

ŠTUDIJA PREMIOV JADRANSKE MIKROPLOŠČE IN AKTIVNIH TEKTONSKIH DEFORMACIJ V SLOVENIJI IN ISTRI NA OSNOVI GPS-OPAZOVANJ

John Weber^{*}, Marko Vrabec^{**}, Bojan Stopar^{***}, Polona Pavlovčič Prešeren^{***},
Tim Dixon^{****}

Razširjeni povzetek

Slovenija se nahaja v območju aktivnih kontinentalnih tektonskih deformacij zaradi kolizije Jadranske mikroplošče z Evrazijsko ploščo. Zaradi zapletene zgradbe ozemlja začnemo mehanizme in kinematiko deformacij razumevati šele v zadnjem času. Interpretacija mehanizmov regionalne tektonike in določitev hitrosti aktivnih deformacij ima pomembne implikacije tudi za določanje potresnega tveganja v državi. V okviru projekta PIVO 2003 (Periadriatic fault – Istria Velocity Observations), ki je bil deloma realiziran v okviru bilateralnega sodelovanja med Univerzo v Ljubljani in Grand Valley State University, ZDA, smo želeli določiti deformacije vzdolž potencialno aktivnih tektonskih struktur v Sloveniji. S kakovostnimi satelitskimi GPS (Global Positioning System) opazovanji smo pridobili vektorje hitrosti sprememb položajev 36 geodinamičnih točk v Sloveniji in na Hrvaškem. Z analizo točk v Istri, ki predstavlja edini izdanek severnega dela Jadranske mikroplošče, smo pridobili prve neposredno izmerjene hitrosti premikov na tem delu mikroplošče. S našo raziskavo smo želeli opredeliti gibanje Jadranske mikroplošče in testirati različne, medsebojno bolj ali manj izključujoče hipoteze o njeni kinematiki (Anderson & Jackson, 1987; Ward, 1994; Altiner, 2001; Grenerczy et al., 2000; Calais et al., 2002; Oldow et al., 2002).

V študiji smo uporabili 27 točk, razporejenih po ozemlju celotne Slovenije, ter 9 točk na ozemlju severne Hrvaške in hrvaške Istre. GPS-opazovanja geodinamičnih točk na ozemlju Republike Hrvaške so bila opravljena v sodelovanju z Državno geodetsko upravo Republike Hrvaške ter s podjetjem Geoservis d.o.o. iz Pule. Izbiro točk smo omejili na tiste, na katerih so bila v preteklosti vsaj v okviru ene GPS-izmere že opravljena GPS opazovanja, upoštevali pa smo tudi kakovost stabilizacije oziroma geološko stabilnost točk. V septembru in oktobru 2003 smo tako izvedli ponovno GPS-izmero 24 točk. Izmero smo opravili s statično metodo GPS-izmere v trajanju 72 ur na posamezni točki, z izjemo dveh točk na Hrvaškem, kjer smo opravili GPS-opazovanja v trajanju 48 ur. Pri izmeri smo uporabili geodetsko mersko GPS-opremo proizvajalca "Trimble navigation". Preostale točke so bile v zadnjih treh letih (2001-2003) vsaj enkrat ponovno izmerjene že v okviru drugih kampanj, zato tam meritev nismo ponavljali. Vseh 36 točk, uporabljenih v naši študiji, je bilo tako vključenih v najmanj dve izmeri. Maksimalni časovni razpon med izmerami je večinoma znašal 8-9 let, najmanj (za eno točko) pa 5 let. V analizi smo uporabili tudi podatke 17 permanentnih GPS postaj, lociranih v Padski nižini in v sosednjih državah.

* Grand Valley State University, Department of Geology, Allendale MI 49401, ZDA

** Univerza v Ljubljani, NTF, Oddelek za geologijo, Aškerčeva 12, Ljubljana

*** Univerza v Ljubljani, FGG, Oddelek za geodezijo, Jamova 2, Ljubljana

**** University of Miami, RSMAS-MGG, Geodesy Lab, Miami FL 33149, ZDA

Opazovanja GPS smo obdelali na Rosenstiel School of Marine Geology and Geophysics na Univerzi v Miamiu, ZDA, s programom GIPSY-OASIS II (verzija 2.5) z uporabo natančnih efemerid JPL (Jet Propulsion Laboratory) satelitov GPS. Natančni položaji točk v vsaki izmeri so bili določeni z metodo t.i. »natančnega točkovnega GPS pozicioniranja« (angl.: GPS precise point positioning). Iz večkratno določenih položajev točk so bile izračunane hitrosti sprememb položajev v referenčnem sestavu ITRF2000.

Vsa GPS-opazovanja smo neodvisno obdelali tudi na Katedri za matematično in fizikalno geodezijo ter navigacijo na Univerzi v Ljubljani - Fakulteti za Gradbeništvo in geodezijo s programskim paketom Bernese GPS software (verzija 4.2). Uporabili smo natančne efemeride IGS (International GPS Service) satelitov GPS. Obdelava v programskem paketu Bernese GPS software je potekala v referenčnem sestavu ITRF2000 na osnovi dvojnih faznih razlik, ločeno za krajše in daljše vektorje med geodinamičnimi točkami in z uporabo ionsfersko neodvisne linearne kombinacije opazovanj L3.

Rezultati obdelave GPS-opazovanj so v obeh primerih koordinate točk ter vektorji hitrosti sprememb položajev točk v referenčnem sestavu ITRF2000. Ocenjena natančnost določitve hitrosti sprememb položajev točk znaša v obeh primerih $\pm(1-2)$ mm/leto. Vektorje hitrosti smo nato iz ITRF2000 transformirali v hitrosti glede na »stabilno« Evrazijsko ploščo. Hitrosti premikov točk v Sloveniji in severni Hrvaški glede na Evrazijsko ploščo, izračunane za obdobje med prvo in ponovljenimi izmerami, so majhne, vendar statistično značilne na nivoju 1σ in znašajo do nekaj mm/leto. Regionalno polje hitrosti kaže dokaj zvezno in konsistentno spreminjanje hitrosti sprememb položajev točk. Največje hitrosti glede na stabilno Evrazijo imajo točke v Istri in južni Sloveniji, ki se glede na Evrazijo gibljejo proti severovzhodu. Hitrosti točk v severni in osrednji Sloveniji so manjše, točke pa se gibljejo bolj proti severu. Izračunane hitrosti točk v severovzhodni Sloveniji so najmanjše in so večinoma znotraj območja 1σ določitve vektorja hitrosti.

Podatke sedmih točk v Istri in dveh permanentnih GPS-postaj v Padski nižini smo uporabili za določitev Eulerjevega pola rotacije Jadranske mikroplošče glede na Evrazijsko ploščo. V postopku določitve smo uporabili različne kombinacije teh točk in v vseh primerih dobili precej podobne položaje (v okviru nekaj kotnih stopinj v geografski širini in dolžini) Eulerjevega pola. Analiza ocenjenih popravkov vektorjev hitrosti kaže, da v okviru natančnosti 1 mm/leto vseh 9 točk leži na togi mikroplošči brez internih deformacij. Ocenjena lokacija Eulerjevega pola iz naše analize znaša 46.7°N , 9.7°W , hitrost rotacije Jadranske mikroplošče glede na Evrazijsko ploščo pa znaša 0.4° na milijon let v protiurni smeri. Naš rezultat se dobro ujema z lokacijo Eulerjevega pola Jadranske mikroplošče, ki je bila določena z analizo žariščnih mehanizmov potresov vzdolž celotne mikroplošče v Dinaridih, Apeninih in severnih Helenidih (Anderson & Jackson, 1987). To postavlja v dvom nedavne domneve (npr. Oldow et al., 2002), da je Jadranska mikroplošča razcepljena v severozahodni in jugovzhodni blok, ki se medsebojno neodvisno premikata.

Ozemlje Slovenije leži relativno blizu Eulerjevega pola, kar pojasnjuje, zakaj so hitrosti premikov glede na Evrazijsko ploščo majhne. Naša analiza v zahodni Sloveniji ni pokazala statistično pomembnih gradientov hitrosti, ki bi kazali na desnozmične premike ob dinarsko (severozahodno-jugovzhodno) usmerjenih prelomih, kot je denimo Idrijski. Najopaznejšo razliko v hitrosti in smeri premikanja kažejo točke preko Savskega preloma v severozahodni Sloveniji. Tam hitrostni gradient kaže na nekaj mm/leto desno-transpresivne deformacije. Proti vzhodu oster gradient ni več opazen, kar kaže, da se deformacija porazdeli znotraj strižne leče med Savskim in Periadriatskim prelomom, deloma pa se verjetno absorbira tudi v Posavskih gubah. Ostra sprememba gradient hitrosti obstaja tudi preko Labotskega in Šoštanskega preloma v vzhodni Sloveniji. Ti rezultati kažejo, da so premiki vzdolž sistema Periadriatskega preloma še vedno aktivni in da absorbirajo pomemben del konvergence med Jadransko mikroploščo in Evrazijo, kar

potrjuje prejšnje ugotovitve iz študije premikov točk v regionalni srednjeevropski GPS-mreži (Grenerczy et al., 2000).

Zahvala

Delo je nastalo v okviru raziskovalnega projekta »Zasnova vzpostavitve novega državnega koordinatnega sistema Slovenije«, ki sta ga v obdobju 2001-2004 sofinancirala MŠZŠ RS in Geodetski inštitut Slovenije ter bilateralnega slovensko-ameriškega projekta »Določanje aktivnih tektonskih premikov in potresnega tveganja na ozemlju Slovenije s pomočjo GPS meritev« ter raziskovalnega programa »Geodezija«. Direktor geodetske uprave Republike Slovenije g. Aleš Seliškar nam je omogočil uporabo v preteklosti opravljenih GPS-opazovanj na območju Republike Slovenije, direktor Državne geodetske uprave Republike Hrvaške dr. Željko Bačić nam je omogočil uporabo v preteklosti opravljenih GPS-opazovanj na območju Republike Hrvaške ter skupaj s sodelavcem mag. Marijanom Marjanovićem omogočil izvedbo GPS-opazovanj na območju Hrvaške v okviru projekta »PIVO2003«. G. Hrvoje Čuljak s podjetja Geoservis d.o.o. iz Pule na Hrvaškem je opravil GPS-opazovanja na štirih geodinamičnih točkah na Hrvaškem. Vsem omenjenim se najlepše zahvaljujemo.

Literatura

- Altiner, Y., 2001, The contribution of GPS to the detection of the Earth's crust deformations illustrated by GPS campaigns in the Adria region, *Geophys. J. Int.*, 145, 550-559.
- Anderson, H., and Jackson, J., 1987, Active tectonics of the Adriatic region. *Geophys. J. R. astr. Soc.*, 91, 937-983.
- Calais, E., Nocquet, J.M., Jouanne, F., Tardy, M., 2002, Current strain regime in the Western Alps from continuous Global Positioning System measurements, 1996-2001, *Geology*, 30, 7, 651-654.
- Grenerczy, G., A. Kenyeres, and I. Fejes, 2000. Present crustal movement and strain distribution in Central Europe inferred from GPS measurements, *J. Geophys. Res.*, 105(B9), 21835-21846.
- Oldow, J., Ferranti, L., Lewis, D., Campbell, J., D'Argenio, B., Catalano, R., Pappone, G., Carmignani, L., Conyi, P., and Aiken, C., 2002, Active fragmentation of Adria, the north African promontory, central Mediterranean orogen, *Geology*, 30, 779-782.
- Ward, S., 1994, Constraints on the seismotectonics of the central Mediterranean from Very Long Baseline Interferometry. *Geophys. J. Int.*, 11, 441-452.