



**3<sup>rd</sup> BALKAN SPELEOLOGICAL CONFERENCE**  
**19 - 22 OCTOBER 2023, SOFIA, BULGARIA**  
**NATIONAL MUSEUM "EARTH AND MAN"**

**3<sup>та</sup> БАЛКАНСКА КОНФЕРЕНЦИЯ ПО СПЕЛЕОЛОГИЯ**  
**НАЦИОНАЛЕН МУЗЕЙ "ЗЕМЯТА И ХОРАТА"**  
**19 - 22 ОКТОМВРИ 2023, СОФИЯ, БЪЛГАРИЯ**



## EuroSpeleo Projects FSE

### ATTESTATION N° ESP 2022-13

#### GENERAL REPORT

#### GENERAL PROGRAM OF 3-rd BALKAN SPELEOLOGICAL CONFERENCE

19 - 22 OCTOBER 2023 , SOFIA, BULGARIA

Time	Thursday 19 <sup>th</sup> October
9:00	Opening Congress Office
9:00 – 14:00	General Registration (Congress Office)
14:00	Opening Ceremony – Great Hall of National Museum Earth & Man
	1 <sup>st</sup> Conference Session
16.00	Coffee Break
	2 <sup>nd</sup> Conference Session
19:00	Welcome Party
Friday 20 <sup>th</sup> October	
9:00 – 10:30	1 <sup>st</sup> Morning Session
10:30 – 11:00	Break
11:00 - 12:30	2 <sup>nd</sup> Morning Session
	Lunch Break
14:00	1 <sup>st</sup> Afternoon Session
	Coffee Break
	2 <sup>nd</sup> Afternoon Session
Saturday 21 <sup>nd</sup> October	
9:00 – 18:00	Guided tour
20.00	Banquet
Sunday 22 <sup>rd</sup> October	
9:00 – 12:00	Guided tour

After few months of preparation, the 19<sup>th</sup> of October marked the beginning of the 3-rd Balkan Speleological Conference. After the first circular letter (Announce) , 37 speleologists has made pre-registration. Later some of them decline their participation. Some speleologists confirm their participation and send us the full text of their submissions (articles) for to be published in the Conference Proceedings but later don't come to present their work. Finally the number of presented participants as lecturers became 26 . In other hand 13 caveologists from different countries applied to participate as listeners and persons who would like to take part in the organised excursion. The conference was open for the public so some the sessions have also been visited from interested Bulgarian cavers and speleologists. The total number of participants was about 45 from 7 countries as follows: Bulgaria - 20, Germany- 2, Greece – 2, Italy -2, Romania-2, Serbia – 2, Slovenia-5. The full list of participants can be find in **(Appendix I)**.

The official opening took place on 19 October with very short speeches by Mrs. Svetla Encheva director of National Museum „ Earth and Man“, Mrs. Ema Marku – President of the Balkan Speleological Union and Mr. Prof. Alexey Stoev - chairman of the Bulgarian Caving Society. After the first (afternoon) session there was held as tradition Welcome Party!



The scientific sessions was held in one and half day in two different places - firstly in the main hall of the Museum so called „Hall of Giant Crystals“ and lately on Conference Hall according the Program (**Appendix II**). There are presented 26 articles and 2 posters from 57 authors. All works was published in the Proceedings of the conference beforehand and was spread among participants together with other Conference materials. The pdf. Electronic version of Proceedings can be find as (**Appendix III**).





In the third day of event there was hold excursion along the Iskar River Gorge. The full information about the Karst and Caves object of the excursion during the Conference was published as Guidebook in pdf. **(Electronic version attached as Appendix IV).**



In Cherepish monastery





In front the Zhitiliub Karst Source - Lakatnik



The participants during the penetration in Dushnika Cave



As usual the event have finished by Farewell party .



During the conference there were installed two stands: Book stand of Michael Laoumann and touristic and covers clothes stand of Tanja Stoilova

During the Conference Bureau meeting of Balkan Speleological Union were held also.  
From left to right: Ema Marku-President, Danilo Tomic, Maks Petric, Alexey Zhhalov-Secretary  
General&Treasurer

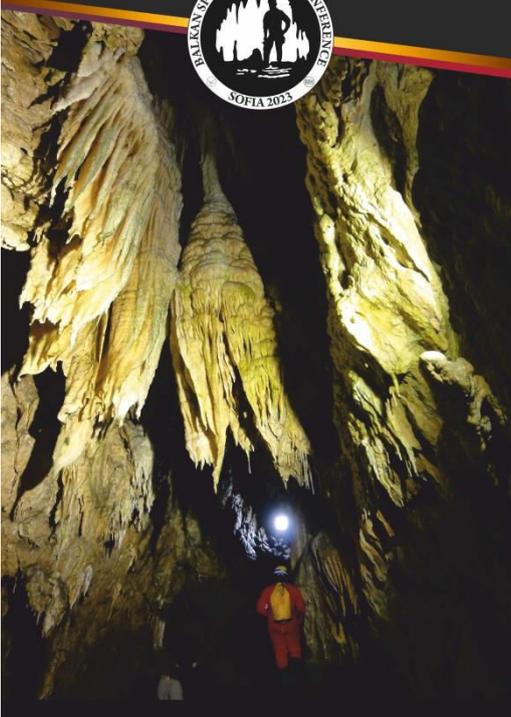


The Conference was visited from some eminent speleologists – mostly biospeleologists.  
From left to right: Prof.I. Karaman, Prof. P.Mitov, Prof.P.Beron, K.Paragamian



The participants from Slovenia

**3-rd BALKAN SPELEOLOGICAL CONFERENCE**  
19 - 22 OCTOBER 2023  
SOFIA - BULGARIA



**BSU**  
BALKAN SPELEOLOGICAL UNION



**BALKAN SPELEO CONFERENCE - FINANCIAL REPORT (all figures in Euro)**

	<b>INCOMES</b>	<b>EXPENDITURES</b>
<b>Registration taxes:</b>		
35 participants on 40 Euro per person	1400	
<b>Sponsoring</b>	500	
Rent of conference halls, rooms, vocalization		700
Printed conference materials: Proceeding, program of the conference, excursion program, badges, note-books etc.		1100
Conference daily cost ( coffee breaks, refreshments, disquiets )		200
Official dinner for 18 persons x 20 Euro person	360	360
Excursions: Transport rental		300
<b>In Total:</b>	<b>2260</b>	<b>2660</b>
<b>Founding to be received</b>		
<b>Founding FSE</b>	<b>400.00</b>	
	<b>2 660</b>	<b>2660</b>

**Appendixes:**

**Appendix I : List of participants;**

**Appendix II: Program of presentations during the Conference;**

**Appendix III: Electronic version of the Proceedings of the Conference;**

**Note: The hard copy will be posted to the Official address of FSE!**

**Appendix IV: Electronic copy of Excursion guide book.**

**Reported by Alexey Zhalov**

**29 October 2023**

**Sofia**

## APPENDIX I PARTICIPANTS

	<b>Name</b>	<b>E-mail adress</b>	<b>Nationality</b>	<b>Presentation</b>
1.	Evgeni Koev	ev_koev@abv.bg/ ev_koeff@abv.bg	Bulgaria	Oral presentation x 2
2.	Ahinora Baltakova	abaltakova@gea.uni-sofia.bg	Bulgaria	Oral presentation
3.	Alexey Stoev	stoev52@abv.bg	Bulgaria	Oral presentation
4.	Alexey Zhalov	azhalov@gmail.com	Bulgaria	Oral presentation x2
5.	Atanas Rusev	clubextreme@gmail.com	Bulgaria	Oral presentation
6.	Dilyana Stefanova	dili_stefanova@abv.bg	Bulgaria	Oral presentation
7.	Evgeni Georgiev	sparcy@abv.bg	Bulgaria	Oral presentation
8.	Heliana Dundarova	h.vulgaris@gmail.com	Bulgaria	Oral presentation
9.	Hristina Prodanova	hristina.zh.prodanova@gmail.com	Bulgaria	Poster presentation x 2
10.	Lubomir Kenderov	lubomir.kenderov@gmail.com	Bulgaria	Oral presentation
11.	Mina Stoeva	mina.stoeva@gmail.com	Bulgaria	Oral presentation
12.	Ognijn Ognjanov	ognianov@acceco.com	Bulgaria	Oral presentation
13.	Penka Maglova	penm@abv.bg	Bulgaria	Oral presentation
14.	Petar Delchev	p.delchev@gmail.com	Bulgaria	Oral presentation
15.	Petar Stefanov	psgeo@abv.bg	Bulgaria	Oral presentation
16.	Rashid Rashid	info@sciencefornature.org	Bulgaria	Oral presentation
17.	Svilen Lapakov	greenmamabg@doctor.bg>	Bulgaria	Oral presentation
18.	Yuliana Atanasova	ulianaassenova@gmail.com	Bulgaria	Oral presentation
19.	Kamen Bonev	bonev.kamen@gmail.com	Bulgaria	Listener
20.	Vanyo Gyorev	vanjobg@gmail.com	Bulgaria	Listener
21.	Christa Locke	christa.locke57@gmail.com	Germany	Listener
22.	Michael Laumanns	Laumi59@gmx.de	Germany	Listener
23.	Georgios Lazaridis	geolaz@geo.auth.gr	Greece	Oral presentation
24.	Kaloust Paragamian	k.paragamian@gmail.com	Greece	Oral presentation
25.	Alessio Fabbricatore	alex51.fabbricatore@gmail.com	Italy	Oral presentation
26.	Donatella Cergna	cerгна.donatella@gmail.com	Italy	Listener
27.	Dusan Gagean	ema.marcu15@gmail.com	Romania	Listener
28.	Ema Marcu	sufletdevant@gmail.com	Romania	Listener
29.	Ivo Karaman.	ivo.karaman@dbe.uns.ac.rs	Serbia	Oral presentation
30.	Danilo Tomic	danilo.tomic@gmail.com	Serbia	Listener
31.	Benjamin Lap	benjamin.lap@jamarji-jkkamnik.si	Slovenia	Listener
32.	Denis Brvar	max.petric@hotmail.com	Slovenia	Listener
33.	Maks Petrich	max.petric@hotmail.com	Slovenia	Listener
34.	Tilen Podkrižnik	max.petric@hotmail.com	Slovenia	Listener
35.	Valerija Stropnik	valerija.petric339@gmail.com	Slovenia	Listener



**3<sup>rd</sup> BALKAN SPELEOLOGICAL CONFERENCE**  
**19 - 22 OCTOBER 2023, SOFIA, BULGARIA**  
**NATIONAL MUSEUM "EARTH AND MAN"**

**3-та БАЛКАНСКА КОНФЕРЕНЦИЯ ПО СПЕЛЕОЛОГИЯ**  
**НАЦИОНАЛЕН МУЗЕЙ "ЗЕМЯТА И ХОРАТА"**  
**19 - 22 ОКТОМВРИ 2023, СОФИЯ, БЪЛГАРИЯ**



PROGRAM OF PRESENTATIONS	
<b>Time</b>	<b>Thursday 19<sup>th</sup> October</b>
<b>14:00</b>	<b>OFFICIAL OPENING</b>
<b>14:30</b>	<b>1<sup>st</sup> SESSION</b>
*	<b>A. ZHALOV:</b> The exploration of the karst & caves in Sbornyanovo National -Historiacaal-archaeological reserve and Voden-Iri hisar hunting reserve, Isperih municipality, Razgrad county, north-east Bulgaria
<b>15:30</b>	<b>G. LAZARIDIS et al. :</b> Exploring the caves of Agion Oros: a comprehensive geological synthesis of field-work data
-----	<b>At. RUSEV:</b> Research with GPR ( Ground penetration radar ) in the Bosnek karst region
<b>16:00</b>	<b>O. OGNIANOV et.al.</b> Orthophoto mapping and terrestrial laser scanning of karst terrains and caves in 3D reconstruction
*	<b>COFFEE BREAK</b>
<b>17:30</b>	<b>Al. STOEV, P. MUGLOVA:</b> Generating cave models: challenges to physical cave monitoring
*	<b>Al. ZHALOV :</b> Bulgarian – Kosovo cave explorations 2017-2022
<b>17:30</b>	<b>Ev. KOEV :</b> Underground karst lakes according to their way of formation, feeding, main features and features
	<b>A. BALTAKOVA :</b> Landforms of travertine /tufa in Bulgaria
<b>Friday 20<sup>th</sup> October</b>	
<b>MORNING SESSION</b>	
<b>9:00</b>	<b>P.DELCHEV :</b> Passporting of caves in Bulgaria
*	<b>S. MAGNI et.al :</b> Are the stylolites important in the karst formation?
<b>10:30</b>	<b>H. DUNDAROVA et.al.:</b> Bat diversity from a high-altitude karst area in Pirin mountains, Bulgaria
----	<b>L.KENDEROV:</b> A new species of the genus <i>Niphargus</i> ( <i>Amphipoda</i> : <i>Crustacea</i> ) found in a water gallery under the courtyard of the Monastery of Saint George , Athos , Greece
<b>11:00</b>	<b>COFFEE BREAK</b>
*	<b>Y. ATANASOVA et.al.:</b> Nontuberculous mycobacteria diversity in Bulgarian caves
<b>12:30</b>	<b>R.RASHID et.al. :</b> Bats and men – sharing life under one roof
*	<b>P. STEFANOV, D. STEFANOVA :</b> ProKARSTerra-Edu: Education and Training for/through karst
<b>12:30</b>	<b>M.SPASOVA et.al.</b> STEM training and opportunities for project-based training and integrative knowledge in speleology
<b>LUNCH BREAK</b>	
<b>AFTERNOON SESSION</b>	
<b>14:00</b>	<b>K. PARAGAMIAN et.al:</b> The cave of Maroneia (Rodopi, Northern Greece): biodiversity, significance, pressures and threats
*	<b>I.KARAMAN :</b> Results of the first project of the Serbian biospeleological society
<b>15:30</b>	<b>K. PARAGAMIAN:</b> Protecting Greece's cave biodiversity: the environmental imperative
----	<b>P. MUGLOVA et.al.:</b> Archaeoacoustics in cult caves on the territory of Bulgaria
<b>16:00</b>	<b>Ev. GEORGIEV :</b> The reliquary chambers' in the preserved altar tables of cave churches along Loms' river set, Bulgaria
*	<b>COFFEE BREAK</b>
<b>17:30</b>	<b>A. FABBRICATORE:</b> Isonzo front: the caves of karst plateau
*	<b>Ev.KOEV:</b> Architectural-historical anthropogenic karst landscapes, as a model for comprehensive research, systematization and documentation of the cultural-historical heritage in karst
<b>17:30</b>	<b>H. PRODANOVA:</b> Modeling of cultural ecosystem services in karst territories: a case study of the Poreche region in the Republic of North Macedonia
	<b>S.LAPAKOV:</b> Depression and anxiety as role stressors in cavers
<b>Saturday 21<sup>nd</sup> October</b>	
<b>9 – 18</b>	<b>Guided sightseeing Iskar Gorge karst trip</b>
<b>20.00</b>	<b>B a n q u e t</b>
<b>Sunday 22<sup>nd</sup> October</b>	
<b>9-12</b>	<b>Guided sightseeing trip Sofia</b>
	<b>Departure of participants</b>

**The Organisers reserve its right to make some changes in the current Program**



**PROCEEDINGS OF 3<sup>rd</sup> BALKAN SPELEOLOGICAL  
CONFERENCE  
SOFIA-BULGARIA - 19-22 OCTOBER 2023**



**Proceedings of Balkan Speleological Conference “Sofia’2023”,  
Sofia, Bulgaria, 19 – 22 October 2023**



ISBN 978-619-7526-11-0

**SOFIA**

**2023**

# Proceedings of 3<sup>rd</sup> Balkan Speleological Conference

## SOFIA 2023

Sofia , Bulgaria , 19/22 October 2023

**Editor**

Alexey Zhalov

**Organisation & Scientific Committee**

Penka Maglova , Alexey Stoev , Kamen Bonev, Svetlana Encheva, Alexey Zhalov

**Photos**

**Front Cover:** Alexey Zhalov , Serapionova Cave , Cherepish , Bulgaria

**Back Cover:** Alexey Zhalov, The beauty of underground , Bulgaria

**Patronages and Sponsors**

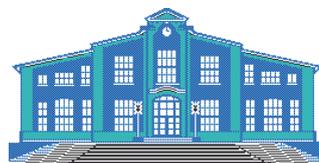
European Speleological Federation

Balkan Speleological Union

National Museum Earth and Man - Sofia

Bulgarian Caving Society

ISBN 978-619-7526-11-0



## TABLE OF CONTENTS

<b>PREFACE</b>	5
<i>The exploration of the karst &amp; caves in Sboryanovo National historical-archaeological reserve and Voden-Iri hisar hunting reserve , Isperih municipality , Razgrad county , north-east Bulgaria</i>	
<b>Alexey ZHALOV</b> .....	7
<i>Exploring the caves of Agion Oros : a comprehensive geological synthesis of field-work data</i>	
<b>Georgios LAZARIDIS , Alexey ZHALOV , Aikaterini PANORA , Despoina DORA , Athanasios DIMOU , Konstantinos P. TRIMMIS , Konstantinos VOVALIDIS</b> .....	10
<i>Research with GPR ( Ground penetration radar ) in the Bosneks' karst region</i>	
<b>Atanas RUSEV</b> .....	14
<i>Orthophoto mapping and terrestrial laser scanning of karst terrains and caves in 3D reconstruction</i>	
<b>Ognian OGHYANOV , Ivan IVANOV , Alexander YANAKIEV Alexey STOEV , Penka MUGLOVA</b> .....	19
<i>Generating cave models : challenges to physics cave monitoring</i>	
<b>Alexey STOEV , Penka MUGLOVA</b> .....	23
<i>Bulgarian – Kosovo cave explorations 2017-2022</i>	
<b>Alexey ZHALOV</b> .....	26
<i>Underground karst lakes according to their way of formation, feeding, main features and features</i>	
<b>Evgeny KOEV</b> .....	29
<i>Forms in travertine /bigor in Bulgaria</i>	
<b>Achinora BALTAKVA</b> .....	33
<i>Passporting of caves in Bulgaria</i>	
<b>Peter DELCHEV</b> .....	39
<i>Are the stylolites important in the karst formation</i>	
<b>Silvana MAGNI , Ales ŠOSTER , Andrej SMUC</b> .....	41
<i>Bat diversity from a high-altitude karst area in Pirin mountains , Bulgaria</i>	
<b>Heliana DUNDAROVA , Ivan PANDOURSKI , Vasil V. POPOV</b> .....	46
<i>A new species of the genus Niphargus ( Amphipoda : Crustacea ) found in a water gallery under the courtyard of the Monastery of Saint George , Athens , Greece</i>	
<b>Lubomir KEDEROV</b> .....	50
<i>Nontuberculous mycobacteria diversity in Bulgarian caves</i>	
<b>Yuliana ATANASOVA , Rayna ANTOVA , Stanislava YORDANOVA , Slaveya KOSTADINOVA , Desislava SERKEDZIEVA , Irina LAZARKEVIC , Radoslava EMIOVA</b> .....	53
<i>Bats and men - sharing life under one roof</i>	
<b>Rashid RASHID , Svetla TODOROVA , Mariela KARAPAVLOVA</b> .....	57
<i>ProKARSTerra-Edu: Education and Training for/through karst</i>	
<b>Petar STEFANOV , Dilyana STEFAOVA</b> .....	61
<i>STEM training and opportunities for project-based training and integrative knowledge in speleology</i>	
<b>Mina SPASOVA , Alexey STOEV , Penka UGLOVA</b> .....	69
<i>The cave of Maroneia ( Rodopi , Northern _ Greece ) : biodiversity , significance , pressures and threats</i>	
<b>Kaloust PARAGAMIAN</b> .....	73
<i>Results of the first project of the Serbian biospeleological society</i>	
<b>Ivo KARAMAN</b> .....	73
<i>Protecting Greece's cave biodiversity : the environmental imperative</i>	
<b>Kaloust PARAGAMIAN , Panagiotis GEORGIKAKIS , Ioanna MYLONA , Giorgos PAPAMICHAEL , Ioannis NIKOLODAKIS</b> .....	74
<i>The role of caves in the development of tourism in Kosovo</i>	
<b>Fadil BAJRAKTARI , Sami BEHRAMI</b> .....	74
<i>Archaeoacoustics in cult caves on the territory of Bulgaria</i>	
<b>Penka MUGLOVA , Mina SPASOVA , Alexey STOEV , Ognian GNYANOV</b> .....	76
<i>The reliquary chambers' in the preserved altar tables of cave churches along Loms' river set, Bulgaria</i>	
<b>Evgeni GEORGIEV</b> .....	79
<i>Architectural-historical anthropogenic karst landscapes, as a model for comprehensive research, systematization and documentation of the cultural-historical heritage in karst regions</i>	
<b>Evgeny KOEV</b> .....	86
<i>Isonzo front : the caves of karst plateau</i>	
<b>Alessio FABRICATORE</b> .....	95
<i>The results of new speleological research of the Retnička cave</i>	
<b>Aleksandar S. PETROVIĆ , Danilo TOMIĆ , Mladen DRAŠKOVIĆ , Vladimir PECIKOZA</b>	101
<i>Modeling of cultural ecosystem services in karst territories: a case study of the Poreche region in the Republic of North Macedonia,</i>	
<b>Hristina PRODANVA</b> .....	101
<i>Depression and anxiety as role stressors in cavers</i>	
<b>Svilen LAPAKOV</b> .....	102

## PREFACE

In Bulgaria periodically are organized various forums on the topics, related to caving and speleology.

They bring together people with different backgrounds and interests, but united by the common object of research – the karst, the caves. There are reported and discussed the results from the undertaken researches, useful contacts are created, new ideas for research projects are worked over.

The Balkan Conference of Speleology - Sofia'2023 was organized as one of the events, marking the 20 th anniversary of the foundation of Balkan Speleological in 2022 in Vratza, Bulgaria.

The Conference was held from 19 to 22 October 2023 the National Museum “Earth and Man” in Sofia, Bulgaria - a place that for long time had become a center of the Bulgarian cavers and speleologists. The event was organized by Bulgarian Caving Society and was carried out under the patronage and kind support of the European Federation of Speleology and Balkan Speleological Union.

In this book find place 27 papers. They are written from 53 authors from Bulgaria, Greece, Italy, Kosovo , Serbia , Slovenia. As listeners and participants in the excursions joined also colleagues from Germany, Greece , Romania , Slovenia, Serbia

There are four main topics of the conference:

- Karst & cave study and exploration
- Cave life & karst and cave protection , management and training
- Archaeology & history
- Other Topics

We believe that this Balkan Speleological Conference has provided good conditions for participants to present their studies and research, to share knowledge and experience. We hope that the trip have given them the opportunity to see and feel part of the beauty of the karst and caves of Bulgaria and some of our remarkable sights.

We hope also that this publication will contribute to enrich the book heritage for cavers on national and international level. We will be happy, if it will be useful not only for cavers and speleologists, but also for wider range of readers, who are interested in caves and caving.

From the Editor

# **KARST & CAVE STUDY AND EXPLORATION**

# THE EXPLORATION OF THE KARST & CAVES IN SBORYANOVO NATIONAL HISTORICAL-ARCHAEOLOGICAL RESERVE AND VODEN-IRI HISAR HUNTING RESERVE, ISPERIH MUNICIPALITY, RAZGRAD COUNTY, NORTH-EAST BULGARIA

Alexey Zhalov

Bulgarian Caving Society ,Reka Osam Str. 1, 1124 Sofia , Bulgaria, azhalov@gmail.com

## Abstract

The article resumes in short the result of the 11 years exploration of the Bulgarian Caving Society on the territory of the National Historical - Archaeological Reserve "Sboryanovo" and Voden-Iri Hisar Reserve - Razgrad County, Ludogorsko plateau , North-East Bulgaria. 91 new caves were discovered and surveyed so the total number of the caves in that area become 108.

## Keywords

Caves, exploration, Ludogorsko plateau, Bulgaria

## 1. Geographycal and geological setting

The National Historical - Archaeological Reserve "Sboryanovo" and Voden-Iri Hisar Reserve are located in Razgrad County, North-East Bulgaria. The area is located in the central part of the Ludogorsko (Deliormansko) plateau. The plateau is cut by the trough-shaped valleys of Chairluk, Voyna and Tsaratsar rivers. The Mesozoic Lower Cretaceous sediments from the Ruse Formation predominate in the studied territory. This lithostratigraphic unit is build of various organogenic and organogenic-oolitic limestones of Hotriv-Aptian age. Their thickness is from 50 to 300 m. The limestone layers are almost horizontal, with a slight slope to the North. In the area of Zavet, some of them are covered by loess. (Fig.1) (Ivanov & Pimpirev 2005)

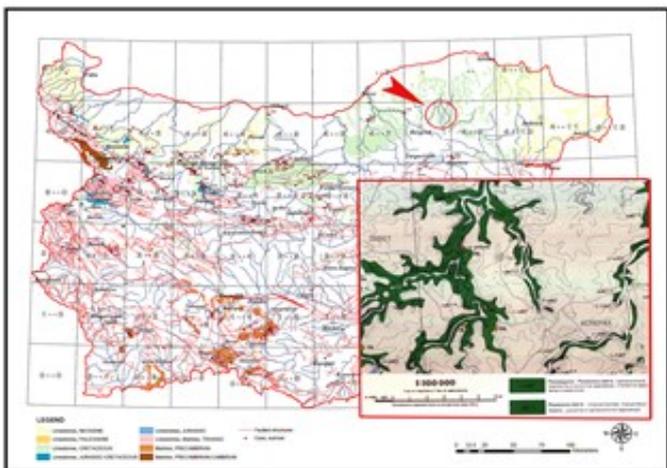


Figure 1. Location and geology of the explored area

## 2. Hydrogeology

In the area fissure-karst to karst type, non-pressurized underground waters have been formed. Their movement takes place along separate watercourses, which are still served by the clayey or denser carbonate sediments of the base of the complex. The karst waters are formed on the basis of infiltration of precipitation , and are drained by the river-flood system and by down-grade springs with different flow rates. Essentially, this part contains the largest springs from the Barremian-Aptian sediments (Voden – 45-130 l/; M. Porovets – 45-50 l/). The drainage were realised also from numerous water extraction facilities (shaft and tube wells). (Kadiev 1959)

## 3. History of karst and cave exploration

In 1874, the great Austro-Hungarian traveler, journalist and writer Felix Kanitz, during one of his tours in the Bulgarian lands, visited the area and in one of his engravings drew the entrance of Deliktash maara Cave. (Fig.2)

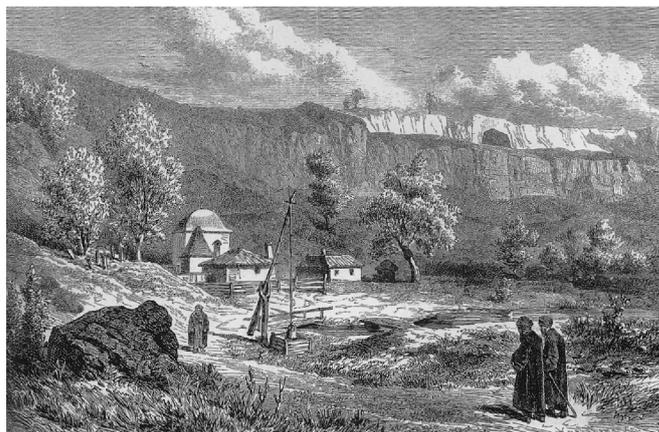


Figure 2. The engraving of Felix Kanitz from 1874

The same cave and the group of 5 other caves were studied and described by Karel Shkorpil (Shkorpil, 1905). In 1934, academician Anani Yavashov (1885-1934) published descriptions of the same caves almost identical to Shkorpil's. (Yavashov, 1934). Bulgarian geographer and ethnographer Vasil Marinov (1907-1990) , conducted a detailed study of hole area for several years, publishing the results in the monograph "Deli Orman (Southern part), regional geographical study" (Marinov 1941). It pays special attention to the karst features (surface karst forms, caves, springs) in the area concluding „ ...in the vicinity there are many caves, holes and sinkholes...". As we know the first speleological explorations were made in 1961 from the caving club from Razgrad but the results has not been published. The profound speleological exploration of this area started in the early 70- ties from the cavers from Student caving club „Academic”- Sofia and then about 14 caves were surveyed. Some other expeditions were carried out later and the total number of the known caves became 21 . In 2018 Bulgarian Caving Society decided to renew the explorations- to update the existing data (maps, descriptions, scientific information), to look for extensions in some of the existing caves, to take their geographical coordinates, to search for new caves, and to systematize all information. Starting from 2018 there were carried out 11 expeditions in the

territory of the Reserve "Sboryanovo" and in the territory of the neighbour hunting reserve Voden-Iri Hisar .

#### 4. Results

The entire territory of the "Sboryanovo" reserve and partially of the "Voden - Iri Hisar" hunting farm were explored. The lands of the villages of Sveshtari, Malak Porovets and Ivan Shishmanovo, as well as the town of Zavet, which are outside the boundaries of the protected areas, were studied separately. During the expeditions 91 new karst forms were discovered and surveyed. The geographical coordinates of all sites were taken and documentation was compiled containing: map, description, photos of the entrances.

At the same time, the location of the objects is placed on the Google Earth platform. As a result the total number of the underground objects in that area grow from 21 before the expeditions of Bulgarian Caving Society to 102 nowadays .

Nightly four of the 94 of the explored cavities are caves and the rest 8 are niches . In our case, we distinguish the objects of caves and niches by assuming that: "Niches are caves where the width of their entrance is greater than the length of the gallery forming them".

Total length of explored karst objects is : 1693.03 m Average length: 15.62 m . The distribution of the studied objects, according to their length, is shown in . Table 1.

Range in m.	4-5	5-10	10-20	20-30	30-40	40-50	50-60	70-80	200-300
N of caves	12	42	26	7	8	2	3	1	1

Table 1. Distribution of the studied objects, according to their length

1.	Cave Name	Location	Length (m)	Depth (m)
	Sharap Maara	M.Porovetz	225	29
2.	Dulgata Cave	Iv.Shishmanovo	79	5.55 (-1.80; + 3.75)
3.	Djalanata Cave	M.Porovetz	56	+ 9
4.	Dipsiza Cave	Osen	54	5 (+4, -1)
5.	Ahinora Cave	M.Porovetz	54	7.50 (-5.5, +2.0)
6.	Koteshkata Cave	M.Porovetz	44	- 5
7.	Mosta Cave 2	Iv.Shishmanovo	44	+2
8.	Krustata Cave	Sveshtari	33	+ 7
9.	Visokata Diaklaza	M.Porovetz	33	+ 14.6
10.	Daul Maara	M.Porovetz	32	-

Table 2. List of the longest Caves in the explored area

The largest of the 8 explored niche is the Big niche, Zavet which occupied an area of 167 m<sup>2</sup>

#### 5. Cave origin

The existing physico-geographical and geological situation is the reason why the caves are displaced in the cliffs of karst valleys at different relative heights above the river beds. Niches and other erosion-corrosion forms formed by the river waters can be observed in the rock slopes of the canyon-like valleys. The formation of the caves was mainly due to the river waters and to a lesser extent to the precipitation, which for the region is of the order of 580-600 mm/a. The penetration of rain and snow water in depth is partly hindered by the limestone deposits. Nevertheless, in the flattened parts between the valleys, there is almost no permanent surface runoff. Below the river level, the limestones are saturated with water.

#### 6. Archaeology

Many of the caves has spacious entrances and vestibules that are comfortable for living. This creates an undoubted interest in them from an archaeological point of view. I few caves as Djalanata Cave , Tuz Maara, Meyshaneto, Hamama etc. there are with traces of grooves at the entrance /probably for a door/ and additionally worked walls and floors. In other there are finds of ceramic fragments and ceramic shreds abound, despite the fact that archaeological excavations were not undertaken. In 2022 we had the chance to discover and study unknown Rock monastery complex in the territory of "Voden-Iri Hisar" State Hunting Area. The complex consisted 3 caves with a total length of 54 m and 2 man made cavities. (Fig.4) The caves present the lower level of the complex. Above them, at a height reachable only

with ladder, there are two rock cut structures - church and a cell. They are well formed. The church /about 4.20 x 3.00 x 1.60 m/ has a large elliptical apse / about 2.15 x 1.62 x 1.50 m/, which is entered through a narrow door . At the entrance, grooves have been cut into the rock for a locking mechanism from wooden beams. The area of the church is 36 m<sup>2</sup> . The cell is a rectangular room /3.75 x 2.95 x 1.64 m/ and occupy an area of 9.6 m<sup>2</sup> . Its volume is 15.82 m<sup>3</sup>. Analyzing the plans of the church and apse, the monastery is dated from the eminent Bulgarian archaeologist Prof. George Atanassov to the 10th Century. (Atanasov&Zhalov 2022)

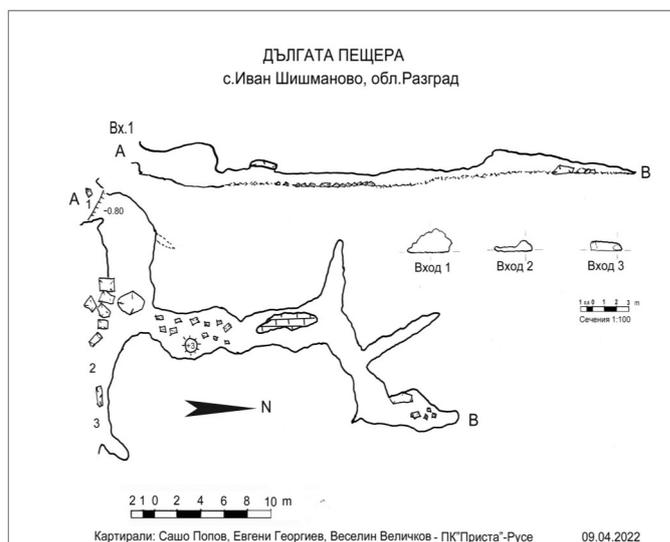


Fig.3 Map of the second longest cave of the area "Dulgata Cave"

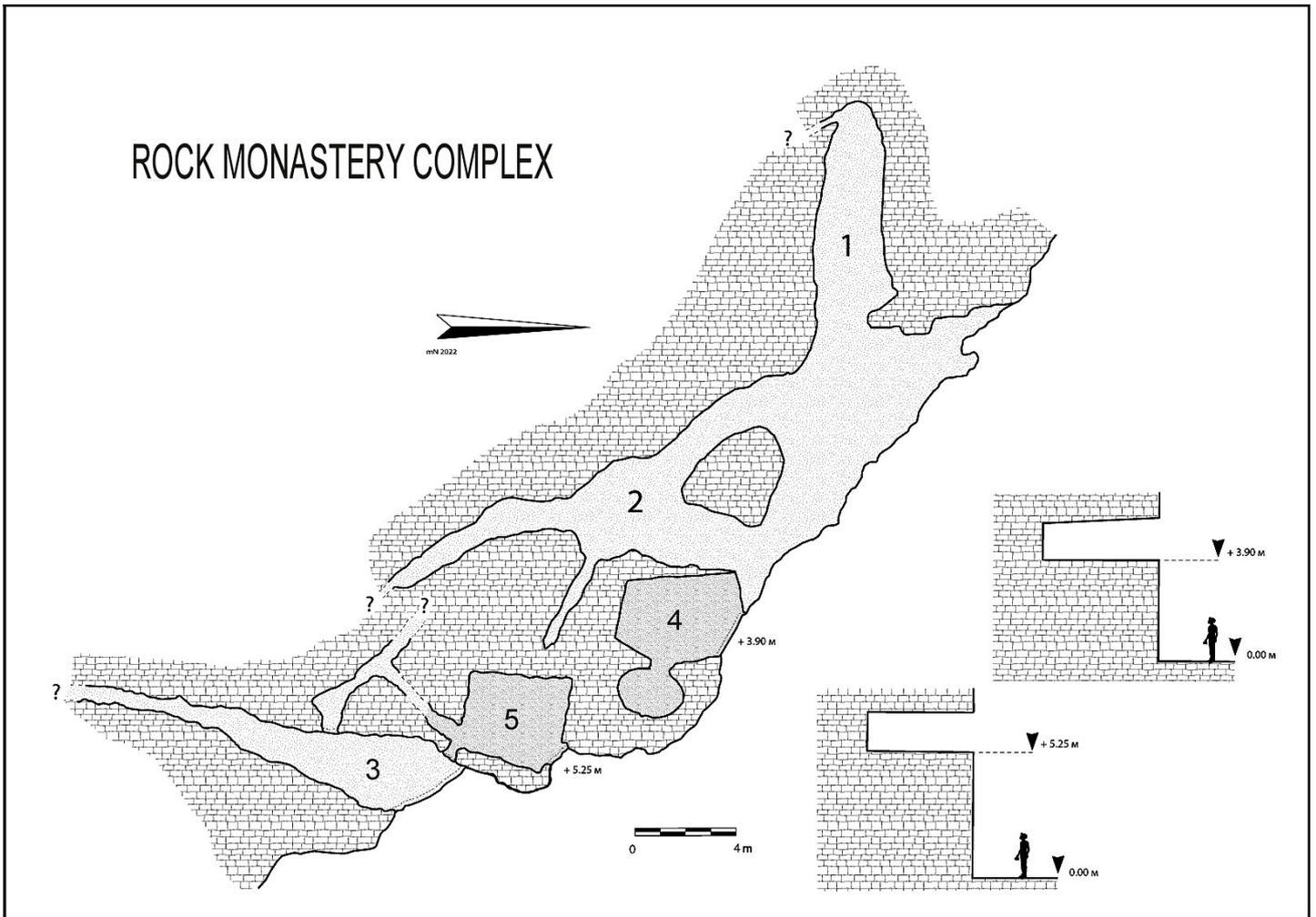


Fig.4 The Rock monastery complex : 1.Little Cave, 2. Parvoletka Cave, 3. Cell Cave, 4. Rock Cut Church, 5. The Rock Cut Cell

## References

- Atanasov G., Al. Zhalov 2022 Rock cut monk's dwelling from X Century close Ostrovo village in State Hunting Reserve „Voden-Iri Hisar“, (in press) (in Bulgarian)
- Ivanov Zh., Pimpirev Chr.,2005. Geological and Petrographic Investigations of Rock Samples from Thracian Mounds and Their Correlation with Terrain Samples from the Sveshtari Village Region, Ispereh District.- In: Helis IV, BAS ,Sofia pp. 169 – 178 (in Bulgarian)
- Kanitz, F. 1882 Donaubulgarien und der Balkan, III, Leipzig, 1882
- Kadiev B, 1959 . Karst and karst water in Dobrudzha .- In: Karst underground waters in Bulgaria, Technika, Sofia pp. 251-265 (in Bulgarian)
- Marinov, V 1941 Deliorman (south part) , Districts'geographical study, Bibliothec Geography of Bulgaria , V.41Shkorpil. K 1905 Maerials for Bulgarian antiques. Aboba-Pliska .- In: Bulletin of Rusian Archaeological Institute in Constatinopol , V.X, Sofia, c.488. (in Russian)
- Yavashov, A. 1934 Teketo Demir Baba „Bulgarian antique sacred” , Razgrad archaeological Society , Razgrad, p.9-10. (in Bulgarian)

# EXPLORING THE CAVES OF AGION OROS: A COMPREHENSIVE GEOLOGICAL SYNTHESIS OF FIELD-WORK DATA

Georgios Lazaridis<sup>1</sup>, Alexey Zhalov<sup>2</sup>, Aikaterini Panora<sup>1</sup>, Despoina Dora<sup>1</sup>, Athanasios Dimou<sup>3</sup>, Konstantinos P. Trimmis<sup>4</sup>, Konstantinos Vouvalidis<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Aristotle University of Thessaloniki, School of Geology, Thessaloniki, 54124, Greece, geolaz@geo.auth.gr, desp\_dora@geo.auth.gr, kate.panora@gmail.com, vouval@geo.auth.gr*

<sup>2</sup>*Bulgarian Caving Society, azhalov@gmail.com*

<sup>3</sup>*University of Aegean, Cultural technology and communication dpt., Lesvos, Mytilene, 81100 Greece, a.dimou@aegean.gr*

<sup>4</sup>*University of Bristol, Department of Anthropology and Archaeology, Bristol, BS8 1TH, England, kostas.trimmis@bristol.ac.uk*

## Abstract

More than 220 caves and underground artificial constructions have been explored and documented during international expeditions to Agion Oros (Holy Mount Athos) under the patronage of the European Speleological Federation as the International project “The caves of Holy Mount Athos, Greece” (more information about the project in Zhalov et al., 2011). All the caves have been surveyed, photographed, and documented. Certain speleothems found in these caves have been analyzed and identified as rare silicate speleothems (Lazaridis et al., 2022) or as evidence of hydrothermal speleogenesis (Lazaridis et al., 2014). This work classifies all the records into three categories 1. natural caves; 2. natural caves with artificial modifications, such as building or curving, and 3. artificial constructions. The third type of record is excluded by cave definition (Lazaridis, 2022) as artificial in origin. Caves of Agion Oros are formed in diverse locations, altitudes, and lithology, comprising carbonate and non-carbonate rocks. The analysis of various data is conducted, encompassing the qualitative classification of cave patterns in ground plan (Palmer, 1991), along with the examination of the meso- and micro-scale morphological features of these caves and the distribution of caves in the Agion Oros peninsula. The results of these analyses are forming the framework for the solid qualitative and quantitative ongoing study of the Agion Oros caves.

## Keywords

Cave, cave morphometry, cave distribution, cave expedition, Serbo-Macedonian Massif, Agion Oros, Athos, Chalkidiki.

## 1. Introduction

The Peninsula of Agion Oros is currently the focus of systematic exploration within the scope of the international project “The caves of Holy Mountain Athos” (Alexey et al., 2011) under the patronage of the European Speleological Federation. Over 220 caves and underground artificial constructions have been explored and documented. These data are being collated and analyzed for the first time in terms of geology and speleogenesis. The results of these analyses are forming the framework for the solid qualitative and quantitative ongoing study of the Agion Oros caves.

## 2. Geological setting

The Chalkidiki Peninsula is located in Central Macedonia, Greece, and is divided into 3 smaller peninsulas: Sithonia, Kasandra and Mount Athos. The latter, differs from the other two morphologically and geologically, and constitutes the study area. The peninsula of Athos has a NW-SE direction and 50 km length. Its main body is a mountainous ridge that gradually increases in altitude, forming the top of Mount Athos at 2030 m (Georgiadis, 2007). Mount Athos (Figure 1) consists of the Serbo-Macedonian Massif (SMM), which is the central part of Internal Hellenides crystalline basement (Kockel et al., 1977). Two units of SMM are forming the Mt Athos Peninsula. Vertiskos unit in the west, which is the upper and newer unit of the SMM, covers part of the north peninsula and extends north to the country's borders. It consists of a sequence of green shales, gneisses, and other ultramafic rocks, interrupted by thin marble horizons, and Kerdillion unit in the east, which is the lower unit of the SMM and consists of marbles and biotic gneisses, which alternate by depth (Burg et al., 1996). Between Vertiskos and Kerdillion units there is a zone of ophiolitic mélange that consists of mafic and ultra-mafic rocks, gneiss, and metasediments (Himmerkus et al., 2003).

More specifically, the rocks that are mapped on the Athos peninsula (IGME, 1978) are (from the upper to lower layers): Quaternary and Neogenic post-alpine sediments, recrystallized limestones and marbles of the Aspri Vrysi-Chortiaty section, biotitic and two-mica gneisses of the Vertiskos unit, marbles of the Kerdillion unit and, finally, the Paleozoic basement of SMM (amphibolites, gneisses, etc.). Igneous rocks are also present, covering a large part of the peninsula. Grigoriou granite is the most significant, followed by a granodiorite and granitic dykes intruding in metasediments.

## 3. Methods

This work classifies all the records into three categories:

natural caves, natural caves with artificial modifications, such as building or curving, and artificial constructions.

The third type of record is excluded by cave definition (Lazaridis, 2022) as artificial in origin. All caves with artificial modifications are also excluded from further analysis. In order to analyze the field work data from the Agion Oros area the following parameters have been considered: cave entrance location, lithology and cave entrance altitude. In addition, morphologically the caves are classified according to their pattern in ground plan and longitudinal sections in categories that have been used in other works about Greek caves (Lazaridis et al., 2022) such as 1. vertical shaft and complex vertical structure; 2. horizontal single passage; 3. chamber; 4. horizontal with multiple passages/chambers; 5. combination of single vertical and horizontal passage; 6. complex caves of multiple horizontal and vertical passages; 7. sinkhole; 8. complex branchwork. Some quantitative data measured from cave maps and are statistically analyzed. These are the following parameters maximum cave width, cave length, cave height, cave area, cave perimeter. The area to perim-

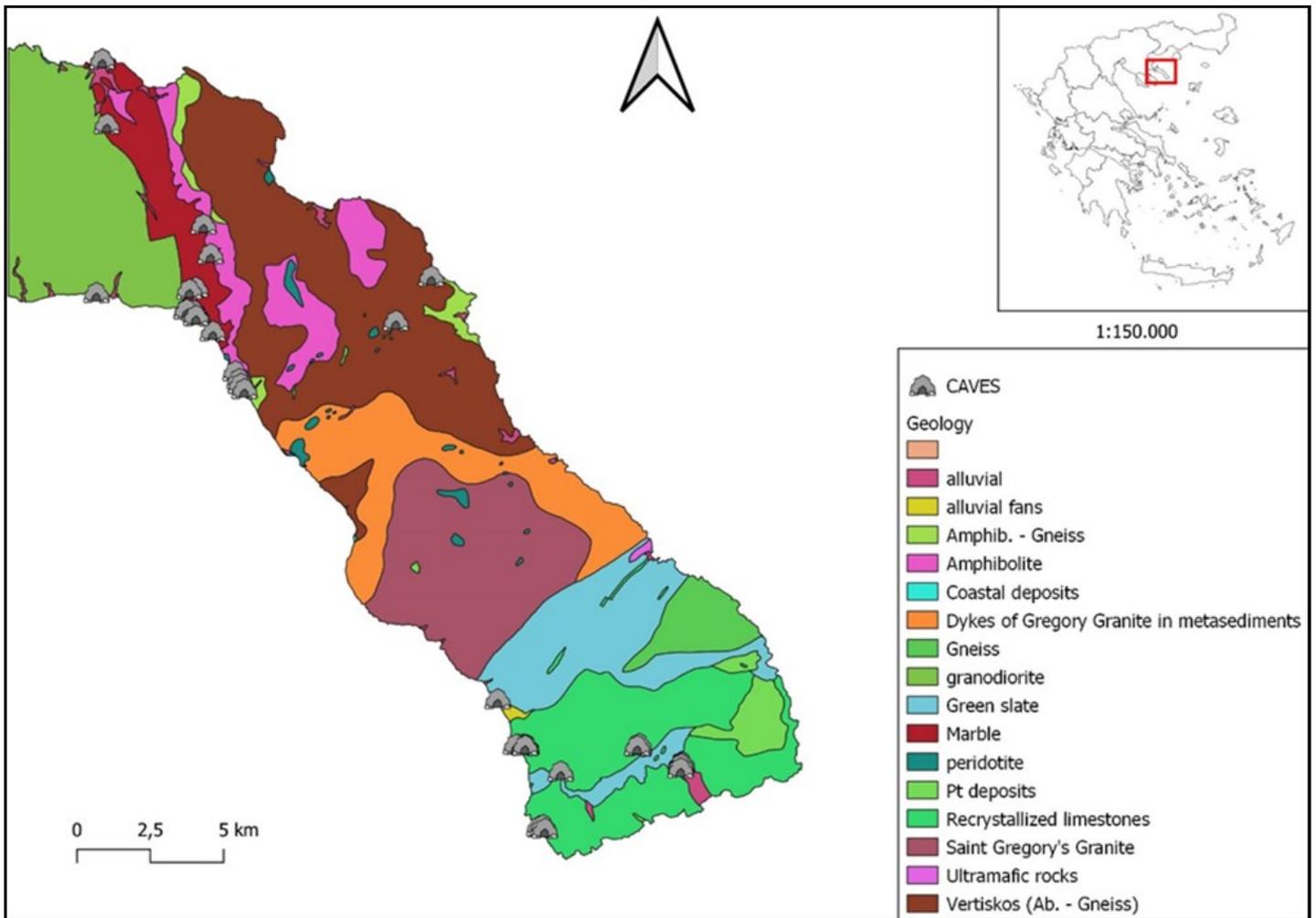


Figure 1 Geological sketch map of the Peninsula of Agion Oros with cave entrance locations (based on IGME, 1978).

### 3. Methods

This work classifies all the records into three categories: natural caves, natural caves with artificial modifications, such as building or curving, and artificial constructions.

The third type of record is excluded by cave definition (Lazaridis, 2022) as artificial in origin. All caves with artificial modifications are also excluded from further analysis. In order to analyze the field work data from the Agion Oros area the following parameters have been considered: cave entrance location, lithology and cave entrance altitude. In addition, morphologically the caves are classified according to their pattern in ground plan and longitudinal sections in categories that have been used in other works about Greek caves (Lazaridis et al., 2022) such as 1. vertical shaft and complex vertical structure; 2. horizontal single passage; 3. chamber; 4. horizontal with multiple passages/chambers; 5. combination of single vertical and horizontal passage; 6. complex caves of multiple horizontal and vertical passages; 7. sinkhole; 8. complex branchwork. Some quantitative data measured from cave maps and are statistically analyzed. These are the following parameters maximum cave width, cave length, cave height, cave area, cave perimeter. The area to perimeter ratio is calculated, using the square of perimeter to make the ratio dimensionless. Area is plotted versus perimeter, which reflects the structure complexity of caves and the distribution of the dissolution.

### 5. Results

In this research, a total of 49 natural caves, that represent the 41% of the total speleological records of the Mount Athos penin-

sula, were studied. The caves are distributed across various lithological units within the area. Specifically, 19 caves are located in the recrystallized limestones of the Aspri Vrysi - Chortiatis unit, 18 caves are found in the marbles of the Kerdillion unit, 2 caves in the two-mica gneisses of the Vertiskos unit, 4 caves in amphibolites, 3 caves in the green slates of Chortiati's magmatic series, and 1 cave occurs in the Grigoriou granite (Figure 2). The altitude of caves above mean sea level (a.m.s.l.) ranges from 0

	min	max	average
Width (m)	0.6	29.8	4
Length (m)	2.2	59.6	11
Height (m)	0.6	12.4	3
Perimeter (m)	6.9	182.2	34
Area (m <sup>2</sup> )	1.6	430.0	430

Table 1. Dimension statistics of cave in Agion Oros Peninsula.

m. at sea level to 1476 m a.m.s.l. where the Panagia cave is located (Figure 3). Above that altitude abundant speleothem fragments and eroded cavities can be found in the carbonates of Athos, with the highest ones located at the summit of the mountain.

Table 1 presents the summarized metrics of cave dimensions derived from the Agion Oros Peninsula. The studied caves are classified as small-sized that do not exceed the 60 m length.

Their average height and width are 3 and 4 m, respectively. The maximum cave area is 430 m<sup>2</sup>. A notable correlation is observed between cave length, cave perimeter, and cave area, as indicated in Table 2.

In the first scatterplot of figure 4, cave area is plotted against cave perimeter, yielding a high R<sup>2</sup> of 0.85, indicating a tight growth trend between the two variables. The distribution pattern shows that the majority of the cave sample exhibit small areas and small perimeters, suggesting a morphological interpretation consistent with small chamber caves or isolated passages. The second scatterplot reveals similarly the tight growth trend of the logarithmic variables, indicating the absence of any outliers in the sample. The average area to perimeter ratio is 2.88% which interprets the simple plan patterns of the caves. Overall, these findings suggest that as the size of the caves increases, the complexity of their patterns also tends to increase

Morphological features noticed during field work include phreatic cross sections of cave passages in many cases, indicating their formation in a water-saturated environment. In some cases, there are remnants of such passages that resemble keyhole passages. In the hydrothermal caves of the peninsula, certain features such as wall pockets with flat ceilings, cupolas, pendants, and accompanying partitions were documented. The hydrothermal caves predominantly exhibited an ascending morphology, with their en-

trances typically found at the lowest altitude. In ground plan most natural caves form simple chamber-like spaces, or single horizontal passages. Caves with significant vertical development have not yet been discovered. Some of the horizontal caves form more complex networks of interconnected passages

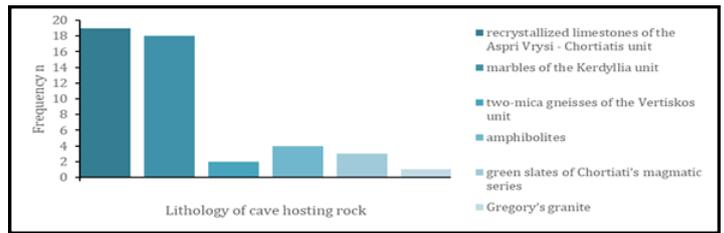


Figure 2. Cave distribution per lithological unit.

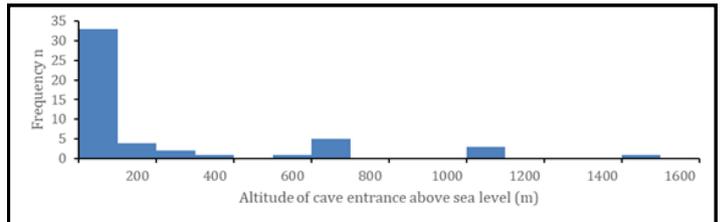


Figure 3. Distribution of cave entrance altitude above sea level.

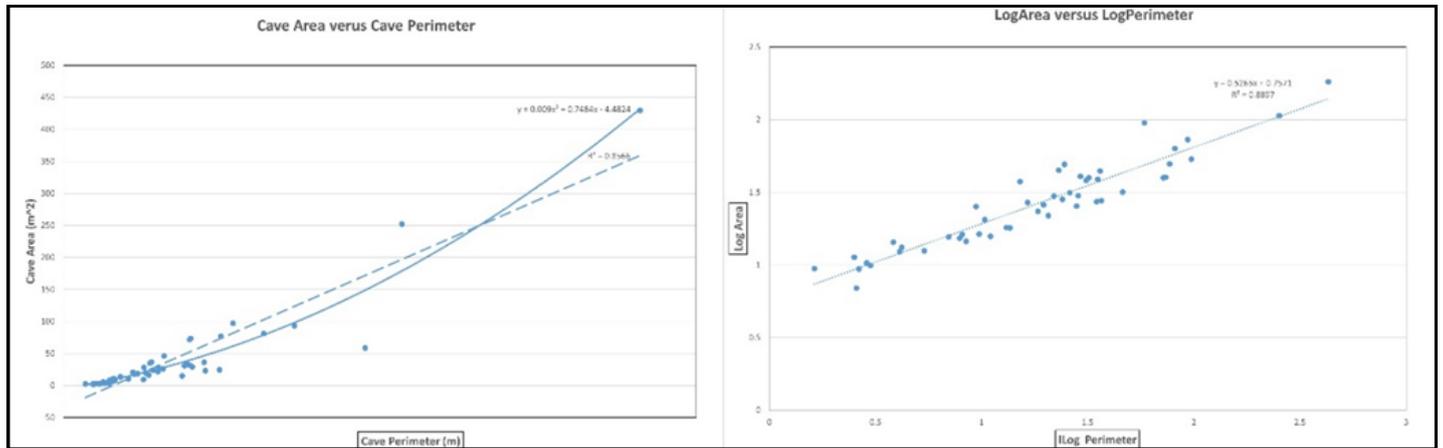


Figure 4. Area plotted against perimeter (left) and log area plotted against log perimeter of Agion Oros caves.

	Width (m)	Length (m)	Height (m)	Perimeter (m)	Cave Area (m)
Width (m)		0.006321	0.04178	0.013012	0.028304
Length (m)	0.38488		7.81E-05	<b>2.92E-29</b>	<b>1.18E-25</b>
Height (m)	0.29198	0.53383		0.00083	0.000134
Perimeter (m)	0.35241	<b>0.966</b>	0.46211		<b>1.87E-21</b>
Cave Area (m)	0.31344	<b>0.95126</b>	0.51874	<b>0.92555</b>	

Table 2. Correlation [Pearson statistic/p(uncorrelated)] of the parameters that measured from the cave maps of the natural caves recorded in Agion Oros Peninsula. In bold good correlation.

### 5. Discussion and Conclusions

The Agion Oros Peninsula hosts a comparable number of cave entrances in both carbonate units. In addition, one fifth of the caves occur in non-carbonate lithologies. This is a result of extensive field work that utilized the available Information and

field observations in non-karst regions.

Some of these caves exhibit rare silicate speleothems (Lazaridis et al., 2022). Furthermore, these non-carbonate caves represent various speleogenetic processes, beyond carbonate dissolution, including erosion, weathering, tectonics etc. Most caves are

found in low altitudes, near to the sea level, which is subject to uplifting at an indicative rate of 1.3-1.5 mm/yr (Syrides, 2010). Some of the caves found at the lowest altitudes could potentially serve as sea level markers.

On the other hand, the caves that are found on the highest altitudes represent parts of “fossil” hydrothermal systems. In uplifted areas any markers of hydrothermal activity, such as travertines, are easily eroded, making these hydrothermal caves the only markers. Some of them are lined with calcite crystals and associated with ore deposition and hydrocarbon generation (Decker et al., 2018). Only 20% of known hypogene caves in Greece display similar speleothems.

In summary, the systematic speleological investigations on the Agion Oros Peninsula reveal the following characteristics of the caves in the area:

- vary in size and morphology
- are formed due to multiple speleogenetic agents
- are occasionally containing scientifically valuable speleothems
- some of the caves are serving as sea level markers
- some of the caves are serving as markers of a “fossil” hydrothermal system and maybe as indicators of ore deposits

## References

- Burg JP, Ricou LE, Ivano Z, Godfriaux I, Dimov D, Klain L, 1996. Syn-tectonic metamorphic nappe complex in the Rhodope Massif. Structure and kinematics. *Terra nova*, 8(1), 6-15.
- Decker DD, Polyak VJ, Asmerom Y, 2018. Spar caves as fossil hydrothermal systems: Timing and origin of ore deposits in the Delaware Basin and Guadalupe Mountains, New Mexico and Texas, USA. *International Journal of Speleology*, 47(3), 263-270.
- Georgiadi, G, 2007. The tectonic structure of the southern part of the peninsula of Mount Athos. Master's Thesis, School of Geology, Aristotle University of Thessaloniki, 73pp.
- Himmerkus F, Reischmann T, Kostopoulos D, 2003. The Serbo-Macedonian Massif, the oldest crustal segment of the internal Hellenides, identified by zircon ages. In EGS-AGU-EUG Joint Assembly (p. 5671).
- IGME, 1978. Geological map of Greece, 1:50,000, Sheet «Athos».
- Kockel F, Mollat H, Walther HW, 1977. Erläuterungen zur geologischen Karte der Chalkidiki und angrenzender Gebiete 1:100000 (Nord-Griechenland). Bundesanstalt für Geowissenschaften und Rohstoffe, Hannover, pp 1-119
- Lazaridis G, Papadopoulou L, Panora A, Agapov I, Kaminski S, Zhalov A, 2022. Siliceous speleothems from a cave in Agion Oros (Greece). *Cave and Karst Science*, Vol.49, No.3, pp.107-112.
- Lazaridis G, Zhalov A, Makrotergios L, Genkov A, Gyorev V, Stoichkov K, Radulescu A, Agapov I, Kaminskiy S, 2014. Hydrothermal caves in Athos Mt. (Agion Oros). *Proceedings of the Balkan Speleological Conference, Sofia, Bulgaria*, pp. 36-40.
- Lazaridis GT, 2022. Definition and process-based classification of caves. *Acta Carsologica*, 51(1), pp. 65-77.
- Lazaridis G, Dora D, Nikolaidou I, Karakoulakis P, Almpantopoulou A, Pantali, S, Kamadani K, Karagkiozi M, Kokovaki M, Sdraka F, Karampelas A, Panora A, Ntasioti S, Georgiadou M, Konstantinakis F, Gkari MD, Vouvalidis K, 2022. The caves of Greece: archive analysis and modern field-work data. 16th International Congress of the Geological Society of Greece 17-19 October, 2022 - Patras, Greece *Bulletin of the Geological Society of Greece*, Sp. Publ.
- Palmer AN, 1991. Origin and morphology of limestone caves. *Geological Society of America Bulletin*, 103(1), 1-21.
- Syrides G, 2010. Holocene Raised shorelines along Athos Peninsula, Northern Aegean Sea, Greece-First data. *Επιστημονική Επετηρίδα του Τμήματος Γεωλογίας (ΑΠΘ)*, 39(1/2), 381.
- Zhalov A, Agapov I, Kaminski S, Gyorev, V, 2011. International Project: “The Caves of Holy Mountain Athos – Greece”. *Comunicaciones VIII Simposio Europeo de Exploraciones*, Marbella, Spain, pp. 50-56.

# ИЗСЛЕДВАНИЯ С GPR (GROUND PENETRATION RADAR) В БОСНЕШКИЯ КАРСТОВ РАЙОН

Атанас Русев

Club Extreme, Smolianska 56, Sofia, Bulgaria, clubextreme@gmail.com

## Abstract

### Exploration with GPR in Busnek Karst area

GPR (Ground penetration radar) is a non-intrusive geophysical method that uses electromagnetic pulses, high-frequency radio waves, and detects reflected signals from subsurface structures. For the last ten years we use extensively GPR in Bosnek karst area to detect new undiscovered natural caves close to the surface. In Bosnek karst area are located one of the longest caves in Bulgaria, Duhlata (18.5 km.), Vreloto (8.5 km), etc., as potential for new discoveries is enormous. The potential of the longest cave system in the area, Extreme-Vreloto, exceeds 80 km, still undiscovered new cave galleries, as well as other two similar cave systems: Duhlata and Popov izvor. Discovering new cave entrances toward these huge cave systems is the key to explore them.

Here we present several successful cases of new caves detection in the researched area and include valuable information of GPR details especially used to discover natural caves in a limestone area.

Using latest GPS technology and devices we prove that this is probably the best geophysical methods to discover near-surface natural caves and new cave entrances.

## Key words

GPR, Ground Penetration Radar, Боснек, нови пещери, изследване

## 1. Въведение

Боснешкият карстов район се намира в южната част на планината Витоша. Тук са разположени едни от най-дългите пещерни системи в България, Духлата (18.5 км.), Врелото (8.5 км.) и др. като до момента са открити приблизително едва 20% от потенциално съществуващите огромни пещерни системи Екстрем-Врелото (над 80 км.), Духлата (над 35 км.), Попов извор (над 30 км.) и др. Изследванията на Клуб Екстрем в района започват през 1987 г. с откриването на пещерата Еделвайс (1 км.), в последствие свързана на 3 места с пещерата Духлата. Упоритата работа в района на клуба през годините доведе до откритието и изследването на много нови пещери или продължения в пещерите Врелото, Екстрем, Духлата, Попов извор, и др. През 2012 г. започнахме да използваме най-съвременна геофизична техника GPR (Ground Penetration Radar) за търсене на нови входове на пещери. Този метод се оказва изключително подходящ за тази цел и проведохме над 200 георадарни заснемания в целия район. (Фиг.1).

ни са вече в 3D контекст удобен и лесен за ползване, което изключително много подпомага набелязването на перспективни места във варовиковия масив с оглед откриването на нови входове към все още неоткритите огромни пещерни системи. Във всички тези перспективни зони сме извършили многократни и комплексни георадарни заснемания с различни конфигурации. Независимо от метрологичните условия, периода от годината, влажността на почвата, температурата и другите физични фактори на средата, получените резултати са еднозначни, което показва пълната достоверност на метода при използването на GPR.

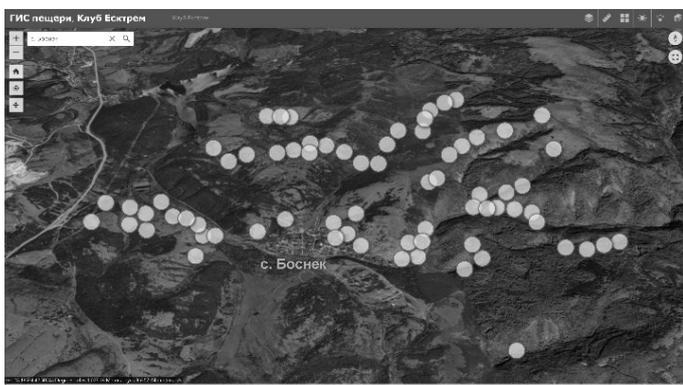
Освен георадарните методи, за пръв път в България, използвахме успешно термо камери за откриване на нови входове на пещери и продължения във вече известни пещери, както и магнитометри, гравиметри и ВЕС геофизични техники. От нашия практически опит за откриването на нови входове на пещери стигнахме до извода, че най-подходящо е използването и комбинирането на георадар и термо камери за откриването на нови входове на пещери.

## 2. Методи

Геофизичните методи са широко използвани за локализирането на подземни кухини. Към тях спадат следните различни техники: сеизмични отражения и рефракции, гравиметрия, електрическа резистивна томография, магнитни методи, GPR електромагнитни методи и др. Тези методи позволяват заснемането на големи площи за малко време и достоверни резултати.

GPR (Ground Penetrating Radar) представлява електромагнитен пулсово рефлекторен метод базиран на физически принцип подобен на сеизмичното отражение. Той представлява геофизична техника за плитко изследвания с висока резолюция и точност.

Този метод се използва от 1960 г. с термина Radio Echo Sounding (RES) за определяне дебелината на леда в полярните области (Waite and Schmidt, 1961). За пръв път е приложен от Stern (Stern, 1929, 1930) в Австрия за определяне дебелината на ледници. Същността на метода се базира на електромагнитни импулси, които се излъчват от повърхността към земята и последващо засичане на част от тази енергия, която се отразява от границата на пластове, кухини, заровени обек-



Фигура 1. Зони на комплексни георадарни изследвания в Боснешки карстов район извършени в периода 2012-2023 г.

През последните 15 години започнахме и изграждането на комплексна ГИС (геоинформационна система) за целия карстов район с включени данни за всички открити пещери, карти на пещерите, нови входове на пещери, губилища, извори, сателитни и ортофото снимки, релеф и топографски карти, геоложки карти и др. В последните години всички тези дан-

ти и други аномалии. Директните и отразени амплитуди на силата на електричното поле се записват като функция на времето. Отражението и дифракциите на електромагнитните вълни настъпват на границите между обекти с различни електрични свойства (Blindow, et. al. 2007). За излъчване и приемане на сигналите се използват широко честотни диполни антени. Честотите, които се използват за геофизични и инженерни изследвания, са между 10 и 1000 MHz, като за подробно тестване на материали на плитки дълбочини са подходящи и по-високо честотни антени. Високата импулсна честота на излъчване и приемане позволяват измерванията да бъдат извършвани по протежението на профили, като получените резултати са в реално време и може да се интерпретират веднага на полето за изследване под формата на т.н. радаграми, изобразени на монитор. При взимането на данните в локална мрежа или точен GNSS приемник е възможно да се направи 3D интерпретация на локализирания подземен обект/и. Методът е неструктуриран, с висока хоризонтална и вертикална точност, и резултати на момента, както и допълнителни след последваща обработка.

При нашите изследвания сме използвали различни GPR конфигурации на шведската компания MALÅ, съответно X3M, Ground Explorer, Easy Locator със защитени 160 Mhz, 250 Mhz, 450 Mhz и 800 Mhz антени (Фигура 2.). Този метод се използва от 1960 г. с термина Radio Echo Sounding (RES) за определяне дебелината на леда в полярните области (Waite and Schmidt, 1961). За пръв път е приложен от Stern (Stern, 1929, 1930) в Австрия за определяне дебелината на ледници. Същността на метода се базира на електромагнитни импулси, които се излъчват от повърхността към земята и последващо засичане на част от тази енергия, която се отразява от границата на пластове, кухини, заровени обекти и други аномалии. Директните и отразени амплитуди на силата на електричното поле се записват като функция на времето. Отражението и дифракциите на електромагнитните вълни настъпват на границите между обекти с различни електрични свойства (Blindow, et. al. 2007). За излъчване и приемане на сигналите се използват широко честотни диполни антени. Честотите, които се използват за геофизични и инженерни изследвания, са между 10 и 1000 MHz, като за подробно тестване на материали на плитки дълбочини са подходящи и по-високо честотни антени. Високата импулсна честота на излъчване и приемане позволяват измерванията да бъдат извършвани по протежението на профили, като получените резултати са в реално време и може да се интерпретират веднага на полето за изследване под формата на т.н. радаграми, изобразени на монитор.



Фигура 2. Георадар MALÅ X3M с 250 Mhz антена и GNSS приемник Trimble Pro 6H

При взимането на данните в локална мрежа или точен GNSS приемник е възможно да се направи 3D интерпретация на локализирания подземен обект/и. Методът е неструктуриран, с висока хоризонтална и вертикална точност, и резултати на момента, както и допълнителни след последваща обработка. При нашите изследвания сме използвали различни GPR конфигурации на шведската компания MALÅ, съответно X3M, Ground Explorer, Easy Locator със защитени 160 Mhz, 250 Mhz, 450 Mhz и 800 Mhz антени (Фигура 2.).

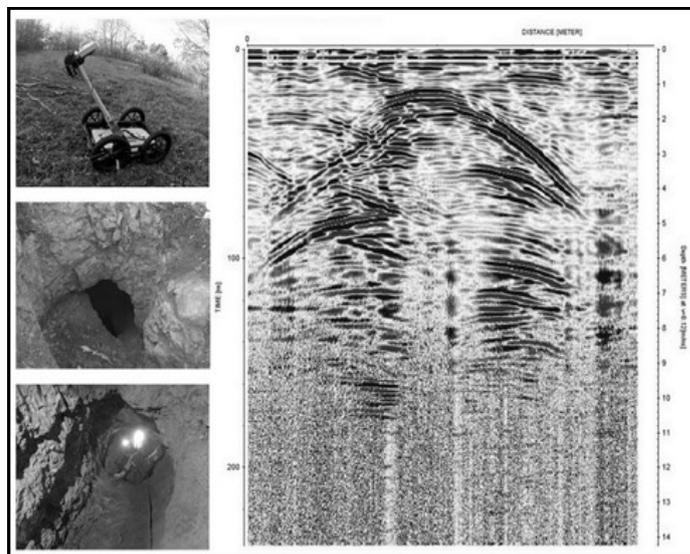
С подобни конфигурации сме постигали, при идеални условия, максималната дълбочина на проникване на сигнала до 22 метра. Стойността за ускорението на разпространение на вълната във варовици е 0.12 m/ns, което е типичната стойност за тези видове скали (Davis, et. al., 1989), (A-CUBED 1983), (Ulriksen, 1982). Стъпката на хоризонтално измерване, която използваме е обикновено през 1-10 см. Към георадара прикрепяме обикновено GNSS приемник от висок клас с дециметрова или сантиметрова точност в реално време, като с негова помощ не се налага да се трасира мрежа, а резултатите се получават със своите точни координати и траектория на движение на заснемането, което улеснява бързината, точността и анализа на получените резултати. Също така сме независими от релефа или горската растителност при измерването за получаването на точни координати. За настройките на GPR, събиране на данни и първоначален анализ използваме различните видове MALÅ Monitor и лаптопи, както и софтуер за последваща обработка ReflexW, MALÅ Groundvision, и др.

### 3. Резултати

Тук представяме няколко реални изследвания, довели до откриването на нови входове на пещери, чрез използването на георадар. Както и няколко изследвания, при които са открити подземни кухини в близост до повърхността, и които предстоят да бъдат проучени.

#### 3.1. Пещерата Чакълът

Първото георадарно изследване в тази зона, в района на най-далечно достигнатото място от нас в пещерата Врелото, но на повърхността, е проведено през 2016 г. с георадар MALÅ X3M с 250 Mhz антена на дълбочина до 8 метра с цел откриването на подземни кухини в близост до повърхността. При направеното обширно сканиране открихме една единствена кухина на 2 метра под повърхността (Фигура 3.).



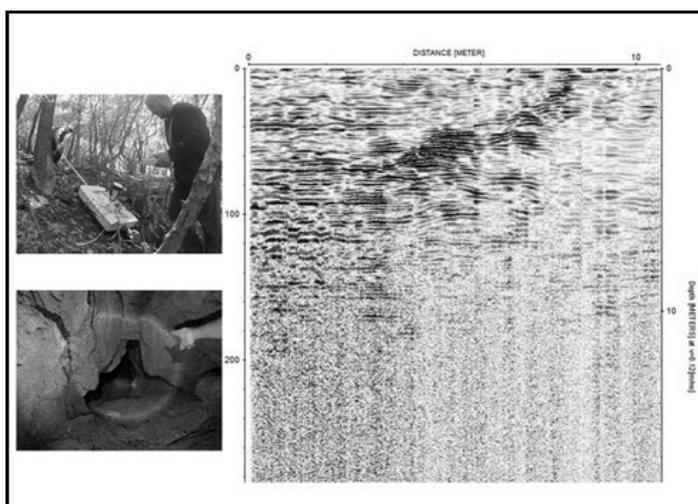
Фигура 3. Вляво: Мястото преди, по време на разкопаването и откритието на вертикалния кладенец. Вдясно: Ясно видима кухина на радаграмата в близост до повърхността.

Получените резултати и анализ показаха наличието на нова вертикално разположена кухня на дълбочина от 12 до 15 метра, до която достигнахме отново след разкопаване.

През 2019 г. достигнахме до -17 метра дълбочина. През 2020 година направихме ново георадарно проучване, този път с MALÅ Ground Explorer със 160 Mhz антена с цел по-дълбоко проникване, до 25 метра дълбочина. Използвахме старата опорна локална мрежа и успяхме да постигнем дълбочина на сканиране до -20 метра. След обработка на резултатите в контекста на 3D установихме нова малка кухня на -19 метра. Лимитът при тези условия, на това място, и налична техника се оказа -20 метра и не можахме да разграничим нови кухни в дълбочина тъй като мощността на сигнала на георадара не достига по-надолу. В момента дълбочината на пещерата Чакъла е -17 метра, тя представлява широк отвесен кладенец разположен в огромна пукнатина, вероятно запълнен през геоложките епохи от инертен материал. Изследването на тази изключително интересна и перспективна пещера продължава.

### 3.2. Пещерата Сънливците 2

Изследваният район се намира западно от пещерата Врелото, на голяма надморска височина, където през 2015 година при обход открихме малко пропадане, което след разкопаване се оказа вертикален кладенец в основната скала (Сънливците 1), по който слязохме вертикално 7 метра до срутване. За да проучим какво се случва в дълбочина използвахме георадар MALÅ X3M с 250 Mhz антена и изграждането на локална мрежа. След извършването на измерването, забелязахме леко пропадане на повърхността, на 20 метра от входа, което незабавно сканирахме с радара. На 2 метра под нас ясно се виждаше малка кухня в радарграмата и лесен достъп до нея от повърхността (Фигура 4.). Тридесет минути по-късно, след разкопаване, успяхме да влезем в нова пещера с няколко малки зали и обща дължина 60 метра и -15 м денивелация. Пътят навътре ни е препречен от срутване, което се надяваме да преодолеем.



Фигура 4. Вляво: Мястото на засичането на кухнята и пещерата под него. Вдясно: Ясно видима кухня на радарграмата и достъп до нея от повърхността. Ясно се вижда затихването на сигнала на около -10 м., а залите на -12 метра са „невидими“.

Тъй като тази зона се оказва много интересна проведохме редица изследвания на това място с георадар (MALÅ X3M с 250 Mhz антена), което доведе до откриването на още два нови входа, Вятъра (10м, -6м) и Глината (- 8м.), работата по които продължава.

През 2019 г. успяхме да свържем Сънливците 1 със Сънлив-

ците 2 и направихме интересно откритие, открихме на 30 метра навътре в пещерата и 3 метра дълбочина в глината, праисторическа каменна брадва, за което съобщаваме за пръв път тук. Изследването продължава.

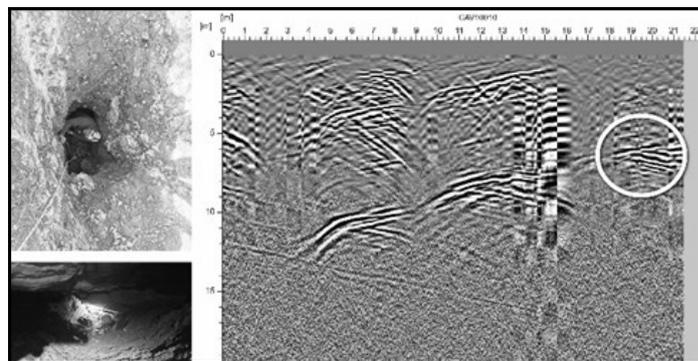
### 3.3. Пещерата при Мазето

Районът се намира западно от пещерата Духлата. В него сме провеждали многобройни георадарни изследвания от 2014 до сега като сме сканирали почти целия район между пещерата Академик и Горния и Долен извор на с. Боснек, в търсене на пещерни галерии в близост до повърхността. Открити са много перспективни обекти, по някои от които започнахме работа.

През м. януари 2023 г. решихме да направим подробно изследване на една зона, където всеки път засичахме наличието на интересни подземни кухни на около 3-12 метра дълбочина. Бяхме изследвали тази зона вече с MALÅ X3M до 8 м с 250 Mhz антена, а сега сканирахме с по-голяма резолюция с MALÅ Easy Locator с 450 Mhz антена до 5 метра дълбочина, за да прецизираме най-близкото място до повърхността от което може да проникнем. За целта направихме локална мрежа през 1 м и дължина 15x15м. Обработката на резултатите в контекста на 3D ни даде ясна представа за подземните кухни на това място и най-лесния възможен достъп до тях.

За потвърждение проведохме изследване и с георадар MALÅ Ground Explorer със 160 Mhz антена на същата опорна мрежа.

След анализа на резултатите стана ясно че има поредица от малки кухни от -6 до -12 метра (Фигура 5.), като единстве-



Фигура 5. Вляво: Изкопът в затрупаната диаклаза и проникването в първата кухня (отбелязана с бял кръг в радарграмата). Вдясно: Ясно видими поредица от кухни на радарграмата. В момента сме проникнали до втората кухня.

но място за достъп се оказва широка диаклазна пукнатина, която локализирахме на повърхността, но запушена с материал във времето.

След изкопните работи на -6.5 метра успяхме да проникнем в първата малка кухня от радарграмата, и попаднахме в широка около 10 метра силно наклонена галерия почти изцяло запълнена с глина. Според резултатите след около 2 метра глинена запушалка следваше нова кухня и наистина след разкопаването им, попаднахме в нея. Следва нова глинена преграда, след която най-вероятно ще проникнем в голяма неизследвана пещера.

Проведохме допълнително изследване с MALÅ Ground Explorer със 160 Mhz антена на дълбочина до 25 метра, но за съжаление сигнала в този район, най-вероятно заради наличието на дебел слой глина както на повърхността така и в пещерата, може да проникне и да даде информация само до -12 метра. „Пещерата при Мазето“ е вече с дължина 18 метра

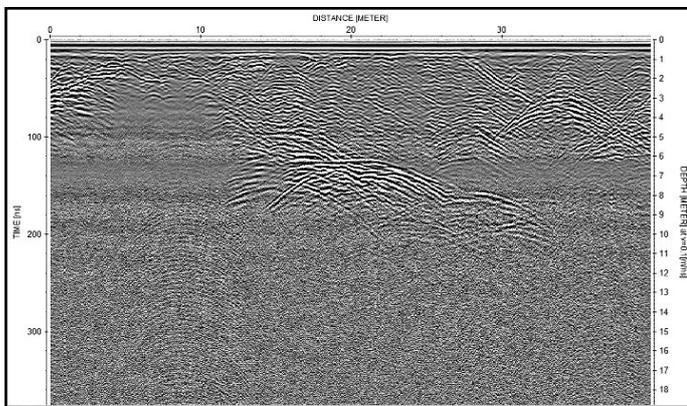
и дълбочина -10 метра. Изследването продължава.

### 3.4. Други открити подземни кухни в района

Почти при всяко георадарно заснемане в района откриваме нови кухни, но поради дълбочината на която се намират, не винаги е лесно да се проникне в тях. Проникването в основна скала без никакви пукнатини дори на няколко метра дълбочина, най-често е непосилна задача без използването на специални средства и машини.

#### 3.4.1. Зона под пещерата Пепелянката

През 2013 г. проведохме георадарно изследване в търсене на достъп до долните етажи на пещерата Пепелянката, с оглед проникването в нова голяма пещерна система, неизследвана част от пещерата Духлата. На радарграмите открихме няколко интересни неизвестни подземни кухни както и най-големия обект, точно под асфалта на шосето към с. Чуйпетлово, три кухни, като едната представлява малка зала с ширина около 6-8 метра, намираща се на 6.5- 7 м дълбочина (Фигура 6).



Фигура 6. Ясно видими на радарграмата три кухни в близост до повърхността.

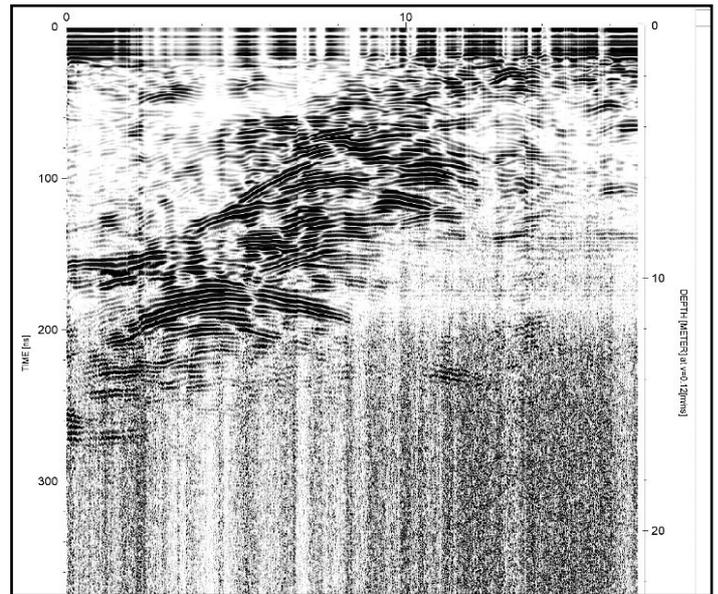
Направихме опит за проникване, отстрани до пътя но само след половин метър бяхме спрени от твърда, основна скала. За наличието на голяма пещерна система започваща от това място говори и факта, че има около 15 отвора в банкета на пътя, където сме засекли силно въздушно течение с използването на термо камери, както и няколко губилища в р. Струма на това място. Най-вероятно при строежа на шосето, тези перспективни подземни галерии са били погребани. Но ярваме, че достъпът до тях е възможен.

#### 3.4.2. Зона на пещерата „Малката Пепелянка“

„Малката пепелянка“ е интересна малка пещера, която се намира в близост до пещерата Духлата. В този район сме картирали 75 нови обекти и 15 нови пещери, по които работим през последните 25 години и най-вероятно образуването на цялата пещерна система Духлата започва именно от този район. Намирането на нови входове или продължения в тази зона може да доведе до значителни открития.

През 2022 година извършихме георадарно заснемане в района на повърхността, след края на пещерата „Малката пепелянка“ и установихме наличието на няколко големи кухни на около 5-8 метра дълбочина. Използвахме георадар MALÅ Easy Locator с 450 Mhz антена. През 2023 г. на същото място сканирахме и с MALÅ Ground Explorer с 160 Mhz антена до 20 метра дълбочина и наличието на интересни подземни кухни в близост до повърхността се потвърди (Фигура 7.) В момента търсим най-подходящото за разкопаване и проникване място, което най-вероятно ще определим чрез ново гео-

радарно заснемане в мрежа по X и Y и интерпретация на резултатите в 3D контекст.

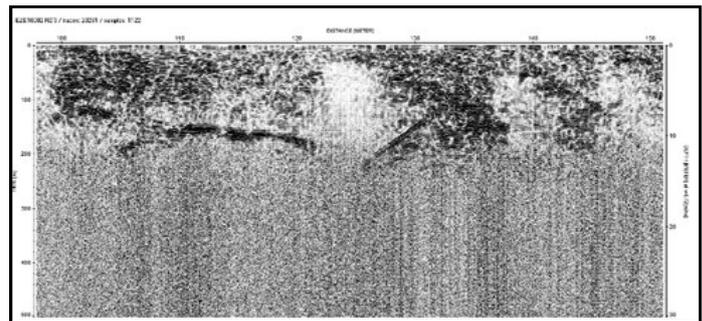


Фигура 7. Ясно видими кухня на -10.5 метра и вероятен достъп до нея от повърхността.

#### 3.4.3. Зона в района на въртопа Езерище

Въртопът Езерище се намира приблизително по средата над предполагаемото трасе на все още неоткрита пещерна система Екстрем-Врелото, която по предварителни данни може да надхвърли 80 км. дължина. Той е с елипсоидна форма приблизително 150x220 м и дълбочина около 20 метра.

В този район сме провели многобройни георадарни изследвания главно с MALÅ X3M с 250 Mhz антена и MALÅ Ground Explorer със 160 Mhz антена на дълбочини до -25 метра. Изследвали сме целия въртоп с акцент върху южните и юго-западни части, както и цялото плато в южна посока от въртопа, и източната страна, където се намира ясно изразен разлом (Фигура 8)



Фигура 8. Ясно видими две кухни на радарграмата, беше направен да се проникне в дясната.

Поради голямата площ на изследвания район първоначално извършихме разузнавателни профили и след техния анализ се съсредоточихме в няколко перспективни зони, където изградихме локални мрежи, обикновено 10x10 м, през 1 метър, с оглед откриване на най-лесен достъп до откритите подземни кухни. Поради голямата площ на изследвания район първоначално извършихме разузнавателни профили и след техния анализ се съсредоточихме в няколко перспективни зони, където изградихме локални мрежи, обикновено 10x10 м, през 1 метър, с оглед откриване на най-лесен достъп до откритите подземни кухни. При опит за проникване до една от тези кухни на около -

7 м, успяхме да слезем на около 2 метра, но достигнахме до изключително здрава основна скала. Въпреки голямата си надморска височина тази зона изглежда интересна, поради наличието на естествени кухини в близост до повърхността. Изследването продължава.

## Дискусия

Изследването на огромните пещерни системи, които се намират в Боснешкия карстов район изисква комплексна работа както под земята, така и на повърхността. През последните 20 години използваме специални технически средства и различни геофизични техники, за да улесним откриването на нови пещерни входове, които да ни доведат до нови неизследвани части от тези системи. Много често комбинацията от няколко научни метода и похвати довежда до нужния успех.

Използването на георадар е вероятно най-практичното решение за откриването на нови подземни кухини в карстови терени, в близост до повърхността. Апаратурата е скъпа като цена (около 20000 – 50000 евро), но все пак достъпна. Георадарният метод е изключително точен, бърз и ефективен. Георадарното изследване не е тривиален процес, а изисква добро познаване на техниката, богат опит с георадарното заснемане, както и със софтуера за анализ на резултатите и последваща обработка, а също и опит на терен. Поради естеството на тази геофизична техника е възможно допускането на грешки, главно в интерпретацията на резултатите, както и липсата в радарграмите на реално съществуващи подземни обекти в дълбочина, главно заради затихването на сигнала с нарастването на дълбочината и тяхното не отчитане. Особено това е валидно при наличието на глинени пластове на повърхността или в дълбочина, където се провежда изследването. Нужно е да се отбележи, че всеки изследван район има своите специфики според физическите свойства на материалите, от които е изграден. В зони с няколко или повече метри слоеве глина, почти е невъзможно да се извърши адекватно георадарно заснемане, освен с допълнителна техника, приложима за подобни терени.

## 5. Заключение

Повече от десет години използваме активно различни конфигурации георадарно оборудване за откриването на нови входове на пещери и естествени карстови кухини в близост до повърхността. Извършили сме стотици георадарни проучвания, както в Боснешкия карстов район, така и в други карстови райони в страната, например Понор планина. Методът е доказано изключително практичен, точен и надежден. В нашата практика, използването на георадар е ежедневие и всеки потенциален нов вход на нова пещера означава автоматически и георадарно заснемане на целия прилежащ район.

## Благодарности

Издавам искрените си благодарности на Кирил Русев и Дарин Русев, Станислав Бонев, Росен Закс, Али Каранч, Петър Пенчев, Таня Славова, Момчил Минчев, Даниел Пантов и др.

## Библиография

- A-CUBED, 1983. General State of the Art Review of Ground Probing Radar. A-CUBED, Mississauga, Ontario, 89 pp.
- Bancroft J, 1998. A practical understanding of Pre- and Poststack Migration. Volumes 1 & 2. SEG.
- Blindow N, Eisenburger D, Ilich B, Petzold H, Richter T, 2007. Ground Penetrating Radar, Environmental Geology, pp 283-335.
- Davis J, Annan A, 1989. Ground-penetrating radar for high-resolution mapping of soil and rock stratigraphy. Geophysical Prospecting 37: 531
- Rusev, Atanas & Slavova, Tanya (2018). Practical Geophysical Methods of Cave Detection, CREGJ 103, pp. 18-21.
- Русев, Атанас, & Славова, Таня & Гюров, Рангел (2014). Изследвания с GPR (Ground penetration radar) в Боснешкия карстов район за откриване на нови подземни кухини в района на пещерата Духлата, Балканска спелеоложка конференция, София, 2014
- Rusev, Atanas (2019) The Role of GIS in Finding New Caves, CREGJ 106, pp 20-22
- Rusev, Atanas & Slavova, Tanya (2016). Multi-sensor Cave Detection, GIM International magazine, Vol 4, ISSN 1566-9076.
- Sandmeier K, 2012. ReflexW Version 7.0. Windows™ 9x/NT/2000/XP/7 program for the processing of seismic, acoustic or electromagnetic reflection, refraction and transmission data, pp. 1–291.
- Slavova T, Kamburov A, Rusev A, 2013. Spatial Cave Mapping in Bulgaria, GIM International magazine, Vol. 3, p. 33-35. ISSN 1566-9076.
- Stern W, 1929: Versuch einer elektrodynamischen Dickenmessung von Gletschereis. Gerl. Beitr. zur Geophysik, 23, 292-333.
- Stern W, 1930: Über Grundlagen, Methodik und bisherige Ergebnisse elektrodynamischer Dickenmessung von Gletschereis. Z. Gletscherkunde, 15, 24-42.
- Ulriksen C, 1982. Application of impulse radar to civil engineering. Published Ph.D. Thesis, Lund University of Technology, Lund, Geophysical Survey Systems, Inc. Hudson, New Hampshire, 179 pp.
- Waite A, Schmidt S, 1961. Gross errors in height indication from pulsed radar altimeters operating over thick ice or snow, Institute of Radio Engineers, International Convention Record, Part 5, pp. 38-53.
- Yilmaz O, 1987. Seismic Data Processing. SEG.

# ORTHOPHOTO MAPPING AND TERRESTRIAL LASER SCANNING OF KARST TERRAINS AND CAVES IN 3D RECONSTRUCTION

Ognian Ognianov<sup>1</sup>, Ivan Ivanov<sup>2</sup> and Alexander Yanakiev<sup>2</sup>

*1 Institute for Space Research and Technologies, Bulgarian Academy of Sciences*

*„Akad. Georgi Bonchev“ I, 1113 Geo Milev, Sofia, Bulgaria*

*2 Sofia University “St. Kliment Ohridski”, Faculty of Geology and Geography, Department of Cartography and GIS; E-mail: iivanov@gea.uni-sofia.bg*

## Abstract

Today, Unmanned Aerial Systems (UAS) are used extremely successfully to obtain geospatial data about the Earth's surface as well as for orthophoto mapping. At the same time, UAS can hardly be used for underground scanning due to the limitations of the underground environment, the lack of GNSS coverage and the low level of illumination there. Thus, Terrestrial Laser Scanning (TLS) becomes one of the few methods for solving such tasks. Three-dimensional surface and subsurface data as a way of primary acquisition and processing is becoming a complex task that involves the use of precision scanning systems on flying platforms.

In the present work, the intersection between the two types of scanning systems (UAS as a system for scanning the earth's surface and TLS as a system for scanning underground surfaces) is sought, considered in the context of the study of underground cavities and the earth's surface above them, as well as the possibilities for integration of the data obtained from them.

**Keywords:** Unmanned Aerial Systems (UAS), Terrestrial Laser Scanning (TLS), surface and underground karst, caves, three-dimensional integration.

## 1. Introduction

The complex structure of caves requires the use of methods for complete three-dimensional mapping, both on the underground cave area and on the earth's surface above them. In this regard, to achieve such three-dimensional mapping requires using of two types of remote scanning systems – Terrestrial Laser Scanning (TLS) and Unmanned Aerial System, the results of which are three-dimensional surfaces located at different depth levels – respectively for underground and aboveground surfaces. Combining these two types of three-dimensional surfaces is a challenging task that requires specialized software and a high-tech resource. In this study, an attempt was made to combine data from two scanning systems acquired for the territory of Prohodna Cave near Karlukovo village, Bulgaria.

TLS replace traditional cave mapping methods, which are using a compass and clinometer; theodolite or a total station and are unable to provide the high spatial information and level of detail required for 3D modeling. TLS is one of the active methods of remote sensing, as it uses laser pulses to create a huge amount of 3D points with known coordinate (x, y, z), representing a precise image of the studied object (Disney et al., 2019) and providing a new approach to mapping the complex environment of cave (Mallet, Bretar, 2009; McFarlane et al., 2015).

Regarding the aboveground modeling, data captured from Unmanned Aerial Systems (UAS) including an aircraft, a sensor system and a navigation system is used with great success. These systems have established themselves in recent years as a reliable source for obtaining data on the earth's surface with a very high accuracy. The basis of data collection from UAS is the generation of digital, two-dimensional images in a high degree of side and front overlap and through a flight plan mission it is possible to cover and provide data on relatively large areas. The obtained two-dimensional images are used for the generation of several digital products such as digital orthophoto map, digital surface model and three-dimensional models.

Next are issues related to the possibilities for combining and integrating three-dimensional surfaces of two types of scanning sys-

tems (TLS and UAS). This includes the appropriate software and hardware environment, techniques for georegistration, accuracy assessment and representing the results in a 3D environment.

## 2. Study area

The object of this study is Prohodna cave, L 265 H -22 +25 216 meters above sea level, N 43.1763 E 24.072483, located near the village of Karlukovo, Lukovit municipality, Bulgaria. The cave is a spacious hall in the form of a spacious high tunnel with a length of 365 m and a height of arches from 33 up to 56 m. As a result of denudation processes, two adjacent openings of sinkholes have formed on the ceiling of the cave, forming the "Oknata" phenomenon, which looks like human eyes when viewed from the floor of the cave, which is why it has recently been known as "God's eyes". They are the main source of daylight in the cave. The cave has vertical walls with a height of 30–50 m, which makes it very difficult for accurate mapping and especially 3D modeling. For this reason, the existing maps of Prohodna Cave do not accurately reflect its morphology.

## 3. Preliminary work and data acquisition

Prior to the scan a mixed (over and underground) geodetic network was surveyed with a Leica TCR 405 total station and a HUACENAV X91 GNSS receiver for the purpose of georeferencing of the scans. Surveys were started overground with one point being surveyed in real time kinematic (RTK) mode in order to act as an anchor of the network and continued underground with the total station and a reflector. The network was later extended with an overground part (surveyed in RTK mode with Huacenav X91 GNSS receiver) for georeferencing of surface model.

For the purposes of the study, a Faro Focus 3D laser scanner with a horizontal range of 360 degree and a vertical range of 305 degree was used, featuring a clinometer and a build-in camera, allowing images to be obtained in parallel with the scanning process. The scanning system allows the generation of a cloud of 3D points, which varies from 122 to 967 000 points per second and a scanning range of 0.6 to 20 m.

Terrestrial Laser Scanning operations include several steps: selection of scanning position near the cave entrance and close to the control network; Positioning of control spheres (3 above the position and 3 under the position); Movement of the scanner to the next scanning position in the cave; Repositioning of the upper part of control spheres (control markers); Repeated until the scanning of the whole cave (30 scanning positions). All measured points and their positions are presented in Figure 1.

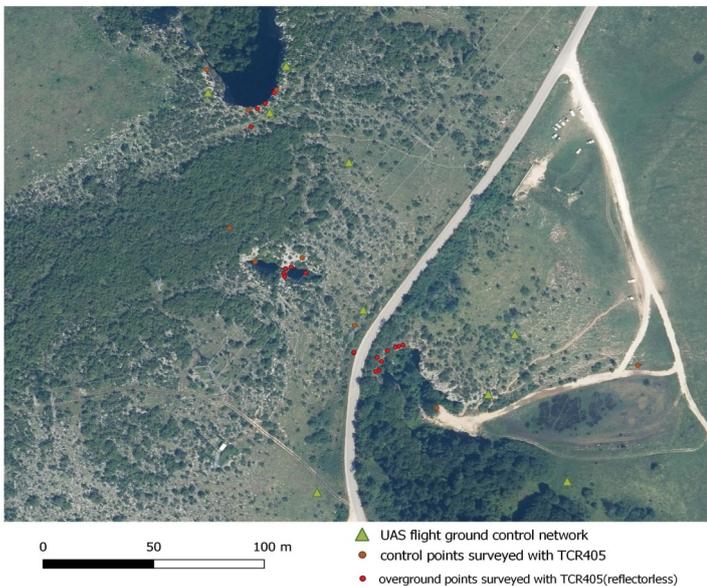


Figure 1. Scheme of developed geodetic network with a total station and a GNSS receiver, covering the entrances and the underground part of the cave. Additional UAS control network was developed.

UAS scanning was made with DJI Phantom 4 Pro Drone. To cover the entire territory above Prohodna cave from altitude of 110 m and to obtain 70% front and 70% side overlap two flight missions have been carried out. Additionally, two flights were performed with DJI Mavic Enterprise in oblique mode (45°) over two cave entrances. Ground control points were measured to increase the accuracy of the modeling.

To visualize the different working stage a schematic workflow is shown on Figure 2.

#### 4. Results

After the TLS scanning was complete, scans were interconnected and oriented between themselves. Scans from each station were registered and united with Autodesk ReCap. An E57 file was exported from ReCAP and used for reconstruction of the cave tunnel from laser scans in Reality Capture (RC). The model from Reality Capture was then simplified via filtering large triangles and exported into .obj file (Fig.3a, b). Above ground, part of the model was created with AgisoftMetashape from 152 images and exported into .obj file (Fig.3c). We processed 104 images captured with Phantom 4 and 47 images captured with DJI Mavic Enterprise simultaneously. The obtained accuracy based on the aerial images is up to 1m on x, y and z. Accuracy has been further improved up to 5 cm based on ground control points registered with the Huacnav X91 GNSS. For the purpose of laser scanning, a 26 min. preprogrammed scanning mode was used from each of the 30 scanning stations. Initially such a preprogrammed scanning mode produces a realistic point cloud, which gives accurate representation of cave geology and morphology. However such an approach has a major drawback at the stage of generation of textured mesh models. Depending on the size of the scanned sites, the mesh model may become huge (30GB in the case of Prohodna cave) and impossible to handle even for powerful multiprocessor workstations. In order to make such models usable, a reduction of number of mesh triangles is used, as the one described above. Although such “simplification” of the model may affect the accurate representation of the geometry of various features of the cave, the model would still give detailed information about the cave morphology.

It has to be noted, that all software engines (e.g. Metashape, Reality Capture, etc.) based on computer vision require distinctive common features (e.g. building edges, roofs, balconies, etc. which help the software to form stereo pairs on the basis of common points and reconstruct any features in 3D.

In case of presence of such distinctive features, data from

laser scanning and photogrammetry can be processed simultaneously using tools like AgisoftMetashape, Reality Capture and 3DZephyr. Lack of such distinctive features however challenges any computer vision algorithms. This makes joint processing of laser scanning and photogrammetry workflows hard and the results far from reality. It has to be stressed out that availability of accurate geodetic network is not a solution for such challenge since it does not help forming stereo pairs, creation of depth maps and proper 3D reconstruction.

Such problem is possible in the case of building complex models featuring both under and over ground part like Prohodna cave in our case. In the case of Prohodna, due to technical reasons (availability of only one scanner battery and the fact that the cave was scanned during the active tourist season when one of the entrances was blocked by temporary commercial outlets) and different height between the over ground terrain and the floor of the cave, cave entrances were not scanned from outside, which rendered their usage as tie points between the over and underground model impossible. This is why we resorted to separate

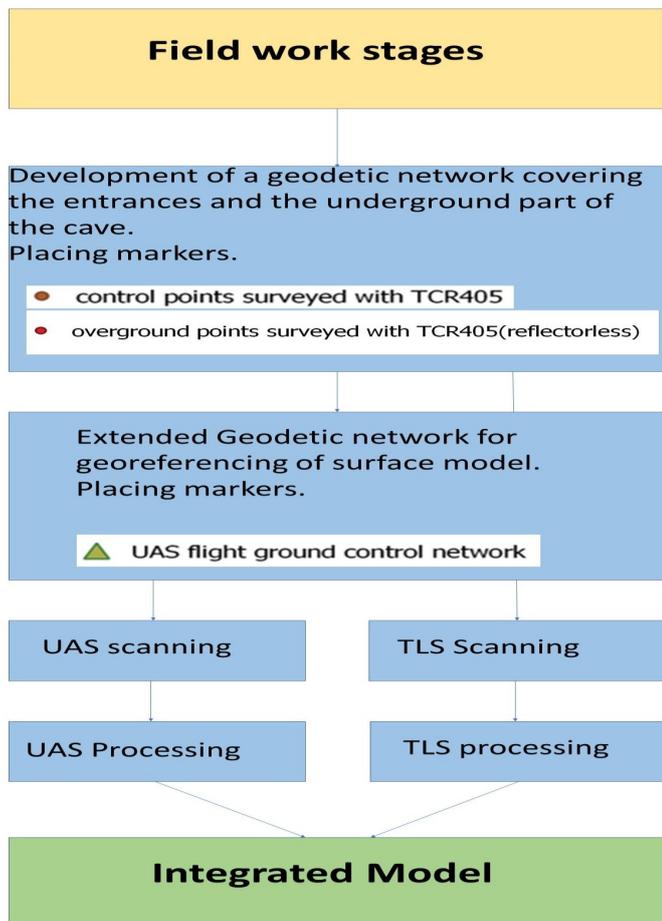


Figure 2. Scheme of work stages of field data collection and post-processing for preparation of an integrated ground and underground model.

Capture and 3DZephyr. Lack of such distinctive features however challenges any computer vision algorithms. This makes joint processing of laser scanning and photogrammetry workflows hard and the results far from reality. It has to be stressed out that availability of accurate geodetic network is not a solution for such challenge since it does not help forming stereo pairs, creation of depth maps and proper 3D reconstruction.

Such problem is possible in the case of building complex models featuring both under and over ground part like Prohodna cave in our case. In the case of Prohodna, due to technical reasons (availability of only one scanner battery and the fact that the cave was scanned during the active tourist season when one of the

entrances was blocked by temporary commercial outlets) and different height between the over ground terrain and the floor of the cave, cave entrances were not scanned from outside, which rendered their usage as tie points between the over and underground model impossible. This is why we resorted to separate processing of photogrammetry and laser scanning workflow and use the only other common feature of the two models – Oknata (the Eyes”) in order to integrate the two models manually. After a short review of available software solutions, we decided to follow this approach and integrate the two models using Blender. Two sections of the underground model were integrated manually with the over ground model. Results are shown on Figure 3-rd.

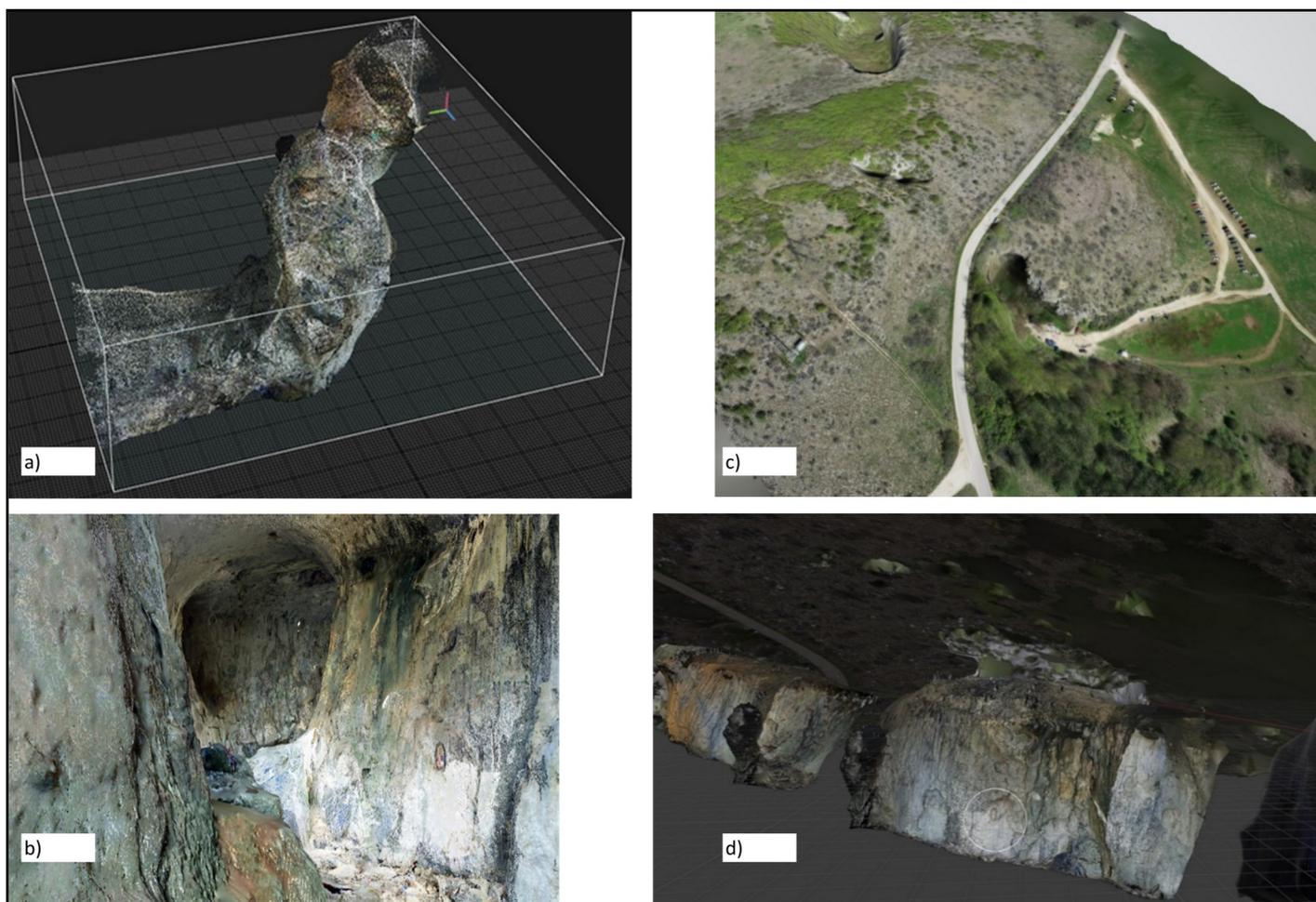


Figure 3. a), b) Underground TLS Model, c) Above ground model, d) Integration of two models.

## Discussion

Terrestrial laser scanning and UAS are specific remote sensing tools, allowing complex modelling of various phenomenon for the purpose of simulation and subsequent research. Unlike UAS, terrestrial laser scanning is not directly depended of GNSS coverage, which makes its usage possible in confined environment such as tunnels or caves. On the other hand, even though it poses significant challenge to the computing environment, most of the modern photogrammetry software packages like AgisoftMetashape or Reality Capture, can combine point clouds derived from terrestrial laser scanning and UAS imagery into realistic 3D models of various nature sites and manmade structures. In order to overcome the challenges to the computing environment, it is possible to resort to creation of separate models and their integration in appropriate software environment (i.e. 3D Studio, Blender, Maya, etc.). In order to create a model of the surface and underground walls of Prohodna cave, Karlukovo we used also another approach: In order to orientate the imagery and

point clouds we developed a geodetic network in the cave and on the surface. Both surface and underground georeferenced models were subsequently created. Sections of the underground model were integrated with the surface model, created from 140 152 overlapping UAS images. As a result, we made a detailed 3D model of the surface area and underground part of the Prohodna cave. Such complex models showing both “above” and “below” the ground situation on the site, be it a natural or anthropogenic one, are a powerful research tool that can be used in several directions. First of all, they allow monitoring surface events and phenomenon that are expected to or have an impact on the ecosystems and the situation “below” ground. Same is valid for processes taking place “below” and their impact “above” ground. Second, creation of multiple models allows monitoring development of processes described above. One has to take into account the fact however that production of such models requires significant challenges to the computing facilities.

Development of caves is a result of dissolving of carbonate

rocks by infiltrated and flowing surface or underground waters in a sequence of stages during of prolonged period of time, which may exceed millions years. This sequence of processes is called speleogenesis. In order to study it and to achieve better understanding of processes of formation of caves is necessary to build precise models of the surface of the terrain above the cave and the morphology of the surface of the walls and floor of the cave chambers and too integrate them in a single 3D model. This is very difficult task due to the unusually high complexity of the morphology of the surface of the cave walls, which usually do not contain any geometric forms and are developed in most unpredictable shapes. At the same time any buildings or artificial underground tunnels or chambers has much more simple shape.

All existing software for reduction of TLS scanning point clouds is designed for 3D reconstruction of such simple shapes and cannot be applied automatically for 3D reconstruction of extremely complex shapes like this of cave passages. Therefore, the last task requires great deal of manual work. By this way we successfully combined and integrated three-dimensional surfaces of TLS and UAS scanning systems.

## Conclusions

Combined surface and underground models pose major challenge both for data gathering and processing. Underground environment can pose significant challenges, when it comes to finding appropriate places for scanning stations and positioning of markers. At the processing stage, challenges are related to processing big data

and finding common features between surface and underground parts of the model, which can later be used as a tiepoint for generation of a complex ground and underground model. Natural features of the area (i.e. different height above sea level of various parts of the model), can also pose a challenge at the processing stage and require a greater amount of manual work by the operator. On other hand, such complex model allows complex studies of various features of the studied area including ecosystems, geology and rock formations, potential archeology sites, etc. Forming of time series of raster models that can be compared in order to monitor any dynamics of development of the studied phenomenon.

## References

- Disney, M., A.Burt, K.Claders,C.Schaaf, A. Stovall. 2019.Innovations in ground and airborne technologies as reference and for training and validation. –*Terrestrial Laser Scanning (TLS), Surveys in Geophysics*, 40, 937–958.
- Mallet, C.,F.Bretar. 2009.Full-waveform topographic LiDAR: State-of-the-art.–*ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64, 1, 1–16;<http://dx.doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2008.09.007>.
- McFarlane, D.A., W.Roberts,M.Buchroithner, G. van Rentergem, J. Lundberg,S.Hautz. 2015. Terrestrial LiDAR-based automated counting of swiftlet nests in the caves of Gomantong, Sabah, Borneo.–*Intern. J. Speleology*, 44, 2, 191–195;<http://dx.doi.org/10.5038/1827-806X.44.2.8>

# GENERATING CAVE MODELS: CHALLENGES TO PHYSICAL CAVE MONITORING

Alexey Stoev, Penka Muglova

*Institute for Space Research and Technologies, Bulgarian Academy of Sciences*

*Speleoclub "Salamandar", Stara Zagora/Bulgarian Caving Society*

*Akad. Georgi Bonchev"1, 1113 Geo Milev, Sofia, stoev52@abv.bg*

## Abstract

The report analyzes the current understanding of cave physics and karst physical phenomena. It is focused on research that uses simple physically based models to improve understanding of the physical processes occurring in karst and caves. The main thematic areas we consider are related to the dynamics of the cave atmosphere, heat and moisture transfer in karst caves and channels and thermodynamic models of speleogenesis. The research group's own experience is refracted through recent advances in these topics on a national and global scale.

It is shown that analytical models of physical interactions in karst and caves can provide a powerful tool for understanding the results of physical simulations and the relevant general principles on which they are based. The role that these models can play in the analysis of different types of physical data is highlighted. It is also shown that the use of analytical solutions, dimensional analysis and the construction of simple numerical models can enable understanding of more complex experimental and observational work.

**Keywords:** caves, karst, physical speleology, thermodynamic interactions, mathematical modeling, cave meteorology, speleogenesis

## 1. Introduction

The study of karst caves and the air volumes in them is especially relevant, given the global climate changes and their relationship with the solar-terrestrial interactions. Cave atmospheres require knowledge and experiments in both physics and meteorology, climatology, hydrology, and other fundamental and applied sciences. Several authors have written and summarized the problems of cave atmospheres relatively fully (Badino 1995) (Lismonde 2002). But the dynamics of knowledge in this area has grown tremendously in recent years, given the research of new objects and the use of modern automatic measuring devices with unthinkable until recently resolution of individual parameters of the environment and time. Atmospheric volumes of caves are known for their constancy compared to the ground atmosphere. However, cave atmospheres are not some super-constant environment. The dynamic changes that are established at different periods of time are related to both solar activity (Stoeva et. al. 2006) and variability in the surrounding physical space and the fluids that flow in the karst environment.

The Italian researcher Badino, reviewing the physics of the cave atmosphere, structured it into "cave climatology" and "cave meteorology". The first part examines the physical conditions in the average cave atmosphere that vary slowly over time. The second part examines how the cave oscillates around this average state over relatively short periods of time. Today, this division is almost universally accepted by all researchers of the cave atmosphere. However, there is a difference in the scale and discredit of thermodynamic processes underground. Understanding cave atmospheres, their variability, and the factors that generate them become increasingly important as we seek to interpret the paleoclimate record from caves (Stoev 2023) or relate its present state to surface climate changes. The dynamics of cave atmospheres is also important for cave ecosystems (Tobin et al. 2013), protection of caves from anthropogenic impacts and the formation and evolution of caves over time (Covington 2014).

## 2. Dynamics of thermodynamic parameters at different scales

The average local surface temperature has a first-order influence

on the cave temperature, which is strongly dependent on both altitude and latitude. The temperature parameter is strongly influenced by the average temperature of the fluids that flow through the aquifer (Badino 1995). Karst aquifers receive geothermal flow from the underlying crust and heat flow from above through the vents and fissure system of the cave, which is affected by surface temperature. However, for an unsaturated zone of unconfined karst aquifers, the rates of geothermal and surface heat flow are usually underestimated by the rate of heat capacity of the fluids that cross the aquifer. Thus, the temperature inside the aquifer is roughly balanced with the average surface temperature at the same altitude Badino 2005. This also applies to karst massifs and caves, where advective heat transfer dominates heat conduction processes in aquifers. Quantitatively, this can be represented by the Péclet Number (Péclet Number is the ratio of the rates of advective and conduction heat transfer). The heat transfer that the Peclet number expresses shows that it is large, especially within large karst systems. It follows that in deeply unsaturated zones, karst aquifers show a systematic increase in temperature with depth that is generally much smaller than the normal geothermal gradient of approximately 2°C/100 m. Thermal gradients found in deep caves are between the values of the energy dissipation rate of falling water (0.23°C/100 m) and the adiabatic deviation of the velocity of moist air (0.5 °C/100 m) (Luetscher & Jeannin 2004).

The same authors argue with quantitative estimates of air flow in two caves - Hölloch and La Diau, in which the energy flow due to air circulation is from 2 to 20 times greater than the energy flow due to water circulation. They provide evidence that thermal gradients close to the adiabatic outflow velocity of moist air are established in many of the observed caves. However, Badino in (Badino 2010) argues that these authors overestimate the typical air flow and concludes that water is the dominant factor in most thermodynamic interactions. Our observations show that in most cases of thermal studies of cave atmospheres, the observed temperature gradients tend to be average, with the main contribution being the effect of air-water interaction. Climate also appears to be an important factor in determining temperature profiles, with caves in wetter climates showing lower gradients (ie they are

more water dominated) than those located in areas with drier climates. Many of the temperature profiles also show reduced gradients within the deeper parts of the cave, where the influence of surface air is greatly reduced. The debate over the relative importance of water and air in determining thermal profiles in subsurface atmospheres highlights the need for further work to investigate air flow through caves and karst systems.

The thermal response of a karst massif to change with the surface climate has been considered with the application of simple models by Badino in (Badino 2004). The temperature of a karst massif is approximately equal to the average temperature of the fluids that cross it. However, if the climate changes, then the temperature of these fluids may also change with time. Since the karst massif has a large heat capacity, this change will not be instantaneous and will take place over a period of time. In Badino 2004 it is assumed that the time scale is related to the heat capacity change schedule, during which the heat capacity of the fluids crossing the array is equal to the heat capacity of the rock within the array. This can be written with the equation:

$$\tau_{cap} = (c_{rpr} / c_{fpf}) \cdot H/R \quad (1)$$

where  $c_r$  and  $c_f$  are the specific heat capacities of the rock and fluid (water or air),  $\rho_r$  and  $\rho_f$  are the rock and fluid densities,  $H$  is the mass thickness, and  $R$  (L/T dimension) is the water or air flux. The ratio in parentheses in equation (1) is approximately equal to 0.5 for water and 1500 for air. Considering the recharge of the massif by water flowing at a rate of 1 m/yr<sup>-1</sup>, this would result in a heat capacity time scale of 50 years for a rock thickness  $H = 100$  m and 500 years for a thickness  $H = 1000$  m. These values suggest that the massif will lag behind the local climate changes by several hundred years. However, there are other potentially relevant terms. In particular, as noted in (Badino 2004), the temperature pulse will propagate in the karst massif by conduction to a depth  $H$  in the execution of a schedule given by the equation:

$$\tau_{cond} \sim H^2/\alpha_r, \quad (2)$$

where  $\alpha_r$  is the thermal diffusion coefficient of the rock (~10<sup>-6</sup> ms<sup>-1</sup> for dry rock).

In order for the entire karst massif to change its temperature, two requirements must be met:

- 1) the heat capacity of the fluids that passed through it must be comparable to or greater than the heat capacity of the array, and
- 2) temperature must have time to exchange away from fluid contact zones and through the rock mass. Therefore, if the time scale of fluid passage is much longer than the time scale of heat capacity storage, this would suggest an influence of conductivity on the response time of the karst massif.

In fact, equation (2) implies quite long equilibration times in rock massifs of great thickness and volume. For example, at  $H = 1000$  m, this would result in an equilibrium time scale of  $\tau_{cond} \sim 3 \times 10^4$  yr. However, due to the network of fractures that penetrate the aquifer, it is unlikely that this heat within a karst aquifer would pass through its entire thickness. Therefore, half the typical distance between large cave galleries may be a more appropriate value for  $H$  than the entire thickness of the aquifer, together with its fracture system.

These two time scales imply a decoupling of the interactions between them caused by the effects of heat conduction and heat exchange in fluid flow motion. Equation (1) implies that fluids are able to exchange all available heat, while Equation (2) implies that the temperature at the fluid/rock interface is related to the surface temperature. The processes of heat transfer and conduction are actually related, and their relationship leads to a third

relevant time scale, which is the time scale over which a heat pulse can propagate a given distance  $L$ , down a cave gallery in the karst massif, which can be described by the equation:

$$\tau_{connected} \approx 16 \cdot \alpha_r L^2 / \pi \Psi^2 D H^2 V^2 \quad (3)$$

where  $\Psi = (\rho_{fav},f)/(\rho_{rav},r)$  is the ratio of the densities and specific heat capacities of the fluid and rock,  $DH$  is the hydraulic diameter of the flooded gallery, and  $V$  is the fluid flow rate.

This is due to heat exchange between the fluid and the rock. The fluid flows along the gallery, with time the rock cools or heats up and the heat pulse propagates further. This makes the propagation time scale of the heat pulse perhaps the most important factor in determining the long-term temperature behavior of karst rocks in the immediate vicinity of fluid galleries within the cave. This makes the processes of thermal interactions in caves clearly visible and instrumentally measurable, while at the same time a number of questions remain unexplored. For example, the degree of importance of these different time scales, the influence of the internal structure of the cave aquifer and the karst massif, the long-term thermal responses of karst aquifers, and others.

### 3. Air flow in the cave

The variability in the cave atmosphere is mainly determined by the interaction of the external atmospheric pressure and temperature changes that affect the cave air flow. Variations in airflow and temperature can also cause changes in the cave's atmosphere. Various mechanisms have been identified that produce cave airflow (Cigna 1968), including: chimney effect airflow, convective airflow circulation, barometric airflow, water airflow, flood airflow, changing system air volume, and surface wind flow (sprayer effect). Among all of them, chimney effect airflow is suggested to be the most ubiquitous and important mechanism (Badino 2010).

Chimney effect airflow is present in multi-entrance caves where the density differences between cave air and outside air that creates flow between the lower and upper entrances is largely controlled by the temperature difference. When the outside temperature is lower than the cave temperature, the cave air is light and floats up through the upper inlets, while outside air is drawn in through the lower inlets. At warm outside temperatures, cave air is dense compared to outside air and falls down through cave entrances, drawing outside air into its upper entrances. It is important to note that such airflow patterns do not require a cave to have multiple human-sized and larger entrances. Significant airflows can be forced through much more restricted pathways, such as cracks, soil, or highly permeable rock, and can result in significant overall airflow. The existence of large differences in the entrances is also not mandatory. A few meters or a few tens of centimeters difference in altitude between the entrances is enough! There are numerous systematic studies of the mechanisms of airflow and heat transfer in caves related to specific sites and physical circumstances. Our observations visiting hundreds of caves, most of which are above a certain minimum size (from several hundred meters to several kilometers) show airflow patterns that can only be explained by a chimney effect. The main exception to this appears to be hypogene cave systems, which can have very large cave volumes and mostly small, occasional connections to the surface of the karst massif. These systems often have dominant barometric air currents.

Despite the seasonal change in the direction of fluid flows, chimney-effect airflow does not necessarily imply uniformity in the rate of air exchange between the cave surface and atmosphere in summer and winter. A contrast in summer and winter air flow velocities is observed in many caves, which can be explained by the influence of geothermal warming of the cave. Thus, the tem-

perature contrasts between the cave and the surface of the karst massif are significant, which affects the air flow velocities - they are significantly greater in winter than in summer. Contrasts in moisture, transpiration and CO<sub>2</sub> levels, the volume ratio of surface to cave air can also create an asymmetry between summer and winter air flow rates. For caves with relatively small differences in elevation between entrances, cave geometry can lead to seasonal asymmetry in airflow velocity. If the cave gallery connecting the two entrances extends to a great depth, after the penetration of outside air into the lower entrance, backflow may begin at another level in the volume of the gallery. This reduces the pressure gradient and slows or may even completely stop the flow of air through the other inlet due to a chimney effect. The air column between two points of different elevation must have an imbalance in weight to actively support the chimney effect airflow. This imbalance will be enhanced during one climatic season and reduced or eliminated in another part of the cave, which is penetrated by air masses with highly differential seasonal temperatures of the ground atmosphere. This applies especially strongly to areas that are located far enough from the entrances of the cave even though they are on the line of the main elevation. This seasonal pattern has been observed in caves and karst systems and described by researchers such as Luetscher in (Luetscher 2008) , where chimney-effect airflow is only active in winter.

Circulating, usually local, convective air currents can also be driven by temperature differences. Most often, such flows occur near large inlets that can simultaneously accommodate inward and outward airflow clearly stratified in the subsurface cavity volume. If the cave has downward development from the entrance, then such currents are active at a cold outside temperature, with cool, dry air "sinking" inward along the floor plane and warmer, moist air rising outward along the ceiling plane. If the cave is ascending from the entrance, then such air currents are active at high surface temperatures. In both cases, circulating convection acts to reduce the temperature difference between the atmosphere and the karst massif over time. Therefore, at a constant external temperature, such convective cells will gradually shut down as the cave rock temperature approaches the external temperature. When the time scale of thermodynamic interactions ends, some convective cells are turned off (which ones, exactly, cannot be predicted), but this will affect the thermal state of the rock surface, which changes its temperature. Chimney-effect airflow that is only active in winter or circulating convective cells near cave entrances sometimes lead to the formation of cold

air traps, especially in smaller caves that are not well connected to a larger karst system. In sufficiently cold climates, permanent deposits of ice can form in such caves, even if average cave and surface temperatures are above freezing ( Luetscher 2008). A similar cold zone can also form near the lower entrances in caves that experience the influence of air currents generated by the chimney effect. This is a consequence of receiving a significant influx of cold outside air in the winter, which, accumulated in the volume of the cave, will isolate the cave from the outside air from the ground atmosphere in the summer.

## References

- Badino G., 1995 Fisica del Clima Sotterraneo-Memorie IIS.- Volume 7. Istituto Italiano di Speleologia, Bologna, Italy.
- Badino G., 2005 Underground drainage systems and geothermal flux.- Acta Carsologica, 34, 2, pp. 277–316.
- Badino G., Underground meteorology - What's the weather underground? Podzemna meteorologija: Kakšno je vreme v podzemlju?. - Acta Carsologica, 39, 3, pp. 427–448, 2010.
- Badino 2004 Badino G., Cave temperatures and global climate change.- International Journal of Speleology, 33, 1, pp.103–114, 2004.
- Cigna A. A., 1968 An analytical study of air circulation in caves. - International Journal of Speleology, 3, 1, pp. 41–54.
- Covington M., 2014 Calcite dissolution under turbulent flow conditions: a remaining conundrum.- Acta Carsologica, 43, pp. 195–202.
- Lismonde, B., 2002 Climatologie du Monde Souterrain: Aérologie des systèmes karstiques. Comité Départemental de Spéléologie de l'I-
- Luetscher 2008 Luetscher M., Lismonde B. & P.Y. Jeannin., 2008 Heat exchanges in the heterothermic zone of a karst system: Monlesi cave, Swiss Jura Mountains.- Journal of Geophysical Research, 113, F2, F02025.
- Stoev P., Stoev A., Kiskinova N., 2006 Long-term changes in the cave atmosphere air temperature as a result of periodic heliophysical processes., Physics and Chemistry of the Earth, 31, pp. 123–128.
- Stoev A., Shopov Y., Maglova P., Ognyanov O., Raykova L., Prehistoric Astronomical Observatories and Paleoclimatic Records in Bulgaria Estimate Astroclimate during 4000–4500 BCE: A Critical Assessment. Quaternary 2023, 6, 6. <https://doi.org/10.3390/quat6010006>
- Tobin B.W., Hutchins B.T. & B.F. Schwartz., 2013 Spatial and temporal changes in invertebrate assemblage structure from the entrance to deep-cave zone of a temperate marble cave.International Journal of Speleology, 42, September, pp. 203–214.

# BULGARIAN – KOSOVO CAVE EXPLORATIONS 2017-2022

Alexey Zhalov

Bulgarian Caving Society, Reka Osam Str. 1, 1024 Sofia, Bulgaria, contact@bgcave.org

## Abstract

In the period 2017-2019 Bulgarian Caving Society in collaboration with Kosovo Institute for Nature Conservation (KINP) carried out 4 joint expeditions for exploration of 4 different karst areas of Kosovo. In total 19 caves has been studied. During the expedition in Akovan Mt. 5 caves with total length of 199.72 m were surveyed The longest of them is Shpella (Cave) Banuar (Gërgavica) next to Zatric village with total length of 92.97 m . In the vicinity of Ferizaj County ( Shtime Municipality) and Pashtrik Mt., Gjakova Municipality were explored another 5 caves with total length of 345.71 m. The longest among them is Shpella e Lakuriqëve (Devetakut) next to Devetak village which length is 145.41 m . The expedition it 2019 was held in Peja County ( Istog Municipality) and Bjeshket e Istogut (Mokna Mt.). There were explored 5 new caves with total length of 201.18 m. The longest cave explored by the joint team was Shpella e Madhe ë Gollostenës close to Uçë village 140.58 m . The deepest one (Shpella e Keqe në Bajshe) was measured to 68.25 m. Cave-dwelling fauna including bats were observed from all of the explored caves.

## 1. Introduction

In 2016 Bulgarian Caving Society obtain license from the Ministry of Environment and Spatial Planning of Republic of Kosovo for carrying out of speleological studies under the supervision and coordination of the Kosovo Institute for Nature Protection. The license were updated at next years (2017-2022 ) when were carried out 4 joint expeditions in three different areas of the country. The main target of the expeditions was to made up documentation of the caves so to be in use for the aims of nature protection and separately setting up of cadaster of the caves in the country.

## 2. Materials and methods

Exploration of vertical caves used single rope technique (SRT) 9 mm rope. Whenever possible, entrance locations were recorded by means of GPS (Global Positioning System). Readings were recorded as UTM grid coordinates, using the WGS84 datum parameters. The UTM zone is 34T. The expedition used precision sighting compasses professional geological compass Freiburger Präzisionsmechanik (DDR). The lengths were measured with Leica Laser Distance Meter Disto™ A3 and Laser Distance Meter DeWALT DW030P.

All surveying data were computed and fully or partially processed on spot with Autocad. Members of the expedition carried simple photography equipment (SLR and HD /digital cameras, small flashguns). Photographs were taken of all cave features and entrances to aid future location .

## 3. Results

In the period 2017-2022 Bulgarian Caving Society in collaboration with Kosovo Institute for Nature Conservation (KINP) carried out 4 joint expeditions for exploration of 4 different karst areas of Kosovo. (Fig.1).The work of the first expedition, held in 2017, was focused on the mountain range of the mountains of Zatriqi (Akavan) (1039 m) which is a part of the mountain system Kaznik-Zatriq-Shkoze Range. The mountains of Shkoza, Zatriq and Kaznik represent a morphological order of the Horst of Dukagjini of 10 km wide and 20 km wide mountains. The rocks in the observed area are represented by massive sandy

limestones with rudists at Santonian-Maastrichtian age and rudist limestones at Maastrichtian age. These limestones build a NNW-SSE elongated plate, located between two ophiolitic sequences which belong to the "Rahovec Jurassic Ophiolite Complex" obducted to WSW during the Cretaceous crustal accretion in the area. The downward inclination of the limestone rocks is between 30 and 50 degrees in NE. (KNOBLOCH, (2006). During the expedition in Akovan Mt. 5 caves with total length of 199.72 m were surveyed The longest of them is Shpella (Cave) Banuar (Gërgavica) next to Zatric village with total length of 92.97 m.

During the second expedition (2018), the joint teams worked in two different locations. The first exploration was made in Carralevë Mt. ( Mali i Carralevës) NW from Ferizaj but the next one was focused on the mountain range of Paštrik. Paštrik is a mountain located in the territory of Kosovo and Albania but two-thirds of it belongs to Albania. In principle it was built from Paleozoic core, covered by Mesozoic limestone, mostly under the vegetation. Its highest peak is located on their mutual border, it is also called Paštrik and it is 1,986 m high. In the vicinity of Ferizaj County (Shtime Municipality) and Pashtrik Mt., Gjakova Municipality were explored 5 caves with total length of 345.71 m. The longest among them is Shpella e Lakuriqëve (Devetakut) next to Devetak village which length is 145.41 m . (Fig.3)

The work of the expedition in 2019 was concentrated in Mokna Mt. The massive is located in northwest part of Kosovo and is mostly buildup of Triassic and Jurassic carbonate rocks. The largest surface is covered by middle and upper Triassic limestone with thickness of estimated to 800-1200 m. There are convenient conditions here for the intensive development of karst process. (MENKOVIC, 1995) . Most of the explored by our expedition caves are developed in J2-3 limestone level, located in meta-carbonate rocks alternation (marbles, marly limestones and calcschists). The expedition it 2019 was held in Peja County (Istog Municipality) and Bjeshket e Istogut (Mokna Mt.). There were explored 5 new caves with total length of 201.18 m. (Fig.4) The longest cave explored by the joint team was Shpella e Madhe ë Gollostenës close to Uçë village 140.58 m. The deepest one (Shpella e Keqe në Bajshe) was measured to 68.25 m. . During all 4 expeditions In total 15 caves has been studied. (Fig.4)



Figure 1 : Location of the explored areas 2017 – 2022 : 1-st- expedition, 2-nd expedition, 3-rd and 4- th expedition

During the all Bulgarian-Kosovo speleo expedition a cave-dwelling invertebrates were hand-collected from different kinds of terrestrial microhabitats (stones, guano, clay and sand). All collected samples were stored at 95% ethanol. All the collected samples are grouped for identification by the specialists, which require a longer period of time. This report is not final and reflects only to the materials identified so far. The detailed report will be provided after the final determination of the collected biospeleological material.

Our biologist Heliana Dundarova from the Institute of Biodiversity and Ecosystem Research at the Bulgarian Academy of Sciences draw special attention under identification of bats in the explored caves. Further, investigations are needed to assign the number of bat species and the importance of this cave for the colony/s during the winter and summer.

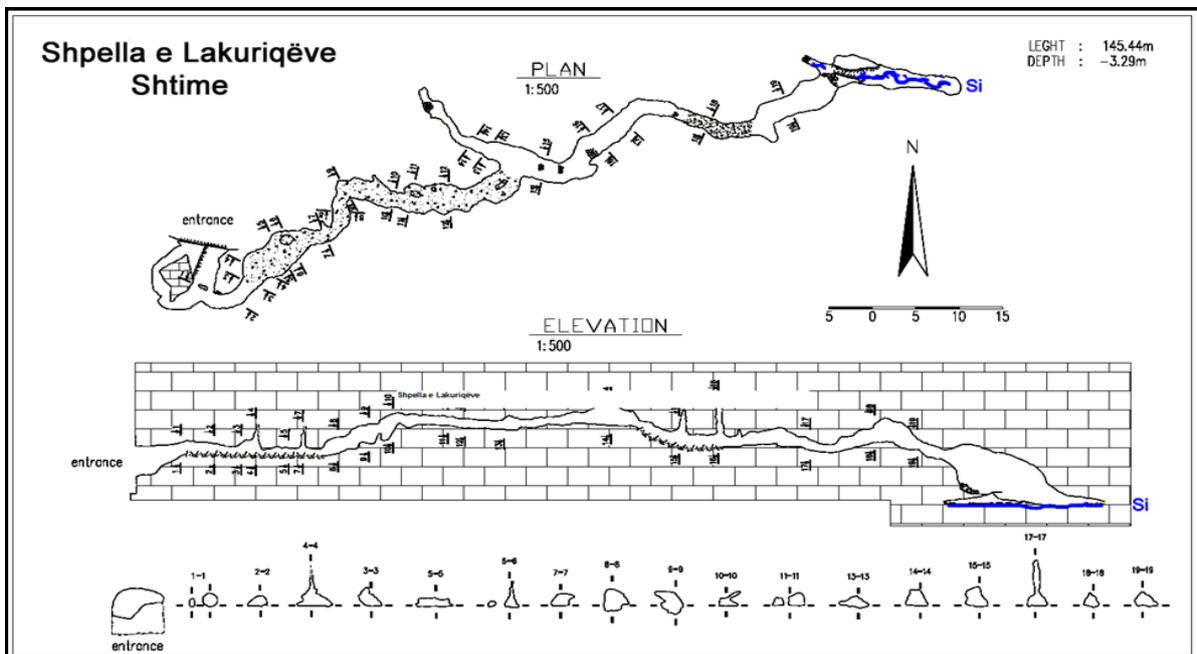


Figure 2 : The map of the Shpella e Lakuriqëve (The Cave of the Bats)

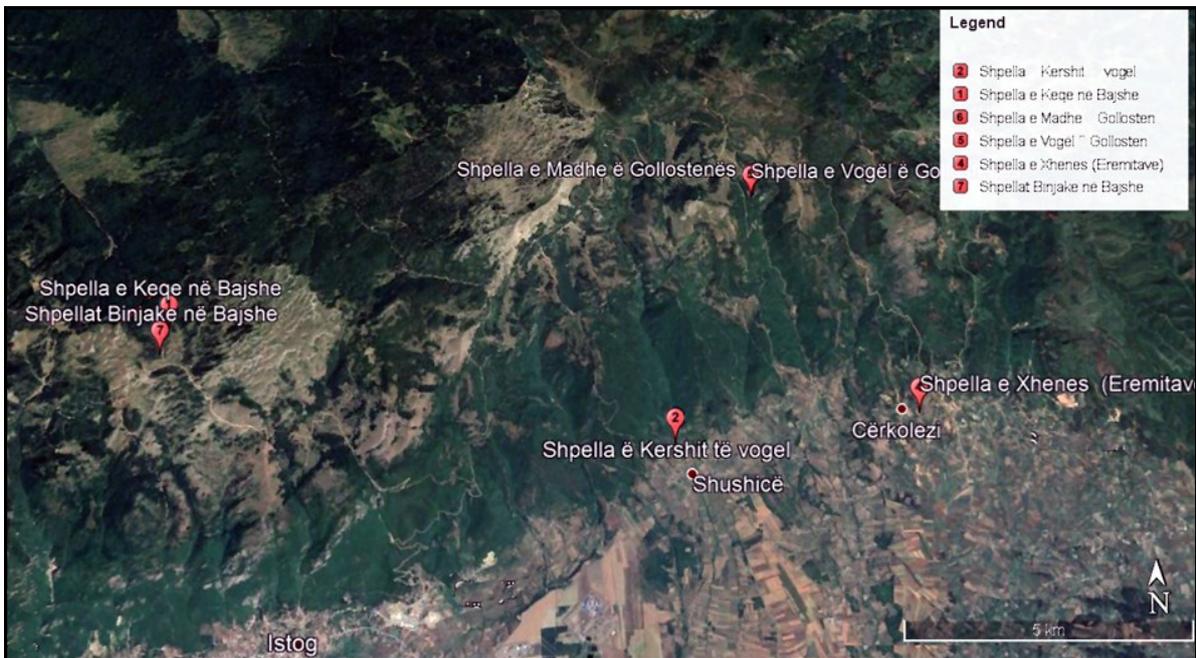


Figure 3 : Location of the explored caves in 2019 up to Istog town - Mokna Mt.

Cave Name	Village	Altitude (m)	Length (m)	Depth (m)
Shpella e Peshterrit	Zatriq	778	33.90	-16.00
Shpella e Bali Agës	Zatriq	910	36.00	- 6.00
Shpella e Plumbave	Zatriq	929	22.17	- 25.93
Shpella e Mbretëreshës se Bardhë	Zatriq	828	14.68	- 48.04
Shpella e Banuar (Gërgavica)	Zatriq	848	92.97	-3.74
Shpella e Lakuriqëve	Devetakë	782	145.44	-3.29
Shpella e Madhe e Kusarit	Kusare	470	102.55	- 23.22
Shpella e Kusarit	Kusare	478	42.89	-20.19
Shpella e Vogël e Kusarit	Kusare	482	32.67	+ 4.88
Shpella e Kusarit 1	Kusare	481	22.16	+ 7.07
Shpella ë Kershit të vogel	Shushitce	685	16.90	+ 1.85
Shpella e Xhenes (Eremitave)	Cerkolez	715	11.20	+ 1.50
Shpella e Vogël ë Gollostenës	Uçë	1301	27.17	+ 8.60
Shpella e Madhe ë Gollostenës	Uçë	1313	133.07	- 7.0
Shpella e Keqe në Bajshe	Sinajë vill	1665	70.35	- 67.27
Shpellat Binjake në Bajshe	Sinajë vill	1608	16.90	+ 1.85
Shpella e Keqe	Rudak Hokay	1 899	-	- 82.00
Shpella Plenja e Madhe	Rudak Hokay	1 987	-	- 42.00
Shpella e Rodakut	Rudak Hokay	1 601	-	-49.00
Shpella e Hoxhes	Vrelo	719	55	
<b>LENGTH IN TOTAL : 859.10 m</b>				

Figure 4: List of the caves explored in campaign 2017-2022

## References

- Menkovic L. 1995 Surface karst morphology of Mokra Gora and Zljeb.- Special issue N43 of Geographical Institute „Jovan Cvijic“, Belgrade).
- Knobloch A., E. Dickmayer, C. Legler, N. Peci, V. Pruthi, M. Sieste 2006. The digital geological map of Kosovo at scale 1:100 000 (DGM 100).

# ПОДЗЕМНИТЕ КАРСТОВИ ЕЗЕРА СПОРЕД НАЧИНА ИМ НА ФОРМИРАНЕ, ПОДХРАНВАНЕ, ОСНОВНИ БЕЛЕЗИ И ОСОБЕНОСТИ

Евгени Коев

ПГТ „Д-р. Васил Берон”, ПК „Дервент” при ТД „Академик-ВТУ” гр. В.Търново, e-mail: ev\_koeff@abv.bg

## Abstract

### Underground karst lakes according to their method of formation, feeding, main features and characteristics

Underground karst lakes are specific water basins diverse in their way of formation, water supply and range. Knowing their specific features and basic marks would give us the opportunity to explore them better, with more detail and effectively. This would also enable us to understand the specificity of the processes which are running or might be running in the different types of karst lakes. Knowing their specific features of the separate karst lakes might be useful in planning the exploration activities and in ensuring safety in caves, as well as in predicting and analyzing the processes of the underground karst hydro systems.

## Key words

karst water, karst lakes, underground karst lakes

Карстовите езера в географската литература в България, до този момент се описват като отделен вид, без да се разглеждат тяхното многообразие, различия при образуването им и факторите, които обуславят тяхното създаване и поддържане. В сравнение с другите видове езера, карстовите езера се отличават с изключителното си многообразие в генезиса, облика и средата която създават. Често, наши географи разглеждащи отделни карстови образувания и явления споменават за отличаващи се едни или други карстови езера, без обаче да разгледат различията между тях. При общият анализ на въпроса за езерата в България в географската литература, като карстови езера се описват единствено образуванията на повърхността в карстовите райони безотточни карстови езера и само в някои случаи се споменава за наличието на повърхностни и подземни езера. Карстовите езера у нас не са задълбочено изследвани и описани в тяхната си пълнота и многообразие и следователно все още не са станали предмет на по-задълбочено познание и по-сериозно проучване. Отчитайки тези причини и крайната необходимост от коректно научно обосновано познание и представяне на карстовите езера в България се налага необходимостта от систематизиране на събраните в продължение на години теоритични и практически познания за карста, в голяма степен лични наблюдения и анализи в областта на карстовите води и езера в България, за да се представи по-пълна картина за видовете подземни карстови езера.

Въпросът за карстовите езера до днес е засяган частично от някой от нашите учени, но до този момент никой не е разгледал този въпрос в неговата пълнота. Първи за карстови езера в България съобщават по-обстойно Херменгилд и Карел Шкорпил в известният си труд „Кражки явления” от 1900 г. Наред с описанието на извори, пещери и други образувания, авторите обръщат внимание и на „подземни езера”, за които почти цялата информация е, че „По някой места на подземните реки се образуват езера” и че в „една пещера, от която излиза вода, по предание тя извира от едно езеро”, които сведения, макар и много ценни, от днешна гледна точка са непълни и незадоволителни. Почти подобно е и описанието на „любопитните образувания – коритца или кладен-

чета”... „наредени на тераси и са заобиколени от тънки и извити стени” които се срещат „в горните змеюви дупки до Сливен и Дупляшките пещери”... „най-голямото от тях е дълго 1.45м, широко 0.58 м и дълбоко 0.24м.” с което допълнение се изчерпва почти цялата информация.

Въпреки, че трудът на братя Шкорпил е от далечната 1900 г и е един от първите засягащи въобще въпросите за карста в България, който естествено, днес не може да претендира за пълнота и изчерпателност, то той в сравнение с много други по - нови разработки и изследвания е застъпил в много по-голяма степен въпроса за карстовите езера, което не може да се каже за много от съвременните трудове разглеждащи карста, карстовите процеси и образувания.

За да констатираме напредъка по проблематиката за карстовите езера може да разгледаме описанието в последното издание „География на България”, издание на ГИ на БАН, 2002г, в което за карстовите езера е пояснено, че „биват повърхностни и подземни / характерни за голям брой от пещерите в страната/. Повърхностните карстови езера се отличават с малки размери и с често променяща се площ и дълбочина ... заемат обикновено затлачени карстови понижения и се подхранват с валежни и приточни води от карстови извори. .... Най характерни от този тип са езерата от Деветашкото плато, ...около 40 на брой,....На платото Стражата,...малкото езеро Беляковец....няколко малки и временни езерца в близост до гр. Ябланица, Сухото езеро край Генерал Тошево, както и почти пресъхналите Алдомировско и Драгоманско блато”, като тази информация е обоснована на няколко предходни изследвания на споменатите езера от Иванов, Сотиров 1964, Вълканов 1966 и География на България т.1, 1966. За карстовите езера е представена и кратка информация за големината на някой от тях, режима на подхранване, температурен режим и др. но нищо повече за видовете им многообразие.

Разбира се през годините известен принос в познанието за хидрологията в карстовите райони и в известна степен за карстовите езера, имат редица учени като Жеко Радев, с труда си „Карстови форми в Западна Стара планина”, Стефан Бончев в монографията си „Обща геология”, където

разглежда отделните карстови форми , сред които нарежда и „карстови блата и езера,..карстови реки,..карстови извори”, Попов, Пенчев, Зяпков в изследването си „Карст в северните части на Средния Предбалкан”, описват хидрологията на карста, формиране и режим на карстовите води в Деветашкото, Плуженското и Беляковското плато и други, но основното внимание е насочено към формиране, режим на карстовите води, карстовите извори, като не разглеждат въпроса за карстовите езера.

Известна светлина по въпроса хвърля проф. Ангел Велчев в статията си „Карст и карстови форми на релефа”, като наред с всички останали карстови форми споменава за наличието на езера формирани при карстовите извори – „врела”, загатнато е за „тераси от бигор и плитки езера”, както и за въртопи със „затлачено дъно”, при които „се стига до образуване на блата или езера”...които „могат да бъдат периодични ...и постоянни със силно променливо водно ниво” Авторът е обърнал внимание и на „срутищно – гравитационните въртопи”, голяма част от които „представляват езерни котловини. При разглеждане на подземните карстови форми Велчев споменава за „синтрови езера”, с „прегради до 10-12 см високи”.

В „Терминология на карста и спелеологията в България”, С,1976г са дадени определения за безоточно езеро, карстово блато, еворзионен котел, егутачна ямка, езерен понор, локва, отточно езеро, периодично заливано карстово поле, сеноте, синтрови джобчета, ямки, езерца и езера, сифонно езеро и други, като в същото време описание за карстово езеро липсва, ако не смятаме това за карстовото блато и описанието на „пещерно езеро”, които според съставителите се разделят на отточни, безоточни и периодични.

Въпреки дадените конкретни примери и споменаване на определени видове карстови езера то тази информация също можем да я определим, като непълна и несистематизирана за да може да се твърди за изчерпателно описание на видовото разнообразие на карстовите езера.

В източно европейската, основно в съветската, руската и украинска карстология са разгледани различни по вид карстови езера. Правени са опити и за класификация. Мак-симович, освен отделянето на повърхностни и подземни езера, причислява към първите корозионните и пропадналите или пропадни езера. Към подземните или пещерни езера разглежда: корозионно – котловинните и котловинно – акумулативни езера, термоминерални езера, а подземно – проточните, ги разделя на преградно – проточни и еворзионно – проточни езера. Същият обособява и тектоно – карстови езера. Дзенс-Литовский към карстовите езера прибавя „солените” езера, а автори като Навис, обособяват сифонни карстови езера, като същият разглежда сифонно - остатъчни и сифонно - постоянни езера.

В Западно европейската карстология също се споменават различни видове езера, познати с различните си наименования, без обаче да имаме информация за цялостна и пълна класификация на видовото им разнообразие. Достатъчно е да споменем, че определен вид езера са познати не с име описващо тяхната специфика, а с името на най-големият и известен подобен извор - Воклюз, във Франция

Всичко посочено по-горе предоставя достатъчно основание и представлява сериозно предизвикателство да

бъде поставен въпроса за видовото многообразие на карстовите езера в България. Отлагането на този въпрос с десетилетия и неразглеждането на проблематиката за видовете карстови езера, вероятно не е поставян в неговата пълнота поради изключителната му обхватност и сложност, породени от голямото разнообразие по отношение на мястото, процесите, условията и факторите влияещи за формиране и съществуване на водните басейни образувани в карстовите райони. Допълнително предизвикателство относно проучването на карстовите

езера представлява и тяхното местоположение и трудна достъпност особено при проучване на подземните карстови езера, и необходимостта от познаване на комплексните фактори и специфичността на процесите в карстовите ландшафти като цяло. Последните години въпроса за видовете карстови езера е поставян на няколко пъти в статии на Е. Коев като са разглеждани видовете карстови езера в България, както и някои особени карстови езера като Рабишкото езеро, езеро Сребърна и други. За първи път в българската географска литература същия автор поставя въпроса за съществуването на повърхностни и подземни крайморски карстови езера в България.

Разглеждайки проблема за видовото разнообразие на карстовите езера, на първо място трябва да изясним какво разбираме под определението - карстово езеро. Определения от типа на „Карстовите езера са развити в окарстени райони и биват повърхностни и подземни” и дори като това дадено от Гвоздецки, че „карстово езеро е езеро, запълващо негативните повърхностни форми на карста – въртопи, вани, понижени участъци на дъното на полето”, явно са непълни и неточни.

Като имаме предвид утвърдения подход при подялба на всички карстови форми и образувания, от гледна точка на тяхното местоположение, най-общо можем да ги класифицираме, като повърхностни и подземни. В същото време от гледна точка на протичане на карстовите процеси и степента на карстификация, карстовите езера подобно на всички останали образувания могат да бъдат опраделени, като образувани в следствие проявяванията на първичните карстови процеси, свързани с ерозионно – корозионните процеси и разрушаването на част от карста на повърхността и в дълбочина, и на вторични карстови процеси, свързани с отлагането и натрупването на калцитни образувания в определени случаи и условия, които протичат също както на повърхността така и под нея. При съчетаването на различните по отношение на мястото, времето и влияещите на процесите фактори за формиране на езерни басейни в карстовите райони, са образувани изключително разнообразни видове езера, не само като начин на формиране, а и като подхранване, особености на водите, времетраене, както и като среда която създават и поддържат.

Безспорно, карстовите езера са неотделима част от карстовия процес и образувания като цяло, които са резултат от рушителната дейност на водата от една страна и на нейната градивна роля от друга. В резултат на тази дейност са формирани и различните видове езера.

След обзора на основните карстови процеси, можем да обобщим, че карстовите езера са особен вид водни басейни, изключително разнообразни като големина, местоположение, особености, протичащи в тях процеси, обособена микросреда и други, образувани в следствие доминиращото влияние на отделен или комплекс от различни фактори, проявили се в райони, изградени преобладаващо от варови-

ти скали, при активната роля на повърхностните и подземните води, агресивни към карбонатните скали и формиращи единна хидрографска система. Ако приемем за основни маркери при определянето на карстовите езера, че това са обособени водоеми формирани в карстови /варовити/ райони и че те са такива, които са подхранвани преобладаващо или с определящо значение от карстови и акумулиращи се в карстовите райони води, можем да разграничим следните, групи карстови езера:

- повърхностни карстови езера;
- подземни карстови езера;
- повърхностно-подземни /междинни/ карстови езера.

Ако разгледаме значителното разнообразие на карстовите езера в тяхната цялост, то подземните карстови езера можем да обособим по отделни видове формирани в различни части от постоянно или частично водните и дори в сухите пещерни системи. Едни от най- ясно обособените подземни карстови езера са еворзионните проточни езера, образувани в сравнително млади пещери или в по-младите части и етажи на пещерните системи. Този вид езера заемат по-големи или помалки завирени участъци от подземни водни галерии, с подпрени водни маси от естествени скални прагове. Водите в този вид езера се подхранват от постоянно течащите с променлив дебит подземни карстови води, осъществяващи сравнително бърз обмен. Към този вид езера спада най- дългото известно до днес подземно езерото в България, което е Голямото езеро в Бонинската пещера с дължина около 400 м., към тях спадат езерата в Деветашката пещера и други.

Към подземните карстови езера спадат и еворзионните стоящи езера, каквото е първото езеро в Бонинската пещера. Този вид езера са периодично оводнявани от протичащите подземни води, обикновено при високи нива на подземния поток, при навлизане на големи количества води от повърхността, които не могат да бъдат поети от системата. В подобни случаи движението на водния поток в пещерната система променя движението си в подземните кухини от низходящо във възходящо и може да залее намиращи се на различни нива негативни части от пещерата. Това възходящо движение на води в някои случаи достига до няколко десетки метра, 20м-30м и повече в абсолютна височина и залива части не само на оформения етаж на пещерата, но и в съществуващи по-горни етажи. В определени случаи някои от стоящите еворзионни подземни езера можем да оприличим на „еставели“, приемащи води при повишаване на подземния поток и започващи да отдават води при намаляване на неговото ниво.

Широко разпространени като подземни водни басейни са сифонните езера, които допълнително можем да разграничим според техните особености. Поради различията в подхранването, местоположението им и други можем да ги обособим на сифонни приемащи езера, които се подхранват от протичащите в пещерата водни потоци, които се заустват в приемащото сифонно езеро. Подобни на описаните са сифонните езера в пещера Марина дупка в района на гр.Трявна. При маловодие подобни езера често оформят обособен воден басейн със застояваща вода, без постоянен при-

ток на води от страни, който можем да характеризираме като остатъчни карстови езера, като Синьото езеро в Мусинската пещера. От сифонните езера освен приемащи има и отдаващи езера, когато водите идващи от сифона формират водно огледало при неговия изход и се явяват начало на протичащ в пещерата воден поток. В сложните сифонни участъци на някоя пещера, като Проиновската пещера например има огранчени участъци с водно огледало под обособени скални куполи, наречени „камбани“, които реално се явяват проточни сифонни езера.

Синтровите езера, са едни от най-впечатляващите с външният си вид подземни вторични карстови образувания. Изваяни в стари с достатъчна дължина пещерни системи, във варовикови масиви с висок процент карбонатно съдържание. Синтровите езера, оформят подобно на бигорните различни по обхват каскади изградени обаче от чисти калцитни отложения, постоянно натрупващи се, плътни и здрави за разлика от лекия и сравнително мек травертин при бигорните отложения, с кристално бели или различни по цвят нюанси в зависимост от минералните примеси в карстовата система. Синтровите езера представляват различни по големина и дълбочина водни басейни, които можем да разграничим на – много малки - „панички“, до 1м. дължина и 10 см дълбочина, малки - „вани“ с големина 1-3м дължина и до 50 см дълбочина, средно големи - „басейни“ със синтрови прегради до 1 м. дълбочина и 5 – 10 м дължина, както и големи, със синтрови бентове от над 1 м дълбочина, подземни вировете с дължина от над 10 метра, като тези в пещера Маарата при с Крушуна и други.

Сред поземните езера можем да открием и временни езера оводнявани периодично при високи води в пещерата, или събиращи води от капещата и стичащата се по стените и пода вода през влажния сезон, заемащи отделни негативни придънни участъци с глинена или друга водонепропусклива основа. През сухия сезон, след преустановяване проникването на води в пещерата или в определения участък от нея, постепенно тези езерца намаляват обема си и пресъхват.

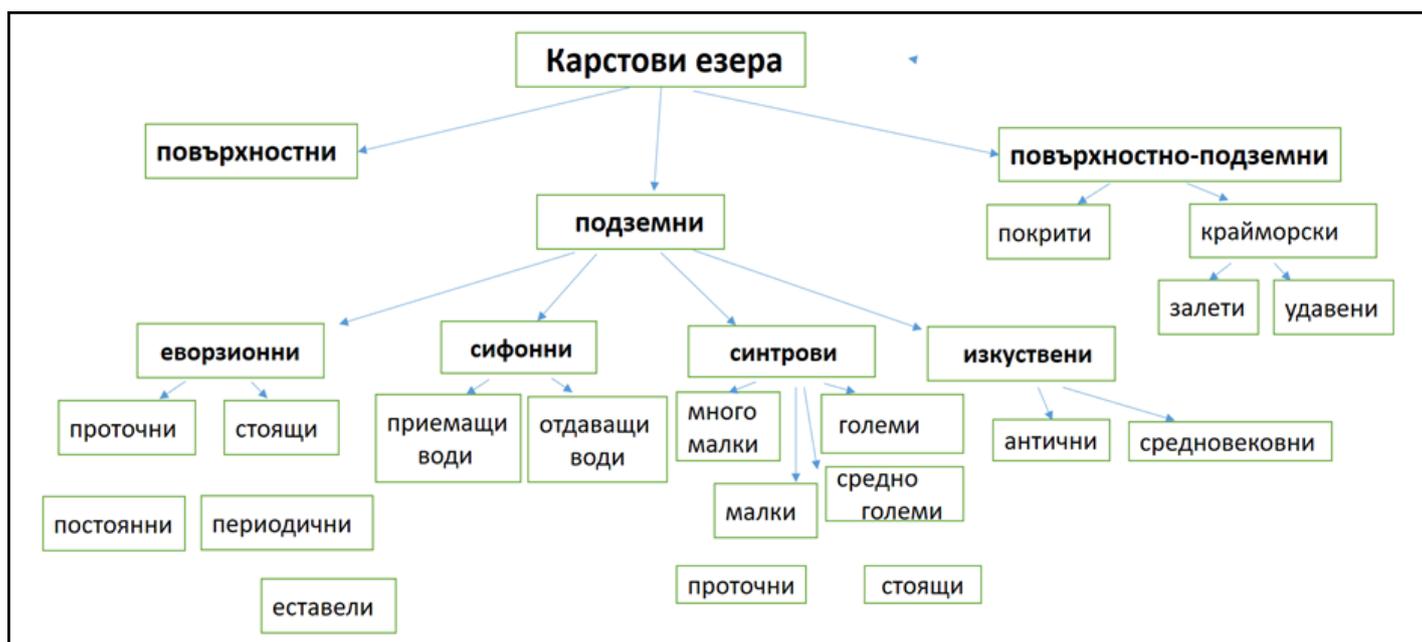
Изключително интересен факт при разглеждането на карстовите езера е съществуването на изкуствени подземни езера. Карстовите води и тяхното значение като основен източник на вода за хората в редица райони са оценени още в античността. От времето на Римската империя в наши пещери са изградени баражи или бентове с цел оформяне на подземни водни басейни с повишен капацитет за водоснабдяване на населението, а през Възраждането същите или подобни басейни са служили с цел осигуряване на производствен ресурс за задвижване на мелници, подобно на тези до Мусинската изворна пещера.

Разглеждайки цялостно различните видове карстови езера в България като водни басейни образувани във варовити райони и-или подхранвани основно от карстови води не може да не бъдат включени и условно наречените междинни или повърхностно – подземни карстови езера. Едни от интересните видове са крайморските карстови езера, чието присъствие основно по нашето северно черноморско крайбрежие е напълно negliжирано до момента. Съществуващите водни - удавени пещери, образувани на днешното морско ниво в отвесния клифов бряг според проведените геоложки и спеле-

оложки проучвания са резултат от протичане на карстови или карстово-абразионни процеси. В някои от оводнените пещери като пещера Сладката вода, съществуват и съвременни карстови извори, които формират и постоянен оток на води от пещерата към морето. Към този вид крайморски пещери с карстови езера може да бъдат причислени Тюленовата пещера, Гълъбищата пещера и други.

Интересни като място на образуване, начин на подхранване и особености са стоящите “покрити” езера, образувани под съществуващи скални мостове, като езерата под Божият мост. Определено този вид езера са съществували като подземни карстови езера но при отмиране на карстовата пещера и нейното постепенно превръщане в скален мост, то този тип езера променят обхвата, подхранването си и най-важното значението си като природно местообитание.

По други, допълнителни признаци, карстовите езера могат да бъдат обособени и като част от други групи и видове, което не е предмет на настоящата работа. От всичко представено до тук е видно, че подземните карстовите езера са изключително многообразни, като само според своето местоположение и особености могат да бъдат разграничени различни групи подземни карстови езера. ( фиг 1.) Въпреки многообразието и редицата примери е необходимо да бъде уточнено, че повдигнатият въпрос има за цел освен да представи един модел за класификация на карстовите езера в България, то и да провокира диренията и проучванията на най-сложните и разнообразни езера в България. Настоящият труд има амбицията също така да разсея абсолютно погрешното схващане за “малките” и “незначителни” карстови езера, които реално са важна част от многообразието на природните богатства в карстовите райони.



Фиг.1 Видове карстови езера. Подземни карстови езера

## Библиография:

- Бончев, Ст.Обща геология, ч.1, 1948 Софийска университетска печатница, с 257-271
- Велчев А, 2014 Карст и карстови форми на релефа, Обща геология и геоморфология. Екзогенни процеси и релеф. Методи на изследване.Приложни аспекти. Опазване на земните недра и релефа. В.Търново 2014, с 127-154
- Велчев Ангел, 2016 Карст и карстови ландшафти, изд. „Ивис”,ВТърново,
- Иванов Живко, 1978 Основи на геологията, изд. Наука и изкуство, София, 1978 с 256-259, 289-292
- Коев Евгени, Видово многообразие на карстовите езера в България – генезис, фактори за формиране и съществуването им
- Коев, Евгени Крайморските карстови езера в България
- Кръстев Тодор, Тодорка Кръстева, 2003 Палеокарстът и каолиновите находища в Североизточна България, Фондация „Център по карстология „Вл.Попов”,ИК „Тер–Арт”,София .
- Пенчев, П. , Вл.Попов, Л.Зяпков. 1971 Карст северной части Среднего Предбалкана – Пробл. Палеогеоморфол. Развитие на България, С. БАН, Т 1, с 83-91
- Радев Жеко, Карстови форми в Западна Стара планина 1916 Год. на СУ, ИФ, т X-XI 1913-15, 1916, с 1-149
- Тимофеев Д.А., Дублянский В.Н, Кикнадзе, Терминология карста, 1991 , Т.3.М. Наука, 1991.
- Шкорпил, Х. и К., Кражски явления (подземни реки, пещери, извори) Пловдив ,1900
- „Терминология на карста и спелеологията в България”, С,1976г

## ФОРМИ В ТРАВЕРТИН/БИГОР В БЪЛГАРИЯ

Ахинора Балтакова

Sofia University "St. Kliment Ohridski", 15 Tsar Osvoboditel Blvd.,  
1504 Sofia, Bulgaria, [abaltakova@gea.uni-sofia.bg](mailto:abaltakova@gea.uni-sofia.bg)

### Abstract

#### Landforms in travertine /tufa in Bulgaria

Calcareous tufa, a porous sediment rock, associated to river channels, coming from/passing through karst regions, have been registered briefly in Bulgaria. In order to distinguish tufa, the meteogene travertine with fluvial carbonate origin and hygrophilous plants and other organisms included in the rock substrate, the term bigor (local word in NW Bulgaria) has been accepted in Bulgarian literature. Nevertheless, Bulgarian authors usually adopt the terms 'travertine' or 'limestones' in their translations in English in order to avoid misinterpretations with volcanic tufa.

Regretfully, there is no study dedicated to tufa varieties, facies or even localities in Bulgaria. As the Bulgarian territory is too small for climate zone variations, local climate is more important factor for organic diversity, essential for these deposits. Microclimate is strongly affected by carbonate waters hydrothermal characteristics, which depend on local tectonics. Regarding travertine morphological classifications, the thermal travertines in Bulgaria are entirely lacking and this is the reason only the morphological classification for tufa to be adopted in this review.

Tufa morphology is grouped into five facies: perched spring line, cascade, fluvial, paludal, and lacustrine, depend mainly by landscape characteristics. They outline the large-scale tufa features and the micromorphology is controlled mainly by ecology, microrelief and stream velocity.

In this paper are pointed the most known tufa localities in Bulgaria, which considering the lack of other information, could be taken as a first step for more sufficient studies in this subject. The examples reveal the sites of contemporary carbonate precipitation, associate mainly to waterfalls in the Fore-Balkan region, Kraishte, North Rhodopes and Strandzha Mt., and some open to daylight cave systems with stream flow. These locations are comment with respect to their macro- and mesoscale morphology and with ambition for more detailed future studies of different aspects of tufa deposits (contemporary and ancient) in Bulgaria.

### Key words

Tufa deposits, meteogene travertines classification, deposition facies, macroscale and mesoscale features, waterfalls and cascades

### 1. Въведение

Бигорът е познат отдавна в България (Zlatarski 1884; Shkorpil & Shkorpil 1900; Jaranoff 1946). Той е известен със своята си на строителен и облицовъчен материал. В същото време, за съжаление, няма задълбочено специализирано проучване на разновидностите, условията за неговото образуване и локалитетите му у нас.

В българската научна литература е възприета местна дума от СЗ България. В чуждата литература най-често се обозначава с названието *tufa* (Pedley 1990; Pentecost and Viles 1994; Ford and Pedley 1996; Arenas-Abad et al. 2010; Capezzuoli et al. 2013; Gradziński et al., 2013 и много други), което въвежда вероятно Плиний когато описва белите шуплести скали, независимо дали те са с вулканичен или карбонатен произход (Ford & Pedley 1996). За да се разграничи бигора от вулканичните туфи е въведено уточнението *калцитови туфи* (на английски *calcareous tufa*, в немски *Kalktuff* и френски *tuf calcaire*).

В карстоложката терминология често се използват названията *травертин* и *синтър* като синоними. Във всички проучени източници, в които се уточнява терминът, изрично се изтъква, че при *травертина* следва да се включват и наслагите образувани около термалните извори. Последният произхожда от латинската дума *travertino* и е свързан с находището на т.нар. *тибурски камък* (*lapis tiburtinus*) близо до гр. Тибур (дн. Триволи), който според Страбон и други антични автори е бил използван за изработването на много творби на изкуството в Рим, а се добива и до днес (Pentecost & Viles 1994; Pentecost 2005; Golubić et al. 2008). Pentecost и Viles

(1994) изтъкват, че и при *травертина* и под названието *калцитови туфи* могат да се разбират „широк спектър от сладководни флувиални и езерни утайки“. Несъответствията в терминологията са причина за разминавания между отделните автори и затова някои (напр. Pentecost 2005) избягват напълно терминът *tufa* по отношение на калцитните наслаги.

Под термина *синтър* в българската литература (Попов 1980) се разбира преотложеният калциев карбонат, а всички форми, образувани от него, се наричат синтрови. В английските източници обаче (обобщени в Encyclopedia Britanica) под синтър се разбира седимент с порьозна или васкуларна текстура (с малки дупчици), като се различават силикатен и карбонатен синтър. Pentecost и Viles (1994) обаче посочват, че синтровата пореста текстура се дължи на пори с неорганичен произход, напр. въздушни мехурчета (foam rock) или по-издължени (pisoides), които се получават при разпенване на водата и утайките при бързеи и водопади. Ford и Pedley (1996) не препоръчват използването на този термин по отношение на травертин и бигор и го отричат за пещерни натечни образувания.

Повечето източници разграничават травертините по температура на водите, които ги отлагат на термални и студени (метеогенни). По отношение на температурните граници, Capezzuoli и др. (2013) ги поставят под 30 °C с оглед на присъствието на макрофити в комбинация с необходимите за образуването на бигора цианобактерии, хетеротрофни бактерии мъхове и водорасли, които биха оцелели до такива температури. Glover и Robertson (2003) дефинират като термал-

ни водите с температура над 20 °С.

Като вземем под внимание тези уточнения, бихме могли напълно да приемем родния си термин, особено що се отнася за литература на български език. От така направения преглед можем да обобщим, че *под бигор ще разбираме вторично утаена в континентални условия карбонатна скала, с порьозна текстура, дължаща се на включения от органичен и неорганичен произход. Той е вид студеноводен (метеогенен) травертин, отложен от потоци (флувиален), извори, отворени пещери или в езерна и блатна обстановка.*

В този преглед по темата ще обърнем внимание най-вече на основните морфоложки признаци на бигорните наслаги, като дадем примери за тези от тях, познати ни в България. Бигорите образуват известни и атрактивни форми в целия свят. Правени са проучвания за тяхното образуване и морфология в съседни държави. Твърди се, че в Европа са най-добре изучени (Ford & Pedley 1996, Pedley 1990 и др.), а български обекти не се споменават в чуждата литература. В българските научни източници, с изключение на бегли споменавания в много стари обзори, както и във връзка с местообитания на специфичната растителност, изцяло липсват. Темата е обширна и затова нямаме претенции за изчерпателност, тъй като ще се фокусираме основно върху собствени наблюдения.

## 2. Механизъм за образуване на бигор

Понастоящем бигорът се възприема като продукт на физико-химично утаяване, комбинирано с биогенна компонента (Adolphe et al. 1989; Pedley 1992, 1994). Повсеместно възприето е схващането, че бигорните наслаги са съсредоточени около повратни точки, като прагове, бързеи и водопади, където набогатените с карбонати води бързо се дегазират (напр. Sweeting 1972; Braitwaite 1979; Lorah & Herman 1988). При отделянето на въглеродния диоксид карбонатът се утаява върху всякакви повърхности – скали, растения и микроорганизми. Процесът е подобен на образуването на натечните образувания в пещерите. Би следвало климат с високи температури и стойности на валежите да бъде най-благоприятен за високи скорости на седиментация. Смята се, че оптимални условия имат водите с рН около 8, тъй като по-високи стойности редуцират нивото на CO<sub>2</sub>, което намалява стойностите на седиментация (Ford & Pedley 1996). Въпреки усвояването на C и HCO<sub>3</sub> чрез фотосинтеза, бактериалния метаболитен процес води до по-нататъшна активност на CO<sub>2</sub>. Утаяването е в биологична среда, а повечето утайки представляват деликатен прокариотно-макрофитен биофилм. Той се състои от колонии диатоми, цианобактерии (напр. *Rivuluriuceu*) и хетеротрофни бактерии, сред които в европейските седименти доминират *Phormidium* или *Schizothrix* (Pentecost 1990, 1992). Хетеротрофните бактерии имат калцитна обвивка, която седиментира след отмирането им. По това част от бигорните наслаги си приличат с морските строматолити (Pedley 1992). И двата процеса – на утаяване на разтворен карбонат и на биогенна седиментация, се засилват около наличната растителност и около праговете по течението.

Важно значение за бигорните пострройки има влаголюбивата растителност. В някои източници се подчертава влиянието на отделянето на въглероден диоксид при утаяването на бигора за влаголюбивите и водни растения – мъхове и водорасли. Някои смятат, че затова бигорните тераси са тяхно предпочитано местообитание. За фотосинтезата на растенията въглеродния диоксид е съществено условие, а неговият разход, от друга страна, води до директно утаяване на бигор. Като цяло обаче, седиментацията на бигор в различни локалитети в света е разнообразна, наблюденията не са повсемес-

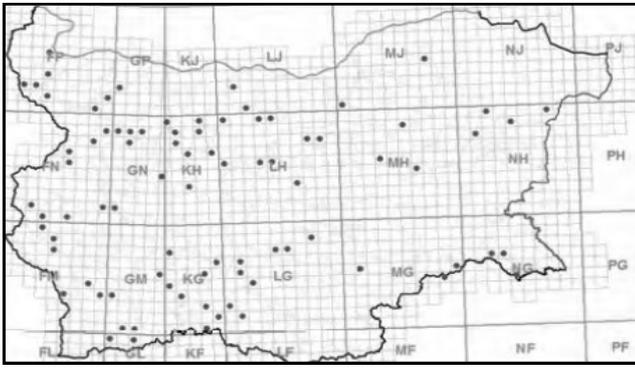
тни и трудно може да се каже доколко растителността увеличава стойностите на утайконатрупване. Тъй като биотата бива погребана в наслагите и изгнива в тях, тя се превръща в нов източник на въглероден диоксид. Част от този освободен газ отново се поглъща при фотосинтезата и системата се саморегулира. Това теоретично може да забави утаяването на бигор, но измервания на скорости на седиментация са рядкост.

Повечето бигори представляват калцит или арагонит с ниско съдържание на магнезий. Смята се, че бигорите са предимно кватернерно образуване. Установено е, че „по-древни“ (плейстоцен) бигори са дали грешна датировка с радиовъглерод, поради участието на по-стари наслаги, преотложени в общ слой (Ford & Pedley 1996). Младата възраст се дължи и на слабото запазване в геоложкия запис, най-вече поради тяхната естествена еволюция. В процеса на диагенеза, поради наличието на цианобактерии, гъби и други микроорганизми, които се настаняват по калцитовите структури, се установява опализация. При неогенски наслаги има данни за следи от пори, които са се циментирали при вторичен карстов процес и последващи преотлагания (Golubić 1967).

## 3. Условия за образуване на бигор в България

В България, както и на територията на цяла Южна Европа, има условия за утаяване на бигор. Наличието на карбонатни скали и речни долини с прагове в Предбалкана, Стара планина, Средногорието, Краище, Родопите и Странджа дават основните локалитети от петрографска гледна точка. Това прави фронта на вероятното разпространение доста широк. Климатичните условия в България са благоприятни за развитието на биокомпонента, свързан с образуването на тази скала. Освен микроорганизмите, следва да проследим местообитанията на растителността, свързана с бигорообразуване у нас. Според Червената книга на България (Ganeva & Kozhuharov 2015) и Petkov (1943), тя се отнася към калцифилни приизворни съобщества, доминирани основно от мъхове – съюза *Lycopodo europaei-Cratoneurion commutatum*. Класифицирана е като местообитание 08C2 Карстови извори и потоци с бигорни образувания. Доминанти сред висшите растения са листнати мъхове от родовете *Palustriella*, *Pellia*, *Eucladium*, *Philonotis*. От висшите растения участва малко на брой основно хигрофити, като *Carex flacca*, *Equisetum telmateia*, *Eupatorium cannabinum*, *Phyllitis scolopendrium*, *Saxifraga aizoides*, *Silene pusilla*.

Тези съобщества са с малки площи основно около карстови извори, а също и на места, където водата се просмуква или стича по скални стени. Образуват се и в речни разливи или на прагове и в тези случаи растителността е потопена или полупотопена. Заемат сравнително малки площи с точкова или линейна форма (Ganeva & Kozhuharov 2015). На картата на разпространението на местообитанието (фиг. 1) са посочени находища, които могат да служат за индикация за разпространението на бигорни наслаги у нас. За съжаление, при по-детайлното проучване установихме, че те са посочени като потенциални обекти, без очертаване на границите им и на повечето от тях не са правени специализирани изследвания.



Фигура 1. Разпространение на местообитанието 08С2 Карстови извори и потоци с бигорни образувания (Източник: Червена книга на Република България. Том 3).

При проучването на характерни растителни съобщества, свързани с бигора, можем да заключим, че бигорът е разпространен основно в Предбалкана, в Краището, Рило-Родопския масив, Странджа и в разкрития в Дунавската равнина и Горнотракийската низина, т.е. в точкови обекти в карстовите райони на България. В България не са известни находища на термални травертинови отложения.

От гледна точка на морфологията на бигорните отложения, представени у нас, ще разгледаме подробно отделните морфологични типове и ще дадем примери от наблюдавани обекти в нашата страна.

#### 4. Форми в бигора

Има множество разработени схеми за морфология на бигора, които предлагат за водещ един или няколко критерия – условия на седиментация, ботанически, минераложки и др. Повечето от тях имат значение за микроморфологията на бигора, която обаче е свързана с по-подробното му изучаване. Диагностичните макроформи за дефиниране на бигорната система са залегнали в класификацията на Pedley (1990). В нея са включени модели на седиментация с характерните за тях морфологични елементи:

##### 4.1. Изворен модел (perched spring line)

Свързан е с карстов извор и прилежащия му склон. Като цяло наслагите се утаяват ветрилообразно по протежение на склона. При източника може да се оформи синтрова могилка, а фитохермният бигор се развива по склона. Най-дебели са слоевете близо до извора. Линиите на поточетата, които запазват бигорните отложения често се пресичат и оформят пелена, покриваща склона. Наслагите, разположени по-близо и по-далеч от извора се различават по своята морфология.

*По-близки (проксимални) отложения* – характеризират се със спускащи се езиковидно стъпаловидни тераси, които се развиват на склонове до около 30°. Терасите могат да имат широчина до няколко десетки сантиметра, паралелни на течението, със заравнени дъна, без издигнати краища (Фиг. 2). Утайконатрупването е бързо и може да предизвика едновременно вертикална и латерална миграция на руслото. Нарастването на бигора е чувствително към режима на подземните води. Ако то спадне, това може да доведе до карстификация и образуване на вторични постройки в по-долни части на склона. В този профил доминират чернодробните (*Marchantiophyta*) и листнатите мъхове (*Bryophytes*), с широка колонизация на цианобактерии и диатомии. Фауната е представена от сладководни гастроподи, ларви на насекоми, червеи и остракоди, обитаващи основно терасните наслагии.

*По-отдалечени наслагии* - разстилат се като пелена и се

състоят от фини интракластични бигори с лещи от фитокласти, обикновено в отделните речни корита. Някои от пелените могат да имат стволонидни върхови равнища, които се асоциират с палеопочви. Наслагите могат да бъдат прорязани от всичащи се, запълнени с нов бигор речни канали, независимо в коя част на склона се намират. Фауната е рядка, с изключение на гастроподи.

В България има множество карстови извори и повечето от тях се намират в планински и хълмисти терени. Този модел е повсеместно разпространен, като типични примери могат да се дадат от извора и горното течение на р. Младежка (Странджа), горното течение на Сливов дол (преди Сливовдолското падало) близо до Бачково в Родопите и много други.

##### 4.2. Каскаден модел (cascade)

Намира се при откоси и прагове на склона, по които се формират водопади и каскади. Механизмът на образуване на водопадите е свързан със завеси от растителност, спускащи се от ръба на откоса, които биват погребани от карбонатни отложения. В резултат се образуват навеси, зад които може да се образува сляпа пещера (Фиг. 2). В нея биха могли да се образуват вторични натечи, напр. сталактити.

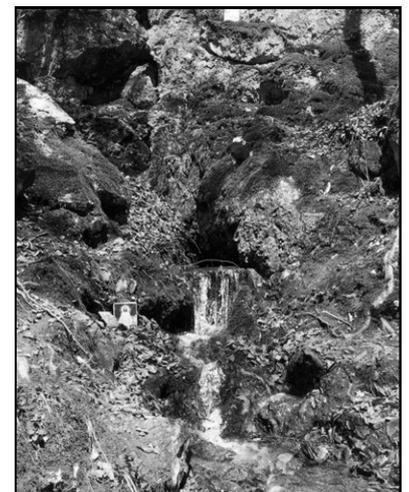


Фигура 2. Навеси от калцифицирани завеси от растителност при водопада Варовитец (до Етрополе).

Водопадът бързо нараства и постепенно може да бъде погребан (Фиг. 3). В такава напреднала фаза се образуват стръмни бигорни конуси и улеи с причудливи извивки.

Във флувиалния баражен модел, също има водопади тип катаракт, но при склоновия модел отсъстват езерни седименти в горното течение и биотичните асоциации са различни.

В България тези са най-познатите и атрактивни локации на бигор. Примери за по-стръмно спускащи се водопади, по които се спускат калцифицирани завеси и при някои се образуват слепи пещери са Полска Скакавица в Земенска планина до Кюстендил, Гложенският водопад Вара, водопадът Варовитец, Сливовдолското падало до Бачково и



Фигура 3. Водопад над извора Живата вода (с. Боснек, Витоша) – пример за погребване на каскадата под бигор и образуване на улеи и пещера. Според местното предание, в нея е търсил уединение св. Иван Рилски.

още много по-неизвестни. Модификация на този модел са развитите по стените на някои отворени пещери и подножия на козирки бигорни отложения – напр. Голямата Мадарска пещера.

Под водопада се развиват възглавнички от мъх, израстващи по склоновото подножие (Фиг. 4). Те се натрупват една над друга и образуват постройки.



Фигура 4. Възглавнички от бигор, развити в подножието на част от каскадата на Крушунските водопади, Ловешко.

Каскадният модел има сравнително малък потенциал за запазване в седиментния запис, тъй като има незначителен обхват и е възможно да се заличи при отстъпване на водопада. Пример за това намираме от 2015 г., когато при срутване по екопътеката на Крушунските водопади се стигна до жертва (Petkova et al. 2016).

В планинските терени и по склоновете на платата има значителни наклони и това не позволява изграждането на баражни рифове, характерни за флувиалния модел. Това е причината в България те да са по-ограничено представени.

#### 4.3. Флувиален модел (fluvatile)

Тук се включват най-познатите в Света наслаги. Има два основни вида:

##### 4.3.1. Баражи

В региони с долинни стеснения или където прагове в надлъжния профил предизвикват редуване на бързеи и вировете, има тенденция към изграждане на напречни на течението фитохермни постоянки, които образуват прегради в реката. Образец на този модел са Плитвичките езера в Хърватия. Механизмът на образуването им е следният: най-долният праг се издига най-бързо (може да достигне до над 30 m) и по-горните баражи се наводняват, като се оформя едно голямо езеро. Когато долният бараж бъде пробит (тъй като е подложен на силно разтваряне и ерозия от течащата вода), цялата система започва да ерозира. Този модел има вариация в подножната част на склоновете – при редуване на бързеи и вировете. Там баражите са по-малки, наподобяват тераските от изворния модел, но фитохермните постройки имат вертикално развитие и засилват контрастите в надлъжния профил. Така вировете стават по-широки и дълбоки, а по бързеите водопадите са тип катаракт (стъпаловидни). Типични примери в България има само при втория вариант:

Хотнишкият водопад (на р. Бохот, обл. В. Търново), водопадът Докузак (Странджа), Бигоро (Врачанско) и долната част на Крушунската каскада (Фиг. 5).



Фигура 5. Баражи и езерца, развити в долната част на каскадата на Крушунските водопади, Ловешко.

В пълния модел на развитие на баражите се образуват два елемента:

*Фитохермна баражна рамка* – състои се от две или повече вертикални стени, изградени от биофити и оброчени от мъхови завеси, по които се развиват водопади. Те се подпират от структури листнати и чернодробни мъхове, сливащи се възглавнички, които образуват вторични бариери. Те, от своя страна, нарастват по посока на течението и с времето запълват езерата.

*Езера* – в езерата се преотлагат литокласти, фитокласти и микродетритни бигори, като основното им значение за системата е, че предпазват баражите от ерозия. Седиментът е ронлив, тънкослоен до масивен и се свързва с участие на коремоноги, зелени водорасли и остракоди. Цианолитите са привързани към плитките крайбрежни части и около местата на вливане на потоци.

При пълното развитие на флувиалния модел, след първичния бараж е доминиращ моделът тип плетеница, който има постоянно подхранване от езерото.

##### 4.3.2. Плетеница (braided model)

Образуват се дебели преплетени, доминирани от цианолити наслаги, образувани при постоянна скорост на водното течение. Отделните слоеве са с дебелина от по няколко сантиметра. В тях се съдържат отделни субсферични онкоиди (при по-бавни потоци – сплеснати) от цианолити с диаметър между 1 и 5 cm. Пакетите от тънкослойните онкоиди се отлагат по широчина до няколко метра. Руслата са проградирани, с леко наклонена оребрена повърхност. Повечето от тези наслаги са придружени от кластити с интракластични бигори. Чести са и лещите от фитокластити (от листа и клончета) и по-слабо циментираните макрофитни находища (вертикални тръби около коренищата). Строматолитови куполи могат да се формират на стабилизирани субстрати в речни легла с малко дънни седименти или по бреговете. Те обикновено са свързани с по-бавни скорости на течението. Разположението им е по дългата ос паралелно на посоката на потока.

#### 4.4. Езерен модел (lacustrine)

В по-големите и дълбоки водоеми, колонизацията на макро-

и микрофити, както и онкоидите се съсредоточава около плитката част на бреговете. Повечето езерни бигори представляват водораслови биохерми и се развиват като стратомолитни постройки. Закрепват се към твърди субстрати и след установяване, растат навътре към водоема, като образуват надвиснали первази. В някои езера се развиват колонии *Cladophorites*, които образуват колоноподобни постройки (Riding 1979) с височина над 1 m. Възможно е фитохермите да се слоят и да образуват широк пояс, в който освен колониите зелени водорасли, се включва и фин биокластичен пясък (с остатъци от коремоноги и фитокласти). Нодулите от зелени водорасли се отлагат в пониженията.

Подобни отложения се развиват и във водоемите на баражния модел. В езерния модел, обаче има по-голямо разнообразие на представители на фауната. Цъфтежите на водорасли могат да имат регулиращо действие по отношение на химизма, като диатомите могат да формират значителни слоеве варви в най-дълбоките части.

#### 4.5. Блатен модел (paludal)

Развиват се на склонове с лош дренаж, в алувиални равнини и особено в засенчени места. Изворните води се просмукват бавно през мъховата покривка и между могилките и оставят бигорен филм върху цялата растителност. Цианолитите липсват заради бавния отток, а фитокластичното натрупване е доминирано от листна маса. Изобилният изворен карбонат е наситен с макрофитни видове, характерни за влажните зони. В тези наслаги изобилства от сухоземни коремоноги, които могат да се използват за реконструкции на палеосредата. Ако се развива за по-дълго време, този модел произвежда сравнително широк непрекъснат (със слоеве, индикиращи засушавания и богати на хумус палеопочви) вертикален фитохермен комплекс. Понякога се развиват при склоновия модел в близост до карстовите извори.

#### 5. Заключение

В България бигорните отложения не са били обект на сериозен научен интерес, освен във връзка с находищата на строителен и облицовъчен материал и за опазване на хабитатите на застрашени видове растения.

От гледна точка на морфологията на бигорните отложения, представени у нас, установихме, че в България най-вече са представени бигорите, отложени в близост до карстови извори и в каскадни системи. Това вероятно се дължи на факта, че отложенията са свързани с малки потоци, идващи директно от карстовите извори в горския пояс, каквито са и предпочитанията на растителните съобщества, свързани с бигоробразуването. За сметка на това, каскадният модел е предстелен във всичките му вариации и се среща повсеместно в карстовите области у нас. За съжаление, той е най-уязвимият от всички и по отношение на устойчивост във времето, се запазва най-малко в геологичната летопис. Най-известен пример и с най-голямо разнообразие от форми е Крушунската бигорна каскада в землището на общ. Летница, Ловешко. Там се наблюдава както изворният модел, така и водопади с навеси, спускащи се от откосите и възглавнички на подножието, както и баражният модел с образуване на езерца.

Формите в бигора представляват обект на засилен интерес по отношение на туризма и има потенциал за разработване. Подчертаваме обаче, че системата е изключително крехка, свързана е с местообитания на застрашени видове и безразборното ѝ усвояване е силно нежелателно.

#### Благодарности

За написването на тази статия неоченима помощ в дефинирането на характерни растителни съобщества, свързани с бигора, оказа проф. д-р Росен Цонев от катедра Ботаника на Биологически факултет при СУ „Св. Климент Охридски“, за което авторът изказва своята благодарност.

#### Библиография

- Adolphe J-P, Hourimeche A, Loubiere J, Paradas J, Soleilhavoup F, 1989. Les formations carbonates d'origine bacterienne: formations continentales d'Afrique du Nord. Bull. Sot. GBol. Fr., 8: 55-62.
- Arenas-Abad C, Va'zquez-Urbez M, Pardo-Tirapu G, Sancho-Marcén C, 2010. Fluvial and Associated Carbonate Deposits. In: Developments in Sedimentology (Ed. A.J.van Loon), V. 61 Carbonates in continental settings: facies, environments and processes, 133-175.
- Braithwaite CJR, 1979. Textures of Recent fluvial piods and laminated crystalline crusts in Dyfed. South Wales. J. Sediment. Petrol., 49: 181-193.
- Capezuoli E, Gandin A, Pedley HM, 2013. Decoding tufa and travertine (fresh water carbonates) in the sedimentary record: The state of the art. Sedimentology 61 (1), 1-21.
- Ford T, Pedley HM, 1996. A review of tufa and travertine deposits of the world. Earth-Science Reviews 41, 117-175.
- Ganeva A, Kozuharov D, 2015. 08C2 Karst springs and streams with travertine formations. In: Red Data Book of the Republic of Bulgaria. Vol. 3. Natural Habitats, Biserkov V et al. (eds). BAS & MoEW, Sofia.
- Glover C, Robertson AHF, 2003. Origin of tufa (cool-water carbonate) and related terraces in the Antalya area, SW Turkey. Geological Journal 38, 329-358.
- Golubić S, 1967 Algenvegetation der Felseneine Okologische Algenstudie im Dinarischen Karstgebiet. Binnengewasser, 23. Schweizergebart, Stuttgart, 187 pp.
- Golubić S, Violante C, Plenković-Moraj A, Grgasović T, 2008. Travertines and calcareous tufa deposits: an insight into diagenesis. Geologia Croatica 61/2-3, 363-378.
- Gradziński M, Hercman H, Jaoekiewicz M, Szczurek S, 2013. Holocene tufa in the Slovak Karst: facies, sedimentary environments and depositional history. Geological Quarterly, 57 (4): 769-788.
- Jaranoff D, 1946. General Geomorphology (lectures manuscript). Sofia (in Bulgarian).
- Lorah MM, Herman JS, 1988. The chemical evolution of a travertine-depositing stream: geochemical processes and mass transfer reactions. Water Resour. Res., 24: 1541-1552.
- Pedley HM, 1990. Classification and environmental models of cool freshwater tufas. Sediment Geol., 68: 143-154.
- Pedley HM, 1992. Freshwater (phytoherm) reefs: the role of biofilms and their bearing on marine reef cementation. Sediment. Geol., 79: 255-274.
- Pedley HM, 1994. Prokaryote-microphyte biofilms and tufas: a Sedimentological Perspective. Kaupia (Darmstadter Beitr. Naturgesch.), 4: 45-60.
- Pentecost A, 1990. The algal flora of travertine: an overview. In: J.S. Herman and D.A. Hubbard (Editors), Travertine-Marl: Stream Deposits of Virginia. Va. Div. Mineral Resour., 101: 117-127.
- Pentecost A, 1992. Carbonate chemistry of surface waters in a temperate karst region: the southern Yorkshire Dales. J. Hydrol., 21: 211-232.
- Pentecost A, 2005. Travertine. Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 448 p.
- Pentecost A, Viles H, 1994. A Review and Reassessment of Travertine Classification. Géographie physique et Quaternaire, 48(3), 305-314.
- Petkova P, Georgiev N, Naydenov K, Keskinova A, Krumov I, 2016. Structural control, causes and mechanisms of a rockfall event in the valley of Krushuna Waterfalls, North-Central Bulgaria. Bulgarian Geological Society, National Conference with international participation "Geosciences 2016", 137-138.
- Petkoff S, 1943. La flore des grottes souterraines, des grottes ouvertes et de leurs étangs environnants dans certains regions calcaires de Bulgarie. Bilg. acad de sc. et artes, livre LXVIII - 5, 109-169 (in Bulgarian with French abstract).
- Popov V, 1980. Basic terms in karst geomorphology (calcite and ice underground karst forms). Problems of Geography 4, BAS, Sofia, 73-80 (in Bulgarian with English abstract).

- Riding R, 1979. Origin and diagenesis of lacustrine algal bioherms at the margin of the Ries Crater, Upper Miocene, southern Germany. *Sedimentology*, 26: 645-680.
- Shkorpil H, Shkorpil K, 1900. Karst phenomenon (groundwater streams, caves and springs). *Nature treasures of Bulgaria*, Plovdiv, Pchela Publ., 55 pp. (in Bulgarian).
- Sweeting MM, 1972. *Karst Landforms*. MacMillan, London. 362 pp.
- Zlatarski G, 1884. Materials about the geology and mineralogy of Bulgaria. IV Geological and peletonological notes between Pleven and the Troyan Balkan. In: *Periodical journal of the Bulgarian literature society*

## ПАСПОРТИЗАЦИЯ НА ПЕЩЕРИТЕ В БЪЛГАРИЯ

Петър Делчев

Българска федерация по спелеология, бул. Васил Левски 75, p.delchev@abv.bg

### Abstract

#### Passporting of caves in Bulgaria

The creation and development of the card index of the Bulgarian caves and its future and development as a base for information and scientific research are presented. The need to revisit them to create an individual passport for each of the 6,120 mapped caves.

### Keywords

Caves, Database

### 1. Въведение

Програмата за паспортизация предлага идея за изследванията на пещерниците и спелеолозите за години напред.

Това ще спомогне за бъдещето търсене, проучване и картиране на нови части в пещерите, провеждането на обучение на нови пещерници, провеждане при необходимост на спасителни акции. Наред с това изготвените документи имат практическо и научно значение, свързано с опазването на пещерите, използването им като туристически обекти, провеждане на археологически проучвания, за водоснабдяване, както и оценка на рисковете при строителство, минна дейност и други.

Тя дава основание за повторното посещение на пещерите за да се допълва липсващата информация по приложения модел за документация и опис на известните данни и мотивация за работа на пещерниците за следващите години.

### 2. Същност на проекта

Програмата се явява следващо развитие на кадастъра на пещерите прераснал по късно в картотека на пещерите – хартиена и електронна.

Целта и е да се създадат паспорти на всички пещери, които да съдържат цялата възможна информация, която има за тях, за да може да се допълва така, че да бъде полезна за различни научни и изследователски проекти и най-вече на самите спелеолози. Да се създаде пълна база данни за българските пещери.

Към програмата има модел на документацията за една пещера, която да дава възможност за сравнение на наличните данни и възможност за допълнителни изследвания.

Много от пещерите имат само карти, които са правени преди повече от 30 до 50 години, и често само това е информацията за тях – отбелязано е „че само Дядо Пейо от наш село“ може да ви заведе, а пък и селото го няма вече.

Над 90% от пещерите нямат описание на достъпа до тях, кроки или GPS. Нямат снимки на входа и нямат описания на самата пещера. Особено полезна е информация за необходимия инвентар за проникване в пещерата, когато това изисква използване на ТЕВ, но за повечето пропасти пещери тази информация липсва.

Картотеката е плод на над 90-годишна работа на много пещерници и спелеолози от цялата страна. На всеки паспорт това трябва да бъде отбелязвано, доколкото е известно и

възможно, за да остане в историята на нашето пещерно дело.

Паспорта на една пещера би трябвало да съдържа възможната информация по различни регистри описани във фишовете А и Б, за различните научни направления, като на всеки материал задължително трябва да е отбелязан автора и датата на изследване му, за да се запази авторството.

На базата на информацията в паспортите се създава база от данни за Българските пещери и се подготвя справочника „Атлас на пещерите в България“.

Атласът на пещерите в България е предназначен за улеснение на всички, които се интересуват от спелеология, за да знаят какво е събрано в картотеката – хартиена и електронна и какво още трябва да се добави към нея.

### 3. Резултати

Получената систематизирана информация за съответната пещера ще позволи да се оцени научното, туристическото и екологично значение на всеки обект.

Материалите в Главната картотека на пещерите на Българска федерация по спелеология са започнати от картончетата на Петър Трантеев и след това събирани и подреджани през миналите години от инж. Радуш Радушев /Чичко Радуш/, Здравко Илиев /Здравеца/ и Иво Тачев.

Данните за електронната картотека са събирани от хартиената картотека на БФСп, Електронната база на Иво Тачев и Базата на Христо Харизанов /Хинко/.

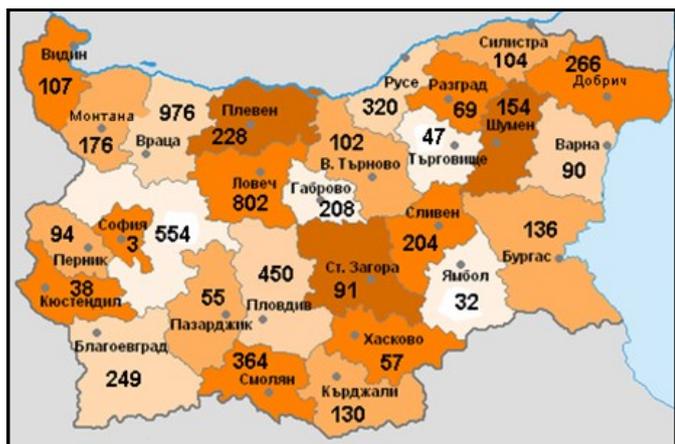
Структурирани са по фишове А и Б.

Цялата тази базова информация ще даде възможност тя да се развива по нататък с възможности за интегриране в ГИС, в двумерно и тримерно представяне, като и за по-лесното намиране на обектите, използвайки GPS представяне за ползване от таблет и смарт телефон и достъп до наличната информация на терен.

В момента се извършва детайлната инвентаризация на информацията, която се намира в картотеката, като се проверяват и сравняват данните в електронната картотека и се сравнява с данните в базата на Хинко, хартиената картотека и други налични източници. Всичко това се описва в една електронна таблица, на основата на която ще се направи пълна информационна база данни. Това отнема доста време, но за да е вярна една база, тя трябва да се основава на верни данни.

В картотеката има документирани 6120 пещери в 28 области.

До момента е проверена информацията за 2600 от тях в 20 области в Източна и Югозападна България.



*Брой на пещерите по региони*

В систематиката се забелязва бум на изследването на нови пещери през 70-те и 80-те години, когато това влизаше съревнованията между клубовете.

Основната информация е отпреди 40-50 години.

За съжаление в над 70% от тях липсва кроки или описание на достъпа до тях.

Попълнените фишове А и Б са около 50%

GPS има на около 10%.

Снимки на входовете под 5%.

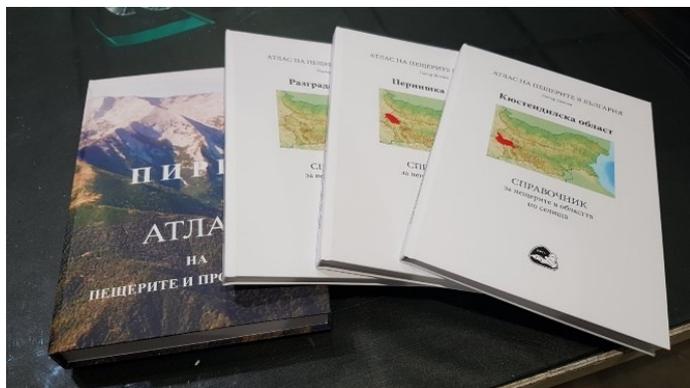
Липсва описание на самите пещери.

Не всички пещери са дълги и много дълбоки, но това е спелеологията.

Изготвена е методика за попълване на документацията в картотеката на федерацията

Проверените данни се записват в таблица на Excel за да могат да се правят всякакви разрези и справки

На тази основа са направени справочници /Атласи на пещерите/ по области с цялата налична информация в момента, която е в картотеката, за да може информацията да се допълва и надгражда.



*Готови Атласи по региони*

Атласите, които се правят, дават информация какво е известно за даден район по области, общини и селища и обектите в тях, и какво следва да се допълни.

Надявам се, че те ще стимулират повторното посещение на тези пещери, за да се прегледат отново и да се попълни липсващата информацията за тях – GPS, описание на достъпа до тях, снимки на входовете, текстово описание на самите пещери.

Това е задача за следващите поне 10 години.

# ARE THE STYLOLITES IMPORTANT IN THE KARST FORMATION?

Silvana Magni<sup>1</sup>, Aleš Šoster<sup>2</sup>, Andrej Smuc<sup>2</sup>

<sup>1</sup> *Departament de Mineralogia, Petrologia, Universitat de Barcelona Martí i Franquès s/n, CARS (speleological research center in Altamura-Italy) email: svl.magni@gmail.com*

<sup>2</sup> *Department of Geology, University of Ljubljana, Slovenia*

## Abstract

The process of cave formation is quite complex. Open fissures generally allow water to enter and enlarge them by dissolution. However, the dissolution process is another complex phenomenon, and some crucial tectonic structures, such as stylolites, have never been considered in karst formation. Typically, water circulation is associated with extensional features such as faults and joints, on the assumption that there can be no fluid pathway through compressional tectonic structures. In contrast, we believe that stylolites, formed by a pressure-solution process, could play an important and not yet well-studied role in fluid circulation, including in karst formation. Stylolites have an extremely variable shape from the mesoscale to the microscale and variable porosity and permeability, especially at the nanoscale. For this reason, they can act as barriers or conduits for water flows. The focus of this research is to investigate the starting point of dissolution and especially the micromechanism that would lead to the formation of caves. In this work, we combined field observations with laboratory analysis. The field observations were carried out in two different karst areas in Italy, where we reconstructed the permeability of three fault zones. The laboratory analyses (chemical, petrographic) were performed on selected samples representative of the 4 main different forms of stylolites. The combined results show that the role of stylolites in karst formation cannot be completely disregarded, since the voids are present along their surface and not in the host rock.

## Key words

Karst, stylolites, Italy

## 1. Introduction

Stylolites are complex column and socket interdigitation features formed by a pressure solution process that dissolves the soluble particles and leads to an enrichment in insoluble materials along their planes. They are considered as result of a different solubility in the rock and for this, they play an important role in fluid circulation in rocks (Stockdale, 1943; Rolland *et al.*, 2014). Water dissolves the carbonates leaving several insoluble minerals as illite-smectite, pyrite, apatite (Park, 1968; Touissant, 2018). For this, stylolites can modify fluid flow in rocks acting as barriers or channels. Generally, sedimentary stylolites are considered to act as horizontal permeability barriers (Nelson, 1981; Finkel *et al.* 1990:), while tectonic ones as a conduits (Heap, *et al.* 2014). The dual behavior of stylolites, conduits vs barriers, depends not only on the presence of clay minerals but also from the networks of voids that are created by the pressure-solution process. Nevertheless, stylolites may also play a role as a nucleation for formation of karst features but they have never been considered as precursors of cavity formation (Alsharhan and Sadd 2000). On the contrary, due to their role, in deformation and permeability change (Kohen *et al.*, 2016) they can become a key point for understanding karst formation. In fact, stylolites, usually form in a compressional setting probably due to the migration of large volumes of water that dissolve the carbonate and leave insoluble materials along the stylolite planes (non – carbonate particles, referred from now on as NCP). It is possible that this material affects the solution/ precipitation process and is the starting point for dissolution. It is unclear at this time whether stylolites are complete barriers or conduits or whether they act alternately as barrier or conduit depending on local conditions.

## 2. Material and Methods

To study the karst process, we conducted field research and laboratory analysis. The field research was conducted in a karst

area in southern Italy, where we performed a detailed structural analysis using a scanline method (Fig.1). The scanline method consists of using a scale on the ground and systematically measuring all structures of interest ie: faults, joints and stylolites that intersect the scale. The Caine scanline method conducted in the field, according to Caine (1996), allowed both to reconstruct the permeability of the investigated area and to evaluate which structures are more exposed to the dissolution process or in other words, which act as conductors for fluids.

We also compared the direction of the major investigated stylolites with the main karst systems. Although the stylolites can almost completely lose their original shape, due to the pressure solution process and the resulting dissolution, which makes their detection difficult, it is still possible to be sure of their presence.

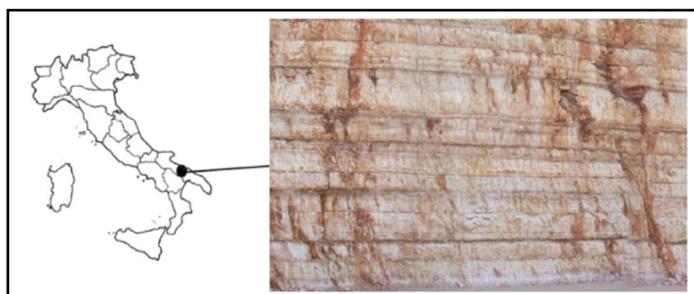


Figure 1. Investigated area (South Italy) with karstified stylolites and not karstified structures.

Due to a wide variability in shape and in NCP composition of the stylolites, we decided to investigate not only rock sampling during the field work but also a larger number of samples, coming from different Countries, to achieve the widest coverage of existing types. This was done because the clays along the stylolithic planes, as well as the variation of the porosity near them, change enormously. Consequently we have thought in this way to increase the certainty of our data and our observations. We

are also working to setting up a database to improve the existing classification (Fig.2).

Therefore, we focused our attention on stylolites and we performed, on 10 selected samples from our collection, chemical and petrographic analysis of stylolites surfaces using SEM and XRD to understand the origin of the NCP and its behaviour in fluid circulation. For mineralogical analysis with did XRD on NCP and host rock. SEM analysis helped to define the size and the distribution of the NCP in the host rock and, most importantly, the networks voids distribution. These analysis were performed on polished thin sections and conducted partially at Mainz,Utrecht and Lubjana University. We also compared the direction of the major investigated stylolites with the main karst systems. Despite the stylolites, due to the pressure-solution process and the consequent dissolution, can almost totally lose their original shape, thus making it difficult to recognize them, through structural techniques, it is still possible to be sure of their presence.

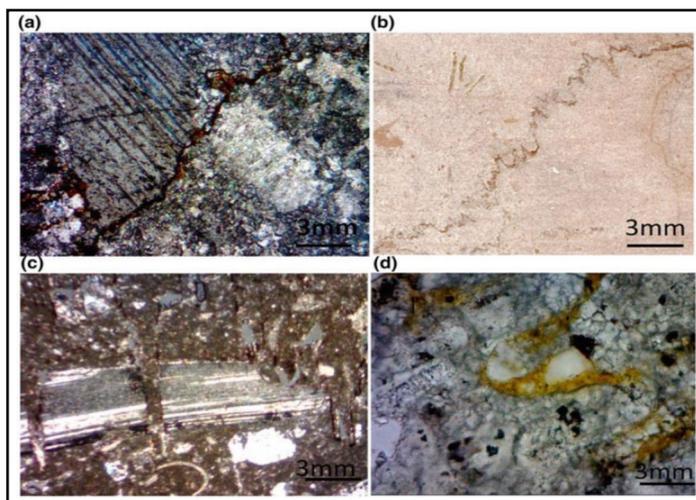


Figure 2. Example of variable stylolite shape; a) sharp shape; b) seismogram type; c) rectangular type; d) wave-like type (according to Koehn et al., 2016). The shape and the roughness amplitude are changed because the homogeneity or inhomogeneity of the matrix.

### 3. Results

#### 3.1. Field work

The study area is affected by a purely brittle deformation that determines mechanical discontinuity. We analyzed faults, joints, stylolites and for each of them we observed the presence of dissolution (Fig.3).The Caine scanline method conducted in the field, according to Caine (1996), allowed both to reconstruct the permeability of the investigated area and to evaluate which structures are more subject to the dissolution process or in other

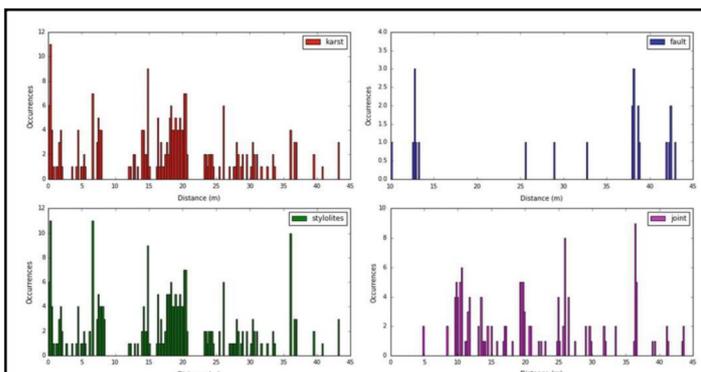


Figure 3. Presence of dissolution along faults, stylolites and joints. On 45m length, there are 27 fault, 55 joints and 708 stylolites; on them 88% of stylolites are karstified.

words, which act as conductors for fluids.

The karstification process is the most widespread along the stylolites, given the samenes of other conditions, consistent with their formation that involves the dissolution of soluble material and accumulation of insoluble material, and fine-grained particles which are subsequently more easily eroded, resulting in an "expansion" of empty space. In situ (Fig.4) we have observed different stages of dissolution process along a stylolite, from the early stages to the formation of a true cavity.

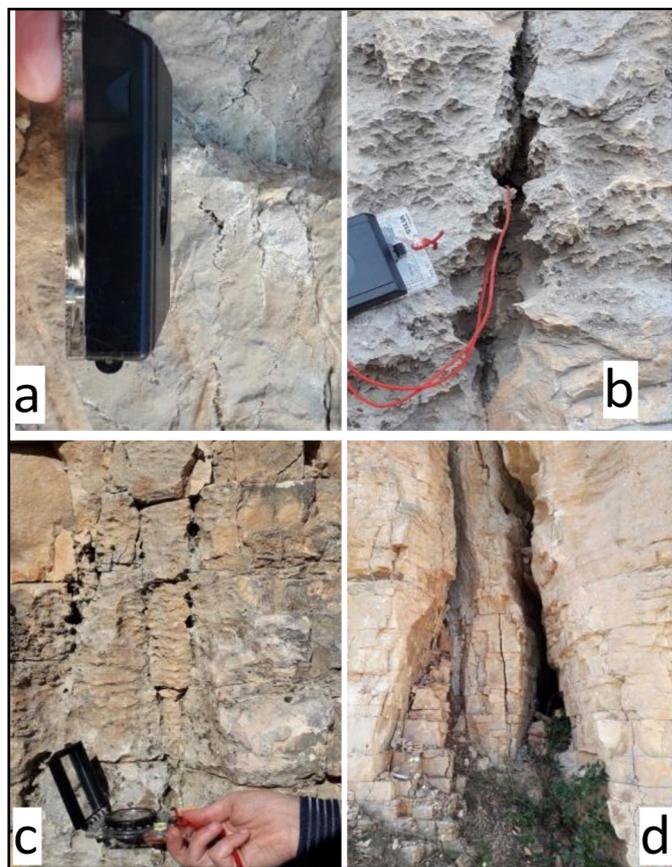


Figure 4. Evolution of stylolites: a) initial stage; b-c) formation of first voids; d) proto-cave

#### 3.2. Laboratory analysis

Both, optical analysis and SEM show that the porosity of the area containing stylolites is always higher than the matrix of the samples (Figs.4 and 5).

Despite the great diversity (Fig.2) of shape and composition of analyzed stylolites, we have found common features between them:

- a) the pores/voids are more common near the stylolites than in the adjacent matrix although (Fig.4);
- b) Al, Mg, Fe, K are abundant in the NCP regardless of composition of the host rock;
- c)the process of dolomitacion is also very common near stylolites. It is indicative of a significant increase in porosity due to the Ca / Mg substitution;
- d) kaolinite, montmorillonite and pyrophyllite are the mostly common mineral founded;
- e) frequente mineral related to stylolites is also pyrite. Pyrite is FeS2 sulphide mineral. If comes in contact with water it degraes to H2SO4 acid, that is quite agresive and can cause additional dissolution (Knez, 1998).

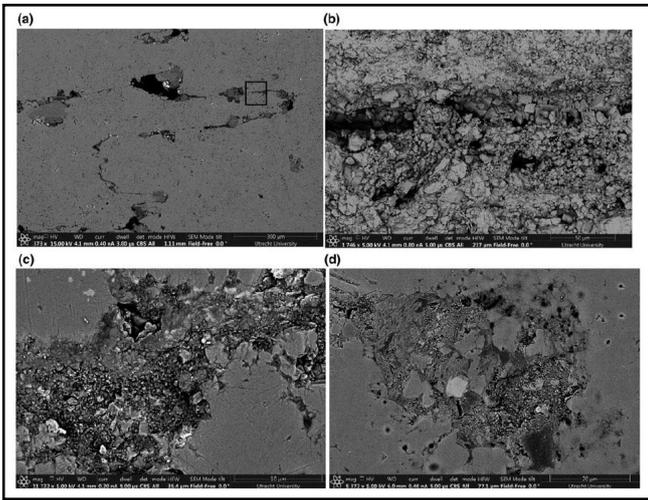


Figure 5. SEM images of sample from Belgium. Clays are always present along the stylolite surface. a) overview of the investigated area; the different distribution in porosity is already evident; b) voids and holes inside of the stylolites as possible pathway for water; c) the contact between NCP and the other grains (calcite/dolomite); d) evidence of the dolomitization process.

### 3. Discussions

The dissolution process is one of the most studied but at the same time, perhaps one of the most complex phenomena, although it could seem simple. In the karst field, it is common idea, to consider the extensional structures, as faults and joints for instance, more prone to water circulation and consequently to karstification. Consequently structures such as stylolites were never considered. Conversely our results show that the percentage of voids and holes is higher inside stylolites than in the matrix even when stylolite surface is filled with clays (Figs.5 and 6). The clays are almost present at the contact between NCP and host rock. The distribution, size and shapes of the voids contribute to the understanding of porosity and permeability networks in and around stylolites. This means that the presence of clay minerals does not prevent the formation of pores and consequently does not hinder fluid circulation along stylolites.

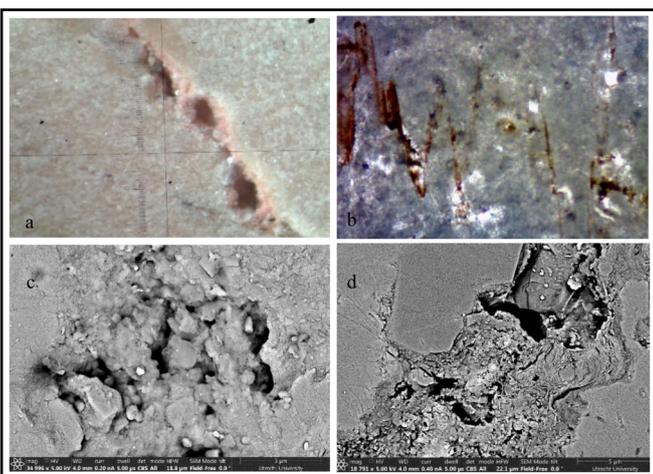


Figure 6. The distribution of holes along the stylolites with recrystallization into them. View of pores at different magnification: a) optical image; b) thin section image; c-d) SEM images. These images were done with EPOS support.

This area of contact between NCP and matrix can also be considered the site for karst formation along stylolites with progressive enlargement of the wall (Fig.5). In addition karstification was not observed along joints and faults, although we can not exclude the possibility that the process also occur along

these structures since they are open structures through which water can flow. On the contrary some caves classified as tectonic can be considered as the final stage of dissolution along the stylolite (Fig.7).

Laboratory analysis also highlighted the role of the stylolites as conduits due to the presence of some clays, as montmorillonite, illite and kaolinite which support the idea that there is a fluid circulation along them. Also the recrystallized minerals along the stylolites support the idea that they are formed due to a circulation fluids through the stylolite.

The nature of stylolite formation (Ebner,2009a), and the inhomogeneous stress distribution (Zhou and Aydin,2010), results in (1) a complex internal structure (Fig. 2 and 4). The complex internal structure (Fig. 3b), in contrast to the organized, micritic host rock has a higher potential to contain intergranular porosity being a not yet well considered karst precursors.

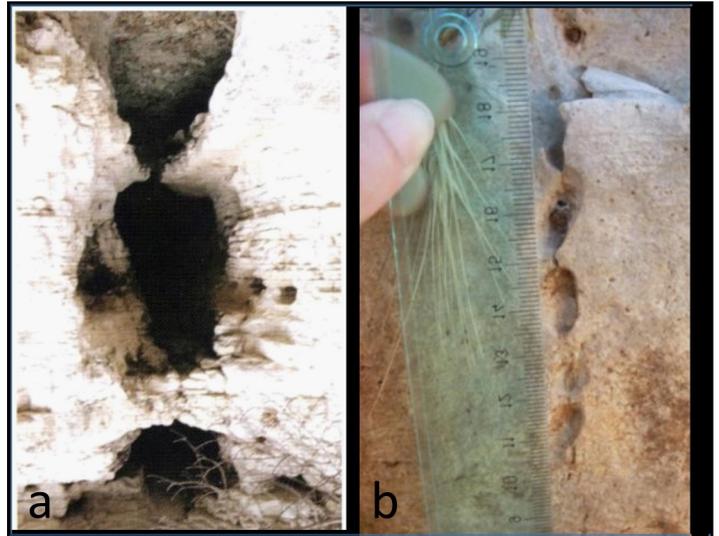


Figure 7: a) tectonic cave (F.Zezza, 1999); b) stylolite

### 4. Conclusions

Both, field work and laboratory analysis emphasize the role, still not well understood, role of stylolites in the karst precursors which can by no means be denied.

The formation of new crystals inside stylolites which are rare or completely absent in the adjacent host rock, the presence of clay minerals, and the distribution of voids, suggest that they may act as conductors affect fluid pathway in a different way. The direction of the main cavities in this area, which coincides with that of the stylolites, supports this idea.

#### In summary:

- the voids are formed at the contact between NCP and host rock being a key point as karst precursor
  - the NCP play an important role on the karst process but how is still unclear;
  - the variability in shape of stylolites does not affect the dissolution process.
- The study is still going and several aspects are still being investigated such as when stylolites act as barriers and when they act as a conduits or rather how and when they alternate their behavior.

This study will help to consider stylolites too, as joints and faults, as karst features contributing.

### References

Alsharhan & Sadd, 2000. U.A.E, Society for Sedimentary Geology Special Publication 69, 185–207.

- Aydin, A.: Fractures, faults, and hydrocarbon entrapment, migration and flow, 2000. *Marine and Petroleum Geology* (17), 797–814.
- Caine J., Evans J., Forester C., 1996. Architecture Fault zone structure and permeability. *Geology* (11), pp 1025-1028.
- Ebner M., Koehn D., Toussaint R., Renard F., Schmittbuhl J., 2009a. Stress sensitivity of stylolite morphology. *Earth and Planetary Science Letters* 277(3-4), 94-398.
- Knez M., 1998. The influences of bedding planes on the development of karst caves ( a study of Velika Dolina at Skocjanske Jame caves, Slovenia). *Carbonates and Evaporites*, (13), 121-131.
- Finkel E. A., Wilkinson, B. H., 1990. Stylolitization as Source of Cement in Mississippian Salem Limestone, West-Central Indiana. *AAPG Bulletin- American Association of Petroleum Geologists*, 74(2), pp.174-186.
- Heap M. J., Baud P., Reuschle'E T., Meredith P.G., 2014. Stylolites in limestones: Barriers to fluid flow? *Geology*, 42(1), pp. 51-54.
- Koehn D., Rood M.P., Beaudoin N., Chung P., Bons P.D., Gomez Rivas E., 2016. A new stylolite classification scheme to estimate compaction and local permeability variations. *Sedimentary Geology* (346), 60-71.
- Nelson R.A., 198. Significance of fracture sets associated with stylolite zones: *Am. Assoc. Petroleum Geologists Bull.*, 65, pp.2417–2425.
- Rolland A., Touissant R., Baud P., Conil., Landrein P., 2014. Morphological analysis of stylolites for paleostress estimation in limestones, *International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences*, 67, pp.212-225.
- Park W. C., Schot E. H., 1968. Stylolites: their nature and origin. *Journal of sedimentary Petrology* 38(1);175-191.
- Stockdale P. B., 1943. Stylolites: primary or secondary?, *J. Sediment. Petrol.*, pp.13, 3–12.
- Touissant R., Aharanov E., Koehn D; Gratier J.P., Ebner M., Bons P., Renard F., Rolland A., 2018. Stylolites: A review *Journal of Structural Geology*, Elsevier, 114, pp.163 - 195.
- Zhou, X. and Aydin, A., 2010. Mechanism of pressure solution seam growth and evolution: *Journal of Geophysical Research* (115) B12207, 10.1029 .
- Zezza F., 1999. *Il carsismo in Puglia*. Adda Editore, p.253.

**CAVE LIFE & KARST  
AND CAVE PROTECTION , MANAGEMENT  
AND TRAINING**

# BAT DIVERSITY FROM A HIGH-ALTITUDE KARST AREA IN PIRIN MOUNTAINS, BULGARIA

Heliana Dundarova<sup>1</sup>, Ivan Pandourski<sup>1</sup> and Vasil V. Popov<sup>1</sup>

<sup>1</sup>*Institute of Biodiversity and Ecosystem Research at the Bulgarian Academy of Sciences, 1 Tsar Osvoboditel, 1000 Sofia, Bulgaria, [heliana.dundarova@iber.bas.bg](mailto:heliana.dundarova@iber.bas.bg)*

## Abstract

Little is known about bat diversity in mountains above 2000 m a. s. l. in Bulgaria. The average elevation of the cirque of Basnki Suhodol in Pirin National Park is 2300 m a. s. l. The cirque is surrounded by limestone outcroppings and alpine meadows, which provide suitable habitats for bats. In the period 2019-2021 we identified Greater mouse-eared bat (*Myotis myotis*), Lesser mouse-eared bat (*M. blythii*), Bechstein's bat (*M. bechsteinii*), Natterer's bat (*M. nattereri*), Geoffroy's bat (*M. emarginatus*), Whiskered bat (*M. mystacinus*), Brandt's bat (*M. brandtii*), Brown long eared bat (*Plecotus auratus*), Parti-coloured bat (*Vespertilio murinus*), and European Free-tailed bat (*Tadarida teniotis*) in the cirque of Basnki Suhodol. In addition, we described the highest bat swarming site located at an altitude of at 2574 m a. s. l.

## Keywords

Chiroptera, caves, swarming, highlands.

## 1. Introduction

The Pirin Mountain is located between the valleys of the Mesta and Struma rivers and the Western Rhodope Mountains, Southern Bulgaria. From 35 bat species in Europe, 33 are present in Bulgaria (Benda et al. 2003), of which 22 have been described in the Pirin Mt. (Buresh 1917, Kovachev 1925, Hanák & Yosifov 1959, Beshkov 1993, Beshkov 1998, Pandurska 1992, Pandurska & Beshkov 1998, Beron 1999, Beron 2002, Benda et al. 2003). Bat communities at altitudes above 2000 m a.s.l. are poorly studied in the country. The first attempts for bat exploration in the Pirin Mt. alpine zone are provided by Beron (1999, 2002, 2015), Benda & Ivanova (2003), and Benda et al. (2003), where *Myotis blythii*, *Pipistrellus nathusii*, and *Plecotus auratus* from the Vihrenska propast Cave at 2500 m a.s.l., *Vespertilio murinus* from Nishata Cave at 2000 m a.s.l., and Koncheto shelter at 2760 m a.s.l. and *Myotis daubentoni* and *M. nattereri* from Cave № 29 were reported.

The cirque of Basnki Suhodol is located just below the main karst ridge of the Northern Pirin Mts. within the Pirin National Park. The average altitude is 2300 m a.s.l. The highest peaks are Kutelo (2908 m) and Mt. Banski suhodol (2884 m). The cirque is surrounded by karst which contains marble, interspersed with many caves, rock crevices and vegetation of *Pinus mugo* (Lichkov & Delchev 2002). Totally, 78 underground habitats are described from different speleological expeditions (Delchev 2021).

This study presents preliminary data on bats in the karst landscape of the Pirin Mt, performed on the basis of three inventory methods (analysis of subfossil material, catches with mist-nets, and records of echolocation signal). These results are relevant to ecological and environmental issues linked to conservation decision making.

## 3. Methods

The study was carried out in the late summer period of 2019-2021 in the valley of the Base camp, and Caves № 29, 30 and 33 (fig. 1).

Bats were captured using mist nets (16 mm mesh size, length of 3 m and 6 m) placed at the cave entrance. All body measurements were taken with plastic calliper and DNA samples were taken using a 3 mm punch from the wing membrane. Species

identification followed the field guide of Dietz & von Helversen (2004). All bats were released on the site of their capture after their identification. Capture and handling of the animals were carried out with permissions № 760/15.11.2018, № NPP-97/05.02.2020 and № NPP-460/29.04.2021 from the Ministry of Environment and Water of Bulgaria and Pirin National Park. To test differences in the sex ratio chi-square statistics as implemented in the Pearson's Chi-Squared Test for Count Data function (`chisq.test`) from the `stats` 3.6.2 R package (<https://www.rdocumentation.org/packages/stats/versions/3.6.2/source>) was used.

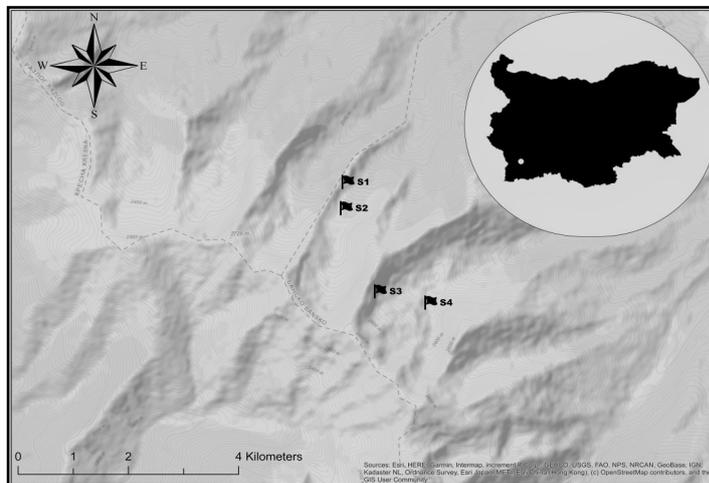


Figure 1. Map of the studied localities in Pirin Mt. S1 marks the location of the Caves № 33, S2 - № 29, S3 – № 30, and S4 – the “Base camp”.

Bats' calls were recorded by using M500-384 USB Ultrasound Microphone and BatSound Touch recording program that saves the recordings as 16-bit wav files. Recorded echolocation calls were analyzed with BatSound 3.1. The frequency components of the calls were measured from the Fast Fourier Transform (FFT) power spectrum, size 1024, Hanning window. The following call parameters were considered: total duration (ms), interpulse interval, frequencies with minimum, maximum and most energy (KHz), and shape of spectrograms.

Subfossil material was collected from the surface of the floor of

Caves № 29 and 30 on 24.08.2002 by B. Petrov & P. Beron. The preliminary species list based on material from Cave № 33 was published by Beron (2015). The material was examined by a binocular microscope. A series of measurements were taken with a dial caliper to an accuracy of 0.05 mm or ocular-micrometer an accuracy of 0.001 mm. The measurements include condylobasal length (CBL), zygomatic breadth (ZB), coronar lengths of the upper tooth rows (M1-M3, P4-M3, C-M3), interorbital breadth (IO), length of bulla ossea (LBO), length of mandible (lmd), height of the coronoid process (hpc), height of the mandibular ramus under m2, measured lingually (hmd/m<sup>2</sup>).

Species	Caves № 29 and 33	Cave №30		Base camp
	Subfossils	Mist-net	Ultrasounds	
<i>Rhinolophus hipposideros</i>			+	
<i>Myotis myotis</i> (Borkhausen, 1797)	1			
<i>Myotis blythii</i> (Tomes, 1857)	9	4		
<i>Myotis myotis/blythii</i>			+	+
<i>Myotis bechsteinii</i> (Kuhl, 1817)	2	5		
<i>Myotis nattereri</i> (Kuhl, 1817)	3	6	+	+
<i>Myotis emarginatus</i> (Geoffroy, 1806)		1	+	
<i>Myotis brandtii</i> (Eversmann, 1845)	1			
<i>Myotis mystacinus</i> (Kuhl, 1817)	2	1		
<i>Myotis sp.</i>			+	+
<i>Vespertilio murinus</i> (Linnaeus, 1758)			+	+
<i>Plecotus auritus</i> (Linnaeus, 1758)	12	11		
<i>Tadarida teniotis</i> (Rafinesque, 1814)			+	+

Table 1. List of bat species registered in the study area.

#### 4. Results and discussion

During the investigation, 11 bat species were found, see Table 1. *Myotis myotis*, *M. blythii*, *M. bechsteinii*, *M. nattereri*, *M. emarginatus*, *M. brandtii*, *M. mystacinus*, and *Plecotus auritus* were registered by mist-netting and subfossil material. Two species, *Myotis myotis* and *M. brandtii* were registered only on the basis of bone remains (fig. 2). Three species were registered on the basis of recorded calls only (Table 1).

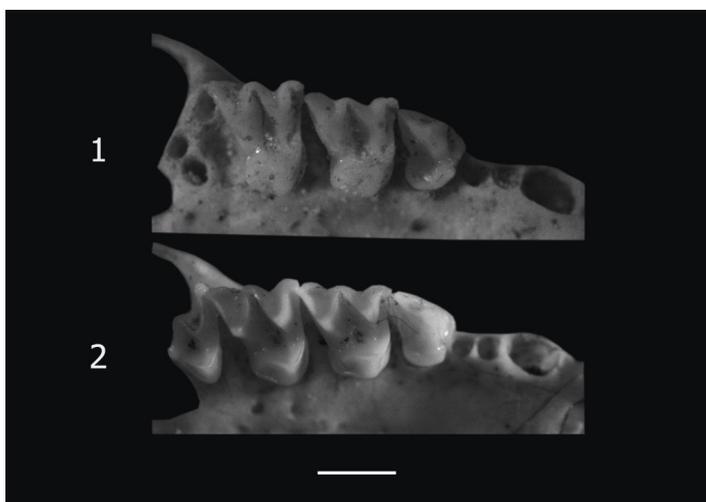


Figure 1. Right upper tooth rows of *Myotis* species from site 1 (Chasm 33, Bayuvi Dupki), Pirin. 1. P4 – M2 of *Myotis brandtii*, 2. P4-M3 of *M. mystacinus*.

The results of the mist-net catches in front of Cave № 30 reveal two interesting peculiarities of the bat community, namely the disproportion of the sex ratio in favor of the males and the complete absence of adult individuals (fig. 3). As far as the sex ratio is concerned, similar results were observed in the high-altitude zones of central European and Apennine Mountains (Holzhaider and Zhan, 2001; Russo, 2002; Kaňuch and Krištin, 2006; Piksa et al., 2011; Widerin and Reiter, 2017). According to some studies, low abundance or absence of females at higher altitudes in summer is a common phenomenon and relates to the energetic requirements during the pregnancy and lactation period (Grindal et al., 1999; Cryan et al., 2000; Senior et al., 2005). This tendency is most evident in species whose optimum decreases with altitude. Conversely, for species that prefer higher altitude this has not been demonstrated (Piksa et al., 2011). This pattern to some extent is confirmed by our data. *Plecotus auritus*, which in Bulgaria is a strict mountain dweller (Popov, 2018), is represented by the largest number of females.

According to some authors (Barclay, 1991; Hamilton and Barclay, 1994), in contrast to the share of females, the share of males and juveniles of both sexes increases with altitude. This could be explained by their ability to conserve energy using the advantages of the torpor when conditions are not good. According to other studies, however, in some species, the proportion of adult individuals increases with altitude. Juveniles are thought to remain at lower altitudes to benefit from greater nutritional resources (similar to adult females) and to maintain contact with the mother (e.g., Grindal et al., 1999; Cryan et al., 2000; Senior et al., 2005). A similar age-dependent elevational trend has been recorded during swarming period in the Carpathians (Piksa et al., 2011).

The peculiarities of the sex-age structure of the bat assemblage, as well as the season during which they were registered (late August), indicate that it most likely represents a swarming aggregation. The registered territorial calls of *V. murinus* (fig. 4) are also evidence for swarming behavior. The prime task of swarming is to localize mates and/or check suitable hibernacula (Davis and Hitchcock, 1965; Hall and Brenner, 1968; Fenton, 1969; Horáček and Zima, 1978; Kiefer et al., 1994; Parsons et al., 2003; Veith et al., 2004; Furmankiewicz and Altringham, 2007). During swarming, bats from various summer roosts can contact each other (Kerth et al., 2003; Rivers et al., 2005). Swarming sites act as an intermediate place during the migrations (Piksa, 2008).

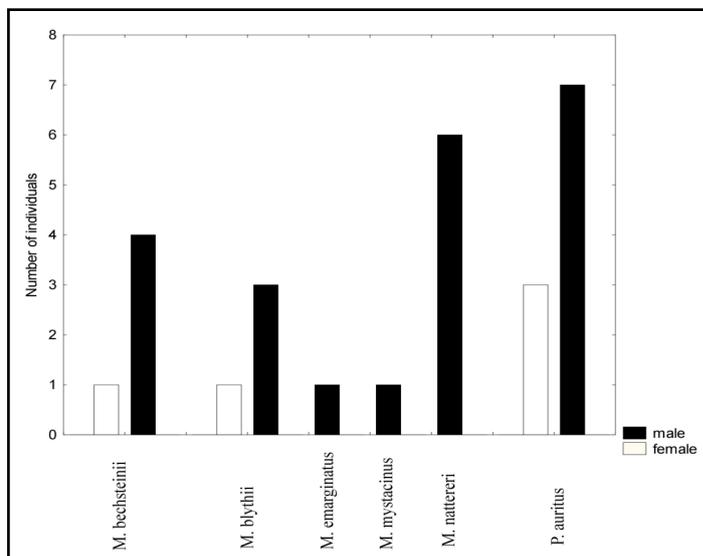


Figure 3. Bar plot showing the sex ratio in bats species caught with mist-net, site 3 (Cave № 30).

Swarming is supposedly important for introducing the juveniles to suitable caves for hibernation (Davis and Hitchcock, 1965; Fenton, 1969; Humphrey and Cope, 1976, Piksa, 2008). It is the latter that can explain the dominance of young individuals, given that most of the potential hibernacula are concentrated in the study area. The subfossil material presented in this study proves that the karst caves are used for hibernation by at least 7 bat species.

A male bias in swarming bats is typical and predicted (Davis and Hitchcock, 1965; Furmankiewicz and Górniak, 2002; Parsons et al., 2003; Rivers et al., 2005; Gottfried, 2009). We registered male bias activity at the entrance of Caves № 30 at 2574 m a. s. l. Swarming sites between 1294 and 1907 m a.s. l on the Carpatian Mts (Piksa, 2008; Piksa et al., 2011), and between 1828 and 2050 m. a. s. l. on the Italian Western Alps (Toffoli 2017) were reported previously. Most of the studies regarding bat activity in the European mountains up to 2500 m. a. s. l. are based on acoustic records (Holzhaidner and Zhan, 2001; Widerin and Reiter, 2017, 18). Therefore, Cave № 30 is the highest swarming location in Europe.

## 5. Conclusions

Our research has shown that the karst landscape in the high parts of the Pirin Mountains, despite the harsh climatic conditions, provides both suitable summer roosts and hibernacula, as well as swarming sites for cave and forest-dwelling bats.

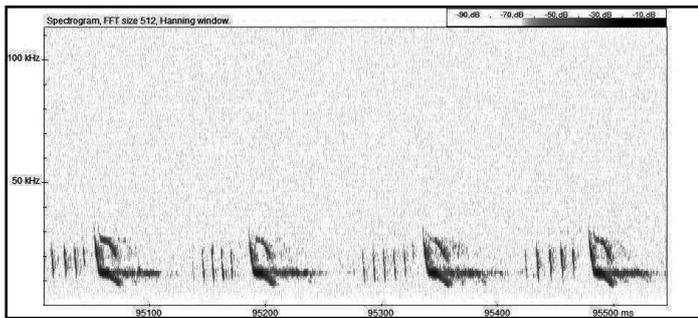


Figure 4. Spectrogram of a typical display song of *Vespertilio murinus*, registered near the cave Cave № 30.

## Acknowledgments

We are grateful to speleo clubs: Akademik, Helictit and Pod RB for their help during the fieldwork. The authors would like to thank Dr. Peter Ostoich (IBER-BAS) for linguistic proofreading of the manuscript. No funding has been received for this study.

## References

- Barclay RMR. 1991. Population structure of temperate zone insectivorous bats in relation to foraging behaviour and energy demand. *Journal of Animal Ecology*, 60, 1–13.
- Benda P, Ivanova T, Horáček I, Hanák V, Červený J, Gaisler J, Gueorguieva A, Petrov B, Vohralík V. 2003. Bats (Mammalia: Chiroptera) of the Eastern Mediterranean. Part 3. Review of bat distribution in Bulgaria. *Acta Societatis Zoologicae Bohemicae*, 67, 245–357.
- Benda P, Ivanova T. 2003. Long-eared bats, genus *Plecotus* (Mammalia: Chiroptera), in Bulgaria: a revision of systematic and distributional status. *Časopis Národního muzea. Řada přírodovědná*, 172, 157–172.
- Beron P. 1999. Biodiversity of the high mountain terrestrial fauna in Bulgaria. *Historia naturalis bulgarica*, 10, 13–33.
- Beron P. 2002. On some owls (Aves: Strigidae) in the high parts of Pirin (SW Bulgaria) and their parasitic flies (Diptera: Hippoboscidae). *Historia naturalis bulgarica*, 15, 147–149.
- Beron P. 2015. *Cave fauna of Bulgaria*. East-West Publishing. ISBN 978-619-152-712-0, 450 p.
- Beshkov V. 1993. Bats. Pp. 631–644. In: Sakalyan M. & Majni K. (eds.). *Programme of Biodiversity Conservation. National Strategy of Protection of Biodiversity. Basic Studies. Volume 1*. Sofia & Washington. NBDCS & BSP, 664 pp (in Bulgarian).
- Beshkov V. 1998. The Bats of Bulgaria. Pp. 453–466. In: Meine C. (ed.): *Bulgaria's Biological Diversity: Conservation Status and Needs Assessment*. Vol. I. and II. Washington: Biodiversity Support Program, 839 pp.
- Buresh I. 1917. Über die Chiropterenfauna Bulgariens. *BAN*. 15: 137–174 (in Bulgarian, German summary).
- Cryan PM, Bogan MA, Altenbach JS. 2000. Effect of elevation on distribution of female bats in the Black Hills, South Dakota. *Journal of Mammalogy*, 81, 719–725.
- Davis WH, Hitchcock H. 1965. Biology and migration of the bat, *Myotis lucifugus*, in New England. *Journal of Mammalogy*, 46, 296–313.
- Delchev P. 2020. *Atlas of the Bulgarian caves, Blagoevgrad district, region 402 Vihrensko-Sinanishki*. Bulgarian Federation of Speleology, 103–285pp. (in Bulgarian).
- Dietz C, von Helversen O. 2004. *Illustrated identification key to the bats of Europe*. Dietz & von Helversen, Electronic Publication. 35p.
- Fenton MB. 1969. Summer activity of *Myotis lucifugus* (Chiroptera: Vespertilionidae) at hibernacula in Ontario and Quebec. *Canadian Journal of Zoology*, 47, 597–602.
- Furmankiewicz J, Górniak J. 2002. Seasonal changes in number and diversity of bat species (Chiroptera) in the Stolec mine (SW Poland). *Przyroda Sudetów Zachodnich (Supplement 2)*, 5, 49–70.
- Furmankiewicz J, Altringham J. 2007. Genetic structure in a swarming brown long-eared bat (*Plecotus auritus*) population: evidence for mating at swarming sites. *Conservation Genetics*, 8, 913–928.
- Gottfried I. 2009. Use of underground hibernacula by the barbastelle (*Barbastella barbastellus*) outside the hibernation season. *Acta Chiropterologica*, 11, 363–373.
- Grindal SD, Morissette JL, Brigham RM. 1999. Concentration of bat activity in riparian habitats over an elevational gradient. *Canadian Journal of Zoology*, 77: 972–977.
- Hall JS, Brenner FJ. 1968. Summer netting of bats at a cave in Pennsylvania. *Journal of Mammalogy*, 49, 779–781.
- Hamilton I M, Barclay RMR. 1994. Patterns of daily torpor and day roost selection by male and female big brown bats (*Eptesicus fuscus*). *Canadian Journal of Zoology*, 72, 744–749.
- Hanák V, Josifov M. 1959. Zur Verbreitung der Fledermäuse Bulgariens. *Säugetierk. Mitt.*, 7, 145–151.
- Holzhaidner J, Zhan A. 2001. Bats in the Bavarian Alps: species composition and utilization of higher altitudes in summer. *Mammalian biology*, 66, 144–154.
- Horáček I, Zima J. 1978. Net-revealed cave visitation and cave-dwelling in European bats. *Folia Zoologica*, 27, 135–148.
- Humphrey SR, Cope JB. 1976. Population ecology of the little brown bat, *Myotis lucifugus*, in Indiana and North-Central Kentucky. *Special Publication of The American Society of Mammalogists*, 81pp.
- Kaňuch P, Křištin A. 2006. Altitudinal distribution of bats in the Poľana Mts area (Central Slovakia). *Biologia, Bratislava*, 61(5), 605–610.
- Kerth G, Kiefer A, Trappmann C, Weishaar M. 2003. High gene diversity at swarming sites suggests hot spots for gene flow in the endangered Bechstein's bat. *Conservation Genetics*, 4, 491–499.
- Kiefer A, Schreiber C, Veith M. 1994. Netzfänge in einem unterirdischen Fledermausquartier in der Eifel (BRD, Rheinland-Pfalz) – Phänologie, Populationschätzung, Verhalten. *Nyctalus (N.F.)*, 5, 302–318.

- Kovachev VT. 1925. Mammal Fauna of Bulgaria. Trud. Balg. Zemed.-Stopan. Inst. (Sofia), 11, 1–68 (in Bulgarian).
- Lichkov I, Delchev P. 2002. Pirin. Caves and chasms. Iskar EOOD press. Sofia, 70 pp. (in Bulgarian).
- Pandurska RS. 1992. Second record of *Tadarida teniotis* Rafinesque, 1814 (Chiroptera, Molossidae) from Bulgaria. *Acta Zoologica Bulgarica*, 45, 102–103.
- Pandurska RS, Beshkov VA. 1998. Bats (Chiroptera) of high mountains of southern Bulgaria. 135– 140. In: Carbonnel J.-P. & Stamenov I. N. (eds.): Observatoire de montagne de Moussala. Symposium international, octobre 1997, Borovetz. Sofia.
- Parsons KN, Jones G, Greenaway F. 2003. Swarming activity of temperate zone microchiropteran bats: effects of sea son, time of night and weather conditions. *Journal of Zoology* (London), 261, 257–264.
- Piksa K, Bogdanowicz B, Tereba A. 2011. Swarming of bats at different elevations in the Carpathian Mountains. *Acta Chiropterologica*, 13(1), 113–122
- Piksa K. 2008. Swarming of *Myotis mystacinus* and other bat species at high elevation in the Tatra Mountains, southern Poland. *Acta Chiropterologica*, 10, 69–79.
- Popov VV. 2018. Bats in Bulgaria: Patterns of species distribution richness rarity and vulnerability derived from distribution models. Pp. In H. Mikkola (Ed.) *Bats* Intechopen ISBN 978-1-78923-399-5.
- Rivers N, Butlin RK, Altringham J. D. 2005. Genetic population structure of Natterer's bats explained by mating at swarming sites and philopatry. *Molecular Ecology*, 14, 4299–4312.
- Senior P, Butlin RK, Altringham JD. 2005. Sex and segregation in temperate bats. *Proceedings of the Royal Society of London*, 272, 2467–2473.
- Russo DL. 2002. Elevation affects the distribution of the two sexes in Daubenton's bats *Myotis daubentonii* (Chiroptera: Vespertilionidae) from Italy. *Mammalia*, 66(4), 543-551.
- Toffoli R. 2017. Elevation record for *Myotis daubentonii* (Kühl, 1817) in the Italian Western Alps (Mammalia Chiroptera Vespertilionidae). *Biodiversity Journal*, 8 (4), 881–884.
- Veith M, Kiefer A, Johannesen J, Seitz A. 2004. The role of swarming sites for maintaining gene flow in the brown long-eared bat (*Plecotus auritus*). *Heredity*, 93, 342–349.
- Widerin K, Reiter G. 2017. Bat activity at high altitudes in the Central Alps, Europe. *Acta Chiropterologica*, 19, 379–387.
- Widerin K, Reiter G. 2018. Bat activity and bat migration at the elevation above 3,000 m at Hoher Sonnblick massif in the Central Alps, Austria (Chiroptera). *Lynx*, n. s. (Praha), 49: 223–242.

# НОВ ВИД ОТ РОД *NIPHARGUS* (AMPHIPODA: CRUSTACEA), НАМЕРЕН ВЪВ ВОДНА ГАЛЕРИЯ ПОД ДВОРА НА МАНАСТИР „СВЕТИ ГЕОРГИ ЗОГРАФ“, АТОН, ГЪРЦИЯ

Любомир Кендеров

Биологически факултет на Софийски университет „Свети Климент Охридски“,  
Булевард Драган Цанков № 8, 1164 София, България, lubomir.kenderov@gmail.com

## Abstract

**A new species of the genus *Niphargus* ( Amphipoda : Crustacea ) found in a water gallery under the courtyard of the Monastery of Saint George , Athens , Greece**

A new species of subterranean crustacean of the genus *Niphargus* (order Amphipoda) has been discovered. The species was found in a water intake gallery, located under the courtyard of the Bulgarian monastery "St. Georgi Zograf", Athos Peninsula, Greece. This is the twenty-second species of the genus described from Greece. It is easily distinguished from other species by its very long seventh pereopods (PVII). The species will be named in honor of the monastery – *Niphargus zographi* n.sp.

## Key words

подземна фауна, род *Niphargus*, нов вид, полуостров Атон, Гърция.

## 1. Въведение

Безгръбначните, обитаващи подземните води на Европа – пещерни и грунтови, са представени основно от ракообразните (разреди Amphipoda, Isopoda, Syncarida) и водните акари (подразред Hydrachnidia и други). От амфиподите, с впечатляващо разнообразие се откроява род *Niphargus*, досега известен с 419 вида, от които над 110 са описани след 2000-та година (Horton et al. 2023).

Първият описан вид в Гърция е *N. graecus* Karaman S., 1934, намерен в извори до Акрокоринт, Централна Гърция (Karaman, 2017). Досега са описани 21 вида от род *Niphargus* или общо 23 вида от семейство Niphargidae (Ntakis et al. 2020). Те имат следното специфично разпространение: **a)** широко разпространени – два вида, намирани в Гърция и Северна Македония; **b)** локални ендемити от о-в Крит – пет вида; **c)** локални ендемити от островите на Егейско море (Самотраки, Родос, Скирос, Тасос) – пет вида; **d)** локални ендемити от островите на Егейско море (Кефалония) – един вид; **e)** намерени в континентална Гърция и някои острови – четири вида; **f)** намирани само в континентална Гърция и Пелопонес – шест вида.

В настоящото съобщение се дава информация за нов вид от род *Niphargus*, открит в континенталната част на Гърция, Халкидически полуостров, Света гора. Видът е намерен в подземна канална система на българския манастир „Св. Георги Зограф“.

## 2. Геология на района

Полуостров Атон е източният ръкав на полуостров Халкидики в Централна Македония, Гърция, вдаден на 50 km в Егейско море.

В регионален план е част от Вътрешните Хелениди в Северна Гърция, които формират кристалната подложка на хинтерланда на Алпийския ороген. Вътрешните Хелениди са изградени от скалите на три основни комплекса: Пелагонийската зона на запад, Сръбско-Македонския масив в централните части и Родопския масив на изток. Полуостров Атон е най-югоизточната част на Сръбско-Македонския

масив, представен от две единици: Kerdillion (или Kerdyllion) на изток и единицата Vertiskos на запад.

Полуостровът е изграден предимно от три основни групи скали: **1)** в източната част се разкриват мигматизирани биотитови гнайси на единицата Kerdillion; **2)** в най-северозападната и южна част – Athos-Volvi сутурната зона, която представлява офиолитова меланж зона, изградена основно от ултрамафични и мафични скали, мрамори, метаседименти и гнайси, на места покрити от неогенски седименти и **3)** гранитните интрузиви Ouranopolis на северозапад (към гр. Уранополи) и Gregoioi на изток (към манастир Григориат) с възраст Горна Креда до Ранен Терциер, внедрени в метаморфната подложка (гнайси) (Himmerkus et al. 2012).

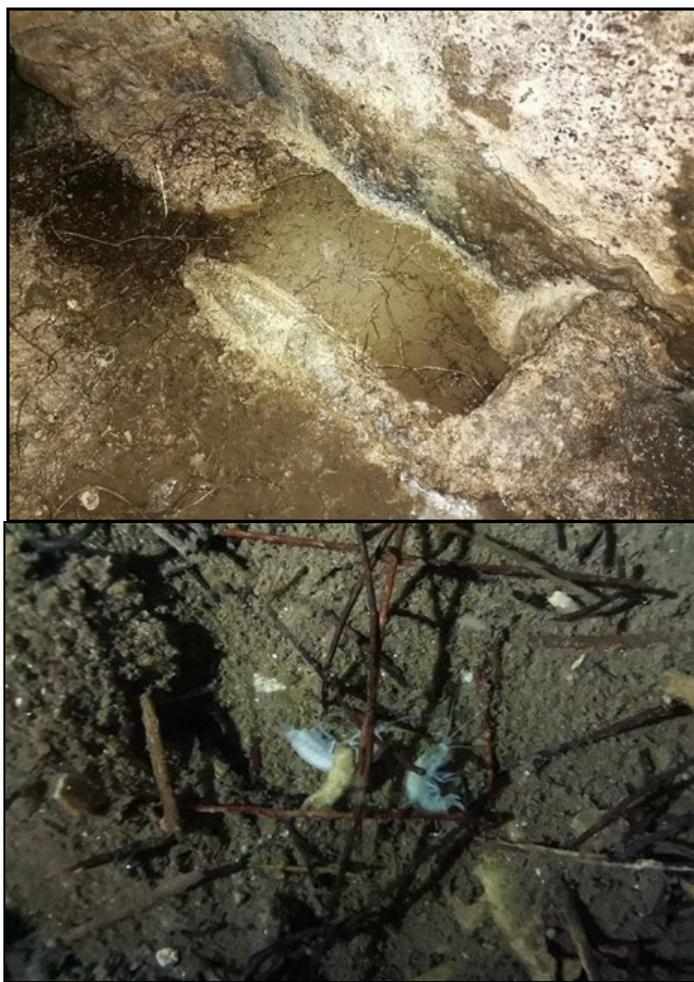
На отделни места в мраморите се осъществяват карстови процеси с образуване на пещери с тектонско-корозионен произход (Zhalov & Stamenova, 2013; Zhalov et al. 2014).

Българският православен манастир „Св. Георги Зограф“ се разполага сред триаски мрамори, които заедно с амфиболити са част от пластична зона на срязване на границата между гранитите Ouranopolis и гнайсите на единицата Kerdillion (Himmerkus et al. 2012; Neofotistos et al. 2019).

## 3. Материали и методи

Видът е открит в извор, изтичащ в подземна канална система, преминаваща под двора на българския манастир „Св. Георги Зограф“, Света гора, полуостров Атон, Гърция (С.Ш. 40°18'21.33", И.Д. 24° 9'36.40"). Изворът е с незабележим дебит, дъното е постлано с глинесто-тинест субстрат, срещат се много остатъци от растения или коренови разклонения (Фигура 1). Каналната система вероятно е служила за водоснабдяване на резервоар за питейна вода или за отводняване на дъждовни води (Zhalov et al. 2017; Zhalov & Stoichkov, 2019). Индивидите са събрани от спелеолозите А. Жалов и К. Стоичков по време на експедиции, проведени през април 2017 г. и май 2018 г. и от автора през май 2023 г. Общо са събрани 35 по-едри индивиди, които са съхранени в 70 % етанолов разтвор. За морфологичното описание на вида е използван микроскоп Karl Zeiss – Amplitval с прикачена рисувателна камера или фотокамера Nexio. Няколко индивиди са отпрепарирани в глицерин, оцветени в Хлоразол

черно и след това монтирани на трайни препарати с Еозин. Препаратите са депозираны в колекциите на катедра „Обща и приложна хидробиология“ към БФ на СУ.



Измерените показатели на подземните води (Таблица 1) показват, че основната (лява) част на каналната система дренира води с по-различен произход от тези, захранващи извора, в който са намерени индивидите *Niphargus*. Вероятно произходът на водите в участъка с намерени индивиди е пряко подземен, докато водите в основния канал са повлияни от повърхността, изразяващо се в повишена температура (загриване) и по-високо кислородно съдържание (аерация). Според тези показатели, местообитанието дава добри условия за развитие на индивидите *Niphargus*.

#### 4.2. Морфологично описание на вида

Тялото е удължено, фино и стройно (фиг. 2). Най-забележителната черта на вида е дължината на шестата и особено седмата двойка переоподи – те са много по-дълги от останалите ходилни крайници. Антени I са по-дълги от антени II, но не достигат до 1/2 от дължината на тялото. Гнатоподите са относително добре развити и са по-големи при мъжките индивиди. Ходилните крайници (переоподи III - VII) са характерни със слабо очетиняване. Переоподи III и IV са почти еднакви. Техните базиподити са относително тесни, носещи 4-6 много дълги четинки в горната част на постериорния ръб. Базиподитите на переоподи V-VII са широки, носят около десетина къси четинки на постериорния ръб. Екзоподитът и ендоподитът на уropод I са снабдени с по 4-5 шипове на дисталните си краища. Педункулът е по-дълъг от придатъците (съотношение 1:0,8). Уropод II забележимо по-малък, носещ също по 4-5 шипове на дисталния край на придатъците. Педункулът е по-къс от придатъците. Третите уropоди са силно развити при мъжките – над 1/3 от дължината на цялото тяло. Последният сегмент на екзоподита е двукратно по-къс от предходния.

Фигура 1. Подземният извор в каналната система под двора на манастир „Св. Георги Зограф“: горе- общ вид; долу – макро снимка на местообитанието, виждат се няколко индивида, растителни остатъци/коренища и тинесто дъно.



Фигура 2. Външен вид (хабитус) на *Niphargus n.sp.* от Атон. Прави впечатление силното развитие на переоподи VI и VII.

Измерени са физични и хидрохимични показатели на подземните води с помощта на портативни уреди WTW (оксиметър и кондуктометър). Измерванията са извършени на 18 май 2023 г. в три точки на подземния канал, включително в изворната част, в която са намерени индивидите.

### 4. Резултати

#### 4.1. Физични и хидрохимични показатели на подземните води

Показател	Извор – начало на десен канал	Десен, преди сливане с основния	Основен (ляв) канал
O <sub>2</sub> , mg.dm <sup>-3</sup>	5,7	6,3	7,4
O <sub>2</sub> , %	56	56	76
Електропроводимост, μS/Cm <sup>-1</sup>	654	653	645
Температура, °C	14,3	14,3	15,5

### 5. Дискусия

Видообразуването в подземните водни местообитания е пряко свързано с географското положение, климата и най-вече с геоложката история на района. Семейство Niphargidae е едно от най-големите в групата на сладководните амфиподи (Horton et al. 2023). Те са характерни с високо ниво на ендемизъм, особено в карстовите системи на Европа.

Геоложката обстановка на полуостров Атон (преобладаване на гнайси и гранити) не е благоприятна за развитие на пещерни системи или грунтови водни басейни, в които да се развиват представители на подземната водна фауна. От дру-

Таблица 1. Физични и хидрохимични показатели на подземните води, измерени на 18.05.2023 г. в каналната система под двора на манастир „Св. Георги Зограф“.

га страна минералогията и химизмът на скалите в относително малкия участък, представен от триаски рекристаллизирани варовици – мрамори (около 11 x 2 km според Zhalov et al. 2014) около манастир „Св. Георги Зограф“, са предпоставка за съществуването на откритият нов вид – *Niphargus zographi*.

Въпреки че в Гърция има екорегии, характерни с повече видове нифаргиди (например о-в Крит – 6 вида), в целия екорегии „Тракия“, където попада и полуостров Атон, до този момент бяха известни само два – *N. aitolosi* Ntakis, Anastasiadou, Zakšek & Fišer, 2015 и *N. adei* S. Karaman, 1934 (Ntakis et al. 2020). Намирането на нов вид повишава консервационната значимост на подземните местообитания и допълва данните за биоразнообразието в тях.

## Благодарности

Авторът изказва своите сърдечни благодарности на спелеолозите Алексей Жалов (Българско пещерно дружество) и Константин Стоичков (Пещерен клуб Хеликтит) за предоставените материали от експедициите през 2017 и 2018 година, част от дългогодишния международен проект „Изследвания на пещерите от Света гора, Атон, Гърция“. Благодарност на гл. ас. д-р Ралица Събева, ГГФ на СУ, за текста, свързан с геологията на района. Специална благодарност към монашеското братство на българския манастир „Св. Георги Зограф“ и персонално към първият епитроп на манастира, йеромонах Гавриил.

## Библиография

- Himmerkus F, Zachariadis P, Reischmann T, Kostopoulos D, 2012. The basement of the Mount Athos peninsula, northern Greece: insights from geochemistry and zircon ages. *Int J Earth Sci (Geol Rundsch)* 101, 1467-1485.
- Horton T, Lowry J, De Broyer C, Bellan-Santini D, Copila-Ciocianu D, Corbari L, Costello M.J, Daneliya M, Dauvin J.-C, Fišer C, Gasca R., Grabowski M, Guerra-García J.M, Hendrycks E, Hughes L, Jaume D, Jazdzewski K, Kim Y-H, King R., Krapp-Schickel T, LeCroy S, Lörz A-N, Mamos T, Senna AR, Serejo C, Souza-Filho JF, Tandberg AH, Thomas JD, Thurston M, Vader W, Väinölä R, Vonk R, White K, Zeidler W, 2023. World Amphipoda Database. *Niphargus* Schiödte, 1849. Accessed through: World Register of Marine Species at: <https://www.marinespecies.org/aphia.php?p=taxdetails&id=545672> on 2023-08-10
- Karaman G, 2017. *Niphargus graecus* S. Karaman, 1934 (Fam. Niphargidae), poorly known species from Greece (Contribution to the Knowledge of the Amphipoda 301). *Biologia Serbica*, 40 (2): 3-17.
- Neofotistos PG, Tranos MD, Heilbronner R, 2019. Geology and deformation of the Serbo Macedonian Massif in the northern part of the Athos peninsula, Northern Greece: Insights from Two detailed Cross-sections. *Bulletin Geological Society of Greece*, 56, 167-186.
- Ntakis A, Karaouzas I, Fišer C, Stoch F, 2020. An annotated checklist of the Niphargidae (Crustacea: Amphipoda) of Greece. *Zootaxa* 4772 (3) 517-544.
- Zhalov A, Gyorev V, Stamenova M, Stoichkov C, 2014. The caves in the vicinity of Bulgarian monastery “St. Georgy Zograf” – Holly Mt., Athos, Greece. *Proceedings of Balkan Speleological Conference. Sofia, Bulgaria, 28 – 30 March.* 55- 60.
- Zhalov A, Stamenova M, 2013. Premier exploration of the caves of holy mt. Athos, Greece. *Proceedings of the 16<sup>th</sup> International congress of biospeleology. Brno. Czech republic.* 2. 156-160.
- Zhalov A, Stoichkov K, 2019. Water intakes and sewage facilities of Bulgarian St. George the Zograf monastery in mount Athos, Greece. *Hypogea 2019. Proceedings of International congress of speleology and artificial cavities – Dobrich, May 20-25.* 149-153.
- Zhalov A, Stoichkov K, Kirov A, 2017. The caves of Mount Athos (Greece). Brief review of the 6 and 7 international speleoexpedition in 2017. *Speleology and speleology. Collection of materials of the VIII International Scientific Conference. - Naberezhnye Chelny, 272- 278.*

## НЕТУБЕРКУЛОЗНИ МИКОБАКТЕРИИ В БЪЛГАРСКИТЕ ПЕЩЕРИ

Юлияна Атанасова<sup>1</sup>, Райна Антова<sup>2</sup>, Станислава Йорданова<sup>1</sup>, Славей Костадинова<sup>2</sup>, Десислава Серкеджијева<sup>2</sup>, Ирина Лазаркевич<sup>3</sup>, Радослава Емилова<sup>1</sup>

<sup>1</sup> - Национален център по заразни и паразитни болести, София, България,

<sup>2</sup> - Софийски Университет „Св. Кл. Охридски, Биологически факултет, София, България; Спелео клуб „Хеликтит“

<sup>3</sup> – Институт по Микробиология „Стефан Ангелов“, БАН, Спелео клуб „Хеликтит“

## NONTUBERCULOUS MYCOBACTERIA DIVERSITY IN BULGARIAN CAVES

Yuliana Atanasova<sup>1-a</sup>, Rayna Antova<sup>2</sup>, Stanislava Yordanova<sup>1-a</sup>, Slaveya Kostadinova<sup>2</sup>, Desislava Serkedzhieva<sup>2</sup>, Irina Lazarkevich<sup>3</sup>, Radoslava Emilova<sup>1-b</sup>

<sup>1-a</sup> National Center of Infectious and Parasitic Diseases; National Reference Laboratory of Tuberculosis, Department of Microbiology, 44A Stoletoy Blvd, 1233 Sofia, Bulgaria

<sup>1-b</sup> National Center of Infectious and Parasitic Diseases; National Reference Laboratory of Immunology, Immunology Department, 26 Yanko Sakasov Blvd, 1000 Sofia, Bulgaria, Speleo Club „Helictit“

<sup>2</sup> Sofia University “St Kliment Ohridski”, Faculty of Biology, Sofia, Bulgaria, Speleo Club „Helictit“

<sup>3</sup> Institute of Microbiology “Stephan Angeloff”, Bulgarian Academy of Sciences

Correspondence: ulianaassenova@gmail.com

### Abstract:

Nontuberculous mycobacteria (NTM) are free-living organisms with the potential to cause opportunistic infections. Climate changes are associated with variation in the amplitudes of ambient and water temperature, as well as changes in the amount of precipitation, which play an essential role in the creation of reservoirs of some types of NTM in the environment. Their distribution in the Bulgarian caves is poorly studied. There is no up-to-date information on the presence, diversity and importance of NTM in spring, karst water and on seasonal changes in the mycobacterial composition.

Our aim is to improve the understanding of the specific environmental predictors leading to the spread of NTM in the country. Implementing techniques to optimize the methods for successful isolation of NTM and identification through molecular genetic methods and MALDI-TOF.

A total of 211 samples (karst water, soil, bat guano) were collected in some caves from 203 Vratsa Karst area, 204 Ponor Karst area and 303 - Karst and caves in Bosnek region. We identified 15 (7%) NTM from collected materials. The diversity of NTM includes: *M. chelonae* (n=2), *M. intermedium* (n=2), *M. szulgai* (n=2), *M. fortuitum* group (n=3), mix culture with *M. fortuitum* group (n=4), *M. terrae* complex (n=1), *Mycobacterium sp.* (n=1). Species from rapidly growing NTM (*M. chelonae*, *M. fortuitum* group) are the most common. The isolates belong to group of environmental saprophytes (Risk group 1) and potential pathogens (Risk group 2). Primary isolation of mycobacteria by Löwenstein–Jensen at room temperature was more successful than the one on liquid media at 37°C.

### Keywords

Nontuberculous Mycobacteria, geographical diversity, Bulgarian caves.

### 1. Въведение

Род *Mycobacterium* включва представителите на туберкулозните, нетуберкулозните микобактерии и причинителя на проказата. Нетуберкулозните микобактерии (НТМ) са над 190 вида и са най-бързо увеличаващата се група от рода. Те са нововъзникващи патогени, причиняващи опортюнистични инфекции при хора и животни.

През последните години в световен мащаб се отчита рязко увеличаване честотата на заболяванията причинени от тези микроорганизми, главно сред отрицателни за ХИВ пациен-

ти, с акцент върху пациенти с хронични белодробни инфекции, които представляват до 90% от случаите. Те също така са причина за заболявания на централната нервна система, инфекции на кожата/меките тъкани при деца и възрастни, особено пациенти с имунокомпрометирани състояния (1).

НТМ са широко разпространени във всички екологични ниши, както естествени така и изкуствени, в които успешно се размножават или колонизират живи организми. Чрез способността да изграждат биофилм са повсеместно разпространени във влажни и заблатени местообитания, в създадените от човек системи за водоснабдяване с питейна и топла

вода, които са едни от основните пътищата за експозиция на НТМ. Инфекцията, предизвикана от НТМ, се нарича микобактериоза и се оценява като сериозно инфекциозно заболяване. Заразяването става главно чрез вдишване, поглъщане или през наранена повърхност по въздушен или воден път.

Причина за широкото им разпространение са характеристиките на НТМ. Те са с устойчивост на дезинфектанти и антибиотици, оцеляват в олиготрофни условия и персистиращи в амеби и протозои. Климатичните промени се свързват с промени на амплитудите на температурата на околната среда и водата, както и на промени в количеството валежи. Те играят съществена роля за създаването на резервоари на някои видове НТМ в околната среда. Слабо е проучено наличието на НТМ в околната среда на България. Изследване, проведено през 2015 г., не установява НТМ във водите на язовир Искър и в Черно море (2). Чешки екип от Mendel University in Brno (MENDELU) без българско участие сред изследователите, анализира гуано от прилепи в осем европейски страни - Чехия, Франция, Унгария, Италия, Румъния, Словакия, Словения включително и България, където в осем от българските проби се изолират представители на НТМ (3).

Тези проучвания и публикациите по тях не изясняват ситуацията и въпросът за първичните източници на НТМ в околната среда на страната остава неразкрит. Изследването и търсенето на НТМ в пещерен биофилм и карстови води е важно, защото тези местообитания играят роля като определящи фактори на надземната и подземната среда, а водата е основният източник за разпространение на НТМ (4).

В България карстовите зони заемат 22,7% от територията на страната като до сега са открити около 5100 пещери (5). Те предлагат уникална среда за живот - специфичен микроклимат (почти постоянна температура и влажност), ограничена или напълно липсваща дневна светлина (5). Пещерите са самостоятелен и цялостен еколого-географски ареал, в който се установява динамично равновесие при уникални условия, при които пещерните и надземните структури са взаимосвързани и силно взаимно се повлияват. Стабилните условия на дълбоките тъмни пещерни зони разкриват голямо разнообразие от бактерии, водорасли и гъбички, живеещи по каменните стени и спелеотеми, в седиментите и временните локви. Адаптационните механизми, използвани от обитаващите пещери микроорганизми, необходими за тяхното оцеляване са сложни, затова често се акцентира върху потенциала им за влияние върху хората и значението им за човешкото здраве.

## 2. Цел и задачи

Целта е да се открият екологични източници на някои клинично значими видове НТМ в пещерен биофилм и карстови водоизточници в България. Това ще повлияе разбирането за разпространението им в страната, като ще доведе до по-ефективно намаляване на експозицията на предразположените индивиди, което представлява един от най-надеждните начини за предотвратяване на развитие на микобактериоза в момента.

## 3. Материали и методи

От пещери в карстовите райони: 203 – Враца, 204 - Понор и 303 – Боснек са събрани общо 211 материала (вода, почва, седимент, биофилми, гуано).

Колекцията на материали от околната среда е осъществена в стерилни контейнери, а материалите от биофилм се събират чрез стерилни тампони. Изискванията към материала включ-

ват: 5 гр почва събрана на поне 3 см дълбочина от повърхността; или 50 мл вода. Поставят в чисти прозрачни самозатварящи се пликове, надеждно се надписват и се означава мястото на пробовземане. Съхраняват се в хладилни условия на +6° С до 48 ч. преди процедурата по микробиологична обработката.

Всички проби се подлагат на деконтаминация с цел унищожаване на съпътстващата микрофлора от бактерии и гъбички, хомогенизират се и се инокулират на специфична течна и твърда хранителна среда (MGIT -Mycobacteria Growth Indicator Tube и среда на яйчна основа - Löwenstein-Jensen). Инкубацията е 76 дена при различни температури: от 30°С и 37°С с непрекъснато наблюдение за откриване на бързорастящи НТМ. При видим растеж се правят микроскопски препарати, които се оцветят по техниката Ziehl-Nielsen за откриване на киселиноустойчиви бактерии (КУБ). След потвърждаване на наличие на КУБ, се извършва фенотипно, биохимично, имунохроматографско и молекулярно генетично определяне на изолатите. Използвани са тестове Geno Type® Mycobacterium CM и AS (Hain Lifescience GmbH, Nehren, Germany) (PCR тестове, известни като LPA, базирани на ДНК стрип технология). Позволяват идентификация на най-разпространените и имащи отношение към човешката патология НТМ. Осъществяват се след ДНК изолация от чиста култура, с последваща амплификация на ген 23S rPНК и обратна хибридизация към специфични олигонуклеотиди, имобилизирани на мембранен стрип. Редки видове, които са извън обхвата на молекулярно-генетичния тест, бяха идентифицирани чрез MALDI-TOF.

## 4. Резултати и дискусия

Проучването стартира през януари 2023г., като за краткия период от началото на година са събрани, обработени и анализирани 211 пещерни проби. От тях са изолирани 15 (7%) щамове НТМ представени на **Таблица 1**.

Преобладаващия брой НТМ са идентифицирани от гуано на прилеп – 80% (n=12), другите положителни за НТМ материали са: вода, седимент и глина – всеки от тях 6,66% (n=1).

Преобладават положителните за НТМ материали от изследваните пещери в райони: 203 – Враца 73% (n=11), 204 - Понор – 20% (n=3) и 7% (n=1) за район 303 – Боснек.

Микобактериалното видово разнообразие идентифицирано в изследваните проби включва: *M. chelonae* (n=2), *M. intermedium* (n=2), *M. szulgai* (n=2), *M. fortuitum* group (n=3), смесена култура *M. fortuitum* group (n=4), *M. terrae* complex (n=1), като принадлежат към род *Mycobacterium* без възможност за по-точна идентификация чрез използваните тестове е определен един вид. Изолирането на чиста култура НТМ от материали от околна среда е сериозно предизвикателство. Пробите от естествени местообитания са богати на хранителна среда за изолация и температура за инкубация.

Използваният от нас метод на деконтаминация е адаптация на Parashar D. (7). Водните проби се концентрират преди деконтаминацията, а почвените се разтварят в 20 мл стерилна дестилирана вода. Процедурата е двустепенна, като се използва 4% NaOH за 20 мин. и 5% оксалова киселина за 30 мин. Така обработеният материал се инокулира на по две епруветки течна и твърда хранителна среда съответно MGIT и Löwenstein-Jensen, които се култивират паралелно на тъмно на стайна температура и на 37°С. След като се забележи растеж, се прави микроскопски препарат по Ziehl Neelsen, а положителните за КУБ

Място на пробовземане	Брой НТМ изолати	Вид НТМ
Дупката под асфалта с. Боснек, общ. Перник	1	<i>M. fortuitum</i> group
Вражите дупки 2431 ВД№9 общ. Своге	1	смесена култура от <i>M. chelonae</i> и <i>M. fortuitum</i> group
Душанка с. Искрец, общ. Своге	2	род <i>Mycobacterium</i> – (n=1) <i>M. terrae</i> –(n=1)
Свинската дупка, общ. Своге	11	<i>M. intermedium</i> – (n=3) <i>M. szulgai</i> – (n=2) <i>M. fortuitum</i> group смесена култура – (n=3) <i>M. fortuitum</i> group – (n=2) <i>M. chelonae</i> – (n=1)

Таблица 1 Разпределение на изолираните видове НТМ по находища..

неспецифична бактериална флора. Наличието на контаминиращи спорообразуващи бактерии и плесени, разрушава хранителната среда за кратко време, подтиска или маскира растежа на НТМ. Това налага необходимостта бактериите и гъбичките да бъдат унищожени, за да се създадат подходящи условия, наличните НТМ да образуват видими колонии. Използват се процедури, осигуряващи хомогенизация и деконтаминация на събраните материали. Целта на хомогенизацията е да се освободят бактериите от мукуса, клетките или тъканите в които са инфилтрирани. Деконтаминацията се основава на високата резистентност на микобактериите към киселини и основи. Техниките за тези практики са успешно установени за клиничен материал, но при работа с проби от околна среда трябва да се вземат предвид различни променливи в зависимост от условията и вида на обработвания материал. Те могат да причиняват загуба до 70% от целевите НТМ от всяка проба, което би довело до подценяване на количеството и видовото разнообразие на НТМ и евентуално до невъзможност за изолиране на щамове, защото биха могли да бъдат чувствителни към обеззаразяващите агенти. (6) . Според Kazda et al. 2009 (6) условията за успешно култивиране на екологични НТМ не са напълни известни. Поради тази причина за *in vitro* изолацията им е наложително да се подберат и използват подходящи: процедура по деконтаминация, хранителна среда за изолация и температура за инкубация.

Използваният от нас метод на деконтаминация е адаптация на Parashar D. (7). Водните проби се концентрират преди деконтаминацията, а почвените се разтварят в 20 мл стерилна дестилирана вода. Процедурата е двустепенна, като се използва 4% NaOH за 20 мин. и 5% оксалова киселина за 30 мин. Така обработеният материал се инокулира на по две епруветки течна и твърда хранителна среда съответно MGIT и Löwenstein–Jensen, които се култивират паралелно на тъмно на стайна температура и на 37°C. След като се забележи растеж, се прави микроскопски препарат по Ziehl Neelsen, а положителните за КУБ култури се субкултивират на Löwenstein–Jensen и се използват за фенотипна, имунохроматографска и молекулярно генетична идентификация. Обикновено за бързорастящите НТМ необходимото време за растеж е в рамките на седмица до 10 дни, докато бавнорастящите образуват видими колонии често след месец (8). Поради тази причина е важно и ясното и точно разграничаване на специфичния растеж от контаминантите.

Много ограничени са проучванията с цел детекция на НТМ в пещери. (9, 10). Според литературни данни най-често изо-

лираните НТМ от пещерни води и седименти са видовете - *M. avium*, *M. mucogenicum*, *M. chelonae* и *M. fortuitum* (11). Тези данни съвпадат с установеното от нас видово разнообразие според което сред изолатите преобладават бързорастящите НТМ.

## 5. Заключение

Нашето проучване доказва, че НТМ са разпространени в естествени местообитания в страната и че тяхното видово разнообразие е съпоставимо с най-често изолираните НТМ видове в Европа. Присъствието на НТМ в пещерните екосистеми представляват потенциален източник на заразяване на човек. Успешно приложихме работещ протокол за деконтаминация и изолиране на НТМ видовете от околна среда. За първи път в страната се характеризират видовете НТМ изолирани от пещерен биофилм и карстови води и да се анализира географското им разпространение, като се картират най-често изолираните НТМ по местообитания.

Предстои уточняване видовата идентификация на изолираните НТМ чрез цялостно геномно секвеноране. Получените от нас резултати ще формират базата данни с цел проследяване на тенденцията на разпространение на НТМ в страната и определяне на тяхното клинично значение.

## Благодарности

Проучването е осъществено с подкрепата на Фонд научни изследвания, проект: КП-06-М61/15.12.2022. Авторите на статията изказват благодарности на доброволците от ПК „Хеликтит“ – Константин Стоичков за предоставянето на карти, планирането на местата за пробовземане и осигуряването на безопасна работа в пещерите, както на Никола Станчев и за участие в пробовземането и осигуряването на безопасна работа в пещерите.

## Библиография

- Falkinham J. O. 3rd. 2009 Surrounded by mycobacteria: nontuberculous mycobacteria in the human environment. *J Appl Microbiol* 2009; 107 (2):356-367.
- Panaiotov S., I. Simeonovski, V. Levterova, V. Karamfilov, N. Brankova, K. Tankova, K. Campbell, P. Jacob, K. Helmi, Bas Boots, E. D'Ugo, S. Marcheggiani, L. Mancini, U. Breitenbach, E. Mielke and T. Kantardjiev. (2015). Two-Year Monitoring of Water Samples from Dam of Iskar and the Black Sea, Bulgaria, by Molecular Analysis: Focus on *Mycobacterium* spp., Academic Editor: Paul B. Tchounwou, *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2015, 12(7), 7430-7443;

- <https://doi.org/10.3390/ijerph120707430>, Received: 25 March 2015 / Revised: 18 June 2015 / Accepted: 23 June 2015 / Published: 30 June 2015.
- Pavlik, I.; Ulmann, V.; Modra, H.; Gersl, M.; Rantova, B.; Zukal, J.; Zuka-lova, K.; Konecny, O.; Kana, V.; Kubalek, P.; et al. (2021). Nontubercu-lous Mycobacteria Prevalence in Bats' Guano from Caves and Attics of Buildings Studied by Culture and qPCR Examinations. *Microorgan-isms* 2021, 9, 2236. <https://doi.org/10.3390/microorganisms9112236>.
- Goslee, S., and E. Wolinsky. , 1976. Water as a source of potentially path-ogenic mycobacteria. *Am. Rev. Respir. Dis.* 113:287-292.
- Велчев, А. , 2016 Карст и карстови ландшафти (Избрани трудове), изд. „Ивис“ В. Търново.
- Kazda J, Pavlik I, Falkinham JO, Hruska K (eds) , 2009: *The Ecology of Mycobacteria: Impact on Animal's and Human's Health*. 1st edn. Springer, New York. 520 p.
- Parashar D, Chauhan DS, Sharma VD, Chauhan A, Chauhan SV, Katoch VM. Optimization of Procedures for Isolation of Mycobacteria from Soil and Water Samples Obtained in Northern India. *Appl Environ Microbiol* 2004;70:3751-3
- Wayne LG, Kubica GP, 1986: Genus Mycobacterium Lehmann and Neu-mann 1896, 363AL. In: Sneath PHA, Mair NS, Sharpe ME, Holt JG (eds.): *Bergey's Manual of Systematic Bacteriology*. The Williams and Wilkins Co., Baltimore. 1436–1457.
- Breitbart M, Hoare A, Nitti A, Siefert J, Haynes M, Dinsdale E, Edwards R, Souza V, Rohwer F, Hollander D, 2009: Metagenomic and stable isotopic analyses of modern freshwater microbialites in Cuatro Ciene-gas, Mexico. *Environmental Microbiology* 11, 16–34
- De Mandal S, Panda AK, Lalnunmawii E, Bisht SS, Kumar NS (2015a): Illumina-based analysis of bacterial community in Khuangcherapuk Cave of Mizoram, Northeast India. *Genome Data* 5, 13–14
- TC Covert, MR Rodgers, AL Reyes, GN Stelma Jr., 1999. Occurrence of nontuberculous mycobacteria in environmental samples *Appl Environ Microbiol*, 65 (1999), pp. 2492-2496.

# BATS AND MEN – SHARING LIFE UNDER ONE ROOF

Rashid Rashid<sup>1</sup>, Svetla Todorova<sup>2</sup>, Mariela Karapalvlova<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup>Science for Nature Foundation 1510 Sofia, Bulgaria, info@sciencefornature.org

## Abstract

Bats and men – sharing LIFE under one roof is a LIFE Program project of EU. The aim of the project is to improve the conservation status of nine bat species listed in the Habitats Directive (Annexes II and IV), in eight key Natura 2000 network sites in Bulgaria. The project will enhance and maintain bat habitats for breeding, hibernating, roosting and foraging, and will address the threat of disturbance during the most sensitive lifecycle stages. Project actions include placing bat houses and bricks to increase roosting opportunities, restoring livestock watering places to benefit foraging bats, and guarding bat colonies during sensitive breeding and hibernation periods. The project aims to raise public awareness, positively change attitudes towards bats, build capacity for bat protection by involving more professional and volunteer conservationists, and highlight the economic benefits of bats for insect pest control. It will also produce an inventory containing up-to-date information on the population status of bat species and their habitats.

## Keywords

conservation, bats, project, life under one roof

## 1. Introduction

The Science for Nature Foundation is a non-governmental organization actively engaged in the protection and restoration of natural habitats and species through science-based methods and approaches. One of our main goals is the involvement of local communities in the preservation of biodiversity, as we believe that people are an inseparable part of nature and is a direct participant in its preservation.

LIFE UNDER ONE ROOF is a project that aims to improve the conservation status of nine bat species (*Barbastella barbastellus*, *Miniopterus schreibersii*, *Myotis bechsteinii*, *Myotis blythii*, *Myotis capaccinii*, *Myotis myotis*, *Rhinolophus blasii*, *Rhinolophus euryale*, *Rhinolophus mehelyi*) listed in the Habitats Directive (Annexes II and IV), in eight key Natura 2000 network sites in Bulgaria.

The project has two main objectives as follows:

Main objective 1. Reducing the impact of main threats for 9 target species in 8 key Natura 2000 sites in Bulgaria

Main objective 2. Raising public awareness and capacity building for bats protection

The mysterious life of bats has always been a subject of interest. Their strange image and way of life have excited people since ancient times. In different cultures, they are the personification of different symbols. Due to the fact that they are active at night and spend the daylight hours hidden, they are often given the demonic appearance of supernatural beings. In Mayan mythology, Camazotz is a bat god, and his name means "death bat", while in China they symbolize happiness and luck. A widespread symbol are five bats, which are carriers of health, prosperity, long life and virtue. However, today bats are dark icons in cinema and literature, and people misidentify them as flying mice.

In Bulgaria in the past, it was believed that if a bat entered your house, you would get great wealth. Today, however, people have a lot of prejudice against these animals. Although we are in the age of technology and accessible information, a large part of society is not familiar with their biology. A survey that we have conducted showed that a large percentage of people identify bats as "flying mice" or birds. They are afraid of them because they think bats drink blood, also that they are blind and don't know they use echolocation for orientation.

Today, globally, these mammals are extremely vulnerable, and their populations are declining. Anthropogenic pressure, the destruction of bats' natural habitats and roosts, as well as the uncontrolled use of insecticides have caused a drastic reduction in their numbers in many countries. Nearly 200 bat species are threatened with extinction, and 12 species are considered extinct.



## 2. Territorial scope

The project is implemented in the southern part of Bulgaria in eight key Natura 2000 network sites: Rodopi – Iztochni (BG0001032), Derventski vazvishenia 2 (BG0000219), Rodopi – Zapadni (BG0001030), Derventski vazvishenia 1 (BG0000218), Rodopi – Sredni (BG0001031), Golak (BG0000304), Kresna – Ilindentsi (BG0000366), Sreden Pirin – Alibotush (BG0001028) (**Figure 1**). These zones have different types of bat roosts: underground sites, artificial roosts and trees in forests.

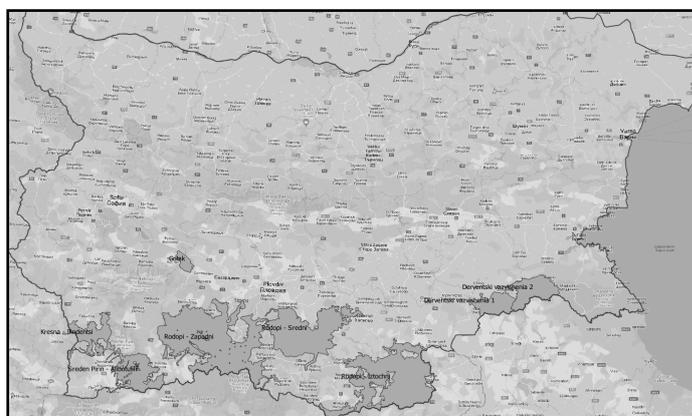


Figure 1. Project territories

## 3. Methods

The project includes different conservational, informational and educational activities. Habitat loss is a major threat to many animals, including bats. Apart from caves, bats inhabit old for-

ests. These forests preserve genetic and biological diversity in nature, have gone through their full life cycle, and have taken centuries to develop. In addition to using old-growth forests as a hunting ground, bat species often inhabit them permanently, hiding under the bark of trees or in hollows. Unfortunately, these centuries-old forests are decreasing and the young ones that appear do not yet have the necessary conditions for bats. One of the activities we carry out is providing bat roosts in young forests. In addition, we improve and create conditions for bats in artificial objects.

Another factor, which significantly affects bat population, is the disturbance of colonies during sensitive periods – hibernation, giving birth and raising youngs. A large part of the caves in Bulgaria is subject to vandalism and treasure hunting. The measures we are taking to reduce disturbance to bats during their critical periods are: placing fences, warning and information signs in front of key roosts; organizing guarding with volunteers during the sensitive periods. Also, we placed camera traps in front of key bat roots.

In Bulgaria, there are many watering places, which were used mainly by livestock. These types of watering places are foraging habitat for bats. They are also hot spot for biodiversity. Today a part of these watering places is in bad condition. The restoration of these watering places is also one of our most important conservation activities.

The main food for bats in Bulgaria is insects. Most of these insects are plant pests. Bats provide an extremely important ecosystem service as a natural regulator of insect populations. In 2022, we conducted a pilot study on the ecosystem services provided by bats over vineyards. Apart from the direct conservation activities we carry out, other important aspect in our work is raising awareness, positively change attitudes towards bats, build capacity for bat protection by involving more professional and volunteer conservationists. We conduct educational lectures with practice and informational events. In regions where the fires are frequent, we equip fire-fighting depots and conduct fire-fighting trainings.

## 4. Results

### 4.1. Improving bat habitats

Since 2018, we have managed to place over 1,000 bat houses in old forests. We also do bat-friendly building renovations. We close unnecessary openings through which light enters or an air-flow occurs, due to which the temperature in the object decreases significantly. We also place bat bricks inside these sites (Figure

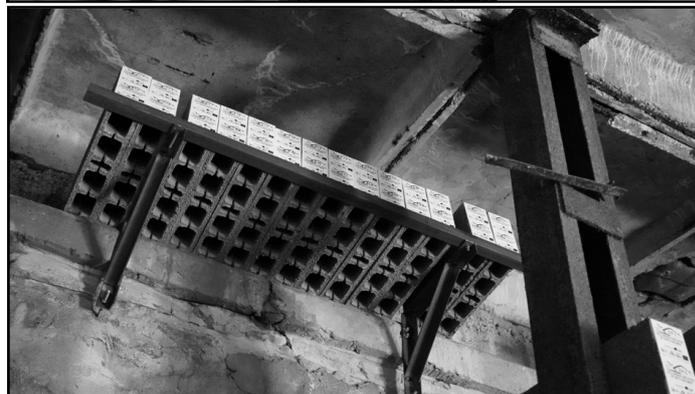


Figure 2. Placing bat bricks and different designs of bat houses

2).

Another activity is adapting bunkers (Figure 3) into bat roosts by ensuring stable conditions like temperature, humidity and light. These conditions are achieved by closing the large entrances through which a great stream of light and air passes. Also, inside the bunkers there are no suitable places where bats can hang. For



Figure 2. Placing bat bricks and different designs of bat houses



Figure 3. Bunker - new opportunity for bat roost

Through the camera traps (Figure 4), we detected violations in front of the caves, which are in protected territories, but in addition, we received new and valuable information. In two of the caves where we set photo traps, we found the presence of a wild cat (*Felis silvestris*) and a representative of the genus *Martes*. We found out that the cat was hunting bats flying out of the cave.



Figure 4. Data from camera traps

We are in progress of restoration of 84 watering places on the project territory. Until June 2023, we have restored 50 watering places (Figure 5).



Figure 5. Before and after of a restored watering place



Figure 6. Placing bat detector over vineyards.

#### 4.2. Research activities

The data for the pilot study that we conducted on the ecosystem services provided by bats over vineyards is in process of analyzing. Detectors were placed in different types of vineyards (Figure 6) and in control areas. The results from the survey will be shared publicly.

#### 4.3. Educational activities

The educational events that we conduct are for different age groups. We have lessons with students. Also we have a course on theme - “Bats – biology, threats and conservation”. Until 2023, we have educated and informed more than 1900 people (Figure 7).



Figure 7. Educational activities



## 6. Conclusion

After the end of the project, results will be shared. This is very important activity because sharing experience is a key step in bat conservation.



# PROKARSTERRA-EDU: EDUCATION AND TRAINING FOR/THROUGH KARST

Petar Stefanov, Dilyana Stefanova

*Experimental Laboratory of Karstology in the National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography  
of the Bulgarian Academy of Sciences, Acad. Georgi Bonchev str., bl. 3, 1113 Sofia, Bulgaria, E-mail: [psgeo@abv.bg](mailto:psgeo@abv.bg)*

## Abstract

### ProKARSTerra-Edu : Education and Training for / through karst

ProKARSTerra-Edu is a specialized educational strategy, developed by the Experimental Laboratory of Karstology at NIGGG-BAS in international cooperation. Through innovative educational forms, it aims to provide the necessary minimum of knowledge, skills and competencies for karst and create the conditions for training specialists with key skills in karstology. A favorable basis for the implementation of the strategy is the widespread distribution of karst in Bulgaria and its exceptional diversity, which makes it a unique natural laboratory. The methodological platform of the strategy is the original **ProKARSTerra paradigm**, which integrates the scientific concept of the karst geosystem with educational "Lifelong Learning".

In the ProKARSTerra-Edu strategy, field training in the real conditions of model karst territories with the application of research methods and experiments occupies a central place. But besides training for karst, field training in a karst environment implies another topical aspect – education through karst, based on its interdisciplinarity.

Based on the specialized strategy ProKARSTerra-Edu, 3 initiatives with an international scope have been prepared and successfully implemented. They also received the support of UNESCO and attracted over 900 participants from 25 countries:

- International competition “**Karst under protection – gift for the future generation**” - with 5 editions (2005, 2012, 2015, 2019 and 2022);

- "**Traveling school for karst**" - with 3 editions (22-31 July 2015, 5-8 September 2017 and 3-7 July 2023);

- First International Competition for students “**Karst - the Last White Spot on the planet Earth**” (4-9 August 2019, Teteven, Bulgaria) - an original Bulgarian initiative successfully established in 3 competition rounds with 5 teams. Based on the achieved results, the proposal for the competition to grow into an **International Karstology Olympiad (IKO)** is substantiated.

With the development of the strategy in 2013 came the idea of an **International Year of Karst**. It was realized in 2021 under the auspices of UIS: International Year of Caves and Karst (IYCK`2021).

The implementation of ProKARSTerra-Edu in the educational system is an important step towards a change in the previous conceptual model – from the traditionally taught narrow scientific disciplines, through Earth Sciences to Earth Systems Science. The need for this change at all educational levels is becoming more and more pressing against the background of global changes and the resulting problems that humanity is facing.

## Key words

Karst, Karst Geosystem, Paradigm ProKARSTerra, Strategy ProKARSTerra-Edu, Field training, Education through Karst, Lifelong Learning, Innovative Education

## 1. Карст и образование

Карстът формира около 20% от земната суша и животът на милиони хора е тясно свързан с неговата специфика. Но и през 21 в. за повечето от тях той продължава да бъде „*terra incognita*” – «благодарение» и на образователните системи. В България неговият дял е 25%, но проведените от авторите анкетни проучвания доказват убедително, че българите, които имат познания за карста, са под 40% (Stefanov, Stefanova, 2019) Затова е парадоксално, че темата «карст» продължава да бъде пренебрегвана и недооценявана в учебното съдържание – както в училищното, така и в университетското (Кръстева, 2015; Stefanov, 2021). Но това не е присъщо само за България. На базата на широкообхватното изследване на Leslie North и van Beunen (2011) могат да се обобщят редица тревожни констатации в световен мащаб:

- в съвременните училища обучението за карста е фрагментарно. То е много слабо застъпено и в неформалните об-

разователни форми. Създаваният и разпространяван обучителен материал за карста най-често не ползва концепцията за карстовата система, а извежда на преден план пещерите. Освен това, фокусът на преобладаваща част от съвременните образователни прояви е преди всичко върху прилепите;

- образованието за карста трябва да бъде насочено преди всичко към неговата много висока степен на уязвимост, особено на фона на активните глобални промени и интензивните антропогенни въздействия;

- карстът е пренебрегван и в университетското образование, дори в страни с широко разпространени карстови територии. В университетите липса, с малки изключения, интегрирано обучение по карстология.

Изключително важно е още веднъж да се подчертае, че в България карстът не е просто туристическа атракция (най-често пещера), а формира специфична среда за обитаване и стопанска дейност на хората. И те трябва ежедневно да се съобразяват с нейните особености. А това поставя на преден

план неотложната необходимост от по-активно включване на карста в българската образователна система.

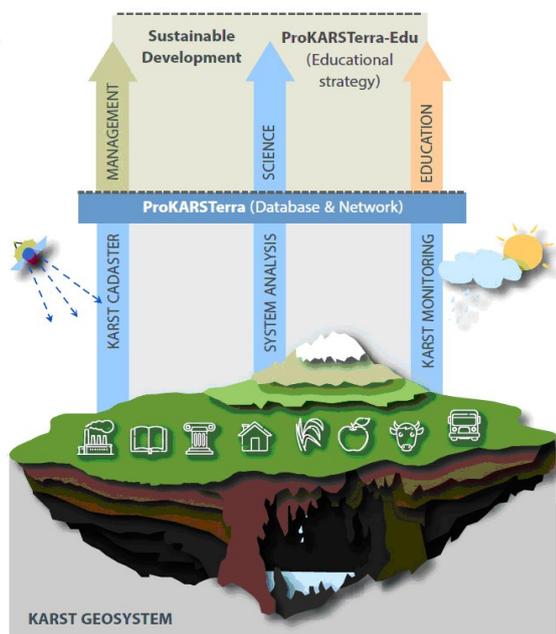
## 2. Образователна стратегия ProKARSTerra-Edu

„*Experientia est optima rerum magistra*”  
*Опитът е най-добрият учител* (лат.)

Отчитайки сериозните проблеми с образованието и обучение за карста и на базата на дългогодишен изследователски опит, Експерименталната лаборатория по карстология (ЕЛК, <http://www.prokarstterra.bas.bg/lab>) в НИГГГ-БАН разработва от 2009 г. в международно сътрудничество специализирана образователна стратегия ProKARSTerra-Edu (Stefanov et al., 2013; Стефанов, Стефанова, 2014; Stefanov, Stefanova, 2019; Stefanov, 2021). Тя интегрира съвременната научно-изследователска концепция за карстовите геосистеми (Andreychouk, Stefanov, 2021) с образователната концепция „Учене през целия живот” (МОН, 2013) и има за цел да осигури необходимия минимум от знания, умения и компетенции за карста и да създаде необходимите условия за подготовка на специалисти с ключови умения в карстологията. Основен приоритет на стратегията е постигане на оптимално природоползване в карстовите територии на България. Нейна методическа платформа е оригиналната парадигма ProKARSTerra на ЕЛК. (<http://www.prokarstterra.bas.bg/lab/methodology.html>). Тя е базирана на научната концепция за карстовите геосистеми, която предполага интердисциплинарни изследвания и мониторинг (фиг. 1). Парадигмата обединява три важни фактора за устойчивото развитие на карстовите територии:

- научни изследвания (с акценти: системен анализ, интегриран мониторинг и кадастър на карста);
- управление на карстови територии и бизнес с карстови ресурси;
- образование и обучение (чрез специализираната образователна стратегия ProKARSTerra-Edu).

Абревиатурата ProKARSTerra е създадена при разработването на научно-изследователските проекти на ЕЛК и в нея е вложен двоен смисъл: от англ. **Protected Karst Territories** (*защитени карстови територии*), но и от лат. **Pro Karst Terra** (*за карстовата земя*). Това позволи и наложи употребата на ProKARSTerra в много по-широк смисъл и тя стана запазена марка на ЕЛК.

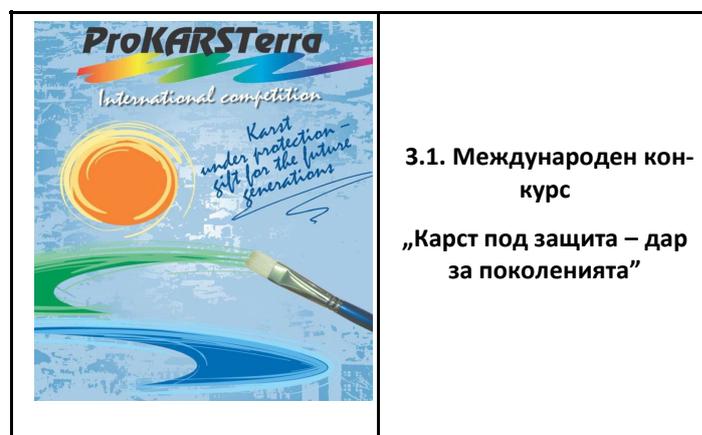


Фиг. 1. Парадигмата ProKARSTerra (Stefanov et al., 2023)

Стратегията ProKARSTerra-Edu има потенциала да развива нови алтернативни форми за интегриране между съвременната наука и образователната система. Благоприятна основа за реализацията на стратегията е изключителното разнообразие на българския карст, което го прави уникална природна лаборатория (Stefanov, 2021; Соколова, 2021). Научната мрежа от моделни карстови геосистеми на ЕЛК (<http://www.prokarstterra.bas.bg/lab/base.html>) предлага уникални възможности за иновативни образователни дейности в условията на различни типове карст. Водеща роля в стратегията има теренното обучение за карста с приложение на изследователски методи и експерименти, вкл. с използване на специализирана полева апаратура. Но освен образование за карста, теренното обучение в карстова среда предполага и друг актуален аспект – образование чрез карста, базирано на неговата ярко изразена интердисциплинарност (Stefanov, Stefanova, 2019; Stefanov, 2021). Поддържаното от ЕЛК международно сътрудничество и проведенят научен форум „*Защитени карстови територии – образование и обучение*” (23-26 септември 2015 г., София, <http://prokarstterra.bas.bg/forum2015>) съдействат за развитие на стратегията ProKARSTerra-Edu в партньорство с редица чуждестранни институции, свързани с карста. Това се потвърждава и от успешно реализираните международни инициативи на стратегията.

## 3. Образователни инициативи

При разработването на специализираната стратегия ProKARSTerra-Edu са подготвени и успешно са реализирани 3 инициативи с международно участие и с подкрепата на ЮНЕСКО (<http://www.prokarstterra.bas.bg/lab/edu-activity.html>).



Конкурсът е българска инициатива (2005 г.). Организира се от ЕЛК в партньорство с Фондация Център по карстология „Владимир Попов” (<http://prokarstterra.bas.bg/competition/>). Има 5 издания (2005, 2012, 2015, 2019 и 2022 г.) с над 800 участници от 22 държави. Петият конкурс е включен в програмата на Международната година на пещерите и карста (International Year of Caves and Karst, IYCK`2021, <https://iyck2021.org/index.php/event-results-august/>) (Стефанов, 2023).

Конкурсът се провежда в 5 категории и няма възрастови ограничения за участие. Чрез предлаганите 18 конкурсни рубрики той е подходяща форма за изява - индивидуално или в екип, според личните предпочитания към научни области и според творческите способности. Конкурсните работи се оценяват от международно жури по шест критерия: *Оригиналност на реализираната идея (оригинално творческо постижение); Познания за карста; Художествена стойност; Емоционално внушение; Технически умения (техника на изпълнението); Творческа самостоятелност*. За членове на журито се канят професионалисти от различни области на

науката и изкуството, които се обединяват около идеята за по-активно популяризиране на карста. Като членове на жури 22-31 юли 2015 г. в международен състав: 37 участници от 7 държави (<http://prokarstterra.bas.bg/travel-school>). За 10 дни са посетени 50 природни и културно-исторически карстови обекти по маршрут от 1800 км в Северна България (фиг. 2). Проведени са и 7 работни срещи-ритарата са участвали 37 експерти от 6 държави. В петте конкурсни издания са представени повече от 600 творби и са присъдени над 190 награди (Стефанов, 2005,2023; Stefanov et al., 2013b; Стефанов, Стефанова, 2014; Stefanova, Stefanov, 2020; Stefanov, 2021). За първите две издания на конкурса (2005 и 2012 г.) е публикуван и разпространен оригинален каталог (Stefanov, 2014).

### 3.2. Пътуващо училище за карста

Тази иновативна форма на обучение има за цел интензивно специализирано теренно обучение в реалните условия на моделни карстови територии, което се провежда под ръководството на висококвалифицирани български и чуждестранни карстолози (Стефанова, 2015; Стефанов, Стефанова, 2017; Stefanov, 2021). В програмата са включени лекционно обучение (вкл. теренни лекции) и демонстрации на полеви изследователски методи, опробвания, анализи и експерименти). Използва се научно-изследователската база и оборудване на ЕЛК, както и изградената туристическа инфраструктура в карстовите територии на Природните паркове и в благоустроените пещери в България. Важно е да се има предвид, че Пътуващото училище за карста е различно от образователните форми „Зелено училище” и „Екскурзия”.

ни дидактически средства (карти, схеми, таблици, фототабла и др.). В процеса на обучението се прилага дидактическият принцип *Learning by Doing* („учене чрез правене/дейности”) и обучители и обучавани съвместно обсъждат резултатите от проведените измервания, анализи и експерименти. По време на демонстрациите на интердисциплинарни полеви изследователски дейности лекторите непрекъснато задават подходящи въпроси, провокиращи мисленето и креативността на обучаваните.

- Работни срещи-дискусии с представители на местната общност и бизнеса за наблюдаваните практики на земеползване в посещаваните карстови територии.

- Работилница за идеи.

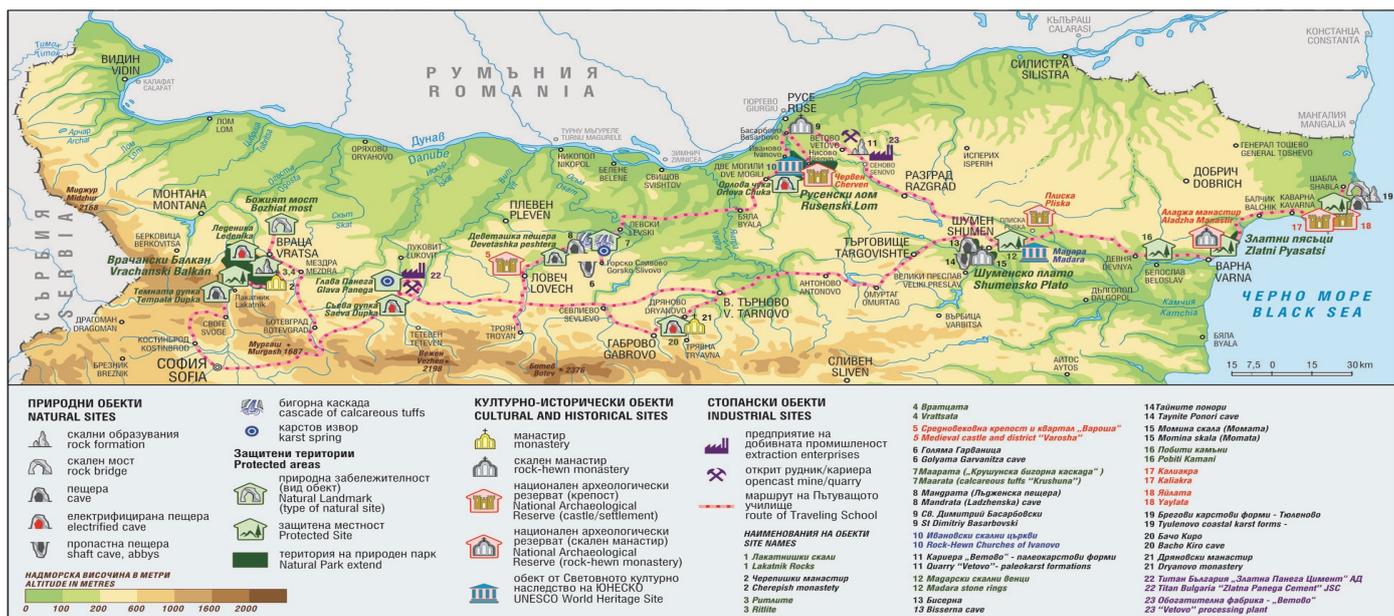
- Арт-студио на открито – изява на творческите умения на участниците.

- Демонстрации на проникващи техники в пещери – с възможност на доброволен принцип участниците да се включат в тяхното усвояване.

- Вечери на споделеният опит – участниците представят свои презентации и/или творби, вдъхновени от карста. За учителите са планирани и дискусийни вечери, в които заедно с организаторите и лекторите на Пътуващото училище обсъждат дейностите и инициативите на образователната стратегия ProKARSTerra-Edu

Образователната форма Пътуващо училище за карста има 3 реализации:

- 22-31 юли 2015 г. в международен състав: 37 участници от 7 държави (<http://prokarstterra.bas.bg/travel-school>).



Фиг. 2. Маршрутът на Пътуващото лятно училище за карста в България (2015 г.) (Стефанов, Стефанова, 2017).

Критериите за участие са ясно определени в разработен статут, като водещи са трайният интерес към карста и участието в инициативи, свързани с неговото изучаване и популяризиране. Организацията и провеждането се съгласуват с действащата нормативна уредба за организацията и реализацията на пътувания с учебна цел. Теренната работа се предлага от Инструктаж за безопасност при посещения на карстови терени и пещери.

Програмата на Пътуващото училище включва:

- Въвеждащи лекции за същността на карста.
- Практическа теренна работа с акцент приложението на изследователски методи. Използва се професионален инструментариум (специализирана полева апаратура и оборудване и изградената от ЕЛК научна инфраструктура за инструментален мониторинг) и предварително подготвени спомагател-

За 10 дни са посетени 50 природни и културно-исторически карстови обекти по маршрут от 1800 км в Северна България (фиг. 2). Проведени са и 7 работни срещи-дискусии с представители на местни общности и институции и на бизнеса (Стефанова, 2015; Стефанов, Стефанова, 2017).

- 5-8 септември 2017 г. с участието на ученици и учители от 7 български училища. За 4 дни са посетени 29 карстови обекта по маршрут от 700 км в Северна България (Stefanov, 2021)

- 3-7 юли 2023 г. с 3 групи ученици от 9 и 10 клас от 2 софийски училища. Маршрутът от 1300 км отново е в Северна България и включи типични карстови обекти, които разкрива многообразието на българския карст. Това Пътуващо училище е третият етап от специализираната обучителна програма на Школата за интердисциплинарно обучение за и

чрез карста, организирана през 2023 г. от Националният геоинформационен център (НГИЦ) към НИГГГ-БАН по предложение на ЕЛК. Първите два етапа са Лекционен за същността и спецификата на карста и Въвеждащо еднодневно теренно обучение за структурата и функциите на карстовите геосистеми (на примера на Брестнишката карстова геосистема с пещерата Съева дупка). На финала на обучителната програма участниците положиха изпит (писмен тест) за наученото за карста.

В края на проведените Пътуващи училища всички участници получиха оригинално Свидетелство за специализирано обучение по карстология с идентификационен номер. То е придружено с благодарствен адрес и с послание от организаторите.

За обективно оценяване на ефективността от Пътуващото училище участниците са анкетирани на входно и изходно ниво. За целта са използвани специално разработени анкетни карти (Стефанова, 2015). Психичните състояния на участниците през 2015 г. и емоционалните въздействия на карста върху тях се наблюдаваха от специалист-психолог, специално поканен в екипа на Пътуващото училище. Той проведе серия от психологически тестове, беседи и наблюдения (Зайкова, Димитров, 2015). Резултатите от анкетирването (Stefanov, Stefanova, 2019) на входно ниво доказват, че базисните знания за карста и карстовите обекти на участниците са крайно недостатъчни - над 70% от учениците, въпреки своя интерес към този природен феномен, ги оценяват като слаби до средни, а при учителите преобладаващата самооценка е средна до добра (65%) и само 5% много добра. На изходно ниво резултатите от анкетите показват, че 83-85% от учениците и 92% от учителите са обогатили знанията си за карста, а между 59 и 92% от учениците и 92 до 100% от учителите са си изяснили същността и спецификата на карста и карстовите системи. Всички участници са дали високи оценки на Пътуващото училище (70-90% присъждат най-високата оценка по зададените 6 критерия) и единодушно (100% от учениците и 100% от учителите) препоръчват то да стане образователна практика в България.

отбора споделят придобити знания по различните учебни предмети, осмислят връзките между наученото и правят опити да го приложат за решаване на практически казус в реалните условия на непозната карстова територия;

- Да се включи приложение на изследователски методи за решаване на конкретни задачи в естествени теренни условия;

- Да се мотивират учители с различна професионална специализация да експериментират варианти на междупредметни връзки чрез карста. Тяхната ефективност подлежи на проверка и оценка в конкурентна среда при решаване на конкретни практически задачи в непозната карстова територия.

Състезанието е замислено да се провежда в реалните условия на класически карстови геосистеми, поради което регламентът и съдържанието му са съобразени изцяло със системната същност на карста. А тя изисква интердисциплинарност и предполага в сформирването и подготовката на отборите да се включат както ученици с различни научни предпочитания и умения, така и учители по различни учебни предмети. Задължително условие е всеки отбор да има и ментор(и) – професионалист в карстологията, който да участва в предварителната подготовка на отборите.

Първото състезание се проведе от 4 до 9 август 2019 г. в Брестнишката карстова геосистема в Северна България и в него взеха участие пет 5-членни отбора от България и Латвия (Stefanova, Stefanov, 2020) Програмата на състезанието включи 3 състезателни кръга:

- Проверка на теоретичните знания на екипите на отборите за карста и карстовите системи;

- Теренни наблюдения, изследвания и експерименти по предварително подготвен маршрут в карстов терен за проверка на практическите умения на екипите при решаване на изследователски задачи;

- Разрешаване на практически казус (проблемна ситуация в района на състезанието) в две части: 1. Екипна подготовка на решението, и 2. Публичната му защита в зала пред широка аудитория, включваща и представители на местната общност.

В състезанието са включени и три допълнителни прояви за индивидуална демонстрация на способности и умения, провокирани от атрактивната карстова среда:

- Спортна надпревара:Предизвикателствата на карста;

- Арт ателие на открито: Привлекателността на карста (природата като ваятел);

- Лидери в ИКТ: Приложение на ИКТ при решаване на задачи с карстова тематика.

За участие в тези прояви отборите излъчват по един свой представител, който притежава съответните умения.

В свободното от състезанието време всеки отбор имаше възможност да разкаже и покаже най-интересното за карста в своята страна и в своя роден край, да демонстрира досегашни постижения на членове на екипа, да изложи идеи и инициативи, които да станат база за нови приятелства и контакти. Богата културна програма запозна участниците и с природни и културно-исторически забележителности в района на състезанието и в съседни карстови територии.

Оценяването и класирането на отборите в основното състезание се извърши от 5-членно международно жури, а на участниците в допълнителните състезателни прояви - от специализирани журита. Крайното класиране се определи от сбора точки, получени от всеки отбор в трите кръга на ос-



Това е първо международно състезание по карстология за ученици, организирано и проведено по инициатива на ЕЛК и под егидата на ЮНЕСКО (<http://prokarstterra.bas.bg/sci-competition>). То беше включено и в програмата на Международния научно-приложен форум ProKARSTerra`2019 (<http://prokarstterra.bas.bg/forum2019/>).

Състезанието е предназначено за ученици на възраст от 16 до 19 г. и с неговото организиране се цели:

- Да се предложи нова и различна форма спрямо съществуващите международни състезания и олимпиади за ученици;

- Да се обединят в екип ученици с умения и предпочитания към различни учебни предмети и научни области, но с траен интерес към карста и към изследвания и експерименти в атрактивна среда. По време на състезанието членовете на

демонстрация на способности и умения, провокирани от атрактивната карстова среда:

- Спортна надпревара: Предизвикателствата на карста;
- Арт ателие на открито: Привлекателността на карста (природата като ваятел);
- Лидери в ИКТ: Приложение на ИКТ при решаване на задачи с карстова тематика.

За участие в тези прояви отборите излъчват по един свой представител, който притежава съответните умения.

В свободното от състезанието време всеки отбор имаше възможност да разкаже и покаже най-интересното за карста в своята страна и в своя роден край, да демонстрира досегашни постижения на членове на екипа, да изложи идеи и инициативи, които да станат база за нови приятелства и контакти. Богата културна програма запозна участниците и с природни и културно-исторически забележителности в района на състезанието и в съседни карстови територии.

Оценяването и класирането на отборите в основното състезание се извърши от 5-членно международно жури, а на участниците в допълнителните състезателни прояви - от специализирани журита. Крайното класиране се определи от сбора точки, получени от всеки отбор в трите кръга на основната надпревара, допълнен от точките на участниците в допълнителните състезателни прояви. В крайното класиране на първо място е отборът на Бургас (златен медал), следван от отборите на Добрич (сребърен медал) и Латвия (бронзов медал) (фиг. 3).



Фиг. 3. Наградените участници в състезанието

Успешната реализация на първото състезание е основание то да се развие и утвърди като оригинална форма на международно състезание от нов тип. Предвид широкото разпространение на карста по света и актуалността на проблемите, свързани с експлоатацията на карстовите ресурси и устойчивото развитие на карстовите територии, в стратегически план състезанието може да прерастне в **Международна олимпиада по карстология** (International Karstology Olympiad, ИКО) (Stefanova, Stefanov, 2020; Stefanov, 2021).

В реализираните три международни инициативи на образователната стратегия ProKARSTerra-Edu се включиха над 1000 участници от 26 държави. Последваха редица положителни отзиви у нас и в чужбина (<http://prokarstterra.bas.bg/competition/bg/publications.html>; <http://prokarstterra.bas.bg/travel-school/bg/feedback.html>; <http://prokarstterra.bas.bg/sci-competition/bg/response.html>).

Трябва да се отбележи, че инициативите взаимно се стимулират и допълват и техният мултипликативен ефект е фокусиран в повишен и мотивиран интерес на младите хора към карстологията. А това е много важно, защото въпреки голямо практическо значение на тази наука, в световен мащаб тя продължава да бъде недостатъчно подсигурана с кадри.

#### 4. Резултати и перспективи

*„Non scholae sed vitae discimus”*

*Не заради училището, а заради живота се учим (лат.)*

Неоспорим факт е, че карстът е малко познат на българското общество, вкл. и на служителите в държавните и образователните институции, и поради това към неговата същност и специфика има слаб интерес. Пренебрегването на карстовата тематика в образователната и квалификационната системи е на всички нива – от училищата през университетите до държавните и специализираните институции, които стопанисват и управляват карстовите територии. При това проблемът е двупосочен – карстът не се изучава, и следователно – не се осигурява и насърчава подготовката на бъдещи специалисти по карста (Stefanov, 2021). Ето защо успешно разработените иновативни образователни форми в рамките на стратегията ProKARSTerra-Edu са много сериозен инструмент за по-активно навлизане на карстовата тематика в българската образователна система. Това се потвърждава и от обобщените резултати от реализираните международни инициативи на стратегията.

Конкурсът за карста е широко отворен и много атрактивен със своите рубрики и както се очаква, те привличат най-масово учениците. Участието им в конкурса предизвиква ентузиазъм за овладяване на знания за карста, който увлича и техни преподаватели, за повечето от които дотогава карстът не е бил приоритет. Не са редки случаите, когато учителите откриват чрез карста нови възможности в своята преподавателска дейност и в кариерното си израстване (Karanlakova, Valkova, 2015). Желанието на учениците да се представят успешно в конкурса много често е причина и техните родители да „открият” карста чрез ентузиазма и творбите на своите деца.

Особено впечатляващи са резултатите от теренното обучение в карстова среда и най-вече от проведените Пътуващи училища за карста (Stefanov, Stefanova, 2017; Stefanov, 2021). Обучението на терен, включващо атрактивни обекти, необичайна среда и неформално общуване в група, поражда силни положителни емоционални преживявания на участниците (Зайкова, Димитров, 2015). Насочеността на вниманието към изучавания карстов обект и реалните преживявания при досега с него, предизвикват у тях стремеж да научат повече както за конкретния обект, така и за карста като цяло. Проявява се стремеж за усвояване на нови знания, но и за доказване на лични качества и умения.

Но освен **образование за карста**, теренното обучение в карстова среда предполага и друг, особено актуален аспект – **образование чрез карста** (Stefanov, Stefanova, 2019; Stefanov, 2021). Поради спецификата на този природен феномен, изискваща интердисциплинарен подход, участващите ученици в теренното обучение осмислят връзките между наученото по различните учебни предмети и правят опити да ги прилагат в реална среда. От своя страна, участващите преподаватели с различна професионална специализация имат възможност да обсъждат и тестват различни варианти за междупредметни връзки - един от най-важните съвременни образователни проблеми. Същевременно те обменят и опит с лекторите и чрез формата „*обучение на обучители*” полу-

чават ключови знания и умения в карстологията.

За разлика от другите международни ученически състезания и олимпиади, провеждани по учебни предмети, изучавани в училище, проведеното състезание през 2019 г. е за карста, който не е учебна дисциплина в образователната система. Поради това, участието в състезанието изисква от учениците освен интерес и мотивация, но и сериозна и продължителна подготовка в извънкласни форми. Друга важна особеност на състезанието е, че при провеждането му се включват и елементи на обучение с демонстрация на изследователски методи и експерименти. Състезанието се отличава и по това, че акцентът не е „борба за медали”, а демонстриране на способности за прилагане на знания и умения в реална карстова среда, като водеща не е личностната изява, а екипната работа на отбора (Stefanova, Stefanov, 2020).

И трите реализирани инициативи на стратегията ProKARSTerra-Edu взаимно се подпомагат и техният мултипликативен ефект е фокусиран в повишен и мотивиран траен интерес на младите хора към карста и към науките, които го изучават. Пример е Пътуващото училище за карста през 2015 г., което беше организирано за лауреати от третия международен конкурс за карста. Лауреати от четвъртото издание на конкурса пък бяха гости на първото състезание за карста през 2019 г. Членове на отборите в състезанието са участници и в конкурса, и в пътуващите училища за карста.

Образователните форми на ProKARSTerra-Edu, вкл. теренното обучение са приложими както за ученици и учители, така и за студенти, докторанти, млади учени и университетски преподаватели, а чрез стратегията „Учене през целия живот” и за служители в различните институции, имащи отношение към карста и карстовите територии.

Резултатите от осъществените дейности, включени в стратегията ProKARSTerra-Edu, са анализирани по-детайлно в публикациите в цитираната литература. С разработването на стратегията през 2012 г. ЕЛК аргументира идеята за обявяване на **Международна година на карста**. Това предложение е докладвано на два авторитетни международни форума: 16. конгрес на Международния спелеоложки съюз (UIS) в Бърно (2013 г.) (Stefanov et al., 2013a) и Регионалната конференция на Международния географски съюз (IGU) в Киото, Япония (2013 г.) (Stefanov et al., 2013b). То предизвика сериозен интерес, вкл. от президента на UIS. През 2015 г. тази оригинална българска инициатива получи единодушна подкрепа и от участниците в Международния научен форум „Protected Karst Territories – Education and Training” (23-26 септември 2015, София, <http://prokarstterra.bas.bg/forum2015>). За съжаление българските държавни институции се оказаха неподготвени за реализирането на тази инициатива и не реагираха на поканата на ЕЛК да се включат в нейната организация (Stefanov, 2021). Но тя беше осъществена от световната спелеоложка общност и UIS обяви 2021 г. за Международна година на пещерите и карста (International Year of Caves and Karst, IYCK'21, <http://iyck2021.org/index.php/explore>). В нея България е представена с петото издание на международния конкурс за карста (<https://iyck2021.org/index.php/event-results-august/>).

## 5. Заключение

Стратегията ProKARSTerra-Edu показва и доказва възможности за развитие на нови алтернативни форми за интегриране между съвременната наука и образователната система. Със своето изключително разнообразие карстът в България е уникална природна лаборатория с неподозирани все още потенциал за развитие на най-модерните и иновативни образователни методи, особено на изследователския (Stefanov, Stefanova, 2019; Соколова, 2021; Stefanov, 2021). Обучението в карстова среда има и друг особено важен аспект, произ-

тичащ от ярко изразената системна същност на карста – възможност в реалните условия на посещаваните карстови територии да се експериментират различни варианти за междупредметни връзки. Като най-ефикасна иновативна форма на обучение за и чрез карста, реализирана чрез стратегията ProKARSTerra-Edu, се налага теренното обучение с прилагане на изследователски методи. Особено резултатно е Пътуващото училище за карста, което предлага интензивно обучение в реална среда под ръководството на висококвалифицирани карстолози и осигурява на участниците необходимия минимум от знания, умения и компетенции за карста.

Внедряването на стратегията ProKARSTerra-Edu в образователната система ще бъде важна стъпка и към промяна в досегашния концептуален модел – от традиционно преподаваните тясно научни дисциплини, през Науките за Земята към Наука за земните системи (фиг. 4). Необходимостта от тази промяна на всички образователни нива става все по-належаща на фона на глобалните промени и предизвиканите от тях проблеми, пред които човечеството се изправя. За целта карстовите геосистеми със своята ярко изразена системност се оказват едни от „най-видимите” и най-перспективните (Stefanova, Stefanov, 2020; Stefanov, 2021). В този аспект важна роля може и трябва да играе активното прилагане на иновативното образование за и чрез карста.



Фиг. 4. Очаквани промени в концептуалния модел на преподаване (Stefanov, Stefanova, 2020)

Резултатите, постигнати от развитието и приложението на образователната стратегия ProKARSTerra-Edu доказаха също, че ефективни взаимодействия между образованието и научните изследвания, управлението на карстовите територии и бизнеса с карстови ресурси (фиг. 1) са възможни и необходими (Stefanov, Stefanova, 2019; Stefanov, 2021). В същото време като много сериозен проблем се откроява незаинтересоваността, неподготвеността и безучастността от страна на държавните институции за по-активно включване на карста в образованието (Stefanov, 2021). Допълнителни затруднения създава и традиционната консервативност на образователната система, както и недостатъчният кадрови потенциал в областта на карстологията. Той е тясно свързан с друг нерешен и много сериозен въпрос предвид широкото разпространение и обществената значимост на карста в България – липсата на специализирана институция по карстология. На този етап Експерименталната лаборатория по карстология с новосформирания Научно-образователен център за иновативно обучение за и чрез карста до известна степен запълва тази празнота. Това се потвърждава и от гласуваното доверие и оказаната подкрепа от ЮНЕСКО чрез 3 одобрени проекта при реализирането на международните инициативи на стратегията ProKARSTerra-Edu. При повече далновидност и подкрепа от държавните институции, България с нейният уникален карст може да се превърне в международен център (напр. на ЮНЕСКО) за иновативно обучение за и чрез карста.

## Благодарности

Образователната стратегия ProKARSTerra-Edu се разработи в рамките на научно-изследователския проект *Разработване на експериментален модел на комплексен мониторинг за устойчиво развитие и управление на защитени карстови*

тепатории (ProKARSTerra)”, финансиран от Фонд Научни изследвания (ДО 02.260/18.12.2008). Международните инициативи на стратегията се реализираха и чрез 3 проекта на ЮНЕСКО: *ProKARSTerra-Edu: Integration between the research concept of karst geosystems and the educational concept of “Lifelong Learning” (based on the example of model Protected Karst Territories in Bulgaria)*. UNESCO Participation Programme 2012-2013 (№ 6651406001BUL); *Travelling Summer School for karst in Bulgaria*. UNESCO Participation Programme 2014-2015 (№ 7290115062BUL) и *The First International Competition for students Karst - the last „white spot” on the planet Earth.* UNESCO Participation Programme 2018-2019 (№ 9290116061BUL).

Дейности и инициативи на стратегията ProKARSTerra-Edu продължиха да се организират и провеждат и чрез проектите на НИГГГ-БАН „Иновативно образование чрез карста”, който е част от общоакадемичния проект „Въвеждане на съвременни методи в образованието и работата с младите таланти“ (№ ДСД-2/05.04.2017 г.); „Съвременни въздействия на глобалните промени върху еволюцията на карста (на базата на интегрирания мониторинг в моделни карстови геосистеми в България)” (№ ДН 14/10/20.12.2017 г. на ФНИ) и „Национален геоинформационен център (НГИЦ)”, НПКНИ 2017-2023 г. с възпител МОН (№ ДО1-404/18.12.2020 г.).

Благодарим на всички участници в събитията и инициативите на ProKARSTerra-Edu. Искрено се надяваме, че карстът ще продължава да ги вдъхновява.

Изказваме благодарност и на всички партньори на ProKARSTerra-Edu за тяхната подкрепа, и по-специално на „Златна Панега Цимент” АД (ТИТАН, България) и на дирекциите на карстовите природни паркове, на териториите на които се проведе теренно обучение. Благодарим на лекторите в Пътуващите училища за карста, които много професионално и емоционално завлядяха вниманието на участниците. Дължим специална благодарност и на членовете на международните журита на конкурса и на състезанието за карста за проявената от тях отговорност, безпристрастност и висок професионализъм.

## Литература

Зайкова Е., С. Димитров, 2015. Емоционално въздействие на карстовите обекти върху учениците на възраст от 13 до 18 години. В: Сб. доклади от Международната научно-практическа конференция „Защитени карстови територии – образование и обучение” (23-26.09.2015, София). НИГГГ-БАН, ТерАРТ, С., 134-152. <http://prokarstterra.bas.bg/forum2015/proceedings.html>

Кръстева Т., 2015. Обучението за карста в 8 – 10 клас по „География и икономика” - постижения, проблеми и идеи. В: Сб. доклади от Международната научно-практическа конференция „Защитени карстови територии – образование и обучение” (23-26.09.2015, София). НИГГГ-БАН, ТерАРТ, С., 134-152. <http://prokarstterra.bas.bg/forum2015/proceedings.html>

Национална стратегия за учене през целия живот 2014-2020. Министерски съвет на Република България, МОН, 2013, 67 с. <http://www.strategy.bg/StrategicDocuments/View.aspx>

Соколова З., 2021. Природна лаборатория, уникални кабинети (интервю с П. Стефанов). АзБуки, 48, с. 19. <https://press.azbuki.bg/news/novini-2021/broj-48-2021/prirodna-laboratoriya-unikalni-kabineti>

Стефанов П., 2005. Международен конкурс „Карст под защита – дар за поколенията”. Обучението по география, 1, 75-76. <http://www.prokarstterra.bas.bg/geo21>

Стефанов П., 2023. Карстът – дар за поколенията. АзБуки, 1, с. 19.

<https://press.azbuki.bg/news/novini-2023/broj-1-2023/karst-dar-za-pokoleniyata>

Стефанов П., Д. Стефанова, 2014. Резултати и изводи от Международния конкурс “Карст под защита – дар за поколенията”. В: Сб. доклади от Третата междунар. конференция „Географски науки и образование” (12 септември 2012 г., Шумен). Унив. изд., Шумен, 296-304. <http://prokarstterra.bas.bg/competition/publications/22-ShUni%20-%202014%20-%20competition.pdf>

Стефанов П., Д. Стефанова, 2014. Образователната стратегия „ProKARSTerra-Edu” – интеграция между съвременни научни концепции за карста и образователната концепция „Учене през целия живот”. В: Сб. доклади „30 години катедра География във Великотърновски университет „Св. Св. Кирил и Методий”, В. Търново, Изд. „ИВИС”, с. 82-89. <http://prokarstterra.bas.bg/competition/publications/23-PtoKARSTerra-EDU-doklad%20VTU%202014.%20PS-DS.pdf>

Стефанов П., Д. Стефанова, 2017. „Пътуващо училище за карста” – нова форма за учене през целия живот. В: Сб. Научни трудове от Петата международна научна конференция „Географски науки и образование” (Шумен, 4-5.11.2016), Унив. изд. „Еп. К. Преславски”, Шумен, 2017, с. 380-390.

Стефанова Д., 2015. Пътуващо лятно училище за карста в България – първи резултати. В: Сб. доклади от Международната научно-практическа конференция „Защитени карстови територии – образование и обучение” (23-26.09.2015, София). НИГГГ-БАН, ТерАРТ, С. 129-133. <http://prokarstterra.bas.bg/forum2015/docs/ProKARSTerra%602015-Proceedings.pdf>

Andreychouk V, P. Stefanov, 2021. Some methodological remarks concerning of karst studies from the system approach perspective. Problems of Geography, 1, 12-24. [http://geoproblems.eu/wp-content/uploads/2021/05/2021\\_1/2\\_andr.pdf](http://geoproblems.eu/wp-content/uploads/2021/05/2021_1/2_andr.pdf)

Exhibition Catalog International competition “Karst under protection – gift for the future generations” (2005, 2012) (Compiler-Editor: P. Stefanov). UNESCO, Sofia, Ed. “TerART”, 2014, 36 p.

Karanlakova V., R. Valkova, 2015. Our ProKARSTerra Challenge. В: Сб. доклади от Международната научно-практическа конференция „Защитени карстови територии – образование и обучение” (23-26.09.2015, София). НИГГГ-БАН, ТерАРТ, С., 125-128. <http://prokarstterra.bas.bg/forum2015/proceedings.html>

North L., 2011. Informal Karst Education in the United States and Internationally. A dissertation of Doctor of Philosophy, Dep. of Geography, College of Arts and Sciences, University of South Florida, USA, May 6, 474 pp. <https://scholarcommons.usf.edu/do/search/?q=Informal%20Karst%20Education%20in%20the%20United%20States%20and%20Internationally.%20&start=0&context=1814375&facet>

North L., van Beynen P., 2011. Misconceptions among us: insights from informal karst learning environments. GSA Annual Meeting in Minneapolis, Oct., 9-12, 2011. Paper No. 265-16. [https://gsa.confex.com/gsa/2011AM/finalprogram/abstract\\_197035.htm](https://gsa.confex.com/gsa/2011AM/finalprogram/abstract_197035.htm)

Stefanov P., D. Stefanova, D. Mikhova, L. Štefka, 2013a. “ProKARSTerra-Edu” – a karst-educational project. In: 16th International Congress of Speleology (July 21-28, 2013, Brno, Czech Republic) – Proceedings, Vol. 1., 2013, Praha, pp. 307-311. <http://prokarstterra.bas.bg/competition/publications/16-16ICS-proKARSTerra-new.pdf>

Stefanov P., D. Stefanova, D. Mikhova, 2013b. International competition “Karst under protection – Gift for the generations” as a part of the educational strategy “ProKARSTerra-Edu”. Report of the IGU Kyoto Regional Conference. (August 4-9, 2013, Kyoto, Japan) <http://prokarstterra.bas.bg/competition/publications/18-2013%20-%20Kioto%20Jp.pdf>

Stefanov P., 2015. Protected Karst Territories Lifelong Learning (International Journal of Geoheritage, Volume 4, Number 2, December 2015, pp. I-VI. <http://www.darswin.com/dw/Journals/ijg/V.4.htm>

- Stefanov P., 2021. Innovations in geographical education? Wasted opportunities. SocioBrains, 78, 624-668. (in Bulgarian) [http://sociobrains.com/website/w1465/file/repository/10\\_Petar\\_Stefanov.pdf](http://sociobrains.com/website/w1465/file/repository/10_Petar_Stefanov.pdf) <http://www.prokarstterra.bas.bg/lab>  
<http://www.prokarstterra.bas.bg/lab/methodology.html>  
<http://www.prokarstterra.bas.bg/lab/base.html>
- Stefanov P., D. Stefanova, 2019. Innovative education for/through karst. SocioBrains, 54, pp. 600-627. (in Bulgarian) <http://www.prokarstterra.bas.bg/lab/edu-activity.html>  
<http://prokarstterra.bas.bg/competition>
- Stefanov P., D. Stefanova, 2020. The First International Competition for students "Karst - the last „white spot” on the planet Earth" – results and perspectives. SocioBrains, 66, 199-230. (in Bulgarian) [http://sociobrains.com/MANUAL\\_DIR/SocioBrains/Issue%2066,%20February%202020/Natural%20Geography/11\\_%20Petar%20Stefanov,%20Dilyana%20Stefanova.pdf](http://sociobrains.com/MANUAL_DIR/SocioBrains/Issue%2066,%20February%202020/Natural%20Geography/11_%20Petar%20Stefanov,%20Dilyana%20Stefanova.pdf) <http://prokarstterra.bas.bg/competition/bg/publications.html>  
<http://prokarstterra.bas.bg/travel-school>  
<http://prokarstterra.bas.bg/travel-school/bg/feedback.html>  
<http://prokarstterra.bas.bg/sci-competition>
- Stefanov P., H. Prodanova, D. Stefanova, V. Stoycheva, G. Petkova, 2023. Monitoring of water cycle in karst geosystems and its integration into ecosystem assessment framework. Journal of the Bulgarian Geographical Society, Vol. 48, 15–26. <https://jbgs.arphahub.com/article/101301/> <http://prokarstterra.bas.bg/sci-competition/bg/response.html>  
<http://prokarstterra.bas.bg/forum2015>  
<http://prokarstterra.bas.bg/forum2019>
- Stefanova D., P. Stefanov, 2020. Fourth International Competition “Karst under protection – gift for the future generations” `2019: results and conclusions. SocioBrains, 66, 180-198. (in Bulgarian) <http://iyck2021.org/index.php/explore>  
<https://iyck2021.org/index.php/event-results-august/>

# STEM TRAINING AND OPPORTUNITIES FOR PROJECT-BASED TRAINING AND INTEGRATIVE KNOWLEDGE IN SPELEOLOGY

Mina Spasova<sup>1,3</sup> Alexey Stoev<sup>2,3</sup> and Penka Muglova<sup>2,3</sup>

*1 Institute of Philosophy and Sociology, Bulgarian Academy of Sciences, 13A Moskovska Str., 1000 Sofia, Bulgaria*

*2 Institute for Space Research and Technologies, Bulgarian Academy of Sciences, Sofia, Bulgaria, stoev52@abv.bg*

*3 Speleoklub "Salamandar, Tsar Simeon Veliki 62, , Stara Zagora/ Bulgaria, club@sk-salamandar.org*

## Abstract

STEM is an abbreviation for Science, Technology, Engineering, Maths. It is a direction in education that considers individual disciplines as bound in a common context with various references and connections between them. STEM education implies an approach that builds skills for critical thinking, analysis, research and tracing interrelationships between individual disciplines and fields of knowledge. STEM education has a practical orientation, and the activities that are supposed to be performed are exploratory and experimental in nature.

The report shows the possibility of creating methodological foundations and a cabinet for STEM training in speleology. A critical analysis of the technological possibilities for project-based learning and integrative knowledge in the interdisciplinary fields of the science of speleology has been made. The special place of engineering technologies is also noted, for the creation of specialized equipment for penetrating the underground environment and lighting there.

The stages for building a STEM caving room, the use of different technologies, software, learning content and physical environment are presented. Ways to effectively use a STEM caving room with other innovative educational technologies are also shown. A comment was made on the possibility of creating rich learning content (disciplinary, interdisciplinary and transdisciplinary) and a modern, functional and safe learning environment.

## Keywords

Speleology, STEM, educational technologies, project-based learning, interdisciplinarity

## 1. Introduction

Karst is a landscape feature that covers just over 20% of the Earth's surface. Karst is created by water naturally dissolving certain types of bedrock (mainly carbonates). On the surface, karst has many forms, which makes it difficult to recognize even for an experienced explorer. Particularly dramatic and picturesque are the karst landscapes hidden in caves and cave systems. Caves and karst are priceless treasures. Hundreds of caves are open for tourism around the world, some of them are included in global geoparks, and many of them are on the UNESCO World Natural and Cultural Heritage list. Over 200 million tourists visit caves each year, providing vital support to many national economies. Karst aquifers provide approximately 15% of the world's drinking water and include the largest wells and springs on Earth.

Karst and caves are home to many of the most diverse, important and rare ecosystems on the planet, supporting ecological diversity above and below ground. The most significant cultural and archaeological sites in the world are located in karst or man-made caves. On the other hand, karst aquifers are the most complex, least studied, particularly difficult to model, and most vulnerable to contamination of groundwater supplies.

All this prompted the world community and the International Union of Speleology (UIS) to declare the International Year of Caves and Karst, which started in 2021 and lasted until 2022. Its motto was: "Explore, Understand and Protect", which inspired the world spelunking community to various original initiatives and events, mainly focused on:

- improving public understanding of how caves and karst affect the daily lives of billions of people;

- popularizing the importance of caves and karst through sustainable development, especially in terms of water quality and quantity, agriculture, geotourism/ecotourism and natural and cultural heritage;

- demonstrating the exploration and proper management of caves and karst as a process critical to global economic and ecological health;

- building global educational capacity through activities focused on cave and karst science;

- Promote awareness of the interdisciplinary nature of cave and karst science and management. This calls for greater integrity between the various fields of science and management needed in future research, education and environmental protection.

Thus, speleology becomes a complex science studying surface and underground karst, caves and all other karst forms, the processes that form them (speleogenesis), their structure, their physical characteristics, as well as the changes that occur in them over time ( speleomorphology), their history and the life forms that inhabit them. Speleology combines much known knowledge from other sciences such as chemistry, biology, geology, physics, meteorology, geodesy, cartography to represent caves as complex evolving systems in time and space.

All this makes speleology extremely applicable for training, not only within the framework of training of personnel in caving clubs, but also in the educational system of the country at different levels and age groups. In addition, in the process of teaching speleology there is an opportunity to apply STEM - technology.

STEM is an abbreviation for Science, Technology, Engineering, Maths. It is a direction in education that considers individual disciplines as bound in a common context with various references and connections between them. STEM education implies an approach that builds skills for critical thinking, analysis, research and tracing interrelationships between individual disciplines and fields of knowledge. STEM education has a practical orientation, and the activities that are supposed to be performed are exploratory and experimental in nature.

All this is related to the training of young people from an early age (12-14 years old!) in the field of speleology. The entry of high technologies into the everyday life of the speleologist - researcher changes the idea of the underground world that we knew until recently. This also includes the labor market - new and new professions serving the management and management of surface and underground karst, related to science, mathematics, engineering and technology, are constantly appearing. Just 30 years ago, information technology was an exotic specialty for "strange birds", and today programming is the most important foreign language that every specialist should know. Since April 2018, Bulgaria is already a member of the European STEM Coalition - a network of national STEM platforms and organizations responsible for the implementation of national STEM strategies. The main objectives of the European STEM Coalition are to facilitate the exchange of good practices between organizations and to support the development of new platforms (STEM Education Policy Statement 2017–2026). Bulgaria has also created one with an emphasis on digital skills at all levels in school and higher education, discovering scientific and technical talent in adolescents at an early stage, attracting expert teachers and lifelong learning ([www.mon.bg](http://www.mon.bg)). The first steps in this direction have also been taken in the country's cave clubs. Also, in the academic year 2018/2019 and beyond, many schools organized and involved students in extracurricular activities in the field of caving, which encompasses the core STEM fields.

## 2. Teaching STEM

When teaching speleology in club courses or at school (extracurricular activities), different approaches can be used such as: exploratory, integrated or practical. These approaches can help trainees and students acquire knowledge and develop skills that will be needed in life outside the confines of the home, speleoclub or school.

- In the research approach, course participants and students are active participants in the learning process and discover new knowledge and solutions to problems related to the theory and practice of speleology.
- In the integrated approach, STEM is applied to all subjects, not just those directly related to caving and technology.
- In the practical approach, students and trainees have the opportunity to apply their knowledge in practice individually or when working in a team and solving real problems in the field of karst and cave research.

STEM also encompasses the 4 principles identified as key to 21st century education:

- creativity;
- cooperation;
- critical thinking;
- communication.

STEM learning is integrated and grounded in research principles and a highly adaptable framework to meet the diverse needs of learners and students. Embedding STEM in the curriculum is a matter of preparation and prior training of the instructor/teacher.

The STEM transformation of speleology teaching and learning rests on four main pillars – environment, content, technology and instructor/teacher skills. In order to achieve qualitative change and innovation in the teaching of the theory and practice of speleology, we must consider them together and simultaneously, not as successive stages (Морозова & Духанина, 2019).

1. The educational environment. The change of the spaces in which the speleology training process takes place is the most visible sign to the outside eye that the club/school has embarked on the path of educational transformation. The STEM environment in modern education should predispose to freedom, flexibility and creativity in the processes of learning and research, stimulate communication and teamwork. It should also functionally contribute to the learning process and acquisition of practical skills. To fulfill its function as a pillar, it must be planned in harmony with the other three pillars – content, qualification, technology.
2. The educational content. Quality learning and acquisition of practical skills in caving is not a one-way process where the instructor/teacher feeds information to the trainees/students and assesses their ability to reproduce it. It is transformed into researching information about karst and caves, researching and analyzing problems in the field of speleology and proposing possible solutions to them. Therefore, the educational content is a support, without which the STEM transformation in speleology education cannot take place. We need to answer the questions: what content will we go through; does it meet the educational goals we have set for ourselves; how it corresponds to the environment in which we will consider it. Project-based learning often involves the work of more than one instructor or teacher within a learning project. This challenges us to have an interdisciplinary content that includes knowledge from different subject areas within the research project.

However, the creation of new educational content in the field of speleology is a time-consuming and methodical process. To overcome this difficulty, it is important to include in the planning process an investigation of what already developed solutions we can reach. Let's find out, for example, whether:

- The devices and robotic systems for 3D mapping on which we train the students/students are accompanied by educational content already developed for them;
- Whether the content is applicable to the environment, the general and special training of the course participants/students;

- The instructors/teachers have the skills to handle the learning content;
- The content is in the language we want to use during the training;
- We have rights to use it and what is our access to it.

The transformation of the educational content of speleology does not mean to exclude knowledge from it. In the learning process, the course participants/students acquire the knowledge they should have for the respective age and educational level. In addition to these, they understand how this knowledge relates to the real world of karst and caves and how they could put this knowledge into practice. With this, they form skills to solve the problems of the present, as well as the not yet existing problems of the future.

### 3. Technologies.

Technology is the third foundation of STEM. The answer to the question of what technologies to choose lies in what tools we need for innovative content in the transformed environment of speleology education. When we think about them in isolation, we risk that the technology and the environment end up not working well together. And need to make additional changes and spend additional resource to adapt one to the other or vice versa. An example of this is the classic science classrooms. We are used to seeing various devices, computers located on the periphery of the rooms and the learners facing the space, the classmates and the instructor/teacher. Although the technique is available, it does not correspond well with the environment and does not predispose to group work, to easy perception, to a mode of self-learning and communication (<https://www.twigscience.com/middle-school/>).

Technology is the most dynamically developing pillar compared to the previously discussed pillars of STEM transformation. Every month, technology companies make updates to their products and even come up with completely new solutions. Therefore, it is important to look at the choice of equipment as an investment that can fully meet the goals and the other elements of our plan. A technological solution is pointless if there is no place to use it, but also if the instructors/teachers are not trained to use it. The tools we use to achieve our goals can include technology - computers, tablets, laser scanning systems, ax robots, automatic weather stations, CO2 meters, other karst environment loggers and whatever other equipment we need. All that is specific as a technology is subservient to the content and is woven into the learning environment of speleology as a theory and practice of the research process.

4. The skills of the instructors/teachers. It is the ability of instructors/teachers to skillfully handle the mainstays that is the engine that makes the environment, content and technology "come alive". In the development of STEM in the teaching of speleology in the club or school, we should not fail to foresee the training of pedagogical specialists (instructors/teachers) so that they are skilled and confident in taking advantage of all the advantages of the transformed environment and the introduced new technologies. We must bear in mind that training the teaching team is a process that requires time and it is advisable to happen in parallel with the work on the other three pillars, and not only at the end of

the process, when we will have lost valuable time for preparation. It is a good practice to involve the instructors/teachers in a STEM working group to build a STEM based environment in the caving education. In this way, the team is part of the transforming process from its first steps, recognizes it as its own, participates and contributes to its implementation (Шипулина 2020).

Another option to support the instructor/teacher qualification plan is cascading. A group of them undergo training and they themselves, working in a team, pass on the skills to their colleagues. The qualification of the instructors/teachers must be tailored not only to the educational goals, but also to the personal characteristics and wishes of each of them, to the needs of the course participants/students and to the readiness, motivation and digital competences of the team as a whole. The long-term plan of steps for the development of the team and the members of the team ensures a smoother and smoother development of the knowledge and skills of the teachers in relation to the technology and the modern educational environment (<https://www.stemcenterusa.com/>).

One of the main advantages of STEM education in caving is the integration of separate subjects into the curriculum. This allows the trainees/students to understand the connections between the subjects they study within the science of speleology itself. This helps them answer questions such as: "Why do I need this knowledge?", "Where will I use what I am learning?" Which ultimately strengthens their motivation and desire to learn the learning material.

On the other hand, the design principle of learning in the field of speleological science allows for a deeper study of a given problem. The project allows different groups of trainees/students to develop several independent solutions to the same problem in the field of karst and cave science. Working to solve a particular problem teaches them to plan, organize and research. Practical activities help to develop abilities and skills necessary for the realization of the project. Students use the research done to create the design, testing, evaluation and corrections in the solution of a given problem (Stem Center).

In this case, the term "engineering" implies a mathematical evaluation of the design. Analysis allows students to create mathematical models, understand the meaning of informed decision making and increase the speed at which decisions are reached. Once the analysis is done, the modeling object can be constructed and evaluated. Further analysis and design improvement follows. This process is particularly important when training in the theory and practice of cave and chasm mapping.

After reaching an acceptable map design, the trainees, like true inventors, prepare the final presentation of what they have made. Included in the presentation are their sketches, designs, notes, research, data analysis, and anything else that contributed to the final map sheet design and description. The opportunity to explain the stages through which they reached the final decision allows the students/students to transform knowledge into understanding, and the practical development and its evaluation lead to the application of knowledge, building abilities for analysis and synthesis.

### 4. Conclusion

The training of trainees/students in the field of speleology through the methods of science, technology, engineering and

mathematics should begin as early as possible. The key point of the STEM-approach is that it offers learning where all learning activities are based on real-world karst and cave events and situations for which trainees/students have to find and propose a solution to a given problem.

This encourages creativity, innovation, critical thinking, teamwork, problem solving skills and more. Bulgarian education has taken the first steps in this direction - the subject "Computer Modeling" has been introduced, extracurricular activities based on STEM are stimulated. Computer and robotics skills and systems in the field of exploratory caving are also taught in some caving clubs. But for us to be truly successful, instructors/teachers need to break down their teaching and structure their lectures/lessons based on STEM.

The implementation of the concept of STEM education in our country, following the example of other countries, is an opportunity to overcome the crises in the caving club/school - i.e. a field is opened for updating the individual, respectively the individual communities in a group (club, class, graduation) and global plan. The construction of STEM centers, forums and other forms in the club/school is not an unthinkable project, rather it shows the serious interest for professionals who have gone through training in the STEM education system.

## References

- Морозова, О.В., Духанина Е.С., 2019. STEAM-технологии в дополнительном образовании детей. Баландинские чтения – 2019 - Т. XI. НОЦ НГУАДИ (Новосибирск). с. 553-556. (in Russian)
- Шипулина Е. Р., 2020. Формирование профессиональных компетенций будущих учителей на основе курса «STEM-технологии в образовании». (<https://core.ac.uk/display/370605519?source=2>) (in Russian)
- Inspiring the next generation of STEM leaders. <https://www.stemcenterusa.com/>
- Inspire the next generation of STEAM professionals with real world phenomena. <https://www.twigscience.com/middle-school/>
- STEM Education Policy Statement 2017–2026 <https://www.education.ie/en/The-Education-System/STEM-Education-Policy/stem-education-policy-statement-2017-2026-.pdf>, (last visited 28.10.2019 );
- Stem Center <https://www.sharktankblog.com/business/stem-center/>  
www.mon.bg, (last visited 28.10.2019 );

## RESULTS OF THE FIRST PROJECT OF THE SERBIAN BIOSPELEOLOGICAL SOCIETY

Ivo Karaman

Serbian Biospeleological Society, Trg Dositeja Obradovića 2, 21000 Novi Sad, Serbia. ivo.karaman@dbe.uns.ac.rs .

### Abstract

The Serbian Biospeleological Society (SBSD), which was founded in 2017 and is located in Novi Sad, continued with the usual activities of the enthusiast who founded it. In 2022, the SBSBD realized its first officially funded research project, "Monitoring of the subterranean fauna of Tara National Park". The project was supported by the National Park Tara and financed by the Ministry of Environmental Protection. The speleological group of the Association of Researchers "Vladimir Mandić - Manda" from Valjevo, a member of the Association of Speleological Organizations of Serbia (SSOS), participated in its realization. The research was carried out on Mount Tara, faunistically one of the most interesting mountains in Serbia. Disproportionately to its size, it is characterized by a large number of endemic, rare, and protected plant and animal species. The mountain, with an average height of 1200 m, located on the eastern border of the inner Dinarid Belt, is extremely interesting from a biogeographical point of view. Such are the first results of our research. The most valuable so far are the discoveries of three troglobite species new to science. In addition, eight more troglobite species were identified, four of which are already known as Tara endemics, while two are known from caves located much further south of this mountain. Among the troglophile species, the most significant are the findings of two species whose wide areals are located much further south of Tara Mt. Among the stygofauna, six species of amphipod and isopod crustaceans were found. The composition of the Tara Mt. subterranean fauna clearly distinguishes certain spatial units.

### Key words

Biospeleology, cave fauna, Serbia

## THE CAVE OF MARONEIA (RODOPI, NORTHERN GREECE): BIODIVERSITY, SIGNIFICANCE, PRESSURES AND THREATS

Kaloust Paragamian<sup>1</sup>, Panagiotis Georgiakakis<sup>2</sup>, Ioanna Mylona<sup>3</sup>, Giorgos Papamichael<sup>4</sup>, Ioannis Nikoloudakis<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Hellenic Institute of Speleological Research, 179 Megalou Alexandrou avenue, 71306 Irakleio, Crete, Greece, k.paragamian@gmail.com

<sup>2</sup>Natural History Museum of Crete, University of Crete, Knosou Ave., Iraklio, Crete, Greece, pangeos@nhmc.uoc.gr

<sup>3</sup>Proteas Caving Club, 7Grigoriou Lampraki street, 54636 Thessaloniki, Greece, joanmilona@gmail.com

<sup>4</sup>ATEPE Ecosystem Management LTD, 14 Ermou Street, 14121 Heraklion Attica, Greece, gpapam@atepe.gr

### Abstract

The cave of Maroneia is located at the eastern side of Ismaros Mt, 5km to the west of Maroneia village, at 155m a.s.l. It is the largest cave of Evros prefecture (1.0 ha). The human use of the cave dates back to the Neolithic period but it was very intense during the late 12th to early 13th century AD. Human activities during the last 80 years have a significant impact on the cave as ecosystem and geological formation (widening narrow passages, uncontrolled visitation, destruction of cave speleothemes, painting inscriptions on the walls, illegal excavations, improper cave gating, removing the soil out of the cave during archaeological excavations, etc.). Nevertheless, due to its great importance for chiroptera species of Annex II of Directive 92/43/EEC, the cave was considered in 1996 as a Site of Community Importance, and was later institutionalized as a Special Area of Conservation ("Maroneia - Spilaio", GR1130008). During 2019 and 2020, in the framework of the LIFE GRECAT project, we extensively studied the fauna of the cave and we examined its conservation status and needs in order to scale up environmental protection and management. The invertebrate fauna includes more than 30 species of which three are currently known to be cave's endemics [*Alpioniscus thracicus* (Isopoda Oniscidea), *Leptonetela thracia* (Araneae) and *Maroniella beroni* (Coleoptera)] and at least five that could be new to science [*Chthonius* sp. (Pseudoscorpionida, Chthoniidae), *Niphargus* sp. (Amphipoda, Niphargidae), *Graeconiscus* sp. (Trichoniscidae), *Ovaliptila* sp. (Orthoptera, Gryllidae), *Plusiocampa* sp. (Entognatha, Campodeidae), *Typhloiulus* sp. (Diplopoda, Julidae)]. Chiroptera include eleven species -all strictly protected- of which ten are regular inhabitants of the cave. The total population was estimated to more than 3,000 adult individuals during the summer season. The following actions have been addressed in detail for implementation: a) the actual ground survey of the boundaries of "Maroneia - Spilaio" protected area includes only the 1/5th of the cave's area and should be revised, b) the improper cave gate should be replaced with a bat-friendly one, c) a wide area to the north of the cave should be maintained as feeding area for bats, d) during archaeological excavations the excavated and sifted soil should be stored inside the cave and replaced on the floor when the excavation is completed, e) all visits should be authorised by both archaeological and environmental authorities.

### Key words

Biospeleology, protection, archaeology, bats, Greece

## PROTECTING GREECE'S CAVE BIODIVERSITY: THE ENVIRONMENTAL IMPERATIVE

Kaloust Paragamian

*Hellenic Institute of Speleological Research, Megalou Alexandrou 179, 71306 Irakleio, Crete, Greece, k.paragamian@gmail.com*

### Abstract

Due to its geological history and petrological composition, Greece has a large number of caves. Although there is no unified national register, it is estimated that the number of recorded caves is well over 10,000. Terrestrial caves in Greece are of great importance for at least 16 species of bats and for hundreds of species of cave-dwelling invertebrates that live exclusively (or almost exclusively) in the underground environment. Caves: *a*) are of paramount importance for the conservation of populations of 10 species of bats listed in Annex II of the Habitats Directive and 6 species listed in Annex IV as natural breeding (and overwintering) in Greece. In turn, bats - regardless of species and population - contribute significantly to the supply of dead organic matter (mainly faeces) which is a food source for cave consumers; *b*) are of crucial importance for the conservation of at least 301 species of endemic invertebrates of Greece that live exclusively in caves. Of these, 211 are known from a single cave, while a further 56 are known from 2 or 3 nearby caves. A total of 26 endemic cave-dwelling genera are reported, of which 19 are monotypic! In this contribution, we examine the current environmental legislation at international, national, and regional level for the protection of caves and cave fauna in Greece. In addition, we identify deficiencies and other constraints that are limiting the capacity to conserve and protect caves and cave species, and we provide suggestions for overcoming these constraints to better facilitate subterranean environmental conservation.

### Key words

Cave protection, biodiversity, biospeleology, Greece

## THE ROLE OF CAVES IN THE DEVELOPMENT OF TOURISM IN KOSOVO

Fadil Bajraktari, Sami Behrami

Kosovo Institute for Nature Protection, Rruga Luan Haredinaj, Prishtina1403, Kosovo fadilbajraktari@gmail.com

### Abstract:

From geological perspective, Kosovo is located in a very specific area. It is characterized by a distinguished diversity of geological formations. It starts from the old crystalline rocks of Paleozoic up to quaternary rocks, including various types of sedimentary and magmatic rocks and metamorphic rocks that are less prevalent. Karst terrains in Kosovo are built from karstified limestone of Triassic and Cretaceous ages and of Paleozoic marble.

These terrains include an area of 1.423 km<sup>2</sup> or 13.1% of Kosovo's territory. To date, over 200 caves and abysses have been registered in Kosovo, but it is thought that the number is much higher. The number of protected caves in Kosovo is 20 (2022) which includes an area of 459.79 ha, or 0.4 % of the surface of protected areas.

The largest number of caves in Kosovo are located within protected zones such as in: the National Park "Bjeshkët e Nemuna" ("The Cursed Mountains"), the National Park "Sharri", the Nature Park "Liqeni i Vermicës dhe Mali Pashtrik" ("Lake Vermica and Pashtrik Mountain"), Natural Monument of Special Importance "Ujëvarat e Mirushës" ("Mirusha Waterfalls"), etc., and in the vicinity of the touristic zones such as: Bifurcation of Nerodime River, Waterfalls of Mirusha River, Drini i Bardhë karst spring, Rugova Gorge, Gorge of Prizren's Lumëbardh, etc.

To date, over 30 km of corridors and underground galleries have been explored in Kosovo. The majesty of the corridors, galleries, lakes, underground rivers, the shape and variety of stalagmites, stalactites, cave curtains, cave fauna, archeological traces, etc., make the caves very attractive for tourists and offer an important potential for sustainable development of geotourism in Kosovo.

Kosovo caves offer numerous geological, geomorphological, cultural, biological, educational and touristic values, but there are only three open caves for visitors (Gadime cave, Radac cave, and Kusari's cave). In recent years, there has been a great interest in visiting and exploring caves by local and foreign visitors; also the negative effects inside caves have increased as a result of the large number of visitors and poor cave management. Drafting the projects and plans for good cave management and creation of touristic infrastructure would have an impact to increase the number of visitors to the caves, and the caves will be turned into important zones for the development of tourism in Kosovo.

### Keywords

Kosovo, caves, tourism, karst terrains

# **ARCHAEOLOGY & HISTORY**

# ARCHAEOACOUSTICS IN CULT CAVES ON THE TERRITORY OF BULGARIA

Penka Muglova<sup>1,3</sup>, Mina Spasova<sup>2,3</sup>, Alexey Stoev<sup>1,3</sup>, Ognyan Ognyanov<sup>1,3</sup>

*1Institute for Space Research and Technologies, Bulgarian Academy of Sciences*

*„Akad. Georgi Bonchev"1, 1113 Geo Milev, Sofia, stoev52@abv.bg*

*2Institute of Philosophy and Sociology, Bulgarian Academy of Sciences*

*13A Moskovska Str., 1000 Sofia, Bulgaria*

*3Speleoklub "Salamandar"/Bulgarian Caving Society*

*Tsar Simeon Veliki 62, , Stara Zagora/ Bulgaria, [club@sk-salamandar.org](mailto:club@sk-salamandar.org)*

## Abstract

At the end of the 20<sup>th</sup> Century, on the territory of Bulgaria cult caves were discovered using the methods of archaeoastronomy, used in the Eneolithic as instruments for time measurement and deposits of monochrome cave paintings with a calendar character. Along with this, in the course of research, the presence of specific acoustic characteristics was noticed in certain halls of the caves used by the ancients for the purposes of the cult. This necessitated an analysis of methodological issues related to specific acoustic measurements in closed archaeo-astronomical sites and the ways of extracting acoustic characteristics that can be used to support archaeological hypotheses. To determine the acoustic characteristics of these spaces, measurements of background noise sound pressure levels, RASTI and reverberation time were performed. Reverberation time averages in the range of 1s to 1.9s were obtained, and RASTI averages indicated good intelligibility (0.45 to 0.65). The sound absorption coefficient of the limestone in which these caves were formed was measured with a standing wave apparatus. It has been hypothesized that the ability to amplify and modify sound was perhaps one of the characteristics of caves and cave halls that determined the selection of certain caves for cultic purposes in prehistory. The results show that painted calendar motifs in general, and acoustically resonant lines and points in particular, are statistically more likely to be found in locations where reverberation is moderate and where the low-frequency acoustic response has evidence of resonant behavior.

## Key words

Cave, cult caves, acoustic, archaeoastronomy, Bulgaria

## 1. Introduction

During the Neolithic and especially the Chalcolithic, real written systems of signs were formed in various places on the Balkan Peninsula, along with the mixed system of meaning formation. They are more likely to be composed of ideograms rather than letters and are more difficult to understand as they may also contain symbols (Тодорова 1986),(Стойчев 1984). The Chalcolithic semiotic system is made up of images, symbols, signs and meaningful forms, combined in various ways into "texts" of an artistic type. These "texts" do not consist of well-defined concepts that can be reduced to words, but of ideas that build a worldview. Analyzing the figurative language of Neolithic and Chalcolithic cultures requires discovering the meaning and interrelationship between its various components. One of the most original finds of an Eneolithic writing with a certain content (including astronomical images) on the territory of Bulgaria is located in the Magura cave near the village of Rabisha, Belogradchik municipality. Prehistoric monochrome drawings on the walls and ceiling of one of the galleries were discovered in 1928. They are a unique creation of man from prehistoric times in this part of Southeast Europe. The drawings were made with light brown ocher or fossilized bat guano during various historical periods. The maximum number of drawings was made during the Eneolithic, with some of them painted at the end of the Bronze Age and the rest at the end of the Iron Age.

In terms of composition, the structure of the drawings has the following distribution: total drawings - 1031 in number, divided into eight groups, among which there are 55 female, 23 male, 11 animal figures and 16 special characters. The scenes depicted on

the cave walls are dedicated to the cult of fertility, and the individual signs are interpreted as symbols related to the magical rites that the inhabitants of the area performed in the cave to ask for help from the deities or bestow them with generous gifts. In the semantic analysis of the actions described by the drawings, we have assumed that they are read from right to left (Maglova et al. 2018). This allows for the juxtaposition of symbols and ordering of celestial objects and phenomena, human cultic actions, cultic objects and instruments, logically linked in a common narrative. The analysis shows that more than 95% of the drawings are symbolic and sometimes one or more of them have a double meaning. Thus, about 6000 years ago, serious cultural and artistic innovations appeared among the early highly organized agricultural societies of the Balkan Peninsula. These include cave paintings (parietal art), the production of stone and bone tools, and portable items of mobile art with a cultic purpose, including human and animal figures, clay gift vessels. The existence of such a large shrine underground with such a quantity of cult paintings spread over galleries and halls shows its importance to the people. And since a large part of the drawings are related to figures of people in a pose of adoration, the question of how the ceremonies took place and whether it is related to the acoustics of the cave comes to the fore. In addition to the Magura cave, there are drawings from this era in a cave near the village of Bailovo (one of the so-called Kaluger caves along the Smolska river) and the Topchika cave in the Dobrostan karst massif.

There is strong evidence for the importance of human- and instrument-generated sound in prehistory, reported by various authors (Fazenda 2013) (Wyatt 2009 ) (Morley 2013). Many researchers suggest connections between caves with paintings,

their placement in specific places, and the creation of sound or music during ceremonies (Reznikoff & Dauvois 1988). The use of musical instruments by these early societies indicates an appreciation of sonic aesthetics and acoustic ecology in what would have been a highly oral and auditory culture, long before the creation of writing. The purpose of the study was to investigate whether this sound generation by people during ceremonies extended to the acoustic response of the spaces with the paintings. In this study, we look for evidence of a relationship between early visual motifs (Neolithic and Eneolithic paintings and engravings on cave walls), especially their positioning, and the assessment of the presence of acoustic effects arising from the interactions of sound (so-called acoustic response) with the physical characteristics of the surrounding cave environment.

Two authors - Reznikoff and Dauvois have studied Paleolithic cave paintings with different motifs in caves and show that they may be related to an acoustic response (Reznikoff & Dauvois 1988) (Reznikoff 2006) and (Dauvois 1999). Their research "demonstrates the connection between these cave paintings and the sounds that may have been produced near them." Our research is an attempt to apply a systematic scientific approach to establish the relationship between the placement of cave paintings in Magura Cave and the acoustic response of these sites. A range of different positions in the Gallery of Drawings are examined in terms of the nature and location of the main motifs in individual drawings and groups of them and the acoustic response from these positions measured with modern techniques and equipment. For comparative statistical analysis, a number of control positions were tested in the Picture Gallery, where pictures are missing.

### 3. An experimental approach

At the basis of our research, we have assumed that the internal morphology and structure of the Magura cave and especially the Gallery with the drawings, which inevitably affect its acoustics, have not undergone modification processes (both natural and anthropogenic). It follows that the investigated areas of the Drawing Gallery can be exposed for acoustic responses adequate to those occurring in prehistoric times. The question of the level of clay deposits today and before 6000 years ago remains open. All the locations chosen for acoustic measurements are far enough from the floor that changes there have less effect. Some of the measurements were taken in places where the morphology of the cave has been changed (eg by modern lowering or leveling of the cave floors or the provision of stairs and railings). Most of the measurements were made in places that archaeologists believe to be original, with preserved morphology, especially at the lateral chambers from the main axis.

In our study of the Magura Cave Painting Gallery, we set the following research objectives:

- 1) Is there a relationship between the compositional characteristics of the drawings and the places with the best resonance or sound quality;
- 2) Availability of specific instructions in the field of drawings for participants in the ceremony to make sound(s), with voice or musical instruments of that era;
- 3) Investigation of the resonance of the sounds in terms of their intensity and duration, the presence of echoes, the presence of a small or large number of participants in the ceremony.

Initially, a sound meter (Sauter SU, range 0-130 dB) was used to measure the sound intensity, and an electronic stopwatch was used to calculate the duration of the sound signal. The excitation of acoustic effects was carried out by vocalization or generation of sound signals from a calibrated sound generator 20 - 20,000 Hz.

The methodology we have developed for these studies creates a number of difficulties. The Neolithic and Eneolithic populations that inhabited and painted the caves were anatomically modern people, with vocalizations similar to ours. Repeated vocalizations from a modern human performer within an experiment will never be sufficiently standardized to provide a repeatable test source. Therefore, even slight differences between successive vocalizations can evoke different acoustic responses. In addition, the experimenter is prone to bias when using his own vocalizations to identify specific points of interesting acoustics. In addition, the voice covers only a limited frequency range that varies greatly between individuals, from low basses to high sopranos. Using an electronic stopwatch to measure reverberation, by modern standards, also introduces significant error. Each of us's estimate of when the reverberation has ceased can be measured to the nearest second. This is a measurement that is inherently subjective and makes the measured quantity dependent on: the loudness of each individual voice sound, background noise and the hearing acuity of the operator.

### 4. Measurement of acoustics and response time

At the basis of our research, we have assumed that the internal morphology and structure of the Magura cave and especially the Gallery with the drawings, which inevitably affect its acoustics, have not undergone modification processes (both natural and anthropogenic). It follows that the investigated areas of the Drawing Gallery can be exposed for acoustic responses adequate to those occurring in prehistoric times.

The question of the level of clay deposits today and before 6000 years ago remains open. All the locations chosen for acoustic measurements are far enough from the floor that changes there have less effect. Some of the measurements were taken in places where the morphology of the cave has been changed (eg by modern lowering or leveling of the cave floors or the provision of stairs and railings). Most of the measurements were made in places that archaeologists believe to be original, with preserved morphology, especially at the lateral chambers from the main axis.

In our study of the Magura Cave Painting Gallery, we set the following research objectives:

- 1) Is there a relationship between the compositional characteristics of the drawings and the places with the best resonance or sound quality;
- 2) Availability of specific instructions in the field of drawings for participants in the ceremony to make sound(s), with voice or musical instruments of that era;
- 3) Investigation of the resonance of the sounds in terms of their intensity and duration, the presence of echoes, the presence of a small or large number of participants in the ceremony.

Initially, a sound meter (Sauter SU, range 0-130 dB) was used to measure the sound intensity, and an electronic stopwatch was used to calculate the duration of the sound signal. The excitation of acoustic effects was carried out by vocalization or generation of sound signals from a calibrated sound generator – 20 - 20,000 Hz.

The methodology we have developed for these studies creates a number of difficulties. The Neolithic and Eneolithic populations that inhabited and painted the caves were anatomically modern people, with vocalizations similar to ours. Repeated vocalizations from a modern human performer within an experiment will never be sufficiently standardized to provide a repeatable test source. Therefore, even slight differences between successive vocalizations can evoke different acoustic responses. In addition, the experimenter is prone to bias when using his own vocalizations to

identify specific points of interesting acoustics. In addition, the voice covers only a limited frequency range that varies greatly between individuals, from low basses to high sopranos. Using an electronic stopwatch to measure reverberation, by modern standards, also introduces significant error. Each of us's estimate of when the reverberation has ceased can be measured to the nearest second. This is a measurement that is inherently subjective and makes the measured quantity dependent on: the loudness of each individual voice sound, background noise and the hearing acuity of the operator. text text t texttexttext ext text text text.

## 6. Results and interpretation

Using acoustic software, impulse response recordings in the Magura Cave Painting Gallery were processed. The highest correlation of "drawings and compositional groups" was found in:

- the sun hall - correlation 90%;
- the hall with animal images - correlation 75%;
- compositional groups containing priestesses in adoration and ithyphallic scenes - correlation 92%.

The indication of impulse response by acoustic measurements at a number of specific positions in the Picture Gallery shows that the calendar, astronomical and cult information recorded in the picture friezes probably also contained instructions about what the priests and initiates were to do at specific time intervals and what the chants (music) accompanying the cult ceremonies were. This conclusion is supported by earlier studies that combined stylistic and archaeo-astronomical dating of the drawings. Chronology is important when talking about cave acoustics for several reasons. First, given the cumulative and potentially changing distribution of motifs described in the compositional groups of drawings, it is likely (and in some cases documented) that the earliest drawings were located closer to the gallery entrance sites. Later motifs may not only have filled out this pattern, but may have extended it into new areas—timekeeping, cult, general information. Hence, any attempt to relate cave acoustics to the distribution of drawings that have no common chronological boundaries would risk confounding the series of potentially different patterns contained within them. There may have been a close relationship between the placement of drawings and groups and acoustic signals in some but not necessarily all phases of prehistoric calendar and cult creation.

In this regard, it is very likely that the behavior of priests and initiates is related to a specific historical moment described by the calendar friezes. Cave acoustics were important for certain types of behavior in certain periods, but not necessarily in the same way throughout the long period of creation of the prehistoric drawings (just over 3000 years). In this period, certain drawings, groups of them, motifs and compositions with a specific

content and purpose were painted. The behavior of those involved in their creation and subsequent use have changed over time, which makes controlling for chronology, albeit imprecise, essential in statistical evaluation. Thus, the relationship between the acoustics and the placement of the drawings and compositional groups creates an opportunity to add additional touches to the picture of the then social, productive and spiritual world of the prehistoric civilization.

## References

- Тодорова Х., 1986. Каменно-медната епоха в България, София, с. 202.
- Стойчев Т., 1994. Халколитни изображения от пещера Магура, България., Годишник на Департамент по археология – Нов български университет., т. 1, с. 307-319.
- Dauvois M., 1999. "Mesures acoustiques et temoins sonores osseux paleolithiques" ("Acoustic measurements and paleolithic bone sound signals"), in *Prehistoire d'os, Recueil d' etudes sur l'industrie Osseuse Prehistorique (Prehistory of Bone, Re-study of Prehistoric Bone Industry)*, edited by H. Camps-Fabrer (Publication de l'Universite de Provence, Provence), pp. 165–189.
- Fazenda B. M., 2013. "The acoustics of Stonehenge", *Acoust. Bull.* 38 (1), 32–37.
- ISO 3382, 2009. "Acoustics-Measurement of room acoustic parameters—Part 1: Performance spaces" (International Organization for Standardization, Geneva, Switzerland).
- Maglova P., Stoev A., and Spasova M. 2018. Eneolithic solar calendar in the Magura cave near the village of Rabisha, Belogradchik municipality, Bulgaria, *Synopsis of scientific contributions 26th Annual meeting of the European Society for Astronomy in Culture (SEAC)*, August 27 - September 1, 2018, Graz, Austria, Sonja Draxler & Max E. Lippitsch Editors, pp 200-202.
- Morley I., 2013. *The Prehistory of Music: Human Evolution, Archaeology, and the Origins of Musicality* (Oxford University Press, Oxford).
- Muller S. and Massarani P., 2001. "Transfer-function measurement with sweeps", *J. Audio Eng. Soc.* 49(6), 443–471.
- Reznikoff I. and Dauvois M., 1988. "The sound dimension of painted caves (original in French)," *B. Soc. Prehist. Fr.* 85(8), 238–246.
- Reznikoff I., 2006. "The evidence of the use of sound resonance from Palaeolithic to Medieval times," in *Archaeoacoustics*, edited by C. Scarre and G. Lawson (McDonald Institute Monographs, Cambridge), pp. 77–84.
- Wyatt S., 2009. "Soul music: Instruments in an animistic age," in *The sounds of Stonehenge, Centre for the History of Music in Britain, the Empire and the Commonwealth. CHOMBEC Working Papers No. 1*, edited by S. Banfield, *British Archaeological Reports International Series 504* (Archaeopress, Oxford), pp. 11–16.

<https://tinyurl.com/n2ckb8j>

# РЕЛИКВАРИЙНИ КАМЕРИ В ЗАПАЗЕНИТЕ ОЛТАРНИ МАСИ НА ПЕЩЕРНИТЕ ЦЪРКВИ ПО ЛОМОВЕТЕ, БЪЛГАРИЯ

Евгени Георгиев

Регионален исторически музей – Русе, Русе, България, [sparcy@abv.bg](mailto:sparcy@abv.bg)

## Abstract

### The reliquary chambers in the preserved altar tables of cave churches along Loms' river set, Bulgaria

Reliquary chambers' layout and location options in rock churches are adapted to the very fact that the temples have not been created by building, but on the contrary, by rock cutting and natural karst landforms fashioning. The encasing of holy relics in a cave church consecration, the availability of other relics is in the likeness of the masonry temples; the cult space arrangement is analogous, where possible, and the presence of a monolithic rock allows for it. The chambers being investigated, which we assume were intended for the storage of holy relics, are located in preserved altar tables of rock churches in the canyons of Rusenski, Cherni, Beli and Mali Lom rivers. They are more often found in the central part of the horizontal plane of the holy table, and there are different ways of their closing. A further option is when the location of the reliquary chamber is in the vertical rock profile, descending below the horizontal plane of the table. These gouges are slightly larger in size and penetrate the rock more noticeably. Irrespective of their location, a careful and delicate cutting in all of them is seen.

## Key words

Lom rivers set, cave churches, altar tables, Reliquary chambers

Възможностите за оформление и местоположение на реликварийни камери в пещерни църкви са съобразени с това, че храмовете не са създадени чрез изграждане, а напротив, чрез отнемане, на скала и дооформяне на естествените карстови форми. Почитането на светите реликви е много важно проявление на религиозността и те са усилено търсени и присъствали, а и до сега присъстват в храмовете. Вграждането на свети мощи при освещаването на пещерна църква и наличието на други реликви е по подобие на зиданите храмове, сходно е структурирането на култовото пространство, но доколкото това е възможно и позволява наличието на монолитна скала. Ще коментираме реликварийни камери, разположени в запазени до днес олтарни маси и по-конкретно примерите са от долината на Ломовите в Североизточна България, където концентрацията на пещерни християнски обители е изключително голяма, включително и от Ивановския манастир „Св. арх. Михаил“. Очевидно тези манастири се налагат като основен характеризиращ белег на облика на средновековната култура в разклонената ветрилообразна скална речна мрежа (Йорданов 2006, 2015).

В храмовете се различават два основни типа олтарни маси. Едните са били отделно стоящи, несвързани със скалата, което ги е направило неустойчиви във времето и те като цяло не са запазени. Другите са изсечени в самата източна скална стена и поради това в повечето случаи са напълно или частично запазени. Съответно и именно в тях и досега има наличие на реликварийни камери. Те са видими без необходимост от извършването на археологически проучвания, за разлика от наземните храмове, в които предимно чрез разкопки са разкрити както не малко реликви, така и съоръженията, в които те са съхранявани. В тези църкви те могат да бъдат условно разделени на две групи – първо, които са издялани (издълбани) в монолитни камъни и второ, които са изградени (иззидани) (Ботева, Тотев 2023). Коментиранияте по-долу камери имат сходства с първата група, но с пояснението, че те не са издълбани в отделни монолитни камъни, а в дообработени монолитни скали в пещери. Редно е да се уточни, че в запазения тип олтарни маси има разновидности. Някои са оформени при изсичането на апсидата,

която не се спуска до пода, а до заравнената повърхност на престола, оставащ изцяло в стената. Другаде той е част от скалата, но оформлението е така направено, че се издава малко пред стената. Има и варианти, когато олтарната маса е свързана на изток с масива, но апсидата се спуска встрани около нея до пода. Разновидност е и поставянето на плот върху или до заравнената скала, увеличаващ площта на масата. Понякога олтарното пространство е отделено от наоса не само чрез олтарна преграда, за чието присъствие се съди по запазените в скалата гнезда и жлебове, а е обособено като малко изсечено помещение и има примери за наличието в него на двата типа престоли — отделно стоящи (незапазени) и оформени в стената.

„Калугерицата“ е голям пещерен манастир в скалния рид Дядо Иванова чука, по течението на р. Бели Лом, в близост до гр. Ветово. Той е подробно изследван от Ара Маргос (Маргос 1987), а и по-късно (Трантеев и др. 2008). Обителта е с концентрация на скално изсечени надписи, сред които се четат имената –Коко, Тето, Дунав, логотет Андросий и полузаличеното Изпор. Авторите коментират архитектурно-пространственото оформление на храма, включително и олтарната част (фиг. 1).



1 За споделяния коментар относно спецификите на разглежданите съоръжения изразявам благодарност на гл. ас. д-р Тодор Енчев.

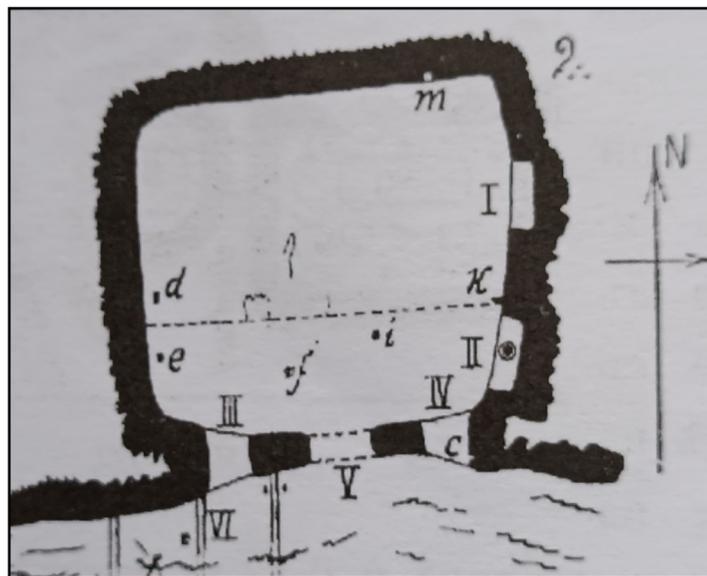
Фигура 1. Олтарното пространство на църквата в манастир „Калугерицата“

Не споменават наличието на някакво издълбаване на мястото, където смятаме, че се намира реликварийна камера. Тя е разположена във вертикалния профил, централно под олтарната маса (фиг. 2), която от своя страна е под много добре оформената аркирана апсида. Нишата за съхранение на реликвата навлиза 17 см. в скалата, широка е 15 см. и е висока



Фигура 2. Реликварийна камера в храма на „Калугерицата“

9 см. Издълбана е на половин метър под хоризонталната равнина на престола, но не може с точност да се посочи на колко над пода. Това е така, защото пещерата е с неравна приземна част и този недостатък е компенсирал с поставянето на дървен под над най-ниския участък, като са запазени засечки в скалата, показващи къде той е стъпвал. Реликварийната камера е била приблизително на около 40 см. над него. В най-вътрешната ѝ стена има кръгло вдълбаване. То е правилно оформено (идеален кръг), идентично на него има в протезисната ниша и го обвързваме със съвременна иманярска намеса. Камерата в миналото, за разлика от сега, е оставала полуприкрита под издаваща се над нея и пред източната стена света трапеза. Това се подразбира от оформлението на северната ѝ част. Там е запазен ъгъла, от който е започвала западната ѝ страна. Вижда се, че тя е следвала овална линия или поне в краищата си е завършвала с такава. След този



Фигура 3. План на „Южното отделение“ в Крещанския манастир (план по К. Шкорпил)

ъгъл престола е счупен. Има и малка запазена част от изпъкнал нагоре кант, който е рамкирал добре заравнената плоскост на олтарната маса. Така тя на изток, север и юг е

имала прави страни в рамките на скалата, но на запад се е издавала, с наличието на овал с кант, над реликварийната камера.

Крещанският пещерен манастир е разположен на левия скалист бряг на малък приток на р. Черни Лом в непосредствена близост до устието му при едноименното село. Още Карел Шкорпил посочва, че т.нар. от него „Южно отделение“ е всъщност църква. Според него тя се е състояла от малко южно помещение (нартекс) и голямо северно (наос). Разделението между тях вижда в един „почти напълно изтрит улук (κ) за дървена стена“ (Шкорпил 1914) (фиг. 3), какъвто реално е трудно да се посочи.

На по-късен етап е направена друга интерпретация – двукобра скална църква (Костова 2005, 292-293), на базата на наличието на две ниши, по една в източната стена на всяко помещение. Действително наличието на такава ниша в южното помещение не дава възможност то да се приеме за притвор. Самото оформлението и местоположението на нишата показва, че става въпрос за апсида и разположена под нея олтарна маса. Разделението на голямо и малко помещение, по начина, посочен от Шкорпил, също е под въпрос, защото има големи гнезда за греди в западната и източна стени, които подказват съществуването на преграда на различно място. Тя е нанесена при извършването на ново картиране на манастира (фиг. 4) и върху плана вече се вижда различна конфигурация.



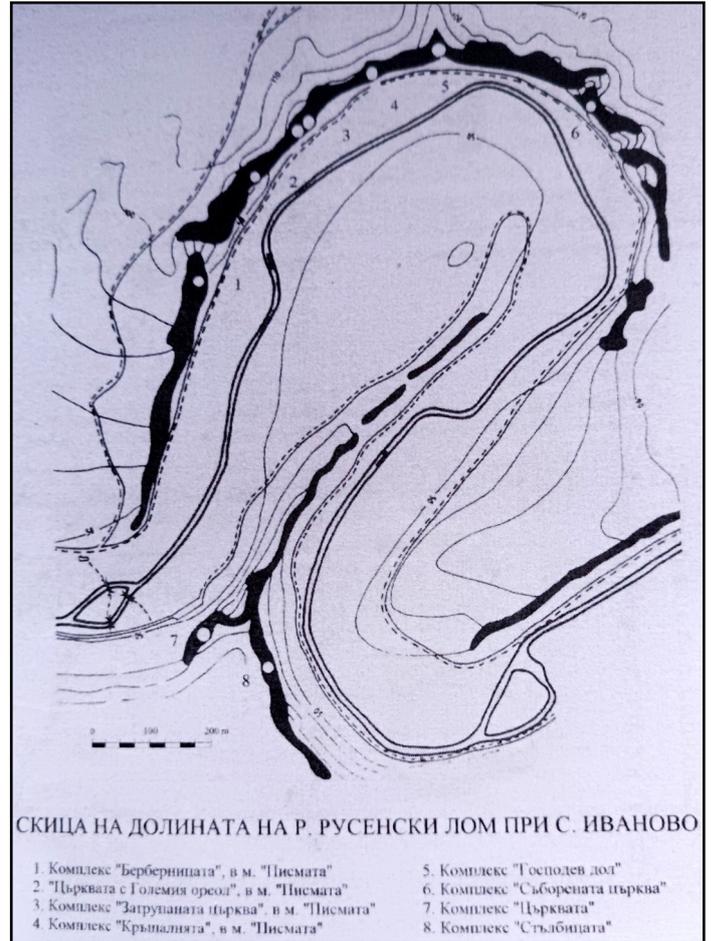
Фигура 4. План на „Южното отделение“ при Крещанска (по Т. Грантеев, Ст. Стойчев, О. Османов)

Южното помещение не е два пъти по-малко от северното, както е по Шкорпил, а напротив, двете са с приблизително равни размери. От олтарната маса в южното от тях се е запазила частта, която е издълбана в скалата. Обаче в стената, непосредствено до тази запазена част, са изсечени отвори за конструкция, върху която е стояло продължението на престола извън скалата. Голямата олтарна маса частично е навлизнала в източната стена и частично се е издавала пред нея. Нишата в източната стена на северното помещение, което традиционно е възприемано за наос, е с по-различно оформлението. Хоризонталната заравнена плоскост под нея е на височина по-малка от половин метър от пода. Трябва да се посочи, че тази височината не е такава, защото е имало някаква естествена кухня и оформлението да е било съобразено с нея. Напротив, издълбаването е в монолитна скала и малкото отстояние на плоскостта от пода е такова, каквото е искано да бъде. Ако, обаче се върнем към южното помещение, ще видим, че хоризонталната плоскост под нишата е разположена с около 30 см. по-нависоко и е пригодна за ползване като света трапеза от изправен духовник, при

извършване на свещенодействия. На централно място в запазената част от нея има старателно оформена вдлъбнатина (фиг.5) с диаметър от 11 см. Росина Костова аргументира невъзможността тя да е била използвана за ритуално измиване (Костова 2005, 292). Наличието на корита за измиване е характерно за храмовете на Изтока, както в Сирия, така и в Кападокия, но ги има и в България. Например по Суха река, в пода пред олтара на църквата до с. Хитово и в притвора на църквата Гяур евлери край с. Балик (Атанасов 1991, 38). Има ги и по Ломовете, например в олтарните части на Затрупаната църква при Иваново (Йорданов 2017, 336, 341), където е много добре запазено, и в т.нар. Южна църква в Красенския манастир (Шкорпил 1914, 149), където е попадало във вече срутената част от храма. Ритуалното измиване на ръцете е устойчива практика, с която обаче поради местоположението си и малките си размери, вкопаването в Крепчанския манастир не може да се свърже (Костова 2005, 292). Смятаме, че прецизно издълбаната ямка в олтарната маса е реликварийна камера. На нея е обърнато специално внимание, като е разположена в централната част на престола. Тя се е затваряла с кръгла плочка, за което свидетелства също прецизно издълбания жлеб около нея с диаметър 17-18 см. В западна посока камерата и жлеба са обрушени, но на плана на Шкорпил те са дадени като изцяло запазени. Явно в периода след изследването на големия учен е имало негативна човешка намеса.

„Църквата с големия ореол“ е един от около петнадесетте храма в Ивановския пещерен манастир „Св. арх. Михаил“ (фиг. 6). Намира се в местността „Писмата“ на десния бряг на р. Русенски Лом. Въведена е в научно обръщение от Асен Василиев (Василиев 1953, 21-22), който изготвя и първия ѝ план. Той не посочва наличието на правилно оформени всичания в олтарната маса, но такива има. Подът в олтарното пространство е нарушен от естествена, негативна форма, която е била прикрита отгоре с изравняваща дървена конструкция.

ямка с диаметър 13 см. и вкопана 7 см. Трудно е да се каже дали реликварийните камери са издълбани едновременно или с дистанция на времето.



Фигура 6. Разположение на основните съставни части в Ивановския манастир (по Бл. Дживджанов)

Една примерна реконструкция е едната да е съдържала свети мощи, поставени при освещаването на храма, а другата да е съхранявала други реликвии, което е разпространено и търсено явление, изпълващо със „святост“ храма и носещо изцеление на вярващите (Бакалова 2016, 36-38). Друга възможност е едната камера да е ползвана при първоначалното освещаване и на по-късен етап, след период в който църквата не е ползвана при нейното обновяване и преосвещаване, да е издълбана втората, за съхранение на по-голям реликвар.



Фигура 7. Олтарната маса в „Църквата с големия ореол“ в Ивановския манастир



Фигура 5. Реликварийна камера в Крепчанския манастир

Престолът (фиг. 7) е с голяма площ, масивен, навлизащ 60 см. навътре в скалата и издигащ се 98 см. над пода. Върху него има старателно изсечено малко, но дълбоко вкопаване (фиг. 8) с диаметър 5 см. и навлизащо 9 см. в скалата. То се стеснява надолу и наподобява формата на обърнат конус. Второто вкопаване е чувствително по-голямо и се намира във вертикалния профил, под плоскостта на масата (обр. 9). Камерата навлиза 25 см. в скалата, широка е 19 см. и отстои на 23 см. от пода. Долната ѝ част е добре заравнена, а отгоре е оформена като полукупол. В заравнеността има издълбана



Фигура 8. Малката реликварийна камера в „Църквата с големия ореол“

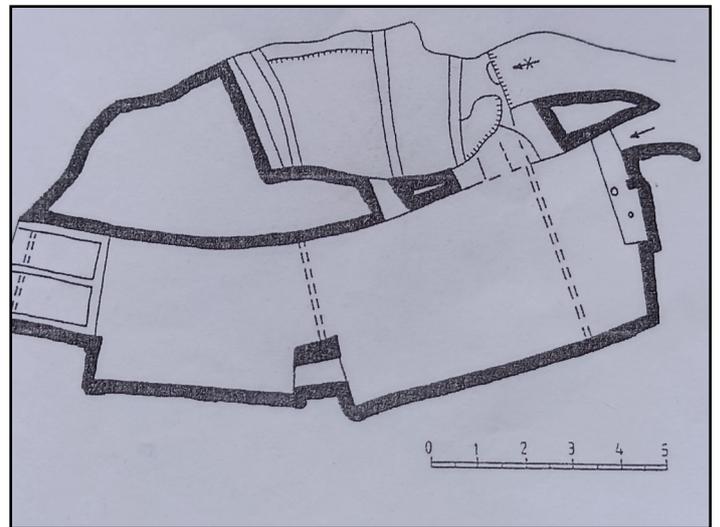
Храмът „Църквата“ (фиг. 10) в Ивановския манастир е изсечен от лявата страна на р. Русенски Лом (фиг. 6). Известен е със своите великолепни стенописи и ктиторски портрет на цар Иван Александър. С оглед на разглеждания проблем, запазената олтарна маса буди интерес, поради наличието на две различни по големина вкопавания в нея (фиг. 11). Шкорпил, както и за други храмове, коментира, че са служили за закрепване на олтарна плоча (Шкорпил 1914), но Стоян Йорданов дава аргументи в съвсем друга посока (Йорданов 2017).

Престоло е голям, обширен, оформен в самата скала и няма белези да е имало допълнителна плоча и е нямало нужда от такава. По-големият отвор е издълбан в непосредствена близост до външния ръб на масата. Има овална форма, близка до кръгла, достигаща 21 см. Около него има жлеб за поставяне



Фигура 9. Големата реликварийна камера в „Църквата с големия ореол“

на похлупак. Той не отстои на равно отстояние от отвора, на места е доста отдалечен от него, другаде е близко и е с продълговата форма, достигаща 35 см. От отвора, през ръба на масата се спуска улей към пода. Второто вкопаване е много по-малко, разположено е по-навътре върху масата в средата под плитката апсида. Оформлението му е кръгло, с диаметър 7 см. и навлиза в скалата 6 см. Около него има равномерно опасващ го жлеб с диаметър 11 см., в който е имало кръгла покривна плочка. Стоян Йорданов коментира еволюцията на светлата трапеза (Йорданов 2017).



Фигура 10. План на „Църквата“ в Ивановския манастир (по Бл. Дживджанов)



Фигура 11. Олтарната маса в „Църквата“ в Ивановския манастир

Съпоставя издълбаванията в „Църквата“ с наличието на подобни отвори и улеи в други престоли и посочва сходството с този в храма на манастира Чилтер-Коба в Крим, за времето на създаването на който, обаче са изказани различни становища (Могаричев 1997, 77-79; Шевченко 2010; Могаричев 2015, 68-69, 82). Разглеждайки и останалите елементи на олтарното пространство, достига до извода за изсичане на храма през ранновизантийската епоха (IV-VI в.) и последвало преизползване, от времето на което са запазени стенописи (Йорданов 2017, 336-340), което разбира се не изключва възможността за съществуването му и през други периоди. И за други съставни части от Ивановския манастир може да се посочи по-ранно използване, преди Второто българско царство. В комплекса на Затрупаната църква е открита ранновизантийска керамика (Дживджанов и др. 1982, 54), а именно там изкуствоведите на базата на ктиторския портрет на цар Иван Асен II, поднасящ макет на обителта на арх. Михаил, на сцената „Събор на архистратиг Михаил и всички безплътни сили“, изобразена на мястото, където се поставя патрона на храма и датировката на стенописите посочват, като мястото, където е поставено началото на манастира (Мавродинова 1976, 1988, посветен именно на св. арх. Михаил. Вероятно основателят му св. Йоаким съвсем неслуу-

чайно избира този участък от речната долина. С течение на времето манастирът се разраства от двете страни на река Русенски Лом и когато се достига до „Църквата“ ранният храм е преизползван. Олтарното пространство е дооформено съобразно настъпилите промени в християнската литургична практика, поради което старите изсичания са прикрити, като над отворите са поставени плочки, а улей е измазан (Йорданов 2017, 340). При такава интерпретация, обаче остават проблемни въпроси, като този дали това, което се приема за улей, всъщност не е естествена цепнатина, преминаваща през голямото вкопаване (обр. 11)? Още повече, че не се спуска вертикално към пода, а под наклон и криволичейки. Дали двата отвора са покрити с капаци, защото е трябвало да се скрият, или са имали друго предназначение? Под въпрос е дали измазването на т.нар. улей (цепнатина) е направено целенасочено, за да бъде заличен или при общото измазване (има запазена мазилка и наоколо, не само над улея) той, както и околните цепнатини, остава прикрит и т.н. По-малката ямка (фиг. 12) е разположена централно върху олтарната маса и под апсидата. Изцяло е запазена и се вижда, че в нея нито влизат, нито излизат улеи и цепки и стои далеч от ръба на престола. Старателно оформен е както самият отвор, така и жлеба около него за кръглата плочка, поставяна отгоре. Има големи сходства с отвора с околнен жлеб в Крепчанския манастир и като него го приемаме за реликварийна камера.

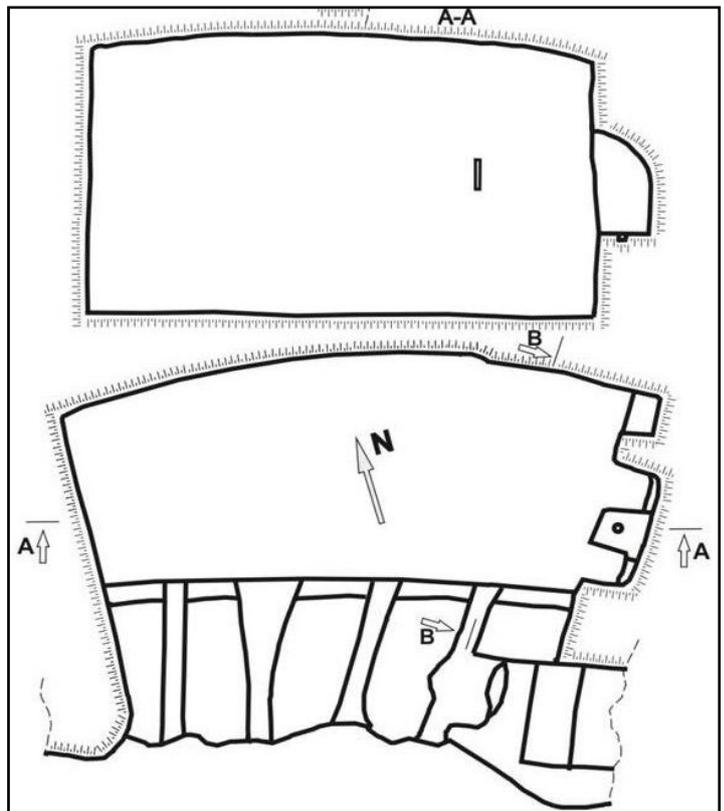


Фигура 12. Реликварийна камера в „Църквата“ при Иваново

Малкият Нисовски манастир е по долното течение на р. Мали Лом. Помещенията му се намират на десния бряг на реката в рамките на Манастирската теснина. Католиконтът е издълбан в отвесна скала на височина 17-18 м. над речното ниво. Част от него се е издавала импозантно над долината, за което говорят четирите легла в пода за масивни греди, които са се издавали извън масива (Фиг. 13). В източната стена е разположена идеално оформена апсида, издигаща се на 2,10 м. над пода и широка 1.30 м. В нея се намира олтарна маса, която е свързана със скалата, висока е 95 см. и разширяваща се на изток до 58 см. Отгоре в централната ѝ част е издълбана реликварийна камера. Старателно изсечена е, кръгла, с диаметър от 8 см. (обр. 14). Тя е сред най-малките от коментираните и без следи за покриваща плочка. Това я прави сходна на малката камера от „Църквата с големия ореол“ при Иваново. Вероятното и при двете запечатването им е чрез изливането на връщ восхомастих при ритуала по осветяване на църквите. След изстигане, сместа става изключително твърда и устойчива. Като пример може да се посочи

откритата през 2016 г. запазена запечатка от восхомастих, покриваща реликвар в каменен римски постамент, намиращ се в Историческия музей на Севлиево, който е неколкократно преизползван, включително и като стълб на олтарна маса в средновековна църква (Ботева и др. 2017) (Ботева и др. 2018); (Тотев и др. 2018).

Следващата реликварийна камера е в храм посочен от Шкорпил, като „Църквата срещу Големия Нисовски манастир“ (Шкорпил 1914). Тя също е по долното течение на р. Мали Лом, на левия бряг между селата Сваленик и Нисово. В нея олтарното пространство е от типа на отделно стоящите скалноизсечени помещения (обр. 15), издигнато около 10 см. над църковния под.



Фигура 13. План и разрез на храма в Малкия Нисовски манастир (по Е. Георгиев)



Фигура 14. Престолът с реликварийна камера в Малкия Нисовски манастир

В източната му стена е оформена плитка апсида, а под нея е подпорният стълб на олтарната маса. Той е част от скалата, поради което е запазен, но е издаден напред от стената. Оформен е сравнително правилно, като в посока запад постепенно се стеснява. Визуално създава впечатление за стълб

на света трапеза в зидана църква. Върху него е стоял плота на престола, за придържането на който в скалата има издълбано легло, показващо, че той е бил широк 67 см. На централно хоризонтално място, там където се съединяват стълба с основната скала е издълбана реликварийна камера (Фиг. 16). Тя е с кръгъл отвор с диаметър от 13 см., дълбока е 11 см., надолу се стеснява и завършва с овал. В нея е била поставена реликвата и отгоре я е затварял и прикривал самият плот. Той освен, че е стоял върху масивния стълб, достигащ 43 см. ширина, е лягал в посоченото изсечено за него легло в скалата, което го е застопорявало стабилно от изток, север и юг. В този храм ситуирането и покриването на камерата е сходно до много от наземните църкви, като благодарение на системните археологически разкопки има примери и в непосредствена близост по Ломовете. Червен се намира само на 3 км., въпреки че не е по р. Мали Лом, а е обграден от р. Черни Лом, но в този участък двете реки много се доближават.



Фигура 15. Олтарното пространство в „Църквата срещу Големия Нисовски манастир“



Фигура 16. Реликварийна камера в „Църквата срещу Големия Нисовски манастир“

Тази близост дава възможност разглежданата християнска обител и околните да се приемат, като приградски и свързани с религиозния живот на средновековния град (Тотев и др. 2002, 823). В него, в църква №9А е открит четиристенен варовиков стълб на олтарна маса, в горната част на който е издълбана реликварийна камера, затваряна от плота (Димова 1985, 120; Тотев и др. 2018, 617; Йорданов 2019, 189; Ботева и др. 2023, 256). Сходна е ситуацията в църква №11, където има кръгло вкопаване от едната страна на открития стълб (Йорданов 2019, 191; Ботева и др. 2023, 256), ако приемем, че именно тази страна е била поставена нагоре, непосредствено под плота.

Разгледаните камери, за които приемаме, че са предназначени за съхранение на свети реликви, без претенции за изчерпателност, се намират в пещерни църкви в каньоните на Русенски, Черни, Бели и Мали Лом. Техните долини са скалисти, окарстени и подходящи за човешко присъствие. Извън тях пещерни християнски обители има, с малки изключения, предимно в долните скалисти части на техните притоци или суходолия, спускащи се към тях. Хронологически е трудно да се посочи кога са издълбани камерите. Има неясноти по въпроса с времето, когато са създадени храмовете, в които те се намират. Най-голямата концентрация на този тип манастири е през Второто българско царство, когато се обособява Ломската скална Света гора, но ги има преди и след това. Дори за храмовете, за които знаем през кои периоди са използвани, пак е проблематично по отношение на датирането на реликварийните камери. Възможно е мястото, където първоначално е била поставена реликва да не се е запазило и при ново преизползване и ново дооформление да е издълбана ниша, която е достигнала до нас. Възможно е и при преосвещаването на запустял храм да е използвана отново запазената първоначална камера и т.н.

Дори и по-големите реликварийни камери не са с размери, изискващи търсенето на промени в структурирането на олтарното пространство. Предвид издълбаването им в запазени олтарни маси от монолитна скала те са в, а не под нея. Съобразно конкретното им разположение и оформление, може условно да посочим няколко варианта, като при всичките личи внимателното и грижливо изсичане. По-често камерите се намират в централната част на хоризонталната плоскост на светата трапеза. Един вариант е, когато около тях има оформен жлеб за поставяне на покриваща плочка. Тя е давала възможност за изравняване с общото ниво на престола. Така е при Крепчанския манастир и „Църквата“ в Ивановския манастир. Друг вариант е когато около камерите няма околна жлеб. Такива са примерите от Малкия Нисовски манастир и „Църквата с големия ореол“ при Иваново. Тези не големи изсичания са с малки диаметри на повърхностните отвори. Вероятно изравняването с нивото на масата се е осъществявало само чрез засъхналия восхомастих излят врящ върху тях. При третия вариант камерата е в подпорния стълб, който е част от скалата и е била прикрита под масивен плот, както е в „Църквата срещу Големия Нисовски манастир“. Това е рядък пример, при който реликвата е положена не в, а реално под светата трапеза. Друг вариант е, когато ситуирането на реликварийната камера е във вертикалния скален профил, спускащ се от хоризонталната плоскост на олтарната маса. Тези издълбавания са с малко по-големи размери и навлизат по-осезаемо в скалата. Така е в „Калугерицата“ в Дядо Иванова чука и отново в „Църквата с големия ореол“ при Ивановския манастир.

## Библиография

Атанасов Г, 1991. Ранновизантийски скални църкви и манастири в Южна Добруджа. Археология, 3, 33-42.

- Бакалова Е, 2016. Култът към реликвите и чудотворните икони. Традиции и съвременност. София.
- Ботева Н, Шаранков Н, Чакъров К, 2017. Откриването на реликвар, вграден в античен постамент от църквата „Св. Димитър“ в с. Агатово, Севлиево. Юбилеен сборник в чест на 70-годишнината на проф. Стоян Витлянов. Шумен, 36-44.
- Ботева Н, Тотев К, 2018. Реликварът от с. Агатово, Севлиево – опит за идентификация. Известия на Националния исторически музей, том XXX. София, 97-115.
- Ботева Н, Тотев К, 2023. Реликварийни камери – местоположение, форма и сакрално съдържание (по данни от някои църкви от Второто българско царство). Известия на РИМ – Русе, т. XXVI. „Иваново – Червен – Търнов“ – наследството на Средновековието. Русе, 254-268.
- Василиев А, 1953. Ивановските стенописи. София.
- Димова В, 1985. Градоустройство и архитектура на цитаделата на Червен през XIII-XIV в. Средновековният Червен, т. 1. София, 33-131.
- Дживджанов Б, Дживджанова Б, 1982. Аварийни и консервационни работи и консервационно реставрационни проблеми на комплекс в района на Затрупаната църква при с. Иваново, Русенски окръг.
- Реставрация и консервация на художествените ценности. София, 52-57.
- Йорданов Ст, 1996. Проучване на културата на Второто българско царство (XII-XIV в.) в Русенско. Постижения и проблеми. Алманах за историята на Русе, I, 42-50.
- Йорданов Ст, 2015. Поглед върху някои сакрални характеристики на Поломието през средните векове. Известия на РИМ – Русе, т. XVIII. Наследство и Културен пейзаж. В чест на стогодишнината от отпечатването на книгата на Карел Шкорпил „Опис на старините по течението на река Русенски Лом“. Русе, 25-34.
- Йорданов Ст, 2017. Някои хронологични наблюдения върху християнската пещерна архитектура в Поломието. Добруджа, т. 32, 331-344.
- Йорданов Ст, 2019. Средновековният Червен. Русе.
- Костова Р, 2005. Скалният манастир при с. Крепча: още един поглед към монашеските практики в България през X в. Проф. д. и. н. Станчо Ваклинов и средновековната българска култура. Велико Търново, 289-305.
- Мавродинова Л, 1976. Стенописи от времето на цар Иван Асен II при Иваново. Изкуство, кн. 9, 7-13.
- Мавродинова Л, 1988. Стенната живопис на скалните църкви в лаврата „Архангел Михаил“ при Иваново. Годишник на Софийския университет „Св. Климент Охридски“. Научен център за славяно-византийски проучвания „Иван Дуйчев“, т. 82(2), 175-202.
- Маргос А, 1987. Средновековни скални обители по р. Бели Лом. Известия на народния музей – Варна, кн. 23/38, 114-131.
- Могаричев Ю, 1997. Пещерные церкви Таврики. Симферополь.
- Могаричев Ю, 2015. Скалние церкви Горного Юго – Западного Кръма. Известия на РИМ – Русе, т. XVIII. Наследство и културен пейзаж. В чест на стогодишнината от отпечатването на книгата на Карел Шкорпил „Опис на старините по течението на река Русенски Лом“. Русе, 25-34.
- Тотев К, Ботева Н, 2018. Реликви и дарове в някои църкви от Второто българско царство. LAUDATOR TEMPORIS ACTI STUDIA IN MEMORIAM IOANIS A. BOJLOV , VOL. II , Serdika MMXVIII, 607-636.
- Тотев К, Дерменджиев Е, Косева Д, 2002. Бележки към историята, архитектурата и стенописите на Големия Нисовски манастир. Търновска книжовна школа, т. 7. Велико Търново, 813-824.
- Трантеев Б, Трантеева-Митева В, 2008. Средновековните скални манастири по река Бели Лом. София.
- Шевченко Ю, 2010. О формах древнейшего христианского храмового престола. (по материалам пещерного монастыря Чилтер-коба в Крыму). Полевые исследования МА 2009 года. Санкт Петербург.
- Шкорпил К, 1914. Опис на старините по течението на река Русенски Лом. София.

# АРХИТЕКТУРНО-ИСТОРИЧЕСКИТЕ АНТРОПОГЕНИЗИРАНИ КАРСТОВИ ЛАНДШАФТИ, КАТО МОДЕЛ ЗА ЦЯЛОСТНО ПРОУЧВАНЕ, СИСТЕМАТИЗИРАНЕ И ДОКУМЕНТИРАНЕ НА КУЛТУРНО-ИСТОРИЧЕСКОТО НАСЛЕДСТВО В КАРСТОВИТЕ РАЙОНИ

Евгени Коев

ПГТ „Д-р. Васил Берон”, ПК „Дервент” при ТД „Академик-ВТУ” гр. В.Търново, e-mail: ev\_koeff@abv.bg

## Abstract

### Architectural-historical anthropogenic karst landscapes, as a model for comprehensive research, systematization and documentation of the cultural-historical heritage in karst regions

Architectural-historical anthropogenized karst landscapes (АНАКЛ) are a newly introduced subtype of a type of anthropogenized landscapes. They cover parts of karst rock landscapes with traces of separate historical periods and anthropogenic marks visible to a different extent. The karst regions with traces of human activity represent a unique mixture of natural and cultural-historical heritage. The model created for the exploration and documentation of this exceptional diversity systematizes АНАКЛ into separate morphological categories – microlandscapes, plots, microplots, objects and elements, caves used by humans, preserved to this day, and speleological objects with adjoining terrains. The exploration model of АНАКЛ creates a basis for comprehensive description, analysis and classification of the anthropogenized karst landscapes. It also provides the opportunity for raising the level of preparation of prospective explorers and it would place at a higher scientific level the explorations of karst landscapes.

## Key words

karst landscapes, anthropogenized landscapes, architectural-historical anthropogenized

Изследванията на антропогенизираните карстови ландшафти е сложен, интердисциплинарен процес, обвързан в голяма степен с комплексното изучаване на карста, развитието на науката и практиката в съвременния свят. При осъществяването на антропогенизираните ландшафти през последните десетилетия тези тенденции са извели като приоритетно разглеждането на райони засегнати от активна стопанска дейност, като селища, кариери, обработваеми, стопанисвани земи, гори и др. В същото време, до този момент значителни участъци от претърпелите през различни исторически периоди силно окарстени антропогенизирани стръмни склонове и скални венци в каньоновидните долини на р. Русенски Лом и долните поречия на нейните притоци, не са проучвани. Тези характерни ландшафти, които може да определим като архитектурно-исторически, повърхностни и подземни антропогенизирани карстови ландшафти и структуроопределящи ландшафтни елементи са характерни и за други части от страната, като поречието на реките и суходолията в Добруджа, Северното черноморско крайбрежие, райони от поречието на р. Дунав и нейните притоци, някои скалисти и окарстени участъци в хълмистите и полупланински части на страната и др. Изучаването на тази част от ландшафтното природно-историческо богатство на България, а и не само, е едно от големите предизвикателства за неговото съвременно документиране, опазване и устойчиво целесъобразно използване. Първа основна стъпка в тази посока е разработването на класификационна схема на тази част от антропогенизираните карстови ландшафти и създаване модел за тяхното обстойно проучване, систематизиране, документиране и целесъобразно експониране и използване.

Въпроси свързани с антропогенизацията на карстовата каньоновидна долина на р. Русенски Лом в местността Писмата, които могат да се използват като модел за проучването на тези ландшафти, под различна форма, по-пълно или за конкретен обект, са разглеждали редица учени и изследователи (Шкорпил, 1914; Василиев, 1953; Андреев, 1975; Мавродинова, 1989; Йорданов, 2009; Чилингиоров, 2011; Коев, 2015, 2020 и др.). Проучванията на различни обекти в Поломието или в близост до него ангажира учени от широк спектър, от геолози и спелестолози до археолози, етнолози и изкуствоведи.

По исторически, археологически, изкуствоведски, спелестологични данни антропогенизирането на карстовите образувания в Поломието може да бъде съотнесено към няколко основни цивилизационни периода от времето на неолита до съвременността, като несъмнено с най-голямо въздействие е апогеят на православната християнска култура през XII-XV век. Проведените от нас систематизирани теренни проучвания, локализирането на отделни обекти, тяхното детайлно картиране и анализ, както и проучването на природните особености, дадоха допълнителен материал за по-пълно и точно описание на процесите и мащабите на антропогенизация в долината, които могат да се използват като модел за проучване и на други карстови райони. Те са в основата на систематизирането на ландшафтното многообразие при архитектурно-историческите антропогенизирани карстови ландшафти в каньоновидните долини.

Поради съобразяване с обема на настоящата работа няма как да бъдат описани детайлно и да се направи един подробен анализ на отделните етапи на антропогенизация, с характеризирани на особености и многообразие на съществуващи обекти, какъвто опит обаче, ще бъде направен при представената структура на архитектурно-историческите антропогенизирани

карстови ландшафти.

При изследването на антропогенизираните карстови ландшафти особено значение има анализът на типовете обекти и тяхното предназначение. Този вид проучвания и анализ дават един по-дълбок и осмислен поглед при оценката на тези ландшафти в техния социален, културоложки аспект и значимост. Структурният анализ дава възможност за преосмисляне на тези ландшафти и оценяване на възможностите за тяхната социализация и реантропогенизация.

С избора района на Поломието, подбран като модел за анализ на архитектурно-историческите антропогенизирани карстови ландшафти, са взети предвид наличните специфичните, характерни особености. Отчетена е сложната структура на естествената природна среда, формирана в карстови и палеокарстови терени, просечени от сложни каньоновидни долини на Ломовете, които на места достигат значителна разчлененост до 100 m и повече . Тази среда е била допълнително подложена на протеклата в различно време и с различна интензивност антропогенизация, оставила от незначителни до съществени трайни изменения в околната среда. Формираните своеобразни ландшафти отличаващи се със своята специфика и структурно многообразие може да бъдат използвани като модел за изследването на останалите подобни ландшафти в България, което представлява особено предизвикателство, предвид целта за обхватно и универсално решение и приложение.

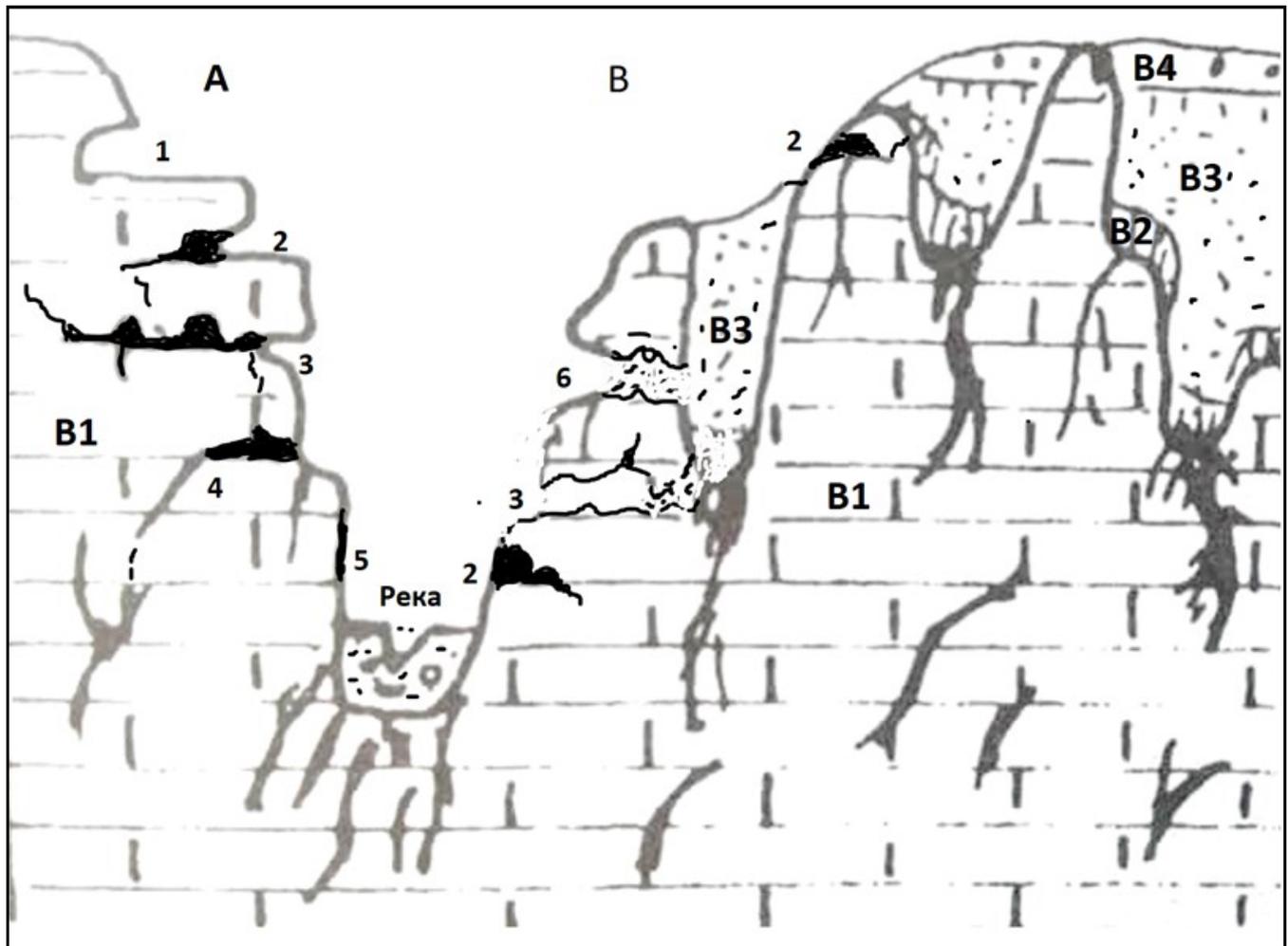
Опити за класификация на ландшафтите в България се осъществяват още през 1934 г. от Ив. Батаклиев, а след това и Н. А. Гвоздечки. През 1974 г., П. Петров разработва първата ландшафтна карта на България, а почти по приноси има и Л. Стойчев (1985). Класификационната система включва като отделни таксони: ландшафтна система, ландшафтна подсистема, район, подрайон, ландшафт, ландшафтни клетки и ландшафтни фрагменти. През 1989 г. нова класификационна система с ландшафтна карта на България е разработена от А. Велчев, Н. Тодоров и Н. Беручашвили и А. Асенов, които определят четири основни таксона: клас, тип, род и вид ландшафти. Същите допускат съществуването на субтаксони: подклас, подтип, подрод и подвид ландшафти. Авторите приемат, че системата е отворена и в двете посоки и може да се използва при разработването на карти в различни мащаби (Велчев, 2016) В класификационната система карстовите ландшафти са съотнесени към таксона род ландшафти.

През 1989 г. Петров, Попов, Балтаков и през 2001 г. Попов предлагат класификационни системи, в които таксонът вид ландшафт е обоснован въз основа на антропогенната дейност. Тези класификации са определени от А. Велчев като „неприложими при диференциацията на карстовите ландшафти“, като се отчита, че „за диференциация са необходими поне две таксономични нива“ (Велчев, 2016). В същото време, предложеният подход дава възможност при разглеждане на антропогенизираните карстови ландшафти да бъде отчетено многообразието при антропогенизацията на различните карстови форми и образувания. В този случай антропогенизираните карстови ландшафти трябва да бъдат разглеждани като вид ландшафти със съответните си подвидове. Ако бъде използвана ландшафтната карта на Велчев, Тодоров, Беручашвили, Асенов, то антропогенизираните карстови ландшафти трябва да бъдат включени също като отделен вид към различните родове ландшафти в Поломието (Велчев и кол., 2011). Използването на различните класификационни системи при проучването и анализа на архитектурно-историческите антропогенизирани карстови ландшафти в каньоновидните долини би било трудно и непълно без прилагане на посочените допълнения. Необходимо е да бъдат допълнени с разширяване на родовете ландшафти или с прибавянето към съществуващите родове на отделните видове и подвидове антропогенизирани карстови ландшафти. Тази диференциация би се задълбочила при необходимост от детайлно проучване на микроклиматичното и биологичното разнообразие, което се отличава при отделни участъци и елементи със специфичен микроклимат, овлажнение, растителност.

При анализа на това огромно многообразие е необходимо да се вземе предвид, че каньоновидните долини с наличието на допълнително усложняващи елементи като разнообразен литоложки, педоложки, хидроложки, микроклиматичен и флористичен състав, формират усложнени морфологични структури.

Ако добавим към посочения пример, наличието на мощен палеокарстов комплекс формиран в продължителен период от време, с една много пъстра, многопластова, дълбоко окарстена, в последствие фосилизирана, препокрита от наслаги и претърпяла допълнително пре моделиране от процесите на съвременната (кватернерна) карстификация, литоложка основа, проломна от дълбоко всечените над 100 – 140 m долини, констатираме една изключително сложна морфологична структура на каньоновидните долини на р. Русенски Лом и нейните притоци. Процесите в Поломието са довели до формирането на разнообразни по вид и мащаб различни повърхностни и подземни (пещерни) първични карстови образувания. В историческо време голямата част от тях са претърпели различна степен на антропогенизация, която в редица случаи може да бъде диференцирана на първична, основна и последваща вторична, довели до създаването на специфични архитектурно-исторически антропогенизирани карстови ландшафти. Една от отличителните черти на този ландшафт е огромното многообразие, което дава основание той да бъде охарактеризиран като свръхсложен геокомплекс (фиг. 1)

Анализ на подобна структура може да бъде осъществен след като бъдат изведени водещи за комплекса, характеризиращи го елементи. В случая сложно развития окарстен, палеокарстов, допълнително подложен на антропогенизация терен излиза от общоприетия модел при разглеждане на структурата на ландшафта, при което типичните и определящи некарстовите ландшафти подтипове почви и растителност имат подчинена, минимална роля или изобщо липсват и не могат да имат каквото и да било значение при определяне на ландшафтите от среден и нисък таксономичен ранг.



Фиг. 1 Примерен обобщен модел на палеокарстовата каньоновидна долина при с. Иваново: А - Карстов склон, 1. скална козирка, 2. скална ниша, 3. пещера, 4. пещерна система, 5. скална стена, 6. скална ниша запълнена с наслаги В – Палеокарстов склон, В1. Карбонатни скали, В2. Фосилизиран слой, В3. Лъос и лъосовидни наслаги, В4. Почвен хоризонт. (Преработен, обобщен модел по основа от Кръстев, Кръстева, 2003)

В същото време, такава определяща роля заемат карстовите образувания, общия вид, местоположението, функциите които са изпълнявали и други особености на отделните антропогенизираните обекти и комплекси с техните съставни части. Допълнително при карстовия ландшафт „се получава значително усложняване на подземната част, което води до усложняване на междукомпонентните съотношения и връзки“ (Андрейчук, 2007). При разглеждане на антропогенизираните карстови ландшафти в каньоновидните долини, трябва да бъдат направени и някои задължителни пояснения и уточнения.

Предвид гореизложената проблематика, целта на настоящата работа е да бъдат обособени и да бъде диференцирано многообразието на морфологичните части на архитектурно-историческите антропогенизираните карстови ландшафти на примера на детайлно проучените образци в Поломието. В случая е наложително да бъде детайлизирана класификационна система на ниско таксономично ниво, която да позволява нейното приложение към обособените в ландшафтната карта на България отделни таксони. При разглеждането на тези карстови ландшафти, те могат да бъдат анализирани на база нивото на антропогенизация на скалните венци и прилежащите им територии на примера на каньоновидните долини по р. Русенски Лом. Друг критерии са проявените процеси на карстификация, формираните първични карстови форми като пещери, ниши, тераси, скални стени и други, претърпели различна степен на изменение от хората. Тази класификация няма за цел да разглежда цялостната съвременна човешка дейност и влияние, чието въздействие върху природната среда е проучвана и представяна многократно. Основната цел е отделните примери да представят систематизиран модел на продължителната антропогенизация вследствие социализацията на естествено образуванията, природни места за подслон и обитаване предимно в стръмните и отвесни карстови откоси в каньоновидните долини на Поломието, които примери са съпоставими в значителна степен с подобни ландшафти и в други части на България.

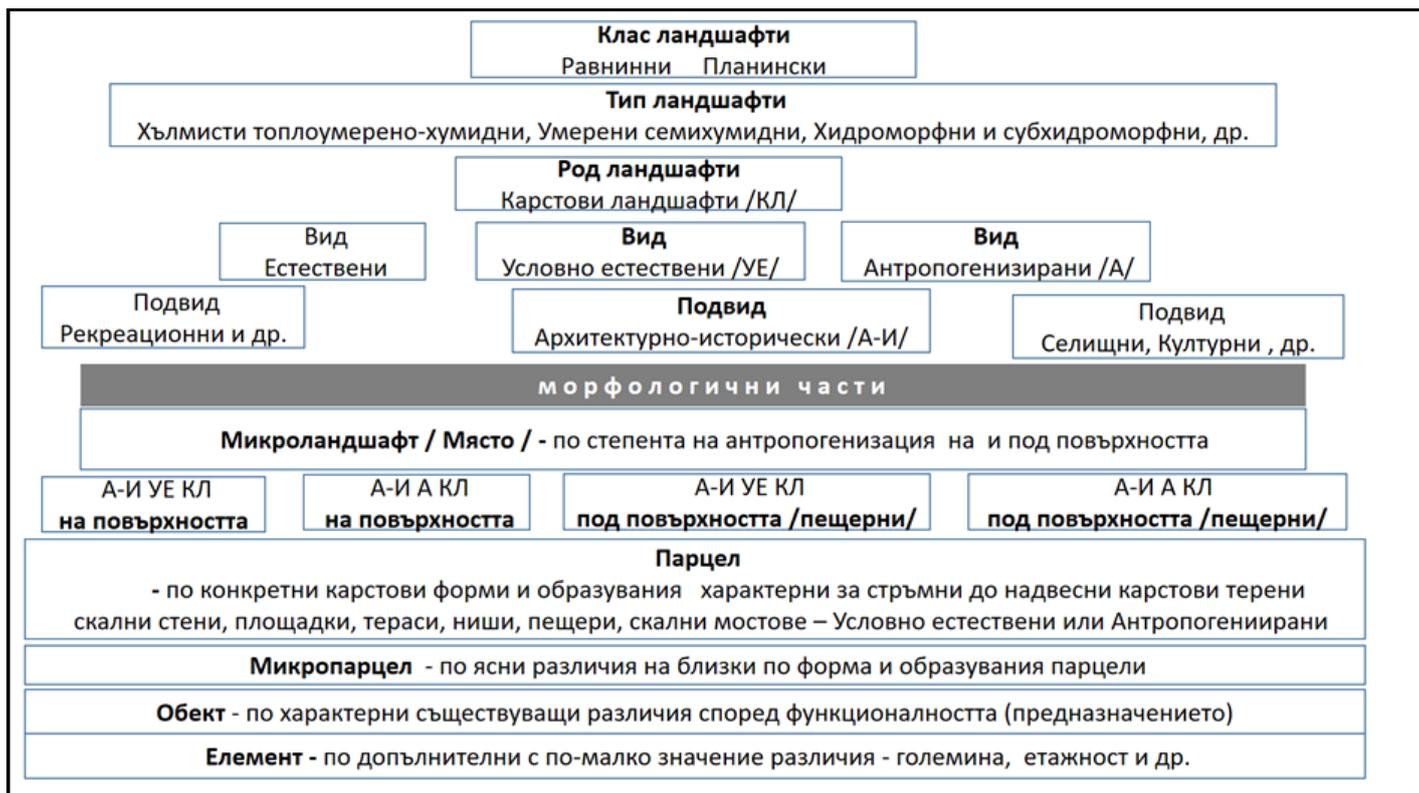
Предвид сложността на архитектурно-историческите антропогенизираните карстови ландшафти и необходимостта от разглеждане на няколко ниски таксономични нива се съобразяваме с редица становища, че представените до момента класификационни схеми „задължително трябва да бъде усложнена на ниски таксономични нива, с нови видове ландшафти, а също така и на антропогенни модификации“ (Велчев, 2016, 70). Вземаме предвид, че към момента няма и единна общовалдна схема и „засега не е възприета единна ландшафтна класификация за страната и почти всеки изследовател досега

предлага своя класификационна система“ (Петров, Г., 2011), както и че, „продължава да се представят различни виждания и търсения на оптимална класификация на ландшафтите“ (Нам, 2021). Повечето от познатите класификации са отворени и е допустимо допълване на съответната схема, което още повече се отнася за антропогенизираните ландшафти. „Това се налага от голямата сложност и разнообразие на антропогенните изменения... Поради тези причини алтернативния подход предполага съставяне на самостоятелна класификационна система“ специално за антропогенните модификации (Тодоров, 1997).

Сложните процеси на антропогенизация дават разнообразни възможности тези ландшафти „да бъдат диференцирани по съдържание, по произход, по целенасоченост на възникването им, по продължителност на съществуване и степен на произход, по стопанска дейност“ (Тодоров, 1997). Следвайки този подход и съобразявайки се с общоприетите виждания за анализ на структурата на ландшафта, разглеждаме съществуващите архитектурно-исторически антропогенизирани карстови ландшафти по всяка една от техните структурни особености – на база морфологичната, хоризонталната, вертикалната, времевата, функционалната структура и други при отчитане тяхната специфика и различия. При разглеждане на пространствените и други структури трябва да се вземе предвид, че ландшафтите предмет на настоящата работа, се отличават значително както от природните некарстови, така и в известна степен и от природните карстови ландшафти, поради които особености тяхното описание и изучаване е основано на някои по-специфични и по-различни белези.

Като отчитаме всички тези дадености, сме приели подхода на интегриране на съществуващи предходни класификационни системи с цел използване на техните предимства за по-прецизна диференциация на ландшафтите в проучвания район и съотносимост с една от класификационните системи разработени за България. (Фиг. 1)

Различните първични карстови форми, които са типични и характерни за карстовите райони на Поломието като скални стени, скални улеи, скални ниши, тераси, пещери, скални мостове и други, са едните от основните критерии за типизация и диференциация. На тази основа, трябва да се има предвид, че карстовите ландшафти за разлика от некарстовите се отличават с наличието както на повърхностна, така и на подземна част, която допълнително е усложнена от геоморфоложкото развитие на конкретния район.



Фигура 1. Морфологична структура на архитектурно-историческите антропогенизирани и антропогенизирани условно-естествени карстови ландшафти

Отчитайки тези особености, то при морфологичните части на архитектурно-историческите антропогенизирани карстови ландшафти може да обособим следните парцели:

Според вида на антропогенизираното природното образувание:

- антропогенизирани скални улеи със скални ниши и заслони;
- антропогенизирани стръмни склонове и тераси;
- антропогенизирани скални стени ;
- антропогенизирани единични пещери;

вешката цивилизация.

Видове антропогенизирани карстови ландшафти според времето на антропогенизация (времева структура):

- антропогенизирани карстови ландшафти от праисторическия период;
- антропогенизирани карстови ландшафти от античността;
  - от времето на траките;
  - от Елинистическия период;
  - от времето на Рим и ранна Византия;
  - антропогенизирани карстови ландшафти от Средновековието;
  - от времето на Християнска Византия;
  - от времето на Първото Българско царство;
  - от времето на Второто Българско царство;
  - от края на XII и първата половина на XIII в.;
  - от втората половина на XIII и първата половина на XIV в.;
  - от втората половина на XIV и началото на XV в.;
- антропогенизирани карстови ландшафти от времето на Османското робство;
- антропогенизирани карстови ландшафти от времето на Българското Възраждане;
- антропогенизирани карстови ландшафти от Ново и Най-ново време /след 1878 г. до ср. XX в./;
- антропогенизирани карстови ландшафти от съвременността.

През всеки един от историческите периоди на развитие, още от най-дълбока древност и до днес, хората населили Полоние-то са оставяли своя цивилизационен отпечатък при обитаването и повече или по-малко преустройването на пещерните образувания за своите нужди. Една част от първоначално антропогенизираните обекти в последствие са претърпели промени и са били видоизменени в следствие на протеклите природни процеси и катаклизми. В други случаи са протичали процеси на реантропогенизация. Като най-съществени антропогенизирани карстови обекти са запазени от времето на късната античност, средновековието и в отделни случаи от ново и най-ново време.

Особено внимание при разглеждане на морфологичните части на антропогенизираните карстови ландшафти заслужава изучаването и анализът на тяхната функционална структура, която може да бъде разгледана поне от два аспекта:

### 5. Функционална структура:

Според степента на антропогенизация:

- с почти изцяло запазени първични карстови форми ;
- с относително запазени първични карстови форми;
- с частично запазени карстови форми;
- със значително видоизменени карстови форми;
- с напълно видоизменени първични карстови форми;
- с напълно изменени с допълнително въздействие /със стенописи, фризове /;
- изцяло икуственно създадени форми;
- с вторично видоизменени антропогенизирани форми /реантропогенизирани, преправени/;
- с вторично видоизменени чрез естествени процеси / срутища, акумулация /;

Според типовете обекти и тяхното предназначение:

- Битови обекти /за индивидуални, групови, жилищни нужди и др./;
- Стопански обекти /за животновъдство, складове, производствени помещения, добив на скални материали, туризъм и др./;
- Културно и култово-религиозни обекти /светилища, скални килии, скални параклиси, скални черкви, скални скитове и келии, скални манастири, скални манастирски комплекси/;

След анализ на всички гореизложени схващания по отношение многообразието на морфологичните части на антропогенизираните карстови ландшафти в каньоновидните долини на Полоние-то, може да бъде предложена схема за проучване на тези специфични ландшафти, които до този момент остават встрани от всички досегашни теоретични или практически ландшафтни проучвания в България. (Фиг. 2) Предвид значимостта на тези територии както в природно, така и в обществено отношение, натоварени със значителен многоаспектен, включително екологичен, културоложки, консервационен ресурс, надхвърлящ тези на некарстовите и останалите карстови ландшафти, проучването на антропогенизираните карстови

- антропогенизирани самостоятелни скални ниши;
- антропогенизирани скални мостове;
- антропогенизирани самостоятелни скални стълбове;
- антропогенизирани пещерни системи обхващащи пещера с прилежащи скални ниши или система от две и повече близки, еднотипни свързани пещери, лабиринтни и многоетажни пещери с два и повече входа и други представляващи функционално една система.(пещерите при скалната църква „Св.Преображение“);
- антропогенизирани карстови комплекси обхващащи канална пещера, диаклазна пещера, ниши, скален стълб, отвесни стени и други представляващи териториално един комплекс ( Карстовият комплекс при Господев дол).

Архитектурно-историческите антропогенизирани карстовите ландшафти, обхващат в голямата си част подземните първични карстови образувания, които са формирани в следствие естествените процеси на окаряване, протекли в платформени или в наклонени карбонатни структури. Спецификата на тези ландшафти дава основание да се приеме един различен подход при разглеждане на вертикалната им структура не на базата на отделни геохоризонти, каквито в голямата си част липсват, а на базата на етажираността на отделните антропогенизирани карстови образувания. Тук трябва да бъде отбелязано, че и някои разработки, като представената от Андрейчук вертикална структура с „огледален спектър на геоконпонентите“ на карстовия ландшафт при разглеждане на антропогенизираните карстови ландшафти е трудно приложима и неефективна (Андрейчук, 2007). Предвид, че разглежданите форми са свързани и дори части от тях, които са на повърхността, са част от обекти разположени на релеф със среден, през голям до вертикален, дори и обратен наклон, то предлагания подход на етажираност в случая има универсално приложение. Същият подход е напълно приложим и при проучване и на подземните части :

Според вертикалната им структура, морфологичните части на архитектурно - историческите антропогенизираните карстови ландшафти могат да бъдат:

- Едноетажни – развити на едно ниво;
- Двуетажни – развити на два отделни етажа;
- Триетажни – развити на три отделни етажа ;
- Четири и повече етажни ;
- Със сложна етажираност – с развити два и повече отделни етажа с наличие на полуетажи;

Според общия вид на групата съществуващи обекти и напречното сечение на антропогенизирания комплекс, архитектурно-историческите карстови ландшафти могат да бъдат описани като имащи :

- Правилен изглед, наподобяващ квадрат или правоъгълник ;
- Триъгълен изглед;
- Ромбоиден изглед;
- Трапецовиден изглед ;
- Пръснат, мозаечен изглед и други.

При разглеждане на хоризонталната структура, антропогенизацията на карстовия район също има своето водещо значение. Цялостното разглеждане и изучаване на тази структура допуска използването на комплексен подход с анализ и документиране на съществуващите представени в съответния ландшафт частично, фрагментарно или мозаечно отделни негови части. Определящи при проучването на антропогенизираните карстови ландшафти водещи са антропогенизираните в различна степен и обхват части, които при спелестоложко картиране имат своята точна, максимално близка до реалността, представена в мащаб конкретна и уникална хоризонтална структура (хоризонтален план). При провеждане на проучвания и при последващ анализ антропогенизираните карстови ландшафти могат да бъдат представени и асоциативно според общия вид на хоризонталните им планове, които могат да бъдат описани като:

Според хоризонталната им структура, архитектурно-историческите антропогенизирани карстови ландшафти могат да бъдат :

- Със събрана, купна форма;
- С линейна форма;
- С лъчева форма;
- С едноцентрична форма;
- С двуцентрична форма, с полицентрична форма и др.

По отношение хоризонталната структура на ландшафтите, предвид и териториалния обхват на отделните обособени антропогенизирани части, може да бъде приложен моделът предложен от Исаченко за представяне и съотношения между преобладаващи – доминантни и субдоминантни, и второстепенни микрорландшафти, (Исаченко, 1991)

Спецификата на формирането и развитието на антропогенизираните карстови архитектурно-исторически ландшафти налага разглеждането и изучаването на времевата структура на тези видове ландшафти и техните морфологични части, с всички особености и възможни форми на антропогенизация характерни за всеки един от тези етапи и периоди от развитие на чо-

Класификационни таксони / индекс	Примери ландшафти	Конкретни примери
<b>Клас ландшафти</b>	Равнини, Планински	
<b>Тип ландшафти</b>	Хълмисти топлоумерено-хумидни, Умерени семихумидни, Хидроморфни и субхидроморфни и др.	
<b>I. Род</b>	<b>Карстови ландшафти / КЛ /</b>	
<b>Вид</b>	/определя се според степента на антропогенезация/	
<b>I.1</b>	<b>Условно естествени / УЕ /</b>	
<b>I.2</b>	<b>Антропогенезирани / А /</b>	
<b>I.3</b>	<b>Естествени карстови ландшафти</b>	
<b>A. Подвид *</b>	/ определя се по характера на стоп. дейност /	
<b>I.1.A</b>	<b>УЕ - Архитектурно-исторически / А-И /</b>	
<b>I.2.A</b>	<b>А - Архитектурно-исторически / А-И /</b>	
	<b>I.Б Рекреационни</b>	
	<b>I.В Селищни, ... Духовни, Културни, Туристически</b>	
<b>Микроландшафт / Място /</b>	/определя се по степента на антропогенезация на и под повърхността / **	
<b>I.1.A.1</b>	Условно естествени архитектурно-исторически КЛ на повърхността Анахоретски /пръснати/ скални обители на стръмни склонове. Възможно да включват и антропогенезирани обекти	Стари крепости и др. с възстановена дърв. растителна покривка Червен външния град
<b>I.2.A.1</b>	Антропогенезирани архитектурно-исторически КЛ на повърхността	Стопанисвани към момента – Червен
<b>I.1.A.2</b>	Условно естествени архитектурно-исторически КЛ под повърхността (пещерни) / <b>Условно естествени пещерни архитектурно-исторически ландшафти - УЕПА-ИЛ/ ***</b>	Пещери, скални ниши с минимална намеса при използването им.
<b>I.2.A.2</b>	Антропогенезирани архитектурно-исторически КЛ под повърхността (пещерни) / <b>Антропогенезирани пещерни архитектурно-исторически ландшафти – АПА-ИЛ /</b>	Със съществена човешка намеса – Църквата, Архангела
<b>Парцел а,б,в,г ..... </b>	По конкретни карстови форми и образувания характерни за стръмни до надвесни карстови терени	
<b>I.1.A.1,a</b>	Условно естествени ПА-ИЛ - скални стени	западно от Архангела
<b>I.1.A.1,б</b>	Условно естествени ПА-ИЛ- скални площадки/ тераси	източно от малкия скален мост
<b>I.1.A.2,a</b>	Условно естествени ПА-ИЛ - скални ниши	между Архангела и Кръщелнята
<b>I.1.A.2,б</b>	Условно естествени ПА-ИЛ - пещери	до скалния мост
<b>I.1.A.2,в</b>	Условно естествени ПА-ИЛ – скални мостове	под Стълбицата
<b>I.2.A.1,a</b>	Антропогенезирани ПА-ИЛ - скални стени	Изсечени стълби
<b>I.2.A.1,б</b>	Антропогенезирани ПА-ИЛ – скални площадки / тераси	Пред пещерата до скалния мост
<b>I.2.A.2,a</b>	Антропогенезирани ПА-ИЛ - скални ниши	изкуств. изсечени
<b>I.2.A.2,б</b>	Антропогенезирани ПА-ИЛ - пещери	Господев дол
<b>I.2.A.2,в</b>	Антропогенезирани ПА-ИЛ – скални мостове	до Архангела
<b>Микропарцел</b>	Ясни, различни изменения в групите пещерни архитектурно-исторически ландшафти:	

Схема 2 . Схема за проучване на архитектурно-исторически антропогенезирани карстови ландшафти съотнесена към четиристепенната класификационна система на Беручаивили, Велчев, Тодоров с карстовия релеф в таксон Род ландшафти.

Класификационни таксони / индекс	Примери ландшафти	Конкретни примери
<b>Клас ландшафти</b>	Равнини, Планински	
<b>Тип ландшафти</b>	Хълмисти топлоумерено-хумидни, Умерени семихумидни, Хидроморфни и субхидроморфни и др.	
<b>I.1.A.1,a,1</b>	Условно естествени ПА-ИЛ - единични скални стени	Западно под Архангела
<b>I.1.A.1,a,2</b>	Условно естествени ПА-ИЛ - скални стени - ъгли	При Стълбицата
<b>I.1.A.1,b,1</b>	Условно естествени ПА-ИЛ- скални площадки/ тераси пред антропогенизирани обекти	Пред Игуменарницата
<b>I.1.A.1,b,2</b>	Условно естествени ПА-ИЛ- скални площадки/ тераси подстъпи – пътеки между или към антропогенизирани обекти	Площадката към храма на Св. Преображение
<b>I.1.A.2,a,1</b>	Условно естествени ПА-ИЛ – канални скални ниши	Източно от Архангела
<b>I.1.A.2,a,2</b>	Условно естествени ПА-ИЛ – диаклазни скални ниши	Малката ниша в Господев дол
<b>I.1.A.2,a,3</b>	Условно естествени ПА-ИЛ - скални ниши - козирки	Нишата от първи етаж на Архангела
<b>I.1.A.2,b,1</b>	Условно естествени ПА-ИЛ – едногалерийни пещери	До Скалния мост
<b>I.1.A.2,b,2</b>	Условно естествени ПА-ИЛ – пещерни системи с две и повече галерии	Пещерата в Господев дол
<b>I.1.A.2,b,3</b>	Условно естествени ПА-ИЛ – пещерни системи на два и повече етажа	При Кръщелнята
<b>I.1.A.2,b,4</b>	Условно естествени ПА-ИЛ – лабиринтни пещерни системи	
<b>I.1.A.2,v,1</b>	Условно естествени ПА-ИЛ – канални скални мостове	Козарника/Кичията/
<b>I.1.A.2,v,2</b>	Условно естествени ПА-ИЛ – диаклазни скални мостове	Скалния мост към Стълбицата
<b>I.2.A.1,a,1</b>	Антропогенизирани ПА-ИЛ – скални стени	Запад от Архангела
<b>I.2.A.1,b,1</b>	Антропогенизирани ПА-ИЛ– скални площадки / тераси пред антропогенизирани обекти	Архангела
<b>I.2.A.1,b,2</b>	Антропогенизирани ПА-ИЛ– скални площадки / тераси пътеки между или към антропогенизирани обекти	Кръщелнята
<b>I.2.A.2,a,1</b>	Антропогенизирани ПА-ИЛ – канални скални ниши	
<b>I.2.A.2,a,2</b>	Антропогенизирани ПА-ИЛ – диаклазни скални ниши	
<b>I.2.A.2,a,3</b>	Антропогенизирани ПА-ИЛ – изкуствено изсечени скални ниши	Килията от Белберницата
<b>I.2.A.2,b,1</b>	Антропогенизирани ПА-ИЛ – едногалерийни пещери	Игуменарницата
<b>I.2.A.2,b,2</b>	Антропогенизирани ПА-ИЛ – пещерни системи с две и повече галерии	Църквата в Господев дол
<b>I.2.A.2,b,3</b>	Антропогенизирани ПА-ИЛ – пещерни системи с два и повече етажа	Кръщелнята
<b>I.2.A.2,b,4</b>	Антропогенизирани ПА-ИЛ – лабиринтни пещерни системи	Архангела
<b>I.2.A.2,v,1</b>	Антропогенизирани ПА-ИЛ – канални скални мостове	
<b>I.2.A.2,v,2</b>	Антропогенизирани ПА-ИЛ – диаклазни скални мостове	Скалния мост в Писмата
<b>Обект</b> I.2.A.1,d,2,1 I.2.A.1,d,2,2 .....	Диференцирани по характерни съществуващи различия според функционалността (предназначението : - скална църква, параклис, трапезария, килия, архондарик, жилище , стопанско помещение и др.	
<b>Елемент</b>	- по допълнителни с по-малко значение различия - големина, етажност, хоризонтална структура и др.	

Схема 2– а Схема за проучване на архитектурно-исторически антропогенизирани карстови ландшафти съотнесена към четиристепенната класификационна система на Беручаивили, Велчев, Тодоров с карстовия релеф в таксон Род ландшафти.

ландшафти в каньоновидните долини би трябвало да заеме едно подобаващо място, за тяхното систематично проучване, документиране, анализ и целесъобразно, устойчиво използване.

Схема 2 и 2 а. Схема за проучване на архитектурно-исторически антропогенизирани карстови ландшафти съотнесена към четиристепенната класификационна система на Беручашвили, Велчев, Тодоров с карстовия релеф в таксон Род ландшафти.

\*Забележка: Извън посочените подвидове ландшафти към карстовите антропогенизирани ландшафти съществуват още агроландшафти, миннодобивни (кариерни), промишлени, селищни, горскостопански, водостопански, хидромелиоративни, пътнотранспортни и др.

\*\*Забележка: Карстовите природни комплекси са единствените, които обхващат както определени територии на повърхността, така и обеми под повърхността, която специфична особеност налагат изучаването както повърхностните, така и подземните (пещерни) ландшафти.

\*\*\*Забележка: Терминът „пещерни“ към Място подземни ландшафти, като „Антропогенизирани пещерни архитектурно-исторически ландшафти“ е възприет за по-голяма краткост и удобство. Към тези ландшафти се включват и територии, представляващи части пред и в непосредствена близост на повърхността до подземните карстови образувания, функционално свързани с тях.

## Библиография

- Андреев, Й. 1975 Надписите при с. Иваново, Русенски окръг и последните години от живота на цар Георги Тертер I. – В: Векове, 1975, кн. 3, 77-85.
- Василиев, А. Ивановските стенописи. София, 1953.
- Велчев, А. и кол., Ландшафтна география на България. София, Булвест 2000, 2011, 86.
- Велчев, А. Карст и карстови ландшафти. В. Търново, ИВИС, 2016, 67.
- Георгиев, Е. Жертвеници при с. Нисово, Русенско. – В: Наследство и културен пейзаж. Русе, РИМ – Русе, 2015, 46-53.
- Йорданов, С. Скалният манастир „Свети Архангел Михаил“ при село Иваново. София, 2004.
- Йорданов, С. Скалният манастир „Св. Архангел Михаил“ при с. Иваново. Варна, Славена, 2009.
- Калоянов, А. Българското шаманство. София, 1995.
- Коев, Е. Опит за архитектурно-пространствена възстановка на скалния манастирски комплекс „Белберицата“ при с. Иваново, област Русе. – В: Наследство и културен пейзаж. Русе, РИМ – Русе, 2015, 35-45.
- Коев, Е. Скалният манастирски комплекс „Господев дол“ при с. Иваново, (Опит за спелестологична реконструкция). – В: сб. „България, българите и Европа – мит, история, съвремие“, 2020, Том 14, 110-119.
- Кръстев, Т., Т. Кръстева. Палеокарстът и каолиновите находища в Североизточна България. С. 2003, 105.
- Мавродинова, Л. Ивановските скални църкви. София, 1989.
- Мавродинова, Л. Стенописите в църквата при Господев дол до Иваново. – В: Изкуство, 1980, кн.10,10-14.
- Петров, П. Ландшафтознание, София, УНИ „Св. Кл. Охридски“, 1991.
- Павлов, П., В. Грудков, Призвани да просият. В. Търново, Фабер, 1999.
- Петров, Г. Практикум по ландшафтознание. УНИ „Св. св. Кирил и Методий“, В. Търново, 2011.
- Стойчев, Л., Паркова и ландшафтна архитектура. С, 1985
- Тодоров, Н. 1997 Приложение на ландшафтно-геофизичните изследвания при решаване на екологични проблеми. - В: Год. на СУ, ГГФ. Т. 84, кн.2 - География, 1997, 189-198.
- Торбатов, С. и кол., Скалният комплекс Водна-Тъмно край Табачка. Археологическо проучване. Русе, 2007, 128 с.
- Чилингиров, А. Кой е дарителят на Ивановските стенописи. София, Алфаграф, 2011.
- Шкорпил, К. Опис на старините по течението на река Русенски Лом. София, 1914.
- Андрейчук, В. Карстовый ландшафт как геосистема. – В: Проблеми на географията, 2007, №1-2, 3-19.
- Исаченко, А. Ландшафтоведение и физико-географическое районирование. Москва, Высшая школа, 1991, 366.

# ISONZO FRONT: THE CAVES OF KARST PLATEAU

Alessio Fabbricatore

Independent researcher. Corso Giuseppe Verdi 69 -34170 Gorizia (I). alex.stor@libero.it

## Abstract

On May 23rd, 1915, Emperor Franz Josef I, of Austria-Hungary declared: "To my peoples! The king of Italy has declared war on me". Italy's declaration of war against Austria-Hungary, resulted in devastating trench warfare along the Isonzo front. The Austrian government was familiar with the terrain and geology of the Karst region and sent speleologists to the area to explore the caves in order to use them for military purposes. The Austrian government published guidelines for carrying out this work. Speleologists from speleological associations and military officers were formed into specialist units called Höhlenforscher- und Höhlenbaugruppe, who adapted the caves for specific needs such as infirmaries, ammunition depots and other military purposes.

Two skilled engineers, who belonged to the frontline from Renče to Kostanjevica na Krasu and from Jamiano to Duino on the Gulf of Trieste, stood out. They were lieutenants Alois Peter Bock and his brother Hermann Bock.

For many years, the story of both men has been confused. This study aims to investigate the important contribution they made to speleological research, in the context of one of the most tragic periods of the human history.

## Keywords

Hermann Bock, Alois Peter Bock, *Gulo gulo*, Isonzo front, Karst, caves in Italian Front of WW1

## 1. Introduction

The Dinarid Alps end in the north-west: the area that Jovan Cvijić in his essay "Das Karstphänomen, Geographische Abhandlungen" (Vienna, 1893) had defined Classical Karst (... Weit mehr als in allen übrigen sind diese Phänomene in den klassischen Karstgebieten von Krain, Istrien und in ganzen östlichen adriatischen Küstenlande, ...).

Speleological research in the Classical Karst, (Österreichisches Küstenland and Krain\*), stopped with the outbreak of the First World War. The studies, in German, relating to the karst phenomena of that geographical area were coming to an end. At the end of the war the Österreichisches Küstenland and a part of the Krain passed under the Italian administration and the remaining part of the Krain under the Yugoslav administration. At the moment this area, which we can define as the classical Karst, is divided between Italy, Slovenia and Croatia.

After 1918 the geopolitical arrangements changed radically in central Europe. After almost five hundred years the *Finis Austriae* also marked the end of the official speleological studies of Austrian culture (in German language) in the Österreichisches Küstenland and in the Krain.

Starting from 1914, with the outbreak of the First World War, there was a considerable interruption in the field of speleological scientific research in Austria. However, the exploration of the caves did not stop, it continued in a different form, i.e., as a component of a speleological service, for the war of the Donaumonarchie, on the southern front.

As early as 1880 Austria had evaluated the military relevance of speleological studies, in particular for scientific expeditions in the provinces of the Empire. Additional with the outbreak of the First World War, the General Staff identified the names of many officers within the membership lists of numerous speleological associations.

Since 1915, some military groups were established in Austria-Hungary in the karst territories of South Tyrol and Istria, with the clear task of identifying strategic caves to be explored in order to adapt and use them as accommodation or military posts for sol-

diers and prisoners. The military detachments of speleologists and cave workers were numerous, even up to five hundred men, and consisted of soldiers of various specialties, who were employed to adapt the caves.

\* Between 1861 and 1867 we attend the definitive configuration of the administrative boundaries of the *Österreichisches Küstenland* (Austrian Littoral) which included Gorizia with the Isonzo valley, Gradisca, Monfalcone, the Gorizia and Trieste Karst, the city of Trieste, all the Istria (Mitterburg – Pazin, Albona and Pula) and the Kvarner islands of Krk, Cres and Lošinj. The administrative borders of Krain (Carniola) included Adelsberg (Postojna), Zirknitz (Cerknica), Planina, Gottschee (Kočevje), Laibach (Ljubljana), Krainburg (Kranj).

## 2. The First World War and the caves of Karst plateau

On the Isonzo front, during the four years of war and the twelve battles of the Isonzo, massive works were carried out in the caves for their adaptation for war purposes and for the construction of emplacements.

To carry out these works (not easy in karst terrain) in-depth studies were conducted by the *k.u.k. Armeeoberkommando* summarized in two publications:

*K.u.k. Armeeoberkommando. (September 1917).*

*Der Stellungsbau (Teil Ia).*

*K.u.k. Armeeoberkommando. (August 1917).*

*Der Kavernenbau. (Teil Ib.)*

Austria, since the first half of the nineteenth century, had encouraged geological studies and speleological research throughout its territory, especially in the regions of *Österreichisches Küstenland* and *Krain*. Indeed, here the karst phenomena were more evident and they could make use of in-depth scientific knowledge both in the hydro-geological and speleological fields in relation to the *Karst*. At the outbreak of the First World War, the problem of building emplacements and shelters for the military arose not only on the *Isonzofront* but also on the Alpine front *Gebirgskrieg* [White War]. It was necessary to adapt numerous caves on the Karst (*Isonzofront*) for military purposes. The works were tack-

led rigorously, sending technicians to the field, who were supported by adequate guidelines contained in the two mentioned above publications of the Military Command:

*Der Stellungsbau* and *Der Kavernenbau*.

The publication *Der Stellungsbau (Teil Ia)* provides indications regarding the choice and the technical construction characteristics of the objects to be used as defensive positions in order to resist the attackers' fire. The very detailed guidelines are accompanied by executive design tables, plans, maps and sections, on a scale of 1:100, with indications of both the minimum dimensions of the objects, according to their intended use, and the size of the reinforcing rods required for concrete structures. Attached *Tafel VI*. [table VI of project] with dimensioned drawing for the construction of military emplacements in concrete.

The first chapter of the publication *Der Kavernenbau (Teil Ib.)*, reports the work program relating to the cave adaptation interventions: the activities to be prepared before the start of the works, the search for the caves on the karst plateau and in the high mountains, their size and the intended use of the caves.

The following chapter about geology lists the various types of rock that can be encountered (from sedimentary to metamorphic rocks) and their characteristics, with reference to water permeability, in order to define the feasibility of the intervention. The third chapter on technical construction details takes into consideration the strength of the vault, the cladding, water drainage, furnishings, ventilation, lighting, and heating. One chapter is dedicated to demolition tools. The last chapter is devoted to caves of snow and ice (the *White War* in the mountains in winter). Attached are two *Beilagen* [supplements] and six *Tafeln* [project tables] with a total of 36 dimensioned drawings.

The two *Beilagen* report the description and the schematic representation of the rock demolition works, with drillers, to be used in the high mountains and on the front.

In the six *Tafeln*, are proposed detailed executive schemes (i.e., plans, maps and sections) for the adaptation of caves as shelters for planes and trains; for the construction and internal distribution of the barracks to be built in the high mountains; for the construction of escape routes as well as the construction of iron and concrete vaults and mountain gun emplacements.

The description concludes with an analysis of the disposal of underground water. An anonymous project is reported in which the cave *Loislhöhle* (Jama številka 91, cadastre Slovenia 6595) is recognized. Additionally, are reported technical clarifications for the caves dug out in the ice; patterns for the construction of cableways; patterns regarding caves adapted to house the command and the infirmary.

### 3. Speleologist soldiers operating on the Isonzo front

Two were the most important characters who worked on the Isonzo front as military speleologist: the two brothers, lieutenants and engineers, Alois Peter Bock and Hermann Bock.

Before delving into the work of the two brothers, I would like to mention some soldiers of the Austrian army, who were involved in the adaptation of the karst caves in the Isonzo front.

*Generalmajor* Alfred Edler von Schenk

[Commander of the XXIII Army Corps sector III B Isonzo front]  
\*.

*Ingenieur Gruppe Generalmajor* Joseph Trieb, *Maschinengruppe*

*III/7*, [Major General].

*Kmdt. Oblt.* von Kepes, *Oberstleutnant* [Lieutenant Colonel].

*Elektroarb. Oblt.* Stocker, *Oberstleutnant* [Lieutenant Colonel].

*Ingenieuroffizierskorps GHptm.* Johann Minarik, *Hptm.*, *des Ing. Of. Korps*, *Hauptmann* [Captain].

*Offiziere des Geniestabes* Hptm. Julius Fillinger, *Hauptmann* [Captain].

*Baupolier*, *Zgf.* Leutgob, *Zugsführer* [Sergeant].

*Zimmerpolier Korp.* Hummer [Corporal Major].

kdt. A. Beran, *Kadett-Offiziersstellvertreter*

Roberto Gerson (caver: editor's note).

Rautar Franc (caver: editor's note).

Maurer Alos Zadavec (caver: editor's note).

\* sector III B [Abschnitt IIIb] of the Isonzo front is the sector where the adaptations of the caves described next are taken into consideration.

A separate mention for Wilhelm Puttick (Puttick), *Forsttechniker und Höhlenforscher* [forestry technician and speleologist] who, although not directly involved in the adaptation of the karst caves of the Isonzo front, but made his knowledge regarding karst hydrology, in particular for water supplies, available to the Isonzo-Armee.

### 4. Alois Peter Bock and Hermann Bock

The two brothers, the engineer and lieutenant Alois Peter Bock and the engineer and lieutenant Hermann Bock, left an indelible mark of their work on the Isonzo front. Next, we analyze the speleological activity carried out by the two brothers, both employed at the same time on the Isonzo front during the First World War.

We report the *Belohnungsantrag* [award request] for both Bock brothers, relating to their work on the Isonzo front, filled in and signed by the *Hptm.* J. Minarik.

*Alois Peter Bock*

“Alois Peter Bock began his service on the front on 01<sup>st</sup> of January 1915 and in the area of elevation *Kote 464* (now Veliki vrh 463 m) in *Lukazici* (now Lukežiči) between 18<sup>th</sup> of August till 10<sup>th</sup> of November 1916. With his solid technical knowledge, with his energetic behavior and with precise orders and above all with the example he managed to ensure that the important works of adaptation of the caves were finished before the great battles, thus managing to save many human lives and to maintain a proper concentration to his soldiers. He was decorated with the *Militär-Verdienst-Medaille am Bande/Landw. Beibl.* [Military Merit Medal on ribbon/ Landw. Beibl.] on 10.11.1916 and with *Militär-Verdienstkreuz* [Military Merit Cross].”

Captain J. Minarik proposed the *Militär-Verdienstkreuz III. Kl. m. d. Schw.* [Military cross III class with crossed swords] for Alois Peter Bock.

The presence of A. P. Bock in the front section, which developed on the Renče, Lukežiči, Veliki vrh, Kostanjevica na Krasu, Novelo and Temnica line, is testified by the table, still visible today, placed on one of the artificial gallery entrances to the cave *Loislhöhle*. The cave (whose local name was *Golobja jama*) was immediately named by the Austrian army *Loislhöhle*, in recognition of the excellent work done by the *Oblt. Ing.* Alois Peter Bock.

Hermann Bock

“Hermann Bock was on the battleground from the beginning of World War I and he was wounded near Grodek (13.09.1914). During his convalescence period he carried out training activities for the soldiers. Subsequently, on 28.07.1915, he was assigned to the 5. Armeekommando Quartiermeisterabteilung for the exploration and hydro-geological study of the caves on the plateau of Doberdò, Comeno, Aurisina, Opicina to adapt them to military purposes. During his explorations he elaborated projects at Vojščica, Kostanjevica na Krasu, Doberdò, Novavas, as well as in the caves at Jamiano, Selo, Klariči and Brestovica pri Komnu. He always worked hard both alone and with the people and departments assigned to him in an intelligent and appropriate way, optimizing the work with the minimum number of resources.”

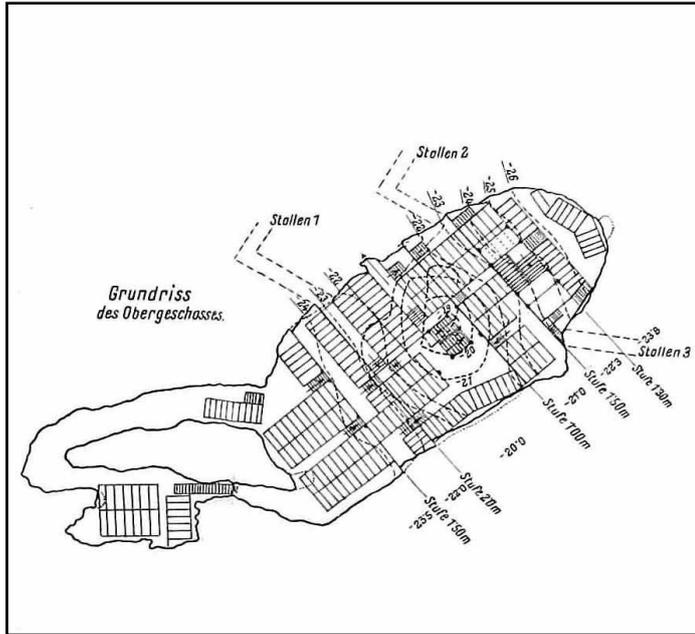


Figure 1. Plan and section of the cave Loishöhle published in *Der Kavernenbau (Teil 1b)*.

#### 4.1 Alois Peter Bock

In Vienna in the years 1920 and 1921 A. P. Bock published, in the specialist collection *Technische Mitteilungen*, contribution in two parts, entitled:

*Die Verwertung der Karsthöhlen an der Isonzofront und die dabei gewonnenen Erfahrungen. Bearbeitet für das Werk „Die Technik und der Weltkrieg“.*

A. P. Bock in the *Technische Mitteilungen* (1921) describes four of the Karst caves adapted for military purposes: „Beschreibung einiger large Karsthöhlen an der Hand von Plänen“ [Description, with plans of some of the largest caves in the Karst].

Current denomination and cadastral number of the caves described:

##### 1. Munitionshöhle

Pečina pri jamah, cadastre Slovenia no. 6955; Grotta di Temnizza known as Grotta delle munizioni, VG 476;

45°50'09.9"N 13°40'24.5"E h 325 m a.s.l. WGS 84.

##### 2. Kartoffelhöhle

Krompirjeva Jama, cadastre Slovenia no. 6956; Grotta presso Temnizza, VG 471. 45°50'11.0"N 13°40'11.8"E h 327 m a.s.l. WGS 84

##### 3. Wursthöhle

Jama v Ozidju, cadastre Slovenia no. 6596; Caverna di Novello, VG 463.

45°51'01.6"N 13°39'37.2"E h 332 m a.s.l. WGS 84

##### 4. Loishöhle

Armeekataster Borojević no. 91; Jama številka 91, cadastre Slovenia no. 6595; Grotta di Novello, VG 465.

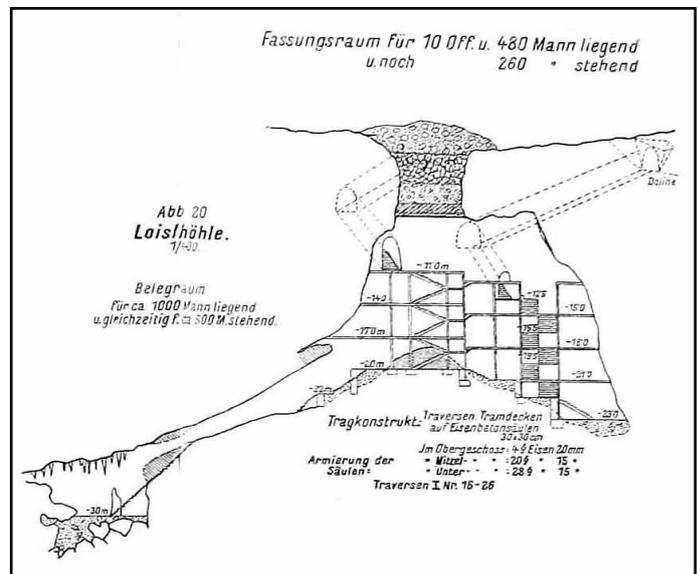
45°51'05.8"N 13°39'28.1"E h 341 m a.s.l. WGS 84. Locally known as Taubenloch.

Other caves are also shown in the map attached to the specialist collection *Technische Mitteilungen*:

a. *Russenhöhle*. Gropača v Belem Kalu, cadastre Slovenia no. 5892 (Ruska Jama); Grotta di Castagnovizza I, VG 441. 45°51'32.2"N 13°38'19.1"E h 280 m a.s.l. WGS 84

b. *Schmidthöhle*. Likinova gropača, cadastre Slovenia no. 5891; Grotta ad oriente di Segeti, VG 437 (called: Grotta dei feriti).

45°51'20.5"N 13°37'43.4"E h 120 m a.s.l. WGS 84.



A. P. Bock concludes the article by saying: “The use of karst caves as accommodation or storage is appropriate and useful. Framework is essential for cave planning, protection and design. In its natural shape, caves were only partially useable, leaving the accessibility and safety against enemy artillery fire to be desired. From this it follows that at least the technical officials should study the subject theoretically and when possible, also practically.”



Figure 2. Detail of the memorial stone plate located at the entrance to the eastern artificial gallery of cave No 91 Loishöhle which mentions the special units and their commanders who participated in the adaptation of the cave.

4.2 Hermann Bock

The son of Dipl. Ing. Hermann Bock, in the spring of 1987, delivered to *Landesverein für Höhlenkunde in der Steiermark* the archival material of the father. The documentation consisted of handwritten registers concerning the caves of the area east of Monfalcone, a territory divided at that time between Italy and Yugoslavia (now Italy and Slovenia). The records had been compiled by H. Bock, Lieutenant of the 5. *A.K.Q.* group of researchers and speleologists of the *k.u.k. Armee (Oberleutnant 5. A.K.Q. Höhlenforscher und Höhlenbaugruppe in der k.u.k. Armee)* in the years 1915 and 1916 when hostilities had started.

The systematically recorded caves have been consecutively numbered by Lieutenant H. Bock, presumably without subdivision of groups. The delivered material (consisting of two binders A and B) describes 51 caves between numbers 1 and 707, but not all of them have been treated in the same way. Some are only mentioned and numbered.

In the article *Höhlen östlich Monfalcone* (Graz -1987)\_are attached, signed by H. Bock, two illustrations and his autograph report to the *Armeekommando*.

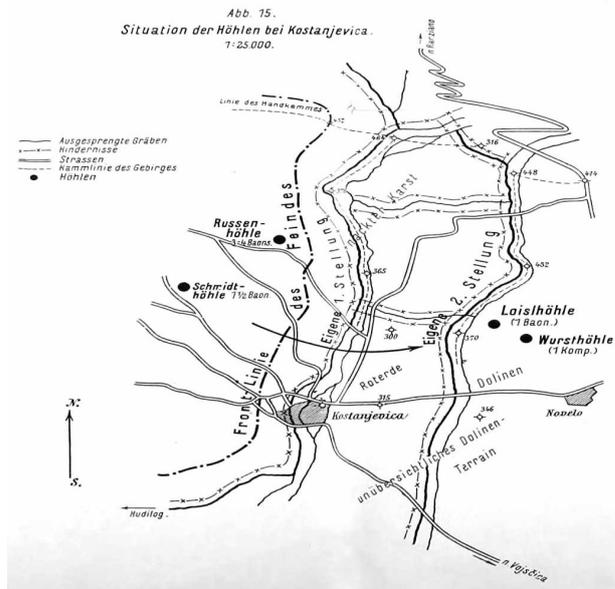


Figure 3. Caves by Costanjevica na Krasu published in *Technische Mitteilungen* (1921).

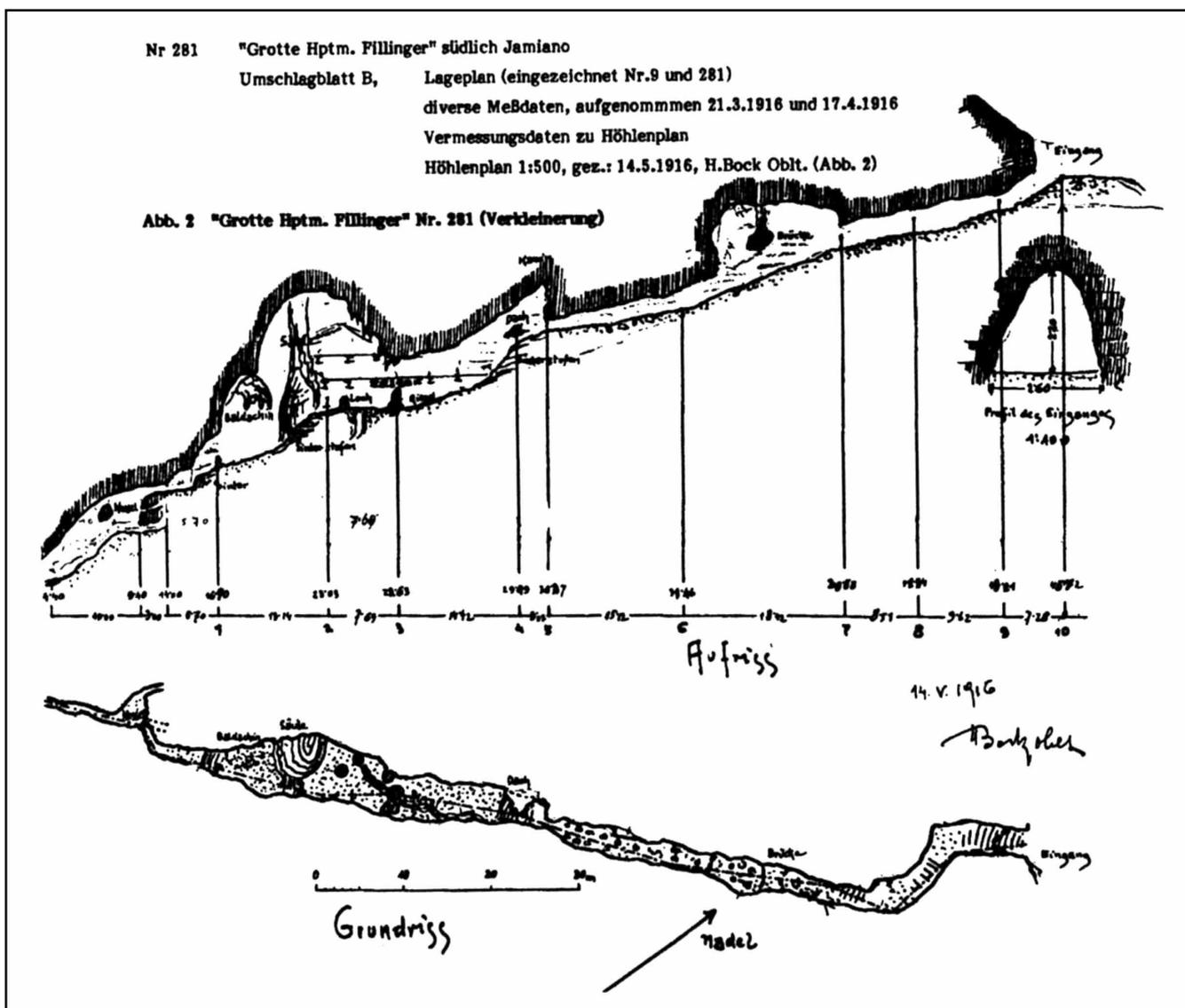


Figure 4. Plan of Hptm Fillinger cave. Armeekataster Borojević No. 281 carried out by H. Bock dated 14.05.1916 45°48'42.4N 13° 34'29.2E h 75 m a.s.l. WGS 84.

5. Pečina na Leskoucah – Grotta Azzurra di Samatorza, CSR 34, 45°45'10.4"N 13°42'18.3"E h 221 m a.s.l. WGS 84.



Figure 5. Pečina na Leskoucah – Grotta Azzurra di Samatorza, CSR 34. Although no written document attesting the paternity of the intervention is currently available, on the upper edge of the retaining wall of the main collector there is the inscription, probably autographed: “Erbaut 10/7 1917 von Herrn Oblt. H. Bock”. (Built 10/7 1917 by Oblt. H. Bock).

Pečina na Leskoucah (Grotta Azzurra di Samatorza CSR 34) is not mentioned in any list and/or description of war caves; due to its geographical position, it did not find itself on the first line of the Isonzo front.

The dolina, where the entrance opens, could shelter the troops who took turns on the frontline. Due to the shortage of surface water on the Karst plateau the Austro-Hungarian army exploited the water potential of the cave. Lieutenant and engineer H. Bock designed a karst water collection system inside the cave. Project that was carried out in conjunction with the construction of a stepped path to reach the collection tank, located on the bottom of the cave, at a depth of about 38 meters from the entrance level. The hydraulic scheme provides two collection tanks, which flow into a tank (tank placed at a height of minus 37.76 meters, tank bottom about 1.60 meter below ground level). On the edge of the tank there is the only a cave inscription regarding Hermann Bock.

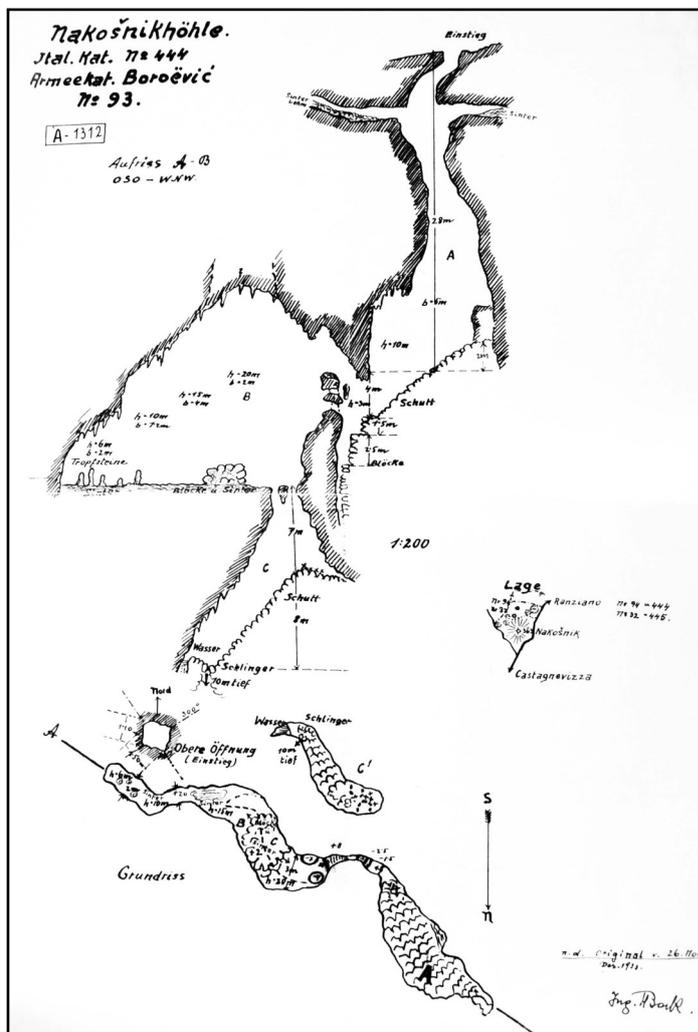


Figure 7. Copy of the survey Nakošnikhöhle cave, deposited at the Cadastre cave ŽRC SAZU - Karst Research Institute, Postojna, carried out by H. Bock dated 26.11.1915 Cadastre Slovenia No. 1312; Grapača jama - Kostanjevica na Krasu.; Grotta di Castagnavizza.



Figure 6. The inscription, probably autograph by Oblt. H. Bock.

Hermann Bock, during the inspections carried out to identify caves to be adapted to military shelters on the Isonzo front also explored the cave *Nakošnikhöhle*, a cave with a vertical course that was not suitable for military use and in fact no work was carried out.

During the exploration of the cave H. Bock collected the bone remains of a *Gulo gulo*, a Pleistocene animal, extinct on the Karst after the last glaciation. This find is not the only one in the Karst, but it is certainly among the most important for the completeness of the finds.

At the end of the thirties (after the death of G. A. Perko) H. Bock handed over the finds to F. Anelli who had been appointed director of the Postojna Cave after the death of G. A. Perko. Unfortunately, the finds have been lost.



Figure 8. The stamp of the k. u. k. Korpskommando of Gruppe Hptm. Minarik.

## 7. Conclusions

This historical research highlights the relationship between men and Karst. The Karst and its caves have been inhabited since the Paleolithic. Men always found a safe refuge in caves.

In 1915, when Italy declared war on Austria, Austria did not find itself unprepared and once again, the last time, the Karst caves became a fundamental refuge for men. During the Great War, caves had an exclusively protective/defensive function for the Habsburg military forces.

The loss of life of the Austrian army would have been considerably higher if the caves, properly adapted as a refuge, had not been used. Thanks to the far-sightedness of the Austrian General Staff, engineers and speleological expert were identified to carry out these works. The design and the construction supervision of the adaptation of the caves was carried out by engineers with speleological expertise.

Austria has shown great sensitivity and interest in *Höhlenkunde* (scientific study of the caves) ever since in 1748 when the mathematician J. N. Nagel, on behalf of the emperor, began the scientific study of *Adelsberger Grotte* (Postojnska jama). On February 4th, 1879 the first speleological society was founded in Vienna, a date that marks the beginning of Speleology in Austria.

Since then, the *classical Karst* represented for Austria, until 1918, an ideal field for the study of karst phenomena.

## References

- Abel, K. (1934). *Karst. Ein Buch vom Isonzo*. Salzburg – Leipzig. (in German).
- Anelli, F. (1939-40). Un importante reperto di *Gulo gulo* nella Grotta di Castagnavizza. In: *Le grotte d'Italia*, 18-19, 92 – 117. Bologna. (in Italian).
- Bauer, E. (1985). *Der Löve von Isonzo - FM Borojević von Bojna*. Styria, Graz – Wien – Köln. (in German).
- Bock, A. P. (1920). Die Verwertung der Karsthöhlen an der Isonzofront und die dabei gewonnenen Erfahrungen. Bearbeitet für das Werk "Die Technik und der Weltkrieg". In: *Technische Mitteilungen*, VI, 215 – 231. Wien. (in German).
- Bock, A. P. (1921). Die Verwertung der Karsthöhlen an der Isonzofront und die dabei gewonnenen Erfahrungen. Bearbeitet für das Werk "Die Technik und der Weltkrieg". In: *Technische Mitteilungen*, I, 13 – 25. Wien. (in German).
- Ehrenreich, H. (1987). Höhlen östlich Monfalcon. In: *Mitt. Landesver. f. Höhlenkunde i. d. Stmk.*, 16, (1-4), 13 – 16. Graz. (in German).
- Gherson, R. (1920). Le grotte di guerra. In: *Alpi Giulie*, 5 – 6, 43–60. Trieste. (in Italian).
- Holzmann, H. (1994). Oblt. Alois Peter Bock und Oblt. Hermann Bock als Höhlenforscher im Kriegseinsatz 1916 – 1917 an der Isonzofront. In: *Höhlenkundliche Mitteilungen des Landesvereines für Höhlenkunde in Wien und Niederösterreich*, 9, 155 – 156. Wien. (in German).
- Holzmann, H. (1996). Ing. Alois Peter Bock als Höhlenforscher im Kriegseinsatz 1916 bis 1917 an der Isonzofront: mit Hinweisen auf die Aktivitäten von Dipl. Ing. Hermann Bock. *Akten ALCADI 1994. Die Höhle*, 49, 51. Wien. (in German).
- K.u.k. Armeoberkommando. (September 1917). Op. Nr. 151.000, *Der Stellungsbau (Teil Ia)*. Wien. (in German).
- K.u.k. Armeoberkommando. (August 1917). Op. Nr. 53.000, *Der Kavernenbau. (Teil Ib.)*. Wien. (in German).
- K.u.k. Kriegsministerium. (1917) Entwurf. Technischer Unterricht für das k. u. k. Gesteinsbohr-Lehr- und Ersatz- Batalion. *Instruktionsbuch für Offiziere. Bohr und Sprengarbeit und Kavernebau*. Wien. (in German).
- Mattes, J. (2019). *Wissenskulturen des Subterranean. Vermittler im Spannungsfeld zwischen Wissenschaft und Öffentlichkeit. Ein biographisches Lexikon*. Böhlau, Wien – Köln – Weimar. (in German).
- Mattes, J. (2015). *Reisen ins Unterirdische. Eine Kulturgeschichte der Höhlenforschung in Österreich bis in die Zwischenkriegszeit*. Böhlau, Wien – Köln – Weimar. (in German).
- Maurin, V. (1962). Oberbaurat. Dipl.-Ing. Hermann Bock 80 Jahre alt. In: *Die Höhle*, 13, 91-95. Wien. (in German).
- Schaffler, H. (1992). Wer ist welcher Bock? In: *Mitt. Landesver. f. Höhlenkunde i. d. Stmk.*, 21, (1-4), 60. Graz. (in German).
- Schaffler, H. (1993). Zur Klärung um die Person von Dipl. Ing. Hermann Bock. *Mitt. Landesver. f. Höhlenkunde i. d. Stmk.*, 22, (1-4). 36. Graz. (in German).

## THE RESULTS OF NEW SPELEOLOGICAL RESEARCH OF THE PETNIČKA CAVE

Aleksandar S. Petrović<sup>1</sup>, Danilo Tomić<sup>2</sup>, Mladen Drašković<sup>2</sup>, Vladimir Pecikoza<sup>3</sup>

<sup>1</sup>University of Belgrade, Geography faculty, Studentski trg 3/3, Belgrade, Serbia, [aleksandar.petrovic@gef.bg.ac.rs](mailto:aleksandar.petrovic@gef.bg.ac.rs)

<sup>2</sup>Researchers society "Vladimir Mandić Manda", Birčaninova 128b, Valjevo, Serbia, [daniilotomic@gmail.com](mailto:daniilotomic@gmail.com)

<sup>3</sup>Petnica Science Center, village Petnica, Valjevo, Serbia, [peca@petnica.rs](mailto:peca@petnica.rs)

### Abstract

Due to its specific location, Petnička Cave is one of the most studied caves in Serbia. The specificity of the location includes the neighborhood of the town of Valjevo, the existence of the most active Serbian speleological society there, as well as the construction of the Petnica Research Center in the vicinity of the cave. For all these reasons, in the coming years, the 200th anniversary of the first written records of the cave will be celebrated. This is a significant anniversary for a speleological feature in Serbia. Jovan Cvijić himself, the founder of karstology as a science, paid special attention to the researches of the Petnička cave. However, members of the speleology group of the Society of Researchers "Vladimir Mandić Manda" and Dr. Radenko Lazarević have devoted most of their time to its research. Lazarević created a plan for the tourist development of Petnička Pećina.

After all the activities so far, the most interesting for further research is the lowest and youngest horizon, which is the most accessible for observation in Aždaja's hall and the lake located at its bottom. In conditions of multi-year drought, the lake level in Aždaja's hall fell by more than 2m in 2022. This was observed during the terrestrial laser scanning (TLS) of the cave for the needs of the Geography seminar at the Petnica Research Center. The water level enabled a much more detailed analysis of the downstream channels, and thus the archaeological discoveries in the Banja Hall, which now bears the name of the Hall of Explorers (Dvorana istraživača). However, the low water level enabled detailed morphological research of this part of the cave and new channels with a length of 50m were discovered. The new plan of the cave showed that only 3m separated the researchers from the physical exit from the cave to the spring of Banja. These newly collected data will allow researchers to see more clearly Cvijić's model of the functioning of intermittent springs and show the morphology and genesis of Petnička Cave in a new light.

### Keywords

Petnička cave, TLS, intermittent springs

## MODELING OF CULTURAL ECOSYSTEM SERVICES IN KARST TERRITORIES: A CASE STUDY OF THE PORECHE REGION IN THE REPUBLIC OF NORTH MACEDONIA

Hristina Prodanova

National Institute of Geophysics, Geodesy and Geography, Bulgarian Academy of Sciences, Acad. Georgi Bonchev, bl. 3, 1113 Sofia, Bulgaria,  
E-mail [hristina.zh.prodanova@gmail.com](mailto:hristina.zh.prodanova@gmail.com)

### Abstract

Karst areas are unique geosystems that provide significant part of drinking water, preserve paleoclimatic and paleogeographic records, and at the same time are some of the most fertile sites for the development of cultural ecosystem services (ES) such as recreational and cognitive tourism. The concept of ecosystem services is defined by Nedkov (2017) and Nikolova et al. (2021a) as a scientific framework linking natural heritage and humans (social systems). In addition, Nikolova et al. (2021b) note that an ecosystem approach is recommended to maintain a good balance between the potential of natural heritage to provide cultural ES and the need for recreation. In recent years, spatial modelling of ES has emerged as a tool to reveal this potential. The results of similar studies at the regional level by Nikolov (2016), Prodanova (2020) and Hristova (2020) prove the key importance of GIS and specialized software in ES research. The aim of this study is to perform a pilot modelling of the recreational-touristic potential in an area with the presence of karst sites, such as the Poreche area in the Republic of North Macedonia, through modelling in InVEST. So far, similar modelling for the area of Poreche and other parts of the RSM has not been done or at least not found to be published in the scientific literature by the end of 2021.

### Keywords

Karst, ecosystem, North Macedonia

# ДЕПРЕСИЯ И ТРЕВОЖНОСТ КАТО РОЛЕВИ СТРЕСОРИ ПРИ СПЕЛЕОЛОЗИ

Свилен Лапаков

Варна, ул. Юрий Венелин № 14, e-mail: greenmamabg@doctor.bg

## Abstract

### Depression and anxiety as role stressors in cavers

The subject of the report is the emotional reactions of speleologists from the Bulgarian Cave Society. Their cognitive-personal characteristics, in particular, the characteristics of their basic beliefs about themselves and the reality surrounding them, through the prism that they have adopted to shape their behavior.

We are aware (perceive, remember and feel) only what we understand. Hence, a person with consciousness cannot fail to understand. Therefore, when we talk about sensations, perceptions, ideas and emotions, we mean a process of consciously created.

Consciousness operates with meaning. Meaning in consciousness is formed by the act of understanding it.

What happens to our body is an effect created for a reason. And this reason is ourselves - our thought.

Why do we initiate and examine in a separate group the psychosomatic potential of speleologists?

Because depression and anxiety, as role stressors, are leading and fundamental for them.

Предмет на доклада са емоционалните реакции на спелеолозите от Българско пещерно дружество. Те са интерпретирани въз основа на Депресивната скала на Nathaway & McKinley (1942 г.), адаптирана за България от проф. Ана Стоянова Кокоскарова и колектив през 1984 г.

Членувачи в Българско пещерно дружество – 90 индивидуални членове, от които попълнили анкетата – 34. Когнитивно-личностните им особености, в частност, особеностите на базисните им убеждения за себе си и обкръжаващата ги действителност през призмата, която са възприели да формира поведението им.

Защо инициираме и разглеждаме в отделна група психосоматичния потенциал на спелеолозите?

Защо именно депресията и тревожността, като ролеви стресори, при тях са водещи и основополагащи.

Спелеологията е Акт на доброволно и осъзнато взето решение за начин на живот с всички произтичащи от него отговорности. Начин за преодоляване на страха, култивиращ осъзнатост.

Човек може да изпълнява огромно количество роли – да бъде родител, началник, възлюбен, може да развие и предположи най-различни качества – ум, обоняние, чувство за хумор, но... от момента, когато премине през прага на пещерата – той се превръща в пещерник (временно пребиваващ в друго измерение на действителността).

Цялата човешка същност, която го представлява, изведнъж се заменя, идентифицира с ограниченото, неизвестно пространство на подземната кухня. Ние, човешкият род, живеем в реалността като невежи, въпреки че сами сме творци в нея и носим отговорност за себе си. Невидимото, което присъства „тук и сега“ и което се явяваме ние, невидимото – е Азът, човекът – осезаем и уловим, се управлява от правила за своето съществуване и утвърждаване в невидимото.

Защо субектът Humanitas има потребата да влиза в пещерата и да се среща в неизвестността с други форми на живот, обитаващи нашата планета?

Целият ни живот е създаден и се управлява от психичен ред и цялата ни архитектура на Humanitas има изключително психологичен характер. Човек е сътворен по образ и подобие на първоначалото си и е длъжен да действа така, както е действало то.

Бидейки творение на природата, ние не сме творци. Това

означава, че сме свободни единствено при условието да спазваме установения законен ред в Универсума, чието нарушение ще предизвика психическа, поведенческа, соматична или рационална болест.

Съзнанието винаги работи в актуален режим. Работата на съзнанието се осъществява посредством паметта. Без памет то не работи.

Човек помни всичко, даже ако не помни, че помни.

Предположимо, да отидеш на границата на Света, своеобразния кордон отделящ пещерата от окултуреното пространство на обитаване е екзистенциална криза, проявяваща се в нейните индивидуалности. Буквално „екзистенция“ е съществуване, което е частично, защото е необратимо.

В човешкото си съществуване Азът, ограничен от телесността, която обитава, търси отговор на 2 въпроса – какво се случва след Смъртта и Срещата с Бог. Прекрчайвайки в „Отвъдното“ се търси едновременно отговор на двата въпроса.

Влизането в пещера е разкрепостен акт, защото не произлиза от традиционното мислене на фолклорния човек. Отвъд сянката, т.е. тъмнината, живее митологемата Змей. Образът на Змията е този, който е навсякъде в разделеното по вертикала и хоризонтала пространство. Чрез него се търси начин за окултуряване и достъпност там, където не е възможно, т.е. Отвъдното. Търсенето на идентификатори със Змееборецът от пещерниците е личен опит за преодоляване на екзистенциалните кризи в житейското им осмисляне.

Ролевите стресори – депресия и тревожност при спелеолозите са едни от крайъгълните камъни, формиращи психоенергийния им образ.

Тревожността е психично състояние при човека. С акта си на осъзнато поведение да се достигне до определено ниво на тревожност се цели възстановяване на нарушената вътрешна комуникация със себе си при спелеолозите. Тревожността е нормална реакция при „здрав“ човек за справяне със съответната причина, довела до душевен дискомфорт.

Предизвиквайки себе си, именно в това obsesивно пространство за разговор с Божеството, е опит на Аз-ът да се вдигне над телесността си, но не толкова високо, за да намери отговора на въпроса от екзистенциално значение: „Мога ли да доверя на себе си бъдещето?“

Съзнанието по своята функционална природа е самосъзна-

ние, разбиращо себе си съзнание. Човек във всеки един момент осъзнава, че не всичко съзнава. Работата на съзнанието започва с разбирането на неразбирането. Явленията от съзнанието се асоциират с осъзнати преживявания. Феноменът на осъзнаване – отговаря за взимането на специални решения за това, как и по какъв начин се осъзнава, т.е. приемане на решения за осъзнаване.

Индивидът, в своята субективност, влязъл в пещерата, да анализира, разбере и измени своето състояние, като съзнава грешките в идеите си, представите си, несъгласуваността си и отрицателните резултати, е необходимо в психологичен план, да намери нивото си, където при желание, ще разбере потребата да се промени.

От появата си на този свят, всеки от нас започва да трупа социален опит. Постепенно в съзнанието ни устойчиво се задържат съчетания от емоции. Някои започват да доминират, когато те са преобладаващо негативни, разрушават тялото и душата.

Всеки човек е уникален „психосоматичен социален свят“, който реагира специфично на значими за него събития. Силната тревожност активира примитивно инстинктивно поведение. Тук, освен всичко споменато до сега, е присъщ и вътрешноличностен проблем, разбира се, невинаги осъзнат.

Пещерникът, именно в пещерата, се съпротивлява търсейки изход. Блокираната мисъл парализира контрола върху потока емоции, но активира защитните механизми, необходими да съхранят целостта на индивида. Един от основните е страхът. Заложен е генетично и е сигнал и предупреждение за опасност. А тя е в намирането на отговора на въпроса, манифестиран по-горе: „Мога ли да доверя на себе си бъдещето?“

Избягването на страха и сблъсък с него ни стагнира, пречатства нашето по-нататъшно развитие и ни кара да сме със съзнанието на деца, където не сме преодолели страховите бариери.

Търсенето на подобие със Змеебореца (Св. Георги), спелеологът цели да завиши себеоценката си, за да надгради разбирането си за белите петна. Страхуват се и най-големите герои, защото и те са подчинени на инстинкта за самосъхранение.

Разликата между герои и „страхливци“ е в степента на контрол върху емоционалното състояние, активирало страха. Източникът на страха е винаги конкретен. В неизвестността в пещерата, освен от конкретен страх от нещо познато, съществува и, издигнато в най-висока степен на йерархичност, страх от страха – смъртта.

Смъртта обезсмисля автобиографичното преследване на величаенето на Аза, но осмисля съществуването на личността. С кончината на телесността се изчерпва времето. Субектът, като съзнание, обитаващ, открил смъртността си в смъртите на другите, разбира временното си битие. Смъртта е най-радикалното, което може да се случи на тялото и с което съзнанието, Аза, не може да се бори.

Човек се среща със смъртта еднократно и след тази среща не

е в състояние да пренесе в битието обективната си нагласа.

Тук липсата на емпиричен опит предполага формиране на определена нагласа:

- в несъзнаваното ние нямаме (не съществува) представа за смъртта,
- липсва личен опит със смъртта,
- не сме в състояние да разсъждаваме за небитието,
- нямаме опит за извънтелесен живот.

Ето защо, когато пещерникът се върне от „тунела“, пещерата е своеобразен „тунел“ водещ към Божеството, в съзнанието му се формира, предположимо, въпроса: „Какво ще правиш с остатъка от живота си отгук нататък?“

В заключение ще обобща опита за психоенергиен портрет на спелеолога спрямо ролевите му стресори на депресия и тревожност.

Събитията нямат „обективен“ смисъл, който да съществува извън нас. Всеки от нас изпълва случващото се със свое собствено съдържание, смисъл и значение.

Преживяването (познаването) на субективната действителност не може да се случи без телесността, чрез която нефизическата обективност взаимодейства със света. Като пример: „Животът не е замислен така, че да сме щастливи откъдето“.

Страхът не съществува извън разума. Матрицата от активирани от нас самите страхове, ни контролира непрекъснато.

Да се проследи нейното блокиращо влияние е невъзможно, ако човек сам не е заинтересован в своето освобождение. Разумът ни ражда чудовища и само той е способен да ги унищожи.

Бъдете честни пред себе си.

Търсете начин да се сприятелите със страховете си. По този начин се адаптирате по-леко в създаването на копинг стратегии за справянето.

Бог е в нас и имаме потребата да сме честни със себе си.

Смъртта е асоцииран страх в сянка. За да излезне сянката е необходимо да концентрираме върху нея светлина. Така ще сме създали хармония между разума си и тялото и обкръжаващия ни свят.

## Библиография

- Кокошкарлова А., Психологично изследване на личността в клиничната практика, М.и Ф.,София, 1984
- Китаев-Смык Л.А. „Психология стресса. Психологическая антропология стресса“, изд. Академический Проект, 2009
- Малкина-Пых И.Г. „Телесная терапия“, изд. Эксмо, 2005
- Щербатых Ю., Психология стресса и методы коррекции, изд. Питер, 2006
- Щербатых Ю., Психология страха, изд. Эксмо-Пресс, 1999

## INDEX OF AUTHORS

ANTOVA <i>Rayna</i> .....	54
ATANASOVA <i>Yuliana</i> .....	54
BAJRAKTARI <i>Fadil</i> .....	75
BALTAKOVA <i>Achinora</i> .....	34
BERHAMI <i>Sami</i> .....	75
DECHEV <i>Peter</i> .....	40
DIMOU <i>Athanasios</i> .....	11
DORA <i>Despoina</i> .....	11
DUNDAROVA <i>Heliana</i> .....	47
EMILOVA <i>Radoslava</i> .....	54
FABRICATORE <i>Alessio</i> .....	96
GEORGIKAKIS <i>Panagiotis</i> .....	75
GEOURGIEV <i>Evgeni</i> .....	80
IVANOV <i>Ivan</i> .....	20
KARAMAN <i>Ivo</i> .....	74
KARAPAVLOVA <i>Mariela</i> .....	57
KENDEROV <i>Lubomir</i> .....	51
KOEV <i>Evgeni</i> .....	30,87
KOSTADINOVA <i>Slaveya</i> .....	54
LAPAKOV <i>Svilen</i> .....	103
LAZARIDIS <i>Georgios</i> .....	11
LAZARKEVIC <i>Irina</i> .....	54
MAGNI <i>Silvana</i> .....	42
MUGLOVA <i>Penka</i> .....	24.70 77
MYLONA <i>Ioanna</i> .....	75
NIKOLOUDAKIS <i>Ioannis</i> .....	75
OGNYANOV <i>Ognyan</i> .....	20, 77
PANDOURSKI <i>Ivan</i> .....	47
PANORA <i>Aikaterini</i> .....	11
PAPAMICHAEL <i>Giorgos</i> .....	75
PARAGAMIAN <i>Kaloust</i> .....	74,75
POPOV <i>Vasil V.</i> .....	47
PRODANOVA <i>Hristina</i> .....	102
RASHID <i>Rashid</i> .....	57
RUSEV <i>Atanas</i> .....	15
SERKEDZIEVA <i>Desislava</i> .....	54
SMUC <i>Andrej</i> .....	42
ŠOSTER <i>Ales</i> .....	42
SPASOVA <i>Mina</i> .....	77

## INDEX OF AUTHORS

STEFANOV <i>Peter</i> .....	62
STEFANOVA <i>Dilyana</i> .....	62
STOEV <i>Alexey</i> .....	24, 70 77
TODOROVA <i>Svetla</i> .....	57
TRIMMIS <i>Konstantinos</i> .....	11
VOUVALIDIS <i>Konstantinos</i> .....	11
YANAKIEV <i>Alexander</i> .....	20
YORDANOVA <i>Stanislava</i> .....	54
ZHALOV <i>Alexey</i> .....	8,11, 27

## PROGRAM OF THE COFERENCE OVERVIEW

Time	Thursday 19 <sup>th</sup> October
9:00	Opening Congress Office
9:00 – 14:00	General Registration (Congress Office)
14:00	Opening Ceremony – Great Hall of National Museum Eart & Man
	1 <sup>st</sup> Conference Session
16.00	Coffee Break
	2 <sup>nd</sup> Conference Session
19:00	Welcome Party
	Friday 20 <sup>th</sup> October
9:00 – 10:30	1 <sup>st</sup> Morning Session
10:30 – 11:00	Break
11:00 - 12:30	2 <sup>nd</sup> Morning Session
	Lunch Break
14:00	1 <sup>st</sup> Afternoon Session
	Coffee Break
	2 <sup>nd</sup> Afternoon Session
	Saturday 21 <sup>nd</sup> October
9:00 – 18:00	Guided tour
20.00	Banquet
	Sunday 22 <sup>rd</sup> October
9:00 – 12:00	Guided tour

PRELIMINARY PROGRAM OF PRESENTATIONS	
<b>Time</b>	<b>Thursday 19<sup>th</sup> October</b>
<b>14:00</b>	<b>Official Opening</b>
	<b>1<sup>st</sup> Afternoon Session</b>
<b>14:30</b> *	<b>A. ZHALOV:</b> The exploration of the karst & caves in Sbornovo National - historical-archaeological reserve and Voden-Iri hisar hunting reserve, Ispirih municipality, Razgrad county, north-east Bulgaria
<b>15:30</b>	<b>G. LAZARIDIS et al. :</b> Exploring the caves of Agion Oros: a comprehensive geological synthesis of field-work data
-----	<b>At. RUSEV:</b> Research with GPR ( Ground penetration radar ) in the Bosnek karst region
<b>16:00</b> *	<b>O. OGNIANOV et.al.</b> Orthophoto mapping and terrestrial laser scanning of karst terrains and caves in 3D reconstruction
<b>17:30</b>	<b>Al. STOEV, P. MUGLOVA:</b> Generating cave models: challenges to physical cave monitoring
	<b>Al. ZHALOV :</b> Bulgarian – Kosovo cave explorations 2017-2022
	<b>Ev. KOEV :</b> Underground karst lakes according to their way of formation, feeding, main features and features
	<b>A. BALTAKOVA :</b> Landforms in travertine /tufa in Bulgaria
<b>Friday 20<sup>th</sup> October</b>	
<b>1<sup>st</sup> Morning Session</b>	
<b>9:00</b> *	<b>P.DELCHEV :</b> Passporting of caves in Bulgaria
<b>10.30</b>	<b>S. MAGNI et.al :</b> Are the stylolites important in the karst formation?
----	<b>H. DUNDAROVA et.al.:</b> Bat diversity from a high-altitude karst area in Pirin mountains, Bulgaria
<b>11.00</b> *	<b>L.KENDEROV:</b> A new species of the genus <i>Niphargus</i> ( <i>Amphipoda</i> : <i>Crustacea</i> ) found in a water gallery under the courtyard of the Monastery of Saint George , Athos , Greece
<b>12.30</b>	<b>Y. ATANASOVA et.al.:</b> Nontuberculous mycobacteria diversity in Bulgarian caves
	<b>R.RASHID et.al. :</b> Bats and men – sharing life under one roof
	<b>P. STEFANOV, D. STEFANOVA :</b> ProKARSTerra-Edu: Education and Training for/through karst
	<b>M.SPASOVA et.al.</b> STEM training and opportunities for project-based training and integrative knowledge in speleology
<b>2<sup>nd</sup> Afternoon Session</b>	
<b>14:00</b> *	<b>K. PARAGAMIAN et.al:</b> The cave of Maroneia (Rodopi, Northern Greece): biodiversity, significance, pressures and threats
<b>15.30</b>	<b>I.KARAMAN :</b> Results of the first project of the Serbian biospeleological society
----	<b>K. PARAGAMIAN:</b> Protecting Greece's cave biodiversity: the environmental imperative
<b>16.00</b> *	<b>P. MUGLOVA et.al.:</b> Archaeoacoustics in cult caves on the territory of Bulgaria
<b>17.30</b>	<b>Ev. GEORGIEV :</b> The reliquary chambers' in the preserved altar tables of cave churches along Loms' river set, Bulgaria
	<b>A.FABBRICATORE:</b> Isonzo front: the caves of karst plateau
	<b>Ev.KOEV:</b> Architectural-historical anthropogenic karst landscapes, as a model for comprehensive research, systematization and documentation of the cultural-historical heritage in karst
	<b>AL. PETROVIĆ et.al. :</b> The results of new speleological research of the Petnička cave
	<b>H. PRODANOVA:</b> Modeling of cultural ecosystem services in karst territories: a case study of the Poreche region in the Republic of North Macedonia
	<b>F. BAJRAKTARI, S.BEHRAMI:</b> The role of caves in the development of tourism in Kosovo
	<b>S.LAPAKOV:</b> Depression and anxiety as role stressors in cavers
<b>Saturday 21<sup>nd</sup> October</b>	
<b>9 – 18</b>	<b>Guided sightseeing karst trip</b>
<b>20.00</b>	<b>B a n q u e t</b>
<b>Sunday 22<sup>nd</sup> October</b>	
<b>9-12</b>	<b>Guided sightseeing trip Sofia</b>

The Organisers reserve its right to make some changes in the current Program

## EXCURSION : KARST IN THE GORGE OF THE RIVER ISKAR, BALKAN MOUNTAIN

The Iskar Gorge is a natural miracle carved out of the stone breasts of the Stara Planina Mt. The total length of the gorge is 156 km. The central - most beautiful and distinct part of the gorge is 67 kilometres long. In this central part of the gorge there are natural geological, geomorphologic phenomena. There are also known plenty of caves in this region.

The canyon is formed by Iskar River after the drainage of the Sofia Lake to the sea located on the territory of the Moesian Platform in the middle of the Dacian Stage about 4,5 million years ago. Now Iskar River takes its source from Rila Mountain, the highest mountain on the Balkans, crosses the Balkan Mountain through the picturesque Iskar Canyon, then the Moesian Platform and flows into the Danube. Iskar Gorge offers a number of scenic landscapes and remarkable rock outcrops of various metamorphic, igneous, volcanic and sedimentary rocks, representing the whole Phanerozoic history of the Earth

### **First stage: Ritlite, Lyutibrod village, Vrachan region**

Geotop "Ritlite" is an object of aesthetic, scientific, ethnographic and historical value. It is located at 250 m above sea level on the right bank of the Iskar River in the southern part of the village Lyutibrod. The rock walls are located in the uppermost levels of the Lyutibrod geological Formation. They are vertical layers of strong sandy limestones and calcareous sandstones, rising as rock walls up to 200 m long and up to 50 m high, varying in thickness from 3 to 7.5 meters. The formation of Ritli is due to the different erosion resistance of the layers. The layers of limestone, sandy limestone or calcareous sandstone are the strongest, and the marl interlayers are the most unstable. Thus, as a result of uneven erosion, the stronger sandstones and limestones have been preserved as high projecting vertical walls, and the more unstable marl and clay interbeds between them have been washed away by the waters and are now overgrown with vegetation. Ritli are one of the most famous geological phenomena in Bulgaria.

### **Second stage: Cherepish rocks and Cherepish monastery.**

The Cherepish rocks are formed among the limestones of the Cherepish formation near the Cherepish rail way station at an altitude of 200 to 600 m. The karst canyon of the Iskar river, deeply incised among the Cherepish limestones, is considered to be the "northern door" of the Iskar gorge. The Cherepish limestones have Tithonian - Baram age. They are light gray, gray to beige limestones. They are organogenic, homogenic, clastic and cryptogenic. Here over an area of 3 km<sup>2</sup> are known more than 170 caves. The longest cave is "Studenata" with length of 602 m. After Cherepish, along the gorge the road passes through Zverino, Opletnya, Lakatnik, Bov and Tserovo.

In the narrowest part of the canyon, on the right bank of the Iskar River, is the Cherepish monastery "Assumption of the Virgin", founded in the 14th century. This is evidenced by a church statute written in the monastery in 1390-96, which is kept in the library of the Church Historical and Archaeological Museum in Sofia. Ravaged many times, it was rebuilt in the late 16th or early 17th century. Many ancient manuscripts are preserved in the Cherepish Monastery, the most famous of which is the Cherepish Four Gospels from the 15th century with a gilded fitting, made here in 1612 by the Chiprov master-goldsmiths Nikola and Pala. The monastery itself consists of a church and several buildings located next to the river Iskar.

### **Third stage: Lakatnishki rocks, Milanovo village, Svoge municipality, Sofia region**

The Lakatnishki rocks are a complex of rock ridges, escarpments, pyramids and pillars, caves and karst springs, developed among the rocks of the Triassic system on the western slope of the valley of the Iskar river. They represent the most attractive part of the remarkable canyon of the Iskar river. The base of the rock ranges is between 400 and 500 m above sea level, and the maximum height reaches up to 700 m. The Lakatnishki rocks were declared a natural landmark in 1989. The protected territory falls within the boundaries of the later designated "Vrachanski Balkan" Nature Park. The area is built of Triassic rocks and includes one of the most complete sections of the Triassic system in our country and in Europe. The rocks were formed in the stratigraphic interval between 250 and 200 million years. The high aesthetic value of Lakatnishki rocks is due to the impressive rock crown composed of sheer walls, slopes, rock pyramids and pillars, caves and karst springs, a product of the multi-stage deep erosion of the river.

There are 86 caves in the area among the famous Temnata Dupka Cave with length more than 8 km and the Zhitolub Karst Spring. (average discharge 98-3577 l/sec). Other long caves near Lakatnik are Kozarskata Peshtera (709 m), Razhishkata Cave (316 m) and Svinskata Dupka (300 m).

### **Fourth Stage: Dushnika (Iskretskata peshtera, Peshtta, Vodnata) Cave**

Iskrets Village, Sofia Distr., Length - 876 m. Depth - 12 m

A water cave on the left bank of Brezenska river, ca. two kilometers NW of Iskrets. The road to Breze was built over the entrance chamber of the cave.

A horizontal, labyrinthine cave with four entrances. Water t° = 11°C. Developed in Trias limestone. In spring most of the cave is inundated, except for the entrance part. The hydrological system of the cave gives rise to the biggest dynamic karstic spring in Bulgaria (ca. 54 900 l/sec).

The distance between Ponor Planina Mt. and the spring is ca. 7,5 km as the crow flies, the denivelation being over 650 m. The huge water basin indicates that if one day the end siphon is penetrated, the cavers may find themselves in a complex and very long cave system.

First written information is given by Zlatarski in 1904. Zheko Radev surveyed 225 m in 1915. During the period 1923-25 the cave was visited many times by Dr. Buresch and his team for the study of the cave fauna. The club Akademik, Sofia, added in 1967-69 some more information and brought the known length to 567 m. The latest map of the cave (1988, Z. Iliev, A. Zhalov and others) indicated a total length of 876 m.

Fauna: Stygobites are *Cavernisa zaschevi* (Gastropoda), *Diacyclops pelagonicus saetosus*, *D. stygius*, *D. clandestinus*, *Speocyclops lindbergi*, *Maraenobiotus parainsignipes*, *Stygoelaphoidella elegans* (Copepoda), *Sphaeromides bureschi* (Isopoda). Troglobites: *Paranemastoma (Buresiolla) bureschi* (Opiliones), *Pheggomisetes globiceps* (Coleoptera). Also known are many other trogloniles (incl. *Balkanopetalum armatum*) and troglonenes.



„Explore, understand and protect“

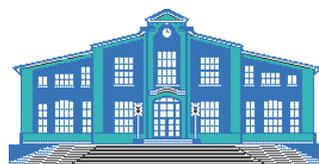




# BALKAN SPELEOLOGICAL CONFERENCE

## EXCURSION GUIDE BOOK

21 OCTOBER 2023



## EXCURSION : KARST IN THE GORGE OF THE RIVER ISKAR, BALKAN MOUNTAIN

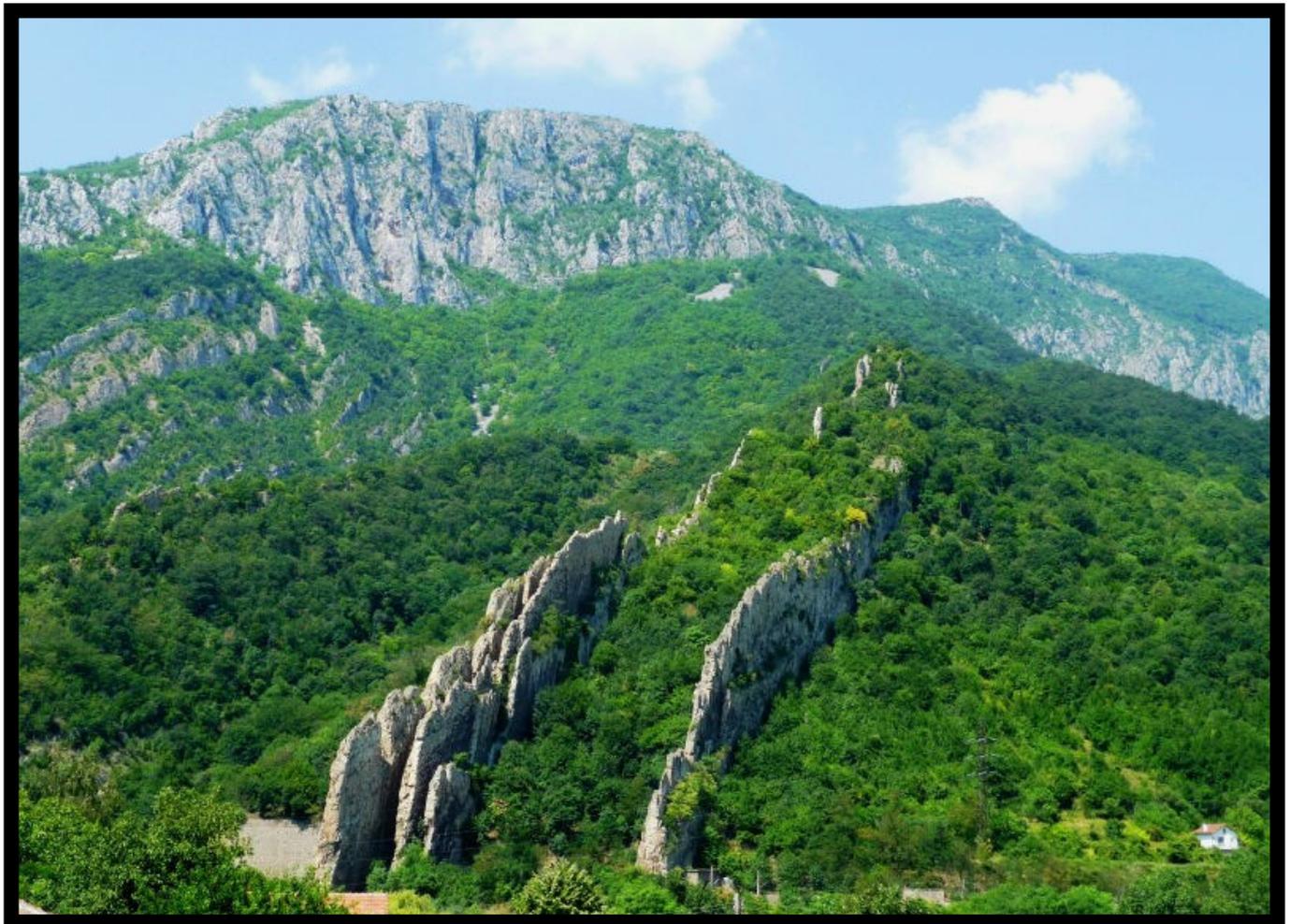
The Iskar Gorge is a natural miracle carved out of the stone breasts of the Stara Planina Mt. The total length of the gorge is 156 km. The central - most beautiful and distinct part of the gorge is 67 kilometres long. In this central part of the gorge there are natural geological, geomorphologic phenomena. There are also known plenty of caves in this region.

The canyon is formed by Iskar River after the drainage of the Sofia Lake to the sea located on the territory of the Moesian Platform in the middle of the Dacian Stage about 4,5 million years ago.

Now Iskar River takes its source from Rila Mountain, the highest mountain on the Balkans, crosses the Balkan Mountain through the picturesque Iskar Canyon, then the Moesian Platform and flows into the Danube. Iskar Gorge offers a number of scenic landscapes and remarkable rock outcrops of various metamorphic, igneous, volcanic and sedimentary rocks, representing the whole Phanerozoic history of the Earth

### **First stage: Ritlite, Lyutibrod village, Vrachan region**

Geotop "Ritlite" is an object of aesthetic, scientific, ethnographic and historical value. It is located at 250 m above sea level on the right bank of the Iskar River in the southern part of the village Lutibrod. The rock walls are located in the uppermost levels



of the Lyutibrod geological Formation. They are vertical layers of strong sandy limestones and calcareous sandstones, rising as rock walls up to 200 m long and up to 50 m high, varying in thickness from 3 to 7.5 meters. The formation of Ritli is due to the different erosion resistance of the layers. The layers of limestone, sandy limestone or calcareous sandstone are the strongest, and

the marl interlayers are the most unstable. Thus, as a result of uneven erosion, the stronger sandstones and limestones have been preserved as high projecting vertical walls, and the more unstable marl and clay interbeds between them have been washed away by the waters and are now overgrown with vegetation. Ritli are one of the most famous geological phenomena in Bulgaria.

### Second stage: [Cherepish rocks](#) and Cherepish monastery.

The [Cherepish rocks](#) are formed among the limestones of the Cherepish formation near the Cherepish rail way station at an altitude of 200 to 600 m. The karst canyon of the Iskar river, deeply incised among the Cherepish limestones, is considered to be the "northern door" of the Iskar gorge. The Cherepish limestones has Tithonian - Baram age. They are light gray, gray to beige limestones. They are organogenic, hemogenic, clastic and cryptogenic . Here over an area of 3 km<sup>2</sup> are known more than 170 caves. The longest cave is "Studenata" with length of 602 m. After Cherepish, along the gorge the road pass through Zverino, Opletnya, Lakatnik, Bov and Tserovo.



In the narrowest part of the canyon, on the right bank of the Iskar River, is the Cherepish monastery "Assumption of the Virgin", founded in the 14th century. This is evidenced by a church statute written in the monastery in 1390-96, which is kept in the library of the Church Historical and Archaeological Museum in Sofia. Ravaged many times , it was rebuilt in the late 16th or early 17th century. Many ancient manuscripts

are preserved in the Cherepish Monastery, the most famous of which is the Cherepish Four Gospels from the 15th century with a gilded fitting, made here in 1612 by the Chiprov master-goldsmiths Nikola and Pala. The monastery itself consists of a church and several buildings located next to the river Iskar.



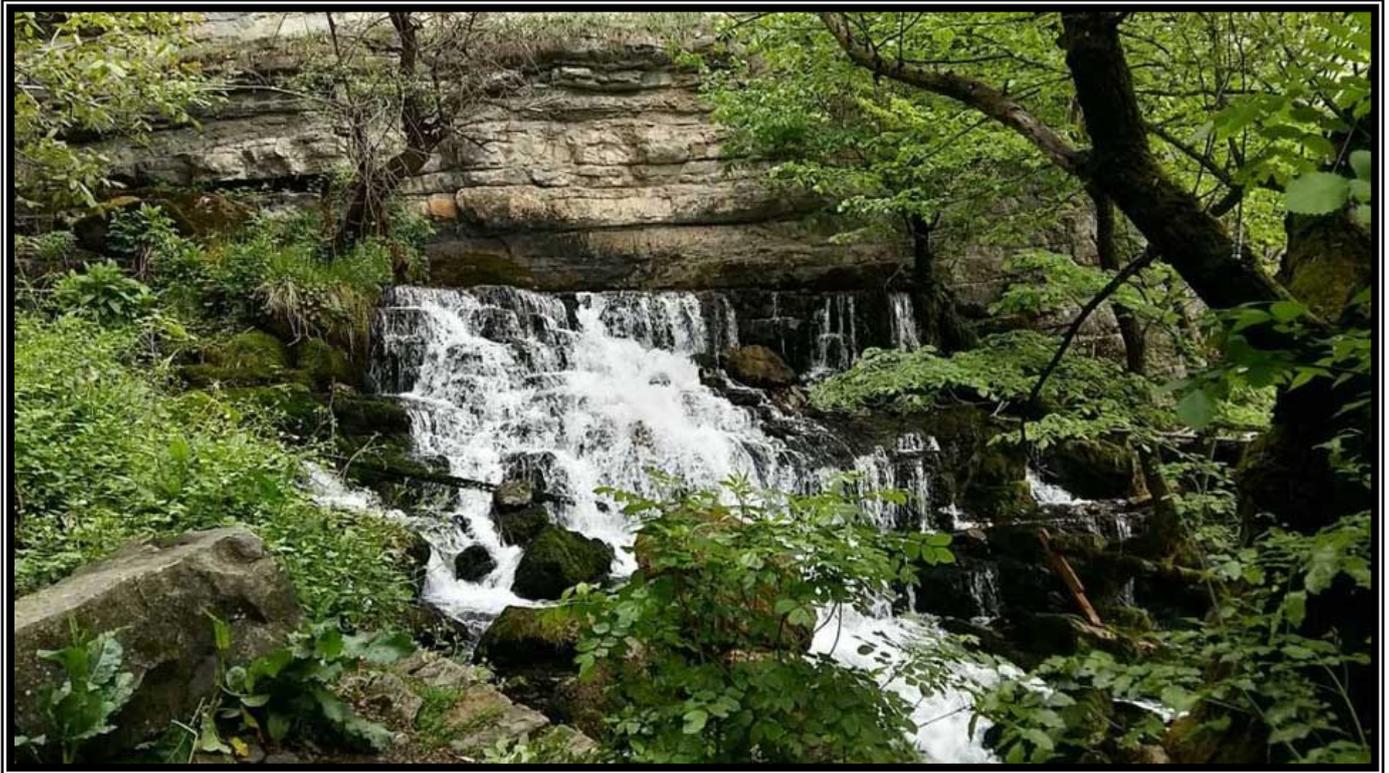


**Third stage: Lakatnishki rocks, Milanovo village, Svoge municipality, Sofia region**

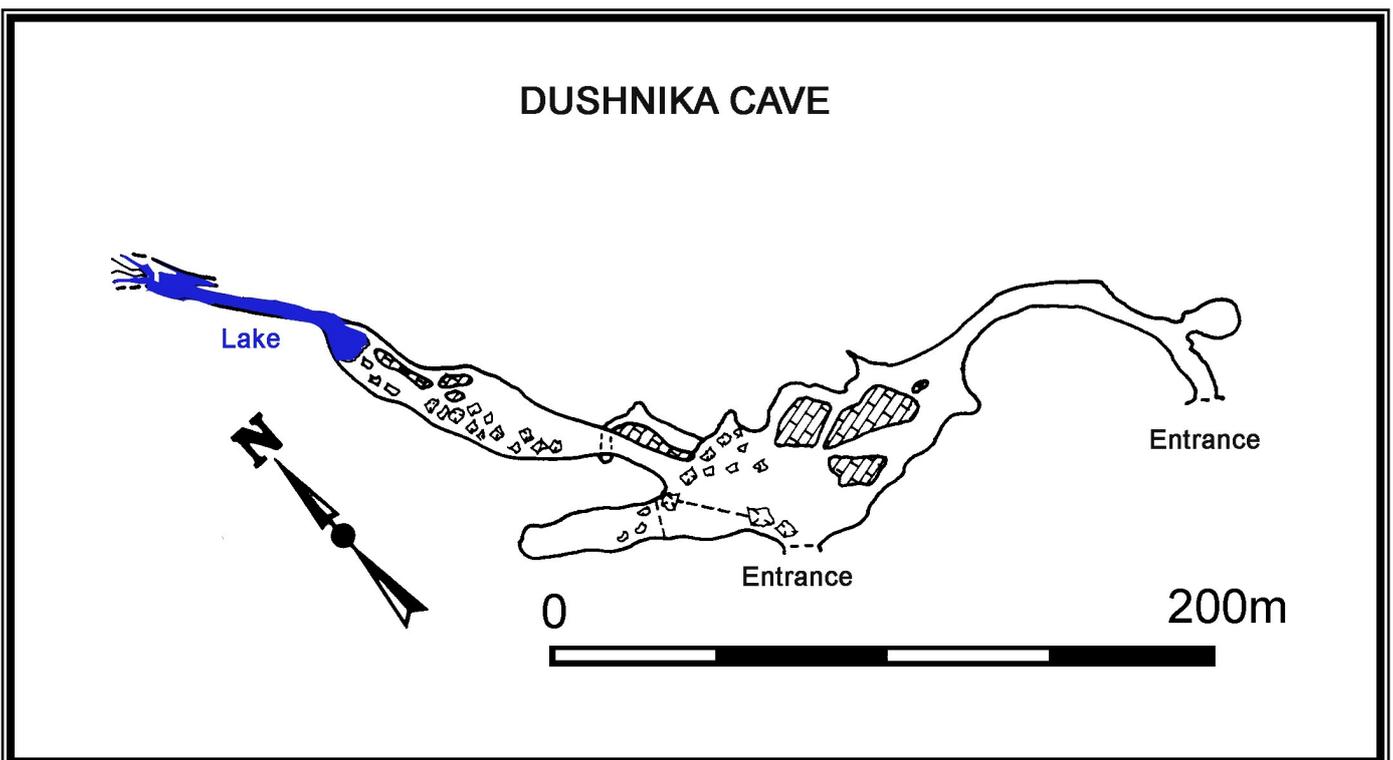


The Lakatnish rocks are a complex of rock ridges, escarpments, pyramids and pillars, caves and karst springs, developed among the rocks of the Triassic system on the western slope of the valley of the Iskar river. They represent the most attractive part of the remarkable canyon of the Iskar river. The base of the rock ranges is between 400 and 500 m above sea level, and the maximum height reaches up to 700 m. The Lakatnish rocks were declared a natural landmark in 1989. The protected territory falls within the boundaries of the later designated "Vrachanski Balkan" Nature Park. The area is built of Triassic rocks and includes one of the most complete sections of the Triassic system in our country and in Europe. The rocks were formed in the stratigraphic interval between 250 and 200 million years. The high aesthetic value of Lakatnishki rocks is due to the impressive rock crown composed of sheer walls, slopes, rock pyramids and pillars, caves and karst springs, a product of the multi-stage deep erosion of the river.

There are 86 caves in the area among the famous Temnata Dupka Cave with length more than 8 km m and the [Zhitolub Karst Spring](#) (average discharge 98-3577 l/sec ). Other long caves near Lakatnik are Kozarskata Peshtera (709 m), Razhishkata Cave (316 m) and Svinskata Dupka (300 m).



#### Fourth Stage: Dushnika (Iskretskata peshtera, Peshtta, Vodnata)Cave



## Dushnika Cave , Iskrets Village, Sofia Distr., Length - 876 m. Depth - 12 m

A water cave on the left bank of Brezenska river, ca. two kilometers NW of Iskrets. The road to Breze was built over the entrance chamber of the cave.

A horizontal, labyrinthine cave with four entrances. Water  $t^{\circ} = 11^{\circ}\text{C}$ . Developed in Trias limestone. In spring most of the cave is inundated, except for the entrance part. The hydrological system of the cave gives rise to the biggest dynamic karstic spring in Bulgaria (ca. 54 900 l/sec).

The distance between Ponor Planina Mt. and the spring is ca. 7,5 km as the crow flies, the denivelation being over 650 m. The huge water basin indicates that if one day the end siphon is penetrated, the cavers may find themselves in a complex and very long cave system.

Known to local people since time unrecorded. First written information is given by Zlatarski in 1904. Zheko Radev surveyed 225 m in 1915. During the period 1923-25 the cave was visited many times by Dr. Buresch and his team for the study of the cave fauna. The club Akademik, Sofia, added in 1967-69 some more information and brought the known length to 567 m. The latest map of the cave (1988, Z. Iliev, A. Zhalov and others) indicated a total length of 876 m.

Fauna: Stygobites are *Cavernisa zaschevi* (Gastropoda), *Diacyclops pelagonicus saetosus*, *D. stygius*, *D. clandestinus*, *Speocyclops lindbergi*, *Maraenobiotus parainsignipes*, *Stygoelaphoidella elegans* (Copepoda), *Sphaeromides bureschi* (Isopoda). Troglobites: *Paranemastoma* (Buresiolla) *bureschi* (Opiliones), *Pheggomisetes globiceps* (Coleoptera). Also known are many other troglaphiles (incl. *Balkanopetalum armatum*) and troglonexenes.



**Requirements for tour:** The participants need to have headlamp and torch, helmet, caving clothes (no need impermeable overall) , shoes (rubber boots). **Easy cave. No narrowing's, pitches or difficulties. Temperature 12 °C**  
Please don't forget to Register here: <https://form.jotform.com/230695107769365> Deadline: **25 September 2023**