

## Dokaz za norijsko-retijsko natezno tektoniko v Slovenskem bazenu (Južne Alpe)

### Outcrop-scale evidence for the Norian-Rhaetian extensional tectonics in the Slovenian Basin (Southern Alps)

Primož OPRČKAL<sup>1</sup>, Luka GALE<sup>2</sup>, Tea KOLAR-JURKOVŠEK<sup>2</sup> & Boštjan ROŽIČ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo, Privoz 11, SI-1000 Ljubljana;

e-mail: primoz988@gmail.com; bostjan.rozic@geo.ntf.uni-lj.si

<sup>2</sup>Geološki zavod Slovenije, Dimičeva ul. 14, SI-1000 Ljubljana;

e-mail: luka.gale@geo-zs.si; tea.kolar-jurkovsek@geo-zs.si

Prejeto / Received 16. 3. 2012; Sprejeto / Accepted 4. 4. 2012

*Ključne besede:* baški dolomit, sinsedimentni prelom, norij/retij, poznotriasna tektonika, Dinaridi, Južne Alpe, Škofja Loka

*Key words:* Bača Dolomite, synsedimentary fault, Norian/Rhaetian, Late Triassic tectonics, Dinarides, Southern Alps, Škofja Loka

#### Izvleček

Neposrednih dokazov za norijsko-retijsko tektoniko na območju današnje Slovenije do sedaj nismo poznali. V članku je predstavljen primer kamnoloma v okolici Škofje Loke. Baški dolomit, ki izdanja v kamnolomu, je presekan s številnimi normalnimi paleoprelomi. Norijsko-retijska starost baškega dolomita je potrjena z najdbo konodonta vrste *Norigondolella steinbergensis* (Mosher, 1968). Nastanek prelomov povezujemo z začetkom ekstenzije na območju jurskega Piemont-Ligurijskega oceana ali s poslednjim razpiranjem Neotetide (Meliata oceana).

#### Abstract

No direct evidence for the Norian-Rhaetian tectonic activity has been gathered from the Slovenian territory until now. In the quarry in the vicinity of Škofja Loka, several palaeofaults transect the outcropping Bača Dolomite. The Norian-Rhaetian age of the Bača Dolomite is confirmed with the finding of the conodont species *Norigondolella steinbergensis* (Mosher, 1968). The formation of the faults is related to the opening of the future Jurassic Piemont-Ligurian Ocean to the west of the studied area, or with the diminishing influence of the Neotethys (Meliata) Ocean to the east.

#### Uvod

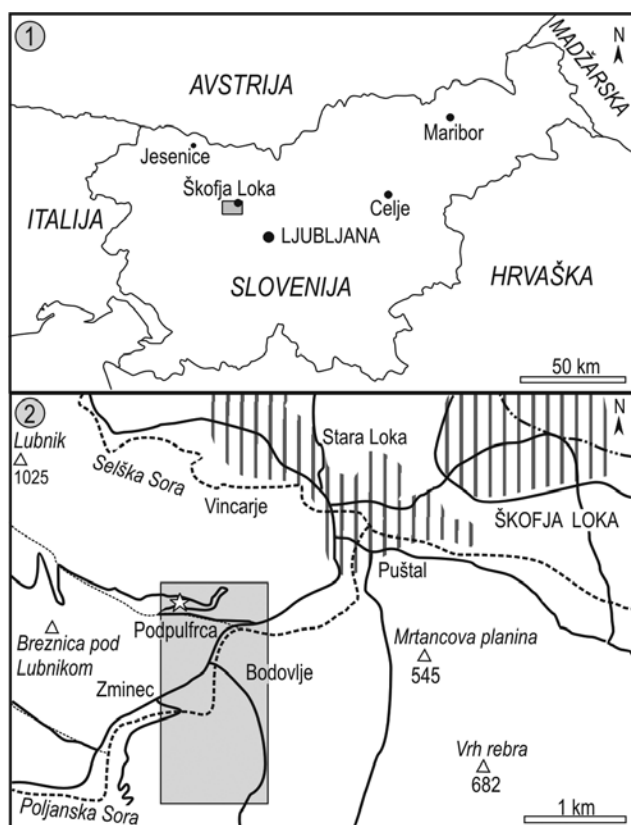
Obdobje triasa spremlja več pomembnih premikov tektonskih plošč ter z njimi povezanih zapiranj obstoječih oceanov (Paleotetida) in odpiranje novih (Neotetida) (e.g. STAMPFLI & MOSAR, 1999; TARI, 2002; STAMPFLI & BOREL, 2004; VLAHOVIĆ et al., 2005; STAMPFLI & KOZUR, 2006; GOLONKA, 2007; SCHMID et al., 2008). Na območju današnje zahodne Slovenije, ki geostruktarno pripada vzhodnim Južnim Alpam in Dinaridom, je zelo dobro poznana in dokumentirana srednjetriasna faza natezne tektonike, ki sovпада z odpiranjem oceana Meliata (Neotetida) vzhodno od današnjega alpskega prostora. Ta tektonska aktivnost, ki jo spremlja intenzivna vulkanska dejavnost, je povzročila razpad pred tem enotnega sedimentacijskega prostora (BUSER, 1979, 1986, 1989, 1996). Najbolje je raziskana na idrijskem, kjer je odigrala ključno

vlogo pri formiranju hidrotermalnega živosrebrovega orudenja (npr. MLAKAR & DROVENIK, 1971; ČAR, 2010). Medtem pa norijsko-retijska ekstenzija, ki spremlja odpiranje jurskega Piemont-Ligurijskega oceana (Alpske Tetide) in je dobro znana v sosednjih paleogeografskih enotah, pri nas ni dokumentirana. Nasprotno, za obdobje poznega triasa naj bi bila za širše območje današnje Slovenije značilna progradacija platform v bazenska območja (BUSER, 1989, 1996; ŠMUC & ČAR, 2002; GIANOLLA et al., 2003; CELARC & OGORELEC, 2006; CELARC & GORIČAN, 2007; CELARC & KOLAR-JURKOVŠEK, 2008). Slednja so bila v celoti ali, v primeru Slovenskega bazena, delno zapolnjena s sedimenti (BUSER, 1989, 1996, ŠMUC & ČAR, 2002). Posledično so podatki o poznotriasni tektoniki pri nas skromni (KRYSTYN et al., 1994; SCHLAF et al., 1997). Na podlagi študije zgornjetriasnih plasti v Južnih Karavankah KRYSTYN et al. (1994) pišejo

o norijsko-retijskemu razpadu tega ozemlja na bazene in karbonatne platforme. Novejše študije norijsko-retijskih kamnin Slovenskega bazena tudi kažejo na obdobje intenzivnejše tektonske aktivnosti proti koncu triasa in na prehodu v juro (OGORELEC & ROTHE, 1993, območje Čepovana; GALE et al., 2012). Vendar pa so dokazi večinoma interpretativni, kjer se tekonska aktivnost kaže posredno v pojavljanju mestoma zelo debelih horizontov karbonatno-roženčevih breč v tem delu bazenskega zaporedja (ROŽIČ, 2006, 2009; ROŽIČ et al., 2009; GALE 2010; GALE et al., 2012). V celotnem norijsko-retijskem zaporedju Slovenskega bazena GALE in sodelavci (2012) izdvajajo štiri take nivoje, ki so datirani v spodnji in srednji norij, retij in konec triasa.

Neposrednih strukturnih dokazov o obstoju poznotriasne natezne tektonike nasprotno do sedaj še nismo imeli. Pričujoči članek predstavlja prvi tovrstni dokaz za obstoj poznotriasnih prelomnih struktur na nivoju izdanka. Namen članka je:

- detajlni sedimentološki in strukturni opis izdanka baškega dolomita v kamnolomu nad vasjo Podpulfrcra pri Škofji Loki (sl. 1);
- tektonska analiza izdanka in rekonstrukcija razvojnih faz;
- regionalna umestitev rezultatov v poznotriasni geološki prostor.



Sl. 1. Geografska lega obravnavanega območja. Lega obravnavanega kamnoloma je označena z zvezdico.

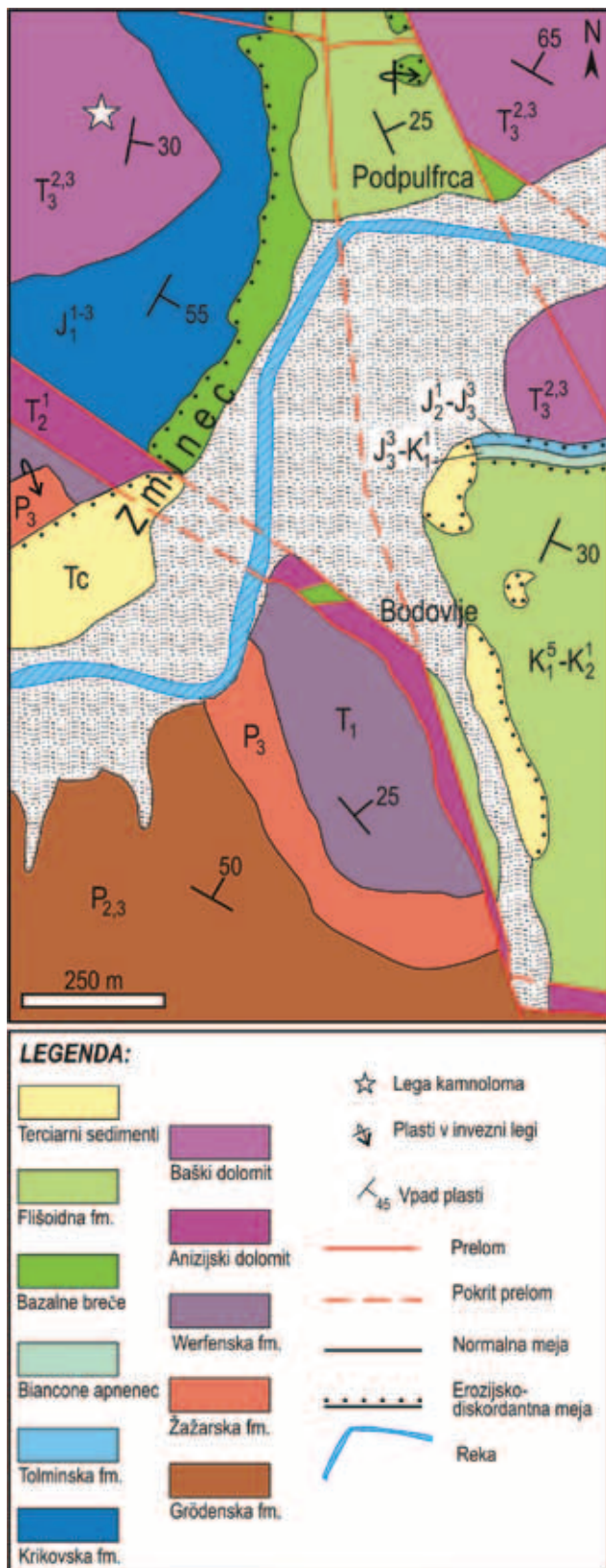
Fig. 1. Geographic position of the studied area. The star symbol marks the position of the quarry described in the paper.

## Geološka zgradba

Obravnavano območje je strukturno del Tolminskega pokrova, proti jugu ločenega od Zunanjih Dinaridov z južnoalpsko naravno mejo, in proti severu prekritim s Krnskimi pokrovom (BUSER, 1986; PLACER, 1999, 2008). Prevladujoč vpliv na strukturo Tolminskega pokrova je imelo miocensko ali post-miocensko podpiranje Zunanjih Dinaridov pod Južne Alpe (PLACER, 2008). "Južnoalpski" narivi prekrivajo starejše narive z vergenco proti jugo-zahodu pred-oligocenske starosti (PLACER, 1999; KASTELIC et al., 2008). Naravno zgradbo so dodatno razrezali pliocenski normalni prelomi, ki so bili kasneje reaktivirani kot desnozmični (VRABEC & FODOR, 2006; KASTELIC et al., 2008; ŠMUC & ROŽIČ, 2009; ČAR, 2010).

V okviru Osnovne geološke karte SFRJ 1 : 100.000 je ozemlje prikazano na listu Kranj (GRAD & FERJANČIČ, 1974, 1976). Poenostavljena geološka karta okolice Zminca, Podpulfrcra in Bodovelj (sl. 2) je rezultat geološkega kartiranja, opravljenega leta 2011 v okviru terenskih vaj študentov geologije Naravoslovnotehniške fakultete (skupina pod mentorstvom B. Rožiča). V okolici Bodovelj in Zminca izdajajo srednje- do zgornjopermski rdeči do zeleno rjavi meljasti peščenjaki z vložki kremenovih konglomeratov Grödenske formacije. Slednji ostro prehajajo v temno sive "sataste" dolomite in plastnate dolomite Žažarske formacije konca perma. Temu sledijo rume no rjavi do sivo rjavi sljudnati muljevci z lečami oolitnega apnenca, ki pripadajo spodnjetriasni Werfenski formaciji. Masivni anizijski dolomit se pojavlja le v ozkem pasu, omejenem s prelomi v smeri WNW-ESE. Pod Lubnikom v okolici Podpulfrcra izdajajo le mezozojske kamnine, izmed katerih je najstarejši norijsko-retijski plastnat poznodiagenetski dolomit z gomolji roženca, t.i. baški dolomit. Slednji prehaja v spodnjepersko Krikovsko formacijo, ki jo sestavljajo plastnati kalkareniti z vložki roženca. Z erozijsko mejo nanje nalegajo spodnjekredne bazalne karbonatne breče, ki prehajajo v zeleno rjave muljevce z vložki kalkarenitov (Spodnja flišoidna formacija). Drugačen razvoj sledimo ob vznožju Dešne, kjer nad baškim dolomitom izdajajo rdeči okremenjeni laporovci in radiolariti srednje- do zgornjeperske Tolminske formacije in nad njimi zgornjeperski svetlo siv plastnat mikritni apnenec z rdečimi in zelenimi roženci (biancone apnenec). Baški dolomit, Krikovska formacija, Tolminska formacija in biancone apnenec so značilni za sedimentacijo v Slovenskem bazenu.

V kamnolomu, ki je opisan v nadaljevanju, izdajajo zgornji del baškega dolomita. Meja s Krikovsko formacijo je razgaljena v nadaljevanju profila ob cesti nekaj metrov višje. Čeprav je bilo v kamnolomu pobranih več vzorcev za konodontne analize (sl. 3.2), je bila le v enem najdena in določena vrsta *Norigondolella steinbergensis* (Mosher, 1968), ki potrjuje norijsko-retijsko starost baškega dolomita (KOLAR, 1979; KOLAR-JURKOVŠEK, 1991; KOZUR, 2003; BUSER et al., 2007, 2008; ROŽIČ et al., 2009; KRYSSTYN et al., 2009; KOLAR-JURKOVŠEK, 2011).



Sl. 2. Geološka karta okolice opisanega kamnoloma (lega kamnoloma je označena z zvezdico)

Fig. 2. Geological map of the outcrop area (the position of the quarry is marked by the star symbol)

### Opis izdanka

Opuščen kamnolom se nahaja dva kilometra jugozahodno od Škofje Loke, ob cesti na Lubnik (Y: 5445175; X: 5112788; n.m.v. 426 m) (sl. 1). Pla-

sti baškega dolomita v splošnem vpadajo proti vzhodu pod kotom 30°. Težje dostopni deli kamnoloma so bili pregledani s pomočjo polstatične vrvi (tab. 1, sl. 1).

### Opis faciesov

V zahodnem delu kamnoloma kot najstarejše plasti izdajajo črni, bituminozni, vzporedno laminirani dolomikriti s črnimi roženci. Plasti dosega debeline 5 do 60 cm. Pogoste so kanalne teksture, zapolnjene z drobno do srednjezrnato dolomitizirano polimiktno brečo. V zgornjem delu zapolnitev kanalov so pogoste številne lupine brahiopodov (tab.1, sl. 2). Redke so obremenitvene teksture (tab. 1, sl. 3). Bituminozni dolomiti večkrat postopno preidejo v tanke- do srednje debele plasti svetlo sivega dolomikrosparita (tab. 1, sl. 4). Plastnatim dolomitom z erozijsko mejo sledi okoli 10 m debel paket dolomitiziranih, mestoma tudi okremenjenih konglomeratnih breč (gramozovcev; tab. 1, sl. 5). Breče so zrnsko ali muljasto podprte in polimiktne, vendar prvotna sestava klastov ni določljiva zaradi poznejše dolomitizacije (tab. 2, sl. 1). Makroskopsko lahko ločimo naslednje vrste klastov (tab. 2, sl. 2):

- Ekstraklasti:
  - temno siv roženec (premer do 2 cm); 1 %
  - svetlo rjav dolosparit (premer do 2 cm); 5 %
  - svetlo siv dolosparit (premer do preko 5 cm); 10 %
  - črn debelozrnat dolosparit (premer od 1 cm do preko 5 cm); 15-20 %
  - temno siv dolosparit (premer do preko 5 cm); 30 %
- Bioklasti:
  - prekristaljeni fragmenti lupin (ramenonožci, polži; velikost do 1,5 cm); 5-30 %
- Intraklasti:
  - črn dolomikrit (premer od nekaj cm do preko 5 cm); 5-10 %.

Klasti so veliki do 15 cm, večina pa meri v premeru en centimeter. Njihovi robovi so ostri ali dobro zaobljeni, pred odložitvijo litificirani ali preloženi še v mehkem stanju (vtisnjenje sosednjih klastov). Redko so prisotni bioklasti (polži, ramenonožci). Vezivo je črn do temno siv dolomikrit, redko svetlo siv dolomikrosparit.

Nad brečami so z ostro mejo odložene plasti vzporedno laminiranega dolosparita z roženci. Posamezne plasti so debele 5 do 20 cm in ločene z nekaj centimetrov debelimi horizonti laporovca. Gomolji roženca so črni ali rožnati, premera do 0,5 m. Paket je v zahodnem delu kamnoloma debel 1,5 m in zapolnjuje razliko v paleoreliefu glede na osrednji in vzhodni del kamnoloma, kjer je razvitih le zgornjih 0,5 m zaporedja. Zaključni ga skoraj 40 cm debela morfološko izrazitejša plast dolomitiziranega kalkarenita oz. drobnozrnatega kalkrudita z notranjimi erozijskimi površinami.

Nad to plastjo ponovno sledi menjavanje tankoplastnatih laporastih dolomikrospartov in laporovcev. Paket je v zahodnem in osrednjem delu kamnoloma tokrat tanjši (1,5 m) kot v vzhodnem delu (3,0 m). V zgornjem delu paketa je sledljiv horizont z gomolji belega roženca.

Zaporedje, ki izdanja v kamnolomu se zaključijo z masivnim dolospartom z ravno spodnjo mejo.

### Opis prelomov

V kamnolomu je vidnih vsaj pet prelomov, ki so na sliki 3.3 označeni s številkami od 1 do 5:

- *Prelom 1* izdanja na zahodni strani kamnoloma. Spodnji del preloma sega pod nivo kamnoloma, zgoraj pa sega do masivnega dolomita. Vpad prelomne ploskve je v spodnjem delu 170/85. Kamnina ob prelomu ni pretrta, ali pa je rahlo sklivažirana (tab. 2, sl. 3 in 4; vpad klivaža 330/70). Levo in desno krilo preloma sta v tesnem stiku. Navidezni premik v steni kamnoloma vzdolž preloma ni enoten: glede na zgornjo mejo muljasto podprtih breč je v srednjem delu kamnoloma zahodno (krovninsko) krilo navidezno spuščeno glede na vzhodno (talninsko) za 1,2 m; nasprotno je plast z belimi roženci ob zgornji meji preloma navidezno premaknjena za 0,5 m in je višje v zahodnem krilu.
- *Prelom 2* poteka prek sredine kamnoloma. Spodnji del ni razgaljen. Premik ob prelomu je sledljiv do plasti z belim rožencem (ta že ni več premaknjena), slab meter pod spodnjo mejo masivnega dolomita (tab. 2, sl. 6). Prelomna ploskev ima ob vznožju kamnoloma vpad 290/90. Kamnina ob prelomu ni pretrta ali pa je izražen šibek klivaž. Zahodno in vzhodno krilo sta v tesnem stiku. Glede na zgornji del breč znaša navidezni premik ob prelomu 1,5 m, pri čemer je vzhodno krilo relativno spuščeno glede na zahodnega.
- *Prelom 3* je viden v vzhodni polovici kamnoloma. Zgornji del preloma je pokrit, spodaj pa se naslanja na prelom 2 (tab. 2, sl. 4). Prelomna ploskev je položnejša, z vpadom 350/60. Kamnina ob prelomu ni pretrta. Krovninsko in talninsko krilo sta ločena z do nekaj centimetrov debelim slojem črnega dololutita. Zgornja meja muljasto podprtih breč je na zgornji strani preloma navidezno premaknjena za 0,5 m, pri čemer je nižje na zahodni strani (krovninsko krilo).
- *Prelom 4* je manjši prelom v zahodnem delu kamnoloma. Spodaj se priključuje na prelom 1. Zgornji del preloma ni razgaljen (tab. 2, sl. 5). Splošni vpad preloma je proti vzhodu. Zgornja meja breč je v vzhodnem, krovninskem krilu nekaj 10 cm nižje kot v zahodnem. Kamnina ob prelomu ni vidno pretrta.
- *Prelom 5* povezuje preloma 1 in 2 in poteka prek muljasto podprtih breč. Prelomna ploskev vpada proti vzhodu pod okoli 60°. Prelomna cona ni izražena.

## Razprava

### Starost prelomov

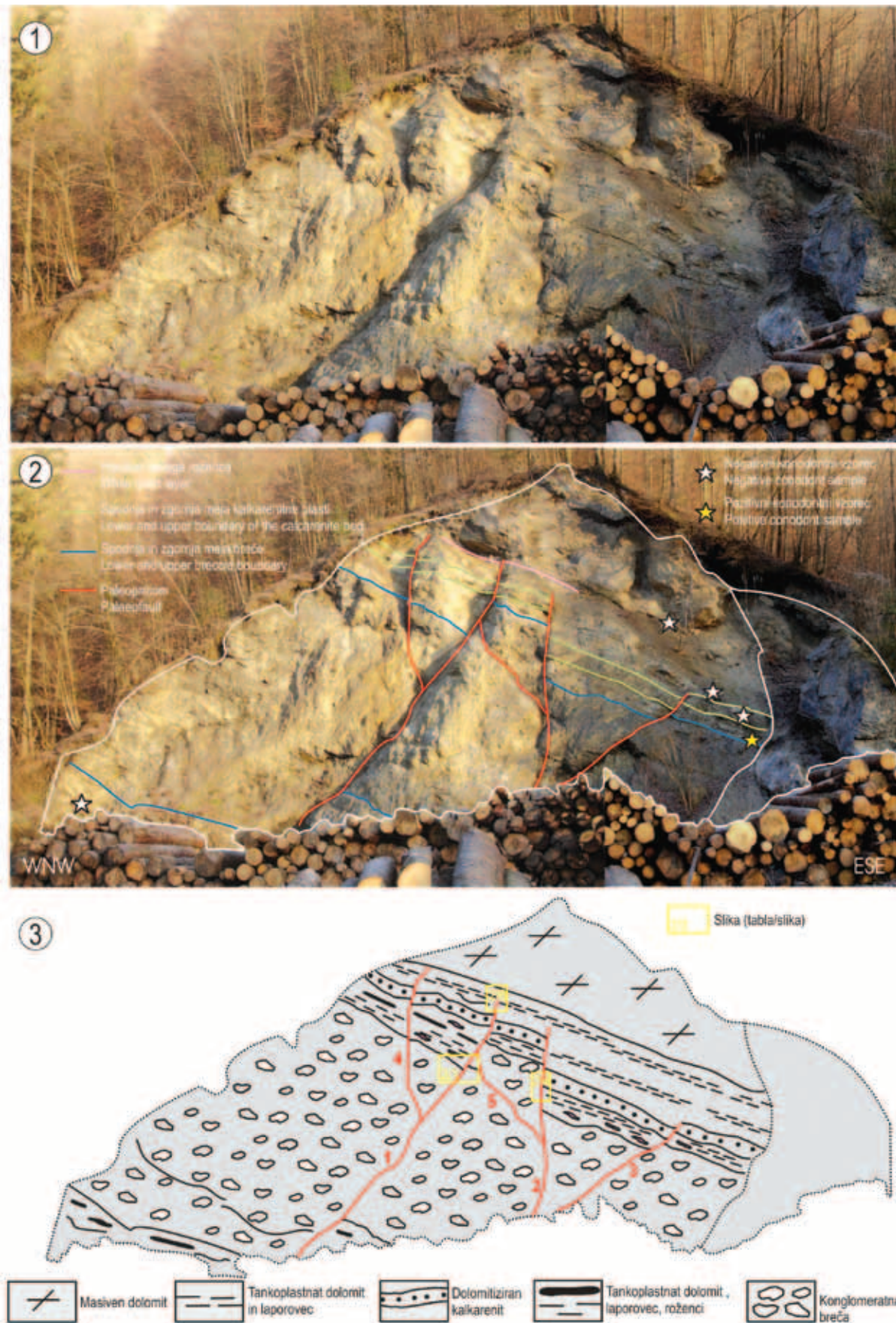
Ob odsotnosti pokazateljev smeri premikov, opazovane navidezne premike ob prelomih interpretiramo kot premike ob normalnih prelomih. Zveznost plasti v zgornjem delu kamnoloma kaže na prenehanje tektonske aktivnosti pred njihovo odložitvijo (glej COZZI, 2000; KEIM & BRANDNER, 2001; MARTIN-ROJAS et al., 2011). Prelome 1-5 zato interpretiramo kot paleoprelome, ki so bili aktivni v času sedimentacije, na kar kažejo nenakomerne debeline sedimentov (BERTOTTI et al., 1993), ki zapolnjujejo nastali relief (tj. ploščastih dolomitov z vmesnim laporovcem nad brečami in nad plastjo dolomitiziranega kalkarenita). Glede na konodontne najdbe, so bili prelomi aktivni v noriju in/ali v retiju. Toga deformacija odloženih plasti ob prelomih predvideva vsaj delno litifikacijo sedimentov kmalu po odložitvi sedimenta. O krhki deformaciji kamnine ob sinsedimentnih prelomih poroča tudi COZZI (2000).

Šibko razvit klivaž ob nekaterih odsekih prelomov povezujemo s pliocensko ali mlajšo tektoniko, ko so bile obstoječe strukture reaktivirane kot zmične (L. Placer, os. kom.).

### Interpretacija premikov

Slika 4 prikazuje predvideno zaporedje sedimentacije in tektonske aktivnosti v noriju in/ali retiju:

- *Faza 1: Odlaganje muljasto podprtih konglomeratnih breč*  
Raznolika sestava klastov, ki so mestoma tudi dobro zaobljeni, kaže na preperevanje starejših kamnin dvignjenih blokov in njihov transport. Del klastov je bil preložen še v mehke ali delno litificiranem stanju in je znotraj-bazenskega izvora. Sestava breč tako posredno kaže na obstoj prelomov, ki so starejši od prelomov 1-5 (glej COZZI & PODDA, 1998).
- *Faza 2: Spuščanje zahodnega bloka ob prelomu 1*  
Spuščanje zahodnega bloka ob strmem normalnem prelomu je spremljalo odlaganje tankoplastnatih dolomitov in podrejeno laporovcev nad spuščajočim blokom. Po zapolnitvi prostora nad spuščanim blokom se je nadaljevalo odlaganje plastnatih dolomitov in laporovcev, ki se zaključijo z debelejšo plastjo dolomita (prvotno verjetno kalkarenit z notranjimi erozijskimi površinami).
- *Faza 3: Spuščanje vzhodnega bloka ob prelomu 2*  
Po odložitvi kalkarenita je prišlo do nastanka reliefa ob prelomu 2. Prostor nad pogreznjenim vzhodnim blokom so zapolnili tankoplastnati dolomiti in laporovci. Sedimentacija se je nadaljevala tudi po prenehanju premikov ob prelomu 2. Zaporedje po-tektonskih sedimentov vključuje sledljivo plast z belimi roženci.

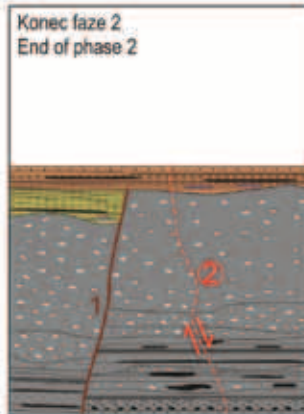


Sl. 3. Slika izdanka. 1 – fotografija kamnoloma; 2, 3 – obris glavnih tektonskih struktur in slednih horizontov; 2 – Z zvezdicami so označene lege vzorcev, vzetih za konodontne analize. Vrsta *Norigondolella steinbergensis* je bila najdena v vzorcu, katerega lega je označena z rumeno zvezdico. 3 – Lega nekaterih ključnih slik s table 2 je prikazan z rumenim okvirjem.

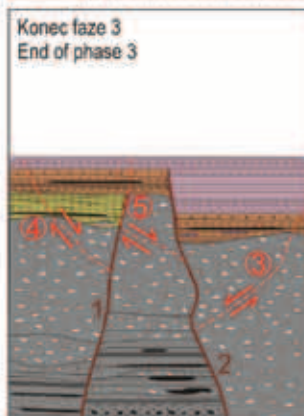
Fig. 3. Picture of the outcrop. 1 – photograph of the quarry; 2, 3 – outlines of the major tectonic structures and marker levels; 2 – Z zvezdicami so označene lege vzorcev, vzetih za konodontne analize. *Norigondolella steinbergensis* was found in the sample marked with the yellow star. 3 – Positions of some key photos from plate 2 are shown with yellow rectangles.



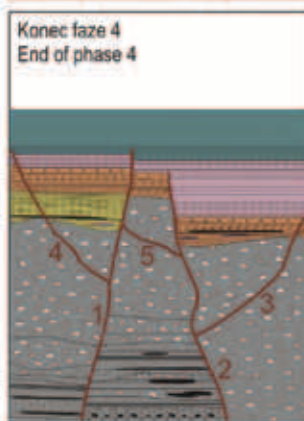
Odlaganje bituminoznega dolomita, kanaliziranih dolomitov in muljasto ali zmsko podprtih konglomeratnih breč.  
Deposition of bituminous dolostone, channelized dolomite and mud- or clast-supported conglomeratic breccias.



Spuščanje zahodnega krila ob prelomu 1, sintektonska sedimentacija v nastajajočem prostoru. Po prenehanju tektonske aktivnosti se odloži debelejša plast kalkarenita.  
Down-dropping of the western block along fault 1; syntectonic sedimentation takes place in the creating accommodation space. The cessation of the tectonic activity is marked by a uniformly developed thicker layer of calcarenite.



Spuščanje vzhodnega krila ob prelomu 2; v nastajajočem prostoru se hkrati odlagajo sedimenti. Sedimentacija se nadaljuje še po prenehanju spuščanja krila. Zaporedje po-tektonskih sedimentov vključuje plast s slednim markerkim horizontom belih rožencev.  
Down-dropping of the eastern block along fault 2; syntectonic sedimentation takes place in the creating accommodation space. Sedimentation continues also after cessation of the tectonic activity. Post-tectonic sediments include the marker layer with nodules of white chert.



Nova diferenciacija sedimentacijskega prostora ob obstoječih (1, 2) in novonastalih (3, 4, 5) prelomih. Premik ob prelomu 1 je podaljšan še preko plasti z belim rožencem. Premik se prenaša na prelom 2 preko veznega preloma 4, tako da je spodnji del preloma 1 verjetno neaktiven. Po prenehanju tektonske aktivnosti se odloži neprekinjena masivna plast dolomita.  
New differentiation of the sedimentary space takes place along the existing (1, 2) and newly created (3, 4, 5) faults. The displacement is transferred along fault 4 to the fault 2, so the lower (older) plane of the fault 1 probably remained inactive. The massive dolostone bed accumulated after the cessation of tectonic activity.

**Legenda - legend**

Premik Displacement	Bituminozni dolomit, konglomeratna breča Bituminous dolostone, conglomeratic breccia	Tankoplastnat dolomit, laporovec Thin-bedded dolostone, marlstone
Prelom aktiven v naslednji fazi Fault active in the next phase	Tankoplastnat dolomit z roženci, laporovec Thin-bedded dolostone with chert, marlstone	Tanko-plastnat dolomit, masiven dolomit Thin-bedded dolostone, massive dolostone
Prelom, ki je bil aktiven v trenutni fazi Fault that was active in the current phase	Tankoplastnat dolomit z roženci, laporovec, debelejša plast kalkarenita Thin-bedded dolostone with chert, marlstone, thicker calcarenite bed	

Sl. 4. Interpretacija paleotektonskih premikov, ki so privedli do današnjih razmer.  
Fig. 4. Interpretation of tectonic movements leading to the current situation.

- *Faza 4: Spuščanje ob obstoječih in novonastalih prelomih 3, 4, 5*

V zadnji fazi je prišlo do delne reaktivacije prelomov 1 in 2, ter do nastanka prelomov 3, 4 in 5. Premiki ob posameznih prelomih so v tej fazi manjši. Premik plasti z belimi roženci nad prelomom 1 kaže na delno reaktivacijo starejše strukture ob hkratnem nastanku normalnega preloma 4. Po prenehanju tektonske aktivnosti se je odložila masivna dolomitna plast.

### **Norijsko-retijska ekstenzija v Slovenskem bazenu**

Vzrok za nastanek paleoprelomov v baškem dolomitu je verjetno natezna tektonika. Odkritje norijsko-retijskih prelomov v kamnolomu pri Podpulfrci potrjuje nedavne ugotovitve o tektoniki v Slovenskem bazenu (Rožič et al., 2009; GALE et al., 2012). GALE s sodelavci (2012) so s pomočjo analize več profilov baškega dolomita in Slatniške formacije pokazali obstoj več tektonskih faz v tem obdobju. Prvi dve, tj. zgodnje- in sredjenorijska, sta imeli širši obseg in ju je moč zaznati v celotnem območju bazena. Nasprotno je bila retijska ekstenzija omejena na posamezne dele bazena in verjetno obsega več krajših tektonskih sunkov (GALE et al., 2012).

Ob postavitvi plasti v horizontalno lego s pomočjo Wulfove mreže dobimo prvotne vpade prelomov: 182/78 (prelom 1), 65/70 (prelom 2), 285/70 (prelom 3).

Smeri prelomov so primerljive z norijskimi prelomi v Karnijskem predgorju (CARULLI et al., 1998; COZZI & PODDA, 1998; COZZI, 2000, 2002). COZZI (2000, 2002) začetek odpiranja s prelomi omejenih intraplatformnih bazenov znotraj karbonatne platforme postavlja na konec srednjega norija. Na podlagi sinsedimentnih pokazateljev tenzije (razpoke, neptunski dajki, normalni prelomi z manjšimi premiki, intraformacijske breče) je določil glavne smeri prelomov E-W, N-S in NE-SW, pri čemer prvi dve smeri prevladujeta v severnem delu raziskovanega ozemlja, v notranjosti platforme, slednja pa v SE delu, tj. na robu platforme, ki meji na intraplatformni bazen (COZZI, 2000, 2002). Prelome z usmerjenostjo E-W povezuje z napredovanjem Neotetide (Hallstatt-Meliata oceana), prelome v smeri N-S pa s poznotriasnim-zgodnjejurjskim raztezanjem, ki je povzročilo odprtje Ligurijsko-Piemontskega oceana in Osrednjega Atlantika v srednji juri. Za skupino struktur, orientirano v smeri NE-SW predvideva, da so podedovane, reaktivirane permsko-triasne (predvsem srednjetriasne) strukture (COZZI, 2000). Tektonska aktivnost se je nadaljevala še tekom celotnega retija (COZZI, 2002; COZZI & HARDIE, 2003). CARULLI et al. (1998) so domnevali, da obstaja povezava teh prelomov z W-E potekajočimi desno zmičnimi prelomnimi conami, znotraj katerih so se odpirali intraplatformni bazeni.

BERRA (1995) je prelome v smeri E-W ali ESE-WNW dokumentiral v norijskih plasteh v Severnih Apneniških Alpah.

Slovenskemu bazenu najbližje študije usmerjenosti paleoprelomov sta opravila MLAKAR in ČAR (2009) na idrijsko-cerkljanskem ozemlju. Nekaj deset- do več stometrski vertikalni premiki ob prelomih, ki so bili najbolj aktivni v srednjem triasu, so postopno zamrli do sredine karnija. Današnja usmerjenost teh prelomov je E-W do SE-NW, vezni prelomi pa se raztezajo v smeri N-S (ČAR, 2010).

### **Zaključki**

Paleoprelomi v baškem dolomitu v kamnolomu pri Podpulfrci predstavljajo prvi dokumentirani neposredni dokaz za norijsko-retijsko ekstenzijo v Slovenskem bazenu. BERTOTTI s sodelavci (1993), CARULLI s sodelavci (1998), STAMPFLI in MOSAR (1999) in CIARAPICA (2007) natezno tektoniko zahodno od Slovenskega bazena obravnavajo kot prve znake odpiranja Piemont-Ligurijskega oceana. COZZI (2000, 2002) dodatne vzroke za nastanek natezних struktur v Karnijskem predgorju išče v pojemajočem širjenju Neotetide na vzhodu. Hkraten vpliv razpiranja na obeh oceanskih območjih so zabeležili tudi HAAS in BUDAI (1999) in HAAS (2002) v Transdanubijskem pogorju. Glede na paleogeografsko lego Slovenskega bazena vzhodno od Karnijskega predgorja, tj. bližje Neotetidi (glej npr. HAAS et al., 1995), lahko tudi pri nas poznotriasno tektonsko aktivnost pripišemo sočasni aktivnosti na območju obeh oceanov.

## **Outcrop-scale evidence for the Norian-Rhaetian extensional tectonics in the Slovenian Basin (Southern Alps)**

### **Extended Summary**

No direct evidence for the Norian-Rhaetian tectonic activity has been gathered from the Slovenian territory until now. In this paper, we give an example of the quarry from the vicinity of Škofja Loka, where several palaeofaults transect the outcropping Bača Dolomite. The fault planes extend in W-E, NW-SE and NNE-SSW directions. The Norian-Rhaetian age of the Bača Dolomite is confirmed with the finding of the conodont species *Norigondolella steinbergensis* (Mosher, 1968).

The sedimentary succession starts with highly bituminous bedded dolostone with scour structures and several meters of mud-supported dolobreccias. Breccias were downthrown for 1.2 m along a normal fault. The created accommodation space was simultaneously filled with thin-bedded dolostone with marlstone interlayers. Sedimentation of thin-bedded dolostone continued even after the complete leveling of topography. After deposition of a thicker, marker bed of calcarenite/fine-grained calcirudite with internal scour structures, another differentiation of the basin floor is marked by the formation of the second normal fault, along which the hanging-wall dropped for 1.5 m. Created space above the down-dropped block was again filled by thin-bedded dolosto-

ne with marlstone interlayers. During the third pulse of extensional tectonics, several smaller faults originated and the already existing ones were partly reactivated. The final cessation of tectonics is marked by the uniform deposition of a massive dolostone bed with undisturbed lower boundary. The formation of the faults is related to the opening of the future Jurassic Piemont-Ligurian Ocean to the west of the studied area, or with the diminishing influence of the Neotethys (Meliata) Ocean to the east.

### Zahvala

Avtorji članka se zahvaljujemo dr. Ladislavu Placerju, dr. Jožetu Čarju, dr. Bogomirju Celarcu in doc. dr. Dragomir Skabernetu za natančen pregled članka, konstruktivne predloge k njegovemu izboljšanju in razpravo med samo pripravo besedila. Laboratorijsko delo je bilo opravljeno v prostorih Geološkega zavoda Slovenije in Naravoslovnotehniške fakultete (Oddelek za geologijo), tudi ob pomoči tehničnih sodelavcev, katerim velja posebna zahvala. Finančno je raziskava podprta s strani Javne agencije za raziskovalno dejavnost Republike Slovenije (programski skupini P1-0011 in Z1-9759).

### Literatura

- BERRA, F. 1995: Stratigraphic evolution of a Norian intraplate basin recorded in the Quaternary Nappe (Austroalpine, Northern Italy) and paleogeographic implications. *Eclologiae Geol. Helv.*, 88/3: 501-528.
- BERTOTTI, G., PICOTTI, V., BERNOULLI, D. & CASTELLARIN, A. 1993: From rifting to drifting: tectonic evolution of the South-Alpine upper crust from the Triassic to the Early Cretaceous. *Sed. Geol.*, 86/1-2: 53-76, doi:10.1016/0037-0738(93)90133-P.
- BUSER, S. 1979: Triassic beds in Slovenia. In: DROBNE, K. (ed.): 16<sup>th</sup> European micropaleontological colloquium, Zagreb – Bled, Yugoslavia, 8<sup>th</sup>-16<sup>th</sup> September 1979. Croatian Geological Society & Slovenian Geological Society, Ljubljana: 17-25.
- BUSER, S. 1986: Tolmač listov Tolmin in Videm (Udine): L 33-64, L 33-63. *Zvezni geološki zavod, Beograd*: 103 p.
- BUSER, S. 1989: Development of the Dinaric and the Julian carbonate platforms and of the intermediate Slovenian Basin (NW Yugoslavia). *Boll. Soc. Geol. It.*, 40: 313-320.
- BUSER, S. 1996: Geology of Western Slovenia and its paleogeographic evolution. In: DROBNE, K., GORIČAN, Š. & KOTNIK, B. (eds.): International workshop Postojna '96: The role of impact processes and biological evolution of planet Earth, Ljubljana: 111-123.
- BUSER, S., KOLAR-JURKOVŠEK, T. & JURKOVŠEK, B. 2007: Triasni konodonti Slovenskega bazena. *Geologija*, 50/1: 19-28, doi:10.5474/geologija.2007.002.
- BUSER, S., KOLAR-JURKOVŠEK, T. & JURKOVŠEK, B. 2008: The Slovenian Basin during the Triassic in the light of conodont data. *Boll. Soc. Geol. It.*, 127/2: 257-263.
- CARULLI, G. B., COZZI, A., LONGO SALVADOR, G., PONTON, M., PODDA, F. 1998: Evidence of synsedimentary tectonic activity during the Norian-Lias (Carnian Prealps, Northern Italy). *Mem. Soc. Geol. It.*, 53: 403-415.
- CELARC, B. & GORIČAN, Š. 2007: Diferenciran razpad anizijske (ilirske) karbonatne platforme v Julijskih Alpah (Prisojnik) in Kamniško-Savinjskih Alpah (Križevnik). *Geol. zbornik*, 18: 11-15.
- CELARC, B. & KOLAR-JURKOVŠEK, T. 2008: The Carnian-Norian basin-platform system of the Martuljek Mountain Group (Julian Alps, Slovenia): progradation of the Dachstein carbonate platform. *Geol. Carpathica*, 59/3: 211-224.
- CELARC, B. & OGORELEC, B. 2006: Progradacija karnijsko-norijske karbonatne platforme v Martuljkovi skupini. V: REŽUN, B. et al. (ur.): Zbornik povzetkov, 2. Slovenski geološki kongres, Idrija, 26.-28. 9. 2006. Rudnik živega srebra v zapiranju, Idrija: 42-43.
- CIARAPICA, G. 2007: Regional and global changes around the Triassic-Jurassic boundary reflected in the late Norian-Hettangian history of the Apennine basins. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 244/1-4: 34-51, doi:10.1016/j.palaeo.2006.06.022.
- COZZI, A. 2000: Synsedimentary tensional features in Upper Triassic shallow-water platform carbonates of the Carnian Prealps (northern Italy) and their importance as palaeostress indicators. *Basin Res.*, 12/2: 133-146, doi:10.1046/j.1365-2117.2000.00117.x.
- COZZI, A. 2002: Facies patterns of a tectonically-controlled Upper Triassic platform-slope carbonate depositional system (Carnian Prealps, Northeastern Italy). *Facies*, 47/1: 151-178, doi:10.1007/BF02667711.

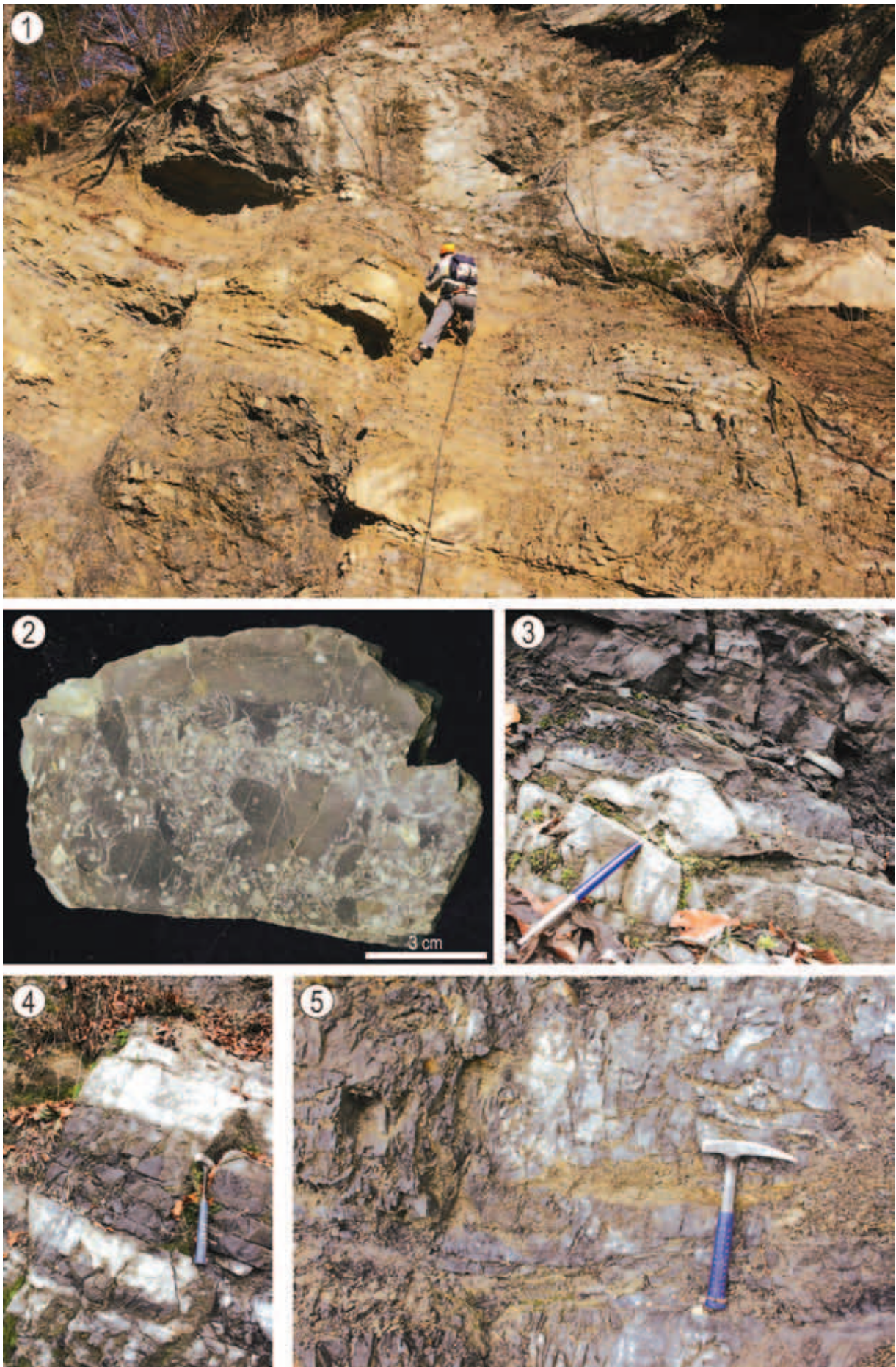
### TABLA 1 – PLATE 1

1 – Bližnja slika zgornjega dela kamnoloma; 2 – Nakopičenje brahiopodnih lupin v zgornjem delu zapolnitve kanala; 3 – Obremenitvena tekstura pod klastom (konica kemičnega svinčnika), padlim v tedaj še mehak sediment in izravnava nastalega reliefa s plastmi močno bituminoznega dolomita; 4 – Menjavanje črnih, močno bituminoznih dolomitov s plastmi svetlega dolomita (morda znamenje menjavanja obdobja omejene in dobre vodne cirkulacije); 5 – Dolomit s kanalnimi teksturami.

1 – Close-up photo of the upper part of the quarry; 2 – Concentration of brachiopod-shells in the upper part of the channel-fill; 3 – Load cast caused by the clast (at the point of the pen) falling in an un-lithified sediment; 4 – Interchanging of dark, bituminous dolostone with beds of light-gray dolostone (perhaps pointing at the interchange of times with restricted and open water circulation); 5 – Channel structures.



TABLA 1 – PLATE 1



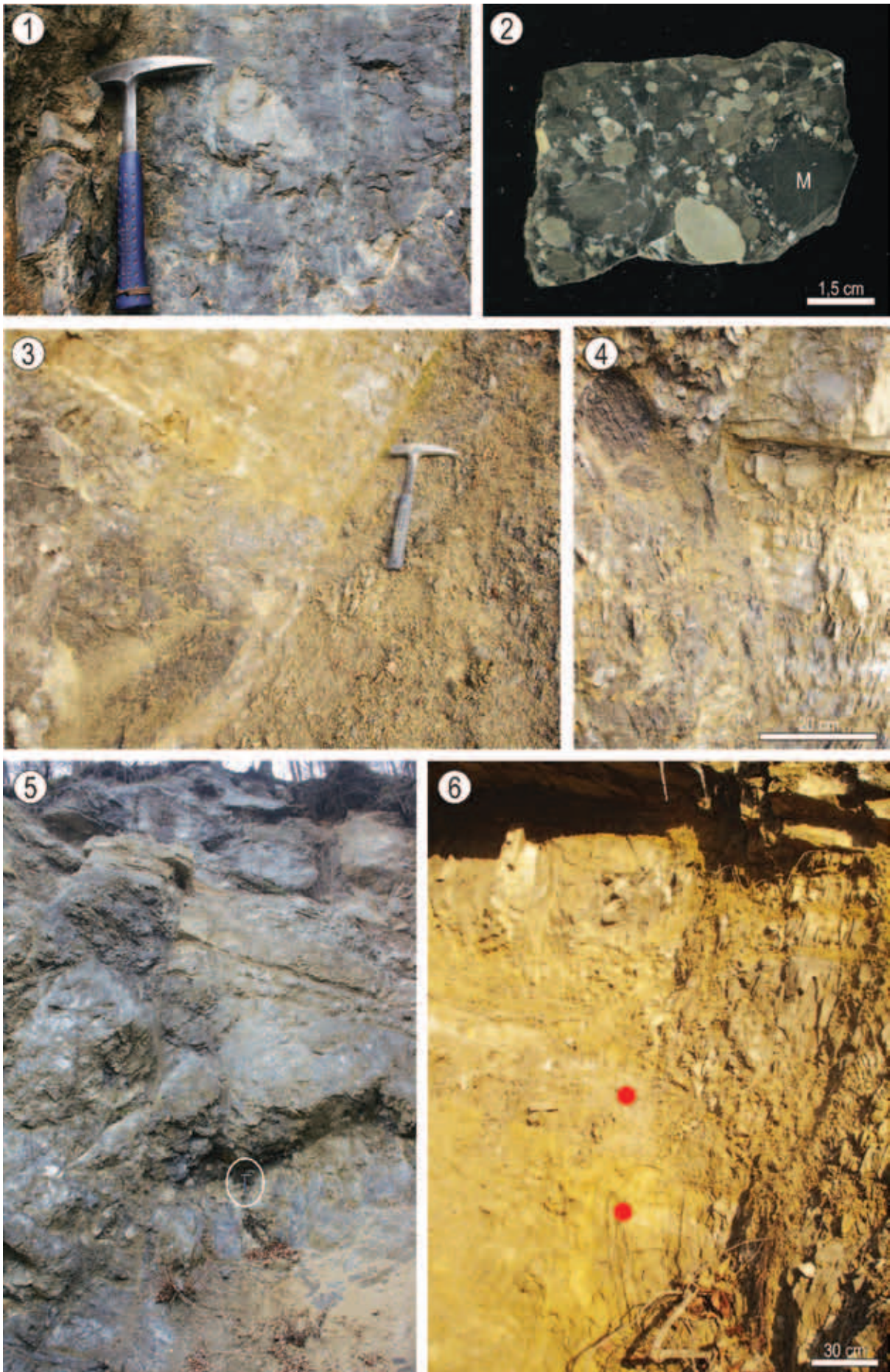
- COZZI, A. & HARDIE, L. A. 2003: Third-order depositional sequences controlled by synsedimentary extensional tectonics: evidence from Upper Triassic carbonates of the Carnian Prealps (NE Italy). *Terra Nova*, 15/1: 40-45, doi:10.1046/j.1365-3121.2003.00461.x.
- COZZI, A. & PODDA, F. 1998: A platform to basin transition in the Dolomia principale of the M. Pramaggiore area, Carnia Prealps, northern Italy. *Mem. Soc. Geol. It.*, 53: 387-402.
- ČAR, J. 2010: Geološka zgradba idrijsko-cerkljanskega hribovja. Tolmač h Geološki karti idrijsko-cerkljanskega hribovja med Stopnikom in Rovtami 1 : 25 000. Geološki zavod Slovenije, Ljubljana: 127 p.
- GALE, L. 2010: Microfacies analysis of the Upper Triassic (Norian) "Bača Dolomite": early evolution of the western Slovenian Basin (eastern Southern Alps, western Slovenia). *Geol. Carpathica*, 61: 293-308.
- GALE, L., ŠMUC, A., KOLAR-JURKOVŠEK, T., SKABERNE, D., CELARC, B., ČAR, J. & ROŽIČ, B. 2012: Norian-Rhaetian sedimentary evolution of the Slovenian Basin (eastern Southern Alps). *Geophys. Res. Abstracts (EGU General Assembly 2012)*, 14.
- GIANOLLA, P., DE ZANCHE, V. & ROGHI, G. 2003: An Upper Tuvolian (Triassic) platform-basin system in the Julian Alps: the start-up of the Dolomia Principale (Southern Alps, Italy). *Facies*, 49: 125-150, doi:10.1007/s10347-003-0029-7.
- GOLONKA, J. 2007: Late Triassic and Early Jurassic palaeogeography of the world. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 244: 297-307, doi:10.1016/j.palaeo.2006.06.041.
- GRAD, K. & FERJANČIČ, L. 1974: Osnovna geološka karta SFRJ 1 : 100 000, Kranj L 33-65. Zvezni geološki zavod, Beograd.
- GRAD, K. & FERJANČIČ, L. 1976: Tolmač za list Kranj L 33-65. Zvezni geološki zavod, Beograd: 70 p.
- HAAS, J. 2002: Origin and evolution of Late Triassic backplatform and intraplateform basins in the Transdanubian Range, Hungary. *Geol. Carpathica*, 53/3: 159-178.
- HAAS, J. & BUDAI, T. 1999: Triassic sequence stratigraphy of the Transdanubian Range (Hungary). *Geol. Carpathica*, 50/6: 459-475.
- HAAS, J., KOVÁCS, S., KRYSZYN, L. & LEIN, R. 1995: Significance of Late Permian-Triassic facies zones in terrane reconstructions in the Alpine-North Pannonian domain. *Tectonophysics*, 242: 19-40, doi:10.1016/0040-1951(94)00157-5.
- KASTELIC, V., VRABEC, M., CUNNINGHAM, D. & GOSAR, A. 2008: Neo-Alpine structural evolution and present-day tectonic activity of the eastern Southern Alps: The case of the Ravne Fault, NW Slovenia. *J. Struct. Geol.*, 30: 963-975.
- KEIM, L., BRANDNER, R. 2001: Facies interfingering and synsedimentary tectonics on late Ladinian-early Carnian carbonate platforms (Dolomites, Italy). *J. Earth Sci. (Geol. Rund.)*, 90: 813-830, doi:10.1007/s005310000192.
- KOLAR, T. 1979: Konodonti v škofjeloškem apnenecu na Šmarjetni gori. *Geologija*, 22/2: 309-325.
- KOLAR-JURKOVŠEK, T. 1991: Mikrofavna srednjega in zgornjega triasa Slovenije in njen biostratigrafski pomen. *Geologija*, 33: 21-170.
- KOLAR-JURKOVŠEK, T. 2011: Latest Triassic conodonts of the Slovenian Basin and some remarks on their evolution. *Geologija*, 54/1: 81-90, doi:10.5474/geologija.2011.006.
- KOZUR, H. 2003: Integrated ammonoid-, conodont and radiolarian zonation of the Triassic. *Hallesches Jahrb. Geowiss.*, 25: 49-79.
- KRYSZYN, L., LEIN, R., SCHLAF, J. & BAUER, F. K. 1994: Über ein neues obertriadisch-jurassisches Intraplattformbecken in den Südkarawanken. *Jubiläumsschrift 20 Jahre Geologische Zusammenarbeit Österreich-Ungarn*, 2: 409-416.
- KRYSZYN, L., MANDL, G. W. & SCHAUER, M. 2009: Growth and termination of the Upper Triassic platform margin of the Dachstein area (Northern Calcareous Alps, Austria). *Austrian J. Earth Sci.*, 102: 23-23.
- MARTIN-ROJAS, I., SOMMA, R., DELGADO, F., ESTÉVEZ, A., IANNACE, A. & ZAMPARELLI, V. 2011: The triassic platform of the Gador-Turon unit (Alpujarride complex, Betic Cordillera, southeast

## TABLA 2 – PLATE 2

1 – Terenska fotografija klasta v breči; 2 – Odrezan in zbrušen kos zrnsko podprte breče. Vidna je različna sestava in zaobljenost klastov. V dolomikritni klast na desni (M) so vtisnjena druga zrna, kar kaže na preložitev klasta v še mehkejšem stanju (plastiklast); 3 – Prelom 1. Geološka meja med brečami (spodaj) in tankoplastnatimi dolomiti (zgoraj) je na desni strani preloma premaknjena navzgor za 1,5 m, zato je tam vidna samo breča; 4 – Prelom 2. Na fotografiji so ob prelomu v stiku tankoplastnatih dolomitov in debela plast dolomitiziranega kalkarenita (desno) s stratigrafsko starejšimi brečami (levo); 5 – Fotografija vzhodne strani kamnoloma s prelomoma 2 in 3 (obkroženo kladiivo); 6 – Navidezni premik plasti s horizontom belega roženca (rdeči piki) v nadaljevanju preloma 1 pod masivno dolomitno plastjo. Premaknjene so tudi plasti med označeno plastjo in masivnim dolomitom, medtem ko spodnja meja slednjega ni prekinjena.

1 – Field photo of a clast in the breccia; 2 – Cut and polished slab of clast-supported breccia. Several different types and roundness of clasts are visible. Several smaller clasts are embedded in the micritic clast on the right-hand side of the photo (M), proving it was still un-lithified prior to transport; 3 – Fault no. 1. The geological boundary between the breccias (below) and thin-bedded dolostones (above), visible to the left of the fault, is 1.5 m higher on the right-hand side of the fault; 4 – Fault no. 2. The contact between thin-bedded dolostones and the thick bed of dolomitized calcarenite (on the right-hand side of the fault) and the stratigraphically older breccias (to the left of the fault) is visible on the photo; 5 – Photo of the eastern side of the quarry with faults no. 2 and 3 (circled geological hammer); 6 – Displacement of the bed with the level of white chert (red dots) in the extension of fault no. 1 below the massive dolomite bed. Note that beds between the marked and the massive bed are displaced as well, while the lower boundary of the massive bed continuously covers the fault.

TABLA 2 – PLATE 2



- Spain): climate versus tectonic factors controlling platform architecture. *Facies*, 58/2: 297-323, doi:10.1007/s10347-011-0275-z.
- MLAKAR, I. & ČAR, J. 2009: Geološka karta idrijsko-cerkljanskega hribovja med Stopnikom in Rovtami 1:25.000. Geološki zavod Slovenije, Ljubljana.
- MLAKAR, I. & DROVENIK, M. 1971: Strukturne in genetske posebnosti idrijskega rudišča. *Geologija*, 14: 67-126.
- OGORELEC, B. & ROTHE, P. 1993: Mikrofazies, Diagenese und Geochemie des Dachsteinkalkes und Hauptdolomits in Süd-West-Slowenien. *Geologija*, 35: 81-181.
- SCHMID, S. M., BERNOULLI, D., FÜGENSCHUH, B., MATEMCO, L., SCHEFER, S., SCHUSTER, R., TISCHLER, M. & USTASZEWSKI, K. 2008: The Alpine-Carpathian-Dinaric orogenic system: correlation and evolution of tectonic units. *Swiss J. Geosci.*, 101: 139-183, doi:10.1007/s00015-008-1247-3.
- PLACER, L. 1999: Contribution to the macro-tectonic subdivision of the border region between Southern Alps and External Dinarides. *Geologija*, 41: 223-255, doi:10.5474/geologija.1998.013.
- PLACER, L. 2008: Principles of the tectonic subdivision of Slovenia. *Geologija*, 51/2: 205-217, doi:10.5474/geologija.2008.021.
- ROŽIČ, B. 2006: Stratigrafija, sedimentologija in geokemija jurskih plasti zahodnega dela Slovenskega jarka, Doktorska disertacija. Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta, Oddelek za geologijo, Ljubljana: 149 p.
- ROŽIČ, B. 2009: Perbla and Tolmin formations: revised Toarcian to Tithonian stratigraphy of the Tolmin Basin (NW Slovenia) and regional correlations. *Bull. Soc. Geol. France*, 180/5: 409-423, doi:10.2113/gssgfbull.180.5.411.
- ROŽIČ, B., KOLAR-JURKOVŠEK, T. & ŠMUC, A. 2009: Late Triassic sedimentary evolution of Slovenian Basin (eastern Southern Alps): description and correlation of the Slatnik Formation. *Facies*, 55/1: 137-155, doi:10.1007/s10347-008-0164-2.
- SCHLAF, J., LEIN, R. & KRYSSTYN, L. 1997: Sequence stratigraphy of Upper Triassic carbonate platform margins in the Julian Alps (Slovenia) – an example for tectonic control on the development of systems tracts. *Gaea Heidelberg*, 3: 303-304.
- STAMPFLI, G. M. & BOREL, G. D. 2004: The TRANSMED transects in space and time: Constraints on the paleotectonic evolution of the Mediterranean Domain. In: CAVAZZA, W. et al. (eds.): The TRANSMED atlas, the Mediterranean region from crust to mantle. Springer-Verlag: 53-90.
- STAMPFLI, G. M. & KOZUR, H. W. 2006: Europe from the Variscan to Alpine cycles. In: GEE, D. G. & STEPHENSON, R. A. (eds.): European Lithosphere Dynamics. *Geol. Soc. Mem.*, 32, 57-82.
- STAMPFLI, G. M. & MOSAR, J. 1999: The making and becoming of Apulia. *Mem. Sci. Geol.*, 51/1: 141-154.
- ŠMUC, A. & ČAR, J. 2002: Upper Ladinian to Lower Carnian sedimentary evolution in the Idrija-Cerkno region, western Slovenia. *Facies*, 46: 205-216, doi:10.1007/BF02668081.
- ŠMUC, A. & ROŽIČ, B. 2009: Tectonic geomorphology of the Triglav Lakes Valley (easternmost Southern Alps, NW Slovenia). *Geomorphology*, 103/4: 597-604, doi: 10.1016/j.geomorph.2008.08.005.
- TARI, V. 2002: Evolution of the northern and western Dinarides: a tectonostratigraphic approach. *EGU Stephan Mueller Spec. Publ. Ser. (European Geosci. Union)*, 1: 223-236.
- VLAHOVIĆ, I., TIŠLJAR, J., VELIĆ, I. & MATIČEC, D. 2005: Evolution of the Adriatic Carbonate Platform: Palaeogeography, main events and depositional dynamics. *Palaeogeogr., Palaeoclimatol., Palaeoecol.*, 220: 333-360, doi:10.1016/j.palaeo.2005.01.011.
- VRABEC, M. & FODOR, L. 2006: Late Cenozoic tectonics of Slovenia: structural styles at the Northeastern corner of the Adriatic microplate. In: PINTER, N. et al. (eds.): The Adria microplate: GPS geodesy, tectonics and hazards. *NATO Sci. Ser., IV, Earth and Environ. Sci.* 61: 151-168.