

Meritve tektonskih mikro-premikov v prelomni coni Idrijskega preloma v dolini Učje

Andrej Gosar*

Povzetek

Dolina Učje poteka prečno na Idrijski prelom, zaradi česar je bila izbrana kot najbolj primerna za namestitev ekstenziometra TM 71 na tem prelomu, ki je dolg preko 120 km. Meritve tektonskih mikro-premikov na razpoki v notranji prelomni coni potekajo od leta 2004. V 14 letih opazovanj je bilo ugotovljeno sistematično vodoravno zmikanje s povprečno hitrostjo 0,21 mm/leto in podrejeno vertikalni premiki s hitrostjo 0,06 mm/leto, kar dokazuje aktivnost preloma. Podan je pregled različnih metod raziskovanja recentnih premikov ob aktivnih prelomih ter novejših raziskav Idrijskega preloma. Ocene hitrosti premikov so poleg geodinamike pomembne predvsem za izboljšanje seizmotektonskih modelov in s tem boljše ocenjevanje potresne nevarnosti.

Ključne besede: tektonika, geodinamika, prelom, ekstenziometer, Idrijski prelom, Učja

Keywords: tectonics, geodynamics, fault, ekstensometer, Idija fault, Učja

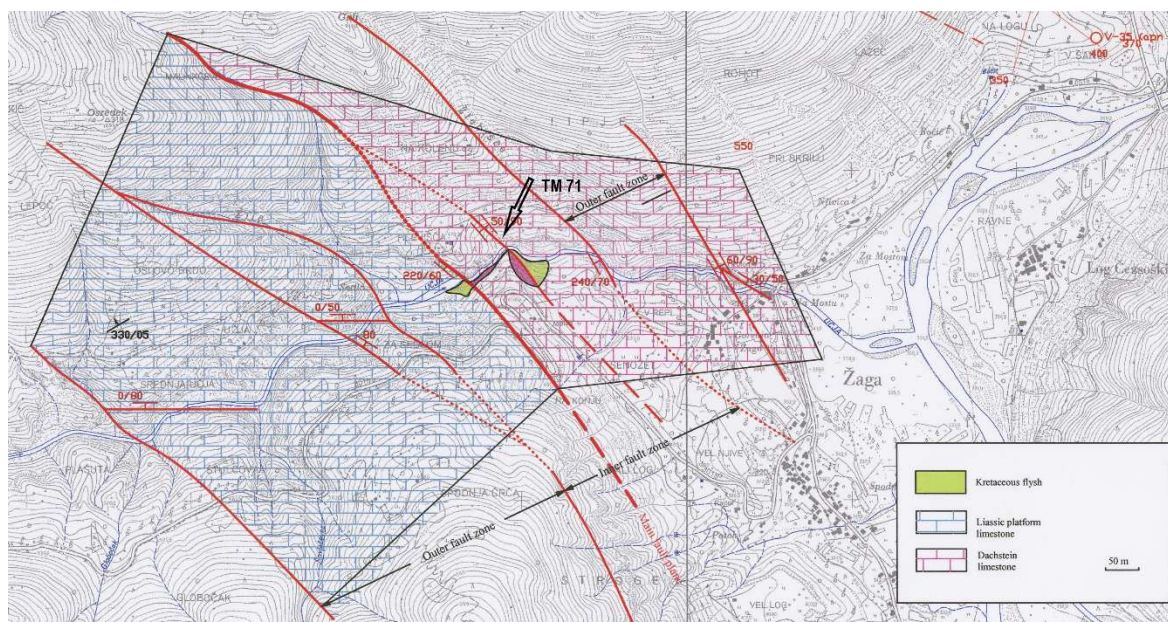
Idrijski prelom

Idrijski prelom je geomorfološko najbolj izražen prelom v zahodni Sloveniji, ki je jasno viden na satelitskih in letalskih posnetkih ter na digitalnih modelih višin različne ločljivosti. Prelom se lahko sledi v dolžini več kot 120 km od Furlanije v bližini Kaninskega pogorja na SZ do Gorskega Kotarja na Hrvaškem na JV (Buser, 1986). Povprečna smer preloma je 310° , naklon vpada pa 85° (Atanackov et al., 2014). V južnem delu se ob njem nahaja več kraških polj porečja Ljubljanice, v severnem delu pa prelom poteka vzdolž dolin Idrijce, Kanomljice in Soče. Zgodovina njegovega raziskovanja je zelo dolga (Čar in Gosar, 2011), tudi zaradi pomena idrijskega rudišča, saj je v geološki zgodovini bil del orudenja (Ljubevč) ob Idrijskem prelomu odrezan in premaknjen na današnje mesto za okoli 2500 m. Na podlagi tega je Placer (1971), ob upoštevanju, da naj bi bil prelom star od 10 do 12 milijonov let, izračunal, da je bila skozi celotno obdobje povprečna hitrost premikov od 0,25 do 0,16 mm/leto, premik pa je poševen z navpičnim skokom 480 m (Placer, 1982). Novejše raziskave povezane s podrobnim kartiranjem za izdelavo geološke karte idrijsko-cerkljanskega ozemlja so pokazale, da izkazuje Idrijski prelom res poševni premik, ki pa je posledica dveh ločenih tektonskih dogajanj (Čar, 2010). V srednjem miocenu pred 12 milijoni let, je bilo ozemlje pod vplivom močnih natezних sil in nastali so normalni prelomi v smeri SZ-JV in vpadom proti SV. Ob Idrijskem prelomu se je SV blok spustil za do 480 m. V novejšem času so se napetostni pogoji spremenili v kompresijske v približni smeri S-J in prelom se je reaktiviral v desnozmičnega. Pri tem so delno nastale nove prelomne trase, zaradi česar je prelomna cona Idrijskega preloma zelo zapletena. Ponekod so vidni nespremenjeni odseki iz časa normalnih premikov, drugod reaktivirane cone normalnih prelomov s horizontalnimi premiki in v veliki večini najmlajše, skoraj navpične prelomne ploskve z značilnimi strukturami, ki nastajajo ob zmičnih prelomih (Čar, 2010; Čar in Gosar, 2011). V novejši razpravi Placer et al. (2010) ocenjujejo, da je navidezni premik ob Idrijskem prelomu na

* Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo, Vojkova 1b, 1000 Ljubljana, Slovenija in Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Aškerčeva 12, 1000 Ljubljana, Slovenija

Tolminskem okrog 10 km. Ker poteka Idrijski prelom večinoma vzdolž rečnih dolin ali kraških polj, je ob njem razmeroma malo izdankov primernih za podrobnejše tektonske analize. Najlepše je celotna prelomna cona razgaljena v dolini Učje na skrajnem SZ, saj poteka prečno na smer preloma in prav na območju prelomne cone tvori manjši kanjon z navpičnimi stenami (Čar in Pišljari, 1993). V njem so dobro vidne strukture zunanje in notranje prelomne cone. Z metodami tektonske geomorfologije na podlagi natančnega digitalnega modela višin iz LiDARskega snemanja površja, so recentno kinematiko Idrijskega preloma v zadnjih letih raziskovali Moulin et al. (2014). Kasneje so uporabili še metode datiranja na podlagi izpostavljenosti izdankov kozmičnim žarkom (izotop ^{36}Cl) in ocenili povprečno hitrost premikanja ob Idrijskem prelomu na 1,15 mm/leto za obdobje od poznega pleistocena (Moulin et al., 2016). V okviru seizmotektonske parametrizacije aktivnih prelomov Slovenije za izdelavo nove karte potresne nevarnosti so Atanackov et al. (2014) recentno hitrost premikanja ocenili na 1 mm/leto.

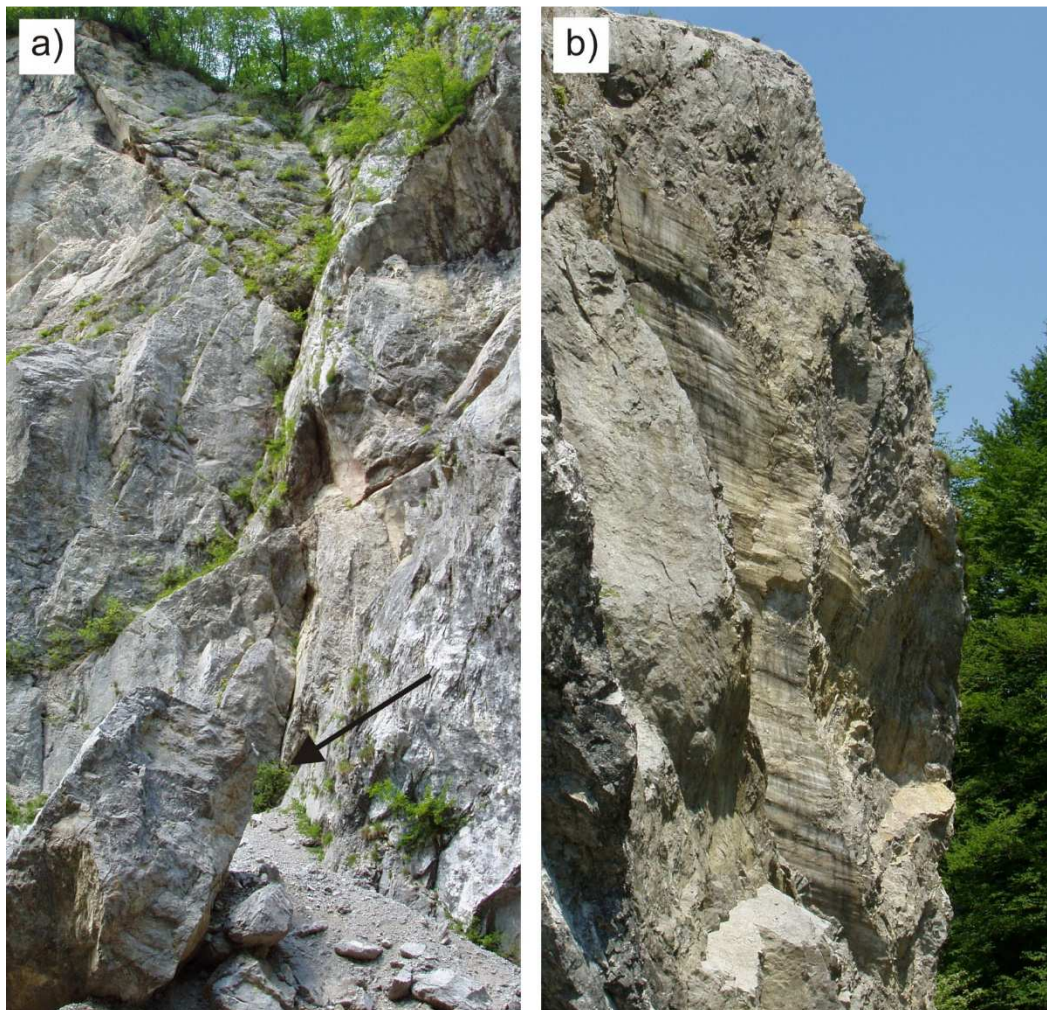
Predpostavlja se, da je Idrijski prelom potresno dejaven, čeprav je število potresov zaznanih vzdolž njega razmeroma majhno (Živčič et al., 2011). K nezanesljivosti seizmoloških opazovanj največ prispeva dejstvo, da so bile v preteklosti potresne opazovalnice, razen tiste na Vojskem, precej oddaljene, kar zmanjšuje natančnost lociranja žarišč potresov. Na širšem območju okrog Idrijskega preloma je domnevno nastal t.i. idrijski potres leta 1511, ki je z ocenjeno magnitudo 6,8 najmočnejši znan potres na območju Slovenije. Vendar pa je dejanska lokacija tega potresa še predmet raziskav (Fitzko et al., 2005), ki dopuščajo da se je potres zgodil na zelo širokem območju v zahodni Sloveniji ali celo v Furlaniji. V novejšem času so med raziskavami najpomembnejše paleoseizmološke. V 20. stoletju sta se na širšem območju Idrijskega preloma zgodila dva močna potresa, cerkniški leta 1926 in potres v Krnskem pogorju leta 1998 (Živčič et al., 2011). Za slednjega je dokazano, da je nastal na Ravenskem desnozmničnem prelomu, ki poteka vzporedno z Idrijskim.



Slika 1 – Geološka karta prelomne cone Idrijskega preloma v dolini Učje. Puščica kaže lokacijo ekstenziometra TM 71. (avtor Igor Rižnar).

Na območju doline Učje je Idrijska prelomna cona široka okoli 750 m. V okviru projekta COST 625 *3D monitoring of active tectonic structures* jo je podrobno skartiral

Igor Rižnar (neobjavljeno) in izdelal strukturno-geološko karto (slika 1). Na tem območju je ozemlje pretežno zgrajeno iz zgornjetriasnega dachsteinskega apnenca. Nekoliko severno poteka glavni nariv Kaninskega pogorja proti jugu, v katerem je dachsteinski apnenec narinjen na kredni fliš (Buser, 1986). JZ od glavne prelomne ploskve v dolini Učje je manjše območje jurskega apnenca liasne starosti, v dnu samega kanjona pa na nekaj mestih izdanja kredni fliš. Notranja prelomna cona je široka okoli 260 m in obsega dva robna preloma, ter glavno in stransko prelomno ploskev. Na območju glavne prelomne ploskve nismo našli nobene primerne razpoke za meritve mikropremikov, saj poteka nekoliko zahodneje od začetka samega kanjona. Zato pa stranska prelomna ploskev, ki poteka 70 m vzhodneje prek okoli 50 m visoke stene kanjona, predstavlja zelo izrazito razpoko (slika 2a), ki se je izkazala za najprimernejšo za namestitev ekstenziometra. Nizvodno je 50 m proti vzhodu še ena lepo razgaljena prelomna ploskev, na kateri drse jasno kažejo na subhorizontalne premike (slika 2b). Ker pa se nahaja v najožjem deli kanjona, dostop do nje s težko vrtalno opremo, potrebno za namestitev ekstenziometra ni bil mogoč. Od zunanjih prelomnih con je širša tista na zahodni strani (okoli 350 m), ki sega do Srednje Učje in je vzdolž samega toka reke v celoti v liasnem apnenecu. Na vzhodni strani je zunanja preloma cona široka okoli 140 m in sega skoraj do naselja Žaga. Ta del je v celoti zgrajen iz dachsteinskega apnenca.



Slika 2 – a) Razpoka v notranji prelomni coni Idrijskega preloma v dolini Učje. Puščica kaže lokacijo ekstenziometra TM 71. b) Izdanek prelomne ploskve 50 m vzhodno od razpoke na sliki (a) z izrazitimi drsami, ki kažejo na subhorizontalne premike.

Meritve tektonskih premikov ob prelomih

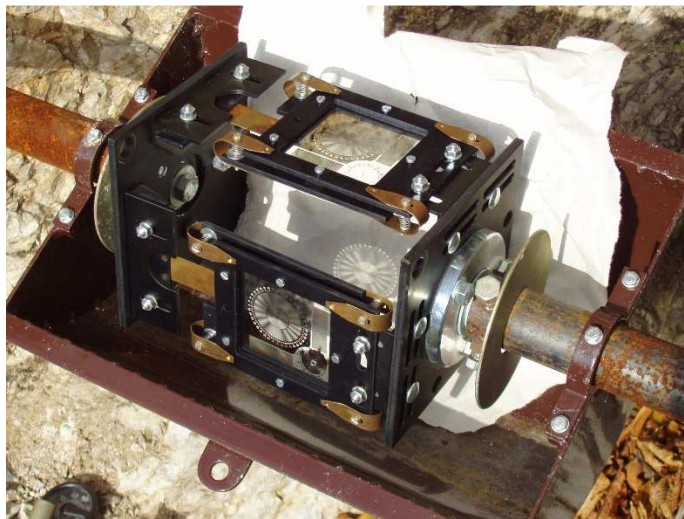
Ocene hitrosti recentnih premikov tektonskih blokov ob prelomih so zelo pomembne za razumevanje geodinamike in aktivne tektonike ter s tem za ocenjevanje potresne nevarnosti. Žal pa je na ozemljih za katere so značilne zmerne hitrosti tektonskih deformacij, med katerimi je tudi Slovenija, ustrezne meritve večinoma težko izvesti, še posebej, če so za močnejše prelome značilne razmeroma široke prelomne cone. Pri tem se uporabljajo metode terestične ali satelitske (GNNS) geodezije. Dokaj pogoste so ponavljajoče se meritve vzdolž nivelmanskih vlakov (npr. vzdolž železniških prog), ki so navadno omejene na vertikalne deformacije, lahko pa merijo tudi horizontalne. Za zahodno Slovenijo so takšno analizo naredili Rižnar et al. (2007). Za natančnejše analize aktivnosti posameznih prelomov, pa geodetskih meritev ne moremo opraviti kjerkoli ob prelomu, pač pa tam, kjer dobro poznamo strukturne razmere in kjer celotna prelomna cona ni preširoka. Na Idrijskem prelomu se ocenjuje, da je za terestične geodetske meritve primeren odsek med Dolenjo Trebušo in Kanomeljskim Razpotjem (Čar in Gosar, 2011). V dolini Kanomljice je bila sicer leta 1977 že postavljena geodetska mreža s štirimi točkami, vendar je žal bila opravljena le ničelna izmera, kasneje pa se meritve niso nikoli več ponovile (Kogoj, 1997), zato nimajo pomena za razumevanje geodinamike. Placer in Koler (2007) sta za geodetske spremljave aktivnih prelomnih con v Sloveniji predlagala vzpostavitev geodetskih mrež točk postavljenih v prelomnih krilih izven prelomne cone in njihovo dolgoletno opazovanje. Premik prelomnih kril se bo odrazil z deformacijo geodetske mreže.

Danes imajo metode satelitske geodezije večinoma prednost pred terestičnimi. Na območju zahodne Slovenije so se že izvedle nekatere raziskave s ponovljenimi GNNS meritvami, ki so podale vektorje premikov širšega območja (npr. Weber et al., 2010), žal pa je gostota točk, ki so bile uporabljene v teh študijah večinoma premajhna, da bi omogočala tudi oceno premikov ob posameznih prelomih. Poleg GNSS meritev se za meritve vertikalnih premikov površja uporablja tudi InSAR (Synthetic Aperture Radar) metoda permanentnih sipalcev, ki je bila uporabljena tudi na širšem območju Julijskih Alp (Žibret et al., 2012). Ker pa v zahodni Sloveniji prevladuje zmična tektonika s horizontalnimi premiki ob prelomih, so za geodinamske namene meritve le vertikalnih premikov premalo. Metoda InSAR omogoča tudi ugotavljanje premikov, ki se zgodijo naenkrat ob zelo močnih potresih, saj lahko z njo zelo natančno primerjamo relief pred in po potresu. Velika prednost InSAR meritev je, da je vedno na voljo dolgoleten niz meritev za naknadno primerjavo in analizo, tudi ko se zgodi močan potres, saj nam pri terestičnih in GNNS meritvah pogosto manjkajo predhodne referenčne meritve. Na povsem drugi strani kot satelitska geodezija pa so meritve mikropremikov ob posameznih prelomnih ploskvah ali razpokah znotraj prelomnih con (Stemberk et al., 2003), ki so opisane v tem prispevku. Z njimi lahko ugotovimo aktivnost posamezne prelomne ploskve, kar je lahko pomembno dokazovanje aktivnosti prelomov, ne moremo pa oceniti deformacije prek celotne prelomne cone.

Ekstenziometer TM 71

TM 71 je mehanski ekstenziometer (slika 3) namenjen namestitvam na razpoke za merjenje relativnih mikro-premikov med dvema blokoma, ki ju razpoka ločuje. Deluje na principu mehanske interference - Moire optični učinek. Premiki se izmerijo s pomočjo interferenčnega vzorca (Košťak, 1991), ki ga oblikujeta optični mreži vgravirani na dveh steklenih ploščicah, ki se medseboj premakneta. Instrument podaja premike v treh smereh in sicer vektor premika v dveh medseboj pravokotnih ravninah (vodoravna in navpična) in

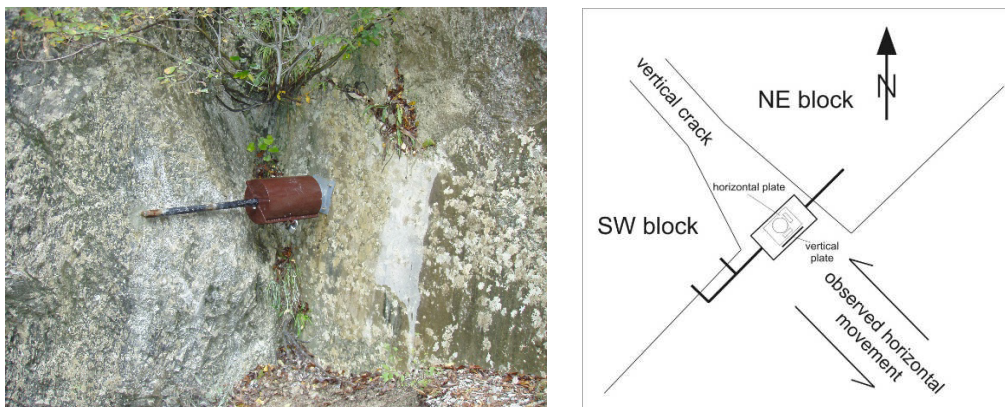
kotne spremembe oziroma rotacijo. Občutljivost merilnega sistema je 0,05-0,0125 mm v vseh treh prostorskih koordinatah in $3,2 \cdot 10^{-4}$ rad pri kotnih spremembah (Stemberk et al., 2003; Stemberk et al., 2010). Glavna prednost tega popolnoma mehanskega inštrumenta je, da nima električnih komponent in je zato zelo robusten za delovanja v zahtevnih pogojih na prostem in tako primeren za dolgoletno opazovanje premikov. Pomankljivost pa je, da zahteva ročno odčitavanje, kar pa se na nekaterih lokacijah (predvsem v kraških jamah) v novejšem času rešuje z avtomatiziranim fotografiranjem interferenčnega vzorca v izbranem časovnem intervalu (Briestensky et al., 2010; Šebela et al., 2009). Ekstenziometer TM 71 so razvili na Inštitutu za strukturo kamnin in mehaniko Češke akademije znanosti v Pragi (Košťak, 1977) in ga tudi patentirali. Danes je po celem svetu nameščenih že skoraj 300 teh inštrumentov. Poleg meritev aktivnih tektonskih premikov, se uporabljajo tudi v inženirski geologiji za spremljanje stabilnosti kamninskih blokov in morebitnega plazanja.



Slika 3 – Ekstenziometer TM 71 za meritve mikro-premikov v treh smereh.

Meritve tektonskih mikro-premikov v dolini Učje

Po podrobnem pregledu celotnega dostopnega dela prelomne cone Idrijskega preloma v dolini Učje, smo za namestitev ekstenziometra kot najbolj primerno izbrali izrazito razpoko v začetnem delu kanjona v okoli 50 m visoki steni, ki je obrnjena proti jugu. Razpoka poteka vzdolž celotne stene, namestitev pa smo izvedli v njenem vznožju na vrhu podornega stožca gruščnatega materiala (sliki 2 in 4). Na tem območju je prišlo do skalnih podorov tako ob potresu 1976 v Furlaniji, kot v manjšem obsegu tudi ob potresu 1998 v Krnskem pogorju. Namestitev ekstenziometra TM 71 je novembra 2004 izvedla usposobljena ekipa Inštituta za strukturo kamnin in mehaniko Češke akademije znanosti iz Prage (Šebela et al., 2005; Gosar et al., 2007). Že sam transport vrtalne opreme do delovišča je predstavljal velik izziv, saj je bilo za spust v sam kanjon in prečkanje reke potrebno uporabiti vrhno tehniko. Zaradi konfiguracije razpoke je v zahodnem bloku jeklen drog sidran v dveh točkah, ne vzhodnem bloku pa v eni sami (slika 4). Za zagotovitev trajnosti namestitve je zelo pomembno, da se inštrument nahaja pod manjšim previsom, ki ga ščiti pred padajočim kamenjem. Tega je zaradi zmrzali in drugih dejavnikov precej, kar dokazuje nenehno višanje nasipnega stožca grušča. Ob namestitvi se je inštrument nahajal okoli 1 m nad tlemi (slika 4), danes pa je zaradi nasipanja praktično že na samih tleh in ja občasno potrebno del grušča celo odstraniti.



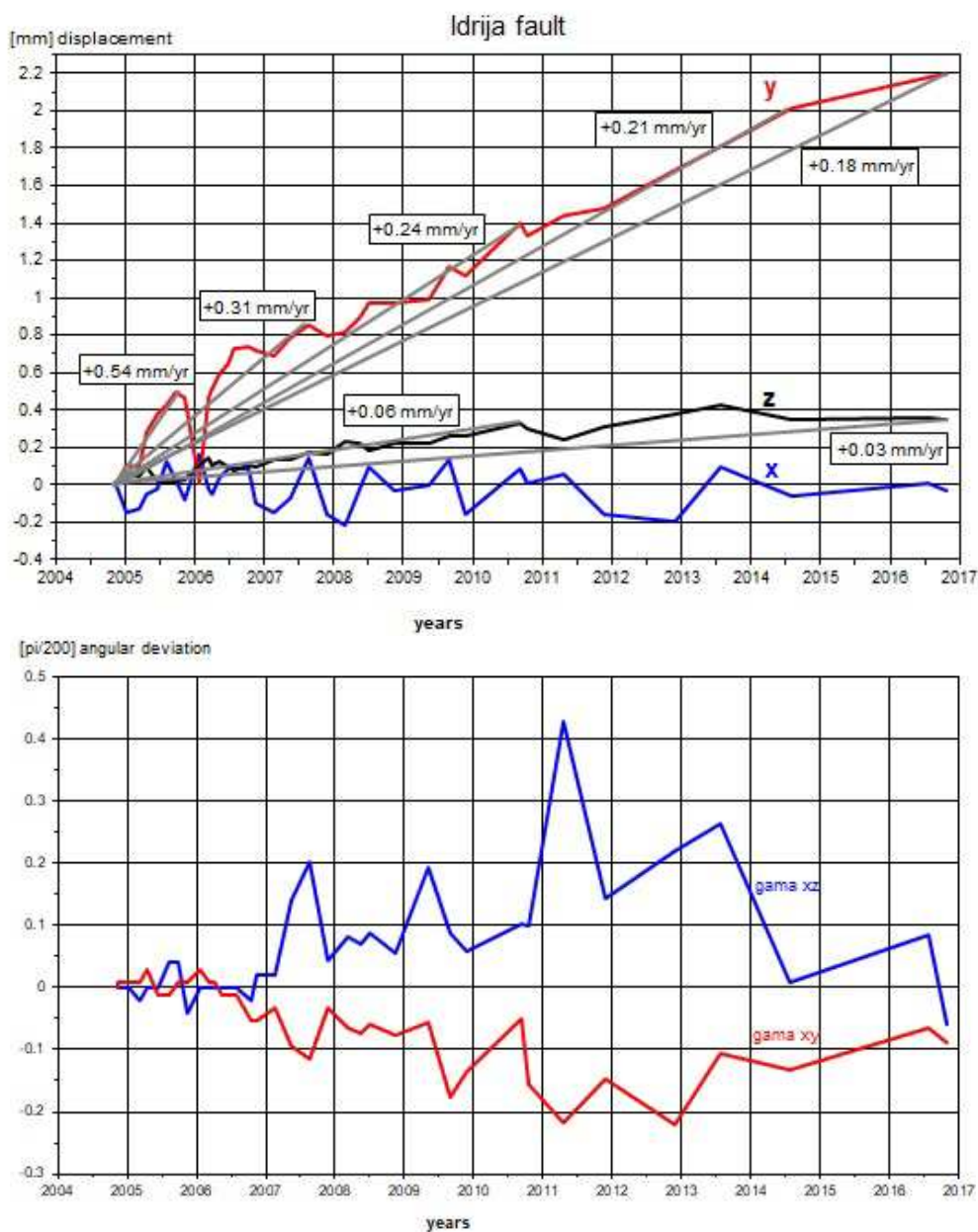
Slika 4 – Levo: fotografija nameščenega ekstenziometra na razpoki v Idrijski prelomni coni. Desno: skica namestitve z ugotovljenim premikom.

Ekstenziometer TM 71 nepretrgoma beleži premike že 14 let od novembra 2004 do konca leta 2018, ker je dovolj dolgo obdobje, da je mogoče sklepati na reprezentativnost v daljšem obdobju. V prvih letih smo izvajali odčitke na 3-4 mesece, kasneje pa na 6-12 mesecev (Gosar et al., 2009; Gosar et al., 2011). Seveda bi bilo zaželeno nadaljevati s pogostejšim odčitavanjem, vendar je zaradi velike oddaljenosti od Ljubljane to težko zagotoviti. Po drugi strani pa se kaže dovolj jasen in konsistenten trend premikov tudi iz redkejših odčitkov. V primeru izrazitejše potresne dejavnosti na tem območju, pa bomo frekvenco odčitovanja povečali, saj bi nam to omogočilo analizo morebitne korelacije premikov in potresov.

Rezultati meritev (slika 5) kažejo predvsem sistematični trend horizontalnih premikov (y-os) in zelo majhne premike v navpični smeri (z-os). To se ujema s tem, da je Idrijski prelom danes predvsem zmičen prelom z le majhno vertikalno komponento. To vemo iz geoloških podatkov, saj se v novejšem obdobju na prelomu ni zgodil tako močan potres, da bi lahko zanj izračunali žariščni mehanizem ali celo podrobno analizo koseizmičnih zdrsov ob prelomni ploskvi, kar je mogoče le za močne potrese. Takšne analize so bile narejene za potresa 1998 in 2004 v Krnskem pogorju, kjer žariščni mehanizmi kažejo na skoraj čisti desni zmik ob Ravenskem prelomu, z le manjšo vertikalno komponento (Živčić et al., 2011). Ker sta Ravenski in Idrijski prelom vzporedna in se nahajata v enakem napetostnem režimu (kompresija v smeri približno sever-jug), lahko sklepamo, da so tudi na Idrijskem prelomu recentni premiki predvsem desnozmični. To pa ne velja nujno za vse razpoke znotraj široke prelomne cone. Tako kažejo meritve z ekstenziometrom v dolini Učje na razpoki, ki je vzporedna glavni prelomni ploskvi, na skoraj čisti levi zmik. Čeprav je to morda presenetljiv rezultat, razprava o njem zaenkrat ni mogoča, dokler ne bomo imeli na razpolago drugih terestričnih ali satelitskih geodetskih meritev v takšni gostoti točk in dovolj dolgim nizom, da bodo nedvoumno ugotovljeni recentni premiki med blokoma, ki ju ločuje celotna prelomna cona Idrijskega preloma, kakor tudi morebitne premike med manjšimi bloki znotraj prelomne cone. Lokalne permutacije smeri napetosti znotraj kompleksno zgrajene prelomne cone, zaradi katere prihaja do neenakih premikov posameznih blokov, so vedno možne in lahko pojasnijo leve zmike ob posamezni razpoki znotraj nje.

Povprečna hitrost levega zmičanja v prvih desetih letih (2004-2014) je 0,21 mm/leto (slika 5). V prvih desetih mesecih po postavitvi je bila hitrost zmičanja še bistveno večja ($y=+0,54$ mm/leto). Sledila je anomalna vrednost odčitka na začetku leta 2006. Čeprav ni dokazov, je ta izstopajoča vrednost verjetno posledica kakšnega mehanskega vpliva na

inštrument, ki bi ga lahko povzročilo padajoče kamenje, led ali podobno. Tako sklepamo tudi zato, ker se je z naslednjimi odčitki, ta anomalija popolnoma odpravila. V prvih 2,5 letih je bila povprečna hitrost premikov 0,31 mm/leto, v prvih šestih letih pa 0,24 mm/leto. To sicer kaže na postopno zmanjševanje hitrosti premikov s časom. Kaj bi lahko bil temu razlog seveda ni znano. Dejstvo pa je, da se je 12.7.2004 v Krnskem pogorju na oddaljenosti 10-12 km od Učje zgodil močan potres z navorno magnitudo 5,2, ki je imel zaradi prenosa napetosti dolgotrajnejši vpliv na napetostno polje tudi na sosednjih prelomih (Ganas et al., 2008). Ta potres pa se je zgodil le pet mesecev pred namestitvijo ekstenziometra. Kasneje pa ves čas opazovanja, na tem območju ni bilo več nobenih močnih potresov, ki bi presegli magnitudo 3,5. V času med sredino 2014 in sredino 2016 smo izmerili zmanjšano hitrost premikov na 0,08 mm/leto. Če vzamemo celotno 12-letno obdobje opazovanj med 2004 in 2016, je povprečna hitrost premikov 0,18 mm/leto.

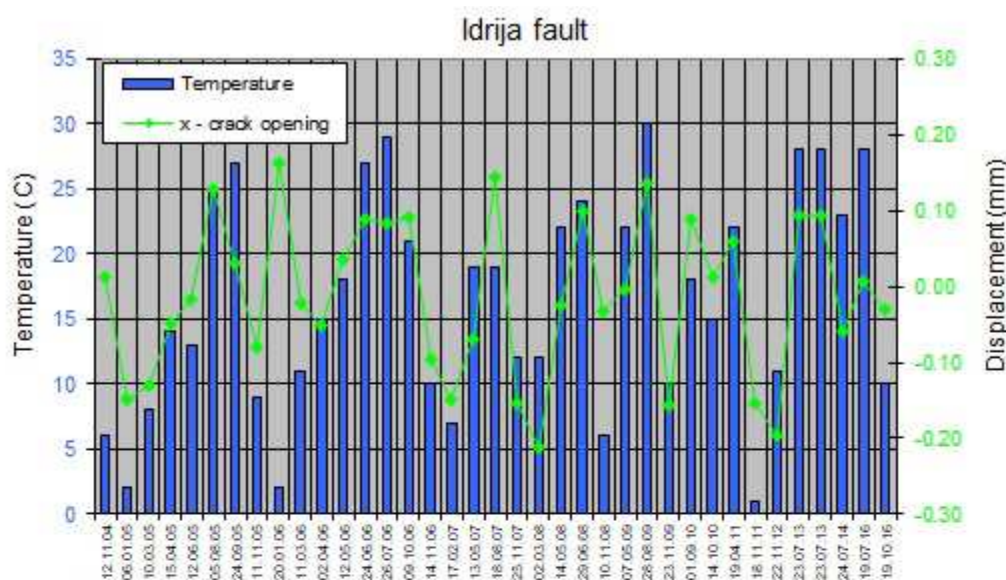


Slika 5 – Premiki (zgoraj) in kotne deformacije (spodaj) izmerjeni s TM 71 na Idrijskem prelomu. +x zapiranje razpoke, +y levo horizontalno zmikanje, +z spuščanje JZ bloka.

Na navpični osi (z-os) smo v prvih šestih letih opazovanja izmerili zelo stabilno pozitivno hitrost premikov +0,06 mm/leto, ki pomeni relativno spuščanje JZ bloka glede na SV blok (slika 5). Hitrost se po letu 2010 zmanjša in za celotno 12-letno obdobje je hitrost premikov le +0,03 mm/leto. Prevladujoča zmična tektonika, s podrejeno vertikalno komponento premikov je pričakovana.

Vodoravna x-os, usmerjena prečno na razpoko, ki odraža odpiranje ali zapiranje razpoke, kaže le sezonske spremembe, ki večinoma zelo dobro korelirajo z izmerjenimi temperaturami v času meritev (sliki 5 in 6). Pozitivne vrednosti (kompresija) sovpadajo z višjimi temperaturami v poletnih mesecih in negativne vrednosti (ekstenzija) z nižjimi temperaturami v zimskih mesecih. Izmerjeni premiki ne presegajo 0,2 mm.

Kotne deformacije (rotacije) v obeh ravninah so majhne in na dolgi rok ne kažejo kakšnih sistematičnih trendov (slika 5). V xz ravnini so največ +0,4 $\pi/200$ in v xy ravnini največ -0,2 $\pi/200$. Največji odkloni v xz ravnini so bili v letih 2007, 2009 in 2009, vendar so se vedno vrnili v prejšnje stanje. Vzroki zanje niso znani.



Slika 6 – Korelacija med temperaturnimi spremembami in odpiranjem (-x ekstenzija) ali zapiranjem (+x kompresija) razpoke na Idrijskem prelomu.

Zaključek

Meritve premikov ob razpoki v notranji prelomni coni Idrijskega preloma v dolini Učje kažejo na njegovo recentno aktivnost. Premiki v celotnem obdobju opazovanja so konsistentni, čeprav se hitrost premikanja s časom nekoliko manjša, kar je verjetno povezano s povečanimi napetostmi v začetnem obdobju opazovanja po močnem potresu leta 2004 v Krnskem pogorju. Prevladujejo levozmični premiki s povprečno hitrostjo 0,21 mm/leto, medtem ko je vertikalna komponenta premikov podrejena s hitrostjo 0,06 mm/leto. Za izmerjene leve premike znotraj sicer desnozmičnega preloma, lahko le domnevamo, da so posledica permutacije smeri napetosti znotraj kompleksne in zelo široke prelomne cone. Izmerjene hitrosti premikov lahko le generalno primerjamo z geološko ocenjenimi premiki, ki za 10-12 milijonov let znašajo 0,25 do 0,16 mm/leto (Placer, 1971). Na podlagi tektonske geomorfologije in datiranja na podlagi izpostavljenosti izdankov kozmičnim žarkom pa je hitrost premikov ob Idrijskem prelomu za obdobje od poznega

pleistocena ocenjena na 1,15 mm/leto (Moulin et al., 2016). GNNS meritve v zahodni Sloveniji sicer kažejo na premike ozemlja v smeri proti severu velikostnega reda 2-3 mm/leto (Weber et al., 2010). Z njimi povezane deformacije ozemlja pa so razporejene prek številnih prelomov dinarske smeri (Moulin et al., 2016). Kljub intenzivnim raziskavam aktivne tektonike Dinarskega prelomnega sistema v zadnjem obdobju, ki segajo od tektonske geomorfologije, paleoseizmologije in satelitske geodezije, bi jih bilo torej potrebno nagraditi predvsem s sistematičnimi in dolgoletnimi meritvami terestične in satelitske geodezije v dobro izbrani in dovolj gosti mreži merskih točk lociranih zunaj cone Idrijskega preloma (Placer in Koler, 2007). Realni podatki o recentni hitrosti premikov ob Idrijskem in drugih dinarskih prelomih v zahodni Sloveniji, so poleg geodinamike zelo pomembni za izboljšanje seizmotektonskih modelov in s tem boljše ocenjevanje potresne nevarnosti na tem potresno zelo izpostavljenem območju.

Zahvala

Postavitev ekstenziometra TM 71 je bila izvedena v okviru projekta COST 625 *3D monitoring of active tectonic structures*, ki ga je vodil Inštitut za strukturo kamnin in mehaniko Češke akademije znanosti iz Prage. Avtor se zahvaljuje Josefu Stemberku, Blahoslavu Košťaku in Stanki Šebela (ZRC SAZU IZRK) za ves trud pri vzpostavitvi monitoringa mikro-premikov v Sloveniji in Milošu Briestensky za vzdrževanje inštrumentov v zadnjih letih. Zahvaljujem se tudi Igorju Rižnarju za izdelavo geološke karte prelomne cone Idrijskega preloma v dolini Učje na sliki 1.

Literatura

- Atanackov, J., Bavec, M., Celarc, B., Jamšek Rupnik, P., Jež, J., Novak, M., Milanič, B. (2014). Seizmotektonska parametrizacija aktivnih prelomov Slovenije. 1. del. Geološki zavod Slovenije, Ljubljana.
- Briestenský, M., Košťák, B., Stemberk, J., Petro L., Vozár, J., Fojtíková, L. (2010). Active tectonic fault microdisplacement analyses: a comparison of results from surface and underground monitoring in western Slovakia. *Acta Geodyn. Geomater.*, 7/4, 387-397.
- Buser, S. (1986). Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100.000, lista Tolmin in Videm. Zvezni geološki zavod, Beograd.
- Čar, J., Pišljari, M. (1993). Presek Idrijskega preloma in potek doline Učje glede na prelomne strukture. *Rudarsko-metalurški zbornik*, 40/1-2, 79-91.
- Čar, J. (2010). Geološka zgradba idrijsko-cerkljanskega hribovja. Tolmač h Geološki karti idrijsko-cerkljanskega hribovja med Stopnikom in Rovtami v merilu 1 : 25 000. 1-127, Geološki zavod Slovenije, Ljubljana.
- Čar, J., Gosar, A. (2011). Idrijski prelom in premiki ob njem. *Idrijski razgledi*, 56/1, 105-118.
- Fitzko, F., Suhadolc, P., Aoudia, A., Panza, G.F. 2005. Constraints on the location and mechanism of the 1511 Western-Slovenia earthquake from active tectonics and modeling of macroseismic data. *Tectonophysics*, 404, 77-90.
- Gosar, A., Šebela, S., Košťák, B., Stemberk, J. (2007). Micro-deformation monitoring of active tectonic structures in W Slovenia. *Acta Geodyn. Geomater.*, 4/1, 87-98.
- Gosar, A., Šebela, S., Košťák, B., Stemberk, J. (2009). Surface versus underground measurements of active tectonic displacements detected with TM 71 extensometers in western Slovenia. *Acta Carsologica*, 38/2-3, 213-226.
- Gosar, A., Šebela, S., Košťák, B., Stemberk, J. (2011). On the state of the TM71 extensometer monitoring in Slovenia: Seven years of micro-tectonic displacement measurements. *Acta Geodyn. Geomater.*, 8/4, 389-402.

- Ganas, A., Gosar, A., Drakatos, G., (2008). Static stress changes due to the 1998 and 2004 Krn Mountain (Slovenia) earthquakes and implications for future seismicity. *Nat. Hazards Earth. Syst. Sci.*, 8/1, 59-66.
- Kogoj, D. (1997). Geodetske meritve stabilnosti tal ob tektonskih prelomih na območju Slovenije. Novejši dosežki na področju geodezije in geofizike v Sloveniji - zbornik predavanj. SZGG, 133-144.
- Košťák, B. (1977). Terčové měřidlo TM-71 a jeho užití pro měření velmi pomalých pohybů na poruchách a trhlinách. *Inž. Stavby*, 25, 5, 213-218.
- Košťák, B. (1991). Combined indicator using Moire technique. *Proc. 3rd int. symp. on field measurements in geomechanics*. Oslo, 53-60.
- Moulin, A., Benedetti, L., Gosar, A., Jamšek Rupnik, P., Rizza, M., Bourles, D., Ritz, J.F. (2014). Determining the present-day kinematics of the Idrija fault (Slovenia) from airborne LiDAR topography. *Tectonophysics*, 628, 188-205.
- Moulin, A., Benedetti, L., Rizza, M., Jamšek Rupnik, P., Gosar, A., Bourles, D., Keddadouche, K., Aumaitre, G., Arnold, M., Guillou, V., Ritz, J.-F. (2016). The Dinaric fault system: Large-scale structure, rates of slip, and Plio-Pleistocene evolution of the transpressive northeastern boundary of the Adria microplate. *Tectonics*, 35, 2258-2292.
- Placer, L. (1971). Nekaj osnovnih podatkov o idrijskem prelomu. *Idrijski razgledi*, 16/1, 51-56.
- Placer, L. (1982). Tektonski razvoj idrijskega rudišča. *Geologija*, 25/1, 7-94.
- Placer, L., Koler, B. (2007). Predlog geodetske spremljave aktivnih prelomnih con. *Geologija*, 50/2, 445-454.
- Placer, L., Vrabec, M., Celarc, B. (2010). The bases for understanding of the NW Dinarides and Istria Peninsula tectonics. *Geologija* 53/1, 55-86.
- Rižnar, I., Koler, B., Bavec, M. (2007). Recent activity of the regional geologic structures in western Slovenia. *Geologija*, 50, 1, 111-120.
- Šebela, S., Gosar, A., Košťák, B., Stemberk, J. (2005). Active tectonic structures in the W part of Slovenia - setting of micro-deformation monitoring net. *Acta Geodyn. Geomat.*, 2/1, 45-57.
- Šebela, S., Turk, J., Mulec, J., Košťák, B., Stemberk, J. (2009). Statistical evaluation of the 3D monitoring of displacements of Dinaric Fault Zone in Postojna Cave, Slovenia. *Acta Geodyn. Geomater.*, 6/2, 163-176.
- Stemberk, J., Košťák, B., Vilimek, V. (2003). 3D monitoring of active tectonic structures. *J. of Geodynamics*, 36/1-2, 103-112.
- Stemberk, J., Košťák, B., Cacon, S. (2010). A tectonic pressure pulse and geodynamic activity recorded from long-term monitoring of faults in Europe. *Tectonophysics*, 487/1-4, 1-12.
- Weber, J., Vrabec, M., Pavlovčič-Prešeren, P., Dixon, T., Jiang, Y., Stopar, B. (2010). GPS-derived motion of the Adriatic microplate from Istria Peninsula and Po plain, and geodynamic implications. *Tectonophysics*, 483, 214-222.
- Žibret, G., Komac, M., Jemec Auplič, M. (2012). PSInSAR displacements related to soil creep and rainfall intensities in the Alpine foreland of western Slovenia. *Geomorphology*, 175-176, 107-114.
- Živčič, M., Čarman, M., Gosar, A., Jesenko, T., Zupančič, P. 2011. Potresi ob Idrijskem prelomu. *Idrijski razgledi*, 56/1, 119-126.