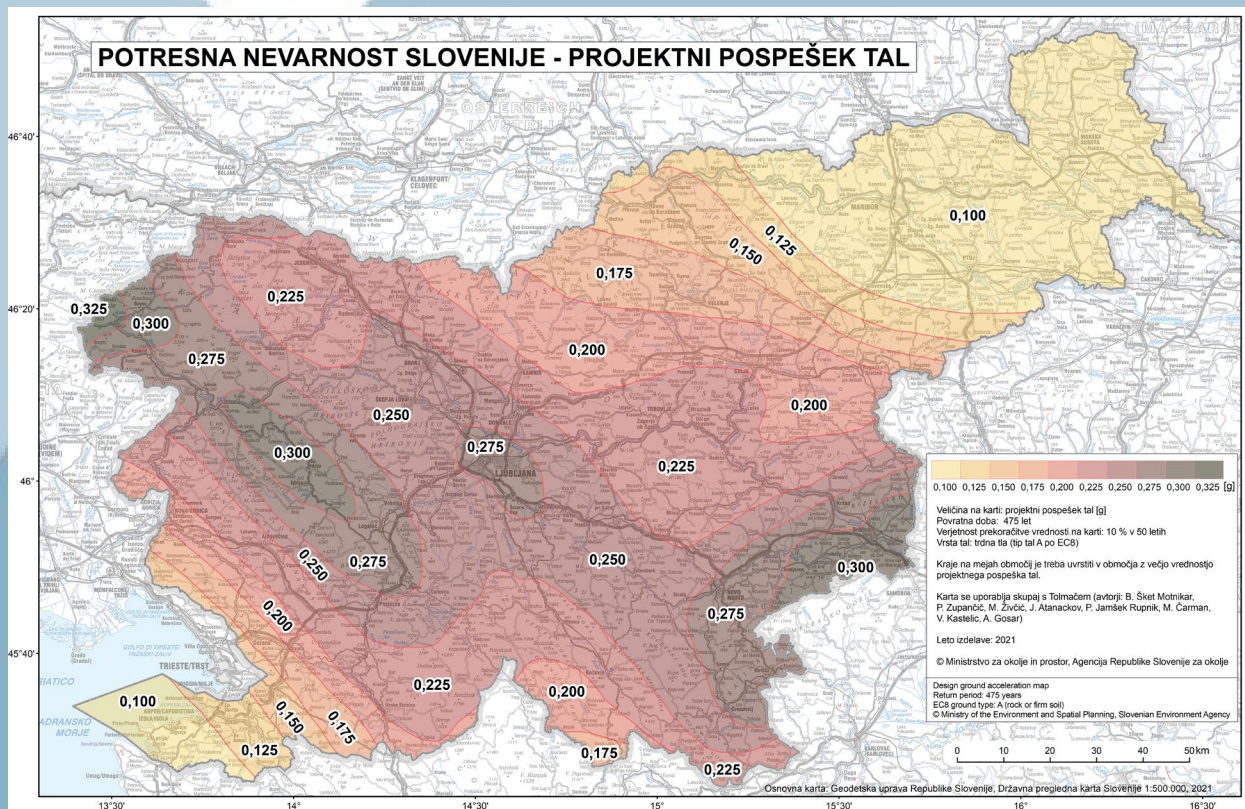




# Potresi v letu 2021

## Earthquakes in 2021



# Potresi v letu 2021, letnik 31

Izid: december 2023

## Izdajatelj

Ministrstvo za okolje, podnebje in energijo  
Agencija Republike Slovenije za okolje  
Vojkova 1b,  
Ljubljana  
Spletni naslov: [www.arso.gov.si](http://www.arso.gov.si)  
e-naslov: [gp.arso@gov.si](mailto:gp.arso@gov.si)

## Urednik

dr. Andrej Gosar

## Grafična priprava

Miha Lanjšček

## Uredniški svet

Ina Cecić  
dr. Martina Čarman  
Matjaž Godec  
dr. Andrej Gosar  
mag. Tamara Jesenko  
Jurij Pahor  
Tatjana Prosen  
dr. Gregor Rajh  
dr. Barbara Šket Motnikar  
mag. Izidor Tasič  
Bojan Uran  
Polona Zupančič

## Naslovnica:

Nova Karta potresne nevarnosti 2021 – projektni pospešek tal. Postopek priprave je opisan v prispevku te publikacije.

## Cover Page:

New Seismic hazard map of Slovenia 2021 – design ground acceleration. The preparation process is described in the contribution of this publication.

Mednarodna standardna serijska številka: ISSN 1318 – 4792
--

## Kazalo

*Tamara Jesenko, Anita Jerše Sharma, Ina Cecić, Barbara Šket Motnikar, Polona Zupančič, Mladen Živčič*

<b>Potresi v Sloveniji v letu 2021</b>	
<b>Earthquakes in Slovenia in Year 2021 .....</b>	<b>5</b>

*Milka Ložar Stopar, Mladen Živčič*

<b>Žariščni mehanizmi močnejših potresov v Sloveniji leta 2021</b>	
<b>Fault Plane Solutions of Earthquakes in Slovenia in 2021 .....</b>	<b>25</b>

*Tamara Jesenko*

<b>Najmočnejši potresi po svetu leta 2021</b>	
<b>The World's Largest Earthquakes in 2021 .....</b>	<b>30</b>

*Izidor Tasič*

<b>Potresne opazovalnice v Sloveniji v letu 2021</b>	
<b>Seismic Network in Slovenia in 2021.....</b>	<b>40</b>

*Izidor Tasič, Marko Mali, Luka Pančur, Peter Sinčič, Igor Pfundner, Bojan Uran, Jože Prosen*

<b>Delovanje Državne mreže potresnih opazovanic v letu 2021</b>	
<b>Operation of the seismic network of the Republic of Slovenia in 2021.....</b>	<b>48</b>

<b>Dogodki v letu 2021</b>	
<b>Events in 2021.....</b>	<b>58</b>

<b>Objave v letu 2021</b>	
<b>Publications in 2021.....</b>	<b>63</b>

*Barbara Šket Motnikar, Polona Zupančič, Mladen Živčič, Jure Atanackov, Petra Jamšek Rupnik, Martina Čarman, Vanja Kastelic, Gregor Rajh, Andrej Gosar*

<b>Nov (2021) postopek ocenjevanja potresne nevarnosti Slovenije in nova karta za projektiranje</b>	
<b>Seismic hazard model of Slovenia and new national design ground acceleration map (2021).....</b>	<b>65</b>

<b>Priloge.....</b>	<b>1</b>
---------------------	----------



Tamara Jesenko, Anita Jerše Sharma, Ina Cević, Barbara Šket Motnikar, Polona Zupančič, Mladen Živčić

## Potresi v Sloveniji v letu 2021

### Earthquakes in Slovenia in Year 2021

#### Povzetek

Leta 2021 je državna mreža potresnih opazovalnic zabeležila 1850 potresov v Sloveniji ali bližnji okolici, 35 od njih je imelo magnitude, večjo ali enako 2,0. Najmočnejši potres v Sloveniji leta 2021, z lokalno magnitudo 3,2, se je zgodil na božično jutro, 25. decembra, ob 7.18 po UTC z nadžariščem v Pomurju, blizu Ljutomera. Največja intenziteta potresa je bila V po evropski potresni lestvici (EMS-98). Prebivalci Slovenije so čutili vsaj 199 lokalnih potresov in 39 bolj oddaljenih (enega z žariščem na Madžarskem, dva v Avstriji, 8 v Italiji in 28 potresov z žariščem na Hrvaškem). Popotresni niz močnega potresa, ki je konec decembra 2020 prizadel hrvaško pokrajino Banijo, se je nadaljeval tudi v leto 2021. Nekatere izmed popotresov so čutili tudi prebivalci Slovenije, najmočnejše tistega, ki se je zgodil 6. januarja ob 17.01 po UTC z magnitudo 4,9.

#### Abstract

The Seismic Network of the Republic of Slovenia recorded 1850 local earthquakes in 2021. There were 35 earthquakes with a local magnitude equal to or higher than 2.0. The strongest earthquake with its epicentre in Slovenia in 2021, with a local magnitude of 3.2, occurred on Christmas morning, 25 December, at 7:18 UTC in Pomurje near Ljutomer. Its maximum intensity was V EMS-98. The inhabitants of Slovenia felt at least 199 local earthquakes and 39 regional earthquakes (one with the epicentre in Hungary, two in Austria, 8 in Italy and 28 in Croatia). The series of aftershocks of a strong earthquake that hit the Croatian province of Banija at the end of December 2020 continued into 2021. Some of the aftershocks were also felt in Slovenia, the strongest among them occurred on 6 January at 17:01 UTC with a magnitude of 4.9.

#### Uvod

V državni mreži potresnih opazovalnic (v nadaljnjem besedilu: DMPO) je leta 2021 delovalo 26 digitalnih potresnih opazovalnic z neprekinjenim prenosom podatkov v podatkovno središče na Agenciji Republike Slovenije za okolje (ARSO) in rezervno podatkovno središče na observatoriju na Golovcu, oboje v Ljubljani (Tasič, 2023; Vidrih in drugi, 2006). V letu 2021 je DMPO dopolnjevalo 17 dopolnilnih potresnih opazovalnic v različnih časovnih obdobjih, ki so opremljene z raznoliko seizmološko opremo. Dve dopolnilni potresni opazovalnici (opazovalnica na Cesti pri Krškem – CESS in opazovalnica v meteorološki postaji na Lisci – LISS) pa sta opremljeni z enako opremo in neprekinjenim prenosom podatkov kot DMPO (Tasič, 2023). Leta 2021 je južno od Postojne delovala tudi mreža prenosnih potresnih opazovalnic SLO Karst NFO (Šebela in drugi, 2023). Poleg tega so se v stvarnem času zbirali tudi podatki nekaterih tujih potresnih opazovalnic v okviru osrednje- in vzhodnoevropske seizmološke raziskovalne mreže (CE<sup>3</sup>RN, 2021). Predvsem podatki z opazovalnic sosednjih držav (Avstrija, Hrvaška, Italija, Madžarska) omogočajo natančnejši izračun potresnih parametrov potresov, nadžarišča katerih so blizu državne meje.

Za spremljanje potresne dejavnosti v Sloveniji je poleg instrumentalnega beleženja potresov pomembno tudi zbiranje podatkov o njihovem učinku na ljudi, predmete, stavbe in naravo, saj tako opredeljujemo intenziteto potresov po naseljih. Ti makroseizmični podatki bi bili

pomanjkljivi ali celo nedostopni, če nam ne bi pomagali številni prostovoljni poročevalci. Maja 2022 je bilo registriranih 4203 aktivnih poročevalcev (957 jih izpolnjuje papirne vprašalnike, 3246 pa spletne vprašalnike). Veseli nas, da njihovo število iz leta v leto narašča.

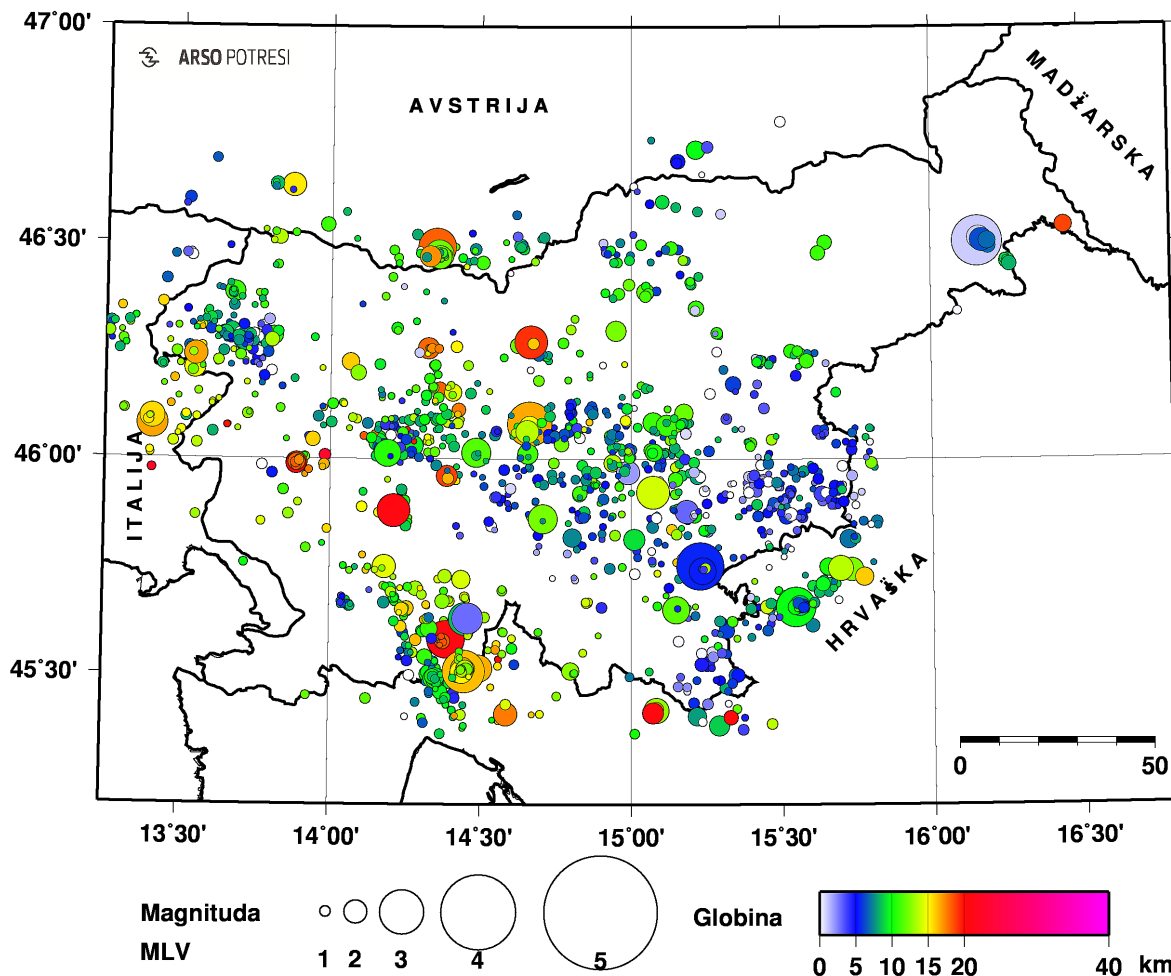
Registriranim poročevalcem smo leta 2021 poslali 13.306 makroseizmičnih spletnih vprašalnikov za 35 potresov; papirnih vprašalnikov tokrat nismo pošiljali. Spletni poročevalci so na naš poziv izpolnili 5342 spletnih vprašalnikov (40 odstotni odziv). Skupaj (zaprošenih ali poslanih na lastno pobudo) smo prejeli 19.306 izpolnjenih spletnih vprašalnikov iz 8322 naselij, med katerimi je bilo:

- 13.157 poročil, da so poročevalci zaznali potres;
- 4904 poročil, da poročevalci niso zaznali potresa;
- 1245 poročil, ki se niso nanašala na potrese, temveč na rudniški dogodek, razstreljevanje, promet, brez podane lokacije idr.

## Potresna dejavnost v Sloveniji leta 2021

Leta 2021 smo locirali 1850 lokalnih potresov z žariščem v Sloveniji in bližnji okolici. Seizmografi so zapisali tudi 987 umetno povzročenih tresenj tal zaradi razstreljevanja ali rudarske dejavnosti in vsaj petih skalnih podorov. Za 1680 lokalnih potresov (slika 1) smo zbrali dovolj podatkov, torej zapisov z vsaj treh opazovalnic, da smo lahko izračunali lokacijo nadžarišča. Če želimo določiti tudi žariščno globino potresa, potrebujemo zapise z vsaj štirih opazovalnic. Za 1677 izmed potresov, ki so prikazani na sliki 1, smo lahko določili tudi lokalno magnitudo. Lokalna magnituda ( $M_{LV}$ ) potresa je določena kot povprečna vrednost posameznih lokalnih magnitud, izračunanih iz največje hitrosti navpične komponente nihanja tal na slovenskih opazovalnicah in oddaljenosti nadžarišča do potresne opazovalnice. Po podatkih za obdobje 2000–2020 se v Sloveniji vsako leto v povprečju zgodi 34 potresov z lokalno magnitudo vsaj 2,0. Trije potresi na leto imajo v povprečju lokalno magnitudo vsaj 3,0 (ARSO, 2022). Leta 2021 je imelo 35 potresov lokalno magnitudo vsaj 2,0, od tega so bili trije z magnitudo vsaj 3,0. Torej je bila potresna dejavnost v Sloveniji leta 2021 zelo blizu dolgoletnemu povprečju. 96 odstotkov vseh lociranih potresov je imelo lokalno magnitudo manjšo od 1,7 (slika 2). Vsi potresi v Sloveniji in bližnji okolici so imeli žarišča do globine 24 km (slika 3).

Leta 2021 so imeli trije potresi z nadžariščem v Sloveniji lokalno magnitudo vsaj 3,0. Prvi, z lokalno magnitudo 3,0, se je zgodil 20. aprila ob 11.03 po UTC (13.03 po lokalnem času) v bližini Dola pri Ljubljani. Drugi, z lokalno magnitudo 3,1, se je zgodil 21. decembra ob 14.44 po UTC (ob 15.44 po lokalnem času) v bližini Novega mesta. Štiri dni pozneje, 25. decembra ob 7.18 po UTC (8.18 po lokalnem času), se je zgodil najmočnejši potres z nadžariščem v Sloveniji leta 2021, z lokalno magnitudo 3,2, in sicer v bližini Ljutomera.

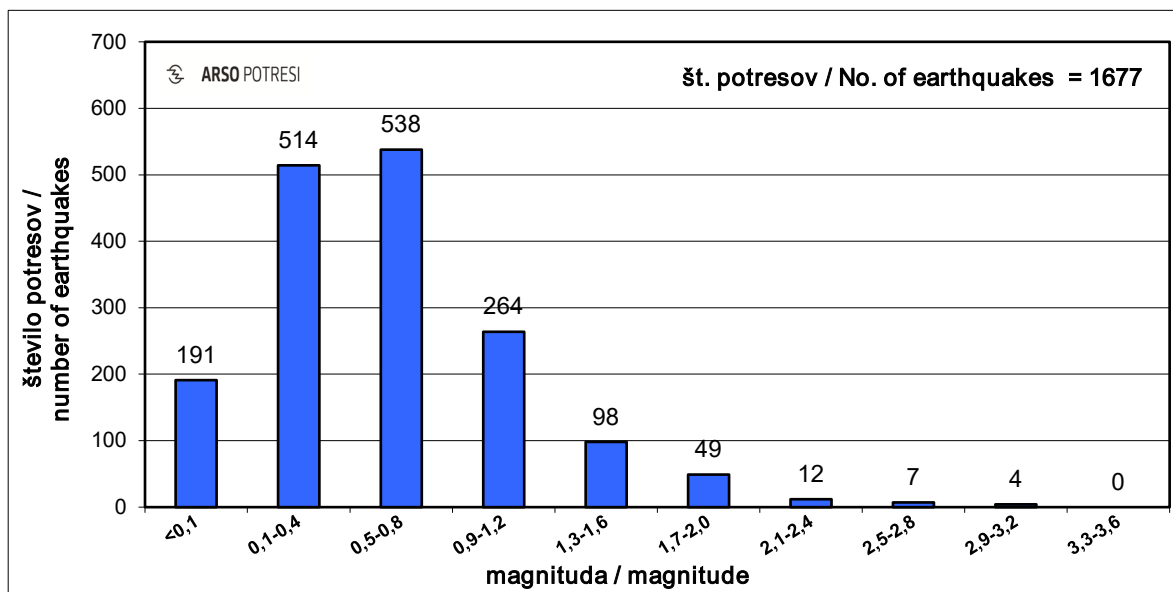


**Slika 1:** Nadžarišča 1680 potresov v Sloveniji in bližnji okolici leta 2021, ki smo jim določili žariščni čas, koordinati nadžarišča in globino žarišča. Barva simbola ponazarja žariščno globino, njegova velikost pa lokalno magnitudo  $M_{LV}$ . Potresi so zrisani kronološko. (Poznejši močnejši potres lahko zakrije morebitne predhodne šibkejše na istem nadžariščnem območju.)

**Figure 1:** Distribution of 1680 local earthquake epicentres in 2021, 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

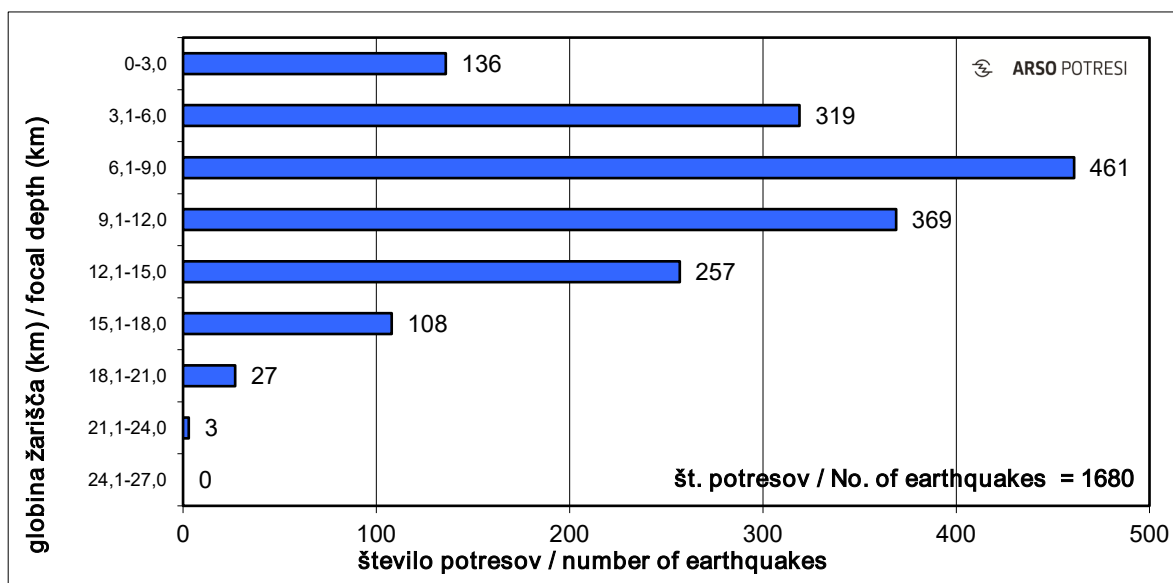
V preglednici 1 so osnovni podatki za 105 lokalnih potresov z izračunano magnitudo vsaj 1,5, od katerih so jih prebivalci Slovenije čutili 79. Poleg teh je navedenih še 120 šibkejših potresov, ki so jih prebivalci Slovenije čutili in smo jim lahko izračunali lokacijo nadžarišča. Za lokalne potrese štejemo tiste potrese, ki so nastali v Sloveniji oziroma njeni bližnji okolici. V preglednici 1 so navedeni tisti, ki so imeli žarišče na Hrvaškem (34), v Italiji (3) oziroma v Avstriji (6), 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 koordinirani čas je mednarodno sprejet standardni čas, ki se uporablja tudi v seizmologiji, da bi se izognili zmedi, zaradi različnih časovnih pasov in poletnega/zimskega časa, ki se uporablja ter velja v različnih delih sveta. Slovenija leži v časovnem pasu UTC+1.00 (poletni čas: UTC+2.00), koordinati nadžarišča (zemljepisna širina °N, zemljepisna dolžina °E), globina žarišča (km), število opazovalnic, ki je zabeležilo potres (nst), 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 RS (GURS, 2018), za preostala (nadžarišče je več kot 5 km oddaljeno od najbližjega naselja iz omenjenega seznama ali pa je zunaj slovenskih meja) smo toponim poiskali s pomočjo storitev Google Zemljevidi (Google Maps, 2022). Ocena intenzitete po naseljih je najprej določena s samodejnim algoritmom na podlagi spletnih vprašalnikov o učinkih potresa. 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 mogočih vrednosti (na primer IV–V). Kadar razpoložljivi podatki za neko naselje niso omogočali določiti niti razpona mogočih vrednosti, smo mu pripisali oznako »čutili«.



Slika 2: Porazdelitev magnitude ( $M_{LV}$ ) potresov v Sloveniji leta 2021

Figure 2: Distribution of earthquakes in Slovenia in 2021 with respect to  $M_{LV}$  magnitude.



Slika 3: Porazdelitev globine žarišča potresov v Sloveniji leta 2021 v kilometrih

Figure 3: Distribution of earthquakes in Slovenia in 2021 with respect to focal depth (in kilometres).



**Preglednica 1:** Seznam lokalnih potresov leta 2021, 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 je tudi 120 potresov s sicer manjšo lokalno magnitudo, vendar so jih prebivalci Slovenije čutili in smo jim tudi lahko določili osnovne parametre. \* – največja intenziteta v Sloveniji

**Table 1:** List of local earthquakes with  $M_{LV} \geq 1.5$  in 2021, for which the hypocentral time, coordinates of the epicentre and the focal depth were calculated; the maximum intensity of the earthquakes felt in Slovenia is also provided. Information is included on 120 earthquakes of a lower magnitude, felt by the inhabitants of Slovenia, for which we also calculated the hypocentral time, coordinates of the epicentre and the focal depth. \* – maximal 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	
2021	1	1	0	6	55,8	45,90	15,64	4	7	0,7	III	Mostec
2021	1	1	0	43	44,8	45,92	15,63	4	31	1,5	III–IV	Bukošek
2021	1	1	14	43	58,6	46,29	15,28	11	20	1,2	III–IV	Konjsko
2021	1	2	0	9	37,8	46,06	14,55	8	25	1,0	III–IV	Ljubljana
2021	1	2	5	4	28,9	46,01	13,98	23	23	1,2	IV	Rejcov Grič
2021	1	3	13	24	53,1	45,70	14,20	10	23	1,2	III	Slovenska vas
2021	1	3	17	11	18,7	45,96	15,22	8	30	1,4	III–IV	Zgornje Vodale
2021	1	5	19	48	2,7	46,26	14,33	18	39	1,9	III–IV	Okroglo
2021	1	5	23	25	36,6	46,35	15,22	11	26	1,5	IV	Loka pri Dobrni
2021	1	7	6	6	19,3	46,31	13,59	7	17	1,1	III–IV	Čezsoča
2021	1	9	0	17	1,6	46,12	14,99	3	13	0,4	čutili	Šklendrovec
2021	1	9	1	31	58,9	46,08	15,16	9	27	0,9	III–IV	Zavrata
2021	1	9	2	9	56,9	46,08	15,16	9	25	0,8	III–IV	Zavrata
2021	1	10	5	1	27,8	45,80	15,52	3	4	0,3	III*	Sječevac, Hrvaška
2021	1	11	16	31	48,5	46,39	15,05	12	20	1,6	III–IV	Šoštanj
2021	1	12	19	18	13,0	45,57	14,37	19	29	1,3	III–IV	Snežnik
2021	1	13	12	18	13,1	46,25	13,77	4	13	0,7	čutili	Tolminske Ravne
2021	1	17	0	6	21,1	45,67	14,05	9	20	1,1	III–IV	Gornje Ležeče
2021	1	21	3	15	16,8	46,03	14,28	10	38	1,8	III–IV	Koreno nad Horjulom
2021	1	21	6	11	35,0	45,50	14,33	10	24	1,5	III	Fabci
2021	1	22	1	13	10,4	45,95	15,15	11	31	1,4	III	Bruna vas
2021	1	28	23	46	55,9	45,70	14,29	13	38	1,4	III	Palčje
2021	1	29	6	21	27,8	46,05	14,16	10	51	1,7	IV	Račeva
2021	1	29	6	21	31,8	46,04	14,16	9	14	1,7		Račeva
2021	2	2	17	19	36,3	45,90	15,51	3	8	0,6	III	Zasap
2021	2	3	1	23	33,1	46,05	14,95	10	28	0,9	III	Zglavnica
2021	2	4	18	18	58,7	46,24	15,57	11	22	1,0	čutili	Podplat
2021	2	8	17	59	58,2	45,75	15,65	12	29	1,6		Braslovje, Hrvaška

datum			čas (UTC)			zem. šir.	zem. dolž.	h	nst	M <sub>LV</sub>	I <sub>max</sub>	nadžariščno območje
leto	mes.	dan	h	min	s	°N	°E	km			EMS-98	
date			time (UTC)			lat	lon	h	nst	M <sub>LV</sub>	I <sub>max</sub>	epicentral area
year	mon.	day	h	min	s	°N	°E	km			EMS-98	
2021	2	8	20	14	35,6	46,04	15,40	11	20	1,2	III	Poklek nad Blanco
2021	2	11	14	9	10,9	45,82	14,69	5	19	0,9	IV	Podgora
2021	2	11	15	47	49,3	45,80	14,69	3	5	0,3	čutili	Velike Poljane
2021	2	12	17	7	10,4	45,64	15,21	7	7	0,8	III	Praprot
2021	2	14	16	18	7,2	45,82	15,19	7	10	0,7	III	Sevno
2021	2	15	9	4	1,8	46,54	16,45	19	14	1,6	čutili	Trimlini
2021	2	15	19	50	29,8	45,88	15,22	0	9	0,4	III–IV	Žaloviče
2021	2	16	0	21	6,7	45,88	14,16	15	20	0,9	čutili	Kalce
2021	2	21	0	8	5,4	45,88	15,45	5	21	0,9	III	Kalce-Naklo
2021	2	21	7	28	3,5	45,81	15,72	7	50	1,7	III*	Samobor, Hrvaška
2021	2	23	10	36	33,5	46,09	15,07	11	37	1,8	III–IV	Mali Kum
2021	2	23	10	40	15,0	45,92	14,11	9	3	0,7	III	Lome
2021	2	26	11	18	12,0	46,30	13,67	9	29	1,4	III	Lepena
2021	2	27	3	5	22,1	45,39	15,22	5	60	1,7	IV*	Strgari, Hrvaška
2021	3	2	18	19	39,2	45,58	15,24	10	4	0,5	čutili	Pavičiči
2021	3	4	20	0	36,9	45,52	15,25	6	9	1,4	III–IV	Bojanci
2021	3	7	4	24	44,2	45,54	15,24	3	12	1,0	III–IV	Tribuče
2021	3	13	3	46	10,3	46,12	14,87	7	19	0,8	III	Laze pri Vačah
2021	3	13	6	26	27,1	45,92	14,83	10	43	1,3	IV	Bojanji Vrh
2021	3	14	2	27	14,9	46,46	15,17	13	10	0,9	III	Dovže
2021	3	18	0	51	59,1	46,11	14,81	5	18	0,7	III	Jesenje
2021	3	19	0	27	42,3	45,98	15,15	14	26	0,9	III	Mali Cirkov pri Šentjanžu
2021	3	20	11	26	37,2	45,67	14,18	8	19	1,2	III–IV	Velika Pristava
2021	3	21	17	32	53,7	45,76	15,15	16	6	0,7	III	Birčna vas
2021	3	27	19	49	8,3	45,39	15,10	16	60	2,1	III–IV*	Stubica, Hrvaška
2021	4	2	8	11	28,8	45,57	15,29	4	8	0,7	čutili	Griblje
2021	4	6	4	22	43,3	45,66	14,90	4	12	1,1	čutili	Željne
2021	4	6	21	58	51,4	45,87	14,84	4	28	1,2	III	Fužina
2021	4	9	18	43	55,3	46,39	13,68	11	62	1,8	IV	Bavšica
2021	4	9	23	57	44,2	45,92	14,83	12	47	1,4	III	Artiža vas
2021	4	10	0	54	34,2	45,87	14,85	8	33	1,2	III	Gabrovka pri Zagradcu
2021	4	10	5	55	0,8	46,49	14,35	18	69	2,7	IV*	Ferlach (Borovlje), Avstrija
2021	4	11	13	19	12,5	46,09	14,63	10	31	1,4	III	Zaboršt pri Dolu
2021	4	19	1	0	16,8	45,66	15,21	12	5	0,1	III–IV	Oskoršnica
2021	4	20	11	3	10,0	46,08	14,66	17	81	3,0	V	Kleče pri Dolu

datum			čas (UTC)			zem. šir.	zem. dolž.	h	nst	M <sub>LV</sub>	I <sub>max</sub>	nadžariščno območje
leto	mes.	dan	h	min	s	°N	°E	km			EMS-98	
date			time (UTC)			lat	lon	h	nst	M <sub>LV</sub>	I <sub>max</sub>	epicentral area
year	mon.	day	h	min	s	°N	°E	km			EMS-98	
2021	4	20	12	18	29,2	46,08	14,67	14	20	1,1	IV	Kleče pri Dolu
2021	4	21	19	23	59,0	46,26	13,78	8	35	1,1	III	Tolminske Ravne
2021	4	25	15	21	23,0	46,08	15,15	13	45	1,7	čutili	Zavrata
2021	4	27	6	42	19,1	46,27	13,70	8	43	1,6	III	Krn
2021	4	27	12	39	6,4	45,84	15,07	7	26	1,2	IV	Golobinjek
2021	5	2	19	26	23,2	45,96	14,39	16	61	1,9	III	Prevalje pod Krimom
2021	5	2	22	21	46,4	45,96	14,39	17	28	1,2	III	Prevalje pod Krimom
2021	5	3	22	57	2,7	46,63	13,87	15	64	2,0		Villach (Beljak), Avstrija
2021	5	4	14	38	33,5	45,99	14,94	12	39	1,6	III	Laze pri Gobniku
2021	5	7	3	29	51,7	46,01	14,49	11	79	2,3	IV	Črna vas
2021	5	9	2	1	38,3	46,26	14,62	12	43	1,5	III	Brezje nad Kamnikom
2021	5	9	23	59	26,9	45,99	13,98	17	27	1,1	II	Čekovnik
2021	5	10	19	58	37,7	46,05	15,14	8	20	0,7	II	Močilno
2021	5	13	12	13	4,1	45,59	14,39	20	85	2,7	IV	Snežnik
2021	5	13	12	14	26,9	45,58	14,38	18	16	1,5		Snežnik
2021	5	13	18	11	23,1	45,61	14,23	16	40	1,2	čutili	Podtabor
2021	5	14	17	28	48,2	46,72	15,22	8	36	1,7	IV*	Kogl, Avstrija
2021	5	15	23	3	5,5	45,94	14,57	7	10	0,5	III	Pijava Gorica
2021	5	18	21	13	14,6	45,98	14,66	7	17	0,6	III	Dobje
2021	5	19	23	29	19,2	45,86	15,51	6	29	1,4	III	Buščča vas
2021	5	19	23	29	33,7	45,87	15,53	0	7	1,3	čutili	Gorenja Pirošica
2021	5	20	16	44	38,2	46,07	14,66	15	50	1,9	III	Kleče pri Dolu
2021	5	21	22	2	3,2	46,01	14,48	8	12	0,9	čutili	Črna vas
2021	5	22	6	43	34,2	46,27	13,72	8	59	2,0	III	Mahavšček
2021	5	22	9	54	7,2	46,02	14,32	12	18	0,8	II	Lesno Brdo
2021	5	25	0	58	2,1	45,51	15,34	5	19	1,4	III	Marindol
2021	5	26	20	53	54,3	45,87	15,22	13	44	1,4	III	Šmarješke Toplice
2021	5	28	23	2	31,8	46,30	14,95	15	49	1,8	IV	Kokarje
2021	5	31	3	6	14,2	46,16	14,36	18	29	1,3	čutili	Godešič
2021	6	1	2	39	37,5	46,17	15,03	11	24	0,7	III	Planinska vas
2021	6	1	23	50	41,6	45,95	14,87	13	21	0,7	III	Grm
2021	6	2	9	35	29,6	45,84	15,13	16	19	1,1	III	Daljnj Vrh
2021	6	3	16	3	12,1	46,10	15,18	12	43	1,7	III	Veliko Širje
2021	6	5	3	36	37,1	45,45	13,93	12	20	0,8	III*	Ugrini, Hrvaška
2021	6	11	1	26	26,4	46,02	15,00	7	30	0,9	čutili	Prevale

datum			čas (UTC)			zem. šir.	zem. dolž.	h	nst	M <sub>LV</sub>	I <sub>max</sub>	nadžariščno območje
leto	mes.	dan	h	min	s	°N	°E	km			EMS-98	
date			time (UTC)			lat	lon	h	nst	M <sub>LV</sub>	I <sub>max</sub>	epicentral area
year	mon.	day	h	min	s	°N	°E	km			EMS-98	
2021	6	14	14	32	26,5	45,51	14,48	16	24	1,8		Klana, Hrvaška
2021	6	15	11	2	30,5	45,51	14,49	17	44	2,2		Klana, Hrvaška
2021	6	16	3	16	51,5	45,61	14,33	11	21	1,6	čutili	Koritnice
2021	6	16	15	28	48,4	45,74	15,73	12	35	2,0	III*	Gornja Purgarija, Hrvaška
2021	6	29	23	50	50,5	45,83	15,25	12	29	1,1	III–IV	Brezje
2021	6	30	8	53	20,5	46,08	15,12	13	48	1,9	IV	Čimerno
2021	7	1	10	50	1,9	45,99	13,89	20	50	1,9		Vojsko
2021	7	2	0	4	31,7	45,99	13,89	20	55	1,8		Vojsko
2021	7	2	0	54	37,0	45,99	13,89	18	34	1,6		Vojsko
2021	7	4	6	45	24,3	45,99	13,88	18	24	1,1	III	Vojsko
2021	7	12	19	4	48,5	45,91	15,66	4	6	0,8	čutili	Mali Obrež
2021	7	13	7	8	9,4	46,09	14,98	15	18	1,0	čutili	Konjšica
2021	7	21	19	45	3,1	45,86	14,53	5	13	0,9	III	Sekirišče
2021	7	23	2	11	1,7	45,97	14,86	8	48	1,2	III–IV	Bukovica
2021	7	27	20	33	4,4	45,87	14,84	6	26	1,0	III	Gabrovka pri Zagradcu
2021	7	27	21	54	51,1	46,01	14,66	11	44	1,8	III–IV	Selo pri Pancah
2021	7	28	23	57	2,8	46,22	15,42	10	22	0,9	II	Bezovje pri Šentjurju
2021	8	3	2	14	56,0	45,38	15,29	8	50	1,8	III*	Podrebar, Hrvaška
2021	8	3	6	12	31,1	45,72	14,44	15	42	1,7		Klance
2021	8	4	22	58	4,8	46,10	14,73	9	29	1,1	čutili	Senožeti
2021	8	9	16	2	39,5	45,97	14,99	2	44	1,4	III–IV	Gornje Ravne
2021	8	9	16	8	26,0	45,97	14,99	2	64	2,0	IV	Gornje Ravne
2021	8	9	16	11	45,1	45,99	14,96	10	5	0,3	čutili	Gabrška Gora
2021	8	10	15	21	29,6	46,08	13,41	17	76	2,4	III*	Cividale del Friuli (Čedad), Italija
2021	8	10	15	23	1,6	46,09	13,40	16	62	2,1	III*	Cividale del Friuli (Čedad), Italija
2021	8	15	1	10	18,6	45,84	15,24	10	21	1,0	III	Gumberk
2021	8	16	14	17	16,8	46,28	13,81	11	28	1,7	III	Ukanc
2021	8	18	5	20	52,7	45,88	15,19	3	50	2,0	IV	Štravberk
2021	8	19	17	37	33,7	45,97	14,88	9	37	1,2	III	Temenica
2021	8	21	3	55	16,6	45,74	15,70	12	50	1,7		Novo Selo Okičko, Hrvaška
2021	8	21	4	2	16,6	45,74	15,70	14	63	2,1	III*	Poljanica Okička, Hrvaška
2021	8	22	15	3	26,6	46,08	15,18	13	18	0,9	III–IV	Obrežje pri Zidanem Mostu
2021	8	22	16	17	7,5	46,47	14,36	12	65	2,3		Zell-Mittelwinkel (Sele-Srednji kot), Avstrija
2021	8	24	0	3	50,3	46,46	14,36	12	65	2,0	čutili*	Zell-Mittelwinkel (Sele-Srednji kot), Avstrija

datum			čas (UTC)			zem. šir.	zem. dolž.	h	nst	M <sub>LV</sub>	I <sub>max</sub>	nadžariščno območje
leto	mes.	dan	h	min	s	°N	°E	km			EMS-98	
date			time (UTC)			lat	lon	h	nst	M <sub>LV</sub>	I <sub>max</sub>	epicentral area
year	mon.	day	h	min	s	°N	°E	km			EMS-98	
2021	8	25	7	46	16,4	46,51	13,83	14	39	1,4	III–IV	Srednji Vrh
2021	8	26	10	49	59,2	46,29	13,65	9	34	1,3	IV	Lepena
2021	9	3	13	33	32,3	45,51	14,48	16	23	1,6		Klana, Hrvaška
2021	9	3	14	23	34,0	45,52	14,48	15	12	1,5		Klana, Hrvaška
2021	9	4	9	42	11,5	45,51	14,48	17	20	1,5		Klana, Hrvaška
2021	9	6	23	8	44,1	46,04	13,94	16	54	1,4	III	Gorenja Kanomlja
2021	9	7	7	30	31,0	45,39	15,08	21	36	1,9		Hajdine, Hrvaška
2021	9	9	3	24	44,7	46,08	15,17	9	26	1,0	III–IV	Obrežje pri Zidanem Mostu
2021	9	9	3	25	40,4	46,08	15,17	8	24	0,9	III	Obrežje pri Zidanem Mostu
2021	9	9	3	47	13,7	45,94	15,49	2	7	0,5	III	Žadovinek
2021	9	19	9	10	29,4	45,53	15,23	4	19	1,2	III–IV	Velika Lahinja
2021	9	19	13	4	38,9	45,60	15,32	6	22	1,5	III*	Brihovo, Hrvaška
2021	9	21	10	33	38,3	45,49	14,35	11	31	1,8	II	Fabci
2021	9	21	23	32	51,1	45,51	14,80	13	40	1,6		Srobotnik ob Kolpi
2021	9	22	6	34	56,5	45,49	14,35	11	29	1,6	III–IV	Fabci
2021	9	22	18	25	23,0	45,50	14,35	9	42	1,7	III–IV	Fabci
2021	9	23	5	23	37,4	45,81	15,02	16	48	1,9	IV	Sela pri Ajdovcu
2021	9	23	11	0	46,7	45,50	14,34	10	24	1,5	III	Fabci
2021	9	24	22	2	23,8	46,30	14,22	10	38	1,2	III–IV	Lipnica
2021	9	25	8	26	9,1	45,54	14,32	11	27	1,5		Jablanica
2021	10	9	13	10	50,0	46,27	14,67	20	71	2,5	III–IV	Krivčevo
2021	10	11	1	8	10,6	45,92	15,07	16	68	2,5	IV	Gradišče pri Trebnjem
2021	10	11	11	39	18,5	45,65	15,56	11	70	2,8	III–IV*	Pribić, Hrvaška
2021	10	11	15	6	8,5	45,65	15,15	13	49	2,3	IV	Sela pri Vrčicah
2021	10	11	16	13	4,5	45,52	15,34	4	18	1,2	III*	Bogovci, Hrvaška
2021	10	14	19	40	56,7	45,86	14,71	13	64	2,3	IV	Zdenska vas
2021	10	20	15	33	43,1	46,17	15,34	6	10	1,5	III	Mala Breza
2021	10	21	17	17	50,4	45,92	15,53	4	5	0,8	čutili	Vihre
2021	10	24	6	45	14,4	45,54	15,27	2	11	1,1	III–IV	Bedenj
2021	10	25	0	14	3,0	45,84	15,26	8	22	0,8	čutili	Dolenje Mokro Polje
2021	10	26	10	4	38,5	46,09	14,31	10	12	1,0	III	Setnica
2021	10	28	15	39	47,5	46,18	14,69	12	17	1,1	čutili	Čeplje
2021	10	31	1	4	22,2	46,47	14,32	6	60	1,9	III–IV*	Zell-Oberwinkel (Sele-Zvrhnji kot), Avstrija
2021	10	31	20	47	3,4	46,09	14,37	10	31	1,2	III	Brezovica pri Medvodah
2021	11	1	17	59	9,2	45,67	14,38	13	28	1,4	čutili	Juršče

datum			čas (UTC)			zem. šir.	zem. dolž.	h	nst	M <sub>LV</sub>	I <sub>max</sub>	nadžariščno območje
let	mes.	dan	h	min	s	°N	°E	km			EMS-98	
date			time (UTC)			lat	lon	h	nst	M <sub>LV</sub>	I <sub>max</sub>	epicentral area
year	mon.	day	h	min	s	°N	°E	km			EMS-98	
2021	11	2	0	16	4,8	46,01	14,19	14	61	2,2	III–IV	Praprotno Brdo
2021	11	6	20	43	2,6	45,65	15,47	17	34	1,4	čutili*	Škaljevica, Hrvaška
2021	11	7	1	1	42,1	46,28	13,69	8	43	1,3	III–IV	Lepena
2021	11	9	16	4	16,6	46,22	14,06	16	22	1,6		Zabrdo
2021	11	11	0	49	37,1	45,92	15,52	4	8	0,6	čutili	Vihre
2021	11	12	6	13	38,3	45,82	14,81	6	33	1,7	III	Ambrus
2021	11	14	3	44	18,6	45,65	15,58	6	19	1,0	III*	Volavje, Hrvaška
2021	11	23	12	53	22,3	45,75	14,18	14	68	2,0	III–IV	Grobišče
2021	11	24	14	54	20,5	46,02	15,08	9	50	1,6	III	Ravne nad Šentrupertom
2021	11	24	19	49	55,0	45,41	15,25	1	25	1,1	III*	Hrsina, Hrvaška
2021	11	24	22	36	4,7	46,21	13,55	15	74	1,9	III–IV	Matajur, meja Slovenija–Italija
2021	11	24	22	51	19,6	46,20	13,54	12	17	1,1	čutili*	Montemaggiore (Brezje), Italija
2021	11	26	16	46	32,2	46,24	13,55	17	60	2,0	III–IV	Sužid
2021	11	28	19	5	27,3	46,15	14,41	15	48	1,6	III	Zbilje
2021	12	1	9	18	24,2	46,20	14,09	13	37	1,5		Zali Log
2021	12	2	5	55	12,7	45,51	14,45	15	85	2,9	III–IV*	Klana, Hrvaška
2021	12	2	6	2	33,6	45,51	14,45	14	45	1,7	III*	Klana, Hrvaška
2021	12	2	6	35	43,6	45,50	14,43	14	13	1,6		Klana, Hrvaška
2021	12	2	9	40	18,0	45,52	14,45	13	32	1,5		Klana, Hrvaška
2021	12	2	11	51	39,7	45,52	14,45	15	31	1,5	čutili*	Klana, Hrvaška
2021	12	2	12	15	1,1	45,52	14,45	14	37	1,5		Klana, Hrvaška
2021	12	2	21	16	15,3	45,51	14,45	15	39	1,5	III*	Klana, Hrvaška
2021	12	3	0	50	35,2	46,29	13,73	8	20	1,0	III	Mahavšček
2021	12	5	19	8	30,2	45,51	14,45	16	40	1,8	čutili*	Klana, Hrvaška
2021	12	6	6	0	15,0	46,06	14,78	6	11	1,1	čutili	Golišče
2021	12	6	20	59	11,6	46,05	14,72	6	11	0,8	II	Dolgo Brdo
2021	12	7	2	5	1,4	45,52	14,45	15	57	2,0	čutili*	Klana, Hrvaška
2021	12	7	2	45	17,0	45,51	14,44	15	58	1,9		Klana, Hrvaška
2021	12	10	17	23	13,8	46,12	14,99	9	22	1,1	III	Družina
2021	12	13	8	39	33,3	45,51	14,45	13	41	1,6		Klana, Hrvaška
2021	12	15	14	59	16,0	45,63	14,45	7	70	2,5	III–IV	Snežnik
2021	12	15	15	24	8,5	45,63	14,45	8	52	1,8	III	Snežnik
2021	12	16	21	11	35,8	46,06	14,65	14	61	2,0	IV–V	Podgrad
2021	12	19	20	13	38,1	46,03	14,65	8	27	0,8	II	Besnica
2021	12	21	11	1	44,4	45,75	15,23	14	24	1,3	III–IV	Mali Cerovec

datum			čas (UTC)			zem. šir.	zem. dolž.	h	nst	M <sub>LV</sub>	I <sub>max</sub>	nadžariščno območje
leto	mes.	dan	h	min	s	°N	°E	km			EMS-98	
date			time (UTC)			lat	lon	h	nst	M <sub>LV</sub>	I <sub>max</sub>	epicentral area
year	mon.	day	h	min	s	°N	°E	km			EMS-98	
2021	12	21	14	44	11,6	45,75	15,23	6	77	3,1	IV–V	Mali Cerovec
2021	12	21	14	44	53,6	45,74	15,24	5	11	2,2	IV	Mali Cerovec
2021	12	23	22	52	0,3	46,49	15,65	11	22	1,4	III–IV	Spodnje Hoče
2021	12	24	1	15	21,9	46,48	15,63	11	26	1,4	III–IV	Čreta
2021	12	25	7	18	21,1	46,48	16,19	11	80	3,2	V	Mekotnjak
2021	12	25	7	30	28,3	46,48	16,20	11	64	2,0	IV–V	Ilovci
2021	12	25	8	51	2,5	45,75	15,25	13	12	1,0	čutili	Iglenik
2021	12	25	10	13	32,1	46,46	16,26	9	3	1,5		Lačaves
2021	12	25	11	56	45,0	46,49	16,22	11	14	1,6	čutili	Hermanci
2021	12	25	18	34	2,2	46,49	16,23	11	22	1,5	III	Rinčetova Graba
2021	12	26	5	28	18,3	46,38	15,05	11	34	1,2	čutili	Šoštanj
2021	12	27	4	45	54,6	46,15	15,68	9	14	0,9	III–IV*	Gaber, Hrvaška
2021	12	27	5	3	4,4	45,88	14,21	21	81	2,5	IV	Grčarevec
2021	12	27	11	50	27,2	46,51	16,17	6	37	2,0	IV	Spodnji Kamenščak
2021	12	27	18	7	15,4	46,48	16,20	8	31	1,6	IV	Jeruzalem
2021	12	28	6	51	3,3	45,63	14,44	7	39	1,8	III–IV	Snežnik
2021	12	28	7	50	31,6	45,89	14,11	15	19	1,1	III	Vodice
2021	12	29	5	48	46,8	46,25	15,55	11	22	1,1	čutili	Lemberg pri Šmarju
2021	12	29	14	16	48,1	45,63	14,45	11	77	2,4	IV	Snežnik
2021	12	31	8	0	3,6	46,04	14,25	6	21	1,0	III–IV	Butajnova
2021	12	31	9	10	57,0	46,27	13,80	13	36	1,4	čutili	Ukanc
2021	12	31	11	8	8,0	45,90	15,25	5	15	0,9	III	Vinica pri Šmarjeti
2021	12	31	22	43	23,7	46,12	14,37	10	16	0,6	čutili	Studenčice

Za določitev osnovnih parametrov potresov, navedenih v preglednici 1, smo analizirali zapise na potresnih opazovalnicah državne mreže v Sloveniji in na dopolnilnih opazovalnicah, na opazovalnicah SLO Karst NFO mreže (Šebela in drugi, 2023), postavljenih v okviru projekta RI-SI-EPOS (RI-SI-EPOS, 2023), ter na opazovalnicah sosednjih držav, ki jih dobivamo v stvarnem času. Podatke smo dopolnili z bilteni iz Avstrije (ZAMG, 2021–2022), Hrvaške (GEOF-PMF, 2022) in Italije (OGS, 2022). Žariščni čas (čas nastanka potresa), koordinati nadžarišča in žariščno globino smo določili iz časa prihodov vzdolžnega (P) in prečnega (S) valovanja na potresno opazovalnico. Potrese smo locirali s programom HYPOCENTER (Lienert in drugi, 1988; Lienert, 1994). Uporabili smo povprečni hitrostni model za ozemlje Slovenije, določen iz trirazsežnostnega modela za prostorsko valovanje (Michellini in drugi, 1998) in modela za površinsko valovanje (Živčić in drugi, 2000). Potresom, ki smo jim lahko določili le koordinati nadžarišča, smo za žariščno globino privzeli sedem kilometrov (Poljak

in drugi, 2000). V preglednici 1 je navedena povprečna vrednost  $M_{LV}$  za opazovalnice v Sloveniji. Največja intenziteta ( $I_{max}$ ), ki jo je potres dosegel na ozemlju Slovenije, je ocenjena po EMS-98.

V preglednici 2 so navedeni bližnji (regionalni) potresi, ki so jih čutili tudi v Sloveniji. Ljudje so na ozemlju Slovenije čutili en potres z žariščem na Madžarskem, dva v Avstriji, osem v Italiji in 28 potresov z žariščem na Hrvaškem. Večina izmed slednjih so popotresi potresa, ki je 29. decembra 2020 stresel hrvaško pokrajino Banijo (Jesenko, 2021; Jerše Sharma in drugi, 2021; Birko in drugi, 2023). Te potrese zaradi večje oddaljenosti nadžarišča do najbližjega slovenskega kraja ( $> 50$  km) že štejemo za bližnje oziroma regionalne potrese. V preglednici je poleg datuma in časa (UTC) potresa, njegove magnitude in nadžariščne območja navedena še največja intenziteta, ki jo je posamezen potres dosegel v Sloveniji.

**Preglednica 2:** Seznam bližnjih (regionalnih) potresov, ki so jih čutili prebivalci Slovenije leta 2021  
**Table 2:** List of regional earthquakes felt by the inhabitants of Slovenia in 2021.

datum			čas (UTC)		magnituda	I <sub>max</sub> v Sloveniji	nadžariščno območje
leto	mesec	dan	h	min	M <sub>L</sub>	EMS-98	
date			time (UTC)		magnitude	I <sub>max</sub> in Slovenia	epicentral area
year	month	day	h	min	M <sub>L</sub>	EMS-98	
2021	1	1	3	52	3,6	III–IV	Petrinja, Hrvaška
2021	1	1	12	43	2,9	II	Petrinja, Hrvaška
2021	1	2	18	0	3,4	IV	Petrinja, Hrvaška
2021	1	4	3	20	3,7	III–IV	Petrinja, Hrvaška
2021	1	4	6	49	4,5	IV	Petrinja, Hrvaška
2021	1	5	0	24	2,6	III–IV	Petrinja, Hrvaška
2021	1	5	6	11	3,1	III–IV	Petrinja, Hrvaška
2021	1	6	17	1	4,9	V	Petrinja, Hrvaška
2021	1	7	11	6	3,8	III–IV	Petrinja, Hrvaška
2021	1	7	17	24	3,8	IV	Petrinja, Hrvaška
2021	1	8	14	19	3,2	III–IV	Petrinja, Hrvaška
2021	1	9	21	29	4,5	IV–V	Petrinja, Hrvaška
2021	1	10	11	58	3,8	III	Petrinja, Hrvaška
2021	1	10	23	28	3,8	IV	Petrinja, Hrvaška
2021	1	15	1	50	2,8	III–IV	Petrinja, Hrvaška
2021	1	15	12	1	4,0	III–IV	Petrinja, Hrvaška
2021	1	16	23	54	3,1	čutili	Tolmezzo (Tolmeč), Italija
2021	1	19	4	44	3,8	III–IV	Petrinja, Hrvaška
2021	2	18	12	8	4,1	IV	Petrinja, Hrvaška
2021	2	24	9	58	4,3	IV	Petrinja, Hrvaška
2021	3	2	3	12	2,6	čutili	Nagykanizsa (Velika Kaniža), Madžarska
2021	3	3	4	37	4,1	IV	Petrinja, Hrvaška
2021	3	7	19	55	2,9	III	Petrinja, Hrvaška

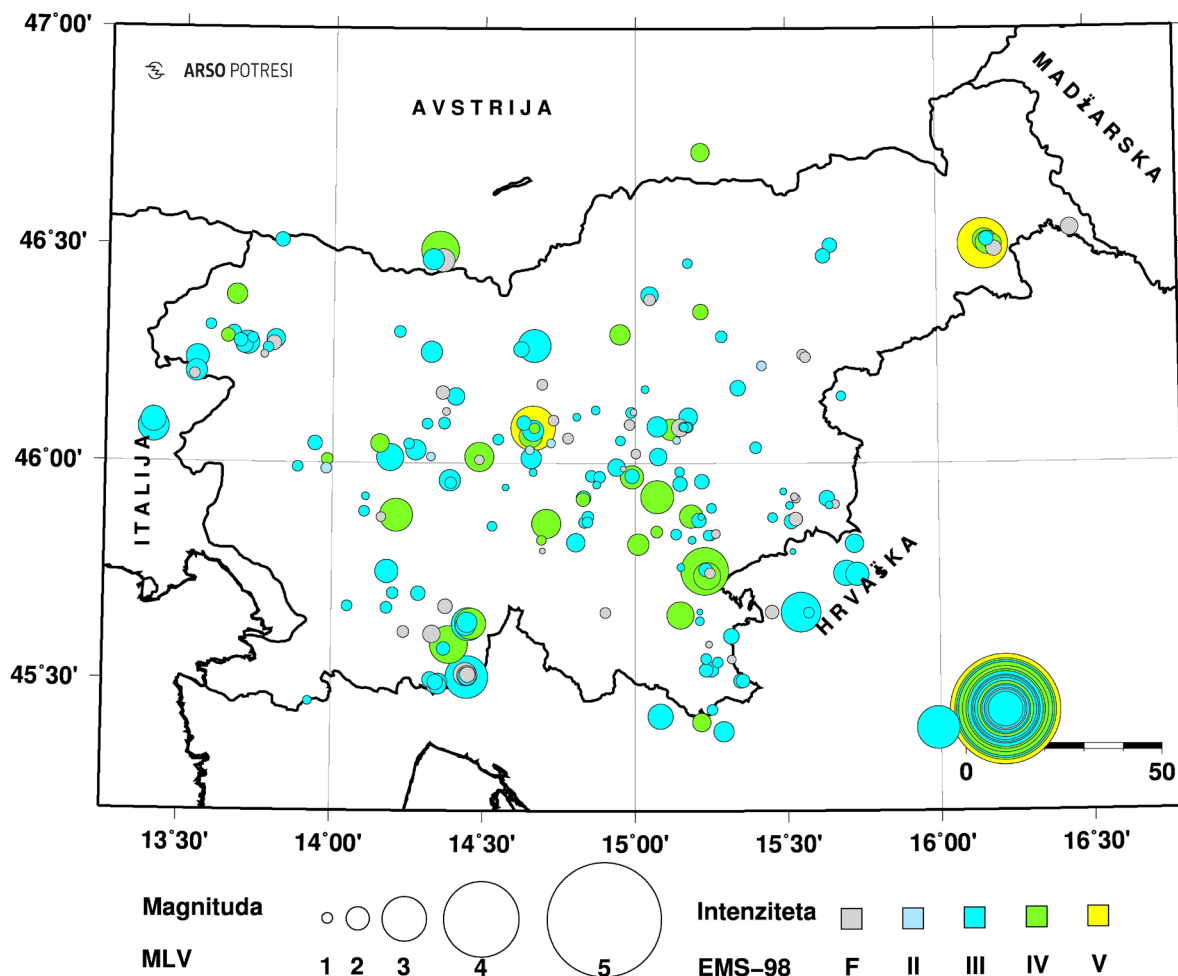


datum			čas (UTC)		magnituda	Imax v Sloveniji	nadžariško območje
leto	mesec	dan	h	min	M <sub>L</sub>	EMS-98	
date			time (UTC)		magnitude	Imax in Slovenia	epicentral area
year	month	day	h	min	M <sub>L</sub>	EMS-98	
2021	3	8	12	44	3,6	III	Petrinja, Hrvaška
2021	3	27	13	47	5,2	III	pod Jadranskim morjem, v bližini Lastova, Hrvaška
2021	3	30	16	25	4,6	III	Breitenau am Steinfeld, Avstrija
2021	4	6	8	54	4,6	III	Petrinja, Hrvaška
2021	4	19	22	57	4,4	čutili	Breitenau am Steinfeld, Avstrija
2021	5	31	7	12	2,0	II	Musi (Mužac), Italija
2021	6	8	3	59	4,2	IV	Ljubitovica, Hrvaška
2021	7	11	10	56	4,0	III–IV	pod Jadranskim morjem, v bližini Ravene, Italija
2021	8	1	23	27	3,8	III–IV	Petrinja, Hrvaška
2021	8	16	23	58	4,7	IV–V	Petrinja, Hrvaška
2021	9	6	9	18	3,3	III–IV	Venzone (Pušja vas), Italija
2021	9	23	5	46	2,6	III	Venzone (Pušja vas), Italija
2021	10	21	0	28	3,8	IV	Tolmezzo (Tolmeč), Italija
2021	10	21	2	30	2,1	IV	Moggio Udinese (Možac), Italija
2021	10	29	10	53	4,3	III–IV	Cartoceto, Italija
2021	12	27	5	28	2,9	III	Glina, Hrvaška
2021	9	23	5	46	2,6	III	Venzone (Pušja vas), Italija

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

Na ozemlju Slovenije leta 2021 ni bilo potresov, ki bi povzročili večjo gmotno škodo, pri nekaterih je prišlo le do posameznih razpok v ometu. Prebivalci v Sloveniji so čutili skupno vsaj 238 potresov, 199 lokalnih in 39 regionalnih. Trije potresi so imeli največjo intenziteto V EMS-98, pet jih je doseglo intenziteto IV–V EMS-98. Nadžarišča potresov so prikazana na sliki 4, na kateri so poleg lokalnih potresov prikazani še regionalni potresi z žariščem pri Petrinji in Glini na Hrvaškem. Velikost kroga označuje lokalno magnitudo, barva pa največjo doseženo intenziteto potresa. Potresi na sliki 4 niso izrisani kronološko, temveč od največje magnitude do najmanjše, da močnejši potresi ne bi zakrili šibkejših.

V nadaljevanju so opisani trije najmočnejši potresi, ki so se zgodili na območju Slovenije leta 2021, in en hrvaški potres, ki je na ozemlju Slovenije pustil največ posledic. Potresa pri Klečah (pri Dolu pri Ljubljani;  $M_{LV} = 3,0$ ) in pri Mekotnjaku (blizu Ljutomera;  $M_{LV} = 3,2$ ) sta dosegla učinke V EMS-98, potres pri Malem Cerovcu (blizu Novega mesta;  $M_{LV} = 3,2$ ) učinke IV–V EMS-98, potres na Hrvaškem ( $M = 4,9$ ) pa učinke V EMS-98. Za vsakega izmed teh potresov je prikazana karta intenzitete po naseljih (slike 5–8) z vrisanim nadžariščem.



**Slika 4:** Nadžarišča lokalnih potresov in potresov z žariščem v hrvaški pokrajini Baniji, ki so jih leta 2021 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 together with earthquakes from the Croatian region of Banija felt in Slovenia in 2021. The size of the symbols represents local magnitude, while the colour represents maximum intensity in Slovenia. In the range of possible intensity values, the lower value is shown. Magnituda = magnitude; Intenziteta = intensity

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

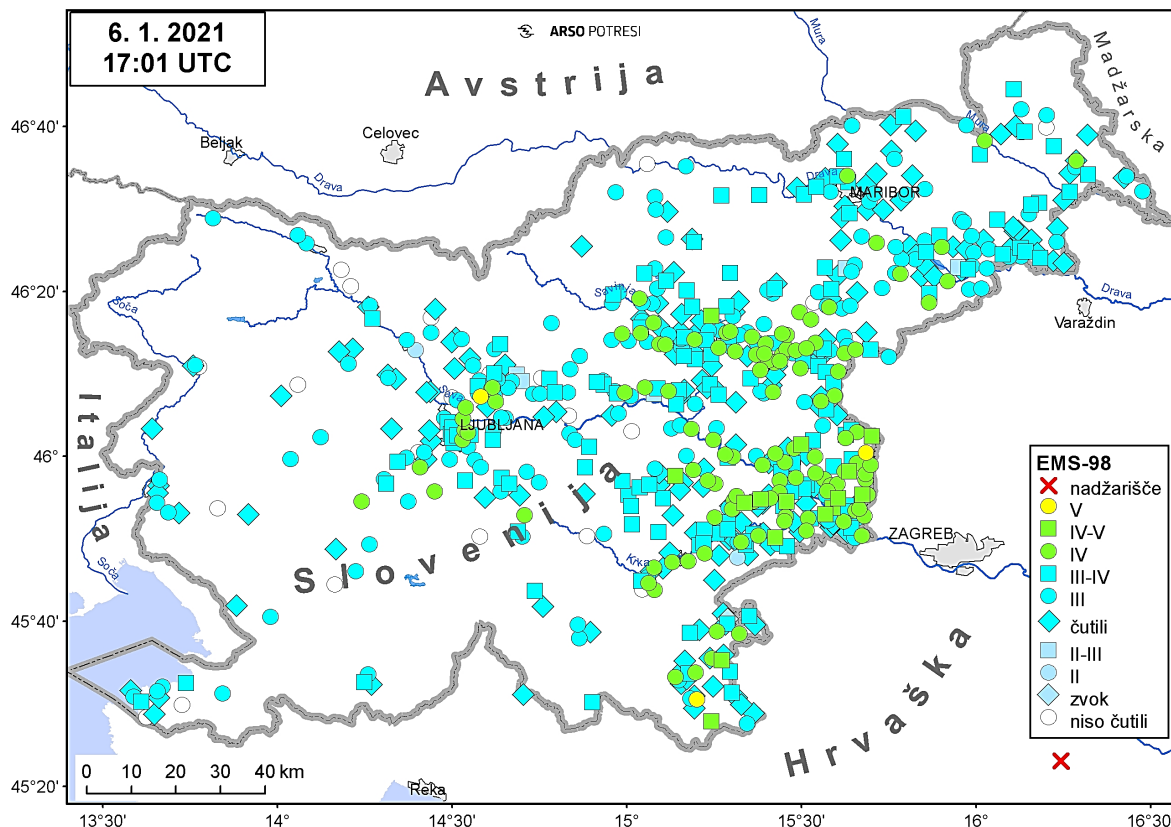
- ARSO (<http://potresi.arso.gov.si/vprasalnik>) ali
- evropsko-sredozemskega seizmološkega centra EMSC ([https://www.emsc-csem.org/Earthquake/Contribute/choose\\_earthquake.php](https://www.emsc-csem.org/Earthquake/Contribute/choose_earthquake.php)).

Na sliki 9 so prikazana vsa naselja, iz katerih smo dobili podatke, da so ljudje čutili učinke potresov. Barva in oznaka na sliki opredeljujeta največjo intenziteto, doseženo v posameznem naselju leta 2021.

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

### Potres 6. januarja 2021 ob 17.01 UTC pri Petrinji, Hrvaška, magnitude 4,9 (slika 5)

Niz potresov, ki je konec decembra 2020 prizadel hrvaško pokrajino Banijo (Jerše Sharma in drugi, 2021; Jesenko, 2021; Birko in drugi, 2023), se je nadaljeval tudi leta 2021. Prebivalci Slovenije so čutili šestindvajset popotresov. Najmočnejši popotres leta 2021 se je zgodil 6. januarja ob 17.01 UTC (ob 18.01 po lokalnem času) z magnitudo 4,9. V Sloveniji so ga čutili vse do 226 km od nadžarišča oddaljene Kranjske Gore. Prebivalci Depale vasi, Bizeljskega in Šipka so opisali učinke V EMS-98. Posamezni prebivalci so omenili tudi manjšo gmotno škodo na hišah. V marsikaterem slovenskem kraju so opazovalci slišali ropotanje omar, škripanje sten in žvenketanje steklovine. Potres je spremljalo zamolklo bobnenje.

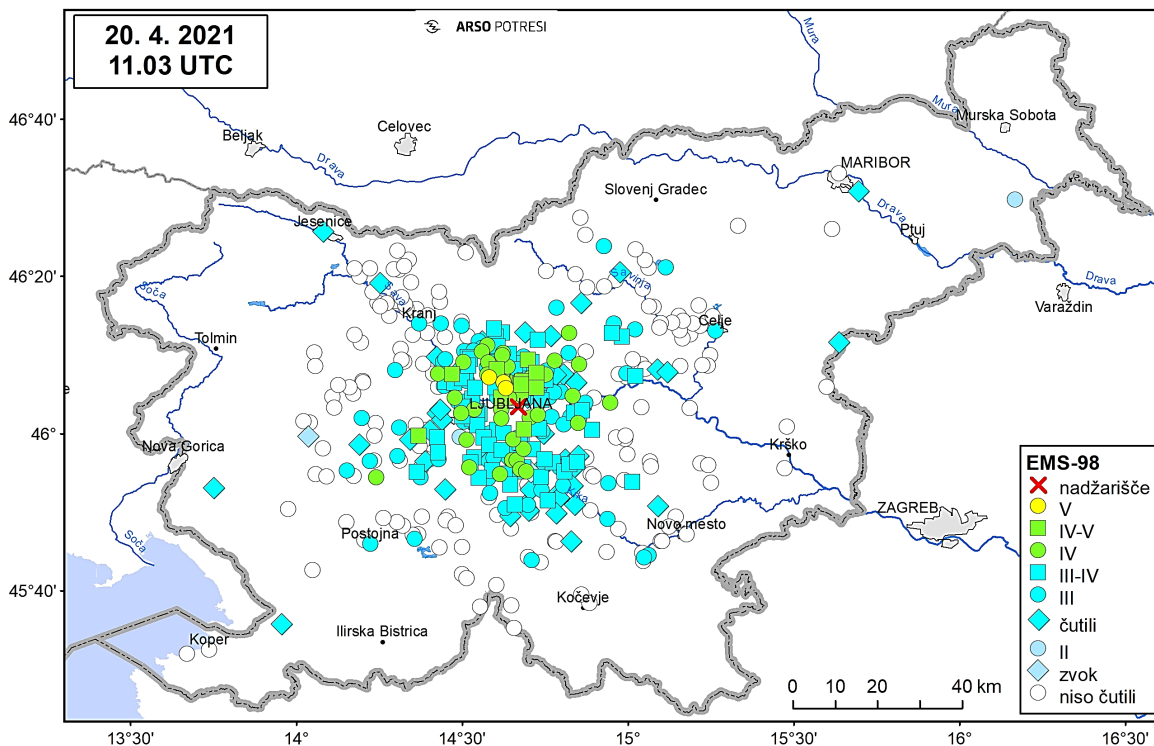


**Slika 5:** Intenziteta potresa magnitude 4,9 pri Petrinji, Hrvaška, 6. januarja 2021 ob 17.01 UTC v posameznih naseljih

**Figure 5:** Intensity of the earthquake near Petrinja, Croatia ( $M=4.9$ ) on 6 January 2021 at 17:01 UTC in individual settlements. Nadžarišče = epicentre; čutili = felt; niso čutili = not felt

### Potres 20. aprila 2021 ob 11.03 UTC pri Klečah pri Dolu (Dol pri Ljubljani) magnitude 3,0 (slika 6)

Potres, ki je 20. aprila ob 11.03 UTC (ob 13.03 po lokalnem času) stresel Osrednjeslovensko regijo, je imel žarišče blizu naselja Kleče pri Dolu, v občini Dol pri Ljubljani. Potres je imel najmočnejše učinke (V EMS-98) v naseljih Depala vas, Ihan in Selo pri Ihanu. Opazovalci, predvsem iz krajev bližje nadžarišču, so slišali močen pok, podoben eksploziji. Zažvenketala so okna, ponekod zanihale luči, zaškripano je pohištvo.

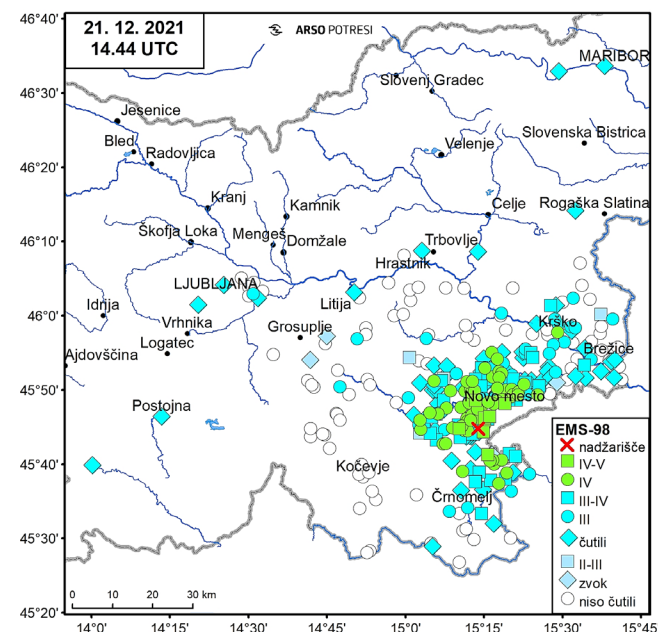


**Slika 6:** Intenziteta potresa magnitude 3,0 pri Klečah pri Dolu 20. aprila 2021 ob 11.03 UTC v posameznih naseljih

**Figure 6:** Intensity of the earthquake near Kleče pri Dolu ( $M_{LV}=3.0$ ) on 20 April 2021 at 11:03 UTC in individual settlements. Nadžarišče = epicentre; čutili = felt; niso čutili = not felt

**Potres 21. decembra 2021 ob 14.44 UTC pri Malem Cerovcu magnitude 3,1 (slika 7)**

Potres z žariščem na Dolenjskem blizu Novega mesta se je zgodil 21. decembra ob 14.44 UTC (ob 15.44 po lokalnem času). Čutilo ga je veliko prebivalcev vzhodne Slovenije. Potres je imel najmočnejše učinke (IV–V EMS-98) v sedmih naseljih: Gorenje Lakovnice, Igljenik, Petelinjek, Sela pri Zajčjem Vrhu, Cerov Log, Gabrje in Hrast pri Jugorju. Tudi ta potres sta spremljala značilen pok in bobnenje, podobno grmenju. Opazovalec iz Gornjih Lakovnic je pomislil, da se je zrušila skladovnica drv. Ponekod so se premaknili ali prevrnili manjši nestabilni predmeti.

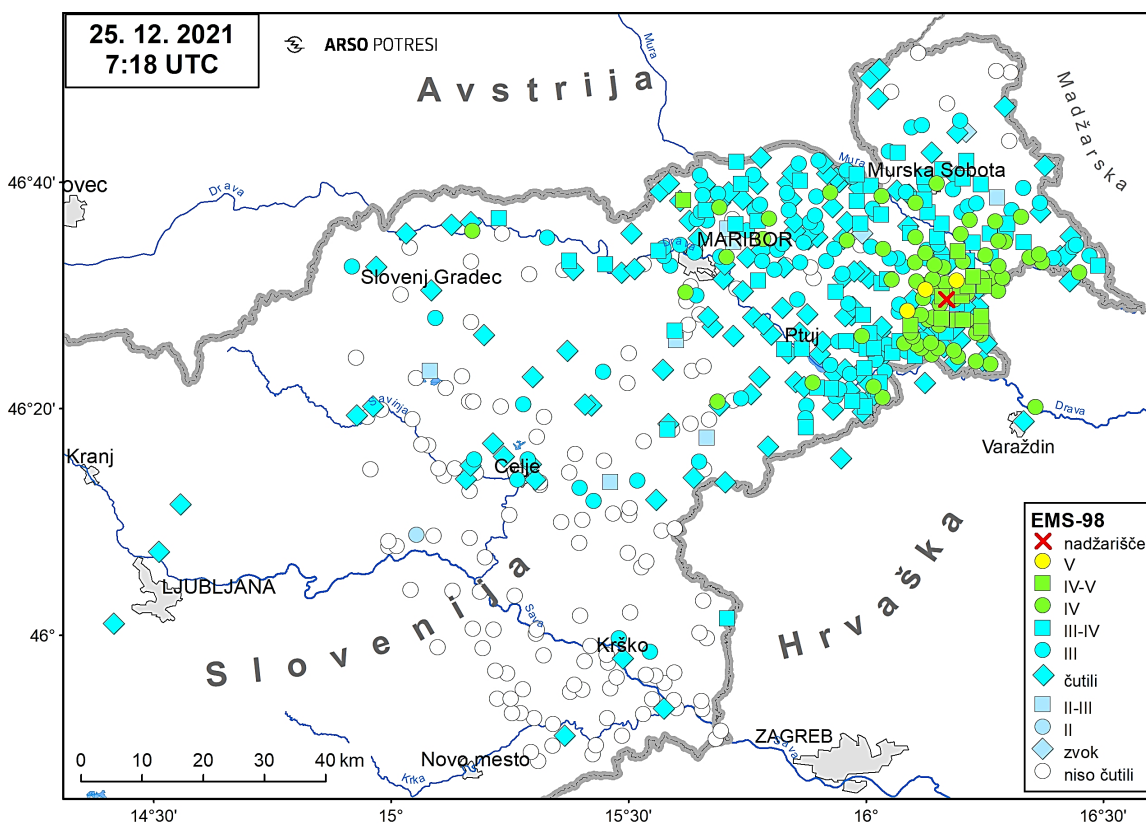


**Slika 7:** Intenziteta potresa magnitude 3,1 pri Malem Cerovcu 21. decembra 2021 ob 14.44 UTC v posameznih naseljih

**Figure 7:** Intensity of the earthquake near Mali Cerovec ( $M_{LV}=3.1$ ) on 21 December 2021 at 14:44 UTC in individual settlements. Nadžarišče = epicentre; čutili = felt; zvok = thunder; niso čutili = not felt

### Potres 25. decembra 2021 ob 7.18 UTC pri Mekotnjaku magnitude 3,2 (slika 8)

Potres, ki se je na božično jutro (ob 7.18 po UTC oziroma ob 8.18 po lokalnem času) zgodil v bližini Ljutomera, je, predvsem zaradi močnega bobnenja, prebudil in prestrašil prebivalce severovzhodne Slovenije. Ta potres je bil leta 2021 najmočnejši potres z žariščem v Sloveniji. Najmočneje so ga čutili v treh naseljih: Hranjigovci, Ljutomer in Stara Cesta, kjer je imel intenziteto V EMS-98. Tekočina v posodah in v posameznih bazenih je vzvalovila, ponekod so manjši nestabilni predmeti in knjige popadali s polic, nekateri prebivalci so poročali tudi o manjši gmotni škodi na hišah. Posamezni opazovalci so primerjali izkušnjo tega potresa in dveh močnih hrvaških iz leta 2020 in opisovali, da je bilo tokrat gibanje tal pod nogami bolj navpično, medtem ko je pri bolj oddaljenih potresih prevladovalo vodoravno valovanje tal. Potres je spremljalo izrazito in močno bobnenje, ki je prestrašilo veliko prebivalcev tudi v krajih, v katerih je bilo tresenje tal manj opazno.



**Slika 8:** Intenziteta potresa magnitude 3,2 pri Mekotnjaku 25. decembra 2021 ob 7.18 UTC v posameznih naseljih

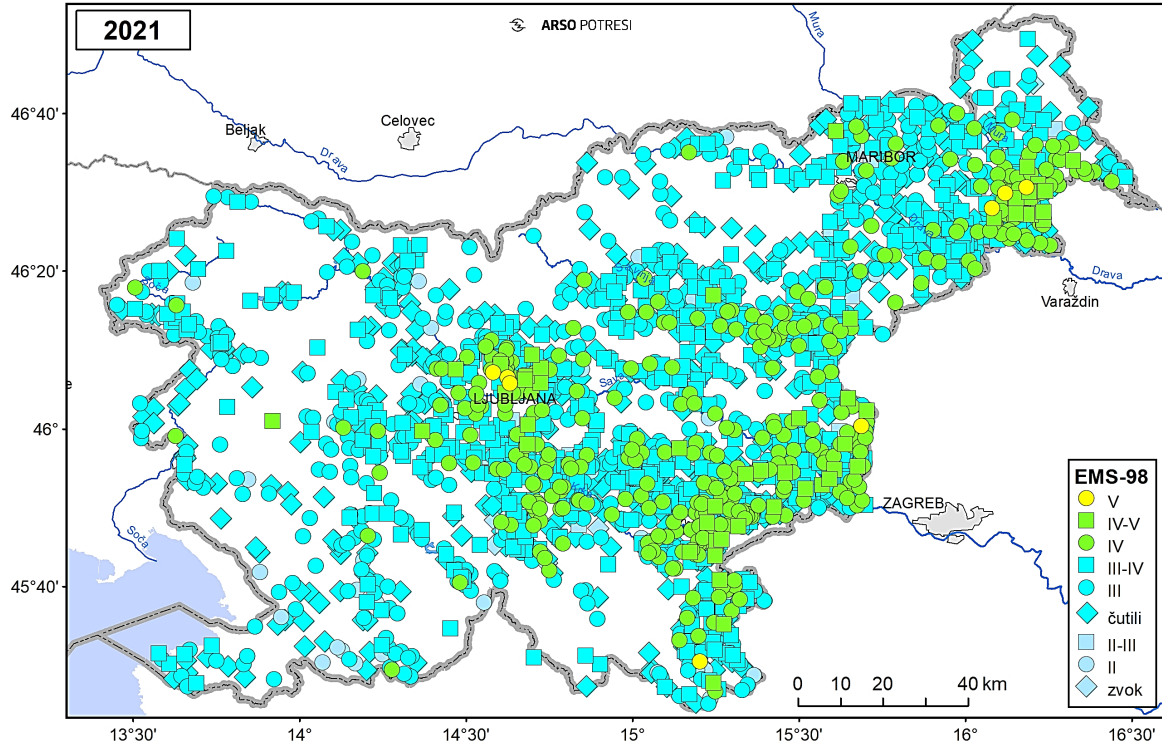
**Figure 8:** Intensity of the earthquake near Mekotnjak ( $M_{LV}=3.2$ ) on 25 December 2021 at 7:18 UTC in individual settlements. Nadžarišče = epicentre; čutili = felt; zvok = thunder; niso čutili = not felt

### Sklepne misli

Leta 2021 se je v Sloveniji ali njeni bližnji okolici zgodilo 1850 potresov. Dvaintrideset potresov je imelo lokalno magnitudo med 2,0 in 2,9, trije pa so imeli magnitudo 3,0 ali več. Večina potresov (96 odstotkov) je imela lokalno magnitudo manjšo od 1,7. Vsi potresi v Sloveniji in bližnji okolici so imeli žarišča do globine 24 km (sliki 2 in 4).

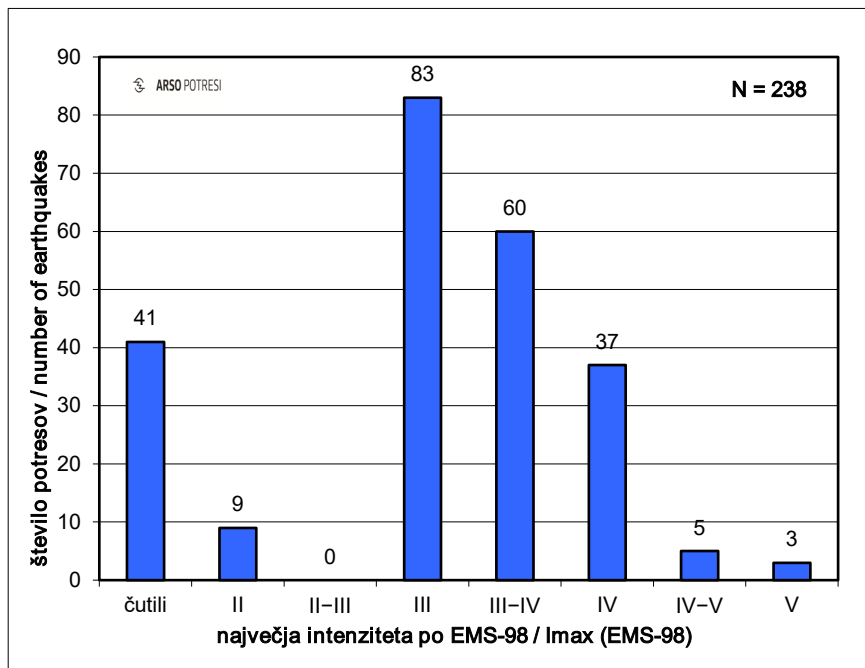
V Sloveniji so leta 2021 prebivalci čutili vsaj 238 potresov (sliki 4 in 10). Trije potresi so dosegli intenziteto V EMS-98, pet pa intenziteto IV–V EMS-98. Za preostale potrese (230)

leta 2021 smo uporabili samodejno ocenjeno intenziteto: 37 potresov je imelo največjo intenziteto IV EMS-98, 60 jih je imelo intenziteto III–IV EMS-98, 83 potresov intenziteto III EMS-98 in 9 intenziteto II EMS-98. Za 41 potresov nismo prejeli dovolj informacij o učinkih, zato jim ni bilo mogoče določiti intenzitete po evropski potresni lestvici. Intenziteta je pri teh potresih ocenjena samo opisno, in sicer z oznako »čutili« (slika 10).



**Slika 9:** Največja intenziteta ocenjena v posameznem naselju v Sloveniji izmed vseh potresov v letu 2021

**Figure 9:** Overall map of the maximum intensity in individual settlements of all the earthquakes felt by the inhabitants of Slovenia in 2021. Čutili = felt; zvok = thunder



**Slika 10:** Porazdelitev potresov v Sloveniji leta 2021 po največji doseženi EMS-98 intenziteti

**Figure 10:** Distribution of the earthquakes in Slovenia in 2021 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 CE<sup>3</sup>RN (2021) in v arhivu seizmičnih zapisov pri ORFEUS (2021). Pri lociranju potresov smo uporabili tudi zapise, zabeležene na opazovalnicah SLO Karst NFO mreže (Šebela in drugi 2023), postavljene v okviru projekta RI-SI-EPOS (RI-SI-EPOS, 2023).

Sliki 1 in 4 smo izdelali s programom GMT (Wessel in Smith, 1991, 1998).

## Viri in literatura

- ARSO, 2022. Letni seizmološki bilteni, 2000–2021. Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana.
- Birko, D., Cecić, I., Čarman, M., Jerše Sharma, A., Jesenko, T., Šket Motnikar, B., Zupančič, P., Živčič, M., 2023. Potres 29. decembra 2020 pri Petrinji na Hrvaškem. Potresi v letu 2020, Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana. ISSN 1318-4792.
- CE<sup>3</sup>RN, 2021. The Central and Eastern European Earthquake Research Network - CE3RN, 2021. <http://www.ce3rn.eu/> (3. 7. 2023).
- GEOF-PMF, 2022. Data reports (online). Geofizički odsjek Prirodoslovno-Matematičnog Fakulteta, Zagreb, Hrvaška. [http://www.pmf.unizg.hr/geof/seizmoloska\\_sluzba/seizmoloski\\_bilteni](http://www.pmf.unizg.hr/geof/seizmoloska_sluzba/seizmoloski_bilteni) (2. 8. 2023).
- Google Maps, 2022. <http://www.google.com/maps>
- 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.
- Jerše Sharma, A., Jesenko, T., Šket Motnikar, B., Cecić, I., Živčič, M., 2021. Potresi v Sloveniji leta 2020. Ujma 34–35, 115–127. ISSN 0353-085X.
- Jesenko, T., 2021. Najmočnejši potresi po svetu v letih 2019 in 2020. Ujma 34–35, 217–226. ISSN 1318-4792.
- Lienert, B. R., Berg, E., Frazer, L. N., 1988. HYPOCENTER: An earthquake location method using centered, scaled, and adaptively least squares. Bull. Seism. Soc. Am., 76, 771–783.
- Lienert, B. R., 1994. HYPOCENTER 3.2 – A Computer Program for Locating Earthquakes Locally, Regionally and Globally. Hawaii Institute of Geophysics & Planetology, Honolulu, 70 str.
- Michellini, A., Živčič, M., Suhadolc, P., 1998. Simultaneous inversion for velocity structure and hypocenters in Slovenia. Journal of Seismology, 2(3), 257–265.

- OGS (Osservatorio Geofisico Sperimentale), 2022. Bolletino della Rete Sismometrica del Friuli Venezia Giulia. OGS, Centro ricerche sismologiche, Udine.
- ORFEUS, 2021. Observatories & Research Facilities for European Seismology. <http://www.orfeus-eu.org/data/eida/> (3. 7. 2023).
- Poljak, M., Živčič, M., Zupančič, P., 2000. The Seismotectonic Characteristics of Slovenia. *Pure appl. Geophys.*, vol. 1, 57, 37–55.
- RI-SI-EPOS, 2023. <http://epos-ip.zrc-sazu.si/ri-si-epos/> (3. 7. 2023).
- 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).
- Tasič, I., 2023. Potresne opazovalnice v Sloveniji v letu 2021, Potresi v letu 2021, 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.
- 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. str.
- ZAMG, 2021–2022. 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.

## Kazalo



Milka Ložar Stopar, Mladen Živčić

## Žariščni mehanizmi močnejših potresov v Sloveniji leta 2021

### Fault Plane Solutions of Earthquakes in Slovenia in 2021

#### Povzetek

Močnejšim potresom, ki so se leta 2021 zgodili v Sloveniji, smo s seizmogramov odčitali smeri prvih premikov ob vstopu vzdolžnega (longitudinalnega) valovanja. Pri desetih potresih smo zbrali zadostno število podatkov za določitev žariščnega mehanizma. Lokalna magnituda ( $M_{LV}$ ) obravnavanih potresov je v razponu od 2,0 do 3,2. Njihov žariščni mehanizem največkrat kaže na kombinacijo znika in nariva.

#### Abstract

The first onsets of the arrivals of the longitudinal waves were picked on the seismograms of selected earthquakes in Slovenia in 2021. For 10 events with local magnitude ( $M_{LV}$ ) ranging from 2.0 to 3.2 we had sufficient data to determine fault plane solutions. Focal mechanisms are found to be mostly of transpressive type.

#### Uvod

Z žariščnim mehanizmom opišemo izvor potresnega valovanja. Uporabljali smo postopek (Snoke in drugi, 1984), s katerim določimo žariščni mehanizem potresa iz smeri prvega premika vzdolžnega potresnega valovanja na lokaciji potresne opazovalnice. 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

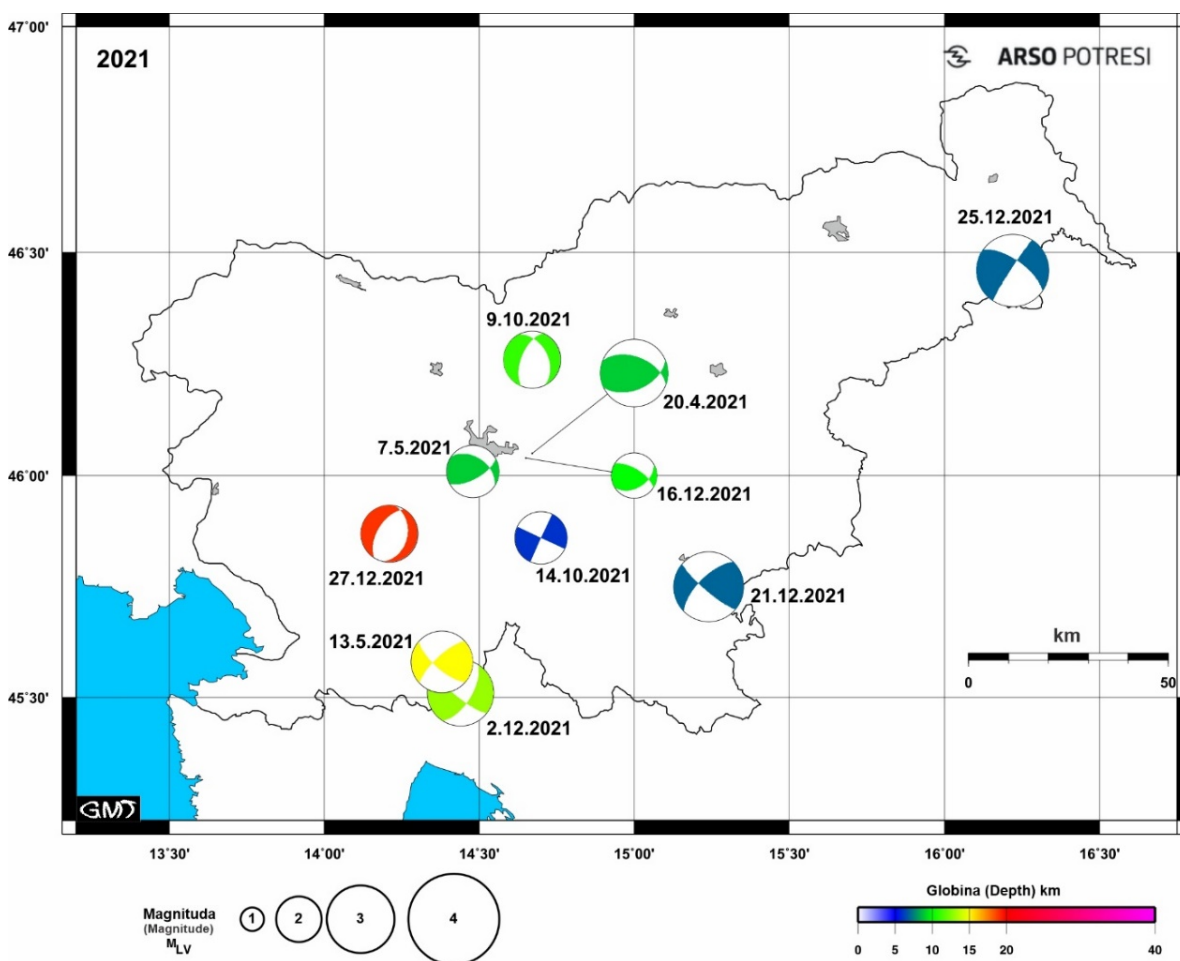
V prispevku podajamo parametre žariščnih mehanizmov za potrese, ki so se v letu 2021 zgodili v Sloveniji ali njeni neposredni bližini. Če želimo določiti žariščni mehanizem, potrebujemo zadostno število seizmogramov, s katerih lahko na navpični komponenti zapisa posamezne opazovalnice odčitamo smer vstopa 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 2021 smo parametre žariščnega mehanizma uspeli določiti desetim potresom. Lokalna magnituda ( $M_{LV}$ ) vseh potresov je v razponu od 2,0 do 3,2. Število seizmogramov, na katerih je bila smer premika jasno določljiva, je od potresa do potresa različno. Potres z največjo magnitudo,  $M_{LV} = 3,2$ , se je zgodil 25. decembra 2021 v bližini Ljutomera. Smer vstopnega valovanja smo pri tem potresu določili na seizmogramih enaindevetdesetih opazovalnic. Za najšibkejši potres, z magnitudo  $M_{LV} = 2,0$ , ki se je zgodil 16. decembra v okolici Ljubljane, smo odčitali petindvajset vstopov. Najmanj kompresij in dilatacij smo določili potresu magnitude  $M_{LV} = 2,7$ , ki se je zgodil 13. maja pod Snežnikom. Temu potresu je bilo določenih dvaindvajset smeri vstopov valovanja na opazovalnico.

Za vse potrese so bili poleg seizmogramov državne in dopolnilne mreže potresnih opazovalnic (ARSO, 2022) pregledani tudi seizmogrami, ki so dostopni v evropskem arhivu seizmičnih zapisov (ORFEUS, 2022) ter seizmogrami SLO Karst NFO mreže (Šebela in drugi, 2023)

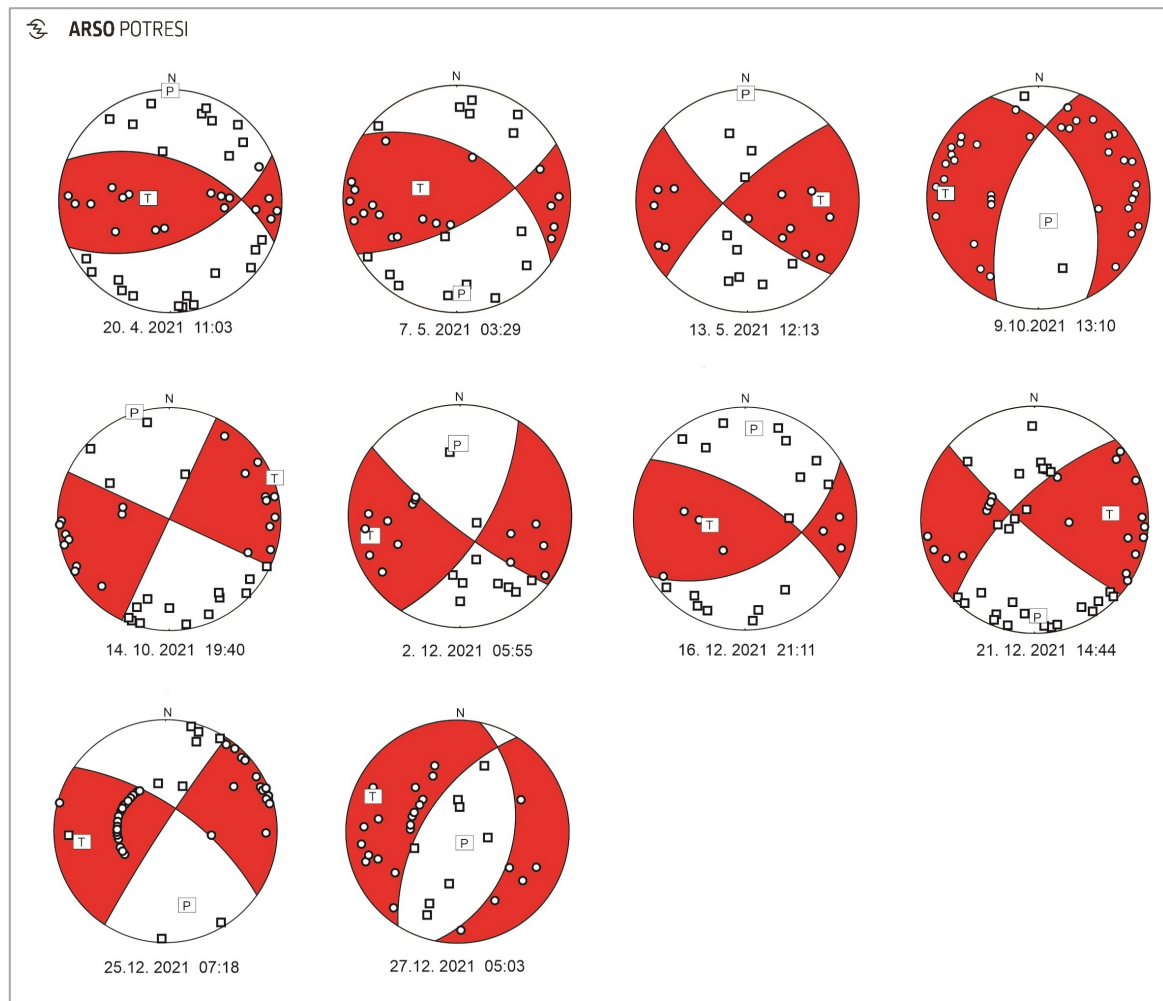
v okviru raziskovalnega projekta RI-SI-EPOS (RI-SI-EPOS, 2023). Pri večini obravnavanih potresov smo uporabili tudi seizmogramе začasne mednarodne mreže opazovalnic Alparray (AlpArray Seismic Network, 2015). Najbolj oddaljena opazovalnica Miltenberg, pri kateri smo še uspeli odčitati prvi premik vstopnega valovanja najmočnejšega potresa, ima mednarodno oznako MILB (GRSN, 2022). Je del nemške seizmološke mreže. Nameščena je v bližini Frankfurta in je od nadžarišča potresa pri Ljutomeru oddaljena 630 km.

Parametri žariščnih mehanizmov vseh potresov so zbrani v preglednici 1, njihova geografska lega je prikazana na sliki 1. Rešitve prelomnih ravnin z relativno lego potresnih opazovalnic in odčitano smerjo vstopa vzdolžnega valovanja so predstavljene na sliki 2. Na vseh slikah so žariščni mehanizmi izrisani s stereografsko projekcijo geometrije prelomne ravnine na spodnjo poloblo.



**Slika 1.** Lokacije desetih močnejših potresov z žariščnimi mehanizmi na ozemlju Slovenije v letu 2021. Obarvani kvadranti predstavljajo zgoščine, beli kvadranti razredčine, barvažariščno globino in velikost vrednost lokalne magnitude ( $M_{LV}$ ).

**Figure 1.** Locations and fault plane solutions of ten earthquakes with epicentres in Slovenia in 2021. Coloured quadrants represent compression, white quadrants dilatation, colour focal depth, and size local magnitude ( $M_{LV}$ ).



**Slika 2.** Žariščni mehanizmi desetih močnejših potresov na ozemlju Slovenije leta 2021. 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 ten selected earthquakes in Slovenia in 2021. 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 najboljše opišejo različne kombinacije zmičnih, reverzних ali normalnih premikov ob prelomnih ploskvah. Tako je bila na primer za potresa pri Jelšanah (13. 5. in 2. 12.) in Ljutomeru (25. 12.) poleg zmične šibko izražen tudi normalna komponenta. Glede na odčitane vstope smo potresu 27. decembra pri Logatcu glede na odčitane vstope določili za Slovenijo neznačilen normalni žariščni mehanizem. Izključno zmično komponento premika smo določili za potres pri Velikih Laščah (14. 10.). 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 2021 niso imele rešitev žariščnih mehanizmov.

**Preglednica 1.** Parametri žariščnih mehanizmov obravnavanih potresov na ozemlju Slovenije v letu 2021. Smer je merjena od severa proti vzhodu, tako da je prelomna ploskev nagnjena v desno, naklon prelomne ploskve je merjen od vodoravne ravnine, smer premika na prelomu je merjena v od smeri preloma (Aki in Richards, 2002).  $P$  je os največje in  $T$  os najmanjše napetosti.  $N_p$  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, N: normalni prelom, N-SS: normalno zmični prelom, SS-N: zmično normalni prelom in R: reverzni prelom.

**Table 1.** Focal mechanism solutions of the selected earthquakes with epicentres in Slovenia in 2021. 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; N: Normal; N-SS: Normal - Strike-slip; SS-N: Strike-slip - Normal; R: Reverse.

datum		date		20. 4. 2021	7. 5. 2021	13. 5. 2021	9. 10. 2021	14. 10. 2021	2. 12. 2021	16. 12. 2021	21. 12. 2021	25. 12. 2021	27. 12. 2021
čas (UTC)	hh.mm	time (UTC)	hh.mm	11.03	3.29	12.13	13.1	19.4	5.55	21.11	14.44	7.18	5.03
širina	°N	lat.	°N	46,05	46,01	45,58	46,26	45,86	45,51	46,04	45,75	46,46	45,87
dolžina	°E	long.	°E	14,67	14,48	14,38	14,67	14,70	14,44	14,65	15,24	16,22	14,21
globina	km	depth	km	9	9	15	11	6	13	10	7	7	19
$M_{LV}$		$M_{LV}$		3,0	2,3	2,7	2,5	2,3	2,9	2,0	3,1	3,2	2,5
ravnina 1	smer	nodal plane 1	strike	66	61	227	202	25	32	59	225	213	212
	naklon		dip	50	66	74	59	90	63	45	67	86	56
	premik		rake	57	51	20	-59	0	-14	36	11	-24	-78
ravnina 2	smer	nodal plane 2	strike	291	304	131	333	295	128	302	131	305	333
	naklon		dip	50	45	71	43	90	78	65	80	66	43
	premik		rake	123	145	163	-131	-180	-152	129	157	-176	-107
P	smer	P	azimuth	359	178	359	163	340	353	5	180	166	158
	naklon		plunge	0	12	2	62	0	28	12	8	20	76
T	smer	T	azimuth	269	285	90	270	70	258	259	86	261	293
	naklon		plunge	65	52	25	2	0	10	53	23	14	10
$N_p$	število vstopov	$N_p$	all polarities	41	35	22	38	37	23	25	48	91	35
$N_{np}$	neskladni vstopi	$N_{np}$	Inconsistent polarities	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0
tip žariščnega mehanizma		rupture type		R-SS	R-SS	SS-R	N-SS	SS	SS-N	R-SS	SS-R	SS-N	N

## 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 CE<sup>3</sup>RN (2021) in v arhivu seizmičnih zapisov pri ORFEUS (2021). Uporabili smo seizmogramе tudi iz SLO Karst NFO mreže (Šebela in drugi, 2023), ki je del raziskovalnega projekta RI-SI-EPOS (RI-SI-EPOS, 2023) inčasne mednarodne mreže opazovalnic Alpararray (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](https://doi.org/10.12686/ALPARRAY/Z3_2015) (17. 5. 2022).
- 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, 2022. Arhiv seizmičnih zapisov, leto 2021. Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana.
- GRSN, 2022. Federal Institute for Geosciences and Natural Resources. German Regional Seismic Network (GRSN). Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe. <https://doi.org/10.25928/mbx6-hr74> (7. 1. 2023).
- CE<sup>3</sup>RN, 2021. The Central and Eastern European Earthquake Research Network - CE<sup>3</sup>RN. <https://epos-ip.zrc-sazu.si/ri-si-epos/> (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, 2022. Observatories & Research Facilities for European Seismology. <https://www.orfeus-eu.org/data/eida/> (17. 5. 2022).
- RI-SI-EPOS, 2023. <https://epos-ip.zrc-sazu.si/ri-si-epos/> (3. 7. 2023).
- 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. str.

**Kazalo**

Tamara Jesenko

## Najmočnejši potresi po svetu leta 2021

### The World's Largest Earthquakes in 2021

#### Povzetek

Leta 2021 je bilo po svetu 45 potresov, ki so dosegli ali presegli navorno magnitudo ( $M_w$ ) 6,5. Trije potresi so imeli navorno magnitudo večjo ali enako 8,0, šestnajst pa jih je imelo magnitudo med 7,0 in 7,9. Vsaj 24 potresov je zahtevalo človeška življenja, skupaj je bilo vsaj 2471 žrtev. Najmočnejši potres z navorno magnitudo 8,2 je nastal 29. julija v bližini Aljaske v globini 35 kilometrov. Največ žrtev, vsaj 2248, je zahteval potres, ki se je zgodil 14. avgusta na Haitiju z magnitudo 7,2. Močen potres je 12. oktobra stresel tudi grški otok Kreta, z navorno magnitudo 6,4 pa je bil to najmočnejši potres tega leta v Evropi.

#### Abstract

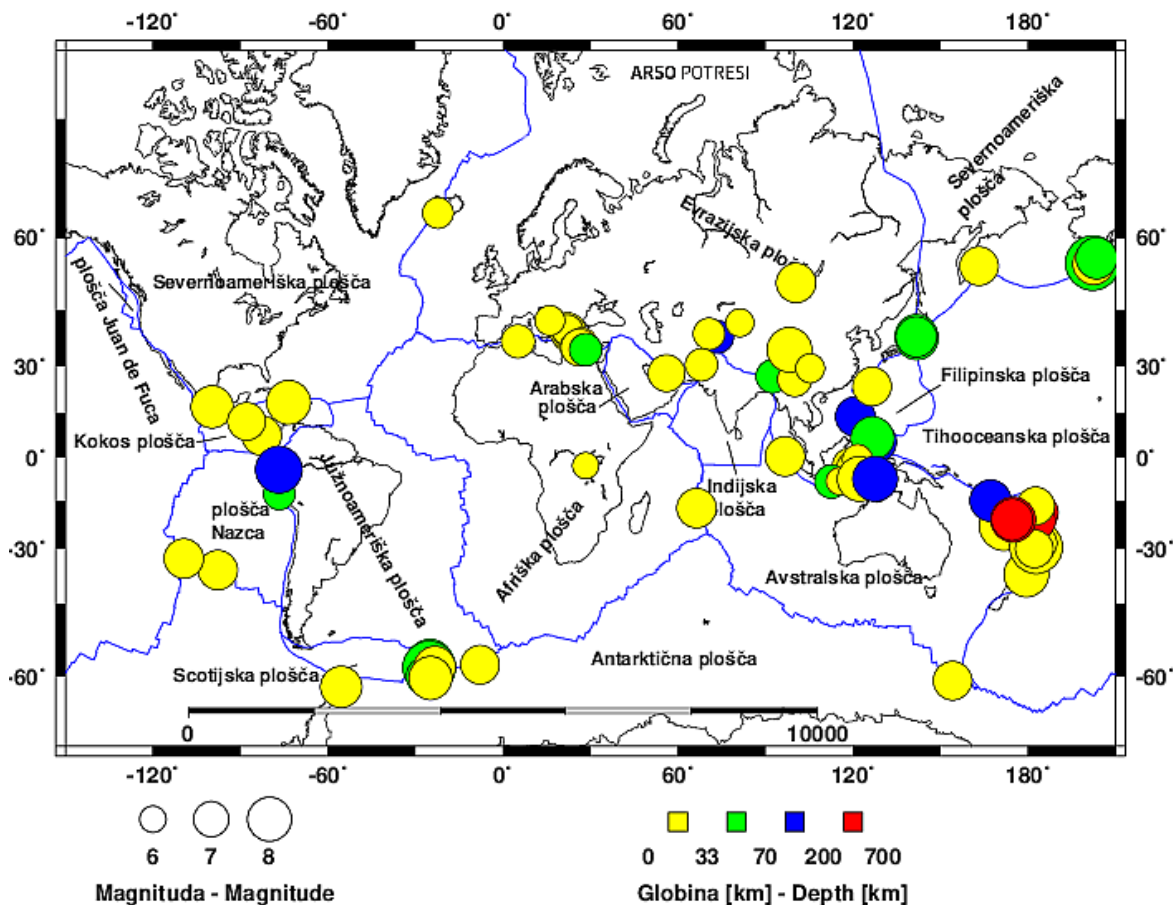
In 2021 there were 45 earthquakes across the world with moment magnitude ( $M_w$ ) greater than or equal to 6.5. Three earthquakes had a moment magnitude greater than or equal to 8.0, and sixteen in the range between 7.0 and 7.9. At least 24 earthquakes claimed human lives; in total there were at least 2471 victims. The 29 July 2021 earthquake near Alaska ranked highest in terms of released energy, with a moment magnitude of 8.2. The most devastating earthquake, with at least 2248 victims, occurred on 14 August 2021 on Haiti, with a moment magnitude of 7.2. The strongest earthquake in Europe, with a moment magnitude of 6.4, struck the Greek island of Crete on 12 October 2021.

#### Uvod

Potresi so posledica nenadnega premika dveh tektonskih blokov. 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 ter veliko drugih lastnostih. V osnovi jo lahko razdelimo na skorjo, plašč (zgornji, spodnji) in jedro (zunanje, notranje). Zemljina trdna lupina, imenovana litosfera, 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) (Lapajne, 2013; Struktura Zemlje, 2022).

Potresi nastajajo predvsem na stikih in v bližini stikov plošč. Površino, ob kateri je prišlo do premika tektonskih blokov, imenujemo prelomna ploskev. Žarišče potresa je točka, v kateri se je sevanje seizmičnega valovanja začelo, nadžarišče pa mesto na Zemljinem površju navpično nad žariščem (Lapajne, 2013). Čeprav se v povprečju vsak dan po svetu zgodi več sto potresov (IRIS, 2023), je večina šibka in zabeležena le instrumentalno. Med njimi je vsako leto nekaj takih, ki vzbudijo več pozornosti. Na sliki 1 so prikazani potresi, ki so leta 2021 dosegli ali presegli navorno magnitudo 6,5 oziroma 5,5 za sredozemsko območje, in šibkejši, ki so zahtevali človeška življenja. Navorna magnituda je mera za velikost potresa, ki velja tudi za najmočnejše potrese in je določena s potresnim navorom. Ta je zmnožek strižnega modula kamnine prelomnega območja, površine potresnega pretrga in povprečne velikosti

zdrsa vzdolž preloma. Lahko ga izračunamo iz zapisov potresnega valovanja ali geoloških opazovanj (Lapajne, 2013). Na sliki 1 so označene tudi večje tektonske plošče, za svetovno potresno aktivnost pa so pomembne še številne manjše.



**Slika 1:** Porazdelitev najmočnejših potresov leta 2021. Velikost krogov kaže potresno magnitudo, barva pa žariščno globino. Prikazane so glavne tektonske plošče.

**Figure 1:** Distribution of the strongest earthquakes in 2021. The size of the circle indicates the magnitude, and the colour designates the focal depth. The main tectonic plates are also shown.

## Pregled najmočnejših potresov

V preglednici 1 so podatki o najmočnejših potresih, ki so zaznamovali leto 2021 (NEIC, 2023a; NEIC, 2023b; List of earthquakes in 2021, 2023). Za vsak potres so navedeni datum (mesec, dan), žariščni čas po svetovnem času oziroma Coordinated Universal Time – UTC (ura, minuta), koordinati nadžarišča (zemljepisna širina  $^{\circ}$ , zemljepisna dolžina  $^{\circ}$ ), globina žarišča (km) in navorna magnituda (Mw). V stolpcu o številu žrtev je navedeno skupno število žrtev za posamezni potres. Preglednica se konča z navedbo širšega nadžariščnega območja potresa.

Leta 2021 je bilo 45 potresov, ki so dosegli ali preseгли navorno magnitudo 6,5. Trije potresi so imeli navorno magnitudo vsaj 8,0, kar je precej več od dolgoletnega povprečja, 16 pa jih je bilo z magnitudo med 7,0 in 7,9. Od leta 1990 do 2021 se je v povprečju vsako leto zgodil en potres z magnitudo vsaj 8,0, 14 pa jih je imelo magnitudo med 7,0 in 7,9 (slika 2; NEIC, 2023c), kar pomeni, da jih je bilo malo več od dolgoletnega povprečja. Potresov, ki so zahtevali življenja, je bilo 24. Skupaj je zaradi vseh potresov leta 2021 umrlo vsaj 2471 ljudi.

**Preglednica 1:** Seznam potresov leta 2021, katerih navorna magnituda  $M_w$  je bila enaka ali večja od 6,5 oziroma 5,5 za sredozemsko območje. Dodani so potresi (15) z manjšo magnitudo, ki so zahtevali smrtno žrtve.

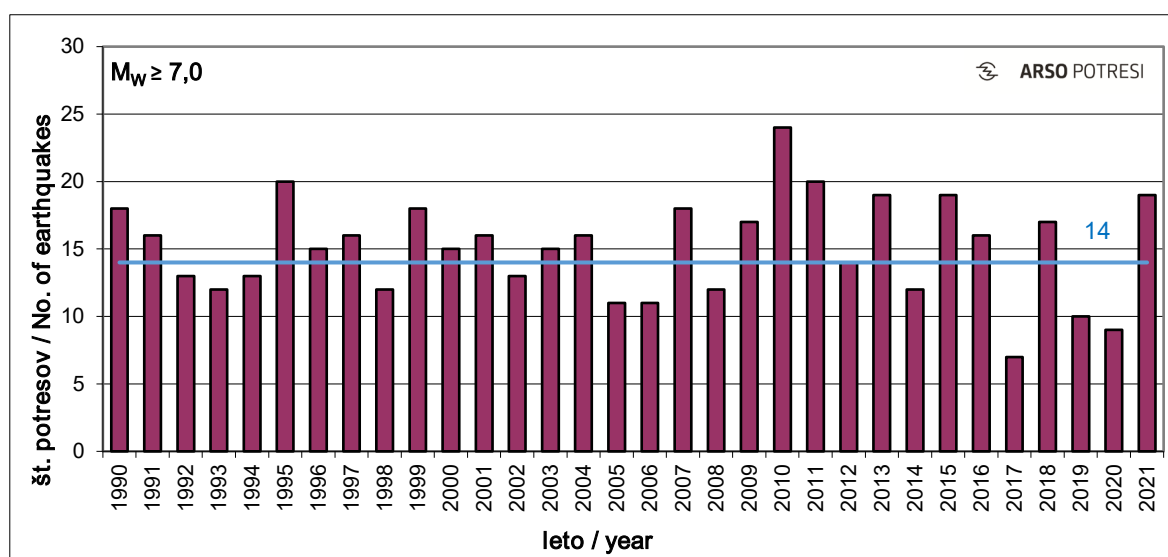
**Table 1:** List of the earthquakes in 2021 with a moment magnitude ( $M_w$ ) equal to or greater than 6.5 (5.5 for the European-Mediterranean region). Earthquakes with magnitudes below 6.5 (5.5) which claimed human lives are also included. J = South; S = North; Z = West; V = East

datum	čas (UTC)	koordinati nadžarišča		magnituda	globina	št. žrtev	potresno območje
	ura.min	zem. šir. (°)	zem. dolž. (°)				
date	time (UTC)	epicentral coordinates		magnitude	depth	no. of victims	area
	h.min	lat (°)	lon (°)				
11. 1.	21.32	51,28 S	100,44 V	6,7	10		Turt, Mongolija
14. 1.	18.28	2,97 J	118,89 V	6,2	18	108	Zahodni Sulavezi, Indonezija
21. 1.	12.23	4,99 S	127,52 V	7,0	80		pod morskim dnom, Filipini
23. 1.	23.36	61,81 J	55,50 Z	6,9	15		pod morskim dnom, Južni Shetlandski otoki
3. 2.	5.23	36,28 J	97,80 Z	6,7	10		pod morskim dnom, zahodni Čilski jarek
3. 2.	8.25	3,00 J	118,93 V	4,9	10	1	Zahodni Sulavezi, Indonezija
10. 2.	13.19	23,05 J	171,66 V	7,7	10		pod morskim dnom, vzhodno od Nove Kaledonije
12. 2.	17.01	38,14 S	73,55 V	5,9	94	1	Murghab, Tadžikistan
13. 2.	14.07	37,73 S	141,77 V	7,1	44	1	pod morskim dnom, Japonska
17. 2.	3.36	38,41 S	22,02 V	5,5	5		Kamárai, Grčija
24. 2.	10.05	63,95 S	22,29 Z	5,6	10		Islandija
3. 3.	10.16	39,76 S	22,18 V	6,3	8	1	Tirnavos, Grčija
4. 3.	13.27	37,48 J	179,46 V	7,3	10		pod morskim dnom, Nova Zelandija
4. 3.	17.41	29,68 J	177,84 Z	7,4	43		pod morskim dnom, otoki Kermadec
4. 3.	18.38	39,79 S	22,12 V	5,8	10		Potamia, Grčija
4. 3.	19.28	29,72 J	177,28 Z	8,1	29		pod morskim dnom, otoki Kermadec
4. 3.	23.13	28,50 J	176,66 Z	6,5	24		pod morskim dnom, otoki Kermadec
12. 3.	12.57	39,88 S	22,09 V	5,6	7		Elassona, Grčija
16. 3.	18.38	54,74 S	163,18 V	6,6	13		pod morskim dnom, Kamčatka, Rusija
18. 3.	0.04	36,92 S	5,20 V	6,0	8		pod Sredozemskim morjem, ob obali Ažirije
20. 3.	9.09	38,46 S	141,65 V	7,0	43		pod morskim dnom, Japonska
23. 3.	21.14	41,82 S	81,16 V	5,3	10	3	Aksu, Sinkiang, Kitajska
27. 3.	13.47	42,44 S	16,07 V	5,5	10		pod Jadranskim morjem, v bližini Palagruže, Hrvaška
3. 4.	1.16	58,01 J	7,84 Z	6,6	10		pod morskim dnom, vzhodno od Južnih Sandwichevih otokov
10. 4.	7.00	8,55 J	112,52 V	6,0	67	10	pod morskim dnom, ob obali Jave
24. 4.	0.23	18,88 J	176,25 Z	6,5	301		pod morskim dnom, Tonga
25. 4.	22.28	21,61 J	177,15 Z	6,5	246		pod morskim dnom, Tonga
28. 4.	2.21	26,78 S	92,44 V	6,0	34	2	Hugrajuli Gaon, Asam, Indija
1. 5.	1.27	38,20 S	141,60 V	6,8	43		pod morskim dnom, Japonska



datum	čas (UTC)	koordinati nadžarišča		magnituda	globina	št. žrtev	potresno območje
	ura.min	zem. šir. (°)	zem. dolž. (°)				
date	time (UTC)	epicentral coordinates		magnitude	depth	no. of victims	area
	h.min	lat (°)	lon (°)				
12. 5.	14.05	17,39 J	66,31 V	6,7	10		pod morskim dnom, Mauritius
14. 5.	6.33	0,14 S	96,64 V	6,7	11		pod morskim dnom, Indonezija
19. 5.	0.42	33,07 J	109,40 Z	6,7	10		pod morskim dnom, južni Vzhodni tihooceanski hrbet
21. 5.	13.48	25,74 S	100,02 V	6,1	9	3	Dali, Kitajska
21. 5.	18.04	34,59 S	98,24 V	7,3	10	20	Qinghai, Kitajska
21. 5.	22.13	16,60 J	177,37 Z	6,5	10		pod morskim dnom, severovzhodno od Fidžija
10. 6.	8.54	3,10 J	28,28 V	5,0	10	2	Demokratska republika Kongo
20. 6.	17.05	30,22 J	177,85 Z	6,5	25		pod morskim dnom, otočje Kerma- dec
23. 6.	2.54	12,71 J	76,72 Z	5,8	49	1	pod morskim dnom, v bližini mesta Mala, Peru
10. 7.	2.14	38,92 S	70,55 V	5,7	13	5	Rasht, Tadžikistan
21. 7.	21.15	7,39 S	82,78 Z	6,7	10		pod morskim dnom, ob obali Pa- name
23. 7.	20.48	13,70 S	120,74 V	6,7	110		pod morskim dnom, Filipini
29. 7.	6.15	55,36 S	157,88 Z	8,2	35		pod morskim dnom, ob obali Aljaske
1. 8.	4.31	36,40 S	27,01 V	5,6	10		pod morskim dnom, južno od otoka Kos, Grčija
11. 8.	17.46	6,48 S	126,72 V	7,1	55	1	pod morskim dnom, Filipini
12. 8.	18.32	57,57 J	25,03 Z	7,5	47		pod morskim dnom, Južni Sandwi- chevi otoki
12. 8.	18.35	58,45 J	25,32 Z	8,1	56		pod morskim dnom, Južni Sandwi- chevi otoki
12. 8.	18.36	59,98 J	26,43 Z	6,7	35		pod morskim dnom, Južni Sandwi- chevi otoki
14. 8.	11.57	55,17 S	157,65 Z	6,9	21		pod morskim dnom, Aljaska
14. 8.	12.29	18,42 S	73,48 Z	7,2	10	2248	Petit-Trou-de-Nippes, Haiti
16. 8.	11.10	58,37 J	23,36 Z	6,9	17		pod morskim dnom, Južni Sandwi- chevi otoki
18. 8.	10.10	14,88 J	167,06 V	6,9	93		pod morskim dnom, Vanuatu
22. 8.	0.45	60,14 J	24,24 Z	6,6	11		pod morskim dnom, Južni Sandwi- chevi otoki
22. 8.	21.33	60,29 J	24,88 Z	7,1	14		pod morskim dnom, Južni Sandwi- chevi otoki
26. 8.	2.14	0,85 J	121,52 V	5,5	8	1	pod morskim dnom, Indonezija
8. 9.	1.47	16,97 S	99,74 Z	7,0	20	13	Acapulco, Mehika
15. 9.	20.33	29,19 S	105,37 V	5,4	8	3	Luzhou, Sečuan, Kitajska
22. 9.	9.57	12,14 S	87,87 Z	6,5	21		pod morskim dnom, blizu zahodne obale Nikaragve
27. 9.	6.17	35,25 S	25,26 V	6,0	9	1	Episkopi, Kreta, Grčija
2. 10.	6.29	21,13 J	174,89 V	7,3	527		pod morskim dnom, Vanuatu
6. 10.	22.01	30,19 S	67,99 V	5,9	9	27	Beludžistan, Pakistan
9. 10.	10.58	21,19 J	174,52 V	6,9	535		pod morskim dnom, Vanuatu

datum	čas (UTC)	koordinati nadžarišča		magnituda	globina	št. žrtev	potresno območje
	ura.min	zem. šir. (°)	zem. dolž. (°)	M <sub>w</sub>	km		
date	time (UTC)	epicentral coordinates		magnitude	depth	no. of victims	area
	h.min	lat (°)	lon (°)	M <sub>w</sub>	km		
11. 10.	9.10	56,26 S	156,55 Z	6,9	52		pod morskim dnom, ob obali Aljaske
12. 10.	9.24	35,17 S	26,22 V	6,4	20		Palekastro, Kreta, Grčija
15. 10.	20.18	8,33 J	115,46 V	5,1	10	4	Bali, Indonezija
19. 10.	5.32	34,57 S	28,30 V	5,9	45		pod Sredozemskim morjem, vzhodno od Krete, Grčija
10. 11.	15.45	23,59 S	126,45 V	6,6	12		pod morskim dnom, Filipinsko morje
14. 11.	12.08	27,73 S	56,07 V	6,4	10	2	Bandar Abbas, Iran
28. 11.	10.52	4,45 J	76,81 Z	7,5	126	12	Barranca, Peru
12. 12.	8.58	60,79 J	154,14 V	6,6	10		pod morskim dnom, zahodno od otoka Macquarie
14. 12.	3.20	7,60 J	122,23 V	7,3	15	1	pod morskim dnom, Indonezija
29. 12.	18.25	7,54 J	127,58 V	7,3	165		pod morskim dnom, Indonezija

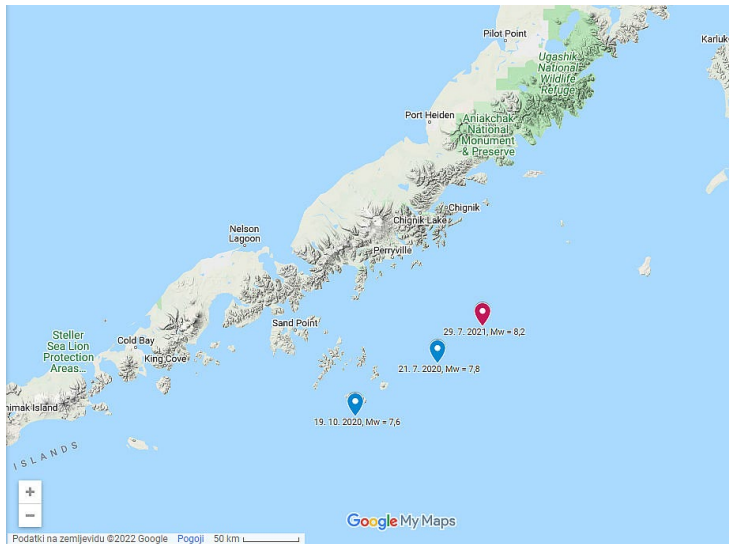


**Slika 2:** Letno število potresov 1990–2021 z navorno magnitudo  $\geq 7,0$  (NEIC, 2023c). Modra črta označuje letno povprečje števila potresov v tem obdobju.

**Figure 2:** Annual number of earthquakes with a moment magnitude  $\geq 7.0$  for the period 1990–2021 (data from NEIC, 2023c). The blue line represents the annual average number (14) of earthquakes in this period.

Najmočnejši potres leta 2021 z navorno magnitudo 8,2 se je zgodil 29. julija ob 6.15 po UTC oziroma 28. julija ob 22.15 po lokalnem času 35 kilometrov globoko pod morskim dnom v bližini Aljaske. Potres ni zahteval žrtev ali povzročil večje škode, saj je nadžariščno območje redko poseljeno. V žarišču najbližjem, in sicer 99 kilometrov oddaljenem naseljenem mestu Parryville z 88 prebivalci so opazili nekaj razpok v zidovih in tleh. Alarm za nevarnost cunamija, sprožen ob potresu, je bil po treh urah preklican, saj je bil zaradi globljega žarišča navpični premik morskega dna manjši. Največjo višino valov, in sicer 42 centimetrov, so zabeležili v zalivu pri mestu Old Harbour na otoku Kodiak (2021 Chignik earthquake, 2023).

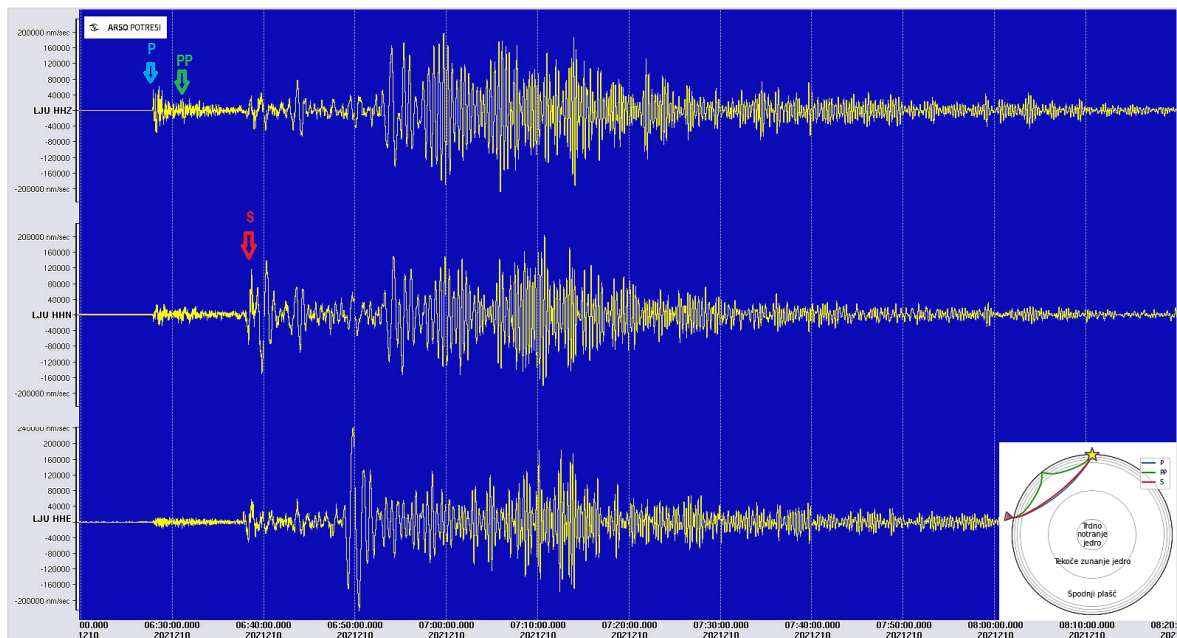
Potres je nastal v Aleutskem jarku, kjer se Tihomorska plošča podriva pod Severnoameriško ploščo s hitrostjo do 64 milimetrov na leto. Površina ob potresu aktiviranega preloma 200 km x 100 km je primerljiva s površino Slovenije. V bližini njegovega žarišča sta se tudi leta 2020 zgodila dva močna potresa. Žarišče najmočnejšega potresa leta 2020 (Jesenko, 2021), ki se je zgodil 21. julija 2020 z navorno magnitudo 7,8, je bilo 62 kilometrov jugozahodno, še nekoliko dlje pa je bil potres 29. oktobra 2020 z magnitudo 7,6 (slika 3). Pri ameriškem geološkem zavodu (USGS) sklepajo, da sta bila zaradi časovne in prostorske bližine predpotresa tokratnega potresa z magnitudo 8,2 (NEIC, 2021a; 2021 Chignik earthquake, 2023).



**Slika 3:** Nadžarišče najmočnejšega potresa leta 2021 in dveh predpotresov leta 2020 v bližini Aljaski in Aleutskih otokov (narejeno s storitvijo Google Moji zemljevidi)

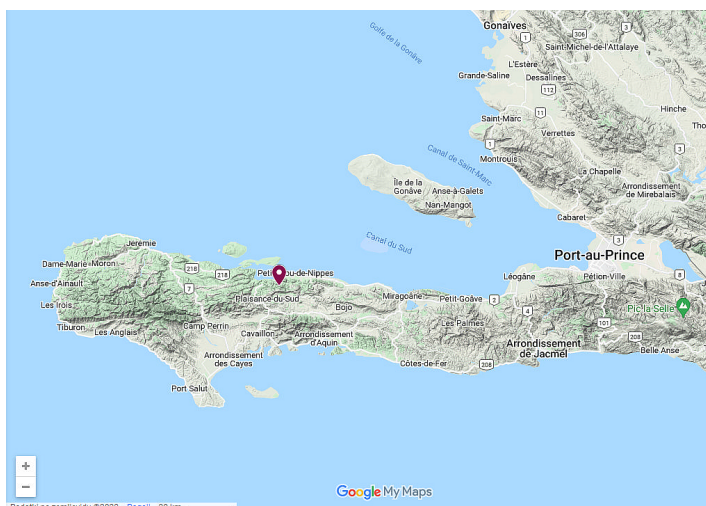
**Figure 3:** Epicentre of an earthquake near Alaska in July 2021, the strongest earthquake in 2021, and its two foreshocks in 2020 (drawn using Google My Maps)

Potresni valovi so od žarišča potresa do slovenske potresne opazovalnice v Ljubljani potovali približno 12 minut (slika 4). Oddaljenost Ljubljane od izvora potresa je približno 78 ločnih stopinj oziroma 8740 kilometrov.



**Slika 4:** Trikomponentni zapis potresa 29. julija 2021 magnitude 8,2 pri Aljaski na potresni opazovalnici v Ljubljani. Prikazan je 120-minutni zapis.

**Figure 4:** Three-component seismogram of the earthquake on 29 July 2021 ( $M_w$  8.2) near Alaska, as recorded at a station in Ljubljana (LJU). The figure shows a 120-minute record.



**Slika 5:** Nadžarišče potresa 14. avgusta 2021 na Haitiju (narejeno s storitvijo Google Moji zemljevidi)

**Figure 5:** Location of the epicentre of the 14 August 2021 Haiti earthquake (drawn using Google My Maps)

Potres z navorno magnitudo 7,2, ki je 14. avgusta ob 12.29 po UTC oziroma ob 8.29 po lokalnem času stresel Haiti, je bil po številu žrtev najbolj uničujoč potres oziroma tudi naravna nesreča na svetu leta 2021. Nadžarišče plitvega potresa je bilo na polotoku Tiburon (slika 5) v bližini mesta Pettit-Trou-de-Nippes in približno 150 kilometrov zahodno od glavnega mesta Haitija Port-au-Prince. Nastal je na transformnem oziroma zmičnem stiku med Karibsko in Severnoameriško ploščo. Karibska plošča drsi proti vzhodu glede na Severnoameriško s povprečno hitrostjo 20 milimetrov na leto. Sledili so mu številni popotresi. Ta najrevnejša država na zahodni polobli si še ni opomogla zaradi opustošenja v potresu januarja 2010, ko je umrlo več kot 222.000 ljudi (Jesenko, 2011). Tokrat je v potresu izgubilo življenje 2248 ljudi, 12.760 je bilo ranjenih. Več kot 136.000 zgradb je bilo uničenih ali poškodovanih (slika 6) in po ocenah je vsaj 650.000 ljudi potrebovalo humanitarno pomoč. Reševanje so oteževali še tropski ciklon Grace, ki je 16. avgusta dosegel to območje, in kriminalne tolpe, ki so težke razmere izkoristile za ropanje ter medsebojna obračunavanja (2021 Haiti Earthquake, 2023).

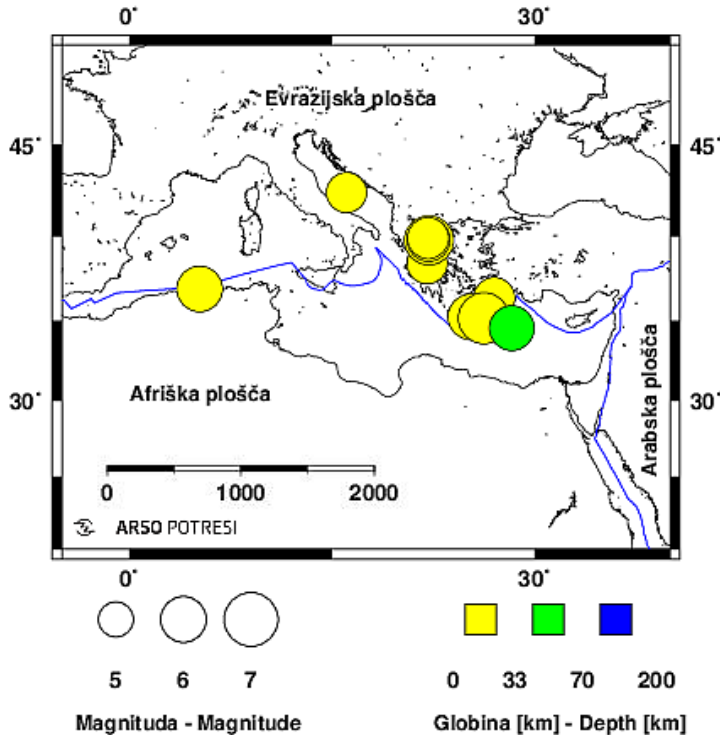


**Slika 6:** Uničenje zaradi potresa na Haitiju (Vir: <https://twitter.com/USAIDSavesLives/status/1426707046838251524>)

**Figure 6:** Destruction from the Haiti earthquake (Source: <https://twitter.com/USAIDSavesLives/status/1426707046838251524>)

V Sredozemlju je bilo leta 2021 deset potresov z magnitudo vsaj 5,5 (slika 7). Najmočnejši med njimi, ki se je zgodil 12. oktobra ob 9.24 po UTC oziroma ob 12.24 po lokalnem času na Kreti, je imel navorno magnitudo 6,4. Nadžarišče potresa je bilo v bližini Palekastra, na skrajnem vzhodnem delu otoka. Povzročil je nekaj škode, predvsem na starejših objektih v krajih blizu nadžarišča.

Kreta leži na Helenskem otočnem loku (slika 8), ki je nastal zaradi podpiranja Afriške plošče pod Egejsko mikroploščo. Razteza se od Jonskih otokov na zahodu do Rodosa na vzhodu in predstavlja južno mejo Egejske mikroplošče. Tu močni potresi, tudi z magnitudo večjo od 7,0, niso redkost. Zgodovinska potresa 21. julija 365 in 8. avgusta 1303 z žariščem v bližini Krete imata ocenjeno magnitudo 8,0 ali več, za seboj pa sta pustila opustošenje in zahtevala več tisoč življenj (2021 Lasithi earthquake, 2002; Hellenic arc, 2023).



**Slika 7:** Porazdelitev najmočnejših potresov leta 2021 v Sredozemlju z navorno magnitudo vsaj 5,5. Velikost krogov kaže potresno magnitudo, barva pa žariščno globino. Prikazane so tudi glavne tektonske plošče.

**Figure 7:** Distribution of the strongest earthquakes in 2021 in the Mediterranean ( $M_w \geq 5.5$ ). The size of the circle indicates the magnitude, and the colour designates the focal depth. The main tectonic plates are also shown.

**Slika 8:** Potek Helenskega loka (Vir: Hellenic arc, 2022)

**Figure 8:** The Hellenic Arc (Source: Hellenic arc, 2022)



## Sklepne misli

Leta 2021 je bilo po svetu 45 potresov, ki so dosegli ali presegli navorno magnitudo 6,5. Med njimi jih je bilo le pet, ki svojega žarišča niso imeli pod morskim dnom. V 24 potresih je umrlo vsaj 2471 ljudi. Največ žrtev je bilo v potresu z navorno magnitudo 7,2, ki je avgusta prizadel Haiti. Najmočnejši potres v Evropi z navorno magnitudo 6,4 je oktobra stresel grški otok Kreta, vendar ni bilo poškodovanih ali večje škode.

## Viri in literatura

- 2021 Chignik earthquake. Wikipedia [online] (posodobljeno 23. 3. 2023). [https://en.wikipedia.org/wiki/2021\\_Chignik\\_earthquake](https://en.wikipedia.org/wiki/2021_Chignik_earthquake) (8. 5. 2023).
- 2021 Lasithi earthquake. Wikipedia [online] (posodobljeno 20. 3. 2022). [https://en.wikipedia.org/wiki/2021\\_Lasithi\\_earthquake](https://en.wikipedia.org/wiki/2021_Lasithi_earthquake) (8. 5. 2023).
- 2021 Haiti earthquake. Wikipedia [online] (posodobljeno 28. 3. 2023). [https://en.wikipedia.org/wiki/2021\\_Haiti\\_earthquake](https://en.wikipedia.org/wiki/2021_Haiti_earthquake) (8. 5. 2023).
- Hellenic arc. Wikipedia [online] (posodobljeno 30. 4. 2023). [https://en.wikipedia.org/wiki/Hellenic\\_arc](https://en.wikipedia.org/wiki/Hellenic_arc) (8. 5. 2023).
- IRIS, 2023. How Often Do Earthquakes Occur? IRIS, Incorporated Research Institutions for Seismology. [https://www.iris.edu/hq/inclass/fact-sheet/how\\_often\\_do\\_earthquakes\\_occur](https://www.iris.edu/hq/inclass/fact-sheet/how_often_do_earthquakes_occur) (8. 5. 2023).
- Jesenko, T., 2011. Močnejši potresi po svetu leta 2010, *Ujma*, 25, 119–125. ISSN 0353-085X.
- Jesenko, T., 2021. Močnejši potresi po svetu 2019–2020, *Ujma*, 34–35, 217–226. 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>.
- List of earthquakes in 2021. Wikipedia [online] (posodobljeno 30. 4. 2023). [https://en.wikipedia.org/wiki/List\\_of\\_earthquakes\\_in\\_2021](https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_earthquakes_in_2021) (8. 5. 2023).
- NEIC, 2021a. M 8.2 – 99 km SE of Perryville, Alaska. US Department of the Interior. Geological Survey, National Earthquake Information Center. <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/ak0219neiszm/executive> (8. 5. 2023).
- NEIC, 2021b. M 7.2 – Nippes, Haiti. US Department of the Interior. Geological Survey, National Earthquake Information Center. <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/at00qxtxcn/executive> (8. 5. 2023).
- NEIC, 2021c. M 6.4 – 4 km SW of Palecastro, Greece. US Department of the Interior. Geological Survey, National Earthquake Information Center. <https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eventpage/us6000ftxu/executive> (8. 5. 2023).
- NEIC, 2023a. Significant Earthquakes – 2021. US Department of the Interior. Geological Survey, National Earthquake Information Center.

<https://earthquake.usgs.gov/earthquakes/browse/significant.php?year=2021> (8. 5. 2023).

NEIC, 2023b. Search Earthquake Catalogue. US Department of the Interior. Geological Survey, National Earthquake Information Center. <http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/search/> (8. 5. 2023).

NEIC, 2023c. 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> (8. 5. 2023).

Struktura Zemlje. Wikipedia [online] (posodobljeno 19. 12. 2022). [https://sl.wikipedia.org/wiki/Struktura\\_Zemlje](https://sl.wikipedia.org/wiki/Struktura_Zemlje) (8. 5. 2023).

## **Kazalo**

Izidor Tasič

## Potresne opazovalnice v Sloveniji v letu 2021

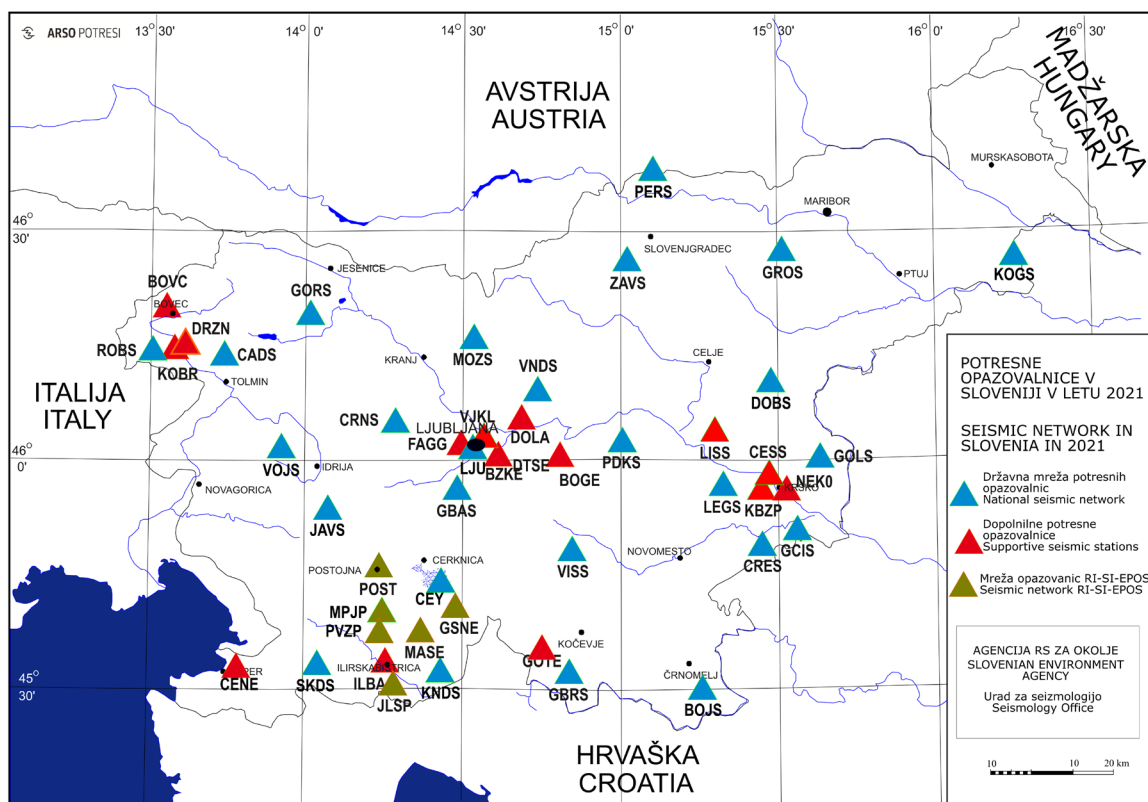
### Seismic Network in Slovenia in 2021

#### Povzetek

Leta 2021 je na območju Slovenije delovala Državna mreža potresnih opazovalnic (DMPO) s 26 potresnimi opazovalnicami. V različnih časovnih obdobjih tega leta je delovalo še 17 dopolnilnih potresnih opazovalnic DoPO. ARSO upravlja še 6 začasnih opazovalnic, postavljenih leta 2020, ki tvorijo Mrežo prenosnih potresnih opazovalnic južno od Postojne (SLO Karst NFO) in so del projekta Razvoj raziskovalne infrastrukture za mednarodno konkurenčnost slovenskega RRI prostora – RI-SI-EPOS.

#### Abstract

In the year 2021, the "Seismic network of the Republic of Slovenia" (SNRS) consisted of 26 seismic stations. The seismic observation of the Slovenian territory was increased by additional 17 seismic stations that operated in different periods in 2021, yet they are not part of the SNRS. In addition to these stations, ARSO supervises yet another six temporary stations, set up in 2020, which form the "Network of portable earthquake observatories south of Postojna" (SLO Karst NFO) and are part of the project "Development of Research Infrastructure for the International Competitiveness of the Slovenian RRI area - RI-SI-EPOS".



**Slika 1:** Potresne opazovalnice ARSO (rdeči in modri trikotniki) in SLO Karst NFO (zeleni trikotniki; RI-SI-EPOS, Šebela, 2018) leta 2021.

**Figure 1:** Seismic network in Slovenia, supervised by ARSO (red and blue triangles) in 2021 and Slovenian Karst NFO Seismic Network (SLO Karst NFO, green triangles).



## Uvod

Potresne opazovalnice ARSO (ARSO, 2021) so glede na protokol delovanja, kvaliteto seizmološke merilne opreme, časovno stalnost delovanja ter druge parametre razdeljene v dve skupini. Osnovna je Državna mreža potresnih opazovalnic (DMPO), ki s 26 potresnimi opazovalnicami tvori hrbtenico potresnega opazovanja v Sloveniji (modri trikotniki na sliki 1). V drugi skupini so t. i. dopolnilne potresne opazovalnice (DoPO), ki dopolnjujejo potresno opazovanje DMPO za natančnejše opredelitve potresnih parametrov za posamezno območje kot tudi za potresno opazovanje v urbanih območjih (rdeči trikotniki na sliki 1).

V letu 2021 je ARSO v okviru projekta Razvoj raziskovalne infrastrukture za mednarodno konkurenčnost slovenskega RRI prostora – RI-SI-EPOS (RI-SI-EPOS, 2023) upravljalo še začasne opazovalnice Mreže prenosnih potresnih opazovalnic južno od Postojne (SLO Karst NFO; zeleni trikotniki na sliki 1) (Šebela in drugi, 2020, 2023).

*Preglednica 1. Državna mreža potresnih opazovalnic v Sloveniji v letu 2021*  
*Table 1. National seismic network in Slovenia in 2021.*

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
PDKS	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 (preglednica 1), 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. Primer uporabnosti povečanega dinamičnega območja z dvema sistemoma je zelo močen Petrinjski potres leta 2020 na Hrvaškem, kjer so bili na nekaterih lokacijah v Sloveniji seizmometri prekrmiljeni, pospeškometri pa so pravilno zabeležili tudi največje nihanje tal (Tasič, 2022). Merilna sistema sta povezana s sodobnim seizmološkim 6-kanalnim podatkovnikom (zajemalno enoto), ki podatke digitalizira in opremi s točnim časom ter jih nato samodejno neprekinjeno 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. Ob koncu leta 2021 se je na vseh opazovalnicah DMPO uporabljal isti tip zajemalne enote Q330HRS podjetja Kinematics.

Tudi v letu 2021 smo na lokacijah DMPO izvedli nekaj večjih posodobitev seizmološke opreme, ki so opisane v članku *Delovanje državne mreže potresnih opazovalnic v letu 2021* (Tasič in drugi, 2023). Popis opreme na DMPO leta 2021 je zapisan v preglednici 2.

### Preglednica 2. Oprema na opazovalnicah DMPO v letu 2021

\* - opazovalnica je delovala že prejšnje leto; \*\* - delovanje opazovalnice se nadaljuje v prihodnjem letu

<sup>x</sup> - oprema je del projekta Razvoj raziskovalne infrastrukture za mednarodno konkurenčnost slovenskega RRI prostora – RI-SI-EPOS (RI-SI-EPOS, 2023).

### Table 2. Equipment on National seismic network in Slovenia in 2021.

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

<sup>x</sup> – equipment is a part of the project "Development of Research Infrastructure for the International Competitiveness of the Slovenian RDI 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 <sup>(x)</sup> /1001	*_**	Q330HRS/6309	*_**
	EpiSensor/1723	*_**		
CEY	T120QA/2967; CMG-3ESPC/T35617	*–6. 1. 2021; 6. 1. 2021–**	Q330HRS/6104;	*_**
	Fortis/TF465	*_**	Q730/2000102	*_**
	CMG-40T/T4B19	*_**		
CADS	CMG-3ESPC/T36897; CMG-3ESPC/T39926	*–1. 2. 2021; 1. 2. 2021–**	Q330HRS/5797	*_**
	CMG-T5/T5JD6	*_**		
CRES	STS-2/90733	*_**	Q330HRS/5878	*_**
	EpiSensor/782	*_**		
CRNS	CMG-3ESPC/T36081	*_**	Q330HRS/6105	*_**
	CMG-T5/T5JD4	*_**		
DOBS	CMG-3ESPC/T35605; CMG-3ESPC/T34749	*–5. 5. 2021; 5. 5. 2021–**	Q330HRS/6314	*_**
	CMG5T/T5HL8	*_**		
GBAS	T120QA/3091; TH120/2080	*–5. 5. 2021; 5. 5. 2021–**	Q330HRS/7329; Q330HRS/5655	*–26. 5. 2021; 26. 5. 2021–**
	CMG-5T/T5HL9	*_**		
GBRS	CMG-3ESPC/T35893	*_**	Q330HRS/6315	*_**
	CMG-5TC/T5KU6	*_**		

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)
GCIS	CMG-3ESPC/T34749; STS-2/120925	*-21. 5. 2021; 4. 5. 2021-**	Q330HRS/6311	*_***
	CMG-5TC/T5KU5; EpiSensor/9755	*-28. 10. 2021; 28. 10. 2021-**		
GOLS	CMG-40TBH/T4B26	*_***	Q330HRS/6311	*_***
	FORTIS sn TF459	*_***		
GORS	STS-2.5/151206	*_***	Q330HRS/5657	*_***
	EpiSensor/785	*_***		
GROS	CMG-3ESPC/T39558; CMG-3ESPC sn T36903; T120QA/2973	*-4. 10. 2021; 19. 10.-23. 11. 2021; 23. 11. 2021-**	Q330HRS/6312	*_***
	FBA23/32206; EpiSensor sn 9756	*-4.10.2021; 19. 10. 2021-**		
JAVS	CMG-3T/T37725; STS 2.5/192434	*-23. 6. 2021; 23. 6. 2021-**	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	*_***	Centaur-6/198; Q330HRS/7329	*-9. 9. 2021; 9. 9. 2021-**
	FBA-23/42178	*_***		
ROBS	CMG-3ESPC/T34746; TH120/2070	*-11. 11. 2021; 11. 11. 2021-**	Q330HRS/5880	*_***
	Fortis/TF090	*_***		
SKDS	STS-25/172109	*_***	Q330HRS/5658	*_***
	EpiSensor/786	*_***		
VISS	STS-2.5/151206	*_***	Q330HRS/5879	*_***
	CMG 5T/T5HL7	*_***		
VOJS	T120QA/2973; STS 2.5/172149	*-18. 11. 2021; 18. 11. 2021-**	Q330HRS/6103	*_***
	CMG 5T/T5V48	*_***		
VNDS	CMG-3ESPC/T35448; TH120/2079; CMG-3T/T37725	*-4. 3. 2021; 4. 3.-15. 7. 2021; 15. 7. 2021-**	Q330HRS/5880; Q330HRS/6100	*-23. 4. 2021; 23. 4. 2021-**
	EpiSensor/1722	*_***		
ZAVS	T120QA/2976	*_***	Q330HRS/6310	*_***
	Fortis/TF467	*_***		

## Dopolnilne potresne opazovalnice

Dopolnilne potresne opazovalnice (DoPO; preglednica 3), ki dopolnjujejo potresno opazovanje DMPO, so opremljene z raznoliko seizmološko opremo. V letu 2021 je na ozemlju Slovenije delovalo 17 dopolnilnih potresnih opazovalnic. Osem opazovalnic je 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, VJKL in CESS imata tako pospeškometer kot tudi seizmometer, nekatere pa samo pospeškometer.

**Preglednica 3.** Dopolnilne potresne opazovalnice v Sloveniji v letu 2021  
(<sup>NEK</sup>) - oprema je v lasti NEK.

**Table 3.** Additional seismic stations in Slovenia in 2021.  
(<sup>NEK</sup>) - 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.	Lon.	elev.	lithology
		leto / year	°N	°E	[m]	
BZKE	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	Ilirska 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 <sup>(NEK)</sup>	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

**Preglednica 4. Oprema na opazovalnicah DoPO v letu 2021**

\* - opazovalnica je delovala že prejšnje leto;

\*\* - delovanje opazovalnice se nadaljuje v prihodnjem letu

<sup>(x)</sup> - oprema je del projekta »Razvoj raziskovalne infrastrukture za mednarodno konkurenčnost slovenskega RRI prostora – RI-SI-EPOS« (RI-SI-EPOS, 2023),<sup>(xx)</sup> – ser. številka sensorja je povezana s ser. številko zajemalne enote<sup>(NEK)</sup> - oprema je v lasti NEK.**Table 4. Equipment on additional seismic stations in Slovenia in 2021.**

\* - station has been in function in previous year;

\*\* - station continues to operate in 2022

<sup>(x)</sup> - 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),<sup>(xx)</sup> – ser. number of sensor is connected to a ser. number of acquisition unit<sup>(NEK)</sup> - equipment is owned by NEK.

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 <sup>(xx)</sup>	*_**	Etna/1245	*_**
BOVC	FBA-23 1g <sup>(xx)</sup>	*_**	Etna/811	*_**
CENE	EpiSensor 2g <sup>(xx)</sup>	*_**	Etna/6352	*_**
CESS	CMG-40T/T4B18; CMG-3ESPC/ T3S67	*_11. 8. 2021; 11. 8. 2021_**	EDR-209/6786; Centaur SN. 0105	*_11. 8. 2021; 11. 8. 2021_**
	Fortis/TF455	*_**		
DOLA	FBA-23 1g <sup>(xx)</sup>	*_**	Etna/810	*_**
DRZN	EpiSensor 2g <sup>(xx)</sup>	*_**	Etna/6354	*_**
DTSE	EpiSensor 2g <sup>(xx)</sup>	*_**	Etna/6349	*_**
GOTE	FBA-23 1g <sup>(xx)</sup>	*_**	Etna/1246	*_**
FAGG	FBA-23 2g <sup>(xx)</sup>	*_**	Etna/6597	*_**
ILBA	TITAN <sup>(x)</sup> /2023 (2g)	*_**	CENTAUR <sup>(x)</sup> / 7058	*_**
KBZP	CMG-40T/T4B09	*_**	CMG-DM24S3/A2526	*_**
KOBR	EpiSensor 2g <sup>(xx)</sup>	*_**	Etna/2133	*_**
LISS	CMG-40T/T4B06	*_**	Q730/2000104	*_**
NEK0 <sup>(NEK)</sup>	FBA-23 2g <sup>(xx)</sup>	*_**	Etna/1334	*_**
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	*_**		

**Mreža prenosnih potresnih opazovalnic (SLO Karst NFO)**

Celotno leto 2021 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. Te opazovalnice

tvorijo Mrežo prenosnih potresnih opazovalnic južno od Postojne (Near Fault Observatory) (Šebela in drugi, 2020, 2023).

**Preglednica 5.** Mreža prenosnih potresnih opazovalnic južno od Postojne (SLO Karst NFO) v Sloveniji v letu 2021.

**Table 5.** Network of portable seismic stations south of Postojna - "RI-SI-EPOS" in Slovenia in 2021.

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]	
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
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 prenosnih potresnih opazovalnic južno od Postojne (SLO Karst NFO) v Sloveniji v letu 2021.

\* - opazovalnica je delovala že prejšnje leto;

\*\* - delovanje opazovalnice se nadaljuje v prihodnjem letu

<sup>(x)</sup> - oprema je del projekta »Razvoj raziskovalne infrastrukture za mednarodno konkurenčnost slovenskega RRI prostora – RI-SI-EPOS« (RI-SI-EPOS, 2023).

**Table 6.** Equipment on Network of portable seismic stations south of Postojna - "RI-SI-EPOS" in Slovenia in 2021.

\* - opazovalnica je delovala že prejšnje leto;

\*\* - delovanje opazovalnice se nadaljuje v prihodnjem letu

<sup>(x)</sup> – 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).

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 <sup>(x)</sup>	*_**	Etna2 <sup>(x)</sup> /103029	*_**
JLSP	EpiSensor 2g <sup>(x)</sup>	*_**	Etna2 <sup>(x)</sup> /103028	*_**
MASE	EpiSensor 2g <sup>(x)</sup>	*_**	Etna2 <sup>(x)</sup> /103025	*_**
MPJP	EpiSensor 2g <sup>(x)</sup>	*_**	Etna2 <sup>(x)</sup> /103024	*_**
POST	EpiSensor 2g <sup>(x)</sup>	*_**	Etna2 <sup>(x)</sup> /103026	*_**
PVZP	EpiSensor 2g <sup>(x)</sup>	*_**	Etna2 <sup>(x)</sup> /sn103027	*_**

## Sklepne misli

Na ARSO smo v letu 2021 skrbeli za nemoteno delovanje 49-ih potresnih opazovalnic v Sloveniji. Podatke teh opazovalnic smo uporabljali pri seizmoloških analizah in raziskavah.

## Literatura

- ARSO, 2021. 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/> (3. 7. 2023)
- 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/pre-nosne\\_potresne\\_opazovalnice\\_a3\\_format.pdf](https://www.zrc-sazu.si/sites/default/files/pre-nosne_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., Pančur, L., Sinčič P., Pfundner, I., Uran B., Prosen, J., 2023. Delovanje državne mreže potresnih opazovalnic v letu 2021. *Potresi v letu 2021*, Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana. ISSN 1318-4792.
- Tasič, I., 2022. Funkcionalnost Potresnih Opazovalnic Ob Potresu v Zagrebu in Petrinji. *Potresi v letu 2020*, 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

Izidor Tasič, Marko Mali, Luka Pančur, Peter Sinčič, Igor Pfundner, Bojan Uran, Jože Prosen

## **Delovanje Državne mreže potresnih opazovalnic v letu 2021**

### **Operation of the seismic network of the Republic of Slovenia in 2021**

#### **Povzetek**

Z glavnimi parametri, ki so vplivali na zanesljivost delovanja Državne mreže potresnih opazovalnic (DMPO) v letu 2021, 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 smo opisali njegov vzrok. Podajamo tudi časovne intervale, znotraj katerih ni delovalo po več potresnih opazovalnic hkrati, ter vzroke za omenjeno nedelovanje. Na osnovi rezultatov analize poteka tudi razvoj in izvedba posodobitev, ki prispevajo k boljšemu in zanesljivejšemu delovanju DMPO.

#### **Abstract**

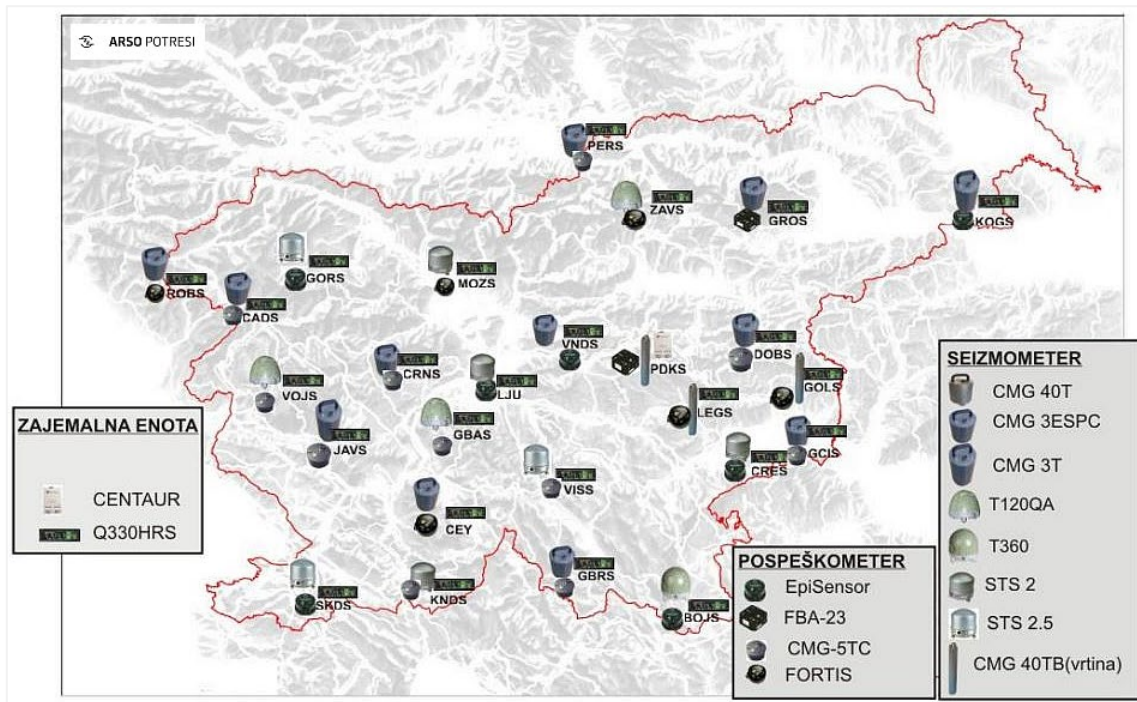
The results of analysis of operation of the Seismic Network of the Republic of Slovenia (SNRS) in 2021 are presented. The main upgrades, as well as the events that have influenced the operating quality of SNRS are also presented, along with parameters describing its reliability. The number and duration of out-of-operation periods (OOOP) for all seismic stations were evaluated. The analysis of causes of the longest OOOP for particular seismic station was made. Time intervals, when more seismic stations were out of service simultaneously, are identified. Based on the results of the analysis, improvements are being constantly implemented, contributing to better and more reliable operation of SNRS.

#### **Uvod**

Državno mrežo potresnih opazovalnic (DMPO) sestavlja 26 sodobno opremljenih digitalnih opazovalnic. Vsaka potresna opazovalnica je opremljena z zajemalno enoto in dolgo-periodnim seizmometrom ter s pospeškometrom (Tasič, 2023). Tip seizmološke opreme na posamezni potresni opazovalnici, ki je bila nameščena v začetku leta 2021, je prikazan na sliki 1, na sliki 2 pa je prikazano stanje ob koncu leta 2021. Poleg seizmološke merilne opreme se na opazovalnicah nahaja še podporna oprema, ki jo lahko razdelimo v štiri sklope: komunikacijska oprema, oprema za zagotavljanje neprekinjene oskrbe z električno energijo, oprema za dodaten nadzor delovanja zajemalnih enot ter oprema za nadzor vdora vode in beleženje temperature ob seizmometru.

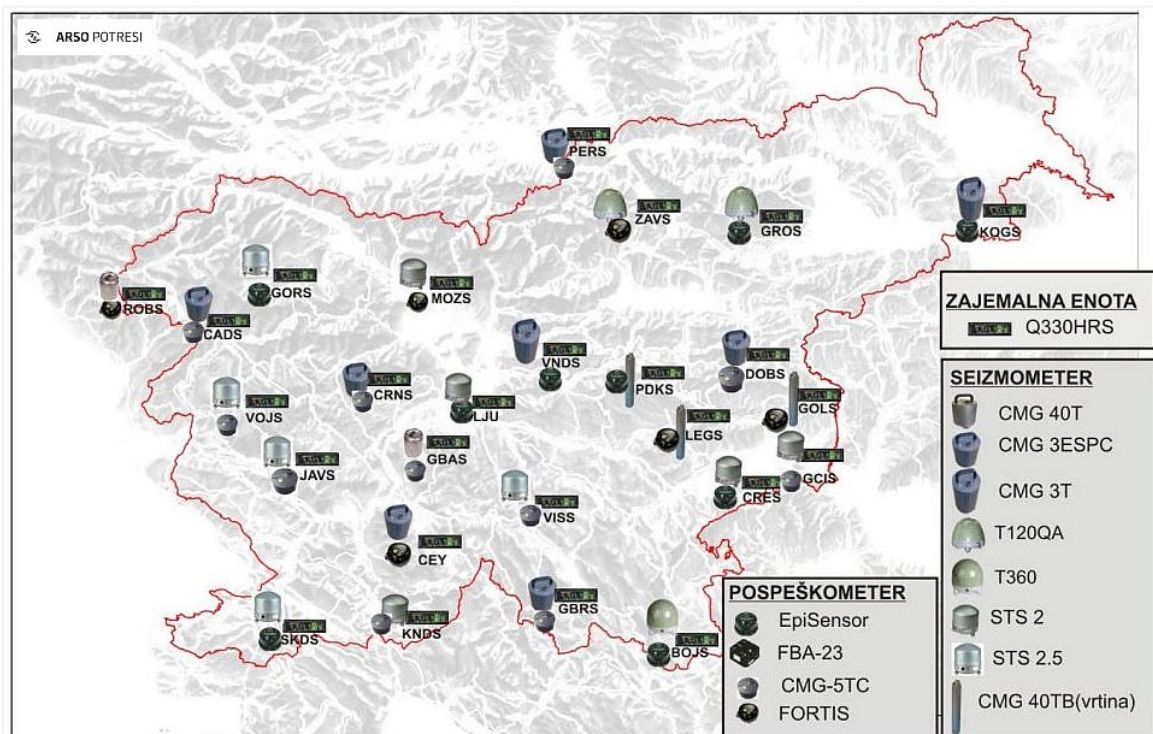
Glavna naloga Sektorja za potresna opazovanja na Uradu za seizmologijo je neprestano spremljanje delovanja vse opreme na DMPO in zagotavljanje optimalne kakovosti seizmoloških podatkov ter v največjem možnem obsegu preprečevanje njihove izgube. V ta namen na DMPO izvajamo različne analize, na osnovi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





**Slika 1.** Državna mreža potresnih opazovalnic na začetku leta 2021. Prikazana je razporeditev različnih tipov seizmometrov, pospeškometrov in zajemalnih enot po posameznih potresnih opazovalnicah.

**Figure 1.** Seismic network of Slovenia at the beginning of the year 2021 (seizmometer = seismometer, pospeškometer = accelerometer; zajemalna enota = digitizer).



**Slika 2.** Državna mreža potresnih opazovalnic ob koncu leta 2021. Prikazana je razporeditev različnih tipov seizmometrov, pospeškometrov in zajemalnih enot po posameznih potresnih opazovalnicah.

**Figure 2.** Seismic network of Slovenia at the end of the year 2021 (seizmometer = seismometer, pospeškometer = accelerometer; zajemalna enota = digitizer).

Vsi posegi na DMPO ter rezultati obsežne analize vseh pomembnih parametrov, ki vplivajo na kakovost delovanja DMPO, so podani v internem poročilu Sektorja za potresna opazovanja (SPO, 2021). 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 datume omenjenih dogodkov.

V tem prispevku izpostavljamo le pomembnejše točke iz internega poročila (SPO, 2021). Glavne posodobitve, ki smo jih v letu 2021 izvedli na DMPO, pa so naslednje:

- Menjave seizmometrov: Seizmometer tipa T120QA smo na potresni opazovalnici CEY nadomestili s seizmometrom CMG-3ESPC. Na potresni opazovalnici CADS smo delno okvarjen seizmometer CMG-3ESPC nadomestili z enakim tipom. Tudi na potresni opazovalnici DOBS smo delno okvarjen seizmometer CMG-3ESPC nadomestili z enakim tipom. Na potresni opazovalnici GBAS smo zamenjali seizmometer T120QA s seizmometrom TH120. Na potresni opazovalnici GCIS smo zamenjali seizmometer, CMG-3ESPC smo nadomestili z STS-2 seizmometrom. Na potresni opazovalnici GROS smo seizmometer CMG-3ESPC nadomestili s TH120. Na potresni opazovalnici JAVS smo zamenjali seizmometer CMG-3T s seizmometrom STS-2.5. Na potresni opazovalnici ROBS smo zamenjali seizmometer, CMG-3ESPC smo nadomestili s TH120. Na lokaciji VOJS smo seizmometer T120QA nadomestili z STS-2.5. Na lokaciji VNDS smo menjali seizmometre: CMG-3ESPC smo najprej nadomestili s TH120, nato pa smo tega zamenjali s seizmometrom CMG-3T.
- Menjave pospeškometrov: na potresni opazovalnici GCIS smo zamenjali pospeškometer, CMG-5TC z EpiSensorjem. Na potresni opazovalnici GROS smo zamenjali tako pospeškometer FBA-23 s pospeškometrom EpiSensor.
- Menjave zajemalnih enot: Na potresni opazovalnici GBAS smo zamenjali okvarjeno zajemalno enoto Q330HRS z enoto istega tipa. Na lokaciji PDKS smo zajemalno enoto Centaur-6 zamenjali s Q330HRS. Na lokaciji VNDS smo zamenjali zajemalno enoto Q330HRS z istim tipom.

- Vzdrževanje nadzornih sistemov: V letu 2021 smo izvajali kontrolo omenjenega sistema – na nekaterih opazovalnicah smo zamenjali ArduinoUno kontroler, na nekaterih pa le temperaturno sondo oziroma plovec.
- Vzdrževanje napajalnih sistemov: Na KNDS smo zamenjali AKU polnilec.
- Vzdrževanje jaškov in sidranje betonske podlage (seismic pier): Betonsko podlago smo sidrali (s tremi sidri dolžine 40 cm) na potresnih opazovalnicah BOJS, CRES, GBAS, GBRS, GCIS, KNDS, PERS, SKDS. Ponovno tesnjenje (s silikonom) in barvanje obodov jaškov smo izvedli na potresni opazovalnici PDKS.
- Izvedba sanacijskih del – obsežna gradbena dela:
  - GROS – zaradi vdora vode v servisni in tudi seizmični jašek, smo v letu 2021 izvedli sanacijo potresne opazovalnice. Oba jaška sta bila odkopana, okoli njih se je naredila drenaža, zatesnile so se vse vhodne cevi. Na lokaciji so bila odstranjena drevesa znotraj ograje. V seizmičnem jašku smo povečali betonski podstavek tako, da sta na njem lahko nameščena seizmometer in pospeškometer. Seizmološko merilno opremo smo tudi termično izolirali – jašek smo obdali z 5 cm stirodur izolacijsko posodo okoli betonskega podstavka .
  - ROBS – zgradili smo dva nova betonska podstavka, ki smo jih vezali v skalo, saj stari podstavki niso bili v neposrednem stiku s skalo. Nad betonska podstavka smo zgradili zaščitno "hišico", ki ščiti pred vodo s strehe jame in pred živalim. Oba senzorja smo tudi dodatno termično izolirali.

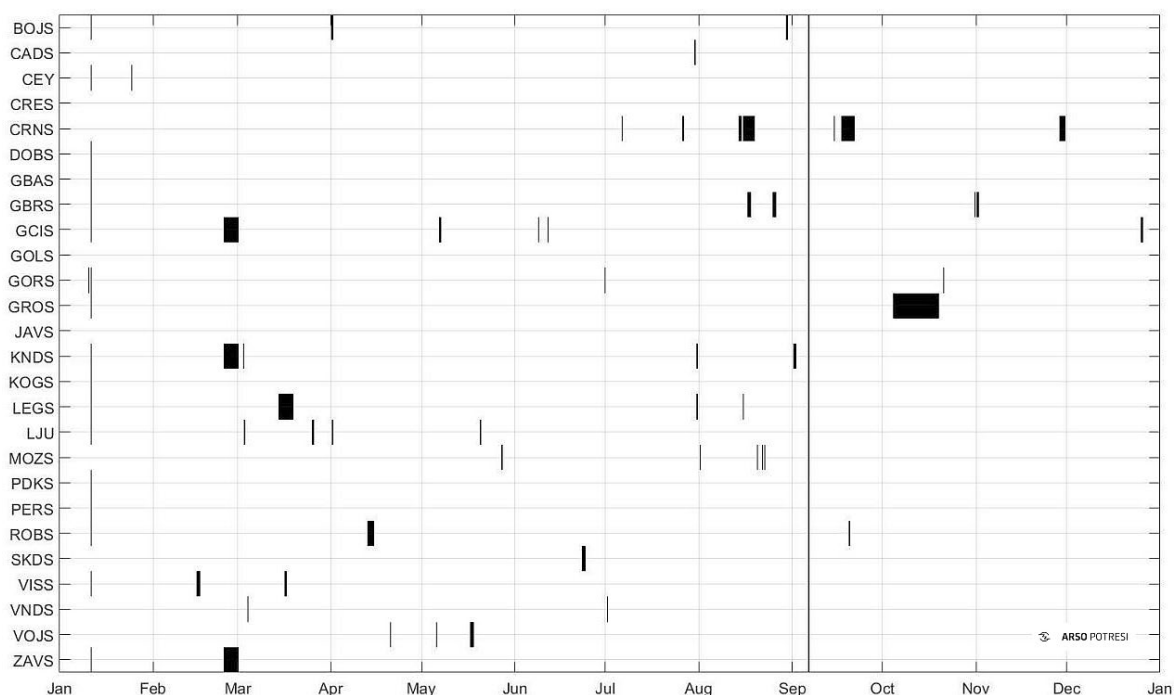
## Delovanje DMPO v letu 2021

V letu 2021 je bila celotna DMPO opremljena z zajemalnimi enotami Q330HRS (Tasič, 2023). Ta tip zajemalnih enot omogoča tudi hranjenje podatkov v primeru izpada komunikacij. Z dvojnimi hranjenjem podatkov na lokaciji potresne opazovalnice - na zajemalni enoti in na dodatni enoti JetBox oziroma Raspbery Pi - do izgube podatkov zaradi daljše prekinitve komunikacije praktično ne more več priti.

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

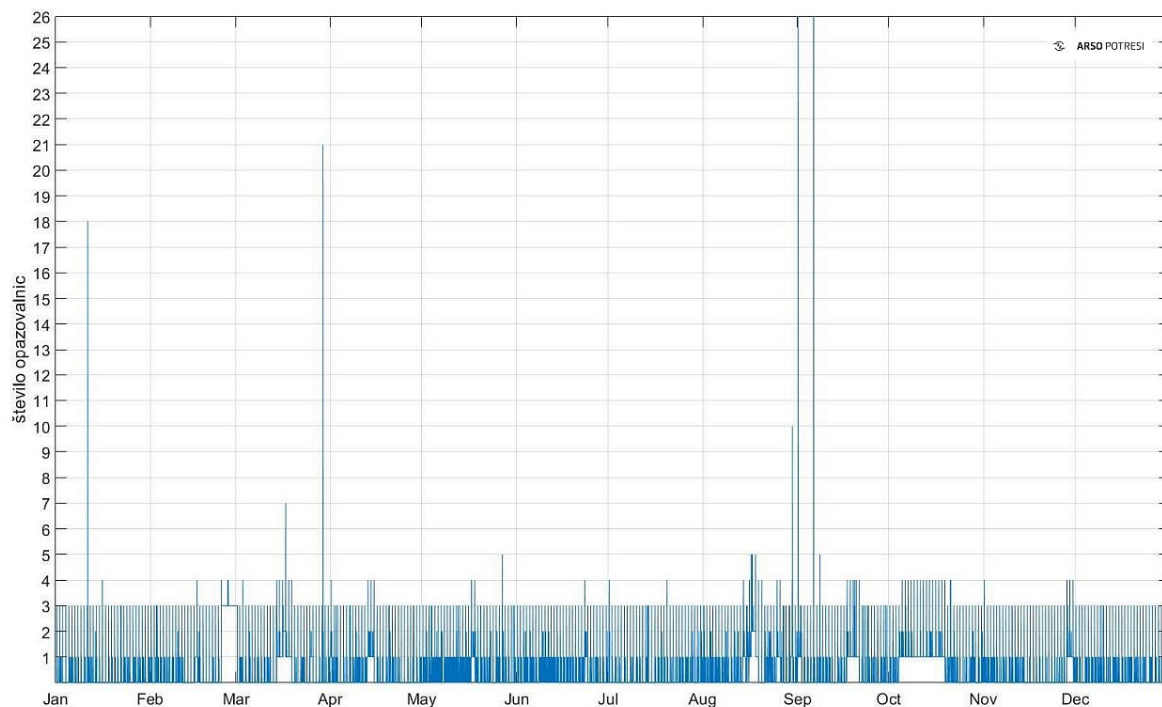
V letu 2021 je bilo 21 potresnih opazovalnic opremljenih z nadzornim sistemom (Mali, 2014), ki v obeh jaških preverja potencialni vdor vode, na nekaterih lokacijah tudi temperaturo ob seizmometru ter v primeru odstopanja parametrov od mejnih vrednosti o tem obvesti dežurnega instrumentalista.

Na slikah 3a in 3b je prikazan pregled delovanja DMPO v letu 2021, kjer črna barva (slika 3a) 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 3a:** Pregled delovanja DMPO v letu 2021. Izpadi so označeni s črno barvo. Ločljivost slike omogoča, da so vidni le izpadi, daljši od treh ur.

**Figure 3a:** An overview of out-of-operation periods (black lines) for Seismic network of Slovenia in the year 2021. Due to the resolution, only out-of-operation periods longer than three hours are shown.



**Slika 3b:** Pregled delovanja DMPO v letu 2021. Izpadi so označeni z modro barvo. Na ordinatni osi je podano število opazovalnic, ki so sočasno vključene v izpad.

**Figure 3b:** An overview of out-of-operation periods (blue lines) for Seismic network of Slovenia in the year 2021. 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 2021  
**Table 1:** Out-of-operation periods (OOOP) for Seismic network of Slovenia in the year 2021.

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	13	1d 7h 51m 41s	2
CADS	72	4h 48m 33s	0
CEY	41	2h 26m 53s	0
CRES	14	0h 58m 15s	0
CRNS	240	11d 11h 26m 30s	5
DOBS	12	0h 57m 17s	0
GBAS	152	5h 27m 13s	0
GBRS	330	3d 19h 11m 52s	2
GCIS	2851	8d 0h 7m 45s	1
GOLS	30	2h 14m 36s	3
GORS	104	16h 46m 41s	1
GROS	141	15d 4h 48m 4s	1
JAVS	86	2h 47m 30s	0
KNDS	1284	8d 15h 38m 34s	4
KOGS	11	0h 54m 14s	0
LEGS	192	5d 3h 13m 50s	1
LJU	59	1d 10h 24m 31s	4
MOZS	71	1d 7h 7m 6s	5
PDKS	25	6h 2m 45s	0
PERS	206	3h 8m 58s	0
ROBS	142	2d 17h 3m 29s	1
SKDS	32	1d 4h 46m 55s	2
VISS	38	1d 18h 31m 32s	2
VNDS	28	3h 19m 1s	0
VOJS	96	1d 22h 53m 18s	3
ZAVS	469	6d 11h 40m 29s	1
<b>Σ</b>	<b>6739</b>		<b>38</b>

**Preglednica 2:** Pregled najdaljših izpadov za posamezno potresno opazovalnico DMPO v letu 2021 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 2021.

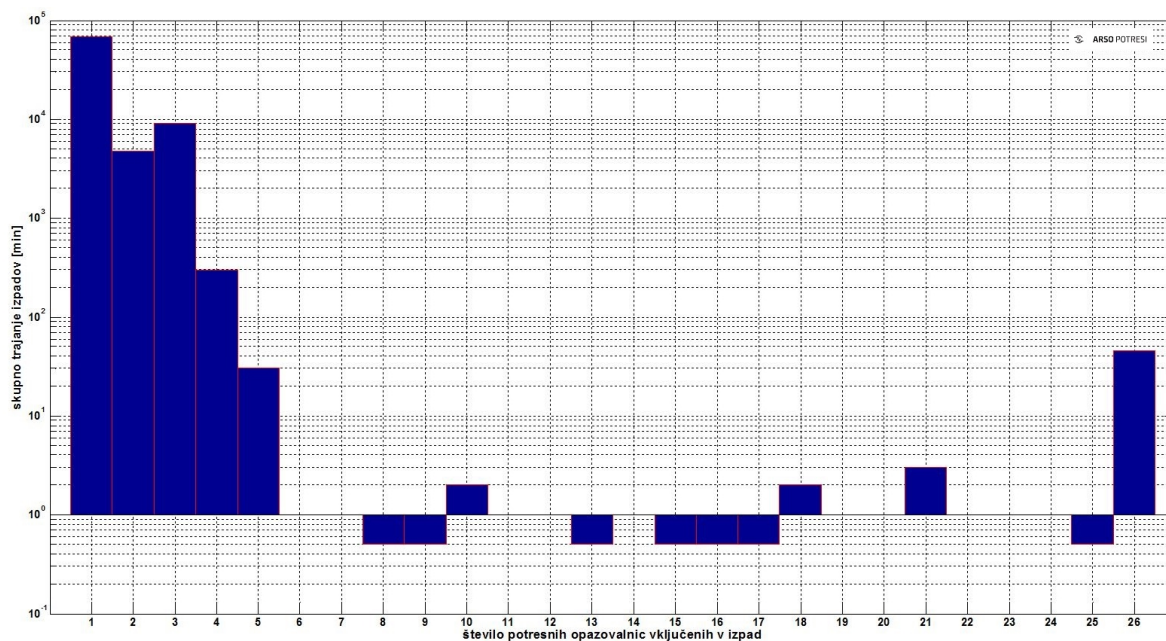
oznaka potresne opazovalnice	nastop najdaljšega izpada datum ob h.min	trajanje najdaljšega izpada	vzrok
station code	date/time of the longest OOOP date at h.min	duration of the longest OOOP	cause
BOJS	31. 3. ob 20.32	15h 32m 46s	napaka na komunikacijski opremi
CADS	30. 9. ob 8.44	1h 20m 9s	izpad na komunikacijah
CEY	6. 1. ob 10.53	0h 26m 45s	izpad na komunikacijah
CRES	6. 9. ob 8.26	0h 26m 44s	izpad na komunikacijah
CRNS	17. 9. ob 5.16	4d 2h 56m 13s	okvara modema
DOBS	6. 9. ob 8.27	0h 26m 40s	izpad na komunikacijah
GBAS	23. 3. ob 3.55	0h 31m 27s	izpad na komunikacijah
GBRS	16. 8. ob 23.10	1d 10h 28m 41s	okvara krona zaščite zaradi udara strele
GCIS	24. 2. ob 8.02	5d 4h 36m 38s	napaka na komunikacijski opremi
GOLS	6. 9. ob 8.27	0h 26m 0s	izpad na komunikacijah
GORS	20. 10. ob 23.53	7h 39m 56s	napaka v centrali
GROS	4. 10. ob 7.40	15d 2h 8m 3s	sanacija opazovalnice
JAVS	6. 9. ob 8.27	0h 26m 8s	izpad na komunikacijah
KNDS	24. 2. ob 8.01	5d 4h 37m 26s	napaka na komunikacijski opremi
KOGS	6. 9. ob 8.27	0h 26m 2s	izpad na komunikacijah
LEGS	14. 3. ob 10.57	4d 22h 42m 55s	okvara komunikacijske opreme – udar strele
LJU	25. 3. ob 10.04	21h 46m 44s	napaka na komunikacijski opremi
MOZS	21. 8. ob 20.45	7h 42m 35s	izpad na komunikacijah
PDKS	9. 9. ob 7.56	1h 4m 37s	izpad na komunikacijah
PERS	6.9. ob 8.27	0h 26m 41s	izpad na komunikacijah
ROBS	13. 4. ob 1.33	2d 5h 42m 58s	okvara napajalnika za modem
SKDS	23. 6. ob 10.33	19h 36m 41s	izpad na komunikacijah
VISS	16. 3. ob 12.21	20h 42m 55s	izpad na komunikacijah
VNDS	4. 3. ob 9.29	0h 37m 38s	izpad na komunikacijah
VOJS	17. 5. ob 4.11	1d 4h 19m 6s	okvara porta na usmerjevalniku
ZAVS	24. 2. ob 8.02	5d 4h 36m 32s	napaka na komunikacijski opremi

Na sliki 4 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 (poudarjeni so izpadi, v katere je bilo sočasno vključenih več kot dvajset opazovalnic).

*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	545	47	9	2	0	1	5
3	379	12	3	0	1	1	3
4	68	2	1	1	0	0	0
5	11	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0
10	1	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0
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	2	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0
24	0	0	0	0	0	0	0
25	0	0	0	0	0	0	0
26	3	0	0	0	0	0	0



*Slika 4. Skupno trajanje izpadov več potresnih opazovalnic hkrati (leto 2021).*

**Figure 4.** Total duration of out-of-operation periods that occurred at several seismic stations simultaneously in 2021.

## Zaključek

Predstavili smo povzetek analize delovanja DMPO v letu 2021 in najpomembnejše izvedene posodobitve. Ugotovili smo, da se izpadi (prekinitev v komunikaciji s posamezno potresno opazovalnico) pojavljajo neprestano. Medtem, ko je vzrok krajših izpadov vedno neka prekinitev na komunikacijah, pa so vzroki daljših izpadov raznovrstni in jih v grobem lahko delimo v tri skupine. V prvi skupini so problemi z napajanjem z električno energijo, v drugo skupino sodijo izpadi, ki so povezani s komunikacijsko potjo in opremo, v tretjo skupino pa uvrščamo okvare na seizmološki opremi (na seizmometrih ali zajemalnih enotah). S podpornimi sistemi, ki jih razvijamo in dopolnjujemo ter z rednimi posodobitvami in testiranjem seizmološke merilne opreme, zmanjšujemo število in dolžino izpadov zaradi vseh naštetih vzrokov. V letu 2021 smo skupno zabeležili 6739 izpadov od tega 38 daljših od dveh ur. Za primerjavo, v letu 2020 je bilo zabeleženih 8815 izpadov od tega 61 daljših od dveh ur.

Podali smo tudi analizo izpadov več potresnih opazovalnic hkrati. V letu 2021 smo imeli tri izpade v katere je bila vključena celotna DMPO in dva izpada v katerega je bilo vključenih 21 potresnih opazovalnic. Vsi izpadi so bili krajši od petih minut in so bili posledica krajšega izpada komunikacij. Posebno pozornost smo namenili predvsem tako imenovanim kritičnim izpadom, pri katerih več kot 75 % potresnih opazovalnic (20 ali več) izpade za več kot 5 minut. Ugotovili smo, da v letu 2021 do tovrstnih izpadov ni prišlo.

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, 2021. Državna mreža potresnih opazovalnic, delovanje v letu 2021, 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

## Dogodki v letu 2021

### Events in 2021

#### O potresih in potresni varnosti Slovenije za Dnevnikov izbor

V oddaji Dnevnikov izbor na RTV Slovenija so 9. januarja 2021 strokovnjaki različnih področji, med njimi tudi seizmologinja Ina Cević, govorili o potresih. Povod za oddajo je bil potres pri Petrinji z magnitudo 6,2, ki se je zgodil deset dni pred oddajo. Dogodek je sprožil niz vprašanj o tem, ali je tak potres možen tudi v Sloveniji, kakšne bi bile njegove posledice, kako ravnati med potresom ter kakšne obnove bi bile potrebne, da naslednji močen potres pri nas ne bi zahteval človeških življenj.

(<https://365.rtv slo.si/arhiv/sobotni-dnevnikov-izbor/174745301>)

#### Potres ima vedno zadnjo besedo

Ina Cević je svoje doživetje potresa in strokovno razlago podelila 16. januarja 2021 na RTV Slovenija v oddaji Zadnja beseda!

(<https://www.rtv slo.si/rtv365/arhiv/174746726?s=tv&t=7m24s>)



#### O potresih za dobro jutro

22. januarja 2021 je na RTV Slovenija v oddaji Dobro jutro o potresih spregovorila seizmologinja Martina Čarman.

(<https://www.rtv slo.si/4d/arhiv/174748144?s=tv&t=48m16s>)

#### 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 letni skupščini SZGG smo seizmologi predstavili dva prispevka: prvega, o pomenu mreže prenosnih potresnih opazovalnic RI-SI-EPOS JV od Postojne, ([http://fgg-web.fgg.uni-lj.si/SUGG/referati/2021/SZGG\\_2021\\_Carman\\_Sebela\\_in\\_dr.pdf](http://fgg-web.fgg.uni-lj.si/SUGG/referati/2021/SZGG_2021_Carman_Sebela_in_dr.pdf)) in drugega, ki govori o uporabi navzkrižne korelacije za detekcijo potresov v potresnih nizih ([http://fgg-web.fgg.uni-lj.si/SUGG/referati/2021/SZGG\\_2021\\_Carman.pdf](http://fgg-web.fgg.uni-lj.si/SUGG/referati/2021/SZGG_2021_Carman.pdf)).

## Predstavitev nove Karte potresne nevarnosti Slovenije

Agencija za okolje je marca 2021 izdala novo karto potresne nevarnosti Slovenije. Karta je pripravljena v skladu s standardom Evrokod 8 (EC8) in je 1. maja 2022 postala del slovenske zakonodaje o potresno odporni gradnji. Do 1. maja 2024 sta za projektiranje stavb hkrati veljavni stara in nova karta potresne nevarnosti Slovenije.

Karto smo predstavili laični in strokovni javnosti na številnih dogodkih in v več medijih:

- Barbara Šket Motnikar. Predstavitev za ARSO, 2. 3. 2021.
- Barbara Šket Motnikar. Predstavitev na Slovenskem inženirskem dnevu, 4. 3. 2021.
- Barbara Šket Motnikar. Predstavitev karte v poročilih na SLO TV 1, 16. 3. 2021 ob 17:00.
- Barbara Šket Motnikar. Predstavitev na skupščini Slovenskega društva za potresno inženirstvo, 25. 3. 2021.
- Barbara Šket Motnikar. Predstavitev članom tehnične komisije pri SIST, 30. 3. 2021.
- Barbara Šket Motnikar. Posredovanja o podatkih za novo karto novinarjem za Večer, Val 202, Radio Koper. 2021.
- Polona Zupančič. Nova karta potresne nevarnosti Slovenije. Oddaja na Radio ARS, 5. 4. 2021. (<https://ars.rtv slo.si/2021/03/pogled-v-znanost-311/>).
- Barbara Šket Motnikar. Predavanje za doktorski študij modula Jedrska tehnika: Postopek verjetnostnega ocenjevanja potresne nevarnosti Slovenije, 10. 5. 2021. (<https://www.youtube.com/watch?v=3H4JiUDmSkc>).
- Barbara Šket Motnikar. Druga predstavitev članom tehnične komisije pri SIST (odgovori na odprta vprašanja), 15. 11. 2021.
- Barbara Šket Motnikar. Potresna varnost: za izboljšanje stanja bi potrebovali okoli štiri milijarde evrov. RTV Slovenija 1, oddaja Koda, 16. 11. 2021. (<https://www.rtv slo.si/4d/arhiv/174822898?s=tv>, <https://www.rtv slo.si/tv/info/koda/v-primeru-mocnejsega-potresa-v-ljubljani-bi-se-porusilo-4500-stavb/601393>).
- Polona Zupančič. Predstavitev na The International Info-day/hybrid meeting EPOS ERIC and EPOS SP – Integration of Balkan countries, 9. 12. 2021.

## 1CroCEE 2021 – Prva hrvaška konferenca o potresnem inženirstvu

Hrvaški gradbeniki in seizmologi so v zahtevnem času po dveh močnih potresih (marca 2020 pri Zagrebu in decembra 2020 pri Petrinji) pripravili prvo hrvaško konferenco o potresnem inženirstvu in seizmologiji. (<https://crocee.grad.hr/event/1/>). Odvijala se je od 22. do 24. marca 2021 v Zagrebu.

ARSO je sodeloval v treh prispevkih:

- Cević, I., 2021. The role and importance of historical earthquakes and macroseismological studies. Uvodno predavanje. 1CroCEE 2021 – Prva hrvaška konferenca o potresnem inženirstvu 2021.
- Herak, M., Herak, D., Živčić, M., 2021. Which one of the three latest large earthquakes in Zagreb was the strongest – the 1905, 1906 or the 2020 one? 1CroCEE 2021 – Prva hrvaška konferenca o potresnem inženirstvu 2021. <https://crocee.grad.hr/event/1/contributions/38/>.
- Mustać, M., Cević, I., Latečki, H., Dasović, I., 2021. Social media as a tool for providing information following a hazardous event: »Zagrebački potres 2020 –

vaše info za seizmologe« Facebook group case. 1CroCEE 2021 – Prva hrvaška konferenca o potresnem inženirstvu 2021.

<https://crocee.grad.hr/event/1/contributions/205/>.

## O potresih v oddaji Pod drobnogledom - Nagyító alatt

Informativna oddaja Pod drobnogledom - Nagyító alatt na TV SLO 1 je namenjena prebivalcem dvojezičnega območja Prekmurja in običajno obravnava aktualno temo. Ker je potres pri Petrinji, 29. 12. 2020, zamajal tudi prekmurska tla, je bila oddaja 22. aprila 2021 posvečena potresom, ali po madžarsko földrengés. V oddaji je sodeloval tudi Jurij Pahor, seizmolog na ARSO.

(<https://www.rtv slo.si/4d/arhiv/174770503?s=tv>)



## Ure seizmologije – interna predavanja

Za boljše sodelovanje in poznavanje dela kolegov smo se seizmologi na ARSO odločili, da nekajkrat letno pripravimo interna predavanja, ki se nanašajo na naše delo. V letu 2021 smo imeli 3 predavanja:

- Ina Cecić. The role and importance of macroseismological studies and historical earthquakes. 23. 3. 2021.
- Danijela Birko. Spektroskopske dvojne zvezde z enojnimi spektralnimi črtami v pregledu neba RAVE. 29. 3. 2021.
- Igor Pfundner. Časovna omejitev delovanja programske opreme na zajemalni enoti Q730 in težave (ter njih reševanje) s točnim časom, ki so se pri njej pojavile v prejšnjem desetletju. 3. 5. 2021.

## Varen svet

Seizmolog Jurij Pahor je 8. junija 2021 v pogovoru za <http://varensvet.si> odgovoril na nekaj pogostih vprašanj o potresih.

(<https://tinyurl.com/yfwhkphj>).

## Znanost o potresih na ulici

Ekipa ARSO potresi je v soboto, 11. septembra 2021 med 10.00 in 18.00, četrtič sodelovala na Znanstivalu. Stojnico smo imeli na Vrtni eksperimentov, na Stritarjevi ulici v Ljubljani.

Doživeli smo veliko lepih trenutkov, spoznali male in velike radovedneže, razložili skrivnosti potresov. Upamo, da je bilo obiskovalcem naše stojnice lepo in zanimivo!

Zahvala tudi Upravi RS za zaščito in reševanje za odlične poučne brošurice o potresih, ki so jih naši mladi obiskovalci radi odnesli domov.

Z zadovoljstvom lahko tudi povemo, da je tokrat velika večina otrok pravilno odgovorila na vprašanje 'Kaj narediti, ko se zgodi potres?'. K temu je gotovo pripomogla tudi izkušnja dveh močnih potresov na Hrvaškem, ki smo ju leta 2020 bolj ali manj čutili vsi. Hvala in pohvale tudi staršem in učiteljem, ki ste posredovali ali osvežili znanje o ravnanju ob potresih!



## 37. generalna skupščina Evropske seizmološke komisije

Med 19. in 24. septembrom 2021 smo sodelovali na 37. generalni skupščini Evropske seizmološke komisije. To je bila prva skupščina, ki se je zaradi covida odvijala popolnoma virtualno. Organizirali so jo kolegi z Nacionalne in Kapodistrijske univerze v Atenah.

Ina Cević je bila aktivno udeležena pri organizaciji konference, kot prejšnja predsednica ESC in članica Znanstvenega komiteja. ARSO je sodeloval v naslednjih prispevkih:

- Mustać, M., Dasović, I., Latečki, H., Cević, I., 2021. Obtaining macroseismic data through a Facebook group after the 2020 ML5.5 Zagreb earthquake. 37<sup>th</sup> virtual General Assembly of the European Seismological Commission (ESC).
- Mustać, M., Latečki, H., Dasović, I., Cević, I., 2021. Citizens' awareness of earthquakes, and their concern and fear after the 2020 Zagreb earthquake. 37<sup>th</sup> virtual General Assembly of the European Seismological Commission (ESC).
- Cević, I., 2021. The power of macroseismology, Part I. The Peter Bormann Young Seismologist Training Course 2021. 37<sup>th</sup> virtual General Assembly of the European Seismological Commission (ESC).
- Šket Motnikar, B., Zupančič, P., Živčič, M., Atanackov, J., Jamšek Rupnik, P., Čarman, M., Kastelic, V., Danciu, L., Gosar, A., Carafa, M. M. C., Weatherill, G., Rajh, G., Basili, R., 2021. Development of a New Seismic Hazard Map of Slovenia (2021)

and Interaction with the European Seismic Hazard Model ESHM20. Poster. 37<sup>th</sup> virtual General Assembly of the European Seismological Commission (ESC).

- Basili, R., Danciu, L., Beauval, C., Sesetyan, K., Vilanova, S., Carafa, M. M. C., Kastelic, V., Maesano, F. E., Tiberti, M. M., Vallone, R., Gràcia, E., Atanackov, J., Šket Motnikar, B., Zupančič, P., Vanneste, K., Jomard, H., Baize, S., Cushing, E., 2021. ESHM20 Main Datasets: crustal faults and subduction systems of the European Fault-Source Model 2020 (EFSM20). 37<sup>th</sup> virtual General Assembly of the European Seismological Commission (ESC).
- Tasič, I., 2021. The interdependent quality control procedure for collocated seismometers or collocated seismometer and accelerometer. 37<sup>th</sup> virtual General Assembly of the European Seismological Commission (ESC).

Ob konferenci je bila organizirana tudi šola za mlade seizmologe, posvečena preminulemu nemškemu kolegu Petru Bormannu. Ina Cecić je mladim kolegom predavala o makroseizmičnih podatkih v seizmologiji – vrstah, pridobivanju, vrednotenju in uporabi.

## O potresih z devetošolci OŠ Kašelj v Ljubljani

Osnovna šola Kašelj v Ljubljani je imela 21. oktobra 2021 dan požarno-potresne vaje, v kateri so učitelji učence poučili, kako ravnati v primeru požara ali potresa. V okviru dneva dejavnosti je Martina Čarman devetošolcem predstavila potrese.

## 25. posvetovanje slovenskih geologov v Ljubljani

Na 25. posvetu slovenskih geologov v Ljubljani, 8. 10. 2021, je bil Andrej Gosar soavtor predavanja o uporabi seizmološke metode mikrotremorjev za določitev debeline sedimentov na Ljubljanskem Barju.

- Rupar, L., Gosar, A., 2021. Kartiranje debeline kvartarnih sedimentov na območju Iškega vršaja z metodo mikrotremorjev. V: Rožič, Boštjan (ur.). Razprave, poročila, 25. posvetovanje slovenskih geologov. Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta.

## Letna seizmološka publikacija Potresi v letu 2019

10. novembra 2021 je izšla elektronska verzija letne publikacije Urada za seizmologijo, Potresi v letu 2019, kjer so zbrani prispevki o potresih in drugih zanimivostih iz seizmologije. Prijetno branje! (<https://tinyurl.com/39yxx7dm>)

## V kratkem času več potresov v Sloveniji. Kaj pravijo seizmologi?

Decembra se je seizmologinja Polona Zupančič pogovarjala o aktualnem potresnem dogajanju in potresih na splošno z novinarko spletnega portala N1 info.

(<https://n1info.si/novice/slovenija/tla-so-se-veckrat-stresla-ce-smo-pripravljeni-nas-ne-bi-smelo-skrbeti/>)

**Kazalo**

## Objave v letu 2021

### Publications in 2021

#### Izvirni znanstveni članki v letu 2021

- Zahorec, P., Papčo, J., Pašteka, R., Bielik, M., Bonvalot, S., Braitenberg, C., Ebbing, J., Gabriel, G., Gosar, A., Grand, A., Götze, H.-J., Hetényi, G., Holzrichter, N., Kissling, E., Marti, U., Meurers, B., Mrlina, J., Nogová, E., Pastorutti, A., Salaun, C., Scarponi, M., Sebera, J., Seoane, L., Skiba, P., Szűcs, E., Varga M., 2021. The first pan-Alpine surface-gravity database, a modern compilation that crosses frontiers. *Earth system science data*, 13/5, 2165–2209.
- Zajc, M., Poljak, M., Gosar, A., 2021. GPR survey to reveal a possible tectonic tilt of the Brežice Sava river terrace in the Krško basin (Georadarska raziskava za določitev možnega tektonskega nagiba Brežiške terase reke Save v Krški kotlini). *Geologija*, 64/1, 5–19.

#### Strokovni članki v letu 2021

- Čarman, M., 2021. Spletni odziv javnosti na potres v Sloveniji kot zaznalo potresov. V: A. Gosar (ur.), *Potresi v letu 2019*, Agencija Republike Slovenije za okolje, 58–69. ISSN 1318-4792.
- Čarman, M., 2021. Uporaba navzkrižne korelacije za detekcijo potresov v potresnih nizih. V: Kuhar, M. (ur.), Pavlovičič Prešeren, P. (ur.), Vreča, P. (ur.). *Raziskave s področja geodezije in geofizike 2020 : zbornik del : 26. srečanje Slovenskega združenja za geodezijo in geofiziko*, Ljubljana, 28. januar 2021. Ljubljana: Slovensko združenje za geodezijo in geofiziko, 2021, 51–62. [http://fgg-web.fgg.uni-lj.si/sugg/referati/2021/SZGG\\_Zbornik\\_2021\\_E\\_publikacija.pdf](http://fgg-web.fgg.uni-lj.si/sugg/referati/2021/SZGG_Zbornik_2021_E_publikacija.pdf)
- Čarman, M., Jesenko, T., Šebela, S., Zupančič, P., Birko, D., Živčič, M., 2021. Pomen mreže prenosnih potresnih opazovalnic RI-SI-EPOS jugovzhodno od Postojne. V: Kuhar, M. (ur.), Pavlovičič Prešeren, P. (ur.), Vreča, P. (ur.). *Raziskave s področja geodezije in geofizike 2020 : zbornik del : 26. srečanje Slovenskega združenja za geodezijo in geofiziko*, Ljubljana, 28. januar 2021. Ljubljana: Slovensko združenje za geodezijo in geofiziko, 2021, 51–62. [http://fgg-web.fgg.uni-lj.si/sugg/referati/2021/SZGG\\_Zbornik\\_2021\\_E\\_publikacija.pdf](http://fgg-web.fgg.uni-lj.si/sugg/referati/2021/SZGG_Zbornik_2021_E_publikacija.pdf)
- Gosar, A., 2021. Evropski program povezovanja raziskovalne infrastrukture na področju geoznanosti - European plate observing system (EPOS). *Ujma*, 34–35, 521–529. ISSN 0353-085X.
- Gosar, A., 2021. Raziskave potresov na Marsu: misija InSight. *Ujma*, 34–35, 347–356. ISSN 0353-085X.
- Jerše Sharma, A., Jesenko, T., Šket Motnikar, B., Živčič, M., 2021. Potresi v Sloveniji leta 2019. V: A. Gosar (ur.), *Potresi v letu 2019*, Agencija Republike Slovenije za okolje, 14–31. ISSN 1318-4792.

- Jerše Sharma, A., Jesenko, T., Šket Motnikar, B., Cecić, I., Živčič, M., 2021. Potresi v Sloveniji leta 2020. Ujma, 34-35, 115–127. ISSN 0353-085X.
- Jerše Sharma, A., Jesenko, T., Šket Motnikar, B., Živčič, M., 2021. Potresi v Sloveniji leta 2019. Ujma, 34–35, 104–114. ISSN 0353-085X.
- Jesenko, T., 2021. Najmočnejši potresi po svetu leta 2019. V: A. Gosar (ur.), Potresi v letu 2019, Agencija Republike Slovenije za okolje, 41–50. ISSN 1318-4792.
- Jesenko, T., 2021. Najmočnejši potresi po svetu v letih 2019 in 2020. Ujma, 34–35, 217–226. ISSN 0353-085X.
- Ložar Stopar, M., Živčič, M., 2021. Žariščni mehanizmi močnejših potresov v Sloveniji v letu 2019. V: A. Gosar (ur.), Potresi v letu 2019, Agencija Republike Slovenije za okolje, 51–56. ISSN 1318-4792.
- Sinčič, P., Tasič, I., 2021. Prve digitalne potresne opazovalnice v Sloveniji. Ujma, 34–35, 404–408. ISSN 0353-085X.
- Sinčič, P., Tasič, I., Živčič, M., 2021. Potresne opazovalnice v Sloveniji v letu 2019. V: A. Gosar (ur.), Potresi v letu 2019, Agencija Republike Slovenije za okolje, 5–13. ISSN 1318-4792.
- Tasič, I., 2021. Obisk geofizikalnega observatorija Črni gozd. Ujma, 34–35, 342–346. ISSN 0353-085X.
- Tasič, I., Mali, M., Pančur, L., Sinčič, P., Pfundner, I., Uran, B., Prosen, J., 2021. Delovanje državne mreže potresnih opazovalnic v letu 2019. V: A. Gosar (ur.), Potresi v letu 2019, Agencija Republike Slovenije za okolje, 32–40. ISSN 1318-4792.

**Kazalo**



Barbara Šket Motnikar<sup>1</sup>, Polona Zupančič<sup>1</sup>, Mladen Živčić<sup>1</sup>, Jure Atanackov<sup>2</sup>, Petra Jamšek Rupnik<sup>2</sup>, Martina Čarman<sup>1</sup>, Vanja Kastelic<sup>3</sup>, Gregor Rajh<sup>1</sup>, Andrej Gosar<sup>1</sup>

## Nov (2021) postopek ocenjevanja potresne nevarnosti Slovenije in nova karta za projektiranje

### Seismic hazard model of Slovenia and new national design ground acceleration map (2021)

#### Povzetek

V letu 2021 smo razvili nov model potresne nevarnosti Slovenije. Najpomembnejši rezultat je karta projektnega pospeška tal, ki je s 1. majem 2022 postala del slovenske zakonodaje o potresno odporni gradnji. V prehodnem dvoletnem obdobju se za projektiranje lahko uporablja tudi prejšnja karta iz leta 2001.

V prispevku je opisana metoda izračuna potresne nevarnosti s poudarkom na postopkih za ocenjevanje parametrov potresnih izvorov. Predhodna karta potresne nevarnosti je izračunana na podlagi glajene pretekle seizmičnosti v mreži celic (točkovni izvori). Tokrat smo poleg točkovnih izvorov opredelili še ploskovne potresne izvore in prvič v Sloveniji tudi aktivne prelome ter prelomne potresne izvore. Velik vpliv na izračun potresne nevarnosti ima model pojemanja pospeška tal z oddaljenostjo od (nad)žarišča potresa. Uporabili smo referenčni (backbone) model, ki je bil razvit za izračun evropske karte, pri čemer pa so parametri prilagojeni regijskim tektonskim razmeram. Epistemično negotovost najvplivnejših parametrov smo modelirali v logičnem drevesu s 1377 vejami.

Nova ocena potresne nevarnosti poleg karte projektnega pospeška tal vključuje še informativne karte spektralnega pospeška za 10 nihajnih časov (od 0 s do 2 s) ter spektre in krivulje potresne nevarnosti za večja slovenska naselja. Informativni rezultati potresne nevarnosti so strokovna podlaga, ki gradbeni stroki omogoča nadaljnje raziskave, saj v nekaj letih pričakujemo večje spremembe evropskega standarda Evrokod 8 in s tem tudi slovenskega Nacionalnega dodatka, ki regulirata področje potresno odporne gradnje.

#### Abstract

In 2021, we have developed a new seismic hazard model for Slovenia. The most important result is the national design ground acceleration map, which became part of the Slovenian legislation on earthquake-resistant construction on May 1, 2022. During the two-year transitional period, the previous map from 2001 can also be used for project design.

The seismic hazard methodology is described with an emphasis on procedures for estimating the parameters of seismic sources. The previous seismic hazard map is based on smoothed historical seismicity in a grid of cells (point sources). This time, in addition to point seismic sources, we identified area seismic sources and for the first time in Slovenia, also active faults and fault seismic sources. The ground motion attenuation model has a significant influence on the seismic hazard. We used the backbone model that was developed for the European hazard map, with the parameters adapted to the regional tectonics. The epistemic uncertainty of the most influential parameters was modelled in a logic tree with 1377 branches.

Agencija Republike Slovenije za okolje (ARSO), Vojkova 1b, Ljubljana

<sup>2</sup> Geološki zavod Slovenije (GeoZS), Dimičeva 14, Ljubljana

<sup>3</sup> Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia (INGV), Sezione di Sismologia e Tettonofisica, L'Aquila

In addition to the design ground acceleration map, the new earthquake hazard assessment also includes informative results: spectral acceleration maps for ten oscillation periods (from 0 s to 2 s), uniform hazard spectra and seismic hazard curves for major Slovenian settlements. In a few years, we expect major changes to the European standard Eurocode 8 and, consequently, to the Slovenian National Addendum, which regulate the field of earthquake-resistant construction. New seismic hazard assessment will enable further research to support decisions on deploying the new EC8.

## Uvod

V Sloveniji in njeni bližnji okolici (do 30 km od državne meje) se je v zadnjih sto letih zgodilo 12 potresov, ki so povzročili vsaj zmerne poškodbe na zgradbah, npr. razpoke v stenah, odpadanje ometa, odpadanje delov dimnikov; na starejših stavbah pa tudi velike razpoke v stenah in porušitve predelnih sten (ARSO, 2015). Med temi 12 potresi so se pri štirih porušili tudi objekti: potres pri Cerknici leta 1926, dva potresa v Furlaniji leta 1976 ter potres v Zgoranjem Posočju leta 1998. Najmočnejši zabeleženi zgodovinski potres leta 1511 (ocenjena intenziteta X EMS-98, Grünthal, 1998; ter navorna magnituda Mw 6,4) je po ocenah povzročil okrog 12.000 žrtev in poškodoval številna naselja v severozahodni Sloveniji in Furlaniji. Ker so potresi naravni proces, na katere nimamo vpliva, se moramo pred njimi zaščititi. Najboljša zaščita življenj in imetja je potresno odporna gradnja, ki jo v Sloveniji zahtevajo naslednji predpisi:

1. Pravilnik o mehanski odpornosti in stabilnosti objektov (Ur.l. RS, št. 101/2005),
2. Standard Evrokod 8 (EC8): Projektiranje potresno odpornih konstrukcij (SIST EN 1998-1:2005),
3. Nacionalni dodatek k EC8 (SIST EN 1998-1:2005/oA101:2005), skupaj s prilogo Karta potresne nevarnosti Slovenije (nova: ARSO, 2021, slika 1a; ter stara: ARSO, 2001, slika 1b).

EC8 določa, da je potresna nevarnost opredeljena s **projektnim pospeškom tal**, (angl. *design ground acceleration*), ki je enak **vršnemu pospešku tal** (angl. *peak ground acceleration*) PGA. To je največja absolutna vrednost pospeška na prostem površju. Vrednosti pospeška tal na karti veljajo za **tla tipa A oz. trdna tla**. Po EC8 je tip tal A skala ali druga geološka formacija, v kateri je hitrost strižnega valovanja vsaj 800 m/s in na kateri je največ 5 m površinskega materiala s slabšimi geomehanskimi lastnostmi. Za druge tipe tal je treba pospešek tal pomnožiti z ustreznim koeficientom tal *S* (angl. *soil coefficient*). Vrednosti koeficienta *S* za različne tipe tal so določene v EC8. Pospešek tal je po priporočilu EC8 izračunan za **povratno dobo 475 let**, ki ustreza 90 % verjetnosti, da vrednosti na karti ne bodo presežene v 50 letih, kar je predvidena življenjska doba navadnih objektov (npr. stanovanjskih hiš). Povratna doba je povprečen čas med prekoračitvami vrednosti pospeška tal na dani lokaciji.

V dveh desetletjih po izdelavi prejšnje uradne karte potresne nevarnosti Slovenije – Projektni pospešek tal (ARSO, 2001; Lapajne in drugi, 2001, 2003) (slika 1b) – smo pridobili veliko novih seizmoloških in geološko-tektonskih podatkov, prav tako so se posodobili tudi postopki ocenjevanja parametrov. Večletno intenzivno sodelovanje seizmologov iz Agencije za okolje (ARSO) in geologov iz Geološkega zavoda Slovenije (GeoZS) je vodilo v oceno novega modela in ocene potresne nevarnosti v obliki kart, krivulj in spektrov. Razvoj slovenskega modela potresne nevarnosti je potekal vzporedno s projektom posodobitve evropskega modela potresne nevarnosti ESHM20 (Danciu in drugi, 2021). Skupaj s strokovnjaki evropskega projekta smo usklajevali metode ter vhodne podatke na ozemlju Slovenije in zato uporabili angleška imena potresnih izvorov in parametrov potresnih izvorov. Ker so ta angleška imena del slovenske in evropske podatkovne zbirke, jih na slikah modelov potresnih izvorov

ter v parametrizacijskih preglednicah (v prilogi) ne prevajamo. Dodani pa sta dve preglednici z opisi parametrov v slovenščini.

Najpomembnejši rezultat nove ocene potresne nevarnosti je karta vršnega pospeška tal (PGA) za povratno dobo 475 let in za trdna tla (ARSO, 2021), ki je pripravljena v skladu z zahtevami EC8. Karta je 1. maja 2022 postala uradna za namen *projektiranja* in zato predstavlja karto *projektne*ga pospeška tal. Postopek za ustrezno spremembo Nacionalnega dodatka (SIST EN 1998-1:2005/oA101:2005) k EC8 je vodil Slovenski inštitut za standardizacijo (SIST), sprejem nove karte pa je potrdil pristojni tehnični odbor SIST/TC. V novem Nacionalnem dodatku je določeno, da je v prehodnem obdobju (od 1. maja 2022 do 1. maja 2024) poleg prejšnje uradne karte (ARSO, 2001; Lapajne in drugi, 2001, 2003) veljavna tudi nova karta »Potresna nevarnost Slovenije – projektni pospešek tal« (ARSO, 2021; Šket Motnikar in drugi, 2022a). Po koncu prehodnega obdobja bo nova karta nadomestila prejšnjo uradno karto za potresno odporno projektiranje in postala edina priloga Nacionalnemu dodatku k EC8.

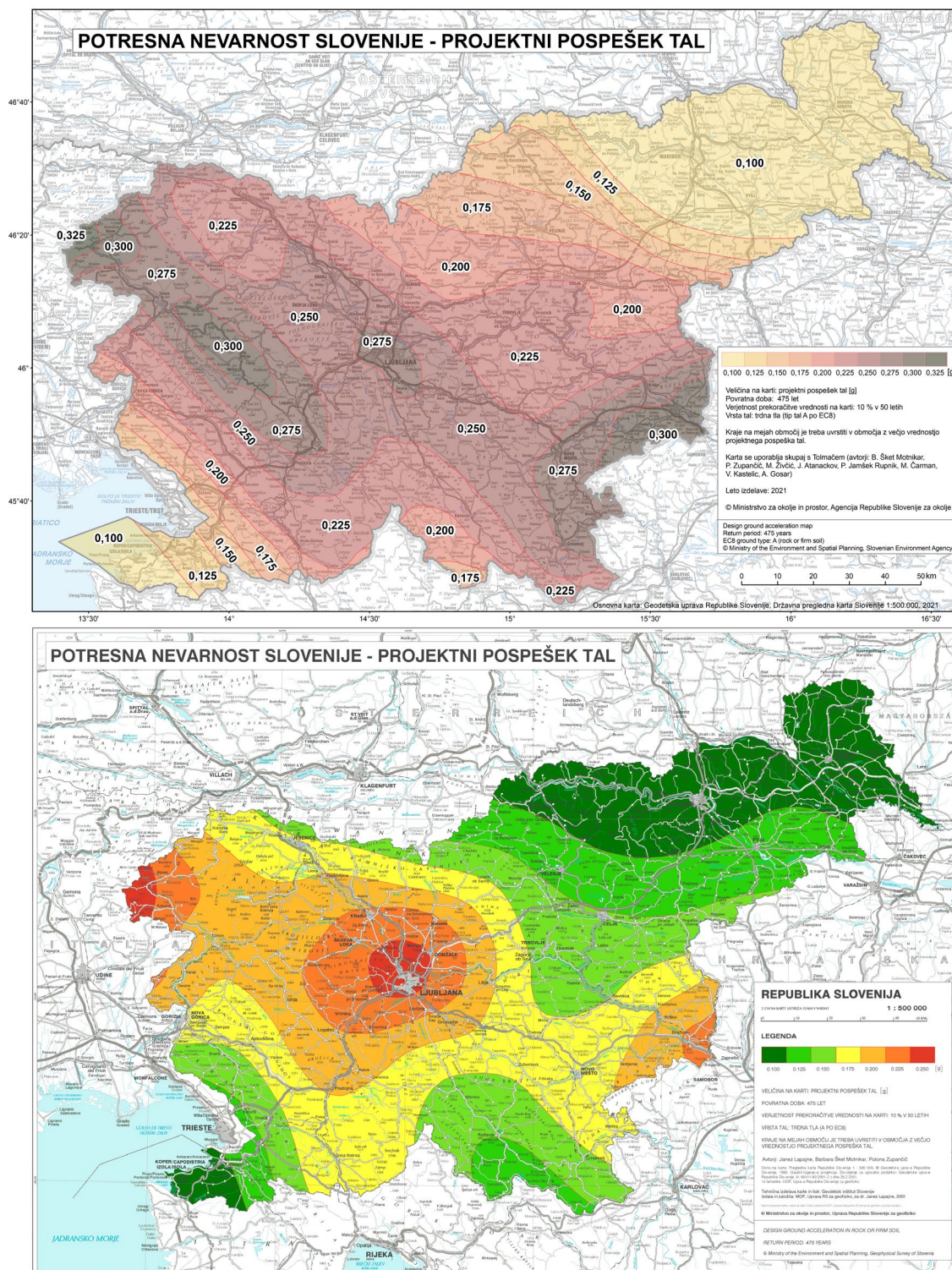
Vrednosti na karti so razvrščene v razrede širine 0,025 g (zemeljski gravitacijski pospešek) in zaokrožene na zgornjo mejo razredov. Razpon vrednosti je med 0,1 g in 0,325 g. Glede na prejšnjo uradno karto potresne nevarnosti iz leta 2001 smo uporabili posodobljene podatke in nove postopke, npr. z modelom prelomnih potresnih izvorov smo upoštevali možnost nastanka potresov izven območij pretekle seizmičnosti, uporabili smo sodoben model pojemanja pospeška, v logičnem drevesu smo modelirali negotovost parametrov.

Nova uradna karta, Tolmač karte ter Pregledovalnik potresne nevarnosti so dostopni na spletnih straneh ARSO (2021, 2022a, 2022b). Nov model in ocene potresne nevarnosti smo predstavili medijem ter laični in strokovni javnosti in jih objavili v recenziranih revijah (Šket Motnikar in drugi, 2022a, 2022b; Zupančič in drugi, 2022a, 2022b; Atanackov in drugi, 2021a, 2022). S tem prispevkom pa želimo na enem mestu povzeti postopke ocenjevanja parametrov in poleg nove uradne karte predstaviti tudi oceno nevarnosti za izbrana slovenska naselja.

Potresno nevarnost Slovenije smo ocenjevali verjetnostno po postopku, ki ga je zasnoval Cornell (1968): opredelitev vseh možnih potresnih izvorov, ocena povprečne letne aktivnosti in največje možne magnitude potresnih izvorov, opredelitev modela pojemanja pospeška z oddaljevanjem od (nad)žarišča potresa ter izračun letne verjetnosti prekoračitve referenčnih vrednosti pospeška. Postopki za vsakega od naštetih štirih korakov se ves čas posodablajo; pri razvoju slovenskega modela smo sledili svetovnim (npr. Baker in drugi, 2021) in predvsem evropskim smernicam (Danciu in drugi, 2021). Za izračun potresne nevarnosti smo uporabili računalniški program OpenQuake (OQ) (Pagani in drugi, 2014).

## Vhodni podatki

Za verjetnostno ocenjevanje potresne nevarnosti potrebujemo tri ključne vhodne elemente: seizmičnost, podatke o aktivni tektoniki ter meritve pospeška tal na potresnih opazovalnicah. S poznavanjem pretekle seizmičnosti in tektonsko-geoloških značilnosti obravnavanega območja najprej postavimo seizmotektonski model ter opredelimo aktivne prelome, nato pa prostorsko opredelimo potresne izvore (poglavje Potresni izvori). Vsakemu potresnemu izvoru ocenimo parametre (poglavje Parametrizacija potresnih izvorov), s čimer določimo npr. njegovo potresno aktivnost in največjo možno magnitudo. Pomemben vpliv na oceno potresne nevarnosti ima tudi model pojemanja pospeška tal, ki ga oblikujemo na podlagi meritev pospeška tal na potresnih opazovalnicah.



**Slika 1a) zgoraj:** nova (ARSO, 2021; Šket Motnikar in drugi, 2022) in **1b) spodaj:** stara karta potresne nevarnosti – projektni pospešek tal (ARSO, 2001; Lapajne in drugi, 2001, 2003). Karti imata različno barvno lestvico, ker je nova prirejena tudi za osebe s težavami prepoznavanja barv. Vrednosti obeh kart je težko neposredno primerjati, zato so v nadaljevanju opisane razlike in prikazana karta razlik.

**Figure 1a) upper:** new (ARSO, 2021; Šket Motnikar et al., 2022) and **1b) lower:** previous Seismic hazard map of Slovenia – design ground acceleration (ARSO, 2001; Lapajne et al., 2001, 2003). The two maps have different color scale, because the new one is adapted also to people with color vision impairment. It is difficult to directly compare the values between the two maps, therefore the differences are described in continuation together with the map of the differences.

Seizmološke podatke smo zbrali v poenotenem katalogu potresov Slovenije in sosednjih dežel KPN2018, ki zajema obdobje od leta 456 do leta 2018 in površino okoli 170.000 km<sup>2</sup> (Živčič in drugi, 2018). Katalog potresov, ki smo ga uporabili za karto potresne nevarnosti iz leta 2001, smo posodobili z novimi spoznanji zgodovinske (predinstrumentalne) seizmičnosti in razširili s potresi zadnjih 20 let. Zaradi zahtevane predpostavke o medsebojni neodvisnosti potresov smo iz kataloga izločili predpotrese in popotrese. Preostali (samo glavni) potresi so po magnitudnih razredih prikazani na sliki 2. Za ocenjevanje aktivnosti potresnih izvorov moramo upoštevati le komplet del kataloga potresov, torej obdobje, v katerem smo zabeležili vse potrese nad izbrano spodnjo mejo magnitude kompletnosti kataloga  $M_c$ . Za vrednost spodnje meje  $M_c$  smo izbrali navorno magnitudo  $M_w = 3,8$ , ki (po regresijski enačbi) približno ustreza intenziteti  $V_{EMS-98}$ , pri kateri že lahko nastanejo manjše poškodbe na stavbah. Ocenili smo, da je katalog potresov kompleten od leta 1875 dalje, s čimer predpostavljamo, da v tem obdobju nismo spregledali nobenega potresa z navorno magnitudo vsaj 3,8.

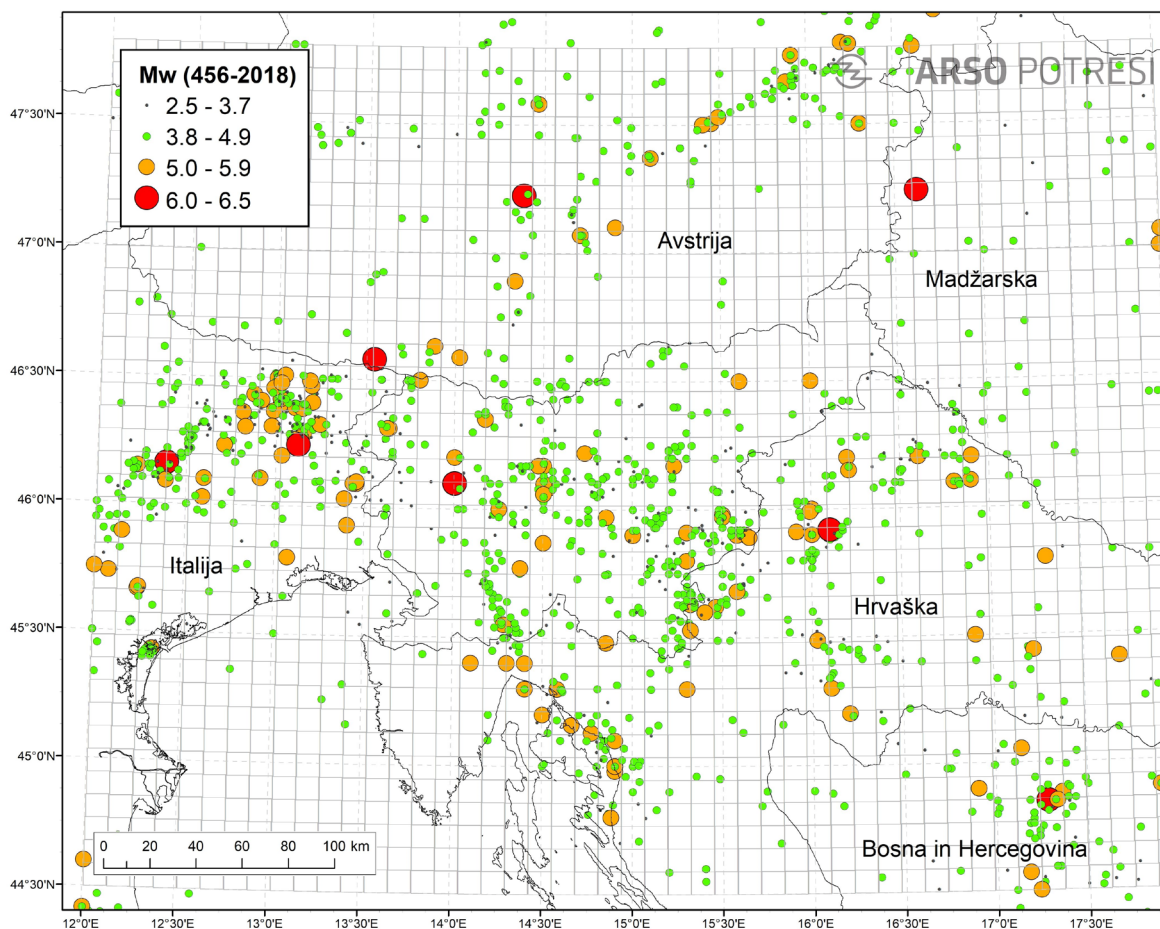
Drugi pomemben vir vhodnih podatkov izhaja iz poznavanja tektonske zgradbe območja. Na sliki 3 so prikazane glavne tektonske enote in aktivni prelomi na območju Slovenije in okolice. To območje leži na stiku Jadranske in Evrazijske tektonske plošče, zaradi česar je tu aktivnih več prelomnih sistemov. Na stiku med Dinaridi in nedeformiranim delom Jadranske plošče ter v italijanskem delu Južnih Alp prevladujejo reverzni prelomi, medtem ko v Dinaridih in v jugovzhodnih Alpah v Sloveniji prevladujejo regionalni zmični prelomi. Aktivne prelome in njihove parametre smo opredelili v podatkovni zbirki (Atanackov in drugi, 2021a), ki je rezultat sedemletnega projekta, ki ga je po naročilu ARSO izvajal Geološki zavod Slovenije (Atanackov in drugi, 2021b).

Tretji vhodni element za ocenjevanje potresne nevarnosti so pospeški, izmerjeni v času potresa na potresnih opazovalnicah. Po potresu v Zgornjem Posočju leta 1998 smo začeli posodabljanje državno mrežo potresnih opazovalnic, ki je leta 2021 sestavljena iz 26 stalnih potresnih opazovalnic, razporejenih približno enakomerno na ozemlju Slovenije, in 17 dopolnilnih (začasnih) opazovalnic (Tasič, 2023; Vidrih in drugi, 2006). Poleg tega v čim krajšem času po močnem potresu postavimo dodatne opazovalnice blizu nadžarišča, da zabeležimo popotresno aktivnost. Kljub danes gosti mreži potresnih opazovalnic pa v kratkem obdobju njihovega delovanja, zaradi maloštevilnih močnih potresov v Sloveniji, nimamo dovolj meritev gibanja tal ob močnih potresih, da bi lahko statistično dovolj dobro ocenili parametre modela pojemanja pospeška tal z razdaljo od (nad)žarišča potresa. Zato smo si pomagali z regionalnimi podatki. V zadnjem desetletju so meritve na številnih novih potresnih opazovalnicah podeseterile število zbranih zapisov močnega gibanja tal. Najpomembnejša podatkovna zbirka na evropsko-sredozemskem območju je Engineering strong motion database (ESM, 2022), ki nudi tudi spletno orodje za iskanje, izbiro in prenos podatkov. Na tej podatkovni zbirki je oblikovan model pojemanja močnega gibanja tal, ki smo ga uporabili za izračun potresne nevarnosti Slovenije (poglavje Model pojemanja pospeška tal).

## Potresni izvori

Potresni izvor je geografsko območje, v katerem predpostavljamo enake strukturno-geološke in kinematske značilnosti ter prostorsko enakomerno porazdeljeno seizmičnost. To pomeni, da ima vsaka točka posameznega potresnega izvora enako verjetnost za nastanek potresa dane magnitude in tipa prelamljanja. Glede na geometrijsko obliko je potresni izvor lahko točkovni, ploskovni ali linijski. Pri izračunu karte potresne nevarnosti Slovenije smo opredelili vse našete oblike potresnih izvorov: točkovni (P), ploskovni (A) ter prelomni model (F), ki

smo ga na dva načina kombinirali z ozadjem (F+P ter F+A). Prostorska opredelitev ploskovnih in prelomnih potresnih izvorov je bila izdelana na podlagi zbirke aktivnih prelomov (Atanackov in drugi, 2021a, 2021b). Podatkovna zbirka je v obliki ArcGIS in Excelovih datotek dostopna na spletnem portalu Pangaea (Atanackov in drugi, 2022).



**Slika 2:** Katalog potresov (brez predpotresov in popotresov) KPN2018 (obdobje 456 – 2018; Živčić in drugi, 2018) in celice mreže velikosti 10 x 10 km<sup>2</sup>

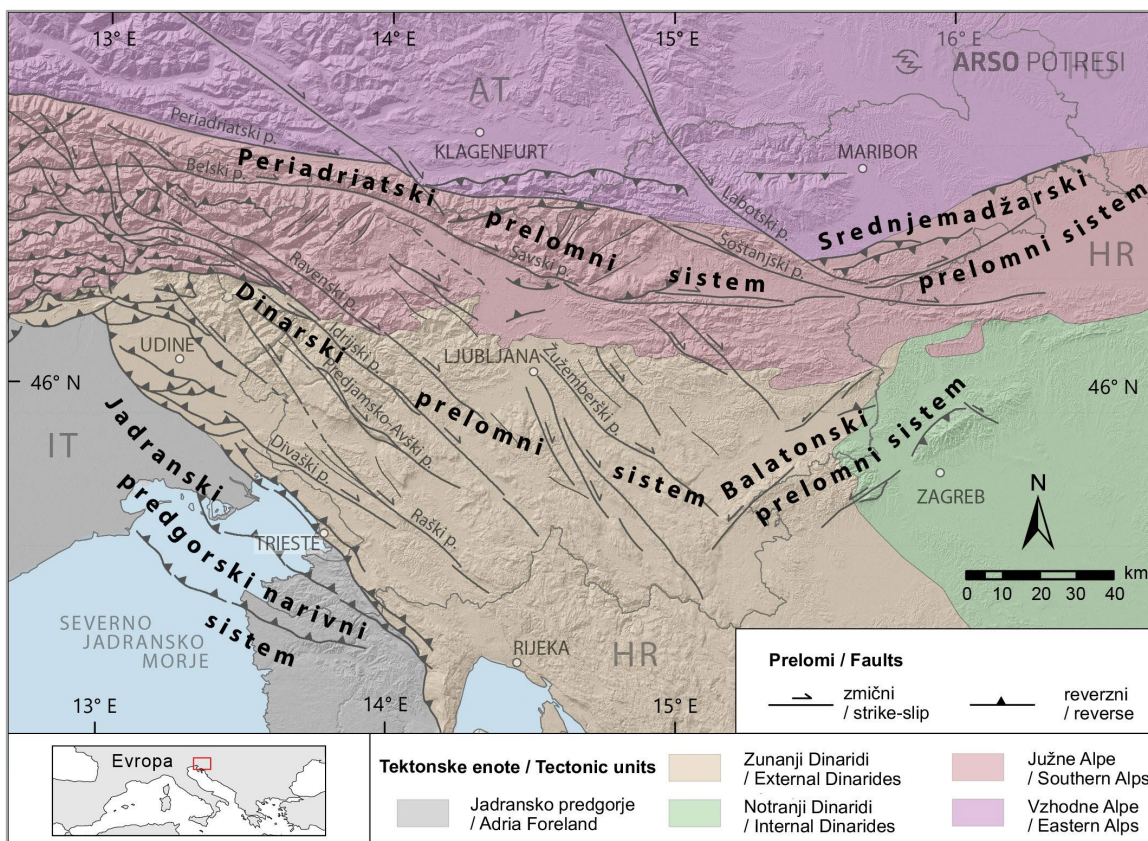
**Figure 2:** Declustered earthquake catalog KPN2018 (y. 456 – 2018; Živčić in drugi, 2018) and grid cells of 10 x 10 km<sup>2</sup>

## Točkovni model potresnih izvorov (P)

Najpreprostejši je točkovni model potresnih izvorov oziroma model glajene pretekle seizmičnosti. Točkovni potresni izvori so središča celic mreže velikosti 10 x 10 km<sup>2</sup> (slika 2). Model večinoma temelji na seizmoloških podatkih in je postopkovno primerljiv z uradno karto potresne nevarnosti iz leta 2001. Lokacije nadžarišč preteklih potresov so zaradi negotovosti porazdeljene po celicah okrog nadžarišča. Pri glajenju lokacije potresov smo uporabili krožno Gaussovo ter eliptično glajenje, pri čemer so osi elipse obrnjene v smeri prevladujočih prelomov. Potresna aktivnost točkovnega izvora je ocenjena s štetjem zglajenih potresov v pripadajoči celici, ali pa je izračunana iz sproščene energije na podlagi magnitude močnih potresov v dani celici (Lapajne in drugi, 2003).

## Ploskovni model potresnih izvorov (A)

Model ploskovnih potresnih izvorov (slika 4) predstavlja najbolj standarden tip izvorov. Opredelili smo 18 ploskovnih izvorov, ki popolnoma pokrivajo vplivno območje ( $12,0\text{--}18,5^\circ$  V in  $44,0\text{--}48,0^\circ$  S). Imena ploskovnih izvorov so določena na podlagi geotektonske enote ali prevladujočega sistema prelomov. Parametre ploskovnih izvorov smo ocenili z uporabo in interpretacijo geoloških (geometrija in kinematske značilnosti) in seizmoloških (seizmogena globina, največja magnituda, povprečno letno število potresov) podatkov.



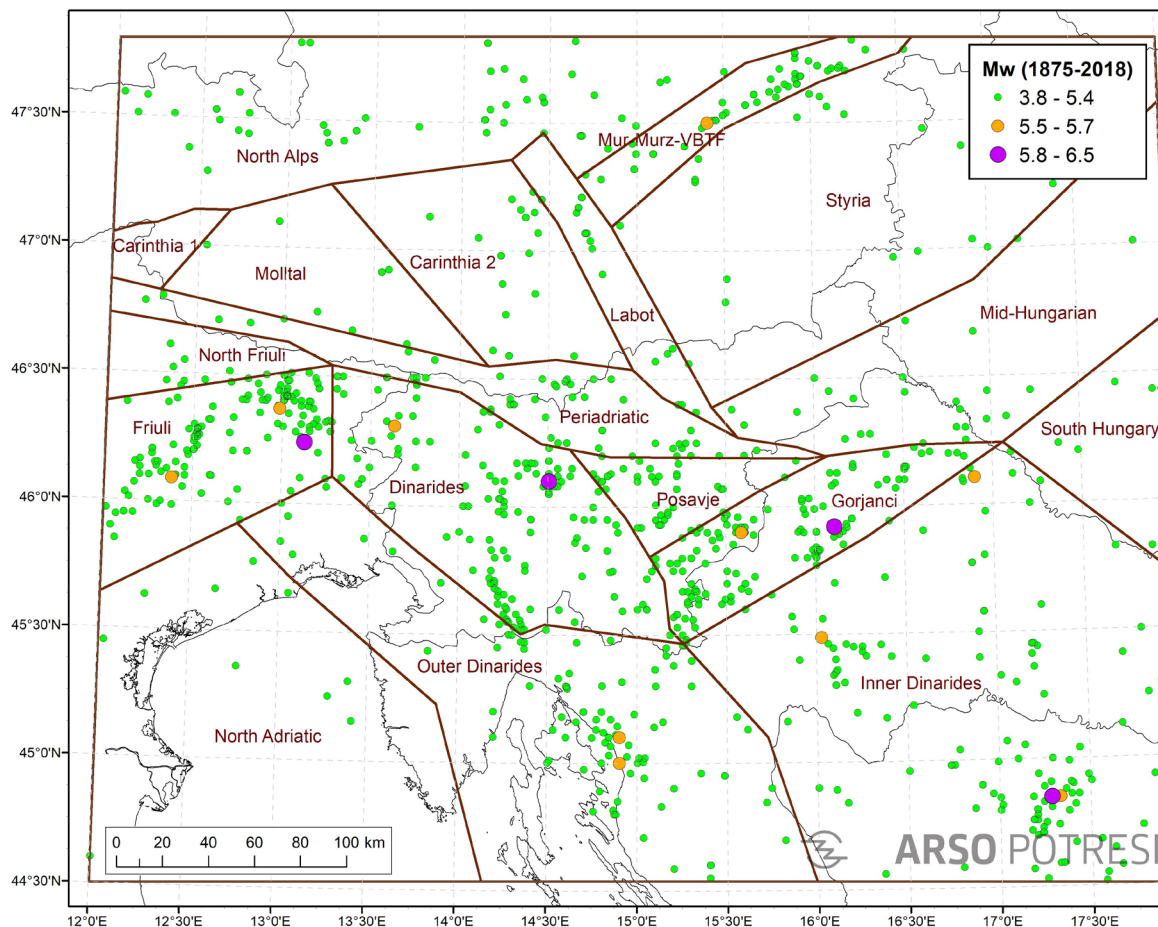
**Slika 3:** Tektonske enote, poenostavljene po Schmid in drugi (2020) in najpomembnejši aktivni prelomi (povzeto po Atanackov in drugi, 2021a; Poli in Zanferrari, 2018)

**Figure 3:** Tectonic units simplified from Schmid et al. (2020) and the most important active faults, summarized after Atanackov et al. (2021a) and Poli and Zanferrari (2018)

## Prelomni model potresnih izvorov z ozadjem (F+P, F+A)

Iz seizmotektonskega modela aktivnih prelomov (Atanackov in drugi, 2021b) smo izpeljali model 89 prelomnih potresnih izvorov (F) (slika 5). Nekatere prelomne izvore izven Slovenije smo privzeli iz podatkovne zbirke DISS (DISS, 2018) in SHARE (Basili in drugi, 2013). Prelomni potresni izvor je 3D struktura, ki jo opišemo s površinsko traso (linijski potresni izvor), naklonom prelomne ploskve in spodnjo ter zgornjo seizmogeno globino. Glede na verjetnost, da je prelomni izvor aktiven, smo opredelili štiri razrede, vsakemu pa smo v oklepaju pripisali verjetnost: aktivni (1,0), verjetno aktivni (0,7), potencialno aktivni (0,5) in vprašljivi (0,25). Geometrijo in vse parametre prelomnih izvorov smo ocenili predvsem na podlagi geološko-tektonskih značilnosti, zato lahko predvidevamo tudi možnost potresov izven poznanih območij pretekle seizmičnosti. Opredelili smo vse poznane aktivne prelome, ki so zmožni generirati potrese nad magnitudo 5,8 (Atanackov in drugi, 2021a, 2021b).

Manjše potrese (pod magnitudo 5,8) moramo zato upoštevati posebej v ozadju; v okviru točkovnih (F+P) ali ploskovnih potresnih izvorov (F+A).



**Slika 4:** Model ploskovnih potresnih izvorov in potresi iz kompletnega kataloga potresov KPN2018 ( $M_c=3,8$ ; od 1875 dalje; Živčič in drugi, 2018).

**Figure 4:** Area (A) source model and earthquakes with  $M_w \geq 3.8$  from the complete catalog KPN2018 (Živčič in drugi, 2018) from 1875 onward

## Parametrizacija potresnih izvorov

S prostorsko opredelitvijo potresnih izvorov smo določili območja, kjer nastajajo potresi. Nadalje je bilo treba oceniti, kako pogosti in kako močni so potresi na vsakem od potresnih izvorov. Zato je treba določiti še magnitudno-frekvenčno porazdelitev ter oceniti ostale pomembne parametre potresnih izvorov. Vrednosti in opis parametrov posameznih ploskovnih in prelomnih potresnih izvorov so podani v preglednicah P1–P4 (*Priloge*) ter v spletni podatkovni zbirki Pangaea (Atanackov in drugi, 2022). Točkovnemu izvoru pripišemo aktivnost glede na preteklo seizmičnost, druge parametre pa privzamemo od ploskovnega izvora, v katerem se nahaja. V nadaljevanju opisujemo postopke za ocenjevanje vseh parametrov potresnih izvorov, ki jih potrebujemo za izračun potresne nevarnosti.

## Magnitudno-frekvenčna porazdelitev

Število potresov na danem območju se manjša z večanjem magnitude. Predpostavili smo, da so na vsem obravnavanem območju in v vsakem potresnem izvoru glavni potresi porazdeljeni

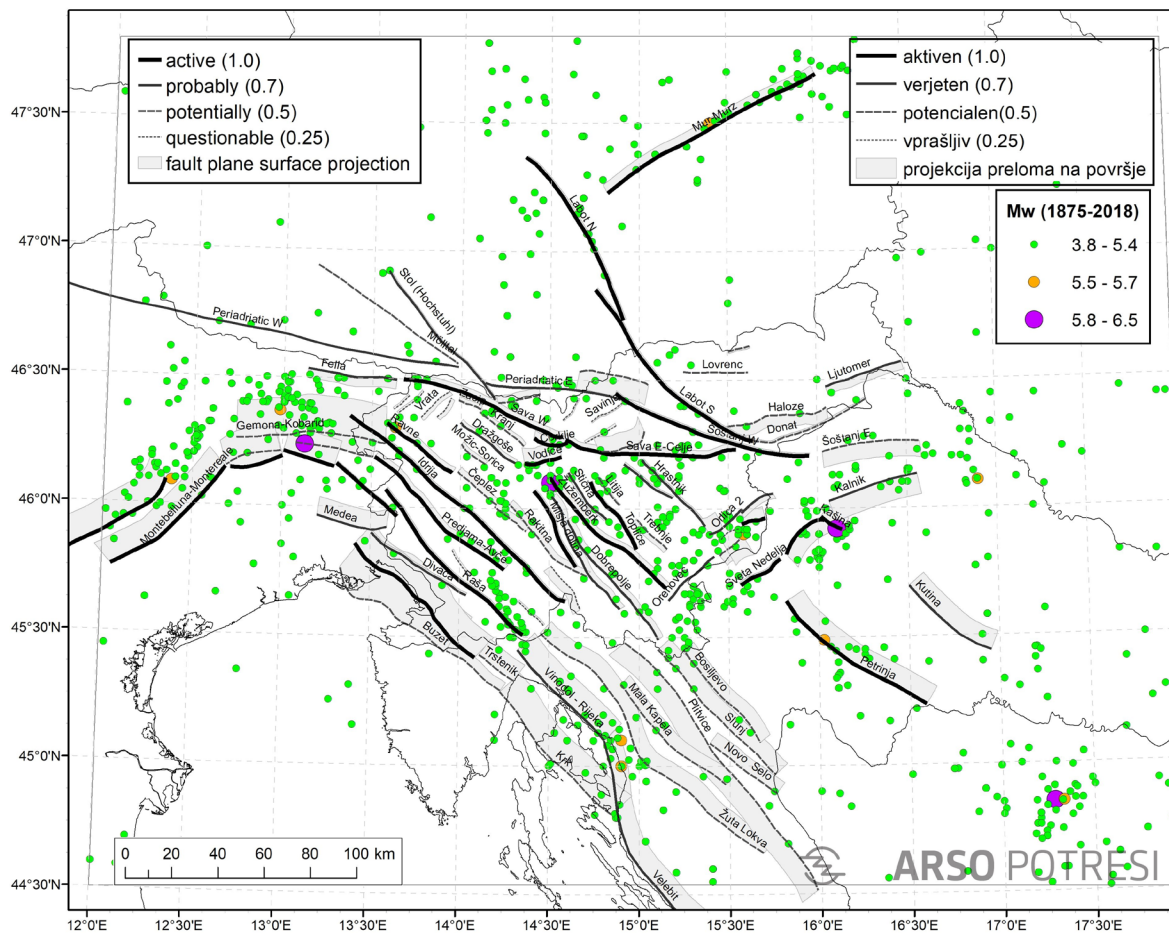


po dvojno odrezani Gutenberg-Richterjevi (GR) magnitudno-frekvenčni enačbi (Gutenberg in Richter, 1954; Cornell in Vanmarcke, 1969):

$$N(m) = N(m_0) \frac{10^{-b(m-m_0)} - 10^{-b(m_u-m_0)}}{1 - 10^{-b(m_u-m_0)}}, \quad (1)$$

kjer je  $N(m)$  kumulativno število potresov z magnitudo vsaj  $m$ ,  $m_0$  je spodnja meja magnitude,  $m_u$  je zgornja meja magnitude, naklon krivulje  $b$  (ali GR  $b$ -vrednost) pa predstavlja razmerje med številom potresov različnih magnitud. Zgornja meja magnitude  $m_u$  je enaka največji možni magnitudi ( $M_{max}$ ) potresa v izbranem izvoru, GR  $a$ -vrednost pa je definirana kot logaritem povprečnega letnega števila potresov  $N(0)$  magnitude vsaj 0,0.

Z občutljivostno analizo smo ocenili, da lahko na vsem obravnavanem območju in za vse potresne izvore privzamemo enotno GR  $b$ -vrednost 1. Ocenjevanje povprečne letne potresne aktivnosti (GR  $a$ -vrednost) in največje magnitude je odvisno od vrste potresnega izvora, ustrezen postopek pa je opisan v nadaljevanju.



**Slika 5:** Model prelomnih potresnih virov (Atanackov in drugi, 2021a, 2021 b, 2022): površinske trase, projekcija preloma na površje (sivine) in potresi iz kompletnega kataloga ( $M_c = 3,8$ , 1875). Verjetnost, da je prelom aktiven, je prikazana z debelino črte, ki označuje površinsko traso.

**Figure 5:** Seismogenic fault (F) source model (Atanackov et al., 2021a, 2021 b, 2022): fault traces, fault plane surface projections (grey shading) and earthquakes from the complete catalog ( $M_c = 3,8$ , 1875). The thickness of the fault trace shows the probability of fault activity.

## Verjetnost, da je prelomni izvor aktiven

Glede na verjetnost (podana v oklepaju), da je dan prelomni izvor aktiven, smo ga uvrstili v enega od štirih razredov: aktivni (1,0), verjetno aktivni (0,7), potencialno aktivni (0,5) in vprašljivi (0,25). Pri tem smo upoštevali naslednje kriterije (Atanackov in drugi, 2021b):

- Prelomni izvor je aktiven, če obstajajo dokazi za njegovo aktivnost v kvartarju (zadnjih 2,6 milijona let).
- Prelomni izvor je verjetno aktiven, če obstajajo posredni dokazi za njegovo aktivnost v kvartarju.
- Prelomni izvor je potencialno aktiven, če je v strukturni povezavi z drugim aktivnim prelomom ali pa je na njegovo aktivnost mogoče sklepati iz njegove geometrije.
- Prelomni izvor je vprašljivo aktiven, če odstopa od ostalih aktivnih ali verjetno aktivnih prelomov v njegovi okolici, vendar bi lahko bil aktiven glede na njegovo geometrijo (npr. levozmični prelomi v Julijskih Alpah in v Periadriatski coni), ali takrat ko je njegov obstoj vprašljiv (npr. potresni izvori Vipava, Jesenovec, Podplanina-Podpreska).

## Potresna aktivnost izvorov (GR a-vrednost), povprečna hitrost premika ob prelomu in seizmični delež premika

**Potresna aktivnost potresnega izvora** je najpomembnejši parameter, s katerim ocenimo, kako pogosto nastajajo potresi na tem izvoru. Izrazimo jo z GR a-vrednostjo, ki je logaritem povprečnega letnega števila potresov nad magnitudo 0,0.

**A model:** Povprečno letno potresno aktivnost smo določili s štetjem zabeleženih glavnih potresov v kompletnem katalogu ( $M_c=3,8$ , od leta 1875 naprej) na območju vsakega ploskovnega izvora. Število potresov nad magnitudo 3,8 smo nato pretvorili v GR a-vrednost po enačbi (1).

**P model:** Potresno aktivnost vsake celice smo določili na dva načina. Prva ocena se nanaša na število potresov v dani celici iz kompletnega kataloga potresov ( $M_c=3,8$ , od leta 1875 naprej), pri čemer so lokacije potresov krožno in eliptično zglajene. Druga ocena upošteva velike zgodovinske potrese v celotnem obdobju kataloga (od leta 456 naprej). Postopek upošteva povezavo med magnitudo in sproščeno energijo, ki jo nato pretvorimo v letno število potresov (Lapajne in drugi, 2003).

**F model:** Pri prelomnih izvorih je potresna aktivnost ocenjena posredno preko povprečne hitrosti premika ob prelomu (angl. *slip rate*). Povprečne hitrosti premika smo ocenili na podlagi vseh dostopnih podatkov (Atanackov in drugi, 2021a, 2021b), to so geološki podatki (litološki markerji, sedimenti), datiranje, geomorfološki podatki, geofizikalni in geodetski podatki (GNNS, InSAR, nivelman, ekstenziometer). Hitrost premika smo nato pretvorili v GR a-vrednost z enačbo, ki sta jo predlagala Youngs in Coppersmith (1985).

Prelomne ploskve se ne premikajo samo ob potresih, ampak se del napetosti sprošča tudi z aseizmičnim polzenjem. Zato smo morali oceniti, kolikšen je seizmični delež premika (angl. *seismic coupling*). Po podatkih iz literature (Ward, 1998) smo seizmični delež ocenili na 70 %, alternativno pa smo delež ocenili tudi za vsak prelom posebej po postopku Carafe (Carafa in drugi, 2017). Za tiste prelome izven Slovenije, ki smo jih privzeli iz podatkovne zbirke DISS (2018), smo privzeli 100 % seizmični delež, saj se podana povprečna hitrost pomikov ob prelomu že nanaša na seizmične premike. Podrobno je ocenjevanje seizmičnega deleža premika predstavljeno v dveh člankih (Zupančič in drugi, 2022b; 2023).

## Največja magnituda ( $M_{max}$ )

S potresno aktivnostjo izvorov smo ocenili pogostost pojavljanja potresov, vedeti pa moramo tudi, kako veliki potresi lahko nastanejo na vsakem potresnem izvoru, zato moramo oceniti največjo možno magnitudo  $M_{max}$ . Največji potres v katalogu potresov KPN2018 (Živčič in drugi, 2018) se je zgodil 6. maja 1976 v Furlaniji (Tertulliani in drugi, 2018) z navorno magnitudo 6,5. Na ozemlju Slovenije je bila največja ocenjena navorna magnituda 6,4 ob potresu 26. marca 1511 pri Idriji (Camassi in drugi, 2011; Košir in drugi, 2011). V katalogu je še 6 potresov z magnitudo med 6,0 in 6,2.

***A model:*** Obravnavano območje smo razdelili na pet večjih območij - supercon z enakimi seizmotektonskimi značilnostmi. V vsaki superconi smo s postopkom EPRI (Johnston in drugi, 1994; Wiemer in drugi, 2016) ocenili porazdelitev največje magnitude  $M_{max}$ , pri čemer smo upoštevali največjo zabeleženo magnitudo in značilnosti porazdelitve  $M_{max}$  za dan seizmotektonski režim. Ocenjeno zvezno porazdelitev parametra  $M_{max}$  smo poenostavili v tri-točkovno diskretno porazdelitev (Miller in Rice, 1983), s čimer smo v vsaki superconi dobili tri (spodnjo, najboljšo, zgornjo) ocene največje magnitude. Ploskovnim izvorom smo nato pripisali ocene iz pripadajoče supercone.

***P model:*** Na vsem obravnavanem območju smo ocenili isto vrednost največje magnitude in sicer smo največjo zabeleženo magnitudo (6,5) v celotnem katalogu potresov KPN2018 povečali za prirastek. Zaradi časovno omejenega beleženja potresov in nenatančnih ocen magnitude zgodovinskih potresov namreč ne moremo izključiti še večjih vrednosti magnitude od doslej zabeleženih. Za prirastek smo določili tri alternativne vrednosti (0, 0,2 ali 0,4), ki ustrezajo spodnji, najboljši in zgornji oceni.

***F model:*** *Večji kot je aktivni prelom, močnejši potres lahko generira.* Na prelomnih izvorih smo največjo magnitudo ocenili z uporabo treh objavljenih empirično določenih odnosov med magnitudo in dolžino oz. površino preloma: Wells in Coppersmith (1994), Hanks in Bakun (2002) ter Leonard (2010). Za zmične prelome (pri katerih je prelomna ploskev približno navpična) smo izbrali enačbe na podlagi dolžine preloma, za normalne in reverzne prelome (kjer je prelomna ploskev nagnjena) pa enačbe na podlagi površine preloma. Pri tem smo izbrali povprečno vrednost magnitude po izbrani enačbi (in ne npr. povprečje, povečano za standardni odklon), saj smo že tako predpostavili zelo malo verjeten scenarij, da se hkrati pretrga ves prelom.

## Najmanjša magnituda ( $M_{min}$ )

V izračunu potresne nevarnosti moramo v vsaki točki potresnega izvora upoštevati nastanek potresa iz celotnega magnitudnega razpona. Ocena  $M_{max}$  predstavlja zgornjo mejo magnitude vsakega izvora, treba pa je določiti tudi spodnjo mejo magnitude, ki je še pomembna s stališča projektiranja potresno odporne gradnje. Upoštevati moramo le potrese, ki lahko povzročijo vsaj zmerne konstrukcijske poškodbe. Najmanjši instrumentalno zabeležen potres v katalogu, ki je povzročil take poškodbe, je potres 1. novembra 2015 na Gorjancih. Za spodnjo mejo magnitude (ki ni odvisna od potresnega izvora, ampak je enaka na vsem obravnavanem območju) smo izbrali pripadajočo vrednost magnitude 4,3.

## Razmerje med dolžino in širino pretrga (angl. rupture aspect ratio) AR

V programu OpenQuake se potresna nevarnost računa za vse potencialne potresne pretrge, ko žarišče potresa premikamo po prelomni ploskvi ali po ploskovnem izvoru. Dolžina vsakokratnega pretrga je odvisna od magnitude in je zgoraj ter spodaj omejena s seizmogeno

globino (Pagani in drugi, 2014). Oblika pretrga je odvisna od razmerja med dolžino in širino pretrga (AR). Pri majhnih potresih se pretrg širi enakomerno po prelomni ploskvi, zato lahko predpostavimo, da je razmerje AR enako 1. Pri večjih potresih je širjenje pretrga omejeno, ko pretrg doseže spodnjo ali zgornjo seizmogeno globino. Ta omejitev se bolj odraža pri zmičnih prelomih, saj so že po definiciji bolj navpični kot normalni in reverzni prelomi, in zato hitreje, že pri manjših magnitudah, dosežejo zgornji ali spodnji rob seizmogene plasti (Mai in Beroza, 2000).

***F model:*** Pregledali smo veliko objavljenih študij o relacijah med potresnim navorom in dimenzijami prelomne ploskve (Scholz, 1990, 2019; Leonard, 2010, 2014; Wesnousky, 2008; Mai in Beroza, 2000). Na podlagi literature ter po pogovorih s strokovnjaki, ki so sodelovali pri pripravi ESHM13 in ESHM20 (Basili, 2019; Danciu in drugi, 2021, Woessner in drugi, 2015), smo se odločili, da bomo razmerje med dolžino in širino pretrga (AR) ocenili glede na tip prelomnega izvora: za normalne in reverzne prelome ter za narive smo določili vrednost 1, za zmične prelome pa vrednost 3.

***A in P model:*** V ploskovnih potresnih izvori privzamemo tisto vrednost razmerja AR, ki ustreza prevladujočemu tipu mehanizma prelomov v danem izvoru. V ploskovnih izvori z mešanimi tektonskimi režimi, kjer je utež za oba tipa enaka 0,5, privzamemo vrednost razmerja 1. Točkovnim izvorom smo pripisali vrednosti ustreznega ploskovnega izvora.

## Prostorski parametri prelomne ploskve in žariščni mehanizem

Prelom prostorsko opredelimo s smerjo trase preloma glede na sever (angl. *strike*) in z vpadnim kotom oz. naklonom prelomne ploskve (angl. *dip*) glede na Zemljino površje. Tip preloma pa je opredeljen s smerjo premika ob prelomu (angl. *rake*); lahko je normalni, (levo ali desno) zmični, (levo ali desno) transpresivni ali transtenzijski, reverzni ali nariv (Cronin, 2010).

***F model:*** Prostorski parametri in tip preloma so določeni geološko in temeljijo na objavljenih študijah in terenskih raziskavah (strukturno-geološko kartiranje, paleoseizmološki izkopi, geomorfološke analize), na podatkih o žariščnih mehanizmih potresov ter na interpretaciji geofizikalnih podatkov.

***A in P model:*** *Ocene prostorskih parametrov in mehanizma preloma* so bile na podlagi prevladujočih prelomov pripisane ustreznim ploskovnim in točkovnim izvorom.

## Zgornja in spodnja seizmogeno globina ter žariščna globina

Za izračun potresne nevarnosti potrebujemo še oceno zgornje in spodnje seizmogene globine, torej dela Zemljine skorje, kjer lahko nastanejo potresi. Potresi nastajajo na prelomih v trdnem delu zemeljske skorje. To območje je omejeno s spodnjo seizmogeno globino, kjer se zaradi visokega tlaka in temperature lastnosti kamnin spremenijo in preidejo iz trdnega v plastično stanje, nastanek potresov pa ni več mogoč. Ta globina je odvisna od tega, v katerem delu tektonske plošče se nahajamo (stik dveh plošč, stabilno kontinentano območje), znotraj tega območja pa tudi od mehanizma in nekaterih drugih značilnosti preloma (Scholz, 2019). Žariščna globina je globina potresnega žarišča, kjer se začne sproščati energija oz. kjer je nastanek pretrga.

***F model:*** Zgornjo seizmogeno globino smo ocenili na vrednost 0 km pri prelomih z jasno izraženo traso preloma, saj smo predpostavili, da taki prelomi lahko povzročijo površinski

pretrg. Pri nekaterih od teh prelomov možnost površinskega pretrga izhaja iz paleoseizmoloških, geofizikalnih ali geomorfoloških podatkov. Pri drugih prelomih (Artiče, Orlica segment 3, Kranj in Labot S) smo zgornjo globino ocenili na podlagi geofizikalnih podatkov, za prelome v Italiji (Trasaghis-Taipana, Gemon-Tarcento, Montebelluna-Montereale, Maniago-Sequals, Bassano-Vittorio Veneto, Medea in Andreis-Forgaria nel Friuli) pa smo jo privzeli iz objavljenih študij. Postopki in literatura so podrobneje opisani v članku (Atanackov in drugi, 2021a, 2021b).

Ocenjevanje spodnje seizmogene globine je le za nekaj prelomov temeljilo na objavljenih strukturnih geoloških in geofizikalnih podatkih. Za večino prelomovti podatki ne obstajajo. Zato smo spodnjo globino ocenili ekspertno glede na strukturno-geološka razmerja med prelomi, s pregledom seizmoloških podatkov ter upoštevajoč kriterij, da prelom ne more biti širši od njegove dolžine.

***A in P model:*** Za vse ploskovne in točkovne izvore smo na podlagi geoloških podatkov privzeli vrednost zgornje seizmogene globine enako 0 km, saj je pri večini aktivih prelomov površinska trasa jasno izražena.

Geološke ocene ***spodnje seizmogene globine*** so bile na podlagi prevladujočih prelomov pripisane ustreznim ploskovnim in točkovnim izvorom. Geološke ocene spodnje seizmogene globine smo preverili tudi s seizmološkimi podatki iz dveh katalogov potresov. Najbolj zanesljive informacije o žariščni globini pridobimo iz novejših potresov, ki smo jih zabeležili s sodobnimi instrumenti. V ta namen smo pripravili katalog instrumentalno zabeleženih potresov, ki je pokrival območje Slovenije in sosednjih držav. Ta katalog vsebuje neenakomerno porazdeljeno populacijo potresov bodisi zaradi prostorsko heterogene potresne aktivnosti bodisi zaradi različnih izvorov katalogov (različen prag magnitude/intenzitete, gostota mreže potresnih opazovalnic itd). Najbolje pokriti območji sta Slovenija in Furlanija, zato je ocenjevanje globine na teh območjih boljše kot na drugih območjih. Katalogi instrumentalno zabeleženih potresov pa na območju Slovenije in okolice vključujejo predvsem šibke in zmerne potrese. Da bi zajeli tudi močne zgodovinske potrese, smo za oceno spodnje seizmogene globine uporabili tudi katalog potresov KPN2018, ki smo ga uporabili za izračun karte potresne nevarnosti. V vsakem od obeh katalogov potresov smo za vsak ploskovni izvor iskali najmanjšo vrednost, največjo vrednost, srednjo vrednost, povprečno vrednost, 90. in 95. percentil žariščne globine. Za seizmološko oceno spodnje seizmogene globine smo izbrali večjo vrednost (iz obeh katalogov) od obeh 95. percentilov. Izjema je bil ploskovni izvor Mid-Hungarian (AS10), kjer je zaradi majhnega števila potresov velika razlika med 95. in 90. percentilom. Na vrednost 95. percentila močno vplivata dva najgloblja potresa s slabo ocejeno globino žarišča, zato smo v tem izvoru izbrali 90. percentil globine. Izvor South Hungary (B6) vsebuje samo en potres v katalogu zgodovinskih potresov in nobenega potresa v katalogu instrumentalno določenih potresov, zato smo vrednosti za spodnjo seizmogeno globino in za žariščno globino privzeli iz sosednjega izvora Mid-Hungarian, ki sta si po strukturno-tektonskih lastnostih najbolj podobna. Izvor Carinthia 1 (B31) vsebuje samo en potres v obeh katalogih, zato smo prevzeli vrednosti za spodnjo seizmogeno globino in za žariščno globino iz sosednjega izvora Molltal (AS2), ki mu je izmed vseh sosednjih izvorov po strukturno-tektonskih lastnostih najbolj podoben.

Ugotovili smo, da se potresi dogajajo tudi globlje kot je geološko ocenjena spodnja seizmogeno globina. Zato smo za končno vrednost spodnje seizmogene globine v ploskovnih izvorih privzeli večjo od obeh ocen (geološke in seizmološke). V potresnem izvoru Labot (AS8) je geološka ocena globlja od seizmološke, v vseh drugih izvorih pa je globlja seizmološka ocena.

Za ploskovne in točkovne izvore potrebujemo tudi žariščno globino, ki smo jo ocenili na podlagi seizmoloških podatkov. Na vsakem ploskovnem izvoru smo jo ocenili kot srednjo vrednost (mediana) globine potresov iz instrumentalnega kataloga. Točkovnim izvorom pa smo pripisali vrednosti ustreznega ploskovnega izvora.

## Model pojemanja pospeška tal

Potres ne vpliva le neposredno v nadžariščnem območju, ampak lahko učinke močnih potresov zaznamo tudi več 100 km daleč. Seveda se učinki zmanjšujejo z oddaljenostjo od (nad)žarišča potresa. Hitrost pojemanja in vpliv drugih parametrov nam pojasnjuje t.i. model pojemanja pospeška tal, angl. *ground motion attenuation model*. Ta model je eden najvplivnejših dejavnikov v izračunu potresne nevarnosti. Njegove parametre določimo z regresijskim postopkom na podlagi meritev pospeškov ob močnih potresih. V zadnjem desetletju so meritve pospeškov na novih potresnih opazovalnicah (akcelerogrami) omogočile razvoj številnih novih modelov pojemanja po vsem svetu (Douglas, 2021). Zaradi negotovosti parametrov modela in zaradi njihovega pomembnega vpliva na oceno potresne nevarnosti se je v praksi uporabljalo več alternativnih modelov, vgrajenih v logično drevo. V zadnjih letih pa se namesto uporabe nabora alternativnih modelov uveljavlja takoimenovan 'backbone' princip (Douglas, 2018) oz. referenčni model pojemanja. Uporabimo torej le en model, vendar kalibriramo parametre, da ustrezajo lokalnim ali regionalnim seizmotektonskim razmeram. Njihovo porazdelitev modeliramo v logičnem drevesu.

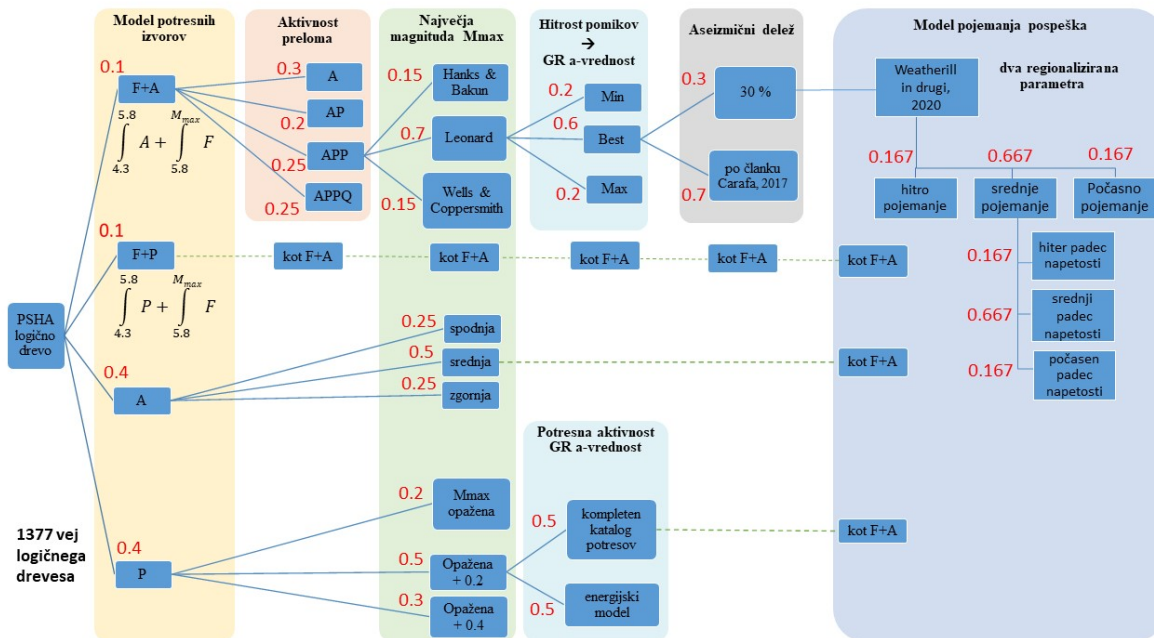
Za oceno potresne nevarnosti Slovenije smo uporabili referenčni ('backbone') model pojemanja pospeška tal, ki je bil razvit za izračun posodobljene evropske karte potresne nevarnosti (Weatherill in drugi, 2020; Kotha in drugi, 2020). V modelu pojemanja pospeška tal so poleg razdalje upoštevani še številni drugi parametri (npr. magnituda, žariščni mehanizem, tip tal). Velika večina ozemlja Slovenije in bližnje okolice spada v območje (v evropskem modelu označeno kot prva regija), kjer je pojemanje pospeška počasno do zmerno. Epistemično negotovost dveh parametrov modela pojemanja (hitrost pojemanja in napetostni režim) smo upoštevali s tritočkovno diskretizacijo njihove normalne porazdelitve.

## Izračun potresne nevarnosti

Model potresnih izvorov in model pojemanja pospeška tal imata številne parametre, katerih vrednosti ne poznamo in jih lahko le ocenimo na podlagi interpretacij vseh razpoložljivih podatkov. Ker so ocene negotove, smo za najvplivnejše parametre privzeli več vrednosti. Epistemično negotovost parametra, ki ima nepoznano, a samo eno možno vrednost, modeliramo v logičnem drevesu, kjer veje drevesa predstavljajo alternativne vrednosti. Razpon alternativnih vrednosti postopoma zmanjšujemo z novimi raziskavami, usmerjenimi v boljše poznavanje vhodnih podatkov. Struktura logičnega drevesa za slovenski model potresne nevarnosti ima 1377 vej (slika 6). Jedro logičnega drevesa so modeli potresnih izvorov (P, A, F+P, F+A) s pripadajočimi utežmi (0,4, 0,4, 0,1 in 0,1), ki smo jih določili glede na prednosti in slabosti vsakega od modelov.

Poleg epistemične negotovosti smo modelirali tudi slučajno (aleatorno) variabilnost tistih parametrov, ki imajo lahko več možnih vrednosti. Npr. v enem ploskovnem izvoru se potres lahko zgodi na različnih globinah in ima lahko več možnih mehanizmov (naklon prelomne ploskve, smer premika ob prelomu). Tudi pospešek tal ima lahko velik razpon, čeprav se je potres enake magnitude zgodil na isti lokaciji in ga je izmerila ista potresna opazovalnica.

Pri izračunu potresne nevarnosti smo upoštevali vse potresne izvore in integrirali po vsem razponu magnitude ter po vseh razdaljah med vsako točko v potresnem izvoru in točko izračuna. Najprej smo izračunali letno verjetnost prekoračitve vnaprej izbranih referenčnih vrednosti pospeška, nato pa dobljene vrednosti interpolirali glede na izbrano povratno dobo (475 let).



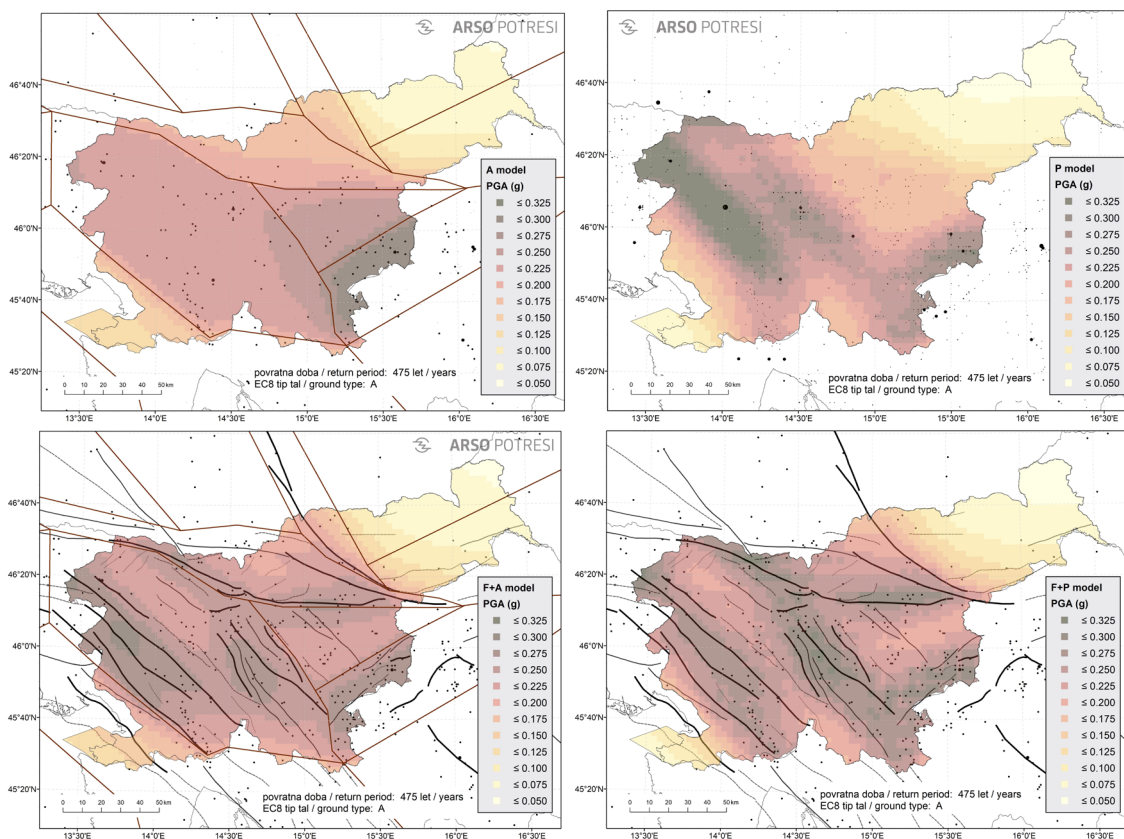
**Slika 6:** Logično drevo za slovenski model potresne nevarnosti ima 1377 vej.  
**Figure 6:** Logic tree of the Slovenian PSHA model with 1377 end branches

Potresno nevarnost za vse modele potresnih izvorov in za celotno logično drevo parametrov smo računali s programom OpenQuake (Pagani in drugi, 2014). Prva verzija programa OQ je bila izdelana leta 2010 v okviru partnerstva Global Earthquake Model (GEM) z namenom, da bi razvili globalno, sodobno in odprtokodno programsko orodje za oceno potresne nevarnosti in ogroženosti, s standardizirano obliko vhodnih in izhodnih podatkov. Program se ves čas nadgrajuje glede na zahteve uporabnikov. Na voljo je tudi uporabniški priročnik (GEM, 2022) ter dokumentacija o metodah izračuna, nudijo pa tudi izobraževalne tečaje za uporabnike in podporo preko uporabniškega foruma. Zato je OQ eden najsodobnejših in najbolj razširjenih programov za izračun potresne nevarnosti, uporablja ga več tisoč strokovnjakov iz več kot 80 držav. Program je bil preverjen v projektu PEER (Hale in drugi, 2018). Za oceno potresne nevarnosti Slovenije smo uporabili verziji OQ 3.10.1 in OQ 3.12.0, ki sta tekli na operacijskem sistemu Ubuntu 16.04. Potresno nevarnost smo računali v mreži točk z razmikom  $3 \times 3 \text{ km}^2$ . Hipotetične pretrge na prelomnih izvorihi smo generirali s korakom 1 km, na ploskovnih izvorihi pa s korakom 2 km. Širina magnitudnega razreda je bila 0,1. Za glajenje pretekle seizmičnosti v točkovnem modelu smo uporabili program OHAZ (Zabukovec, 2000), s katerim smo izračunali letne aktivnosti vseh celic mreže, in jih pretvorili v obliko, ki jo zahteva program OpenQuake.

## Nova karta potresne nevarnosti Slovenije

Potresno nevarnost Slovenije prikazujemo s karto vršnega oz. projektnega pospeška tal (PGA) in z desetimi kartami spektralnih pospeškov za trdna tla (tip A po EC8) in za povratno dobo 475 let. Za izbrane lokacije (večja slovenska mesta) podajamo tudi krivulje potresne

nevarnosti in spektre enotne potresne nevarnosti. Rezultati modela potresne nevarnosti (karta projektnega pospeška, informativne karte, krivulje in spektre potresne nevarnosti) so dostopni v spletnem pregledovalniku (ARSO, 2022b). Karte vršnega pospeška tal (PGA) smo najprej izračunali za vsakega od štirih modelov potresnih izvorov (slika 7): ploskovni (A), točkovni (P) ter dva prelomna modela z ozadjem (F+A in F+P).



**Slika 7:** Karte vršnega pospeška tal PGA za posamezne (A, P, F+A, F+P) modele potresnih izvorov. Na karti za P model so prikazani potresi iz celotnega potresnega kataloga KPN2018, na preostalih treh kartah pa so poleg modela potresnih izvorov prikazani potresi nad magnitudo 3,8 iz celotnega kataloga od leta 1875. Vrednosti PGA so izračunane za trdna tla in za povratno dobo 475 let.

**Figure 7:** PGA maps of individual (A, P, F+A, F+P) seismogenic source models. Earthquakes from the whole KPN2018 catalog are shown on the map of P model, while other three maps show the corresponding source model and earthquakes from the complete KPN2018 from 1875. All hazard maps are estimated for a return period of 475 years and for a rock ground type.

Novo karto potresne nevarnosti Slovenije smo izračunali kot uteženo kombinacijo vseh štirih modelov oz. celotnega logičnega drevesa (slika 6). Za celovito oceno potresne nevarnosti izračunamo povprečno (angl. *mean*, slika 8 levo) in srednjo (angl. *median*, slika 8 desno) vrednost vseh vej logičnega drevesa, negotovost ocene pa podajamo s percentilnimi (5., 16., 84. in 95.) vrednostmi. Največja izračunana povprečna vrednost na območju Slovenije je 0,323 g, največja srednja vrednost pa 0,270 g. Razpon epistemične negotovosti je prikazan v preglednici 1. V praksi ocenjevanja potresne nevarnosti ni splošnega pravila, ali je bolj primerna ocena na podlagi povprečne ali srednje vrednosti, in tudi standard EC8 tega ne predpisuje. Za namen projektiranja potresno odpornih stavb in za uradno karto kot prilogo Nacionalnemu dodatku EC8 smo določili karto povprečnih vrednosti, ker upošteva vrednosti vseh vej logičnega drevesa, vključno z najbolj konzervativnimi vrednostmi, ki izhajajo iz prelomnih izvorov (ki poudari Dinarski prelomni sistem) in iz energijskega modela (ki poudarja



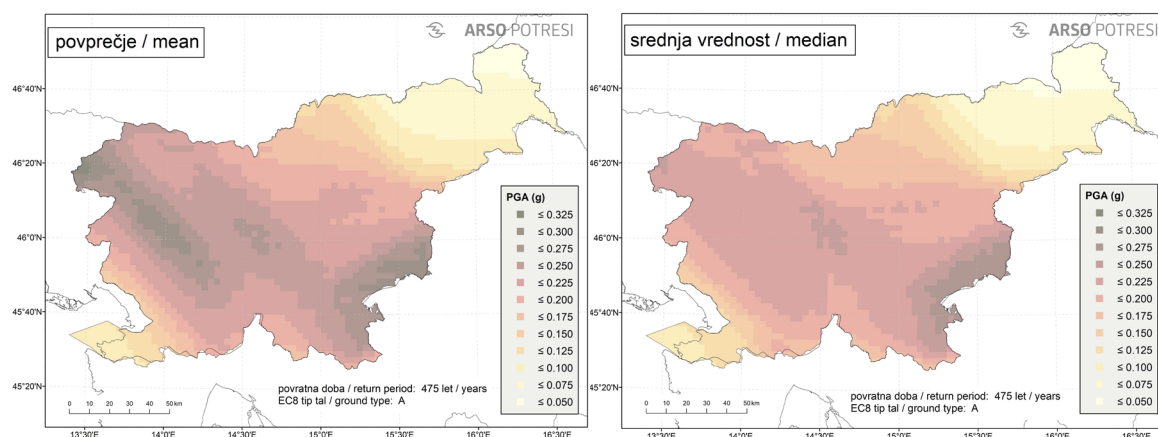
lokacije najmočnejših zgodovinskih potresov). Zato so povprečne vrednosti večje od srednjih predvsem v zahodni Sloveniji, v območju med Bovcem in Postojno. Karta potresne nevarnosti na podlagi srednjih vrednosti logičnega drevesa ne upošteva vrednosti vseh vej, ampak le njihov vrstni red.

Karta povprečnih vrednosti pospeška tal za trdna tla za povratno dobo 475 let (slika 8 levo) je usklajena z zahtevami EC8 za potresno odporno projektiranje. Vrednosti smo razdelili na deset razredov od 0,100 do 0,325 g in jih zaokrožili na zgornjo mejo razreda (slika 9), tako dobljeno karto pa smo predlagali za novo uradno karto za namen projektiranja. Po končanem postopku SIST za spremembo Nacionalnega dodatka EC8 (SIST EN 1998-1:2005/oA101:2005) je karta postala del zakonodaje o potresno odporni gradnji in s tem predstavlja karto *projektne*ga pospeška tal. V prehodnem obdobju (od 1. maja 2022 do 1. maja 2024) sta veljavni obe karti potresne nevarnosti, stara karta (ARSO, 2001; Lapajne in drugi, 2001, 2003) in nova karta (ARSO, 2021; Šket Motnikar in drugi, 2022a). Karta projektnega pospeška tal je na spletu dosegljiva v ločljivosti 500 dpi (ARSO, 2021), za podlago pa ima Državno pregledno karto Slovenije 1:500.000 (GURS, 2021).

**Preglednica 1:** Povprečne in percentilne (pct) vrednosti PGA glede na logično drevo v Sloveniji

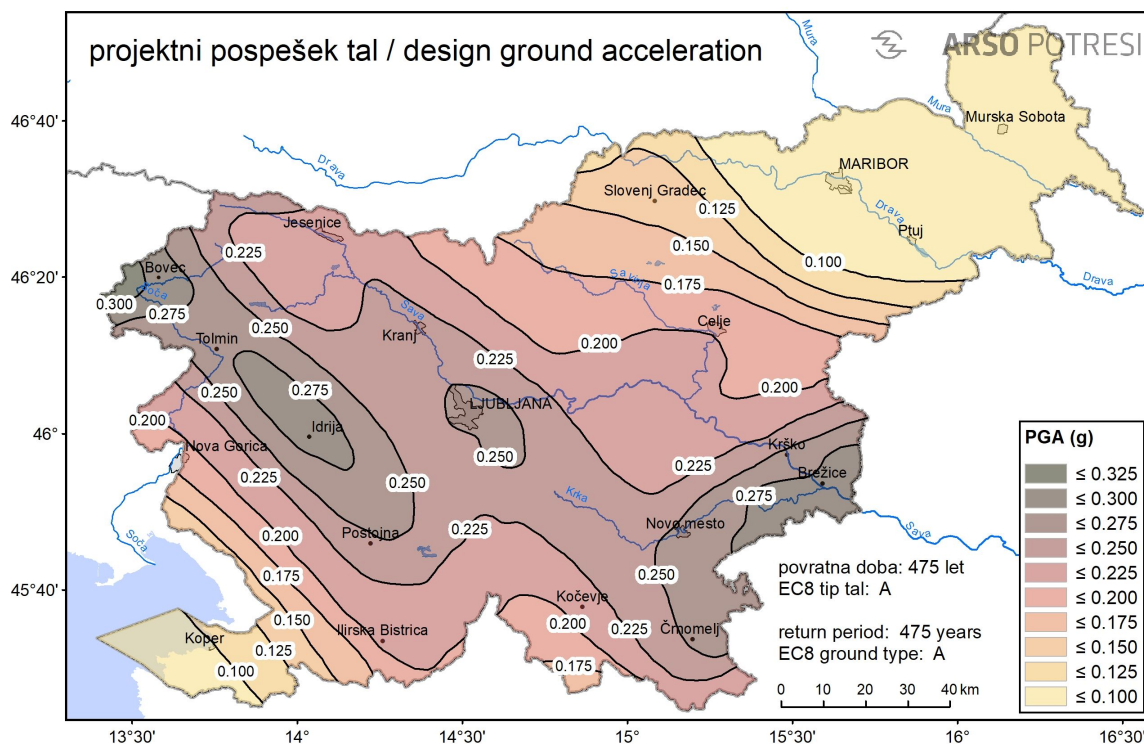
**Table 1:** Mean and percentile (pct) PGA values of logic tree inside Slovenia

PGA (g)	povprečje logičnega drevesa / LT mean	5. pct	16. pct	50. pct	84. pct	95. pct
Povprečna vrednost v Sloveniji / mean value in Slovenia	0,186	0,076	0,104	0,167	0,254	0,334
Največja vrednost v Sloveniji / max value in Slovenia	0,323	0,137	0,201	0,270	0,469	0,524
Razmerje med percentilno in pov- prečno vrednostjo logičnega drevesa / ratio between percentile and mean	1	0,41	0,56	0,90	1,37	1,80



**Slika 8:** Povprečne (levo) in srednje (desno) vrednosti vršnega pospeška tal (PGA) na trdnih tleh za povratno dobo 475 let

**Figure 8:** Mean (left) and median (right) PGA map on rock for a return period of 475 years.



**Slika 9:** Karta potresne nevarnosti Slovenije (2021): projektni pospešek tal na trdnih tleh za povratno dobo 475 let

**Figure 9:** Seismic hazard map of Slovenia (2021): design ground acceleration (rounded PGA) on rock for a return period of 475 years.

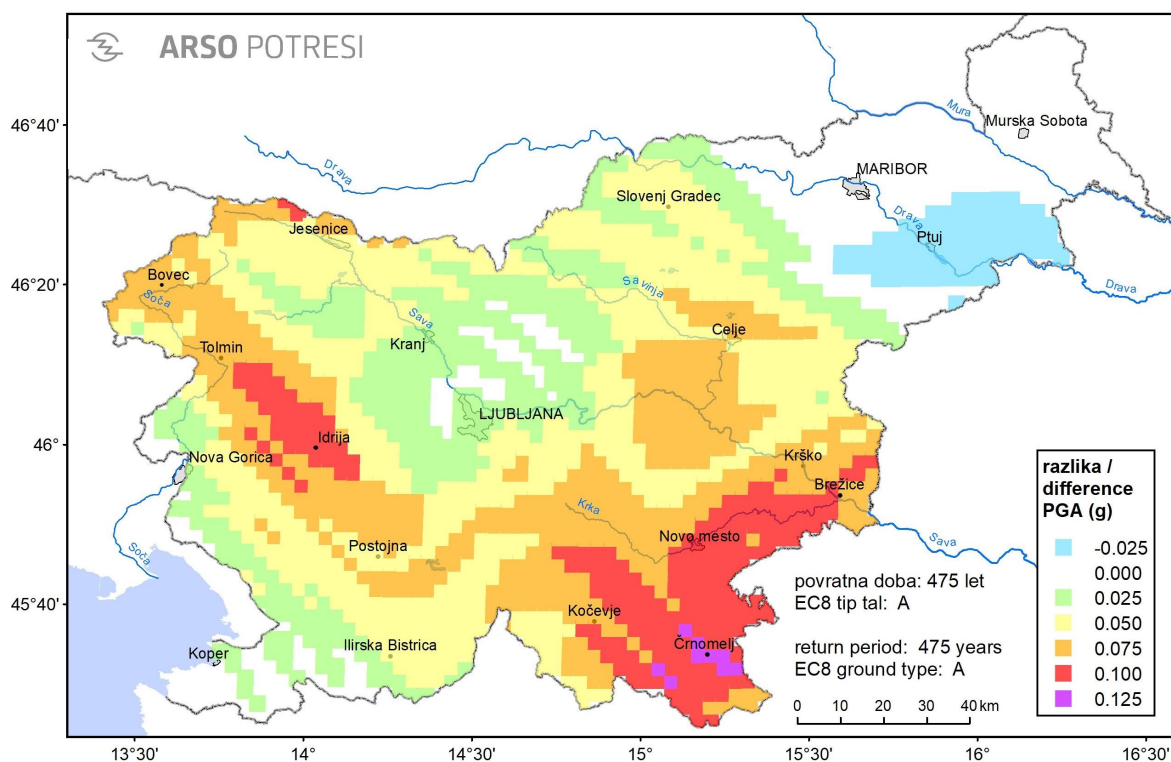
**Preglednica 2:** Metodološke razlike pri izdelavi stare in nove karte potresne nevarnosti Slovenije

**Table 2:** Methodological differences in development of the new and previous seismic hazard map of Slovenia

	stara - 2001	nova - 2021
Modeli potresnih izvorov	Pet različic glajenja pretekle seizmičnosti v katalogu potresov	Glajenje pretekle seizmičnosti, ploskovni izvori in prelomni izvori z ozadjem
Model pojemanja pospeškov z razdaljo	Sabetta – Pugliese (1996);	Kotha in drugi (2020); nov evropski model pojemanja, regionalizacija, logično drevo
Obravnava negotovosti in variabilnosti	Enolična vrednost parametrov	Modeliranje negotovosti in variabilnosti vseh vplivnih parametrov
Tip magnitude in spodnja meja magnitude	Lokalna magnitude M3,7	Navorna magnitude M4,3 za ploskovne in točkovne izvore M5,8 za prelomne izvore
Katalog potresov	Kompletnost: 1880, M3,7 in 1690, M5,0	Kompletnost: 1875, M3,8 Razširjen in posodobljen katalog
Računalniški program	OHAZ	OpenQuake in OHAZ

Projektne pospešek tal (slika 9) doseže največjo vrednost (0,325 g) v redko poseljenem območju na skrajnem zahodnem delu Slovenije, kar je posledica velike potresne aktivnosti v Furlaniji. Pospešek do 0,300 g zajema območje okrog Idrije, ki sovпада z najpomembnejšimi dinarskimi prelomi in z ocenjeno lokacijo najmočnejšega zabeleženega zgodovinskega potresa v Sloveniji, ter JV del Slovenije okrog Brežic, kjer se v Sloveniji zgodi največ potresov nad izbrano spodnjo mejo magnitude 4.3.

Tako kot na prejšnji uradni karti potresne nevarnosti (slika 1b) je tudi na novi karti potresna nevarnost znatna v osrednjem delu Slovenije ter v pasu od SZ do JV. Najpomembnejše razlike v postopku izračuna nove in stare karte potresne nevarnosti Slovenije so podane v preglednici 2, na sliki 10 pa je prikazana karta razlik med novimi in starimi vrednostmi. Nove ocene projektne pospeška so v večini Slovenije večje, predvsem na območju Dinarskih prelomov in v JV Sloveniji, z največjim prirastkom 0,125 g v Beli Krajini. V severnem delu osrednje Slovenije (Ljubljana, Kranj, Kamnik) ter na jugozahodu Slovenije so vrednosti na obeh kartah primerljive. Le v okolici Ptujja se je projektne pospešek tal nekoliko zmanjšal.



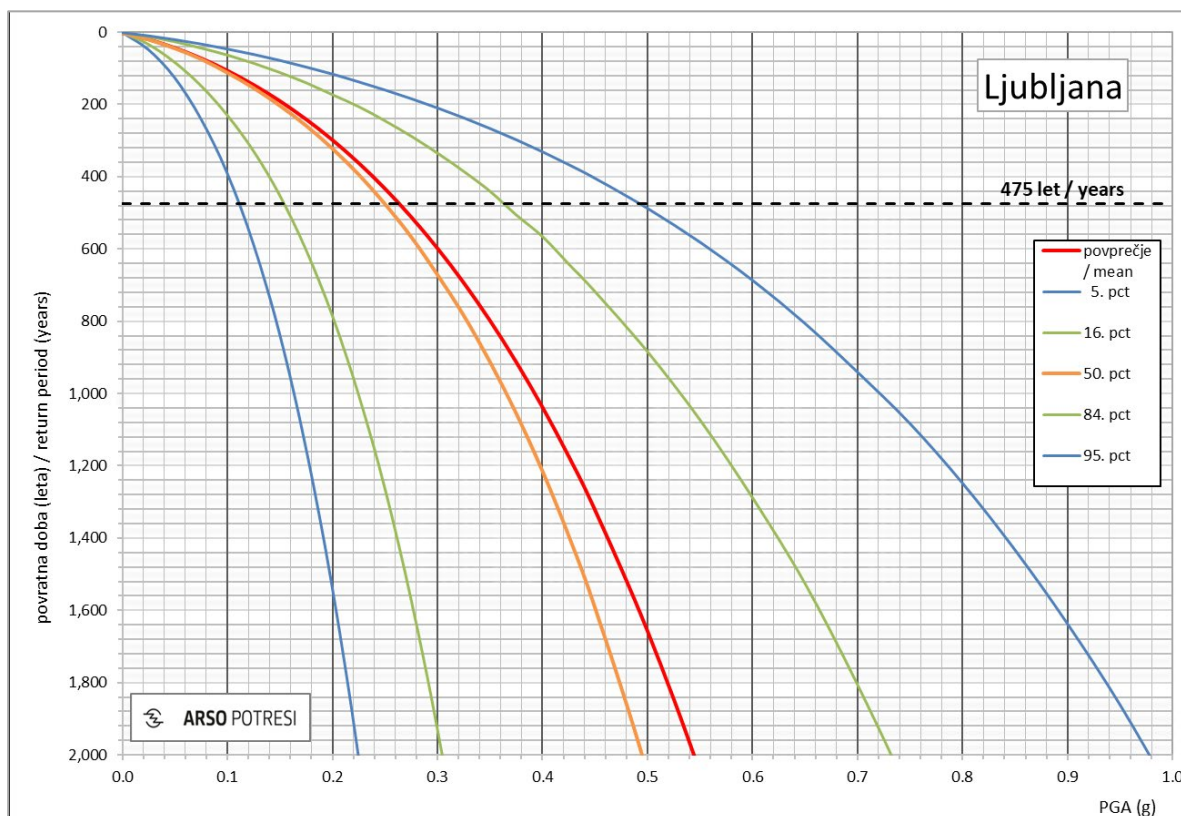
**Slika 10:** Razlika med vrednostmi novega in starega projektne pospeška tal

**Figure 10:** Differences between the new and previous seismic hazard maps of Slovenia

## Dodatne (informativne) ocene potresne nevarnosti Slovenije

Za projektiranje pomembnih objektov (npr. bolnišnice, šole) je treba upoštevati večje zahteve po varnosti, zato objekte projektiramo za večjo povratno dobo. Odvisnost pospeška tal od povratne dobe prikazuje krivulja potresne nevarnosti za izbrano lokacijo. Slika 11 prikazuje krivuljo potresne nevarnosti za Ljubljano in sicer povprečne vrednosti in percentilne krivulje, ki odražajo modeliranje negotovosti parametrov v logičnem drevesu. V Ljubljani je povprečna vrednost PGA enaka 0,27 g, razlika med 5. in 95. percentilom pa je približno 0,37 g. Iz krivulje lahko razberemo tudi povratno dobo za vnaprej izbrane vrednosti PGA, ki približno ustrezajo stopnjam intenzitete. Pri isti intenziteti lahko izmerimo zelo velik razpon

pospeška tal, zato je zveza med intenziteto in pospeškom zelo nenatančna; privzeli smo jo iz Nacionalnega dodatka za uporabo EC8 iz leta 1994. Čeprav je bila običajna praksa, da se pri povečanju intenzitete za eno stopnjo velikost potresnih sil podvoji, so pri intenziteti IX odstopili od tega pravila (Fajfar, 2017). Zato smo povratno dobo izračunali za dva približka PGA za intenziteto IX EMS-98. Pri vrednosti 0,05 g, ki približno ustreza intenziteti VI EMS-98, je povratna doba za Ljubljano okrog 45 let. Za PGA = 0,1 g (približno VII EMS-98) je okrog 100 let, za PGA = 0,2 g (približno VIII EMS-98) je okrog 300 let, za PGA = 0,3 g okrog 600 let (prvi približek za IX EMS-98), za PGA = 0,4 g (drugi približek za IX EMS-98) pa okrog 1000 let. Ustrezne povratne dobe za 22 slovenskih mest so prikazane v preglednici 3.

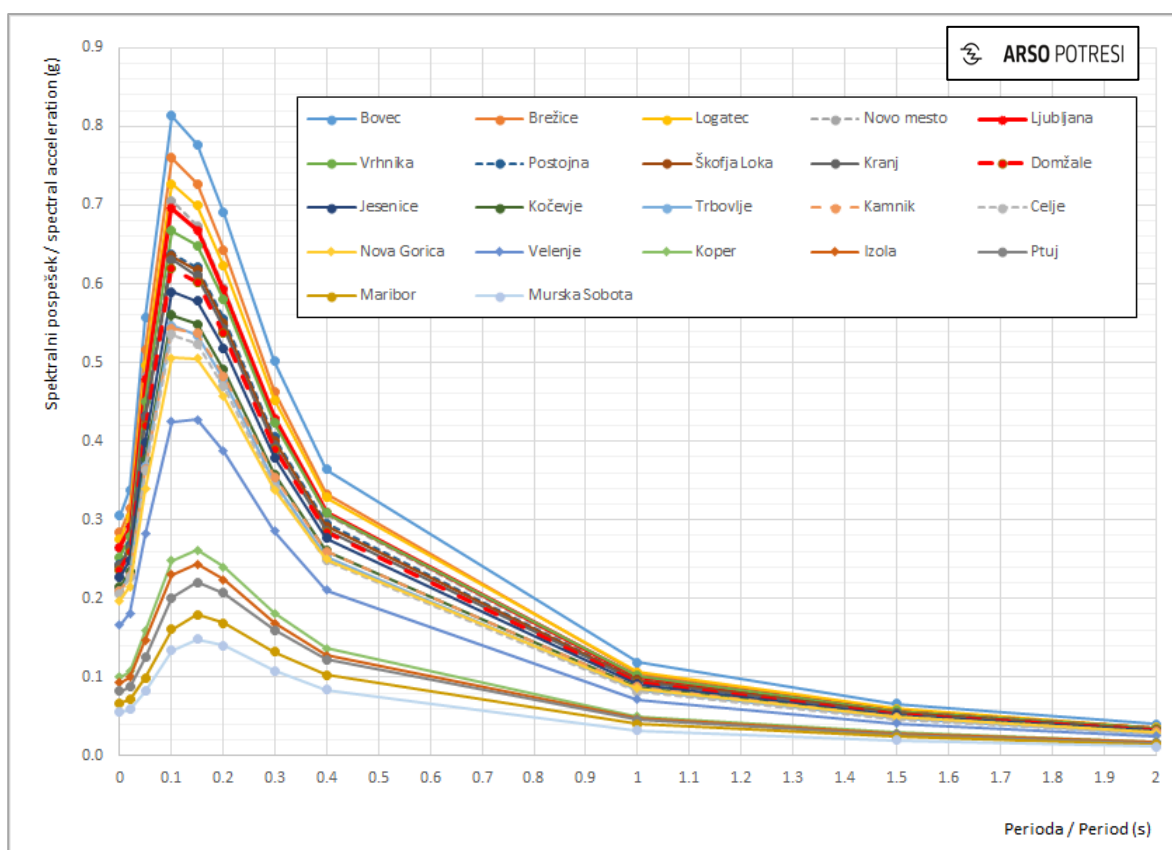


**Slika 11:** Krivulja potresne nevarnosti za Ljubljano in percentili, ki prikazujejo negotovost ocenjevanja  
**Figure 11:** Mean seismic hazard curve of Ljubljana, together with percentiles that show epistemic uncertainty

Po obstoječem standardu EC8 se potresna nevarnost določa z vršnim (projektnim) pospeškom tal in z elastičnim spektrom pospeškov, ki ima predpisano obliko, plato na vrhu spektra pa je 2,5 kratnik vršnega pospeška. Na obnašanje stavbe med potresom pa ne vpliva samo vršni oz. projektni pospešek tal, ampak tudi spektralni pospeški (SA) pri izbranih nihajnih časih. Kateri nihajni čas ima največji vpliv, je odvisno od lastnosti stavbe, predvsem od njene višine. Predvidene so večje spremembe standarda EC8 (CEN, 2021), po katerih osnovni parameter potresne nevarnosti ne bo več vršni pospešek tal PGA, ampak ga bosta nadomestila dva spektralna parametra: parameter  $S_{\alpha,475}$ , ki določa SA na vrhu (platoju) elastičnega odzivnega spektra, in parameter  $S_{\beta,475}$ , ki določa SA pri nihajnem času 1,0 s. Novo oceno potresne nevarnosti Slovenije smo zato dopolnili s kartami SA za 10 nihajnih časov (0,02, 0,05, 0,1, 0,15, 0,2, 0,3, 0,4, 1,0, 1,5 in 2,0 sekundi), kar bo omogočilo nadaljnje raziskave o razmerjih med spektralnimi pospeški, vršnim pospeškom tal in elastičnim spektrom odziva. Za oceno

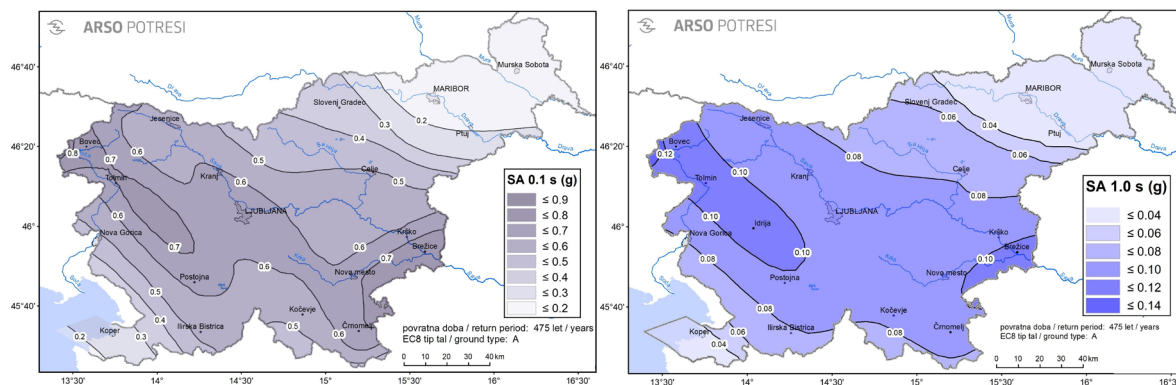
parametra  $S_{\beta,475}$  sta v predlogu novega EC8 predvideni dve možnosti: parameter  $S_{\alpha,475}$  pomnožimo s priporočenim faktorjem, ali pa vrednosti SA (1,0 s) neposredno izračunamo.

PGA je enak SA pri nihajnem času 0 s. Izračunani spekter enotne potresne nevarnosti za povratno dobo 475 let je za 22 slovenskih mest prikazan na sliki 12. Vrstni red naselij je urejen padajoče glede na vrh spektra. Za povratno dobo 475 let je na večini območja Slovenije največji SA dosežen pri nihajnem času 0,10 s, na lokacijah z majhno potresno nevarnostjo (vrednost PGA pod 0,1 g) pa pri 0,15 s. V preglednici 8 sta oranžno obarvani vrstici za SA na vrhu spektra, ki opisuje parameter  $S_{\alpha,475}$ . Te vrednosti lahko primerjamo z 2,5 kratnikom vršnega pospeška tal (zadnja, rumeno obarvana vrstica), kot je priporočeno razmerje med PGA in vrhom spektra v EC8 (SIST EN 1998-1:2005). Parameter  $S_{\alpha,475}$  (plato spektra) torej lahko ocenimo s parametrom SA (0,1 s) (slika 13 levo), SA (0,15 s) ali pa z uteženim povprečjem izbranih SA vrednosti blizu platoja spektra. V preglednici 4 so zeleno obarvane izračunane vrednostmi SA (1 s), s katerimi bi lahko (po eni izmed dveh možnosti v novem osnutku EC8 (CEN, 2021)) ocenili parameter  $S_{\beta,475}$ . Karta parametra SA (1 s) je dodatno prikazana na sliki 13 (desno).



**Slika 12:** Spekter enotne potresne nevarnosti za povratno dobo 475 let za izbrane lokacije, urejene glede na vrh spektra

**Figure 12:** Uniform hazard spectra for a return period of 475 years for chosen sites sorted by plateau of the spectrum



**Slika 13:** Karta SA (0,1 s), ena od opcij za določitev parametra  $S_{\alpha,475}$  (levo), in karta SA (1,0 s), ena od opcij za določitev parametra  $S_{\beta,475}$  (desno); obe sta izračunani za povratno dobo 475 let in za trdna tla.

**Figure 13:** SA (0.1 s) map, one of the options for  $S_{\alpha,475}$  map (left), and SA (1 s) map, one of the options for  $S_{\beta,475}$  map (right); both for a return period of 475 years and rock soil type.

**Preglednica 3:** Povratna doba (v letih) za vrednosti vršnega pospeška tal (PGA), ki približno ustrezajo intenzitetnim stopnjam

**Table 3:** Return period (in years) for the PGA values that roughly correspond to intensity degrees

EMS-98	VI	VII	VIII	IX	IX
PGA (g)	0,05	0,1	0,2	0,3	0,4
Bovec	35	80	230	460	800
Nova Gorica	60	160	490	1000	1800
Izola	170	540	1850	4000	7250
Koper	150	480	1600	3550	6400
Jesenice	55	130	390	780	1350
Postojna	45	120	340	700	1250
Logatec	40	100	280	560	1000
Vrhnika	40	100	310	660	1200
Škofja Loka	45	110	350	720	1300
Kranj	50	120	350	700	1250
Ljubljana	45	100	300	600	1000
Domžale	45	120	360	750	1300
Kamnik	55	140	440	930	1700
Kočevje	50	140	420	890	1600
Trbovlje	55	150	440	930	1700
Velenje	80	210	650	1380	2500
Novo mesto	40	100	300	600	1050
Celje	65	160	450	900	1500
Brežice	35	85	260	570	950
Maribor	265	1075	4820	530	23300
Ptuj	185	700	3400	12000	21300
Murska Sobota	380	1500	6250	9500	28800

**Preglednica 4:** Spekter enotne potresne nevarnosti za izbrane lokacije za povratno dobo 475 let. Oranžni vrstici označujeta vrh spektra in sta lahko približek parametra  $S_{\alpha,475}$ . Rumena vrstica označuje 2,5 kratnik PGA, ki je po obstoječem EC8 enak platoju spektra. Zelena vrstica je po eni od variant (CEN, 2021) lahko ocena parametra  $S_{\beta,475}$ .

**Table 4:** Uniform hazard spectra for chosen sites for a return period of 475 years. Orange values simulate the spectrum plateau, and may serve as an approximation of parameter  $S_{\alpha,475}$ . Yellow values denote 2.5 times PGA, which according to the current EC8 equal the spectral plateau. By one of the options in the new draft of the EC8 (CEN, 2021), green values are, optionally, estimates of parameter  $S_{\beta,475}$ .

SA (s) [g]	0,00 (PGA)	0,02	0,05	0,1	0,15	0,2	0,3	0,4	1	1,5	2	2,5 x PGA
Bovec	0,31	0,34	0,56	0,81	0,78	0,69	0,5	0,36	0,12	0,07	0,04	0,76
Brežice	0,28	0,31	0,52	0,76	0,73	0,64	0,46	0,33	0,11	0,06	0,03	0,71
Logatec	0,28	0,3	0,5	0,73	0,7	0,62	0,45	0,33	0,11	0,06	0,04	0,69
Novo mesto	0,26	0,29	0,48	0,71	0,67	0,6	0,43	0,31	0,1	0,05	0,03	0,66
Ljubljana	0,26	0,29	0,48	0,7	0,67	0,59	0,43	0,31	0,1	0,06	0,03	0,66
Vrhnika	0,25	0,28	0,45	0,67	0,65	0,58	0,42	0,31	0,1	0,06	0,03	0,63
Postojna	0,24	0,27	0,43	0,64	0,62	0,56	0,41	0,3	0,1	0,05	0,03	0,61
Škofja Loka	0,24	0,27	0,43	0,63	0,62	0,55	0,4	0,29	0,1	0,05	0,03	0,6
Kranj	0,24	0,27	0,43	0,63	0,61	0,54	0,39	0,29	0,09	0,05	0,03	0,6
Domžale	0,24	0,26	0,42	0,62	0,6	0,54	0,39	0,28	0,09	0,05	0,03	0,59
Jesenice	0,23	0,25	0,4	0,59	0,58	0,52	0,38	0,28	0,09	0,05	0,03	0,57
Kočevje	0,21	0,24	0,38	0,56	0,55	0,49	0,36	0,26	0,09	0,05	0,03	0,54
Trbovlje	0,21	0,23	0,37	0,55	0,53	0,48	0,35	0,25	0,08	0,05	0,03	0,52
Kamnik	0,21	0,23	0,36	0,54	0,54	0,48	0,35	0,26	0,09	0,05	0,03	0,52
Celje	0,21	0,23	0,36	0,53	0,52	0,47	0,34	0,25	0,08	0,05	0,03	0,52
Nova Gorica	0,2	0,22	0,34	0,51	0,5	0,46	0,34	0,25	0,09	0,05	0,03	0,49
Velenje	0,17	0,18	0,28	0,42	0,43	0,39	0,29	0,21	0,07	0,04	0,02	0,42
Koper	0,1	0,11	0,16	0,25	0,26	0,24	0,18	0,14	0,05	0,03	0,02	0,25
Izola	0,09	0,1	0,15	0,23	0,24	0,22	0,17	0,13	0,05	0,03	0,02	0,23
Ptuj	0,08	0,09	0,12	0,2	0,22	0,21	0,16	0,12	0,05	0,03	0,02	0,21
Maribor	0,07	0,07	0,1	0,16	0,18	0,17	0,13	0,1	0,04	0,02	0,01	0,17
Murska Sobota	0,06	0,06	0,08	0,13	0,15	0,14	0,11	0,08	0,03	0,02	0,01	0,14

## Sklep

Izračun potresne nevarnosti Slovenije prvič doslej ni temeljil le na seizmoloških podatkih, ampak smo upoštevali tudi aktivne prelome in prelomne potresne izvore. S tem smo upoštevali možnost nastanka močnejših potresov tudi izven znanih območij preteklega seizmičnosti. Nov model potresnih izvorov tako vsebuje prelomne, ploskovne in točkovne izvore. Katalog potresov Slovenije in bližnje okolice smo posodobili z novimi spoznanji zgodovinske seizmičnosti in razširili z instrumentalno zabeleženimi potresi zadnjih 20 let. Z logičnim drevesom smo modelirali epistemično negotovost parametrov, pri čemer smo uteži določili glede na kvaliteto podatkov in postopkov oz. verjetnost predpostavk. Uporabili smo model poje-manja pospeška tal, ki je bil razvit za evropsko karto potresne nevarnosti ESHM20 in ki temelji na najnovejših meritvah in spoznanjih. Postopke za ocenjevanje potresne nevarnosti

in vhodne podatke na ozemlju Slovenije (katalog potresov in potresne izvore) smo usklajevali s strokovnjaki evropskega projekta ESHM20 (Danciu in drugi, 2021).

Nova karta potresne nevarnosti, namenjena projektiranju, je od 1. maja 2022 postala del slovenskih predpisov o potresno odporni gradnji, katerih bistveni del je evropski standard EC8. V pripravi je posodobitev EC8 (CEN, 2021), ki predvideva večje spremembe tudi glede osnovnih parametrov, ki določajo potresno nevarnost. Z novim modelom in oceno potresne nevarnosti Slovenije omogočamo nadaljnje raziskave v procesu spreminjanja zakonodaje o potresno odporni gradnji.

## Zahvala

Za večletno strokovno sodelovanje, podporo in nasvete se zahvaljujemo kolegom (Laurentiu Danciu, Michele Carafa, Graem Weatherill, Roberto Basilli), s katerimi smo usklajevali vhodne podatke za nadgradnjo evropskega modela potresne nevarnosti na ozemlju Slovenije.

## Literatura

- ARSO, 2001. Potresna nevarnost Slovenije – projektni pospešek tal. Agencija Republike Slovenije za okolje, [http://www.arso.gov.si/potresi/potresna%20nevarnost/projektni\\_pospesek\\_tal.html](http://www.arso.gov.si/potresi/potresna%20nevarnost/projektni_pospesek_tal.html) (17. 6. 2022).
- ARSO, 2015. Močni potresi v preteklosti [http://potresi.arso.gov.si/doc/dokumenti/potresna\\_aktivnost/mocni\\_potresi\\_v\\_preteklosti.pdf](http://potresi.arso.gov.si/doc/dokumenti/potresna_aktivnost/mocni_potresi_v_preteklosti.pdf) (21. 6. 2022).
- ARSO, 2021. Potresna nevarnost Slovenije – Projektni pospešek tal. Karta za tisk. Agencija Republike Slovenije za okolje. [http://potresi.arso.gov.si/doc/dokumenti/Karta\\_potresne\\_nevarnosti\\_2021.jpg](http://potresi.arso.gov.si/doc/dokumenti/Karta_potresne_nevarnosti_2021.jpg) (17. 7. 2022).
- ARSO, 2022a. Nova karta potresne nevarnosti Slovenije (2021) za namen projektiranja potresno odpornih stavb - Tolmač karte. Agencija Republike Slovenije za okolje. [https://potresi.arso.gov.si/doc/dokumenti/potresna\\_nevarnost/tolmac\\_pospeska\\_tal.pdf](https://potresi.arso.gov.si/doc/dokumenti/potresna_nevarnost/tolmac_pospeska_tal.pdf) (3. 11. 2023).
- ARSO, 2022b. Potresna nevarnost Slovenije: Spletni pregledovalnik. Agencija Republike Slovenije za okolje. <https://gis.arso.gov.si/portal/apps/opdashboard/index.html#/48ad6a51977c4ee886722a3c09c4f470?locale=sl> (17. 7. 2022).
- Atanackov, J., Jamšek Rupnik, P., Jež, J., Celarc, B., Novak, M., Milanič, B., Markelj, A., Bavec, M., Kastelic, V., 2021a. Database of Active Faults in Slovenia: Compiling a New Active Fault Database at the Junction Between the Alps, the Dinarides and the Pannonian Basin Tectonic Domains. *Front. Earth Sci.* 9. 604388. <https://doi.org/10.3389/feart.2021.604388>.
- Atanackov, J., Jamšek Rupnik, P., Celarc, B., Jež, J., Novak, M., Milanič, B., Markelj, A., 2021b. Tolmač potresnih virov in ocenjevanje geološko določenih parametrov za karto potresne nevarnosti Slovenije. Geološki zavod Slovenije, Ljubljana.
- Atanackov, J., Jamšek Rupnik, P., Zupančič, P., Šket Motnikar, B., Živčič, M., Čarman, M., Milanič, B., Kastelic, V., Rajh, G., Gosar, A., 2022. Seismogenic fault and area sources for probabilistic seismic hazard model in Slovenia. *PANGAEA*, <https://doi.org/10.1594/PANGAEA.940100>.



- Baker, J., Bradley, B., Stafford, P., 2021. *Seismic Hazard and Risk Analysis*. Cambridge University Press.
- Basili, R., 2019. Osebna komunikacija (elektronska pošta) – julij 2019.
- Basili, R., Kastelic, V., Demircioglu, M., B., Garcia Moreno, D., Nemser, E., S., Petricca, P., Sboras, S., P., Besana-Ostman, G., M., Cabral, J., Camelbeeck, T., Caputo, R., Danciu, L., Domac, H., Fonseca, J., García-Mayordomo, J., Giardini, D., Glavatovic, B., Gulen, L., Ince, Y., Pavlides, S., Sesetyan, K., Tarabusi, G., Tiberti, M., M., Utkucu, M., Valensise, G., Vanneste, K., Vilanova, S., Wössner, J., 2013. The European Database of Seismogenic Faults (EDSF) compiled in the framework of the Project SHARE. <https://doi.org/10.6092/INGV.IT-SHARE-EDSF>.
- Camassi, R., Caracciolo, C., H., Castelli, V., Slejko, D., 2011. The 1511 Eastern Alps earthquakes: a critical update and comparison of existing macroseismic datasets. *J. Seismol* 15:191–213.
- Carafa, M., Valensise, G., Bird, P. 2017. Assessing the seismic coupling of shallow continental faults and its impact on seismic hazard estimates: A case-study from Italy. *Geophys J Int* 209: 32–47. <https://doi.org/10.1093/gji/ggx002>.
- Cornell, C., A., 1968. Engineering seismic risk analysis, *Bull. Seism. Soc. Am.* 58, 1583–1606.
- Cornell, C., A., Vanmarcke, E., H., 1969. The major influences on seismic risk, Proceedings of the Fourth World Conf. on Earthquake Engineering, Santiago, Chile.
- Cronin, V., 2010. A primer on focal mechanism solutions for geologists. 14 str.
- Danciu, L., Nandan, S., Reyes, C., Basili, R., Weatherill, G., Beauval, C., Rovida, A., Vilanova, S., Sesetyan, K., Bard, P., Y., Cotton, F., Wiemer, S., Giardini, D., 2021. The 2020 update of the European Seismic Hazard Model: Model Overview. EFEHR Technical Report 001, v1.0.0. <https://doi.org/10.12686/a15>.
- DISS Working Group, 2018. Database of Individual Seismogenic Sources (DISS), Version 3.2.1: A compilation of potential sources for earthquakes larger than M 5.5 in Italy and surrounding areas. Istituto Nazionale di Geofisica e Vulcanologia. <https://doi.org/10.6092/INGV.IT-DISS3.2.1>.
- Douglas, J., 2018. Calibrating the backbone approach for the development of earthquake ground motion models. Paper presented at Best Practice in Physics-based Fault Rupture Models for Seismic Hazard Assessment of Nuclear Installations: Issues and Challenges Towards Full Seismic Risk Analysis, Cadarache, France.
- Douglas, J., 2021. Ground motion prediction equations 1964-2020, Department of Civil and Environmental Engineering University of Strathclyde, <http://www.gmpe.org.uk/gmpereport2014.html> (17. 7. 2022).
- CEN, 2021. Eurocode 8: Earthquake resistance design of structures, EN1998-1-1\_version\_01-10-2021, Working draft.
- ESM, 2020. Engineering Strong Motion database, <https://esm-db.eu/#/home> (28. 6. 2022).
- Fajfar, P., 2017. Razvoj predpisov za potresno odporno gradnjo v Sloveniji. *Gradbeni vestnik*, letn. 66, str. 83–96. <http://arhiv.izs.si/fileadmin/dokumenti/msg/Gradbeni-vestnik-april-2017.pdf> (28. 6. 2022).

- GEM, 2022. The OpenQuake-engine User Manual. Global Earthquake Model (GEM) OpenQuake Manual for Engine version 3.184.0. <https://docs.openquake.org/oq-engine/manual/latest/hazard.html#introduction-to-the-hazard-module> (3. 11. 2023).
- Grünthal, G., 1998. European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98). Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie 15, Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, Luxembourg, 99 pp.
- Geodetska Uprava Republike Slovenije, GURS, 2021., Državna pregledna karta Slovenije, <https://ipi.eprostor.gov.si/jgp/data> (20. 10. 2023).
- Gutenberg, B., Richter, C. F., 1954. Seismicity of the Earth and Associated Phenomena, Princeton University Press, Princeton, 310 str.
- Hale, C., Abrahamson, N., Bozorgnia, Y. 2018. Probabilistic Seismic Hazard Analysis Code Verification, PEER Report 2018/03. [https://peer.berkeley.edu/sites/default/files/2018\\_03\\_hale\\_final\\_8.13.18.pdf](https://peer.berkeley.edu/sites/default/files/2018_03_hale_final_8.13.18.pdf) (17. 6. 2022).
- Hanks, T. C., Bakun, W. H., 2002. A Bilinear Source-Scaling Model for M–log A Observations of Continental Earthquakes, *Bull Seismol Soc Am* 92(5):1841–1846.
- Johnston, A. C., Coppersmith, K., Kanter, L., Cornell, C., 1994. The Earthquakes of Stable Continental Regions. – Assessment of Large Earthquake Potential. EPRI Report Tr-102261-V1, 2–1-98., Palo Alto, California.
- Kotha, S. R., Weatherill, G., Bindi, D., in drugi, 2020. A regionally-adaptable ground-motion model for shallow crustal earthquakes in Europe. *Bull Earthquake Eng.* <https://doi.org/10.1007/s10518-020-00869-1>.
- Košir, M., Ceci, I., 2011. Potres 26. marca 1511 v luči novih raziskav. *Idrijski razgledi* 56(1): 90–104.
- Lapajne, J., Šket Motnikar, B., Zupančič, P., 2001. Nova karta potresne nevarnosti – projektni pospešek tal namesto intenzitete. *Gradbeni vestnik* 50, 140–149.
- Lapajne, J. K., Šket Motnikar, B., Zupančič, P., 2003. PSHA methodology for distributed seismicity, *Bull Seismol Soc Am* 93(6), 2502–2515.
- Leonard, M., 2010. Earthquake fault scaling: Self-consistent relating of rupture length, width, average displacement, and moment release, *Bull Seismol Soc Am* 100(5A), 1971–1988, <https://doi.org/10.1785/0120090189>.
- Leonard, M., 2014. Self-Consistent Earthquake Fault-Scaling Relations: Update and Extension to Stable Continental Strike-Slip Faults. *Bull Seismol Soc Am* 104(6), 2953–2965. <https://doi.org/10.1785/0120140087>.
- Mai, P., Beroza, C. G., 2000. Source scaling properties from finite-fault-rupture models. *Bull Seismol Soc Am*. 90. 604–615. <https://doi.org/10.1785/0119990126>.
- Miller, A. C., Rice, T. R., 1983. Discrete Approximations of Probability Distributions. *Manage Sci* 29(3), 352–362.
- Pagani, M., Monelli, D., Weatherill, G. A., Garcia, J., 2014. The OpenQuake-engine Book: Hazard. Global Earthquake Model (GEM) Technical Report 2014-08,

- <https://cloud-storage.globalquakemodel.org/public/wix-new-website/pdf-collections-wix/publications/OQ%20Hazard%20Science%201.0.pdf> (3. 11. 2023).
- Poli, M., E., Zanferrari, A., 2018. The seismogenic sources of the 1976 Friuli earthquakes: a new seismotectonic model for the Friuli area. *Boll. Geof Teor Appl* 59(4), 463–480. doi:10.4430/bgta0209.
- Sabetta, F., Pugliese, A., 1996. Estimation of response spectra and simulation of nonstationary earthquake ground motions, *Bull. Seism. Soc. Am.* 86, 337–352.
- Schmid, S., M., Fügenschuh, B., Kounov, A., Matenco, L., Nievergelt, P., Oberhänsli, R., Pleuger, J., Schefer, S., Schuster, R., Tomljenović, B., Ustaszewski, K., van Hinsbergen, D., J., J., 2020. Tectonic units of the Alpine collision zone between Eastern Alps and western Turkey. *Gondwana Res* 78, 308–374. <https://doi.org/10.1016/j.gr.2019.07.005>.
- Scholz, C., H., 1990. *The Mechanics of Earthquakes and Faulting*. 1<sup>st</sup> Edition, 439 pp., Cambridge University Press.
- Scholz, C., H., 2019. *The Mechanics of Earthquakes and Faulting*. 3<sup>rd</sup> Edition, 471 pp., Cambridge University Press.
- SIST EN 1998-1:2005 - Evrokod 8 - Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij - 1. del: Splošna pravila, potresni vplivi in pravila za stavbe, slovenski standard, Slovenski inštitut za standardizacijo, Ljubljana, 2005 - Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, angl. standard, I.
- SIST EN 1998-1:2005/oA101:2005 - Evrokod 8 - Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij - 1. del: Splošna pravila, potresni vplivi in pravila za stavbe - Nacionalni dodatek, Slovenski inštitut za standardizacijo, Ljubljana, 2005.
- Šket Motnikar, B., Zupančič, P., Živčič, M., Atanackov, J., Jamšek Rupnik, P., Čarman, M., Danciu, L., Gosar, A., 2022a. The 2021 seismic hazard model for Slovenia (SHMS21): overview and results. *Bull Earthquake Eng* (2022). <https://doi.org/10.1007/s10518-022-01399-8>.
- Šket Motnikar, B., Zupančič, P., Živčič, M., Atanackov, J., Jamšek Rupnik, P., Čarman, M., Kastelic, V., Gosar, A., 2022b. Nov model potresne nevarnosti Slovenije (2021). V Kuhar, M., Vreča, P., Zupančič, P., Čarman, M., Šraj, M., Triglav Čekada, M., Skok, G., Ličer, M., Stopar, B., Čop, R., (uredniki), Raziskave s področja geodezije in geofizike 2021 : zbornik del. 27. srečanje Slovenskega združenja za geodezijo in geofiziko, Ljubljana, 27. januar 2022. Slovensko združenje za geodezijo in geofiziko. [http://fgg-web.fgg.uni-lj.si/SUGG/referati/2022/SZGG\\_2022\\_Sket\\_in\\_dr.pdf](http://fgg-web.fgg.uni-lj.si/SUGG/referati/2022/SZGG_2022_Sket_in_dr.pdf) (17. 7. 2022).
- Tasič, I., 2023. Potresne opazovalnice v Sloveniji v letu 2021, Potresi v letu 2021, Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana. ISSN 1318-4792
- Tertulliani, A., Cecić, I., Meurers, R., Sović, I., Kaiser, D., Grunthal, G., Pazdirkova, J., Sira, C., Guterch, B., Kysel, R., Camelbeeck, T., Lecocq, T., Szany, G., 2018. The May 6 1976 Friuli earthquake: re-evaluating and consolidating transnational macroseismic data. *Boll Geof Teor Appl* 59(4):417–444. [https://www.earth-prints.org/bitstream/2122/12045/1/bg953\\_Tertulliani.pdf](https://www.earth-prints.org/bitstream/2122/12045/1/bg953_Tertulliani.pdf) (21. 7. 2022).
- Ur. l. RS, št. 101/2005, Pravilnik o mehanski odpornosti in stabilnosti objektov.

- Vidrih, R., Sinčič, P., Tasič, I., Gosar, A., Godec, M., Živčič, M., Gostinčar, M., Zupančič, P., Cregeen, M., 2006. Državna mreža potresnih opazovalnic = Seismic network of Slovenia. Ljubljana: Agencija Republike Slovenije za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo.
- Ward, S., N., 1998. On the consistency of earthquake moment release and space geodetic strain rates: Europe, *Geophys J* 135(3), 1011–1018. <https://doi.org/10.1046/j.1365-246X.1998.t01-2-00658.x>.
- Wells, D., L., Coppersmith, K., L., 1994. New Empirical Relationship among Magnitude, Rupture Length, Rupture Width, Rupture Area, and Surface displacement. *Bull Seismol Soc Am* 84(4), 974–1002.
- Weatherill, G., Kotha, S., R., Cotton, F., 2020, F. A regionally-adaptable “scaled backbone” ground motion logic tree for shallow seismicity in Europe: application to the 2020 European seismic hazard model. *Bull Earthquake Eng* 18, 5087–5117. <https://doi.org/10.1007/s10518-020-00899-9>.
- Wesnousky, S., 2008. Displacement and Geometrical Characteristics of Earthquake Surface Ruptures: Issues and Implications for Seismic-Hazard Analysis and the Process of Earthquake Rupture. *Bull Seismol Soc Am* 98. <https://doi.org/10.1785/0120070111>.
- Wiemer, S., Danciu, L., Edwards, B., Marti, B., Fäh, D., Hiemer, S., Wössner, J., Cauzzi, C., Kästli, P., Kremer, K., 2016. Seismic Hazard Model 2015 for Switzerland (SU-Ihaz2015), Report Swiss Seismological Service (SED) at ETH Zurich. [http://www.seismo.ethz.ch/export/sites/sedsite/knowledge/galleries/pdf\\_knowledge/SUIhaz2015\\_final-report\\_16072016.pdf\\_2063069169.pdf](http://www.seismo.ethz.ch/export/sites/sedsite/knowledge/galleries/pdf_knowledge/SUIhaz2015_final-report_16072016.pdf_2063069169.pdf) (21. 7. 2022).
- Woessner, J., Danciu, L., Giardini, D., Crowley, H., Cotton, F., Grünthal, G., Valensise, G., Arvidsson, R., Basili, R., Demircioglu, M., N., Hiemer, S., Meletti, C., Musson, R., W., Rovida, A., N., Sesetyan, K., Stucchi M., , and the SHARE consortium, 2015. The 2013 European Seismic Hazard Model: key components and results, *Bull. Earthq Eng*. <https://doi.org/10.1007/s10518-015-9795-1>.
- Youngs, R., R., Coppersmith, K., J., 1985. Implications of Fault Slip Rates and Earthquake Recurrence Models to Probabilistic Seismic Hazard Estimates, *Bull Seismol Soc Am*, 75:939 – 964.
- Zabukovec, B., 2000. OHAZ – A computer program for spatially smoothed seismicity approach. V (J. K. Lapajne, ur.): Seismicity modeling in seismic hazard mapping, Workshop proceedings, Ministry of the Environment and Spatial Planning, Geophysical Survey of Slovenia, Ljubljana, Slovenia, 135–140.
- Zupančič, P., Šket Motnikar, B., Živčič, M., Čarman, M., Gosar, A., 2022a.. Primerjava nove karte potresne nevarnosti Slovenije z Evropsko karto in sosednjimi državami, *Ujma* 36, 247–256. ISSN 0353-085X. <https://www.gov.si/assets/organi-v-sestavi/URSZR/Publikacija/Ujma/2022/ujma-20.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. 6. Slovenski geološki kongres, Zbornik povzetkov, Rogaška Slatina 3.–5. 10. 2022.

- Zupančič, P., Šket Motnikar, B., Carafa, M., M., C., Jamšek Rupnik, P., Živčič, M., Kastelic, V., Rajh, G., Čarman, M., Atanackov, J., Gosar, A., 2023. Seismogenic depth and seismic coupling estimation in the transition zone between Alps, Dinarides and Pannonian Basin for the new Slovenian seismic hazard model, *Nat Hazards Earth Syst Sci*, Special issue: Harmonized seismic hazard and risk assessment for Europe, (preprint 26. julija 2023, v postopku za objavo). <https://doi.org/10.5194/nhess-2023-118>.
- Živčič, M., Cecić, I., Čarman, M., Jesenko, T., Ložar Stopar, M., Pahor, J., 2018. Earthquake catalogue KPN2018 of Slovenia and surrounding, rev. 3, Agencija za Republike Slovenije okolje, Urad za seizmologijo, Ljubljana.

## Kazalo



## **Priloge**

*(Nov (2021) postopek ocenjevanja potresne nevarnosti Slovenije in nova karta za projektiranje)*

### **Parametrizacijske preglednice potresnih izvorov**

**Preglednica P1:** Parametri ploskovnih potresnih izvorov (Atanackov in drugi, 2022)

**Preglednica P2:** Opis parametrov ploskovnih potresnih izvorov

**Preglednica P3:** Parametri prelomnih potresnih izvorov (Atanackov in drugi, 2022)

**Preglednica P4:** Opis parametrov prelomnih potresnih izvorov

**Preglednica P1:** Parametri ploskovnih potresnih izvorov (Atanackov in drugi, 2022)**Table P1:** Parameters of areal seismogenic zones (Atanackov et al., 2022):

ID	NAME	TYPE_W	PREDOMINANT TYPE OF FAULTING	STRIKE (°)	RAKE (°)	DIP (°)	MAX DEPTH (km)	MIN DEPTH (km)	HYPO DEPTH (km)	AR	GR_a	MMAX BEST	MMAX MIN	MMAX MAX
AS1	Friuli	1	reverse	250	90	50	15	0	9	1	3,7652	6,8	6,5	7,3
AS2	Molltal	1	dextral strike-slip	310	170	90	16	0	8	3	2,5465	6,6	6	7,3
AS3	Periadriatic	0,9	dextral transpressive	100	150	90	18	0	9	3	3,2910	6,8	6,5	7,3
AS3	Periadriatic	0,1	thrust	90	90	30	18	0	9	3	3,2910	6,8	6,5	7,3
AS4	Outer Dinarides	0,9	dextral transpressive	315	120	50	22	0	10	1	3,5877	6,8	6,5	7,3
AS4	Outer Dinarides	0,1	dextral transpressive	315	140	85	22	0	10	1	3,5877	6,8	6,5	7,3
AS5	Dinarides	1	dextral strike-slip	315	165	85	19	0	8	3	3,7382	6,8	6,5	7,3
AS61	Posavje	0,25	reverse	75	90	50	16	0	7	1	3,1942	6,7	6,3	7,3
AS61	Posavje	0,25	reverse	255	90	50	16	0	7	1	3,1942	6,7	6,3	7,3
AS61	Posavje	0,5	dextral strike-slip	320	170	85	16	0	7	1	3,1942	6,7	6,3	7,3
AS62	Gorjanci	0,4	reverse	65	90	50	19	0	7	1	3,7160	6,7	6,3	7,3
AS62	Gorjanci	0,4	reverse	245	90	50	19	0	7	1	3,7160	6,7	6,3	7,3
AS62	Gorjanci	0,1	sinistral strike-slip	45	10	90	19	0	7	1	3,7160	6,7	6,3	7,3
AS62	Gorjanci	0,1	sinistral strike-slip	225	10	90	19	0	7	1	3,7160	6,7	6,3	7,3
AS7	Mur-Murz-VBTF	1	sinistral strike-slip	50	0	90	16	0	8	3	3,3984	6,6	6	7,3
AS8	Labot	1	dextral strike-slip	325	170	90	15	0	8	3	2,9145	6,6	6	7,3
AS9	Inner Dinarides	0,5	dextral strike-slip	285	180	80	21	0	10	1	3,7320	6,7	6,2	7,3
AS9	Inner Dinarides	0,5	reverse	300	90	60	21	0	10	1	3,7320	6,7	6,2	7,3
AS10	Mid-Hungarian	0,7	dextral strike-slip	250	170	90	19	0	12	3	3,0235	6,7	6,3	7,3



ID	NAME	TYPE_W	PREDOMINANT TYPE OF FAULTING	STRIKE (°)	RAKE (°)	DIP (°)	MAX DEPTH (km)	MIN DEPTH (km)	HYPO DEPTH (km)	AR	GR_a	MMAX BEST	MMAX MIN	MMAX MAX
AS10	Mid-Hungarian	0,3	reverse	70	90	70	19	0	12	3	3,0235	6,7	6,3	7,3
B1	North Adriatic	0,95	dextral transpressive	315	120	50	31	0	10	1	2,7383	6,8	6,1	7,4
B1	North Adriatic	0,05	dextral transpressive	130	120	50	31	0	10	1	2,7383	6,8	6,1	7,4
B2	North Friuli	1	reverse	270	90	59	17	0	5	1	2,5463	6,8	6,5	7,3
B31	Carinthia 1	1	dextral strike-slip	310	170	90	16	0	8	3	-10	6,6	6	7,3
B32	Carinthia 2	1	dextral strike-slip	310	170	90	13	0	8	3	2,8710	6,6	6	7,3
B4	North Alps	1	sinistral strike-slip	80	0	90	21	0	8	3	3,3246	6,6	6	7,3
B5	Styria	0,25	sinistral strike-slip	50	0	90	19	0	7	3	2,9902	6,6	6	7,3
B5	Styria	0,525	dextral strike-slip	250	170	90	19	0	7	3	2,9902	6,6	6	7,3
B5	Styria	0,225	reverse	70	90	70	19	0	7	3	2,9902	6,6	6	7,3
B6	South Hungary	0,5	reverse	300	90	60	19	0	12	1	2,3703	6,7	6,3	7,3
B6	South Hungary	0,5	dextral strike-slip	285	180	80	19	0	12	1	2,3703	6,7	6,3	7,3

**Preglednica P2:** Opis parametrov ploskovnih potresnih izvorov  
**Table P2:** Description of parameters of areal seismogenic zones

Ime parametra	Opis parametra
ID	Oznaka ploskovnega izvora
NAME	Ime izvora na podlagi geotektonske enote ali prevladujočega sistema prelomov
TYPE_W	Utež prevladujočega tipa prelomov
PREDOMINANT TYPE OF FAULTING	Prevladujoč tip prelomov v potresnem izvoru (thrust = nariv, reverse = reverzni, dextral strike-slip = desno zmični, sinistral strike-slip = levo zmični, transpressive = transpresivni)
STRIKE	Prevladujoča smer prelomov, določena na podlagi površinskih tras prelomov
RAKE	Prevladujoča smer premika na prelomni ploskvi
DIP	Naklon prevladujočih prelomov
MAXDEPTH	Spodnja seizmogeno globina (km)
MINDEPTH	Zgornja seizmogeno globina (km); za vse ploskovne izvore smo privzeli vrednost 0 km
HYPODEPTH	Žariščna globina (km)
AR	Razmerje med dolžino in širino pretrgov
GR_a	Gutenberg-Richterjeva a-vrednost je povprečna letna aktivnost; $\log N(M_w=0)$
MMAX_BEST	Največja navorna magnituda (najboljša ocena)
MMAX_MIN	Največja navorna magnituda (spodnja ocena)
MMAX_MAX	Največja navorna magnituda (zgornja ocena)

**Preglednica P3:** Parametri prelomnih potresnih izvorov (Atanackov in drugi, 2022)**Table P3:** Parameters of fault seismogenic sources (Atanackov et al., 2022)

ID	NAME	TYPE OF FAULTING	MIN DEPTH (km)	MAX DEPTH (km)	DIP (°)	RAKE (°)	SR Min (mm/leto)	SR Max (mm/leto)	SR Best (mm/leto)	Mmax WC	Mmax HB	Mmax L	ACTIVITY	AR	SC
FS.SI-002	Buzet	thrust	0	7	20	90	0,01	0,10	0,05	7,1	7,2	7,1	potentially	1	0,53
FS.SI-003	Sočerga-Lupoglav	dextral transpressive	0	7	50	130	0,10	0,30	0,17	6,5	6,4	6,4	potentially	1	1,00
FS.SI-006	Črni Kal - Palmanova	thrust	0	7	25	90	0,10	0,50	0,20	7,1	7,2	7,1	active	1	0,53
FS.SI-011	Divača	dextral strike-slip	0	6	80	160	0,05	0,50	0,20	7,1	6,5	7,0	probably	3	0,80
FS.SI-014	Raša	dextral strike-slip	0	15	85	170	0,23	1,30	0,70	7,3	7,2	7,4	active	3	0,28
FS.SI-015	Vipava	dextral strike-slip	0	10	85	170	0,01	0,10	0,05	6,4	6,1	6,0	questionable	3	0,48
FS.SI-019	Predjama-Avče	dextral strike-slip	0	15	80	170	0,05	1,45	0,70	7,3	7,1	7,3	active	3	0,28
FS.SI-020	Jesenovec	dextral strike-slip	0	10	85	170	0,01	0,10	0,05	6,5	6,2	6,1	questionable	3	0,48
FS.SI-022	Idrija	dextral strike-slip	0	15	85	165	0,06	2,00	1,00	7,5	7,4	7,7	active	3	0,30
FS.SI-023	Podplanina - Podpreska	dextral transpressive	0	10	70	155	0,01	0,10	0,05	6,7	6,4	6,4	questionable	3	0,48
FS.SI-025	Ravne	dextral strike-slip	0	15	80	170	0,01	0,20	0,10	6,9	6,7	6,8	active	3	0,32
FS.SI-026	Čeplez	dextral strike-slip	0	15	80	170	0,01	0,10	0,05	6,7	6,5	6,4	potentially	3	0,28
FS.SI-027	Vrhnika	dextral transpressive	0	15	80	150	0,01	0,10	0,05	6,5	6,4	6,2	potentially	3	0,27
FS.SI-029	Rakitna	dextral transpressive	0	15	80	150	0,01	0,20	0,10	7,0	6,9	7,0	potentially	3	0,30
FS.SI-031	Jalovec	sinistral strike-slip	0	10	85	10	0,05	0,30	0,10	6,2	5,9	5,8	questionable	3	0,40
FS.SI-032	Mojstrovka	sinistral strike-slip	0	10	85	10	0,05	0,30	0,10	6,4	6,1	6,1	questionable	3	0,40

ID	NAME	TYPE OF FAULTING	MIN DEPTH (km)	MAX DEPTH (km)	DIP (°)	RAKE (°)	SR Min (mm/leto)	SR Max (mm/leto)	SR Best (mm/leto)	Mmax WC	Mmax HB	Mmax L	ACTIVITY	AR	SC
FS.SI-033	Vrata	sinistral strike-slip	0	10	80	10	0,05	0,30	0,10	6,5	6,2	6,2	questionable	3	0,48
FS.SI-034	Krma	sinistral strike-slip	0	10	80	10	0,05	0,30	0,10	6,3	6,0	5,9	questionable	3	0,48
FS.SI-035	Možic-Sorica	dextral strike-slip	0	10	80	170	0,01	0,10	0,05	6,4	6,1	6,1	potentially	3	0,48
FS.SI-037	Mišja dolina	dextral strike-slip	0	15	85	175	0,05	0,85	0,45	6,9	6,7	6,8	active	3	0,30
FS.SI-040	Dražgoše	dextral strike-slip	0	10	80	170	0,05	0,30	0,10	6,8	6,5	6,6	probably	3	0,48
FS.SI-041	Želimlje-Ortnek	dextral strike-slip	0	15	80	170	0,05	0,85	0,45	7,1	7,0	7,1	probably	3	0,32
FS.SI-043	Dobropolje	dextral strike-slip	0	15	80	170	0,05	0,85	0,45	7,2	7,1	7,2	probably	3	0,32
FS.SI-044	Zasip	dextral strike-slip	0	10	80	160	0,05	0,30	0,10	6,3	6,0	5,8	potentially	3	0,48
FS.SI-045	Kranj	dextral strike-slip	1	10	80	170	0,05	0,30	0,10	6,7	6,3	6,5	potentially	3	0,40
FS.SI-046	Žužemberk	dextral strike-slip	0	15	80	160	0,10	1,00	0,50	7,2	7,1	7,3	active	3	0,32
FS.SI-047a	Sava W	dextral transpressive	0	15	80	150	0,05	1,50	1,00	7,3	7,1	7,3	active	3	0,32
FS.SI-047b	Sava E-Celje	dextral transpressive	0	15	80	150	0,05	1,50	1,00	7,3	7,2	7,3	active	3	0,32
FS.SI-049	Vodice	reverse	0	10	55	90	0,10	0,50	0,30	6,4	6,3	6,3	active	1	0,37
FS.SI-050	Stična	dextral strike-slip	0	12	85	170	0,01	0,10	0,05	6,7	6,5	6,5	probably	3	0,40
FS.SI-051	Toplice	dextral strike-slip	0	12	85	170	0,01	0,10	0,05	6,9	6,6	6,8	active	3	0,40
FS.SI-052	Košuta	reverse	0	12	75	100	0,10	0,50	0,30	6,5	6,4	6,4	potentially	1	0,31
FS.SI-053	Stol (Hochstuhl)	dextral strike-slip	0	15	87	175	0,30	0,50	0,40	7,2	7,1	7,3	probably	3	0,32

ID	NAME	TYPE OF FAULTING	MIN DEPTH (km)	MAX DEPTH (km)	DIP (°)	RAKE (°)	SR Min (mm/leto)	SR Max (mm/leto)	SR Best (mm/leto)	Mmax WC	Mmax HB	Mmax L	ACTIVITY	AR	SC
FS.SI-054	Cerklje	dextral transpressive	0	10	70	130	0,10	1,00	0,30	6,2	6,2	6,2	active	1	0,48
FS.SI-056a	Periadriatic W	dextral transpressive	0	20	90	150	0,20	1,00	0,60	7,7	7,8	7,9	probably	3	0,24
FS.SI-056b	Periadriatic E	dextral transpressive	0	20	90	150	0,20	1,00	0,60	7,1	7,2	7,1	probably	3	0,24
FS.SI-057	Litija	dextral strike-slip	0	12	87	175	0,01	0,10	0,05	6,5	6,2	6,1	potentially	3	0,40
FS.SI-058	Trebnje	dextral strike-slip	0	12	80	170	0,01	0,10	0,05	6,6	6,3	6,3	potentially	3	0,37
FS.SI-060	Gornji Grad	sinistral strike-slip	0	12	85	10	0,01	0,10	0,05	6,5	6,2	6,1	questionable	3	0,40
FS.SI-061	Logarska dolina	sinistral strike-slip	0	12	87	10	0,01	0,10	0,05	6,4	6,1	6,0	questionable	3	0,40
FS.SI-062	Menina-Vransko	reverse	0	12	60	90	0,01	0,50	0,30	6,6	6,5	6,5	potentially	1	0,31
FS.SI-066	Zagorje	dextral strike-slip	0	12	85	170	0,04	0,10	0,07	6,7	6,5	6,5	probably	3	0,40
FS.SI-068	Poštena vas	sinistral transpressive	0	9	60	45	0,05	0,10	0,08	6,1	6,0	6,1	potentially	1	0,53
FS.SI-070	Savinja	sinistral strike-slip	0	12	87	10	0,01	0,10	0,05	6,5	6,3	6,2	questionable	3	0,40
FS.SI-071	Hrastnik	dextral strike-slip	0	12	85	170	0,04	0,10	0,07	7,0	6,7	6,9	probably	3	0,40
FS.SI-074a	Orlica 1	reverse	0	9	50	90	0,05	0,10	0,08	6,1	5,9	5,9	probably	1	0,41
FS.SI-074b	Orlica 2	sinistral strike-slip	0	9	90	0	0,05	0,10	0,08	6,2	5,9	5,8	probably	3	0,53
FS.SI-074c	Orlica 3	sinistral transpressive	1	9	75	60	0,05	0,10	0,08	6,2	6,1	6,2	probably	1	0,60
FS.SI-075	Artiče	reverse	1	9	60	90	0,06	0,12	0,09	6,1	6,0	6,0	active	1	0,46
FS.SI-076a	Šoštanj W	dextral strike-slip	0	15	85	-170	0,10	0,90	0,50	7,3	7,2	7,4	active	3	0,32

ID	NAME	TYPE OF FAULTING	MIN DEPTH (km)	MAX DEPTH (km)	DIP (°)	RAKE (°)	SR Min (mm/leto)	SR Max (mm/leto)	SR Best (mm/leto)	Mmax WC	Mmax HB	Mmax L	ACTIVITY	AR	SC
FS.SI-076b	Šoštanj E	sinistral transpressive	0	15	65	65	0,05	0,20	0,10	6,9	6,9	6,9	potentially	1	0,32
FS.SI-078	Northern Karavanke	thrust	0	5	30	90	0,19	0,36	0,30	6,6	6,5	6,5	potentially	1	0,74
FS.SI-080a	Labot N	dextral strike-slip	0	15	85	170	0,50	1,00	0,75	7,3	7,2	7,4	active	3	0,32
FS.SI-080b	Labot S	dextral strike-slip	1	15	85	170	0,50	1,00	0,75	7,4	7,2	7,5	active	3	0,34
FS.SI-081	Haloze	reverse	0	8	60	90	0,01	0,10	0,05	6,7	6,6	6,6	potentially	1	0,46
FS.SI-085	Lovrenc	reverse	0	10	90	90	0,01	0,10	0,05	6,5	6,4	6,5	potentially	1	0,37
FS.SI-086	Donat	dextral strike-slip	0	10	85	170	0,30	1,00	0,65	7,1	6,7	7,1	potentially	3	0,48
FS.SI-088	Kungota	sinistral transpressive	0	10	85	45	0,01	0,10	0,05	6,0	6,0	6,0	potentially	1	0,48
FS.SI-089	Ljutomer	reverse	0	10	70	90	0,02	0,03	0,03	6,6	6,6	6,6	probably	1	0,37
FS.SI-090	Fella	reverse	0	15	75	95	0,20	0,70	0,50	6,8	6,8	6,8	probably	1	0,25
FS.SI-091	Gemona-Kobarid	thrust	0	10	32	110	0,29	0,72	0,46	7,1	7,2	7,1	potentially	1	1,00
FS.SI-092	Raša West	dextral strike-slip	0	12	85	170	0,23	1,30	0,70	6,9	6,6	6,8	active	3	0,32
FS.SI-093	Orehovec	sinistral strike-slip	0	12	90	0	0,10	0,50	0,20	6,8	6,5	6,6	probably	3	0,40
FS.SI-094	Sveta Nedelja	sinistral strike-slip	0	15	85	10	0,10	0,50	0,22	6,6	6,5	6,4	active	3	0,32
FS.SI-095	North Medvednica	sinistral transpressive	0	16	65	35	0,10	0,30	0,20	6,7	6,6	6,5	active	3	0,30
FS.SI-096	Kašina	dextral transtensive	0	10	60	-135	0,10	0,30	0,20	6,3	6,1	5,9	active	3	0,48
FS.SI-097	Montebelluna - Montereale	thrust	1	9	40	80	0,24	0,91	0,47	7,0	7,0	6,9	active	1	1,00
FS.SI-098	Trasaghis-Taipana	thrust	6	11	35	100	0,29	0,72	0,46	6,6	6,5	6,5	potentially	1	1,00
FS.SI-099	Maniago-Sequals	thrust	1	7	35	90	0,29	0,72	0,46	6,5	6,4	6,4	active	1	1,00
FS.SI-100	Medea	dextral transpressive	1	8	45	120	0,14	0,21	0,17	6,5	6,5	6,5	probably	1	1,00

ID	NAME	TYPE OF FAULTING	MIN DEPTH (km)	MAX DEPTH (km)	DIP (°)	RAKE (°)	SR Min (mm/leto)	SR Max (mm/leto)	SR Best (mm/leto)	Mmax WC	Mmax HB	Mmax L	ACTIVITY	AR	SC
FS.SI-101	Gemona-Tarcento	thrust	2	8	35	100	0,29	0,72	0,46	6,5	6,4	6,4	active	1	1,00
FS.SI-102	Andreis-Forgaria nel Friuli	thrust	1	8	35	90	0,29	0,72	0,46	6,6	6,5	6,5	potentially	1	1,00
FS.SI-103	Bassano-Vittorio Veneto	thrust	1	10	40	80	0,29	0,72	0,46	7,0	7,0	7,0	active	1	1,00
FS.SI-104	Trstenik	dextral transpressive	0	12	55	145	0,03	0,27	0,09	6,6	6,4	6,3	potentially	3	1,00
FS.SI-105	Velebit	reverse	0	15	60	110	0,10	0,50	0,22	7,4	7,6	7,4	probably	1	1,00
FS.SI-106	Vinodol-Rijeka	dextral transpressive	0	15	55	120	0,20	0,40	0,28	7,0	7,1	7,0	probably	1	1,00
FS.SI-107	Krk	dextral transpressive	0	12	45	120	0,10	0,30	0,17	7,1	7,2	7,1	potentially	1	1,00
FS.SI-108	Žuta Lokva	reverse	0	15	65	110	0,10	0,30	0,17	7,4	7,6	7,4	potentially	1	1,00
FS.SI-109	Plitvice	reverse	0	15	60	90	0,10	0,30	0,17	7,4	7,6	7,4	potentially	1	1,00
FS.SI-111	Mala Kapela	dextral transpressive	0	12	65	150	0,10	0,30	0,17	7,2	7,0	7,2	potentially	3	1,00
FS.SI-112	Slunj	dextral transpressive	0	15	65	150	0,10	0,25	0,16	7,3	7,2	7,3	potentially	3	1,00
FS.SI-113	Bosiljevo	dextral transpressive	0	12	65	150	0,10	0,25	0,16	7,1	6,9	7,0	potentially	3	1,00
FS.SI-114	Novo Selo	dextral transpressive	0	10	60	145	0,10	0,40	0,20	6,9	6,6	6,8	potentially	3	1,00
FS.SI-115	Molltal	dextral strike-slip	0	15	90	170	0,30	0,50	0,40	7,3	7,1	7,3	potentially	3	0,32
FS.SI-116	Mur-Murz	sinistral strike-slip	0	15	75	10	1,00	2,00	1,50	7,4	7,3	7,5	active	3	0,32
FS.SI-117	Gorjanci	thrust	0	9	35	90	0,10	0,30	0,20	6,3	6,1	6,2	questionable	1	0,41
FS.SI-118	Petrinja	dextral transpressive	1	17	63	145	0,08	0,20	0,13	7,3	7,3	7,3	active	3	1,00
FS.SI-119	Kalnik	sinistral strike-slip	2	16	60	35	0,10	0,20	0,14	7,0	6,8	6,9	probably	3	1,00
FS.SI-120	Kutina	dextral transpressive	1	18	65	145	0,05	0,10	0,07	7,0	7,0	7,0	probably	3	1,00





**Preglednica P4:** Opis parametrov prelomnih potresnih izvorov**Table P4:** Description of parameters of fault seismogenic sources

Ime parametra	Opis parametra
ID	Oznaka prelomnega izvora
NAME	Ime prelomnega izvora
TYPE OF FAULTING	Tip preloma (thrust = nariv, reverse = reverzni, dextral strike-slip = desno zmični, sinistral strike-slip = levo zmični, transpressive = transpresivni, transtensive=transtenzijski)
MINDEPTH	Zgornja seizmogeno globina
MAXDEPTH	Spodnja seizmogeno globina
DIP	Naklon preloma
RAKE	Smer premika na prelomni ploskvi
SRmin	Povprečna hitrost premikov ob prelomu (slip rate) – spodnja ocena (mm/leto)
SRmax	Povprečna hitrost premikov ob prelomu (slip rate) – zgornja ocena (mm/leto)
SRbest	Povprečna hitrost premikov ob prelomu (slip rate) – najboljša ocena (mm/leto)
MmaxWC	Največja magnituda, ki lahko nastane na prelomu, ocenjena po Wells and Coppersmith (1994)
MmaxHB	Največja magnituda, ki lahko nastane na prelomu, ocenjena po Hanks and Bakun (2002)
MmaxL	Največja magnituda, ki lahko nastane na prelomu, ocenjena po Leonard (2010)
ACTIVITY	Verjetnost, da je prelomni izvor aktiven (razvrščeno v štiri razrede: aktiven = active, verjeten = probable, potencialen = potential, vprašljiv = questionable)
AR	Razmerje med dolžino in širino pretrgov (aspect rupture ratio)
SC	Seizmični del premikov ob prelomu (seismic coupling)