

Recentna aktivnost regionalnih geoloških struktur v zahodni Sloveniji

Recent activity of the regional geologic structures in western Slovenia

Igor RIŽNAR¹, Božo KOLER² & Miloš BAVEC³

¹ Geološke ekspertize Igor Rižnar s.p., Ulica bratov Martinec 40, 1000 Ljubljana,
e-mail: igor.riznar@s5.net

² Univerza v Ljubljani, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Jamova 2, 1000 Ljubljana,
e-mail: bozo.koler@fgg.uni-lj.si

³ Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ul. 14, 1000 Ljubljana,
e-mail: milos.bavec@geo-zs.si

Ključne besede: recentna tektonska aktivnost, geodinamika, nivelman, Kraški rob, Južnoalpska narivna meja, Nariv Julijskih Alp, Raški prelom, Divaški prelom, vertikalna geodinamična aktivnost, Slovenija

Key words: recent tectonic activity, geodynamics, levelling line, Kraški Rob, South-alpine Front, Julian Alps thrust, Raša fault, Divača fault, vertical geodynamic activity, Slovenia

Izvleček

Na podlagi analize in geološke interpretacije podatkov ponovljenega preciznega nivelmana smo vzdolž nivelmanskega poligona med Sečovljami in Lescami ugotovili in kvantificirali recentno aktivnost nekaterih najpomembnejših geoloških struktur v zahodni Sloveniji. Ob upoštevanju omejitev metode, zaznavamo lahko le vertikalno komponento premika, ugotavljamo, da so na obravnavanem območju recentno aktivne vsaj naslednje strukture: sinklinalno upogibanje med Strunjanom in Koprom, Kraški naluskani prag, Divaški prelom, Raški prelom, Južnoalpska narivna meja in nariv Julijskih Alp. Največja razlika hitrosti vertikalne komponente premika med Sečovljami in Bledom je približno 7 mm/a. Rezultati meritev oziroma hitrosti premikov so relativni in preračunani glede na izhodiščno točko v Sečovljah. Uvajamo pojem vertikalne geodinamične aktivnosti (VGA), kot vmesni člen med geološko interpretacijo geodetskih meritev in možnimi neposrednimi aplikacijami ter kot primerjalno veličino.

Abstract

Several important geological structures in the western Slovenia were identified as active and their activity was quantified. Geologic interpretation is based on the analysis of repeated leveling line campaigns data along the Sečovlje–Bled polygon. Taking into account the limitations of the method – only the vertical component of displacement is measured – the following structures were identified as active: a juvenile syncline between Strunjan and Koper, the Kras Imbricate Structure, the Divača fault, the Raša fault, the Southalpine Front and the Julian Alps thrust. Vertical movement rate is relative, calculated with respect to the benchmark in Sečovlje. The largest uplift rate difference between Sečovlje and Bled is 7 mm/a. Vertical Geodynamic Activity (VGA) is introduced as a link between geologic interpretation of geodetic measurements on one side and possible applications on the other as well as a mean of comparison between tectonically active regions.

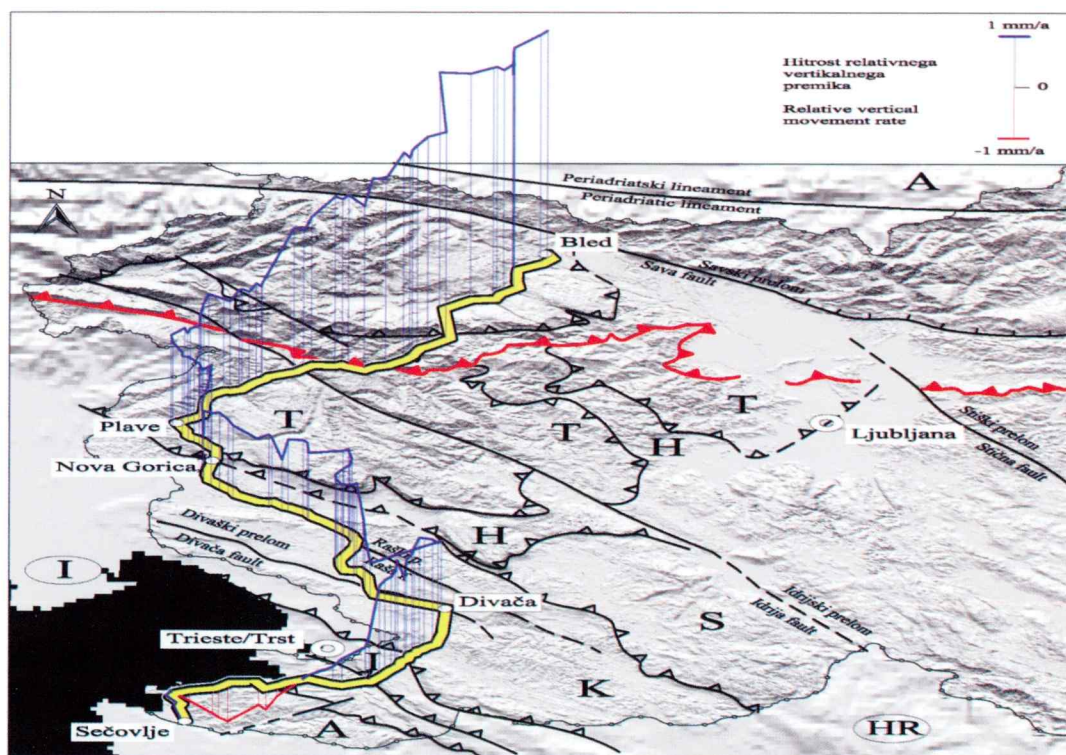
Uvod

Lega (geodetske, merske) točke v vertikalni ravnini je določena z višino točke nad neko izhodiščno, primerjalno ploskvijo. V nivelmanskimi mrežami so nadmorske višine točk, reperjev, določene z metodo geometričnega nivelmana, ki spada med najnatančnejše geodetske merske metode. Če so nivelmanske mreže višjih redov merjene večkrat, potem lahko rezultate izmer uporabimo za določitev vertikalnih premikov reperjev.

Uporaba ponovljenih meritev nivelmana za oceno geodinamike v Sloveniji ni novost. Geodetske osnove je postavil Koler (2006), ki je ob analizi ponovljenih nivelmanov z območja celotne Slovenije ugotovil sistemske anomalije in jih pripisal geodinamskim premikom v času med dvema meritvama. Poljak (1997) je v Krški kotlini poskusil s kvantifikacijo premikov v povezavi z znano geološko strukturo, pisci tega prispev-

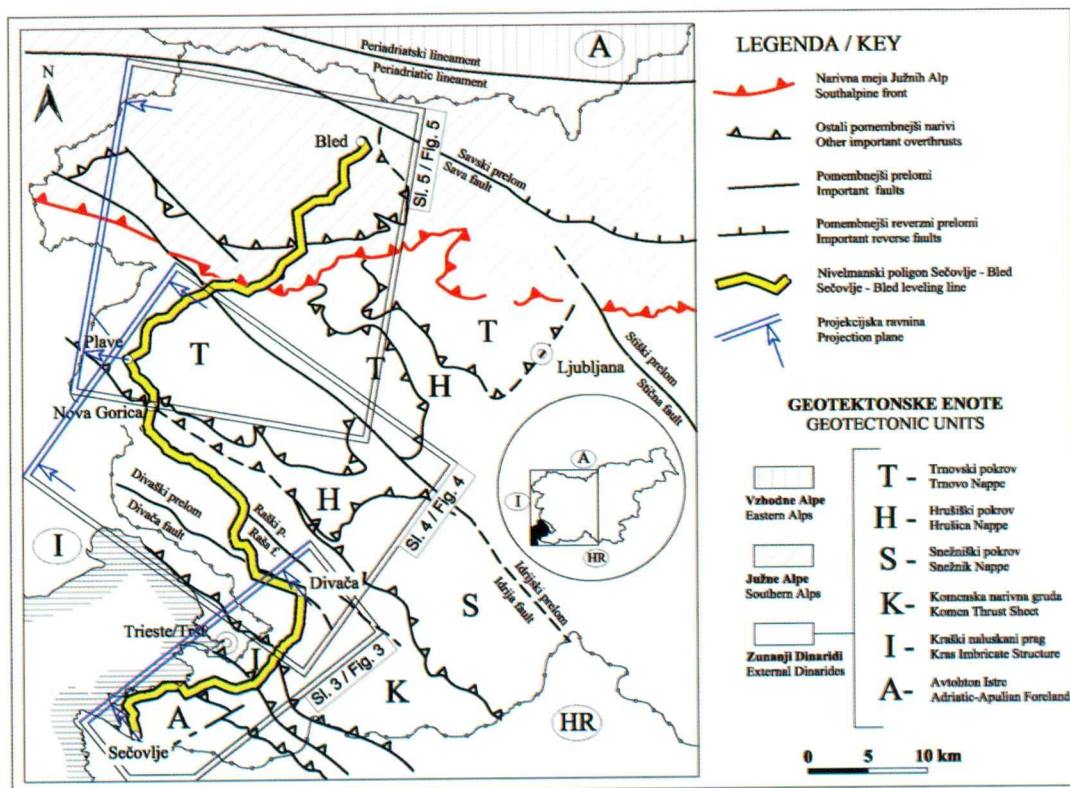
ka (Rižnar et al., 2005) pa so že določili količine relativnega vertikalnega premika med Ljubljano in Ratečami, vendar so bili pri navezavi na konkretne aktivne geološke strukture omejeni zaradi nedodelanega strukturnega modela Ljubljanske kotline. Za razliko od Ljubljanske kotline je tektonska slika zahodne Slovenije bolj jasna, poleg tega pa je bila recentna aktivnost nekaterih regionalnih struktur že nakazana (Placer, 2004, ustno sporočilo o domnevni aktivnosti Črnokalskega nariva; Placer, 2007 v tej reviji), o recentnih horizontalnih premikih na območju jugozahodne Slovenije pa so pisali tudi Weber in sodelavci (2005).

Namen tega dela je bil najprej oceniti uporabnost podatkov o višinski izmeri nivelmanskega poligona Sečovlje–Lesce za ocenjevanje vertikalnih premikov, nato pa te podatke uporabiti za kvantifikacijo vertikalne komponente aktivnega premikanja ob znanih geoloških strukturah v zahodni Sloveniji.



Slika 1. Geografska lega nivelmanskega poligona Sečovlje–Bled z relativnimi hitrostmi dvigovanja posameznih točk ter pomembnejšimi geološkimi strukturami (po Placerju, 1999; 2005).
Legenda na sliki 2.

Figure 1. Geographic position of the Sečovlje–Bled levelling line including relative vertical movement rates. See key on fig. 2.



Slika 2. Lega nivelmanskega poligona Sečovlje-Bled in projekcijskih ravnin, v katerih so prikazani posamezni odseki.

Figure 2. Position of the Sečovlje-Bled Levelling line with projection planes for presented sections.

Nivelmanski poligon Sečovlje-Bled

Nivelmanski poligon Sečovlje-Bled se začne v Sečovljah in poteka vzdolž obalne regionalne ceste mimo Portoroža, Strunjan in Izole do Kopra. Od tam se nadaljuje po magistralni cesti mimo črnega Kala preko Kraškega roba. Pri Divači se usmeri proti Sežani in sledi glavni cesti mimo Sežane in Štanjela do Nove Gorice. Severno od Gorice vstopi v dolino Soče in ji sledi do Mosta na Soči, kjer prečka Idrijo in vstopi v dolino Bače. Od tod poteka vzdolž železniške proge skozi Bohinjski predor, mimo Bohinjske Bele do Bleda (slika 1, 2). Obravnavani nivelmanski poligon se dejansko konča z navezavo na reper v Lescu, ki pa je že del nivelmanskega poligona Ljubljana-Rateče (Rižnar et al., 2005). Ker med Lescami in Bledom nimamo ohranjenih reperjev, ga imenujemo nivelmanski poligon Sečovlje-Bled. Omenimo naj še dejstvo, da je nivelmanski poligon Sečovlje-Bled sklenjen pre-

ko Lesc, Ljubljane in Divače in je na tem delu v bistvu zaprt poligon.

Metode dela

Nivelmanske mreže višjih redov, ki so stabilizirane na območju R Slovenije, so bile vključene v izmere I. in II. nivelmana visoke natančnosti (NVN). Nivelmanska mreža I. NVN je bila izmerjena po 2. svetovni vojni. Posamezni deli nivelmanskega poligona od Sečovelj do Lesc so bili izmerjeni v letih 1947, 1948, 1950 in 1953, omenjeni nivelmanski poligon pa je bil ponovno izmerjen leta 1971, ko je na območju R Slovenije potekala izmera II. NVN.

Ker je izmera I. NVN potekala v različnih letih, vertikalnih premikov reperjev ne moremo neposredno primerjati, saj so časovno nehomogeni. Tako smo ob predpostavki enakomernega premikanja določili hitrosti vertikalnih premikov na letni ravni, ki so ne glede na časovno obdobje med dvema

izmerama, med seboj primerljive. Hitrosti vertikalnih premikov reperjev in analiza natančnosti določitve hitrosti vertikalnih premikov se nanašajo na obdobje od I. do II. izmere NVN. Hitrosti vertikalnih premikov so bile izračunane v milimetrih na leto (mm/a) na osnovi spremembe nadmorskih višin točk in časa, ki je pretekel med dvema izmerama. Hitrosti vertikalnih premikov so določene glede na izhodiščni reper B.V. 478, ki je stabiliziran v bližini fundamentalnega reperja FR1014 (Črnuče).

Za potrebe določitve recentnih aktivnosti regionalnih struktur v zahodni Sloveniji smo hitrosti vertikalnih premikov preračunali tako, da znaša hitrost premika reperja 5491 v Sečovljah 0 mm/a. Vse predstavljene vertikalne hitrosti premika so torej relativne in se navezujejo na reper 5491 v Sečovljah. Natančnost določitve vertikalnega premika in hitrosti vertikalnega premika posameznega reperja je bila določena na osnovi natančnosti določitve nadmorskih višin točk v I. in II. izmeri NVN. V nivelmanskem poligonu od Sečovelj do Lesc (Bleda) imamo stabiliziranih 132 reperjev, ki so bili zajeti v obe izmeri NVN in za te smo lahko določili hitrosti vertikalnih premikov.

Vse reperje nivelmanskega poligona Sečovelje–Bled smo pregledali na terenu in jih kategorizirali glede na njihovo ohranjenost oziroma uporabnost in glede na medij v katerega so temeljeni objekti, v katere so reperji sidrani. Na ta način smo izločili za analizo neuporabne reperje. Stanje reperjev nivelmanskega poligona Sečovelje–Bled je glede na nivelmanski poligon (vlak) Ljubljana–Rateče (Rižnar et al., 2005) v zelo dobrem stanju. Več kot polovica (55 %) reperjev je še vedno uporabnih. Četrtnina reperjev je danes sicer uničenih, vendar smo ocenili, da so z redkimi izjemami njihovi podatki uporabni. Iz dokumentacije je namreč razvidno, da so bil reperji, ki smo jih uvrstili v kategorijo uničenih reperjev ali pa jih na terenu nismo našli, večinoma sidrani v matično kamnino ali cestne objekte, ki so bili temeljeni v utrjen nasip. Te reperje so med rekonstrukcijo posameznih cestnih odsekov večinoma zasuili, vendar se je to zgodilo po zadnji izmeri NVN. Neuporabnih reperjev, sidranih v deformirane objekte ali v objekte, ki so temeljeni v nestabilna tla, je zanemarljivo malo. Le trije reperji v celotnem nivelmanskem poligonu Sečovelje–Bled sodijo v skupino neuporabnih reperjev.

V obstoječo študijo smo poleg absolutno uporabnih reperjev uvrstili tudi t.i. uničene reperje, za katere smo na podlagi dokumentacije, terenskega ogleda in rezultatov meritev (gre za primere, kjer meritve ne odstopajo bistveno od sosednjih) domnevali, da so bili v času izmer relevantni.

Obravnavani poligon poteka med Sečovljami in Divačo ter med Plavami in Bledom v smeri proti severovzhodu, medtem ko osrednji del med Divačo in Plavami poteka proti severozahodu (slika 1, 2), razen tega pa poligon prečka vsaj tri področja z različnimi geodinamskimi in geometrijskimi značilnostmi. Zato smo izračunane hitrosti dviganja položili čez tektonsko skico zahodne Slovenije in izdelali enostaven tridimenzionalen model (slika 1), ki je bil ključen za analizo in razumevanje povezanosti določenih struktur z merjenimi podatki. S pomočjo modela smo namreč izračunane hitrosti lahko opazovali v poljubni ravnini oziroma projekciji. Zaradi lažje predstavitve podajamo rezultate analize poligona v treh delih od katerih je vsak prikazan v projekcijski ravnini orientirani pravokotno na slemenitev geoloških struktur, ki jih poligon prečka (slika 2):

- Odsek Sečovelje–Divača v smeri JZ–SV v projekcijski ravnini s slemenitvijo 52°,
- Odsek Divača–Plave v smeri JV–SZ v projekcijski ravnini s slemenitvijo 36° in
- Odsek Plave–Bled v smeri JZ–SV v projekcijski ravnini s slemenitvijo 10°.

Rezultati

Nivelmanski poligon Sečovelje–Bled je pomemben tudi ali predvsem zato, ker prečka vse najpomembnejše strukture v zahodni Sloveniji. V Sečovljah se začne na Avtohotnu Istre, ki spada k t.i. Jadranskemu oziroma Apulijskemu predgorju, prečka Kraški rob (Kraški naluskani prag oz. Čičarijska naluskana zgradba ...) in se nadaljuje naprej proti severovzhodu po Komenski narivni grudi. Znotraj Komenske narivne grude prečka Divaški in Raški prelom in se pri Gorici vzpne na Trnovski pokrov. V smeri proti severovzhodu v širši okolici Tolmina prečka cono Idrijskega preloma in Južnoalpsko narivno mejo, pri Podbrdu pa še nariv Julijskih Alp (Placer, 1999).

Odsek Sečovlje–Divača

(Strunjanska struktura, Kraški naluskani prag)

Nivelmanski poligon prečka na odseku med Sečovljami in Divačo geološke strukture s slemenitvijo SZ–JV približno pod pravim kotom, kar je za analizo najugodnejše. Izračunane hitrosti relativnega dviganja posameznih reperjev so za odsek Sečovlje–Divača projicirane na ravnino usmerjeno pravokotno na slemenitev struktur, torej približno vzporedno s potekom poligona na tem odseku.

Na območju med Sečovljami in Strunjanom se vertikalne komponente hitrosti posameznih točk gibljejo malo nad ničlo glede na izhodiščno točko v Sečovljah. Pri Strunjanu začne hitrost nenadoma linearno padati in doseže minimum ($-1,02$ mm/a) dva kilometra severovzhodno od Izole pri rtiču Viližan. Hitrost dviganja točk od Viližana do Črnega Kala narašča enakomerno, od tam do Črnotič, kjer preseže 2 mm/a, pa zelo strmo. Trend zmerne naraščanja hitrosti se od Črnotič do križišča lokalnih cest med Ocizlo in Klancem pri Kozini nadaljuje, nato do Klanca nekoliko pade in od tam do Hrpelj spet naraste do $2,74$ mm/a, kar je največja izmerjena vrednost na tem odseku. Hitrost dviganja od Hrpelj do Divače linearno pada in v Divači znaša $1,71$ mm/a.

Odsek obravnavanega nivelmanskega poligona med Sečovljami in Divačo prečka dva med seboj povezana kompleksa struktur, ki sta, kot kažejo meritve, aktivna. Na JV delu se to odraža z minimumom hitrosti pri Viližanu, na SZ delu pa z naglim porastom hitrosti med Črnim Kalom in Kozino.

Jugozahodni del grafa predstavljenega na sliki 3 interpretiramo v vertikalni ravnini kot sinklinalno upogibanje območja med Strunjanom in Črnim Kalom. Upogibanje je omejeno z območji sprememb trenda v naraščanju hitrosti. Ob upoštevanju doslej znanih podatkov o geološki zgradbi tega območja (Pleničar et al., 1969; Placer, 1981, 1999, 2005), lahko ugotovimo, da se sprememba trenda v naraščanju hitrosti na JV delu odseka ujema s povratnoreverznimi prelomi pri Strunjanu, ki jih opisuje Placer (2005, sl. 1) v sklopu Strunjanske strukture. Ti prelomi vergirajo proti severovzhodu. Os upogibanja poteka približno $2,5$ km severovzhodno od osi Izolske antiklinale. Proti SZ je upogibanje omejeno z narivi Kraškega naluskanega

praga, ki vergirajo proti jugozahodu. Tam hitrost dviganja skokovito naraste. Graf na sliki 3 kaže, da je upogibanje enakomerno (obe krili se upogibata enako hitro), vendar asimetrično (os upogibanja ni v osi območja, ki se upogiba), kar povezujemo z asimetrično zgradbo tega območja. Anomalij v trendu hitrosti dviganja ni opaziti na območju Izolske antiklinale, niti na območju Izolskega in Buzetskega narivnega preloma (Placer, 2005) iz česar sklepamo, da omenjene strukture niso aktivne.

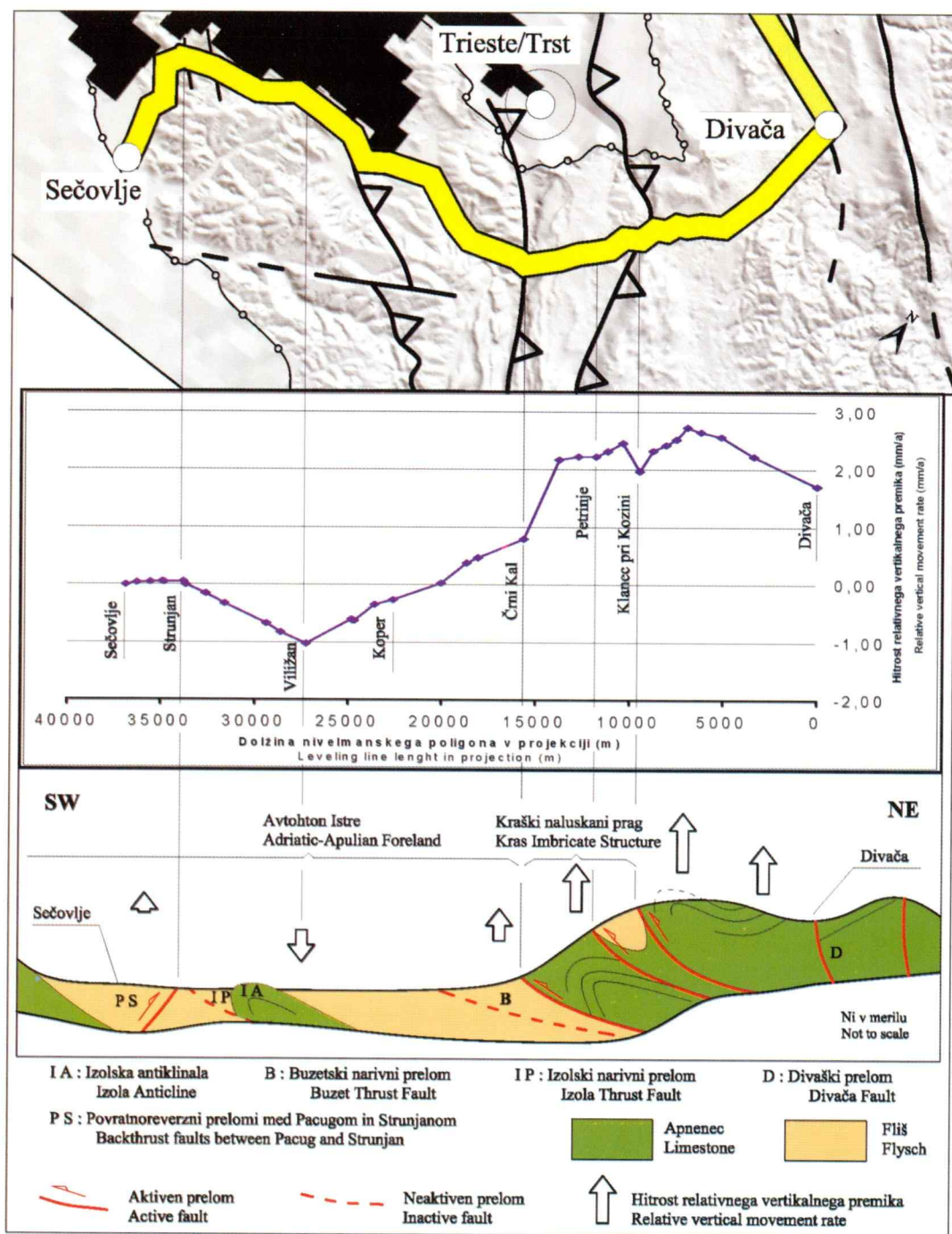
Na zahodnem delu odseka poligona, ki med Koprom in Divačo prečka Kraški naluskani prag in Čičarijski antiklinorij (Placer, 2005, sl. 2.), lahko po spremembi trenda hitrosti izpostavimo območji Črnega Kala in Klanca pri Kozini. Prvo se popolnoma ujema z narivom pri Črnem Kalu, drugo pa z reverznim prelomom, ki poteka ob jugozahodnem vznožju Slavnika in mimo Klanca pri Kozini. Med obema omenjenima strukturama je v diagramu opazna še manjša anomalija na območju Petrinj. Na mestih, kjer smo opazili spremembe v trendu hitrosti dviganja, so narivi in luske označeni že na OGK list Trst (Pleničar et al., 1969), vendar niso posebej poimenovani.

Odsek Divača–Plave

(Divaški prelom – Raški prelom – narivna meja Trnovskega in Hrušiskega pokrova)

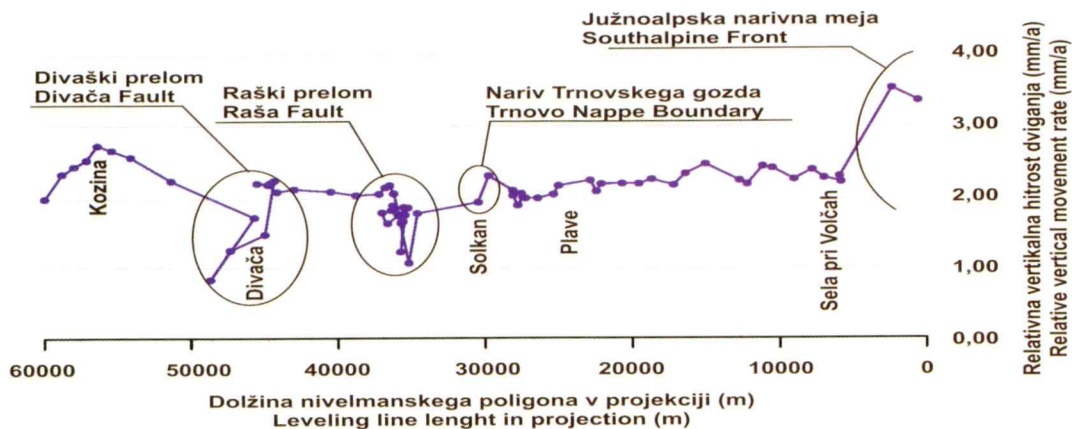
Med Divačo in Skopim poteka nivelmanski poligon v smeri proti SZ bolj ali manj vzporedno z Divaškim prelomom, nato zavije proti severu, se pri Kobdilju približa Raškemu prelomu vzdolž katerega poteka vse do Branika in Nove Gorice. Pri Solkanu prečka narivno mejo Hrušiskega in Trnovskega pokrova in tam vstopi v dolino Soče, po kateri poteka naprej proti Plavam.

Na odseku med Divačo in Plavami je potek nivelmanskega poligona za prikazovanje aktivnosti geoloških struktur, ki jih prečka, manj ugoden. Poligon namreč poteka v glavnem vzdolž, večinoma pa kar po prelomni coni Divaškega in Raškega preloma. Diagram na sliki 4 prikazuje vertikalne hitrosti v projekciji približno pravokotno na smer Raškega preloma, ker pa je odsek med Divačo in Plavami v tej projekciji razmeroma kratek, smo v isti projekciji za lažjo orientacijo prikazali še del poligona do Kozine na JZ in do Sel pri Volčah na SZ.



Slika 3. Diagram relativnih vertikalnih hitrosti geodetskih točk za odsek Sečovlje–Divača.

Figure 3. Diagram showing relative vertical movement rates for the Sečovlje–Divača section.



Slika 4. Diagram relativnih vertikalnih hitrosti geodetskih točk za odsek Divača–Plave.
Figure 4. Diagram showing relative vertical movement rates for the Divača–Plave section.

Jasen trend padanja hitrosti med Kozino in Divačo je proti severovzhodu omejen z Divaškim prelomom, kjer hitrosti dviganja padejo pod 1,5 mm/a in ostajajo nizke vse do Tomaja. Tu poligon zapusti vplivno območje Divaškega preloma. Med Tomajem in Kobdiljem oziroma med vplivno cono Divaškega in Raškega preloma hitrosti zopet narastejo in znašajo približno 2 mm/a. Hitrosti posameznih reperjev vzdolž Raškega preloma ne kažejo jasnega trenda, pač pa je očitnih nekaj odstopanj, kjer hitrosti naglo padejo skoraj na polovico (1 mm/a). Tak primer je, ko nivelmanski poligon vstopi v vplivno cono Raškega preloma (slika 4). Območje med Divaškim in Raškim prelomom se med Tomajem in Kobdiljem dviga enakomerno. Zaradi poteka poligona vzdolž Divaškega in Raškega preloma strukturna interpretacija na podlagi teh podatkov ni mogoča, jasno pa je, da sta oba preloma recentno aktivna.

Nivelmanski poligon prečka narivnici Trnovskega in Hrušiškega pokrova, ki se pri Solkanu severno od Nove Gorice popolnoma približata druga drugi. Vertikalne hitrosti reperjev od Rožne doline, kjer nivelmanski poligon zapusti vplivno območje domnevnega podaljška Raškega preloma, proti severu vzdolž doline Soče naraščajo razmeroma počasi z enakomernim trendom, srednja vrednost hitrosti dviganja pa znaša približno 2 mm/a. Sklepamo, da gre za »zmerno« recentno aktivnost Trnovskega pokrova oziroma njegove narivne meje.

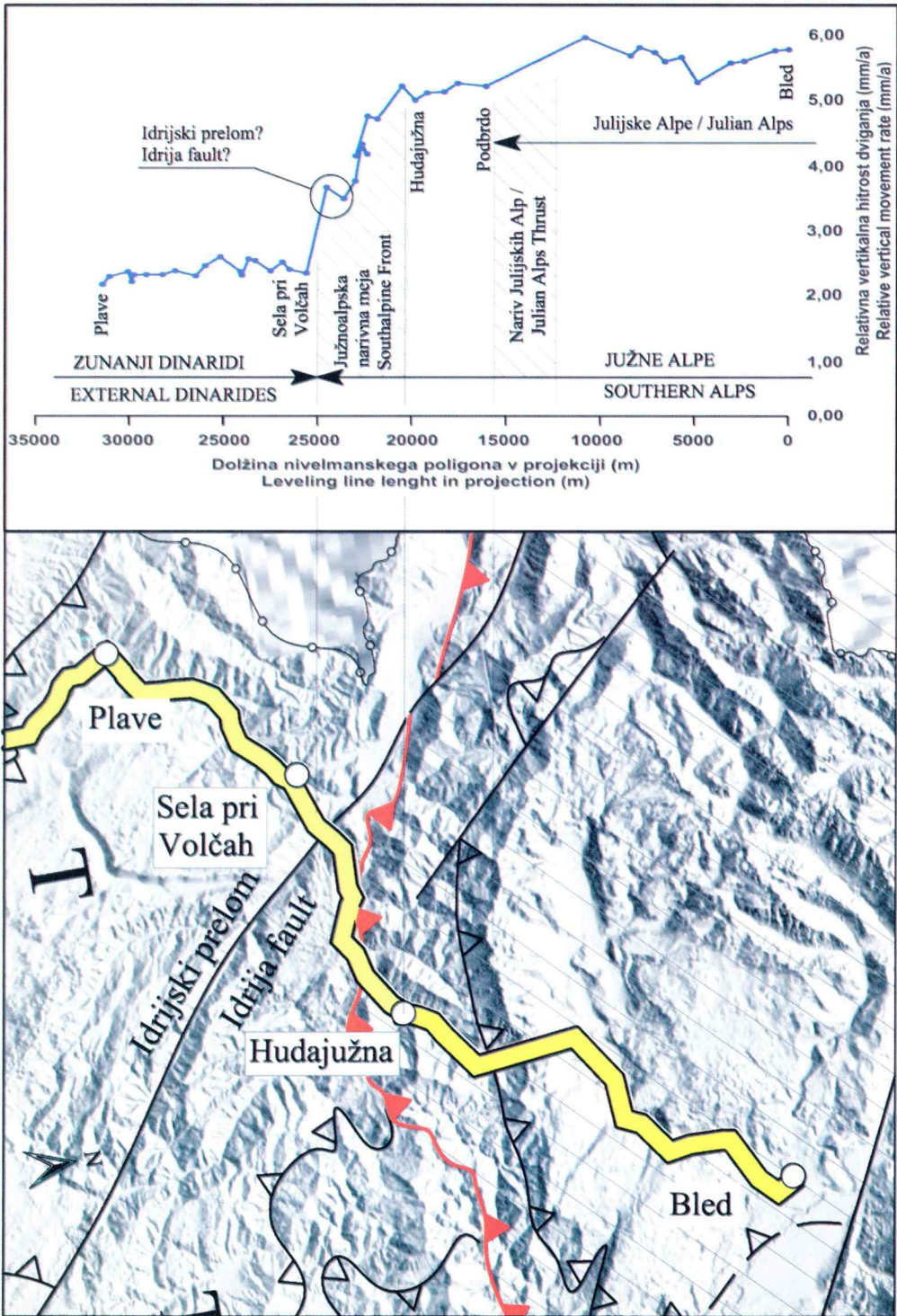
Odsek Plave–Bled

(Idrijski prelom, Južnoalpska narivna meja, Nariv Julijskih Alp)

Od Plav do Bleda poteka nivelmanski poligon v smeri JZ–SV, torej približno pravokotno na slemenitev »dinarskih« struktur. To je za analizo in prikaz dinamike nadvse ugodno. Manj ugodna pa je ta smer za prikazovanje »alpskih« struktur, ki med Tolminom in Bohinjsko Bistrico potekajo v smeri VSV–ZJZ in opisujejo s traso nivelmanskega poligona razmeroma majhen kot.

Med Plavami in Selami pri Volčah je potek hitrosti dviganja ozemlja vzdolž doline Soče približno konstanten in znaša glede na izhodiščno točko v Sečovljah med 2 in 2,5 mm/a. Hitrost dviganja začne pri Selah strmo naraščati, tako da znaša pri Klavžah že približno 3,5 mm/a. Trend naraščanja hitrosti se proti SV nadaljuje in pri Hudajužni, kjer prečka Južnoalpsko narivno mejo, doseže 5 mm/a. Od Hudajužne do Podbrda so hitrosti dviganja približno konstantne (5 mm/a). Kjer nivelmanski poligon prečka narivno mejo Julijskih Alp pa hitrosti zopet strmo narastejo do skoraj 6 mm/a v Bohinjski Bistrici. Od tod pa do Bleda se hitrosti nekoliko spreminjajo, vendar brez izrazitega trenda.

Na sliki 5 je prikazan graf, kjer so vertikalne hitrosti premikov posameznih reperjev projicirane na ravnino pravokotno na slemenitev dinarskih struktur. Recentna tektonska aktivnost meje med Južnimi Alpami in Dinaridi (Južnoalpska narivna meja) ni



Slika 5. Diagram relativnih vertikalnih hitrosti geodetskih točk za odsek Plave-Bled.
Figure 5. Diagram showing relative vertical movement rates for the Plave-Bled section.

omejena na posamezne prelomne ploskve, kot je to primer znotraj Kraške naluskane cone, pač pa hitrost dviganja narašča bolj ali manj zvezno v pasu, ki je širok približno 6,5 km v smeri pravokotno na slemenitev narivne meje. Na širšem območju sotočja Soče, Idrijce in Bače se prekrivata vplivni coni Idrijskega preloma in Nariva Južnih Alp, tako da vpliva posamezne strukture na tem območju ne moremo ločevati. Vsekakor pa je jasno, da sta tako Južnoalpska narivna meja kot tudi Nariv Julijskih Alp aktivni strukturi.

Vertikalna geodinamična aktivnost

Ker zgolj podatek o relativni hitrosti vertikalnega premika ne pove vsega o območju, za katerega vemo, da je tektonsko aktivno, ne poznamo pa vselej točne geometrije oziroma lokacij posameznih prelomov, na tem mestu vpeljujemo veličino vertikalne geodinamične aktivnosti (VGA), ki pove, za koliko naraste hitrost vertikalnega premikanja na znani razdalji v smeri (projekciji) pravokotno na slemenitev struktur oziroma aktivnosti pojava. Meje območja določimo na podlagi spremembe trenda v prirastu hitrosti, vrednost pa je izražena v mm/a/km. Smiselnost pojma VGA vidimo v primerjavi posameznih tektonsko aktivnih območij, ocenjevanju omejenosti deformacije na določeno strukturo in v povezavi z ocenjevanjem vplivov na okolje (geohazard). Na obravnavanem območju lahko izpostavimo Kraški naluskani prag, ki je omejen s spremembo v trendu prirasta hitrosti pri Črnem Kalu in maksimumom pri Kozini (slika 3). Izračunani indeks vertikalne aktivnosti za to območje znaša 0,22 mm/a/km. Ker je upogibanje območja med Strunjanom in Črnim Kalom enakomerno, je VGA za omenjeno območje ista in znaša 0,15 mm/a/km. Za primerjavo naj navedemo še VGA območja Južnoalpske narivne meje, ki smo ga omejili s spremembo trenda hitrosti pri Selah in maksimumom pri Hudajužni in znaša 0,43 mm/a/km.

Zaključki

Na podlagi analize podatkov ponovljenega preciznega nivelmana med Sečovljami in Bledom smo ugotovili, da so skoraj vse večje strukture, ki jih prečka nivelmanski

poligon med Sečovljami in Bledom, recentno aktivne. Med Strunjanom in Črnim Kalom je območje, ki se sinklinalno upogiba s hitrostjo približno 1 mm/a na razdalji 6,5 km. Upogibanje je omejeno s povratnoreverznimi prelomi z vergenco proti SV med Pacugom in Strunjanom (JZ del Strunjanske strukture) ter narivom pri Črnem Kalu. Recentna aktivnost Kraškega naluskanega praga je zgoščena vzdolž narivov pri Črnem Kalu, pri Petrinjah in vzdolž reverznih prelomov pri Klancu pri Kozini. Vertikalna komponenta premika znaša samo vzdolž nariva pri Črnem Kalu približno 1,5 mm/a med točkama, ki sta oddaljeni približno 1,5 km. Na recentno aktivnost Divaškega in Raškega preloma sklepamo po nižjih hitrostih (dviganja) točk, ki se nahajajo znotraj vplivne cone omenjenih prelomov. Območje med Divaškim in Raškim prelomom se, kolikor lahko sklepamo po podatkih izmerjenih med Tomajem in Štanjelom, dviga enakomerno. Trnovski pokrov kaže neznamen trend naraščanja hitrosti proti severu. Nenaden porast hitrosti in enakomeren trend dviganja na območju med Selami pri Volčah in Hudajužni prča o vertikalni geodinamični aktivnosti Južnoalpske narivne meje, ki znaša približno 2,8 mm/a na razdalji 6,5 km. Očitna je tudi aktivnost Nariva Julijskih Alp, vendar je ta neprimerljiva z Južnoalpsko narivno mejo, ki je v smislu vertikalne komponente hitrosti premikanja najaktivnejša struktura v Zahodni Sloveniji.

Vse trditve v tem prispevku se nanašajo le na vertikalno komponento premikanja. Ob upoštevanju znane geometrije opisanih struktur je jasno, da gre tako v primeru Kraškega naluskanega praga, kakor tudi Južnoalpske narivne meje in Nariva Julijskih Alp za narive, kjer je vertikalna komponenta premika podrejena. Če privzamemo, da prelomne ploskve obravnavanih narivov vpadajo pod kotom 30° in da so vektorji premikov pravokotni na njihovo slemenitev, so torej skupni letni premiki ob teh strukturah lahko dvakrat večji.

Zahvale

Delo je nastalo z združevanjem rezultatov pridobljenih v okviru različnih projektov med katerimi izpostavljamo projekt Karta aktivnih prelomov, ki ga podpira in vodi Agencija za okolje RS pri Ministrstvu za okolje in prostor RS, projekt Regionalna

geologija Slovenije, program Regionalna geologija ter program P2-227 Geoinformacijska infrastruktura in trajnostni prostorski razvoj Slovenije, ki poteka pod okriljem Agencije za raziskovalno dejavnost RS. Avtorji prispevka se zahvaljujemo za finančno podporo. Za pregled angleškega prevoda se zahvaljujemo Andreji Maver.

Recent activity of the regional geologic structures in western Slovenia

Summary

The two campaigns of gathering levelling line data allowed us to infer the vertical movement rates for the points measured along the geodetic levelling line between Sečovelje and Bled (Figs. 1, 2). Nearly all major geological structures along the levelling line were identified as active. Levelling line data indicate that a synform deformation is in progress between Strunjan and Črni Kal with a vertical movement rate of 1 mm/a at a distance of 6.5 km between the confining backthrust faults at Strunjan and the thrust fault at Črni Kal (Fig. 3). The geodynamic activity of the Kras Imbricate Structure is concentrated along the thrust faults at Črni Kal and Petrinje as well as along the reverse fault at Klanec. Only across the thrust fault at Črni Kal was the relative vertical movement rate as high as 1.5 mm/a between two points measured at a distance of 1.5 km (Fig. 3). Recent activity of the Divača and Raša Faults is inferred from the lower vertical movement rates within the fault zones in relation to the ones outside these zones. According to the analyzed data, the area between Tomaj and Štanjel is being uplifted steadily. A subtle but steady increase in the movement rate towards the north was observed within the Trnovo Nappe (Fig. 4). The abrupt increase in the movement rate between Sela pri Volčah and Hudajužna is attributed to the vertical geodynamic activity of the Southalpine Front. At a distance of 6.5 km, the relative increase in velocity rises for app. 2.8 mm/a. The activity of the thrust of the Julian Alps is also obvious, though minor compared to the Southalpine Front (Fig. 5). The latter seems to be the most active structure in western Slovenia, at least as far as the rate of its vertical movement is concerned. A maximum of 7 mm/a of differ-

ence in the relative vertical movement rate was observed along the whole distance of the Sečovelje–Bled levelling line.

Some of the major geological structures described above (i.e. the Kras Imbricate Structure, the Southalpine Front and the Julian Alps thrust) dip at approximately 30°. This signifies that the measured vertical component of displacement is actually merely half the value of the horizontal one.

Vertical Geodynamic Displacement VGA [mm/a/km] is introduced as a measure of the vertical movement rate over a known distance in the direction perpendicular to the strike of the geologic structure. The purpose of VGA is in 1) the characterization and comparison of different tectonically active areas, 2) the estimated distribution of the uplift among the main and the secondary fault planes and consequently in 3) it serving as an additional tool for geohazard mitigations.

Literatura

- Koler, B. 2006: Vertical Movements in Slovenia from Leveling Data. In: N. Pinter et al. (eds.), *The Adria Microplate. – GPS Geodesy, Tectonics and Hazards*, Springer, 223–236, Berlin.
- Placer, L. 1981: Geološka zgradba južne Slovenije. – *Geologija* 24/1, 27–60, Ljubljana.
- Placer, L. 1999: Contribution to the macro-tectonic subdivision of the border region between Southern Alps and Dinarides. Prispevek k makrotektonski rajonizaciji ozemlja med Južnimi Alpami in Zunanji Dinaridi. – *Geologija* 41, 223–255, Ljubljana.
- Placer, L. 2004: Strukturne posebnosti severne Istre. Structural curiosity of the northern Istria. – *Geologija* 48/2, 245–251, Ljubljana.
- Placer, L. 2007: Kraški rob, Geološki prevez vzdolž AC Kozina–Koper. – *Geologija*, 50/1, 29–44, Ljubljana.
- Pleničar, M., Polšak, A. & Šikić, D. 1969: Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100.000, list Trst. Zvezni geološki zavod, Beograd.
- Poljak, M. 1997: Geološka interpretacija geodetskih meritev v okviru projekta stalnega določanja tektonskih premikov v okolici JE Krško. – Interno poročilo, 13 str., 3 karte, 12 dodatkov. Arhiv Geološki zavod Slovenije, Ljubljana.
- Rižnar, I., Koler, B., & Bavec, M. 2005: Identifikacija potencialno aktivnih struktur vzdolž reke Save na podlagi topografskih podatkov in nivelmanskega vlaka. – *Geologija*, 48/1, 107–116, Ljubljana.
- Weber, J. C., Vrabec, M., Stopar, B., Pavlovčič Prešeren, P. & Dixon, T. 2005: Ugotavljanje recentne kinematike Jadranske mikroplošče in aktivnih tektonskih deformacij v Sloveniji in Istri na osnovi GPS opazovanj (projekt PIVO 2003). – *Geol. zb.* 18, 129–130, Ljubljana.