Porijeklo građevinskog materijala arheološkog nalazišta Aquae Iasae

Žegrec, Romario

Master's thesis / Diplomski rad

2020

Degree Grantor / Ustanova koja je dodijelila akademski / stručni stupanj: **University of Zagreb, Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering / Sveučilište u Zagrebu, Rudarsko-geološko-naftni fakultet**

Permanent link / Trajna poveznica: https://urn.nsk.hr/urn:nbn:hr:169:350675

Rights / Prava: In copyright / Zaštićeno autorskim pravom.

Download date / Datum preuzimanja: **2024-03-29**



Repository / Repozitorij:

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering Repository, University of Zagreb







SVEUČILIŠTE U ZAGREBU

RUDARSKO-GEOLOŠKO-NAFTNI FAKULTET

Diplomski studij geologije

PORIJEKLO GRAĐEVINSKOG MATERIJALA ARHEOLOŠKOG NALAZIŠTA *AQUAE IASAE*

Diplomski rad

Romario Žegrec

G 356

Zagreb, 2020.

Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Diplomski rad

PORIJEKLO GRAĐEVINSKOG MATERIJALA ARHEOLOŠKOG NALAZIŠTA *AQUAE IASAE*

Romario Žegrec

Diplomski rad je izrađen: Sveučilište u Zagrebu
Rudarsko–geološko–naftni fakultet
Zavod za geologiju i geološko inženjerstvo
Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Sažetak:

U radu je istraženo moguće porijeklo materijala korištenog pri gradnji rimskog naselja *Aquae Iasae* u Varaždinskim Toplicama. Na osnovi prijedloga arheologa koji rade na otkopavanju i sanaciji navedenog nalazišta, istražena su dva lokaliteta – Bela Pećina i Slap (ukupno 24 uzorka) u blizini rimskog naselja, te su dodatno analizirana 4 mikropetrografska uzorka arheološkog materijala upotrijebljenog pri izgradnji izvorišnog bazena na forumu rimskog naselja. Utvrđeno je da su na lokalitetu Bela Pećina (uzorci iz slijeda BP-1 do BP-14) te lateralno od tog slijeda (uzorci T-5-2 do T-5-7) prisutni miocenski biogeni vapnenci te jedan uzorak fosilifernog pješčenjaka, dok stijene lokaliteta Slap (uzorci Slap 1-3) odgovaraju miocenskim tufovima. Trinaest analiziranih uzoraka s lokaliteta Bela Pećina, koji odgovaraju biogenim vapnencima biosparitima/biosparruditima, ujedno predstavljaju najčešći tip vapnenca upotrebljavanog za izgradnju građevina u rimskom naselju (usporedbom sa ranije analiziranim stijenama HORVAT, 2011; ALJINOVIĆ, 2015). Stoga bi lokalitet Bela Pećina mogao biti mjesto eksploatacije građevinskog materijala u rimsko doba. Pri izgradnji izvorišnog bazena na forumu korišten je drugačiji tip vapnenca - biomikrit koji se sastoji od karbonatnog mulja u osnovi te planktonskih foraminifera. Za takav tip vapnenca (uzorci AM-1 do AM-4) nije pronađeno potencijalno mjesto eksploatacije u rimsko doba. Uzorci vitroklastičnog tufa s lokaliteta Slap (Slap-1, Slap-2, Slap-3) po sastavu uopće ne pripadaju vapnencima, te su isključeni iz razmatranja kao potencijalni lokalitet eksploatacije kamena u rimsko doba. Svi analizirani tipovi vapnenaca, korišteni pri izgradnji građevina ili izvorišnog bazena na forumu, nastali su kao organogene bioherme (grebeni) ili u visokoenergetskom prigrebenskom okolišu, dok uzorci biomikrita koji sadrže planktonske foraminifere ukazuju na taloženje u dubljem, otvorenom marinskom prostoru niske energije vode.

Ključne riječi: *Aquae Iasae*, porijeklo građevinskog materijala, vapnenci, mikropetrografska analiza, taložni okoliš

Rad sadrži: 34 stranice, 21 slika i 19 literaturnih navoda

Jezik izvornika: hrvatski

Rad je pohranjen u: Knjižnica Rudarsko–geološko–naftnog Fakulteta
Pierottijeva 6, Zagreb

Mentor: **Prof. dr. sc. Dunja Aljinović**

Ocjenjivači: Prof. dr. sc. Dunja Aljinović,
Doc. dr. sc. Uroš Barudžija,
Doc. dr. sc. Ana Maričić

Datum završnog ispita: 20. 2. 2020.

University of Zagreb **Graduate Geology Master Thesis**

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering

ORIGIN OF BUILDING STONE MATERIAL IN THE ARCHAEOLOGICAL SITE *AQUAE IASAE*

Romario Žegrec

Thesis completed in: University of Zagreb

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering

Institute of Geology and Geological Engineering

Pierottijeva 6, 10 000 Zagreb

Abstract:

The main goal of the master thesis was to investigate geologic sites from where stone material used for construction of the Roman settlement *Aquae Iasae* in Varaždinske Toplice was possibly exploited. This was achieved by comparing petrographic characteristics of the main limestone types formerly analysed as building blocks in the Roman settlement (HORVAT, 2011; ALJINOVIĆ, 2015) with rocks from the two outcrops in the vicinity of the archaeological site suggested as potential ancient quarries by archaeologists working on the excavation and preservation of the site. Two outcrops were investigated - Bela Pećina and Slap from where 24 samples were analysed. Additionally, 4 samples were micropetrographically analysed that represented type of limestone used for constructing the spring pool at the forum (samples marked AM-1 to AM-4). It was concluded that samples taken from Bela Pećina (samples marked as BP-1 to BP-14 along the 6,5 m thick sediment succession) and samples taken lateral from the succession (T-5-2 to T-5-7) correspond to Miocene (Badenian) bioclastic limestone (biosparite/biosparrudite)and only one sample was determined as fossiliferous sandstone (lithoarenite). The rocks samples from locality Slap (Slap-1, Slap-2, Slap-3) represent Miocene tuffs. Thirteen analyzed samples from the Bela Pećina were determined as biosparite/biosparudite that correspond well with formerly analysed limestone types. Thus, locality Bela Pećina (BP-1 to BP-13 and T- 5-2 to T-5-7), might have been the ancient quarry from where stone was exploited as building material in Roman times. A different type of limestone used for constructing the spring pool in the forum was determined as biomicrite, consisting of planktonic foraminifera and lime matrix. No exploitation site was proposed as ancient quarry of this limestone type. Locality Slap with differentiated vitriclastic tuffs was excluded from consideration as a potential site for stone exploitation in Roman times. All analysed limestone types used in the construction of *Aquae Iasae*, represent different facies and environment of their primary deposition. Biosparrudite and biosparite are interpreted as organic bioherms (reefs) or high-energy fore-reef environment, while biomicrite with planktonic fauna as deep and open marine, low-energy facies.

Keywords: *Aquae Iasae*, origin of building stone, micropetrographic analysis, Miocene, limestone, depositional environments

Thesis contains: 34 pages, 21 figures and 18 references

Original in: Croatian

Thesis deposited in: Library of Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering

Pierottijeva 6, Zagreb

Supervisor: Prof. dr. sc. Dunja Aljinović

Reviewers: Prof. dr. sc. Dunja Aljinović,

Doc. dr. sc. Uroš Barudžija,

Doc. dr. sc. Ana Maričić

Date of the final exam: 20.02.2020.

SADRŽAJ

1. UVOD 1

1.1. Geografski položaj Varaždinskih Toplica 3

2. GEOLOŠKI PREGLED ISTRAŽIVANOG PODRUČJA 4

2.1. GEOLOGIJA OKOLICE VARAŽDINSKIH TOPLICA 4

2.1.1. Dolomiti i vapnenci gornjeg trijasa T_3 4

2.1.2. Klastiti donjeg M_1 i srednjeg miocena M_2 4

2.1.3. Badenski M_2^2 konglomerati, vapnenci i lapori 5

2.1.4. Lapori i vapnenci sarmata ${}_1M_3^1$ i donjeg panona ${}^1M_3^{1,2}$ 5

2.1.5. Plio-pleistocenski šljunci i pijesci 6

2.1.6. Travertin (sedra) 7

2.1.7. Tufovi 7

2.2. DOSADAŠNJA GEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA 9

3. METODE ISTRAŽIVANJA 10

4. REZULTATI 14

4.1. Mikropetrografske karakteristike uzoraka vapnenaca s lokaliteta Bela Pećina 14

4.1.1. Slijed sedimenata Bela Pećina 14

4.1.2. Stijene koje se nalaze lateralno od slijeda Bela Pećina 20

4.2. Mikropetrografske karakteristike uzoraka sedimentnih stijena s lokaliteta Slap 22

4.3. Stijene koje su korištene za izgradnju bazena na Forumu 24

5. RASPRAVA I ZAKLJUČAK 28

LITERATURA 32

POPIS SLIKA

Slika 1-1. Termalni prirodni izvor unutar arheološkog nalazišta Aquae Iasae (KUŠAN ŠPALJ, 2017) 2
Slika 1-2. Geografski položaj Aquae Iasae (modificirano prema KUŠAN ŠPALJ, 2017) 3

Slika 2-1. Geološki profil kroz naslage okolice Varaždinskih Toplica (ŠIMUNIĆ, 1988) 7
Slika 2-2. Isječak OGK 1 : 100 000, list Varaždin (ŠIMUNIĆ i dr., 1983) 8

Slika 3-1. Istraživani lokaliteti: a) Bela Pećina (crvena kružnica) i b) Slap (crna kružnica) (Google Earth, earth.google.com/web/) 10
Slika 3-2. Terenska fotografija sedimentnog slijeda Bela Pećina 11
Slika 3-3. Folkova (1959) klasifikacija (preuteto iz TIŠLJAR, 2001) 13
Slika 3-4. Dunhamova (1962) klasifikacija (preuzeto iz TIŠLJAR, 2001) 13

Slika 4-1. Prikaz sedimentnog slijeda Bela Pećina (uzorci s oznakom BP-1 do BP-14) 15
Slika 4-2. Mikropetrografski izbrusak, UZORAK BP-9 (paralelni nikoli) → biosparrudit građen od bioklasta koralinacejskih algi i fragmenata ježinaca 17
Slika 4-3. Mikropetrografski izbrusak, UZORAK BP-13 (paralelni nikoli) → biosparrudit s bioklastima koralinacejskih algi te podređeno fragmentima ježinaca i česticama kvarca 17
Slika 4-4. Mikropetrografski izbrusak, UZORAK BP-3 (paralelni nikoli) → biosparit građen od dobro sortiranih bioklasta koralinacejskih algi (< 2 mm) i detritusa ježinaca, školjkaša i foraminifera 18
Slika 4-5. Mikropetrografski izbrusak, UZORAK BP-14 (paralelni nikoli) → fosiliferni pješčenjak građen dominatno od siliciklastičnog detritusa s česticama kvarca, litoklastima metamorfnih stijena te feldspata; podređeno su prisutni bioklasti koralinacejskih algi te bentičke foraminifere 19
Slika 4-6. Mikropetrografski izbrusak, UZORAK BP-14 (ukriženi nikoli) → fosiliferni pješčenjak 20

Slika 4-7. Mikropetrografski izbrusak, UZORAK T-5-7 (pararelni nikoli) → biosparrudit građen od dobro zaobljenih bioklasta koralinacejskih algi te iznimno krupnih fragmenata briozoa; moguća inkrustacija koralinacejskim algama i briozoima. U prostoru između skeleta nalazi se matriks sastavljen od mikrita, sitnozdrobljenog kršja i silicilasta. 21
Slika 4-8. Mikropetrografski izbrusak, UZORAK Slap-3 (paralelni nikoli) → vitriklastični tuf građen od dobro sortiranih krhotina vulkanskoga stakla 23
Slika 4-9. Mikropetrografski izbrusak, UZORAK Slap-3 (ukriženi nikoli)..... 23
Slika 4-10. Mikropetrografski izbrusak, UZORAK AM-1 (paralelni nikoli) → biomikrit sastavljen dominantno od sitnih planktonskih foraminifera u mikritnoj osnovi. 25
Slika 4-11. Mikropetrografski izbrusak, UZORAK AM-2 (paralelni nikoli) → biomikrit primarno građen od sitnih ljušturica planktonskih foraminifera u mikritnoj osnovi te nerijetka pojava glaukonita (zelene boje) 26
Slika 4-12. Mikropetrografski izbrusak, UZORAK AM-3 (paralelni nikoli) → biomikrit građen od fosila planktonskih foraminifera i mikrita; podređena pojava fragmenata ježinaca. 26
Slika 4-13. Mikropetrografski izbrusak, UZORAK AM-4 (paralelni nikoli) → biomikrit građen dominantno od ljušturica fosila planktonskih foraminifera; niži udio fragmenata ježinaca različitih veličina, te nizak udio siliciklastičnog materijala poput kvarca; čestice glaukonita (zelene boje) također su zastupljene u uzorku. 27

1. UVOD

U centru Varaždinskih Toplica nalazi se arheološki lokalitet iz rimskog doba poznat pod nazivom *Aquae Iasae*. Geološku podlogu navedenog arheološkog nalazišta čine debele naslage travertina (ALJINOVIĆ, 2015). Travertin je internacionalni pojam koji definira terestričke vapnence nastale izlučivanjem iz slatkih voda kemijskim i/ili biokemijskim procesima (TIŠLJAR, 2001), a u ovom slučaju nastao je taloženjem oko izvora termalne vode. Travertin je manjim dijelom korišten i pri izgradnji naselja *Aquae Iasae,* dok je kao standardni materijal pri izgradnji korišten krupno- i sitnozrnati biokalkarenit badenske starosti (HORVAT, 2011; ALJINOVIĆ, 2015). Za arheološka istraživanja bi neobično važan podatak predstavljao nalaz izvorišta materijala za gradnju. U tu svrhu istražena su dva lokaliteta u neposrednoj blizini arheološkog parka koji bi zbog strmih litica badenskih biokalkarenita mogao predstavljati mjesto odakle se eksploatirao kamen u antičko doba. Pozicija mogućeg starog kamenoloma sugerirana je od strane arheologa. U svrhu ispitivanja te mogućnosti na jednom je lokalitetu (Bela Pećina) snimljen sedimentni slijed (ukupne debljine 6,55 m) te su sakupljeni dodatni uzorci, dok su na drugom lokalitetu (Slap) uzeti uzorci za petrografsku analizu i usporedbu. Uzorci s oba lokaliteta su mikropetrografski analizirani, a njihove su osobine uspoređene s petrografskim osobinama uzoraka iz antičkog nalazišta dobivenim od arheologa, a koji predstavljaju najčešće tipove stijena upotrijebljene kao građevinski materijal naselja *Aquae Iasae*.

Ovaj prvorazredni spomenik antičke arhitekture jedan je od malobrojnih u sjeverozapadnoj Hrvatskoj i jedini u toj mjeri sačuvan u kontinentalnoj Hrvatskoj. Kompleks javne rimske arhitekture na površini od oko 6000 m^2 otkriven je arheološkim iskapanjima, započetim 1953. godine na lokalitetu *Aquae Iasae*. Specifičnost ovog lokaliteta je izvor termalne ljekovite vode (Slika 1-1.) koji se nalazi na forumu okruženom trijemovima. Najbolje su sačuvani objekti nastali nakon Konstantinove obnove, odnosno tijekom 4. st. po. Kr. Javni dio rimskog naselja nalazio se na najvišoj terasi topličkog brežuljka, stambeni dio na terasama koje se spuštaju, dok su u podnožju bili smješteni obrtnički i trgovački objekti (KUŠAN ŠPALJ & NEMETH-EHRLICH, 2012).

Na najvišoj terasi brežuljka izvire prirodni izvor sumporne termalne vode, na nadmorskoj visini od 203 m. Znanstvena istraživanja utvrdila su da se radi o tzv. povratnoj vodi i uzlaznom vrelu. Prema MARKOVIĆ (2002) mehanizam izviranja vode se zasniva na zakonu spojenih posuda. Termalni izvor se nalazi na tjemenu antiklinale presječene poprečnim i uzdužnim rasjedima. Put termalne ljekovite vode započinje na Kalničkom gorju, preciznije na Ljubelju, na 558 m nadmorske visine. Kišnica koja ponire na sjevernim padinama Kalničkog gorja prolazi slojevima trijaskih dolomita, spušta se do oko 1400 metara ispod razine mora, a njezino kretanje prema površini dugo je oko 5 kilometara. Kapacitet izvora je do 2 milijuna litara dnevno. Na temelju balneološke kvalifikacije voda iz Varaždinskih Toplica je sumporna, mineralna, natrijeva, hidrokarbonatna, sulfatna hiperterma, koja u svom izvorišnom mjestu ima temperaturu 56 - 58°C. Voda iz termalnog izvora stvorila je sedrene terase na južnim padinama Topličke gore (MARKOVIĆ, 2002).

Cilj rada je istražiti petrografske karakteristike sedimentnog slijeda Bela Pećina i Slap te ih usporediti s petrografskim karakteristikama kamena korištenog kao građevinski materijal u arheološkom nalazištu Varaždinske Toplice i utvrditi predstavljaju li ova dva lokaliteta mjesta eksploatacije građevinskog kamena u antičko doba.



Slika 1-1. Termalni prirodni izvor unutar arheološkog nalazišta *Aquae Iasae* (KUŠAN ŠPALJ, 2017)

1.1. Geografski položaj Varaždinskih Toplica

Varažinske Toplice (Slika 1-2.) nalaze se na sjeveroistočnom rubu Hrvatskog Zagorja, na travertinskim (sedrenim) terasama uz južnu padinu Topličke gore i obodu kotline kojom vijuga rijeka Bednja. Prirodni izvor termalne vode toplicama je odredio položaj, i dao im kontinuitet obitavanja i liječenja ljudi kroz sve kulturne epohe (VLAHOVIĆ, 2012). Dosadašnjim istraživanjima dokazano je korištenje istog izvora više od 2000 godina.



Slika 1-2. Geografski položaj *Aquae Iasae* (modificirano prema KUŠAN ŠPALJ, 2017)

2. GEOLOŠKI PREGLED ISTRAŽIVANOG PODRUČJA

2.1. GEOLOGIJA OKOLICE VARAŽDINSKIH TOPLICA

Iz podataka Osnovne geološke karte 1 : 100 000 (Slika 2-2.) list Varaždin (ŠIMUNIĆ i dr., 1983) i tumača Osnovne geološke karte za list Varaždin (ŠIMUNIĆ i dr., 1981) prikazana je geološka građa šireg područja Varaždinskih toplica (Slika 2-2.). Podaci o geološkoj građi prikazani dalje u tekstu preuzeti su iz ŠIMUNIĆ (1988) i ŠIMUNIĆ i dr., (1983).

2.1.1. Dolomiti i vapnenci gornjeg trijasa T_3

Trijaske naslage izdanjuju na površinu na području Ljubelja. Prema sedimentološkim analizama uzoraka sakupljenih na površinskim izdancima utvrđena je pojava stromatolitnih dolomita, sitnozrnatog vapnenca, vapnenačkih i dolomitno-vapnenačkih breča, kalcitičnih dolomita i vapnenaca s ostacima megalodontida. Navedeni sedimenti taloženi su u plitkom marinskom području na karbonatnoj platformi, koja je u srednjem i gornjem trijasu bila raspostranjena na području Hrvatske, Slovenije i Austrije. Ispod karbonatnih sedimenata najvjerojatnije se nalaze klastiti s eruptivima. Na temelju geološkog profila (Slika 2-1.) vidljiva je veza između trijaskih naslaga na površini i nabušenih dolomita u Varaždinskim Toplicama. Debljina trijaskih dolomita i dolomitičnih vapnenaca je nepoznata, ali se pretpostavlja da je između 400 i 600 metara.

2.1.2. Klastiti donjeg M_1 i srednjeg miocena M_2

Između sedimentacije gornjotrijaskih karbonata i donjomiocenskih klastita postoji velika stratigrafska praznina. Moguće je pretpostaviti da su se naslage jure, krede i paleogena taložile, ali i da su erodirane prije sedimentacije mlađih naslaga. Navedenu tvrdnju potkrepljuju nalazi

velikih sekundarnih blokova trijaskih vapnenaca i dolomita, jurskih vapnenaca i krednih pješčenjaka u krednoj vulkanogeno-sedimentnoj seriji.

Klastične naslage donjeg i srednjeg miocena imaju veliku rasprostranjenost na sjevernim obroncima Kalničkog gorja i u blizini okolice Varaždinskih Toplica. Nagle promjene u sedimentaciji u lateralnom i vertikalnom smislu ukazuju na sinsedimentacijske tektonske pokrete, a pojave tufova na vulkansku aktivnost. Među sedimentima dominantno su prisutni klastiti: konglomerati, šljunci i pijesci. Prava debljina navedenih naslaga nije poznata zbog izražene tektonske aktivnosti, ali ne prelazi 400 metara.

2.1.3. Badenski M_2^2 konglomerati, vapnenci i lapori

Naslage badena su najizrazitiji transgresivni član neogena u sjeverozapadnoj Hrvatskoj. Sedimentaciji je prethodila izrazito intezivna orogenetska faza, koja je deformirala sve postojeće strukture. Prisutne su debele naslage polimiktnih, krupnozrnastih konglomerata i breča, koje u obliku pojasa okružuju Kalničko gorje. Izuzetno je značajno da su valutice u konglomeratu lokalnog podrijetla, odnosno da su nastale trošenjem stijena koje i danas čine jezgru planine.

Nakon taloženja baznih naslaga, započela je sedimentacija pješčenjaka, kalcitom bogatih lapora i glinovitih vapnenaca.

Pješčenjaci su determinirani kao litoareniti. Posebnu skupinu čine pjeskoviti biospariti. Kalcitom bogati lapori i glinoviti vapnenci dominiraju u mlađem badenu. Stratigrafska pripadnost badenskih naslaga vrlo je dobro definirana brojnim nalazima mikro- i makrofaune.

Na geološkoj karti naslage donjeg sarmata i donjeg panona zajedno su prikazane jer naslage nemaju ukupnu debljinu veću od 100m.

2.1.4. Lapori i vapnenci sarmata $_1M_3^1$ i donjeg panona $^1M_3^{1,2}$

Sarmatski sediment konkordantno i kontinuirano slijede na badenskima te, u obliku uskog i ponekad tektonikom isprekidanog pojasa, okružuju Kalničko i Varaždinsko-topličko gorje.

Navede naslage su prije prekrivale cijelo područje što je utvrđeno na temelju nalaza ispod Ljubelja na nadmorskoj visini između 350 i 400 m.

Taloženje sarmatskih naslaga započelo je u brakičnoj sredini prilikom čega je došlo do promjene saliniteta, što je uzrokovalo naglo izumiranje marinskih vrsta. U litološkom sastavu dominiraju pločasti, kalcitom bogati lapori, glinoviti vapnenci, lapori i bituminozni lapori, a rjeđe su prisutni sitnozrnati pješčenjaci.

Tijekom starijega panona nastavljeno je taloženje pločastih, glinovitih vapnenaca, sivo-žućkaste boje koji su definirani kao bijeli lapori. Debljina donjopanonskih naslaga na cijelom području nije veća od 50 m.

Na sjevernim i južnim padinama Kalničkog gorja prisutan je specifičan razvoj tijekom gornjeg panona. Početkom gornjeg panona nastavlja se kontinuirana sedimentacija kalcitom bogatih lapora i glinovitih vapnenaca. Izumiranje slatkovodnih vrsta i pojava brakičnih vrsta pripisuju se posljedici povećanja saliniteta. Nakon taloženja oko 50 m „Banatica“ naslaga započelo je postupno spuštanje sjevernog dijela Kalničkog gorja te se potom talože klastiti. Stvoren je veliki podvodni kanal kojim je klastični materijal distribuiran s područja Alpa u Panonski bazen.

2.1.5. Plio-pleistocenski šljunci i pijesci

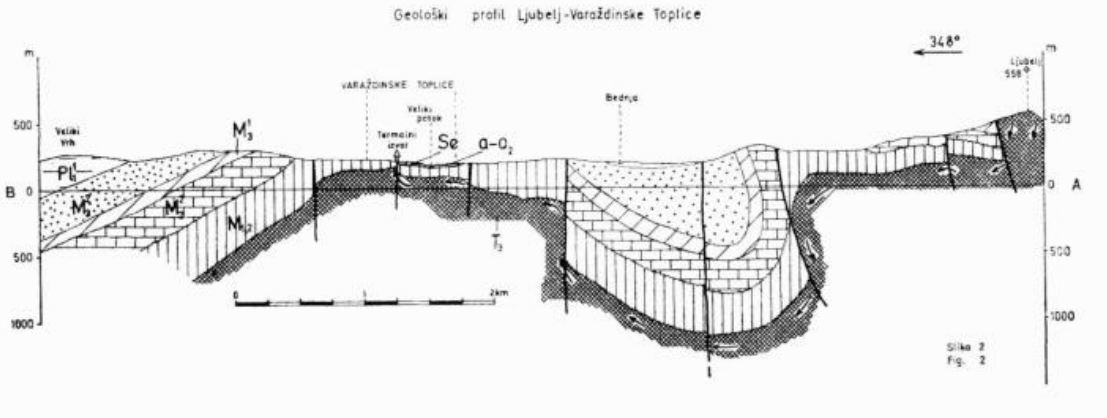
Plio-pleistocenski šjunci i pijesci pronađeni su na znatno manjoj površini, sjeverno od sela Črnile, te su definirani kao erozijski ostatak nekad šire rasprostranjenosti sedimenata. Navedene naslage su izdvojene zbog velikog značaja za rekonstrukciju tektonskih zbivanja na cijelom području. U naslagama nisu pronađeni fosili te njihova stratigrafska pripadnost nije potpuno jasna.

2.1.6. Travertin (sedra)

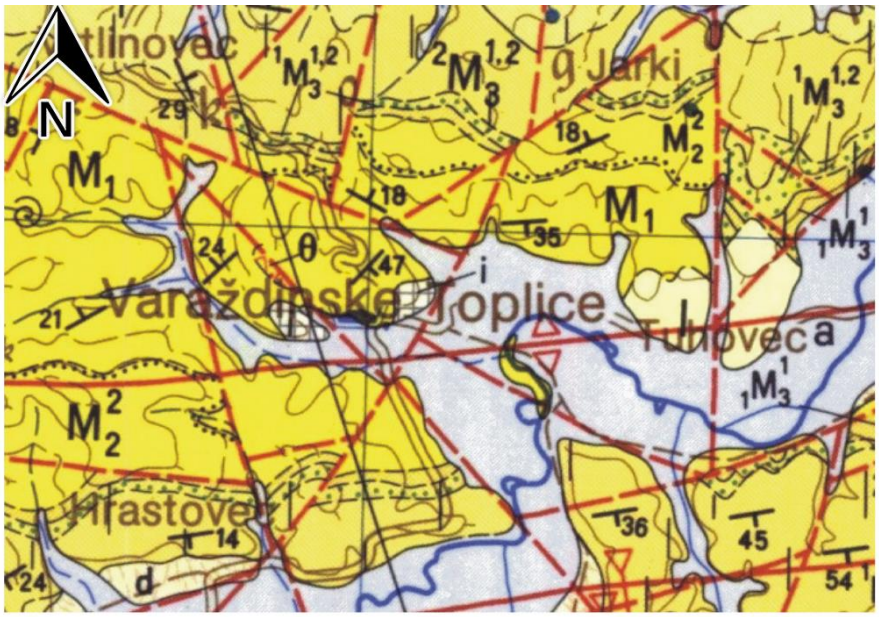
Naslage travertina (sedre) nalaze se uz termalne izvore u Varaždinskim Toplicama te su nastale precipitacijom kalcijeva karbonata iz tople vode, anorganski ili uz pomoć mikroorganizama. Pojava sedre markira aktivne i neaktivne termalne izvore. Kao posljedica sedimentacije, travertin je pun različito orijentiranih šupljina. Termalna vode prelijeva se preko grmlja i trava koje je raslo u blizini izvora. Hlađenjem vode oslobađa se ugljični dioksid, a pritom se taloži kalcijev karbonat.

2.1.7. Tufovi

Tufovi donjeg miocena prisutni su u širem području Lojnice, odnosno u okolici Lepoglave i Vuglovca. Petrografski gledano, nalaze se dva tipa tufa. Prvi tip tufa je staklast s parcijalno devitrificiranom osnovom i rijetkim porfiroklastima kvarca i feldspata. Drugi tip tufa ima vitričnu i perlitnu strukturu, s nerjetkim mjehurićima i pukotinama te porfiroklaste kvarca, kiselih plagioklasa i biotita.



Slika 2-1. Geološki profil kroz naslage okolice Varaždinskih Toplica (ŠIMUNIĆ, 1988)



Slika 2-2. Isječak OGK 1 : 100 000, list Varaždin (ŠIMUNIĆ i dr., 1983)

2.2. DOSADAŠNJA GEOLOŠKA ISTRAŽIVANJA

Termalni izvori u Varaždinskim Toplicama pripadaju među najpoznatije i najduže korištene toplice u središnjoj Hrvatskoj. Opće je poznato da su termalni izvori korišteni za vrijeme Rimljana, a prema podacima MALEZA (1983) ljudi su se zadržavali u blizini termalnih izvora još od srednjeg i gornjeg pleistocena.

Prva geološka istraživanja ovog područja započeli su austrijski geolozi što bi se moglo smatrati početkom istraživanja termalnih izvora u Hrvatskoj. Početkom 20. stoljeća nastali su vrlo značajni radovi Gorjanović-Krambergera (vidjeti u ŠIMUNIĆ, 1988 i pridruženim referencama) u kojima je obrađivana problematika termalnih izvora sjeverne Hrvatske. Gorjanović-Kramberger je smatrao da se izvori pojavljuju na rasjedima koje je nazvao termalnim linijama. Varaždinske i Stubičke Toplice, kao i izvor kod Sv. Jane, nalaze se na Balatonskoj liniji, dok su Krapinske i Stubičke Toplice povezane sa zagorskom termalnom linijom, a Tuheljske, Krapinske, Šemičke i Sutinske toplice nalaze se na krapinskoj termalnoj liniji. GORJANOVIĆ-KRAMBERGER (1904) je zagrijavanje vode povezao s postvulkanskom aktivnošću.

ŠARIN i dr. (1979) koreliraju kemijski sastav termalnih voda u sjeverozapadnoj Hrvatskoj i zaključuju su da vode imaju iznimno sličan kemijski sastav.

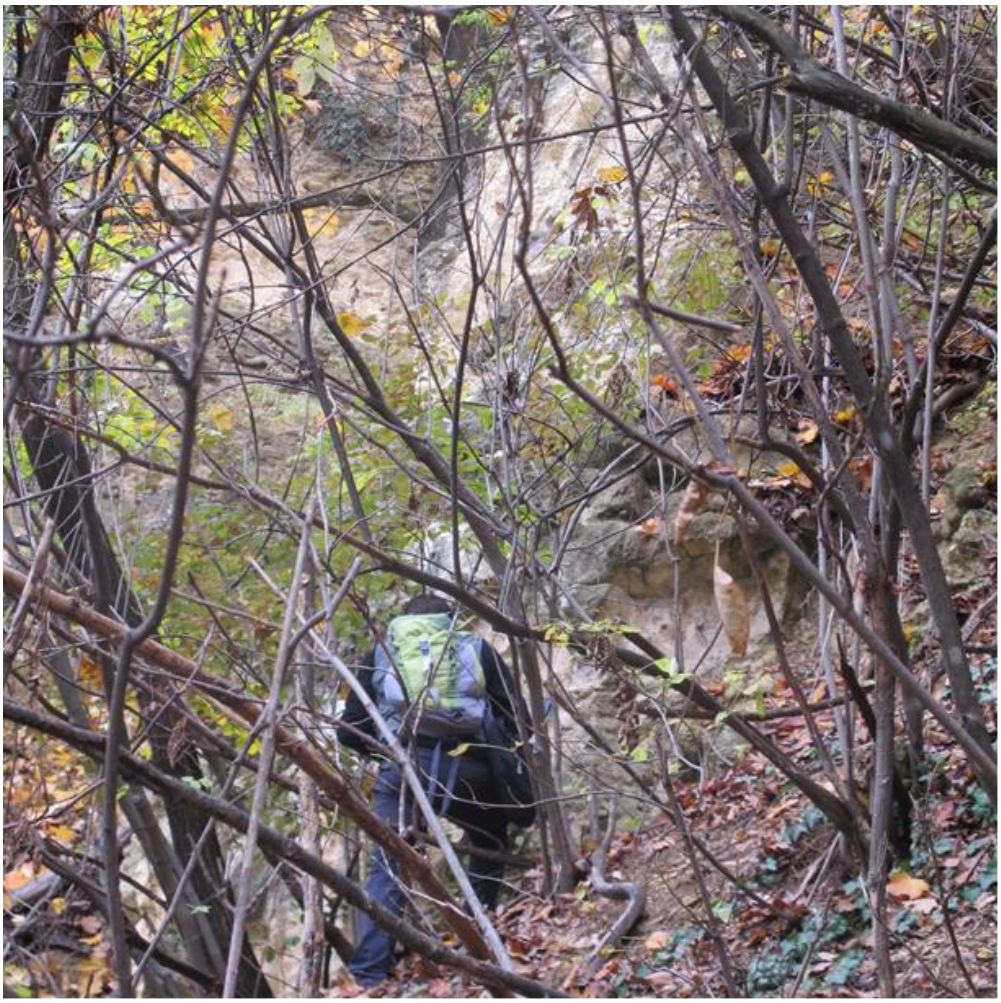
ŽIGOVEČKI GOBAC i dr. (2009) koristeći XRD i SEM analize, na temelju kristalnog habitusa, dokazali su prisutnost kristala aragonita, kalcita i podređeno elementarnog sumpora u travertinu termalnog izvora iz Varaždinskih Toplica.

3. METODE ISTRAŽIVANJA

S ciljem utvrđivanja porijekla građevinskog materijala korištenog pri izgradnji rimskog naselja *Aquae Iasae*, istražene su petrografske karakteristike sedimentnih stijena s dva lokaliteta: Bela Pećina i Slap (Slika 3-1.). Oba lokaliteta istražena su na prijedlog arheologa D. Kušan Špalj i N. Perok. Lokalitet Bela Pećina predstavlja liticu badenskog vapnenca, dok lokalitet Slap predstavlja moguće porijeklo materijala s obzirom na laku dostupnost odnosno blizinu rimskog naselja. Na lokalitetu Bela Pećina detaljno je izmjeren slijed sedimenata (Stup Bela Pećina) te su sakupljeni uzorci oznaka: BP-1 do BP-14. Slijed je prikazan na Slici 3-2. Na istom lokalitetu dodatno je sakupljeno još dodatnih 7 uzoraka, lateralno od detaljno snimljenog slijeda Bela Pećina (oznake T-5) koji su makroskopski izgledali nešto drugačije pa su i ti uzorci mikropetrografski istraženi.



Slika 3-1. Istraživani lokaliteti: a) Bela Pećina (crvena kružnica) i b) Slap (žuta kružnica) (*Google Earth, earth.google.com/web/)*



Slika 3-2. Terenska fotografija sedimentnog slijeda Bela Pećina

Na lokalitetu Slap sakupljena su 3 nasumična uzorka koja predstavljaju tipične sedimentne stijene toga lokaliteta (oznaka uzoraka: Slap-1, Slap-2, Slap-3).

Svi navedeni uzorci služili su za usporedbu njihovih mikropetrografskih svojstava sa svojstvima najčešćeg građevinskog materijala prethodno analiziranog u rimskom nalazištu (ALJINOVIĆ, 2015). Dodatno su mikropetrografski analizirana 4 uzorka koja predstavljaju najčešći građevinski materijal upotrebljavan upravo za opločavanje bazena s termalnom vodom na forumu. Spomenuti uzorci predstavljaju drugačiji tip vapnenca i korišteni su uglavnom samo za opločavanje bazena. Pokazalo se da imaju nepovoljna geomehanička svojstva jer su kameni blokovi prilikom isušivanja bazena i sušenja na zraku izrazito pucali i lomili se u vrlo sitne fragmente (osobna komunikacija s D. Kušan Špalj i N. Perok).

Ukupno je mikropetrografski analizirano 28 uzoraka. Uz pomoću polarizacijskog mikroskopa uzorci su determinirani na temelju Dunhmanove i Folkove klasifikacije.

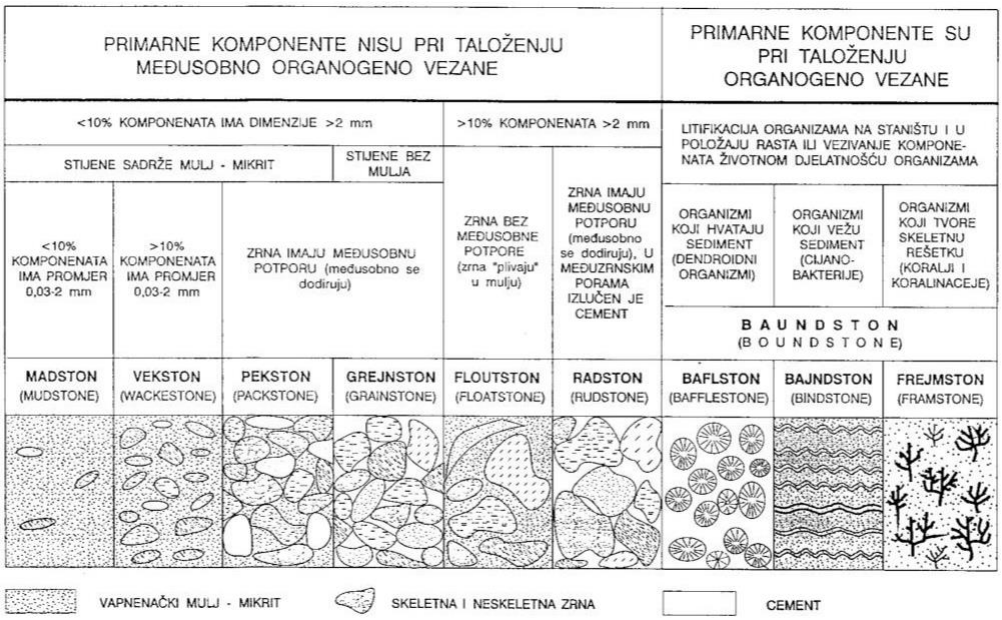
Prije mikropetrografske analize izrađeni su mikroskopski preparati. Tijekom izrade mikroskopskog preparata odrezan je dio uzorka u obliku tanke pločice. Jedna strana se izravna i ispolira te se kanadskim balzamom zalijepi na objektno stakalce. Pomoću pile ili grubim brušenjem, a poslije finim brušenjem, uzorak se stanji na debljinu od 0,02 do 0,03 milimetara. Nakon toga koristi se metoda brzog bojanja izbrusaka zbog jednostavnijeg raspoznavanja i determiniranja uzoraka. Koriste se dvije otopine za bojanje mikroskopskog preparata: K-fericijanid i Alizarin crveni S. Pri završetku izrade izbrusak se pokriva pokrovnim stakalcem.

Polarizacijskim mikroskopom *Leica* provedena je mikropetrografska analiza te su pomoću digitalne kamere Leica DM100, koja se nalazi pričvršćena za okular mikroskopa, izrađene mikrofotografije uzoraka. U svakoj mikrofotografiji umetnuto je odgovarajuće mjerilo, uz pomoć računalnog programa *ImageJ* (RASBAND, 1997-2018).

U istraživanju sedimenata, točnije vapnenaca, analizirani su osnovni sastojci vapnenaca te vrsta veziva (mikrit ili sparit), te su određene ostale karakteristike kao što su vrste fosila, veličina detritusa, sortiranost detritusa te dijagenetske promjene. Korištene su različite vrsta klasifikacija za determinaciju pojedinih uzoraka. Za vapnence je korištena klasifikacija po Folku (1959) (Slika 3-3.) i Dunhamu (1962) (Slika 3-4.). Prema Dunhamu, vapnenci su determinirani na temelju prisutnosti ili odsutnosti karbonatnog mulja ili mikrita, odnosu udjela zrna i karbonatnog mulja te znakovima organogenog vezivanja skeleta tijekom razvoja organizama. Dunham razlikuje pet osnovnih tipova vapnenaca: madston (mudstone), vekston (wackestone), pekston (packstone), grejnston (grainstone), baundston (boundstone) (Slika 3-4.).

	ALOKEMIJSKI VAPNENCI alokema >10%		MIKRITNI VAPNENCI alokema 1-10%	<1%	BIOSTROME, BIOHERME I STROMATOLITI
SKUPINA	I.	II.	III.a		
>25% intraklasta	intrasparit	intramikrit	mikrit s intraklastima		
>25% Ooida	oosparit	oomikrit	mikrit s ooidima		
>25% onkoida	onkosparit	onkomikrit	mikrit s onkoidima	mikrit	biolitit
odnos fosila i peleta 3:1	biosparit	biomikrit	mikrit s fosilima		
odnos fosila i peleta od 3:1 do 1:3	biopelsparit	biopelmikrit	mikrit s fosilima i peletima		
odnos fosila i peleta 1:3	pelsparit	pelmikrit	mikrit s peletima		

Slika 3-3. Folkova (1959) klasifikacija (precrtano iz TIŠLJAR, 2001)



Slika 3-4. Dunhamova (1962) klasifikacija (preuzeto iz TIŠLJAR, 2001)

Analizirani tufovi determinirani su obzirom na dominantno prisustvo triju komponenata: vitroklasta, kristaloklasta i litoklasta.

4. REZULTATI

U ovom je radu optičkim mikroskopiranjem analizirano ukupno 28 uzoraka. Uzorci su uzeti iz:

1) sedimentnog slijeda Bela Pećina (uzorci s oznakom BP), te lateralno od slijeda (uzorci s oznakom T-5), te sa
2) lokaliteta Slap (uzorci s oznakom Slap-1, Slap-2, Slap-3).

Mikropetrografske karakteristike navedenih uzoraka uspoređene su s petrografskim karakteristikama kamena korištenog kao građevinski materijal u arheološkom nalazištu Varaždinske Toplice (nalazište *Aquae Iasae*) prema ALJINOVIĆ (2015) i HORVAT (2011). Uzorci koji predstavljaju građevinski materijal dobiveni su od arheologa D. Kušan Špalj i N. Perok. Dodatno je načinjena usporedba s još 4 uzorka koja predstavljaju građevinski kamen upotrebljen za gradnju bazena na Forumu (oznaka uzoraka AM).

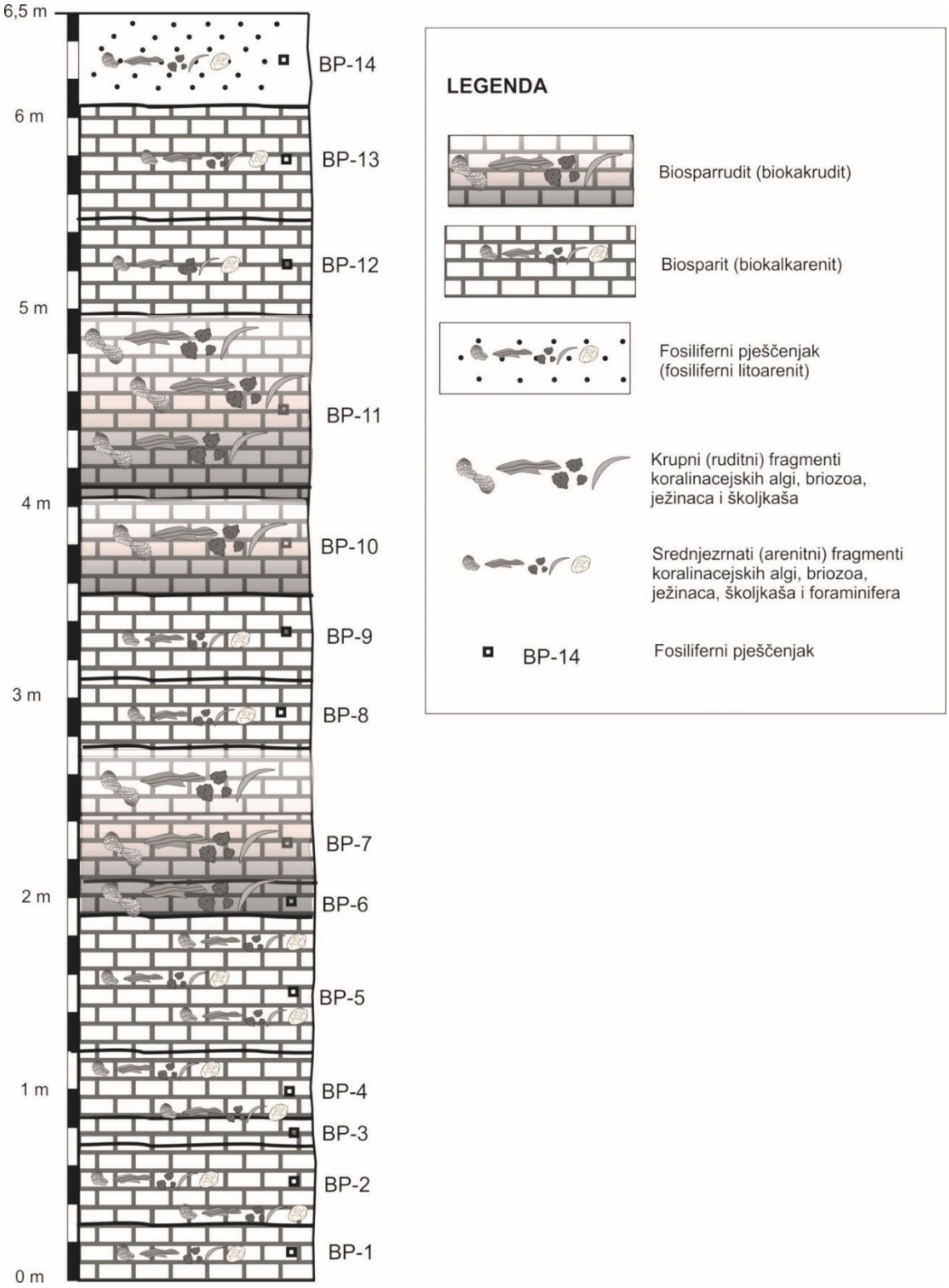
Na osnovi mikropetrografskih (mikrofacijesnih) karakteristika interpretirani su uvjeti taloženja primarnih stijena odnosno okoliš taloženja.

4.1. Mikropetrografske karakteristike uzoraka vapnenaca s lokaliteta Bela Pećina

4.1.1. Slijed sedimenata Bela Pećina

Slijed sedimenata Bela Pećina predstavlja strmu liticu, a položaj ovog izdanka označen je na Slici 3-1. a. Na izdanku (Slika 3-2.) se vide slojevi srednje debljine, neravnih slojnih granica i u približno horizontalnom položaju. Bilo je moguće snimiti 6,55 m slijeda prikazanog na Slici 4-1. Uzorci uzeti iz ovoga slijeda predstavljaju najzastupljenije sedimentne stijene gornjeg badena M^2_2 opisane u ŠIMUNIĆ i dr. (1981) kao biogeni vapnenci ili kao biokalkruditi/biokalkarentiti u TADEJ (2011). Uzorci uzeti u slijedu Bela Pećina imaju oznake BP-1 do BP-14.

U slijedu je bilo moguće razlikovati tri tipa stijena: 1) biosparrudite 2) biosparite i 3) fosiliferne pješčenjake.



Slika 4-1. Prikaz sedimentnog slijeda Bela Pećina (uzorci s oznakom BP-1 do BP-14)

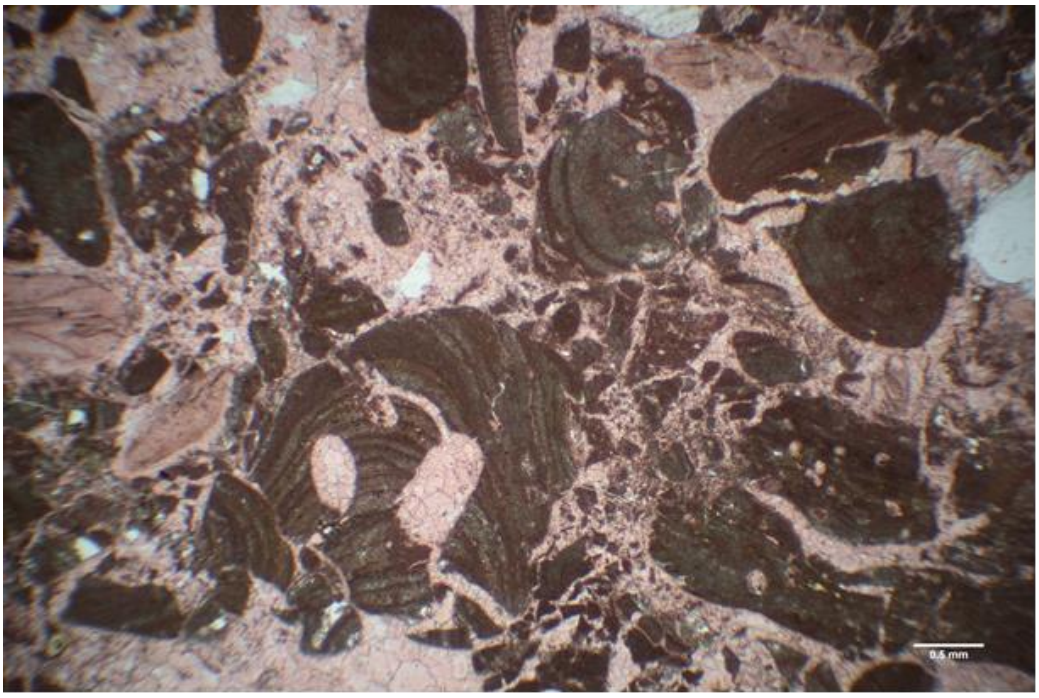
BIOSPARRUDITI se sastoje dominantno od biogenog detritusa, pri čemu udio krupnih čestica ruditnih dimenzija (> 2 mm) znatno nadilazi 10% ukupnoga udjela. Među bioklastima dominiraju koralinacejske alge (Slika 4-2. i 4-3.). Podređeno su prisutni fragmenti briozoa, a pojavljuju se i fragmenti ježinaca, školjkaša i bentičkih foraminifera. Biogeni detritus je iznimno loše sortiran, a djelomično se vidi uloga koralinacejskih algi kao inkrustanata. U mikroskopskim preparatima je vidljivo da su najbolje sačuvani krupni gomolji koralinacejskih algi, dok krupnozrnati detritus briozoa predstavlja nezaobljene fragmente. Dominantno vezivo je sparit, iako je lokalno uočeno i prisustvo mikrita, odnosno sitno zdrobljenog fosilno-mikritnog detritusa u funkciji matriksa.

U ovim je stijenama prisutno i nešto krupnozrnatog siliciklastičnog detritusa zastupljenog kvarcom i odlomcima stijena, rjeđe feldspatima.

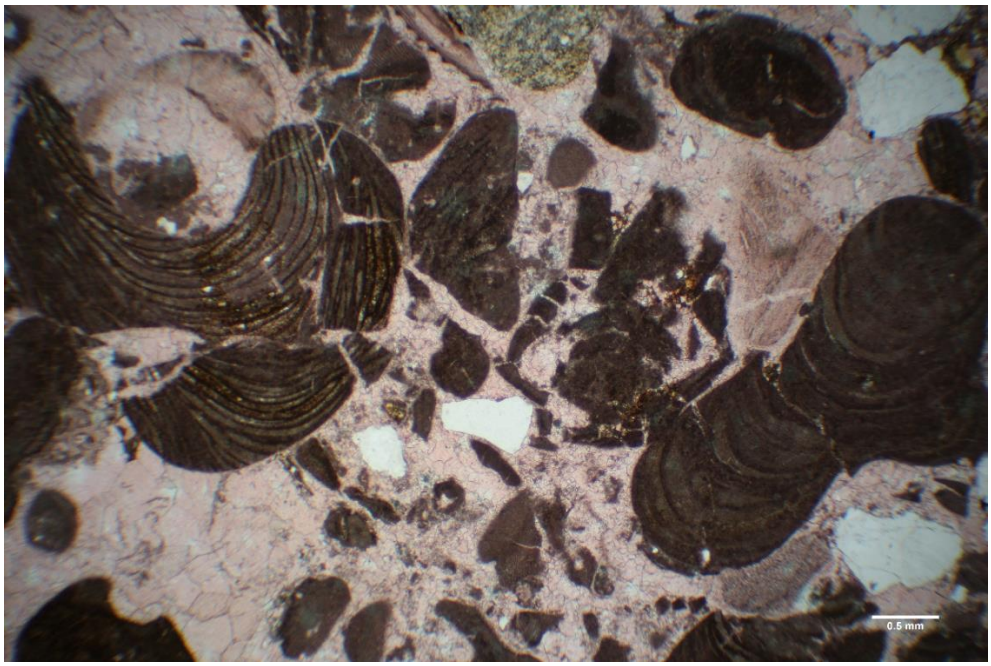
U stijenama ovoga tipa uočeni su procesi selektivne dolomitizacije prilikom koje su izrazito dolomitizirani fragmenti koralinacejskih algi. U stijenama su prisutne velike šupljine, što stijenama daje šupljikavi izgled. Po tipu porozitet odgovara intergranularnom (u fragmentima koralinacejskih algi) i intragranularnom između čestica.

INTERPRETACIJA: Prisustvo krupnoga detritusa osobito zastupljeno koralinacejskim algama ukazuje na grebensku ili prigrebensku zajednicu organizama odnosno grebensko prigrebenski okoliš taloženja tijekom gornjega badena. Na moguće grebenske uvjete ili prigrebenski okoliš koji se nalazi tik uz greben ukazuje sastav biodetritusa pri čemu koralinacejske alge i briozoi, kao tipični badenski grebenotvorci, ukazuju na egzistiranje grebena u spomenutom razdoblju. Također djelomična akumulacija mikrita/matriksa ukazuje na moguće zapunjavanje intragrebenskog prostora detritusom nastalim usitnjavanjem skeleta osnovnih grebenotvoraca (koralinacejske alge, briozoi) u uvjetima relativno visoke energije. Pri tom treba naglasiti da badenski grebeni odgovaraju krpastim grebenima (TADEJ, 2011).

Selektivna dolomitizacija odgovara kasnodijagenetskoj dolomitizaciji. Intergranularni tip pora moguće je nastao otapanjem tijekom dijageneze.



Slika 4-2. Mikropetrografski izbrusak, UZORAK BP-9 (paralelni nikoli) → biosparrudit građen od bioklasta koralinacejskih algi i fragmenata ježinaca

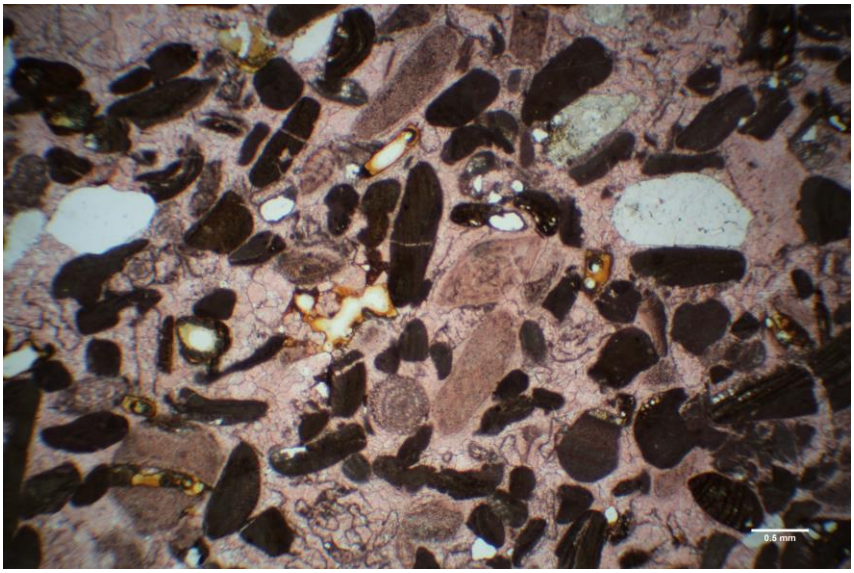


Slika 4-3. Mikropetrografski izbrusak, UZORAK BP-13 (paralelni nikoli) → biosparrudit s bioklastima koralinacejskih algi te podređeno fragmentima ježinaca i česticama kvarca

BIOSPARITI predstavljaju stijene u čijem sastavu su dominantni bioklasti koralinacejskih algi < 2 mm te rijeđe briozoe u različitim presjecima, obilje detritusa ježinaca, školjkaša i foraminifera (Slika 4-4.). Udio foraminifera je veći u odnosu na podtip biosparrudita. Biogeni klasti su dobro zaobljeni, a sortiranje je nešto bolje u odnosu na prethodno opisanu skupinu biosparrudita. Uočava se nizak udio sliliciklastične detritične (1-3%) komponente zastupljene zrnima kvarca te zrnima metamorfnih stijena. Između alokema nalazi se isključivo sparitno vezivo. U porama fosila te u još nekim šupljinama nalazi se također sekundarno iskristalizirani kalcit. I u ovom je tipu stijena uočena pojava selektivne dolomitizacije i porozitet inter- i intragranularnog tipa.

INTERPRETACIJA: Učestalost pojavljivanja relativno krupnog bioerodiranog detritusa poput koralinacejskih algi ukazuje na prigrebenski okoliš sastavljen od odlomljenih grebenotvornih organizama. Na moguće prigrebenske uvjete ukazuje sastav erodiranog biodetritusa pri čemu dominiraju koralinacejske alge, i rijeđe briozoe. Također, ne dolazi do akumulacije mikrita već je dominatno prisutno sparitno vezivo što nam ukazuje na više energetske uvjete s obzirom na podtip biosparrudita.

Intergranularni tip pora najvjerojatnije je nastao otapanjem tijekom dijageneze.

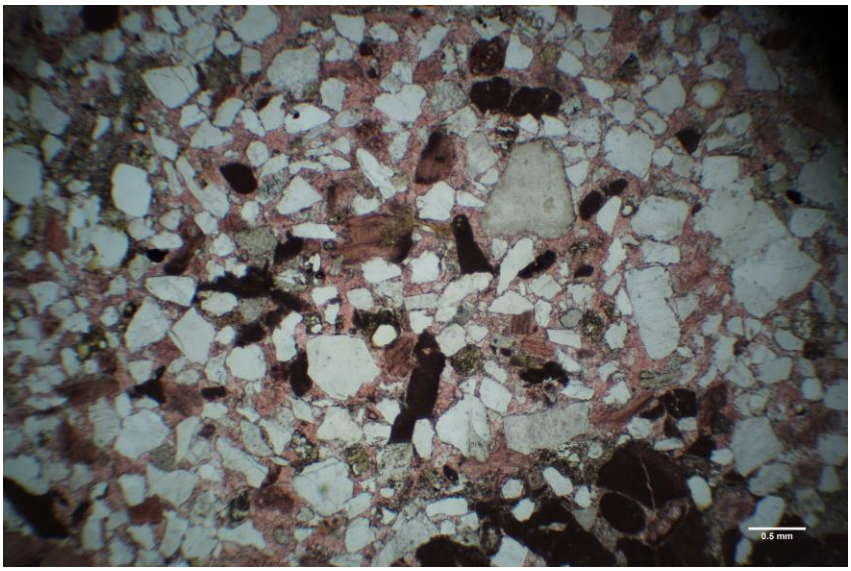


Slika 4-4. Mikropetrografski izbrusak, UZORAK BP-3 (paralelni nikoli) → biosparit građen od dobro sortiranih bioklasta koralinacejskih algi (< 2 mm) i detritusa ježinaca, školjkaša i foraminifera

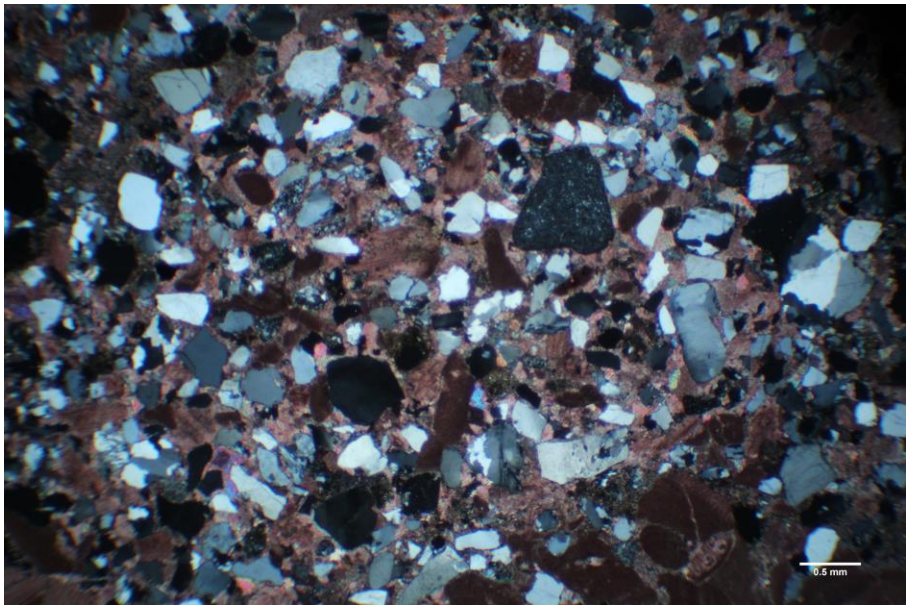
FOSILIFERNI PJEŠČENJACI

U uzorku BP-14 se uočavaju mnoge razlike s obzirom na prethodno opisane tipove biosparrudita i biosparita. U sastavu dominira siliciklastični detritus dimenzija pijeska zastupljen česticama kvarca, litoklasti metamorfnih stijena te feldspata, osobito plagioklasa (Slika 4-5. i 4-6.). U podređenoj ali još uvijek znatnoj količini prisutni su bioklasti zastupljeni dominantno koralinacejskim algama i briozoima te bentosnim foraminiferama (Slika 4-5.). U međuzrnskom prostoru prisutan je sparit. Na temelju navedenog, stijena se može definirati kao fosiliferni pješčenjak (fosiliferni litoarenit).

INTERPRETACIJA: Dominacija siliciklastičnog detritusa u sastavu uzorka BP-14 ukazuje na intenzivno trošenje kopna i pojačani donos terigenog materijala u taložni okoliš. Sastav siliciklastičnog detritusa ukazuje na trošenje metamorfnih stijena zaleđa. Istovremeno tijekom taloženja siliciklastičnog materijala postoji i donos bioklasta vjerojatno iz grebenskog/prigrebenskog dijela taložnog bazena. Smjer donosa siliciklastičnog odnosno bioklastičnog materijala je moguće suprotan. Sparitno vezivo ovih pješčenjaka ukazuje vjerojatno na taloženje u uvjetima relativno visoke energije vode tj. na prijenos materijala strujama (valovi ili tajdalne struje).



Slika 4-5. Mikropetrografski izbrusak, UZORAK BP-14 (paralelni nikoli) → fosiliferni pješčenjak građen dominatno od siliciklastičnog detritusa s česticama kvarca, litoklastima metamorfnih stijena te feldspata; podređeno su prisutni bioklasti koralinacejskih algi te bentičke foraminifere



Slika 4-6. Mikropetrografski izbrusak, UZORAK BP-14 (ukriženi nikoli) → fosiliferni pješčenjak

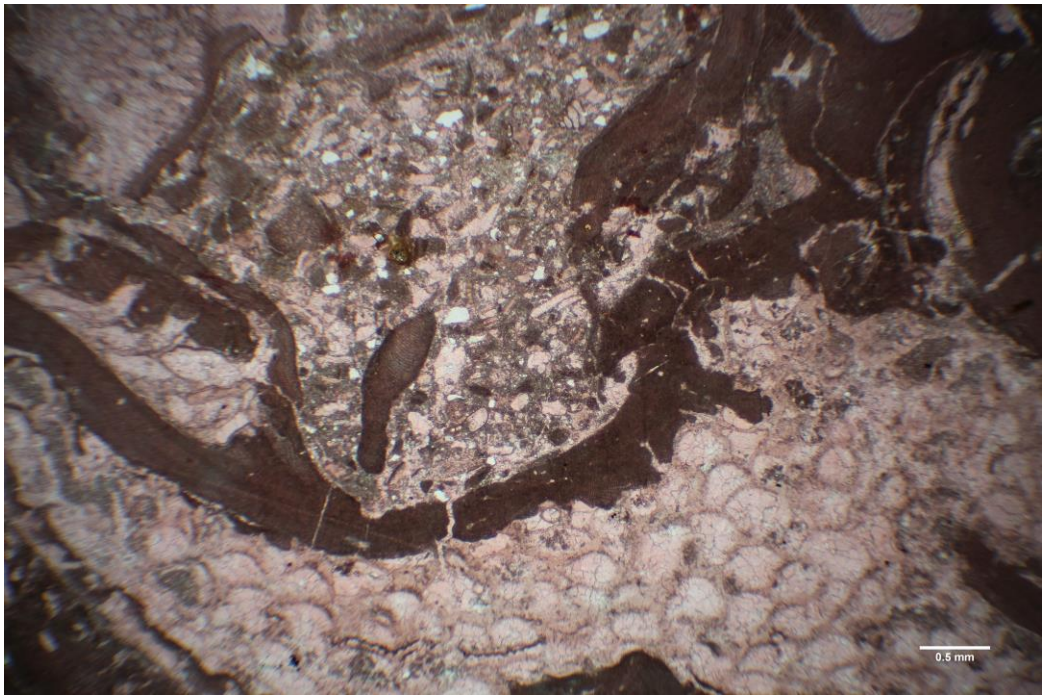
4.1.2. Stijene koje se nalaze lateralno od slijeda Bela Pećina

Na lokalitetu Bela Pećina dodatno je sakupljeno 7 uzoraka (uzorci: T-5-1, T-5-2; T-5-3; T-5-4; T-5-5; T-5-6; i T-5-7), lateralno od detaljno snimljenog slijeda Bela Pećina koji su makroskopski izgledali nešto drugačije, stoga su i ti uzorci mikropetrografski istraženi. Prema njihovim mikropetrografskim karakteristikama može se zaključiti da svi odgovaraju skupini biosparrudita s profila Bela Pećina.

BIOSPARRUDIT tip je vapnenca pretežito sastavljen od skeletnih čestica, gdje udio krupnih čestica većih od 2 mm prelazi 10% ukupnog udjela. Najzastupljeniji su dobro zaobljeni bioklasti koralinacejskih algi. U manjim se količinama pojavljuju fragmenti briozoa, te ponegdje ježinaca, školjkaša i bentičkih foraminifera (Slika 4-7.). Uočava se loše sortiran biogeni detritus. Prisutnost koralinacejskih algi i briozoa upućuje na inkrustaciju (Slika 4-7.). Gotovo je svo vezivo sastavljeno od sparita, no mjestimično se pojavljuje i mikrit, tj. sitne čestice fosilno-

mikritnog detritusa u ulozi matriksa. Rijetke su pojave siliciklastičnog materijala (kvarc, litoklasti).

INTERPRETACIJA: Prisustvo krupnog biodetritusa, kao što su koralinacejske alge i briozoi, upućuje na prigrebensku zajednicu organizama, tj. grebensko-prigrebenski okoliš gornjobadenskog taloženja. Na moguće grebenske uvjete ili prigrebenski okoliš (grebenske breče) upućuje sastav biodetritusa pri čemu koralinacejske alge, koralji i briozoi, kao klasični badenski grebenotvorci, ukazuju na postojanost grebena u navedenom razdoblju. Prisutnost mikritnog matriksa implicira na zapunjavanje intragrebenskog prostora detritusom nastalim razgradnjom i erozijom organogenih grebena. Kao posljedica razgradnje organogenog grebena došlo je do usitnjavanja skeleta osnovnih grebenotvoraca poput koralinacejskih alga, koralja te briozoa te zapunjavanja grebenskih praznina u nešto nižim energetskim uvjetima (veća količina mikrita). Intergranularni tip pora vjerojatno je formiran otapanjem tijekom dijageneze.



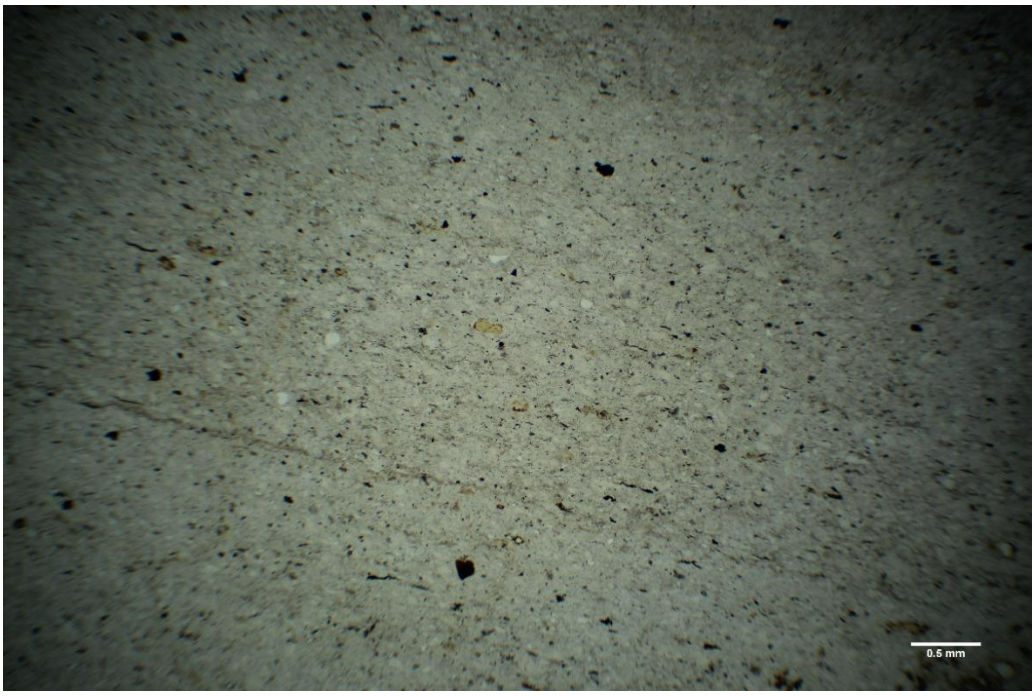
Slika 4-7. Mikropetrografski izbrusak, UZORAK T-5-7 (pararelni nikoli) → biosparrudit građen od dobro zaobljenih bioklasta koralinacejskih algi te iznimno krupnih fragmenata briozoa; moguća inkrustacija koralinacejskim algama i briozoima. U prostoru između skeleta nalazi se matriks sastavljen od mikrita, sitnozdrobljenog kršja i silicilasta.

4.2. Mikropetrografske karakteristike uzoraka sedimentnih stijena s lokaliteta Slap

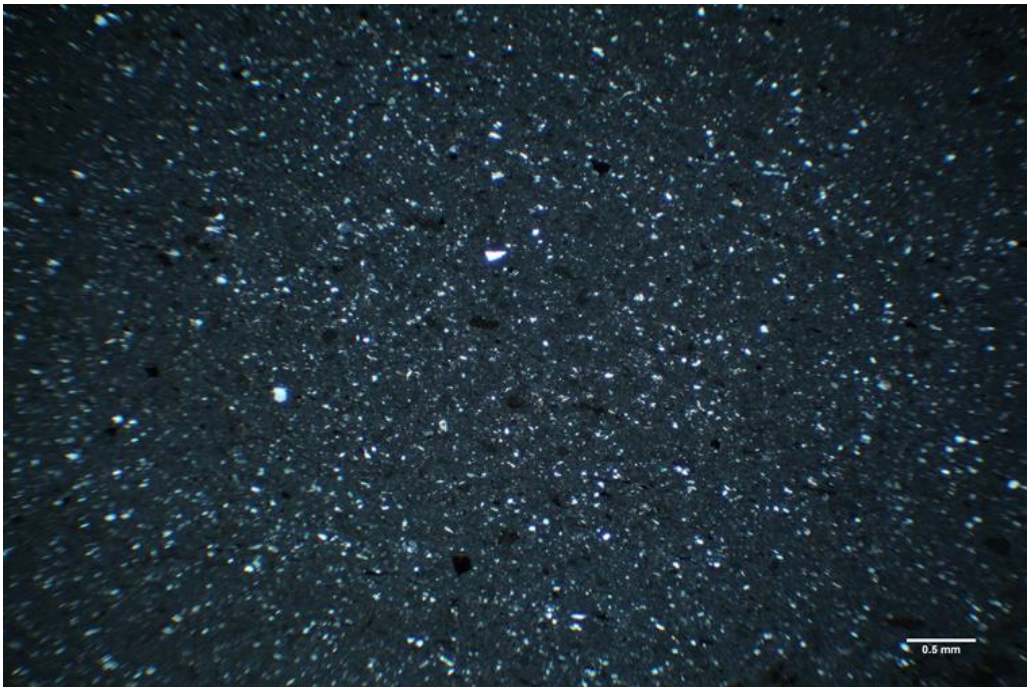
Na lokalitetu Slap (Slika 3-1. b) petrografski su analizirana tri uzorka (Slap-1, Slap-2 i Slap-3). Sva tri uzorka, međutim, ne odgovaraju tipovima vapnenca već predstavljaju miocenske tufove. Mikropetrografske karakteristike tufova su sljedeće:

U uzorcima dominiraju iznimno dobro sortirane krhotine vulkanskoga stakla (Slika 4-8. i Slika 4-9.). Krhotine se prepoznaju po specifičnim igličastim i srpastim oblicima ili oblicima slova „Y“. Primarni sastav piroklastičnih fragmenata je izmijenjen tijekom dijageneze pri čemu je staklo rekristaliziralo u kvarc s izraženim undulozним potamnjenjem. U tragovima su u ovom tipu stijena uočeni listići muskovita visokih interferencijskih boja. Zbog dominacije kristaloklasta u sastavu sva su tri uzorka definirana kao **vitriklastični tufovi.**

INTERPRETACIJA: Do taloženja vitriklastičnih tufova došlo je uslijed snažnih vulkanskih erupcija i taloženja materijala vjerojatno padanjem vulkanskoga pepela iz zraka na što ukazuje dominacija vitriklastičnog materijala i njihove ujednačene dimenzije. Taloženje u srednjem miocenu je, prema ŠIMUNIĆ i dr. (1981), bilo povremeno prekidano vulkanskim erupcijama koje Šimunić navodi kao intervale tufova unutar dominantnog taloženja karbonatnih naslaga u plitkom moru.



Slika 4-8. Mikropetrografski izbrusak, UZORAK Slap-3 (paralelni nikoli) → vitriklastični tuf građen od dobro sortiranih krhotina vulkanskoga stakla



Slika 4-9. Mikropetrografski izbrusak, UZORAK Slap-3 (ukriženi nikoli)

4.3. Stijene koje su korištene za izgradnju bazena na forumu

Petrografski su analizirana 4 uzorka stijena (AM-1-s istočnog zida, iz reda kamena s utorom; AM-2 s istočnog zida, ograda, donji red; AM-3, najmekši varijetet sa zapadnog zida bazena i AM-4 materijal ograde) koji predstavljaju građevinski kamen za gradnju bazena. Navedeni uzorci predstavljaju drugačiji tip vapnenca koji je korišten za popločavanje bazena nego pri izgradnji građevina. Tijekom isušivanja bazena stijene su pokazale nepovoljna mehanička svojstva, poput pucanja i lomljenja u vrlo sitne fragmente. Prema njihovim mikropetrografskim karakteristikama može se zaključiti da su svi uzorci biomikriti.

Mikroskopski izbrusak **AM-1** predstavlja varijetet sastavljen dominantno od sitnih planktonskih foraminifera u mikritnoj osnovi (slika 4-10.). Uočava se i prisustvo fragmenata ježinaca i podređeno vrlo tanke ljušture školjkaša, te pojava procesa dolomitizacije u pojedinim dijelovima uzorka. U mikritnoj osnovi djelomično je prisutan mikrit, a djelomično je osnova izgrađena od sitno zdrobljenog fosilnog kršja i mikrita u ulozi matriksa.

Stijena je determinirana kao **biomikrit.**

U uzorku **AM-2** također prevladavaju sitne ljušturice planktonskih formanifera te se zapaža poprilična količina fragmenata ježinaca većih od 2 mm i nizak udio čestica terigenog kvarca. Nerijetko se pojavljuje i dijagenetski glaukonit prepoznatljiv po karakterističnoj zelenoj boji (Slika 4-11.).

Između zrna nalazi se mikritno vezivo, stoga je stijena određena kao **biomikrit**.

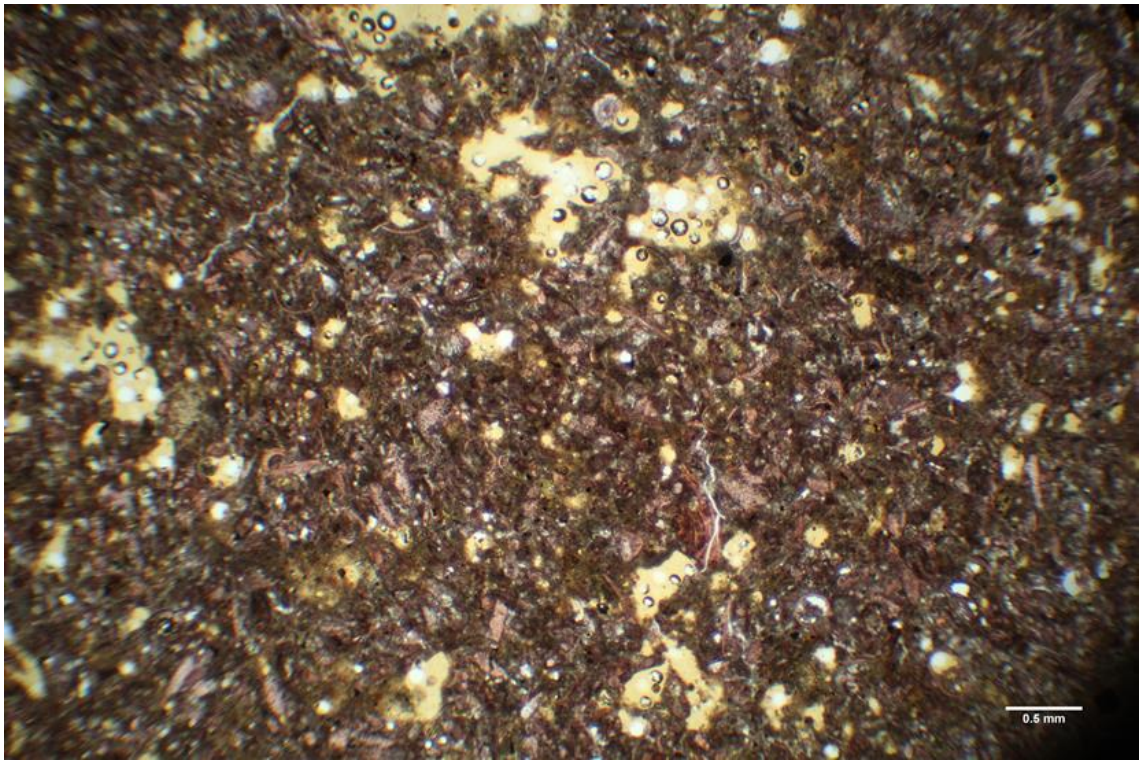
Mikroskopski izbrusak **AM-3** predstavlja najmekši varijetet sastavljen dominantno od fosila planktonskih foraminifera (Slika 4-12.). U manjoj količini prisutni su fragmenti ježinaca, školjkaša, bentosne foraminifere te detritična zrna kvarca i glaukonita. Između alokema prisutno je isključivo matriks sastavljen od usitnjenog fosilno-mikritnog detritusa. Za razliku od ostalih AM uzoraka, ovaj je uzorak svjetliji, moguće zbog procesa dolomitizacije koji zahvaća čitavi uzorak.

Prema tome, stijena je klasificirana kao **dolomitizirani biomikrit**.

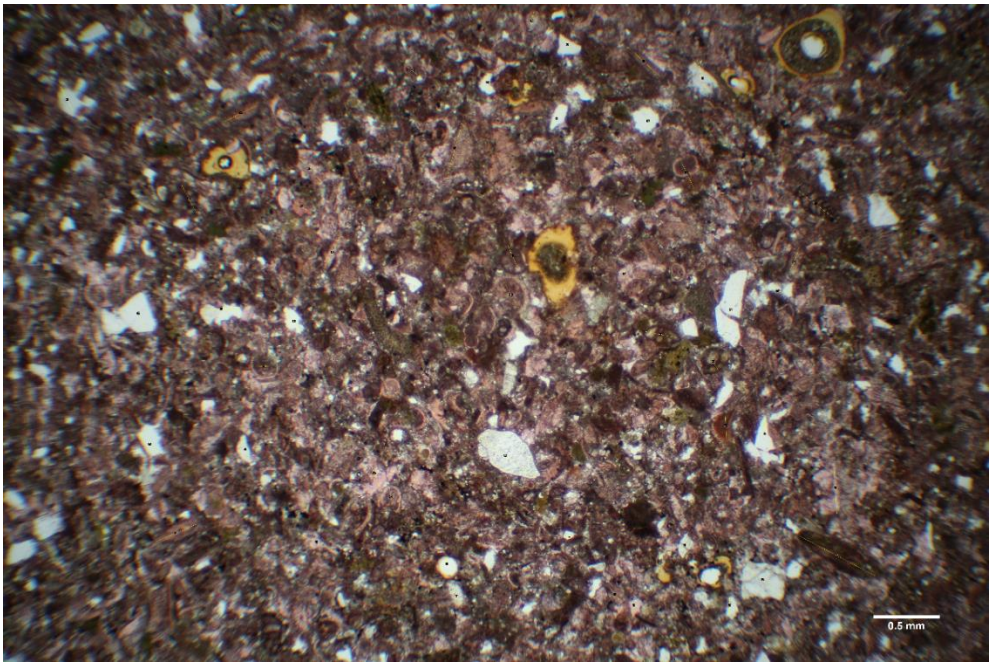
Mikropetrografskom analizom uzorka **AM-4** utvrđena je dominacija fosila planktonskih foraminifera. Također se uočavaju fragmenti ježinaca različitih veličina, bentičke foraminifere, te nizak udio siliciklastičnog materijala poput kvarca. Čestice glaukonita rjeđe su zastupljene u odnosu na ostale analizirane uzorke (Slika 4-13.).

Između alokema prisutno je isključivo mikritno vezivo te izbrusak predstavlja **biomikrit.**

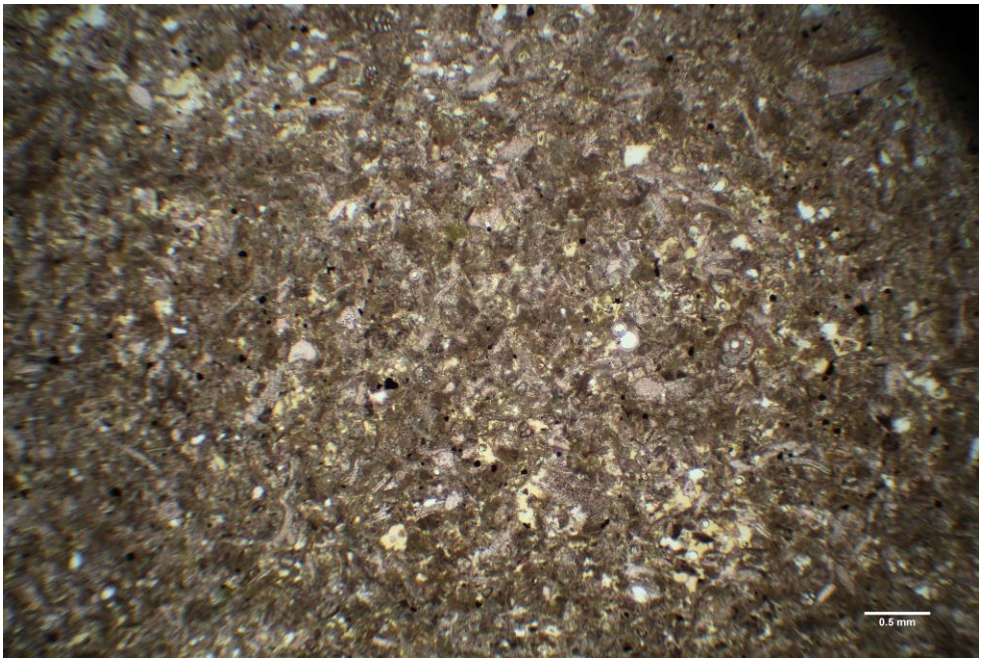
INTERPRETACIJA: Zbog visokog udjela karbonatnog mulja (mikrita) može se zaključiti da je ovaj tip vapnenaca taložen u niskoenergijskom području, dok planktonski organizmi ukazuju na otvoreni, dublji marinski prostor (odobalje). Fragmenti ježinaca vjerojatno su pretaloženi iz plićih dijelova povremenim strujama s grebena. Prisustvo glaukonita također ukazuje na slabo aerirano područje tj. područje niske energije vode.



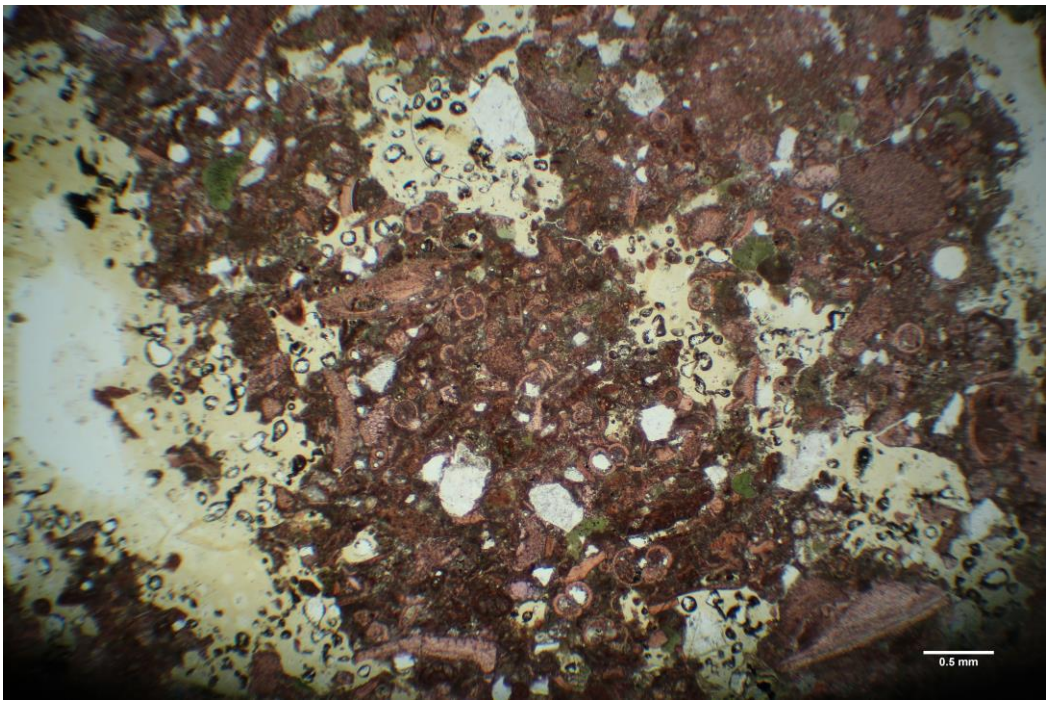
Slika 4-10. Mikropetrografski izbrusak, UZORAK AM-1 (paralelni nikoli) → biomikrit sastavljen dominantno od sitnih planktonskih foraminifera u mikritnoj osnovi.



Slika 4-11. Mikropetrografski izbrusak, UZORAK AM-2 (paralelni nikoli) → biomikrit primarno građen od sitnih ljušturica planktonskih foraminifera u mikritnoj osnovi te nerijetka pojava glaukonita (zelene boje)



Slika 4-12. Mikropetrografski izbrusak, UZORAK AM-3 (paralelni nikoli) → biomikrit građen od fosila planktonskih foraminifera i mikrita; podređena pojava fragmenata ježinaca.



Slika 4-13. Mikropetrografski izbrusak, UZORAK AM-4 (paralelni nikoli) → biomikrit građen dominantno od ljušturica fosila planktonskih foraminifera; niži udio fragmenata ježinaca različitih veličina, te nizak udio siliciklastičnog materijala poput kvarca; čestice glaukonita (zelene boje) također su zastupljene u uzorku.

5. RASPRAVA I ZAKLJUČAK

U radu je istraženo moguće porijeklo materijala upotrijebljenog pri gradnji rimskog naselja *Aquae Iasae* u Varaždinskim Toplicama. Na osnovi prijedloga arheologa koji rade na otkopavanju i sanaciji navedenog nalazišta istražena su dva lokaliteta – Bela Pećina i Slap (ukupno 24 uzorka) u blizini rimskog naselja te su dodatno analizirana 4 mikropetrografska uzorka arheološkog materijala upotrijebljenog pri izgradnji izvorišnog bazena na forumu rimskog naselja. Utvrđeno je da su na lokalitetu Bela Pećina (uzorci iz slijeda sedimenata Bela Pećina BP-1 do BP-14 i uzorci sakupljeni lateralno od slijeda (T-5-1 do T-5-7) prisutni miocenski biogeni vapnenci te jedan uzorak fosilifernog pješčenjaka, dok stijene lokaliteta Slap (Slap-1, Slap-2, Slap-3) odgovaraju miocenskim tufovima.

Trinaest analiziranih uzoraka s lokaliteta Bela Pećina odgovaraju biogenim vapnencima badenske (srednjemiocenske) starosti i jedan (na vrhu slijeda, BP-14) fosilifernom pješčenjaku (fosilifernom litoarenitu). Vapnenci su određeni kao tipovi biosparita i biosparrudita. U sastavu dominira arenitni (<2 mm) ili ruditni (> 2 mm) biodetritus zastupljen koralinacejskim algama, briozoima, ježincima, školjkašima i foraminiferama. Vezivo je dominantno sparitno osim u uzorcima s krupnijim biodetritusom (bioruditima) u kojima je utvrđeno i nešto sitnozrnatog matriksa koji se sastoji od mikrita i sitnozdrobljenog skeletnog kršja. Iste badenske naslage su pri izradi osnovne geološke karte (ŠIMUNIĆ i dr.., 1983) definirane kao biogene vapnence, no ima i drugačijih odredbi. Srednjemiocenske stijene identičnog sastava analizirane iz sjeverozapadnog dijela Dravske depresije (naftna polja Molve i Kalinovac) TADEJ (2011) determinira kao biokalkarenite i biokakrudite, odnosno ne koristi uvriježenu klasifikaciju vapnenaca prema FOLKU (1962) već se koristi starijim, ali često korištenim, nazivom za ovaj tip stijena. Razlog je vjerojatno promjenjivi udio detritične siliciklastične komponente koja može varirati sve do prijelaza u fosiliferne pješčenjake, a za takve su se stijene obično upotrebljavali nazivi biokalkarenit i biokalkrudit. Analizirajući sastav i taložni okoliš naslaga srednjeg miocena (badena) na Medvednici, autori VRSALJKO i dr. (1995) primjenjuju za ove stijene naziv „litavac“ i „litotamnijski vapnenac“ te ih smatraju biokalkarenitima/biokalkruditima pri čemu niži dio ovog facijesa izgrađuje biolititne (grebenske) stijene, a središnji i viši (mlađi) dio naglašenu bioakumulaciju erodiranog grebenskog detritusa uključujući mjestimično i prinos siliciklastičnog meterijala.

Za tipove stijena, koje su u radu određen kao biospariti/biosparruditi, moglo bi se također reći da pripadaju biokalkarenitima/biokalkruditima (prema TADEJ, 2011) odnosno da su to litotamnijski vapnenci/litavci (prema VRSALJKO i dr., 1995).

Uspoređujući u radu analizirane stijene i njihove nazive može se zaključiti da su tipovi biosparita/biosparrudita već i ranije određeni kao najčešći tipovi upotrebljavani pri izgradnji građevina rimskog naselja *Aquae Iasae* (HORVAT, 2011; ALJINOVIĆ, 2015). Tip fosilifernog pješčenjaka (litoarenita) nije ranije bio opisan pri petrološkoj analizi građevinskog materijala, no nije isključeno da je korišten (analiziran je relativno mali broj arheoloških uzoraka). Može se zaključiti da uzorci analizirani u slijedu Bela Pećina (BP- 1 do BP-13) i bočno (lateralno) od njega (T-5-2 do T-5-7) predstavljaju isti tip vapnenaca koji je ujedno i najčešći tip vapnenca upotrebljavanog za izgradnju građevina u rimskom naselju. Prema tome lokalitet Bela Pećina bi mogao biti mjesto eksploatacije građevinskog materijala u rimsko doba.

Već su arheolozi utvrdili da je pri izgradnji izvorišnog bazena na forumu korišten drugačiji tip vapnenaca, sada izrazito nepovoljnih geomehaničkih svojstava. Već ranije analizirani ovaj tip vapnenca (HORVAT, 2011) određen je kao biomikrit koji se sastoji od karbonatnog mulja u osnovi te planktonskih foraminifera. Ovaj dominantno mikritni tip stijene utvrđen je i mikropetrografskom analizom uzoraka istraženih u ovom radu i to: AM-1-s istočnog zida, iz reda kamena s utorom; AM-2 s istočnog zida, ograda, donji red; AM-3, najmekši varijetet sa zapadnog zida bazena i AM-4 materijal ograde. Utvrđen je identični sastav ovih biogenih vapnenaca tipa biomikrita s već ranije analiziranim uzorcima materijala izvorišnog bazena prikazanim u HORVAT (2011).

Uzorci vitroklastičnog tufa s lokaliteta Slap (Slap-1, Slap-2, Slap-3.), koji su u potpunosti izgrađeni od piroklastičnog materijala vulkanskog porijekla i po sastavu uopće ne pripadaju vapnencima, ispušteni su iz razmatranja kao potencijalni lokalitet eksploatacije kamena u rimsko doba.

Svi analizirani tipovi vapnenaca, korišteni pri izgradnji građevina ili izvorišnog bazena na forumu mogu se međusobno razlikovati i s obzirom na paleookoliš njihovog postanka. Za srednjemiocenske (badenske) taloge (gotovo identičnog sastava kao uzorci analizirani u ovom radu) TADEJ (2011) smatra da predstavljaju strukturne varijetete vapnenaca plitkomorskog okoliša. Pritom su bioakumulirani vapnenci nastali pretaloživanjem skeletnog materijala u

plićaku. Obilje skeletnog detritusa i rijetki siliciklastični detritus ukazuje na bogatu organsku produkciju u litoralnoj priobalnoj zoni gdje su vladali povoljni uvjeti za razvoj briozojsko-algalnih grebena (TADEJ, 2011). Visokoenergetski marinski režimi struja i valova rezultirali su razaranjem biohermalnih tvorevina i taloženjem bioklastičnog detritusa u prigrebenskoj zoni. Završni slojevi biokalkarenita ukazuju na produbljavanje (TADEJ, 2011).

Sukladno TADEJ (2011), uzorci iz slijeda Bela Pećina koji odgovaraju biosparruditima s krupnim biodetritusom, sparitnim i djelomično mikritnim vezivom su se vjerojatno taložili neposredno uz greben. Grebeni u srednjem miocenu su odgovarali malim krpastim grebenima (*patch-reef*) (TADEJ, 2011). Prisustvo krupnijeg biodetritusa i inkrustanata (koralinacejske alge) te sitnozdrobljenog matriksa mogao bi upućivati i na okoliš malih grebena *in-situ*. Pritom kod visokoenergetskih grebena (TUCKER & WRIGHT, 1990) grebenska struktura je gotovo potpuno razorena s iznimkom rijetkih fragmenata grebenotvornih organizama okruženih sitno zdrobljenim kršjem (matriksom). Sitno zdrobljeni matriks se u ovom tipu stijena mogao sačuvati i zahvaljujući inkrustaciji koralinacejskih algi i briozoa.

Tipovi biosparita ukazuju na taloženje u prigrebenskoj zoni uz uvjete visoke energije vode. O ovakvim uvjetima svjedoči i dominantna prisutnost sparita u vezivu odnosno odsustvo mikritnog veziva koji je u uvjetima visoke energije bio ispran.

Uzorci biomikrita (AM-1, AM-2, AM-3, AM-4) sadrže planktonske foraminifere i već samim tim ukazuju na dublji, otvoreni, marinski prostor gdje se mikrit zajedno s ljušturicama planktonske faune akumulira u uvjetima niske energije vode, vjerojatno u distalnom, dubljem marinskom prostoru (odobalju).

Imajući u vidu različito facijesno porijeko biosparita/biosparrudita i biomikrita te činjenicu da su na lokalitetu Bela Pećina nedostaju tipovi biomikrita, može se zaključiti da materijal upotrijebljen pri izgradnji izvorišnog bazena na forumu rimskog naselja *Aquae Iasae* ne potječe s ovog lokaliteta.

Ostaje nejasno zašto su pri izgradnji naselja, Rimljani koristili različiti materijal za izgradnju građevina (miocenski/badenski biospariti/biosparruditi = biokalkarenit/biokalkruditi = litotamnijski vapnenci/litavci) i izvorišnog bazena (miocenski/badenski biomikriti). Odgovor se možda može pronaći u samom vanjskom izgledu ova dva tipa vepnenaca. Tip biosparita/biosparrudita (biokalkarenit/biokalkruditi = litotamnijski vapnenci/litavci) je izrazito

makroporozan. Već su prostim okom, ali i mikropetrografskom analizom, vidljive brojne velike interskeletne i intragranularne pore od kojih su intragranularne sigurno nastale procesima otapanja tijekom dijageneze. Pretpostavljajući visoki porozitet postoji mogućnost da su stari Rimljani ovaj varijetet nastojali izbjeći prilikom opločavanja izvorišnog bazena (kako ne bi gubili vodu) pa su koristili varijetet biomikrita koji je gušći, sitnozrnatiji i bez izraženih makropora. Postoji mogućnost da je u varijetetu biomikrita sadržano i nešto gline koja dalje doprinosi slabijoj propusnosti, no ovu karakteristiku bi trebalo dalje laboratorijski istražiti. Nema dovoljno podataka o geomehaničkim svojstvima biomikrita upotrebljenih pri izgradnji bazena, no čini se da oni pokazuju adekvatna svojstva obzirom na postojanost i propusnost dok se nalaze u vodi. Njihovo pucanje (prema navodima arheologa) počinje dužim izlaganjem na zraku.

LITERATURA

ALJINOVIĆ, D. (2015): Geološka situacija oko termalnog izvora i porijeklo građevisnkog materijala. U: Nova otkrića iz rimskog razdoblja na području Varaždinskih Toplica. 126-128 Arheološki muzej Zagreb

ALJINOVIĆ, D., BARUDŽIJA, U., KUŠAN ŠPALJ, D., & NEMETH-ERLICH, D. (2004): Mixed thermal and ambient water travertines of Ancient Roman Spa-*Aquae Iasae* -Varaždinske Toplice, u Ozkul, M., Yagiz, S., Jones, B. (ur): Proceedings of 1st International Symposium on Travertine – Denizli, Kozan Ofset Matbaacilik San. ve Tic. Ltd. Sti. Ankara 2004, str. 71-74

GORJANOVIĆ – KRAMBERGER, D. (1904): Geologijska prijegledna karta Kraljevine Hrvatske-Slavonije, Tumač geologijske karte Zlatar-Krapina, Zona 21, 44 str., Naklada Kr. zemalj. vlade, Odjel za unutarnje poslove, Zagreb

HORVAT, V. (2011): Petrološke karakteristike građevnog materijala i travertina iz podloge arheološkog nalazišta *Aquae Iasae* - Varaždinske Toplice 2011., završni rad, Rudarsko - geološko - naftni fakultet, Zagreb, 35 str.

KUŠAN ŠPALJ, D. (2017): *Aquae Iasae* – nova otkrića u rimskom svetištu – s posebnim osvrtom na kultove Apolona, Eskulapa i Serapisa, VAMZ, 3. ser.I, 2017, 255-308

KUŠAN ŠPALJ, D., & NEMETH-EHRLICH, D. (2012): *Aquae Iasae* - Varaždinske Toplice, arheološka istraživanja rimskog izvorišnog bazena i okolnog prostora (*Aquae Iasae* - Varaždinske Toplice, archaeological research of Roman spring pool and its surroundings), Arheologija varaždinskog kraja i srednjeg Podravlja, Balen, J., Šimek, M. (ur.), Izdanja HAD-a, sv. 28, Zagreb, str. 107-130

MALEZ, M. (1983): Razvoj kvartara, fosilnog čovjeka i njegovih materijalnih kultura na tlu sjeverne Hrvatske, Varaždinski zbornik, Jugosl. akad. znan. i umjet, i Skupštine općine Varaždin, str. 121-145

MARKOVIĆ, S. (2002): Hrvatske mineralne sirovine. Institut za geološka istraživanja Zagreb, Zavod za geologiju, 560 str.

NEMETH EHRLICH, D. & KUŠAN ŠPALJ, D. Rimsko naselje *Aquae Iasae* – rezultati arheoloških istraživanja na prostoru gradskog parka u Varaždinskim Toplicama. U: Nova

otkrića iz rimskog razdoblja na području Varaždinskih Toplica. 21-32, Arheološki muzej Zagreb,

RASBAND, W.S. (1997-2018); ImageJ, U. S. National Institutes of Health, Bethesda, Maryland, USA, https://imagej.nih.gov/ij/

ŠIMUNIĆ, A. (1988): Geološko-tektonska osnova termomineralnih vrela u Varaždinskim Toplicama, Radovi Zavoda za znanstveni rad Jugoslavenske akademije znanosti i umjetnosti, 2, str. 9-29

ŠIMUNIĆ, AN., PIKIJA, M. & HEĆIMOVIĆ, I. (1983): Osnovna geološka karta SFRJ, list Varaždin, 1:100 000, L 33-69. Geol. zavod. OOUR za geol. i paleont. Zagreb. 1971-1978. Savezni geološki zavod. 1983. Beograd.

ŠIMUNIĆ, AN., PIKIJA, M., HEĆIMOVIĆ, I., & ŠIMUNIĆ, AL. (1981): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100 000. Tumač za list Varaždin, L 33-69, 1-75. Geol. zavod Zagreb, 1982. Savezni geol. zavod, Beograd.

TADEJ, J. (2011): Razvoj ranomiocenskih i srednjemiocenskih taložnih okoliša s sjeverozapadnog dijela Dravske depresije na temelju podataka iz dubokih bušotina, doktorski rad, Rudarsko-geološko-naftni fakultet, Zagreb, 168

TIŠLJAR, J. (2001): Sedimentologija karbonata i evaporita, Institut za geološka istraživanja, 375 str.

TUCKER, M. E., & WRIGHT, P. V. (1990): Carbonate Sedimentology, Blackwell Science Ltd., 496 str.

VLAHOVIĆ, S. (2012): Prikaz konzervatorsko-restauratorskih radova na novootkrivenom rimskom reljefu s motivom tri nimfe iz Varaždinskih Toplica, Radovi Zavoda za znanstveni rad HAZU Varaždin; br. 23, 2012., str. 301-319

VRSALJKO, D., ŠIKIĆ, K., PIKIJA, M., GLOVACKI-JERNEJ, Ž. & MIKNIĆ, M. (1995): Miocenske naslage Gornjeg Vrapča. U: ŠIKIĆ, K. (1995): Geološki vodič Medvednice, Institu za geološka istraživanja, INA-Industrija nafte d.d., Naftaplin, Zagreb, 61–66

ŽIGOVEČKI GOBAC, Ž., POSILOVIĆ, H. & BERMANEC, V. (2009): Indentification of biogenetic calcite and aragonite using SEM, Geologica Croatica, Zagreb, 201-206

Web izvori:

Google Earth, earth.google.com/web/ (*Pristupljeno 11.veljače 2020., 20:30*)