

HITROSTI PREMİKOV OB PRELOMIH V VZHODNI SLOVENIJI: OPAZOVANJA IZ LET 1996, 1999 IN 2002

DISPLACEMENT RATES ALONG THE FAULTS IN NE SLOVENIA:
CAMPAIGNS FROM 1996, 1999 AND 2002

Polona Pavlovčič Prešeren, Bojan Stopar, Marko Vrabec

UDK: 528.2:551.2

POVZETEK

V prispevku opisujemo prve rezultate obdelave GPS-opazovanj treh zaporednih GPS-izmer Velike geodinamične mreže Premogovnika Velenje v letih 1996, 1999 in 2002. Prikazujemo hitrosti premikov točk, določenih relativno glede na stabilno Evrazijo, na podlagi katerih smo izdelali tektonsko interpretacijo aktivnih premikov ob prelomih periadriatskega prelomnega sistema (PPS). PPS je ena najbolj pomembnih postkolizijskih struktur v celotnih Alpah, zato je študija zanimiva iz širšega regionalno-geološkega aspekta, pomembna pa je tudi za interpretacijo vzrokov za potresno aktivnost v Šaleški dolini, predvsem v območju Premogovnika Velenje. Hitrosti sprememb položajev točk nakazujejo prevladujoče premike v severo-oziroma severovzhodni smeri v velikostnem območju od 0,5 do 2 mm/leto. Naši rezultati potrjujejo predhodne raziskave, po katerih je področje vzhodnih Alp aktivno iztiskano proti vzhodu s hitrostjo 1,5 mm/leto glede na stabilno Evrazijo, območje jadranske mikroplošče pa se primika Evraziji s hitrostjo 2 mm/leto. Južno mejo premikajočih se vzhodnih Alp predstavlja desnozmični PPS, vendar pa deformacija ni vezana na ozko cono, ampak je porazdeljena preko širšega območja. Na podlagi prvih rezultatov je bila mreža GPS-točk razširjena in prvič izmerjena v letu 2003, druga izmera pa bo v septembru 2005. Rezultati obdelave razširjene mreže bodo omogočili boljše razumevanje aktivnih tektonskih dogajanj ob šoštanskem, smrekovškem in labotskem prelomu.

KLJUČNE BESEDE

geodinamična mreža, hitrosti premikov, stabilna Evrazija, geološka analiza, prelom, periadriatski prelomni sistem

Klasifikacija prispevka po COBISS-u: 1.01

ABSTRACT

We describe the first results of the GPS-observation processing in three successive GPS-campaigns from 1996, 1999, and 2002 of the Large Geodynamic Network of the Velenje Coal Mine. We present site velocities relative to the stable Eurasian plate, from which we derive the tectonic interpretation of active movements along the faults of the Periadriatic Fault System (PFS). As the PFS is a major post-collisional feature of the Alpine orogen, the study is interesting from regional point of view, as well as for interpreting the causes of earthquake activity in the wide area of the Velenje Coal Mine (in the Šaleška Valley region). Site velocities indicate predominately N- to NNE-directed movements in a range from 0.5 to 2mm/yr, which is consistent with the idea about the ongoing eastward extrusion of the Eastern Alpine domain at the rate of ~1.5 mm/yr, and the ~2mm/yr northward moving Adriatic microplate. PFS acts as the southern boundary of the extruding East Alpine domain, however, the deformation is not tied to a single dextral corridor, but is distributed over a wide area. First results have opened new questions, due to which the geodynamic network was expanded and measured in summer 2003 for the first time and will be reoccupied this September. Results from the expanded network will hopefully provide better understanding of active kinematics of the Šoštanj, Smrekovec and Labot faults.

KEY WORDS

geodynamic network, velocity, Eurasian plate, active faults, displacement, fault, Periadriatic Fault System

1 UVOD

Ker se Slovenija nahaja na območju aktivnih kontinentalnih deformacij, ki so posledica kolizije jadranske mikroplošče z evrazijsko, je razumevanje današnjih tektonskih dogajanj zapleteno. Pri preučevanju aktivne tektonike so v veliko pomoč podatki, pridobljeni z visokonatančnimi tehnologijami določanja položaja, kamor uvrščamo tehnologijo GPS (angl. Global Positioning System). Hitrosti premikov točk s tehnologijo GPS lahko določimo, če imamo na voljo visokokvalitetna opazovanja v izmerah, izvedenih v različnih obdobjih (več let), in programski paket obdelave GPS-opazovanj, ki nam omogoča združitev rezultatov obdelav dveh ali več izmer iz različnih obdobji.¹

V članku opisujemo in geološko interpretiramo premike devetih točk v severovzhodni Sloveniji, ki se nahajajo vzdolž periadriatskega prelomnega sistema (PPS). PPS predstavlja eno izmed najpomembnejših postkolizijskih struktur v Alpah. V obdobju miocena (pred približno 20–6 milijoni let) je bilo ozemlje vzhodnih Alp v procesu, ki ga imenujemo kontinentalna ekstruzija (Ratschbacher et al., 1991), ob PPS premaknjeno za več kot 100 km proti vzhodu. Novejše raziskave kažejo na to, da se procesi ekstruzije nadaljujejo tudi v današnjem času (npr. Grenerczy, 2002), tako da je verjetno aktiven tudi PPS. V prispevku predstavljamo prve ugotovitve analize premikov devetih točk na ožjem območju PPS v Sloveniji, to je Velike geodinamične mreže Premogovnika Velenje, ki sega preko vseh glavnih prelomov PPS (savskega, šoštanjskega, smrekovskega in labotskega preloma). Spremljanje aktivnih tektonskih premikov na tem območju je zanimivo tudi z vidika ugotavljanja potresnega tveganja. Na osnovi rezultatov naše analize smo mrežo točk zgostili in jo razširili na doslej nepokrita območja.

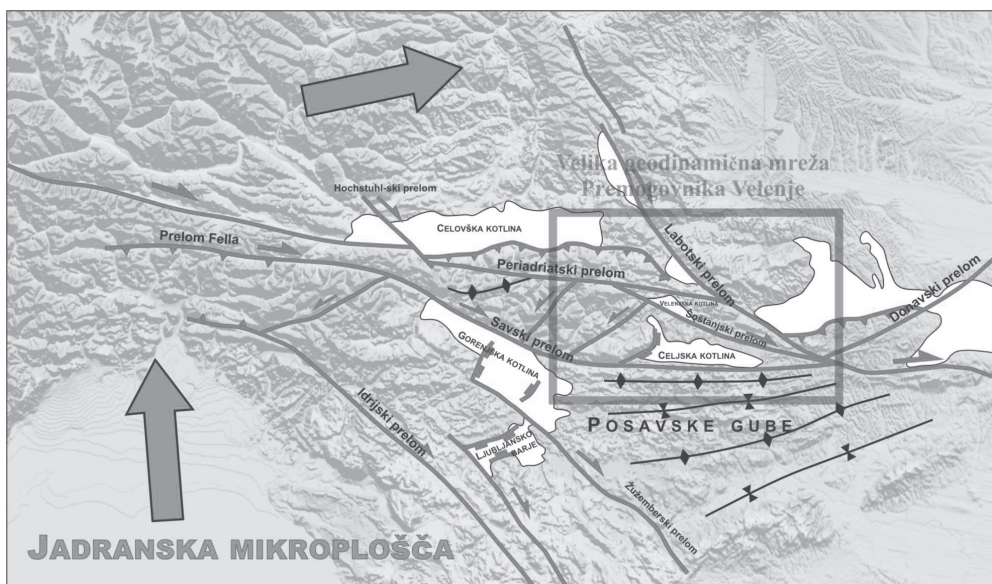
2 NEOTEKTONIKA OBMOČJA VZHODNE SLOVENIJE

Periadriatski prelomni sistem v vzhodni Sloveniji sestavljajo periadriatski prelom (v območju Šaleške kotline, lokalno imenovan tudi smrekovski prelom), savski prelom, šoštanjski prelom in labotski prelom. Periadriatski prelom je predvidoma nastal v obdobju oligocena (pred približno 35 milijoni let), ostali prelomi pa so nastali šele kasneje, med razvojem PPS in njegovemu prilagajanju spreminjajočim se regionalnim tektonskim razmeram. V procesih ekstruzije² vzhodnih Alp proti vzhodu v obdobju miocena je PPS imel vlogo južne meje ekstruzije. Ob njem se je izvršilo najmanj 100 km desnega premika, kar dokazujejo zamaknjene geološke enote in detaljne kinematske rekonstrukcije razvoja ozemlja. Od začetka srednjega miocena jedro PPS ni bilo več aktivno, kar sklepamo iz dejstva, da najvzhodnejši del cone prekrivajo 17 milijonov let stari sedimenti. Desnozmčna deformacija se je nato prenašala na južnejše segmente PPS, savski in šoštanjski prelom, ki so bili aktivni vse od kvartarja (Fodor et al., 1998). Zelo dobra izraženost teh dveh prelomov v reliefu nakazuje, da sta aktivna še v današnjem času.

¹ V Evropi za ta namen uporabljamo programski paket Bernese verzijo 4.2 in novejšo 5.0, ki je izdelek AIUB (angl. Astronomical Institute of the University of Bern). Za geodinamične naloge sta uporabna še programska paketa GIPSY/OASIS II (angl. GPS-Inferred Positioning SYstem and Orbit Analysis SIMulation Software) ki je nastal v laboratorijih NASA-JPL (angl. National Aeronautics and Space Administration, Jet Propulsion Laboratory), in GAMIT/GLOBK, ki je izdelek MIT-a (angl. Massachusetts Institute of Technology), in ju uporabljajo predvsem v Severni Ameriki.

² Ekstruzija = izrivanje.

Konec miocena je zaustavitev oceanske subdukcije v Karpatskem loku preprečila nadaljnje premike ozemlja vzhodnih Alp proti vzhodu; takrat se je ekstruzija ustavila. Novejše raziskave na podlagi spremljanja premikov z najmodernejšimi merskimi tehnikami pa nakazujejo, da se procesi ekstruzije spet nadaljujejo tudi v današnjem času. Na to kaže odkritje aktivnih zmičnih premikov znotraj Panonskega bazena v verjetnem nadaljevanju PPS, predvsem pa rezultati obdelav GPS-opazovanj Srednjeevropske geodinamične mreže CERGOP (angl. Central European Regional Geodynamics Project). Premiki točk mreže CERGOP nakazujejo, da se enota vzhodnih Alp danes premika proti vzhodu s hitrostjo $\sim 1,5$ mm/leto glede na stabilno Evrazijo, jadranska mikroplašča pa se evrazijski primika s hitrostjo 2 mm/leto (Grenerczy, 2002). V naši raziskavi smo želeli ugotoviti, ali so prelomi PPS v Sloveniji aktivni in ali PPS tudi danes predstavlja desnozmično južno mejo ekstruzije vzhodnih Alp.



Slika 1: Območje Velike geodinamične mreže Premogovnika Velenje in prelomi na ožjem in širšem območju.

Velika geodinamična mreža Premogovnika Velenje pokriva območje od Kamnika in Luč na vzhodu, Uršlje gore in Velike Kope na severu ter Mrzlice na jugu in Ponikve na vzhodu. V osrednjem delu mreže se nahajajo točke, pomembne za spremljanje dogajanja na ožjem premogovniškem območju: Skorno, Jerič in Lubela.

3 OBDELAVA GPS-OPAZOVANJ ZA POTREBE GEODINAMIKE VELIKE GEODINAMIČNE MREŽE PREMGOVNIKA VELENJE

3.1 Opazovanja in priprava podatkov za obdelavo

Obdelovali smo opazovanja treh izmer iz let 1996, 1999 in 2002. V vsaki izmeri smo imeli na vseh točkah na voljo 48-urna opazovanja z minimalnim višinskim kotom 15° in intervalom

registracije signala 15 sekund za izmero 1996 oziroma 30 sekund za ostali izmeri. V vseh izmerah smo uporabili instrumente Trimble 4000 SSE oziroma SSi in antene tipa 4000ST L1/L2 Geodetic (nova oznaka v programskem paketu Bernese: TRM14532.00) oziroma TR GEOD L1/L2 GP (nova oznaka TRM22020.00+GP). Tipi instrumentov ter anten in pripadajoče višine anten za IGS-točke so bile podane v log-datotekah posameznih točk v razpoznavni obliki programskega paketa Bernese 4.2 (Hugentobler et al., 2001). Pretvorbe podatkov v preciznih efemeridah, parametrov rotacije Zemlje in položajev danih točk iz različnih v enotni koordinatni sestav ITRF2000 (angl. International Terrestrial Reference Frame 2000) smo naredili s programom TRNFSP3N (Kouba, 2002).

Podatke opazovanj na točkah IGS smo pridobili preko spleta³ prav tako tudi podatke o tipih uporabljenih sprejemnikov in anten na posameznih IGS-točkah⁴ ter o položajih in hitrostih referenčnih točk⁵ Datoteke s preciznimi efemeridami (*.SP3) in datoteke s parametri gibanja polov (*.ERP) smo pridobili od službe GIBS⁶.

Ker z dobro določenimi apriori koordinatami (točnost približno cm) skrajšamo čas obdelave, to je da obdelave ni treba izvesti z več koraki, in ker izračuna položajev točk v programskem paketu Bernese v 4.2 ne moremo opraviti s tehniko natančne določitve absolutnega položaja iz kodnih in faznih opazovanj PPP (angl. Precise Point Positioning)⁷, smo apriori koordinate novih točk v mreži pridobili s predhodno obdelavo Velike geodinamične mreže Premogovnika Velenje s programskim paketom GPSurvey 2.35. V obdelavo smo vključili le opazovanja na točkah mreže Velenje⁸, v postopku izravnave pa smo kot dane privzeli točke Velika Kopa, Mrzlica in Uršlja gora, katerih položaji so bili določeni v kombiniranem izračunu EUREF-kampanj na območju Slovenije (Berk et al., 2001). Da je obdelava opazovanj potekala ob upoštevanju intervalov, kjer je delovanje posameznih satelitov v smislu kvalitete vprašljivo (npr. intervali, ko zaidejo sateliti v Zemljino senco in podobno), smo v programski paket uvozili najbolj aktualne datoteke o kakovosti satelitov SAT_YYYY.CRX (YYYY predstavlja leto izmere) za posamezne izmere⁹, ki smo jih tekom opazovanj v skladu z opozorili programa dopolnjevali.

3.2 Obdelava GPS-opazovanj različnih izmer

Obdelava opazovanj v programskem paketu Bernese 4.2 je potekala na podlagi relativne določitve položajev točk v mreži, ki smo jo dodatno razširili še z vključitvijo petih IGS-točk (Medicina (MEDI), Zimmerwald (ZIMM), Wettzel (WTZR), Graz (GRAZ) in Penč (PENC)) z danimi

³ <ftp://garner.ucsd.edu/pub/>

⁴ <http://igsceb.jpl.nasa.gov/network/list.html>

⁵ <ftp://lareg.ensg.ign.fr/pub/itrf/itrf2000>

⁶ <http://www.gibs.leipzig.ifag.de>

⁷ Algoritem PPP večina profesionalnih programskih paketov (npr. GIPSY) vsebuje; z vključitvijo PPP-metode obdelave so opremili tudi programski paket Bernese 5.0.

⁸ Programski paket GPSurvey 2.35 korektno deluje na območju dolžin vektorjev približno 30 km, za daljše vektorje obdelava ni več učinkovita, zato so vektorji določeni v načinu Float. Točke Velike geodinamične mreže Premogovnika Velenje so od najbližje dane točke (Graz) preveč oddaljene, da bi bil izračun korektno izveden.

⁹ <http://www.aiub.unibe.ch/download/BSWUSER42/GEN/>

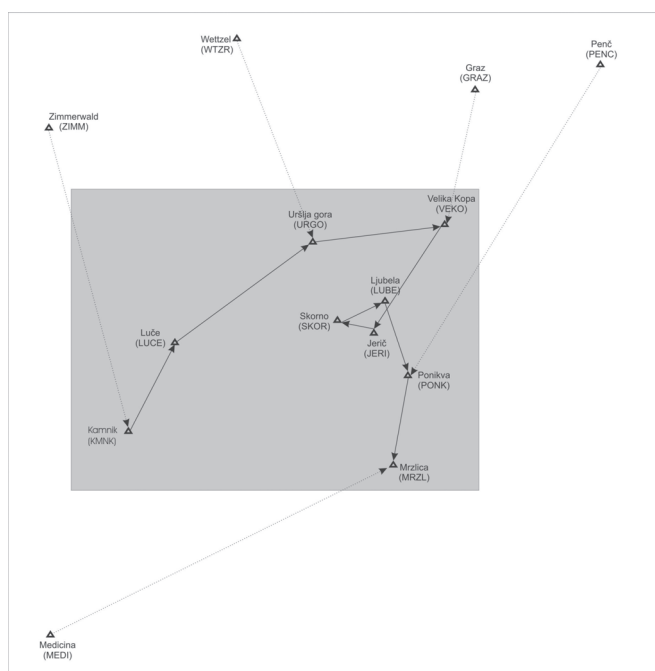
položaji in hitrostmi v koordinatnem sestavu ITRF97. Ker smo obdelovali tri zaporedne izmere iz let 1996, 1999 in 2002, so bili podatki preciznih efemerid službe IGS vezani na različne koordinatne sestave, in sicer: ITRF96, ITRF97 in ITRF2000. Položaje danih IGS-točk kot tudi podatke končnih preciznih efemerid ter parametre rotacije Zemlje službe IGS smo transformirali v koordinatni sestav ITRF2000, saj lahko hitrosti sprememb položajev točk iz različnih izmer korektno pridobimo le, če se določitev položajev točk posameznih izmer navezuje na isti koordinatni sestav. Vektor položaja danih IGS-točk smo iz trenutka 1997.0 ($X(1997,00)$) v trenutek t (1996,53 in 1999,67 oziroma 2002,67) pretvorili z enačbo:

$$\mathbf{X}(t) = \mathbf{X}(1997,00) + \mathbf{V} \cdot (t - 1997,000) \quad (1)$$

kjer \mathbf{V} predstavlja vektor hitrosti posamezne IGS-točke.

Ker tekom izmer v mrežo nismo vključevali ali odstranjevali točk, smo v vseh izmerah obdelovali isti niz vektorjev, ki smo ga določili v skladu s kriterijem najkrajših povezav med točkami; vektorje formira tudi algoritem določitve enojnih faznih razlik (angl. single differences) (slika 2).

Obdelava dvojnih faznih razlik je potekala z določitvijo ionsfersko neodvisne linearne kombinacije L3 za daljše vektorje oziroma z obdelavo L1 opazovanj za krajše vektorje. Za krajše vektorje (do 10 km) smo za obdelavo vektorjev uporabili algoritem SIGMA tako, da smo neznano število celih valov v začetnem trenutku opazovanj računali le za nosilno valovanje L1. Za daljše



Slika 2: Skica celotne mreže s točkami, vključenimi v izračun. Na skici so predstavljeni vektorji, na podlagi katerih je potekal izračun dnevnih rešitev za vse izmere.

vektorje, ki so imeli na krajiščih isti tip instrumentov, smo prav tako uporabili algoritem SIGMA, vendar na drugačen način. Najprej smo za geometrijsko neodvisno linearno kombinacijo L4 izračunani model ionosfere, naprej pa neznanu število celih valov za linearno kombinacijo L5, šele nato smo obdelavo usmerili v linearno kombinacijo L3¹⁰. Neznanu število celih valov za daljše vektorje, ki so imeli na krajiščih različne tipe GPS-instrumentov, smo določili z algoritmom QIF – kvazi ionosfersko neodvisnim algoritmom, kjer ionosferske refrakcije nismo modelirali, ampak smo modele pridobili preko spleta (datoteke ION¹¹). Tekom obdelave smo uporabili Saastamoinenov model troposferske refrakcije, kjer smo parametre ponovno določali vsaki dve uri (priporočila avtorjev programa). Ker je natančnost opazovanj odvisna od višinskega kota satelita, smo uteži opazovanjem dodeljevali v skladu z modelom COSZ.

Dnevne rešitve posameznih vektorjev smo določili neodvisno, nadalje smo jih preko normalnih enačb združili v končno rešitev posamezne izmere. Ocena kvalitete obdelave dnevne rešitve je slonela na primerjavi položajev točk ene in druge dnevne rešitve s Helmertovo transformacijo. Končno rešitev posamezne izmere smo pridobili z izravnavo po metodi najmanjših kvadratov tako, da smo kot dane privzeli položaje IGS-točk, ki smo jih predhodno v skladu z enačbo (1) izračunali za trenutek opazovanj; ti se v postopku izravnave po MNK niso spremenili.

Rezultate obdelave več izmer smo kombinirali z združitvijo normalnih enačb posameznih izmer, kjer smo kot dane privzeli položaje in hitrosti točk IGS-mreže. Apriori hitrosti novih točk mreže smo določili z modelom NUVEL1-NNR, ki upošteva premik evrazijske litosferske plošče. Hitrosti sprememb položajev novih točk smo določili le v tangencialni ravnini posamezne točke (komponenti hitrosti v smeri sever–jug ter vzhod–zahod) tako, da smo v končni združitvi normalnih enačb poleg danih točk dodatno določili še uteži na novih točkah: 0,001 v vertikalni smeri ter 999,99 v horizontalni.¹²

Ker so formalno ocenjene natančnosti hitrosti premikov običajno za faktor 2–11 podcenjene glede na t. i. realne natančnosti (Mao et al., 1997; Dixon et al., 2000), smo »formalne« natančnosti množili s faktorjem 10. Za pretvorbo vektorjev hitrosti v horizontalni ravnini iz koordinatnega sestava ITRF2000 na stabilno Evrazijo smo uporabili parametre absolutnih vrednosti rotacij pola evrazijske plošče (Altamimi et al., 2002). Izračunane hitrosti točk glede na evrazijsko ploščo znašajo okoli 1 mm/leto (slika 3).

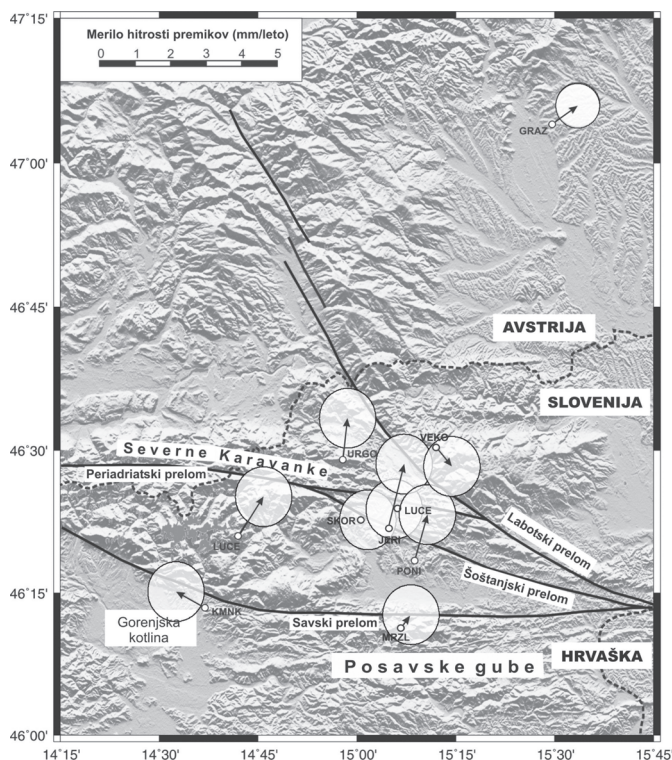
4 GEOLOŠKA INTERPRETACIJA REZULTATOV

Iz razlik med vektorji hitrosti točke mreže na stabilni Evraziji je možno izločiti tri cone povečanih deformacij, ki se ujemajo s potekom labotskega, šoštanskega in savskega preloma (Vrabec et al.,

¹⁰ Obdelava daljših vektorjev s strategijo SIGMA poteka v treh korakih: najprej v okviru linearne kombinacije L4 določimo model ionosfere, sledi določitev neznanega števila celih valov v začetnem trenutku opazovanj za linearno kombinacijo L5. Nazadnje obdelavo naredimo še enkrat, in sicer: algoritem SIGMA uporabimo za linearno kombinacijo L3, kjer kot dane vrednosti predstavimo v prejšnjih dveh korakih izračunani model ionosfere in neznanu število celih valov za linearno kombinacijo L5.

¹¹ <http://www.aiub.unibe.ch/download/CODE>

¹² Predpostavka, da se položaji točk po višini ne spreminjajo.



Slika 3: Ocenjeni vektorji hitrosti premikov in pripadajoče standardne elipse pogreškov glede na stabilno Evrazijo za obdobje od 1996 do 2002.

2005). Točke vzdolž savskega preloma kažejo na desni zmik okoli 1,5 mm/leto. Točki Kamnik (KMNK) in Mrzlica (MRZL), ki se nahajata južno od preloma, se ne premikata enotno, ampak divergirata. Dogajanje bi morda bilo lahko posledica aktivnega ugrezavanja Ljubljanske kotline in deformacij v Posavskih gubah.

Vektorji hitrosti premikanja točk Luče (LUCE), Ponikva (PONI) in Jerič (JERI) v območju med savskim prelomom in sistemom smrekovski-šoštanjski prelom se praktično ne razlikujejo, nakazujejo pa raztezno-zmično (transtenzijsko) deformiranje tega dela ozemlja, saj se te točke relativno odmikajo od točk Kamnik (KMNK) in Mrzlica (MRZL) južno od savskega preloma. Tudi analiza geoloških kart in podatkov o zdrsih ob prelomnih ploskvah kaže na prisotnost pliokvartarnih tektonskih jarkov na tem območju (Fodor et al., 1998).

Premiki točk vzdolž šoštanjskega preloma (Jerič (JERI), Ponikva (PONI) in Lubela (LUBE)) kažejo na 1,5–2 mm/leto konvergence pravokotno na prelom. Interpretacija tega rezultata ni povsem jasna, saj strukturne značilnosti šoštanjskega preloma in analiza zdrsov ob prelomnih ploskvah kažejo zgolj desne in desnotranstenzijske zmičke ob prelomu (Vrabec et al., 1999), ne pa na krčenje pravokotno nanj. Možno je, da se to področje deformira transpresivno, s kombinacijo desnega zmikavanja in krčenja pravokotno na zmik, pri čemer je zmična komponenta tako majhna,

da je v časovnem obdobju naše raziskave nismo zaznali. Za točko Skorno (SKOR), ki se nahaja na osrednjem delu geodinamične mreže, nismo zaznali večjega premika. Sklepamo lahko, da je točka podvržena lokalnemu dogajanju, morda lezenju tal. Boljši vpogled v dogajanje pričakujemo iz rezultatov obdelave razširjene mreže.

Preko periadriatskega preloma (značilni točki: Luče (LUCE) in Uršlja gora (URGO)) nismo določili pomembnejših desnozmičnih premikov, zanimivo pa je, da se točka URGO, ki leži severno od preloma, premika ~ 1 mm/leto proti severu, kar bi bilo lahko povezano z aktivnim transpresivnim narivanjem območja severnih Karavank (cf. Placer, 1996).

Premiki točk vzdolž labotskega preloma (Uršlja gora (URGO), Lubela (LUBE), Velika Kopa (VEKO)) kažejo na 0,5–1 mm/leto desnega zmika, kar se ujema s predvideno kinematiko preloma in žariščnimi mehanizmi potresov.

Gradient hitrosti med točkama Kamnik (KMNK) in Mrzlica (MRZL), ki se nahajata južno od savskega preloma, ter točko Gradec (GRAZ) v enoti vzhodnih Alp, ki jo je v analizi uporabil Grenerczy (Grenerczy, 2002), je v grobem skladen s hitrostjo ekstruzije vzhodnih Alp $\sim 1,5$ mm/leto. Naši rezultati tako zaenkrat potrjujejo hipotezo, da je ekstruzija na jugu omejena s periadriatskim prelomnim sistemom. Deformacija na območju slovenskega dela PPS pa ni omejena na osrednjo prelomno cono, ampak je porazdeljena v nekaj 10 km širokem pasu. Posamezni prelomi znotraj PPS kažejo komaj zaznavne premike velikostnega reda 1 mm/leto, ki pa niso zgolj enostavni horizontalni zмки, poleg tega pa se nekoliko deformirajo tudi območja med prelomi.

5 ZAKLJUČEK

Z nadaljevanjem meritev v prihodnosti želimo izboljšati natančnost določitev hitrosti premikanja točk mreže. Hkrati so se v organizaciji Premogovnika Velenje v letu 2003 odločili mrežo razširiti še z desetimi novimi točkami z namenom spremljanja tektonske in potresne aktivnosti v večjem delu Šaleške kotline. Z rezultati obdelav opazovanj na novih točkah, ki dodatno pokrivajo območja šoštanjškega, smrekovškega in labotskega preloma, bi poleg spremljanja potresne aktivnosti na danem območju lahko bolje interpretirali tudi do sedaj manj jasne deformacije znotraj ožjega območja prelomov.

ZAHVALA

Na danem mestu se zahvaljujemo sodelavcem Premogovnika Velenje d.d., ki so nam omogočili raziskavo. Še posebej se zahvaljujemo M. Koželju in D. Potočniku za pomoč pri organizaciji in izvedbi terenskih izmer ter J. Webru za nasvete pri tektonski interpretaciji, ki temelji na podatkih GPS-opazovanj.

Delo je nastalo v okviru raziskovalnega projekta P2-227 APRS: »Geoinformacijska infrastruktura in trajnostni prostorski razvoj Slovenije«.

Literatura in viri:

- Altamimi, Z., Sillard, P., Boucher, C. (2002). ITRF2000: A new release of the International Terrestrial Reference Frame for earth science applications. *Journal of geophysical research*, Vol.107, No. B10, 2214–2232.
- Berk, S., Komadina, Ž., Marjanovič, M., Radovan, D., Stopar, B. (2001). The Recomputation of EUREF GPS Campaigns in Slovenia. Report on the Symposium of the IAG Subcommission for Europe (EUREF) in Toledo, Španija.
- Dixon, T. H., Miller, M. M., Farina, F., Wang, H., Johnson, D. (2000). Present day motion of the Sierra Nevada block and some tectonic implications for the Basin and Range province: North, American Cordillera. *Tectonics* 17, 690–709.
- Fodor, L., Jelen, B., Márton, E., Skaberne, D., Čar, J., Vrabc, M. (1998). Miocene-Pliocene tectonic evolution of the Slovenian Periadriatic Line and surrounding area – implication for Alpine-Carpathian extrusion models. *Tectonics*, 17, 609–709.
- Grenerczy, G. (2002). Tectonic processes in the Eurasian-African plate boundary zone revealed by space geodesy. Vir: Stein, S., Freimueller, J.T. (eds.) Plate boundary zones. Special Publication of the American Geophysical Union.
- Hugentobler, U., Schaer, S., Fridez, P. (2001). Bernese GPS Software Version 4.2. Astronomical Institute of the University of Berne.
- Kouba, J. (2002). The GPS Toolbox ITRF Transformations. *GPS Solutions*, Vol. 5, No. 3, 88–90.
- Mao, A., Harrison, G.A., Dixon, T. H. (1997). Noise in GPS coordinate time series. *Journal of Geophysical Research* 104, B2, 2797–2816.
- Placer, L. (1996). Pecin nariv ob Periadriatskem lineamentu. *Geologija* 39, 289–312.
- Ratschbacher, L., Merle, O., Davy, Ph. & P. Cobbold, (1991). Lateral extrusion in the Eastern Alps, part I: boundary conditions and experiments scaled for gravity. *Tectonics*, 10, 245–256.
- Ratschbacher, L., Frisch, W., Linzer, H.-G. & O. Merle, (1991). Lateral extrusion in the Eastern Alps, part II: structural analysis. *Tectonics*, 10, 257–271.
- Vrabc, M., Čar, J., Veber, I. (1999). Kinematics of Šoštanj fault in the Velenje basin area – Insights from subsurface data and paleostress analysis. *RMZ* 46, 623–634.
- Vrabc, M., Pavlovčič Prešeren, P., Stopar, B. (2005). GPS study of active deformation along the Periadriatic fault systems in northeastern Slovenia: first results (1996–2002). *Geologica Carpathica*, 2005.
- <ftp://garner.ucsd.edu/pub/>
- <http://igsbc.jpl.nasa.gov/network/list.html>
- <ftp://lareg.ensg.ign.fr/pub/itrf/itrf2000>
- <http://www.gibs.leipzig.ifag.de>
- <http://www.aiub.unibe.ch/download/BSWUSER42/GEN/>
- <http://www.aiub.unibe.ch/download/CODE>
- ftp://macs.geod.nrcan.gc.ca/pub/requests/itrf96_97/

asist. dr. Polona Pavlovčič Prešeren, univ. dipl. inž. geod.

FGG - Oddelek za geodezijo, Jamova 3, SI-1000 Ljubljana
E-pošta: ppavlovc@fgg.uni-lj.si, tel.: (01) 4768 631

izr. prof. dr. Bojan Stopar, univ. dipl. inž. geod.

FGG - Oddelek za geodezijo, Jamova 3, SI-1000 Ljubljana
E-pošta: bstopar@fgg.uni-lj.si, tel.: (01) 4768 638

asist. dr. Marko Vrabc, univ. dipl. inž. geol.

NTF - Oddelek za geologijo, Aškerčeva c. 12
E-pošta: mvrabc@ntfgeo.uni-lj.si tel.: (01) 4704 530

Prispelo v objavo: 15. september 2005

Sprejeto: 22. september 2005