

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
PRIRODOSLOVNO-MATEMATIČKI FAKULTET  
GEOLOŠKI ODSJEK

Kristina Tripalo i Monika Relković

**Bioerozivne strukture u bazi miocenske transgresije na Medvednici i njihovi recentni  
ekvivalenti u Jadranu**

Zagreb, 2016.

Ovaj rad izrađen je u Geološko-paleontološkom zavodu Geološkog odsjeka i Zoologijskom zavodu Biološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta pod vodstvom izv. prof. dr. sc. Jasenke Sremac i doc. dr. sc. Tatjane Bakran-Petricioli i predan je na natječaj za dodjelu Rektorove nagrade 2015./2016. godine.

## Sadržaj rada

1.Uvod	1
2.Hipoteza	2
3.Materijali i metode	3
4.Teorijska osnovica	4
4.1.Paratetis u miocenu	4
4.2.Morski organizmi koji se ubušuju u kamenu podlogu	5
5.Opis lokaliteta	8
5.1.Gornje Orešje	8
5.2.Lokaliteti Sjevernog Jadrana	9
6.Rezultati	10
6.1.Opis bušotina iz Gornjeg Orešja	10
6.2.Opis recentnih bušotina na različitim podlogama	10
7.Rasprava	13
8.Zaključci	14
9.Zahvale	15
10.Popis literature	16
11.Sažetak	22
12.Summary	23
13.Životopisi	24

## 1. Uvod

Područje sjeverne Hrvatske bogato je paleontološkim lokalitetima. Jedno od istaknutijih nalazišta u tome dijelu Hrvatske je kamenolom Gornje Orešje, smješten na sjeveroistoku Medvednice, u kojem su na površini vidljive stijene kredne i miocenske starosti. Srednjomiocenske sedimentne stijene obiluju raznolikim morskim organizmima, od kojih su od posebnog interesa za ovaj rad bušaći, koji obilježavaju početak transgresivnog slijeda miocenskih naslaga. Među njima najzastupljeniji su školjkaši i kamenotočne spužve. Od školjkaša prisutni su rodovi *Lithophaga* (prstaci) i *Gastrochaena*, dok su spužve predstavljene rodom *Cliona*.

Njihova prisutnost ukazuje na toplu klimu (miocenski klimatski optimum), kao i na vrhunac karbonatne produkcije u Paratetisu. Cilj ovog rada je bolje razumijevanje marinske faune miocena Paratetisa na temelju korelacije fosilnog materijala Gornjeg Orešja s recentnim materijalom iz Sjevernog Jadrana.

## **2. Hipoteza**

Tijekom srednjeg miocena (prije 14-15 milijuna godina) u Paratetisu su vladali približno slični životni uvjeti kao u današnjem Jadranskom moru, stoga nam današnji jadranski organizmi mogu poslužiti kao model za razumijevanje miocenskih organizama i okoliša.

U skladu s time izgled bušotina sačuvanih u miocenskim sedimentnim stijenama Paratetisa, može nas uputiti na vrstu organizama koji su se ubušavali u čvrste podloge (infaunalni školjkaši i kamenotočne spužve).

### 3. Materijali i metode

Terenskim radom prikupljen je materijal s miocenskog nalazišta Gornje Orešje, te s područja sjevernog Jadrana. Materijali su zatim bili podvrgnuti izradi nabrusaka u Mokrom laboratoriju Geološko-paleontološkog zavoda Geološkog odsjeka Prirodoslovno-matematičkog fakulteta.

Odabrani uzorci stijena prvo su rotirajućom dijamantnom pilom izrezani na pločice debljine nekoliko centimetara. Nakon toga su prerezani dijelovi pločice ručno brušeni abrazivnim korundovim prahom radi postizanja glatke i ravne površine. Nabrusci su potom skenirani i mjereni pomičnim mjerilom (Slika 1).



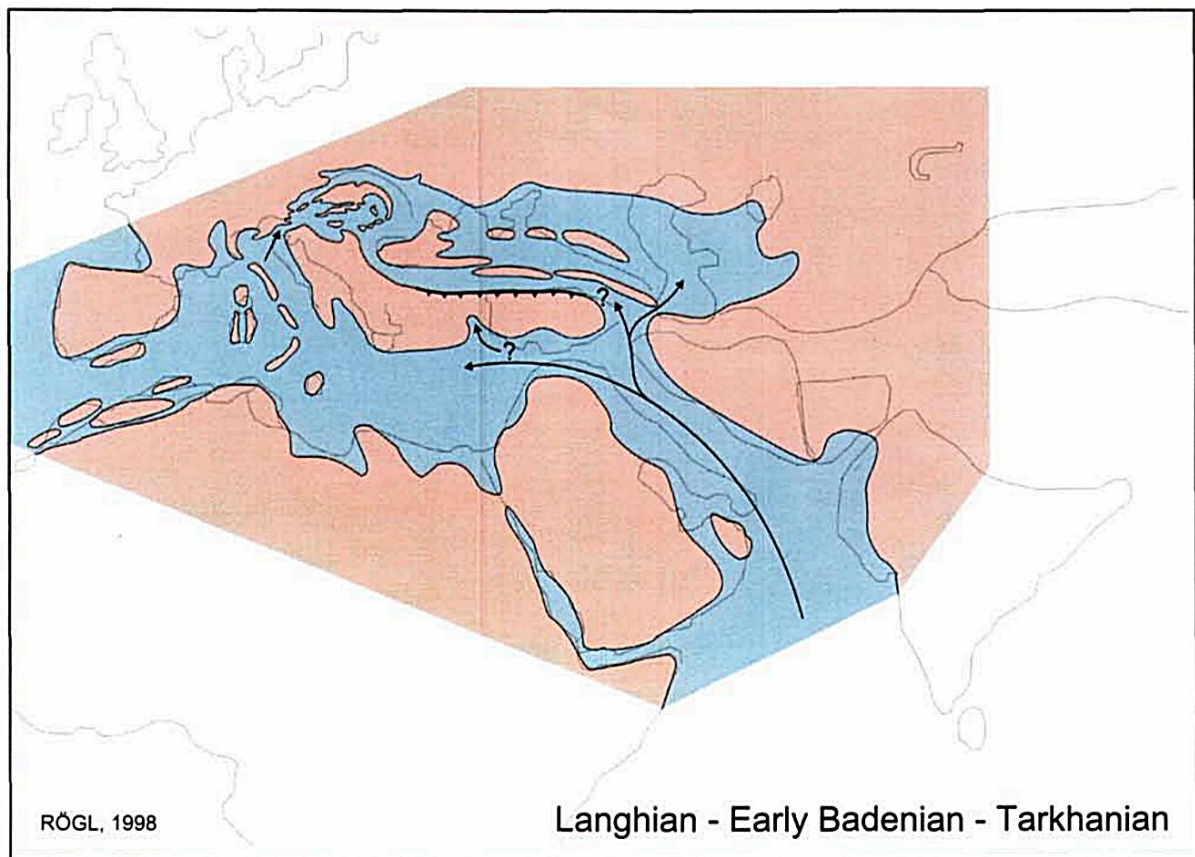
Slika 1: Pomično mjerilo.

Ukupno je prikupljeno 20 valutica, promjera od 1 do 25 cm na području Gornjeg Orešja, 8 s otoka Krka, te 3 valutice iz područja Ribarice kraj Karlobaga. Svi su uzorci makroskopski promotreni, a najreprezentativniji odabrani su za izradu nabrusaka. S miocenskog nalazišta Gornje Orešje izabrana su 2 uzorka, iz karbonatnog materijala otoka Krka izdvojili smo 4, dok smo s područja Ribarice kraj Karlobaga odabrali 3 uzorka.

## 4. Teorijska osnova

### 4.1. Paratetis u miocenu

Sudar kontinentalnih ploča tijekom gornjeg eocena dovodi do raspada Tetis oceana, čiji je ostatak današnje Mediteransko područje. Jedan krak nekadašnjeg Tetisa pokrivao je nizinska područja iza niza novoizdignutih planina, a nazvano je Paratetis (LASKAREV, 1924, RÖGL, 1998) (Slika 2).



Slika 2: Paleogeografska rekonstrukcija Paratetisa u miocenu prema RÖGL, 1998.

Razvoj Paratetisa i njegovo oslađivanje popraćeno je faunalnim izumiranjem i pojavom endema (RÖGL, 1996).

Centralni Paratetis, koji je pokrivao Panonski bazenski sistem i Alpsko–Karpatski prednji dio, predstavljao je epikontinentalno more s povremenim prolazima prema Mediteranu i Istočnom Paratetisu (KOVÁČ i sur., 2007). Tijekom donjeg miocena, od morskog pojasa Centralnog Paratetisa ostao je samo Panonski bazen i Karpatski prednji dio (HOHENEGGER

i sur., 2009). Baden Centralnog Paratetisa karakteriziran je trima velikim transgresijama (RÖGL, 1998; KOVÁČ i sur., 2007; HOHENEGGER i sur., 2009, 2014) kojima je dokumentirano postepeno preplavlivanje cijelog Panonskog bazenskog sustava (KOVÁČ i sur., 2007). Prema tome, baden Centralnog Paratetisa možemo podijeliti na tri dijela (donji, srednji, i gornji) gotovo jednakog trajanja (HOHENEGGER i sur., 2014).

Gornjobadenske naslage južnog Panonskog bazena najčešće transgresivno naliježu na starije miocenske sedimente, kao i na predmiocensku podlogu te odgovaraju naslagama nastalim za vrijeme prvog porasta razine mora, odnosno transgresije (sensu HAQ, 1988; PAVELIĆ, 2005; VRSALJKO i sur., 2006; KOVÁČ i sur., 2007). Slijed se, gotovo u cijelosti, sastoji od transgresivnih konglomerata na koje uglavnom naliježu plitkovodni aljni vapnenci i dubokovodni lapori (BRLEK i sur., 2016).

Tijekom ranih faza srednjomiocenske transgresije, marinska biota zauzela je novo formiran Paratetis. Zahvaljujući povoljnim okolišnim i klimatskim uvjetima, raznolikost života na grebenima i grebenskim strukturama je probujala (SREMAC i sur., 2016).

Tijekom druge badenske transgresije Centralnog Paratetisa, more se proširilo do Sjeverozapadnog dijela Hrvatskog bazena, Bečkog bazena, Dunavskog bazena, Istočnoslovačkog i Transilvanijskog bazena te je dostiglo i Karpatski prednji dio (KOVÁČ i sur., 2007). Najnovija istraživanja pokazuju da se druga transgresija dogodila za vrijeme srednjeg badena (HOHENEGGER i sur., 2014). Na temelju mikropaleontoloških analiza dokazano je da su marinske naslage, tijekom badenske transgresije Centralnog Paratetisa, djelomice preplavile kopno, a dijelom intrudirale u lakustrični okoliš Sjevernohrvatskog bazena centralnog dijela Medvednice (BRLEK i sur., 2016).

#### **4.2. Morski organizmi koji se ubušuju u kamenu podlogu**

Najčešće životinje bušaći Jadranskog mora i Sredozemlja općenito su školjke i spužve. Od školjkaša najpoznatije su vrste *Lithophaga lithophaga* (prstac) i *Gastrochaena dubia* dok su kod spužvi dominantne i nama najpoznatije vrste koje pripadaju rodu *Cliona*.

*Lithophaga lithophaga* endolitski je školjkaš koji buši vapnenačke stijene glandularnom („žljezdanom“) sekrecijom (MORTON i SCOTT, 1980). Široko je rasprostranjen u infralitoralu, pretežito u plitkim područjima, Mediterana, istočnog Atlantika od Portugala do Maroka kao i u Crvenom moru (FISCHER i sur., 1987). Rastu jako sporo (DEVESCOVI, 2009) te su tako u prirodnim staništima prstaci dužine 1 cm stari otprilike tri godine (KLEEMAN, 1973; GALINOU–MITSOUDEI i SINIS, 1995). Također mogu bušiti i umjetne



vapnenačke strukture (DEVESCOVI, 2009). Njih najčešće koloniziraju juvenilne populacije u roku od godinu dana (GALINOÛ–MITSOUÛI i SINIS, 1995). U drugim slučajevima, stijene moraju prvo biti erodirane drugim endolitskim vrstama, kao na primjer kamenotočnom spužvom *Cliona celata* Grant, 1826, te može proći od 5 do 10 godina prije kolonizacije prstaca (PIEROTTI i sur., 1966; ŠIMUNOVIĆ i GRUBELIĆ, 1992).

Neovisno o vremenu potrebnom za početak kolonizacije, čini se da je rast brži na umjetnim strukturama nego na prirodnim strukturama te se vjerojatno i morfološki razlikuju ovisno o strukturama u kojima se nalaze (DEVESCOVI, 2009). Distribucija prstaca ograničena je prirodom substrata, odnosno je li podloga sastavljena od vapnenca ili dolomitičnog vapnenca, inklinacijom substrata, generalnom arhitekturom stjenovite podloge te dubinom (KLEEMANN, 1973; DEVESCOVI i sur., 2005; FANELLI i sur., 1994). Prstaci biraju vertikalne stijene s malo sedimenta u kojima dube 10 do 20 cm duge hodnike okomite na površinu kamena (MILIŠA JAKŠIĆ i BIZJAK, 2010). Dijelovi intenzivno kolonizirani prstacima mogu se pronaći do 6 m dubine (DEVESCOVI i IVEŠA, 2008), a sporadično se mogu naći i na dubinama od 25 m (DEVESCOVI, 2009).

Nove histokemijske analize pokazuju da je glavni mehanizam kemijskog bušenja u karbonatnu stijenu sekrecija, sastavljena od neutralnog mukoproteina (pH ~ 6,5), sa sposobnošću vezanja kalcija. (JACCARINI i sur., 2009).

Za razliku od prstaca, vrsta *Gastrochaena dubia* preferira horizontalne podloge bogate sedimentom te ujedno i predstavlja završnu fazu pripreme podloge za prihvat ličinki vrste *Lithophaga lithophaga* (MILIŠA JAKŠIĆ i BIZJAK, 2010). Ovaj školjkaš stvara bušotine oblika ploske u karbonatnom substratu (SOLIMAN, 1973; CARTER, 1978; SCHIAPARELLI i sur., 2003). Njegove su bušotine poznate i kao ihofosili te ih se svrstava u ihorod *Gastrochaenolites* (KELLY i BROMLEY, 1984) koji je poznat još od gornjeg trijasa iako dokumentiran stratigrafski raspon *Gastrochaenida* datira iz donje i srednje jure (CARTER i STANLEY, 2002, 2004). Prema morfofunkcionalnoj interpretaciji (SAVAZZI, 1982, 1999), klaviformna kripta ovog školjkaša leži subhorizontalno na substratu i djelomično je ukopana s emergiranim sifonalnim vrhom. Također, SAVAZZI (1999) je nadodao da kripta može biti i vertikalno položena u sedimentu. U tom slučaju, kripta bi trebala biti ravna dok joj je sifonalni ekstremitet blago nagnut (LA PERNA, 2005).

Koraljni grebeni, kao i sve vapnenačke stijene, često su izbušeni visokodestruktivnim klionidnim spužvama koje mogu pokrivati impresivnih nekoliko stotina metara kvadratnih (RÜTZLER 2002a; ZEA i WEIL, 2003). *Cliona* kao rod rasprostranjena je po cijelom svijetu s više od sto opisanih vrsta (RÜTZLER, 2002b). PANSINI i LONGO (2003) navode da

dvanaest vrsta tog roda nalazimo u Mediteranu, a BAKRAN-PETRICIOLI i sur. (2012) bilježe da je devet vrsta prisutno u Jadranu. U tropskim područjima na koraljnim grebenima je zabilježen niz vrsta klionidnih spužvi (*C. albimarginata*, *C. orientalis*, *C. caribaea*, *C. tenuis*, ...) dok su u Mediteranu najpoznatije vrste *Cliona celata* i *Cliona viridis* (VACELET i sur., 2008).

Sva područja istočnog Mediterana gdje su pronađene bila su na subhorizontalnoj stijenskoj podlozi, dobro osvijetljena i čista, to jest nigdje u blizini nije bilo kanalizacije ili drugog organskog onečišćenja (VACELET i sur., 2008). Vapnenačka podloga bušena je na dubinama od 5 do 15 m sa šupljinama promjera 1 do 2 mm (VACELET i sur., 2008). Za kamenotočne spužve karakteristična su tri različita stadija rasta:

- 1) ALFA STADIJ ili STADIJ ISKAPANJA karakteriziran je papilama koje vire iz substrata;
- 2) BETA STADIJ ili UBUŠIVANJE karakteriziran je dubljim prodiranjem spužve u supstrat;
- 3) GAMA STADIJ je forma koju spužva preuzima nakon što supstratni okvir nestane, a spužva i dalje nastavlja rasti (ROSELL i URIZ, 1997).

Vrsta *Cliona spissaspira* (CORRIERO i NONNIS MARZANO, 2006) nastanjuje karbonatni supstrat sastavljen od širokih platformi na dubini manjoj od 3 m duž Jonsko-Apulijske obale karakterizirane visokom energijom vode. Spužva se ubušuje u površinski dio karbonatne platforme do 2 cm ispod stjenske površine .

Zbog česte pojave simbioze sa sumpornim bakterijama, spužve se koriste sumpornom kiselinom kao glavnim mehanizmom bušenja. Sumporna kiselina djeluje na stijenu te tako olakšava bušenje u istu (JACCARINI i sur., 2009).

Bušače organizme u bazi miocenske transgresije istraživalo je mnogo autora, od koji su najistaknutiji DEMIRCAN (2012), SANTOS i sur. (2011), DOMENECH i sur (2001) i BROMLEY (1975).

## 5. Opis lokaliteta

### 5.1. Gornje Orešje

Lokalitet Gornje Orešje ( $46^{\circ}00'54''\text{N}$   $16^{\circ}13'23''\text{E}$ ) (Slika 3) smješten je na sjeveroistoku Medvednice (sjeverna Hrvatska), udaljenom  $\sim 18$  km od Zagreba. Srednjomiocenske naslage paleogeografski pripadaju sjeverozapadnom rubu Centralnog Paratetisa, a geotektonski Panonskom bazenskom sustavu (PAVELIĆ, 2001).



Slika 3: Geografski smještaj istraženog lokaliteta  
(Google maps; 26.4.2016.)

Prema KOCHANSKY-DEVIDÉ (1944) istraženi lokalitet pripada Zelinskom razvoju. SREMAC i sur. (2005) i VRSALJKO i sur. (2006) su proučavali badenske naslage susjednog kamenoloma u Donjem Orešju. Miocenske naslage ovdje transgresivno naliježu na gornjokredne (kampanske) rudistne vapnence, koje opisuje niz autora (BASCH 1983; KOROLIJA i sur., 1995; MORO i sur., 2010; BRLEK i sur., 2016). Ove su se naslage taložile tijekom završne gornjobadenske transgresije u Centralnom Paratetisu (HAQ i sur., 1988; RÖGL 1998; VRSALJKO i sur., 2006; KOVÁČ i sur., 2007).

Lokalitet Gornje Orešje opisan je u radu BRLEK i sur. (2016). U kamenolomu Gornje Orešje vidi se da na gornjokredne vapnence transgresivno naliježu gornjobadenski-sarmatski konglomerati, vapnenci i lapori (slika 10 u BRLEK i sur., 2016). Srednjomiocenske badenske naslage reprezentirane su bazalnim konglomeratima na kojima su smješteni bio-litoklastični pekston/grejston-radston, a najgornji dio čine intervali lapora.

Nekonformnost je karakterizirana nepravilnom i oštrom granicom koja se nalazi između podinskih mezozojskih serpentiniziranih peridotita i naliježećeg 2 m debelog bazalnog srednjomiocenskog konglomerata. Bazalni konglomerati su matriks potporni s oblucima i rijetkim blokovima mezozojskih serpentiniziranih peridotita. Uz njih, javljaju se i bioerodirani gornjokredni plitkovodni vapnenci s rudistima kao okolni matriks (BRLEK i sur., 2016). Bioerozijske strukture vide se i na valuticama unutar bazalnih konglomerata.

Generalno, srednjomiocenske naslage Medvednice diskonformno naliježu na mezozojsku podlogu koja je tektonsko-erozijska (ŠIKIĆ i sur., 1978.; BASCH 1983, AVANIĆ i sur. 2003).

## **5.2. Lokaliteti sjevernog Jadrana**

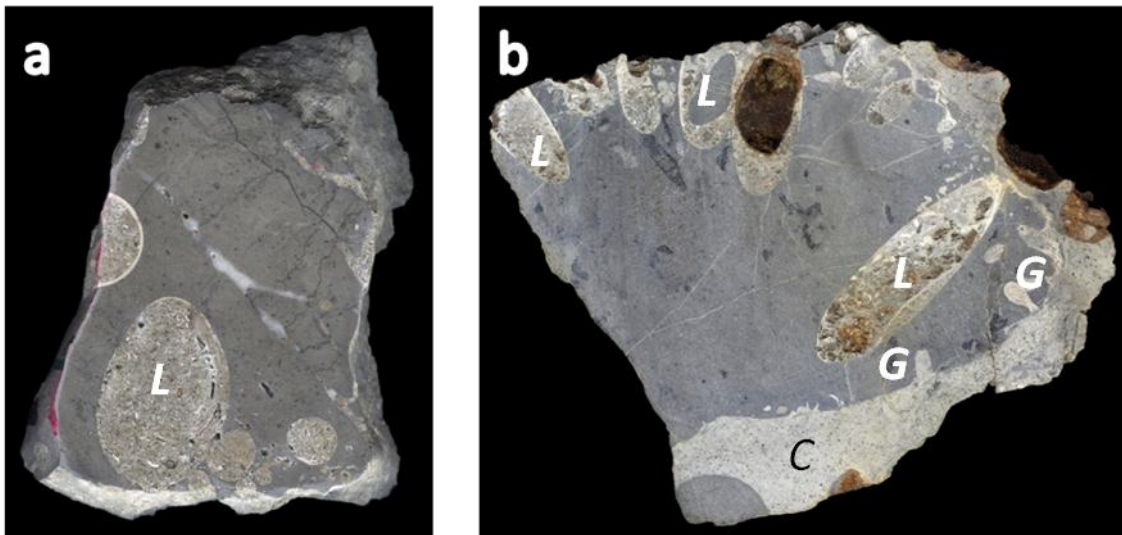
U Jadraniu se javlja poseban tip kamenite obale - Dalmatinski tip obale. Nju karakterizira erozijsko djelovanje valova kao i obalni strmci (tektonsko oblikovani) koji su vidljivi na mnogim jadranskim otocima. Obalu grade karbonatne stijene, odnosno vapnenci.

Uz obalu sjevernog Jadrana većina valutica nastala je otkidanjem od stijena koje se nalaze u zaleđu. Veličina valutica ovisi o izloženosti i udaru valova. Dominantni materijali su kredni vapnenac, paleogenski vapnenac te se mogu javiti Jelar naslage tj. Jelar (Velebitske) breče.

## 6. Rezultati

### 6.1. Opis bušotina iz Gornjeg Orešja

Na području Gornjeg Orešja bušotine organizama: školjkaša i (možda) spužvi (Slika 4 a, b) vidljive su na većem broju valutica. Moguće je da su vanjske korice nastale radom kamenotočnih spužva, no zbog toga što su zapunjene ne zapažamo ih na isti način kao kod recentnih istraživanih materijala. Uočavamo bušotine velikih školjkaša: prstaca, čija najveća dubina na istraživanim uzorcima iznosi 4,8 cm, a najmanja 1,2 cm. Vidljivi su i malobrojni primjerci mogućeg roda *Gastrochaena* (manje bušotine na slici) s najvećom dubinom od 0,7 cm, a najmanjom od 0,4 cm.



Slika 4 a, b: Uzorci s lokaliteta Gornje Orešje s vidljivima bušotinama većih i manjih školjkaša (*G Gastrochaena* i *L-Lithophaga lithophaga*), te korica koja se možda može povezati s kamenotočnim spužvama (*C-Cliona*).

### 6.2. Opis recentnih bušotina na različitim podlogama

#### Foraminiferski vapnenci

Foraminiferski vapnenac je karbonatna stijena nastala taloženjem cijelih ili otkrnutih ljušturica foraminifera (jednostanični organizmi vidljivi golim okom) u mirnom i plitkom

marinskom okolišu. Zbog činjenice da je većinom građen od foraminifera, po njima je dobio i ime.

Na istraženim primjercima na karbonatnoj podlozi (Slika 5a,b) uočavamo jednoličan raspored bušotina spužvi. Na površini od  $1\text{ cm}^2$  njihov se broj kreće u rasponu od 25 do 30, manje nego u Jelar (Velebitskim) brečama jer su krupniji oblici spužvi zastupljeni u većoj mjeri. Veličina im varira od 0,19 cm do 0,25 cm po  $\text{cm}^2$ . U makro snimkama uzoraka uočavamo pliće dubine izbušenih slojeva u karbonatima koje najčešće iznose od 0,28 do 0,76 cm. Bušotine *Lithophaga* variraju u veličini. Najmanji promjer na istraživanom uzorku iznosi 0,45 cm dok je najveći 0,1 cm. Recentni prstaci mogu doseći duljinu od 9 cm (DEVESCOVI, 2009), a kako oni nisu čvrsto usađeni u svoje bušotine za očekivati je da najdublje recentne bušotine vrste *Lithophaga lithophaga* mogu doseći više od 10 cm.

Na slici 5a uočavamo krupnije bušotine s nešto većim međusobnim razmacima, koje su vrlo vjerojatno nastale ubušavanjem roda *Gastrochaena*. Promjer na površini je 0,2 cm dok se prema dubini proširuju i granaju u kanaliće čija srednja širina iznosi 0,6 cm. Na slici 5b sve velike bušotine vrlo vjerojatno pripadaju prstacima. Na unutarnje površine su se naknadno naselili biokonstruktori-serpulidi.

Ljušturre recentnih školjkaša vrste *Gastrochaena dubia* mogu doseći duljinu od 5 cm, a kako je njihovo tijelo veće od ljušturre za očekivati je da njihove najdublje bušotine mogu biti i veće od toga. To su maksimalne vrijednosti, što znači da će prosječna veličina bušotina biti uglavnom manja od tih dimenzija.

## **Jelar (Velebitske) breče**

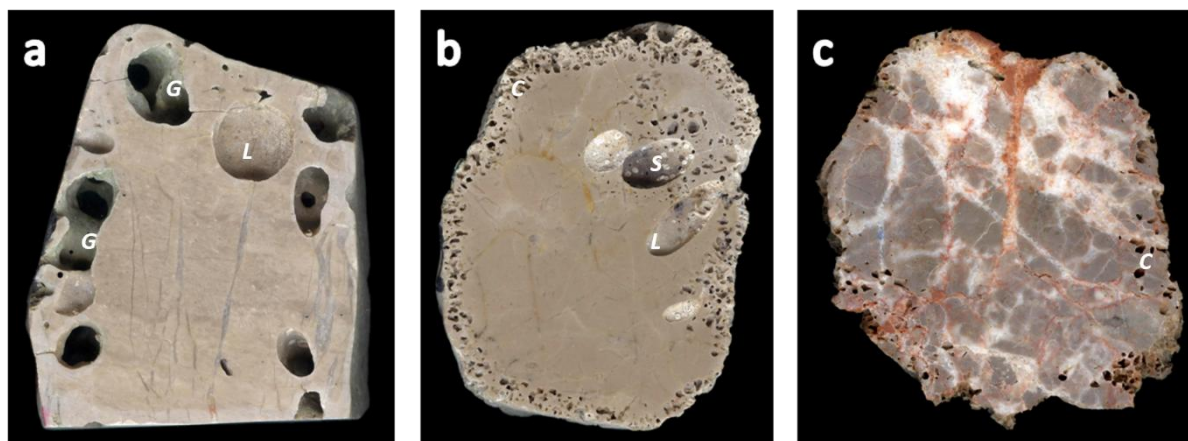
Uzorci Jelar (Velebitskih) breča s karbonatnim ulomcima i crvenim vezivom potječu iz podvelebitskog područja (Ribarica kraj Karlobaga) (Slika 5c).

Morfološki, breče su masivne, neuslojene, klastopotporne i bez vidljivih sedimentnih tekstura. Klasti su većinom uglati i loše sortirani. Veličine klasta kreću se od manje od jednog milimetra, pa sve do nekoliko centimetara sa sporadičnim oblucima. Gotovo svi klasti tektonizirani su prije završnog taloženja što je vidljivo po odsječenim, kalcitom ispunjenim frakturama. Klaste čine većinom okolne stijene, no sporadično se mogu naći i fragmenti eocenskog fliša. Matriks breče je karbonatni i može biti sive, žućkaste ili crvenkaste boje od oksida i hidroksida Fe. Sam matriks sastoji se od malih litoklasta i rekristaliziranog kalcita i

ne sadrži fosile ni sedimentne teksture koje bi ukazivale na podvodno taloženje (VLAHOVIĆ i sur., 2012).

Veličine valutica ovise o položaju plaže i utjecaju valova na stijene. Što je veći utjecaj valova na obalu to su valutice sitnije i zaobljenije. S obzirom da je istraživano područje izloženo udaru jakih valova, veličina im je jako varijabilna. Također, veličine variraju i unutar pojedinog zaljeva opet ovisno o snazi udara valova, razlikuju se i od uvale do uvale.

Na istraženom uzorku Jelar (Velebitske) breče zastupljene su bušotine klionidnih spužvi promjera od 0,095 do najvećih 0,306 cm. Gustoća bušotina im po 1 cm<sup>2</sup> iznosi od 42 do 45, dok dubina izbušene podloge varira od 2 do 3,1 mm. U nekoliko istraživanih uzoraka nema naznaka pojave *Lithophaga*.



Slika 5: Primjeri bioerozije vidljive na nabruscima recentnih uzoraka. Na slikama a) i b) su foraminiferski vapnenci, dok je na slici c) Jelar breča; a) *G-Gastrochaena* sp., *L-Lithophaga lithophaga*, b) *C-Cliona* sp., *S-Serpulidae*., *L-Lithophaga lithophaga*, c) *C-Cliona* sp.

## 7. Rasprava

Miocenske naslage na području Gornjeg Orešja transgresivno leže na krednim naslagama. U bazi transgresije nalaze se konglomerati na čijim su valuticama vidljivi tragovi bioerozije, koji podsjećaju na bioerozivne strukture na Jadranskim plažama.

Uočena su tri glavna tipa bušotina i na fosilnim i na recentnim valuticama. Kako bi se vidjelo o kojim organizmima je riječ, na plažama Krka i podvelebitskih uvala potražene su valutice odgovarajućih karakteristika.

Pri tome su odabrane valutice različitog sastava, vapnenci i breče. Dimenzije najstarijih bušotina na Jelar (velebitskim) brečama variraju od 0,095 do 0,36 cm po 1 cm<sup>2</sup>, a na karbonatnim uzorcima iznose od 0,19 do 0,25 cm. Prisutne su gotovo na svim valuticama bez obzira na njihov sastav. Gustoća bušotina na Jelar (velebitskim) brečama iznosi od 42 do 45, dok na karbonatnoj se kreće u rasponu od 25 do 30 na 1cm<sup>2</sup>. Razlikuju se na način da su na karbonatnim valuticama brojnije i jednoličnije raspoređene, dok su na valuticama breča nejednolikog promjera i prisutne u manjem broju. Ove su bušotine nastale djelovanjem klionidnih spužvi. Srednje velike bušotine vidljive su na manjem broju recentnih valutica dok su na miocenskim valuticama prisutne u kombinaciji s krupnijim i sitnijim bušotinama.

Na recentnim primjercima bušotine je načinio školjkaš *Gastrochaena*. Promjer najkrupnijih bušotina na površini je 0,2 cm dok se prema dubini proširuju i dosižu širinu ~ 0,6 cm. Na miocenskim valuticama pojavljuju se u kombinaciji sa sitnim bušotinama klinoidnih spužvi i sa srednje velikim bušotinama školjkaša.

Može se primijetiti slijed bušenja od sitnih klionidnih spužvi, preko bušotina roda *Gastrochaena*, do prstaca. Na recentnim bušotinama uočeno je da *Gastrochaena* i *Lithophaga* izbjegavaju nekarbonatne valutice, dok se klionidne spužve u njih ubušavaju u manjem broju i do manje dubine. Različit odabir podloge za bušenje povezan je s mehanizmom bušenja. Klionidne spužve koriste sumpornu kiselinu za otapanje podloge, dok prstaci neutralnim mukoproteinom vežu kalcij. Na recentnim podlogama primijećeno je da slijed bušenja započinju klionidne spužve, potom slijedi rod *Gastrochaena*, te *Lithophaga*. Sličan slijed se može pratiti i na valuticama iz miocenskih konglomerata Gornjeg Orešja. Ovo istraživanje otvorilo je jednu novu temu, koju planiramo nastaviti sustavnim uzorkovanjem bušača na litološki različitim podlogama u miocenskim i recentnim sedimentima.



## 8. Zaključak

Na području Gornjeg Orešja, na sjeveroistoku Medvednice, nađeni su izdanci miocenskih konglomerata s tragovima bioerozije. Ovi tragovi nalikuju na bioerozijske strukture na valuticama Jadranskih plaža, te su na temelju morfološke sličnosti bušotina pretpostavljeni mogući bušači.

Sitne bušotine (najveće su veličine 0,306 cm) determinirane su kao tragovi bušenja klionidnih spužvi, dok krupniji predstavljaju kripte školjkaša (*Gastrochaena* i *Lithophaga*). Klionidne spužve buše podlogu uz pomoć sumporne kiseline i ove bušotine često predstavljaju prvi ili jedini stadij bioerozije na valuticama. Rodovi *Gastrochaena* i *Lithophaga* često buše podloge koje su već bile izbušene djelovanjem klionidnih spužvi, a čine to uz pomoć sekrecije neutralnih mukoproteina, koji na sebe veže kalcij iz okolne stijene. Bušotine klionidnih spužvi češće su i dublje na karbonatnim valuticama no vidljive su i na drugim podlogama, dok su bušotine prstaca gotovo isključivo vezane uz karbonatne valutice.

## **9. Zahvale**

Posebno se zahvaljujemo našim mentoricama izv. prof. dr. sc. Jasenki Sremac i doc. dr. sc. Tatjani Bakran-Petricioli na pruženoj prilici, konzultacijama, pomoći u analizi te ponajviše na strpljenju, te udijeljenim savjetima, koji su nam uvelike pomogli pri izradi ovoga rada.

Dipl. ing. Željku Ištuku za pomoć u izradi nabrusaka.

Prof. Šimunu Aščiću na pomoći pri fotografiranju uzoraka analiziranih u ovom radu.

Robertu Koščalu zahvaljujemo na pomoći u skeniranju uzoraka na temelju kojih su napravljene analize potrebne za ovaj rad.

## 10. Popis literature

AVANIĆ, R., KOVAČIĆ, M., PAVELIĆ, D., MIKNIĆ, M., VRSALJKO, D., BAKRAČ, K. i GALOVIĆ, I. (2003): The Middle and Upper Miocene facies of Mt. Medvednica (northern Croatia). U: Vlahović, I., Tišljar, J. (eds) Field Trip Guidebook, 22nd IAS Meeting of Sedimentology. Opatija, 167–172.

BAKRAN-PETRICIOLI, T., RADOLOVIĆ, M. i PETRICIOLI, D. (2012) How diverse is sponge fauna in the Adriatic Sea? *Zootaxa*, 3172: 20–38.

BASCH, O. (1983): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100.000. Tumač za list Ivanić-Grad L 33-81. Geološki zavod Zagreb (1980.), Savezni geološki zavod, Beograd.

BRLEK, M., ŠPIŠIĆ, M., BRČIĆ, V., MIŠUR, I., KUREČIĆ, T., MIKNIĆ, M., AVANIC, R., VRSALJKO, D. i SLOVENEK, D. (2016): Mid-Miocene (Badenian) transgression on Mesozoic basement rocks in the Mt. Medvednica area of northern Croatia. *Facies*, 62: 1-21.

BROMLEY, R.G. (1975): Trace fossils at omission surfaces. In: Frey RW (ed) *The study of trace fossils*. Springer, Berlin, 399–428.

CARTER J.G. (1978): Ecology and evolution of the Gastrochaenacea (Mollusca: Bivalvia) with notes on the evolution of the endolithic habit. *Yale Peabody Museum Bulletin*, 41: 1-91.

CARTER J.G. i STANLEY G.D. (2002): Origin and early evolution of the endolithic and tube dwelling superfamily Gastrochaenoidea (Mollusca, Bivalvia, Autolamellibranchiata). First International Palaeontological Congress, Sydney, 2002, Abstracts: 31.

CARTER J.G. i STANLEY G.D. (2004): Late Triassic gastrochaenid and lithophagid borings (Mollusca: Bivalvia) from Nevada (USA) and Austria. *Journal of Paleontology*, 78 (1): 230-234.

CORRIERO, G. i NONNIS-MARZANO, C. (2006): A new species of *Cliona* (Demospongiae, Hadromerida) from the Mediterranean Sea. *Italian Journal of Zoology*, 73 (2): 191-194.

DEMIRCAN, H. (2012): Determination of a Late Miocene rocky palaeoshore by bioerosion trace fossils from the Bozcaada Island, Çanakkale, Turkey. *Comptes Rendus Palevol* 11: 331-344.

DEVESCOVI, M. (2009): Biometric differences between date mussels *Lithophaga lithophaga* colonizing artificial and natural structures. *Acta Adriatica*, 50 (2): 129-138.

DEVESCOVI, M. i IVEŠA, LJ. (2008): Colonization patterns of the date mussel *Lithophaga lithophaga* (L., 1758) on limestone breakwater boulders of a marina. *Periodicum Biologorum*, 110 (4): 339-345.

DEVESCOVI, M., OZRETIĆ, B. i IVEŠA, LJ. (2005): Impact of date mussel harvesting on the rocky bottom structural complexity along the Istrian coast (Northern Adriatic, Croatia). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 325 (2): 134–145.

DOMÈNECH, R., DE GIBERT, J.M. i MARTINELL, J. (2001): Ichnological features of a marine transgression: middle Miocene rocky-shores of Tarragona, Spain. *Geobios* 34: 99–107.

FANELLI, G., PIRAINO, S., BELMONTE, G., GERACI, S. i BOERO, F. (1994): Human predation along Apulian rocky coasts (SE Italy): desertification caused by *Lithophaga lithophaga* (Mollusca) fisheries. *Marine Ecology Progress Series*, 110: 1–8.

FISCHER, W., M.L. BAUCHOT i M. SCHNEIDER. (1987): Fiches FAO d'identification des espèces pour les besoins de la pêche (Révision 1). Méditerranée et Mer Noire. Zone de pêche 37. Vol. I. Végétaux et invertébrés. (FAO Species identification sheets for the needs of fisheries. Mediterranean and Black Sea. Fishing area 37. Vol. I. Plants and invertebrates). FAO, Rome, 1: 760 str.

GALINOUMITSOU, S. i SINIS, A. I. (1995): Age and growth of *Lithophaga lithophaga* (Linnaeus, 1758) (Bivalvia: Mytilidae), based on annual growth lines in the shell. *Journal of Molluscan Studies*, 61: 435-453.

HAQ, B. U., HARDENBOL, J. i VAI, P. R. (1988): Mesozoic and Cenozoic chronostratigraphy and cycles of sea-level changes. U: Wilgus, C.K., Hastings, B.S., Kendall, C., Posamentie, H.W., Ross, C.A., Van Wagoner, J.C. (ur.) *Sea-level changes - an integrated approach*. *SEPM Special Publication*, 42: 71–108.

HOHENEGGER, J., ČORIĆ, S. i WAGREICH, M. (2014): Timing of the Middle Miocene Badenian Stage of the Central Paratethys. *Geology of the Carpathian Region*, 65:155–166.

HOHENEGGER, J., RÖGL, F., ČORIĆ, S., PERVESLER, P., LIRER, F., ROETZEL, R., SCHOLGER, R. i STINGL, K. (2009): The Styrian Basin: a key to the Middle Miocene (Badenian/Langhian) Central Paratethys transgressions. *Austrian Journal of Earth Studies*, 102: 102–132.

JACCARINI, V., BANNISTER, W. i MICALLEF, H. (2009): The pallial glands and rock boring In *Lithophaga lithophaga* (Lamellibranchia, Mytilidae). *Journal of Zoology*, 154 (4): 397-401.

KELLY, S.R.A. i BROMLEY, R.G. (1984): Ichnological nomenclature of clavate borings. *Palaeontology*, 27: 793–807.

KLEEMANN, K. (1973a): *Lithophaga lithophaga* (L.) (Bivalvia) in different limestone. *Malacologia*, 14: 345–347.

KLEEMANN, K. (1973b): Der gestensabbau durch ätzmuscheln an kalkküsten (Erosion of limestone coasts by date mussels). *Oecologia*, 13: 377-395.

KOCHANSKY-DEVIDÉ, V. (1944): Fauna marinskog miocena juznog pobočja Medvednice (Zagrebacke gore). *Vjesnik Hrvatskog državnog geološkog zavoda., Hrvatski državni geološki muzej*, 2/3, 171-280.

KOROLIJA, B., FUČEK, L., OŠTRIĆ, N. i VELIĆ, I. (1995): Gornjotrijaski i senonski sedimenti kod Donjeg Orešja. U: Šikić, K. (ed) *Geološki vodič Medvednice*. Institut za geološka istraživanja, Zagreb, 173–179.

KOVÁČ, M., ANDREYEVA-GRIGOROVICH, A., BAJRAKTAREVIĆ, Z., BRZOBOHATÝ, R., FILIPESCU, S., FODOR, L., HARZHAUSER, M., OSZCZYPKO, N., PAVELIC, D., RÖGL, F., SAFTIĆ, B., SLIVA, L. i STUDENCKA, B. (2007): Badenian evolution of the Central Paratethys sea: paleogeography, climate and eustatic sea level changes. *Geology of the Carpathian Region*, 58: 579–606.

LA PERNA, R. (2005): Tube-dwelling in *Gastrochaena dubia* (Bivalvia): ecological requirements, functional morphology and structure of the krypts. *Bollettino della Società Paleontologica Italiana*, 44 (2): 145-154.

LASKAREV, V. (1924): "Sur les equivalents du Sarmatien superieur en Serbie". U: Vujević, P. (ur.), Recueil de travaux offert à M. Jovan Cvijic par ses amis et collaborateurs. Državna Štamparija, Beograd, str. 73–85.

MILIŠA JAKŠIĆ, M. i BEZJAK, S. (2010): Destruktivno djelovanje morske vode na kamene artefakte na primjeru konzervacije i restauracije mramorne antičke skulpture iz Vranjica. *Tusculum*, 3: 232-245.

MORO, A., ČOSOVIĆ, V., BENIĆ, J. i DOKMANOVIĆ, J. (2010): Taxonomy of Rudists from the Campanian Transgressive Sediments of Brašljevača, Donje Orešje and Sv. Martin, Northern Croatia. *Turkish Journal of Earth Science*, 19: 613–633.

MORTON, B., i SCOTT, P. J. B. (1980): Morphological and functional specializations of the shell, musculature and pallial glands in the Lithophaginae (Mollusca: Bivalvia). *Journal of Zoology London*, 192: 179–204.

PANSINI, M. i LONGO, C. (2003): A review of the Mediterranean sea sponge biogeography with, in appendix, a list of the demosponges hitherto recorded from this sea. *Biogeographia*, 24: 59–90.

PAVELIĆ, D. (2001): Tectonostratigraphic model for the North Croatian and North Bosnian sector of the Miocene Pannonian Basin System. *Basin Research*, 13, 359-376.

PAVELIĆ, D. (2005): Cyclicity in the evolution of the Neogene North Croatian Basin (Pannonian Basin System). U: Mabesoone, J.M., Neumann, V.H. (ur.) *Cyclic development of sedimentary basins. Development Sedimentology*, 57: 273-283.

PIEROTTI, P., LO RUSSO, R. i SIVIERI BUGGIANI, S. (1966): Il dattero di mare, *Lithodomus lithophagus*, nel Golfo della Spezia. *Annali dello Facolta di medicina veterinaria. Universita di Pisa*, 18: 157-174.

RÖGL, F. (1996): Stratigraphic correlation of the Paratethys Oligocene and Miocene. *Mitteilungen der Gesellschaft der Geologie und Bergbaustudenten in Österreich*, 41: 65–73.

RÖGL, F. (1998): Palaeogeographic considerations for Mediterranean and Paratethys seaways (Oligocene to Miocene). *Annalen des Naturhistorischen Museums in Wienn*, 99A: 279–310.

ROSELL, D. i URIZ, M. J. (1997): Phylogenetic relationships within the excavating Hadromerida (Porifera) with a systematic revision. *Cladistics*, 13: 349–366.

RÜTZLER, K. (2002a): Impact of crustose clionid sponges on Caribbean reef corals. *Acta Geologica Hispanica*, 37: 61–72.

RÜTZLER, K. (2002b): Family Clionidae D'Orbigny, 1851. U: Hooper, J.N.A., Van Soest, R.W.M. (ur.) *Systema Porifera, a guide to the classification of sponges*. Vol. 1. Kluwer Academic/Plenum Publishers, New York, str. 173–185.

SANTOS, A., MAYORAL, E. i BROMLEY, R.G. (2011): Bioerosive structures from Miocene marine mobile-substrate communities in southern Spain, and description of a new sponge boring. *Palaeontology* 54: 535–545.

SAVAZZI, E. (1982): Adaptations to tube dwelling in the Bivalvia. *Lethaia*, 15: 275-297.

SAVAZZI, E. (1999): Boring, nestling and tube-dwelling bivalves. U: Savazzi E. (ur.), *Functional Morphology of the Invertebrate Skeleton*, John Wiley & Sons, str. 205-237.

SCHIAPARELLI, S., GUIDETTIO, P. i CATTANEO-VIETTI, R. (2003): Can mineralogical features affect the distribution patterns of sessile gastropods? The Vermetidae case in the Mediterranean Sea. *Journal of the Marine Biological Association of the United Kingdom*, 83(6):1267-1268.

SOLIMAN, G.N. (1973): On the structure and behaviour of the rock-boring bivalve *Roccellaria retzii* (Deshayes) from the Red Sea. *Proceedings of the Malacological Society of London*, 40: 313-318.

SREMAC, J., BOŠNJAK MAKOVEC, M., VRSALJKO, D., KARAICA, B., TRIPALO, K., FIO FIRI, K., MAJSTOROVIĆ BUŠIĆ, A. i MARJANAC, T. (2016): Reefs and bioaccumulation in the Miocene deposits of the North Croatian Baisin-Amazing diversity yet to be described. *The Mining-Geology-Petroleum Engineering Bulletin*, 10: 19-29.

SREMAC, J., PEZELJ. Đ., MILETIĆ, D., VESELI, V., BRAJKOVIĆ, D., MIKŠA, G., ZEČEVIĆ, M., JUNGWIRTH, E., TUKAC, I. i MRINJEK, E. (2005): Miocene Sediments in the Quarry Donje Orešje in SE Medvednica Mt. (N Croatia). *Third Croatian Geological Congress, Opatija, Abstracts Book*, 133-134.

ŠIKIĆ, K., BASCH, O. i ŠIMUNIĆ, A. (1978): Basic geological map 1:100.000. Sheet Zagreb. Institut za Geološka Istraživanja, Zagreb-Savezni Geološki zavod Beograd.

ŠIMUNOVIĆ, A. i I. GRUBELIĆ. (1992): Biological and ecological studies of the dateshell (*Lithophaga lithophaga* L.) from the eastern Adriatic Sea. *Periodicum biologorum*, 94: 187-192.

VACELET, J., BITAR, G., DAILIANIS, T., ZIBROWIUS, H. i PEREZ, T. (2008): A large encrusting clionaid sponge in the Eastern Mediterranean Sea. *Marine Ecology*, 29: 1-10.

VLAHOVIĆ, I., MANDIĆ, O., MRINJEK, E., BERGANT, S., COSOVIĆ, V., DE LEEUW, A., ENOS, P., HRVATOVIĆ, H., MATICEC, D., MIKSA, G., NEMEC, W., PAVELIĆ, D., PENCINGER, V., VELIĆ I. i VRANJKOVIĆ, A. (2012): Marine to continental depositional systems of Outer Dinarides foreland and intra-mountane basins (Eocene-Miocene, Croatia and Bosnia and Herzegovina). 29<sup>th</sup> IAS Meeting of Sedimentology Schladming/Austria. Field Trip Guide. *Journal of Alpine Geology (Wien)*, 54: 405-470.

VRSALJKO, D., PAVELIĆ, D., MIKNIĆ, M., BRKIĆ, M., KOVAČIĆ, M., HEĆIMOVIĆ, I., HAJEK-TADESSE, V., AVANIĆ, R. i KURTANJEK, N. (2006): Middle Miocene (Upper Badenian/Sarmatian) Palaeoecology and Evolution of the Environments in the Area of Medvednica Mt. (North Croatia). *Geologia Croatica*, 59: 51–63.

ZEA, S. i WEIL, E. (2003): Taxonomy of the Caribbean excavating sponge species complex *Cliona caribbaea*–*C. aprica*–*C. langae* (Porifera, Hadromerida, Clionidae). *Caribbean Journal of Science*, 39: 348–370.

**Mrežni izvor:**

<https://www.google.hr/maps/search/gornje+ore%C5%A1je+google+map/@45.841996,15.9284861,13z/data=!3m1!4b1> (pristupljeno, 2016.)



## 11. Sažetak

Kristina Tripalo i Monika Relković

Bioerozivne strukture u bazi miocenske transgresije na Medvednici i njihovi recentni ekvivalenti u Jadranu

Miocenski lokalitet Gornje Orešje (SI Medvednice) te područje sjevernog Jadrana obiluju tragovima raznolikih marinskih bušača od kojih su najistaknutije kamenotočne spužve (*Cliona* sp.), školjkaši roda *Gastrochaena* i *Lithophaga* (prstac). Srednjomiocenske badenske naslage započinju bazalnim konglomeratima koji transgresivno naliježu na gornjokredne vapnenice, dok su kredni vapnenac, paleogenski vapnenac i Jelar (Velebitska) breča dominantni u izgradnji obale sjevernog Jadrana. Kamenotočne spužve, uz pomoć simbionata (sumporne bakterije), sumpornom kiselinom djeluju na podlogu stvarajući kanaliće i time omogućujući kasniju kolonizaciju školjkaša bušača. S druge strane, rod *Lithophaga* ubušuje se izlučujući sekreciju na bazi neutralnog (pH ~ 6,5) mukoproteina sa sposobnošću vezanja kalcija. Spužve su najčešće primarni kolonizatori, zbog lakše prilagodbe na različite okoliše, nakon kojih se ubušuju rodovi *Lithophaga* i *Gastrochaena*. Uz to, različiti kemizam bušenja kamenotočnih spužvi i roda *Lithophaga* mogao bi biti razlog zašto su kamenotočne spužve prisutne u svim podlogama, dok je rod *Lithophaga* isključivo vezan za karbonatnu podlogu. Na temelju analiza možemo pretpostaviti da su se za vrijeme srednjeg miocena razvili povoljni klimatski i okolišni uvjeti koji su pridonijeli stvaranju manje izolirane karbonatne platforme na području današnjeg Gornjeg Orešja (sjeveroistok Medvednice), koja je ubrzo zatim bila kolonizirana plitkomorskom faunom, pa tako i bušačim organizmima.

KLJUČNE RIJEČI: bioerozija, miocen, današnjica, Paratetis, Jadran

## 12. Summary

Kristina Tripalo i Monika Relković

Bioerodible structure at the base of Miocene transgression on Medvednica Mt. and their recent equivalents in the Adriatic sea

Miocene locality Gonje Orešje (NE Medvednica Mt.) and the northern Adriatic coast comprise traces of abundant diverse marine borers, including sponges (*Cliona* sp.), and bivalves of genus *Gastrochaena* and species *Lithophaga lithophaga* are the most prominent. The middle Miocene deposits (Badenian) are represented by basal conglomerates, transgressively overlapping the Upper Cretaceous limestones, while the Cretaceous limestone, Paleogene limestone and Jelar (Velebit) breccia are dominant in the construction of the northern Adriatic coast. Boring sponges, with the help of symbionts (sulfur bacteria) bore substrate with sulfuric acid creating small canals that enable colonization of boring bivalves. On the other hand, *Lithophaga* bores into substrate by secretion of neutral mucoprotein (pH ~ 6,5) with calcium-binding ability. Probably, the boring sponges are the first to colonize the substrate, due to their easier adjustment to different environments, afterwards follow boring bivalves *Gastrochaena* and *Lithophaga*. Also, there is high probability that the boring with sulfuric acid is the reason why boring sponges are present in all types of substrate, as opposite to boring by secretion of neutral mucoprotein with calcium-binding ability used by *Lithophaga* that bores only in calcareous substrate. Based on the analysis, we assume that favourable climatic and environmental conditions developed during the middle Miocene which contributed to the creation of smaller isolated carbonate platform in the area of today's Gornje Orešje (NE Medvednica Mt.) which was soon colonized by shallow marine fauna, including the boring fauna.

KEYWORDS: Bioerosion, Miocene, Recent, Paratethys, Adriatic

### **13. Životopisi**

Kristina Tripalo

Rođena je 13. kolovoza 1992. u Feldbachu, Austrija. U Zagrebu završava osnovnu školu i opću gimnaziju. Upisuje preddiplomski studij geologije na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu, Sveučilišta u Zagrebu, koji završava 2014. godine i stječe titulu prvostupnice geologije (univ.bacc.geol.). Trenutno je studentica druge godine diplomskog studija geologije, smjer geologija-paleontologija.

Monika Relković

Rođena je 20. Veljače 1993. u Novoj Gradiški, Hrvatska. U Zagrebu završava osnovnu školu i opću gimnaziju. Upisuje preddiplomski studij geologije na Prirodoslovno-matematičkom fakultetu, Sveučilišta u Zagrebu, koji završava 2014. godine i stječe titulu prvostupnice geologije (univ.bacc.geol.). trenutno je studentica druge godine diplomskog studija geologije, smjer geologija-paleontologija.