X. KÁRPÁT-MEDENCEI ÖSSZEGYETEMI TEREPGYAKORLAT, PAPUK (HORVÁTORSZÁG)

10TH ANNUAL FIELD TRIP OF THE YOUTH COMMITTEE OF THE HUNGARIAN GEOLOGICAL SOCIETY, PAPUK MTS. (CROATIA)

2021. augusztus 23–29.
23–29 August 2021

Tartalomjegyzék/*Content*

A Magyarhoni Földtani Társulat Ifjúsági Bizottságának köszöntője 2
A 2011-ben indult Kárpát-medencei Összegyetemi Terepgyakorlat eddigi helyszínei és időpontjai 4
Program/*Programme* 5
Résztvevők/*Participants* 7
Terepi vezetők/*Field guides* 7
Támogatók/*Supporters* 8
Bevezetés a X. Kárpát-medencei Összegyetemi Terepgyakorlat helyszíneihez 9
Papuk UNESCO Geopark 9
Kutjevoi borvidék 12
1. nap (2021. augusztus 24.) 13
1. megálló: Introduction to the geology of the Slavonian Mountains 13
2. megálló: Petrov vrh. (középső-triász dolomitok) 16
3. megálló: Perm-triász képződmények: kvarchomokkövek és fillites konglomerátumok 17
4. megálló: Kloritoidpala/kloritoid metagrauwacke – Velika Rijeka 19
5. megálló: A Kutjevói-patak völgyének Barrow-típusú regionális metamorf kőzetei: Rovišćak (retrográd metamorfizált gránát-sztaurolit-disztén gneisz) 21
2. nap (2021. augusztus 25.) 22
6. megálló: Rupnica, oszlopos elválású riolit (védett feltárás) 22
7. megálló: Trešnjevo Brodo (Djedovica kőfejtő) 24
8. megálló: A Brzaja pataki migmatitok és granitoidok típusai – Čarugin kamen 25
9. megálló: Triassic sedimentary carbonate complex at the central part of Papuk Mts. 27
3. nap (2021. augusztus 26.) 34
Neogene Stratigraphy of the Slavonian Mountains 34
Stop 1 Bukova Glava section (Našice quarry) 39
Stop 2 Vranović section (Našice quarry) 43
Stop 3 Zdenci quarry 48
Stop 4 Poljanska 53
6. nap (2021. augusztus 29.) 60
1. megálló: Villány, Templomhegyi-kőfejtő (középső és felső triász, Templomhegyi Dolomit és Mészhegyi Formáció; alsó, középső és felső jura, Somssichhegyi, Villányi és Szársomlyói Mészkő Formáció; pleisztocén) 60
2. megálló: Nagyharsányi-szoborpark (Szársomlyó) 69
Irodalomjegyzék/References 72

A Magyarhoni Földtani Társulat Ifjúsági Bizottságának köszöntője

Welcome of the Youth Committee of the Hungarian Geological Society

A 2011-ben megszületett Összegyetemi Terepgyakorlat első helyszíne a Mecsek volt. Ezen az első terepgyakorlaton 18 hallgató vett részt, akik az ország öt különböző egyeteméről verődtek össze, hogy életre hívják a Magyarhoni Földtani Társulat Ifjúsági Bizottságának későbbi legnagyobb és legfontosabb rendezvényét. A megálmodók mottója így szólt: "A programmal a célunk egy hagyományteremtő programsorozat elindítása, melynek keretén belül évente minden egyetemen meghirdetésre kerülne hasonló összegyetemi terepgyakorlat." A hagyományt sikerült megőrizni, hiszen 2011 óta minden évben legalább 15–20 hallgató részt vett ezen a programon. Gátat csak a tavalyi járványhelyzet tudott szabni eme remek kezdeményezésnek. A támogatók és a szervezők összetétele szinte minden évben változott, csakúgy, mint a helyszínek, így igazi vándorjelleget kölcsönözve ennek a kötetlen szakmai programnak.

Jubileumi Összegyetemi Terepgyakorlatunk helyszínéül mindenképpen egy unikális arculattal rendelkező, földtanilag is összetett, ugyanakkor a visszatérő terepgyakorlatozók számára is új, kevéssé ismert helyszínt szerettünk volna választani a Kárpát-Pannon-térségen belül. Az igazi nehézséget az utóbbi feltétel teljesítése okozta, hiszen elődeink az elmúlt 10 évben a Soproni-hegységtől a Keleti-Kárpátokig megannyi nagyszerű helyre szervezték az Összegyetemi Terepgyakorlatot, programjaikkal igazán magasra téve a lécet. Ahhoz, hogy sikerüljön ezt megugranunk, egészen a Dráván túlra kellett terveznünk, ugyanis a szlavóniai szigethegységek közé tartozó Papukban megtaláltuk az ideális helyszínt. Egész pontosan még 2019 nyarán. Horvát kollégáink 2019. novemberi felkeresésekor természetesen semmit sem sejtettünk abból, hogy fél éven belül mekkora fordulatot vesznek mindennapjaink (a szakmai programok megvalósítása szempontjából is), és hogy csak két év múlva, második nekifutásra, két oltással a karunkban, illetve oltási és védettségi igazolásokkal irataink között érünk célba. De a lényeg, hogy sikerült! Zágrábi kollégáinkkal közel két éven át egyeztetve kitartottunk, és ami még fontosabb, hogy Ti is kitartottatok mellettünk. Napjaink anyagi nehézségei és bizonytalanságai ellenére jelentős számú szakmai vállalkozás és alapítvány támogatta projektünket, amiért szintén kimondottan hálásak vagyunk. Nélkülük nem valósulhatott volna meg az idei terepgyakorlat sem. A résztvevők névsorán végigtekintve megannyi közös élmény jut eszünkbe az elmúlt évtizedből, amelyet az egyetemek, a hazai és erdélyi terepgyakorlatok és a vendéglátóipari egységek háromszögében együtt éltünk meg. Ugyanakkor az új nevek, és

a tízesre kerekítve 2000-et adó születési dátumok a résztvevők listáján azt sugallják, hogy lesz, aki továbbviszi az Összegyetemi Terepgyakorlat szellemiségét és hagyományát, minél több új tagot bevonva az MFT Ifjúsági Bizottságának lelkes munkájába is. Nem kell rá sokat várni, hogy egy pohár grasevina (avagy olaszrizling) mellett kívánhassunk nekik az elmúlt évek terepgyakorlataihoz hasonló, összetartó társaságot és programokban gazdag, sikeres jövőt.

Az MFT IB és horvát terepi vezetőink nevében pedig hasznos és kellemes terepgyakorlatot és jó szerencsét kívánunk Mindenkinek!

A X. Kárpát-medencei Összegyetemi Terepgyakorlat szervezői

Budapest, 2021. augusztus 23.

A 2011-ben indult Kárpát-medencei Összegyetemi Terepgyakorlat eddigi helyszínei és időpontjai

2021. augusztus 23–29. **–** Jankovac (Papuk, Horvátország)

2019. augusztus 21–26. – Tardos (Gerecse)

2018. augusztus 19–26. – Keleti-Kárpátok (Románia)

2017. augusztus 20–25. – Csepreg (Alpokalja és Burgenland, Ausztria)

2016. augusztus 15–21. – Torockó (Erdélyi-középhegység és Erdélyi-medence, Románia)

2015. augusztus 24–28. – Gyöngyösoroszi (Északi-középhegység és Nógrád-Gömöri bazaltvidék, Szlovákia)

2014. augusztus 4–8. – Orfű (Mecsek)

2013. augusztus 26–31. – Telkibánya (Zempléni-hegység)

2012. augusztus 27–szeptember 1. – Dunántúli-középhegység

2011. augusztus 3–9. – Orfű (Mecsek)

Program/*Programme*

1. nap (2021. augusztus 24.): Pécs – Orahovica – Jankovac (1.) – Petrov vrh (2.) – Rikino Vrilo + Kapavac (3.) – Velika Rijeka (4.) – Rovišćak (5.) – Kutjevo – Jankovac

Program: Papuk földtana, rétegtana, szerkezetfejlődése; Papuk UNESCO Geopark tanösvényeinek és feltárásainak látogatása (triász dolomit, permotriász sziliciklasztos kőzetek, prealpi metamorf képződmények); pincelátogatás és borkóstolás Kutjevoban (Kutjevo d.d.)
Terepi vezetők: Marija Horvat (Horvát Geológiai Szolgálat, Zágrábi Egyetem), Uroš Barudžija (Zágrábi Egyetem), Adriano Banak (Horvát Geológiai Szolgálat)

2. nap (2021. augusztus 25.): Jankovac – Voćin – Rupnica (6.) – Trešnjevo Brodo (7.) – Čarugin kamen (8.) – Velika (9.) – Jankovac

Program: Papuk kréta vulkáni- és telérkőzetei, variszkuszi granitoidok, triászkarbonát komplexum
Terepi vezetők: Marija Horvat (Horvát Geológiai Szolgálat, Zágrábi Egyetem), Uroš Barudžija (Zágrábi Egyetem), Adriano Banak (Horvát Geológiai Szolgálat)

3. nap (2021. augusztus 26.): Jankovac – Našice – Zdenci – Poljanska – Jankovac

Program: Papuk, Krndija és Dilj hegységek miocén (alsó miocén, badeni, szarmata, pannóniai) rétegsorának megismerése
Terepi vezető: Marijan Kovačić (Zágrábi Egyetem)

4. nap (2021. augusztus 27.): gyalogtúra a Jankovac – Velika – Jankovac útvonalon

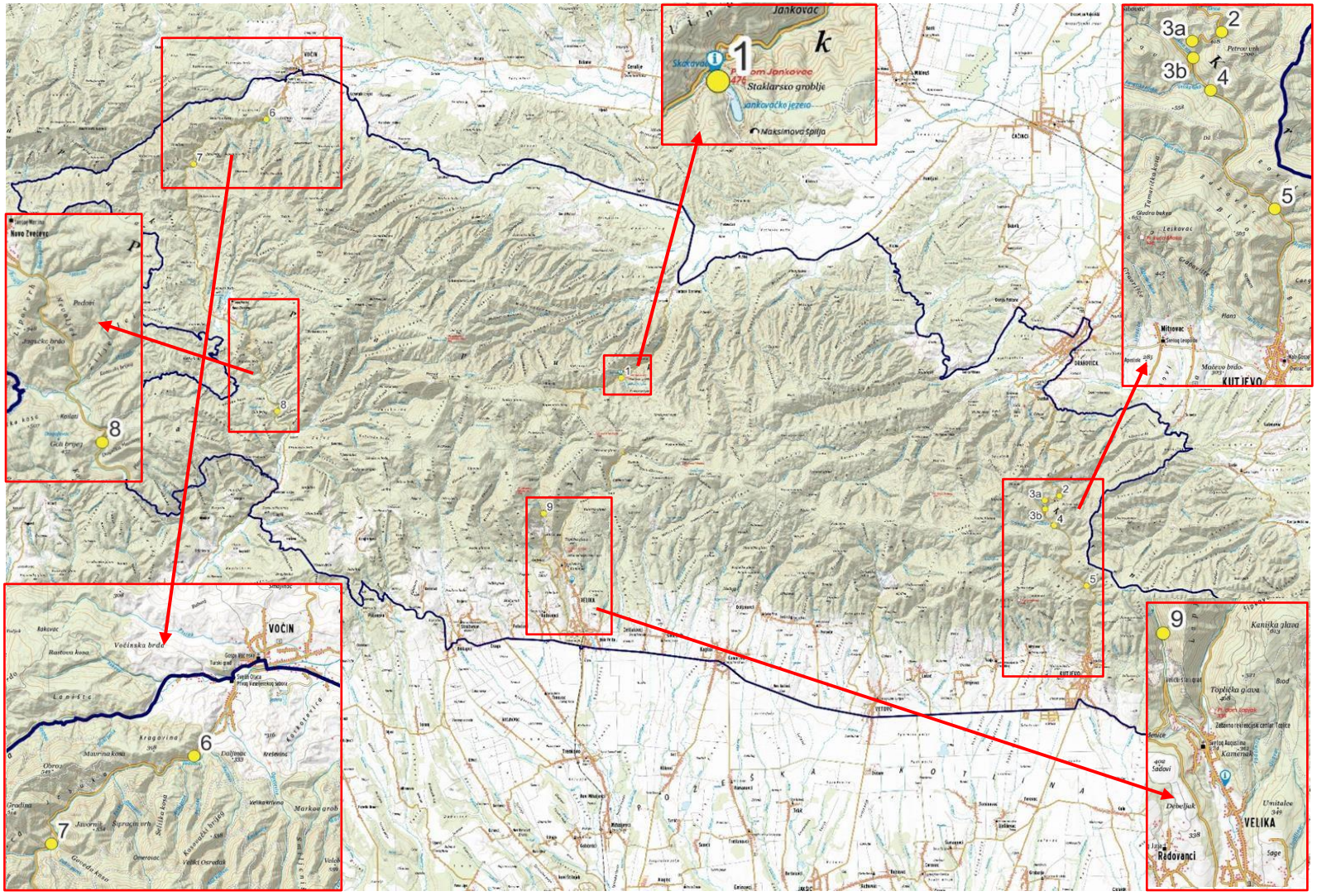
Program: Papuk természeti értékei (geológiai és geomorfológiai érdekességek) Terepi vezető: Goran Pavić (Papuk UNESCO Geopark)

5. nap (2021. augusztus 28.): Jankovac – Velika – Polytechnic in Požega – Jankovac

Program: House of the Pannonian Sea (fosszília gyűjtemény), pincelátogatás a Polytechnic in Požega bemutató pincészetében, geológuskvíz és fröccspong bajnokság
Terepi vezetők: Szemerédi Máté és Botka Dániel (szervezők)

6. nap (2021. augusztus 29.): Jankovac – Villány – Pécs

Program: Templom-hegyi tanösvény, Szársomlyó (Nagyharsányi szoborpark), Villány
Terepi vezetők: Botka Dániel és Szemerédi Máté (szervezők)



1. ábra/Figure 1 A X. Kárpát-medencei Összegyetemi Tererpgyakorlat megállói a Papuk UNESCO Geopark területén (kék vonallal lehatárolva). Készítette: GoranPavić (Papuk UNESCO Geopark)

Résztvevők/*Participants*

Név/*Name*	Felsőoktatási intézmény/*University*
Bálint Attila	Eötvös Loránd Tudományegyetem
Botka Dániel Bálint	Eötvös Loránd Tudományegyetem
Cserép Barbara	Eötvös Loránd Tudományegyetem
Deli Ádám	Szegedi Tudományegyetem
Deli Boglárka Éva	Szegedi Tudományegyetem
Egri Ákos	Szegedi Tudományegyetem
Gál Péter	Miskolci Egyetem, Eötvös Loránd Tudományegyetem
Gál Vazul	Pécsi Tudományegyetem, Szegedi Tudományegyetem
Gelencsér Kinga	Pécsi Tudományegyetem, Szegedi Tudományegyetem, Szent István Egyetem
Godó Anita	Szegedi Tudományegyetem
Máthé Árpád	Pécsi Tudományegyetem, Eötvös Loránd Tudományegyetem
Miklós Dóra Georgina	Eötvös Loránd Tudományegyetem
Nagy Balázs	Szegedi Tudományegyetem
Pánczél Emese	Eötvös Loránd Tudományegyetem
Szabó Éva Györgyi	Szegedi Tudományegyetem
Dr. Szemerédi Máté András	Szegedi Tudományegyetem
Tóth Emese	Szegedi Tudományegyetem
Tresánszki Ágota Melinda	Miskolci Egyetem

1. táblázat A X. Kárpát-medencei Összegyetemi Terepgyakorlat, Papuk (Horvátország) résztvevői

Terepi vezetők/*Field guides*

Név/*Name*	Affiliáció/*Affiliation*
Adriano Banak	Horvát Geológiai Szolgálat/*Croatian Geological Survey*
Uroš Barudžija	Zágrábi Egyetem/*University of Zagreb*
Marija Horvat	Horvát Geológiai Szolgálat/*Croatian Geological Survey*, Zágrábi Egyetem/*University of Zagreb*
Marijan Kovačić	Zágrábi Egyetem/*University of Zagreb*
Goran Pavić	Papuk UNESCO Geopark/*Papuk UNESCO Geopark*

2. táblázat A X. Kárpát-medencei Összegyetemi Terepgyakorlat, Papuk (Horvátország) terepi vezetői

Támogatók/*Supporters*

GeoLitera

Geo-Log Kft.

Geomega Kft.

Hantken Miksa Alapítvány

Horvát Földtani Szolgálat/*Croatian Geological Survey*

Magyarhoni Földtani Társulat

KRILL Zrt.

Papp Simon Alapítvány a Hazai Szénhidrogénföldtani Oktatásért

Biocentrum Környezetvédelmi és Vízgazdálkodási Kft.

Papuk UNESCO Geopark

Zágrábi Egyetem/*University of Zagreb*

Bevezetés a X. Összegyetemi Terepgyakorlat helyszíneihez

Szemerédi Máté, MTA-ELTE Vulkanológiai Kutatócsoport, Szegedi Tudományegyetem; szemeredi.mate@gmail.com

Papuk UNESCO Geopark

A X. Összegyetemi Terepgyakorlat programjának fontos részét képezi a magyar–horvát határtól alig 70 km-re elhelyezkedő – ugyanakkor még a legfanatikusabb hazai természetjárók köreiben is kevéssé ismert – Papuk UNESCO Geopark természeti értékeinek megismerése. Horvát kollégáink szakmai vezetése, a természeti és gasztronómiai értékek szépsége, illetve a geotúrák kalandjai remélhetőleg bizonyítani fogják felvetésünket, amely szerint a szlavóniai szigethegység (geo)turisztikai szempontból méltó vetélytársa az utazási irodák által jobban felkapott Plitvicei-tavak és Krka Nemzeti Parkoknak, és egyben a horvátországi nyaralások első vagy éppen utolsó állomása, vagy akár rövidebb hétvégi túrák remek helyszíne is lehet.

A már 1999-ben védett területté nyilvánított Papuk Természeti Park, a Horvát Földtani Szolgálat és a Zágrábi Egyetem kitartó fáradozásainak eredményeként 2007-ben lett az Európai és Globális (UNESCO) Geopark Hálózat része, a legelső horvát geoparkként. Terepbejárásaink során több helyen a Papuk UNESCO Geopark tanösvényeit, szabadtéri és beltéri kiállításait látogatjuk, amelyek jól kiegészítik, illetve kreatív megoldásaikkal információs tábláikon sokszor segítik is horvát terepi vezetőinket a geológiai szempontból meglehetősen komplex terület szerkezetfejlődésének, rétegtanának és földtani folyamatainak ismertetésében.

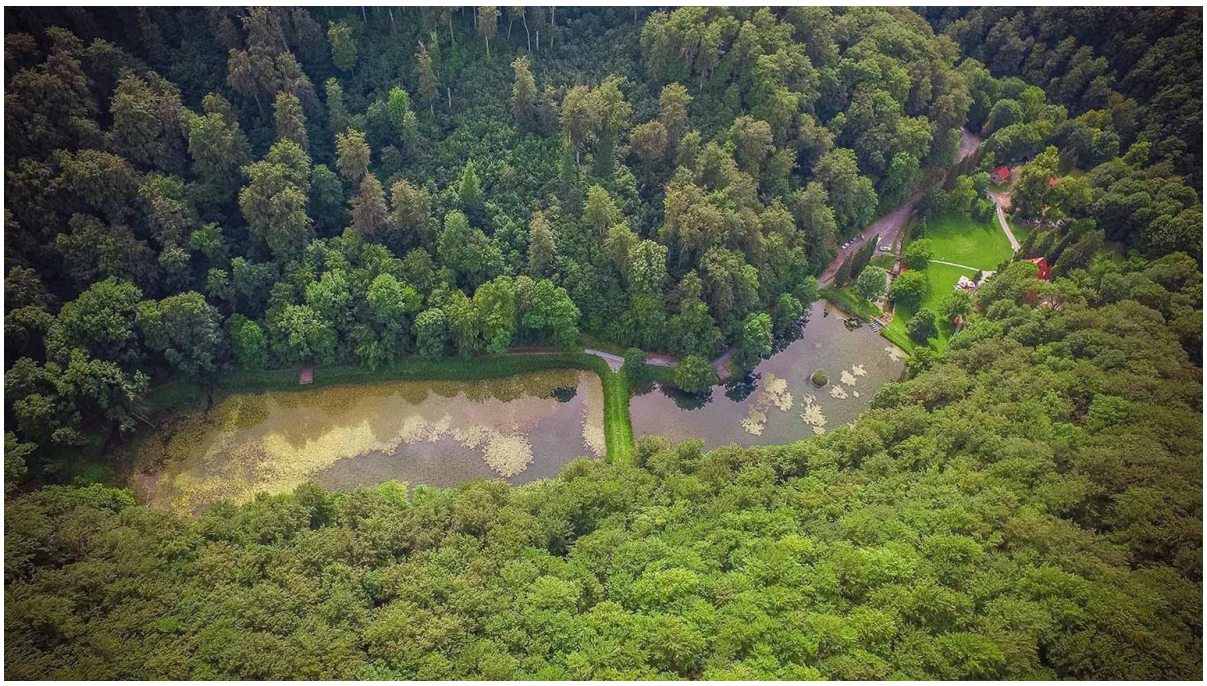
A nyugat-keleti irányban elhelyezkedő középhegység legmagasabb pontja (Papuk csúcs) 953 m tengerszint feletti magassággal rendelkezik, ugyanakkor a táj relatíve meredeken, szigethegységként emelkedik ki a Dráva-, illetve a Száva-menti művelt síkvidékek között. A Papuk gerince egyben az említett két folyó vízgyűjtő területeinek határát is képezi. A hegység előterének lankái homokos talajuknak (pannóniai üledékek) és megfelelő domborzati, illetve klimatikus viszonyaiknak köszönhetően már a XIII. századtól a szőlőtermesztés és a borászat fontos helyszínévé tették a területet. A hegység központi részén bontakozik csak ki igazán az a kőzettani változatosság, amely a lehető legideálisabb terepgyakorlati helyszínné lépteti elő a Tiszai-főegység aljzatának szlavóniai kibukkanását. Az alpi orogenezis eredményként a főegység prealpi aljazát alkotó különféle képződmények kerültek felszínre, pl. prekambriumi metamorfitok, paleozoos magmatitok, permotriász siliciklasztos kőzetek, mezozoos karbonátok (főként dolomit), amelyeken gyakran kisfokú (alpi) metamorfózis és deformáció

hatásai is tanulmányozhatók. Mindezek mellett a (hazánk területéről szintén jól ismert) kréta és miocén vulkanizmus és szedimentáció, illetve a pleisztocén löszképződés nyomaival egyaránt találkozhatunk. A tapasztaltabb földtudományi (geológus) szakos hallgatók gondolataiban jogosan merülhet fel a kérdés, hogy mindezen képződmények milyen viszonyban állnak (korrelálhatók, azaz párhuzamosíthatók-e) a Tiszai-főegység aljzatának egyéb felszíni előfordulásaiból (pl. Mecsek, Villányi-hegység, Erdélyi-középhegység) vagy akár a Dél-dunántúli, illetve az alföldi nyersanyagkutató-fúrásokból (uránérckutatás, szénhidrogénkutatás) ismert hasonló (analóg) képződményekkel. Természetesen ez az irányvonal, amely felé a közelmúlt és a jelen kőzettani, geokémiai, geokronológiai, szerkezetföldtani és rétegtani kutatásai is haladnak. A kutatói munkát nagymértékben elősegítik a megfelelő háttérismeretek és feltártsági viszonyok (pl. naprakész földtani térképek, karbantartott feltárások, jó megközelíthetőség a terepi mintagyűjtések során), így nem csak turisztikai, hanem kutatói szemszögből nézve is jövedelmező egy-egy geopark, illetve a hozzájuk tartozó infrastruktúra és anyagi háttér megléte.

2. ábra/Figure 2 A Papuk UNESCO Geopark egyik legszebb természeti látványossága, a jankovaci Skakavacvízesés (forrás: https://www.campinginparks.eu/en/park/papuk-nature-park/15)

A változatos kőzetektől kanyarodjunk vissza a természeti értékek és a látnivalók irányába, hiszen a földtudományok és a turizmus szimbiózisában, amelyet egy geopark képvisel, természetesen valamit szükséges a közönségnek is kínálni. A Papuk geológiai

látványosságai mellett többek között változatos túraútvonalakat (gyalog- és kerékpárúrákhoz egyaránt) kínál, olyan földtani értékeket érintve, mint a karsztjelenségek (pl. víznyelők, cseppkőbarlangok), látványos vízesések (*2. ábra*), források és fosszília lelőhelyek. A geopark és tágabb értelemben vett térsége is folyamatosan fejlődik infrastruktúrában, gyakorlatilag a rekreáció minden formájának lehetőségét biztosítva (többek között pihenés, sport, gasztronómia, borturizmus, tudományos ismeretterjesztés, oktatás) bármely korosztály számára.



3. ábra/Figure 3 A Jankovaci-tó, háttérben a Papuk UNESCO Geopark látogatóközpontjával és a X. Összegyetemi Terepgyakorlatnak szállást adó Planinarski Dom Jankovac-cal (forrás: https://croatia.hr/hu-HU/elmenyek/termeszet/termeszetpark-papuk)

Szervezőként biztosak vagyunk benne, hogy az X. Összegyetemi Terepgyakorlat résztvevői is meg fogják találni és kihasználják a Papuk UNESCO Geopark által kínált valamennyi lehetőséget, amellett, hogy szakmailag rengeteget profitálnak a területen leginkább jártas horvát kollégáktól.

Felhasznált internetes források:

https://en.unesco.org/global-geoparks

https://www.pp-papuk.hr/papuk-unesco-geopark/

Kutjevoi borvidék

A Papuk földtanának megismerése mellett terepgyakorlatunk fontos célja a Horvátország legkorábbi, történelmi pincészeteinek otthont adó kutjevoi borvidék bejárása. Annak ellenére, hogy napjainkban a hazai borpiacon már gyakran találkozhatunk a Kárpát– Pannon-térség környező országaiból, a történelmi Magyarország területéről származótermékekkel – elég csak az Arad-hegyaljai Balla Géza vagy a délvidéki Maurer Oszkár nevéregondolnunk – a szlavóniai borok továbbra is viszonylag ismeretlenek a hazai borfogyasztó közönség számára. Holott a kutjevoi borok története szorosan összekapcsolódik a hazai szőlészet és borászat múltjával, mindezt mi sem fejezi jobban annál, hogy a terület legelső pincéjét II. András uralkodása alatt, 1232-ben a ciszterciek alapították (amelynek gyakorlatilagaz utódját látogatjuk a mai *Kutjevo d.d.* pincészetben), vagy, hogy a borvidék zászlósbora – ha hungarikumnak nem is, de „pannonikumnak" mindenképpen nevezhető – olaszrizling (*grasevina*), ami mellett a pannóniai üledékeken nagy mennyiségben termelik pl. a Magyarországon szintén kifejezetten elterjedt kékfrankos és szürkebarát szőlőfajtákat is.

4. ábra/Figure 4 A kutjevoi borvidék látképe (forrás: https://www.kutjevo.com/en)

Terepbejárásaink között a kutjevoi borvidék két pincészeténél (*Kutjevo d.d.* és *Polytechnic in Požega*) tett látogatásokkal frissítünk magunkon, és szerzünk új ismereteket a történelmi borvidék múltjáról és jelenéről. Megtudhatjuk, hogy a gyakorlatban van-e különbség a magyarországi olaszrizling és a szlavóniai *grasevina* között, illetve betekinthetünk a Papuk-hegység lejtőin működő szőlészetek és borászatok mindennapjaiba a talajképző pannóniai üledékektől a kiváló fehérborokig.

1. nap (2021. augusztus 24.)

Marija Horvat, Horvát Földtani Szolgálat; mhorvat@hgi-cgs.hr

1. megálló: Introduction to the geology of the Slavonian Mountains

Domagoj Jamičić, Svetojanska 21, 10000 Zagreb

The Basic Geological Map (1:100 000) of the Slavonian Mountains (Psunj, Papuk, Ravna gora, and Krndija), sheets Daruvar (Jamičić 1989) and Orahovica (Jamičić & Brkić 1987) cover the area between Sava and Drava Rivers, bordered by 45º20´ and 45º40´ north latitudes and 17º00´ and 18º00´east longitudes. These mountains with their surroundings form very complex geological structures (*Figures 5 and 6*), which are the combination of different rock types and the result of various tectonical events through the geological history of this area.

Jamičić (1988, 2001), based on petrographical and structural data, distinguishes three series of basement rocks: (a) Psunj-Krndija Complex, (b) Papuk Complex and (c) Radlovac Complex (*Figure 5*). Their geological evolution is interpreted as representing three phases of sedimentation and metamorphism, from the Precambrian (?) to the Upper Permian: (a) the Psunj-Krndija Complex is assumed to have metamorphosed progressively during the Baikalian orogeny and retrogradely during the Caledonian orogeny; (b) the Papuk Complex is marked by migmatisation, granite intrusions and metamorphism in the pre-Variscan time; and (c) the Radlovac Complex is characterised by low-grade metamorphic overprinting during the Variscan orogeny.

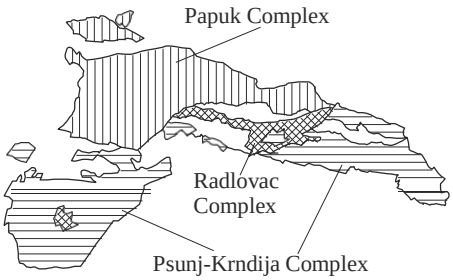
The oldest exposed rocks from Psunj-Krndija Complex (Psunj Mt. and the southern slope of Papuk Mt. and most of Krndija Mt.) are the metamorphic rocks (*Figures 6 and 7*): garnet-staurolite gneiss, kyanite gneiss, sillimanite gneiss, amphibolite, metagabbro, amphibole schist, chlorite-sericite schist, graphite-bearing schist and flaser granitoids (granodiorite and plagiogranite types; Jamičić et al. 1987, 1989).

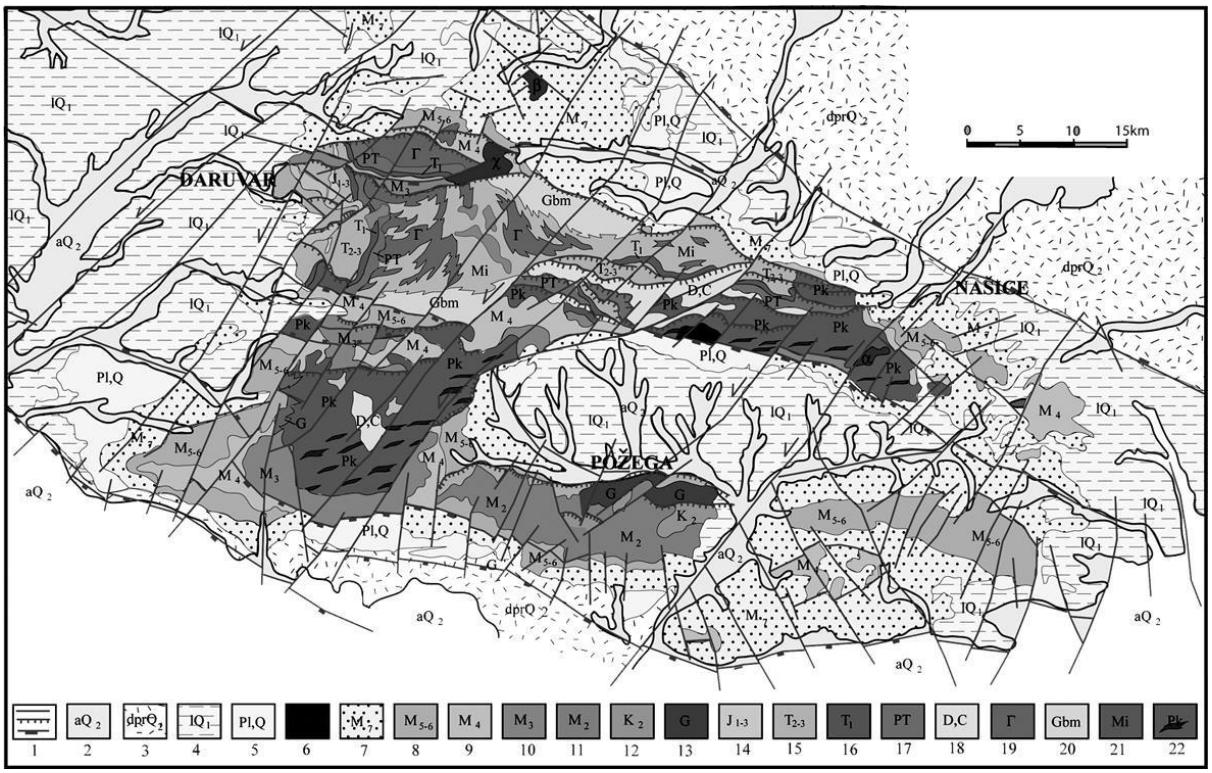
The Caledonian orogeny produced progressively metamorphosed rock series ranging from the greenschist facies to the epidote-amphibolite facies in the Papuk Complex. The largest part of the Papuk Mountain and, in the same time, Papuk Complex is occupied by different varieties of the migmatitic rocks. Simultaneously with the metamorphism in the Papuk Complex, a retrograde metamorphism, marked by the re-structuring of the s-planes along the axial plane slaty cleavage took place in the Psunj-Krndija Complex generated a new foliation.

The new cycle of sedimentation in the area started with appr. Upper Devonian

transgression of coarse-grained clastic sediments and went on until the beginning of the Middle Permian, when the final phases of the Hercynian orogeny produced gentle folding caused by the intrusion of the granitic rocks. The folding was accompanied by the movements along bedding surfaces associated with the formation of the flaser structures in the deeper parts of the Radlovac Complex. Granitic intrusions produced metamorphic changes along the contacts with the rocks of the Psunj-Krndija Complex.

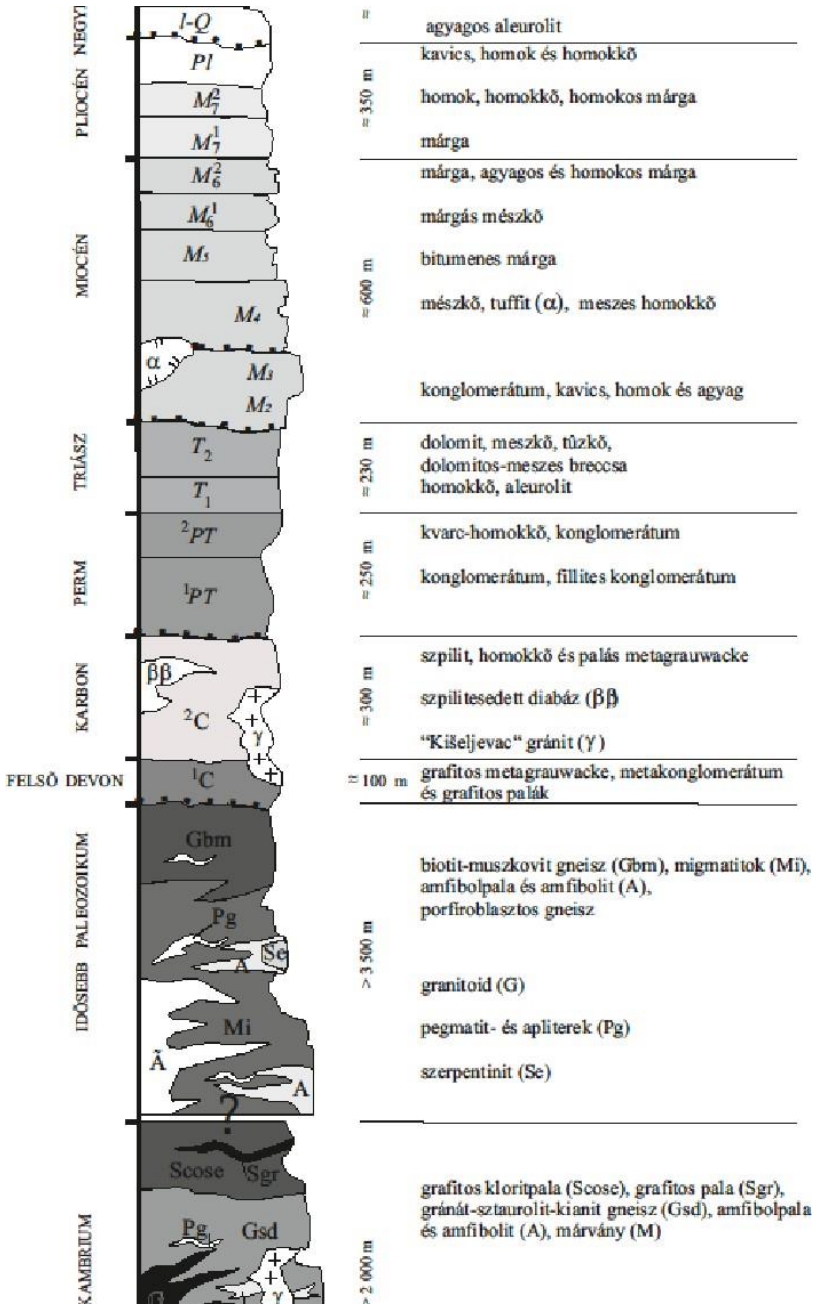
5. ábra/Figure 5 Schematic drawing of three series of basement rocks: the Psunj-Krndija, the Papuk, and the Radlovac Complex





6. ábra/Figure 6 Geological map of the Slavonian Mts. (from Jamičić 2001). Legend: 1-fault, reverse fault, normal fault; 2-Alluvium: gravels, clays, sands; 3-Deluvial-proluvial deposits: sands and clayey sands; 4-Loess; 5-Pliocene-Quaternary: gravels, sands, sandy clays with gravel lenses; 6- Volcanic rocks: rhyolite, andesite, basalt; 7-Pontian: sand, marl and clay; 8-Sarmatian-Pannonian: marl and organogenic limestone; 9-Badenian: conglomerate, organogenic limestone, marl; 10-Carpathian: conglomeratic sandstones, sands, clays and clayey marls; 11-Ottnangian: conglomerate, sand, gravel and marl; 12-Upper Cretaceous: sandstones, platy limestones ,and limestones; 13-Granite of Požeška gora; 14-Jurassic: platy limestone; 15-Middle and Upper Triassic: dolomite, dolomitic limestone; 16-Lower Triassic: sandstones and clayey sandstones; 17-Permo-Triassic: conglomerates, sandstones and quartz sandstones; 18-Devonian-Carboniferous: graphitic schists, conglomerates, sandstones and clayey sandstones; 19-Granitoids; 20-Gneiss with biotite and muscovite; 21-Migmatite; 22-Precambrian: gneisses, amphibolite rocks and schists

The Early Mesozoic sedimentation is preserved in the form of phyllitic conglomerates (in the Psunj-Krndija Complex) and the Toplica conglomerates (in the Papuk Complex). The sedimentation during Triassic and Jurassic was continuous, producing mostly carbonate deposits (*Figures 6 and 7*). The uplift and intensive folding during the Laramian orogeny mark the end of the sedimentation. The tectonic reduction of the area in the east-west direction produced numerous folds with north-south oriented axis. These movements are particularly well expressed in the western part of Slavonian Mountains and their influence is extended in the surrounding large area between the Sava and Drava rivers.



7. ábra/Figure 7 A Krndija- és Papuk középső és keleti részének rétegoszlopa (Jamičić D.). Fordítás az eredeti ábráról

The land areas generated by the Laramian uplift remained until the Early Miocene, when the Carpathian transgression covered most of the Slavonian Mountains with new sediments (*Figure 7*). During the Middle Miocene this area was uplifted along numerous normal faults striking NW-SE. The normal faults along the contacts with the more northerly laying blocks were transformed into reverse faults by increasing pressure from the south, generating several overturned structures in the Tertiary, but in older deposits, too. Synchronous with the generation of the reverse faults, left transcurrent faults also developed. These produced the disintegration into blocks and their counter-clockwise rotation for 30–40 degrees.

2. megálló: Petrov vrh. (középső-triász dolomitok)

(2–8. megálló: módosítva, kiegészítve M. Horvat által, Kocsis K (szerk) HUNGEO 2006 után)

A triász üledékek egy tektonikailag redukált zónában fordulnak elő. A perm-triász határképződményekre folyamatosan települnek a kora triász képződményei, a siliciklasztos üledékek: szubarkóza, agyagpala, aleurolit, gyakran enyhén metamorfizálva, továbbá kvarcit is előfordul (Jamičić et al. 1987). Az ásványos összetétel: kvarc, földpát, ill. ez utóbbit helyettesítő szericit és klorit. Kvarc a cementáló anyag. Az alsó-triász legfelsőbb rétegétől a középső-triász felé molluszkák nyomai jelentkeznek: *Myophoria laevigata, M.* cf. *costata, Anodontophora (Myacites) fassaensis, A.* (*Myacites*) cf. *canalensis, Pseudomonotis* cf. *hinnitidea és Gervilleia* sp. Az anizuszi emelet karbonátos kőzetei felé folyamatos az átmenet.

Orahovica városától délre durvakristályos szürke dolomit a domináns középső-triász kőzet (*8. ábra*). Az erős tektonikai mozgások és a ritka ősmaradványok nem teszik lehetővé a pontosabb rétegtani besorolást a középső-triászon belül. Az anizuszi kőzetek jelenléte szuperpozícióval igazolódott. Az idősebb anizuszi rétegeket szürke, sárgásfehér és rózsaszín pátos mészkő képviseli. A rétegződés jól látható. A dolomit porózus, szürke, durvakristályos kőzet. Nagyon gyakoriak a karbonátosan cementált breccsák. A breccsafragmentumok az említett mészkő és dolomit. Az anizuszi fiatalabb képződményei diagenetikus dolomit és dolomitosodott mészkő, dolomitosodott krinoideás biopátit. A krinoideás mészkő radioláriás tűzkő fészkeket és ereket tartalmaz, amelyek a mészkő kovásodásával jöttek létre. A mészkő erősen átkristályosodott, így a fosszíliáknak csak a lenyomatai őrződtek meg: *Solenopora* sp., *Acicularia* sp., *Ammobaculites* sp., *Trochamminoides* sp. *és Frondicularia sp.* A legfelső anizuszi réteg vékony, rózsaszín, illetve szürke-lilás, márgás mikritréteg. Az anizuszira jellemző a szedimentáció differenciációja: a karbonát selftől a mélyebb tengeri környezetig.

A ladini emelet képződményei paleontológiailag jól dokumentáltak algákkal és foraminiferákkal. A kőzet diagenetikus dolomit, amelyben agyagos mészkő betelepülések találhatók. Algák: *Teutloporella herculea, T. nodosa, Diplopora annulata* és *Andrusoporella* cf. *langobardica*, míg a foraminiferák: *Nodosaria* sp. és *Trochammina* sp. Az említett mészkőbetelepülések lényegében táblás, rétegzett, márgás mészkövek, amelyekben a *Daonella* cf. *taramelli* kagyló is megtalálható (az Iskrica patak forrása és Tisovac között), és Poljak (1912) szerint léteznek vengeni rétegek is, amelyekben a *Daonella lomelli* fordul elő. Feltételezések szerint a középső-triász kifejlődés 250 méter vastag (*7. ábra*).

8. ábra/Figure 8 Petrov vrh megálló (dolomitok, T2)

3. megálló: Perm-triász képződmények: kvarchomokkövek és fillites konglomerátumok

A perm-triász üledéksorozat két részből tevődik össze: az alsó összlet (^{1}PT) fillites konglomerátumokból (*9. ábra*), a felső összlet (^{2}PT) kvarchomokkövekből (*10. ábra*) áll. A felső perm-triász összlet folyamatosan megy át az alsó-triászba. A fillites konglomerátumok transzgresszíven települnek a terület legidősebb kőzeteire (a Psunj-Krndija komplexum metamorfitjaira, amelyekről a bevezetőben már volt szó), így természetesen a konglomerátum építőanyaga is ezekből a kőzetekből származik. Ez az oka, hogy a konglomerátum kavicsai

fillit, metamorf pala, metagrauwacke és ritkán gránit összetételűek. A kavicsok közepesen koptatottak, rosszul osztályozottak és a méretük változó, akár 10 cm-es átmérőjű kavicsok is előfordulnak. Az egész kőzetösszletre jellemző a lila szín. Ez a kőzettípus Orahovica várostól délre található.

9. ábra/Figure 9 Fillites konglomerátumok (^{1}PT) – Rikino Vrilo megálló

Az alsó perm-triász üledékekre folyamatosan települnek a felső perm-triász üledékei. Ezek a kvarcban dús homokkövek a szubarkozák csoportjába tartoznak, szericites kötőanyaggal. Kvarc- és karbonátcement (az utóbbi főleg a sorozat tetején) is megjelenik. A kőzetre jellemző a szürkészöld és zöld szín. Több helyen megállapították a Krndija-hegységen belül a határt az alsó-triász felé (Jamičić et al. 1987), azzal a feltételezéssel, hogy a homokkövek egy része esetleg már az alsó-triászhoz tartozik.

Az itt leírt perm-triász üledéksorozat ekvivalens perm-triász kifejlődése a Papuk komplexumban a Toplica patak völgyében található sziliciklasztos P-T sorozat (Szakmány et al. 2003), amelyre a bevezetőben már utaltunk.

10. ábra/Figure 10 Kvarchomokkövek (^{2}PT) – Kapavac megálló

4. megálló: Kloritoidpala/kloritoid metagrauwacke – Velika Rijeka

A kloritoid mint blasztporfír található meg a zöldpala fácies alsóbb részeire jellemző metamorf kőzetekben, amelyek egy markáns feltolódási zónát vagy retrográd metamorf zónát alkotnak a Psunj-hegység északnyugati részén, a Papuk déli lejtőjén, a Kutjevói-patak völgyében és a Krndija-hegységen belül. Ezek a kloritoidpalák ún. „sötét típusú” kloritoid-tartalmúkőzetek. A területen találhatók ún. „világos típusú” kloritoid-tartalmú kőzetek is, a metahomokkövek, amelyek a Papuk Jankovac vízesésétől keletre Orahovica városáigterjednek. A kloritoidok a nezoszilikátok közé tartoznak, általános képletük: $(Fe^{2+},Mg,Mn^{2+})Al_2[O/(OH)_2/SiO_4]$.

A „sötét típusú” kloritoidpala ásványos összetétele a következő: fehér csillám, klorit, kloritoid, ± kvarc, albit. Akcesszórikus ásványként a cirkon említhető. Kiemelendő, hogy a kőzet sötét színét a grafit adja. A kőzet szövete kataklasztos, szemes és fláze res, míg a szerkezet lepidoblasztos. A palák protolitja alumíniumban gazdag és vasban dús pélites és pszammitos

üledék volt. A grafit alacsony oxidációs potenciálra és reduktív környezetre utal. A metamorfózist a 350 és 450 °C közötti hőmérsékleti intervallumba tették (Majer et al. 1993).

A „világos típusú” kőzet metahomokkő, tipikus blasztopszammitos szerkezettel, fillonitos-fláze res szövettel és erős deformációs jegyekkel. Az ásványos összetétel a következő: domináns a kvarc, ezt követi gyakoriságban a fehér csillám (muszkovit és paragonit; Slovenec 1986). Mellettük megjelenik a kloritoid, a klorit és akcesszóriaként a rutil. A kloritoid mennyisége a „világos típusban”, azaz a metahomokkőben sokkal kevesebb, mint a palákban, vagyis a „sötét típusban”.

11. ábra/Figure 11 Kloritoidpala/kloritoid metagrauwacke – Velika Rijeka megálló

A kloritoidpalán Balen et al. (2013) mért xenotim Th-U-Pb korokat, zárványokból (kloritoidban), ill. az alapanyag (fehércsillám, klorit, kvarc) xenotim kristályaiból (Kutjevačka

Rijeka feltárás). A mérések 72 ± 56 és 154 ± 72 millió év közötti korokat adtak (súlyozott átlag: 120 ± 36 millió év). Egyetlen kormérés idősebb kort adott (219 ± 81 millió év). Prográd alpi metamorfózisra és egy lehetséges idősebb (prealpi?) kisfokú eseményre következtettek.

5. megálló: A Kutjevói-patak völgyének Barrow-típusú regionális metamorf kőzetei: Rovišćak (retrográd metamorfizált gránát-sztaurolit-disztén gneisz)

Kutjevotól északra, Orahovica város irányában az amfibolit fáciesű regionális metamorf kőzetek zónájába lépünk be. Ezek a kőzetek a szlavóniai területen a legidősebb kőzetek közé sorolhatók. Az amfibolit fáciest gránát-sztaurolitos gneisz, amfibolit, amfibolpala és paragneisz képviseli (lásd a sematikus rétegoszlopot a bevezetőben a *7. ábrán*). Ezek a kőzetek egy későbbi retrográd metamorfózis és diaftorézis során fillonittá alakultak át. Kisebb testek, erek és lencsék formájában granitoidokat is tartalmaznak. A retrográd metamorfózis fiatalabb deformációs eseményekhez, gyűrődéshez köthető (*12. ábra*). Ekkor a klivázs sík tengellyel párhuzamos új foliáció alakult ki. (Jamičić 1983, 1995).

12. ábra/Figure 12 Gránát-sztaurolit-kianit-tartalmú gneisz

Az út mentén csillámpala, paragneisz és amfibolit centiméteres léptékű rétegeinek váltakozása figyelhető meg. A Grt (gránát szegély) + Bt (biotit) + Ms (muszkovit) + Pl (plagioklász) + Qtz (kvarc) együttesből a csillámpalára számított átlagos p-T-tartomány 600–630 °C és 9–11 kbar (Balen et al. 2006). Az amfibolitra a Grt + Hbl (hornblende) + Pl paragenezisből számított p-T-tartomány 600–620 °C és 6,5–7,5 kbar. Az amfibolitra az edenit-richterit és edenit-tremolit reakciókból számított hőmérséklettartomány 590–620 °C. Balen et al. (2006) ordovíciumi-szilur kort (444 ± 19 millió év és 428 ± 25 millió év) határoztak a gránátos csillámpala monacitjából, mérési eredményekkel támasztva alá Jamičić (1983, 1988) korábbi következtetését, mely szerint az ismertetett kőzetek a legidősebb felszíni kőzetek a szlavóniai területen.

Ezekre a metamorf kőzetekre települnek diszkordánsan a Radlovac komplexum alsó része (felső-devon–karbon–alsó-perm) és a permotriász üledékek.

2. nap (2021. augusztus 25.)

6–8. megálló: *Marija Horvat, Horvát Földtani Szolgálat; mhorvat@hgi-cgs.hr*

9. megálló: *Uroš Barudžija, Zágrábi Egyetem; uros.barudzija@rgn.unizg.hr*

6. megálló: Rupnica, oszlopos elválású riolit (védett feltárás)

A Rupnica lelőhely védett feltárás, Voćin falutól néhány kilométerre délnyugatra helyezkedik el (*13. ábra*). Az 1948 óta védett feltárásban jellegzetes, oszlopos elválású anortoklász-egirin riolit (Tajder 1960) figyelhető meg. A vulkáni test hűlése során négy- öt- és hatszög keresztmetszetű oszlopok keletkeztek (lásd *14. ábra*). A későbbiekben a teljes kőzettest meggyűrődött. Az albitos kiömlési kőzetek mellett (Tajder 1956) Voćin környékén különböző bázisos kőzetek – bazalt, metabazalt és piroklasztitok – is előfordulnak (Jamičić & Brkić 1987; Pamić 1991). Az 1:100 000 méretarányú földtani térkép Orahovica térképlapjának magyarázója szerint ezek a vulkanitok a gneiszeket, gránitokat és a miocén üledékek egy részét szelik át. Pamić (1991) a Voćin környékén fellelhető vulkanitokat felső-kréta bimodális (savanyú + bázisos) vulkanizmushoz köti. Balen & Petrinec (2014) statisztikai elemzése azt mutatta, hogy viszonylag keskeny (29,4 x 6,3 cm) túlnyomórészt négy- és ötoldalas, szoros illeszkedésű (4,8 x 2,1 cm) és kis amplitúdójú hullámos oszlopok (32,5 x 6,7 cm hullámhossz) uralják a Rupnica feltárás részét. Az oszlopok feltételezhetően felszín alatti gyors lehűlésére utalnak. A savanyú lávatest oszlopos illeszkedését a vulkáni rendszerben a nagymértékű túlhűlés és a termikus összehúzódási folyamatok együttes hatása hozta létre. Újabban Schneider et al. (2019)

publikáltak új koradatokat a rupnicai riolitokból. Lézerablációs tömegspektrométer segítségével, az alábbi izotóparányok ($^{206}Pb/^{238}U$, $^{207}Pb/^{235}U$ és $^{208}Pb/^{232}Th$) alapján 81.2 ± 1.0, 82.9 ± 0.9 és 81.6 ± 0.9 millió éves korokat kaptak.

13. ábra/Figure 13 Rupnica lelőhely védett feltárás

14. ábra/Figure 14 A riolitos vulkáni test hűlésének eredménye az oszlopok négy- öt- és hatszög keresztmetszetű elválása

7. megálló: Trešnjevo Brodo (Djedovica kőfejtő)

Rupnicát déli irányban elhagyva három kőfejtőt találunk egymás után. A fő kőzettípus a gneisz. A gneisztesten belül gyakori a leukokrata sávok/kisebb testek megjelenése, amelyek összetétele megfelel a gneisz összetételének, kivéve, hogy nem tartalmaznak színes elegyrészeket. A gneisz ásványparagenezise: kvarc, földpát és klorit. A kémiai paraméterek monzogránit és granodiorit összetételt adnak. A földpátokat plagioklász és alkáliföldpát képviseli. Az alkáliföldpát mikroklin, amely blaszt formájában jelenik meg, és magába foglalja a plagioklásztés a kvarcot. A klorit retrográd ásvány. Akceszórikus ásványok a cirkon, apatit, gránát és titanit.A gneisztestet kb. 1 m vastagságú vulkanit telérek szelik át (*15. ábra*). A vulkáni telérkőzet SiO_2-tartalma 44, illetve 51 m/m% (két teléren mérve), de a bázisos mellett riolitos telért is megfigyeltek a kőfejtőben. A gneiszek kialakulása -ahogyan a bevezetőben is említettük- a kaledóniai orogenezishez kapcsolódik. Pamić és Lanphere (1991) ugyanakkor variszkuszi – főleg 336 és 324 millió év közötti – korokat kaptak ezekre a kőzetekre. A vulkáni kőzetek korátilletően is két vélemény van: a földtani térkép szerzői szerint a vulkáni kőzetek miocén korúak(Jamičić & Brkić 1987), míg Pamić (1991) és Pamić & Belak (2000) kréta (76–62 Ma) K-Ar korokat kaptak a bazaltokra.

15. ábra/Figure 15 Djedovica kőfejtő, Papuk

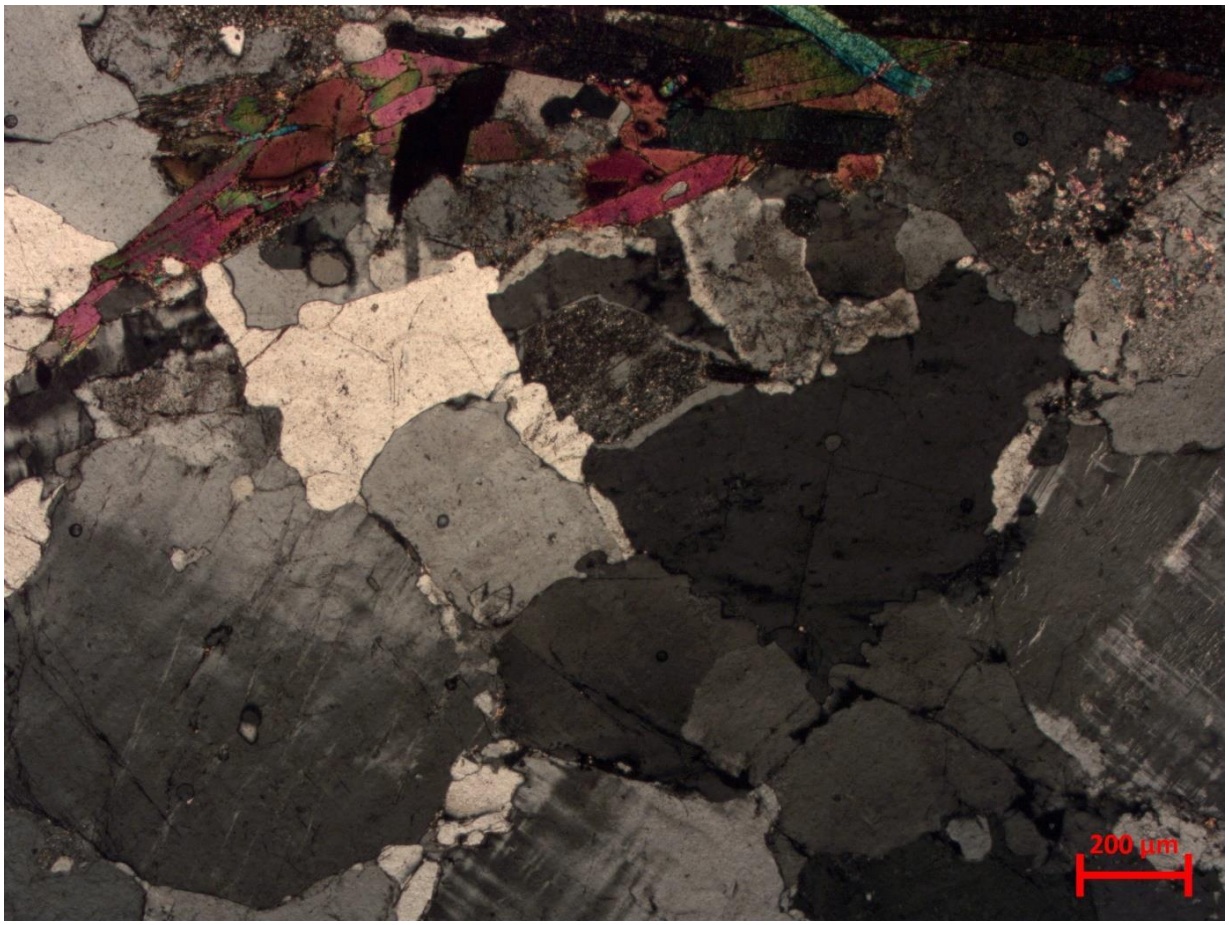
8. megálló: A Brzaja pataki migmatitok és granitoidok típusai – Čarugin kamen

Migmatitok építik fel a Papuk vonulatának tengelyét. A legszebb feltárásokat a Brzajapatak völgyében néhány kilométeren át lehet követni. Mihovil Vragović professzordisszertációjában (1965), és később, az említett általános földtani térkép elkészítése során részletes petrográfiai leírást adott a migmatitok és a migmatitokhoz kapcsolodó granitoidok éspegmatitok típusairól. A migmatitokat két csoportba osztotta, a heterogén és a homogén migmatitok csoportjába. A heterogén migmatitok között elkülönítette a dijadizit, epibolit és agmatit típust. A heterogén migmatitok leukokrata tonalit, ritkán granodiorit és gránit összetételűek. A homogén migmatitok között két típust írt le: anatexit és embresit (illetve porfíroblasztos gneisz). A homogén migmatitok kvarcdiorit, ritkábban granodiorit és gránit összetételűek. Az összes migmatittípus között a leggyakoribb a mikroklin porfiroblasztos gneisz, amelynek ásványos összetétele mikroklin, kvarc, savanyú plagioklász, biotit ± muszkovit, a szövete párhuzamos, sávos, a szerkezete pedig szemes.

A granitoidok a migmatitokon belül erek, lencsék és kisebb magmás testek formájában jelennek meg. A szövetük homogén, az ásványos összetételük megfelel a migmatitok ásványos összetételének, így a granitoidok is kvarcdiorit, granodiorit és gránit összetételűek. Akcesszórikus ásványokban (főleg apatitban, cirkonban és gránátban) gazdagok. Másodlagos ásványként leggyakoribbak a szericit, klorit, epidot-zoisit, és a rutil (szagenit) rácsos összenövése.

16. ábra/Figure 16 Čarugin kamen, Granitoid a porfiroblasztos gneiszen belül

A Čarugin kamen megálló (*16. ábra*) finomszemcsés, világos színű granitoid ereinek fő kőzetalkotó ásványai: kvarc, földpát és biotit (Horvat 2004). A befogadó gneisz szövete heteroblasztos, szerkezete foliált („gyűrt”); porfirokblasztként 3–5 cm-es méretben fehér földpát kristályok és kvarc is előfordulhatnak benne, melyek a foliáció irányába megnyúltak. További ásványos alkotók a muszkovit (*17. ábra*), illetve a finomszemcsés kvarc és földpát. A kőzet törései a foliációval szintén párhuzamosak (195/70).

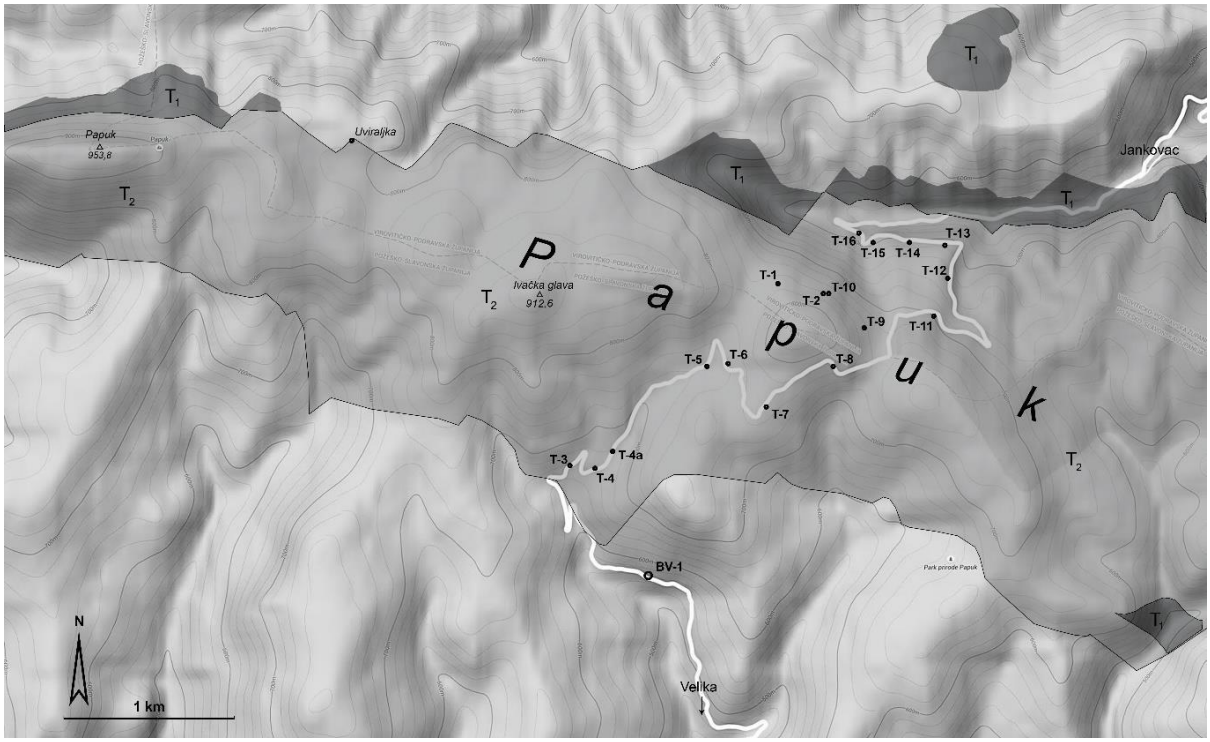


17. ábra/Figure 17 Heteroblasztos gneisz vékonycsiszolatban (keresztezett nikol)

9.megálló: Triassic sedimentary carbonate complex at the central part of Papuk Mts.

(módosítva, kiegészítve U. Barudžija által, Barudžija et al. 2015 után)

At this stop of the excursion, sedimentary carbonate rocks of so-called „Papuk Middle Triassic sedimentary carbonate complex“, will be presented. These are mainly Middle Triassic limestones and dolomites, which builds the central part of Papuk Mt., and their outcrops can be observed along Velika - Slatinski Drenovac road, heading across the mountain (see *Figure 18*). The results of all previously conducted research imply their Middle Triassic age (Anisian: 247.2–242 Ma; Ladinian: 242.0–237 Ma, according to www.stratigraphy.org).



18. ábra/Figure 18 Gravel road across the central part of Papuk Mt., with marked outcrops of Triassic carbonate rocks (T-1 to T-16) and location of BV-1 borehole. (T1 – Lower Triassic clastics; T2 – Middle Triassic carbonates)

Middle Triassic carbonate rocks at Papuk Mt. were investigated by numerous paleontological, stratigraphic, sedimentological, structural-tectonic and hydrogeological research (Šikić et al. 1975; Šikić & Brkić 1975; Brkić & Jamičić 1976; Jamičić 1976, 1979, 1980; Šikić 1981; Jamičić 1983; Brkić 1986; Jamičić & Brkić 1987; Jamičić et al., 1987; Jamičić 1988; Brkić & Mraz 1996; Mikolić 1999; Kuhta & Brkić 2003; Kuhta et al. 2004, 2006; Pavlić 2009; Manjarić 2011; Repinc 2011, Macek 2012), and the results are synthesized in this guidebook.

Šikić & Brkić (1975) paleontologically documented the Lower Triassic sediments by macrofossils, and Šikić et al. (1975) presented an overview of all Mesozoic sedimentary rocks

at Papuk Mt. Jamičić (1976, 1979, 1980) demonstrated their double-folded structures producedin different orogenetic cycles, as well as their multiple metamorphic stages and deformations.Šikić (1981) described facies characteristics of these rocks, as well as their spatial distribution.Jamičić (1983) gave the complete overview of the metamorphic complex research and alsoindicated tangential tectonic movements in Slavonian Mountains. Brkić (1986) gave ahydrogeological interpretation of Velika thermal spring, together with lithostratigraphicsubdivision of rocks and tectonic development in the central part of Papuk. Jamičić (1988)described tectonic activities in Papuk, Psunj and Krndija. Brkić & Mraz (1996) analysed themost significant springs of Papuk carbonate aquifer: Veličanka, Stražemanka and Duboka. Mikolić (1999) confirmed previously defined informal lithostratigraphic units in the area northof Velika and gave an interpretation of their mutual relations. Kuhta & Brkić (2003) conductedhydrogeological and hydrological research in the Jankovac area. Kuhta et al. (2004, 2006)performed for public water supply purposes the hydrogeological research of Papuk carbonateaquifer in the Veličanka spring area. Pavlić (2009) described research works (test pumping)performed in the lower part of Dubočanka, by which the hydrogeological parameters of theaquifer were defined. Manjarić (2011) presented lithostratigraphic relationships and detailedcharacteristics of lithostratigraphic units in the Toplica River area, at the western part of Papuk.Šikić et al. (1975) summarized research of Mesozoic carbonate deposits at Papuk Mt. performed by Geological Institute Zagreb for INA-Naftaplin petroleum industry, while Jamičić& Brkić (1987) and Jamičić et al. (1987) summarized research for Basic Geological Map 1:100000, Orahovica Sheet. After Šikić et al. (1975), the age of presumed Anisian sedimentarydeposits was not confirmed by fossils but only assumed on their continuous succession afterLower Triassic clastics and followed by Ladinian deposits, confirmed by fossils. The older (basal) part of Anisian deposits is characterized by irregular alteration of dolomites, partlydolomitized limestones and carbonate breccias, deposited in the shallow-marine carbonateenvironments. Younger (upper) part of Anisian deposits is presented by various sediments,indicating differentiation of sedimentary environments. In the central part of Papuk (carbonatecomplex presented at this stop of the excursion) shallow-water dolomites and dolomitized limestones, as well as deep-water crinoidal limestones (sometimes partly recrystallized) arepresent. Crinoidal limestones are partly interlayered with or contain nodules of radiolarian anddiagenetic cherts. Toward the top of these Anisian deposits (possibly transitional to Ladinian)crinoidal limestones interchange with clayey limestones with brachiopods. Ladinian deposits atPapuk were repeatedly confirmed by fossils (*Daonella* sp. bivalves, *Diplopora annulata* Schafhäutl and *Teutloporella herculea* (Stoppani) algae etc.).

These are mainly grey crystalline dolomites with shale interlayers (in the western part of Papuk) and dark grey crystalline dolomites with plates of dark grey clayey limestones and claystones (in the eastern part of Papuk). In the central part of Papuk, Ladinian deposits are determined in the quarry „*Veličanka*“, near Velika (see *Figure 19*).

After Jamičić & Brkić (1987) and Jamičić et al. (1987), Mesozoic sedimentary rocks at Papuk and Krndija appear in separate areas, and the most widespread are Triassic deposits. In the western part of Papuk, complete sequences of Triassic and Jurassic sedimentary deposits are developed, followed by Cretaceous rock appearances, while in the central and eastern parts of Papuk, as well as in Krndija, only Triassic sedimentary rocks appear. Lower Triassic clastics (marked as T1 in *Figure 18*), mainly red-brownish and green-greyish sandstones, shales and siltites, outcrop in the narrow zones along the edges of Middle Triassic carbonate sedimentary rocks (marked as T2 in *Figure 18*). Lower Triassic clastic deposits are max. 80 m thick, and they can be seen in the central part of Papuk at Jankovac and in Kovačica Spring valley, as well as in Stražemanka Spring area. These rocks are generally impermeable and tend to form barriers for water infiltration and percolation into subsurface. On the other hand, Anisian carbonate rocks (dolomites, dolomitized limestones, carbonate breccias and crinoidal recrystallized limestones with cherts, max. 250 m thick), as well as Ladinian dolomites and clayey limestones, are mainly karstified with developed secondary porosities and therefore more permeable for water infiltration and percolation. Upper Triassic deposits are not developed in the central part of Papuk, while in the western parts these are documented.

Regional overview of Triassic facies as well as the evolution and paleogeographic relations in Tisia, considered here as pre-Neogene tectonostratigraphic Megaunit (or Tisia Composite Terrane), were synthesized by Bleahu et al. (1994), as the result of work in the IGCP projects Nr. 198 („*Evolution of the Northern Margin of Tethys*“) and Nr. 343 („*Stratigraphic Correlation of Epicratonic Peritethyan Basins*“) on the terrains in Apuseni, Mecsek-Villany, Papuk and Bačka. Facies distribution on paleogeographic maps and facies reconstructions of Triassic deposits in the central part of Papuk is shown in four stages of its evolution:

1) Lower Triassic („late Scythian“) - *„Redbed stage“*;
2) late Lower Anisian to early Middle Anisian stage - „*Upper Wellenkalk stage“*;
3) Ladinian stage - „*Wetterstein platform stage“*;
4) Carnian to Norian stage - „*Keuper stage“* and *„Dachstein stage“*.

Authors considered this facies distribution as relevant for the placement of Tisia Megaunit in the Triassic times at the northern (“European”) edge of the Tethys Ocean, as a part of the Austroalpine Unit deformed later in the Cretaceous. In the central part of Papuk, similar

deposits to so-called Werfen shales were occasionally determined, which were deposited in the first stage (during transgression). In the second stage, so-called Guttenstein dolomites and bright brecciated dolomites were deposited, while in the third (intrashelf basin) stage, so-called Reifling limestones with cherts accumulated. Middle Triassic carbonate deposits in the central part of Papuk are interpreted similarly to the above-described deposits of the second and third stage.

At the very beginning of Velika-Slatinski Drenovac gravel road heading north across the Papuk, Quarry „Veličanka“ (*Figure 18*) is located in the zone which is separated by the faults from the central part of the Middle Triassic carbonate complex (near Jankovac). Between, there is a zone of older, mainly metamorphic rocks (rocks of C, P and ^{2}PT ages, after Jamičić & Brkić 1987 and Jamičić et al. 1987). After Debebe (2013), mainly dolomites and subordinately limestones and carbonate breccias are determined in the quarry, with minor lenses of siltites and sandstones. Stratigraphic age of these deposits is determined by fossil algae as Ladinian. In a previously mentioned zone of older (C, P and ^{2}PT), mainly metamorphic rocks (C and PT), during hydrogeological research (Kuhta et al. 2004; Kuhta et al. 2006) borehole BV-1 is made (see mark BV-1 in *Figure 18*) and the samples from the core were analyzed (Macek 2012). The following lithofacies were determined: bioclastic limestones, micritic limestones with foraminifera, oosparitic limestones and microcrystalline dolomites.

19. ábra/Figure 19 „*Veličanka II*“ Quarry

Heading more up the gravel road toward Jankovac, on the selected points in the sequence of Middle Triassic carbonate rock outcrops, the following lithofacies were determined(marks in the brackets correspond to the same marks in *Figure 18*):

a) tectonized and recrystallized micritic limestones (T-3, T-4)

b) bioclastic crinoidal limestones (T-2, T-5, T-6, T-7)

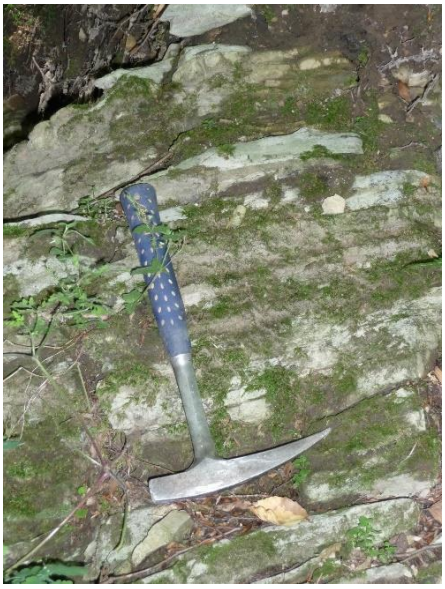
c) crinoidal limestones interlayered with diagenetic cherts (T-4a, T-9, T-10; *Figures 20 and 21*)

d) diagenetic cherts (T-8)

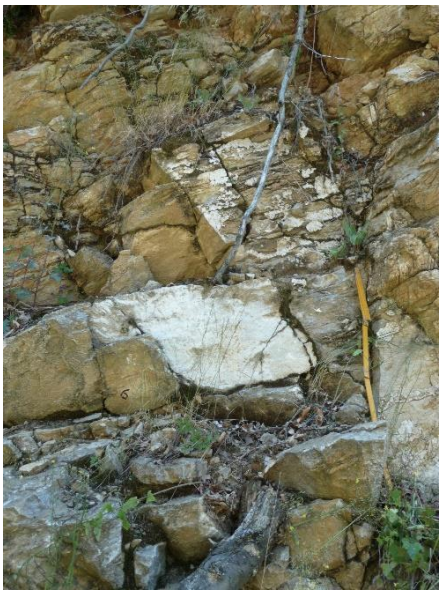
e) fine-crystalline dolomites and dolomitic limestones (T-1)

f) black fine-crystalline dolomites (T-13A, T-14)

g) recrystallized dolomitic limestones and dedolomites (T-11, T-12, T-13B, T-15, T-16)



20. ábra/Figure 20 Rhythmic alteration of limestones and diagenetic cherts

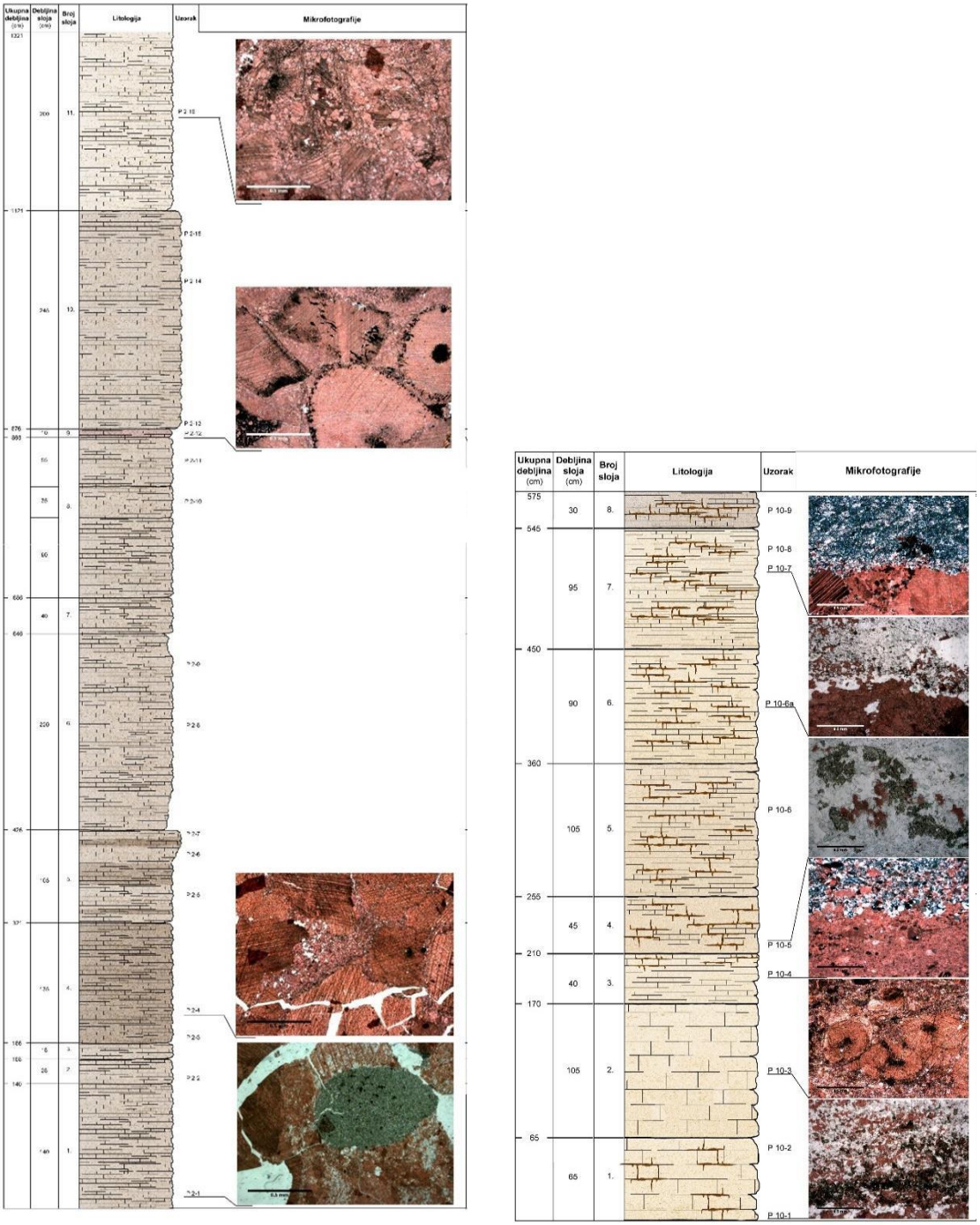


21. ábra/Figure 21 Crinoidal limestones (brown) with lenses of diagenetic cherts (white)

Determined lithofacies can be generally outlined in two areas:

1. Southern part – points at the southern slopes of Papuk, along the road and at the saddle itself (points T-2 to T- 10) with lithofacies from a) to d), dominated by crinoidal and diagenetic cherts with rare radiolarians. Deposits of this part of carbonate complex possibly belong to Ladinian stage - „*Wetterstein platform stage*“ (after Bleahu et al. 1994). Characteristic sedimentary columns for the upper part of central Papuk were also recorded here: sedimentary column „*Papuk1*“ (crinoidal limestones; Repinc 2011 - *Figure 22a*) at the point T-2 (see on *Figure 18*) and sedimentary column „*Papuk2*“ (crinoidal limestones with cherts; Macek 2012 - *Figure 22b*) at the point T-10 (see on *Figure 18*).

2. Northern part – points from the upper part of the central Papuk along the road toward Jankovac (point T-1 and points T-11 to T-16) with lithofacies from e) to g), dominated by fine-crystalline dolomites, dolomitic limestones, recrystallized limestones and dedolomites. Deposits of this part of carbonate complex probably are of late Middle Anisian to early Middle Anisian stage - „*Upper Wellenkalk stage*“ (after Bleahu et al. 1994).



22. ábra/Figure 22a, b Sedimentary columns „*Papuk1*“ & „*Papuk2*“ (after Repinc 2011 and Macek 2012)

At the slopes around Ivačka Glava (912.6 m) Peak (see *Figure 18*), five Middle Triassic lithofacies were determined (Macek 2012): (1) dolomite lithofacies; (2) dark grey limestones lithofacies; (3) crinoidal limestones lithofacies; (4) bright recrystallized limestones lithofacies; and (5) limestones with cherts lithofacies. Determined lithofacies can be well correlated with lithofacies previously described along the road toward Jankovac. Lithofacies (1) and (2) belong to shallow-marine carbonate sedimentation stage, and lithofacies (3), (4) and (5) belong to deep-water mixed carbonate and silicic sedimentation stage at the southern edge of Tisia (after Bleahu et al. 1994).

Triassic carbonate complex at Papuk Mt. represent also a unique karst area in the northern part of Croatia (apart from Dinaric Karst area). In this area, mainly built of dolomites, dolomitic limestones, limestones and carbonate breccias, numerous sinkholes, permanent and occasional pits and caves, as well as the short surface streams sinking in the subsurface, extensively developed. Hydrogeological research (Stroj & Kuhta 2007) in the Middle Triassic carbonate rocks at the upper part of Papuk determined subsurface runoff with karst characteristics and well-developed karst aquifer with significant secondary porosity, fed by precipitation from the atmosphere and percolation of the water in subsurface (so-called autogenic input in the karst system). At the contacts of permeable (carbonates) and impermeable (clastic and metamorphic) rocks karst numerous springs appear (Jankovac, Kovačica, Radetina, Stražemanka, Dubočanka, Veličanka…), as the output from the karst system.

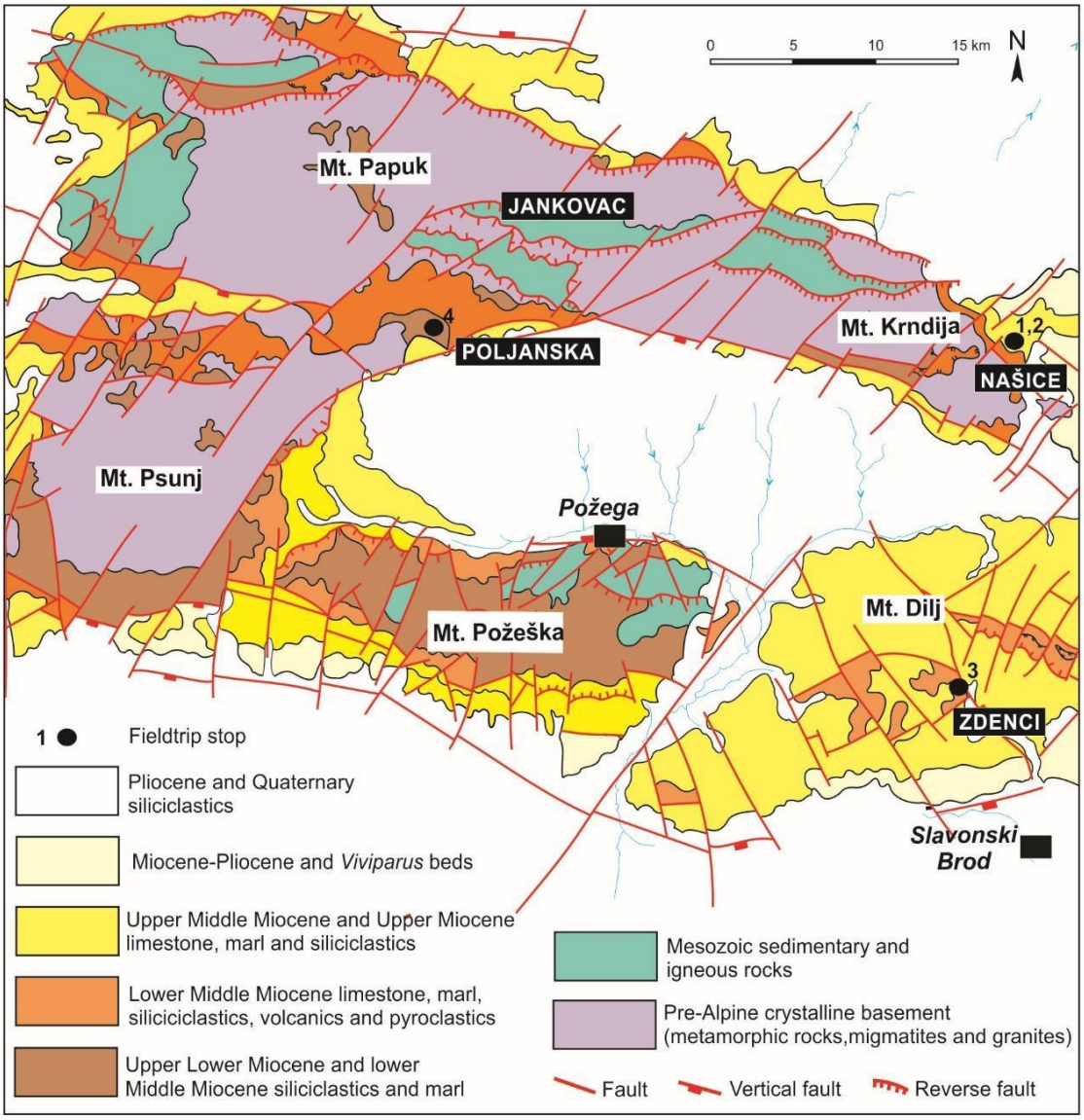
3. nap (2021. augusztus 26.)

Marijan Kovačić, Zágrábi Egyetem; mkovacic@geol.pmf.hr

Neogene Stratigraphy of the Slavonian Mountains

(from Kovačić & Pavelić, 2017; partially modified and updated)

The term Slavonian Mountains refers to the five, up to 1000 m high, hills of Papuk, Krndija, Psunj, Požeška and Dilj, located in the eastern Croatian region of Slavonija, along the southern margin of the Pannonian Basin System (PBS). They represent large blocks composed of different, strongly tectonized pre-Miocene basement rocks, uncomfortably overlain by Miocene deposits and uplifted during the Pliocene and the Quaternary (*Figure 23*).



23. ábra/Figure 23 Geological sketch map of the Slavonian Mountains. Simplified after Geological Map of the Republic of Croatia 1:300 000

The Pre-Miocene basements exposed on the surface in the central parts of Psunj, Papuk and Krndija are composed of metamorphic and igneous pre-Alpine rocks of the southern Tisia, and the Permian-Mesozoic sediments. The basement of the Miocene deposits on Mt. Požeška consists of Upper Cretaceous (Šparica et al. 1979, 1980) and probably Palaeogene rocks (Halamić et al. 1993), while on Mt. Dilj pre-Miocene rocks are not exposed on the surface. The maximum depth of the pre-Miocene basement in the Požega Valley, situated between the Slavonian Mountains, is 2700 m. North of them, in the Drava Depression, the maximum depth of the pre-Miocene basement is more than 7000 m, and to the south, in the Sava Depression, about 5 km (Saftić et al. 2003; Sebe et al. 2020).

The Slavonian Mountains are a part of the North Croatian Basin (NCB) situated in the south-western part of the Pannonian Basin System (PBS). Forming of the PBS commenced in the early Miocene as a result of the continental collision and subduction of the European Plate and the African Plate. The development of PBS is divided into two successive phases: the syn-rift and post-rift phases. The syn-rift phase of the basin evolution was characterized by the tectonic thinning of the crust and isostatic subsidence, while the post-rift phase was marked by the basin subsidence due to the cooling of the lithosphere (Royden 1988). The development was complex and heterogeneous which is reflected in the individual evolution of several subbasins. The PBS is surrounded by the Alps, the Carpathians and the Dinarides, and palaeogeographically it belongs to the Central Paratethys realm (Rögl & Steininger 1983; Popov et al. 2004; Harzhauser & Piller 2007).

The NCB is an elongated rift-type basin generated by the continental passive rifting that started in the early Miocene. Its evolution was strongly controlled by external factors, such as tectonics, climate changes, volcanic activity and eustatic sea-level changes. The syn-rift phase of the basin evolution, which lasted from the Ottnangian until the middle Badenian, was characterized by strong volcanism and depositional environments that changed from terrestrial into marine. The post-rift phase, which lasted from the late Badenian to Quaternary, was characterized by a shift from marine and brackish to terrestrial environments, rapidly decreasing volcanism, and two compressional phases that caused the basin inversion and structural blocks rotation (Jamičić 1995; Márton et al. 1999, 2002; Pavelić 2001; Tomljenović & Csontos 2001; Pavelić et al. 2003; Malvić 2012). The consequence of the specific evolution is the modern structural pattern characterized by the WNW-ESE trending elongated and tectonically subsided zones of depressions with the maximum depth of basement rocks of about 7000 m separated by tectonically uplifted blocks with Palaeozoic-Mesozoic-Paleogene basement rocks on the surface.

The formation of the sedimentary basin in the Slavonian Mountains started in the early Miocene, with terrestrial sedimentary environments that were strongly controlled by the climate characterized by cyclical alternations of arid and more humid periods (Šćavničar et al. 1983; Pavelić et al, 2016). They are represented by rapid lateral and vertical facies alternations of coarse-grained and fine-grained deposits, with rare occurrences of red beds, laminated calcretes and pyroclastics (*Figure 24*). The coarse-grained deposits crop out in many places on Mts. Psunj, Papuk and Požeška, disconformably covering the pre-Neogene basement ("Daranovac unit"). They are characterized by rock-fall breccias and conglomerates interpreted as talus and alluvial fan deposits. Structureless silty units, intercalated with coarse-grained deposits in the Mt. Požeška indicate aeolian deposition, (i.e. Pavelić & Kovačić 1999; Pavelić 2001; Pavelić et al. 2016; Pavelić & Kovačić 2018). However, in Mt. Papuk specific deposits represented by the predominance of well-bedded dolomites, pelite layers, sandstones, tuffs and tuffites with analcime ("Poljanska unit") occur, deposited in a salina-type lake (Šćavničar et al. 1983) (*Stop 4).* The stratigraphic position of early Miocene deposits was problematic due to the lack of fossils, or their endemic characteristics. Early Ottnangian age of the oldest Miocene deposits based on superposition (Pavelić 2001) is confirmed by dating of pyroclastics intercalated with alluvial deposits on Mt. Kalnik (Mandic et al. 2012; Brlek et al. 2020). As the early Miocene alluvial and salina deposits are overlain by the early Badenian lacustrine sediments, the time span of their deposition is considered roughly from the beginning of the Ottnangian to the end of the Karpatian (*Figure 24*).

The beginning of the middle Miocene is characterized by the continuation of terrestrial deposition. Fresh to brackish-water lacustrine deposits overlie the early Miocene alluvial, aeolian and salina lake deposits ("Košćević unit") (*Figure 24*). In older studies, these deposits were regarded as belonging to Ottnangian and Karpatian (Šikić 1968; Kochansky-Devidé & Slišković 1978; Kochansky-Devidé 1979; Sokač 1987; Sokač & Krstić 1987; Junwirth & Đerek 2000; Žagar-Sakač 2004). However, recent results of integrative biostratigraphy of overlaying marine deposits (Ćorić et al. 2009) and Ar-Ar dating of tuff horizons within lacustrine deposits in central Croatia, suggest their early Badenian age (Mandic et al. 2012, Marković 2017).

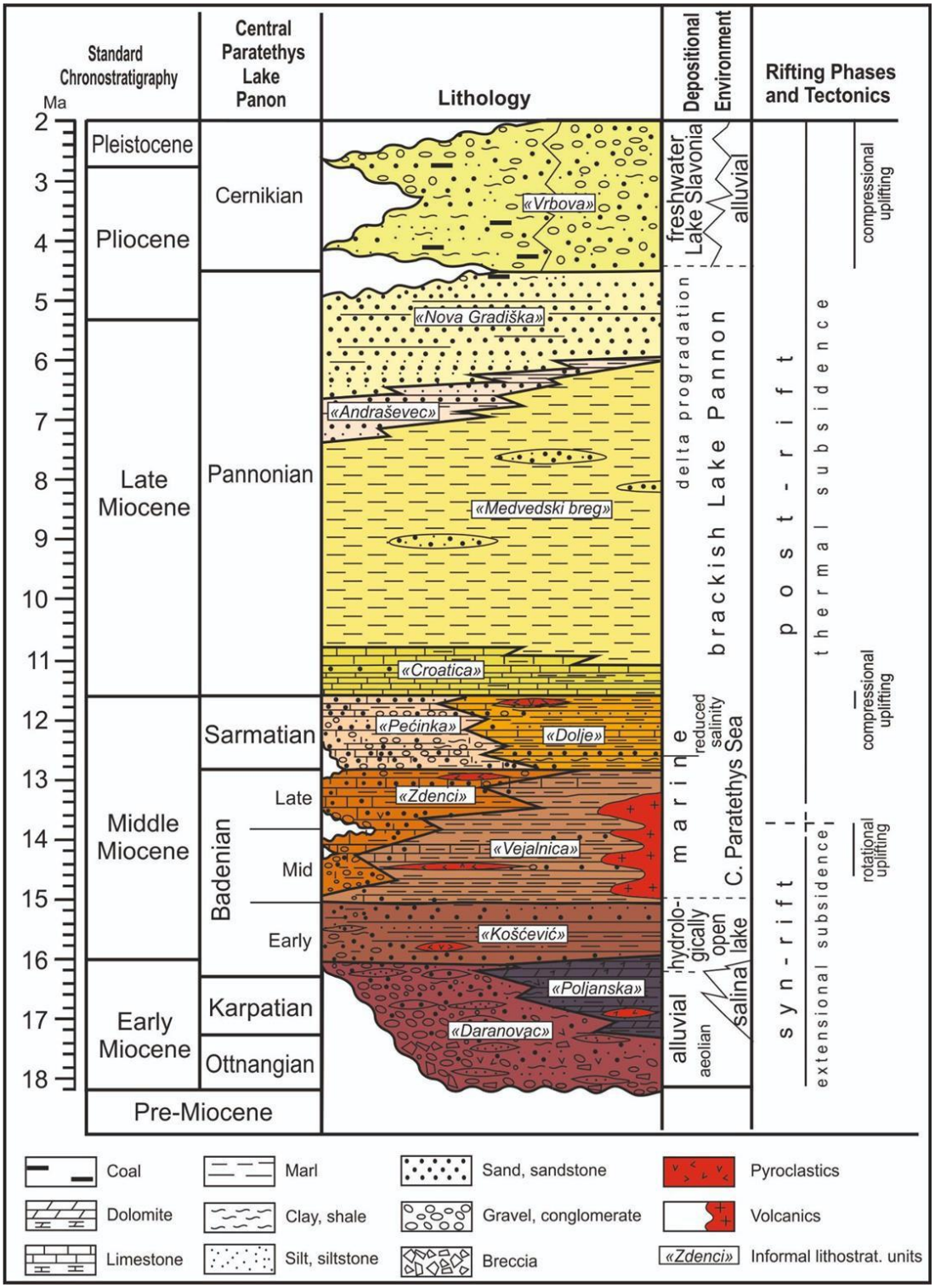
The lacustrine conditions were replaced by marine environments during the early Badenian (Brlek et al. 2020) or early middle Badenian time (Ćorić et al. 2009; Marković et al., in press) (*Figure 24*). The middle Badenian deposition is represented by two small-scale transgressive-regressive cycles and increased volcanism. They are characterized by a deposition of structureless offshore marl with rare intercalations of coarse-grained clastics ("Vejalnica unit") and a shallow-water biocalcarenite and conglomerate ("Zdenci unit"), as well as tuff

horizons and volcanic rocks (Pamić 1997; Marković 2017). During the late Badenian, i.e. in the beginning of the post-rift phase, the marine transgression definitely flooded even the peaks of the Papuk and Psunj Mountains, which formed isolated islands in the early and middle Badenian (Jamičić et al. 1987, 1989). The deposition is represented by a transgressive-regressive cycle where basal conglomerates are overlain by algal banks, reef limestones and offshore marls (*Stop 3*). The end of the late Badenian (*Stop 1*) was characterized by general shallowing indicated by occurrences of biocalcarenites and conglomerates, and local emersions (Šparica et al. 1988; Basso et al. 2008; Zečević et al. 2010; Sremac et al. 2016).

The Badenian/Sarmatian boundary is characterised by the extinction of most of the fully marine organisms which was the consequence of the beginning of the basin isolation and establishment of a new restricted marine environment with a new and unique association of organisms adopted in different ecological conditions. Sarmatian deposits represent a transgressive-regressive cycle which started with mostly continuous deposition of shallow-water gravel, calcarenites and limestones with resedimented Badenian fully marine flora and fauna covering the late Badenian deposits ("Pećinka unit"). Subsequent deepening caused the widening of the basin, and general dominance of deposition of fine-grained horizontally laminated sediments ("Dolje unit") (*Figure 24*). The latest Sarmatian is characterised by a general shallowing trend. Thin bentonite layer which occurs in the late Sarmatian depositional succession at Krndija Mt. (*Stop 2*) indicates weak volcanic activity in the post-rift phase of the basin evolution (Kovačić et al. 2015; Marković 2017).

The late Miocene (Pannonian) deposits continuously overlie Sarmatian deposits and represent a transgressive-regressive cycle (*Figure 24*). They were deposited in Lake Pannon, a brackish lake formed after the isolation of the PBS from the sea that triggered intensive endemic molluscs radiation. On the basis of the superposition of the index mollusc species, the late Miocene sediments of Slavonian Mountains were subdivided into early Pannonian *Croatica* beds (*Radix croatica*) and *Banatica* beds (*Congeria banatica*), and late Pannonian *Abichi* beds (*Paradacna abichi*) and *Rhomboidea* beds (*Congeria rhomboidea*). The oldest Pannonian deposits of the Slavonian Mountains, the so-called *Croatica* beds ("Croatica unit"), consist of thin-bedded limestones with marl intercalations (*Stop 2*). They were deposited in shallow-water, littoral parts of the lake and reflect lowstand deposition as a consequence of the regression at the end of the Sarmatian. The subsequent lake level rise caused deepening and deposition of structureless marls which belong to the Banatica and *Abichi* beds. In the regressive phase of deposition in the late Pannonian, basinal succession is overlain by deltaic sandy deposits of *Rhomboidea* beds ("Andraševec unit" and "Nova Gradiška unit") as a consequence

of the infilling and closing of the lake (Kovačić et al. 2011). As the deltaic systems generally prograded from the north-west towards the east, the closing of the lake was diachronous. Hence, the uppermost brackish lake deposits (upper *Rhomboidea* beds) probably belong to early Pliocene (Mandic et al. 2015).



24. ábra/Figure 24 Sedimentological and stratigraphic scheme of the eastern part of the North Croatian Basin. The informal lithostratigraphic units are taken from the Basic geological map of the Republic of Croatia 1:50 000, sheets Požega 3 and 4 (Filjak et al. 2016a, b). Rifting phases and tectonics after Pavelić (2001)

Pliocene deposits of the Slavonian Mountains (the "Vrbova unit") are known as *Viviparus* beds (previously *Paludina* beds). They conformably or transgressively overlie the Pannonian deposits. The deposition of the *Viviparus* beds was mostly in the freshwater Lake Slavonia, which formed after the infilling and closing of the brackish Lake Pannon. *Viviparus* beds are represented by different locally derived siliciclastic material with coal seams, and form two small-scale transgressive-regressive cycles. Pelites prevail in the older cycle, while sands and gravels are more common in the younger cycle. Based on recent studies of the evolution of the molluscs, a new regional stage named Cernikian was proposed (Mandic et al. 2015). It comprises the time interval from the middle Pliocene to the early Pleistocene. Quaternary deposition was similar to that during the Pliocene, with the exception of deposition of the large quantities of the aeolian material.

Stop 1 Bukova Glava section (Našice quarry)
A middle Miocene marine deposition with pyroclastics

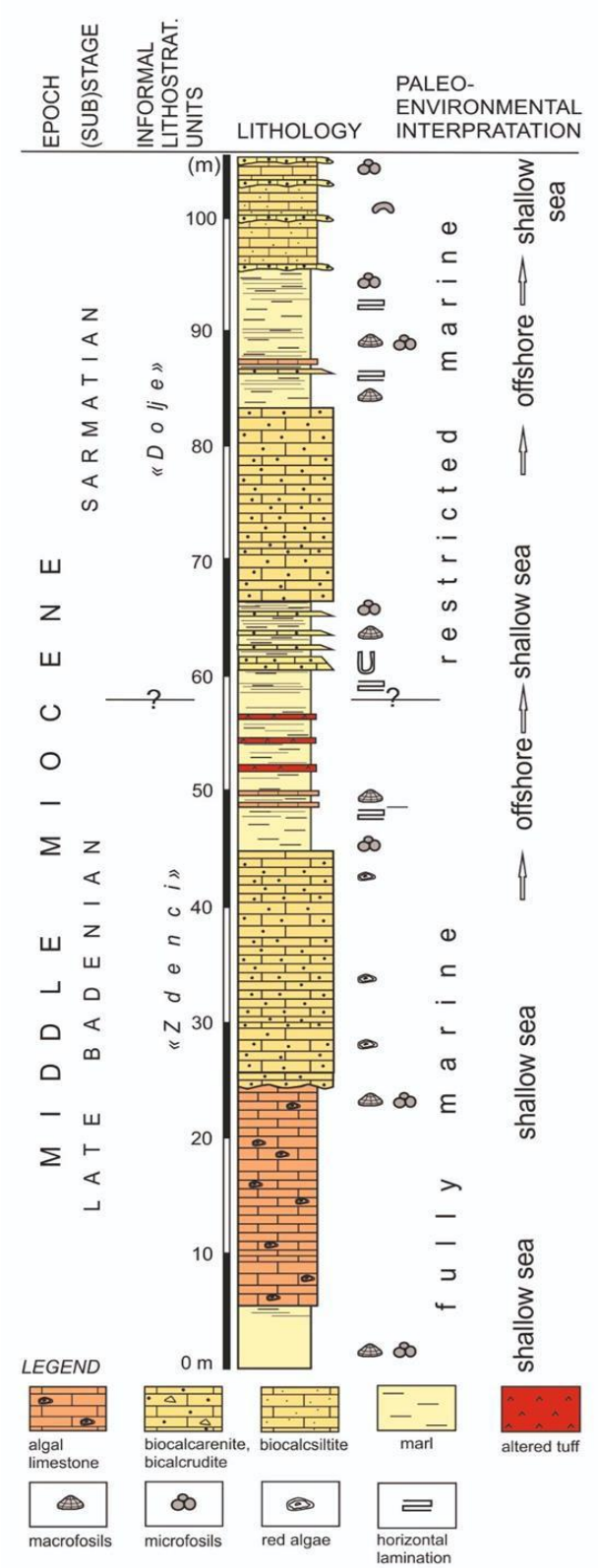
(Kovačić et al. 2017a; partly modified)

Introduction

On the northern slopes of Mt. Krndija, in the vicinity of the town of Našice, a large quarry is in use for cement production by "Našicecement d.d." (*Figure 23*). The quarry consists of two different sections; Bukova Glava and Vranović. The Bukova Glava section is located in the southern part of the quarry. It is composed of carbonate rocks of the middle Miocene age (Pavelić et al. 2003; Zečević et al. 2010) with thin layers of pyroclastic sediments in the transitional zone of Badenian and Sarmatian deposits (Marković 2017; Marković 2017 et al., in press). Due to intensive exploitation, the visage of the profile is constantly changing. Today, it is an approximately 300 meters wide and more than 120 meters high quarry (*Figure 25*).

25. ábra/Figure 25 Panoramic view of the quarry at Bukova Glava hill. The Middle Miocene marine deposits are exposed on the surface

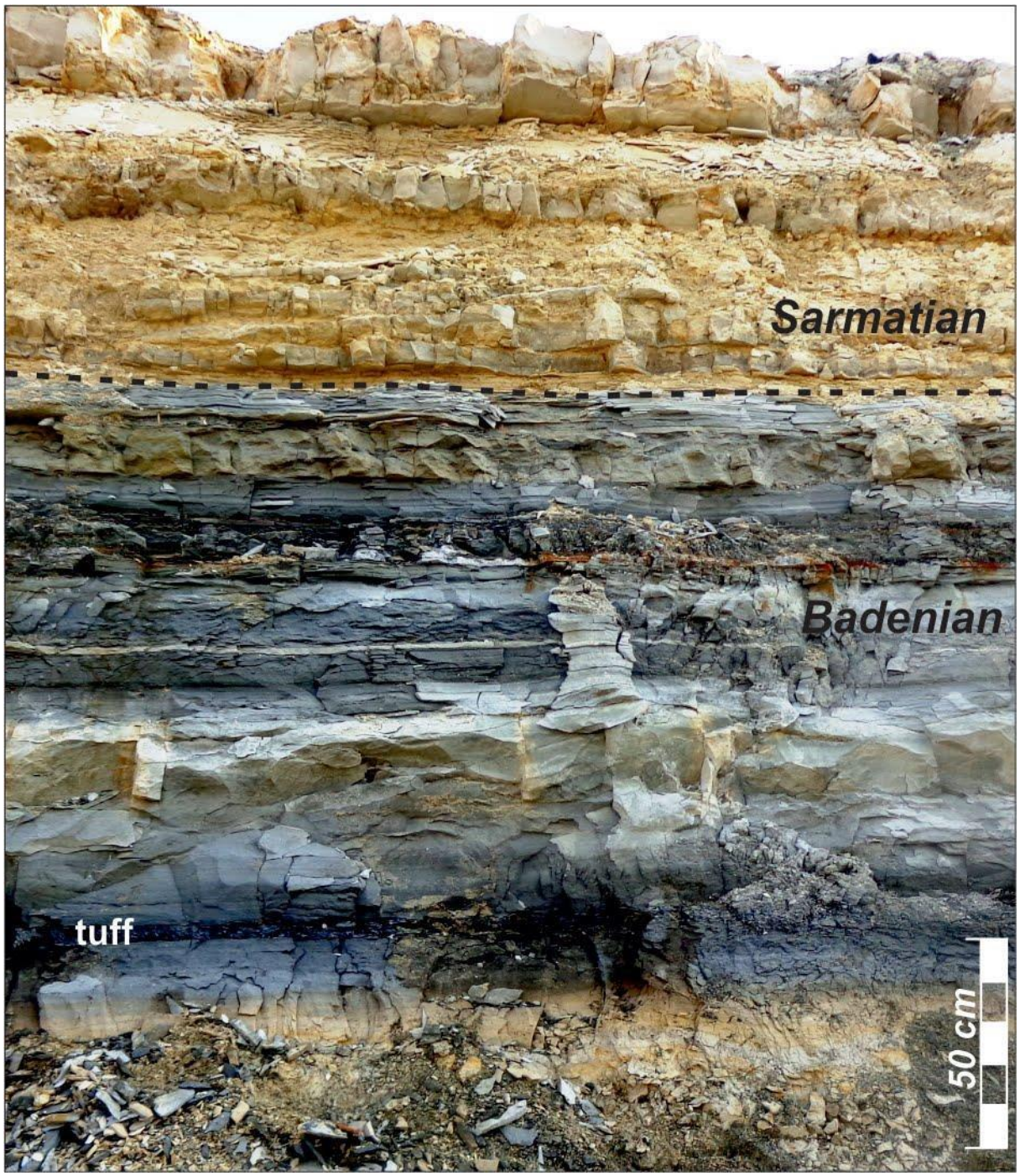
Description of the sediments and the fossil content



26. ábra/Figure 26 Geological column of the Bukova Glava section (compiled after Pavelić et al. 2003, Zečević et al. 2010, and partly modified)

The Bukova Glava section is about 100 m thick. The lower half of the section belongs to the Badenian "Zdenci unit", while the upper half belongs to the Sarmatian "Dolje unit" (*Figure 26*). The deposits are grouped in four main facies: algal limestones, biocalcarenites and biocalcirudites, marls and pyroclastics. The algal limestones dominate in the lower part of the section where an about 20 m thick unit is located (*Figure 26*). They are horizontally bedded and dominantly composed of whole or fragmented Corallinaceae. Other biogenetic particles include molluscs, bryozoans and benthic foraminifera. The faunal association suggests ashallow-water marine depositional environment and the existence of small reefs and banks growing in a shallow sea without any supply of terrestrial siliciclastic detritus. Biocalcarenites and biocalcirudites are horizontally bedded to massive, mostly concentrated in the middle and upper parts of the section. They appear in a form of two, up to 20 m thick units and several thinlayers intercalated with marls (*Figure 26*). The thin layers usually show normal grading. Densely packed bioclasts mostly represent fragments of Corallinaceae, bryozoans and benthic foraminifera. They were very probably products of the erosion of algal banks and small reefs and of reworking of the material by waves and storms. Thick units of biocalcarenites and biocalcirudites, according to the foraminiferal assemblage, were deposited in a shallow sea, while thin beds intercalated with marls could have been deposited by gravity flows in deeper, offshore environment. The position of the lower thick unit in the upper part of the Badenian lithostratigraphic unit "Zdenci", and the upper thick unit in the lower part of the Sarmatian lithostratigraphic unit "Dolje" suggests a sea-level fall at the end of the late Badenian, subsequent erosion of the upper Badenian shallow-water sediments, and redeposition in the early Sarmatian (Pavelić et al. 2003). The marls form beds or units from a few dm up to 7 m thick. They have been detected in the bottom part of the section, but are mostly concentrated in the middle and upper parts (*Figure 26*). In the bottom part, the marls are massive, rarely horizontally laminated, while in the middle and upper parts they are distinctly horizontally laminated. They were deposited from suspension in a calm environment. Inside the marls, in the middle part of the section, 2–10 cm thick layers of tuff altered into bentonite clay have recently been noted (*Figure 27*).

According to their fossil assemblage, the marls from the lower half of the section are of the late Badenian age, while those from the upper half belong to the lowest Sarmatian. In the Badenian part of the section, fully marine molluscs taxa like *Lucinoma*, *Corbula*, *Macoma*, *Linga* and *Amusium* have been discovered, while the Sarmatian part contains *Ervilia*. Foraminiferal assemblage along the entire section is well preserved and rich with individuals and species. The marls from the lower half of the section contain planktonic foraminiferal



27. ábra/Figure 27 The middle part of the Bukova Grava section. The position of the boundary between the Badenian and Sarmatian deposits is marked by the black line

assemblage consisting of *Globigerina bulloides*, *Globigerina praebulloides*, *Globigerina diplostoma*, *Globigerina falconensis*, *Globigerina tarchanensis*, *Globigerinella regularis*, *Tenuitella clemenciae*, characteristic for the late Badenian. The late Badenian age of the lower half of the section has also been proven by the benthic foraminifera assemblage with index species *Pappina neudorfensis*, *Bulimina insignis* and *Uvigerina brunnensis* that are characteristic for the *Bulimina–Bolivina* zone.

However, in the upper part of the section, which overlies the three tuff layers (*Figure 27*), benthic foraminiferal assemblage is characterised by low diversity and dominance of the species *Anomalinoides dividens* which indicate the lowest Sarmatian *Anomalinoides dividens* zone. According to the foraminiferal assemblage, the marls from the bottom part of the section containing benthic taxa (*Elphidium, Cibicides)* that lived in a shallow marine environment. As indicated by the gradual increase of planktonic individuals of up to 90%, the marls from the middle part of the section in the zone below and between the tuff layers, have been deposited in a deeper shelf environment. Benthic foraminifera assemblage also indicates deeper, middle-outer shelf environment. The very low amount of planktonic foraminifera, in the marls which overlie the lower three tuff layers, indicate the shallowing trend at the end of the Badenian. The shallow environment was also present during the onset of the Sarmatian.

The calcareous nannoplankton assemblage along the entire section belongs to the NN6 zone of late Badenian–Sarmatian. The presence of the species *Rhabdosphaera poculii* in the marls below and between the tuff layers, in the middle part of the section, indicates the late Badenian age. This part of the section is also characterized bypredominance of *Coccolithus pelagicus* which, in association with *Cyclicargolithus floridanus*, *Helicosphaera carteri*, *Holodiscolithus macroporus* and *Pontosphaera multipora* coccoliths, indicate a deeper hemipelagic environment. The predominance of species *Calcidiscus pataecus* in the nannoplankton assemblage of the overlaying tuff horizons marks the NN6d subzone (Chira & Mârunteanu 2000) and suggests the onset of the lowest Sarmatian.

Stop 2 Vranović section (Našice quarry)
Disintegration of the Central Paratethys and origin of the Lake Pannon

(partly modified after Kovačić et al. 2017b)

Introduction

The Vranović section is situated on the northern slopes of Mt. Krndija, 200 m north of the Bukova Glava section (*Figure 23*). It is an active marl quarry and sandpit in use by the cement factory Našicecement d.d. Due to the intensive exploitation, the situation in the quarry is constantly changing. At present, at Vranović, around 100 meters thick section comprising the youngest middle Miocene and oldest Upper Miocene deposits is exposed (*Figure 28*). Deposits at this location were described for the first time about 15 years ago by Pavelić et. al. (2003),

Kovačić (2004) and Vasilijev et al. (2007). At that time, only the carbonate rocks and siliciclastic sediments of late Miocene (Pannonian) age were exposed on the surface, while only recently the youngest middle Miocene (Sarmatian) deposits have become visible as well.

28. ábra/Figure 28 Panoramic view of the Vranović section with marked Sarmatian-Pannonian boundary (Photo by M. Kovačić)

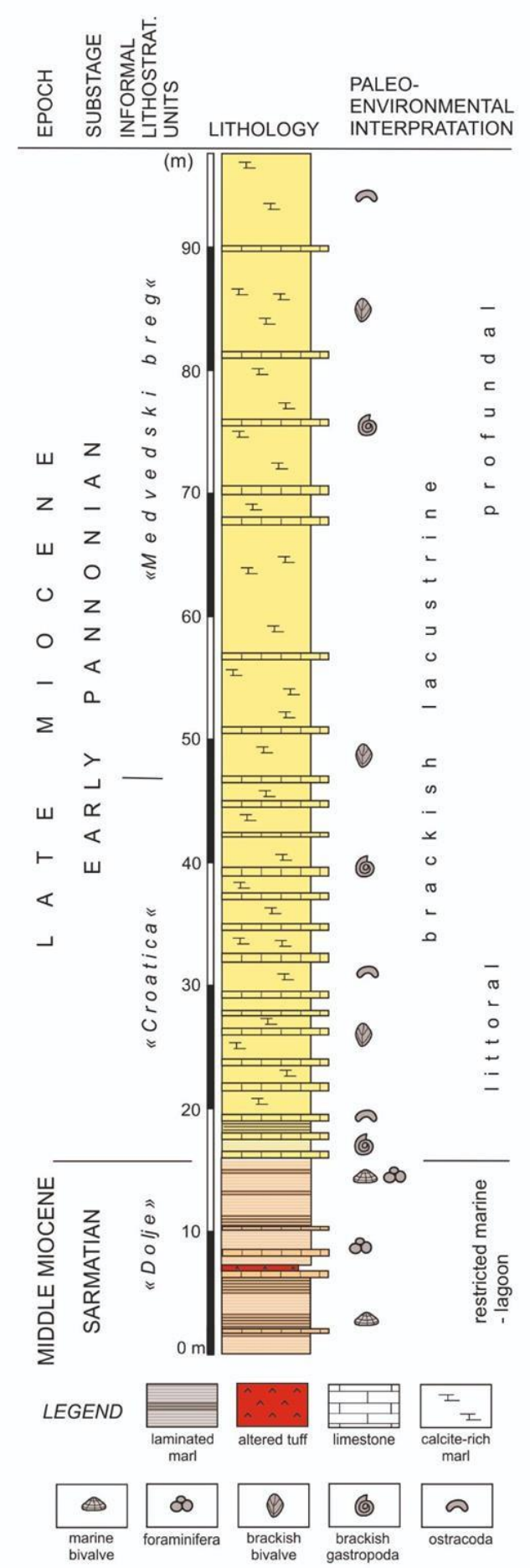
Sarmatian

The Sarmatian deposits exposed on the surface in the lower part of the section are 16 meters thick. They are represented by horizontally laminated fossiliferous marl, limestone, sand and clay, and belong to the ”Dolje unit“ (*Figure 29*).

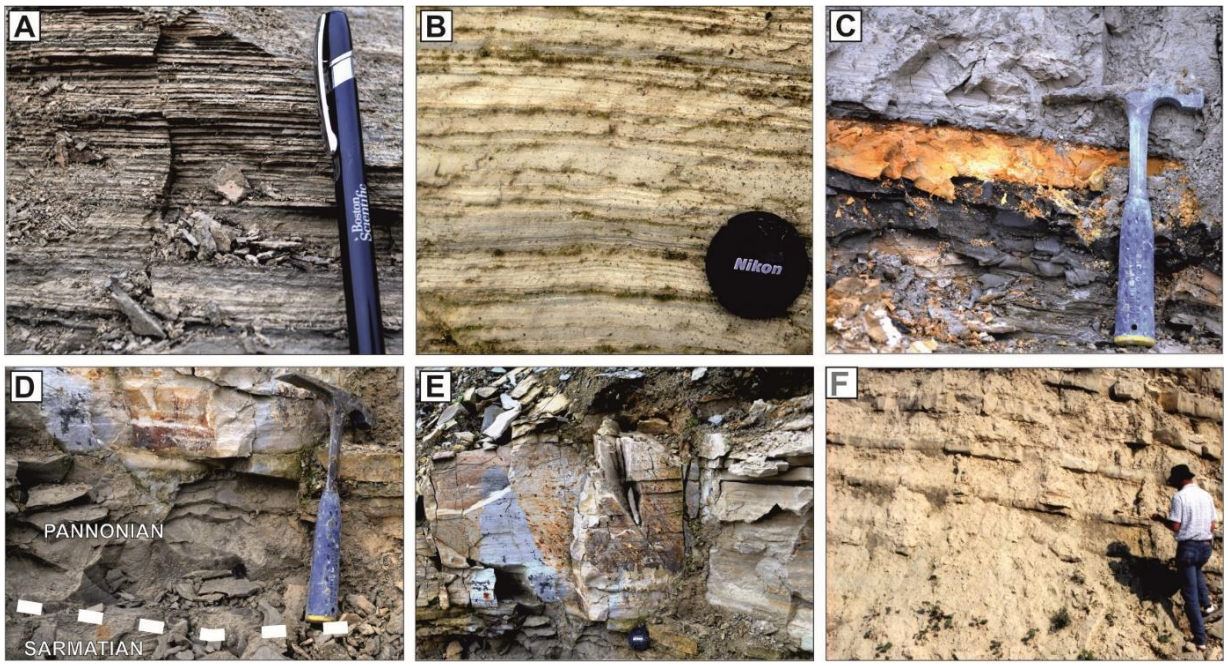
The marls predominate in the succession. They consist of varve-like rhythmical alternations of dark and light laminae with thin lenses of carbonate sand (*Figure 30A, B*). The dark laminae contain an increased amount of organic matter, while the light laminae are rich in carbonates. The marls were deposited from suspension, while the varve-like lamination suggests seasonal changes in sedimentation.

The fossil assemblage of molluscs, benthic foraminifera, ostracods, calcareous nannoplankton and palynomorphs points to the Sarmatian age and a shallow restricted marine depositional environment (*Figure 31*).

The limestone beds are 2–5 cm thick and consist of micrite and microsparite. A 10–20 cm thick layer of green coloured montmorillonite clay is detected 8 m below the abrupt lithological change from laminated marls to thin layered limestone (*Figure 30C*). This clay layer is an alteration product of neutral volcanic ash. According to the microelements content; it has a tephryphonolic composition (Kovačić et al. 2015a; Marković 2017; Marković et al. in press). It represents the first recorded evidence of volcanic activity close to the Sarmatian-Pannonian boundary in the Slavonian Mts.



29. ábra/Figure 29 The geological column of the Sarmatian and Pannonian deposits at the Vranović section (modified after Kovačić et al. 2015b)



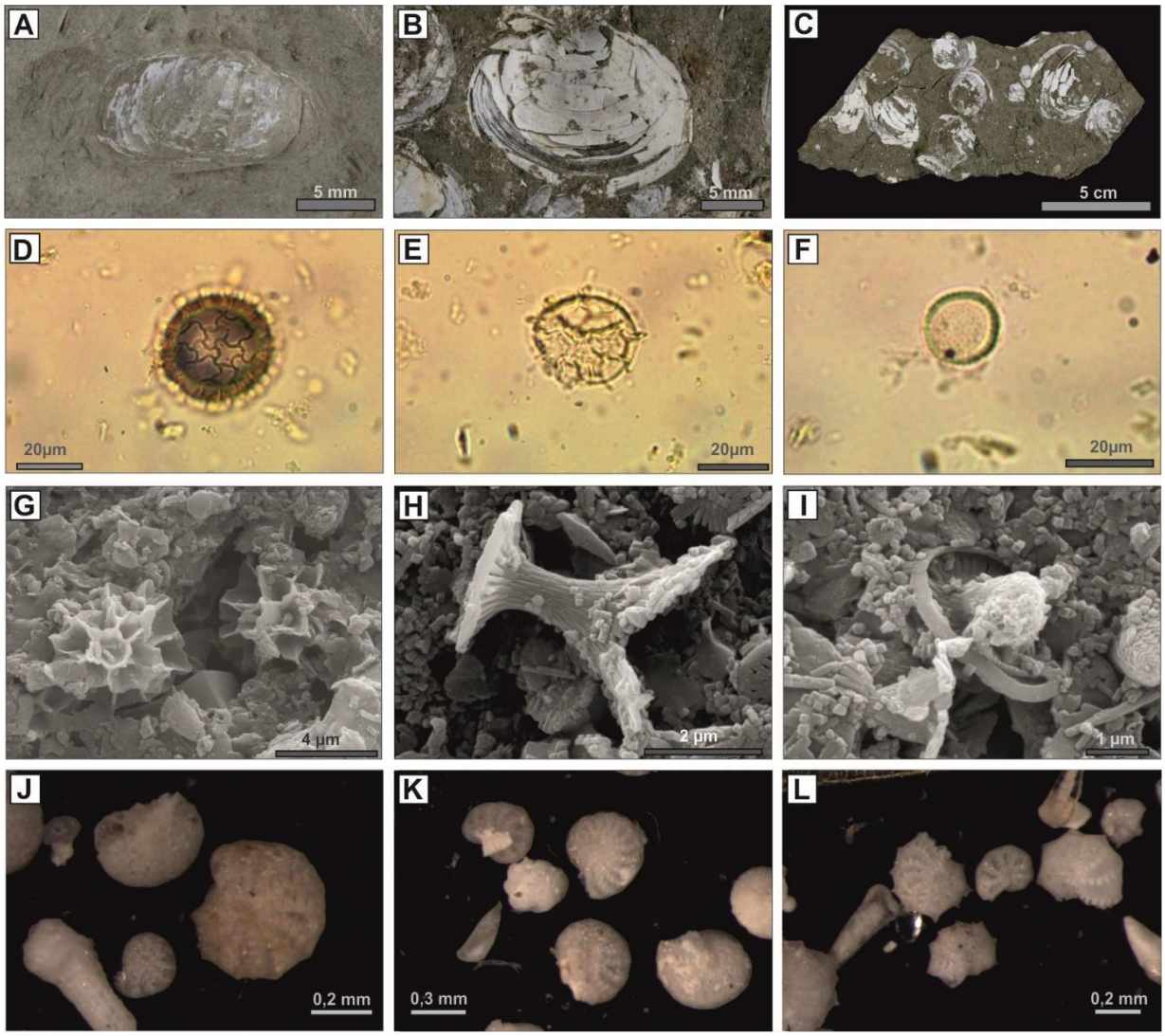
30. ábra/Figure 30 Photographs showing details of different Sarmatian (A, B, C) and Pannonian (D, E, F) sedimentary facies of the Vranović section. A – Horizontally laminated marl with rhythmical alternation of dark, organic matter rich laminae and carbonate rich light laminae typical for the "Dolje unit". B – Horizontally laminated marls with a carbonate sand lens. C – altered tuff layer. D – The boundary between Central Paratethys marine deposits of Sarmatian age and the brackish Lake Pannon deposits of Pannonian age. E – Platy limestone from the lower part of the "Croatica unit". E – The intercalation of platy limestones and calcite rich marls characteristic for the transitional zone of "Croatica" and "Medvedski breg" units

Sarmatian - Pannonian transition

The Sarmatian-Pannonian transition is characterised by a gradual change in the lithology and an abrupt change in the fossil assemblage. Namely, the five meters thick horizontally laminated marls characteristic for the middle Miocene "Dolje unit", are intercalated with the platy limestone typical for the oldest late Miocene "Croatica unit" (*Figure 29*). In contrast, between the marls with a typical Sarmatian fossil assemblage and limestones containing mollusc fauna of the early Pannonian age, only a few decimetres thick fossil-sterile layer can be seen (*Figure 30D*). Such abrupt change in the fossil assemblage points at the disintegration of the marine area of the Central Paratethys and the formation of the brackish Lake Pannon.

Pannonian

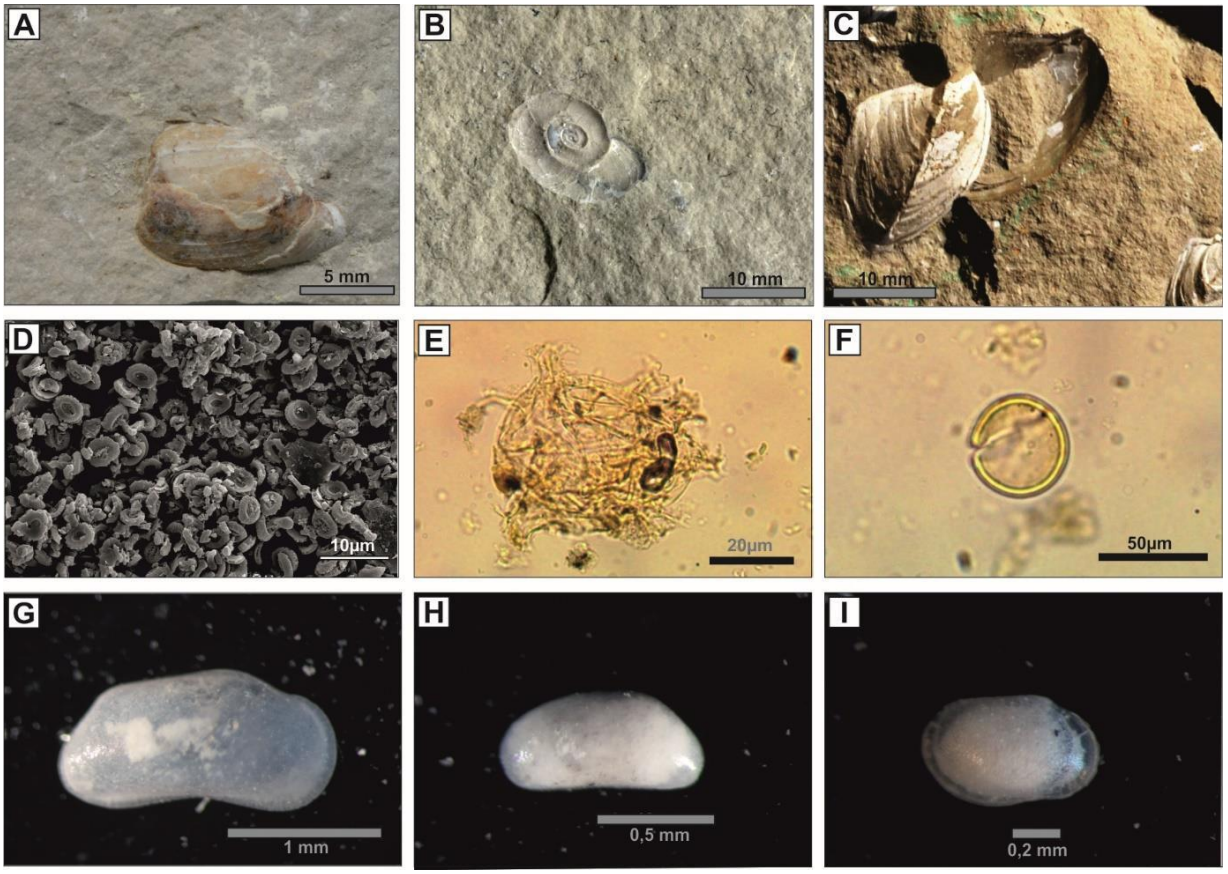
The exposed succession of Pannonian deposits is about 80 m thick. The lower part of this succession belongs to the "Croatica unit", while the remaining upper part belongs to the "Medvedski breg unit" (*Figure 29*). The "Croatica unit" consists of horizontally bedded marly limestones and massive calcite rich marls (*Figure 30E*). The thickness of the limestone beds varies between several and 30 cm, while the thickness of the marl layers varies from a few decimeters to a few meters (*Figure 30F*).



31. ábra/Figure 31 The fossil assemblage from the lower part of the Vranović section which proves the Sarmatian age and a shallow, restricted marine depositional environment. A – *Cardium* (*Cerastoderma*) *gleichenbergense* (PAPP); B, C – *Ervilia dissita dissita* (EICHWALD); D – *Cymatiosphaera miocaenica* Hajós 1966; E – *Cymatiosphaera undulata* Hajós 1966; F – *Mecsekia spinosa* Hajós 1966; G – *Sphenolithus moriformis* (Bronnimann & Stradner 1960) Bramlette & Wilcoxon 1967; H – *Discoasphaera jerkovici* Müller 1974; I – *Acanthoica cohenii* (Jerković 1971) Aubry 1999; J, K, L – *Elphidium* foraminiferal assemblage (From Kovačić et al. 2015a)

The limestones and marls contain plant fragments and an association of endemic, lacustrine molluscs, ostracods, calcareous nannoplankton and palynomorphs (*Figure 32*) that imply deposition at the littoral-sublittoral depth of Lake Pannon characterised by very low water salinity. The transition from the "Croatica unit" to the "Medvedski breg unit" is gradual and characterised by lithological transition from limestone into marls. The maximum thickness of the "Medvedski breg unit" is a few hundred meters (Kovačić 2004), but only the lowest 50 meters are exposed at the Vranović section. According to its fauna the "Medvedski breg unit" (*Figure 32C*) was deposited in sublittoral to profundal brackish-water, lacustrine environment. The vertical succession and the replacement of the *Radix croatica* fossil assemblage typical for the "Croatica unit" with the *Congeria banatica* assemblage characteristic for the "Medvedski

breg unit", indicates a deepening and salinity-increase upwards trend, from an almost freshwater littoral environment to a deeper-basin brackish-lacustrine environment.



32. ábra/Figure 32 The fossil assemblage of the middle and upper part of the Vranović section. A – *Radix (Radix) croatica* (GORJANOVIĆ-KRAMBERGER); B – *Gyraulus (g.) praeponticus* (GORJANOVIĆ-KRAMBERGER); C – *Congeria banatica* HÖRNES; D – monospheric assemblage of calcareous nanonplancton with *Noelaerhabdus* spp.; E – *Spiniferites bentorii* (Rossignol 1964) WALL & DALE, 1970; F – *Mecsekia ultima* Sütő-Szentai 1982; G – *Hungarocypris auriculata* (REUSS); H – *Candona postsarmatica* KRSTIĆ; I – *Loxoconcha porosa* (MEHE S). *Congeria banatica* (C) found in the upper part of the section indicates a deep-water lacustrine environment and represents the "Medvedski breg unit". Other fossils are from the middle part of the section. They are typical for the oldest Late Miocene "Croatica unit" and indicate a shallow brackish to freshwater lacustrine depositional environment (from Kovačić et al. 2015a)

Stop 3 Zdenci quarry
Badenian fossiliferous shallow marine carbonates with fragments of rhyolite volcanicrock

(Špišić et al. 2017, partly modified)

The Zdenci quarry is situated in the vicinity of the village of Brodski Zdenci in the central part of Mt. Dilj (*Figure 23*). The quarry is still active, hence the exposure is constantly changing due to quarrying (*Figure 33*). With the length of 200 meters and height of almost 50 meters, the sediments in the Zdenci quarry represent the growth of a patch reef in the shallow, tropical

Badenian sea, interrupted a few times by volcanic activity from the surrounding area, and disconformly overlain, with Sarmatian and Pannonian sediments.

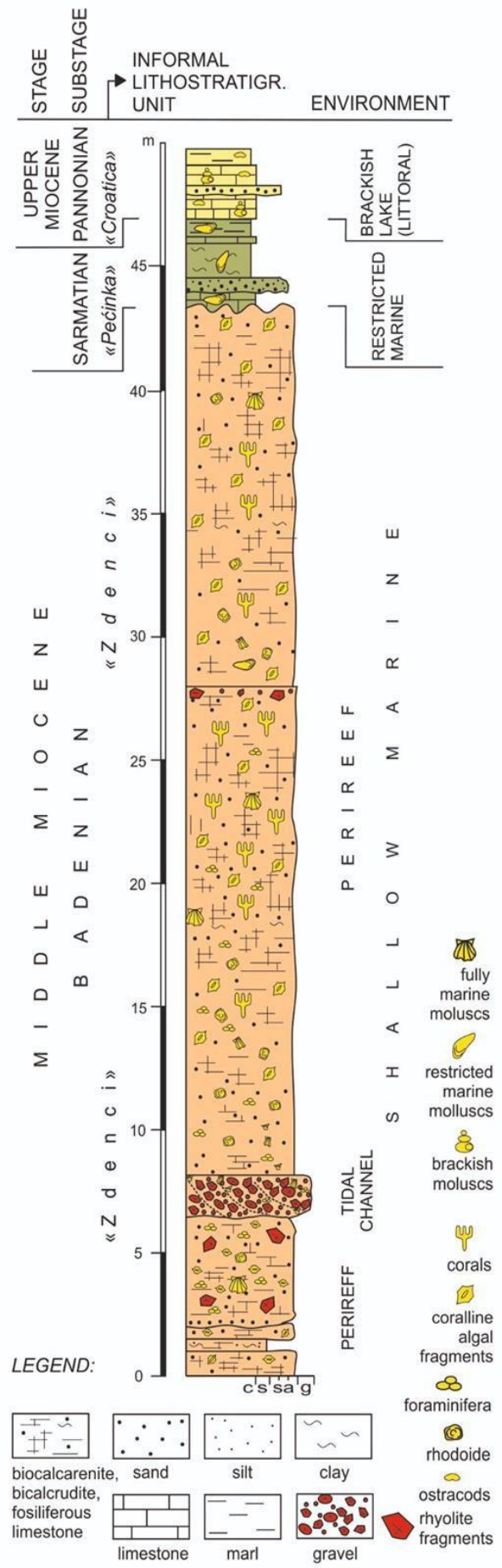
33. ábra/Figure 33 The Zdenci quarry

The carbonate complex is about 47 m thick and mainly composed of coralline algal limestones (*Figure 34*). Scattered volcanic fragments are dispersed in the bioclastic limestones (bottom of the section) or sandstones (upper part of the section).

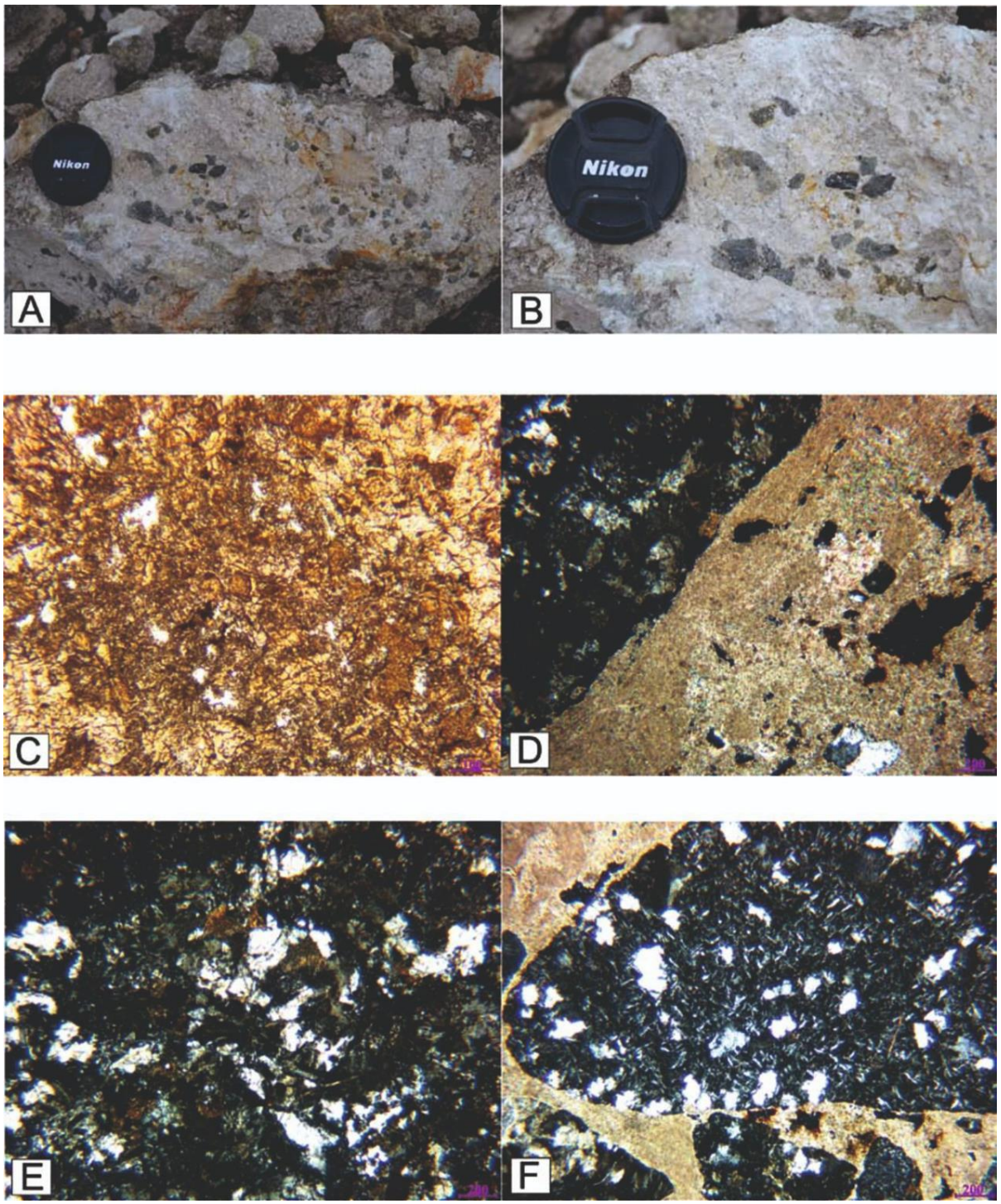
The bioclastic limestone samples of the ”Zdenci unit” (taken at the 3rd meter) are macroscopically determined as white bioclastic limestones containing fragments of volcanic rocks (*Figure 35A, B*).

The quantity of psefitic and psammitic volcanic fragments varies from sandy bioclastic limestone, strongly conglomeratic limestone up to brecciated sandstone. Bioclasts are characterized by abundant coralline algae and corals, foraminifera and echinoderms, subordinate bryozoans, ostracods and small gastropods. Coralline red algae are mainly represented by rhodolites with ingrown acervulinids and fragments of crustose forms (*Figure 36A*). Among foraminifera, oxyphilic shallow benthic forms like *Amphistegina* sp. (*Figure 36C*), *Elphidium crispum* (*Figure 36D*), *Lobatula lobatula* , *Eponides repadus* (*Figure 36E*) and *Sphaerogypsina* sp. are dominant. Rare textulariids and agglutinated sessile foraminifera *Hadonia* sp. also occur. Different cross-sections of corals areattributed to *Favia* sp. and *Porites* sp. (*Figure 36F, G*).

Abundant and diverse *Ostrea* sp. (*Figure 37B*) are also present. The matrix contains mostly micrite, but sparry calcite cement has also been found. Lithic fragments are all of

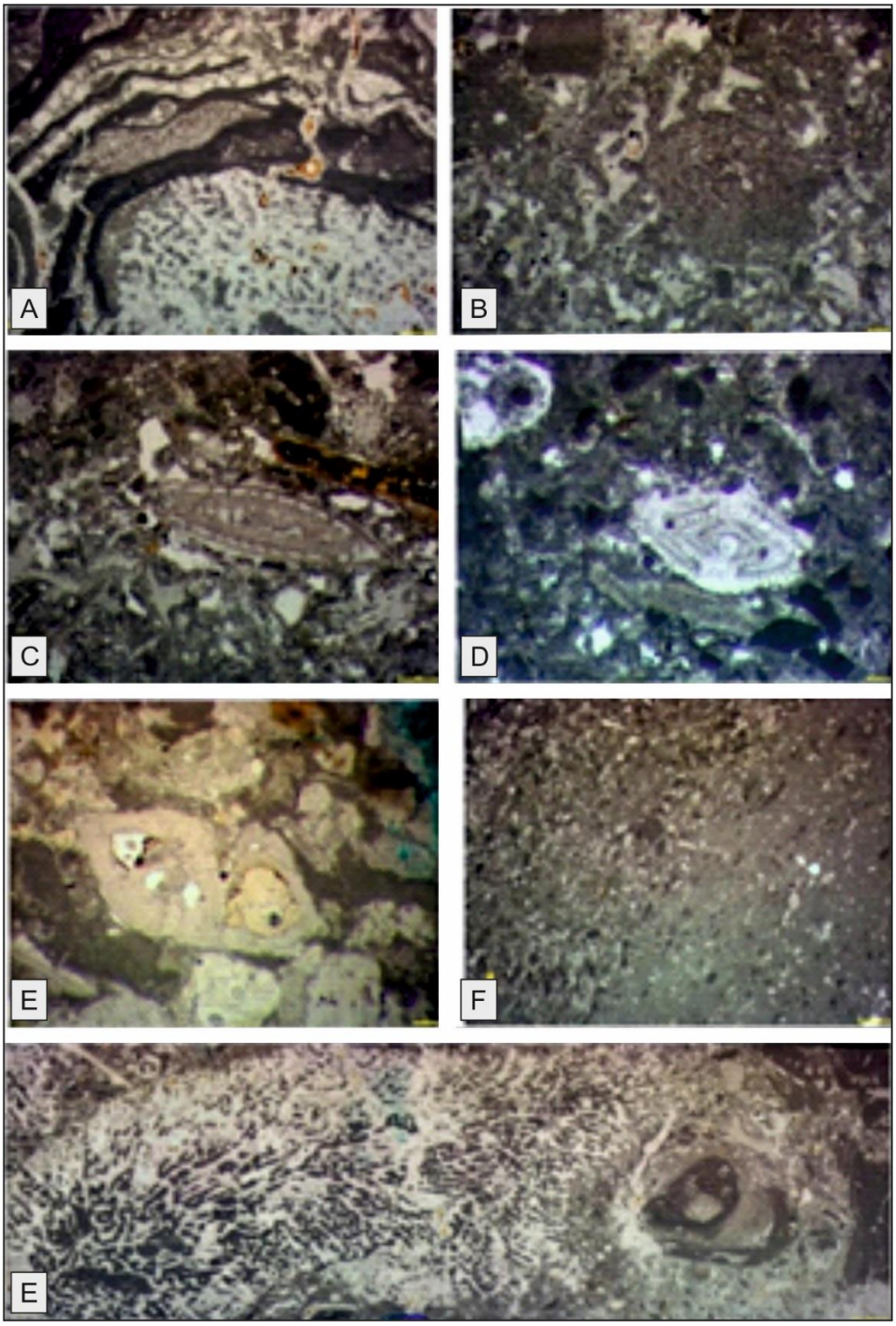


34. ábra/Figure 34 The lithostratigraphic cross-section Zdenci; modified according to Šparica et al. (1988)



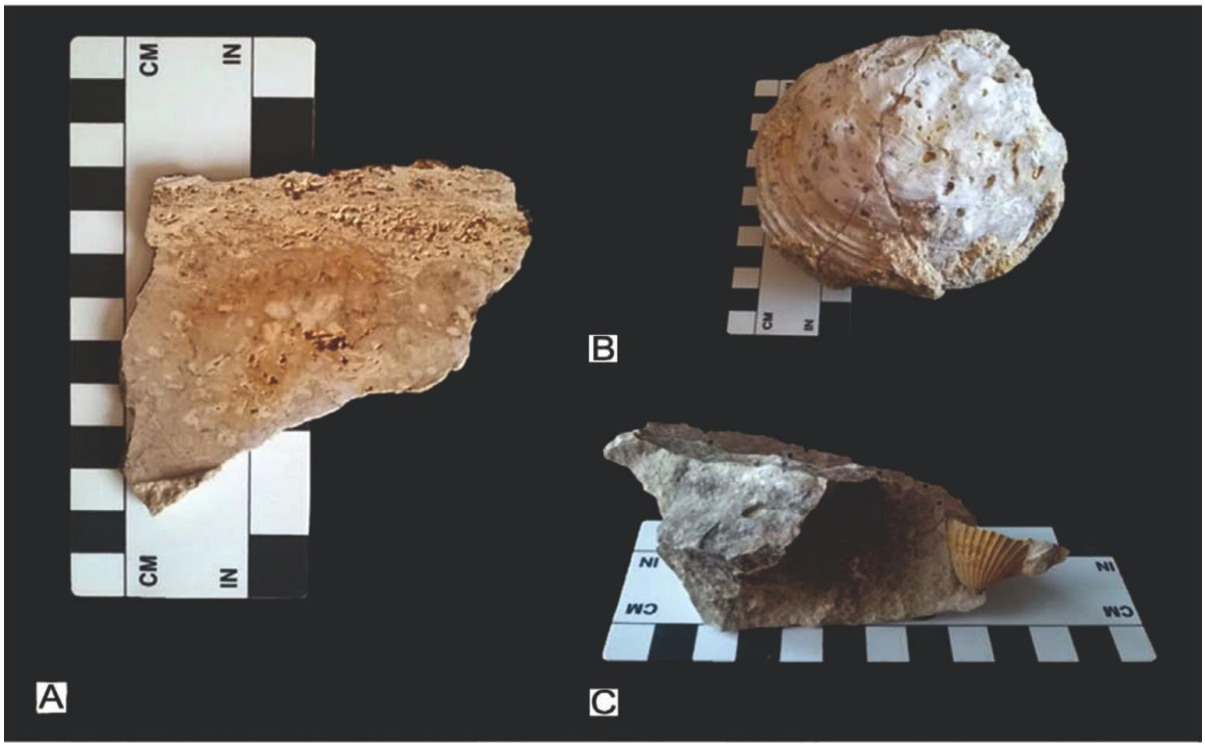
35. ábra/Figure 35 Sedimentological characteristics of the bioclastic limestone: A – Bioclastic limestone sample with fragments of volcanic rocks (lens cap diameter 5 cm); B – the same sample – increased; C, E – Spherulitic alkali-feldspar rhyolite with poorly preserved perlitic texture; D, F – aphyric alkali-feldspar rhyolite fragments in the limestone. C, D, E, F scale in mm

rhyolitic composition. The chemical composition of the isolated volcanic parts of the sample gave 72.79 wt% SiO_2. Microscopic investigation determined the volcanic fragments as spherulitic alkali-feldspar rhyolite (*Figure 37C, E*) with poorly preserved perlitic texture, aphyric alkali-feldspar rhyolite (*Figure 37D, F*) and slightly porphyritic alkali-feldspar rhyolite.



36. ábra/Figure 36 Fossil assemblage in the bioclastic limestones: A – coral with overgrown crustose algae, bryozoan and acervulinid ingrowth; B – agglutinated sessile foraminifera *Hadonia* sp.; C – *Amphistegina* sp.; D – *Elphidium crispum* (LINNE); E – *Eponides repandus* (FICHTEL & MOLL); F – corals (*Favia* sp.); G – coral *Porites* sp. Scale bar A – 50 mm; B – 20 mm; C – 100 mm; D – 10 mm; E – 10 mm; G – 100 mm

The final stage of the patch reef growth is recorded around the 44th meter with increasing dissolution and recrystallization features together with the presence of *Microcodium* sp., which points to karstification during the phase of subareal exposure. Transgressive Sarmatian deposits of the ”Pećinka unit” (*Figure 37A*) are characterized by sands in the base and clay with restricted marine molluscs (*Cerastoderma* cf. *lithopodolicum* (*Figure 37C*) in the top of the interval. The last few meters of the section are Pannonian marls (”Croatica unit”), rich in ostracods and brackish molluscs.



37. ábra/Figure 37 A – Erossive Badenian (“Zdenci unit”) and Sarmatian (“Pećinka unit”) boundary; macrofossils from the Zdenci quarry: B – *Ostrea* sp.; C – *Cerastoderma* cf. *lithopodolicum* (DUBOIS) (D. Vrsaljko, personal comm.)

Stop 4 Poljanska
Early-Middle Miocene salina-type and open lake deposits

(partly modified after Kovačić et al. 2017c)

Introduction

The investigated Poljanska section is situated on the south-western slopes of Mt. Papuk (*Figure 23*), near the eponymous village. In this area, according to the Basic Geological Map of the Republic of Croatia (CGS, 2009), Lower Miocene sediments are exposed on the surface. Their older part is composed of alluvial gravely-sandy deposits (“Daranovac unit”), while their upper part consists of lacustrine sediments and pyroclastites (“Poljanska unit”) (*Figure 24*). The

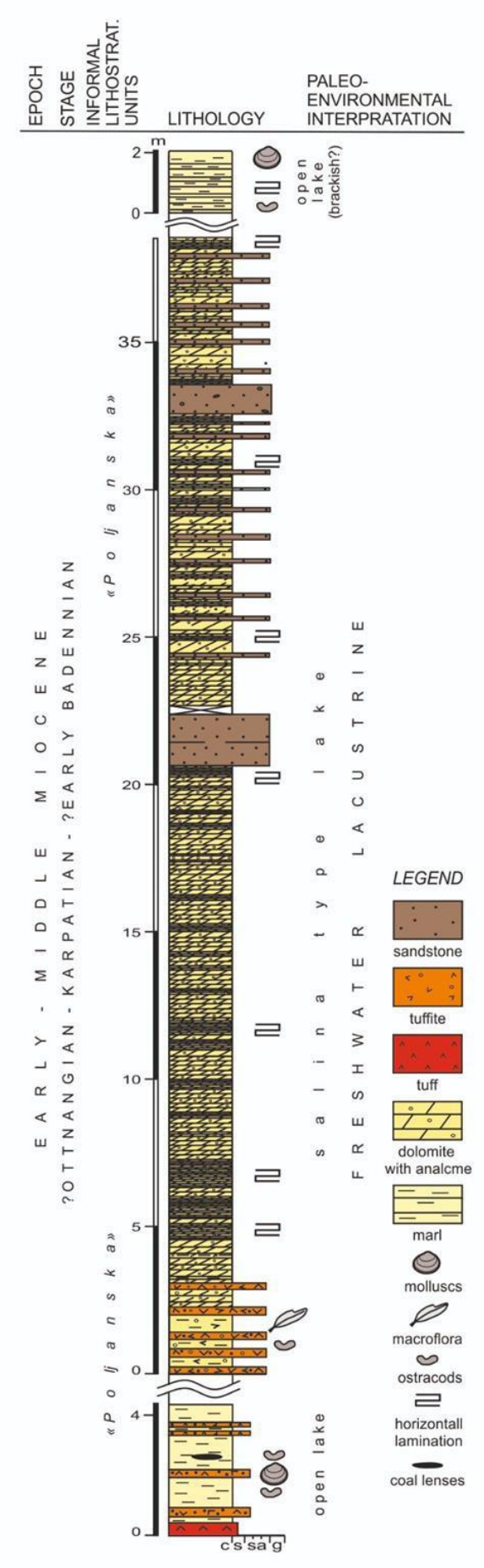
alluvial deposits of the "Daranovac unit" are widespread along the Slavonian Mountains, especially on Mt. Požeška, while the key section of the "Poljanska unit" is described only on the southwestern slopes of Mt. Papuk. The most representative outcrop of lacustrine sediments intercalated with pyroclastites is situated in an active quarry located west from the village of Poljanska. In this quarry Šćavinćar et al. (1983) described two layers of sediments rich in analcime and dolomite that alternate with tuffitic marls. As proposed by Šćavinćar et al. (1983) these layers deposited in a salty alkaline lake during arid climate conditions and in a freshwater lacustrine environment during more humid periods.

Description

Two sections were described at Poljanska. The smaller, Lower section is located along the stream of Sokolovac. There, a 4 m thick sedimentary sequence is exposed. Based on the continuous layering of the sediments, this outcrop stratigraphically represents the basement of the Main section situated in the quarry. It consists of a 40 cm thick, green coloured acid vitroclastic tuff layer altered to smectite at the bottom of the section, and dark grey thin layered or horizontally laminated marls. The tuff layer contains fresh volcanic glass shards. The marls are rich in fossil macroflora and intercalated with a few cm thick coal lenses and tuff layers. The Main section is located in the active quarry (*Figure 38*), where a more than 40 m thick sedimentary succession is exposed on the surface. The succession is divided into three parts. The lower part is characterised by the alternation of calcitic marls and tuffitic layers (*Figure 39*).

38. ábra/Figure 38 Panorama photograph of the Poljanska quarry

Calcitic marls are rich in fossil macro flora (*Figure 40A, B*) and contain analcime, a zeolite group mineral. The tuffite layers are 10-30 cm thick and greenish or grey in colour (*Figure 40C, D*). They consist of altered vitroclasts, feldspar crystaloclasts, analcime, carbonate minerals, and detrital grains of quartz, feldspar, amphibole and mica (*Figure 40E, F*). The thickest, middle part of the section is mostly composed of a few cm to several dm thick, massive, horizontally laminated or tectonically deformed carbonate-analcime sedimentary rocks (*Figure 40G, H*).



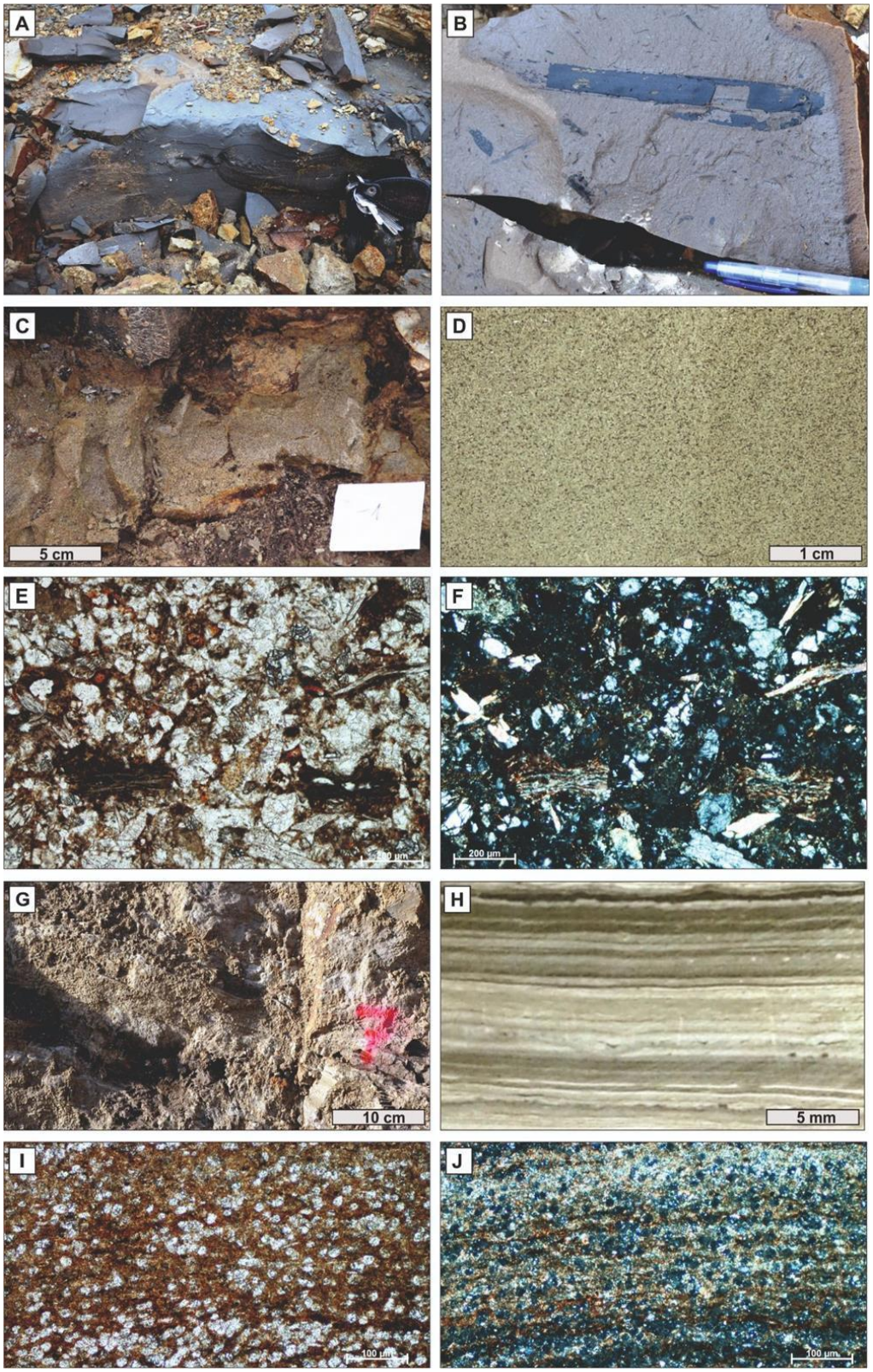
39. ábra/Figure 39 Geological column of the Lower-Middle Miocene deposits at Poljanska

Carbonate minerals are crypto- to microcrystalline, concentrated in some lamina or homogeneously dispersed in rock. Dolomite is the most abundant carbonate mineral, but hydrous Ca-bearing magnesium carbonate (HCMC) is also detected in almost all samples. The analcime is cryptocrystalline and homogeneously dispersed within the rock, or concentrated within the laminae in the form of up to 50 μm large isometric crystals (*Figure 40I,J*). The formation of analcime is a result of the alteration of tuff and/or clay minerals in an alkaline lake environment (Šćavinćar et al. 1983).

Minor natrolite, the other zeolite mineral characteristic for saline environment, is also present. The presence of HCMC, mineral characteristic for playa environments, also suggests extreme ecological conditions (Queralt et al. 1997). In the middle part of the section, except for analcime-carbonate deposits, sandstone layers appear, with the thickness of several centimetres to two meters. The sandstone is poorly sorted with grains derived from the locally uplifted metamorphic and granitoid basement rocks of the Pannonian Basin. The upper part of the section, which is exposed laterally in the quarry, consists of thin layered fossiliferous marls (*Figure 39*).

Fossil content

The analcime bearing rocks are barren of fossils, while marls from the Lower section, as well as marls from the bottom and the top part of the Main section contain a relatively poor fossil assemblage of molluscs, ostracods, palynomorphs and calcareous nannofossils. The mollusc fauna consists of one dreissenid bivalve *Illyricocongeria pikijai* and a few hydrobiid and planorbid gastropod species. The faunal composition relates the assemblage with the Illyrian bioprovince (Mandic et al. 2011). The latter includes the Pannonian Basin pre-Badenian continental deposits and the so called Dinaride Lake System (DLS), which are postorogenic late Burdigalian-Langhian intramontane basins situated in the Dinaride Mountains and the Adriatic foreland. *Illyricocongeria pikijai* is exclusively known from the Požega region. There, it is restricted to lacustrine deposits predating the middle Miocene marine transgression of the Paratethys Sea. The hydrobiids include *Prososthenia eburnea*, planorbids, and one newly discovered *Gyraulus* sp. (unpublished data). Such composition indicates long-living freshwater lacustrine settings and littoral conditions (Mandic et al., 2011; Neubauer et al. 2015). The ostracod fauna indicates a freshwater depositional environment. In the Lower section it consists of eight freshwater genera: *Cypridopsis, Potamocypris, Fabaeformicandona, Candona, Herpetocypris, Darwinula, Cypria* and *Pseudocypretta*.



40. ábra/Figure 40 Photographs and microphotographs of a typical lithofacies from the Main Poljanska section. A, B – dark grey marl with fossil macro flora from the lower part of the section. C, D – tuffite layer from the lower part of the section. E, F – Microphotograph of the same tuffite showing their composition dominated by clastic detritus of local origin, altered vitroclasts and analcime; G, H – horizontally laminated dolomite with analcime from the middle part of the section; I, J – microphotograph of dolomite with analcime. (E, I – An-; F, J – An+)

In the Main section, deposits did not yield ostracods, except marls from top of the section which contain rare poorly preservedcarapaces of the genus *Cypridopsis* or *Potamocypris*. The palynomorph assemblage from both sections suggests the dominant role of wetland- and riparian-type vegetation. Conifer (*Pinus*) and riparian trees (*Carya*) pollen dominates in the lowest part of the section, together with subtropical and tropical fern spores (e.g. *Echinatisporis, Mecsekisporites, Bifacialisporites).* The *Mecsekisporites* and *Bifacialisporites* are Karpatian and Badenian marker fossils (Nagy 2005). Furthermore, the warm-temperate forest composed of *Ulmus, Carpinus,* and *Quercus* sets up. Numerous pollen grains of conifers most probably were transported from the mountainarea. All species of algae (*Botryococcus, Sigmopollis* and Zygnemataceae) generally live in freshwater environments (swamps, ponds, and lakes), though some of them tolerate changes insalinity. The abundance of subtropical ferns in the Poljanska section coincides with the MioceneClimate Optimum (17.0–14.7 Ma; Holbourn et al. 2014). Samples from the marl of the Lowersection comprise mostly crushed diatoms of cold water *Kurtkrammeria weilandii* with temperate *Encyonema minutum* and *Fragilaria capucina* forms (De Wolf 1982). They are associated with sponge and ascidian spicules and a small endemic nannolith species *Isolithus semenenko.* Such assemblage suggests deposition in a very unstable, small, shallow oligotrophic lake (pH ca. 7) with sporadic marine influxes and a temperate climate. In the lowerpart of the Main section *Rabdosphaera sicca* is recorded. It is calcareous nannofossil whose first appearance in the Paratethys is recorded in the NN4 zone (Galović & Young 2012). Its scattered occurrence together with ascidian spicules characterises a shallow, alkaline oligohaline (1.7-4.5%) environment (Bóna & Gál 1985) with sporadic marine influxes that caused eutrophication (Young & Bown 1991; Galović 2014). The monofloral assemblage withwarm water *Isolithus* spp. (*I. semenenko, I. pavelici*) from the same part of the section defines a fluctuating and endemic environment, while the domination of ascidian spicules in the top part of the section suggests brackish conditions (Łukowiak et al. 2016).

Interpretation

The rocks of the ”Poljanska unit“ exposed on Stop 4 Poljanska were deposited in shallow lacustrine environments which predate the Middle Miocene marine transgression of the Paratethys Sea. The lacustrine deposition most probably commences in the Early Miocene and continued during the middle Miocene. These geological periods are characterised by the alternation of warm and wet subtropical periods and periods of hot and arid climate, as well as with strong volcanic activity. During the humid climate in fresh- or brackish-water lacustrine environments, pelites and marls were deposited and the coasts of this lake were covered with

lush subtropical vegetation. In contrast, during arid climate periods dolomites and HCMC were deposited in a lake which had characteristics of an isolated salina-type lake. The presence of analcime is a result of high-water alkalinity in the salina. Tuff and tuffite layers indicate volcanic activity at the end of the early Miocene and the beginning of the middle Miocene in the area of the SW PBS. Such activity produced large quantities of pyroclastic material which altered into smectite during humid periods or into analcime during more arid periods. Sandstone beds from the upper part of the succession indicate that metamorphic and granitoid basement rocks of the PBS, forming the core of the nearby mountains Papuk and Krndija, were already exposed on the surface and derived clastic material. The increased supply of the sandy material, along with the deposition of marly sediments, indicates a gradual establishment of more humid conditions and the formation of a large open lake in the early Badenian ("Košćević unit"). Later on, during the Badenian, around 15 Ma ago (Ćorić et al. 2009), the open lake was replaced by marine settings.

6. nap (2021. augusztus 29.)

Botka Dániel, Eötvös Loránd Tudományegyetem, Laboratóriumok MOL Nyrt.; botkadani@gmail.com

1. megálló: Villány, Templomhegyi-kőfejtő (középső és felső triász, Templomhegyi Dolomit és Mészhegyi Formáció; alsó, középső és felső jura, Somssichhegyi, Villányi és Szársomlyói Mészkő Formáció; pleisztocén)

(Vörös & Kordos, 2007 alapján; kiegészítve)

A Villány belterületén, a vasútállomástól közvetlenül D-re fekvő, 163 m magasságú Templom-hegy testébe két nagyobb és két kisebb kőfejtő mélyül. Itt található hazánk egyik legjelentősebb jura szelvénye, egyben a kallóvi ammoniteszek (Till 1906, 1910-11; Lóczy 1915; Géczy 1982), és a pleisztocén gerincesek (Kormos 1917; Kretzoi 1956) világhírű lelőhelye. A Templom-hegy földtani és őslénytani érdekességeinek bemutatására a Duna-Dráva Nemzeti Park tanösvényt épített ki, melynek kezdőpontját és fontosabb látnivalóit információs táblák jelzik.

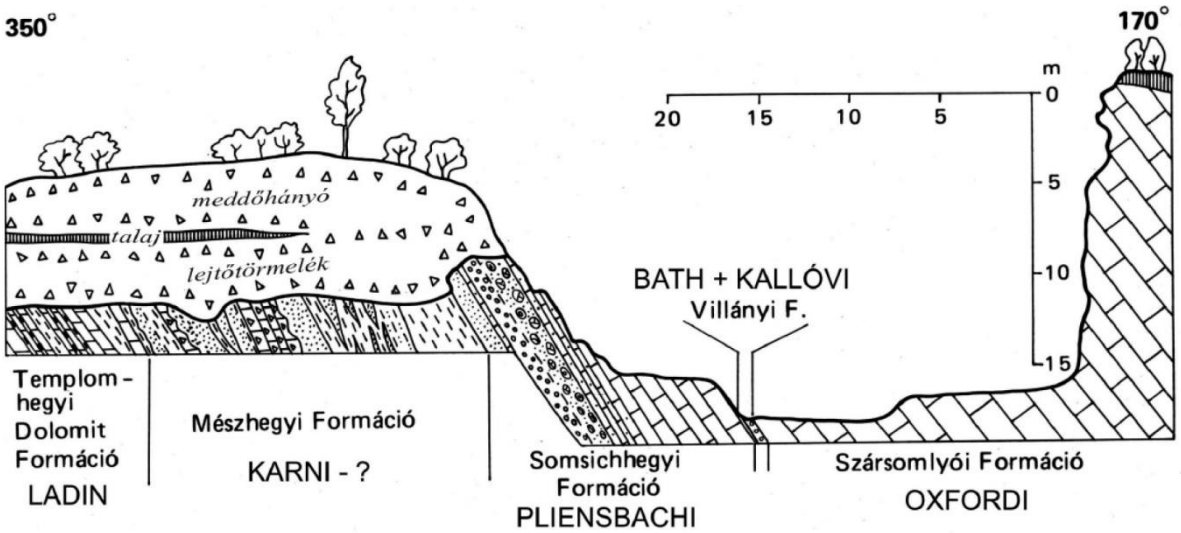
A villányi Templom-hegy mezozoikuma

A Templom-hegyi kőfejtőkben a meredeken (50-60°) D-re dőlő középső triász dolomit, illetve a felső jura mészkő kitermelése a XIX. és XX. század fordulójának évtizedeiben intenzíven folyt. 1943-ban a két nagy kőfejtőt egy dőlésirányú, felszínközeli – azóta beomlott – alagúttal (altáróval) kötötték össze (Lóczy 1945).

Az 1960-as évek végén a villányi borgazdaság az északi nagy kőfejtő talpszintjéről induló, nagyjából É-D-i irányú, közel 300 m hosszúságú, nagy átmérőjű alagutat létesített, mely a Templom-hegy teljes mezozoos rétegsorát feltárta. A kőfejtők művelését évtizedekkel ezelőtt abbahagyták: a tájsebek természetes gyógyulása során a klasszikus lelőhelyek csaknem tanulmányozhatatlanná váltak. A földtani érdekességek megőrzése és bemutatása céljából alakította ki a geológiai tanösvényt a Duna-Dráva Nemzeti Park a villányi Templom-hegyen. A villányi Templom-hegy mezozoos rétegsorának részletes vizsgálatával az utóbbi évtizedekben többek között Kaszap (1962), Radwanski & Szulczewski (1965, 1966), Ager & Callomon (1971), Vörös (1972, 1990), Rálischné Felgenhauer (1985, 1987), Géczy (1982), valamint Géczy & Galácz (1998) foglalkozott. Az alábbi ismertetés elsősorban a fenti munkákon alapul.

A rétegsor alsóbb részét képező ladin korú dolomit (a Csukmai Dolomit Formáció

Templomhegyi Dolomit Tagozata) a hegy északi részén, a vasútállomásra néző nagy kőfejtőben és ettől Ny-ra egy kisebb kőfejtőben van feltárva, mintegy 120 m vastagságban. Ez a sárgásszürke, szürkésbarna, erősen átkristályosodott, jól rétegzett dolomit sekélytengeri lagunáris képződménynek tekinthető. A múlt század elején (az aktív kőbányászat idejében) szerencsés gyűjtők *Lingula* példányok tömegét és hüllők csonttöredékeit észlelték a márgás réteglapokon (Lőrenthey 1907). A hegy tetején, a beomlott altáró („siklóbevágás") szelvényében egyre több agyagos betelepülés jelenik meg az egyre vékonyabb rétegződésű dolomitban, és fokozatosan egy Keuper-jellegű sorozat fejlődik ki (*41. ábra*).

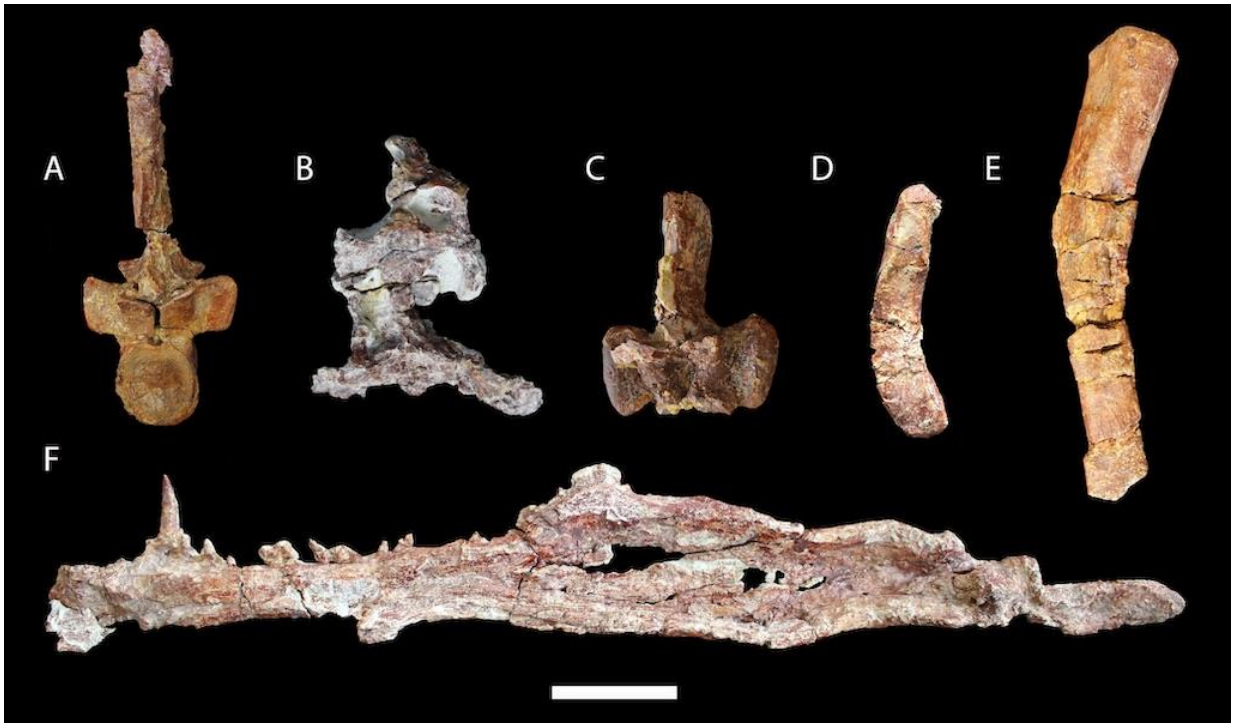


41. ábra: A villányi Templom-hegy felső részének földtani szelvénye az egykori altáró (siklóbevágás) nyomvonalában és a felső kőfejtőn keresztül (Vörös 1990)

Ez az igen változatos, kb. 16 m vastagságú Mészhegyi Formáció főként tarka agyag, laza homokkő és sejtes dolomit váltakozásából áll és sekélytengeri-szárazföldi lerakódásként értelmezhető. Az üledéktani jellegekből következtethetően gyors szedimentációt feltételezve, és az összlet eróziós felső határát figyelembe véve, valószínű, hogy ez a rétegsor a felső triásznak csak a legalsó részét képviseli, és a karni emeletbe sorolható.

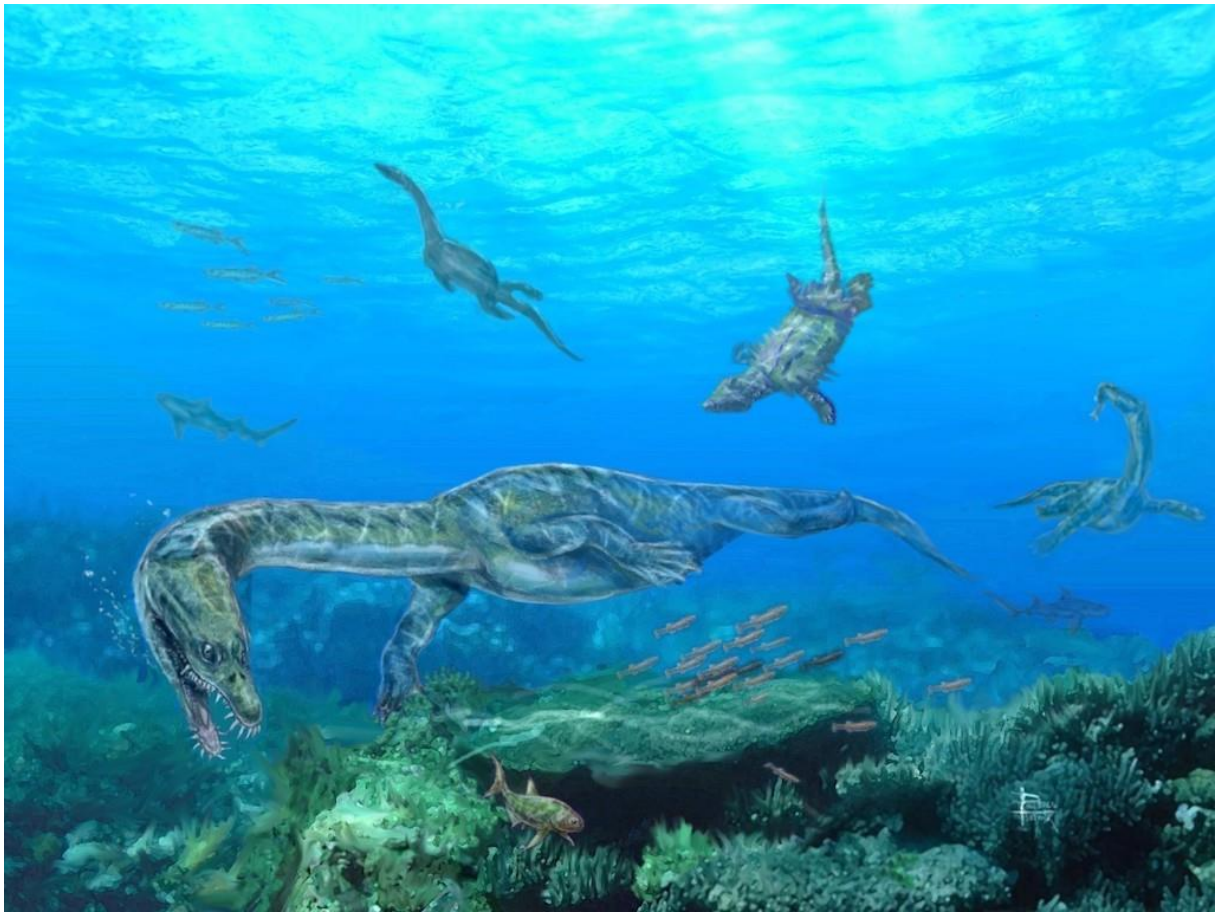
A Tiszai főegység Villány-Bihari egységén belül szerencsés módon nem csak Nagyvárad környékéről ismerünk triász időszaki őshüllő csontokat. Az 1980-as években a villányi siklóbevágás területén feltáruló ladin korú Templomhegyi Dolomit és karni korú Mészhegyi Formáció rétegeinek dokumentálása során Rálishné Felgenhauer Erzsébet néhány töredékes csontleletet talált (Rálish-Felgenhauer 1981). A felfedezés azonban nem az első területen: már Lőrenthey (1907) hallgatói terepgyakorlati gyűjtések után csontokat említ a villányi vasútállomással szemben található kőfejtő rétegeiből. A Villány triász időszaki rétegei tehát ott hordozták magukban a lehetőséget egy komolyabb leletanyag felfedezésére, ami végül 2012-ig váratott magára. A siklóbevágástól mintegy 300 m-re nyugatra a Somssichhegy lábánál egy

akkor éppen aktív építkezési területen apró, vöröses színű csontokat talált Pozsgai Emília, a Pécsi Tudományegyetem akkori doktorandusza. A felfedezést az ELTE Lendület Dinoszaurusz Kutatócsoport gyűjtései és évenkénti, többhetes ásatásai követték, melynek ered ményeként mára egy több ezer leletből álló, partközeli, sekélytengeri környezetben létezett diverz tengeri gerinces faunát ismertünk meg (pl. Botfalvai et al. 2019). A leletanyagot főként porcos és csontos halfogak és pikkelyek ezrei (Szabó et al. 2019), Placodontia (Gere et al. 2020) és Nothosauria (Segesdi & Ősi 2021) őshüllők koponyái, állkapcsai (*42. ábra*) és postcranialis csontelemei alkotják.



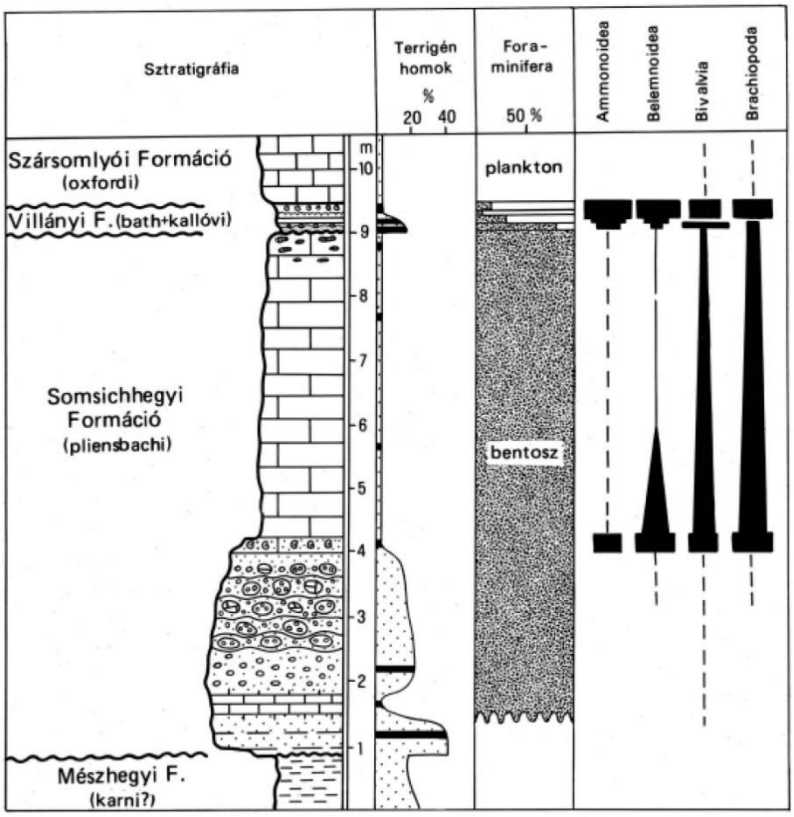
42. ábra: Középső triász gerinces ősmaradványok Villányból. A. *Nothosaurus* sp. háti csigolya, B. Nothosauridae töredékes csigolya felülnézetben, C. Simosauridae háti csigolya, D-E. Különböző Eosauropterygia felkarcsontok, F. Nagyméretű Eosauropterygia állkapocstöredék oldalnézetben (méretarány: 5 cm). Forrás: https://magyardinoszaurusz.hu/villanyi-eosauropterygia-hullok/

Ezek mellett a Biharból már említett, hosszú nyakú *Tanystropheus* 20 cm-t meghaladó nyaki csigolyái, továbbá más, részben szárazföldi Archosauromorpha őshüllők fogai gazdagítják a villányi triász gerinces leletanyagot (Ősi et al. 2020) (*43. ábra*). A villányi leletanyag jelentősége abban áll, hogy a Biharból származó leletekkel együtt a középső és felső triász Tethys-óceán északi partjának egy olyan vidékéről adnak információt a sekélytengeri-szárazföldi gerincesekre vonatkozóan, amelynek faunájáról korábban jószerivel sem mit sem tudtunk.



43. ábra: Középső triász villányi életkép, sekélytengeri vízi hüllőkkel, Nothosauruszokkal, Placodontiákkal (Pecsics Tibor illusztrációja), forrás: https://magyardinoszaurusz.hu/villanyi-eosauropterygia-hullok/

A jura rétegsor a Templom-hegy tetejébe mélyülő, nagy, csapásirányban elnyúló felhagyott kőfejtőben tanulmányozható (*44. ábra*). A pliensbachi emelet alsó részét képviselő Somsichhegyi Formáció transzgressziós, sekélytengeri üledék. Legalsó tagozata sárgásszürke, meszes kötőanyagú, középszemű kvarchomokkő, mely a Mészhegyi Formációhoz tartozó zöldesszürke agyagra enyhe szögdiszkordanciával települ.



44. ábra: A villányi Templom-hegy alsó és középső jura képződményeinek, valamint a közvetlen fekvő és fedő képződmények rétegoszlopa néhány fontosabb kőzettani és őslénytani jelleg változásainak feltüntetésével (Vörös 1990)

Egy méteren belül a homokkő csaknem tiszta, tömött krinoideás mészkőbe megy át, majd 10–15 cm után a mészkő alapanyagban egyre több, 0,5–2 cm átmérőjű kvarcit és dolomit kavics jelentkezik és 80 cm vastagságú konglomerátum fejlődik ki. A következő tagozat sárgásszürke agyagos, homokos, kavicsos mészkő alapanyagba ágyazott konglomerátum-kavicsokból és görgetegekből áll, ugyanebben az alapanyagban nagy mészkőkavicsok is előfordulnak. Ez a kb. 1 m vastagságú görgeteg-réteg a közvetlen fekvőben lévő konglomerátum és mészkő rétegek szomszédos területről történt átülepítésével képződhetett. A terrigén törmelékanyag mennyiségének és szemcseméretének hirtelen csökkenésével 20–30 cm vastagságú sárgásszürke bitumenes, belemniteszes, ammoniteszes, brachiopodás mészkő következik. Ezek a rétegek, a mélyebb tagozathoz hasonlóan, sok kövült uszadékfa darabot tartalmaznak. A gazdag ammonoidea fauna a legalsó pliensbachi Jamesoni Zónára utal. A mintegy 6 m vastagságú mészkő összlet magasabb része kékesszürkévé és tömegessé válik. Az ammoniteszek kimaradnak, de a belemniteszek, brachiopodák és kagylók gyakoriak. A pliensbachi biodetritális mészkő legfelső szintjeiben sötétszürke, fehéren málló tűzkőgumók jelentkeznek. Éles határral és nagy üledékhézaggal egy 8-10 cm vastagságú, sárgás színű, késő bath korú homokos mészkő réteg következik, melynek mikrofáciesében a tömeges apró kvarcszemcse és a dolomit törmelék uralkodik, a biogén elegyrészek (mollusca, echinodermata)

átkristályosodottak. Ez a rétegecske egy önálló sekélytengeri üledékképződési epizód terméke; a litosztratigráfiai beosztásban a Villányi Formáció alsó részeként az Altárói Tagozat nevet kapta. Az egykori altáró („siklóbevágás”) közelében lokális lencsét képez; más feltárásokban csupán a fekvő liász mészkő felületi egyenetlenségeiben, vagy limonitkérges gumók formájában őrződött meg.

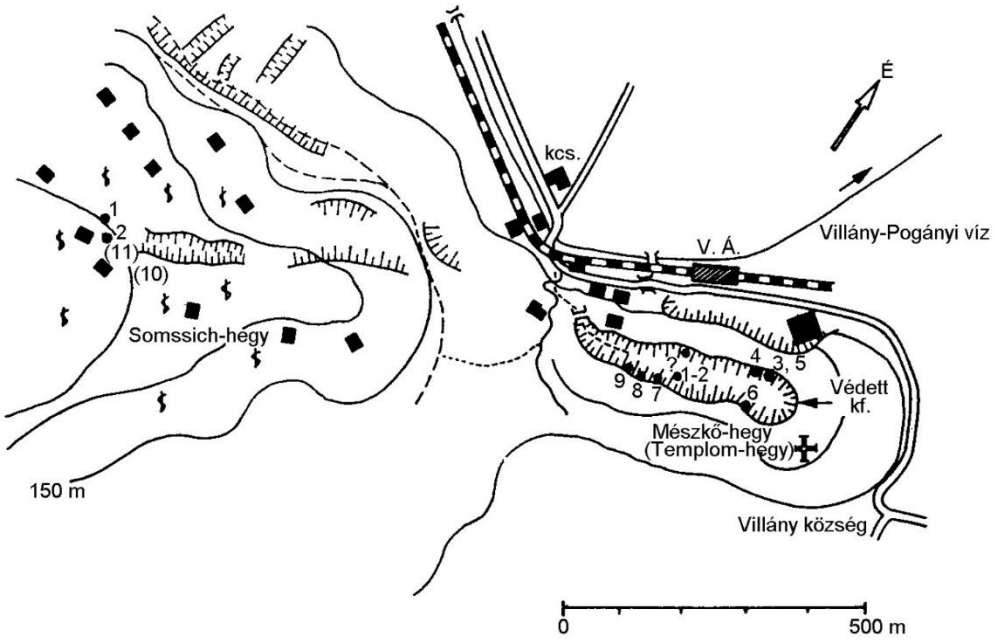
Kisebb üledékhézag után következik az általános elterjedésű, fél méternél sehol sem nagyobb vastagságú kallóvi ammoniteszes pad (Villányi Formáció). Alsó szintje 8-10 cm vastagságú vas-ooidos mészkő. A kőzetalkotó mennyiségű limonitooidok magjában kvarc vagy dolomit szemcsék találhatók, gyakoriak a nagy (2-5 cm átmérőjű) bath homokos mészkő kavicsok is, melyeket vastag limonitos kéreg burkol. Az alapanyag pelágikus, bositrás mészkő. Ammonoidea faunája alapján ez a réteg az alsó-kallóvi Macrocephalus Zónába tartozik (Géczy 1982).

Felette éles határral, a vastartalom hirtelen csökkenésével jelentkezik a nevezetes ammoniteszes pad. Ez az állandó vastagságú (30-40 cm) képződmény jellegzetesen háromosztatú: az alsó és felső szint bositrás mészkőbe ágyazott nagy (5-10 cm) sztromatolitos onkoidokat tartalmaz, melyeknek magjában többnyire ammonitesz héjak, vagy belemnitesz rostrumok ülnek, a középső szint pedig kb. 5 cm vastagságú, LLH szerkezetű sztromatolit szőnyeg, melynek felszíne jellegzetesen poligonális. A sztromatolitokat Radwanski & Szulczewski (1965, 1966) ismerte fel és adott róluk részletes, gazdagon illusztrált leírást. A bositrás-mikrites alapanyag, a nektonikus ősmaradványok (ammonoidea, belemnoidea) dominanciája, valamint a kagyló és brachiopoda fauna paleoökológiai értékelése alapján a sztromatolitos réteget mélyebbvízi, nyílttengeri képződménynek tekintjük. A kallóvi padból gyűjtött rendkívül gazdag, mintegy 180 fajból álló ammonoidea fauna túlnyomó része középső kallóvinak tekinthető, de késő kallóvi fajok is előfordulnak és csak a legfelső ammonoidea szubzóna nincs képviselve a faunában. Az eddigi értékelések alapján tehát a Villányi Formáció képződése a kallóvi korszak jelentős részét felölelte. A hosszú idő alatt képződött vékony réteg „heterogén kondenzáció” eredménye.

Újabb, rövid üledékhézag után ismét éles fáciesváltozással következik az oxfordi korú Szársomlyói Mészkő Formáció. Ez a fehér, vagy világosszürke, vastagpados, egyveretű mészkő látható a kőfejtő déli falában, több mint 25 m vastagságban, és ez zárja a villányi Templom-hegy jura rétegsorát. Mikrofaunája főként *Protoglobigerina*kból áll. A rétegsor magasabb részén mikroonkoidok jutnak uralomra („pelágikus oolit”).

Alsó és középső pleisztocén ősgerinces lelőhelyek

A Templom-hegy (mely Mészhegy vagy Kalkberg néven is ismert) kőfejtője (korábbi nevein Frigyes főhercegi kőfejtő vagy Gerinckőfejtő) ősgerinces lelőhelyei a XX. század eleje óta ismertek és azóta méltán világhírűvé váltak (*44. ábra*). A vörösagyaggal kitöltött különböző irányú és jellegű egykori barlangok és hasadékok rendkívül gazdag, s emiatt nemzetközi referenciának is tekintett kora és középső pleisztocén ősgerinces csontlelőhelyeket tartalmaznak.



45. ábra: A Templom-hegy és a Somssich-hegy gerinces lelőhelyeinek elhelyezkedése

Ifj. Lóczy Lajos (1912) a Villányi-hegység földtani viszonyainak leírása érdekében 1911-ben járt először a Mészhegy kőbányarendszerében, s megállapította, hogy a mészkő hasadékait és üregeit csontbreccsa tölti ki. Ugyanebben a tanulmányában említette, hogy a villányi vasútállomással szembeni kőfejtőben, a kallovi rétegek alatti dolomit felső, vékonyan rétegzett, kékes, néhol rózsaszínű dolomitmárgája „szaurus fogakat és csontokat tartalmaz”. A templomhegyi „preglaciális” csontlelőhelyek első feltárása Kormos Tivadar nevéhez fűződik. Ő először 1910 telén járt Villányban, majd ezt követően a háború miatt csak 1916-ban tudott gyűjtéseket végezni. Ekkor megállapította (Kormos 1917), hogy a villányi vasútállomással szembeni nagy mészkőbánya repedéseit kitöltő terra rossában csontok nem találhatók. Ugyanakkor a felette lévő Templom-hegy északi oldalán a kallovi, s ezzel szemben a nyugati oldalon, az oxfordi mészkő üregeiben kevés terra rossa fordul elő, amelyből néhány csontot (*Beremendia fissidens*, kígyócsigolyák) gyűjtött. A bánya keleti sarkában (az északi oldalon) hatalmas oszlopban fennmaradt hasadékkitöltést talált, amelyben nagyobb csontok is

mutatkoztak. Kormos az ezt követő nyolc évben tízszer járt Villányban, miközben ásatásokat végzett. Tudományos eredményeiről több tanulmányban számolt be (Kormos 1932a, b, 1934a, b, 1937). Utolsó gyűjtését 1939-ben végezte. Kormos „Villány-Kalkberg, Nord, roter Mandl" néven írt a Kretzoi (1956a) után Villány 3 néven ismert lelőhelyről, megkülönböztetve a „Villány-Kalkberg, Südseites"-től (=Villány 6 lelőhely). Kretzoi vezetésével 1953 és 1955 között rendszeres gyűjtések történtek az 5-ös, 6-os, 7-es, 8-as és 9-es lelőhelyeken (Kretzoi, 1956 a,b). Ezeken az ásatásakon jelen volt Jánossy és Topál is, akik az 1970-es évek elején többször kisebb mintákat vettek az akkor még hozzáférhető lelőhelyekről. Az 1972. évi villányi terepbejárása alkalmával Kretzoi útmutatása alapján Kordos azonosította a még létező 3-as, 5-ös és 8-as lelőhelyeket, míg a 4-es, 6-os, 7-es, 9-es és 10-es lelőhelyeknek csak az egykori helyét lehetett behatárolni (Kordos, 1991c).

Villány 3-as lelőhely: Kormos „Villány-Kalkberg, Nord" vagy „roter Mandl" néven említi. A Kormos (1917) jelentésében szereplő harmadik lelőhely a kőfejtő K-i végén, az É-i falnál emelkedő nagy terra rossa oszlop, ami eredetileg 12 m magas lehetett. Az egykori barlang kb. 1 m széles hasadékának kitöltése korrodált felületű oxfordi mészkőbe települt. Eredeti teljes rétegzettsége már nem állapítható meg, mert Kormos a felső részét lerobbanttatta. Máig is fennmaradt alsó, néhány méter hosszúságú kitöltése cseppkőkérgekkel tagolt, erősen átkristályosodott, de csontmaradványokban továbbra is gazdag. Jánossy szórványos gyűjtései során alsó és felső szinteket különített el. A Villány 3-as lelőhely az alsó pleisztocén villányi emeletének (Villanyian) sztratotípusa (Kretzoi 1941).

Villány 5-ös lelőhely: Kretzoi (1956a) szerint a nagy kőfejtő keleti végében, közvetlenül a 3. lelethely felett mélyed be a karros felszínbe egy 10-20 cm széles, korrodált felszínű hasadék, melyet 1,5-2 m mélységben elnyír egy vízszintes elvonszolódás. Faunáját alapvetően Kretzoi (1956a), Jánossy (1979) és Hír (1997) tanulmányozta.

Villány 8-as lelőhely: Kretzoi (1956a) szerint a villányi Mészhegy nagy kőfejtőjének közepén a déli falat É-D irányban átszelő függőleges hasadék, ami a meredek dőlésű vastagpados oxfordi mészkőben függőleges, 1-1,5 m átmérőjű kürtőszerű barlanggá tágul. Az üreget a fejtés talpától számított 6-8 m közt, kb. 6 m-re a barlang felső bejárata alatt robbantással oldalról megnyitották. A barlangot az üledék teljesen kitöltötte. Legfelül mészbetelepüléses vályogos löszképződmények, laza mészlerakódások és törmelék, ez alatt 130 cm vöröses agyag következik. A barlangkitöltés alsó szintjét átkristályosodott kalcit alkotja. Kretzoi 1953-ban és 1955-ben gyűjtött a lelőhelyen. Faunáját Kretzoi (1956a) és van den Meulen (1973) dolgozta fel.

A Templom-hegy ősgerinces lelőhelyei rétegtani szempontból rendkívül jelentősek. A Villány környéki ősgerinces lelőhelyeket a konzervatívan gondolkodó Kormos, monoglacialista felfogásához híven, preglaciális korúnak tartotta. E szemléletmód szerint a pleisztocén során egyetlen eljegesedés (glaciális) volt, amit megelőzött egy meleg preglaciális időszak, majd a jelenkorhoz vezető posztglaciális zárt be. Ugyanakkor már a XX. század elejétől egyre nyilvánvalóbbá vált a poliglacialista irányzat, miszerint több glaciális és interglaciális követte egymást. Kormost követően a villányi faunákat Kretzoi tanulmányozta, aki nem csak poliglacialista alapokon állt, hanem felismerte a környezeti változásokat követő nagyarányú faunaváltozásokat, az ún. faunahullámokat is. Előbb felállította a Villányi és a Bihari faunaszakaszokat (Kretzoi 1941), majd később létrehozta a pliocén-pleisztocén biokronológiai rendszerét (Kretzoi 1969). A Villányium biosztratotípusa a Villány 3-as lelőhely. Típusfaunája a csarnótai meleg-nedves erdei, dél- és délkelet-ázsiai elemekkel tarkított faunával éles ellentétben álló füvespusztai fauna, észak-amerikai új elemek beáramlásával (*Equus* (lovak) és *Canis* (farkasok)), a Murida-Glirida-Petauristida-dominanciájú (egér-pele-repülőmókus) kisemlős faunát ugrásszerűen felváltó Arvicolida (pocok) dominanciájú kisemlős-faunával. A Villányiumot két további szakaszra osztotta Kretzoi (1969), az idősebb Beremendiumra és a fiatalabb Kislángiumra. Kretzoi második pleisztocén faunakomplexuma a Biharium (Kretzoi, 1941, 1969). A Biharium biosztratotípusául a Betfia-2 lelőhely faunáját jelölte ki, s déli karsztfácieseként a Villány 6-os és 8-as lelőhelyeket nevezte meg. Az alsó-bihari alemeletet Kretzoi (1969) három faunaszintre tagolta, a betfiaira, a nagyharsányira és a templomhegyire. Utóbbira, a templomhegyi szintre (sztratotípusa a Villány 8-as lelőhely) a *Prolagurus-Pitymys-Microtus-Arvicola* (nyúl- és pocokfélék) dominanciaváltás folyamata jellemző.

1. megálló: Nagyharsányi-szoborpark (Szársomlyó)

Forrás: http://akovekmeselnek.hu/

A Dél-Dunántúlon emelkedő, kiváló borairól nevezetes Villányi-hegység keleti végén áll őrt a terület legmagasabb pontja, a 442 m magas Szársomlyó (Harsányi- vagy Nagyharsányi-hegy), amely egyben hazánk legdélebbi hegycsúcsa is (*46. ábra*). A mezozoos karbonátos kőzetekből álló, bányászat által megcsonkított hegy számtalan földtudományi, tájképi és kultúrtörténeti értéket rejt (pl. Nagyharsányi-kristálybarlang, szoborpark, középkori vár maradványai, magyar kikerics), amelyek a Duna-Dráva Nemzeti Park Igazgatóság féltve őrzött gyöngyszemei.

A Villányi-hegység fő tömegét a mezozoikumban képződött karbonátos üledékes kőzetek alkotják. A Szársomlyót késő jura és kora kréta mészkőrétegek építik fel, amelyek meredeken dőlő, észak-északnyugat felé egymásra torlódott pikkelyek (Harsányhegyi-pikkely) formájában fekszenek egymáson. A sekélytengeri környezetben képződött, ősmaradványokban (pl. korallok, kagylók) gazdag, kora kréta Nagyharsányi Mészkő Formáció nagy tisztaságú karbonátos kőzeteit a hegy nyugati végén lévő hatalmas bányában fejtik (cementipari nyersanyag), amely csak engedéllyel látogatható. A Szársomlyó keleti, Villányhoz közelebbi részén viszont egy szobrokkal díszített felhagyott kőfejtő szabadon is felkereshető, ahol a rétegsor idősebb (késő jura) képződményeit tanulmányozhatjuk. Itt jegyeznénk meg, hogy a Szársomlyón a két világháború között bauxitot is fejtettek (Harsányhegyi Bauxit Formáció), amely a késő jura mészkő kréta időszak elején karsztosodott töbreibe hordódott bele és temetődött be. Ez volt hazánk legrégebbi és legjobb minőségű bauxit előfordulása.

46. ábra: A Nagyharsányi-szoborpark a felhagyott kőfejtőben

Az egykori bauxittárókat is rejtő déli hegyoldalon az erózió „lepucolta" a löszös, talajosodott képződményeket, amely alól a kréta időszaki, korábban a talajtakaró alatt karsztosodott karbonátos kőzetek exhumálódtak. Az oldódásos folyamatok a fentebb már említett Nagyharsányi Mészkő Formáció kb. 100 millió éves kőzeteiben zajlottak, amely alapvetően egy világosszürke, szürkésfehér színű, vastagpados mészkő. A kora kréta karbonátplatformon képződött kőzet nagy tisztaságú, szinte csak kalcium-karbonátból áll (kb. 96-98%), ezért a talajon átszivárgó, majd szénsavassá váló csapadékvizek jelentős karsztosodási folyamatokat tudtak elindítani a mészkő rétegfejein, a meredek déli hegyoldalon. A kréta mészköveket fedő fiatal üledékes takaró lepusztulását természetes (a terület viszonylag gyors pleisztocén kiemelkedése) és későbbi mesterséges hatások (pl. erdőirtások) is segítették. Jelenleg a nyílt karsztfelszínen sporadikus, azaz foltokban jelentkező talajborítás jellemző, döntően lágyszárú növényzettel és karsztbokorerdőkkel.

A talajtakaró alatt oldódó kréta mészkövek a szénsavas víz hatására lekerekítődtek, gömbölydeddé váltak. A Szársomlyó oldalában települő növények gyökerei a mészkőbe hatolva gyökérsavaikkal oldogatták a kőzetet, mély és kerekded gyökérkarrokat oldva ki a karbonátos kőzetben. Ezeket az erózió szintén feltárta a hegy déli, „ördögszántotta" oldalában. A mészkő rétegfejek exhumálódása után a talaj alatti intenzív mállás folyamata alábbhagyott és inkább a lefolyó vizek eróziós, koptató hatása vált a jellemzővé. A meredek kőzetfelületeken a lefolyó csapadékvíz oldó hatására gravitációs karrok keletkeztek, amely kis csatornácskák a sziklák alsó részeinek irányába általában ellaposodnak. Ez azért lehetséges, mert a lefolyó víz a lejtő irányába haladva egyre jobban telítődik karbonáttal, ezért oldóképessége egyre kisebb lesz, a formák fokozatosan elhalnak. A karros mikroformák tárházát felvonultató Szársomlyó mészköveinek felszínén olyan változatos alakú és méretű formák is előfordulnak, amelyek annak idején megmozgatták a környék népének fantáziáját is. Erre jó példa a következő nagyharsányi mese is!

„Egyszer volt, hol nem volt élt valamikor egy vén boszorkány Nagyharsány falujában, a hegy tövében, akinek volt egy gyönyörűséges leánya, Harka. Szeme csillogott, mint a gyémánt, aláomló dús haja olyan tüneményesen selymes volt, mint az esthajnali pára, szép ívű, piros száját pedig csak a hajnalban nyíló rózsabimbóhoz lehetett hasonlítani. Az ördög mindenáron szerette volna megkaparintani az ártatlan szépséget. Ígért az anyókának fűt–fát, s mikor ez sem használt, átokkal fenyegette. Az anyóka alkut ajánlott: ha az ördög estétől hajnalig, a kakaskukorékolásig felszántja a Harsányi-hegy szikláit, akkor övé a lány, de ha csak egy ásónyommal is elmarad, ne számítson a kezére. Az ördög megörült az ajánlatnak, előhozta a pokolból hatalmas vaseké jét, egy macskát és egy kecskét fogott be eléjük. Jókedvűen kezdett

hozzá a szántásnak, s még éjfélt sem ütött az óra, máris fel volt szántva a hegy fele. Nosza, megijedt erre az öregasszony, de végső elkeseredésében pompás mentőötlete támadt. Éjfél után odament a tyúkólhoz, s elkezdett kukorékolni. A kakasok visszafeleltek neki, s csakhamar az egész falu hangos lett a kakasszótól. Az ördög nem vette észre a cselt, bukása feletti dühében elhajította az ekéjét egészen Beremendig (az ekéről lepottyant sárból lett a siklósi hegy), ő maga pedig Harkány falunál (amely a szép Harkáról kapta nevét) nyomtalanul eltűnt a föld gyomrában. Ahol lement a pokolba, a repedésen víz tört fel a felszínre, mely azóta is buzog."

Irodalomjegyzék/References

Legfontosabb szakirodalmak/*Key references*

Barudžija U, Bočić N, Macek K, Repinc I, Smirčić, D (2015) Triassic sedimentary carbonate complex in the central part of Papuk Mt. (Velika–Slatinski Drenovac road). In: Horvat M, Galović L (eds): 5th Croatian Geological Congress Excursion Guide-book, Excursion A1 – Geology of Mt. Papuk, Stop 9. Zagreb, Croatian Geological Survey, 55–64 (in Croatian)

Kocsis K (ed) (2006) Energiahordozók nyomában Pannon tájakon, *HUNGEO 2006* conference, Excursion Guide-book

Kovačić M, Pavelić D (2017) Neogene stratigraphy of the Slavonian mountains. – 7th International Workshop Neogene of Central and South-eastern Europe, 28.-31. May, Velika, Croatia, Field Trip Guidebook, 5–9.

Kovačić M, Vrsaljko D, Pezelj Đ, Premec Fućek V, Hernitz-Kučenjak M, Galović I, Ćorić S, Zalović M, Marković F (2017a) A Middle Miocene marine deposition with pyroclastics. – 7th International Workshop Neogene of Central and South-eastern Europe, 28–31. May, Velika, Croatia, Field Trip Guidebook, 19–21.

Kovačić M, Marković F, Ćorić, Pezelj Đ, Vrsaljko D, Bakrač K, Hajek-Tadesse V, Ritossa A, Tarnaj I (2017b) Disintegration of the Central Paratethys and origin of the Lake Pannon. – 7th International Workshop Neogene of Central and South-eastern Europe, 28–31. May, Velika, Croatia, Field Trip Guidebook, 22–25.

Kovačić M, Tibljaš D, Pavelić D, Hajek-Tadesse V, Bakrač K, Mandic O, Galović I, Wacha L, Filjak R, Marković F (2017c) Early-Middle Miocene salina-type and open lake deposits. – 7th International Workshop Neogene of Central and South-Eastern Europe, 28–31. May, Velika, Croatia, Field Trip Guidebook, 11–15.

Vörös A, Kordos L (2007) Villány, Templom-hegy. – In: Pálfy J, Pazonyi P (eds): Őslénytani kirándulások Magyarországon és Erdélyben [Palaeontological excursions in Hungary and Transylvania]. – Hantken Kiadó, Budapest, 162–171.

További hivatkozott szakirodalmak/*Additional references in the text*

Balen D, Petrinec Z (2014) Development of columnar jointing in albite rhyolite in a rapidly cooling volcanic environment (Rupnica, Papuk Geopark, Croatia). *Terra Nova* 26, 102–110.

Balen D, Horváth P, Tomljenović B, Finger F, Humer B, Pamić J, Árkai P (2006) A record of pre-Variscan Barrovian regional metamorphism in the eastern part of the Slavonian Mountains (NE Croatia). *Mineralogy and Petrology* 87, 143–162.

Balen D, Horvath P, Finger F, Starijaš B (2013) Phase equilibrium, geothermobarometric and xenotime age dating constraints on the Alpine metamorphism recorded in chloritoid schists from the southern part of the Tisia Mega-Unit (Slavonian Mts., NE Croatia). *International Journal of Earth Sciences* 102(4), 1091-1109.

Bleahu M, Haas J, Kovacs S, Péró C, Mantea G, Bordea S, Berczi-Makk A, Stefanescu M, Šikič K, Konrád G, Nagy E, Ralisch-Felgenhauer E, Török A (1994) Triassic facies types, evolution and paleogeographic relations of the Tisza Megaunit. *Acta Geologica Hungarica* 37/3–4, 187–234.

Botfalvai G, Győri O, Pozsgai E, Farkas I M, Sági T, Szabó M. & Ősi A. (2019) Sedimentological characteristics and paleoenvironmental implication of Triassic vertebrate localities in Villány (Villány Hills, Southern Hungary). Geologica Carpathica, 70(2), 135-152.

Brkić M (1986) Termalno vrelo Velika. Institut za geološka istraživanja, Zagreb

Brkić M, Jamičić D (1976) Izvještaj o geološkom kartiranju za Osnovnu geološku kartu SFRJ na listu Orahovica – 106 od 1971. – 1975. god. *Geološki vjesnik* 29, 417–427

Brkić Ž & Mraz V (1996) Prethodna hidrogeološka studija vodoopskrbnog sustava Požege. Institut za geološka istraživanja, Zagreb

Brlek M, Kutterolf S, Gaynor S, Kuiper K, Belak M, Brčić V, Holcova K, Wang K-L, Bakrač K, Hajek-Tadesse V, Mišur I, Horvat M, Šuica S, Schaltegger U. (2020) Miocene syn-rift evolution of the North Croatian Basin (Carpathian–Pannonian Region): new constraints from Mts. Kalnik and Požeška gora volcaniclastic record with regional implications. *International Journal of Earth Sciences* 109, 2775–2800.

Debebe A, Razbušek A, Mikolić Z (2013) Elaborat o rezervama tehničko-građevnog kamena na eksploatacijskom polju "Pliš-Mališćak" –ležište „Veličanka II" – peta obnova, Fond dokum. "Velički kamen" d.o.o. Velika

Gere K, Scheyer T M, Makádi L, & Ősi A (2020) Placodont remains (Sauropsida, Sauropterygia) from the Triassic of Hungary (Transdanubian Range and Villány Mountains). Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments, 100(4), 1047-1063.

Horvat M (2004) Geochemistry and Petrology of Granitoids of Papuk and Psunj Mts. Unpubl. Phd Thesis. Eötvös Loránd University, Budapest, 133+108.

Jamičić D (1976) Structural fabric of the metamorphosed rocks of Mt. Krndija and the eastern part of Mt. Papuk. Bull, Sci. Cons. Acad. RSF. Jugoslav., 21, 2–3, Zagreb

Jamičić D (1979) Prilog poznavanju tektonskih odnosa Papuka i Krndije. Znan. savjet za naftu JAZU. Zbornik radova, A, 7, 199–206, Stubičke Toplice

Jamičić D (1980) Dvostruko boranje u jednom dijelu metamorfnih stijena Papuka i Krndije. *Geološki vjesnik* 31, 355–358, Zagreb

Jamičić D (1983) Structural pattern of the metamorphosed rocks of Mt. Krndija and the southern part of Mt. Papuk. *Geološki vjesnik* 36, 51–72.

Jamičić D, Brkić M (1987) Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000, list Orahovica, L33-96 (Basic Geological Map of SFRY 1:100.000, Orahovica sheet). Geološki zavod Zagreb, Savezni geološki zavod Beograd (in Croatian)

Jamičić D, Brkić M, Crnko J, Vragović M (1987) Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000. Tumač za list Orahovica, L33-96 (Explanatory notes for the Basic Geological Map of SFRY 1:100.000, Geology of Orahovica sheet). Geološki zavod Zagreb, Savezni geološki zavod Beograd (in Croatian)

Jamičić D (1988) Structural pattern of the Slavonian Mountains (Northern Psunj, Papuk, Krndija). Unpublished PhD Thesis, University of Zagreb, 152 p.

Jamičić D (1989) Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000, list Daruvar, L33-95. (Basic Geological Map of SFRY, 1:100.000, Daruvar sheet). Geološki zavod Zagreb, Savezni geološki zavod Beograd (in Croatian)

Jamičić D, Vragović M, Matičec D (1989) Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000. Tumač za list Daruvar, L33-95. (Explanatory notes for the Basic Geological Map of SFRY, 1:100.000. Geology of Daruvar sheet). Geološki zavod Zagreb, Savezni geološki zavod Beograd (in Croatian)

Jamičić D (1995) Tectonic events in the south part of Pannonian area (north Croatia): review and interpretation. 1st Croatian Geological Congress, Opatija, 18–21 October 1995, Proceedings 1, 215–218.

Jamičić D (2001) Osnovne geološke značajke Slavonskih planina s osvrtom na Našičko područje. (Main geological features of the Slavonian Mts. focused to the Našice area. Matica Hrvatska, Našički zbornik, 6, 29–36. (in Croatian)

Kuhta M, Brkić Ž (2003) Hidrogeološka i hidrološka istraživanja na području Park šume Jankovac u Parku prirode Papuk. Park prirode Papuk, Velika

Kuhta M, Marković T, Larva O, Stroj A (2004) Istraživanja karbonatnih vodonosnika Papuka na širem prostoru izvorišta Veličanka radi zahvaćanja pitke vode za javnu vodoopskrbu – hidrogeološka istraživanja. Izvj. I. faze istr. HGI, br 80/04, Zagreb

Kuhta M, Stroj A, Frangen T, Kolarić J, Marković T (2006) Izvješće o vodoistražnim radovima na Papuku u 2006. godini, HGI, br 123/06, Zagreb

Macek K (2012) Litofacijesi srednjega trijasa Ivačke glave na Papuku i njihov utjecaj na vodonosnik. Diplomski rad. Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko – geološko – naftni fakultet, Zagreb, 69 p.

Majer V, Lugović B, Vragović M (1992/93) Kloritoidni škriljci Dinarida i susjednih oblasti. Rad HAZU, Prirodne znanosti, knjiga 26, 159-193, Zagreb

Manjarić M (2011) Litostratigrafski odnosi u izvorišnom dijelu rijeke Toplice na zapadnom Papuku. Diplomski rad. Sveučilište u Zagrebu, Prirodoslovno – matematički fakultet, Geološki odsjek, Zagreb

Marković F, Kuiper K, Ćorić S, Hajek-Tadesse V, Hernitz-Kučenjak M, Bakrač K, Pezelj Đ, Kovačić M (2021) Middle Miocene marine flooding: new $^{40}Ar/^{39}Ar$ age constraints with integrated biostratigraphy on tuffs from the North Croatian Basin. *Geologia Croatica* (in press)

Marković F (2017) Miocene tuffs of the North Croatian Basin. – *Unpubl. PhD Thesis*, Faculty of Science. University of Zagreb, Zagreb, pp. 170.

Mikolić Z (1999) Geološka građa južnog dijela Papuka sjeverno od Velike. Diplomski rad. Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko – geološko – naftni fakultet, Zagreb

Ősi A, Szabó M, & Botfalvai G (2020) *Tanystropheus* and other archosauromorph reptile remains from the Middle and Late Triassic of Villány (Villány Hills, Hungary). Geologica Carpathica.

Pamić J (1991) Upper Cretaceous basaltoid and Pyroclastic Rocks from the Voćin Volcanic Mass on the Papuk Mt. (Slavonija, Northern Croatia). *Geološki vjesnik* 44, 161–172.

Pamić J, Lanphere M (1991) Hercynian Granites and Metamorphic Rocks from the Mts. Papuk, Psunj, Krndija and the Surrounding Basement of the Pannonian Basin in Slavonija (Northern Croatia, Yugoslavia). Geologija, 34, 81–253.

Pamić J, Belak M (2000) Geochemistry and geodynamics of a Late Cretaceous bimodal volcanic association from the southern part of the Pannonian Basin in Slavonija (Northern Croatia). *Mineralogy and Petrology* 8, 271–296.

Pavelić D, Kovačić M (2018) Sedimentology and stratigraphy of the Neogene rift-type North Croatian Basin (Pannonian Basin System, Croatia): A review. *Marine and Petroleum Geology* 91, 455–469.

Pavlić B (2009) Hidrogeološke značajke donjeg toka Dubočanke. Završni rad. Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko – geološko – naftni fakultet, Zagreb, 41 p.

Poljak J (1912) Prethodni izvještaj o geologijskom snimanju u opsegu listova Orahovica-Beničanci i Našice-Kutjevo topografijske karte 1:75.000. Vijesti geol. povj., 3-4, 11-16, Zagreb (In Croatian)

Repinc I (2011) Petrološke osobitosti krinoidnih vapnenaca Papuka. Završni rad. Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko – geološko – naftni fakultet, Zagreb, 30 p.

Schneider P, Balen D, Opitz J, Massonne H-J (2019) Cretaceous alkali magmatism within Slavonian Mts. (Mts. Požeška Gora and Papuk). In: Horvat, Matoš, Wacha (eds): 6th Croatian geological Congress, Zagreb 09-12.10.2019. Abstracts Book, 171–172.

Sebe K, Kovačić M, Magyar I, Krizmanić K, Špelić M, Bigunac D, Sütő-Szentai M, Kovács Á, Szuromi-Korecz A, Bakrač K, Hajek-Tadesse V, Troskot-Čorbić T, Sztanó O (2020) Correlation of upper Miocene-Pliocene Lake Pannon deposits across the Drava Basin, Croatia and Hungary. Geologia Croatica 73, 177–195.

Segesdi M, & Ősi A (2021) Sauropterygian remains from the Middle Triassic of Villány, Hungary—new information on the aquatic reptile fauna of Tisza Megaunit (Triassic southern Eurasian shelf region). Palaeobiodiversity and Palaeoenvironments, 1-27.

Slovenec D (1986) Nalazi pirofilita, paragonita, margarita i glaukonita u stijenama slavonskih planina. *Geol. vjesnik* Zagreb, 39, 61–74.

Stroj A, Kuhta M (2007) Hydrogeological explorations of Mt. Papuk karst aquifer, NE Croatia. 15th Inernational Karstological school "Classical Karst" – Management of transboundary karst aquifers, Postojna, Slovenia, Karst Research Institute ZRC SAZU, Proceedings, Postojna, 4 p.

Šikić K, Brkić M, Šimunić A, Grimani M (1975) Mezozojske naslage Papučkog gorja. – Radovi Znan. savjeta za naftu JAZU, 5, 87–96, Zagreb

Šikić K, Brkić M (1975) Donji trijas u Papuku i Krndiji. *Geol. vjesnik* 28, 133–141, Zagreb

Šikić K (1981) Facijesi mezozoika Papučkog gorja. Magistarski rad. Sveučilište u Zagrebu, Postdiplomski studij prirodnih znanosti, Zagreb, 81 p.

Szabó M, Botfalvai G, & Ősi A (2019) Taxonomical and palaeoecological investigations of the chondrichthyan and osteichthyan fish remains from the Middle-Late Triassic deposits of the Villány Hills (southern Hungary). Geobios, 57, 111-126.

Szakmány Gy, Jamičić D, Raucsik Varga A, Józsa S, Horvat M (2003) Petrological and geochemical studies of the Permotriassic siliciclastic sequence in the western part of the Papuk Mountain (Croatia). In: Vlahović I (ed): 22nd IAS Meeting of Sedimentology – Opatija, 17–19 September 2003. Abstracts Book, p. 204.

Tajder M (1956) The albite volcanic rocks of Voćin area and their origin. *Acta Geologica* 1, 35–48.

Tajder M (1960) Anorthoclase-aegirine-rhyolite from Rupnica brook near Voćin. *Acta Geologica* 2, 95–101.

Vragović M (1965) Graniti i gnajsi Papuka (Granites and gneisses of the Papuk Mountain –in Croatian). Unpublished PhD Thesis. University of Zagreb, 222 p.