

MERITVE TEKTONSKIH MIKROPREMIKOV V PRELOMNI CONI IDRIJSKEGA PRELOMA

MEASUREMENTS OF TECTONIC MICRO-DISPLACEMENTS IN THE IDRIJA FAULT ZONE

Andrej Gosar

dr., Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo, Vojkova 1b, Ljubljana, andrej.gosar@gov.si

Povzetek

Dolina Učje poteka prečno na 120 km dolg Idrijski prelom, zaradi česar je bila izbrana kot najbolj ustrezna za namestitvev ekstenziometra TM 71, ki meri tektonske mikropremike v treh smereh (3D). Meritve na razpoki v notranji prelomni coni potekajo od leta 2004. V 14 letih opazovanj sta bila ugotovljena sistematično vodoravno zmikanje s povprečno hitrostjo 0,21 mm/leto in podrejeno vertikalno premikanje s hitrostjo 0,06 mm/leto, kar dokazuje aktivnost Idrijskega preloma v zahodni Sloveniji. Podan je pregled različnih metod raziskovanja recentnih premikov ob aktivnih prelomih ter novejših interdisciplinarnih raziskav Idrijskega preloma. Ocene hitrosti premikov so poleg geodinamskih interpretacij pomembne predvsem za izboljšanje seizmotektonskih modelov in s tem boljše ocenjevanje potresne nevarnosti.

Abstract

The Učja valley extends transversally to the 120 km long Idrija fault and was therefore selected as the most suitable for the installation of the TM 71 extensometer, which measures tectonic micro-displacements in 3D. Measurements on the crack within its inner fault zone have been conducted since 2004. In 14 years of observations a systematic horizontal displacements with an average rate of 0.21 mm/year and subordinate vertical displacements of 0.06 mm/year have been established, proving the activity of the Idrija fault in western Slovenia. An overview of different methods of displacement measurements related to active faults is given, with an overview of newer interdisciplinary investigations of the Idrija fault. Displacement rates are important not only for geodynamic interpretations, but also for improvements of seismotectonic models and thus for better seismic hazard assessment.

Idrijski prelom

Idrijski prelom je geomorfološko najbolj izražen prelom v zahodni Sloveniji in je zato jasno viden na satelitskih in letalskih posnetkih ter na digitalnih modelih višin različne ločljivosti. Prelom jesledljiv v dolžini več kot 120 km od Furlanije v bližini Kaninskega pogorja na severozahodu do Gorskega Kotarja na Hrvaškem na jugovzhodu (Buser, 1986). Povprečna smer preloma je 310°, naklon vpada pa 85° proti severovzhodu (Atanackov in sod., 2014). V južnem delu je ob njem več kraških polj porečja Ljubljaniče, v severnem delu pa prelom poteka vzdolž dolin Idrijce, Kanomljice in Soče. Godovina njegovega raziskovanja je zelo dolga (Čar in Gosar, 2011), tudi zaradi pomena Idrijskega rudišča, saj je bil v geološki zgodovini del orudenja (Ljubevč) ob Idrijskem prelomu odrezan in premaknjen na današnje mesto za okoli 2,5 km. 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 Idrijski

prelom res izkazuje 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 natezih sil in nastali so normalni prelomi v smeri od severozahoda proti jugovzhodu ter vpadom proti severovzhodu. Ob Idrijskem prelomu se je severovzhodni blok spustil za do 480 m. V novejšem času so se napetostni pogoji spremenili v kompresijske v približni smeri sever-jug in prelom se je reaktiviral v desnozmičnega. Pri tem so delno nastale nove prelomne trase, zaradi česar je prelomna cona Idrijskega preloma široka in 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 razpravi Placer in sod. (2010) ocenjujejo, da je navidezni zmik ob Idrijskem prelomu na Tolminkem približno 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 severozahodu, saj poteka prečno na smer preloma in prav na območju prelomne

cone tvori manjši kanjon z navpičnimi stenami (Čar in Pišljarič, 1993). V njem so dobro vidne strukture zunanje in notranje prelomne cone. Prvi neposredni dokaz za kvartarne do recentne deformacije je v kvartarni breči nad kanjonom našel Vrabc (2012), ki je ugotovil, da na aktivnost preloma dodatno kažejo tudi desni zmiki reke Učje ob sekundarnih prelomih.

Z metodami tektonske geomorfologije na podlagi natančnega digitalnega modela višin iz LiDARskega snemanja površja so recentno kinematiko Idrijskega preloma v zadnjih letih raziskovali Moulin in sod. (2014). Pozneje 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 in sod., 2016). Pri seizmotektonski parametrizaciji aktivnih prelomov Slovenije za izdelavo nove karte potresne nevarnosti Slovenije so Atanackov in sod. (2014) recentno hitrost premikanja ocenili na 1 mm/leto.

Domnevamo, da je Idrijski prelom potresno dejaven, čeprav je vzdolž njega zaznanih razmeroma malo potresov (Živčič in sod., 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 tako imenovani idrijski potres leta 1511, ki je z ocenjeno magnitudo 6,8 najmočnejši znani potres na območju Slovenije. Vendar pa je dejanska lokacija tega potresa še predmet raziskav (Fitzko in sod., 2005; Camassi in sod., 2011), ki dopuščajo da se je potres zgodil na zelo širokem območju v zahodni Sloveniji ali celo v Furlaniji. V novejšem času so med raziskavami zelo pomembne 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 in sod., 2011). Za slednjega je dokazano, da je nastal na Ravenskem desnozmičnem prelomu, ki poteka vzporedno in severno od Idrijskega.

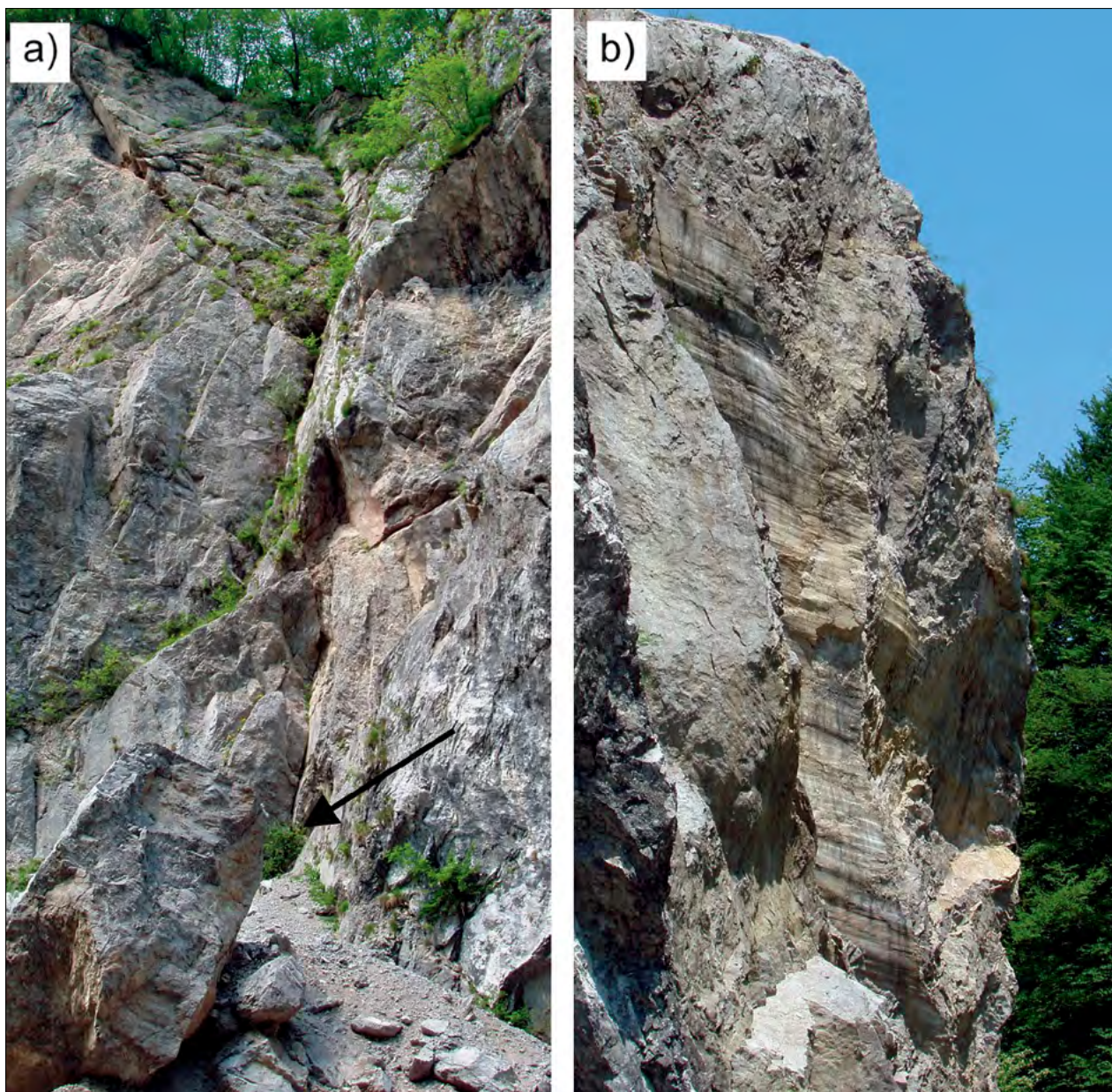
Na območju doline Učje je Idrijska prelomna cona široka okoli 750 m, ozemlje pa je zgrajeno pretežno iz zgornje-triasnega dachsteinskega apnenca. Nekoliko severno poteka glavni nariv Kaninskega pogorja proti jugu, v katerem je dachsteinski apnenec narinjen na kredni fliš (Buser, 1986). Jugozahodno od glavne prelomne ploskve v dolini Učje je manjše območje jurskega apnenca liasne starosti, v dnu samega kanjona pa na nekaj mestih izdani 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 primerne razpoke za meritve mikropremikov. Zato pa je stranska prelomna ploskev, ki poteka 70 m vzhodneje prek okoli 50 m visoke stene kanjona, zelo izrazita razpoka (slika 1a), ki se je izkazala za najprimernejšo za namestitev eksten-

ziometra. Nizvodno je 50 m proti vzhodu še ena lepo razgaljena prelomna ploskev, na kateri tektonske drse jasno kažejo na subvertikalne premike (slika 1b). Ker pa je umeščena v najožji del kanjona, dostop do nje s težko vrtalno opremo, potrebno za namestitev ekstenziometra, ni bil mogoč.

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 katera so značilne zmerne hitrosti tektonskih deformacij, med katere sodi 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 (GNSS) 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 in sod. (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 kaže, da je za terestične geodetske meritve primeren odsek med Dolenjo Trebušo in Kanomeljskim Razpotjem (Čar in Gosar, 2011). V dolini Kanomeljice je bila sicer leta 1985 že postavljena geodetska mreža s štirimi točkami, vendar je bila žal opravljena le ničelna izmera, pozneje pa se meritve niso nikoli več ponovile (Kogoj, 2000), zato nimajo uporabnega pomena. Placer in Koler (2007) sta za geodetske spremljave aktivnih prelomnih con v Sloveniji predlagala vzpostavitev geodetskih mrež točk, postavljenih v prelomnih krilih zunaj prelomne cone, in njihovo dolgoletno opazovanje. Premik prelomnih kril se bo pokazal z deformacijo geodetske mreže.

Danes imajo metode satelitske geodezije večinoma prednost pred terestičnimi. Na območju zahodne Slovenije so že izvedene nekatere raziskave s ponovljenimi GNSS-meritvami, ki so podale vektorje premikov širšega območja (npr. Weber in sod., 2010), žal pa je gostota točk, uporabljenih v teh študijah, večinoma premajhna, da bi omogočala tudi oceno premikov ob posameznih prelomih. Poleg GNSS-meritev za meritve vertikalnih premikov površja uporabljamo metodo InSAR (Synthetic Aperture Radar), metodo permanentnih sipalcev, ki je bila za druge namene uporabljena tudi na širšem območju Julijskih Alp (Žibret in sod., 2012). Ker 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



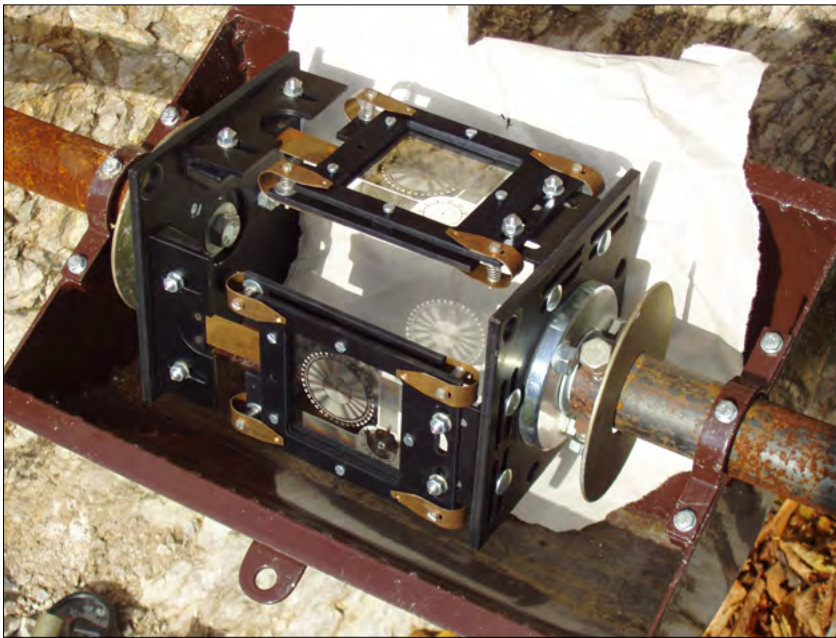
Slika 1: a) Razpoka v notranji prelomni coni Idrijskega preloma v dolini Učje. Puščica kaže lokacijo ekstenziometra TM 71. b) Izdanek prelomne ploskve 50 m vzhodno od razpoke na sliki (a) z izrazitimi tektonskimi drsami, ki kažejo na subhorizontalne premike (foto: A. Gosar).

Figure 1: a) A crack in the Idrija fault inner fault zone in the Učja valley; the arrow indicates the location of the TM 71 extensometer. b) Outcrop of another fault plane located 50 m to the east with clear striations indicating subhorizontal movements (Photo: A. Gosar)

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 že zgodi močan potres, saj nam pri terestričnih in GNSS-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 in sod., 2003), opisane v tem članku. Z njimi lahko ugotovimo aktivnost posamezne prelomne ploskve, kar je lahko pomembno dokazovanje aktivnosti prelomov, ne moremo pa oceniti deformacije prek celotne prelomne cone.

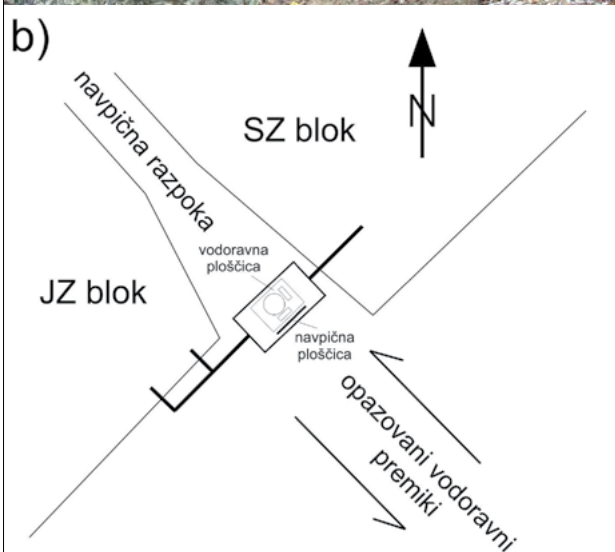
Ekstenziometer TM 71

TM 71 je mehanski ekstenziometer (slika 2), namenjen namestitvam na razpoke za merjenje relativnih mikropremikov v treh smereh (3D) med dvema blokoma, ki ju ločuje razpoka. Deluje na principu mehanske interference – optični učinek Moire. Premiki se izmerijo z interferenčnim vzorcem (Košťak, 1991), ki ga oblikujeta optični mreži, vgravirani na dveh steklenih ploščicah, ki se med seboj premakneta. Instrument podaja premike v treh smereh, in sicer vektor premika v dveh med seboj pravokotnih ravninah (vodoravna in navpična) ter kotne spremembe oziroma rotacijo. Občutljivost merilnega sistema je 0,05–0,0125 mm v vseh treh prostorskih



Slika 2:
Ekstenziometer TM 71, ki meri mikropremike v treh smereh (foto: A. Gosar).

Figure 2:
The TM 71 extensometer which measures tectonic micro-displacements in three directions (Photo: A. Gosar)



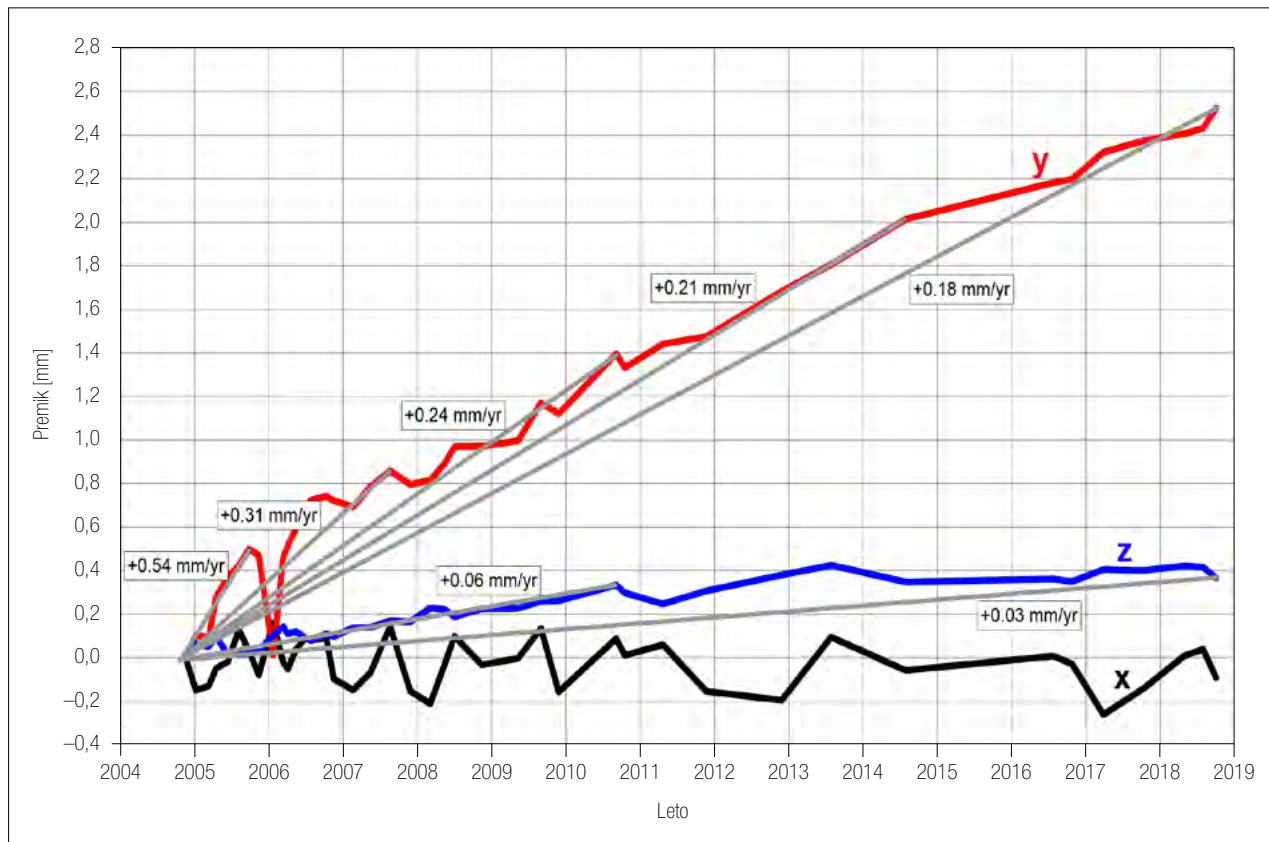
Slika 3: a) Namestitev ekstenziometra TM 71 na razpoki v Idrijski prelomni coni; b) skica namestitve z opazovanimi vodoravnimi premiki (foto: A. Gosar)

Figure 3: a) Installation of the TM 71 extensometer on the crack in the Idrija fault zone. b) Schematic presentation of the installation with observed horizontal displacements (Photo: A. Gosar)

koordinatah in $3,2 \cdot 10^{-4}$ rad pri kotnih spremembah (Stemberk in sod., 2003; Stemberk in sod., 2010). Glavna prednost popolnoma mehanskega inštrumenta je, da nima električnih komponent. Zaradi svoje robustnosti je zato primeren za delovanje v zahtevnih razmerah na prostem in dolgoletno opazovanje premikov. Pomankljivost pa je, da zahteva ročno odčitavanje, kar pa na nekaterih mestih (predvsem v kraških jamah) v novejšem času rešujejo z avtomatiziranim fotografiranjem interferenčnega vzorca v izbranem časovnem intervalu (Briestensky in sod., 2010; Šebela in sod., 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 vsem svetu nameščenih že skoraj 300 teh inštrumentov. Poleg meritev aktivnih tektonskih premikov jih uporabljajo tudi v inženirski geologiji za spremljanje stabilnosti kamnin-skih blokov in morebitnega plazanja.

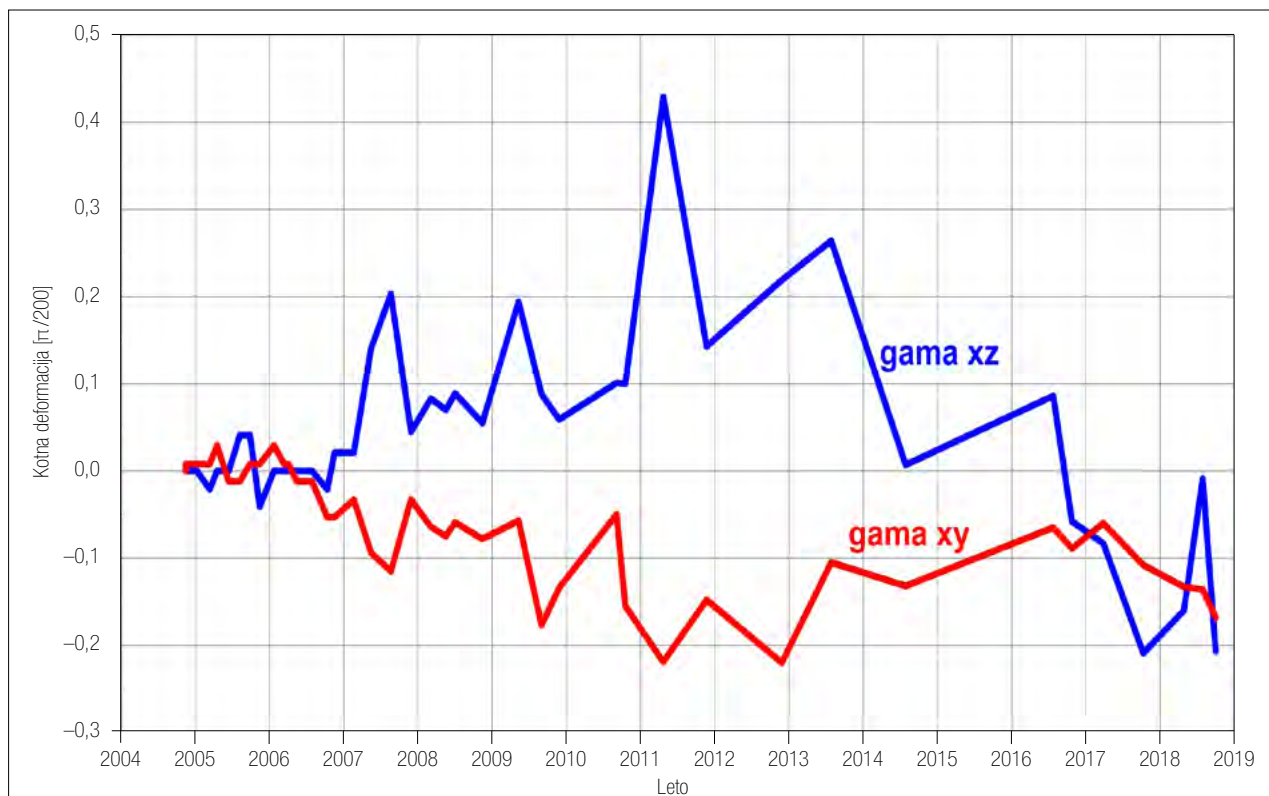
Meritve tektonskih mikropremikov v dolini Učje

Po podrobnem pregledu celotnega dostopnega dela prelomne cone Idrijskega preloma v dolini Učje smo za namestitev ekstenziometra TM 71 kot najbolj primerno izbrali izrazito razpoko v začetnem delu kanjona v okoli 50 m visoki steni, obrnjeni proti jugu. Namestili smo ga v njenem vznožju na vrhu podornega stožca gruščnatnega materiala (sliki 1 in 3). Na tem območju so nastali skalni podori tako ob potresu 1976 v Furlaniji, kot v manjšem obsegu tudi ob potresu 1998 v Krnskem pogorju. Namestitev je novembra 2004 izvedla ekipa Inštituta za strukturo kamnin in mehaniko iz Prage (Šebela in sod., 2005; Gosar in sod., 2007). Že sam transport vrtnalne opreme do delovišča je bil velik izziv, saj je bilo treba za spust v kanjon in prečkanje reke uporabiti vravno tehniko. Zaradi konfiguracije razpoke je v zahodnem bloku jeklen drog



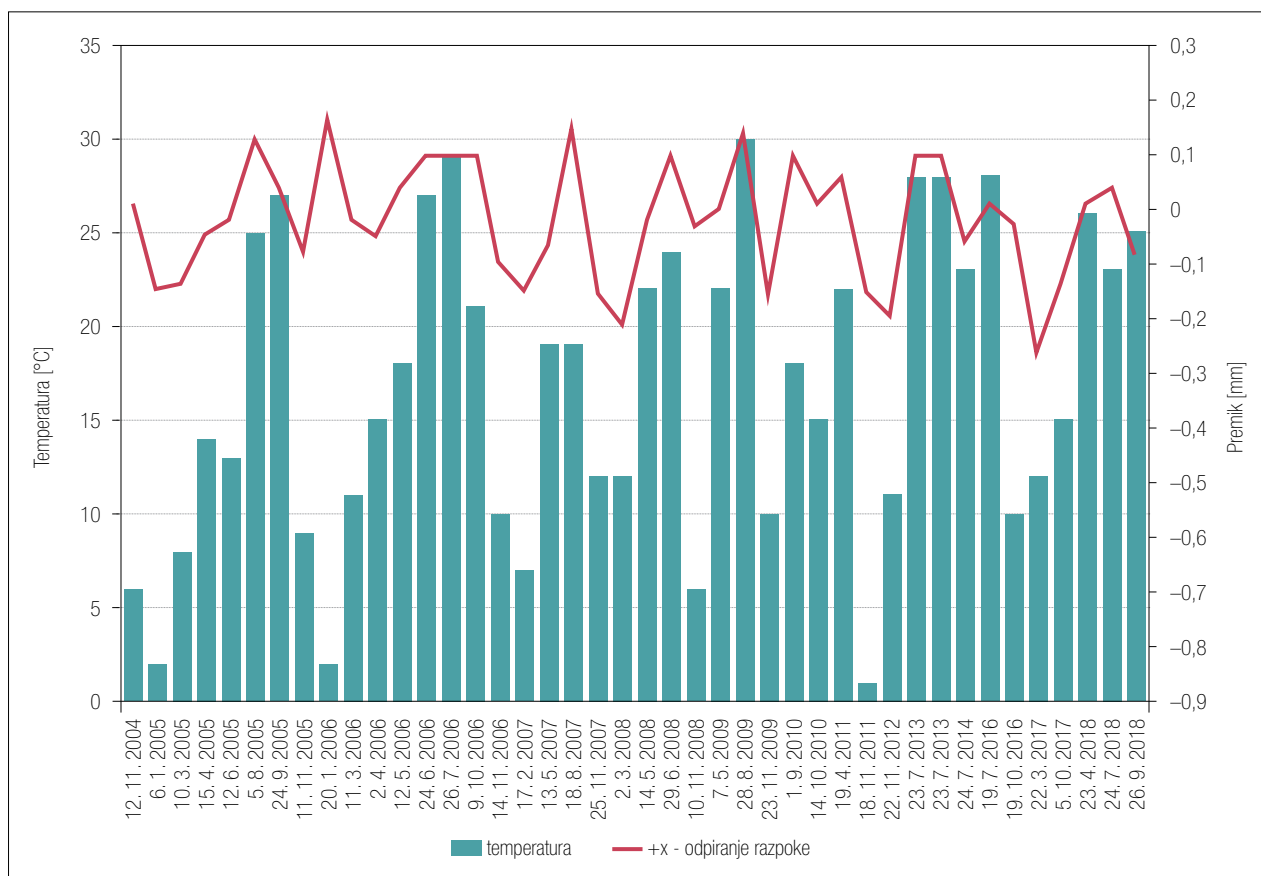
Slika 4: Premiki, izmerjeni s TM 71 na Idrijskem prelomu. +x zapiranje razpoke, +y levo horizontalno zmikanje, +z spuščanje jugozahodnega bloka

Figure 4: Displacements measured by the TM 71 on the Idrija fault; +x indicates closing of the crack, +y indicates left-lateral displacement, +z indicates lowering of the SW block



Slika 5: Kotne deformacije, izmerjene s TM 71 na Idrijskem prelomu v dveh ravninah

Figure 5: Angular deviations measured by the TM 71 on the Idrija fault in two planes



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

Figure 6: Correlation between temperature variations and opening (-x extension) or closing (+x compression) of the crack on the Idrija fault

sidran v dveh točkah, na vzhodnem bloku pa v eni sami (slika 3). Za zagotovitev trajnosti namestitve je zelo pomembno, da je inštrument nameščen pod manjši previs, ki ga štiti pred padajočim kamenjem.

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 tri do štiri mesece, pozneje pa na šest do dvanajst mesecev (Gosar in sod., 2009; Gosar in sod., 2011; Gosar, 2019). Seveda bi bilo zaželeno nadaljevati s pogostejšim odčitavanjem, vendar je zaradi velike oddaljenosti mesta meritve od Ljubljane to težko zagotoviti. Po drugi strani pa se kaže dovolj jasen in konsistenten trend premikov tudi iz redkejših odčitkov. Ob izrazitejši potresni dejavnosti na tem območju bomo frekvenco odčitovanja povečali, saj bi nam to omogočilo analizo morebitne soodvisnosti premikov in potresov.

Rezultati meritev (slika 4) kažejo predvsem sistematični vzorec 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 (Živčič in sod., 2011). Ker sta Ravenski in Idrijski prelom vzporedna in 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 presežljiv rezultat, poglabljena 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 morebitni premiki med manjšimi bloki znotraj prelomne cone. Lokalne permutacije smeri napetosti znotraj kompleksno zgrajene prelomne cone, zaradi katere nastajajo neenaki premiki posameznih blokov, so vedno možne in lahko pojasnijo leve zmičke ob posamezni razpoki znotraj nje. Poleg tega se lahko zgodi tudi rotacija blokov, ki se kažejo v levozmičnih premikih znotraj sicer desnozmič-

nega preloma. V širšem merilu so neotektonske rotacije blokov v zahodni Sloveniji ugotovili s paleomagnetnim datiranjem pliocensko-kvartarnih sedimentov (Vrabec in sod., 2018), vendar tega ni mogoče neposredno prenesti na dogajanje znotraj kompleksne prelomne cone posameznega preloma in v aktivne tektonske razmere določenega preloma.

Povprečna hitrost levega zмикanja v prvih desetih letih (2004–2014) je 0,21 mm/leto (slika 4). V prvih desetih mesecih po postavitvi je bila hitrost zмикanja 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 pri naslednjih odčitkih odstopanja sploh ni več bilo. 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. Kaj bi lahko bil razlog, ni znano. Dejstvo pa je, da se je 12. julija 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 in sod., 2008). Ta potres pa se je zgodil le pet mesecev pred namestitvijo ekstenziometra. Pozneje pa ves čas opazovanja na tem območju ni bilo več močnih potresov, ki bi presegli magnitudo 3,5. V času med sredino leta 2014 in koncem 2018 smo izmerili zmanjšano hitrost premikov na 0,08 mm/leto. Če vzamemo celotno 14-letno obdobje opazovanj, je povprečna hitrost premikov 0,18 mm/leto.

Na navpični osi (z-os) smo v prvih šestih letih opazovali izmerili zelo stabilno pozitivno hitrost premikov +0,06 mm/leto, ki pomeni sorazmerno spuščanje jugozahodnega bloka glede na severovzhodni (slika 4). Hitrost se po letu 2010 zmanjša in za celotno 14-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 4 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 (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 2011, vendar so se vedno povrnil v prejšnje stanje in dolgoročno ne opažamo urejenega vzorca. V xy-ravnini so podobni odkloni manjši, celotno obdobje pa se kaže rahel vzorec sprememb, ki nagiba v negativne vrednosti.

Sklepne misli

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 vodoravni premiki s povprečno hitrostjo 0,21 mm/leto, medtem ko je navpična komponenta premikov podrejena s hitrostjo 0,06 mm/leto. Za izmerjene leve premike znotraj sicer desnozmičnega preloma lahko le domnevamo, da so posledica menjave smeri napetosti znotraj kompleksne in zelo široke prelomne cone. Izmerjene hitrosti premikov lahko na splošno primerjamo z geološko ocenjenimi premiki, ki za 10–12 milijonov let znašajo od 0,25 do 0,16 mm/leto (Placer, 1971). Na podlagi tektonske geomorfologije in datiranja glede izpostavljenosti izdankov kozmičnim žarkom pa je hitrost premikov ob Idrijskem prelomu za obdobje od poznega pleistocena ocenjena na 1,15 mm/leto (Moulin in sod., 2016). GNSS-meritve v zahodni Sloveniji sicer kažejo na premike ozemlja v smeri proti severu velikostnega reda 2–3 mm/leto (Weber in sod., 2010; Serpelloni in sod., 2016), z njimi povezane deformacije ozemlja pa so razporejene prek številnih prelomov dinarske smeri (Moulin in sod., 2016). V novejši študiji o kinematiki aktivnih prelomov v Avstriji z uporabo TM 71 so ugotovili, da so izmerjeni letni premiki za red velikosti manjši, kot so ugotovljeni za širše ozemlje ekstuzije Vzhodnih Alp iz GNSS meritev (Baroň in sod., 2019). To pa se ujema z rezultati naših meritev na Idrijskem prelomu.

Kljub intenzivnim raziskavam aktivne tektonike dinarskega prelomnega sistema v zadnjem obdobju, ki segajo od tektonske geomorfologije do paleoseizmologije in satelitske geodezije, bi jih bilo treba nagraditi predvsem s sistematičnimi in dolgoletnimi meritvami terestične in satelitske geodezije v dobro izbrani in dovolj gosti mreži merskih točk 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 geodinamskih interpretacij 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, Inštitut za raziskovanje krasa – IZRK) za trud pri vzpostavitvi monitoringa mikropremikov v Sloveniji ter Milošu Briestenskýju za vzdrževanje inštrumentov v zadnjih letih.

Viri in literatura

1. 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.
2. Baroň, I., Plan, L., Sokol, L., Grasmann, B., Melichar, R., Mitrovic, I., Stemberk, J., 2019. Present-day kinematic behaviour of active faults in the Eastern Alps. *Tectonophysics*, 752, 1–23.
3. Briestenský, M., Košťák, B., Stemberk, J., Petro L., Vozár, J., Fojtiková, 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.
4. Buser, S., 1986. Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100.000, lista Tolmin in Videm. Zvezni geološki zavod, Beograd.
5. Camassi, R., Caracciolo, C. H., Castelli, V., Slejko, D., 2011: The 1511 Eastern Alps earthquake: a critical update and comparison of existing macroseismic datasets. *J. Seismol.*, 15, 191–213.
6. Čar, J., Pišljarič, M., 1993. Presek Idrijskega preloma in potek doline Učje glede na prelomne strukture. *Rudarsko-metalurški zbornik*, 40/1-2, 79–91.
7. 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.
8. Čar, J., Gosar, A., 2011. Idrijski prelom in premiki ob njem. *Idrijski razgledi*, 56/1, 105–118.
9. 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.
10. 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.
11. 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.
12. 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.
13. Gosar, A., 2019: Meritve tektonskih mikro-premikov v prelomni coni Idrijskega preloma v dolini Učje. Zbornik posvetovanja Raziskave s področje geodezije in geofizike 2018, 31–40. Slovensko združenje za geodezijo in geofiziko, Ljubljana.
14. 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.
15. Kogoj, D., 2000. Geodetske meritve stabilnosti tal ob tektonskih prelomih na območju Slovenije. *Geodetski vestnik*, 44/2–3, 53–71.
16. 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.
17. Košťák, B., 1991. Combined indicator using Moire technique. *Proc. 3rd int. symp. on field measurements in geomechanics*. Oslo, 53–60.
18. 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.
19. 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.
20. Placer, L., 1971. Nekaj osnovnih podatkov o idrijskem prelomu. *Idrijski razgledi*, 16/1, 51–56.
21. Placer, L., 1982. Tektonski razvoj idrijskega rudišča. *Geologija*, 25/1, 7–94.
22. Placer, L., Koler, B., 2007. Predlog geodetske spremljave aktivnih prelomnih con. *Geologija*, 50/2, 445–454.
23. Placer, L., Vrabec, M., Celarc, B., 2010. The bases for understanding of the NW Dinarides and Istria Peninsula tectonics. *Geologija* 53/1, 55–86.
24. Rižnar, I., Koler, B., Bavec, M., 2007. Recent activity of the regional geologic structures in western Slovenia. *Geologija*, 50, 1, 111–120.
25. Serpelloni, E., Vannucci, G., Anderlini, L., Bennett, R.A., 2016. Kinematics, seismotectonics and seismic potential of the eastern sector of the European Alps from GPS and seismic deformation data. *Tectonophysics*, 688, 157–181.
26. Stemberk, J., Košťák, B., Vilimek, V., 2003. 3D monitoring of active tectonic structures. *J. of Geodynamics*, 36/1–2, 103–112.
27. 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.
28. 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.
29. 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.
30. Vrabec, M., 2012. Evidence of Quaternary faulting in the Idrija fault zone, Učja canyon, NW Slovenia. *RMZ – Materials and Geoenvironment*, 59/2–3, 285–298.
31. Vrabec, M., Preuner, P., Zupan Hajna N., Mihevc, A., Bosak, P., 2018. Neotectonic vertical-axis rotations in the Adria-Eurasia collision zone revealed from Paleomagnetic data of Pliocene-Quaternary cave sediments (Slovenia). *INQUA SEQS Quaternary Stratigraphy in Karst and Cave Sediments, Program, Abstract and Guide Book*, 79–80, Postojna.
32. 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.
33. Žibret, G., Komac, M., Jemec Auflič, M., 2012. PSInSAR displacements related to soil creep and rainfall intensities in the Alpine foreland of western Slovenia. *Geomorphology*, 175–176, 107–114.
34. Živčič, M., Čarman, M., Gosar, A., Jesenko, T., Zupančič, P., 2011. Potresi ob Idrijskem prelomu. *Idrijski razgledi*, 56/1, 119–126.