

ŽARIŠČNI MEHANIZMI NEKATERIH MOČNEJŠIH POTRESOV V SLOVENIJI V LETU 2005

FAULT PLANE SOLUTIONS OF SOME STRONGER EARTHQUAKES IN SLOVENIA IN 2005

Milka Ložar Stopar, Mladen Živčić

Povzetek. Za močnejše potrese v Sloveniji v letu 2005 smo iz seizmogramov odčitali smeri prvih premikov ob vstopu vzdolžnega (longitudinalnega) valovanja. Za sedem potresov smo zbrali zadostno število podatkov za zanesljivo opredelitev rešitve prelomne ploskve. V vseh sedmih potresih je bil premik približno vodoraven ob skoraj vertikalnem prelomu. Le potres v Krnskem pogorju kaže na nekoliko večjo komponento narivanja.

Abstract. From the seismograms of stronger earthquakes in Slovenia in 2005 we read the first onsets of the arrivals of the longitudinal waves. For seven of them there was enough data to determine the fault plane solutions. In all seven earthquakes the mechanism was approximately strike slip along almost vertical fault. Only the earthquake in the Krn mountains has somewhat larger thrust component.

Uvod

Potres nastane ob prelomu v Zemljini notranjosti, ko pod vplivom tektonskih napetosti ena stran ob prelomu zdrsne relativno na drugo stran. Ozemlje Slovenije je prepleteno s številnimi prelomi (Poljak in sod., 2000).

Povezavo med geološkimi strukturami, prelomi in potresi nam omogočajo žariščni mehanizmi. Ob potresu se potresno valovanje iz potresnega žarišča razširja v vseh smereh. Lastnosti tega valovanja v različnih smereh so drugačne in odvisne od usmerjenosti preloma in smeri premika ob njem. Mreže potresnih opazovalnic beležijo valovanje, ki se razširja iz potresnega žarišča. Iz teh podatkov seizmologi rutinsko določamo lokacijo nadžarišča, globino žarišča in magnitudo potresa (Cecić in sod., 2007). S skrbno analizo oblik vstopnega dela vzdolžnega in prečnega valovanja na posameznih potresnih opazovalnicah je ob zadostnem številu podatkov in njihovi ugodni legi glede na žarišče potresa, možno ugotoviti smer prelomne ploskve in premika ob njej.

V tem prispevku smo analizirali nekaj močnejših potresov v letu 2005 z žariščem na ozemlju Slovenije (preglednica 1) in jim določili žariščne mehanizme (slika 1).

Postopek in podatki

Za rešitev prelomne ploskve smo uporabili smer nihanja tal ob prihodu longitudinalnega valovanja na potresno opazovalnico. To odčitamo na navpični komponenti kot kompresijo (zgostitev) ali dilatacijo (razredčitev) tal pod potresno opazovalnico. Ob poznavanju strukture Zemljine skorje in hitrosti potresnega valovanja v posameznih plasteh lahko izračunamo smer, v kateri je potresno valovanje zapustilo žariščno območje. V ta namen smo uporabili povprečni hitrostni model za ozemlje Slovenije, opredeljen iz tridimenzionalnega modela za prostorsko valovanje (Michellini in sod., 1997), in model za površinsko valovanje (Živčić in sod., 2000).

datum	čas (UTC)	širina	dolžina	globina	M _L	ravnina 1			ravnina 2			P		T		Np	Nnp
		°N	°E	km		smer	naklon	premik	smer	naklon	premik	smer	naklon	smer	naklon		
date	time (UTC)	lat.	long.	depth	M _L	nodal plane 1			nodal plane 2			P		T		Np	Nnp
dd.mm	hh:mm	°N	°E	km		strike	dip	rake	strike	dip	rake	strike	dip	strike	dip		
14.01.	07:58	46,20	14,02	21	4,1	205	53	-16	305	77	-141	172	54	70	74	31	0
14.01.	08:05	46,19	14,04	20	3,8	207	62	-11	302	80	-152	168	63	72	78	32	1
06.03.	21:46	45,60	15,02	13	3,3	236	70	15	141	76	160	190	86	97	66	18	1
24.04.	18:33	45,55	14,26	19	4,2	246	73	10	153	80	163	200	85	109	71	16	0
31.08.	21:55	46,31	13,49	16	3,1	27	62	22	286	71	150	338	84	244	56	20	1
07.11.	13:36	46,14	15,00	11	2,5	30	90	0	300	90	180	345	90	75	90	15	0
12.12.	14:14	46,08	14,06	19	3,1	60	90	0	330	90	180	15	90	105	90	18	1

Np = število uporabljenih prvih prihodov

Nnp = število napačnih prvih prihodov

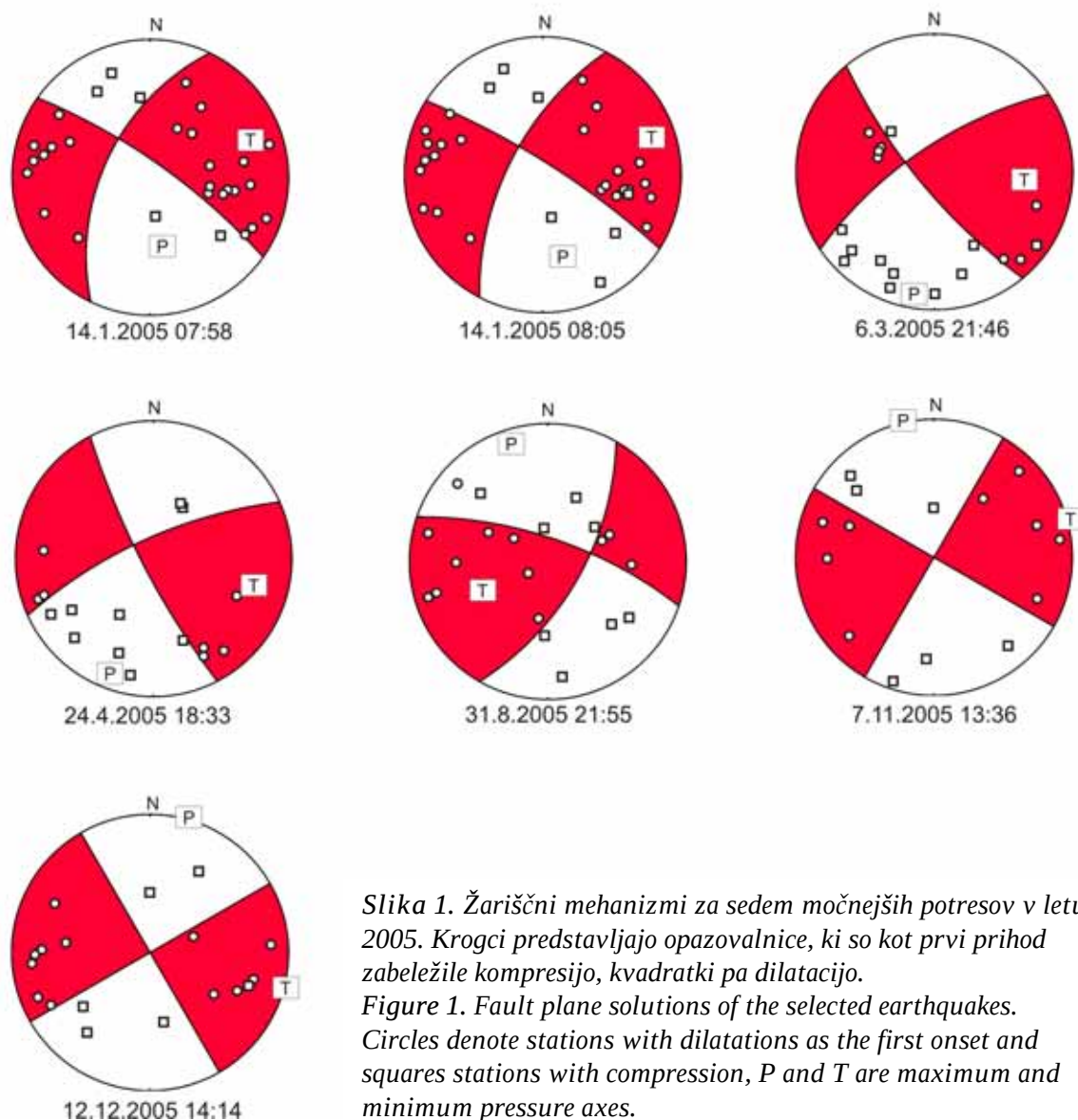
Preglednica 1. Močnejši potresi v letu 2005 z žariščem na ozemlju Slovenije in njihovi parametri žariščnih mehanizmov. P je os največje in T os najmanjše napetosti. Np je število uporabljenih podatkov o smeri prvih premikov in Nnp število podatkov, ki niso v soglasju z rešitvijo.

Table 1. Stronger earthquakes in 2005 with epicentres in Slovenia and Fault plane parameters. P is maximum and T minimum pressure axis. Np is number of stations used and Nnp is number of data inconsistent with the given solution.

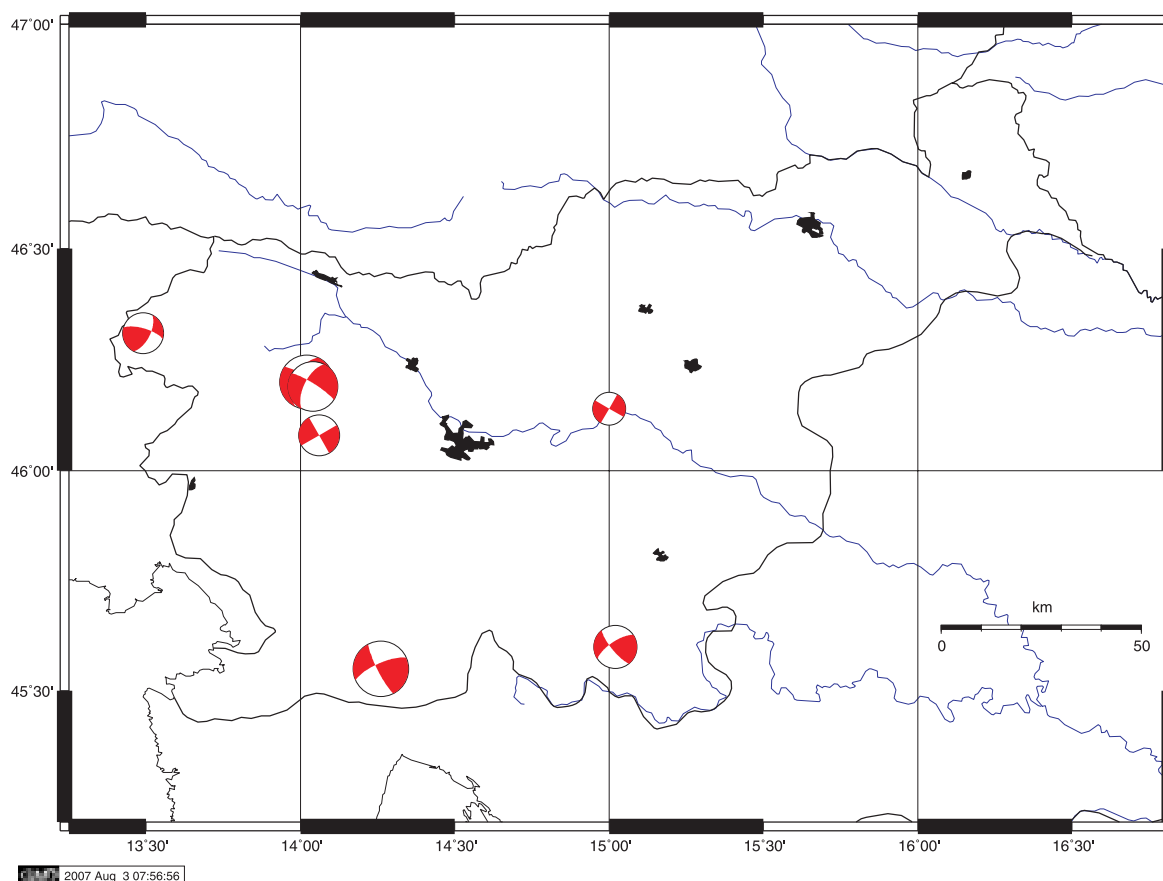
Datum	Čas UTC	Širina	Dolžina	Globina [km]	Smer	Naklon	Premik	Smer	Naklon	Premik	Mw
Date	Time UTC	Lat. [°N]	Long. [°E]	Depth [km]	Strike	Dip	Rake	Strike	Dip	Rake	Mw
14.1.2005	07:58:12	46.185	14.002	18	213	82	-17	305	73	-171	3.88
14.1.2005	08:05:18	46.208	14.033	15	214	85	-2	304	88	-175	3.72
24.4.2005	18:34:01	45.570	14.245	9	64	86	6	334	84	176	4.05

Preglednica 2. Potresi v letu 2005 z žariščem na ozemlju Slovenije in njihovi parametri žariščnih mehanizmov kot so bili določeni v švicarski seizmološki službi (Schweizerischer Erdbebendienst, SED, 2007).

Table 2. Stronger earthquakes in 2005 with epicentres in Slovenia and Fault plane parameters determined at Swiss Seismological Service (Schweizerischer Erdbebendienst, SED, 2007)



Ker so oddaljenosti do potresnih opazovalnic velike v primerjavi z dimenzijami žarišča potresa, lahko žarišče obravnavamo kot točkovni vir energije. Najbolj enostaven in dokaj natančen opis potresnega žarišča je v tem primeru z dvojno dvojico sil, ki so delovale v žariščnem prostoru in povzročile premik. Kot rezultat tega je sevanje vzdolžnega potresnega valovanja prostorsko razdeljeno v štiri kvadrante, od katerih je v dveh nasproti ležečih si prvi premik kompresija in v drugih dveh nasproti si ležečih dilatacija. Če je število podatkov zadostno, lahko opredelimo dve med seboj pravokotni ploskvi, ki ločita področja z različno smerjo prvega premika. Ena od teh dveh ploskev je prelomna ploskev, druga pa pravokotna na smer premika ob prelomu. Tej opredelitvi rečemo rešitev prelomne ploskve (fault plane solution po angleško). Zaradi neusmerjenosti točkovnega izvora, ni mogoče vedeti katera od dveh možnosti predstavlja prelom na katerem je nastal potres. Kljub temu na ta način zanesljivo dobimo vrsto preloma (zmični, reverzni, normalni ali mešani) in območje možnih usmerjenost glavnih osi napetosti.



Slika 2. Lokacije močnejših potresov na ozemlju Slovenije v letu 2005 in njihovi žariščni mehanizmi.
Figure 2. Locations of the selected earthquakes and their fault plane solutions. Red quadrants are compressional.

Rešitev lahko dobimo grafično s pomočjo tako imenovane žariščne krogle. Zaradi simetričnosti sevalne funkcije longitudinalnega valovanja v prevzetem modelu procesa v žarišču potresa se lahko omejimo le na eno poloblo. V stereografski projekciji (ponavadi Schmidtovi projekciji enakih površin) vrišemo točko, v kateri je potresno valovanje zapustilo žarišče na poti k posamezni opazovalnici. Azimut, to je kot med smerjo žarka in smerjo severa lahko izračunamo iz poznavanja koordinat nadžarišča potresa in opazovalnice. Za kot naklona je potrebno poznati globino žarišča in natančno hitrostno strukturo na poti od žarišča do opazovalnice.

Dilatacije in kompresije izrišemo z različnimi simboli. Potem se določi dve medsebojno pravokotni ploskvi, ki ločita področja dilatacij in kompresij. Redkokdaj se zgodi da so področja idealno ločena. Razlogi za to so lahko v nenatančnosti lokacije nadžarišča, žariščne globine ali nezadostnem poznavanju hitrostne strukture med žariščem in opazovalnico. Praviloma uporabljamo lateralno izotropen enodimenzionalen hitrostni model, čeprav se v naravi hitrosti spreminjajo tudi v vodoravni smeri in ni nujno, da žarek potuje po najkrajši poti, ker je ta lahko različna od najhitrejši poti. Prav tako ni nujno povsem pravilna predpostavka, da je proces v žarišču potresa bil čisti zmik. Nenazadnje obstaja tudi možnost, da je instrument na potresni opazovalnici postavljen z napačno polariteto. Zaradi tega je precej tvegana uporaba podatkov objavljenih v biltenih, ker jih ni mogoče preveriti. Za zanesljivo rešitev je nujno, da so na voljo celotni seizmogrami. Vse zapise potresov smo še

enkrat skrbno pregledali in odčitali smeri prvih premikov P valovanja. K podatkom državne mreže potresnih opazovalnic Republike Slovenije smo dodali še dostopne podatke iz sosednjih držav, ki smo jih ravno tako odčitali sami.

Za izračun smo si pomagali s programom Focmec (Snoke in sod., 1984), ki poda množico položajev vrzelnih ravnin, ki ustrezajo odčitanim prvim premikom. Kot končno rešitev smo se odločali za tisto, ki je imela najbolj vodoravno položeno os največje napetosti.

Iz prejšnjih raziskav je bilo namreč ugotovljeno da je os največje napetosti v področju Slovenije usmerjena približno horizontalno (Poljak in sod., 2000). Nekoliko bolj nagnjena je le v skrajnem vzhodnem delu.

Rezultati so zbrani v preglednici 1 in na slikah 1 in 2. Pri izbiri parametrov, s katerimi naj bi opisali žariščni mehanizem, smo sledili tako imenovani Akijevi konvenciji: slemenitev merimo od severa v smeri urnega kazalca in sicer tako, da je prelomna ploskev nagnjena proti desni, naklon prelomne ploskve merimo od vodoravne ravnine navzdol in smer premika v prelomni ploskvi od smeri slemenitve v smeri nasprotni urnemu kazalcu. (Aki in Richards, 2002).

Na sliki 1 so podane rešitve prelomne ploskve za sedem močnejših potresov v letu 2005. Podana je projekcija na spodnjo poloblo. Posamezne opazovalnice so predstavljene s simboli glede na smer prvega premika ob prihodu vzdolžnega valovanja. Kompresijski kvadranti so označeni z rdečo barvo. Označeni sta tudi smeri največje (P) in najmanjše (T) napetosti kot sta določeni iz rešitve prelomne ploskve.

Pri švicarski seizmološki službi (SED) na Eidgenössische Technische Hochschule v Zürichu v Švici rutinsko določajo tenzor seizmičnega momenta (Bernardi in sod., 2004) za močnejše potrese magnitude $M_w \geq 4,5$ na območju Evrope in Sredozemlja in magnitude $M_w \geq 3,5$ v območju Alp. V letu 2005 so ga določili tudi za tri potrese, katerih nadžarišča so bila na ozemlju Slovenije. Za primerjavo z našimi rezultati v preglednici 2 podajamo rešitev prelomih ploskev iz tenzorja seizmičnega momenta izračunanega v SED (SED, 2007)

Sklepi

Poznavanje procesa v žarišču potresa poda direktno informacijo o načinu in smeri deformacij v zemeljski skorji v žariščnem območju. Večina potresov nastane zaradi nenadnega strižnega zmika ob prelomu v zemeljski skorji. Povezava potresa s posameznim prelomom je nedvomen dokaz, da je ta prelom aktiven in to ima lahko velike posledice za izračun potresne nevarnosti določenega območja. Natančnost lokacij žarišča le redko zadošča, da bi lahko potres nedvumno pripisali nekemu prelomu. Opredelitev prelomne ploskve nam pomaga, ker v žariščnem območju lahko upoštevamo samo prelome določenega značaja in usmerjenosti. V vseh sedmih potresih v letu 2005 z žarišči v Sloveniji, za katere smo opredelili rešitev prelomne ploskve, je premik bil približno vodoraven ob skoraj vertikalnem prelomu. Le potres v Krnskem pogorju kaže na nekoliko večjo komponento narivanja.

Iz preglednice 1 je razvidno, da je bil najšibkejši potres, za katerega smo še lahko zbrali zadostno število zapisov, magnitude $M_{LV}=2,5$. To je bilo mogoče le zaradi nove mreže potresnih opazovalnic, ki je postopoma začela delovati med letoma 2002 in 2007.

Zahvala

Zapise potresov na opazovalnicah v Avstriji in v pokrajini Furlanija-Juljska krajina v Italiji smo pridobili v okviru Mednarodnega sporazuma o izmenjavi seizmoloških podatkov v »realnem času« na področju Alpe-Jadran.

Slike smo izdelali s programom GMT (Wessel in Smith, 1991, 1998).

Literatura

- Aki, K. in Richards, P. G., 2002. Quantitative Seismology, University Sausalito Books, Sausalito CA, 700 pp
- Bernardi F., Braunmiller J., Kradolfer U. in Giardini D., 2004. Automatic regional moment tensor inversion in the European-Mediterranean region, *Geophys. J. Int.*, 157, 703-716
- Cecić, I., Čarman, M., Jesenko, T., Ložar Stopar, M. in Živčič, M., 2007, Potresi v Sloveniji leta 2005. V: Vidirh, R. Ed., Potresi v letu 2005, ARSO, ta številka
- Lienert, B.R., Berg, E. in 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 pp.
- Michellini, A., Živčič, M. in Suhadolc, P. (1997), Simultaneous inversion for velocity structure and hypocenters in Slovenia, *Journal of Seismology*, 2(3), 257-265.
- Poljak M., Živčič M., Zupančič P., 2000. The Seismotectonic Characteristics of Slovenia, *Pure appl. Geophys.*, vol. 157, 37-55
- SED, 2007, http://www.seismo.ethz.ch/mt/armt/full_armt.html
- Snoke, J.A., Munsey, J.W., Teague, A.G. in Bollinger, G.A., 1984. A Program for Focal Mechanism Determination by the Combined Use of Polarity and SV-P Amplitude Ratio Data, *Earthquake Notes*, 55, No. 3, p. 15.
- Wessel, P. in Smith, W.H.F., 1991. Free software helps map and display data, *Eos, Trans. Amer. Un.*, Vol. 72(441), pp. 445-446.
- Wessel, P. in Smith, W.H.F., 1998. New, improved version of the Generic Mapping Tools released, *EOS Trans. AGU*, Vol. 79, p. 579
- Živčič, M., Bondár, I. in Panza, G.F., 2000. Upper Crustal Velocity Structure in Slovenia from Rayleigh Wave Dispersion. *Pure Appl. Geophys.*, Vol. 157, 131-146.