.	zem. dol.	n. viš.	litološka podlaga
code	station name	the start of operation	Lat.	Long.	elev.	Lithology
		leto / year	°N	°E	[m]	
GSNE	Grad Snežnik	2020	45,6829	14,4692	575	dolomit, apnenec / dolomite, limestone
JLSP	Jelšane	2020	45,5008	14,2734	509	apnenec / limestone
MASE	Mašun	2020	45,629	14,3734	1043	apnenec / limestone
MPJP	Pivka, Muzej presihajočih jezer	2020	45,7011	14,2117	519	apnenec / limestone
PLCP	Palčje	2022	45,6762	14,2562	598	apnenec / limestone
POST	Postojna	2020	45,7756	14,2129	553	lapor, peščenjak / marlstone, sandstone
PVZP	Pivka, Muzej Vojaške zgodovine	2020	45,6685	14,1885	559	apnenec / limestone

Preglednica 6: Oprema na Mreži SLO Karst NFO v Sloveniji v letu 2022.

* - 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« (RI-SI-EPOS, 2023).

(+) - zaradi prenove objekta je bila oprema predstavljena iz MPJP na PLCP.

Table 6: Equipment on Network SLO Karst NFO in Slovenia in 2022.

* - station has been in function in previous year; ** - station continues to operate in 2022;

(x) – the equipment is part of the project "Development of research infrastructure for the international competitiveness of the Slovenian RDI area – RI-SI-EPOS« (RI-SI-EPOS, 2023).

(+) - due to the renovation of the facility, the equipment was from MPJP moved to PLCP.

oznaka opazovalnice	Senzor	čas delovanja (od-do)	zajemalna naprava/ser.št.	čas delovanja (od-do)
station code	sensors type	operating (from-to)	acquisition unit/ser. no.	operating (from-to)
GSNE	EpiSensor 2g ^(x)	*_**	Etna2 ^(x) /103029	*_**
JLSP	EpiSensor 2g ^(x)	*_**	Etna2 ^(x) /103028	*_**
MASE	EpiSensor 2g ^(x)	*_**	Etna2 ^(x) /103025	*_**
MPJP	EpiSensor 2g ^{(x)(+)}	*- 2. 6. 2022	Etna2 ^(x) /103024	*- 2. 6. 2022
PLCP	EpiSensor 2g ^{(x)(+)}	2. 6. 2022 -**	Etna2 ^(x) /103024	2. 6. 2022 -**
POST	EpiSensor 2g ^(x)	*_**	Etna2 ^(x) /103026	*_**
PVZP	EpiSensor 2g ^(x)	*_**	Etna2 ^(x) /sn103027	*_**

Sklepne misli

Na ARSO smo v letu 2022 skrbeli za nemoteno delovanje enainpetdesetih potresnih opazovalnic v Sloveniji. Podatke teh opazovalnic smo uporabljali pri seizmoloških analizah in raziskavah.

Literatura

- ARSO, 2022. Potresne opazovalnice na ozemlju Slovenije, Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana. <https://potresi.arso.gov.si/potresne-opazovalnice/>, 3. 7. 2023.
- RI-SI-EPOS, 2023. <http://epos-ip.zrc-sazu.si/ri-si-epos/>, 6. 3. 2024.
- SLO KARST NFO, 2020. Research Centre of the Slovenian Academy of Sciences and Arts, & Slovenian Environment Agency. (2020). Slovenian Karst NFO Network [Data set]. ZRC SAZU and Slovenian Environmental Agency. <https://doi.org/10.7914/7w0j-ge89>
- Šebela S., 2021. Potential near fault observatory site in Slovenia: overview of the area south of Postojna. [S. l.: s. n., 2021]. 1 spletni vir (videoposnetek (11 min, 15 sek)). <https://www.youtube.com/watch?v=pRGHu4o0FEM>. [COBISS.SI-ID 85580803], 6. 3. 2024.
- 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, 1. 3. 2022.
- Šebela, S., Tasič, I., Pahor, J., Mali, M., Novak, U., Năpăruș Aljančič, M., 2023. Development of SLO KARST Near Fault Observatory site in SW Slovenia. *Carbonates Evaporites* 38, 43. <http://doi.org/10.1007/s13146-023-00864-y>, 20. 10. 2023.
- Tasič, I., 2018. Seizmometer in pospeškometer – merilni par na potresni opazovalnici. *Ujma* 2018, 32, 210–217. ISSN 0353-085X.
- Tasič, I., Mali, M., Pfundner, I., Uran B., Prosen, J., Nemec, M., 2023. Delovanje državne mreže potresnih opazovalnic v letu 2020. *Potresi v letu 2020* Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana. ISSN 1318-4792.
- Tasič, I., 2023. Funkcionalnost seizmometrov ob potresu v Zagrebu in Petrinji. *Potresi v letu 2020* Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana. ISSN 1318-4792.
- Mali, M., Tasič, I., Pfundner, I., Uran B., Prosen, J., Nemec, M., 2024. Delovanje državne mreže potresnih opazovalnic v letu 2022. *Potresi v letu 2022*, Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana. ISSN 1318-4792.
- Vidrih, R., Sinčič, P., Tasič, I., Gosar, A., Godec, M., Živčič, M., 2006. Državna mreža potresnih opazovalnic. Agencija Republike Slovenije za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo, Ljubljana, 287 str.

Kazalo

Marko Mali, Izidor Tasič, Igor Pfundner, Bojan Uran, Jože Prosen, Matej Nemeč

Delovanje Državne mreže potresnih opazovalnic v letu 2022

Operation of the seismic network of the Republic of Slovenia in 2022

Povzetek

Z glavnimi parametri, ki so vplivali na zanesljivost delovanja Državne mreže potresnih opazovalnic (DMPO) v letu 2022, predstavljamo 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 podajamo 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.

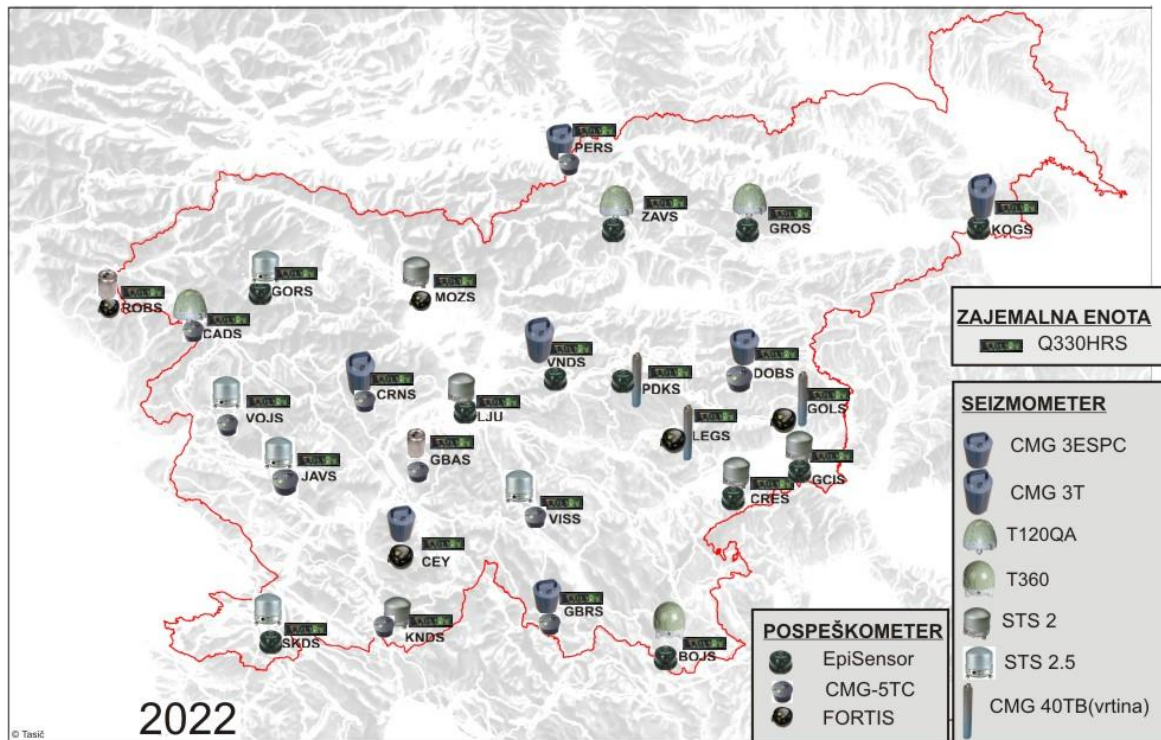
Abstract

The results of analysis of operation of the Seismic Network of the Republic of Slovenia (SNRS) in 2022 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 cause of the longest OOOP for particular seismic station were analysed. 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. Vsaka potresna opazovalnica je opremljena z zajemalno enoto, dolgoperiodnim seizmometrom in pospeškommetrom (Tasič, 2023). Tip seizmološke opreme na posamezni potresni opazovalnici, ki je bila nameščena ob koncu leta 2022, je prikazan na sliki 1. Poleg seizmološke merilne opreme se na opazovalnicah nahaja še podporna oprema v štirih sklopih: 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. Zato izvajamo različne analize, na osnovi katerih izboljšujemo delovanje DMPO.



Slika 1. Državna mreža potresnih opazovalnic ob koncu leta 2022. Prikazana je razporeditev različnih tipov seizmometrov, pospeškometrov in zajemalnih enot po posameznih potresnih opazovalnicah.

Figure 1. Seismic network of Slovenia at the end of the year 2022 (seizmometer = seismometer, pospeškometer = accelerometer; zajemalna enota = acquisition unit).

Vsi posegi na DMPO ter rezultati analize vseh parametrov, ki vplivajo na kakovost delovanja DMPO, so podani v internem poročilu Sektorja za potresna opazovanja (SPO, 2022). 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) 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 samodejnih 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 potresni opazovalnici. Omenjena analiza je zelo pomembna zaradi ugotavljanja morebitnih okvar na seizmološki merilni opremi. Večina menjav seizmometrov oziroma pospeškometrov se izvede na osnovi te analize.
- Časovni potek mirovne lege seizmičnih senzorjev in napajalne napetosti na potresni opazovalnici.
- Časovni potek vrednosti temperature ob seizmometru.
- Analiza vdorov vode v jaške potresnih opazovalnic. Podajamo število vdorov vode in njihove datume.

V tem prispevku izpostavljamo le pomembnejše točke iz internega poročila (SPO, 2022).

Glavne posodobitve, ki smo jih v letu 2022 izvedli na DMPO, pa so naslednje:

- Menjave seizmometrov: Seizmometer tipa T120QA smo na potresni opazovalnici CADS nadomestili s seizmometrom tipa CMG-3ESPC. Na potresni opazovalnici CRNS smo seizmometer CMG-3ESPC nadomestili s seizmometrom CMG-3T.
- Menjave pospeškometrov: na potresni opazovalnici ZAVS smo namestili pospeškometer tipa EpiSensor.
- Menjave zajemalnih enot: Na potresni opazovalnici CADS smo zamenjali okvarjeno zajemalno enoto Q330HRS z drugo istega tipa.
- Vzdrževanje nadzornih sistemov in JetBox oziroma RPi enot: V letu 2022 smo izvajali kontrolo omenjenih sistemov – na nekaterih opazovalnicah smo zamenjali ArduinoUno kontroler, na nekaterih pa le temperaturno sondo oziroma plovec. Na potresni opazovalnici GBRS smo zamenjali JetBox enoto, na potresni opazovalnici GOLS pa RPi enoto.
- Vzdrževanje napajalnih sistemov: Na GORS, PDKS in VISS smo zamenjali akumulatorje, na GBAS smo zamenjali AKU polnilec, na MOZS pa smo testno namestili DC/DC ločilni transformator za stabiliziranje napajalne napetosti seizmološke veje.
- Vzdrževanje jaškov in sidranje betonske podlage (seismic pier): Betonsko podlago smo sidrali s tremi sidri dolžine 40 cm na potresnih opazovalnicah GORS in MOZS. Ponovno tesnjenje s silikonom in barvanje obodov jaškov smo izvedli na potresnih opazovalnicah CRES, LEGS, GOLS, VISS in ZAVS.

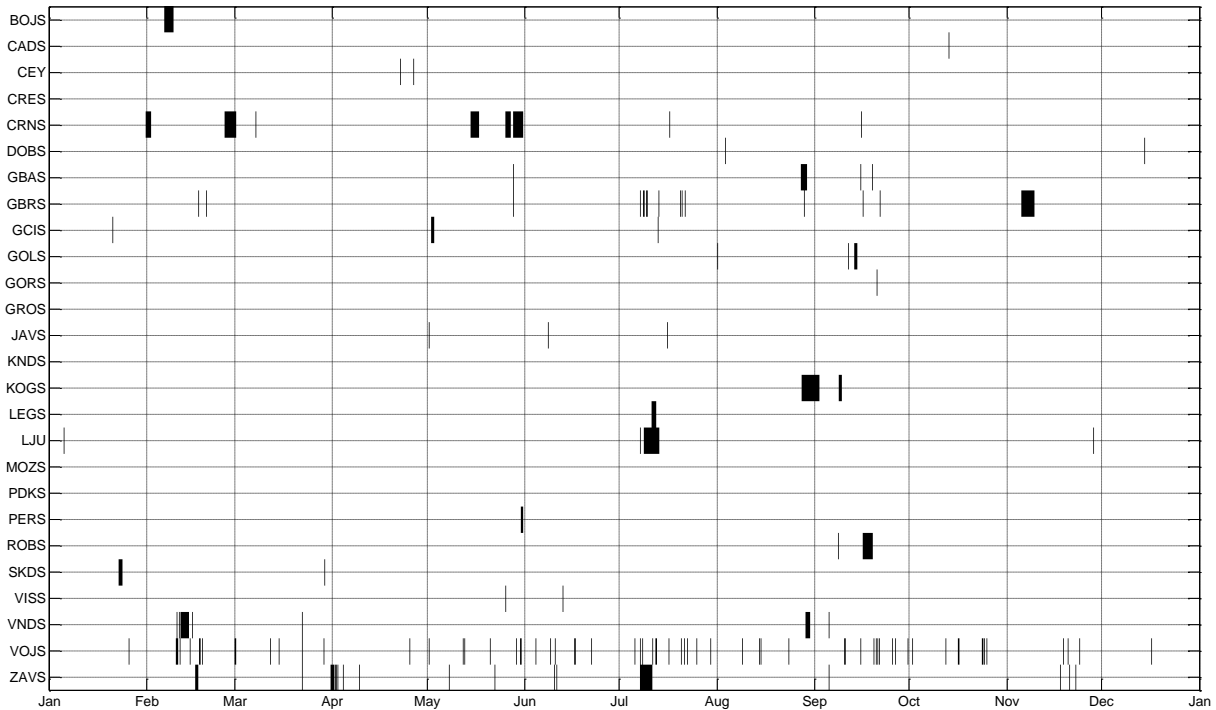
Delovanje DMPO v letu 2022

V letu 2022 je bila celotna DMPO opremljena z zajemalnimi enotami Q330HRS (Tasič, 2023). Ta tip zajemalnih enot omogoča tudi hranjenje podatkov v primeru izpada komunikacije. Z dvojnimi hranjenjem podatkov na lokaciji potresne opazovalnice, na zajemalni enoti in na dodatni enoti JetBox ali 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) ter 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.

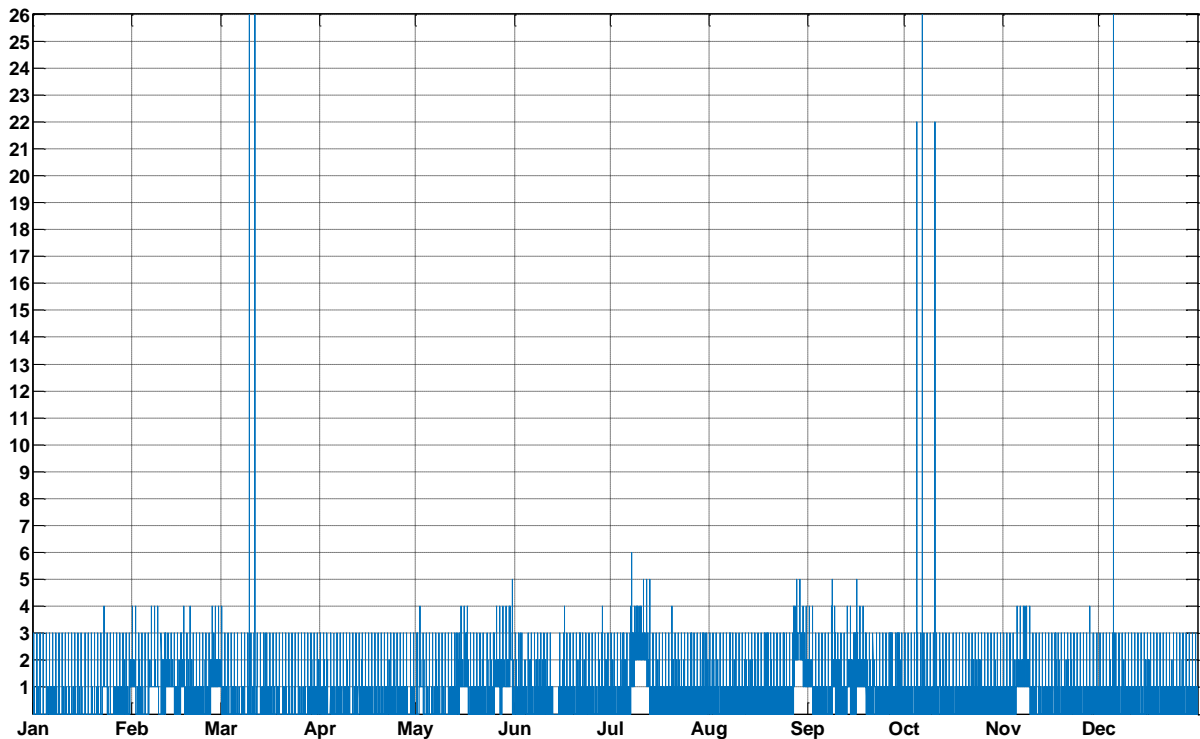
V letu 2022 je bilo 21 potresnih opazovalnic opremljenih z nadzornim sistemom, ki v obeh jaških preverja potencialni vdor vode, na nekaterih lokacijah tudi temperaturo ob seizmometru ter v primeru odstopanja parametrov od mejnih vrednosti o tem obvesti dežurnega instrumentalista (Mali, 2014).

Na slikah 2a in 2b je prikazan pregled delovanja DMPO v letu 2022, kjer črna barva (slika 2a) 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.



Slika 2a: Pregled delovanja DMPO v letu 2022. Izpadi so označeni s črno barvo. Ločljivost slike omogoča, da so vidni le izpadi, daljši od treh ur.

Figure 2a: An overview of out-of-operation periods (black lines) for Seismic network of Slovenia in the year 2022. Due to the resolution, only out-of-operation periods longer than three hours are shown.



Slika 2b: Pregled delovanja DMPO v letu 2022. Izpadi so označeni z modro barvo. Na ordinatni osi je podano število opazovalnic, ki so sočasno vključene v izpad.

Figure 2b: An overview of out-of-operation periods (blue lines) for Seismic network of Slovenia in the year 2022. On the ordinate axis, the number of stations involved in the out-of-operation period is given.

Preglednica 1: Skupni podatki o številu izpadov in njihovem trajanju za DMPO v letu 2022.

Table 1: Out-of-operation periods (OOOP) for Seismic network of Slovenia in the year 2022.

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 > 2 hours
BOJS	16	2d 22h 20m	1
CADS	74	6h 1m	0
CEY	130	7h 58m	0
CRES	18	0h 37m	0
CRNS	126	13d 16h 35m	6
DOBS	152	7h 56m	0
GBAS	218	2d 12h 33m	1
GBRS	877	7d 8h 22m	3
GCIS	7702	14d 21h 19m	8
GOLS	307	1d 20h 52m	2
GORS	114	1d 15h 9m	2
GROS	43	2h 23m	0
JAVS	132	4h 16m	0
KNDS	1214	6d 10h 37m	3
KOGS	21	1h 16m	0
LEGS	198	12h 58m	0
LJU	18	1d 6h 52m	2
MOZS	40	0d 5h 30m	0
PDKS	40	6d 20h 50m	3
PERS	127	1d 11h 48m	1
ROBS	125	5d 12h 40m	2
SKDS	18	0d 1h 14m	0
VISS	27	0d 3h 37m	0
VNDS	66	20h 38m	1
VOJS	137	3d 14h 36m	1
ZAVS	1908	9d 8h 42m	4
Σ	13848		39

Preglednica 2: Pregled najdaljših izpadov za posamezno potresno opazovalnico DMPO v letu 2022 in razlogi zanje.

Table 2: An overview and causes for the longest out-of-operation periods (OOOP's) for each station of the Seismic network of Slovenia in the year 2022.

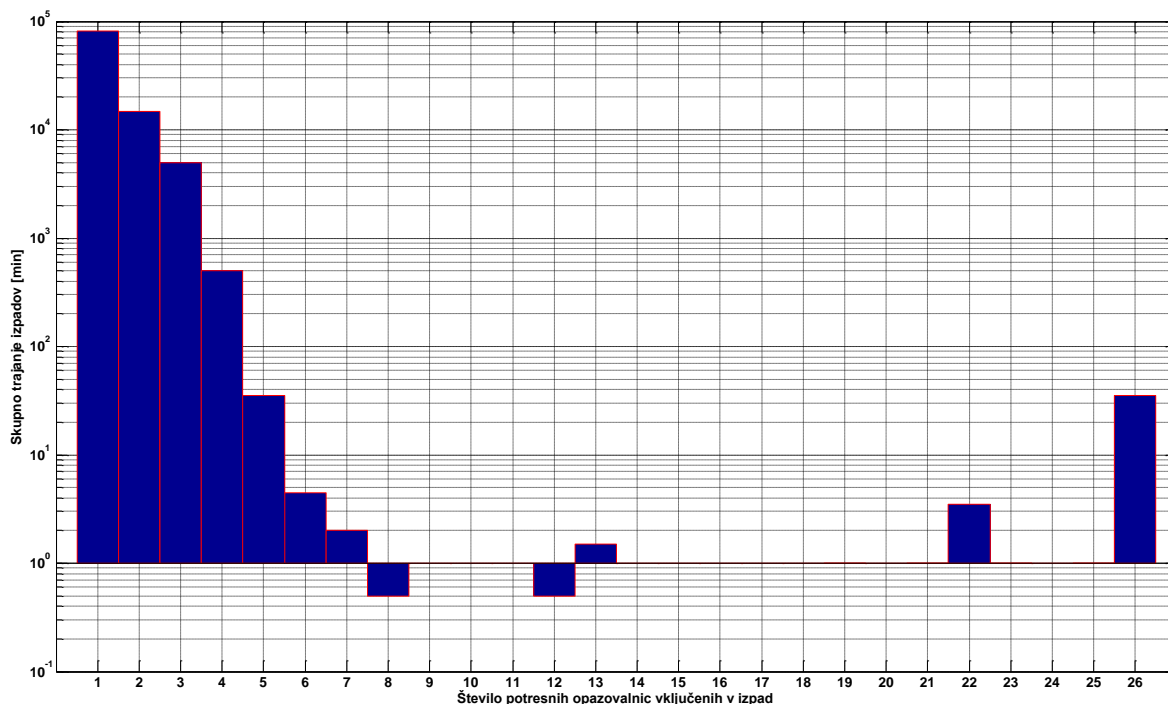
oznaka potresne opazovalnice	nastop najdaljšega izpada datum ob h.min	trajanje najdaljšega izpada	vzrok
station code	date/time of the longest OOOP date at h.min	duration of the longest OOOP	cause
BOJS	6. 2. ob 13.41	2d 21h 32m	pretrgana optična povezava
CADS	13. 10 ob 09.33	1h 33m	izpad na komunikacijah
CEY	19. 2 ob 12.43	0h 27m	izpad na komunikacijah
CRES	3. 2. ob 9.01	0h 37m	izpad na komunikacijah
CRNS	25. 2. ob 19.08	3d 13h 49m	izpad na komunikacijah
DOBS	14. 12. ob 11.03	0h 26m	izpad na komunikacijah
GBAS	27. 8. ob 10.29	2d 0h 21m	večkratno samodejno resetiranje zajemalne enote
GBRS	5. 11. ob 5.40	4d 4h 10m	izpad na komunikacijah
GCIS	26. 9. ob 11.03	2h 34m	izpad na komunikacijah
GOLS	2. 5. ob 3.25	1d 2h 30m	izpad na komunikacijah
GORS	13. 9. ob 6.45	1d 1h 31m	izpad na komunikacijah
GROS	5. 12. ob 19.54	0h 54m	izpad na komunikacijah
JAVS	2. 6. ob 20.49	0h 17m	izpad na komunikacijah
KNDS	11. 2. ob 16.21	2d 16h 31m	napaka na komunikacijski opremi
KOGS	9. 3. ob 23.49	0h 9m	izpad na komunikacijah
LEGS	8. 6. ob 07.26	1h 25m	izpad na komunikacijah
LJU	23. 1. ob 0.21	1d 6h 52m	izpad na komunikacijah
MOZS	12. 10. ob 7.51	1h 55m	izpad na komunikacijah
PDKS	27. 8. ob 18.33	5d 15h 36m	izpad na komunikacijah
PERS	11. 7. ob 2.36	1d 8h 51m	izpad na komunikacijah
ROBS	8. 7. ob 12.38	4d 21h 26m	izpad glavne varovalke zaradi udara strele
SKDS	13. 4. ob 9.14	0h 13m	izpad na komunikacijah
VISS	23. 2. ob 23.05	1h 58m	izpad na komunikacijah
VNDS	30. 5. ob 12.45	20h 38m	izpad na komunikacijah
VOJS	16. 9. ob 2.04	3d 4h 46m	okvara porta na usmerjevalniku
ZAVS	7. 7. ob 12.23	3d 20h 43m	napaka na komunikacijski opremi

Na sliki 3 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 (oranžno poudarjen je izpad, v katerem je bilo sočasno vključenih več kot dvajset opazovalnic in je trajal dlje kot 5 minut).

Preglednica 3. Število izpadov po dolžini in številu sočasno izpadlih potresnih opazovalnic
Table 3. Simultaneous out-of-operation periods for Seismic network of Slovenia.

število opaz. / no. of stations	dolžina trajanja izpadov / length of OOP [min]						
	0–5 min	5–15 min	15–30 min	30–45 min	45–60 min	60–120 min	>120 min
2	2806	250	44	12	14	30	16
3	898	119	13	3	1	6	3
4	142	10	2	1	0	0	0
5	13	0	0	0	0	0	0
6	2	0	0	0	0	0	0
7	1	0	0	0	0	0	0
8	1	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	1	0	0	0	0	0	0
13	1	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0
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	2	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	3	0	0	0	0	0



Slika 3. Skupno trajanje izpadov več potresnih opazovalnic hkrati (leto 2022).

Figure 3. Total duration of out-of-operation periods that occurred at several seismic stations simultaneously in 2022.

Zaključek

Predstavili smo povzetek analize delovanja DMPO v letu 2022 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.

Podali smo tudi analizo izpadov več potresnih opazovalnic hkrati. V letu 2022 smo imeli 6 izpadov, v katere je bila vključena celotna DMPO. 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. V letu 2022 smo imeli tri takšne izpade.

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.

Literatura

- Mali, M., 2014. Nadzorni sistem za kontrolo nivoja vode in stabilnosti temperature. Potresi v letu 2013, Agencija Republike Slovenije za okolje, Urad za seizmologijo, Ljubljana. ISSN 1318-4792.
- Mali, M., Tasič, I., Pančur, L., 2008. Vpliv brezprekinitvenega napajanja na delovanje potresne opazovalnice. Potresi v letu 2007, Agencija Republike Slovenije za okolje, Urad za seizmologijo, Ljubljana. 54– 59. ISSN 1318-4792.
- SPO, 2022. Državna mreža potresnih opazovalnic, delovanje v letu 2022, interno poročilo. Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana.
- Tasič, I., 2023. Potresne opazovalnice v Sloveniji v letu 2021, Potresi v letu 2021, Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana. ISSN 1318-4792.

Kazalo

Igor Pfundner

Poprava časa digitalnega signala zajemalne enote Q730 v sistemu Antelope

Time correction of Q730 datalogger's digital signal in Antelope system

Povzetek

Ta prispevek je nadaljevanje prispevka istega avtorja z naslovom »Časovna omejitev delovanja programske opreme in težave s točnim časom pri Quanterra Q730«, ki je bil objavljen v publikaciji Potresi v letu 2016. Da bi preprečili iztek licence MSHEAR na zajemalni enoti Q730, smo njeno sistemsko uro prestavili nazaj. Zato imajo podatki, poslani iz enote Q730 v Antelope, napačen čas. Ta čas je potrebno popraviti. To naredimo v sistemu Antelope. Podatke z napačnim časom pošljemo v za to namenjen ORB. V programskem jeziku Perl napišemo skripto, s katero beremo podatkovne pakete digitalnega signala in njihove parametre iz ORB-a. Med parametri je tudi čas nastanka paketa, ki je enak času prvega vzorca. Čas popravimo tako, da času nastanka paketa prištejemo potrebno razliko in popravljen paket zapišemo v drug ORB. Q730 uporabljamo na treh lokacijah, kjer delujejo že nekaj let. Na eni od teh treh opazovalnic je tudi novejša zajemalna enota Q330, katere podatke smo primerjali s podatki s Q730. Ugotovili smo, da se podatki ujemajo.

Abstract

This paper is a follow-up to the paper by the same author entitled Software Operation Time Limit and Accurate Time Problems by Quanterra Q730 published in Earthquakes in 2016. Due to the expiration of the MSHEAR license, we have moved back the time on the Q730. Therefore, the data sent from the Q730 to the Antelope has the wrong time. This time has to be corrected. We do this in the Antelope system. Data with the wrong time is sent to the dedicated ORB. In the Perl programming language, we write a script with which we read the data packets of the digital signal and their parameters from the ORB. Among the parameters is also the packet generation time, which is the same as the time of the first sample. The time is corrected by adding the required difference to the packet generation time and entering the corrected packet into another ORB. We use the Q730 at three locations where they have been operating for several years. There is also a more recent model Q330 on one of the three observatories, the data of which we compared with the data of the Q730. We have found that the data matches.

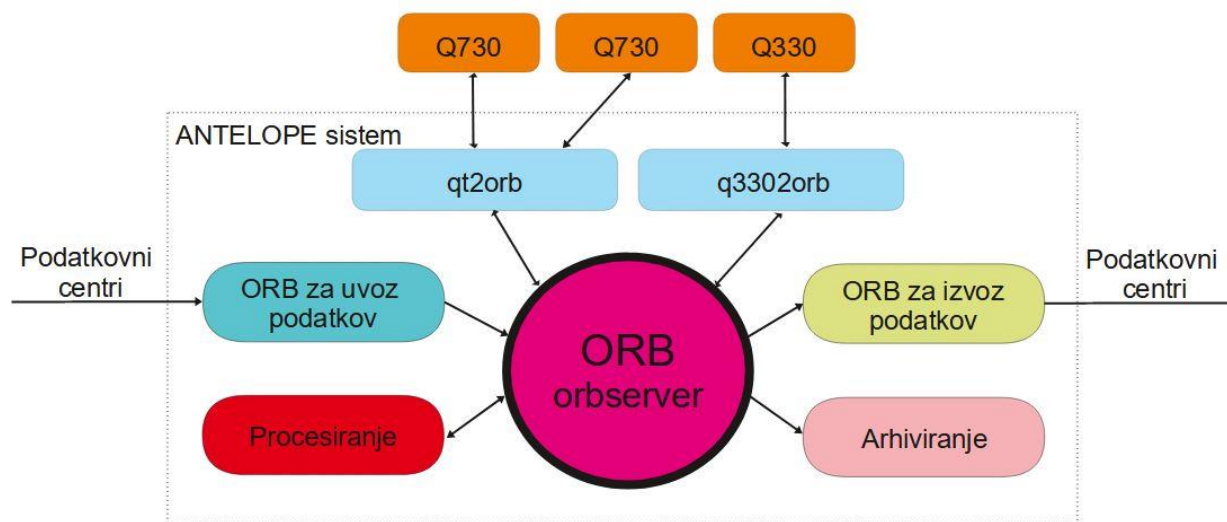
Uvod

V prispevku Pfundner (2018) je opisano, kako premakniti uro pri enoti Q730 nazaj, da programski paket MSHEAR zaradi časovne omejitve ne bi prenehal delovati. Ker je prejšnji prispevek nastajal pred ključnim datumom izteka licence, delovanja Q730 še nismo mogli preizkusiti. Ura na Q730 se brez naše pomoči premakne nazaj tudi zaradi ponastavitve števca tednov v časovnem signalu GPS (ang. week rollover), ki je prav tako nastopila po objavi omenjenega prispevka in delovanja Q730 prav tako nismo preizkusili. S premaknitvijo ure nazaj imajo vzorci seizmičnih podatkov nazaj premaknjen čas. Ker v obeh primerih vemo, za koliko je čas premaknjen nazaj, vzorce premaknemo za toliko časa naprej. To storimo po sprejemu podatkovnih paketov v programu za zajemanje in analizo Antelope (Pfundner, 2018).

Opis postopka

Na posamezni seizmološki opazovalnici seizmične signale, ki jih izmerijo seizmometri, zajemalne enote digitalizirajo. Takšni podatki so primerni za prenos preko spleta v podatkovno središče, kjer z njimi upravlja programski paket Antelope (BRTT, 2005)

Programski paket Antelope je namenjen zajemanju, obdelavi, arhiviranju in posredovanju podatkov v realnem času. Jedro dela programskega paketa Antelope za sprotno procesiranje podatkov je krožni pomnilnik ORB. Vsak ORB deluje kot samostojno podatkovno vozlišče znotraj celotnega sistema. ORB upravljamo s programskim strežnikom *orbserver*. Strežnik se nahaja na istem računalniku kot diskovni pomnilnik za ORB. Programski klienti pa so lahko na istem računalniku kot *orbserver* ali pa na kateremkoli, ki je z njim povezan v mrežo (slika 1). Prav tako je lahko na istem računalniku več ORB-ov (An Overview of ARTS June, 2005).



Slika 1: Prikaz pretoka podatkov v sistemu Antelope
Figure 1: Presentation of the data flow in the Antelope system

Podatki v ORB-u so niz paketov različnih velikosti in formatov. Vsak paket je označen s časom in parametrom srctime, ki vsebuje vir nastanka, vrsto vsebine in format paketa. Paketi so v ORB razvrščeni glede na čas prihoda.

Bralni klienti lahko iz ORB-a preko programskega strežnika *orbserver* berejo pakete določene vrste in formata in si nastavijo začetni paket glede na njegov čas, naslednje ustrezne pakete pa berejo po vrsti, kot so prihajali v ORB.

Vsak ORB ima svoj *orbserver*. Ker je *orbserver* vrsta mrežne storitve, ga naslavljamo na enak način kot druge mrežne storitve, z IP številko in številko vrat v obliki:

`[ip-naslov][:[vrata]]`.

Če ne vpišemo ip-naslava, je gostitelj računalnik, na katerem je ORB, če ne vpišemo vrat, pa se uporabijo privzeta vrata. *Orbserver* je TCP/IP strežnik, ki med drugim v ozadju izvaja proces, ki preverja morebitne zahteve po povezavi odjemalcev. Zato se mu že ob zagonu

dodeli enotno številko vrat. Podatke iz Q730 prenesemo v ORB s programom za prenos podatkov iz zajemalne enote Q730 *qt2orb*.

Ker ima Q730 uro premaknjeno nazaj, imajo podatkovni paketi nazaj premaknjen čas in prav tako vzorci signala znotraj paketov. Čas nastanka paketa je tudi čas prvega vzorca. Ta čas moramo torej premakniti naprej za ustrezno vrednost. Pakete z napačnim časom prenese *qt2orb* iz Q730 v vmesni ORB. Skripta v Perlu pakete prebere, jim popravi čas ter jih zapiše v drugi ORB. Za branje paketov iz vmesnega ORB-a moramo pridobiti indeks povezave ORB-a. Dobimo ga z ukazom v Perl-u *orbopen* v obliki:

orbopen (orbhost, "perm"),

kjer je orbhost oznaka ORB-a v obliki strežnik:vrata (Če ne vpišemo strežnika ali vrat pomeni, da je strežnik lokalni računalnik in vrata privzeta.) in perm dovoljenje za branje 'r' (angl. read) ali pisanje 'w' (angl. write).

Indeks povezave za branje dobimo z

orbopen (strežnik:vrata, 'r&')

kjer r pomeni povezavo za branje. Znak & za dovoljenjem r pomeni, da bodo ob zaprtju vrat zaradi morebitne napake in njihovem ponovnem odprtju, vrata kazala na isti paket, kot so ob zaprtju. Dobimo indeks povezave (orbfd), ki ga uporabimo za branje paketov iz ORB-a.

Ko dobimo indeks povezave orbfd, lahko iz ORB-a preberemo pakete z njihovimi parametri s pomočjo ukaza *orbread*. Med parametri je tudi čas nastanka paketa *pktime*, ki ga moramo v nadaljevanju popraviti:

orbread (orbfd, pktid, srcname, pktime, pkt, nbytes, bufsize):

kjer je:

- pktid 32 bitno celo število (prvi štirje bajti glave paketa v ORB-u), ki ga ustvari orbserver ob vpisu paketa v ORB (Pktid uporabljajo odjemalni programi za nastavitev kazalca za branje iz ORB-a. Nima globalnega pomena, saj bo imel isti paket v drugem ORB-u ali v istem ob drugem času drugačen pktid.);
- pktime čas paketa in tudi prvega vzorca, ki je zapisan s 64 bitnim decimalnim številom ter predstavlja število sekund od Unixovega epohalnega časa 1.1.1970 ob 0:00:00;
- pkt skupek podatkov, ki jih pošiljamo v paketu;
- nbytes velikost paketa v bajtih;
- bufsize velikost ORB-a.

Čas nastanka paketa in prvega vzorca digitalnega signala v paketu je torej *pktime*. Temu času moramo prišteti toliko sekund, kot zaostaja za pravim časom in nato paket vpisati nazaj v ORB. V ta namen je najbolje, da naredimo nov ORB. V ORB vpišemo paket z ukazom *orbput*:

orbput (orbfd, srcname, pktime, pkt, nbytes).

Parameter orbfd dobimo z ukazom

orbopen (stežnik:vrata, "w&"),

kjer *w* pomeni povezavo za pisanje. Če vrata odpremo z *w&*, pomeni, da bo program ob napaki ponovno poslal paket, pri prenosu katerega je prišlo do napake. To je dobro v primeru, da je pri prenosu paketa prišlo do prekinitve povezave in se le-ta ni pravilno zapisal. Zaradi tega lahko prihaja do podvajanja paketov. Pri tem uporabimo vse parametre, ki smo jih dobili z ukazom *orbread*, z izjemo *bufsize*. Paket mora namreč imeti isti *srcname*, isto vsebino podatkov in isto velikost, le čas mu moramo spremeniti za vrednost *T*:

orbput (*orbfd*, *srcname*, *pktime* + *T*, *pkt*, *nbytes*).

Najbolje, da naredimo vmesni ORB, v katerega prihajajo le paketi z zamaknjenim časom in jih po popravku časa zopet vnesemo v samo njim namenjen končni ORB. V tem primeru lahko beremo vse pakete iz ORB-a. Če pa so v ORB-u še drugi paketi, uporabimo rutino *orbselect*:

orbselect (*orbfd*, "regularni izraz")

Z regularnim izrazom določimo *srcname* paketov, v našem primeru torej tistih, ki prispejo iz zajemalne enote Q730.

Primer: Če hočemo iz ORB-a prebrati le pakete iz Q730 z imenom CEY1 iz Cerknice, napišemo:

orbselect (*orbfd*, ".*CEY1.*").

V naši seizmološki mreži trenutno uporabljamo tri zajemalne enote Q730 (Sinčič in Tasič, 2022). Ena je v Ljubljani v kleti na Vojkovi 1b (VJKL), druga na Lisci (LISS), tretja pa se nahaja v Cerknici (CEY1), kjer se nahaja tudi novejša Quanterra Q330 (CEY), ki jo lahko uporabimo kot referenco (slika 2).

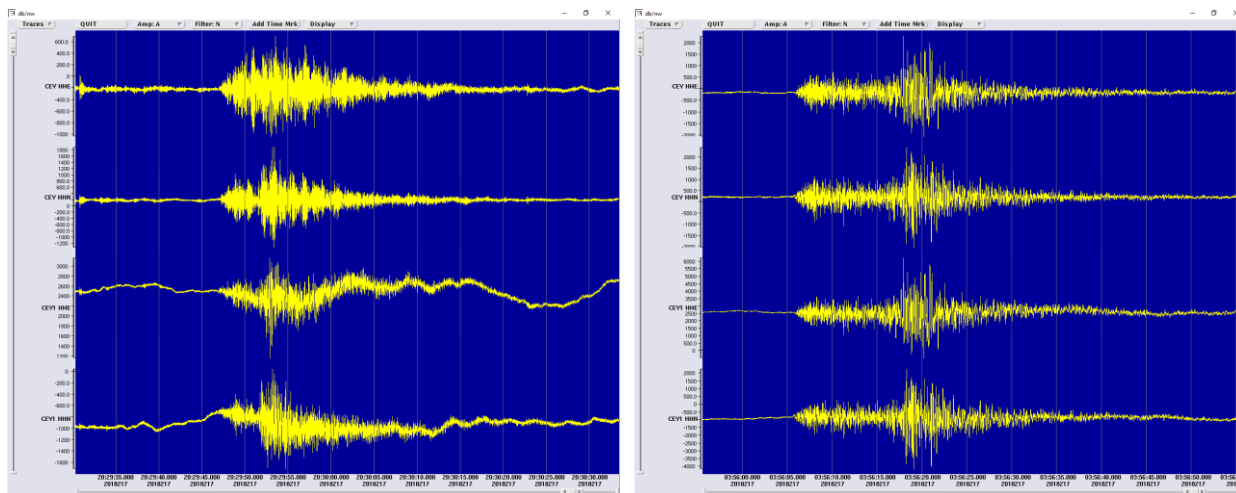


Slika 2: Potresna opazovalnica CEY
Figure 2: Seismic station CEY

Pri Q730 na VJKL in LISS se je že zgodil v uvodu omenjeni tedenski preskok (Pfundner, 2018). To pomeni, da imata zajemalni enoti uro premaknjeno za 1024 tednov nazaj (približno 20 let). Premik časa znese 619.315.200 sekund.

Pri CEY1 pa smo čas sami premaknili nazaj, pri čemer smo izbrali 300.000.000 sekund, kar je približno 10 let. Ta čas izberemo tako, da popravljen čas na Q730 omogoča čim daljše delovanje glede na iztek licence.

Primerjava seizmičnega signala med Q330 in Q730 v Cerknici pokaže, da se potresa z dne 5.8.2018 časovno ujemata (slika 3). Majhna razlika v signalih nastane zaradi različnih prenosnih funkcij merilnih sistemov in različne postavitve senzorjev.

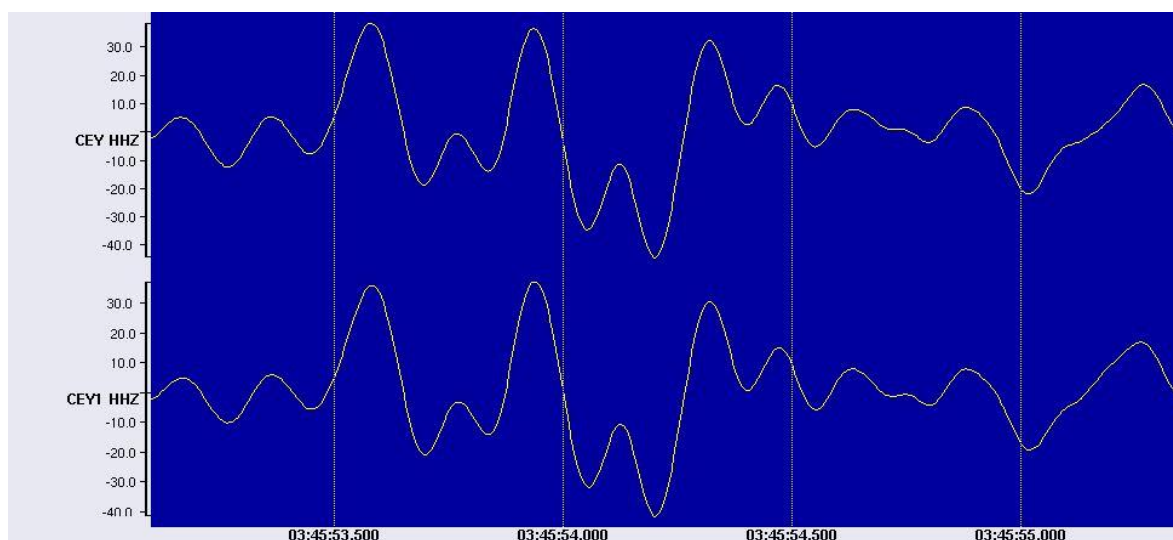


Slika 3: Primerjava zapisa dveh potresov 5. 8. 2018 (ob 20.29 UTC levo in ob 3.56 UTC desno) na opazovalnici v Cerknici – CEY je oznaka za Q330 (zgornja dva zapisa za vsak potres), CEY1 pa za Q730 (spodnja dva zapisa za vsak potres).

Figure 3: Comparison of two earthquake records on 5.8.2018 at the observatory in Cerknica - CEY is the designation for Q330, and CEY1 for Q730

Na CEY in CEY1 smo primerjali še seizmični šum na poljubnem intervalu (slika 4). Vidimo, da se maksimumi in minimumi ujemajo, torej lahko rečemo, da je rešitev, ki smo jo v članku predstavili, ustrezna. Kasneje je tudi na Cerknici prišlo do tedenskega preskoka.

Vse tri zajemalne enote Q730, ki jih trenutno uporabljamo v naši državni mreži (VJKL, LISS in CEY1) delujejo brez težav.



Slika 4: Primerjava seizmičnega šuma na naključno izbranem časovnem intervalu med Q330 (CEY – zapis zgoraj) in Q730 (CEY1 – zapis spodaj). Širina okna je 2,5 s.

Figure 4: Comparison of seismic noise at randomly chosen interval between Q330(CEY – upper record) and Q730(CEY1 – lower record). The width of the window is 2.5 s.

Viri:

Pfundner I., 2018. Časovna omejitev delovanja programske opreme in težave s točnim časom pri Quanterri Q730. Potresi v letu 2016, Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana. ISSN 1318-4792.

Data Flow Within Antelope, 2025. An Overview of ARTS June, 2005

Sinčič, P., Tasič, I., 2022. Potresne opazovalnice v Sloveniji v letu 2020. Potresi v letu 2020, Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana. ISSN 1318-4792.

Kazalo

Izidor Tasič

Vpliv okvarjenega priključka seizmometra na seizmične meritve The effect of defected seismometer connector on seismic measurements

Povzetek

Z analizo Pearsonovega koeficienta korelacije smo ugotovili, da so seizmični podatki dveh potresnih opazovalnic, VISS, v obdobju med 16. 9. 2010 in 14. 3. 2012, in GCIS, v obdobju med 28. 7. 2010 in 13. 12. 2015, napačni. V obeh primerih je bila vzrok za napako okvara v priključku kabla za seizmometer na strani zajemalne enote Quanterra Q730. V članku podajamo tudi linearne enačbe, s katerimi smo napačne seizmične podatke obnovili in povrnili v prvotno obliko.

Abstract

Using the analysis of correlation coefficients, we found out that the data acquired at the seismic stations VISS (from 16 September 2010 to 14 March 2012) and GCIS (from 28 July 2010 to 13 December 2015) are incorrect. In both cases, the source of the error was a plastic connector on the Quanterra Q730 acquisition unit's side of the cable that connects the unit to the seismometer. Further analysis of the error has shown that it was possible to restore the data and return it to its original form with the help of the linear equations presented in the paper.

Uvod

Seizmološki instrumenti, seizmometri in pospeškometri (Tasič, 2009, 2018), merijo nihanje tal na potresnih opazovalnicah v treh, med seboj pravokotnih, smereh. Najpogosteje jih postavimo tako, da merijo v smeri vzhod-zahod (meritve označimo z oznako EW, E ali E-W), v smeri sever-jug (meritve označimo z oznako NS, N ali N-S) in v navpični smeri (izmerjeno nihanje tal v tej smeri označimo s črko Z). Usmerjenost instrumentov naj bi bila na vseh potresnih opazovalnicah enaka. Z analizo seizmogramov N-S potresne opazovalnice VISS glede na okoliške opazovalnice, kjer sem za vhodne podatke uporabil zapis dveh oddaljenih potresov, prvega iz Čila (27. 2. 2010, $M_w = 8,8$) in drugega z Japonske (11. 3. 2011, $M_w = 9,1$), sem ugotovil, da podatki med seboj niso primerljivi. Izračunana orientacija seizmometra na potresni opazovalnici VISS glede na okoliške opazovalnice se je med dogodkoma razlikovala za približno 15° . Takšnega odstopanja se ne da razložiti z napakami v algoritmu za izračun te vrednosti, čeprav je bil algoritem šele na stopnji razvoja. Zaradi tega sem naknadno preveril dnevniške zapise, v katerih so navedena dela na tej lokaciji. Glede na dnevniške zapise seizmometer v obdobju med izbranimi potresoma ni bil fizično premaknjen oziroma zamenjan z drugim. Seizmometer je tu deloval že od leta 2008. V dnevniku pa se je nahajal zaznamek, da smo v začetku leta 2012 zaradi netipičnih odzivov na testne signale postali pozorni na podatke s te opazovalnice. V dnevniku tudi piše, da smo 14. 3. 2012 na sami lokaciji odkrili napako na priključku za seizmometer (slika 1), ki se je izrazila kot "*stik med pini konektorja »+n« in »-e«*". Ker je bila napaka izrazita samo pri testnih signalih z velikimi amplitudami, ostali uporabniki zapisov pa na zapise potresov iz te lokacije niso imeli pripomb, smo tedaj sklepali napačno, da do preboja signala prihaja samo v primerih močnih testnih signalov.

VISS - evidentiranje napake

Primerjava zapisa oddaljenega potresa z Japonske (11. 3. 2011, $M_w = 9,1$) med potresno opazovalnico VISS in bližnjimi opazovalnicami LJU, GBAS in CEY je pokazala na odstopanja na lokaciji VISS. To pomeni, da je tu okvara priključka kabla za seizmometer vplivala na (ne)točnost zapisovanja seizmičnega nihanja tal že v začetku leta 2011. Da bi odkril, kdaj je do napake prišlo in natančneje opredelil časovno obdobje vpliva okvare na seizmične zapise, sem analiziral seizmične podatke iz te opazovalnice za celotno obdobje med letoma 2010 in 2012 s pomočjo Pearsonovega koeficienta korelacije (Wiki, 2024). Na podlagi tega koeficienta namreč lahko ugotovimo, kakšna je linearna povezanost med podatki. Za vsako polno uro v obravnavanem obdobju sem izračunal Pearsonove koeficiente korelacije med seizmičnimi zapisi v smerih E in N, med E in Z ter med N in Z. Rezultati so podani na sliki 2, s katere lahko razberemo,

- da je do napake je prišlo 16. 9. 2010 med 9. in 10. uro po UTC,
- da je bila napaka odstranjena 14. 3. 2013 med 7. in 8. uro po UTC,
- da je napaka vplivala na meritve v smeri N in meritve v smeri E ter
- da je bila napaka ves čas konstantna.

Kot je razvidno iz dnevniških zapisov, smo v letu 2010 na tej lokaciji dvakrat zamenjali kabel, ki je povezoval razdelilno škatlo seizmometra CMG-3ESPC z zajemalno enoto Q730. Prva menjava je bila opravljena 15. 7. 2010, ker kabel, ki je bil prvotno narejen za Guralpov seizmometer nižjega kakovostnega razreda (CMG-40T), ni omogočal "popravljanja" mirovne lege notranjih senzorjev (oziroma "centriranja") novega seizmometra CMG-3ESPC. Šele na lokaciji smo ugotovili, da je novi kabel prekratek, zato je bilo treba izdelati daljšega, ki je bil nameščen 16. 8. 2010. Kot kaže, je med njegovo izdelavo prišlo do poškodbe oziroma razpoke v plastičnem polnilu priključka, na mestu med dvema sosednjima priključnima *pini*. Seizmološka zajemalna enota Quanterra Q730 (Mali in Tasič, 2012a, 2012b) je imela polietilensko ohišje, za povezovanje enote s perifernimi napravami pa je uporabljala, razen za GPS anteno, plastične priključke. Slika 1 prikazuje priključek na kablu, ki povezuje zajemalno enoto s seizmometrom. Bakrene vodnike povežemo s *pini* na priključku z uporabo posebnih klešč. Zakaj je prišlo do okvare priključka za seizmometer? V tistem obdobju je bila dobava posebnih plastičnih (netipičnih) priključkov za priklop seizmometra na enoto Q730 otežena, zato smo za izdelavo novih kablov uporabljali "rabljene" priključke, iz katerih smo iz ležišča izbili že stisnjene stare kovinske *pine* in vstavili nove. V tem postopku bi lahko prišlo do poškodbe plastičnega ohišja med *pini*, ki pa kratkega stika ne bi povzročila takoj. Vsak kabel za seizmometer naj bi bil po izdelavi preizkušen. Ker pa so bili vodniki znotraj priključka za seizmometer stisnjeni in so pritiskali drug na drugega, se je lahko med transportom zaradi tresenja kabla vzpostavilo novo ravnovesje med vodniki, ki pa je povzročilo kratek stik.

Nadaljnja analiza podatkov opazovalnice VISS je pokazala, da je mogoče "okvarjene" podatke za E in N komponenti, ki so shranjeni v digitalnem arhivu ARSO, popraviti.

Zajemalna enota prejema iz sodobnega širokopasovnega seizmometra za vsako posamezno komponento, E, N iz Z, dva diferencialna signala, preko dveh vhodov: "pozitivnega" in "negativnega". Signala sta enaka glede na "ozemljeno ničlo", le da ima en predznak minus, drugi pa plus. Nato ju zajemalna enota ponovno sešteje, da se tako izniči oziroma odšteje vpliv nihanja ozemljitve:

$$E = e - (-e) = 2e; N = n - (-n) = 2n; Z = z - (-z) = 2z.$$

Okvara priključka je povzročila drugačno beleženje. Ker kratek stik med dvema pinoma ni selektiven, ampak prevaja tokove enako ne glede na frekvenco in jakost signala, je negativna komponenta E' dobila polovico signala iz "+n", pozitivna komponenta N' je dobila polovico signala iz "-e": $E' = e - (-e)'$; $\{-e\}' = -\frac{e}{2} + \frac{n}{2}$;

$$N' = \{n\}' - (-n); \{n\}' = \frac{n}{2} - \frac{e}{2}.$$

Tako se v arhivu ARSO pravzaprav nahajajo podatki:

$$E' = \frac{3}{2}e - \frac{n}{2}; N' = \frac{3}{2}n - \frac{e}{2}.$$

Iz prejšnjih enačb izpeljemo:

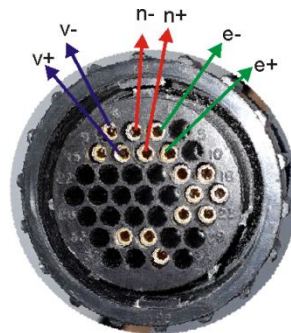
$$e = \frac{\{E'(\frac{3}{2})\} + \{N'(\frac{1}{2})\}}{2}; n = \frac{\{N'(\frac{3}{2})\} + \{E'(\frac{1}{2})\}}{2}.$$

Če ne bi bilo napak v konektorju, bi bila relacija $E = 2e$ in $N = 2n$, iz tega sledi, da je povezava med pravimi podatki E in N in podatki v arhivu naslednja:

$$E = 1,5E' + 0,5N';$$

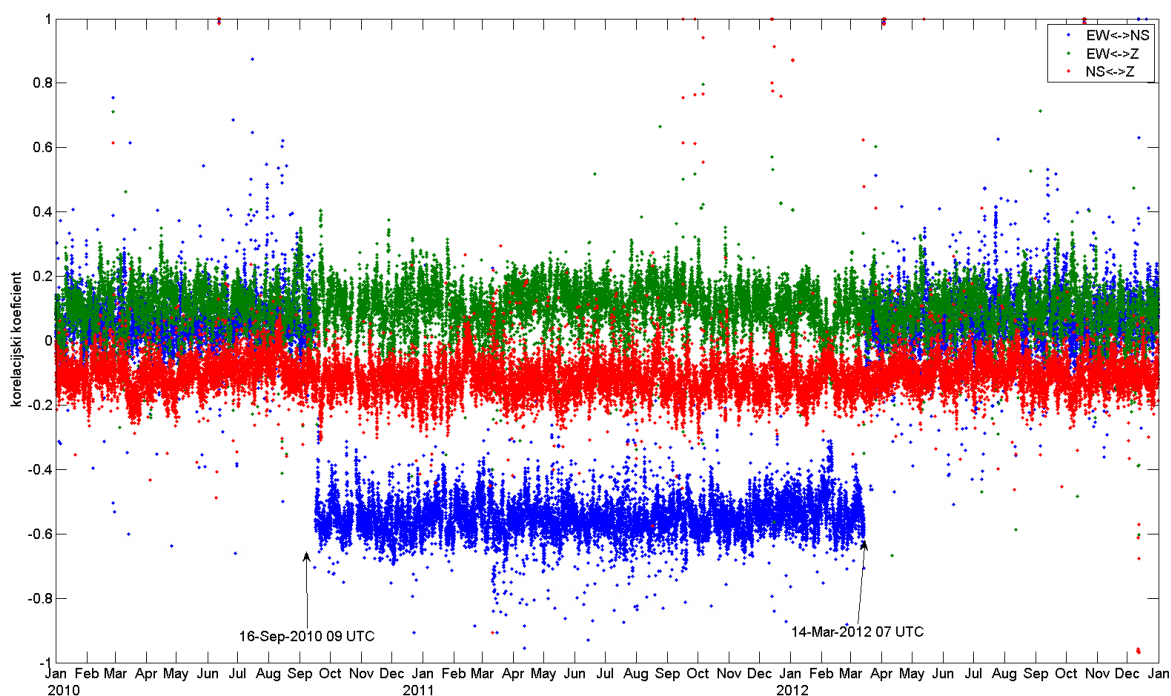
$$N = 1,5N' + 0,5E'.$$

Enačbi sem preveril z različnimi postopki. Ponovno sem preveril relativno orientacijo seizmometra pri obeh, že omenjenih oddaljenih potresih, za leto 2011 pa sem še enkrat izračunal korelacijske koeficiente za križno korelacijo med popravljenima E in N komponentama (slika 3, črne pike). Vsi testi potrjujejo pravilnost enačbe.



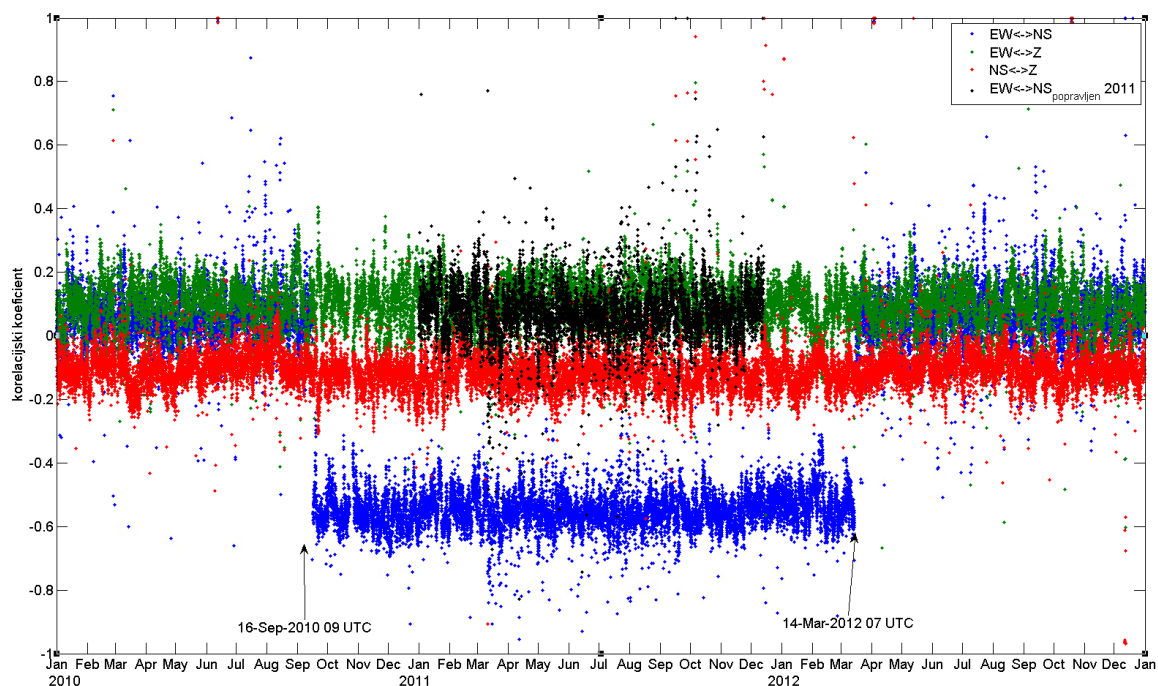
Slika 1: Pogled od spredaj na priključek za seizmometer, ki se priklopi na zajemalno enoto Q730. S puščicami so označeni diferencialni vhodi za tri komponente seizmometra.

Figure 1: View of the connector that connects the seismometer to the Q730 acquisition unit. Arrows indicate the differential inputs for the three components of the seismometer.



Slika 2: Korelacijski koeficienti, izračunani za vsako polno uro za vse tri pare smeri seizmičnih meritev (EW-NS: modra oznaka, EW-Z: zelena oznaka, NS-Z: rdeča oznaka) za obdobje med 2010 in 2012 za potresno opazovalnico VISS.

Figure 2: Correlation coefficients, calculated for each full hour for all three pairs of seismic measurements (EW-NS: blue, EW-Z: green, NS-Z: red) for the period between 2010 and 2012 for seismic station VISS.



Slika 3: Enako kot slika 2, z dodanimi korelacijskimi koeficienti, izračunanimi za vsako polno uro s popravljenimi vrednostmi komponent EW in NS za leto 2011 (črne pike).

Figure 3: Same as figure 2, with the addition of the correlation coefficients calculated for each full hour with the corrected values of the EW and NS components for the year 2011 (black dots).

Tudi na opazovalnici GCIS ugotovljena napaka na seizmičnih zapisih

Ker je priključek za seizmometer za enoto Q730 plastičen, je bolj občutljiv za poškodbe in okvare. Po odkritju napake na potresni opazovalnici VISS, je obstajala možnost, da je bil še kje ali pa je še vedno v uporabi okvarjen priključek za seizmometer. Zato smo preverili vse opazovalnice z zajemalno enoto Q730 (Vidrih in ostali, 2006; Tasič, 2024) v celotnem časovnem intervalu delovanja posamezne enote na opazovalnici. Za odkrivanje napake sem ponovno uporabili Pearsonov koeficient korelacije. Da bi postopek pohitril, sem korelacijske koeficiente računal samo za en enourni interval na dan na opazovalnico, konkretnije za vsako prvo uro po UTC času v dnevu. Pri tem presejalnem testu se je izkazalo, da je podoben problem s priključkom imela tudi potresna opazovalnica GCIS, le da je bilo obdobje napake še bistveno daljše: od leta 2010 do 2015. Ponovno sem za vsako polno uro v obravnavanem obdobju izračunal Pearsonove koeficiente korelacije med seizmičnimi zapisi v smereh E in N, med E in Z ter med N in Z. Rezultati so podani na sliki 4. S slike lahko razberemo,

- da je do napake prišlo 28. 7. 2010 ob 13.00 po UTC (zapisi po tem času so že napačni),
- da je bila napaka odstranjena 3. 12. 2015, nekje med 8.00 in 9.00 po UTC,
- da je napaka ves čas konstantna in
- da je na tej lokaciji okvara vplivala na meritve v smeri N in Z.

Za to lokacijo in zgoraj omenjena datuma imamo v dnevniških zapisih zabeleženo sledeče:

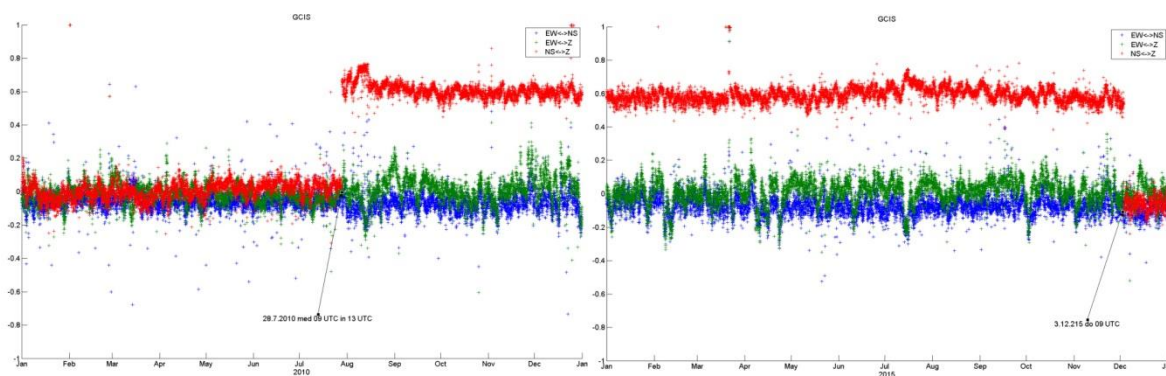
- »2010-07-28: Menjava seizmometra (novi je CMG-3ESPC št. T35893)« in
- »2015-12-03: Ugotovljena napaka na kablu Q730-CMG3ESPC. Izvedena menjava kabla.«.

Iz tega je razvidno, da je bil pri menjavi seizmometra uporabljen nov kabel, ki pa je že imel napako. Glede na izkušnje s potresne opazovalnice VISS se da sklepati, da tudi za GCIS obstaja korekcijska enačba, s katero lahko popravimo shranjene podatke v pravo seizmično nihanje tal v smeri N in Z. Za to lokacijo v dnevnik nismo zapisali, kateri deli priključka imajo stik, tako da te informacije danes žal nimamo. A glede na vrednosti korelacijskih koeficientov (na VISS so bili negativni, na GCIS pozitivni) in glede na naknadno izračunano usmerjenost seizmometra na GCIS glede na seizmometer CRES se je dalo sklepati, da sta bila v stiku ali oba pozitivna dela komponent N in Z ali oba negativna dela komponent N in Z (slika 1). Z enačbami, ki jih ne podajamo, lahko ugotovimo, da predznak komponent pri rekonstrukciji signala ni pomemben. Korekcijski enačbi za seizmično nihanje v smeri sever-jug (N) in navpični smeri (Z) zapišemo kot:

$$N = 1,5N' - 0,5Z' ;$$

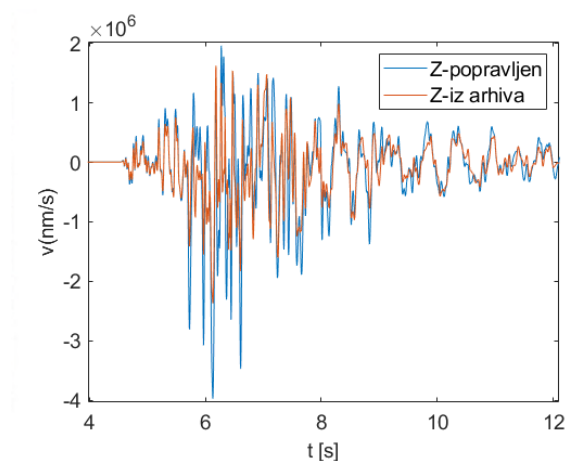
$$Z = 1,5Z' - 0,5N' ,$$

kjer so N' in Z' shranjeni digitalni podatki v bazi ARSO. Napaka, glede na zapis na Z in Z' komponenti, lahko vpliva tudi na pravilen izračun magnitude (M_{LV}) lokalnega potresa (slika 5), ne vpliva pa na čase vstopov faz potresnega valovanja.



Slika 4: Korelacijski koeficienti, izračunani za vsako polno uro za vse tri pare smeri seizmičnih meritev (EW-NS: modra oznaka, EW-Z: zelena oznaka, NS-Z: rdeča oznaka) za leti 2010 (levo) in 2015 (desno) za potresno opazovalnico GCIS.

Figure 4: Correlation coefficients, calculated for each full hour for all three pairs of seismic measurements (EW-NS: blue, EW-Z: green, NS-Z: red) for the years 2010 and 2015, for seismic station GCIS.



Slika 5: Zapis lokalnega potresa 1. novembra 2015 (Gorjanci, $M_{LV}=4,2$) na navpični komponenti na potresni opazovalnici GCIS s podatki iz baze (rdeča črta) in z upoštevanje popravkov (modra črta).

Figure 5: Local earthquake recorded on 1 November 2015 (Gorjanci, $M_{LV}=4.2$) on the vertical component at seismic station GCIS with data from the database (red line) and with corrections taken into account (blue line).

Sklepne misli

Odkritje več let trajajoče napake ni nekaj, česar bi se veselili. A za vsako nadaljnje delo je zelo pomembno, da se napake odkrijejo in ovrednotijo, saj le tako lahko izvemo, ali so podatki v nekem časovnem obdobju vredni zaupanja. Je pa zato toliko bolj razveseljivo, da lahko napake, predstavljene v tem članku, odpravimo in podatke obnovimo v pravilno obliko z uporabo preproste linearne enačbe. Še vedno pa bo vsak, ki bo za to problematično obdobje pridobil podatke seizmičnega nihanja tal iz teh dveh opazovalnic neposredno iz trenutne baze, moral podatke pred uporabo najprej popraviti.

Literatura

Mali, M., Tasič, I., 2012a. Analiza lastnega šuma zajemalnih enot Quanterra Q730. Potresi v letu 2011, Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana. ISSN 1318-4792.

- Mali, M., Tasič, I., 2012b. Primerjalni test seizmoloških zajemalnih enot. Potresi v letu 2011, Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana. ISSN 1318-4792.
- Tasič, I., 2009. Lastnosti seizmološke opreme državne mreže potresnih opazovalnic. Ujma 2009, 23, 140–144. ISSN 0353-085X.
- Tasič, I., 2018. Seizmometer in pospeškometer – merilni par na potresni opazovalnici. Ujma 2018, 32, 210–217. ISSN 0353-085X.
- Tasič, I., 2024. Potresne opazovalnice v Sloveniji v letu 2022. Potresi v letu 2022, Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana. ISSN 1318-4792.
- Vidrih, R., Sinčič, P., Tasič, I., Gosar, A., Godec, M., Živčič, M., 2006. Državna mreža potresnih opazovalnic. Agencija Republike Slovenije za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo, Ljubljana, 287 str.
- Wiki, 2024. Pearsonov koeficient korelacije. https://sl.wikipedia.org/wiki/Pearsonov_koeficient_korelacije, 28.3.2024.

Kazalo

Dogodki v letu 2022

Events in 2022

Redna letna skupščina Slovenskega združenja za geodezijo in geofiziko

ARSO sodeluje v Slovenskem združenju za geodezijo in geofiziko (SZGG), ki je del Mednarodne zveze za geodezijo in geofiziko (IUGG). Na vsakoletni skupščini združenja in posvetu člani predstavijo dosežke in raziskave preteklega leta ter obeležijo zanimive dogodke. Na letošnjem srečanju, ki se je odvijalo 27. januarja 2022 v prostorih Fakultete za gradbeništvo in geodezijo v Ljubljani, smo seizmologi z ARSO predstavili novo karto potresne nevarnosti, ki prikazuje vršne pospeške tal in je priloga Nacionalnemu dodatku standarda za potresno odporno projektiranje Evrokod 8 (EC8).

Na srečanju je častni član združenja postal tržaški kolega, seizmolog Peter Suhadolc. Predavanje prof. Suhadolca »Znani potresi na Slovenskem, tudi filatelistično prikazani« najdete na povezavi. Ostali prispevki s posveta so dosegljivi na povezavi.



Pogovor za radio Murski val

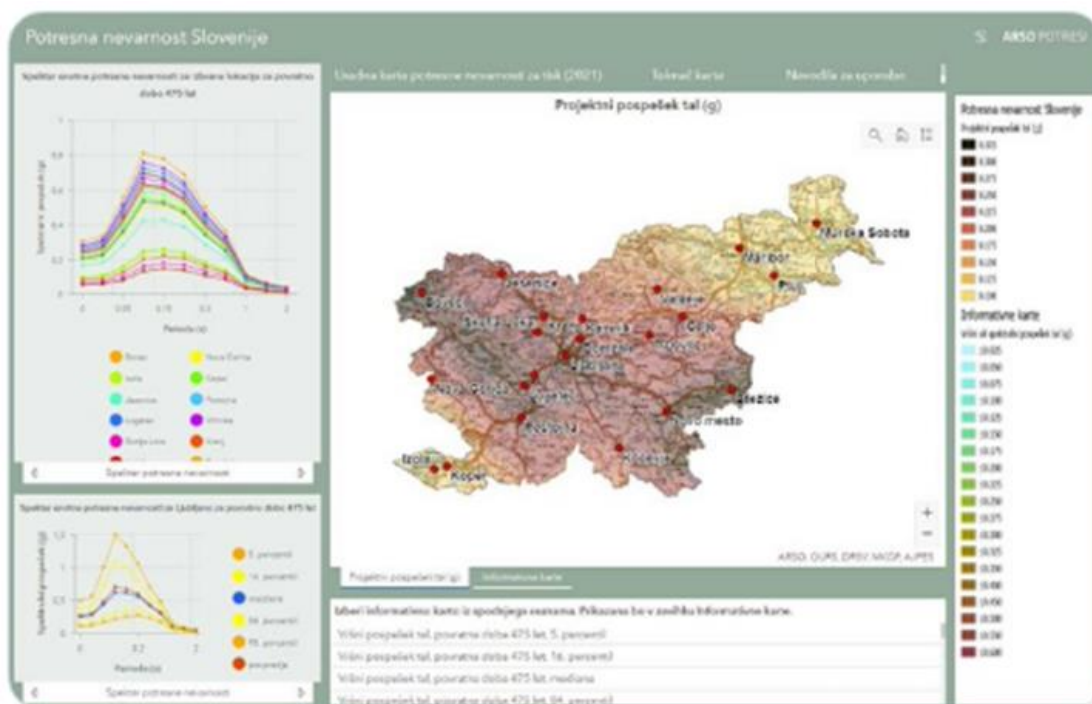
Seizmolog Jurij Pahor je 31. januarja 2022 odgovarjal na novinarska vprašanja o potresih. Novinarja je zanimala predvsem povečana potresna aktivnost po decembrskem potresu 2021 pri Ljutomeru.

Karta Potresna nevarnost Slovenije 2021 postala del zakonodaje

Nova karta »Potresna nevarnost Slovenije – projektni pospešek tal« iz leta 2021 je postala 1. maja 2022 priloga Nacionalnega dodatka standarda za potresno odporno projektiranje Evrokod 8 (EC8) in s tem sestavni del zakonodaje o potresno odporni gradnji. V prehodnem obdobju - od 1. maja 2022 do 1. maja 2024 - je poleg te karte še vedno veljavna tudi dosedanja karta (iz leta 2001) za potresno odporno projektiranje. Nova karta potresne nevarnosti Slovenije za namen projektiranja potresno odpornih stavb je opisana v Tolmaču.

Vzpostavitev Pregledovalnika potresov

ARSO je 3. maja 2022 predstavil spletni pregledovalnik *Potresna nevarnost Slovenije*, ki poleg nove uradne karte projektnega pospeška tal prikazuje tudi informativne karte vršnega pospeška tal za različne povratne dobe, percentilne karte za povratno dobo 475 let, ter karte spektralnega pospeška za izbrane nihajne čase za povratno dobo 475 let. Prek pregledovalnika so dostopni so tudi spektri in krivulje potresne nevarnosti za večje kraje v Sloveniji. Spletni pregledovalnik Potresna nevarnost Slovenije je namenjen predvsem gradbeni stroki za pomoč pri projektiranju in za pomoč pri nadaljnjih raziskavah ob posodabljanju standarda Evrokod 8 ter splošni javnosti za relativno primerjavo potresne nevarnosti med naselji.



Dnevi odprtih vrat na ARSO

V letu 2022 je ARSO dvakrat "odprla vrata" obiskovalcem – 12. maja 2022 so si naše delo in prostore ogledali zaposleni v organih v sestavi MOP, 4. junija 2022 pa vedoželjni obiskovalci. Poskrbeli pa smo tudi za naše na novo zaposlene sodelavce in jih 21. aprila 2022 popeljali po hiši ter jim predstavili posamezna področja delovanja.

ARSO podcast o novi karti potresne nevarnosti

V 81. epizodi ARSO Podcasta, 18. maja 2022, so Matjaž Godec, Barbara Šket Motnikar in Polona Zupančič opisali zgodovino predpisov o potresno odporni gradnji, postopek za ocenjevanje in izdelavo modela potresne nevarnosti ter predstavili novo karto potresne nevarnosti.



Bogatajevi dnevi na Ptuju

26. maja 2022 je na Ptuju v okviru spletni pregledovalnik potekalo posvetovanje Novosti iz razvojno raziskovalnih nalog MASPREM, POTROG, SVOD ter Karta potresne nevarnosti Slovenije. Posvetovanja sta se udeležila Matjaž Godec in Polona Zupančič, ki je tudi predstavila novo karto potresne nevarnosti Slovenije.



Sodelovanje na Znanstivalu

Ekipa ARSO potresi je imela v okviru Znanstivala 28. maja 2022 stojnico na Stritarjevi ulici v Ljubljani. Vsem, ki so se ustavili pri ARSO stojnici, smo prek različnih materialov predstavili potres, njegove učinke in seznanili s potresno varnim obnašanjem. V Sloveniji se potresom ne moremo izogniti, a zato še zdaleč nismo obsojeni na poraz. V bitki s potresom lahko zmagamo.

Z znanjem in dobro pripravo lahko srečanja s potresi preživimo kar najmanj pretreseni!



ARSO potresi na Znanstivalu 2018 | avtor ARSO
ARSO potresi team at Znanstival 2018 | author ARSO

Ure seizmologije – interna predavanja

Seizmologi na ARSO nekajkrat letno pripravimo interna predavanja, ki se nanašajo na naše delo. V letu 2022 smo imeli 4 predavanja:

- Mladen Živčić. Predstavitev projektne naloge »Karakterizacija Drnovske anomalije in Gorjanske strukture". 9. junij 2022.
- Gregor Rajh. Raziskave strukture Zemljine skorje v severozahodnih Dinaridih z metodo lokalne seizmične tomografije. 17. november 2022.
- Mirhurisa Demić. Digitalni arhiv podatkov o zgodovinskih potresih v Sloveniji. 24. november 2022.
- Mladen Živčić. Erupcija vulkana na Tongi zabeležena na naših opazovalnicah. 16. december 2022.

Obeležnje 125-letnice od postavitve potresne opazovalnice v Ljubljani

18. septembra 1897 je z vklopom mikroseizmografa tipa Vicentini začela delovati prva stalno delujoča seizmometrična naprava na območju tedanjega Avstro-Ogrskega cesarstva.

Povod za spremljanje potresne dejavnosti je bil rušilni potres v Ljubljani, 14. aprila 1895. Na Dunajski Akademiji za znanost so ustanovili komisijo, ki naj bi zbirala poročila o potresih v preteklosti in organizirala makroseizmična opazovanja na območju tedanje monarhije, ter postavili 5 mikroseizmičnih postaj, eno od teh tudi v Ljubljani. S tem so bili postavljeni temelji za razvoj slovenske seizmologije.

Postavitev prve potresne opazovalnice se je zavlekla v leto 1897, ko so se zgodili novi potresi in ponovno dobro prestrašili ljudi. Februarja 1897 je profesor kemije Albin Belar zaprosil vodstvo Državne višje realke (delujoče v palači na današnji Vegovi ulici 4 v Ljubljani), kjer je bil zaposlen, za postavitev potresne opazovalnice, kar so mu odobrili. Pomembna je bila tudi podpora deželnega glavarja barona Victorja pl. Heina in župana Petra Grasellija. Projektu se je pridružila še Kranjska hranilnica v Ljubljani, ki je zagotovila sredstva za nakup dveh seizmografov in omogočila Belarjevo študijsko pot v Italijo, kjer si je pridobil znanje in izkušnje. V projektu je sodelovalo še nekaj tujih strokovnjakov, ki so poznali problematiko seizmoloških meritev, ter podjetji W. Tönnies in A. Samassa.



*Arhiv ARSO
Archive ARSO*

Šesti Slovenski geološki kongres

Slovenski geološki kongres je organiziran vsaka štiri leta in združuje domače in tuje raziskovalce, strokovnjake vseh vej geoznanosti in geotehnologe, uporabnike (predstavnike pristojnih ministrstev, direktij in agencij za energijo, infrastrukturo, mineralne surovine, rudarstvo, vode) ter študente. Kongres v Rogaški Slatini od 3. do 5. oktobra 2022 sta organizirala Slovensko geološko društvo in Slovenski komite mednarodnega združenja hidrogeologov – IAH, krajše SKIAH. Zastopana so bila vsa področja temeljne in aplikativne geologije. Udeležba na Slovenskem geološkem kongresu je odlična priložnost za spoznavanje novosti na strokovnih področjih, ki jih pokriva ARSO. Kongresa v Rogaški Slatini sta se iz Urada za seizmologijo udeležila Polona Zupančič in Andrej Gosar. V sekciji Geološko pogojena tveganja in rešitve je Polona Zupančič predavala o določanju seizmičnega deleža hitrosti drsenja na prelomnih potresnih virih, ki smo jih uporabili za izračun nove karte potresne nevarnosti Slovenije. V isti sekciji je Andrej Gosar predstavil meritve tektonskih mikro-premikov v prelomni coni Idrijskega preloma v dolini Učje (zahodna Slovenija).



Šesti Dnevi nacionalne varnosti 2022

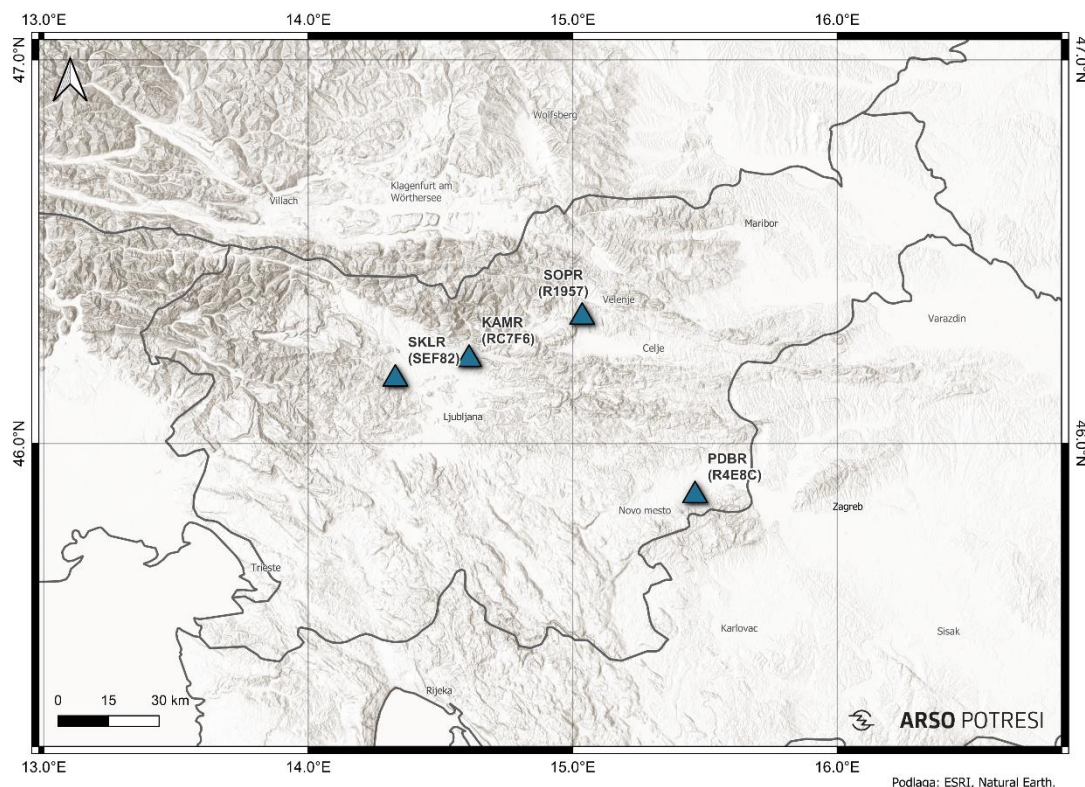
Inštitut za varnostno kulturo je 11. in 12. oktobra 2022 v sodelovanju s Fakulteto za varnostne vede Univerze v Mariboru in Fakulteto za družbene vede Univerze v Ljubljani organiziral 6. Dneve nacionalne varnosti 2022, ki so potekali v Ljubljani. Med predavanji drugega dne je Barbara Šket Motnikar predstavila Ocenjevanje učinkov potresov in potresno nevarnost Slovenije.

Predavanja na seminarju Slovenskega zavarovalnega združenja

Tamara Jesenko in Polona Zupančič sta bili povabljeni na seminar Slovenskega zavarovalnega združenja na temo premoženjskih zavarovanj, ki je potekal 30. novembra 2022. Predstavili sta osnove seizmologije in novo karto potresne nevarnosti.

Zaživela je Šolska mreža potresnih opazovalnic

V letu 2022 so se štiri slovenske osnovne šole odzvale pobudi ARSO in omogočile postavitev seizmografov Raspberry Shake 4D v šolskih prostorih. Instrumenti beležijo potrese na naslednjih osnovnih šolah: OŠ Cvetka Golarja v Škofji Loki (od 23. junija 2022), OŠ Podbočje v Podbočju (od 29. junija 2022), OŠ Frana Albrehta v Kamniku (od 13. decembra 2022) in OŠ bratov Letonja v Šmatnem ob Paki (od 14. decembra 2022). S postavitvijo seizmografov v osnovnih šolah želimo vzbuditi zanimanje za seizmologijo pri osnovnošolcih in učiteljih, jih opogumiti k ogledu in analizi seizmogramov ter prek teh dejavnosti dvigniti zavest o nevarnosti potresov in hkrati izboljšati kulturo potresno varnega obnašanja.



*Seizmografi postavljeni v slovenskih osnovnih šolah leta 2022
Seismographs installed in Slovenian primary schools in 2022*

Sodelovanje v dveh projektih za ocenjevanje potresne nevarnosti na lokaciji JEK 2

ARSO je kot izvajalec oz. podizvajalec sodeloval v dveh projektih ocenjevanja potresne nevarnosti na lokaciji JEK 2, objavljenih na portalu javnih naročil GEN energije.

Namen prvega projekta Karakterizacija Drnovske anomalije in Gorjanske strukture, ki ga je vodil Mladen Živčič, je bil podrobna ocena potresne zmožnosti in lastnosti anomalije Drnovo in strukture Gorjanci, ki se nahajata v bližini lokacije JEK 2 (5 km) in v širšem območju bližine lokacije (8 km). V okviru seizmoloških raziskav smo pripravili prostorsko analizo zgodovinske in instrumentalne seizmičnosti ter analizo rešitev potresnih prelomnih ravnin na širšem območju strukture Gorjanci.

Drugi projekt Neodvisni strokovni pregled verjetnostne analize potresne varnosti za JEK2 - PSHA za JEK2, ki ga vodi Barbara Šket Motnikar, je namenjen strokovnemu pregledu poročila o verjetnostnem ocenjevanju potresne nevarnosti ter neodvisnemu izračunu potresne nevarnosti na lokaciji NEK & JEK 2 za skalo.

Kazalo

Objave v letu 2022

Publications in 2022

Izvirni znanstveni članki v letu 2022

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. [online] doi:10.1594/PANGAEA.940100.

Basili, R., Danciu, L., Beauval, C., Sesetyan, K., Vilanova, A., Adamia, S., Arroucau, P., Atanackov, J., Baize, S., Canora, C., Caputo, R., Carafa, M. M. C., Cushing, M., Custódio, S., Demircioglu Tumsa, M., Duarte, J., Ganas, A., García-Mayordomo, J., Gómez de la Peña, L., Grácia, Eulàlia, Jamšek Rupnik, P., Jomard, H., Kastelic, V., Maesano, F., Martín-Banda, R., Martínez-Lorient, S., Neres, M., Perea, H., Šket Motnikar, B., Tiberti, M. M., Tsereteli, N., Tsironi, V., Vallone, R., Vanneste, K., Zupančič, P., European Fault-Source Model 2020 (EFSM20), online data on fault geometry and activity parameters. Roma, Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia, 2022. 1 spletni vir. Seismofaults. EU. <https://www.seismofaults.eu/efsm20>. [CO-BISS.SI-ID 139998979]

Rajh, G., Stipčević, J., Živčič, M., Herak, M., Gosar, A., and the AlpArray Working Group, 2022. One-dimensional velocity structure modeling of the Earth's crust in the northwestern Dinarides. *Solid Earth*, 13, 177–203, doi: 10.5194/se-13-177-2022.

Šket Motnikar, B., Zupančič, P., Živčič, M., Atanackov, J., Jamšek Rupnik, P., Čarman, M., Danciu, L., Gosar, A., 2022. The 2021 seismic hazard model for Slovenia (SHMS21), overview and results. *Bulletin of earthquake engineering*. 2022, 20/10, 4865–4894. ISSN 1570-761X. doi: 10.1007/s10518-022-01399-8.

Strokovni članki v letu 2022

Gosar, A., 2022. Meritve tektonskih mikro-premikov v prelomni coni Idrijskega preloma v dolini Učje (Z Slovenija). V: Rman, N. (ur.), Bračič-Železnik, B. (ur.), Žvab Rožič, P. (ur.). "Vedeti (ne)vidno - vloga geologije v naši družbi", 6. slovenski geološki kongres, zbornik povzetkov = book of abstracts, 3.–5. oktober 2022, Rogaška Slatina. Ljubljana, Slovensko geološko društvo, 2022, 37. ISBN 978-961-95928-0-9.

Gosar, A., 2022. Prelomni pretrgi površja ob potresu in njihove raziskave. *Ujma: revija za vprašanja varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami*, 2020/21, 36, 280–289. <https://www.gov.si/assets/organi-v-sestavu/URSZR/Publikacija/Ujma/2022/ujma-24.pdf>

Jesenko, T., 2022. Najmočnejši potresi po svetu leta 2021. *Ujma: revija za vprašanja varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami*, 2020/21, 36, 122–130. <https://www.gov.si/assets/organi-v-sestavu/URSZR/Publikacija/Ujma/2022/ujma-10.pdf>

- Jesenko, T., Jerše Sharma, A., Cević, I., Šket Motnikar, B., Zupančič, P., Živčič, M., 2022. Potresi v Sloveniji leta 2021. Ujma: revija za vprašanja varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami, 2020/21, 36, 89–104. <https://www.gov.si/assets/organi-v-sestavi/URSZR/Publikacija/Ujma/2022/ujma-07.pdf>
- Šket Motnikar, B., Zupančič, P., Živčič, M., Atanackov, J., Jamšek Rupnik, P., Čarman, M., Kastelic, V., Gosar, A., 2022. Nov model potresne nevarnosti Slovenije (2021). V: Kuhar, M. (ur.), in sod. Raziskave s področja geodezije in geofizike 2021, zbornik del, 27. srečanje Slovenskega združenja za geodezijo in geofiziko, Ljubljana, 27. januar 2022. Ljubljana, Slovensko združenje za geodezijo in geofiziko, 2022, 97–107. ISBN 978-961-95299-1-1. http://fgg-web.fgg.uni-lj.si/SUGG/refe-rati/2022/SZGG_2022_Sket_in_dr.pdf
- Zupančič, P., Carafa, M. M. C., Kastelic, V., Jamšek Rupnik, P., Atanackov, J., Šket Motnikar, B., Živčič, M., Čarman, M., Gosar, A., 2022. The new seismic hazard model for Slovenia (2021), seismic vs. aseismic fault slip ratio. V: Rman, N. (Ur.), Bračič-Železnik, B. (Ur.), Žvab Rožič, P. (ur.). "Vedeti (ne)vidno - vloga geologije v naši družbi", 6. slovenski geološki kongres, zbornik povzetkov = book of abstracts, 3.–5. oktober 2022, Rogaška Slatina. Ljubljana, Slovensko geološko društvo, 2022, 103. ISBN 978-961-95928-0-9.
- Zupančič, P., Šket Motnikar, B., Živčič, M., Čarman, M., Gosar, A., 2022. Primerjava nove karte potresne nevarnosti Slovenije z evropsko karto in sosednjimi državami. Ujma: revija za vprašanja varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami, 2020/21, 36, 247–256. <https://www.gov.si/assets/organi-v-sestavi/URSZR/Publikacija/Ujma/2022/ujma-20.pdf>

Kazalo

