

Geologija

"Matematičke  
metode i  
nazivlje u  
geologiji"

**ZBORNİK  
RADOVA**

Nazivlje

29. X. 2016.

Matematika

# Matematičke metode i nazivlje u geologiji

I. hrvatski znanstveni skup iz geomatematike i nazivlja u  
geologiji  
održan na Rudarsko-geološko-naftnom fakultetu Sveučilišta u  
Zagrebu

29. listopada 2016. godine



Sveučilište u Zagrebu



RGNF

Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Mathematical methods and terminology in geology

1<sup>st</sup> Croatian scientific congress from geomathematics and  
terminology in geology

held on Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering,  
University of Zagreb

29<sup>th</sup> October 2016



University of Zagreb



RGNF

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering

Matematičke metode i nazivlje u geologiji 2016

**ZBORNİK RECENZIRANIH RADOVA  
I SAŽETAKA**



Sveučilište u Zagrebu



**RGNF**

Rudarsko-geološko-naftni fakultet

Zagreb, 2016.

Mathematical methods and terminology in geology 2016

**PROCEEDINGS OF REVIEWED  
PAPERS AND ABSTRACTS**



University of Zagreb



**RGNF**

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering

Zagreb, 2016

*Nakladnik*

Rudarsko-geološko-naftni fakultet

*Za nakladnika*

dr. sc. Zoran Nakić, red. prof. (dekan RGNF-a)

*Urednici*

dr. sc. Tomislav Malvić, izv. prof.

dr. sc. Josipa Velić, prof. emer.

*Znanstveni odbor*

dr. sc. Željko Andreić, red. prof. Rudarsko-geološko-naftnoga fakulteta, dipl. ing. fiz.

dr. sc. Tomislav Malvić, izv. prof. Rudarsko-geološko-naftnoga fakulteta, dipl. ing. geol.

dr. sc. Rajna Rajić, red. prof. Rudarsko-geološko-naftnoga fakulteta, dipl. ing. mat.

dr. sc. Jasenka Sremac, izv. prof. Prirodoslovno-matematičkoga fakulteta, dipl. ing. geol.

dr. sc. Josipa Velić, prof. emer. Rudarsko-geološko-naftnoga fakulteta, dipl. ing. geol.

*Naklada*

u obliku e-knjige

ISBN 978-953-6923-36-6

*Zbornik će biti indeksiran u bazama Petroleum Abstracts (Sveučilište u Tulsi), te u Google Scholar (preko Hrvatske znanstvene bibliografije). Bit će predložen i za indeksaciju u bazama Conference Proceedings Citation Index (Thomson Reuters) i Engineering Information (Elsevier). Autori su odgovorni za jezični sadržaj i lekturu priloga.*

*Publisher*

Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering

*For publisher*

Dr. Zoran Nakić, Full Prof. (Dean)

*Editors*

Dr. Tomislav Malvić, Assoc. Prof.

Dr. Josipa Velić, Prof. Emer.

*Scientific Committee*

Dr. Željko Andreić, Full Prof., Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, Grad. in Physics

Dr. Tomislav Malvić, Assoc. Prof., Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, Grad. in Geol.

Dr. Rajna Rajić, Full Prof., Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, Grad. in Math.

Dr. Jasenka Sremac, Assoc. Prof., Faculty of Natural Sciences, Grad. in Geol.

Dr. Josipa Velić, Prof. Emer., Faculty of Mining, Geology and Petroleum Engineering, Grad. in Geol.

*Copies*

as e-book

ISBN 978-953-6923-36-6

*The proceedings will be indexed in Petroleum Abstracts (Universit of Tulsa) and Google Scholar (via Croatian scientific bibliography). It will be also porposed for indexation in Conference Proceedings Citation Index (Thomson Reuters) and Engineering Information (Elsevier). Authors are solely responsible for contents and Croatian/English proofreading.*

# SADRŽAJ

<b>PREDGOVOR</b>	III
<b>NAZIVLJE</b>	
Mesić Kiš: Hrvatski rječnik odabranih geomatematičkih i geostatističkih pojmova	1-11
Malvić, Velić: Hrvatski rječnik odabranih geomatematičkih pojmova iz ekonomske geologije i geološke vjerojatnosti	13-19
<b>PRIMJENA MATEMATIČKE GEOLOGIJE (EKONOMSKA GEOLOGIJA)</b>	
Šapina: Primjena umjetnih neuronskih mreža u kartiranju ležišta ugljikovodika, primjer EK markera Rs5 u Bjelovarskoj subdepresiji	21-27
Režić: Opći model za izračun geološke vjerojatnosti novih otkrića plina u Sjevernom Jadranu uz primjer plinskog polja Ika	29-39
Vekić: Izračun 1D variograma, primjer pješčenjačkih ležišta i njihove krovine polja Šandrovac	41-56
<b>PRIMJENA MATEMATIČKE GEOLOGIJE (PRIRODOSLOVLJE I INŽENJERSTVO)</b>	
Bošnjak, Sremac, Vrsaljko: Biostatistika u određivanju vrsta fosilnih planktonskih puževa	57-68
Ivšinović: Statistička obrada troškova odvajanja pridobivene slojne vode iz pješčenjačkih ležišta Savske depresije	69-74
Posavec, Škudar: Korelacijsko, regresijsko i kros-korelacijsko modeliranje vremenskih nizova podataka u hidrogeologiji	75-90
<b>ASTRONOMIJA, PLANETARNA GEOLOGIJA, METEOROLOGIJA</b>	
Andreić: Netočnosti u proračunu tamnog leta meteorita	91-98
Jurlina: Analiza radarskih procjena oborine u središnjoj Hrvatskoj	99-103
<b>SAŽETCI</b>	
Korlević: Višnjanski program astrometrije malih tijela Sunčeva sustava, tehnološki preokret i napuštanje Väisälä paradigme	105-106
Šegon: Astrometrijske metode HMM	107-108
Vrbaški: Homogenizacija nemješivog nestlačivog dvofaznog toka u poroznoj sredini s dvostrukom šupljikavošću	109-110



# CONTENT

<b>FOREWORD</b>	II
<b>TERMINOLOGY</b>	
Mesić Kiš: <b>Croatian dictionary of selected geomathematical and geostatistical terms</b>	1-11
Malvić, Velić: <b>Croatian dictionary of selected terms from economical geology and geological probability</b>	13-19
<b>APPLICATION OF MATHEMATICAL GEOLOGY (ECONOMIC GEOLOGY)</b>	
Šapina: <b>Application of artificial neural networks in mapping of hydrocarbon reservoirs, an example on e-log border Rs5 in Bjelovar Subdepression</b>	21-27
Režić: <b>General model for the calculation of geological probability associated with new gas discoveries in the Northern Adriatic with an example of the Ika gas field</b>	29-39
Vekić: <b>Calculation of 1d variogram, an example of sandstone reservoirs and their top in the Šandrovac Field</b>	41-56
<b>APPLICATION OF MATHEMATICAL GEOLOGY (NATURAL SCIENCES AND ENGINEERING)</b>	
Bošnjak, Sremac, Vrsaljko: <b>Biostatistic determination of planktonic gastropods fossil species</b>	57-68
Ivšinić: <b>Statistical analysis of disposal costs of the field water recovered from the Sava Depression sandstone reservoirs</b>	69-74
Posavec, Škudar: <b>Correlation, regression and cross-correlation modelling of time series in hydrogeology</b>	75-90
<b>ASTRONOMY, PLANETARY GEOLOGY, METEOROLOGY</b>	
Andrić: <b>Inaccuracies in meteorite dark flight calculations</b>	91-98
Jurlina: <b>Analysis of radar precipitation estimation in central Croatia</b>	99-103
<b>ABSTRACTS</b>	
Korlević: <b>Višnjan's program of astrometry of the Solar system small bodies, tehnological Višnjanski program astrometrije malih tijela Sunčeva sustava, tehnološki switch and abandoning of Väisälä paradigm</b>	105-106
Šegon: <b>Astrometry methods HMM</b>	107-108
Vrbaški: <b>Homogenization of immiscible incompressible two-phase flow in double porosity media</b>	109-110

# Biostatistika u određivanju vrsta fosilnih planktonskih puževa

Izvorni znanstveni rad



Marija Bošnjak<sup>1</sup>; Jasenka Sremac<sup>2</sup>; Davor Vrsaljko<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Hrvatski prirodoslovni muzej, Demetrova 1, 10000 Zagreb, kustos

<sup>2</sup> Prirodoslovno-matematički fakultet Sveučilišta u Zagrebu, Geološki odsjek, Horvatovac 102 a, 10000 Zagreb, izv.prof.

## Sažetak

Biostatističke metode dragocjeno su pomagale pri preciznoj determinaciji raznih svojiti mekušaca unutar "dijagnostičkog ključa" na razini paleontološke vrste, te specifičnih morfometrijskih svojstava i korelacije s današnjim, živućim srodnicima. Puževi skupine Pteropoda prilagodili su se planktonskom načinu života u moru preobrazbom stopala u krila kojima plivaju. Pteropodi su sistematski podijeljeni u dva reda; Thecosomata ili "morski leptiri", i Gymnosomata ili "morski anđeli". Recentni pteropodi su važni ekološki indikatori, posebice neke vrste roda *Limacina*, na kojima se danas istražuju posljedice zakiseljavanja oceana. U fosilnom obliku nalaze se najčešće pripadnici reda Thecosomata, koji imaju aragonitne kućice. Obilje fosilnih pteropoda u području nekadašnjeg Paratetisa mora zabilježeno je u naslagama srednjeg miocena, podudarajući se s vremenom morskih transgresija tijekom badena. Najbrojniji taksoni u badenskim naslagama Paratetiskog mora pripadaju rodovima *Limacina*, *Vaginella* i *Clio*, koji su nađeni i u hrvatskom dijelu Panonskog bazenskog sustava (šira okolica Zagreba, Medvednica). Među navedenim rodovima neke se vrste zbog slične morfologije kućice i lošeg fosilnog očuvanja određuju na temelju biostatističkih metoda. Na primjeru nalaza badenskih pteropoda s područja Medvednice prikazana je upotreba matematičkih metoda u određivanju vrsta rodova *Vaginella*, *Clio* i *Limacina*. Vrste fosilnog roda *Vaginella* imaju stožaste kućice sličnog oblika te je razlikovanje vrsta otežano. Stoga se one određuju prema intraspecifičnim razlikama u rasponu apikalnog kuta kućice. Rodu *Clio* pripada nekoliko vrsta, među kojima se vrste *C. pedemontana* i *C. fallauxi* ističu po sličnosti strukture kućice. Važan kriterij za razlikovanje tih dviju vrsta je također apikalni kut. Uz njega se u odredbi vrste mogu primijeniti i mjerenja dodatnih geometrijskih elemenata kućice. Za razliku od rodova *Vaginella* i *Clio*, rod *Limacina* ima spiralne kućice. Unutar tog roda, ponekad je teško odrediti pronađene vrste *L. gramensis* i *L. valvatina* pa se primjenjuje umjetna granica, koju određuje omjer širine i visine kućice. Pored toga, mjere se i drugi elementi kućice te se primjenom biostatističkih metoda doprinosi razlikovanju tih vrsta i drugih vrsta roda *Limacina*. Poznavanje morfologije kućica pteropoda i primjene biostatistike u odredbi vrsta doprinosi paleoekološkim istraživanjima usporedbom fosilnih pteropoda s recentnim srodnicima. Učestalost nalaza fosilnih pteropoda u naslagama Panonskog bazenskog sustava omogućuje proširenje spoznaja o migracijskim putevima faune, a njihova povećana brojnost sugerira vremena značajnijih marinskih transgresija u badenu.

## Ključne riječi

Biostatistika, Pteropoda, baden, Paratetis, sjeverna Hrvatska.

## 1. Uvod

Među mekušcima se razvila posebna skupina morskih holoplanktonskih puževa, čije je obilježje da cijeli životni stadij žive kao plankton. Danas je poznato oko 140 vrsta holoplanktonskih puževa, koji su široko rasprostranjeni u svjetskim morima i oceanima. Tijekom dana plutaju u većim dubinama, a u sumrak migriraju prema površini mora. Planktonski način života omogućila im je preobrazba stopala u krila kojima plivaju i morfološke varijacije kućice, odnosno smanjenje njezine veličine ili njezin potpuni gubitak. Stoga se sistematski razlikuju dvije grupe holoplanktonskih puževa: Heteropoda (od jure do danas) i Pteropoda (od paleocena do danas). Naziv "Pteropoda", prema grčkoj riječi "pterón" (krilo), nije znanstveno precizan, ali se koristi za dva reda: Thecosomata ("morski leptiri"), koji imaju kućicu, i Gymnosomata ("morski anđeli"), bez kućice. Današnji Thecosomata smatraju se jako dobrim bioindikatorom

Dopisni autor: Marija Bošnjak  
 marija.bosnjak@hpm.hr

zakiseljavanja oceana zbog mineralnog sastava kućice. To se posebice odnosi na vrste roda *Limacina* koje žive i u polarnim i u tropskim morima, a na kojima se istražuje utjecaj promjene pH vrijednosti na morske zajednice (Janssen, 2003; Jennings i sur., 2010; Bednaršek i sur., 2012; Corse i sur., 2012).

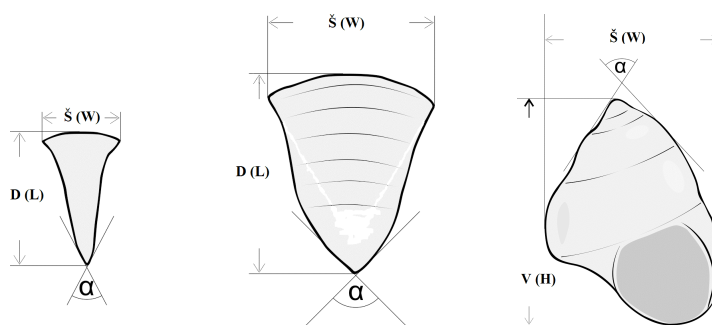
U fosilnom obliku nalaze se holoplanktonski puževi s aragonitnom kućicom. Pteropodi reda Thecosomata zabilježeni su u srednjomiocenskim naslagama Paratetis mora, odgovarajući vremenu badenskih morskih transgresija (npr. Janssen, 1984; Zorn, 1991, 1995, 1999; Bohn-Havas i Zorn, 1993, 1994; Rögl, 1998; Bohn-Havas i sur., 2004; Kováč i sur., 2007). Najbrojniji primjerci pripadaju rodovima *Limacina*, *Vaginella* i *Clio*. Neke vrste roda *Clio* nalaze se u naslagama starijeg badena, dok masovna pojava roda *Limacina* obilježava gornji baden te je po toj pojavi uveden naziv "*Limacina* horizont". U hrvatskom dijelu Panonskog bazenskog sustava u srednjomiocenskim naslagama također su zabilježeni nalazi rodova *Vaginella*, *Clio* i *Limacina* (Gorjanović-Kramberger, 1908; Kochansky, 1944; Basch, 1983; Avanić i sur., 1995). Kućice su kod nekih rodova raznolike i raspon morfologije je dosta širok, a kod drugih su poprilično slične te je teško odrediti pojedine vrste samo na temelju morfologije. Iz tog razloga i zbog najčešće lošeg fosilnog očuvanja neke vrste se određuju na temelju biostatističkih metoda. Na primjeru nalaza srednjomiocenskih pteropoda iz šire okolice Zagreba (Medvednica) u ovom je radu prikazan primjer upotrebe biostatistike u odredbi nekih vrsta.

## 2. Materijal i metode

Prilikom terenskih istraživanja provedenih tijekom 2014., 2015. i 2016. godine prikupljeni su pteropodi iz srednjomiocenskih, badenskih, lapora na području središnjeg i sjeveroistočnog dijela Medvednice u široj okolici Zagreba. Na lokalitetu Vejalnica u središnjem dijelu Medvednice pronađene su vrste rodova *Vaginella* i *Clio*, a u široj okolici Marije Bistrice u sjeveroistočnom dijelu Medvednice prikupljeni su predstavnici roda *Limacina*. Primjerci su nađeni u obliku otisaka i kamenih jezgri.

S oba lokaliteta laboratorijski je analizirano 30 dag svakog uzorka metodom muljenja. Lapori su usitnjeni i potopljeni u običnu vodu 24 sata. Potom su prosijani kroz niz sita veličina 0,5, 0,2, 0,125 i 0,63 mm te su izdvojene frakcije osušene. Pteropodi izdvojeni metodom muljenja pripadaju rodu *Limacina*. Promatrani su pod polarizirajućim mikroskopom Leica Laborlux 11 na Geološkom odsjeku Prirodoslovno-matematičkog fakulteta Sveučilišta u Zagrebu. Uzorci s pteropodima roda *Clio* i *Vaginella* očišćeni su i snimljeni fotoaparatom Canon EOS 6D u Hrvatskome prirodoslovnom muzeju. Svi prikupljeni i u ovom radu prikazani primjerci pteropoda pohranjeni su u depou Geološko-paleontološkog odjela Hrvatskoga prirodoslovnog muzeja.

Primjenom biostatistike određeno je devetnaest otisaka i/ili kamenih jezgri roda *Vaginella*, pet otisaka roda *Clio* i četrdeset tri piritizirane kamene jezgre roda *Limacina*. Većina primjeraka nije cjelovito očuvana. Od primjeraka *Vaginella* nalazi se dio odrasle kućice puža (teleokonh), kod roda *Clio* nije na svim primjercima očuvan apikalni kut, a kod limacinida ušće. Prikupljena fosilna građa analizirana je deskriptivnom statistikom u programu PAleontological STatistics (PAST) Version 3.13 (Hammer i sur., 2001) i MS Excel. Pteropodi su numerički i grafički opisani na temelju mjerenja dužine, visine i širine kućica, odnosa dužine, visine i širine, i mjerenja apikalnog kuta kućice (slika 1).



**Slika 1:** Mjereni elementi kućice pteropoda: D – dužina, Š – širina, V – visina, α – apikalni kut (prilagođeno prema Bošnjak i sur., predano u tisak, 2016)

**Figure 1:** Measured elements of pteropod shell: L – length, W – width, H – height, α – apical angle (modified after Bošnjak et al., submitted 2016)

Statistička analiza uključila je minimalnu i maksimalnu vrijednost mjerenog skupa podataka, aritmetičku sredinu, frekvenciju, standardnu devijaciju, medijan skupa podataka, te korelacijsku i regresijsku analizu. Objašnjenja korištenih statističkih alata su prema npr. **Pavlič (1985)**, **Bluman (2001)**, **Hammer i sur. (2001)** i **Hammer (2016)** sljedeća:

Minimalna (Min) i maksimalna (Max) vrijednost skupa podataka pokazuje najnižu, odnosno najveću vrijednost mjerenih podataka.

Aritmetička sredina ili prosjek podataka predstavlja zbroj podataka podijeljen s ukupnim brojem podataka prema **jednadžbi 1** kako slijedi

$$\bar{x} = (x_1 + x_2 + \dots + x_n) / n \quad (1)$$

gdje su:

$x_1$  do  $x_n$  – skupovi podataka,

$n$  – ukupan broj podataka.

Frekvencija je broj pojavljivanja određenog podatka. Standardna devijacija je drugi korijen varijance uzorka, tj. prosječnog kvadratnog odstupanja od prosjeka prema **jednadžbi 2** kako slijedi

$$s = \sqrt{\frac{\sum(x - \bar{x})^2}{n - 1}} \quad (2)$$

gdje su:

$x$  – vrijednosti varijable,

$\bar{x}$  – aritmetička sredina,

$n$  – broj primjeraka.

Medijan skupa podataka je vrijednost koja se nalazi u sredini zadanog skupa; u slučaju neparnog broja podataka to je srednja vrijednost, a u slučaju parnog broja podataka je aritmetička sredina. Za određivanje odnosa među varijablama korišteni su koeficijent korelacije i regresijska analiza. Koeficijent korelacije je stupanj statističke povezanosti određen Pearsonovim koeficijentom korelacije ( $r$ ) prema **jednadžbi 3** kako slijedi

$$r = \sigma_{xy} / \sigma_x \sigma_y \quad (3)$$

gdje su:

$\sigma_x$  i  $\sigma_y$  – standardne devijacije varijabli  $x$  i  $y$

$\sigma_{xy}$  – kovarianca, tj. aritmetička sredina umnožaka odstupanja varijabli od njihovih aritmetičkih sredina.

Regresijska analiza definira oblik povezanosti varijabli koje se istražuju, daje oblik krivulje koji najbolje opisuje određene varijable prema **jednadžbi 4** kako slijedi

$$y = ax + b \quad (4)$$

gdje su:

$a$  – nagib pravca,

$b$  – odsječak na  $y$ -osi.

Pored linearnog trenda odnos mjerenih podataka prikazan je i polinomom četvrtog stupnja.

### 3. Rezultati

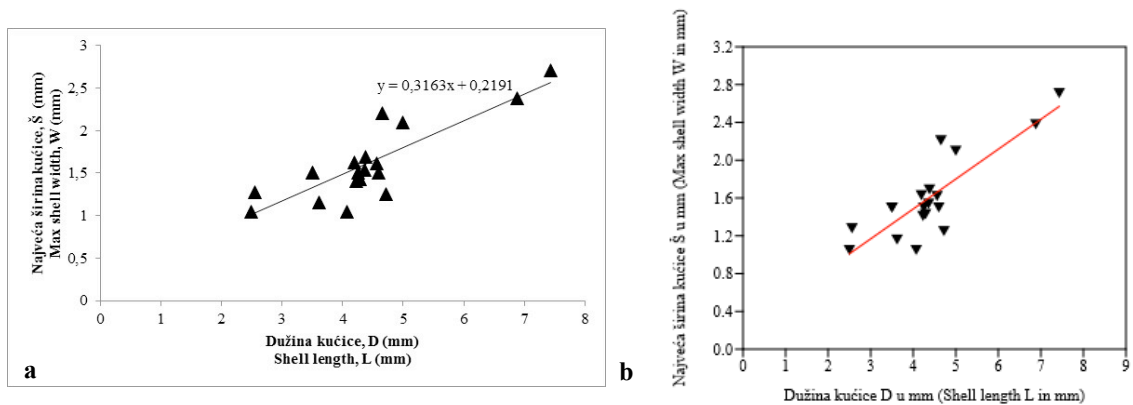
#### 3.1. Primjena biostatističkih metoda na primjeru roda *Vaginella*

Fosilni rod *Vaginella* pokazuje raznolikost u veličini kućice (dužina i širina), rasponu vrijednosti apikalnog kuta, spljoštenosti kućice i drugim morfološkim karakteristikama. Prema opisu u **Zorn (1991)** kućice ovog roda su izdužena oblika, dorzoventralno spljoštene, prema aperturi se šire, a pred samom aperturom mogu biti sužene (predaperturalno suženje, **slika 1**). Kućice uglavnom nisu ornamentirane, iako neke imaju bore paralelne s osi kućice. Varijabilnost oblika vidljiva je ne samo među vrstama, već i unutar iste vrste, stoga je odredba otežana. Loše fosilno očuvanje, najčešće u obliku otisaka ili kamenih jezgri, dodatno otežava determinaciju: kućice najčešće nisu potpune, često nedostaje protokonh (larvalni dio kućice), aperturalni i apikalni dio pa mjerenje kompletne kućice u tim slučajevima nije moguće. Nekoliko vrsta roda *Vaginella* sličnog je oblika, a tijekom razvoja su poprimile sve izduženije kućice. Pored morfoloških karakteristika kućice, predloženi su i rasponi apikalnog kuta za pojedinu vrstu: *V. depressa*  $\geq 40^\circ$ , *V. austriaca* otprilike  $\geq 20^\circ$ , *V. acutissima* otprilike  $15-18^\circ$  i *V. lapugyensis* otprilike  $8-13^\circ$  (npr. **Janssen i Zorn, 1993; Cahuzac i Janssen, 2010; Janssen i Little, 2010**).

Primjerci otisaka i jezgri *Vaginella* pronađeni na lokalitetu Vejalnica određeni su kao *Vaginella austriaca* Kittl na temelju morfoloških karakteristika, podataka o dosadašnjim istraživanjima i biostatističkom usporedbom s nalazima iz susjednih područja dostupnih iz objavljenih znanstvenih radova. Kućice ove vrste imaju oblik koplja, dorzoventralno su spljoštene i najšire su u smjeru aperture. Među prikupljenim uzorcima protokonh nije očuvan, kao najčešće ni apikalni dio te su te vrijednosti projicirane. U području aperture nije vidljivo predaperturalno suženje. Podatci uzeti u obzir za biostatističke metode su sljedeći (**slika 1**): dužina kućice (D, u mm), najveća širina kućice (Š, u mm), apikalni kut ( $\alpha$ , u  $^\circ$ ), minimalna i maksimalna vrijednost raspona mjerenih podataka (D, Š i  $\alpha$ ), aritmetička sredina ( $\bar{x}$ ), standardna devijacija, medijan i koeficijent korelacije (r). Navedeni statistički elementi prikazani su u **tablici 1**, a odnos mjerenih elemenata prikazan je na **slikama 2, 3, i 4**.

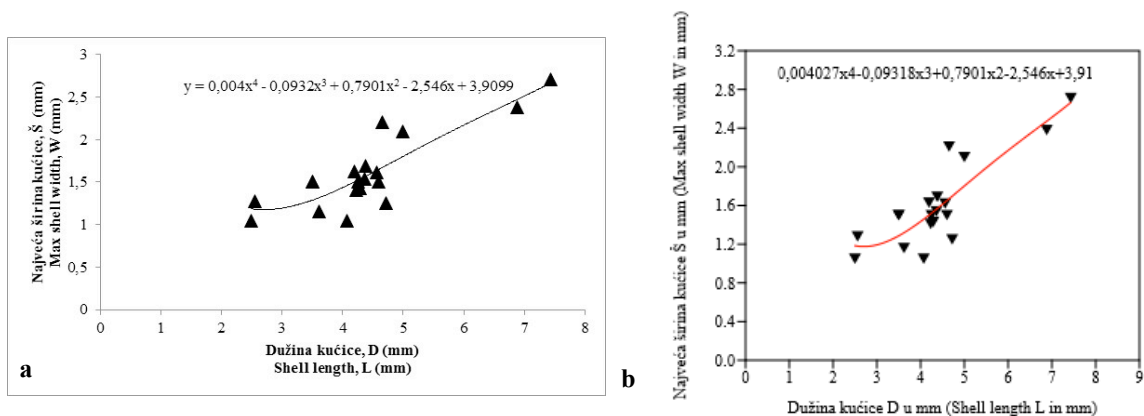
	Dužina kućice D (L), mm	Širina kućice Š (W), mm	D/Š (L/W)	Apikalni kut (apical angle), $\alpha$ ( $^\circ$ )
N	19	19	19	19
Min	2,5	1,05	2	13
Max	7,43	2,71	3,88	28
$\bar{x}$	4,383684	1,605789	2,77	21,21053
$\sigma$	1,186949	0,4474287	0,4944245	4,871447
Medijan	4,29	1,5	2,81	21
r	0,8			

**Tablica 1:** Statističke vrijednosti *Vaginella austriaca* izračunate u programu PAST (N – broj primjeraka)  
**Table 1:** Statistical values of *Vaginella austriaca* calculated in PAST program (N – number of specimens)



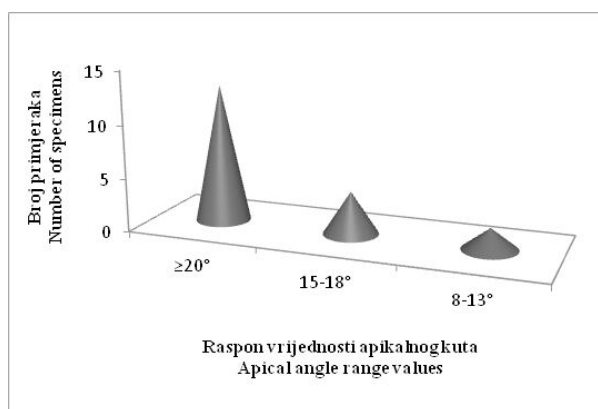
Slika 2: Odnos dužine i najveće širine kućice (D/Š) *Vaginella austriaca* s pravcem linarnog trenda rađeno u (a) MS Excel i (b) programu PAST

Figure 2: Length-width ratio (L/W) of *Vaginella austriaca* with marked linear trendline after (a) MS Excel and (b) PAST program



Slika 3: Odnos dužine i najveće širine kućice (D/Š) *Vaginella austriaca* s krivuljom polinoma 4. stupnja rađeno u (a) MS Excel i (b) programu PAST

Figure 3: Length-width ratio (L/W) of *Vaginella austriaca* with marked polynomial trendline after (a) MS Excel and (b) PAST program



Slika 4: Raspon vrijednosti apikalnih kutova *Vaginella austriaca*  
Figure 4: Apical angle values of *Vaginella austriaca*

Primjerci vrste *Vaginella austriaca* prikupljeni na lokalitetu Vejalnica pokazuju jaku korelaciju (slika 2 i 3), što potvrđuje i vrijednost korelacijskog koeficijenta (tablica 1). Kako otisci kućica nisu očuvani čitavi, ova mjerenja ne predstavljaju vrijednost prave veličine, odnosno čitave kućice. Iako neki rasponi apikalnog kuta (slika 4) variraju i pokazuju vrijednosti koje bi odgovarale moguće drugim vrstama *Vaginella* (vrijednosti manje od 20°), i ti su primjerci određeni kao *V. austriaca* s obzirom na odgovarajuće morfološke karakteristike.

### 3.2. Primjena biostatističkih metoda na primjeru roda *Clio*

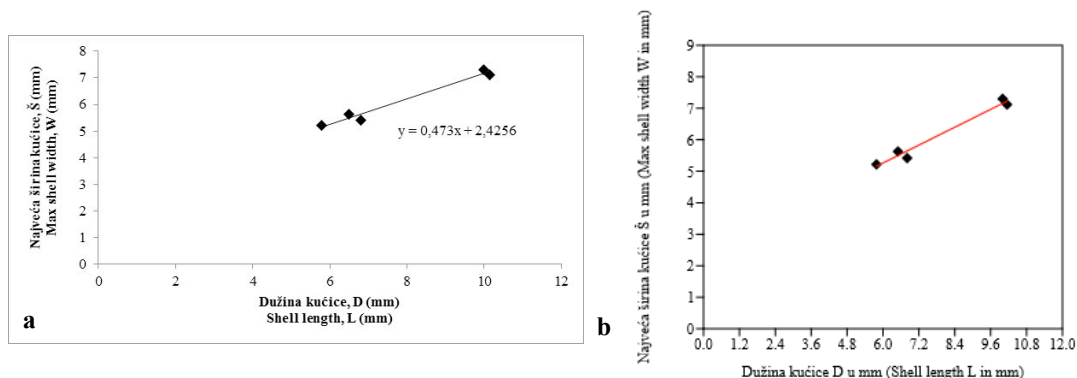
Vrste recentnog roda *Clio* imaju kućice piramidalnog oblika s oštrim bočnim bridovima i izoštranim vrhom, koji može biti ravan ili savijen. Kućica se širi prema aperturi i može biti savijena. Površina kućice je glatka ili češće ima poprečna rebra. Ovisno o vrsti, rebra mogu biti primarna i sekundarna. Početni dio kućice, tj. protoknih se rijetko fosilno očuva. S obzirom na često nepotpuno fosilno očuvanje kućice, za neke vrste su dijelovi larvalne kućice, inače bitni elementi za odredbu vrste, i dalje nepoznati (Zorn, 1991; Janssen i Little, 2010). Dvije vrste su po morfologiji slične i dolaze zajedno u badenskim naslagama, *C. pedemontana* i *C. fallauxi*. Kao kriterij razlikovanja se uz poprečna rebra kućice uzima i vrijednost apikalnog kuta, koja je veća za *C. fallauxi* (Janssen i Zorn, 1993; Zorn, 1999).

U badenskim laporima lokaliteta Vejalnica nađeni su otisci vrste *Clio fallauxi* (Kittl), pet primjeraka na kojima su izmjereni podaci prikazani su u tablici 2, osim apikalnog kuta na jednom primjerku. Protoknih nije očuvan ni na jednom uzorku. Na površini kućice vidljiva su primarna i sekundarna rebra, tipična za tu vrstu, a raspon apikalnog kuta odgovara vrsti *C. fallauxi*. Stoga su na temelju morfologije kućice i mjerenih elemenata ovi primjerci određeni kao *C. fallauxi*. Mjereni elementi i statistički alati su sljedeći (tablica 2): dužina kućice (D, u mm), najveća širina kućice (Š, u mm), D/Š odnos, apikalni kut ( $\alpha$ , u °), minimalna i maksimalna vrijednost raspona mjerenih podataka (D, Š i  $\alpha$ ), aritmetička sredina ( $\bar{x}$ ), standardna devijacija, medijan i koeficijent korelacije (r). Na slikama 5 i 6 prikazani su odnosi mjerenih elemenata.

	Dužina kućice D (L), mm	Širina kućice Š (W), mm	D/Š (L/W)	Apikalni kut (apical angle), $\alpha$ (°)
N	5	5	5	4
Min	5,78	5,22	1,11	58
Max	10,15	7,3	1,43	74
$\bar{x}$	7,848	6,138	1,264	68
$\sigma$	2,067697	0,9913223	0,1374045	7,118052
Medijan	6,81	5,63	1,26	70
r	0,78			

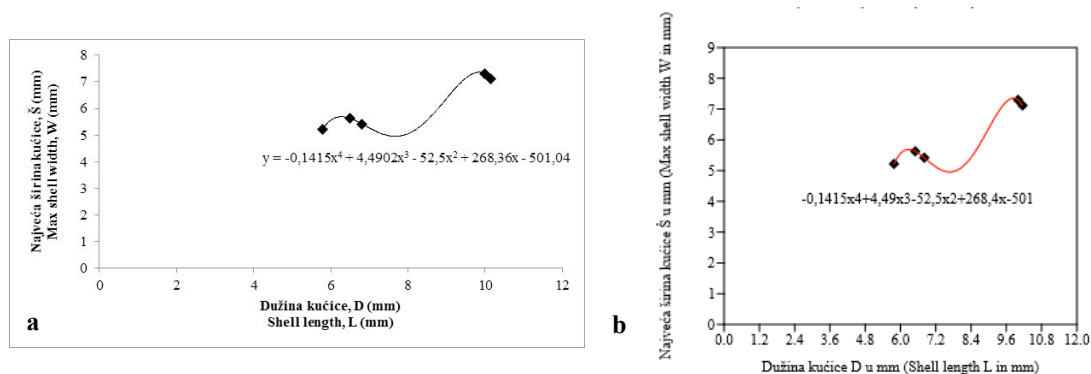
Tablica 2: Statističke vrijednosti *Clio fallauxi* izračunate u programu PAST (N – broj primjeraka)

Table 2: Statistical values of *Clio fallauxi* calculated in PAST program (N – number of specimens)



Slika 5: Odnos dužine i najveće širine kućice (D/Š) *Clio fallauxi* s pravcem linarnog trenda rađeno u (a) MS Excel i (b) programu PAST

Figure 5: Length-width ratio (L/W) of *Clio fallauxi* with marked linear trendline after (a) MS Excel and (b) PAST program



**Slika 6:** Odnos dužine i najveće širine kućice ( $D/\bar{S}$ ) *Clio fallauxi* s krivuljom polinoma 4. stupnja rađeno u (a) MS Excel i (b) programu PAST

**Figure 6:** Length-width ratio ( $L/W$ ) of *Clio fallauxi* with marked polynomial trendline after (a) MS Excel and (b) PAST program

Pronađeni broj primjeraka vrste *Clio fallauxi* nije dovoljan za statističku analizu, ali su autori željeli istražiti i pokazati sličnost kućica vidljive na slikama 5 i 6 i korelacijskom koeficijentu koji pokazuje dobru korelaciju (tablica 2). Odredba je načinjena prema nalazima ove vrste u badenskim naslagama susjednih dijelova Panonskog bazenskog sustava. Daljnjim terenskim istraživanjem postoji mogućnost nalaženja novih primjeraka i/ili fragmenata pteropoda ove vrste i/ili roda, čiji bi nalazi upotpunili i poboljšali biostatističke metode.

### 3.3. Primjena biostatističkih metoda na primjeru roda *Limacina*

Kućice recentnog kozmopolitkog roda *Limacina* su prema opisima (npr. Zorn, 1991; Janssen, 2003) spiralno savijene s povišenom, rjeđe plosnatom spiro (zavojnicom), a neke imaju i udubljeni (konkavni) vrh. Zavoji su loptasti. Pupak može biti raznih širina ili nije uvijek prisutan. Kućica nije ornamentirana, dok ušće može biti odebljalo ili prošireno. Primjerci *Limacina* često se nalaze kao piritizirane kamene jezgre, što je slučaj i s primjercima prikupljenima na lokalitetu Marija Bistrica. Elementi koji se inače primjenjuju u odredbi su odnos visine i širine kućice ( $V/\bar{S}$  odnos), broj zavoja i oblik zavojnica (planispiralna, trohospiralna). U badenskim naslagama Panonskog bazenskog sustava i susjednim područjima zajedno su pronađene dvije vrste, *L. gramensis* i *L. valvatina*. U slučaju da je morfologija kućice vrlo slična, za odredbu tih vrsta primjenjuje se umjetna granica prema  $V/\bar{S}$  odnosu: ako je vrijednost manja od 110 primjerci pripadaju vrsti *L. valvatina*, i obratno *L. gramensis* (npr. Janssen i Zorn, 1993). U primjeru prikazanom u ovom radu zabilježene su obje vrste u badenskim naslagama sjeveroistočnog dijela Medvednice. Elementi i alati biostatistike su sljedeći (tablica 3 i 4): visina kućice ( $V$ , u mm), najveća širina kućice ( $\bar{S}$ , u mm),  $V/\bar{S}$  odnos, apikalni kut ( $\alpha$ , u  $^\circ$ ), minimalna i maksimalna vrijednost raspona mjerenih podataka ( $V$ ,  $\bar{S}$  i  $\alpha$ ), aritmetička sredina ( $\bar{x}$ ), standardna devijacija, medijan i koeficijent korelacije ( $r$ ), a međusobni odnosi mjerenih elemenata kućice prikazani su na slikama 7, 8, 9 i 10.

	Visina kućice $V$ (H), mm	Širina kućice $\bar{S}$ (W), mm	$V/\bar{S}$ (H/W)	Apikalni kut (apical angle), $\alpha$ ( $^\circ$ )
N	8	8	8	8
Min	0,259	0,228	1,085	44
Max	0,394	0,271	1,602	80
$\bar{x}$	0,30775	0,24425	1,2606	60,125
$\sigma$	0,04255668	0,01446918	0,1626073	121,354
Medijan	0,293	0,2445	1,221	61,5
$r$	0,3			

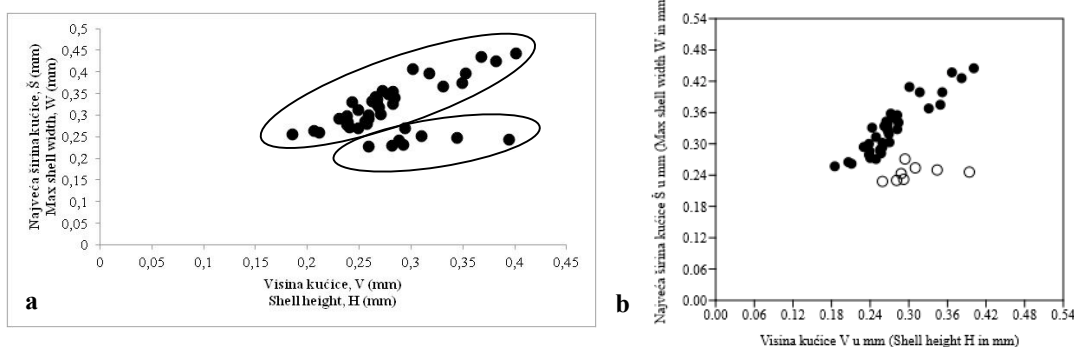
**Tablica 3:** Statističke vrijednosti *Limacina gramensis* izračunate u programu PAST (N – broj primjeraka)  
**Table 3:** Statistical values of *Limacina gramensis* calculated in PAST program (N – number of specimens)



	Visina kućice V (H), mm	Širina kućice Š (W), mm	V/Š (H/W)	Apikalni kut (apical angle), $\alpha$ (°)
N	35	35	35	35
Min	0,185	0,257	0,72	88
Max	0,401	0,445	0,931	158
$\bar{x}$	0,2746571	0,3296571	0,8326286	114
$\sigma$	0,04898916	0,05195923	0,05762867	1,5798
Medijan	0,265	0,326	0,836	114
r	0,9			

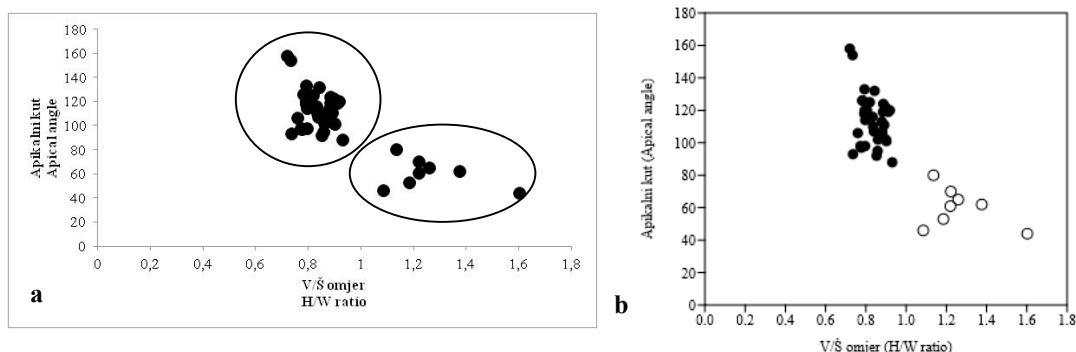
**Tablica 4:** Statističke vrijednosti *Limacina valvatina* izračunate u programu PAST (N – broj primjeraka)

**Table 4:** Statistical values of *Limacina valvatina* calculated in PAST program (N – number of specimens)



**Slika 7:** Odnos visine i širine kućice (V/Š) primjeraka *Limacina* s obilježenim odvajanjem dvije vrste rađeno u (a) MS Excel i (b) programu PAST (crni krug: *L. valvatina*, bijeli krug: *L. gramensis*)

**Figure 7:** Height-width ratio (H/W) of *Limacina* with marked differentiation of two species after (a) MS Excel and (b) PAST program (black dot: *L. valvatina*, white dot: *L. gramensis*)

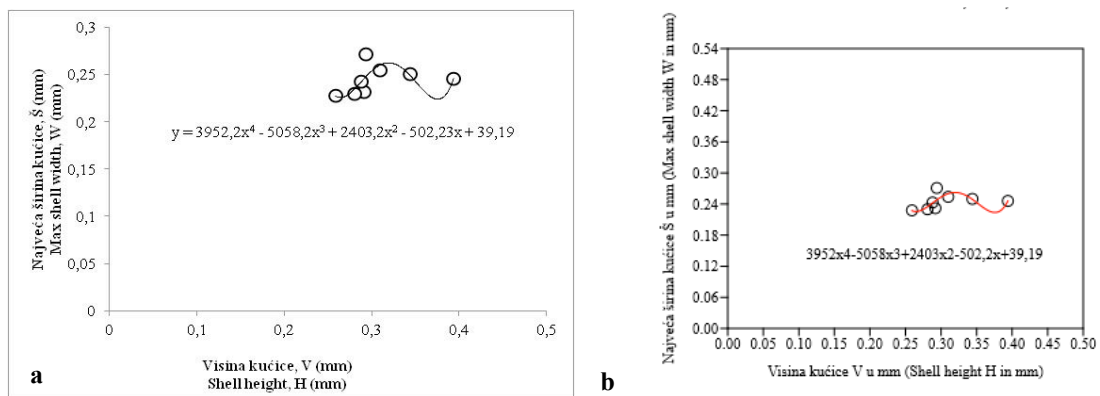


**Slika 8:** Odnos omjera V/Š i apikalnog kuta kućice primjeraka *Limacina* s obilježenim odvajanjem dvije vrste rađeno u (a) MS Excel i (b) programu PAST (crni krug: *L. valvatina*, bijeli krug: *L. gramensis*)

**Figure 8:** H/W ratio and apical angle values of *Limacina* with marked differentiation of two species after (a) MS Excel and (b) PAST program (black dot: *L. valvatina*, white dot: *L. gramensis*)

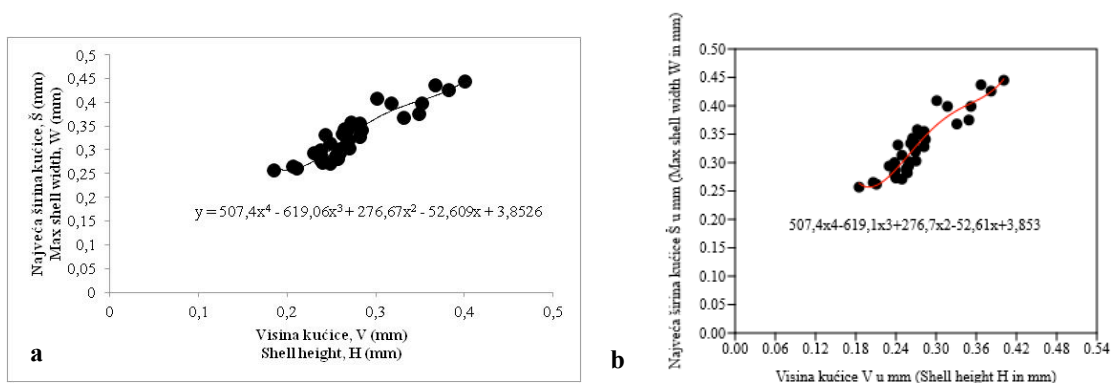
Prema razlikama u morfologiji kućice izdvojeni su primjerci dvije vrste, *L. gramensis* (Rasmussen) i *L. valvatina* (Reuss), a statističkim alatima je napravljena potvrda. Zajedno su analizirani isti mjereni elementi (slike 7 i 8) i na dobivenim grafovima vidi se izdvajanje vrsta *L. gramensis* i *L. valvatina*.

Ako se vrste analiziraju zasebno, na slici 9 se vidi izdvajanje jednog primjerka *Limacina gramensis*, dok na slici 10 kod *Limacina valvatina* nema većih odstupanja od krivulje polinoma 4. stupnja. Također, korelacijski koeficijent pokazuje jaku korelaciju *L. valvatina* primjeraka, dok je za *L. gramensis* korelacija slaba (tablice 3 i 4).



**Slika 9:** Odnos visine i širine kućice primjeraka *Limacina gramensis* s polinomom 4. stupnja rađeno u (a) MS Excel i (b) programu PAST

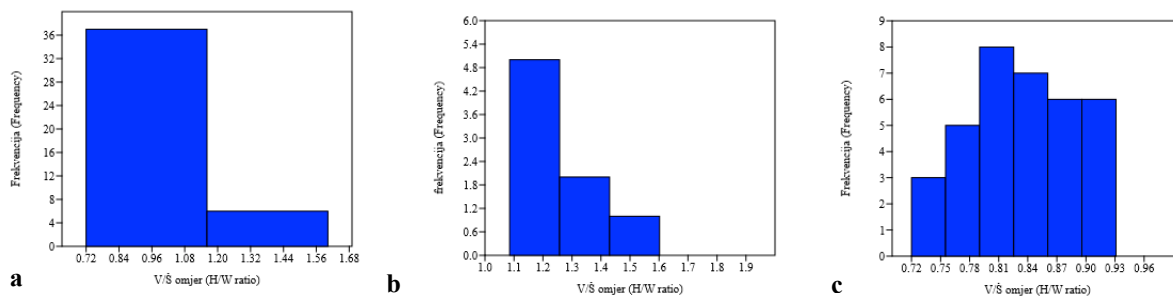
**Figure 9:** Shell height and width ratio of *Limacina gramensis* with 4th order polynom after (a) MS Excel and (b) PAST program



**Slika 10:** Odnos visine i širine kućice primjeraka *Limacina valvatina* s polinomom 4. stupnja rađeno u (a) MS Excel i (b) programu PAST

**Figure 10:** Shell height and width ratio of *Limacina valvatina* with 4th order polynom after (a) MS Excel and (b) PAST program

Na **slici 11** prikazana je frekvencija omjera visine i širine kućice ( $\dot{S}/V$  odnos) mjenjenih *Limacina*. Prema dobivenim frekvencijama vidi se također odvajanje, što je u skladu s primjenom umjetne granice  $\dot{S}/V = 110$ . Jedan primjerak ima nešto manji odnos od 110 (**slika 11b**), ali je određen kao *L. gramensis* prema morfološkim osobinama kućice.



**Slika 11:** Frekvencija  $V/\dot{S}$  odnosa među (a) mjenjenim primjercima *Limacina*, (b) *Limacina gramensis*, (c) *Limacina valvatina*

**Figure 11:** Frequency of H/W ration in (a) *Limacina* specimens, (b) *Limacina gramensis*, (c) *Limacina valvatina*

#### 4. Rasprava i zaključak

Fosilne pteropode iz srednjomiocenskih, badenskih naslaga Medvednice spominju **Gorjanović-Kramberger (1908)**, **Kochansky (1944)**, **Basch (1983)** i **Avanić i sur. (1995)**. Najrasprostranjenija vrsta je *Vaginella austriaca*, a nalazi se u tzv. "pteropodnim laporima". Iz središnjeg dijela Medvednice **Kochansky (1944)** i **Basch (1983)** navode rjeđe nalaze vrste *Clio pedemontana*. Nalazi limacinida i vrste *Clio fallauxi* nisu do sada zabilježeni u srednjomiocenskim naslagama Medvednice, a detaljnije su opisani u **Bošnjak i sur. (predano u tisak, 2016)**.

U badenskim naslagama srednjo- i istočnoeuropskih prostora Panonskog bazenskog sustava brojni su nalazi pteropoda (npr. **Janssen, 1984; Zorn, 1991, 1995, 1999; Bohn-Havas i Zorn, 1993, 1994; Bohn-Havas i sur., 2004**), uključujući i ovdje opisane vrste *V. austriaca*, *C. fallauxi*, *L. gramensis* i *L. valvatina*. Nalaz *C. fallauxi* obilježava stariji badenski pteropodni događaj i prati srednjomiocensku transgresiju u području Panonskog bazenskog sustava. U gornjem badenu poznat je "Limacina horizont", tj. pteropodni događaj koji prati gronjobadensku morsku transgresiju. Tako učestalost nalaza pteropoda pruža mogućnost proširenja spoznaja o vremenu značajnijih morskih transgresija u badenu i migracijskim putevima faune u nekadašnjem Paratetisu i šire.

Danas su holoplanktonski puževi rasprostranjeni duž svih klimatskih pojaseva, ovisno o temperaturi, salinitetu, kisiku, hrani i dr. Velika raznolikost vrsta je u tropskim područjima, a u polarnim vodama žive dvije vrste, *Limacina helicina* i *L. retroversa* (**Herman, 1998; Lischka i Riebesell, 2012; Janssen i Peijnenburg, 2014**). Recentni pteropodi smatraju se izvrsnim bioindikatorima zakiseljavanja oceana. Porastom udjela CO<sub>2</sub> mijenja se karbonatni sastav vode i dolazi do smanjenja koncentracije karbonatnih iona. Budući da su im kućice od aragonita, osjetljivi su na promjene pH vrijednosti vode, što se odražava na metabolizmu organizma, rastu kućice i u konačnici gubitku same kućice, osobito kod vrsta koje žive u polarnim morima (npr. **Lischka i Riebesell, 2012; Wall-Palmer i sur., 2012**).

Fosilni i recentni pteropodi imaju široki raspon morfoloških varijacija i izgleda kućice. Anatomija recentnih holoplanktonskih puževa nije potpuno poznata, pa postoji dosta nepoznanica, npr. o njihovoj taksonomiji, genetici, kretanju populacija i ekologiji. Taksonomija recentnih puževa uglavnom je određena na temelju morfologije kućice, a veliki doprinos ima i poznavanje fosilnih pteropoda (npr. **Burridge i sur., 2015; Wall-Palmer i sur., 2016**). Problem u primjeni biostatistike za odredbu fosilnih pteropoda predstavlja njihovo loše i nepotpuno očuvanje. Kako je ovdje navedeno, najčešće nedostaju početni dijelovi kućice, protokonh (larvalne kućice), koje su bitne za odredbu vrste. Također se često nalaze i primjerci bez očuvanog aperturalnog dijela. Stoga se mjerenjem ne dobivaju vrijednosti cjelovite kućice. Uz to, kod nepotpuno sačuvanih primjeraka, apikalni kut (npr. *Vaginella*, *Clio*) je projiciran. Biostatistika u odredbi vrste ili roda mora se voditi morfološkim karakteristikama cjelovite kućice, jer dio mjerenih vrijednosti može odražavati nepotpune ili krive podatke, te time nedovoljne za odredbu samo na temelju mjerenja. Poznavanje morfologije kućica i primjene biostatističkih metoda u odredbi vrsta doprinosi paleoekološkim istraživanjima. Modernim znantsvenim istraživanjima na recentnim pteropodima i njihovom korelacijom s fosilnim vrstama dolazi se do važnih rezultata u sistematici, biogeografiji i biostratigrafiji.

#### 5. Popis literature

- Avanić, R., Pavelić, D., Brkić, M., Miknić, M., Šimunić, A. (1995): Lapor i biokalkareniti Vejalnice. U: K. Šikić (ur.): Geološki vodič Medvednice. – Institute of Geology, Zagreb, INA-Industrija nafte, d.d., Zagreb, 159-164, 199 p.
- Basch, O. (1983): Osnovna geološka karta SFRJ 1:100000. Tumač za list Ivanić-Grad. Geološki zavod, Zagreb (1980), Savezni geološki zavod, Beograd, 66 str.
- Bednaršek, N., Tarling, G., Bakker, D., Fielding, S., Cohen, A., Kuzirian, A., McCorkle, D., Lézé, B., Montagna, R. (2012): Description and quantification of pteropod shell dissolution: a sensitive bioindicator of ocean acidification. *Global Change Biology*, 18, 2378-2388.
- Bluman, A.G. (2001): *Elementary Statistics: A step by step approach* (fourth edition). McGraw-Hill, New York, 757 str.
- Bohn-Havas, M., Zorn, I. (1993): Biostratigraphic studies on planktonic gastropods from the Tertiary of the Central Paratethys. *Scripta Geologica, Spec. Issue 2*, 57-66.
- Bohn-Havas, M., Zorn, I. (1994): Biostratigraphische Studien über planktonische Gastropoden im Mittel-Miozän von Österreich und Ungarn. *Jubiläumsschrift 20 Jahre Geologische Zusammenarbeit Österreich-Ungarn*, 2, 73-85.
- Bohn-Havas, M., Lantos, M., Selmeczi, I. (2004): Biostratigraphic studies and correlation of Tertiary planktonic gastropods (pteropods) from Hungary. *Acta Palaeontologica Romaniaae*, 4, 37-43.

- Bošnjak, M., Sremac, J., Vrsaljko, D., Aščić, Š., Bosak, L. (predano u tisak/submitted, 2016): Miocene "Pteropod event" in the SW part of the Central Paratethys (Medvednica Mt., northern Croatia).
- Burridge, A.K., Goetze, E., Raes, N., Huisman, J., Peijnenburg, K.T.C.A. (2015): Global biogeography and evolution of *Cuvierina* pteropods. *Evolutionary Biology*, 15, 39.
- Cahuzac, B., Janssen, A.W. (2010): Eocene to Miocene holoplanktonic Mollusca (Gastropoda) of the Aquitaine Basin, southwest France. *Scripta Geologica*, 141, 1-193.
- Corse, E., Rampal, J., Cuoc, C., Pech, N., Perez, Y., Gilles, A. (2013): Phylogenetic Analysis of Thecosomata Blainville, 1824 (Holoplanktonic Opisthobranchia) Using Morphological and Molecular Data. *PLoS ONE*, 8, 4, e59439.
- Gorjanović-Kramberger, D. (1908): Geologijška prijedlogna karta Kraljevine Hrvatske-Slavonije. Tumač geologijškoj karti Zagreb (zona 22, col. XIV) (*Geologische Übersichtskarte des Königreiches Kroatien-Slavonien. Erläuterungen zur geologischen Karte von Agram, Zone 22, Col XIV*). Nakl. Kralj. zemalj. vlade, Odjel za unut. poslove, Zagreb, 75 str.
- Hammer, Ø., Harper, D.A.T., P. D. Ryan, (2001): PAST: Paleontological Statistics Software Package for Education and Data Analysis. *Palaeontologia Electronica*, 4, 1, 9 str.
- Hammer, Ø. (2016): PAST PAleontological STatistics Reference manual. 250 p. <http://folk.uio.no/ohammer/past/past3manual.pdf>
- Herman, Y. (1998): Pteropods. U: Haq, B.U. and Boersma, A. (ur.): Introduction to marine micropaleontology. – Elsevier Science, 151-159, 376 str.
- Janssen, A.W. (1984): Type specimens of pteropod species (Mollusca, Gastropoda) described by Rolle (1861), Reuss (1867) and Kittl (1886), kept in the collection of the Naturhistorisches Museum at Vienna. *Meded. Werkgr. Tert. Kwart. Geol.*, 21, 2, 61-91.
- Janssen, A.W. (2003): Notes on the systematics, morphology and biostratigraphy of fossil holoplanktonic Mollusca, 13. Considerations on a subdivision of Thecosomata, with the emphasis on genus group classification of Limacinidae. *Cainozoic Research*, 2, 1-2 (2002), 163-170.
- Janssen, A.W., Zorn, I. (1993): Revision of Middle Miocene holoplanktonic gastropods from Poland, published by the late Wilhelm Krach. *Scripta Geologica, Special Issue 2*, 155-236.
- Janssen, A.W., Little, C.T.S. (2010): Holoplanktonic Gastropoda (Mollusca) from the Miocene of Cyprus: systematics and biostratigraphy. *Palaeontology*, 53, 5, 1111-1145.
- Janssen, A.W., Peijnenburg, K.T.C.A. (2014): Holoplanktonic Mollusca: Development in the Mediterranean Basin During the Last 30 Million Years and Their Future. U: Goffredo, S., Dubinsky, Z. (ur.): The Mediterranean Sea: Its history and present challenges. – Springer Science+Business Media, 341-362, 678 str.
- Jennings, R.M., Bucklin, A., Ossenbrügger, H., Hopcroft, R.R. (2010): Species diversity of planktonic gastropods (Pteropoda and Heteropoda) from six ocean regions based on DNA barcode analysis. *Deep-Sea Research*, II, 57, 2199-2210.
- Kochansky, V. (1944): Fauna marinskog miocena južnog pobočja Medvednice (Zagrebačke gore) (*Miozäne marine Fauna des südlichen Abhanges der Medvednica, Zagreber Gebirge*). *Geol. vjesnik Hrv. drž. geol. zav. Hrv. drž. geol. muz.*, 2/3, 171-280.
- Kováč, M., Andreyeva-Grigorovich, A., Bajraktarević, Z., Brzobohatý, R., Filipescu, S., Fodor, L., Harzhauser, M., Nagymarosy, A., Oszczyk, N., Pavelić, D., Rögl, F., Saftić, B., Sliva, L., Studencka, B. (2007): Badenian evolution of the Central Paratethys Sea: paleogeography, climate and eustatic sea-level changes. *Geologica Carpathica*, 58, 6, 579-606.
- Lischka, S., Riebesell, U. (2012): Synergistic effects of ocean acidification and warming on overwintering pteropods in the Arctic. *Global Change Biology*, 18, 3517-3528.
- Pavlič, I. (1985): Statistička teorija i primjena (3 izdanje). Tehnička knjiga, Zagreb.
- Rögl, F. (1998): Palaeogeographic Considerations for Mediterranean and Paratethys Seaways (Oligocene to Miocene). *Annalen des Naturhistorischen Museums in Wien*, 99 A, 279-310.
- Wall-Palmer, D., Hart, M.B., Smart, C.W., Sparks, R.S.J., Le Friant, A., Boudon, G., Deplus, C., Komorowski, J. C. (2012): Pteropods from the Caribbean Sea: variations in calcification as an indicator of past ocean carbonate saturation. *Biogeosciences*, 9, 309-315.
- Wall-Palmer, D., Burridge, A.K., Peijnenburg, K.T.C.A. (2016): *Atlanta ariejansseni*, a new species of shelled heteropod from the Southern Subtropical Convergence Zone (Gastropoda, Pterotracheoidea). *ZooKeys*, 604, 13-30.
- Zorn, I. (1991): A systematic account of Tertiary pteropoda (Gastropoda, Euthecosomata) from Austria. *Contr. Tert. Quatern. Geol.*, 28, 4, 95-139.
- Zorn, I. (1995): Planktonische Gastropoden (Euthecosomata und Heteropoda) in der Sammlung Mayer-Eymar im Naturhistorischen Museum in Basel. *Eclogae Geologicae Helvetiae*, 88, 3, 743-759.
- Zorn, I. (1999): Planktonic gastropods (pteropods) from the Miocene of the Carpathian Foredeep and the Ždánice Unit in Moravia (Czech Republic). *Abhandlungen der Geologischen Bundesanstalt*, 56, 2, 723-738.

## Abstract in English

### Biostatistic determination of planktonic gastropods fossil species

Application of biostatistic is often indispensable procedure in the precise determination of various molluscs taxa within the paleontological record and the "diagnostic key" of the paleontologic species, and specific morphometric

characteristics and correlation with recent, extant relatives. Group of gastropods known as Pteropoda adapted to a planktonic way of life in marine environments by transforming the foot into the wings used for swimming. Pteropods are systematically divided into two orders; Thecosomata or "sea butterflies", and Gymnosomata or "sea angels". Representatives of order Thecosomata are commonly visible in the fossil record due to their aragonitic shells. Recent pteropods represent important ecological indicator, especially some species of genus *Limacina*, which are today used in the ocean acidification studies. Numerous fossil pteropods are recorded in the Middle Miocene deposits of the Paratethys area, coinciding with the timing of the Badenian marine transgressions. Genera *Limacina*, *Vaginella* and *Clio* represent most numerous taxa found in the Badenian deposits of the Paratethys, as well in the Croatian part of the Pannonian Basin System (wider Zagreb area, Medvednica Mt.). Among the mentioned genera some species are determined by biostatistics methods, due to the shared details of the shell morphologies and poor fossil preservation. Based on the example of the Badenian pteropods found on the Medvednica Mt., authors apply mathematical methods in determining *Vaginella*, *Clio* and *Limacina* species. Fossil *Vaginella* species have conical shells of similar shape, and recognizing different species of this genus is difficult. Thus, *Vaginella* species are determined based on the intraspecific differences in apical angle range. *Vaginella* specimens collected from the central part of the Medvednica Mt. show high correlation coefficient, and are determined as *Vaginella austriaca* Kittl. Genus *Clio* includes several species, and *C. pedemontana* and *C. fallauxi* are characterized by the similar shell structure. In this case, apical angle of the shell is used as an important distinguishing criterion. Moreover, additional geometric shell measurements can be used for the species determination. So far, genus *Clio* represents rare taxon in the Middle Miocene deposits of the Medvednica Mt. Recorded casts from the central part are determined as *Clio fallauxi* (Kittl). Unlike *Vaginella* and *Clio*, *Limacina* species have spiral shells. Collected limacinid specimens from the northeastern part of the Medvednica Mt. show high correlation coefficient, and two species are distinguished: *Limacina gramensis* (Rasmussen) and *Limacina valvatina* (Reuss). They show some differences in shell morphology, and biostatistics confirmed the abovementioned determination. *Limacina gramensis* and *L. valvatina* can be sometimes difficult to determine due to the great similarity in shell morphology, and artificial boundary based on the shell height/width-ratio is applied. Besides that, other shell elements are measured, and biostatistic methods contribute in the species differentiation of abovementioned and other *Limacina* species. Pteropods are widely distributed in the Badenian deposits of the Pannonian Basin System, including here described *Vaginella austriaca*, *Clio fallauxi*, *Limacina gramensis* and *Limacina valvatina*. Record of *C. fallauxi* marks the older Badenian pteropod event, and follows the Middle Miocene marine transgression in the area of the Pannonian Basin System. Pteropod event which follows the late Badenian marine transgression is known as "*Limacina* horizon". Due to the frequency of pteropods in the Pannonian Basin System deposits, we are able to make more detailed reconstructions on the faunal migration routes, and get more insight into the timing of the significant marine transgressions during Badenian. Fossil and recent pteropods show wide variety of shell morphology. During the application of biostatistics in determining the fossil pteropod taxa, problem occurs if the fossil record is poorly preserved and incomplete. Biostatistics differentiation of the species enables paleoenvironmental studies, comparing the environment of the extant pteropod species with the fossil ones. Modern studies of recent pteropods, in correlation with the fossil representatives, contribute to the knowledge in systematics, biogeography and biostratigraphy.

### Key words

Biostatistics, Pteropoda, Badenian, Paratethys, northern Croatia.