

# From shallow-water carbonate ramp to hemipelagic deep-marine carbonate deposition: Part 2. Sirogojno (Klisura quarry) – the reference section of the Middle to Late Anisian Bulog sedimentary succession in the Inner Dinarides (SW Serbia)

MILAN SUDAR<sup>1</sup>, HANS-JÜRGEN GAWLICK<sup>2</sup>, IOAN I. BUCUR<sup>3</sup>,  
DIVNA JOVANOVIĆ<sup>4</sup>, SIGRID MISSONI<sup>2†</sup> & RICHARD LEIN<sup>5</sup>

GEOLOŠKI ANALI BALKANSKOGA POLUOSTRVA

Volume 84 (2), December 2023, 41–70

<https://doi.org/10.2298/GABP230403007S>

Original scientific paper

Оригинални научни рад

**Abstract.** The Middle to Late Anisian sedimentary succession preserved in the Klisura quarry in Sirogojno (Zlatibor Mt., SW Serbia) preserves the most complete deepening depositional history in the Inner Dinarides in Serbia. In this section, extensional tectonic movements that took place in connection with the Neo-Tethys break-up are reflected in the exceptional well-preserved record of the depositional history. The Pelsonian Ravni Formation at the base of the section is dissected by two generations of neptunian dikes formed in A) the late Pelsonian, and B) the late Illyrian. Above the late Pelsonian drowning unconformity a deepening trend of the depositional environment is mirrored by the litho- and microfacies characteristics of the more than 21 meter thick red nodular limestones of the Bulog Formation. Periods of starvation with deposition of Fossilagerstätten beds and hardgrounds mark characteristic changes in deposition. Two phases of distinct tectonic motions result in unconformities and a stepwise deepening of the depositional realm. The first and major unconformity is the drowning surface on the top of the Ravni Carbonate Ramp which led to the nearly total demise of shallow-water carbonate production, i.e. the change in deposition from shallow- to deep-water limestones. The second phase of tectonic motions is expressed by the formation of an angular unconformity after a phase of starvation in the basin. No Bulog Limestone section in the Dinarides, even not in the type region near Sarajevo, preserves all these characteristic sedimentological features as preserved in the Klisura quarry section in Sirogojno. Therefore this section is proposed to be the reference section for the sedimentological evolution and depositional environment reconstruction of the Bulog Formation in the Inner Dinarides, located in SW Serbia.

## Key words:

*Triassic, Tethys, Conodonts, Foraminifera, Microfacies, Palaeogeography.*

**Апстракт.** Средњо до касно анизијска седиментна сукцесија сачувана у каменолому Клисура у близини села Сирогојно (планина Златибор, ЈЗ

<sup>1</sup> Serbian Academy of Sciences and Arts, Knez-Mihailova 35, 11000 Belgrade, Serbia. E-mail: milan.sudar1946@gmail.com

<sup>2</sup> Montanuniversität Leoben, Department of Applied Geosciences and Geophysics, Petroleum Geology, Peter-Tunner-Strasse 5, 8700, Leoben, Austria. E-mail: gawlick@unileoben.ac.at

<sup>3</sup> Babeş-Bolyai University, Department of Geology and Center for Integrated Geological Studies, M. Kogălniceanu str. 1, 400084 Cluj-Napoca, Romania. E-mail: ioan.bucur@ubbcluj.ro

<sup>4</sup> Milovana Milovanovića 5, 11000 Belgrade, Serbia, E-mail: djdivna@gmail.com

<sup>5</sup> University of Vienna, Centre for Earth Sciences, Althanstrasse 14, 1090 Vienna, Austria, E-mail: richard.lein@univie.ac.at

Србија), представља најкомплетнију депозициону историју продубљавања у Унутрашњим Динаридима Србије. На овом локалитету тектонски покрети у оквиру разламања Неотетиса огледају се у депозиционој историји са изузетно добро очуваним детаљима. Пелсонска Формација Равни је у бази стуба испресецана са две генерације нептунских дајкова различите старости које су настале у: А) касном пелсону, и Б) у касном илиру. Изнад касно пелсонског дисконтинуитета потапања тренд продубљавања депозиционе средине се огледао кроз лито- и микрофацијалне карактеристике сукцесије црвених нодуларних кречњака Формације Булог дебеле више од 21 m. Временски распони осиромашења са депозицијом Fossilagerstätten слојева и хардграундима маркирали су карактеристичне промене у депозицији. Две фазе различитих тектонских покрета означене су дисконтинуитетима и постепеним продубљавањем депозиционог подручја. Први и главни дисконтинуитет је потапање карбонатне рампе Равни и скоро тотални нестанак плитководне карбонатне продукције, тј. промена у депозицији од плитко до дубоководних кречњака. Друга фаза тектонских покрета наглашена је настанком угаоног дисконтинуитета после фазе осиромашења басена. Овако типичне седиментолошке карактеристике Булошких кречњака које су сачуване у стубу каменолома Клисура у Сирогојну, не постоје на другим локалитетима у Динаридима, чак ни у старом типском локалитету код Сарајева. Из тог разлога стуб у каменолому Клисура у Сирогојну (ЈЗ Србија) означен је као референтни стуб седиментолошке еволуције и депозиционе просторне реконструкције Формације Булог у Унутрашњим Динаридима.

**Кључне речи:**

*тријас, Тетис, конодонти, форминифери, микрофације, палеогеографија.*

## Introduction

To understand the tectonostratigraphy of a region detailed studies on sedimentary successions provide the possibility to reconstruct the overall geodynamic and plate tectonic history of lost oceanic domains. Tectonic motions, even in plate tectonic scale, are mirrored in changes of the depositional characteristics. The opening of the Neo-Tethys Ocean since the Middle Anisian is expressed in the change of deposition from shallow- to deep-water limestones elsewhere in the Western Tethys Realm (SUDAR et al., 2013; GAWLICK et al., 2021 and references therein). A detailed analysis and description of all sedimentological features provide therefore the possibility for a more precise reconstruction of such geodynamic changes. Furthermore, such detailed analyses may provide the base for the definition of the lithostratigraphic units, i.e. formations as the only base for mapping and understanding newly formed geometries on a regional scale.

Despite more than 150 years of intensive studies of the Mesozoic series and among them the Anisian

ones in the Inner Dinarides, not all characteristic features, and their reasons were worked out in detail, but needed for the reconstruction of the depositional history. The deep-water Bulog Formation deposited above the shallow-water Ravni Carbonate Ramp is a key formation for understanding the geodynamic evolution of the Inner Dinarides, and especially the early opening history of the Neo-Tethys Ocean.

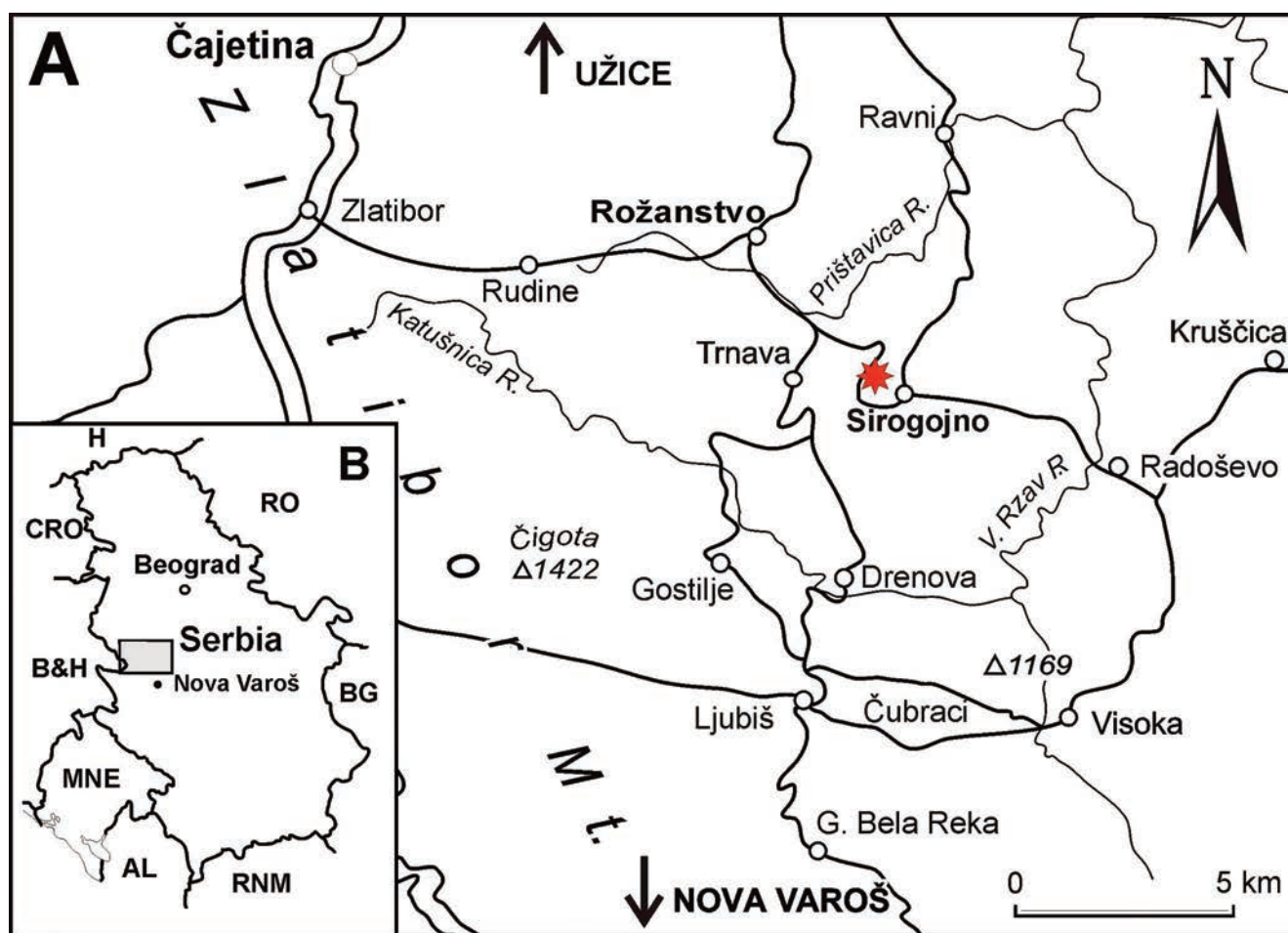
Recently achieved new data from different areas of the European Tethysides for Pelsonian-Illyrian times (GAWLICK et al., 2021), and a recent recalibration of the biostratigraphic age ranges of conodonts (CHEN et al., 2015) resign in the necessity to reevaluate the previously published results on the Bulog Limestone successions also in the Inner Dinarides, Serbia. Even if the age ranges of some conodont species in CHEN et al. (2015) are differently used to other recently published conodont age ranges (ORCHARD, 2010; KILIÇ et al., 2017; PLASENICIA et al., 2018; SMIRČIĆ et al., 2018; KILIÇ, 2021) and seem therefore to be slightly inaccurate, the biostratigraphic age of every conodont assemblage is very exact. The slightly revised

conodont biostratigraphic age ranges of CHEN et al. (2015) are based on an intercalibration between North America and Tethyan ammonoid zones (details in CHEN et al., 2015).

One of the classical Bulog Limestone successions is the Klisura quarry section in Sirogojno (SUDAR et al., 2013 and references therein) (Fig. 1). Compared with other Bulog successions in SW Serbia (GAWLICK et al., 2023) the Middle-Late Anisian section in Sirogojno (Klisura quarry, Fig. 3) is the most complete one in the Serbian Inner Dinarides. In addition to the drowning unconformity, two levels of condensed cephalopod-rich layers (Fossilagerstätten: see WENDT, 1973 and references therein;

MUDRENOVIĆ, 1995), the tilting event at the middle/late Illyrian boundary, and two generations of neptunian dikes formed A) in the late Pelsonian and B) in the late Illyrian are well preserved. In this section, based on well-dated characteristic lithological and microfacies features the Bulog Formation can be subdivided into three members (Fig. 3).

The section is preserved in a resedimented huge slide block in the Sirogojno carbonate-clastic Mélange (MISSONI et al., 2012; SUDAR et al., 2013; GAWLICK et al., 2017) above the parautochthonous sedimentary successions of the East Bosnian-Durmitor megaunit (for details and discussion see GAWLICK et al., 2023, and references therein).



**Fig. 1.** A. Geographic sketch map with the position of the studied section Sirogojno (Klisura quarry) in the Zlatibor Mt. area in SW Serbia, marked by a red star. B. Geographic position of the studied section in southwest Serbia. Abbreviations: H–Hungary, RO–Romania, BG–Bulgaria, RNM–Republic of Northern Macedonia, AL–Albania, MNE–Montenegro, B&H–Bosnia and Herzegovina, CRO–Croatia. **Сл. 1.** A. Географска скица положаја истраживаног локалитета Сирогојно (каменолом Клисура) у области планине Златибор у ЈЗ Србији, означено црвеном звездицом. B. Географска позиција студираниог локалитета у југозападној Србији. Скраћенице: H–Мађарска, RO–Румунија, BG–Бугарска, RNM–Република Северна Македонија, AL–Албанија, MNE–Црна Гора, B&H–Босна и Херцеговина, CRO–Хрватска.



**Fig. 2.** Section Sirogojno (Klisura quarry) during ongoing exploitation in the period 1980-2019. **1980:** the situation in the quarry documented by M.N. ДИМИТРИЈЕВИЋ and M.D. ДИМИТРИЈЕВИЋ. **2007:** the situation in the quarry in the years 2005-2010 with only slight modifications. Most samples presented in this study were taken during this time span. **2017:** due to ongoing exploitation some contacts between the Ravni Formation and the Bulog Formation do not exist anymore. Especially the late Pelsonian shallow water turbidites on top of the Ravni Formation, which occur only locally and are documented here in this study, were not outcropping anymore after the year 2010. **2019:** the exploitation focused on the Ravni Formation with neptunian dikes and the overlying late Pelsonian part of the Bulog Formation. (Photos by M.D. Dimitrijević (1980), H.-J. Gawlick (2007, 2017) and D. Jovanović (2019).

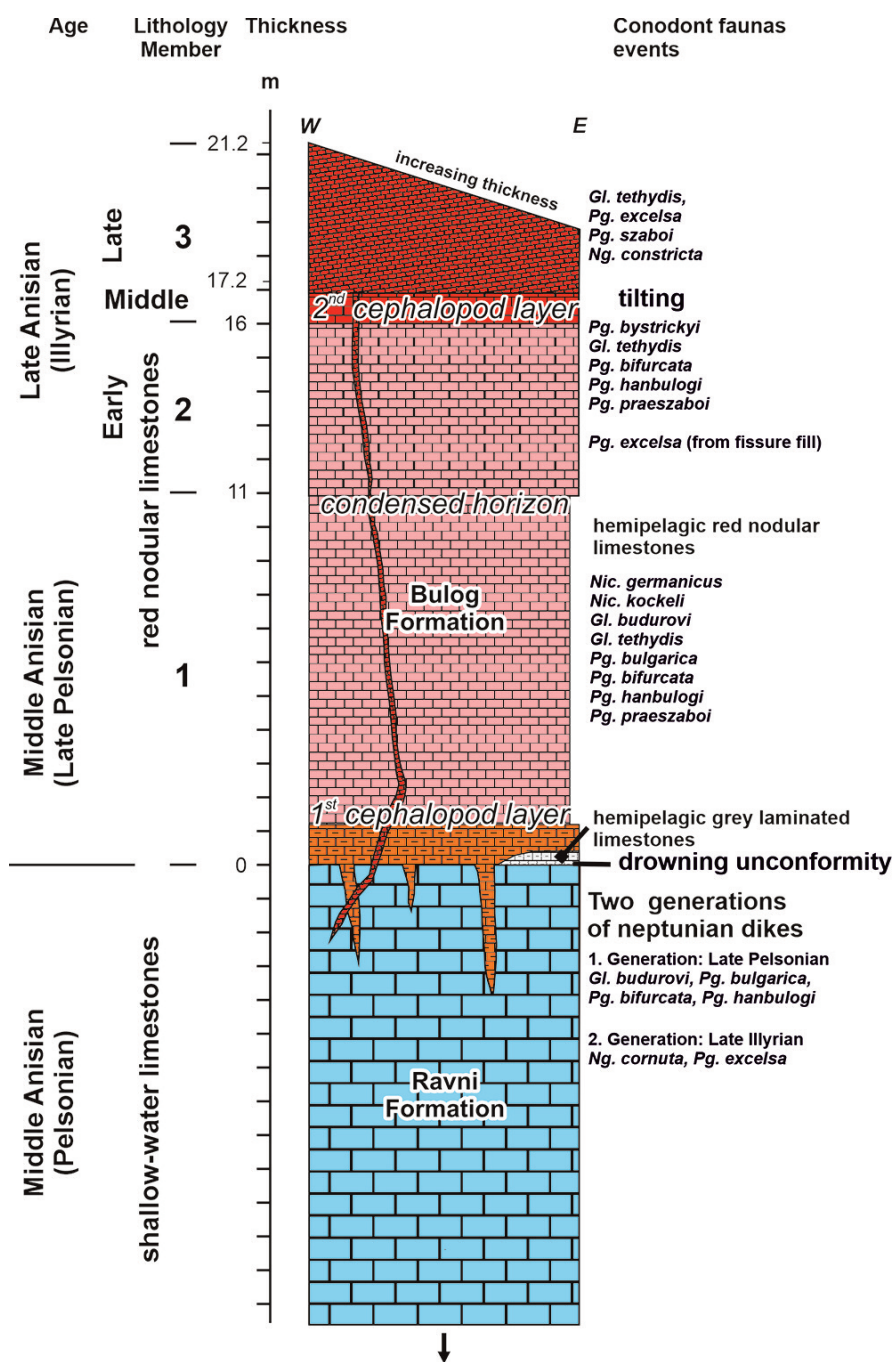
**Сл. 2.** Локалитет Сирогојно (каменолом Клисуре) током експлоатација у периоду од 1980 до 2019. године. **1980:** ситуација у каменолому документована од стране М.Н. ДИМИТРИЈЕВИЋ и М.Д. ДИМИТРИЈЕВИЋ. **2007:** ситуација у каменолому у годинама 2005-2010 само са малим модификацијама. Већина проба приказаних у овој студији узета је у том временском периоду. **2017:** услед експлоатационих радова неки контакти између формација Равни и Булога више не постоје. Посебно, изданци касно пелсонских плитководних турбидита са врха Формације Равни, који се појављују само локално и који су документовани у овој студији, нису више нађени после 2010. године. **2019:** експлоатација је фокусирана на Формацију Равни са нептунским дајковима и повлатним касно пелсонским делом Формације Булог. (Фотографије: М.Д. Димитријевић (1980), Х.-Ј. Гавлик (2007, 2017) и Д. Јовановић (2019).

## Results

### The Middle to Late Anisian section in the Klisura quarry

The most complete Bulog sedimentary succession (Bulog Formation *sensu stricto* – see SUDAR et al.,

2023) in the Inner Dinarides is preserved in Sirogojno (Klisura quarry, Figs. 2, 3) (DIMITRIJEVIĆ et al., 1981; DIMITRIJEVIĆ & DIMITRIJEVIĆ, 1991; SUDAR, 1996; SUDAR et al., 2013). The section is located east of the road between Sirogojno and Rožanstvo in the gorge of the Dedovića Creek (N 43°41'44.1" E 19°51'54.5"; Fig. 1). The section in the Klisura quarry



**Fig. 3.** Pelsonian to late Illyrian sedimentary succession in the Klisura quarry in the Sirogojno area: measured section and biostratigraphic ages modified after SUDAR et al. (2013). Conodonts from SUDAR et al. (2013), with few new samples added. Revised conodont ages of the different members of the Bulog Formation, and the neptunian dike infillings according to CHEN et al. (2015). Abbreviations for conodont genera: *Gl.*=*Gladigondolella*, *Ng.*=*Neogondolella*, *Nic.*=*Nicoraella*, *Pg.*=*Paragondolella*.

Сл. 3. Пелсонска до касно илirsка седиментна сукцесија у каменолому Клисура у области села Сирогојно: мерења на локалитету и биостратиграфске одредбе модификоване су према SUDAR et al. (2013). И конодонти су, уз неколико додатих проба, такође датирани према SUDAR et al. (2013). Ревидирана старост конодоната из различитих јединица Формације Булог и испуњења нептунских дајкова су према CHEN et al. (2015). Скраћенице конодонтских родова су дате у енглеском тексту слике.

preserves all Middle to Late Anisian sedimentological characteristics and can be used as a reference section for the Bulog Limestone evolution in the Dinarides.

As one of the most famous and picturesque Triassic formations in the whole Dinarides, the Bulog Limestone has been exploited for many years, (with occasional interruptions – ČALDOVIĆ, 2015), as construction/decorative stone, formerly well-known under its commercial name “Red Sirogojno” (DIMITRIJEVIĆ et al., 1981; DIMITRIJEVIĆ & DIMITRIJEVIĆ, 1991). During exploitation, the situation in the quarry changed and consequently, some parts of the measured and documented section presented by SUDAR et al. (2013) do not exist anymore.

In the current paper in the description and documentation of the age diagnostic conodont faunas of the studied succession we applied the results of SUDAR (1996), SUDAR et al. (2013), and GAWLICK et al. (2017). However, the results of studies on samples collected between 2013–2019 were also taken into account.

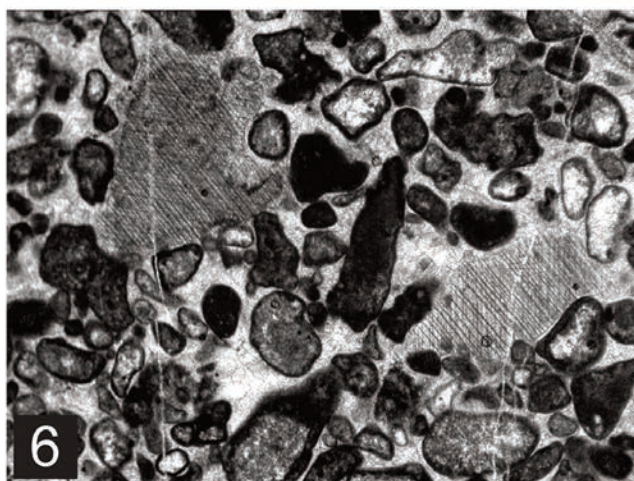
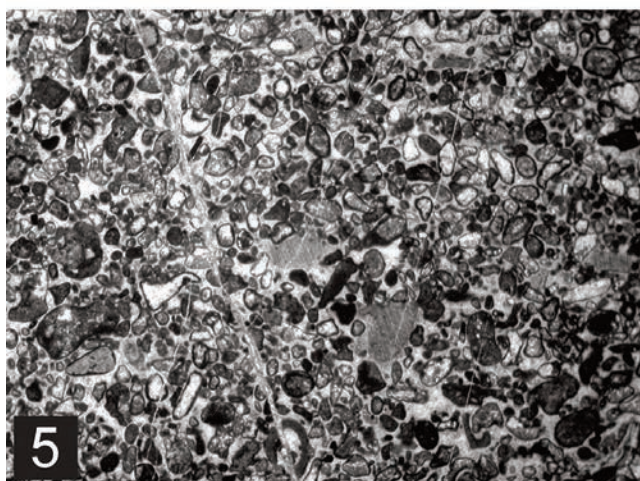
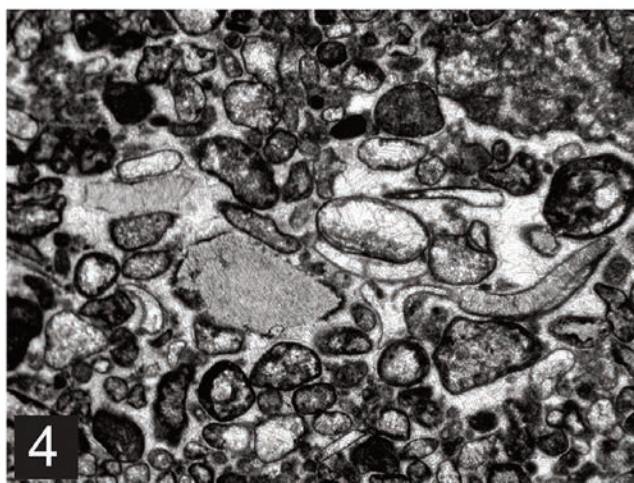
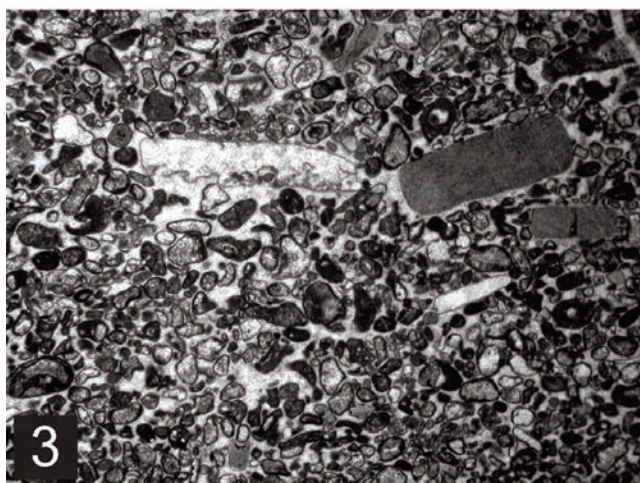
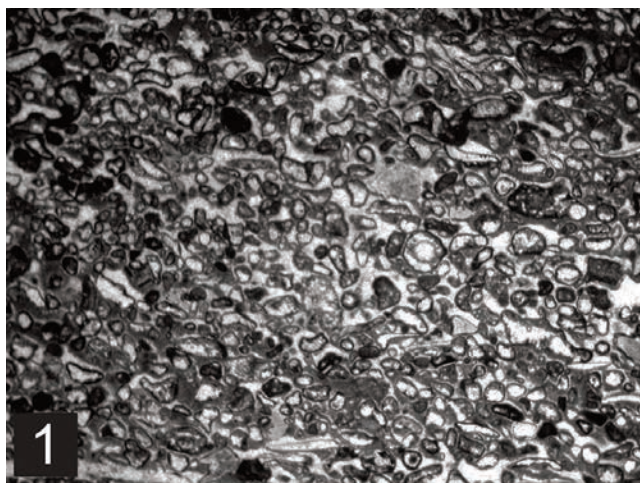
The herein-described post-drowning sequence with a total thickness of up to 21,2 m (Fig. 3) resembles that which was observed in 2010 and described by SUDAR et al. (2013) and GAWLICK et al. (2017). During ongoing exploitation, some of the previ-

ously poorly exposed features could be better studied whereas other features are becoming unexposed. However, the most characteristic features of the facies evolution can be studied in the actual quarry.

Whereas in the Klisura quarry section, the late Pelsonian Bulog Limestone can be distinguished from the early Illyrian one by some characteristic sedi-

mentological features, in most of the other Bulog Limestone successions, a distinction of these 2 members and even the late Illyrian member 3 (see KITTL, 1904: “Starygrader Knollenkalke”) is very difficult (GAWLICK et al., 2012, 2017; SUDAR et al., 2013).

Nevertheless, for the detailed reconstruction and understanding of the late Pelsonian–Illyrian geody-



namic history, mirrored in the different stages of deposition preserved in the whole Bulog Limestone succession (compare KITTL, 1904) a subdivision of the Bulog Formation in three members (described in detail below) is necessary and helpful.

## Pelsonian Ravni Formation and neptunian dikes

The Anisian sedimentary succession (Fig. 3) starts with shallow-water limestones of the middle Anisian Ravni (Steinalm) Carbonate Ramp (Dedovići Member of the Ravni Formation – SUDAR et al., 2008, 2013). The typical microfacies of the Dedovići Member (Fig. 4) are shallow-marine grainstones, in the uppermost part with crinoids, bivalve shells, foraminifera, and calcareous algae (*Physoporella* sp. – GAWLICK et al., 2017). In the upper part of the Dedovići Member, characterized by more open marine influence (e.g., the occurrence of crinoids, dasycladalean algae, and foraminifera instead of predominantly microbial clasts) two generations of neptunian dikes can be observed (Figs. 5, 6). The

neptunian dikes (up to 4 m long and 20 cm wide) are filled by grey-reddish and reddish hemipelagic mud of the Bulog Formation. At least two different fissure generations of neptunian dikes can be distinguished and dated by conodonts (SUDAR & GAWLICK, 2022):

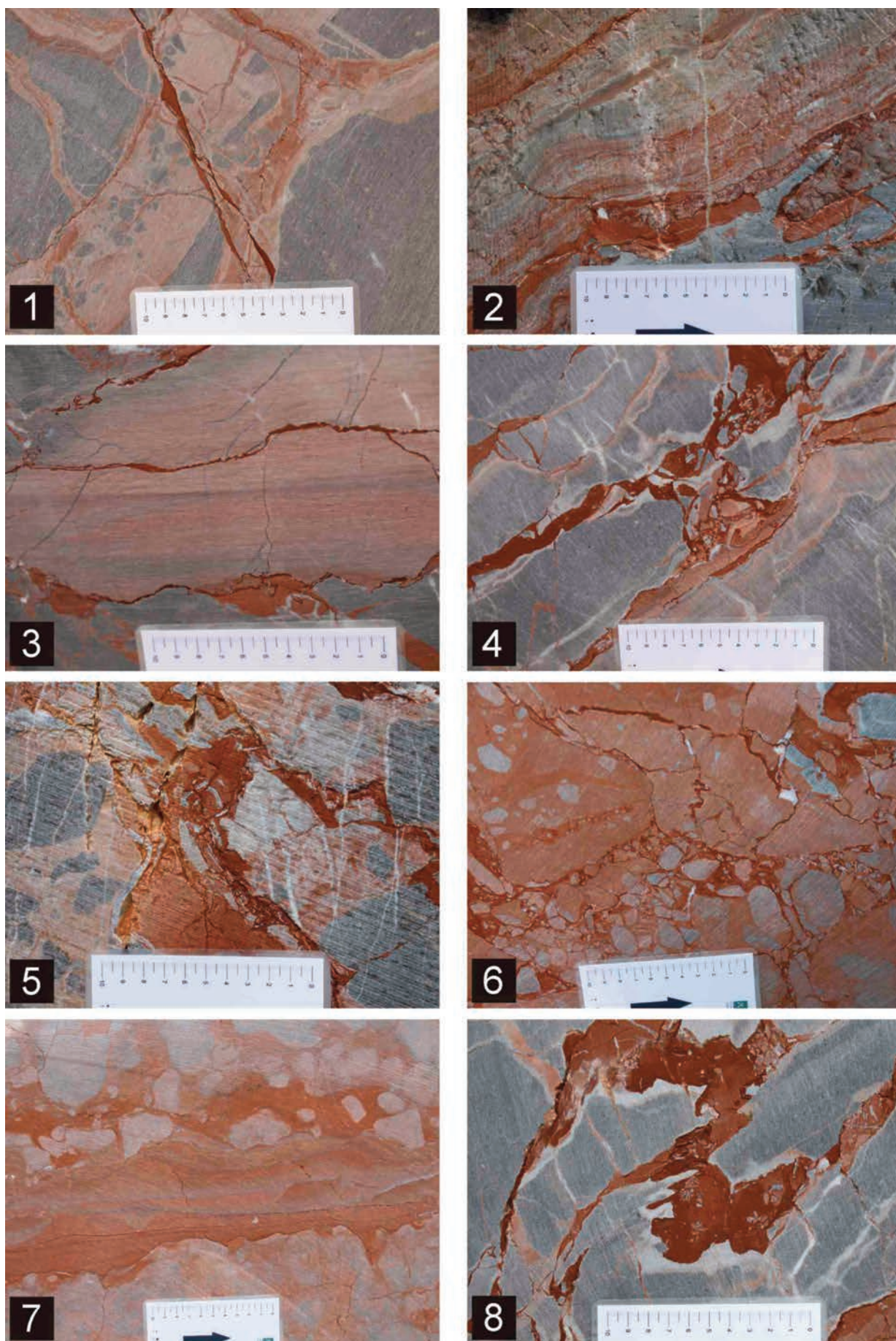
1. Generation: late Pelsonian – *Gladigondolella budurovi* KOVÁCS & KOZUR, *Paragondolella bifurcata* BUDUROV & STEFANOV, *Paragondolella bulgarica* BUDUROV & STEFANOV, *Paragondolella hanbulogi* SUDAR & BUDUROV;

2. Generation: late Illyrian – *Neogondolella cornuta* BUDUROV & STEFANOV, *Paragondolella excelsa* MOSHER.

The older generation of neptunian dikes is characterized by microbial laminae with precipitated cement along the rims. They are filled with light reddish-grey micrite and contain some shallow-water components and angular clasts from the Dedovići Member (Fig. 7). The late Illyrian infillings consist of red biomicrite with some crinoids, thin-shelled bivalves (“filaments”) and foraminifera (Figs. 7, 8). Microbial layers are also typical.

**Fig. 4.** Previous page: Microfacies of the uppermost part of the Ravni Formation (Dedovići Member) below the drowning sequence, i.e., the pre-drowning phase. **1.** Well-sorted grainstone. Most grains are recrystallized to calcite and surrounded by a micritic envelope. Bivalve and calcareous algae (dasycladalean algae) fragments are common. Sample SCG 53. The width of the photograph is 1.4 cm. **2.** Graded grainstone, tempestite. Besides recrystallized grains with micritic envelope, calcareous algae (dasycladalean algae) fragments, also some encrusted crinoid fragments are visible. Sample SCG 54. The width of the photograph is 1.4 cm. **3.** Grainstone with non-encrusted crinoids, small calcareous algae (dasycladalean algae) fragments. Besides components with micritic envelopes broken bivalve shells with microborings are common. Sample SCG 55. The width of the photograph is 1.4 cm. **4.** Well-sorted grain-supported fabrics with microbial-encrusted crinoid fragments with burrows. Sample SCG 54. The width of the photograph is 0.5 cm. **5.** Grainstone from the highest part of the Dedovići Member with none encrusted crinoids. Most other components are characterized by in some cases relatively thick micritic envelopes. Sample SCG 60. The width of the photograph is 1.4 cm. **6.** Enlargement of 5. Crinoid fragments became more and more common in the uppermost part of the Dedovići Member indicating more and more open marine and deep-marine influence because of the increasing subsidence which can still be counterbalanced by enhanced carbonate production. Sample SCG 60. The width of the photograph is 0.5 cm.

**Сл. 4.** Претходна страна: Микрофације највишег дела Формације Равни (члан Дедовићи) испод потопљене секвенце, тј. препотапајуће фазе. **1.** Добро сортирани грејнстон. Већина зрна су рекристалисала у калцит и окружена микритском овојницом. Фрагменти шкољака и (дазикладацејских) кречњачких алги су чести. Проба SCG 53. **2.** Градирани грејнстон, темпестит. Поред рекристалисалих зрна са микритском овојницом, видљиви су фрагменти кречњачких алги (дазикладацејске алге), а такође и понеки обавијени фрагменти криноида. Проба SCG 54. **3.** Грејнстон са необавијеним криноидима; и малим фрагментима кречњачких алги (дазикладацејске алге). Поред компоненти са микритским овојницама чести су одломци љуштура шкољки са микро шупљинама. Проба SCG 55. **4.** Подлога од добро сортираних зрна са фрагментима криноида обавијеним микробилом са рупама од бушача. Проба SCG 54. **5.** Грејнстон из највишег дела члана Дедовићи са необавијеним криноидима. Многе друге компоненте се у неким случајевима карактеришу релативно дебелим микритским овојницама. Проба SCG 60. **6.** Увећани део сл. 5. Криноидски фрагменти су све учесталији у највишем делу члана Дедовићи указујући на све већи и већи отворено морски и дубокоморски утицај као резултат повећане супсиденце, која још увек може да буде противтежа увећаној продукцији карбоната. Проба SCG 60. Ширина фотографија на 1, 2, 3, 5 је 1.4 cm, а на 4 и 6 је 0.5 cm.





## Bulog Formation: Late Pelsonian – Illyrian

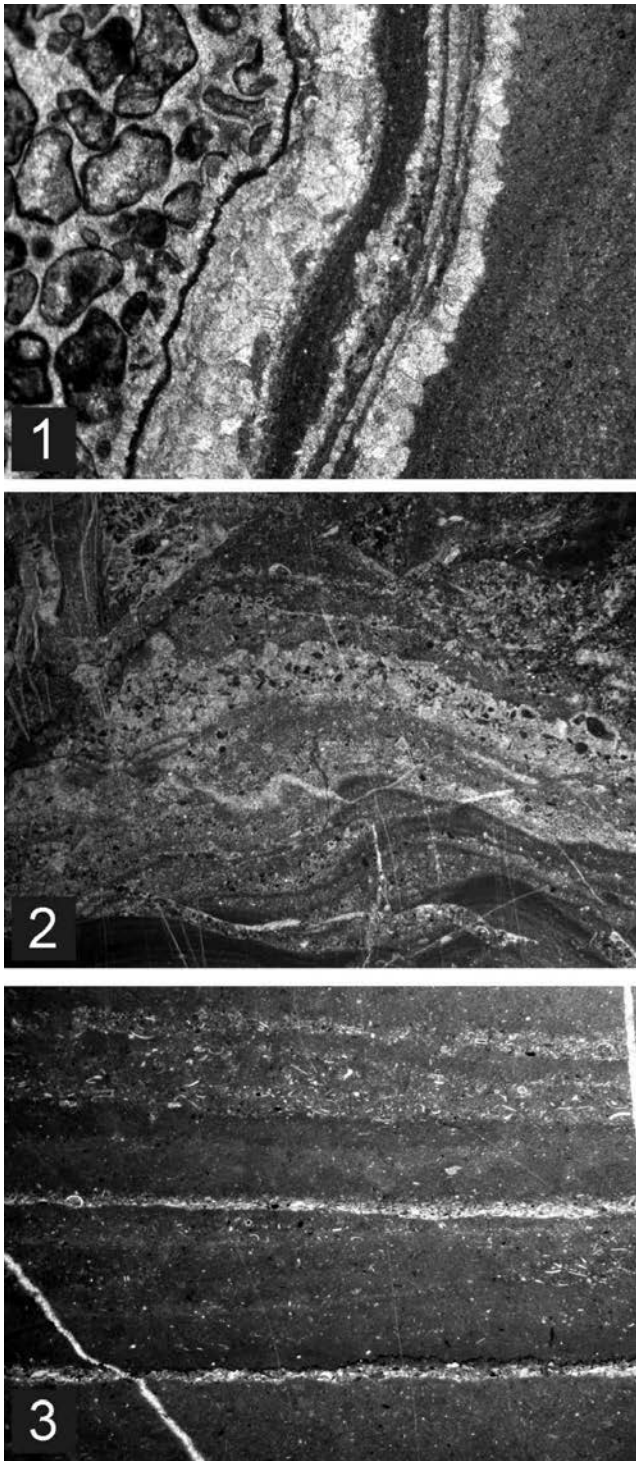
### The drowning succession: Late Pelsonian

The drowning succession (Fig. 3), i.e. the Bulog Formation can be subdivided into 3 members. The 11 m thick late Pelsonian member 1 (Fig. 3) starts with grey to grey-reddish laminated turbiditic

limestones containing resediments (Fig. 8) which are preserved only locally. The lower part of member 1 is up to one meter thick. In some cases, 5–8 centimeter thick grey micritic limestone layers appear, predominantly in its lowermost part containing few peloidal and micrite clasts, fragments of thin-shelled bivalves, and recrystallized grains. These wackestone layers are overlain by hemipelagic grey-reddish laminated limestones, i.e.

**Fig. 5.** Previous page: Macroscopic view of various neptunian dike infillings derived from the Bulog Formation in the Pelsonian shallow-water Ravni Formation (Dedovići Member). The ages of the Bulog Limestone in the fissures are A) Late Pelsonian and B) Late Illyrian (see SUDAR et al., 2013; GAWLICK et al., 2017; and here Fig. 3). **1.** The two generations of neptunian dikes in the uppermost Ravni Formation (Dedovići Member). The older (Late Pelsonian) filling is characterized by a light reddish micrite with few shallow-water components, bioclasts, and angular clasts of the upper Ravni Formation. The younger – Late Illyrian – generation of neptunian dikes crosscut the older neptunian dikes and is filled by red mudstones with rare thin-shelled bivalves. **2.** Layered subhorizontal fissure filling with red micritic mud and greyish-red layers with shallow-water components and organisms besides crinoids and "filaments". This clearly shows that the fissure was filled in several stages during Late Pelsonian times by episodic events affecting the sea bottom. Crinoids indicate in parts hardground formation on top of the Ravni Formation (Dedovići Member). The Late Illyrian neptunian dike infillings are characterized by dark red micritic limestones. **3.** Layered subhorizontal fissure infilling of Late Pelsonian reddish-grey resediments with shallow-water debris and crinoids. The fissures filled with these reddish-grey resediments are crosscut by fissures filled with red micritic Bulog Limestone. **4.** Several generations of fissure fillings in the Pelsonian Dedovići Member. In cases at the rims of the fissures, calcite cement is visible which was formed below microbial mats on the rims of the fissures. **5.** Polyphase creation of the fissures as demonstrated by the different Bulog Limestone types in the fissures. **6.** Polymictic and multiphase resedimented breccia in a neptunian dike. The grey limestone clasts derive from the Pelsonian Dedovići Member. The different Bulog Limestone clasts and the matrix of the Dedovići limestone clasts are of late Pelsonian age and the dark red micrite has an Illyrian age. **7.** Red nodular Bulog Limestone as fissure filling in the Pelsonian Dedovići Member. Between the nodular limestone layers of greyish-red limestones with shallow-water debris were deposited. **8.** Polymictic fissure infilling with calcite cement at the rims of the fissures. Clearly visible is the polyphase genesis of the neptunian dikes. The older ones are filled with reddish-grey biomicrite or calcite cement whereas the younger generation of neptunian dikes is filled with dark red Bulog biomicrite.

**Сл. 5.** Претходна страна: Макроскопски изглед нептунских дајкова са различитим испунама Формације Булог у пелсонској плитководној Формацији Равни (члан Дедовићи). Старост Булошких кречњака у пукотинама је А) касни пелсон и В) касни илир (види SUDAR et al., 2013; GAWLICK et al., 2017; и овде сл. 3). **1.** Две генерације нептунских дајкова у највишем делу Формације Равни (члан Дедовићи). Старију (касно пелсонску) испуну карактеришу светло црвенкасти микрит са неколико плитководних компоненти, биокласти и угласти класти горње Формације Равни. Млађа – касно илирска – генерација нептунских дајкова пресеца старије нептунске дајкове и запуњена је црвеним микритским муљем (мадстоном) са ретким шкољкама танких љуштура. **2.** Слојевита субхоризонтална пукотинска запуна са црвеним микритским муљем и сивкасто-црвеним слојевима са плитководним компонентама и другим организмима, поред криноида и "филамената". Ово јасно показује да је пукотина била запуњена у неколико етапа током касног пелсона епизодним догађајима условљеним морским дном. Криноиди понегде утичу на формирање хардграунда на врху Формације Равни (члан Дедовићи). Касно илирске испуне нептунских дајкова карактеришу тамно црвени микритски кречњаци. **3.** Слојевита субхоризонтална пукотинска испуна касно пелсонских црвенкасто-сивих реседимената са плитководним дебритом и криноидима. Пукотине запуњене са овим црвенкасто-сивим реседиментом су пресечене пукотинама запуњеним црвеним микритским Булошким кречњаком. **4.** Неколико генерација пукотинских испуна у пелсонском члану Дедовићи. Понегде на ободима пукотина видљив је калцитски цемент који се формирао испод микробилних корица на ивицама пукотина. **5.** Полифазно образовање пукотина демонстрирано различитим типовима Булошког кречњака у пукотинама. **6.** Полимиктна и вишефазна реседиментована бреча у пукотини. Сиви кречњачки класти потичу од пелсонског члана Дедовићи. Различити класти Булошког кречњака и матрикс класта кречњака Дедовића су касно пелсонске старости а тамно црвени микрит је илирске старости. **7.** Црвени нодуларни Булошки кречњаци као пукотинска испуна у пелсонском члану Дедовићи. Између нодуларног кречњака депоновани су слојеви сивкасто-црвеног кречњака са плитководним дебритом. **8.** Полимиктна испуна пукотине са калцитским цементом на ободима пукотине. Јасно је видљива полифазна генеза пукотина. Старије пукотине су испуњене црвенкасто-сивим биомикритом или калцитским цементом док је млађа генерација нептунских дајкова испуњена тамно црвеним булошким биомикритом.

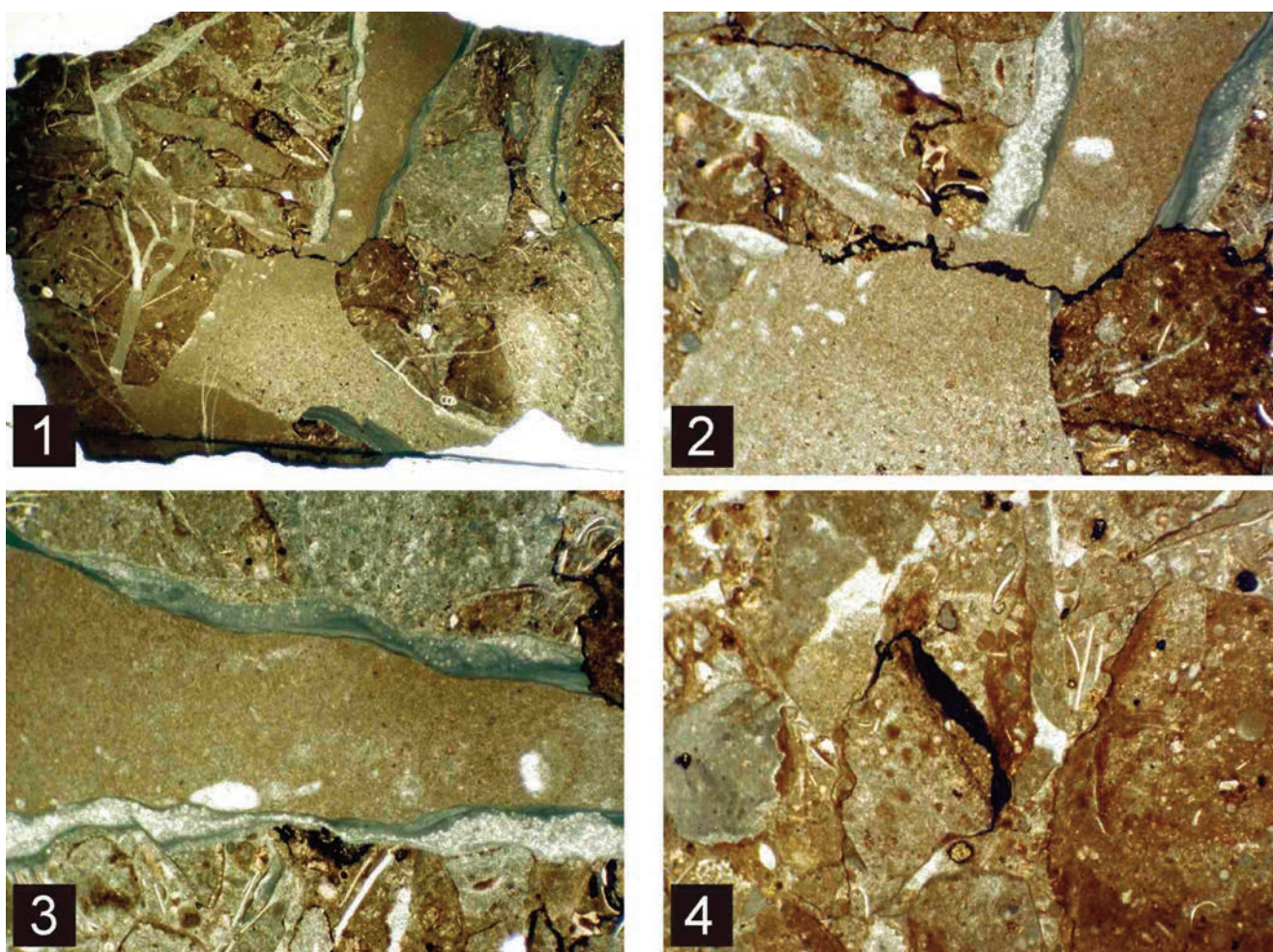


**Fig. 6.** Characteristic microfacies features of the neptunian dike infillings in the uppermost Pelsonian Ravni Formation (Dedovići Member). The neptunian dikes were formed after total lithification of grainstones of the Dedovići Member. **1.** Left side shows a typical Dedovići grainstone. The rim of the late Pelsonian neptunian dike is marked by a micrite layer (microbial layer). Below the micrite layer, the Dedovići grainstone is completely recrystallized to calcite. Several microbial layers separated by calcite cement were formed in the open neptunian dike before fine-grained micrite (red-grey) get infilled. Sample SCG 55. The width of the photograph is 0.5 cm. **2.** Late Illyrian neptunian dike infilling. Layered mud- to wackestone with small shells, crinoid fragments, and small not determinable foraminifera. Sample SCG 56. The width of the photograph is 1.4 cm. **3.** Fissure fill of fine-grained shallow-water debris with some thin-shelled bivalves ("filaments"), micrite clasts, and intercalated micrite layers. Sample MS 1550-1. The width of the photograph is 1.4 cm.

**Сл. 6.** Карактеристична микрофацијална обележја испуна нептунских дајкова (у пукотинама) у највишем пелсону Формације Равни (члан Дедовићи). Нептунски дајкови су били формирани након што су грејнстони члана Дедовићи били комплетно литификовани. **1.** Лева страна показује типични грејнстон Дедовића. Обод касно пелсонског нептунског дајка је обележен микритским слојем (микробиални слој). Испод микритског слоја грејнстон Дедовића је комплетно рекристалисао у калцит. Неколико микробиалних слојева одвојених калцитским цементом било је образовано у отвореном нептунском дајку пре него што је био испуњен финозрним микритом (црвено-сивим). Проба SCG 55. **2.** Испуна касно илирског нептунског дајка. Слојевити мадстон до векстон са фрагментима малих шкољака, криноида и малих неодредљивих фораминифера. Проба SCG 56. **3.** Пукотинска испуна од финозрног плитководног дебрита са понеким шкољкама танких љуштура ("филаментима"), микритским кластима и уметнутим микритским слојевима. Проба MS 1550-1. Ширина фотографија: 0,5 cm (1) и 1,4 cm (2, 3).

deep-water turbiditic wacke- to packstones, in some cases grainstones with components derived from shallower water areas. However, typical shallow-marine grains, which commonly occur in the topmost Ravni Formation, are missing. The typical flora and fauna of the Ravni Formation are also missing in these turbidites and the poor forami-

nifera fauna is different from that of the Ravni Formation. These features of the biofacies indicate a shift from shallow- to deeper-marine conditions, also confirmed by the appearance of the following late Pelsonian conodont fauna: *Gladigondolella budurovi*, *Paragondolella bifurcata*, and *Paragondolella bulgarica* (SUDAR et al., 2013, for details). The fine-grained turbidites are intercalated in mud- to wackestones without any fossils, and, no trace of bioturbation. These features indicate at least a semi-restricted depositional environment. Crinoids are also practically missing in the lowermost part of the



**Fig. 7.** Polyphase Late Illyrian neptunian dike with a polymictic breccia infill. **1.** Various components in a thin-shelled bivalve- and foraminifera-bearing matrix. Some components with hardgrounds. Microbial crusts on components and rims of newly opened fissures. Sample MS 1559. The width of the photograph is 1.4 cm. **2.** Enlargement of 1. The width of the photograph is 0.5 cm. Clast consisting of a microbreccia and a neptunian dike filled with red mud and microbial layers at the rim. **3.** Different views of the microbial mat layers on the rim of the fissure filled with red mud. The microbial layers grow in several phases, in some cases, blocky calcite cement was formed between the different layers. Sample MS 1559. The width of the photograph is 0.5 cm. **4.** Several Late Illyrian Bulog Limestone clasts. The clast in the middle of the picture remains a hardground. Sample MS 1559. The width of the photograph is 0.5 cm.

**Сл. 7.** Полифазни касно илирски нептунски дајк са испуном од полимиктне брече. **1.** Различите компоненте у матриксу коју садржи шкољке танких љуштура и фораминифере. Неке компоненте су са хардграундима. Микробиалне коре на компонентама и на ободима новоотворених пукотина. Проба MS 1559. **2.** Увећани део сл. 1. Класти су састављени од микробреча а нептунски дајк је испуњен црвеним муљем и микробиалним слојевима на ободу. **3.** Различит изглед микробиалних корица на ободу пукотине испуњене црвеним муљем. Микробиални слојеви расту у неколико фаза, у неким случајевима између различитих слојева формирао се крупно кристалести (blocky) калцитни цемент. Проба MS 1559. **4.** Неколико класта касно илирских Булошких кречњака. Класт у средњем делу слике са остацима хардграунда. Проба MS 1559. Ширина фотографија: 0,5 cm (2, 3, 4) и 1,4 cm (1).

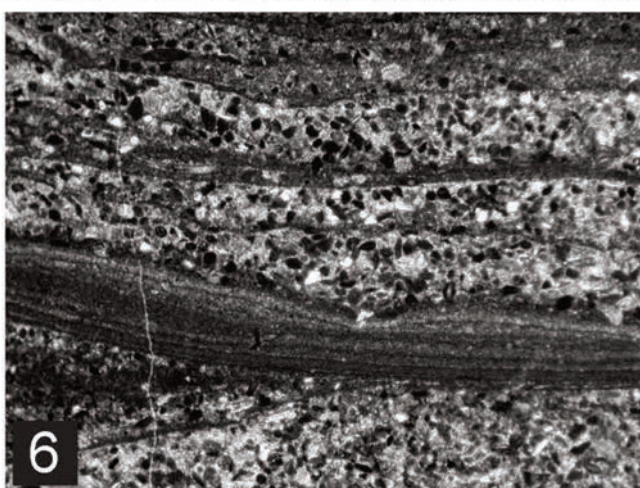
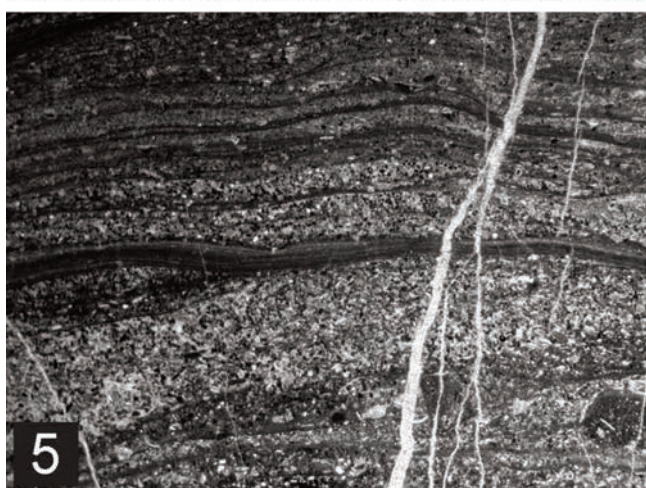
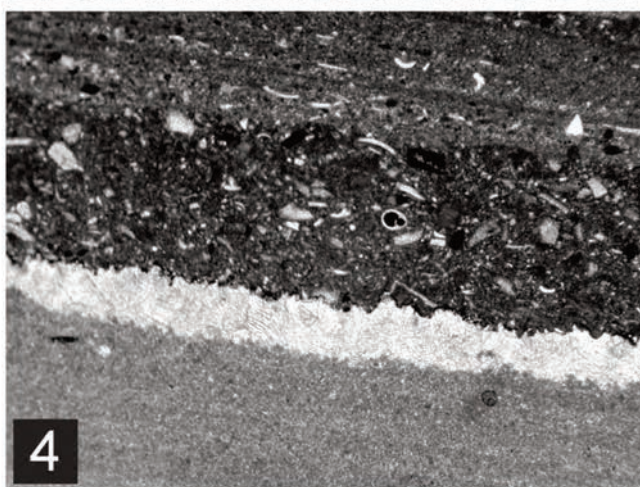
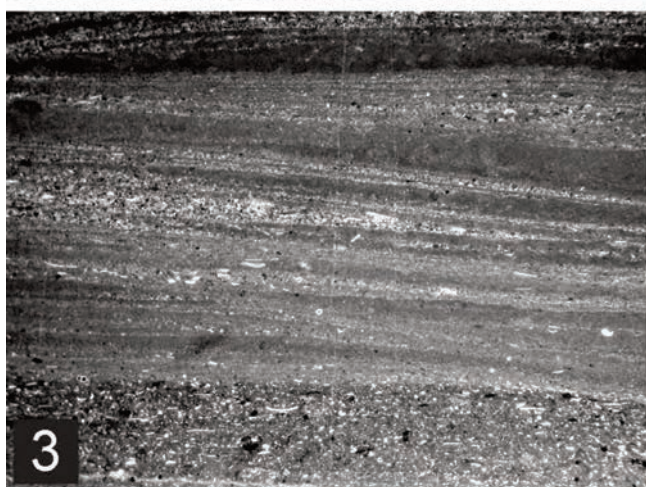
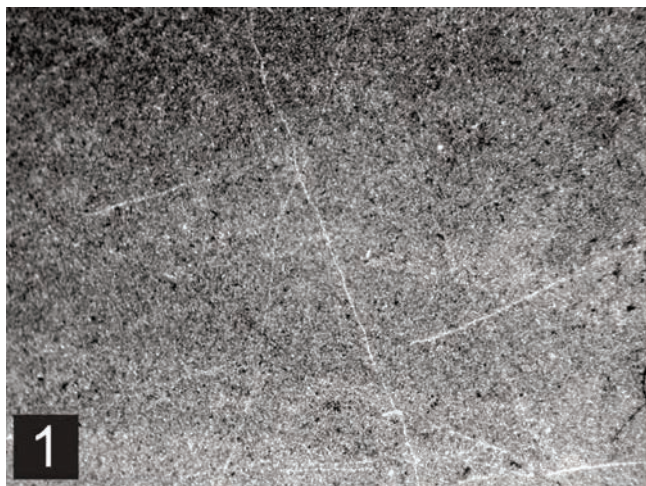
drowning succession (Fig. 8) and appear only rarely as small components in the fine-grained turbiditic layers. This part of the succession is time equivalent to the first generation of fissure fillings as documented by the facies equivalent sediments in the

neptunian dikes (Figs. 3, 6), and also the identical conodont faunas (Fig. 3). We suppose that the conodonts preserved in the fine-grained turbidites are derived from a fauna thrived above more elevated highs and not in the semi-restricted basins.

In the topmost Ravni Formation appears a relatively low diverse foraminifera association together with some few dasycladalean algae (Fig. 9). *Trochammina almtalensis* KOEHN-ZANINETTI, was originally described from the upper Anisian (Illyrian) by KOEHN-ZANINETTI (1969) and has a general biostratigraphic age range from the Anisian to the Rhaetian (SALAJ et al., 1983). It is rather an envi-

ronmental indicator for open-marine shallow-water environments. Interestingly *Trochammina almtalensis* was also detected in the late Illyrian Bulog Limestone which may indicate a shallow-water area nearby (compare SUDAR et al., 2013: Rid Formation).

*Turriglomina mesotriasisca* (KOEHN-ZANINETTI), as a new species, described from the Pelsonian by KOEHN-ZANINETTI (1969) was recorded from the



Anisian to the Ladinian (RETTORI, 1995) or the Pelsonian to the Cordevolian (ALTINER et al., 2021). The most age-indicative species is *Meandrospira dinarica* KOCHANSKY-DEVIDÉ & PANTIĆ indicating Pelsonian-Early Illyrian (SALAJ et al., 1983; 1988) or Aegean-Pelsonian (RETTORI et al., 1994; RETTORI, 1995) age. ALTINER et al. (2021) reported *Meandrospira dinarica* in the Aegean-Pelsonian interval from Guizhou (China). Together with *Meandrospira deformata* SALAJ and *Turriglomina mesotriasica*, they confirm a Middle Triassic age of the investigated limestones of the Ravni Formation. This is also supported by the rare dasycladalean algae *Aciculella bacillum* PIA (Anisian-Ladinian cf. OTT, 1972; GRANIER & DELOFFRE, 1994; BUCUR, 1999).

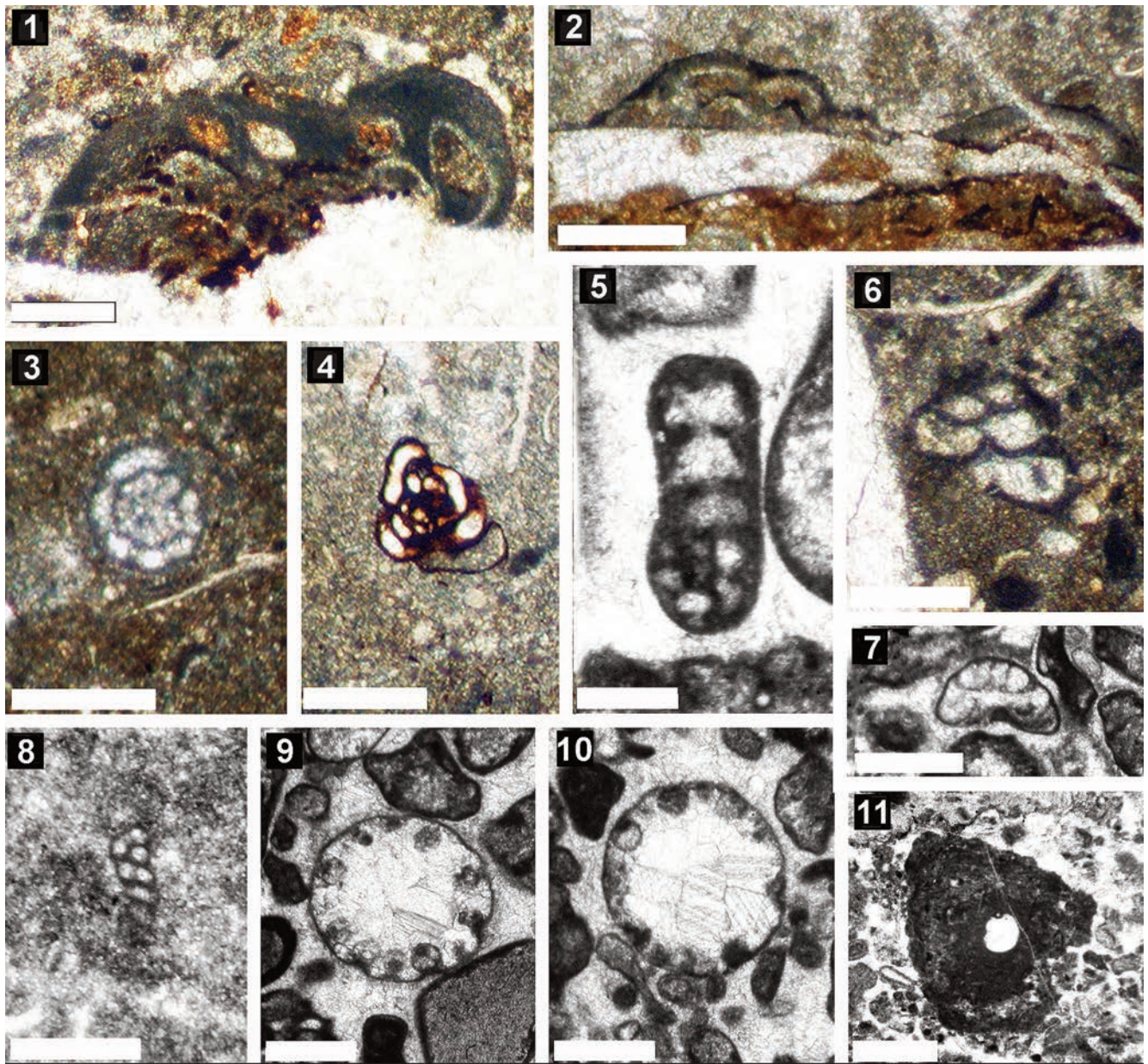
### Late Pelsonian red nodular limestone: member 1

The typical red nodular limestone succession starts with a condensed red limestone layer rich in

cephalopods (1<sup>st</sup> cephalopod layer) above the grey laminated hemipelagic limestones (Fig. 3), which are rarely preserved in the drowning successions of the Ravni Carbonate Ramp. This lower – late Pelsonian – part of the Bulog Formation indicates a relative sea-level rise (deepening) as a result of an increasing rate of subsidence, and decreasing carbonate production results in a period of starvation. However, as indicated by the slight shift in the microfacies characteristics (Fig. 10) the depositional conditions change from semi-restricted oxygen-depleted to well-oxygenated conditions. The wacke- to packstones of the lowermost part of the typical red nodular limestone succession are bioturbated. The intercalated wackestones are still poor in fossils and homogenized by bioturbation. In contrast to the layers below these wackestones contain some fragments of thin-shelled bivalves and very few recrystallized radiolarians. The fauna is more diverse in the lowermost part of the drowning succession. The age of member 1 is also late Pelsonian based on

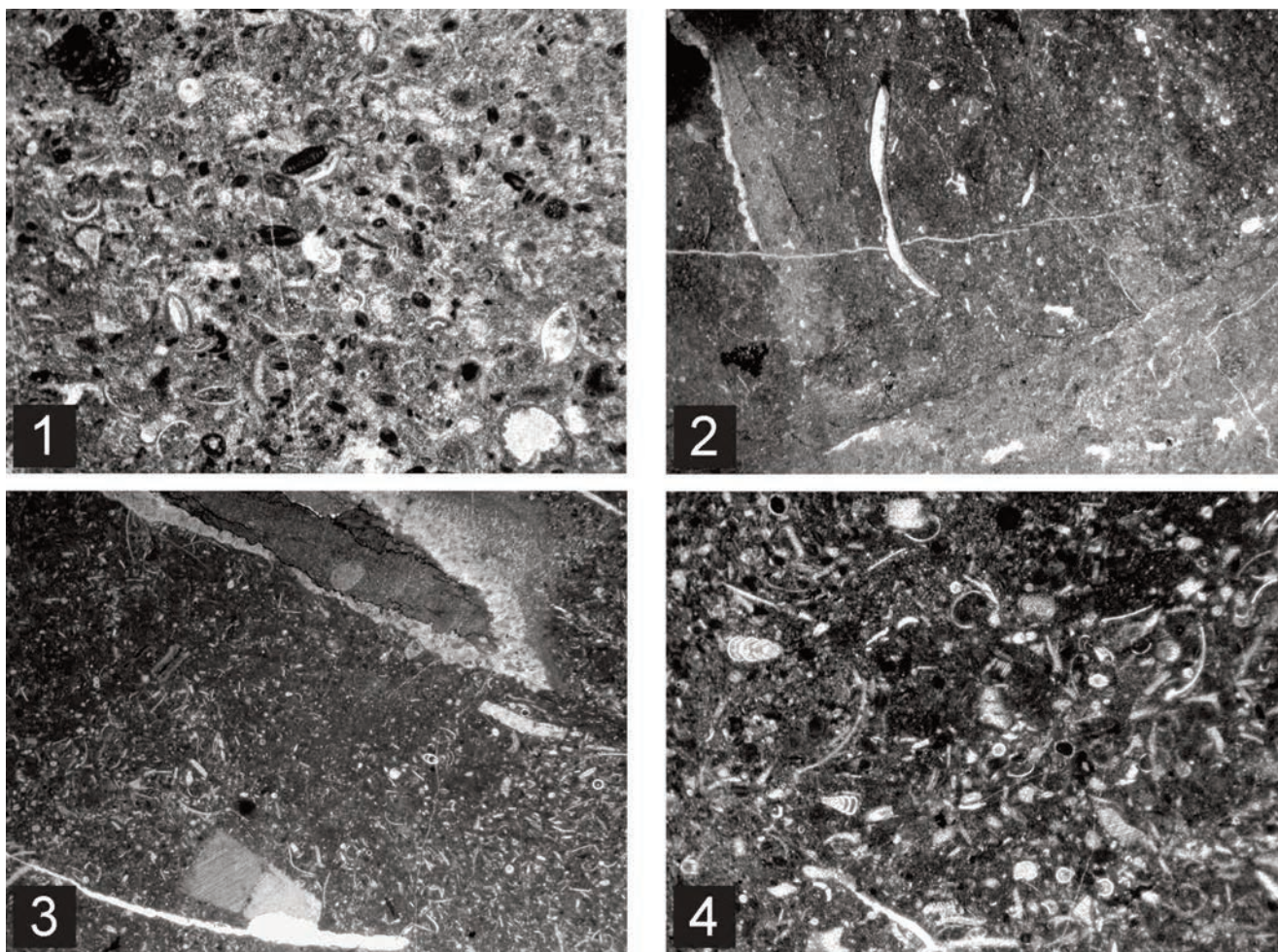
**Fig. 8.** Previous page: Microfacies of the late Pelsonian succession of the drowning phase occurs directly above the shallow-marine Ravni Formation (Dedovići Member). Grey-reddish micritic “filament” limestones with fine-grained carbonatic turbidites are followed by red nodular limestones starting with a cephalopod rich basal layer (1<sup>st</sup> cephalopod layer in Fig. 3). **1.** Grey, non-laminated wackestones with rare fragments of thin-shelled bivalves. Sample SCG 57. The width of the photograph is 1.4 cm. **2.** Laminated, non-bioturbated grey biomicrite with fragments of thin-shelled bivalves and rare foraminifera. A truncation surface is clearly visible in the middle of the picture. Sample SCG 58. The width of the photograph is 1.4 cm. **3.** Alternation of coarser-grained and finer-grained turbiditic micro-layers of the non-bioturbated basal part of the Bulog Formation. “Filaments” and small micrite clasts besides recrystallized components in these fine-grained turbidites of shallower-water origin are common. Sample SCG 53. The width of the photograph is 1.4 cm. **4.** The coarser-grained turbiditic layers contain besides “filaments” small benthic foraminifera also small fragments of crinoids. Sample SCG 58, another view. The width of the photograph is 0.5 cm. **5.** Series of fine-grained turbidites consisting of peloids, crinoid debris, and smaller foraminifera of the transitional bed between the Dedovići Member and the Bulog Formation indicate a rapid drowning. Sample MS 1552. The width of the photograph is 1.4 cm. **6.** Besides the micrite and peloidal clasts together with recrystallized components of shallower-water origin, rare “filaments” occur in the micritic layers. Sample MS 1552, another view. The width of the photograph is 0.5 cm.

**Сл. 8.** Претходна страна: Микрофације касно пелсонске сукцесије потапајуће фазе која се налази директно на врху плитководне Формације Равни (члан Дедовића). После сиво-црвенкастих микритских “филаментних” кречњака са финозрним карбонатним турбидитима следе црвени нодуларни кречњаки који почињу са базалним слојем богатим са цефалоподима (Први цефалоподски слој на сл. 3). **1.** Сиви, неламинирани векстони са ретким шкољкама танких љуштура. Проба SCG 57. **2.** Ламинирани, небиотурбатни, сиви биомикрити са шкољкама танких љуштура, малим фрагментима шкољки и ретким фораминиферима. Површина трошења је јасно видљива у средини слике. Проба SCG 58. **3.** Смењивање крупнозрних и финозрних турбидитских микрослојева небиотурбатног базалног дела Формације Булог. “Филаменти” и мали микритски класти су чести и поред присутних рекристалисалих компоненти у овим финозрним турбидитима плитководног порекла. Проба SCG 53. **4.** Крупнозрни турбидитски слојеви, поред шкољака танких љуштура и малих бентоских фораминифера, такође садрже и мале фрагменте криноида. Проба SCG 58, други приказ. **5.** Серија финозрних турбидита изграђених од пелоида, криноидског дебрита, малих фораминифера у оквиру прелазног слоја између члана Дедовића и Формације Булог указује на брзо продубљавање (потапање). Проба MS 1552. **6.** Поред микрита и пелоидних класта заједно са рекристалисалим компонентама плитководнијег порекла, у микритским слојевима појављују се ретке шкољке танких љуштура. Проба MS 1552, други приказ. Ширина фотографија: 0,5 cm (4, 6) и 1,4 cm (1, 2, 3, 5).



**Fig. 9.** Foraminifera, dasycladalean algae, and *incertae sedis* from the topmost Ravni Formation (5, 7, 8, 9, 10, 11), and foraminifera from the late Pelsonian (1, 2, 3, 4) and late Illyrian (6), Bulog Formation. **1, 2.** *Nubecularia* sp., sample MS 1554. **3.** *Meandrospira dinarica* KOCHANSKY-DEVIDÉ & PANTIĆ, sample MS 1562. **4.** *Meandrospira deformata* SALAJ, sample MS 1564. **5.** *Endotebanella* sp., sample SCG 55. **6.** *Trochammina almtalensis* KOEHN-ZANINETTI, sample MS 1558. **7.** *Diplotremmina astrofimbriata* KRISTAN-TOLLMANN, sample SCG 53. **8.** *Turriglomina mesotriasica* (KOEHN-ZANINETTI), sample SCG 53. **9.** *Aciculella bacillum* PIA, sample SCG 55. **10.** *Aciculella bacillum* PIA, sample SCG 60. **11.** *Tubiphytes* sp., sample SCG 63. The scale bar is 0.25 mm.

**Сл. 9.** Фораминифери, дазикладацејске алге и *incertae sedis* из највиших делова Формације Равни (5, 7, 8, 9, 10, 11), и фораминифери из касно пелсонског (1, 2, 3, 4) и касно илирског дела Формације Булог (6). **1, 2.** *Nubecularia* sp., проба MS 1554. **3.** *Meandrospira dinarica* KOCHANSKY-DEVIDÉ & PANTIĆ, проба MS 1562. **4.** *Meandrospira deformata* SALAJ, проба MS 1564. **5.** *Endotebanella* sp., проба SCG 55. **6.** *Trochammina almtalensis* KOEHN-ZANINETTI, проба MS 1558. **7.** *Diplotremmina astrofimbriata* KRISTAN-TOLLMANN, проба SCG 53. **8.** *Turriglomina mesotriasica* (KOEHN-ZANINETTI), проба SCG 53. **9.** *Aciculella bacillum* PIA, проба SCG 55. **10.** *Aciculella bacillum* PIA, проба SCG 60. **11.** *Tubiphytes* sp., проба SCG 63. Размерник 0.25 mm.

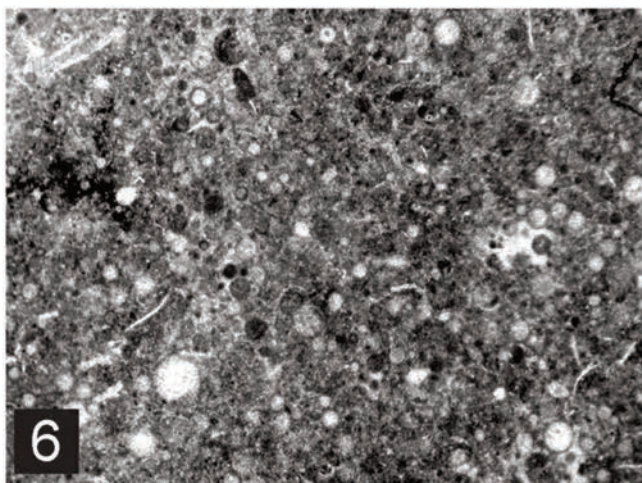
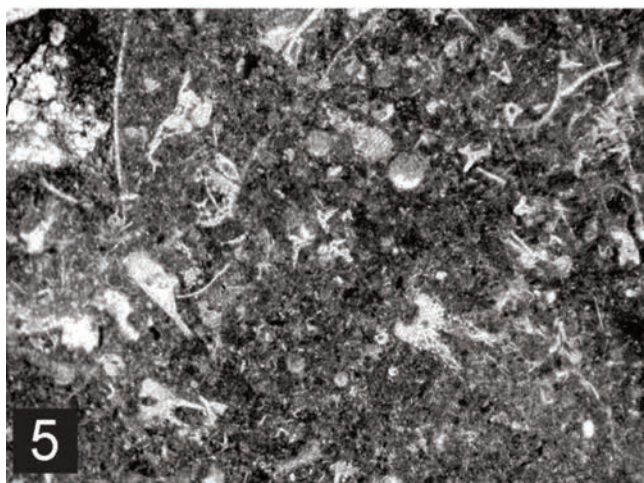
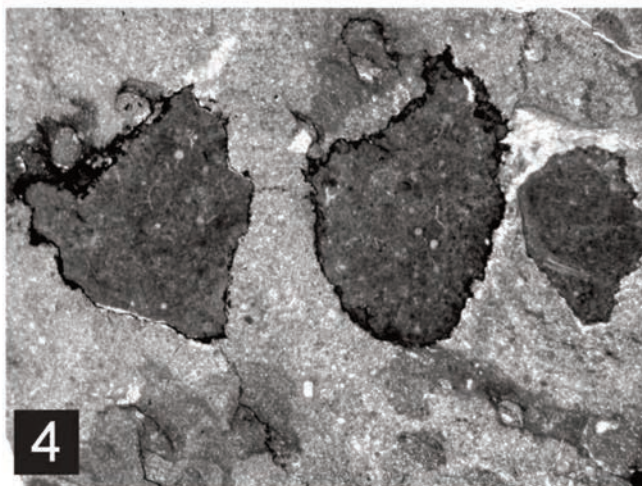
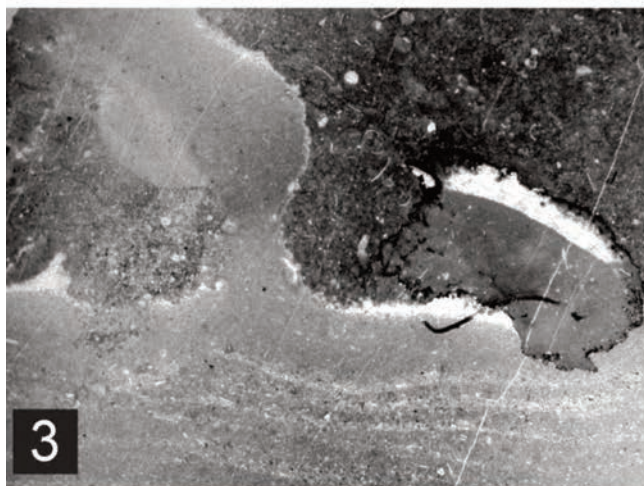
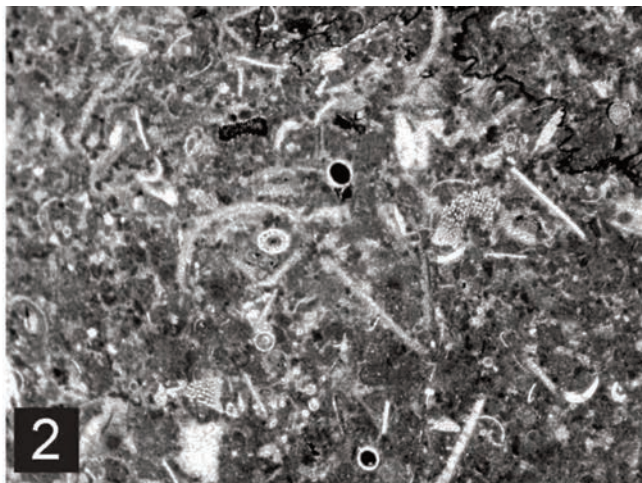
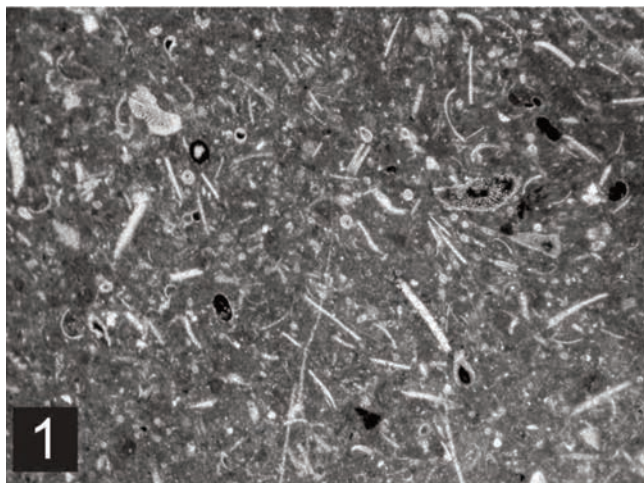


**Fig. 10.** Microfacies of the Late Pelsonian Bulog Limestone above the initial drowning phase and the First cephalopod layer. **1.** Roughly 10 centimeters above the First cephalopod layer a bioturbated packstone with foraminifera, crinoid fragments, echinoderms, and bivalves were formed. In contrast to the initial drowning phase here, more open marine organisms and intense bioturbation are visible. Sample MS 1553. The width of the photograph is 0.5 cm. **2.** Twenty centimeters higher start the deposition of wackestones with a nondiverse fauna; only some broken shells, a few thin-shelled bivalves, and few recrystallized radiolarians are visible. Sample SCG 61. The width of the photograph is 1.4 cm. **3.** Near the top of the late Pelsonian Bulog Limestone below the condensed horizon wacke- to packstones rich in fragments of thin-shelled bivalves were deposited with some crinoids and foraminifera. In the upper left part, a late Illyrian fissure filled with radiolarian-bearing micrite is visible. Sample MS 1554. The width of the photograph is 1.4 cm. **4.** Enlargement of 3. The width of the photograph is 0.5 cm. Bioclastic wacke- to packstone with juvenile bivalve shells ("filaments"), foraminifera, crinoids, and ostracods.

**Сл. 10.** Микрофације касно пелсонских Булошких кречњака изнад почетне фазе потапања и Први цефалоподни слој. **1.** Отприлике 10 центиметара изнад Првог цефалоподног слоја образован је биотурбатни пекстон са фораминиферима, фрагментима криноида, ехинодерматима и шкољакама. За разлику од почетне фазе потапања овде су видљиви више отворено морски организми и интензивна биотурбација. Проба MS 1553. **2.** Двадесет центиметара више започиње депозиција векстона са неразноликом (монотоним) фауном; видљиве су само неке сломљене љуштуре шкољкаша, неколико шкољка таквих љуштурса и нешто мало рекристалисалих радиоларија. Проба SCG 61. **3.** Близу врха касно пелсонских Булошких кречњака а испод кондензованог хоризонта депоновани су векстони до пекстони богати шкољакама танки љуштура и са криноидима и фораминиферима. У горњем левом делу видљива је касно илирска пукотина испуњена микритом са радиоларијама. Проба MS 1554. **4.** Увећани део сл. 3. Организмима богати векстони до пекстони са јувинилним љуштурсама шкољака ("филаменти"), фораминиферима, криноидима и остракодима. Ширина фотографија: 0,5 cm (1, 4) и 1,4 cm (2, 3).

the following conodonts: *Gladigondolella budurovi*, *Gladigondolella tethydis* (HUCKRIEDE), *Nicoraella germanica* (KOZUR), *Nicoraella kockeli* (TATGE), *Paragondolella bifurcata*, *Paragondolella bulgarica*, *Paragondolella hanbulogi*, *Paragondolella praeszaboi* (KOVÁCS, PAPSOVA & PERRI) (SUDAR et al., 2013).

This member is crosscut by fissures filled with red biomicrite, identical in the microfacies characteristics to the late Illyrian member 3. A direct biostratigraphic age from the fissures could not be performed. However, the fissure infillings probably are late Illyrian in age like the very similar





neptunian dike infillings in the uppermost Ravni Formation or in member 2 (see below and Fig. 3).

### Early Illyrian red nodular limestone: member 2

The early Illyrian member 2 is roughly five meters thick (Fig. 3) and starts above the condensed horizon of the late Pelsonian member 1. The condensed horizon is characterized by hardgrounds and traces of subsolution. In this red nodular limestone ("filament"-crinoid wacke- to packstone: Fig. 11) cephalopods occur rarely. The microfacies characteristics of the early Illyrian member 2 are generally similar to those of the late Pelsonian member 1, especially in its upper part just below the condensed horizon. The fauna is more diverse and more abundant than in most parts of Member 1. Whereas in member 1 radiolarians are practically missing in member 2 recrystallized radiolarian tests occur rarely. Generally, a deepening trend from the late Pelsonian member 1 to the early Illyrian member 2 can be observed with a tendency to increase condensation. The condensed horizon around the Pelsonian/Illyrian boundary (Fig. 3) marks the initiation of significant changes in the depositional conditions.

The early Illyrian age of member 2 is constrained by the following conodont fauna (SUDAR et al., 2013):

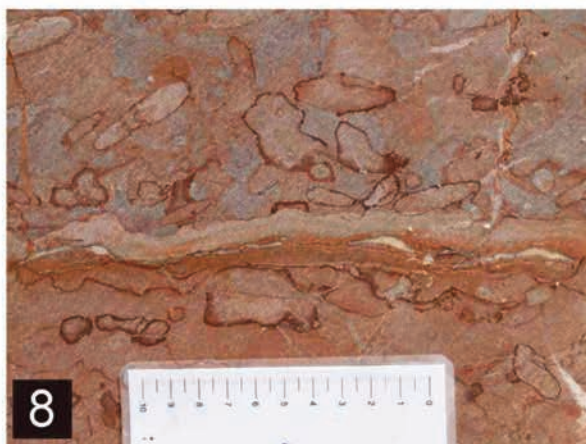
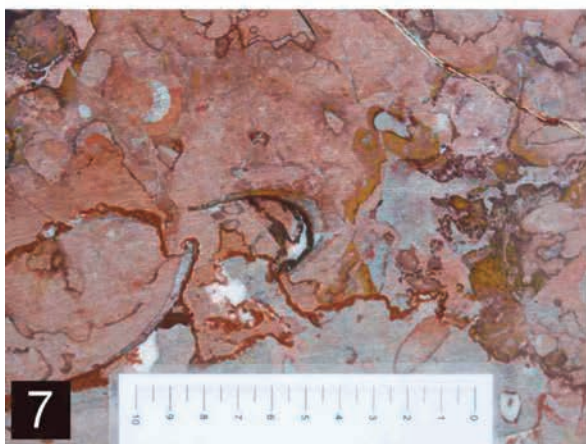
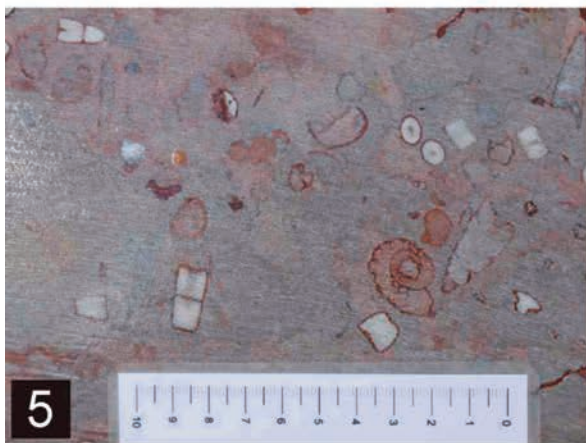
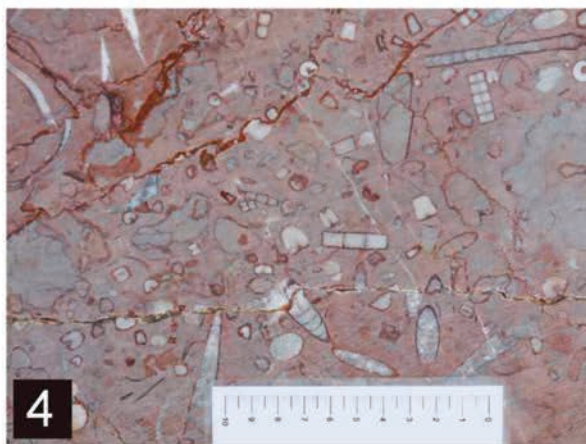
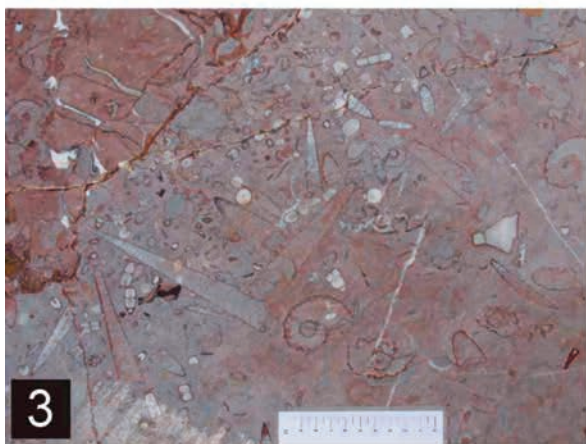
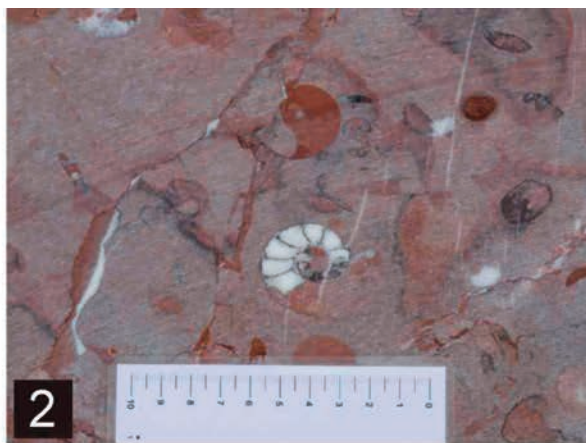
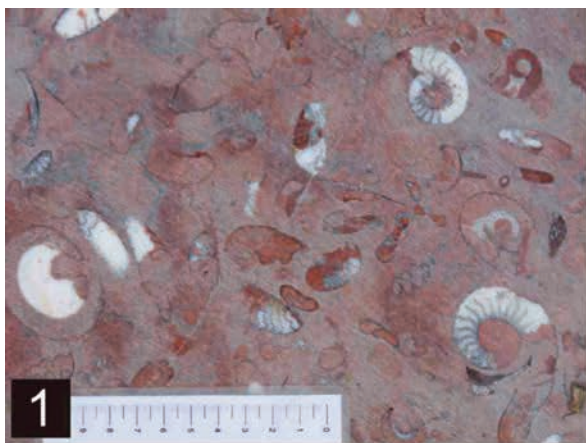
*Gladigondolella tethydis*, *Paragondolella bifurcata*, *Paragondolella bystrickyi* (KOVÁCS, PAPSOVA & PERRI), *Paragondolella hanbulogi*, *Paragondolella praesza-boi*. Neptunian dikes filled with red biomicrite of Late Illyrian age (with the conodont *Paragondolella excelsa*) crosscut this member.

### Middle-late Illyrian red nodular limestone: member 3

The base of middle-late Illyrian member 3 is marked by a condensed horizon with hardgrounds and enrichment of cephalopods (2<sup>nd</sup> cephalopod layer in Figs. 3, 12). This horizon is roughly of middle Illyrian age. Above this condensed horizon, a significant angular unconformity could be pointed out. It is manifested in an 8-10° tilting of the sea bottom that took place at the base of the late Illyrian (Fig. 3; SUDAR et al., 2013). The microfacies of these beds are characterized by wacke- to packstones rich in fragments of thin-shelled bivalves with ammonoids, foraminifera, and hardground clasts (Fig. 13). The thickness of the Bulog Formation increases westwards both in bed thickness as in total thickness (5 meters). It cannot be decided if the thickness of sedimentary succession of the Bulog Formation is complete below the low-angle normal fault or if some parts are tectonically truncated. The

**Fig. 11.** Previous page: Microfacies characteristics of the early Illyrian Bulog Formation directly below the Second cephalopod layer. **1.** "Filament" and crinoid-rich wackestone to packstone with thin-shelled bivalves, crinoids, and juvenile ammonoid shells. Recrystallized radiolarians occur rarely. Sample MS 1555. The width of the photograph is 0.5 cm. **2.** Crinoid-rich wacke- to packstone with some thin-shelled bivalves, some recrystallized radiolarians and broken shells. The densely packed organisms and first hardgrounds show condensation. Sample MS 1556-3. The width of the photograph is 0.5 cm. **3.** Hardground on top of a laminated reddish mudstone. The overlying sediment consists of a wackestone with recrystallized radiolarians and thin-shelled bivalves. Sample MS 1574. The width of the photograph is 1.4 cm. **4.** Hardground. Isolated clasts with an iron-manganese crust in a recrystallized mudstone. Sample MS 1583. The width of the photograph is 1.4 cm. **5.** Crinoid-rich wacke- to packstone. Sample MS 1581. The width of the photograph is 0.5 cm. **6.** Radiolarian-rich wacke- to packstone with few crinoids. Sample MS 1582. The width of the photograph is 0.5 cm.

**Сл. 11.** Претходна страна: Микрофацијалне карактеристике рано илирске Формације Булог непосредно испод Другог цефалоподног слоја. **1.** "Филаментима" и криноидима богати векстони до пекстони са шкољкама танких љуштура, криноидима и јувицилним амоноидским љуштурама. Рекристалисале радиоларије се појављују ретко. Проба MS 1555. **2.** Криноидима богати векстон до пекстон са ретким шкољкама танких љуштура, ретким рекристалисалим радиоларијама и сломљеним љуштурама. Густо паковани организми и први хардграунди указују на кондензацију. Проба MS 1556-3. **3.** Хардграунд на врху ламинираног црвенкастог мадстона. Повлатни седимент се састоји од векстона са рекристалисаним радиоларијама и шкољкама танких љуштура. Проба MS 1574. **4.** Хардграунд. Изоловани класти са гвожђевиито-манганском кором у рекристалисалом мадстоњу. Проба MS 1583. **5.** Криноидима богати векстон до пекстон. Проба MS 1581. **6.** Радиоларијама богати векстон до пекстон са неколико криноида. Проба MS 1582. Ширина фотографија: 0,5 cm (1, 2, 5, 6) и 1,4 cm (3, 4).



uppermost part below the tectonic contact is made up of siliceous limestone (radiolarian wackestone) without determinable conodont fauna. This microfacies is typical for the latest Illyrian to early Ladinian. Moreover, the radiolarian fauna from the higher part of the volcanic ash layer indicates the Longobardian age (MISSONI et al., 2012) and therefore there is no proof for the early Ladinian (Fassanian). The microfacies that are characterized by hardground-related clasts and in some cases relatively densely packed shell layers indicate condensation. Crinoids, fragments of thin-shelled bivalves, and ammonoids are the most typical faunal elements. Biotite grains found in the dissolution residue of limestones indicate coeval volcanism. The late Illyrian to earliest Fassanian age of this member is constrained by the occurrence of *Gladigondolella tethydis*, *Neogondolella constricta* (MOSHER & CLARK), *Paragondolella excelsa* and *Paragondolella szaboi* (KOVÁCS) (see SUDAR et al., 2013). A remarkable change in the color, recognized

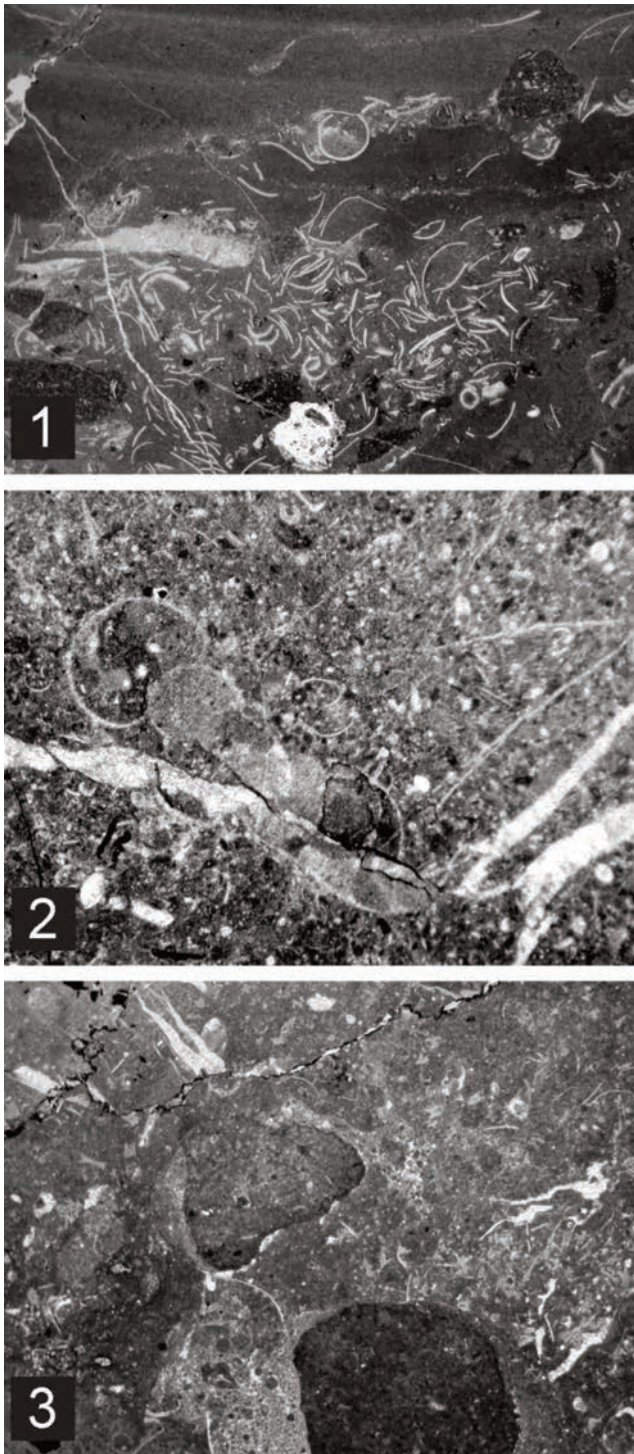
by KITTL (1904) in the type area of the Bulog Formation, cannot be recognized in the Klisura quarry section. Whereas the two generations of neptunian dikes (late Pelsonian and late Illyrian) in the Ravni Formation can be clearly distinguished by their different color (Fig. 5); the change in color throughout the succession of the Bulog Formation is gradual and linked to increasing condensation and deepening. This is confirmed by the gradual change in the microfacies' characteristics. Therefore, we don't separate the late Illyrian member 3 of the Bulog Limestone succession as "Starygrader Knollenkalke" (KITTL, 1904) from the underlying late Pelsonian to the middle Illyrian Bulog Limestone.

### Foraminifera from the Bulog Formation

In the whole late Pelsonian to late Illyrian red nodular limestone succession, the foraminifera association is relatively poor, and nodosariaceans are

**Fig. 12.** Previous page: Second cephalopod layer (middle Illyrian) forming a typical condensed Fossilagerstätten with hardgrounds. A modern investigation of the rich ammonoid fauna in the Klisura quarry (Sirogojno) is still pending (compare MUDRENOVIĆ, 1995). The cephalopods show in parts cementation with calcite, or they are filled with red biomicritic sediment. The ferromanganese encrustations foster good preservation of the cephalopods. **1.** Top view. The different ammonoids show in parts cementation with calcite and in parts, the ammonoids are filled with red micritic sediment. **2.** The preservation of the different ammonoids is in some cases quite good as visible by the dark rim surrounding the cement-filled ammonoid shell. Top view. Neptunian dikes are filled with late Illyrian red micrite. **3.** Besides different involute and evolute ammonoids orthoconid forms are visible. Large crinoid fragments – most probably crinoid roots – are visible. Top view. **4.** Crinoid root fragments occur in cases in rock-forming quantities besides the different ammonoids. Top view. **5.** Lowermost part of the cephalopod layer with a more reddish-grey and coarser-grained matrix. **6.** Orthoconid ammonoid with selective recrystallization of the aragonitic shell to calcite. The interior part of the ammonoid is filled with calcite cement, the other chambers are filled with red micrite. Hardground formation with encrusting microbial mats. **7.** Lateral view with condensation. The yellowish parts most probably correspond to phosphorite-enriched parts of the succession. **8.** Hardground formation with overlying microbial mats.

**Сл. 12.** Претходна страна: Други цефалоподни слој (средњи илур) у форми типичног Fossilagerstätten са хардграундима. Савремена истраживања богате амоноидске фауне у каменолому Клисура (Сирогојно) још увек недостају (упореди са MUDRENOVIĆ, 1995). Цефалоподи су делом испуњени калцитом или су испуњени црвеним биомикритским седиментом. Гвожђевито-манганске коре доприносе доброј очуваности цефалопода. **1.** Изглед горњег дела. Различити амоноиди су делом цементиран калцитом или су амоноиди делом испуњени црвеним микритским седиментом. **2.** Сачуваност различитих амоноида је у неким случајевима доста добра што се може видети на тамном рубу који окружује амоноидну љуштуру испуњену цементом. Изглед горњег дела. Нептунски дајкови су испуњени касно илурским црвеним микритом. **3.** Поред различитих инволутних видљиве су и еволутне амоноидне ортоконидне форме. Крупни криноидни фрагменти – највероватније од криноидног корена (дршке) – су видљиви. Горњи изглед. **4.** Криноидни фрагменти корена (дршке) појављују се понегде у стени образујући већа нагимолања поред бројних амоноида. Изглед горњег дела. **5.** Најнижи део цефалоподног слоја са интензивније црвенкасто-сивим и крупнозрним матриксом. **6.** Ортоконидни амоноид са селективном рекристализацијом арагонитске у калцитску љуштуру. Унутрашњи део амоноида је испуњен калцитским цементом, остале коморице су испуњене црвеним микритом. Настанак хардграунда са обавијајућим микробиалним корицама. **7.** Бочни изглед са кондензацијом. Жућкасти делови вероватније одговарају деловима сукцесије обогаћеним фосфоритом. **8.** Формирање хардграунда са обавијајућим микробиалним корицама преко.



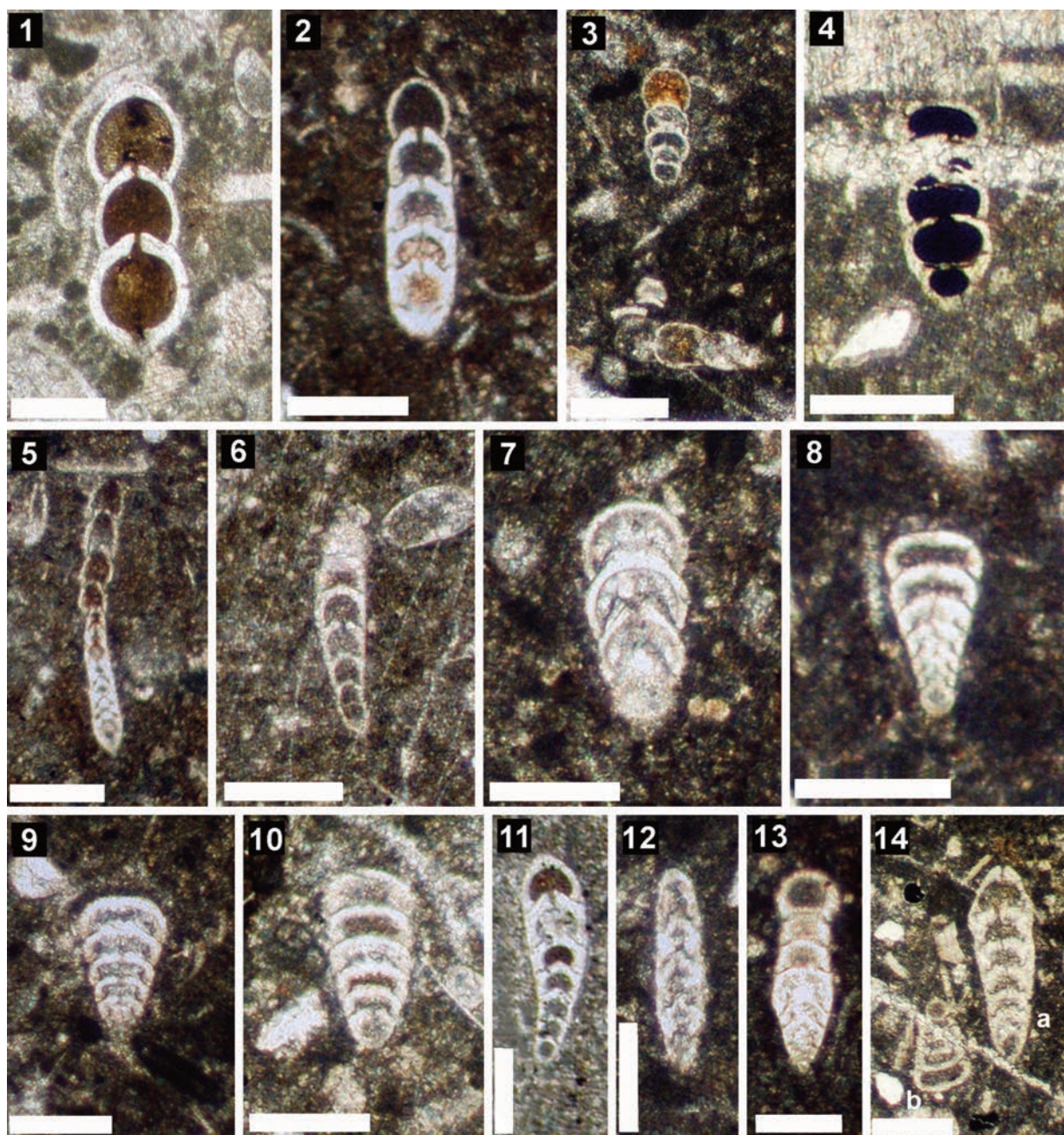
**Fig. 13.** Microfacies characteristics of the late Illyrian Bulog Formation above the Second cephalopod layer and tilting of the depositional realm. **1.** Laminated mud- to wackestone. thin-shaled bivalves and cephalopod remnants occur together with dark red pebbles, which indicate condensation in distinct laminated micritic layers containing few recrystallized radiolarians. In the lumachelle layers, there are also small Bulog Formation fragments. Middle/late Illyrian. Sample MS 1557-1. The width of the photograph is 1.4 cm. **2.** Recrystallized ammonoid bearing wacke- to packstone with some thin-shaled bivalves and crinoids. Sample MS 1558. The width of the photograph is 0.5 cm. **3.** Thin-shaled bivalves - and crinoid-rich condensed limestones with large red limestone clasts. Bioturbated peloids are common. Middle/late Illyrian. Sample MS 1591. The width of the photograph is 1.4 cm.

**Сл. 13.** Микрофазијалне карактеристике касно илирске Формације Булог изнад Другог цефалоподног слоја и нагињања депозиционе области. **1.** Ламинирани мадстон до векстон. Шкољке танких љуштурса и цефалоподни остаци појављују се заједно са тамно црвеним облацима, који указују на кондензацију у јасно ламинираним микритским слојевима а такође садрже понеку рекристалисалу радиоларију. У слојевима лумакела такође се налазе мали фрагменти Формације Булог. Средњи/касни илир. Проба MS 1557-1. **2.** Рекристалисали амоноидима богат векстон до пакстон са ретким шкољкама танких љуштурса и криноидима. Проба MS 1558. **3.** Шкољкама танких љуштурса и криноидима богати кондензовани кречњаци са великим црвеним кречњачким кластима. Биотурбатни пелоиди су чести. Средњи/касни илир. Проба MS 1591. Ширина фотографија: 0,5 cm (2) и 1,4 cm (1, 3).

the most common foraminifera. The assemblage of foraminifera identified in the samples indicates, as a whole, a Middle Triassic age. The species of the *Arenovidalina* genus are the most common. However, a more detailed stratigraphic range of the different determined species is not defined and in the Klisura quarry, most of the determined species appear in all

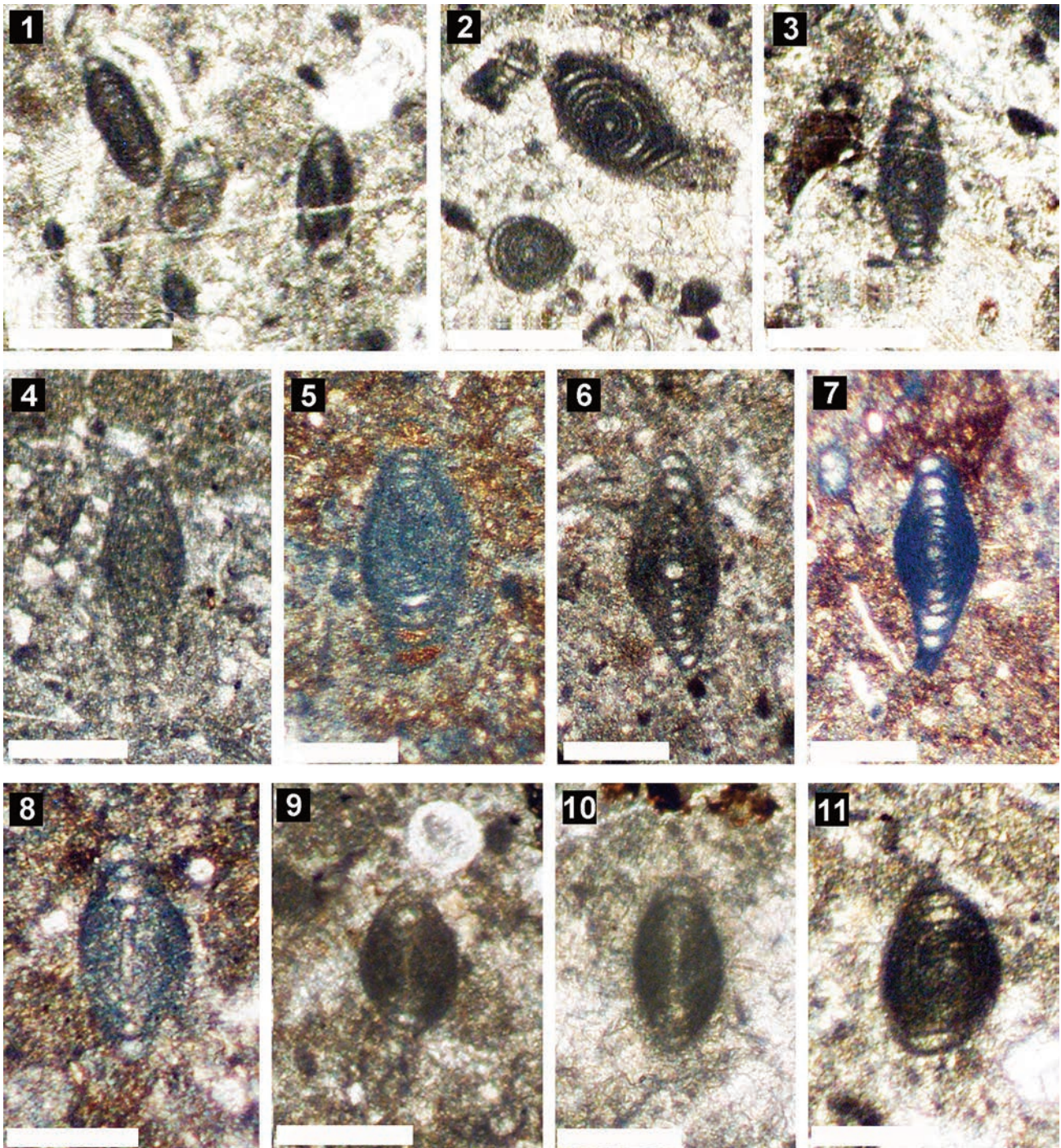
members of the Bulog Limestone and both generations of the neptunian dikes. Their stratigraphic range is therefore at least Pelsonian – Illyrian.

A similar, and also generally poor foraminifera assemblage, dominated by nodosariids, was reported from a red nodular limestone succession (Derenk Formation) and a thick-bedded reddish-greyish limestone succession (Nádaska Formation) by BERCI-MAKK (1996) from the Alsó Hill in northern Hungary. In northern Hungary, most of the foraminifera appear in the late Pelsonian to Early Carnian Nádaska Formation (KOVÁCS et al., 1989). In contrast, the foraminifera assemblage of the late Pelsonian to Carnian Derenk Formation (not Early Ladinian to early Late Carnian – KOVÁCS et al., 1988; KOVÁCS et al., 2004 in HAAS (Ed.), 2004) is very poor. Most described species belong to the genus *Turriglomina*



**Fig. 14.** Foraminifera from late Pelsonian neptunian dike infillings (1, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 12) and late Pelsonian Bulog Limestone (2, 5, 11, 13, 14). **1.** *Nodosaria* cf. *nitidana* BRAND, sample MS 1556. **2.** *Nodosaria* cf. *raibliana* GÜMBEL, sample MS 1560. **3.** *Nodosaria* sp. from sample MS 1554. **4.** *Nodosaria* sp. from sample MS 1555. **5.** ?*Dentalina* sp. from sample MS 1560. **6.** *Pseudonodosaria* cf. *loczyi* ORAVECZ-SCHEFFER, sample MS 1556. **7.** *Pseudonodosaria* cf. *obconica* (REUSS), sample MS 1554. **8.** *Nodosariidae* indet., sample MS 1554. **9.** *Austrocolomia* sp., sample MS 1554. **10.** ?*Geinitzinita* cf. *oberhauseri* SELLIER DE CIVRIEUX & DESSAUVAGIE, sample MS 1554. **11.** *Pseudonodosaria* cf. *loczyi* ORAVECZ-SCHEFFER, sample MS 1566. **12.** ?*Fronicularia* sp., sample MS 1565. **13.** *Nodosariidae* indet., sample MS 1565. **14.** *Pseudonodosaria* cf. *loczyi* ORAVECZ-SCHEFFER, sample MS 1552. The scale bar is 0.25 mm.

**Сл. 14.** Фораминифери из испуна касно пелсонских нептунских дајкова (1, 3, 4, 6, 7, 8, 9, 10, 12) и касно пелсонских Булошких кречњака (2, 5, 11, 13, 14). **1.** *Nodosaria* cf. *nitidana* BRAND, проба MS 1556. **2.** *Nodosaria* cf. *raibliana* GÜMBEL, проба MS 1560. **3.** *Nodosaria* sp. из пробе MS 1554. **4.** *Nodosaria* sp. из пробе MS 1555. **5.** ?*Dentalina* sp. из пробе MS 1560. **6.** *Pseudonodosaria* cf. *loczyi* ORAVECZ-SCHEFFER, проба MS 1556. **7.** *Pseudonodosaria* cf. *obconica* (REUSS), проба MS 1554. **8.** *Nodosariidae* indet., проба MS 1554. **9.** *Austrocolomia* sp., проба MS 1554. **10.** ?*Geinitzinita* cf. *oberhauseri* SELLIER DE CIVRIEUX & DESSAUVAGIE, проба MS 1554. **11.** *Pseudonodosaria* cf. *loczyi* ORAVECZ-SCHEFFER, проба MS 1566. **12.** ?*Fronicularia* sp., проба MS 1565. **13.** *Nodosariidae* indet., проба MS 1565. **14.** *Pseudonodosaria* cf. *loczyi* ORAVECZ-SCHEFFER, проба MS 1552. Размерник 0.25 mm.



**Fig. 15.** *Arenovidalina* species in the late Pelsonian to late Illyrian Bulog Limestone. Both species appear in both generations of neptunian dike infillings and the Bulog Formation (samples MS 1550, 1551, 1553, 1554, 1558, 1561, 1565, 1573). **1–7.** *Arenovidalina chianlinghiangensis* Ho. **8–11.** *Arenovidalina amylovoluta* Ho. The scale bar is 0.5 mm (1–3) and 0.25 mm (4–11).

**Сл. 15.** *Arenovidalina* врсте у касно пелсонском до касно илирском Булошком кречњаку. Обе врсте се појављују у обе генерације испуна нептунских дајкова Формације Булог. (пробе MS 1550, 1551, 1553, 1554, 1558, 1561, 1565, 1573). **1–7.** *Arenovidalina chianlinghiangensis* Ho. **8–11.** *Arenovidalina amylovoluta* Ho. Размерник 0.5 mm (1–3) и 0.25 mm (4–11).

and were found in the higher Derenk Formation whereas the unspecified nodosariids appear in the

lower part of the Derenk Formation, in which a late Pelsonian to Illyrian in age as proven by the

appearance of *Paragondolella bulgarica* (sample of the authors of this paper) at the base of the red nodular limestone succession above the Steinalm Formation.

Species of the *Arenovidalina* genus are also common in the association. Their presence, together with the nodosariids, indicates a remarkable change in the depositional environment from the shallow-water Ravni Formation to the deeper water, slope, or basinal sediments. In contrast to other late Pelsonian to Illyrian red nodular limestone successions in the Western Tethys Realm (see GAWLICK et al., 2021 and references therein) the foraminifera association in the Bulog Limestone succession of the Klisura quarry is relatively rich.

The most common is the species of the *Arenovidalina* genus. *Arenovidalina chialingchiangensis* Ho and *Arenovidalina amylovoluta* Ho were described by Ho (1959) from limestones attributed to the Triassic, most likely Anisian–Ladinian. *Arenovidalina chialingchiangensis* was reported by SALAJ et al. (1983) from the upper part of the Early Triassic, with a general stratigraphic range from the Campilian (i.e. Olenekian/Spathian) to the Carnian. Both species, *Arenovidalina chialingchiangensis* and *Arenovidalina amylovoluta* have been recorded in Ladinian to Norian limestones in Hungary (BERCZI-MAKK, 1996). RETTORI (1995) gives both species a Smithian to Longobardian range interval.

## Discussion and concluding remarks

The Pelsonian to Illyrian sedimentary succession in Sirogojno (Klisura quarry) preserves some rare features of the stepwise opening history of the Neo-Tethys Ocean during Pelsonian to Illyrian times. Therefore the Bulog Limestone succession of the Klisura quarry is assigned as a Bulog Formation reference section (this paper and SUDAR et al., 2023). The drowning sequence of the shallow-water Ravni Carbonate Ramp, i.e. the late Pelsonian to late Illyrian Bulog Formation can be subdivided into three members in the Klisura quarry. However, in other Bulog Limestone sections in the Dinarides in many cases, a distinction of these members is very difficult (see “Starygrader Knollenkalk” – KITTL,

1904), or they have not been preserved. Recognition and investigation of the members of the Bulog Formation, as preserved in the Klisura quarry section is particularly important, since they record the evolution of the Middle to Late Anisian stepwise opening of the Neo-Tethys Ocean and other related events.

The abrupt deepening event around the Bithynian/Pelsonian boundary (Annaberg Event – GAWLICK et al., 2021) is not recorded in the Klisura quarry section. This deepening event, which starts most probably in the latest Bithynian, but corresponds mainly to the *Balatonites balatonicus* ammonoid Zone is only rarely preserved in the Western Tethys Realm (e.g., HAUER, 1898 in the type-area). In contrast, the final break-up of the Neo-Tethys at the end of the Middle Anisian (late Pelsonian) is fairly well documented in the whole Western Tethys Realm. The so-called Reifling turnover (SCHLAGER & SCHÖLLNBERGER, 1974) resulted in the drowning of the Ravni/Steinalm Carbonate Ramp and the formation of a horst-and-graben topography, i.e. a typical break-up unconformity. However, the oceanic break-up of the Neo-Tethys was not a sudden event around the Middle/Late boundary as demonstrated by GAWLICK et al. (2021) for the Northern Calcareous Alps. The change in deposition during the Ravni Carbonate Ramp evolution from the restricted environment of the shallow-marine Utrine Member to the open-marine shallow-water Dedovići Member (DIMITRIJEVIĆ et al., 1981; DIMITRIJEVIĆ & DIMITRIJEVIĆ, 1991) reflects also enhanced subsidence since the Bithynian/Pelsonian boundary in the Inner Dinarides as a precursor rifting (opening) event. The newly created accommodation space was during Pelsonian times in most areas counter-balanced by the enhanced carbonate production of the Ravni Carbonate Ramp.

The overall demise of the Ravni/Steinalm Carbonate Ramp in the late Pelsonian, the formation of a horst-and-graben morphology, and the onset of deposition of deep-marine condensed sediments in newly formed depressions (grabens) and subaerial or submarine erosion on more elevated blocks (horsts) is fairly well documented in all eastern Mediterranean mountain ranges (TOLLMANN, 1976, 1985; LEIN, 1987; FEIST-BURKHARDT et al., 2008; KOVÁCS et al., 2010; HAVRILA

2011; CELARC et al., 2013; SUDAR et al., 2013; VELLEDEITS et al., 2017; KARÁDI et al., 2022; KUKOČ et al., 2023). In contrast, the formation of late Pelsonian neptunian dikes and their sedimentary infill is rarely described in detail (see GAWLICK et al., 2021).

The well-preserved early drowning sequence (SUDAR et al., 2013), deposited under semi-restricted conditions, is a relatively unique feature in the Klisura quarry section and not known elsewhere or overlooked due to limited outcrop situations. Very often the drowning sequence above the Ravni/Steinalm Carbonate Ramp is characterized by the deposition of condensed red nodular limestones, in cases rich in cephalopods of the *Trinodosus* Zone and often mixed with cephalopods from the *Binodosus* Zone (HAUER, 1888; KRYSSTYN & SCHÖLLNBERGER; 1972). These condensed ammonoid-rich red nodular limestones on top of the Ravni/Steinalm Carbonate Ramp most probably correspond with the First cephalopod layer in the Klisura quarry section, even the ammonoid fauna of that layer is not yet studied in the necessary detail (see MUDRENOVIĆ, 1995). The overlying late Pelsonian to late Illyrian red nodular limestone succession is exceptionally thick in the Klisura quarry succession and is characterized by a condensed horizon at the Pelsonian/Illyrian boundary and a condensed horizon in the middle Illyrian.

Block tilting around the middle/late Illyrian with the formation of a second unconformity and the formation of a second generation of neptunian dikes mirrors the next stage of extensional movements. These late Illyrian movements are so far also interpreted as an expression of the stepwise Anisian opening of the Neo-Tethys (GAWLICK et al., 2021, and references therein), but for a conclusion further detailed studies or revisions on Pelsonian-Illyrian drowning sequences all over the Western Tethys Realm are highly needed, especially on the sedimentary successions of the Bulog Formation in the Outer Dinarides (GAWLICK et al., 2012; MRDAK et al., 2022).

## Acknowledgments

In the frame of the IGCP 710, “Western Tethys meets Eastern Tethys”. The research of M. SUDAR and D. JOVANOVIĆ was supported by the Serbian Academy of Sciences and

Arts (projects F-12 and F-22), and by the Ministry of Education, Science and Technological Development of the Republic of Serbia (Project ON-176015). Multiple stays of H.-J. Gawlick in Serbia were supported by the CEEPUS network CIII-RS-0038 (former CIII-RO-0038) and related field courses with various student groups and their critical questions improved our understanding of the Anisian geodynamic history of the Inner Dinarides. Careful reviews of TEA KOLAR-JURKOVŠEK (Ljubljana) and JÁNOS HAAS (Budapest) and their suggestions and corrections are gratefully acknowledged.

## References

- ALTINER, D., PAYNE, J.L., LEHRMANN, D.J., ÖZKAN-ALTINER, S., KELLEY, B.M., SUMMERS, M.M. & YU, M. 2021. Triassic Foraminifera from the Great Bank of Guizhou, Nanpanjiang Basin, south China: taxonomic account, biostratigraphy, and implications for recovery from end-Permian mass extinction. *Journal of Paleontology*, 95, S84, 1–53.
- BÉRKZI-MAKK, A., 1996. Foraminifera of the Triassic formations of Alsö Hill (Northern Hungary). Part 3: Foraminifer assemblage of the basinal facies. *Acta Geologica Hungarica*, 39 (4): 413–459.
- BUCUR I.I., 1999. Stratigraphic significance of some skeletal algae (Dasycladales, Caulerpales) of the Phanerozoic. In: FARINACCI, A., LORD, A.R. (Eds.), *Depositional Episodes and Bioevents*, vol 2, Palaeopelagos Special Publication, 53–104.
- CELARC, B., GORIČAN, Š. & KOLAR-JURKOVŠEK, T. 2013. Middle Triassic carbonate-platform break-up and formation of small-scale half-grabens (Julian and Kamnik-Savinja Alps, Slovenia). *Facies*, 59 (3): 583–610.
- ČALDOVIĆ, S. 2015. Africultural collective [Zemljoradnička zadruga - in Serbian]. In: ČALDOVIĆ, S. (Ed.), *Sirogojno and the people in the picture and words [Sirogojno i ljudi u slici i reči - in Serbian]. Muzej na otvorenom “Staro selo” u Sirogojnu*, 44–54.
- CHEN, Y., KRYSSTYN, L., ORCHARD, M.J., LAI, X.-L. & RICHOSZ, S. 2015. A review of the evolution, biostratigraphy, provincialism, and diversity of Middle and Late Triassic condonts. *Papers in Palaeontology*, 1–29.
- DIMITRIJEVIĆ, M.N. & DIMITRIJEVIĆ, M.D. 1991. Triassic carbonate platform of the Drina-Ivanjica element (Dinarides). *Acta Geologica Hungarica*, 34: 11–44.



- DIMITRIJEVIĆ, M.N., RADOVANOVIĆ, Z., PANTIĆ-PRODANOVIĆ, S., JOVIČIĆ, A., DOBRIĆ, D. & DIMITRIJEVIĆ, M.D. 1981. Buloški krečnjaci. (Tematska geološka karta – Projekat D2, Godišnji izveštaj za 1980. godinu) [Bulog Limestone, Thematic Geologic Map – Project D2, Annual report for 1980 – in Serbian]. Unpublished report, Geological Institute, Beograd, 152–185.
- FEIST-BURKHARDT, S., GÖTZ, A.S., SZULC, J., BORKHATARIA, R., GELUK, M., HAAS, J., HORNUNG, J., JORDAN, P., KEMPF, O., MICHALÍK, J., NAWROCKI, J., LUTZ, R., RICKEN, W., RÖHLING, H.G., RUFFER, W., TÓRÓK, Á. & ZÜHLKE, R. 2008. 13. Triassic. In: MC CANN T. (Ed.). *The Geology of Central Europe, vol. 2. Mesozoic and Cenozoic*, Geological Society Book, London, 749–821.
- GAWLICK, H.-J., GORIČAN, S., MISSONI, S. & LEIN, R. 2012. Late Anisian platform drowning and radiolarite deposition as a consequence of the opening of the Neotethys Ocean (High Karst nappe, Montenegro). *Bulletin de la Société géologique de France*, 183 (4): 349–358.
- GAWLICK, H.-J., SUDAR, M.N., MISSONI, S., SUZUKI, H., LEIN, R. & JOVANOVIĆ, D. 2017. Triassic-Jurassic geodynamic history of the Dinaridic Ophiolite Belt (Inner Dinarides, SW Serbia). *Field Trip Guide, 13<sup>th</sup> Workshop on Alpine Geological Studies (Zlatibor, Serbia 2017)*, *Journal of Alpine Geology*, 55: 1–167.
- GAWLICK, H.-J., LEIN, R. & BUCUR, I.I. 2021. Precursor extension to final Neo-Tethys break-up: flooding events and their significance for the correlation of shallow-water and deep-marine organisms (Anisian, Eastern Alps, Austria). *International Journal of Earth Sciences*, 110, 2, 419–446 (<https://doi.org/10.1007/s00531-020-01959-w>);
- GAWLICK, H.-J., SUDAR, M., JOVANOVIĆ, D., LEIN, R., MISSONI, S.<sup>†</sup> & BUCUR, I.I. 2023. From shallow-water carbonate ramp to hemipelagic deep-marine carbonate deposition: Part 1. General characteristics, microfacies, and depositional history of the Middle to Late Anisian Bulog sedimentary succession in the Inner Dinarides (SW Serbia). *Geološki anali Balkanskoga poluostrva*, 84 (2): 1–39, <https://doi.org/10.2298/GABP230329006G>
- GRANIER, B. & DELOFFRE, R. 1994. Inventaire critique des algues dasycladales fossils III partie – les algues Dasycladales du Permien et du Trias. *Revue de Paléobiologie*, 14: 49–84.
- HAAS, J. (Ed.). 2004. Magyarország Geológiája Triász. *Elte Eötvös Kiadó*, 1–384.
- HAUER, F.V. 1888. Die Cephalopoden des bosnischen Muschelkalkes von Han Bulog bei Sarajevo. *Denkschriften Kaiserlichen Akademie der Wissenschaften. Mathematisch-naturwissenschaftliche Classe*, 54: 1–50.
- HAVRILA, M. 2011. Hronikum: paleogeografia a stratigrafia (vrchný pelsón–tuval), štrukturalizácia a stavba. *Geologické práce, Správy*, 117: 5–103, (in Czech, English summary).
- HO, Y. 1959. Triassic foraminifera from the Chialingkiang limestone of South Szechuan. *Acta Palaeontologica Sinica*, 7 (5): 387–418 (In Chinese, English abstract).
- KARÁDI, V., BUDAI, T., HAAS, J., VÖRÖS, A., PIROS, O., DUNKL, I. & TÓTH, E. 2022. Change from shallow to deep-water environment on an isolated carbonate platform in the Middle Triassic of the Transdanubian Range (Hungary). *Paleogeography. Paleoclimatology, Palaeoecology*, 587, Paper: 110793, 16p.
- KILIÇ, A.M. 2021. Anisian (Middle Triassic) Conodonts of the Kocaeli Triassic, Western Turkey. *Journal of Earth Science*. 32 (1): 616–632.
- KILIÇ, A.M., PLASENCIA, P., GUEX, J. & HIRSCH, F. 2017. Challenging Darwin: Evolution of Triassic conodonts and their struggle for life in a changing world. In: MONTENARI, M. (Ed.). *Stratigraphy and Timescales*, 2, Burlington, MA, USA, Academic Press, 333–389.
- KOEHN-ZANINETTI, L. 1969. Les foraminifères du Trias de la région de l'Almtal (Haute Autriche). *Jahrbuch der Geologischen Bundesanstalt*, Special Volume, 14: 1–155.
- KOVÁCS, S., LESS, GY., PIROS, O. & ROTH, L. 1988. Az Aggtelek-Rudabánya hegység triász formációi. (Triassic Formations of the Aggtelek-Rudabánya Mountains). *MAFI Evi Jelentes 1986-rol*: 19–43.
- KOVÁCS, S., LESS, GY., HIPS, K., PIROS, O. & JÓZSA S. 2004. Aggteleki-Rudabányai egységek. In: HAAS J. (Ed.), Magyarország Geológiája Triász. *Elte Eötvös Kiadó*, 197–288.
- KOVÁCS, S., LESS, G., PIROS, O., RÉTI, Z. & RÓTH, L. 1989. Triassic formations of the Aggtelek–Rudabánya Mountains (Northeastern Hungary). *Acta Geologica Hungarica*, 32 (1–2): 31–63.
- KOVÁCS, S., SUDAR, M., KARAMATA, S., HAAS, J., PÉRO, Cs., GRADINARU, E., GAWLICK, H.-J., GAETANI, M., MELLO, J., POLÁK, M., ALJINOVIĆ, D., OGORELEC, B., KOLAR-JURKOVŠEK, T., JURKOVŠEK, B. & BUSER, S. 2010. Triassic environments in the Circum-Pannonian Region related to the initial Neotethyan rifting stage. In: VOZÁR, J., EBNER, F., VOZÁROVA, A., HAAS, J., KOVÁCS, S., SUDAR, M., BIELIK, M. & PÉRO, Cs. (Eds.). *Variscan and Alpine terranes of the*

- Circum-Pannonian Region*, 87–156, Slovak Academy of Sciences, Geological Institute, Bratislava.
- KRYSTYN, L. & SCHÖLLENBERGER, W. 1972. Die Hallstätter Trias des Salzkammergutes. In: *Exkursionsführer zur Tagung der Paläontologischen Gesellschaft in Graz, 1972*, 61–106.
- KUKOČ, D., SMIRČIĆ, D., GRGASOVIĆ, T., HORVAT, M., BELAK, M., JAPUNDŽIĆ, D., KOLAR-JURKOVŠEK, T., ŠEGVIĆ, B., BADURINA, L., VUKOVSKI, M. & SLOVENEK, D. 2023. Biostratigraphy and facies description of Middle Triassic rift-related volcano-sedimentary successions at the junction of the Southern Alps and the Dinarides (NW Croatia). *International Journal of Earth Sciences (Geol Rundsch)*, 112 (4): 1175–1201.
- LEIN, R. 1987: Evolution of the Northern Calcareous Alps during Triassic times. In: FLUGEL H.W. & FAUPL, P. (Eds.): *Geodynamics of the Eastern Alps*, (Franz Deuticke), Wien, 85–102.
- MISSONI, S., GAWLICK, H.-J., SUDAR, M.N., JOVANOVIĆ, D. & LEIN, R. 2012. Onset and demise of the Wetterstein Carbonate Platform in the mélange areas of the Zlatibor Mountain (Sirogojno, SW Serbia). *Facies*, 58: 95–111.
- MRDAK, M., GAWLICK, H.-J., ĐAKOVIĆ, ĐERIĆ, N. & SUDAR, M. 2022. Drowning of the Ravni Carbonate Ramp and the overlying late Middle Anisian Bulog Formation in the Seljani area, Montenegro, Dinarides. In: RANTITSCH, G. & RAITH, J.G. (Eds.): *PANGEA Austria 2022, Abstracts*, 10–14 September 2022, Leoben, *Berichte der Geologischen Bundesanstalt*, 143, p. 121.
- MUDRENOVIĆ, V. 1995. Cephalopods from the Bulog limestones of Sirogojno. *Geološki anali Balkanskoga poluostrva*, 59 (2): 203–214.
- ORCHARD, M. 2010. Triassic conodonts and their role in stage boundary definition. In: LUCAS, S.G. (Ed.), *The Triassic timescale. Journal of the Geological Society of London*, 334: 139–161.
- OTT, E. 1972. Die Kalkalgen-Chronologie der alpinen Mitteltrias in Angleichung an die Ammoniten-Chronologie. *Neues Jahrbuch für Paläontologie Abhandlungen*, 141: 81–115.
- PLASENCIA, P., KILIĆ, A.M., BAUD, A., SUDAR, M. & HIRSCH, F. 2018. The evolutionary trend of platform denticulation in Middle Triassic acuminate Gondolelloidae (Conodonts). *Turkish Journal of Zoology*, 42: 187–197.
- RETTORI, R. 1995. Foraminiferi del Trias inferior e medio delle tetide: revision tassonomica, stratigrafia ed interpretazione filogenetica. *Publications du Département de Géologie et Paléontologie, Université de Genève, section des Science de la Terre*, 18: 1–147.
- RETTORI, R., ANGIOLINI, L. & MUTTONI, G. 1994. Lower and Middle Triassic foraminifera from the Eros Limestone, Hydra Island, Greece. *Journal of Micropaleontology*, 13: 25–46.
- SALAJ, J., BORZA, K. & SAMUEL, O. 1983. Triassic foraminifers of the West Carpathians. *Geologický Ústav Dionýza Štúra*, Bratislava, 1–213.
- SALAJ, J., TRIFONOVA, E. & GHEORGHIAN, D. 1988. A biostratigraphic zonation based on benthic foraminifera in the Triassic deposits of the Carpatho-Balkans. *Revue de Paléobiologie*, vol. spec. 2:153–159.
- SCHLAGER, W. & SCHÖLLENBERGER, W. 1974: Das Prinzip der stratigraphischen Wenden in der Schichtfolge der Nördlichen Kalkalpen. *Mitteilungen der Österreichischen Geologischen Gesellschaft*, 66–67: 165–193.
- SMIRČIĆ, D., KOLAR-JURKOVŠEK, T., ALJINOVIĆ, D., BARUĐŽIJA, U., JURKOVŠEK, B. & HRVATOVIĆ, H. 2018. Stratigraphic Definition and Correlation of Middle Triassic Volcaniclastic Facies in the External Dinarides: Croatia and Bosnia and Herzegovina. *Journal of Earth Science*, 29 (4): 864–878.
- SUDAR, M. 1996. Triassic conodonts of Zlatibor. In: DIMITRIJEVIĆ M.D. (Ed.). *Geologija Zlatibora, Geoinstitut, posebna izdanja*, 18: 25–26, Beograd.
- SUDAR, M., GAWLICK, H.-J., SUZUKI, H., MISSONI, S., LEIN, R. & JOVANOVIĆ, D. 2008. Radiolarian dating in the Middle Jurassic radiolaritic-ophiolitic wildflysch (ophiolitic mélange) of the Dinaridic Ophiolite Belt, SW Serbia. *Journal of Alpine Geology (Abstracts, Pangeo 2008)*, 49, p. 107.
- SUDAR, M.N., GAWLICK, H.-J., LEIN, R., MISSONI, S., KOVÁCS, S.<sup>†</sup> & JOVANOVIĆ, D. 2013. Depositional environment, age and facies of the Middle Triassic Bulog and Rid formations in the Inner Dinarides (Zlatibor Mountain, SW Serbia): evidence for the Anisian break-up of the Neotethys Ocean. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Abhandlungen*, 269 (3): 291–320.
- SUDAR, M.N. & GAWLICK, H.-J. 2022. Bulog Formation or Bulog Group? New Insights in the Middle-Late Anisian Depositional History in the Dinarides. *Zbornik apstrakata (Book of abstracts)*, 18. Kongres geologa Srbije, "Geologija rešava probleme", (Divčibare, 01-04 jun 2022), str. 260 (srpski tekst), p. 261 (English text), Srpsko geološko društvo, Beograd.

SUDAR, M., GAWLICK, H.-J., BUCUR, I.I., JOVANOVIĆ, D., MISSONI, S.<sup>†</sup> & LEIN, L. 2023. From shallow-water carbonate ramp to hemipelagic deep-marine carbonate deposition: Part 3. Lithostratigraphy and Formations of the Middle to Late Anisian Bulog sedimentary succession in the Inner Dinarides (SW Serbia and central Bosnia & Herzegovina). *Geološki anali Balkanskoga poluostrva*, 84 (2): 71–106.

<https://doi.org/10.2298/GABP231117011S>

TOLLMANN, A. 1976. *Analyse des klassischen nordalpinen Mesozoikums. Stratigraphie, Fauna und Fazies der Nördlichen Kalkalpen.*, (Franz Deuticke), Wien, 580 p.

TOLLMANN, A. 1985. *Geologie von Österreich. Ausserzentralalpiner Anteil*, (Franz Deuticke), Wien, Band 2, 710 p.

VELLEDITS, F., LEIN, R., KRYSZYN, L., CSABA, P., PIROS, O. & BLAU, J. 2017. The Reifling event in the Northern Calcareous Alps and in the Aggtelek Mountains (Middle Triassic). *Földtany Közlöny*, 147 (1): 3–24 (in Hungarian, English abstract).

WENDT, J. 1973. Cephalopod accumulations in the Middle Trassic Hallstatt-Limestone of Yugoslavia and Greece. *Neues Jahrbuch für Geologie und Paläontologie, Monatshefte*, Jg. 1973 (H. 10): 624–640.

## Резиме

**Од плитководне карбонатне рампе до хемипелашке дубоководне маринске карбонатне депозиције: Део 2. Сирогојно (каменолом Клисуре) – референтни локалитет средњо до касно анизијске булошке седиментне сукцесије у Унутрашњим Динаридима (ЈЗ Србија)**

Дугогодишња детаљна изучавања седиментних сукцесија у циљу утврђивања и разумевања тектоностратиграфије Медитеранског региона, омогућила су реконструкцију целокупне геодинамичке историје, као и историје тектонике плоча. Тектонски покрети, чак и у размери тектонике плоча, огледали су се у променама депозиционих карактеристика. Отварање океана Неотетиса од средњег анизика одразило се

променом у депозицији од плитко- до дубоководних кречњака, свуда у домену Западног Тетиса. Детаљна анализа и опис свих седиментолошких карактеристика омогућила је прецизнију реконструкцију ових геодинамичких промена. Осим тога, оваквим детаљним анализама направљена је основа за дефинисање литостратиграфских јединица, односно формација, као једина база за картирање и разумевање новоформираних геометрија регионалних размера.

Једна таква кључна формација за разумевање тектоностратиграфије Унутрашњих Динарида, посебно историје раног отварања океана Неотетиса, је дубоководна Формација Булог, депонована изнад плитководне карбонатне рампе Равни.

Класична и најкомплетнија седиментна сукцесија булошких кречњака, тј. Формације Булог у српским Унутрашњим Динаридима утврђена је на планини Златибор у локалитету каменолома Клисуре у Сирогојну. На локалитету је очуван профил у оквиру великог реседиментованог блока у Карбонатно-кластичном меланжу Сирогојна, који лежи преко парааутохтоних седиментних сукцесија Источнобосанско-Дурмиторске мега јединице. На стубу у каменолому Клисуре очуване су све средњо до касно анизијске седиментолошке карактеристике, тако да се он може користити као референтни профил еволуције Булошких кречњака. Поред видљивог контакта потапања, очувана су и: два нивоа кондензованих слојева са цефалоподима, догађај нагињања на граници средњи/касни илир, две генерације нептунских дајкова формиране током временског распона од касног пелсона до касног илира. На овом профилу Формација Булог се на бази добро документованих карактеристичних литолошких и микрофацијалних особености може поделити у три различите јединице.

Овде описана секвенца потапања укупне дебљине до 21,2 m налик је ситуацији описаној од стране SUDAR et al. (2013) и GAWLICK et al. (2017) из 2010. године, али са неким додацима. Након вишегодишње експлоатације каменолома неке, не баш изражене особености биле су боље изучене него раније, док се неке друге карактеристике никад више нису појавиле. Мада на садашњом профилу локалитета нису остале

сачуване већина особина еволуције нормално да се оне и даље изучавају при актуелном стању у каменолому.

Анизијска седиментна сукцесија почиње са плитководним кречњацима средњоанизијске карбонатне рампе Равни (Steinalm) (члан Дедовићи Формације Равни). Типичне микрофације члана Дедовићи су плитководни грејстони, у највишем нивоу са криноидима, љуштурама шкољки, фораминиферима и ретким кречњачким алгама. У горњем делу истог члана где је већи утицај отвореног мора (нпр. присутни су криноиди) могу се уочити две генерације нептунских дајкова, тј. пукотина (видљиве су испуне дужине до 4 m и ширине до 20 cm) испуњених сиво-црвенкастим и црвенкастим хемипелашким муљем Формације Булог. Могу се разликовати најмање две различите генерације испуна нептунских дајкова, датирани преко конодоната:

А. старија (касно пелсонска) и

В. млађа (касно илирска).

Старију генерацију нептунских дајкова карактеришу слојеви микробиала и преципитација цемента по рубовима и испуна светло црвенкасто-сивог микрита, а садрже неке плитководне компоненте и угласте класте из члана Дедовићи. Касно илирске испуне изграђује црвени биомикрит са понеким криноидима, шкољкама танких љуштура и фораминиферима. Слојеви микробиала су такође типични.

Целокупна секвенца потапања, тј. седиментна сукцесија Формације Булог се може поделити на три јединице. Касно пелсонска јединица 1, дебљине 11 m, тј. типична сукцесија црвених нодуларних кречњачка, почиње са турбидитским сивим до сиво-црвенкастим ламинираним кречњацима који садрже реседименте сачуване само локално, а затим следи кондензовани црвени слој кречњака богат са цефалоподима (Први слој са цефалоподима). Доњи део јединице 1 дебљине је до 1 m, а у неким случајевима се појављују сиви микритски слојеви кречњака дебљине 5-8 cm, који преовлађују у његовом најнижем делу. Ови слојеви садрже мало пелоидних и микритских класта, фрагменте шкољака, рекристалисана зрна, и

понеку шкољку танких љуштура. Присутни векстони са "филаментима" и фрагментима шкољака су прекривени хемипелашким, сиво-црвенкастим ламинираним кречњацима, тј. турбидитским дубоководним векстонима до пекстонима, понегде грејстонима са компонентама плитководног порекла. Али, у овим седиментима нема плитководних зрна који су типични у највишем делу Формације Равни. Такође, у овим турбидитима недостају типична флора и фауна Формације Равни, али они садрже сиромашну фораминиферску фауну која се разликује од оне у Формацији Равни, указујући на промену из плитких у дубокомаринске услове, што је такође доказано појавом касно пелсонске конодонтске фауне. Ови финозрни турбидити су интеркалисани у мадстоне до векстоне и не садрже фауну. Поред тога, нема трагова биотурбација видљивих у том делу сукцесије, који указују на депозиционе услове барем делом ограничене средине без бентоса. Овај део сукцесије је временски еквивалентан са првом генерацијом испуна пукотина што је документовано фацијално еквивалентним седиментима у нептунским дајковима, а такође и са идентичном конодонтском фауном.

Рано илирска јединица 2 је отприлике 5 m дебела и почиње изнад кондензованог хоризонта касно пелсонске јединице 1. Кондензовани хоризонт се карактерише присуством хардграунда и трагова субсолуције. У овом црвеном нодуларном кречњаку („филаментно“-криноидни векстон до пекстон) ретко се појављују цефалоподи. Микрофацијалне карактеристике рано илирске јединице 2 су генерално налик на микрофацијалне карактеристике касно пелсонске јединице 1, посебно у њеном горњем делу пре него што је започела кондензација. Разлике су у разноврснијем и обogaћенијем садржају фауне као у већини делова јединице 1. Кондензовани хоризонт око границе пелсон/илир мармира промену у депозицији.

Базу јединице 3 карактерише кондензовани хоризонт са формирањем хардграунда и обogaћењем цефалоподима (Други слој са цефалоподима). Овај хоризонт је највероватније средњоилирске старости. Изнад тог конден-

зованог хоризонта изражени угаони дисконтинуитет са нагибом морског дна од 8-10° маркира прелаз у касно илирску јединицу 3 булошке седиментне сукцесије. Доминантне микрофације су векстони до пекстони са амоноидима, обогаћењима са шкољкама танких љуштура (“филаментима”) и кластима са хардграунда уз понеки фораминифер. Поред тога, ка западу се повећава дебљина булошке седиментне сукцесије и у самом слоју, као и у укупној дебљини јединице (5 m). Не може се поуздано одлучити да ли је то укупна дебљина булошке седиментне сукцесије испод благо нагнутог нормалног раседа или су неки њени делови еродовани услед тектонике.

Највиши део испод тектонског контакта су јако силициозни кречњаци (радиоларијски векстон) без одредљиве конодонтске фауне. Присутне микрофације указују на најкаснију илирску до рано ладинску (касно илирску ? до најранију фасанску старост). Додатно, радиоларијска фауна из вишег дела слоја са вулканским пепелом указује на лонгобард. Микрофацију карактерише кондензованост са кластима са хардграунда и понегде релативно густо пакованим слојевима са шкољакама. Криноиди, шкољке танких љуштура и амоноиди су карактеристични елементи фауне. Неколико биотитских класта нађених у талогу кречњака после екстракције конодоната указује на вулканизам.

Пелсонска до илирска седиментна сукцесија у каменолому Клисура (Сирогојно) чува неке ретке карактеристике постепене историје отварања океана Неотетиса током пелсона до илира. Према томе, булошка кречњачка сукцесија у каменолому Клисура може се сматрати као референтни локалитет Формације Булог. Секвенца потањања плитководне карбонатне рампе Равни, тј. касно пелсонске до касно илирске Формације Булог, може се у каменолому Клисура поделити у три различите јединице. На другим профилима булошких кречњака ове јединице је врло тешко разликовати или у неким случајевима нису ни сачуване. Овако како су очуване на профилима у каменолому Клисура, детаљно огледавају средњо до касно анизијско постепено отварање океана Неотетиса.

Догађај наглог продубљавања око границе битин/пелсон (Annaberg догађај) није регистрован на профилима у каменолому Клисура. Завршно разламање Неотетиса на крају средњег анизика (касног пелсона) прилично је добро документовано у свим областима Западног Тетиса. Такозвани рајфлиншки преокрет (Reifling turnover) резултовао је потапањем карбонатне рампе Равни/Steinalm и формирањем хорст и грабен топографије, тј. типичан је дисконтинуитет разламања.

Потпуни нестанак карбонатне рампе Равни/Steinalm у касном пелсону, формирање хорст и грабен топографије, почетак депозиције дубокомаринских кондензованих седимената у новоформираним депресијама (грабенима) и субаерска или субмаринска ерозија више издигнутих хорстова, прилично су добро документовани у свим источно медитеранским планинским венцима. Насупрот томе, формирање касно пелсонских нептунских дајкова и њихова седиментна испуна је ретко детаљно описана.

Добро очувана рана секвенца потањања, депонована под делом ограниченим условима, релативно је јединствена карактеристика на профилима у каменолому Клисура и није позната на другом месту или је до сада превиђена, односно неистражена, услед ограничене појаве изданака. Секвенцу потапања изнад карбонатне рампе Равни/Steinalm врло често карактерише депозиција кондензованих црвених нодуларних кречњака, и понегде бројни цефалоподи. Ови кондензовани црвени нодуларни кречњаци богати са цефалоподима на врху карбонатне рампе Равни/Steinalm највероватније одговарају Првом слоју са цефалоподима на профилима у каменолому Клисура, чак иако амоноидна фауна тог слоја још није довољно детаљно изучена. Касно пелсонска до касно илирска сукцесија црвених нодуларних кречњака, која лежи преко, изузетно је дебела у сукцесији каменолома Клисура и карактеришу је кондензовани хоризонт на граници пелсон/илир и кондензовани хоризонт у средњем илиру.

Нагињање блока око средњег/касног илира са формирањем другог дисконтинуитета и настанка друге генерације нептунских дајкова

огледа се кроз следећу фазу екстензионих кретања. Ови касно илирски покрети су до сада такође интерпретирани као израз постепеног анизијског отварања Неотетиса, али су за коначан закључак неопходно потребна даља детаљна изучавања или ревизије пелсонско-

илирске секвенце потапања свуда у области Западног Тетиса, посебно у булошкој седиментној сукцесији у Спољашњим Динаридима.

*Manuscript received April 03, 2023*

*Revised manuscript accepted July 18, 2023*