

ZAČETEK MERITEV PREMİKOV OB PRELOMIH V ZAHODNI SLOVENIJI S 3D EKSTENZIOMETRI TM 71

Stanka Šebela*, Andrej Gosar**

Povzetek

V okviru projekta COST 625 smo v letu 2004 začeli z meritvami 3D premikov ob izbranih domnevno aktivnih prelomih v zahodni Sloveniji (Raški prelom-Vremščica, širša cona Predjamskega preloma-Postojnska jama, Idrijski prelom-Učja). Premike registrirajo mehansko-optični ekstenziometri TM 71 češke izdelave. Meritve bodo potekale več let.

Uvod

Projekt COST 625 ("3-D monitoring of active tectonic structures") združuje raziskovalce aktivnih tektonskih procesov iz osemnajstih držav (<http://fir.seismology.hu/cost625/-index.html>). K petletnemu projektu (2000-2005) je Slovenija s podpisom memoranduma o sodelovanju pristopila 16. marca 2000. Projekt poteka v dveh delovnih skupinah (WGAT - Working Group for Active Tectonics; WGMI - Working Group for Monitoring and Instrumentation). Glavni cilj je raziskovanje mikro premikov na aktivnih tektonskih strukturah, ki so lahko seizmični ali aseizmični. Na seizmično aktivnih območjih lahko kvantitativne rezultate o mikro premikih na tektonskih ploskvah koreliramo s seizmičnimi dogodki in tako razširimo vedenje o aktivnih tektonskih procesih. V seizmično manj aktivnih območjih pa nam meritve mikro premikov dajejo podatke o počasnih tektonskih procesih.

Pri raziskavah uporabljamo 3D merilec premikov oz. ekstenziometer TM 71, ki ga je razvila skupina na Inštitutu za strukture kamnin in mehaniko Češke akademije znanosti pod vodstvom dr. Blahoslava Koštaka in ga tudi patentirala (Koštak, 1969). Gre za mehansko-optični inštrument, ki meri premike v treh oseh (x , y in z) z natančnostjo okoli 0,03 mm. Meritev deluje na principu Moiréjevega optičnega efekta, ki se spreminja, ko se dve prozorni ploščici z natančno vgraviranim vzorcem med seboj premakneta. Vsaka ploščica je z železno palico togo sidrana v eno stran prelomne cone ali razpoke. Premiki povzročijo spremembo interferenčnega vzorca, ki nastane, ko se obe gravuri prekrivata (Koštak, 1977). Dva ločena sistema ploščic postavljena v vodoravni in navpični smeri, omogočata ugotavljanje premikov v treh smereh. Širina razpoke, na katero lahko namestimo napravo, je do 1,5 m. Ker je veliko prelomnih con precej širših, se pogosto izvede namestitve med eno od prelomnih ploskev in tektonizirano kamnino v coni, če le-ta ni preveč porušena, ali pa na eno od stranskih razpok. Izbor lokacije je za uspešnost meritev ključnega pomena.

Prednost ekstenziometra TM 71 v primerjavi z drugimi podobnimi napravami je v preprostosti in robustnosti, saj ne vsebuje elektronskih vezij in ne potrebuje vira energije.

* IZRK ZRC SAZU, Titov trg 2, 6230 Postojna

** ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, Dunajska 47, 1000 Ljubljana

To omogoča dolgotrajne meritve tudi pod različnimi vplivi okolja (Avramova-Tacheva & Koštak, 1995). Da lahko izključimo ostale vplive, morajo meritve trajati vsaj 3 leta. Odčitavanje premikov je potrebno opraviti vsake dva ali v primeru težje dostopnosti vsaj vsake tri mesece. Inštrument TM 71 je bil že uspešno uporabljen v številnih raziskavah v Evropi, Aziji in južni Ameriki.

Procesi, ki jih naprava TM 71 zaznava, odražajo napetosti v Zemljini skorji. Za njihovo razumevanje je potrebno poznati deformacijske modele reologije v povezavi s strukturnimi spremembami. Najbolj zanimivi so seveda premiki ob seizmično aktivnih prelomih. Pomembna je pravilna interpretacija dobljenih rezultatov, ki nam omogoča razločevanje med tektonskimi deformacijami Zemljine skorje in drugimi površinskimi deformacijami, predvsem gravitacijskimi. Koristna je sočasna uporaba drugih metod, kot so GPS-meritve, ker to zmanjšuje možnost napačne interpretacije rezultatov.

Registrirani premiki vzdolž razpok različnega izvora navadno sestojijo iz dveh elementov:

- a) občasnih sprememb različnih amplitud, povezanih z deformacijami v kamnini zaradi sprememb temperature in vlage itd.
- b) trajnejših trendov premikanj ali nenadnih skokov (Koštak & Avramova-Tacheva, 1984; Kalvoda & Koštak, 1984; Avramova-Tacheva & Koštak, 1986).

Analize premikov, izmerjenih s TM 71, so pokazale, da ekstremnih premikov, ki spremljajo močnejše potrese, praviloma ne spremljajo nenadni skoki, ampak gre za počasno naraščanje premikov pred potresom (Shanov, 1993) in počasno upadanje premikov po potresu kot zakasnitveni efekt. V Peruju (Cordillera Blanca) so kmalu po namestitvi TM 71 zaznali nenaden skok $z = 0,55$ mm. Po enem letu opazovanj pa se je premikanje stabiliziralo in pustilo stalen premik $z = +0,4$ mm, medtem ko sta premika po x in y ostala majhna. Meritve v Nemčiji (Renski jarek) so pokazale povprečne premike 1,75 mm v štirih letih (Štemberk et al., 2003).

Tektonska aktivnost Slovenije

Alpski orogen je nastal kot posledica konvergence med Afriško in Evrazijsko ploščo. Večina Slovenije pripada najsevernejšemu delu Afriške plošče oz. vmesni Jadranski mikroplošči (Anderson & Jackson, 1987). Geološke, seizmološke in tomografske raziskave kažejo na deformacije na V, Z in S robu Jadranske mikroplošče, ki so posledica njene rotacije v nasprotni smeri urinega kazalca (Weber et al., 2004). Glavni aseizmični izdanek Jadranske mikroplošče je Istra. Na podlagi GPS-meritev opazujemo v Sloveniji jasne (nekaj mm/leto) desne (transpresivne) premike vzdolž Savskega preloma in Periadriatske prelomne cone, kar nakazuje, da je bočno izrivanje v SV Alpah še vedno aktivno (Weber et al., 2004). V SV Italiji ima glavna os kompresijske napetosti smer SZ-JV, medtem ko ta os v Sloveniji poteka vzhodneje, v smeri S-J. Današnja kompresija v smeri S-J je aktivna v »notranjem klinu«, ki je tudi najbolj seizmičen. Obratno je območje kompresije v smeri SZ-JV značilno za »zunanji klin« (Bressan et al., 1998).

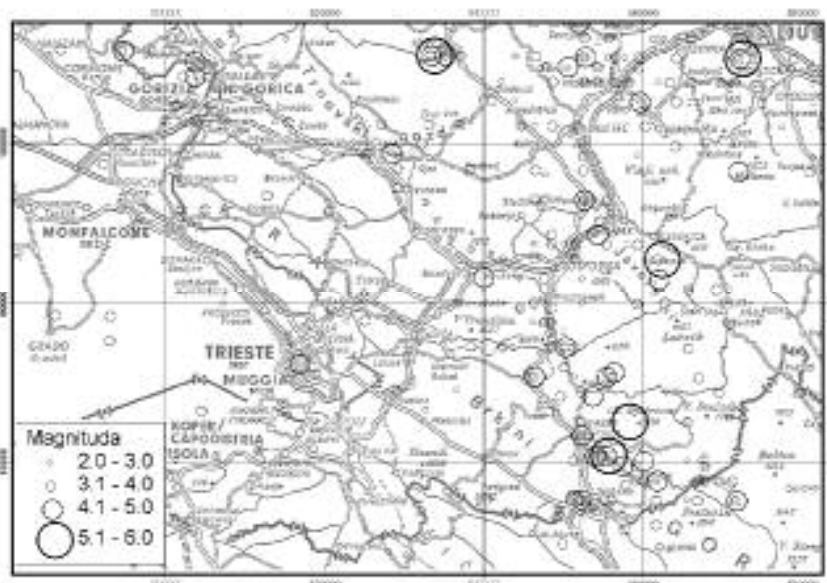
V Sloveniji so območja Južnih Alp, Zunanjih in Notranjih Dinaridov močno deformirana in narinjena na nedeformiran del Jadranske plošče, imenovan tudi Adriatik. Prevladujoča napetost v smeri S-J je povzročila nastanek konjugiranega sistema zmičnih prelomov. V zahodni Sloveniji prevladujejo desnozmični prelomi dinarske smeri, v vzhodni Sloveniji pa levozmični prelomi prečnodinarske smeri. Poleg teh so pogosti tudi prelomi v smeri Z-V in narivi z vergenco proti severu.

JV Slovenija pripada tektonsko Zunanjim Dinaridom. Njihova glavna strukturna značilnost so prelomi dinarske smeri in narivanje proti jugozahodu. Najmočnejši prelomi od JZ proti SV so (Sl. 1): Palmanovski, Divaški, Raški, Predjamski, Idrijski in

Žužemberški (Placer, 1981). Za Zunanje Dinaride je značilna zmerna zgodovinska in recentna seizmičnost (Sl. 2). Relociranje žarišč potresov, ki so nastali v zadnjih desetih letih, je pokazalo, da so njihova žarišča razporejena predvsem vzdolž Raškega in Idrijskega preloma (Michelini et al., 1998). Žariščni mehanizmi večine potresov kažejo na desnozmične prelome (Poljak et al., 2000).



Slika 1 - Močnejši prelomi v JZ Sloveniji, lokacije za TM 71: 1 - Postojnska jama, 2 - Vremščica. Model reliefa po Perko & Orožen Adamič (1995)



Slika 2 - Seizmičnost jugozahodnega dela Slovenije (Katalog ARSO za obdobje 1957-2002)

Meritev tektonskih premikov s TM 71 v kraških jamah

Merilec premikov TM 71 se uspešno uporablja po vsem svetu (Grčija, Poljska, Italija, Nemčija, Bolgarija, Slovaška, Češka, Peru, Azija). Zaradi dokaj stalne temperature je ugodno, če ga namestimo pod zemljo, v kraške jame ali predore. Do sedaj so v kraških jamah nameščeni na Češkem, Poljskem in v Sloveniji, v predorih pa v Nemčiji (Štemberk et al., 2003). V Sloveniji smo TM 71 prvič namestili februarja 2004 v Postojnski jami (Postojna 2, Lepe jame) in maja 2004 na Veliki gori (Postojna 1).

Postojnska jama je z 20 km najdaljši jamski sistem v Sloveniji. Rovi so razviti v zgornjekrednih apnencih cenomanijske, turonijske in senonijske starosti. Za Postojnsko jamo so izdelane dobre strukturno-geološke karte (Gospodarič, 1965; Šebela, 1998). Jama leži med dvema pomembnima dinarsko usmerjenima prelomoma, Idrijskim na severu in Predjamskim na jugu (Sl. 1). Ozemlje med obema desnozmičnima prelomoma je razkosano z deformacijami narivanja in gubanja miocenske in pliocenske starosti ter mlajšega prelamljanja. Jamski rovi so razviti v obeh krilih Postojnske antiklinale in sledijo slemenitvi plasti in smeri vpada plasti ter dinarskim in prečnodinarskim prelomnim conam.

Severni rob podorne dvorane Velika gora je razvit znotraj dinarske prelomne cone z vertikalnim premikom za nekaj metrov (Postojna 1). Prav to prelomno cono lahko zasledimo tudi v Pisanem rovu in Lepih jamah, vendar tam ne kaže enakih smeri premikov. V Pisanem rovu vpada prelomna ploskev s sledovi horizontalnega levega premika za 60° proti SV. V Lepih jamah pa v isti prelomni coni zasledimo dokaze za vertikalne in horizontalne premike (Postojna 2). V Lepih jamah je ta dinarska prelomna cona prekinjena z mlajšo prečnodinarsko prelomno cono, ki je bila aktivna v obdobju mlajšem od 780.000 let (Sasowsky et al., 2003).

Na Veliki gori je TM 71 (Postojna 1) postavljen med prelomno ploskvijo strmega reverznega preloma in zasiganim podornim blokom apnenca velikosti (0,5 x 1) m (Sl. 3).



Slika 3 - Namestitev ekstenziometra TM 71 v Postojnski jami - Velika gora (Postojna 1)

Drugo opazovano mesto (Postojna 2) predstavlja krajši umetno izkopen rov velikosti (1 x 1 m), kjer je TM 71 postavljen med dve dinarski prelomni ploskvi (Sl 4). Opazovani dinarski prelom leži približno 1 km severno od Predjamskega preloma.

Odčitke premikov opravljamo v Postojnski jami enkrat na mesec. Po zadnjem večjem potresu 12. 7. 2004 v Krnskem pogorju pa smo opravili še dodatne meritve.



Slika 4 - Namestitev ekstenziometra TM 71 v Postojnski jami - Lepe jame (Postojna 2)

Namestitve TM 71 na površju v zahodni Sloveniji

Raški prelom

Raški prelom poteka v dinarski smeri od Anhova do nariva Snežnika pri Ilirski Bistrici. Najbolj izrazito je viden v topografiji površja kot skoraj ravna dolina Raše med Kobjiljem in Štorjami ter na območju Vremščice (Sl. 5). Presek tega preloma je lepo viden v avtocestnem useku pri Senožečah, sicer pa so izdanki prelomne cone redki. Seizmičnost na območju Raškega preloma je zgoščena predvsem na območju Snežnika. Žarišča potresov na tem območju ustrezajo prelomni ploskvi, ki strmo vpada proti SV (Michelini et. al., 1998). Najmočnejši potres na tem območju z magnitudo 5,8 se je zgodil leta 1916 JV od Reke (Poljak et al., 2000).

Da bi našli ustrezno lokacijo za namestitev ekstenziometra TM 71, smo pregledali večino trase Raškega preloma. Najboljšo lokacijo smo našli na JV vznožju Vremščice pri Košani, kjer sta ob prelomu v zgornjekrednih apnencih dva opuščena kamnoloma. Za zgornji kamnolom obstojajo načrti, da bi ga ponovno aktivirali, spodnji pa je zaprt že več kot 15 let in bo tak tudi ostal. V njem je stik zgornjekrednega apnenca (SV krilo preloma) in paleocenskega kozinskega apnenca (JZ krilo), ki sta ločena s približno 10 m široko glavno prelomno cono, v kateri je kamnina zelo zdrobljena. To onemogoča postavitev naprave na glavno prelomno ploskev. Zato smo izbrali njej vzporedno razpoko v steni kamnoloma v zgornjekrednem apnencu (Sl. 6). Tu smo inštrument namestili novembra 2004.



Slika 5 - Letalski posnetek (DOF5 GURS) Vremščice z Raškim prelomom. Označen je kamnolom v katerem je nameščen ekstenziometer TM 71



Slika 6 - Namestitev ekstenziometra TM 71 na Raškem prelomu, Vremščica

Idrijski prelom

Najmočnejši prelom na območju zahodne Slovenije je Idrijski prelom, ki je jasno viden v topografiji tudi na satelitskih in letalskih posnetkih. Razteza se v dolžini prek 120 km od meje z Italijo v Kaninskem pogorju do Gorskega Kotarja. Najmočnejši zgodovinski potres na tem območju se je zgodil leta 1511 in je imel magnitudo ocenjeno na 6,8 ter intenziteto X. Najpogosteje ga povezujejo z Idrijskim prelomom, čeprav za to ni neposrednih dokazov. Drugi močnejši potres z magnitudo 5,6 je nastal leta 1926 na JV delu preloma, recentna seizmičnost ob tem prelomu pa je majhna (Poljak et al., 2000).

Kljub temu, da je prelom zelo izrazit v topografiji, pa so njegovi izdanki redki, saj ob njem večinoma potekajo rečne doline Soče, Idrijce in Kanomljice. Najlepši prerez celotne prelomne cone Idrijskega preloma je v dolini Učje, ki poteka prečno na smer preloma. Prelomna cona je tu široka okoli 1700 m. Čar in Pišljar (1993) sta v njej izdvojila notranjo in zunanjo prelomno cono ter glavno in mejno prelomno ploskev. Za namestitev ekstenziometra TM 71 smo izbrali izrazito razpoko na stiku glavne prelomne ploskve in notranje prelomne cone (Sl. 7) v sami soteski Učje med Melanom in Hleviščami.



Slika 7 - Namestitev ekstenziometra TM 71 na glavni prelomni ploskvi Idrijskega preloma v dolini Učje

Zaključek

Še en merilec premikov nameravamo namestiti na Ravenski prelom v Krnskem pogorju ali na njemu vzporeden prelom (Kneški ali Krnski). Izdanki Ravenskega preloma so namreč zelo težko dostopni, kar otežuje tako samo namestitev, kot tudi odčitavanje v zimskem času. Ob Ravenskem prelomu sta nastala potresa 12. 4. 1998 z magnitudo 5,6 in 12. 7. 2004 z magnitudo 4,9 (Zupančič et al., 2001). Oba potresa sta na Bovškem in Kobariškem povzročila veliko škodo. Analiza seizmoloških podatkov (žariščni mehanizmi) je v obeh primerih pokazala, da je ob prelomu prišlo v globini do desnega zmika ob skoraj navpični prelomni ploskvi. Geološke raziskave pa niso potrdile, da bi prišlo do pretrga na površini. Gre za eno redkih aktivnih struktur v Sloveniji, kjer je seizmičnost dokazano povezana z znanim prelomom.

Z večletnimi terenskimi (*in situ*) meritvami tektonskih premikov ob Raškem, Predjamskem, Idrijskem in Ravenskem prelomu s pomočjo ekstenziometrov TM 71 pričakujemo, da bo razumevanje seizmične ali aseizmične aktivnosti teh prelomov bolj jasno. Pričakovana natančnost teh meritev je do 0,03 mm.

Literatura

- Anderson, H. & Jackson, J. 1987: Active tectonics of the Adriatic region.- *Geophys.J.R.Astron. Soc.* 91, 937-983.
- Avramova-Tacheva, E. & Košťak, B. 1986: Direct measurement of recent movements along seismic faults and creep deformations.- *Proc. 5th Int. Congr. IAEG, Buenos Aires*, 337-346.
- Avramova-Tacheva, E. & Košťak, B. 1995: Local three-dimensional extensiometric measurements for the determination of displacements in the Krupnik fault zone, Bulgaria.- *Acta montana IRSM AS CR, series A, no. 8 (97)*, 87-98.
- Bressan, G., Snidarcig, A. & Venturini, C. 1998: Present state of tectonic stress of the Friuli area (Eastern Southern Alps).- *Tectonophysics* 292, 211-227.
- Čar, J., Pišljarič, M. 1993: Presek Idrijskega preloma in potek doline Učje glede na prelomne strukture. - *Rudarsko-metalurški zbornik* 40/1-2, 79-91.
- Gospodarič, R. 1965: Tektonika ozemlja med Pivško kotlino in Planinskim poljem ter njen pomen za sistem Postojnskih jam.- 179 str. In 38 prilog, Postojna (elaborat. IZRK ZRC SAZU, Postojna).
- Kalvoda, J. & Košťak, B., 1984: Geomorfologická analýza merení pískovcových bloků v údolí Libechovy.- *Sbor. Čs. Geogr. Společ.* 89, 3, 199-21.
- Košťak, B., 1969: A new device for in-situ movement detection and measurement.- *Exp. Mechanics* 9, Easton (Pa, USA), 374-379.
- Košťak, B. 1977: Terčové měřidlo TM-71 a jeho užití pro měření velmi pomalých pohybů na poruchách a trhlinách.- *Inž. Stavby* 25, 5, 213-218.
- Košťak, B. & Avramova-Tacheva, E., 1984: Propagation of coastal slope deformations at Taukliman, Bulgaria.- *Bull IAEG* 23, 67-73.
- Michelini, A., Živčič, M., Suhadolc, P. 1998: Simultaneous inversion for velocity structure and hypocenters in Slovenia. - *Journal of Seismology* 2, 257-265.
- Placer, L. 1981: Geološka zgradba jugozahodne Slovenije. - *Geologija* 24/1, 27-60.
- Poljak, M., Živčič, M., Zupančič, P. 2000: The seismotectonic characteristics of Slovenia. - *Pure and Applied Geophysics* 157, 37-55.
- Perko, D. & Orožen Adamič, M., 1995: Relief Slovenije 1:250.000.- ZRC SAZU, Ljubljana.
- Sasowsky, I.D., Šebela, S. & Harbert, W., 2003: Concurrent tectonism and aquifer evolution > 100,000 years recorded in cave sediments, Dinaric karst, Slovenia.- *Environmental Geology* 44:8-13.
- Shanov, St., 1993: Medium-time earthquake prediction based on tectonic fault zone displacement data.- *Acta montana* A4 (90), 53-62.
- Šebela, S., 1998: Tectonic structure of Postojnska jama cave system.- *Založba ZRC* 18, 112 pp., Ljubljana.
- Štemberk, J., Košťak, B. & Vilimek, V., 2003: 3D monitoring of active tectonic structures.- *Journal of Geodynamics* 36, 1-2, 103-112.
- Weber, J.C., Vrabec, M., Stopar, B. & Dixon, T. 2004: New GPS constrains on Adria microplate kinematics, dynamics, and rigidity from the Istria peninsula, Slovenia and Croatia.- *GSA Abstracts with Programs*, Vol. 36, No. 5.
- Zupančič, P., Ceci, I., Gosar, A., Placer, L., Poljak, M., Živčič, M. 2001: The earthquake of 12 April 1998 in the Krn Mountains (Upper Soča valley, Slovenia) and its seismotectonic characteristics. - *Geologija* 44/1, 169-192.