

Hydrogeological and Speleometeorological Dynamics of the Prometheus and Sataplia Show-Caves, Imereti, Georgia

¹Martin Kralik, ² Rudolf Pavuza, ³ George Melikadze

¹ Environment Agency and University of Vienna, Vienna, Austria (Martin Kralik)

² Natural History Museum Vienna, Austria (Rudolf Pavuza)

³ Tbilisi State University, Tbilisi, Georgia (George Melikadze)

Abstract

Prometheus Cave

Water Dynamics

- Rainwater enters the cave relatively quickly at several places therefore guided cave tours should be stopped during strong and long lasting storms
- Water at the lower part of the cave runs as a small brook with a few litres per second (low flow first week of March 2014) up to approximately 1 cubic meter per second during strong floods
- During low water flow in March the microbiological contamination is high and in agreement with traces of artificial sweeteners and corrosion inhibitors indicating inflow of domestic waste water into the cave
- The recharge area of the cave waters should be mapped and waste water treatment of houses and farms in this area should be managed and monitored.

Speleometeorological Dynamics

A general summary of the situation in the Prometheus cave, based on the data already available and on experience from other comparable caves is as follows:

The overall status of the speleometeorological parameters at the given time-interval of investigation (March 2014) can be regarded as quite good with respect to the cave environment and the safety of the visitors. There was no significant enrichment of CO₂, which is mainly due to the natural ventilation, but certainly also due to the early season.

During the summertime CO₂ will increase due to natural causes (increased soil activity plus thermodynamic barrier against the outside air increases the influx of CO₂ into the cave through fissures) as well as due to the increased number of visitors. However, the diminishing, but most likely still existing ventilation will limit it to values that cause no significant threat to the environment and to the visitors. The result of these opposing effects is also documented by a slightly higher content of radon in the Prometheus Cave during the summer months (Vaupotic et al. 2012).

Nevertheless - to remain on the safe side – a modelling of the CO₂ development under changed boundary conditions was performed, with pessimistic boundary conditions and assumptions as well as a more realistic scenario. Taking also research and experiences

in other show caves into account, a serious threat to both visitors and the caves is unlikely as long as some simple precautions are taken during the touristic peak season and high outside temperatures.

In our opinion the natural air movement, which could be enhanced by opening doors for two to three hours during the evening hours or during night time (depending on the necessary safety measures) in the summer season, should be sufficient to stay on the safe side. The inflow of outside air (the relative humidity of which is lower than the cave air) is no threat to the cave atmosphere or the speleothems during the summer season because its relative humidity will increase due to lower water saturation of colder air.

A simple and reliable tool to measure the CO₂ content of the air during the peak season could be DRAEGER diffusion tubes (we used that during our measurements in March in addition to direct measurements) for longer measuring periods (> 12 hours) or simple CO₂-monitors for instant measurements. A continuous and much more expensive CO₂-online-measurement equipment is not essential.

Electric cave lighting

In the Prometheus cave sophisticated cave lighting has been installed. Whereas the position of the lighting elements causes no trouble, the lighting colours do, at least in part.

Looking at the wavelengths of optimal lampenflora growth (Fig. 1) – due to the absorption of special wavelength of light – and the spectrum of different LEDs, one can see that especially blue colours and, to a certain degree, red colours should be avoided to reduce at least the growth of mosses and green algae. Blue green algae (being bacteria in fact) cannot be restrained much in that way but cause less trouble than the other kind of lampenflora. White LED is close to the critical wavelengths too, but are acceptable as long as the light intensity close to the lamps is not too high. Simple devices like light shades might be helpful in this case.

We propose especially to avoid blue colours entirely and reduce the red ones to a minimum.

Besides that any reduction of overall lighting times (turning off the lights in sections not visited at the moment would be most effective) would help to reduce the lampenflora, which appears to be a more serious threat to the cave environment and the speleothems than the visitors are.

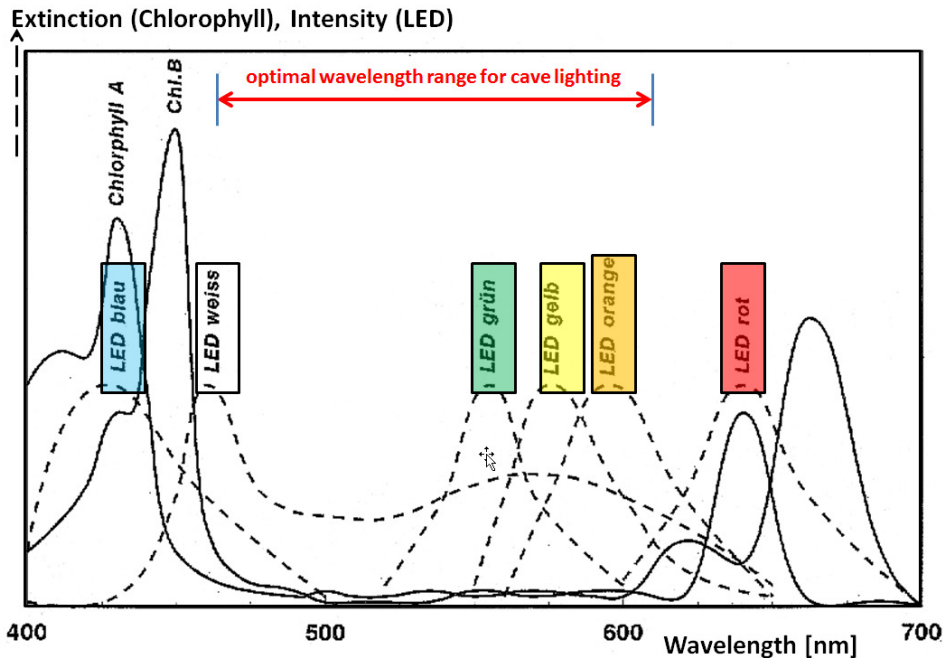


Figure 1 Light spectra of Chlorophyll A and B and spectra of different LED colours. Blue = blau, white = weiss, green = grün, yellow = gelb, orange = orange, red = rot, from Pavuza, Mais&Cech (2002).

Sataplia Cave

Only a reconnaissance investigation was performed on the water flow and the cave climate of the Sataplia Cave. At the director's option no water flow monitoring was installed. Nevertheless, a few preliminary findings are documented here.

Water Dynamics

- Due to the higher altitude and the smaller recharge area the water flow in the cave was significantly cooler (8.5° C) and the flow much lower (1.5 L/s) than in the Prometheus Cave during the first week of March 2014.
- Due to volcanic rocks in addition to karstified carbonate rocks in the recharge area the water composition is less mineralised, but more enriched in magnesium (Mg), sodium (Na), iron (Fe), aluminium (Al) and silica (Si) compared to the one in the Prometheus cave.
- The microbiological contamination was also high in March 2014, but no indicator for domestic waste water could be found. Therefore the microbiological indicators should be monitored over one year to clarify, if the contamination comes from animals living in the recharge area or has other sources.

Speleometeorological Dynamics

Most probably due to the adjacent volcanic rocks, which are also abundant as allochthonous cave sediments in the Sataplia Cave, the gamma-radiation was significantly higher than in the Prometheus Cave (124 against 71 nSv/h – outside values ~ 130 nSv/h). Unfortunately – as all devices had to be used in the Prometheus – we had only the possibility to measure radon daughter products (EEC – Equilibrium Equivalent

Concentration = radon-222 progeny concentration) once. The results, being significantly lower than in the Prometheus Cave, point towards a more active ventilation in this cave at least at the time of the measurements.

Introduction

The Imereti Caves Protected Areas include a number of caves in Tskaltubo, Terjola, Tkibuli and Khoni districts. Each of the cavies culturally rich, unique and interesting for its characteristics.

Prometheus Cave, located close to the village Kumistavi 20 km north of Kutaisi, in Tskaltubo district (Figure 2), is 20,000 meters in length; however, the tourist pedestrian path is only 1,420 meters. The temperature inside at any time of the year is 14-17°C degrees, the water temperature is 13-14°C and humidity is 97-98%, while the oxygen content in the air is 21%.

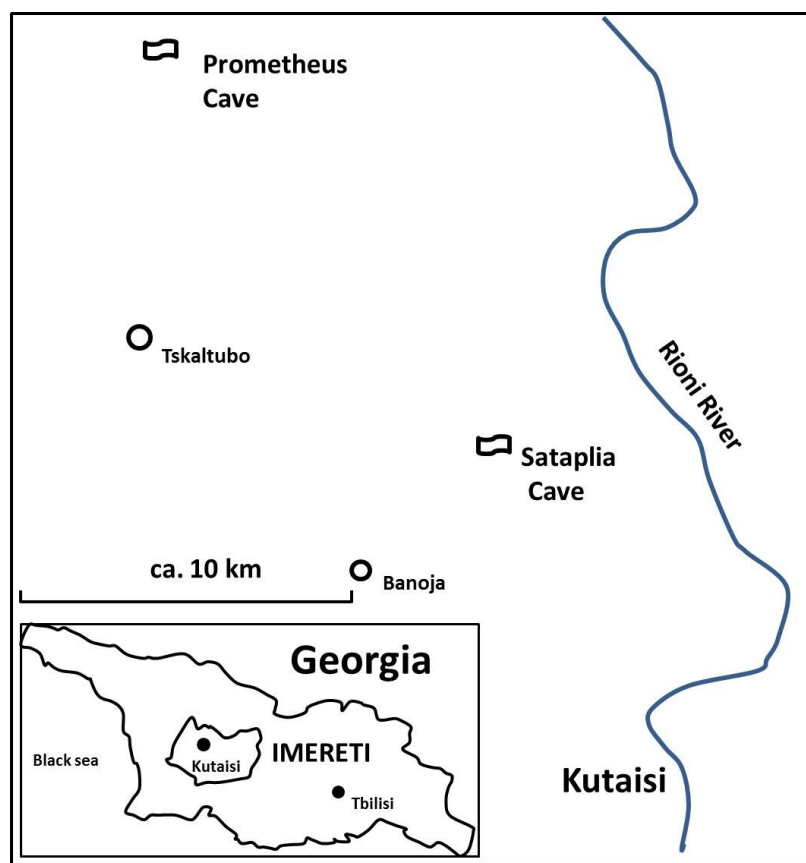


Figure 2 Survey map of the investigated area

Prometheus Cave was discovered in 1983 by the Vakhushti Bagrationi's university team, led by Jumber Jishkariani. In 2011, the cave was visited by 70,331 visitors in total (Georgia today, 2013). Within a short time work was carried out in the 1,060m section of the main cave (Attraction Highway); concrete paths were constructed, bridge-flyovers were built, viewing platforms were prepared and an additional tunnel was cut to facilitate discharge of the cave water flows (Tsikarishvili et al. 2010).

Sataplia Cave is located in Sataplia Nature Reserve, which has a size of 354ha and is located 10km north of Kutaisi (Figure 2). The nature reserves on the extinct volcano Mt. Sataplia (494m asl). Sataplia Cave was first discovered in 1925. The show path is 309m long; the temperature inside the cave is 12-13°C; the cave receives around 90,000 visitors/per year). A few hundred metres from the cave entrance are footprints of dinosaurs: about 200 footprints have been located, found in two different layers of the Cretaceous limestones (first discovered 1933). The 30cm long footprints of the lower layer belong to an unknown predator; the 48cm long footprints of the upper layer to an ornitopod herbivore (<http://www.showcaves.com/english/ge/showcaves/Sataplia.html>).

The investigations which is the subject of this report were performed in the framework of the EU Twinning project (GE12/ENP-PCA/EN/14) "Strengthening Management of Protected Areas of Georgia". One of the project's tasks is to elaborate a management plan for Imereti Caves Protected Areas. The quantification of the water dynamic and the speleometeorological conditions in Prometheus Cave and Sataplia Cave were selected as special topics for further investigation during a preliminary visit in 2013.

Hydrogeology

Tskhaltubo artesian basin of porous, fracture, fracture -karst and karst waters covers mainly the Lower Imereti plain and its adjacent Samguruli ridge. The mentioned district is composed by Mesozoic-Cenozoic sediments forming wide folds in a flat part and is uplifting to the north-east on the Samguruli ridge. The Cretaceous, Paleogene and Neogene strata compose Lower Imereti syncline, which is sandwiched between the northern ridges of Adjara-Imereti Range and the southern foot of Samegreloanticlinal ridge.

Here, as well as in surrounding areas, there is well traced the main artesian horizons: Lower Cretaceous limestones, Upper Cretaceous and Paleogene limestones and Quaternary sand and gravel deposits.

The Lower Cretaceous limestone aquifer contains pressured fracture and fracture-karst groundwater. The biggest deposit of these waters are in Tskhaltubo area, which are weakly radioactive. The outputs of these waters are confined to the gentle anticlinal fold. Here, under the slight layer of Quaternary sands and clays deposited marls of Aptian stage, and under them thick aquifers of Valanginian-Barremian limestones. Chemically Tskhaltubo water is very close to the pressured waters of Lower Cretaceous limestone horizon, developed in the artesian basins in Western Georgia. Their distinguishing features are the radioactivity and the high debit (200-220 l / s). The gas composition is dominated by atmospheric nitrogen.

Climate

Long term data of the Kutaisi meteorological station show a mean temperature of 13.5 °C and an annual precipitation of 1322 mm. The amount of the mean monthly precipitation is lowest in spring and summer months. In January and March 2014 the monthly precipitation was with more than 160mm particular high (Figure 3).

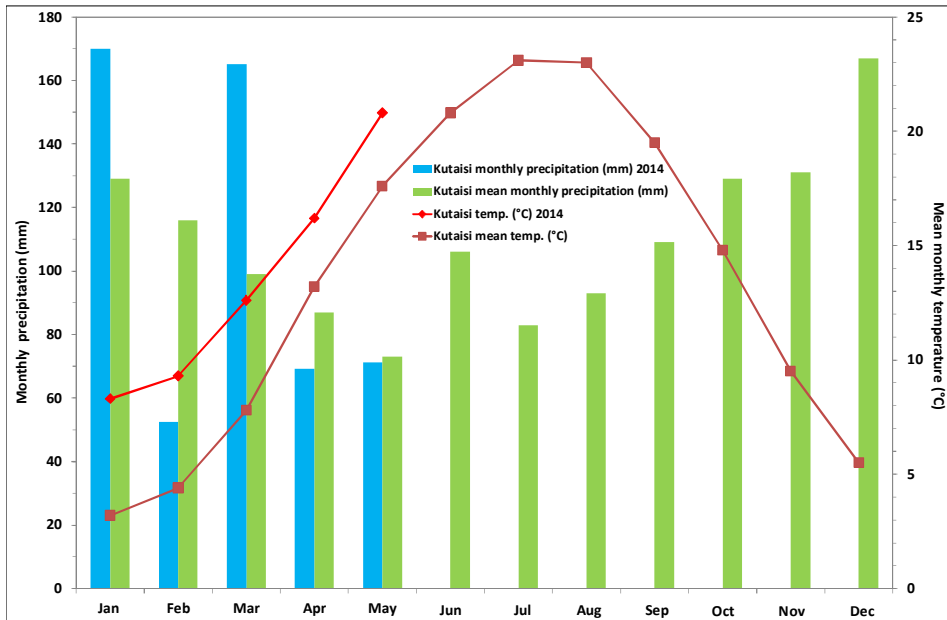


Figure 3 Monthly precipitation sum 2014 compared to mean precipitation (http://en.climate-data.org/location/2079/_140924) compared to mean temperature of the Kutaisi meteorological station (156 m altitude).

Methods

Rain collectors (Palmex Corp.) with minimized evaporation (Gröning et al. 2013) for daily or monthly measurements by means of a measuring cylinder were installed close to the visitor centres of the Prometheus and Sataplia caves in March 2014 (Figure 4).

The discharge of the brooks in the caves was measured in the Prometheus Cave by a combination of a water level gauge board and a capacitance water level recorder (Odyssey Corp.) (Figure 5). The discharge measurements were calibrated by salt dilution measurements (Hudson & Fraser 2005). Discharge in the Sataplia Cave was measured by a beaker and stop watch.

All stable isotope samples of the precipitation and cave brooks were analysed by laser-spectroscopy (CRDS – System, Types L1102-i Picarro) at the University of Vienna.



Figure 4 Palmex rain collector (2014/2240
 GW84: 42.60105°E 42,37688°N 180m) installed
 next to the visitor centre of Prometheus Cave
 ©Foto: M. Kralik



For all the samples water temperature, conductivity and pH (WTW Multiline P4-meter) was measured after calibration in the field. The major ions, the trace elements and the microbiological parameters were measured at the Austrian Institute of Technology.

Dissolved silica was analysed at the Museum of Natural History Vienna (colorimetric, with SQ300 Photometer/Merck). Selected organic tracers as indicators for domestic waste water were measured by the Environmental Agency Austria by a combination of gas-chromatography and mass-spectrometry.

Radon and EEC was measured with Doseman/DosemanPro (Sarad, Dresden), SunNuclear 1028 Continuous Radon Monitor) and Kodalpha Dosimeters (GT-Analytic, Lambesc, France), and CO₂ with Diffusion Tubes (Draeger) and AirCO₂ontrol 3000 (Dostmann), Gamma Radiation by GMZ-dosimeters, temperature by Data-Loggers (Testo174) and calibrated electronic thermometers. Radon (Rn) in water was determined in Vienna (Radim 3-W; SMM Prague) and empirically back calculated to the field value.

Results

Water Dynamics

Discharge measurements

After installation of the water level gauge board and the capacitance water level recorder in the Prometheus Cave (Figure 5) the discharge of the brook were measured in

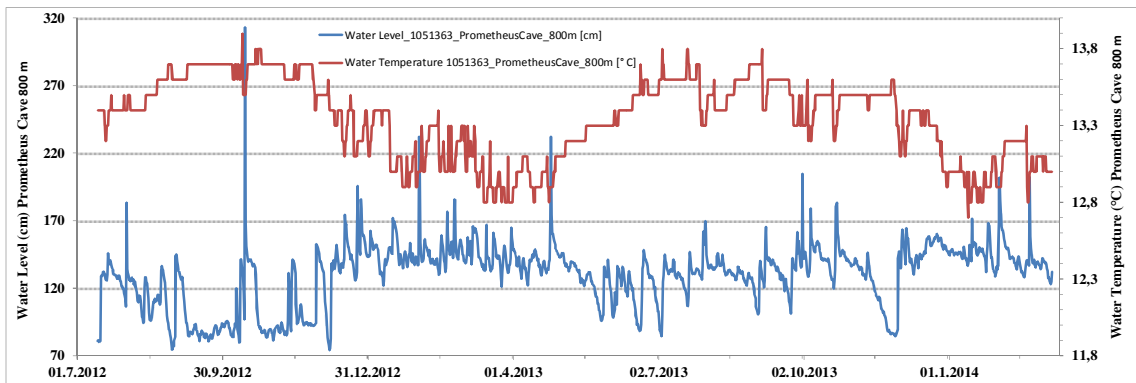
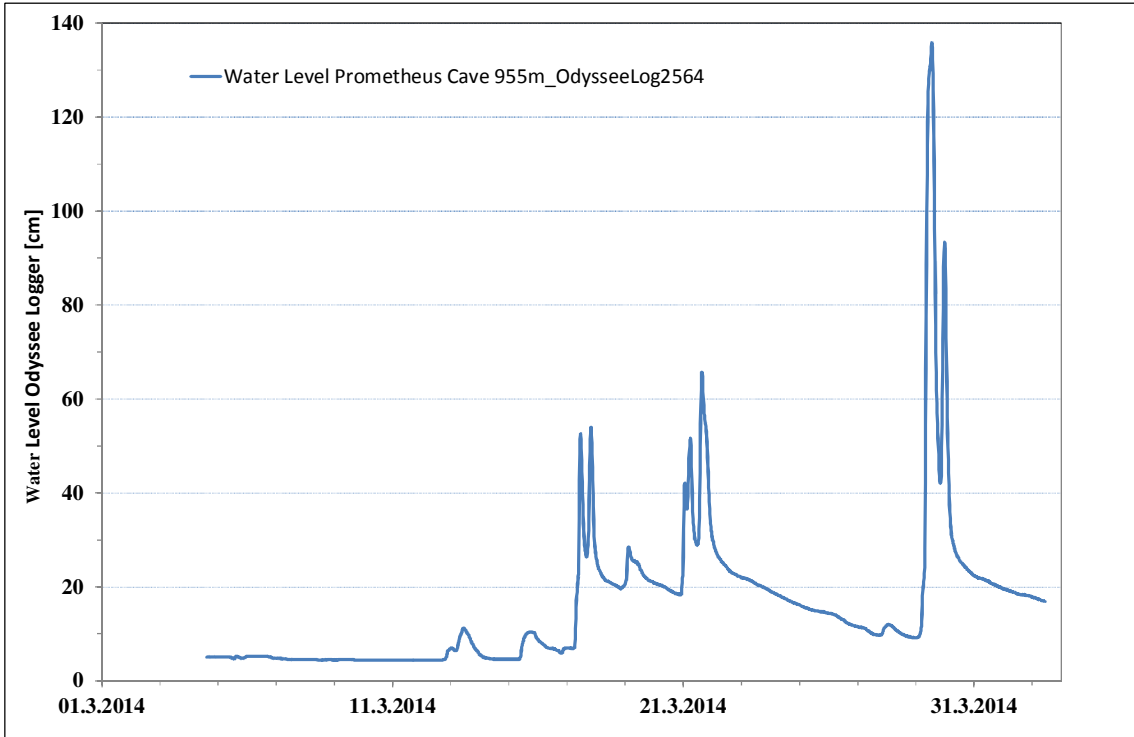
the range of 12 – 138 L/s several times in March and April by the salt dilution method (Table 1).

Table 1 Salt dilution measurements of discharge of the brook in the Prometheus Cave

<i>Sampling site</i>	<i>Date</i>	<i>NaCl l kg</i>	<i>Water Temp. °C</i>	<i>EC¹ µS cm⁻¹</i>	<i>Water Level m</i>	<i>Discharge L s⁻¹</i>	<i>Velocity m/s</i>
Prometheus Cave							
Grove of Aresi bridge at 955 m	4.3.2014 16:15	0.5	13.2	354	4.5	15	0.08
Grove of Aresi bridge at 955 m	5.3.2014 14:00	0.5	13.2	358	3.5	14	0.07
Grove of Aresi bridge at 955 m	7.3.2014 13:30	0.5	13.2	355	3.5	12	0.08
Grove of Aresi bridge at 955 m	2.4.2014 12:00	0.5	13.1	249	19	138	

¹EC: Electric Conductivity;

Water Level recorded in the brook in the Prometheus Cave at 955 m (between sites 8/9 in Figure 6) shows several quick water level changes (up to 1.25 m in ca. 10h) during March 2014 (Figure 7). An earlier installed water level recorder at site 1 (ca. 800 m, Figure8) shows similar rapid changes in water level from summer 2012 till March 2014. The water temperature varies between winter and summer in the range of 12.9 to 13.7°C. During rapid level changes the water temperature changes about 0.1-0.2°C in winter down to 12.7°C and in summer up to 13.9°C.



The precipitation next to the Prometheus visitor centre, and the waters of the Prometheus, Sataplia and Opichum Cave (small cave close to the Prometheus Cave) were analysed for water temperature, electric conductivity (EC), pH, oxygen-18 and hydrogen-2 composition (Table 2). The water temperature in the Sataplia Cave (ca. 400 m asl) is significantly lower than in the Prometheus (ca. 150 m asl) and Opichum Caves due to the higher altitude. The electrical conductivity of the water in the Sataplia Cave is significantly lower than in the Prometheus Cave due to the mixture of volcanic and carbonate rocks.

Table 2 Oxygen-18 (¹⁸O) and deuterium (²H) values in the waters of Prometheus and Sataplia Cave

<i>Sampling site</i>	<i>Date</i>	<i>Discharge L s⁻¹</i>	<i>Water Temp. °C</i>	<i>EC¹ µS cm⁻¹</i>	<i>pH</i>	<i>δ¹⁸O SMO W ‰</i>	<i>δ²H SMO W ‰</i>
Prometheus Cave							
Precipitation next to visitor center ²	3.3.2014 14:53- 1.4.2014 12:00					-9.75	-65.8
No.4 Quick dripping sword like stalagmite	3.3.2014 14:00	0.004	15.3	467	8.1 3	-9.77	-64.5
No.1 Siphon with groundwater at 850 m	3.3.2014 14:00	10	13.3	361	7.3 0	-10.15	-65.8
No.1 Siphon with groundwater at 850 m	8.3.2014 09:15	10	13.3	360	7.4 5	-9.98	-65.5
No.8 Grove of Aresi brook 7m away from footpath	3.3.2014 16:30	10	13.3	361	7.4 0	-9.54	-62.5
No.9 Water at the start of boat exit	3.3.2014 16:45		13.3	365	7.5 2	-10.10	-65.9
Well next to Visitor Centre 100 m depth	7.3.2014 16:00		14.3	467	7.5 5	-9.98	-65.4
Sataplia Cave							
Right of footpath just before exit	6.3.2014 14:30	1.5	9.6	256	7.8 6	-10.35	-68.1
Right of footpath just before exit	8.3.2014 10:10	1.5	8.9	265	8.0 3	-10.39	-67.4
Opichum Cave							
Small spring left of cave entrance	5.3.2014 17:00	2.5	14.2	545	7.2 6	-9.86	-65.0

¹EC: Electric Conductivity; ²Palmex rain collector No. 2240 GW84: 42.60105°E 42,37688°N 180m

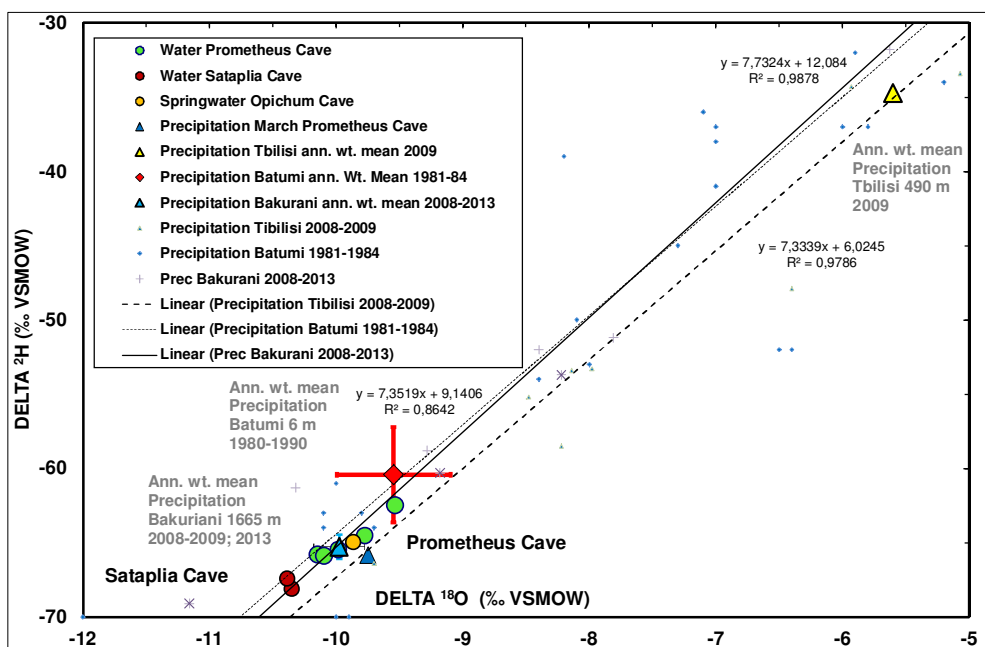


Figure 9 Delta Oxygen-18 vs. hydrogen-2 of the waters of the Prometheus and Sataplia cave compared to the weighted mean precipitation data (GNIP 2014) of the Bakuriani (1665m) Batumi (6 m) and Tbilisi (490 m) station.

The delta oxygen-18 and hydrogen-2 values of the waters of the Prometheus Cave vary between $\delta -10,2 \text{ ‰}$ to $-9,5 \text{ ‰}$ and $\delta -68,1 \text{ ‰}$ to $-62,4 \text{ ‰}$. Significantly, one water sample in the brook in the Grove of Aresi (Table 2 and Figure 9) is different. The mean precipitation of March and the spring water of the Opichum Cave have similar values. The water samples of the Sataplia Cave show lower $\delta^{18}\text{O}$ ($-10,39$ to $-10,34 \text{ ‰}$ and $\delta^2\text{H}$ ($-68,1$ to $-67,4 \text{ ‰}$) values due to their higher altitude.

Table 3 Chemistry and microbiology of two water samples from the Prometheus and Sataplia Cave

Parameters	Concentrations	Prometheus Cave	Sataplia Cave
No.		No. 1	SC
Sampling site		Siphon with groundwater at 850 m	just right of exit
Sampling date		08.03.14	08.03.14
Discharge	(L/s)	12.0	1.5
Color		slightly brown/susp.	slightly brown/susp.

		matter	matter
smell		no	no
Water Temp.	(° C)	13.3	8.9
EC ³ (25°)	(µS/cm)	360	265
pH		7.45	8.03
Ca	(mg/l)	69.2	45.3
Mg	(mg/l)	9.7	10.5
Na	(mg/l)	1.70	4.30
K	(mg/l)	0.50	0.50
HCO ₃	(mg/l)	259.1	190.3
SO ₄	(mg/l)	4.2	4.9
Cl	(mg/l)	1.4	1.6
NO ₃	(mg/l)	4.4	4.4
Sum	(mg/l)	350.2	261.8
Cations	mmol (eq)/l	4.337	3.323
Anions	mmol (eq)/l	4.447	3.339
Cation.-Anion.	[%]	-2.5	-0.5
Ca/Mg		7.13	4.31
Na/Cl		1.21	2.69
Na/K		3.40	8.60
SiO ₂ ²	(mg/l)	4.0	11.3
PO ₄	(mg/l)	<0.5	<0.5
Fe	(mg/l)	0.05	0.11
Mn	(mg/l)	<0.001	0,001
Zn	(µg/l)	<50	<50
Cu	(µg/l)	<10	<10
Al	(mg/l)	0.08	0.14
F	(mg/l)	<0.5	<0.5
Cd	(µg/L)	<1	<1
Cr	(µg/L)	<5	<5
Li	(µg/L)	<5	<5
Mo	(µg/L)	<5	<5
Ni	(µg/L)	<5	<5
Pb	(µg/L)	<2	<2
KBE 22°C	Anz./1 ml	880	1600
KBE 37°C	Anz./1 ml	220	120
Escherichi	Anz./1	100	44

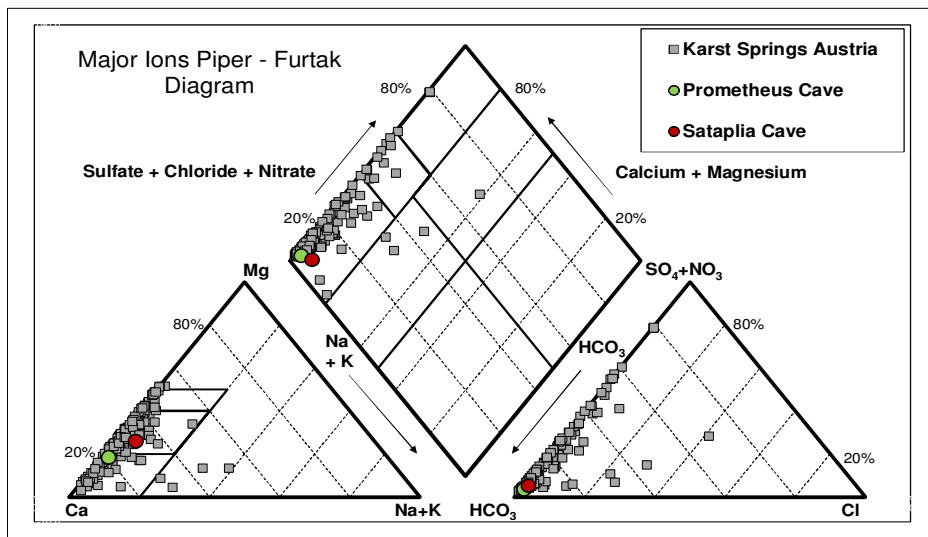
a coli	00 ml		
coliforme Bakterien	Anz./100 ml	100	108
Enterokokken	Anz./100 ml	50	45
Pseudomonas aeruginosa	Anz./100 ml	2	0

¹ Analyst: Aqua Test, Austrian Institute of Technology; ² Analyst: R. Pavuza; ³ EC: Electric Conductivity.

The main ion composition of the water samples of the brooks in the Prometheus and Sataplia Cave is very similar to common karst water composition (e.g. the mean of Austrian karst springs). The water of the Sataplia Cave is significantly lower in the ion sum but higher in magnesium (Mg), sodium (Na), iron (Fe), aluminium (Al) and silica (Si) (Table 3 and Figure 10).

Both water samples show a high concentration of specific cultivatable bacteria (e.g. Escherichia coli) indicating impacts of excretion mammals or human beings.

From the same brooks analyses were made of a set of waste water indicators which frequently occur in waste water of modern households (Table 4): Artificial sugars (acesulfam, sucralose), corrosion inhibitors (1H-benzotriazole and tolyltriazole) and pharmaceuticals (e.g. carbamazepine, sotalol, metoprolol). Acesulfam and 1H-benzotriazole were detected in the brook water of the Prometheus Cave, whereas in the brook waters of the Sataplia Cave all these



indicators are below detection limits.

Table 4 Waste water indicator test of brook waters in the caves

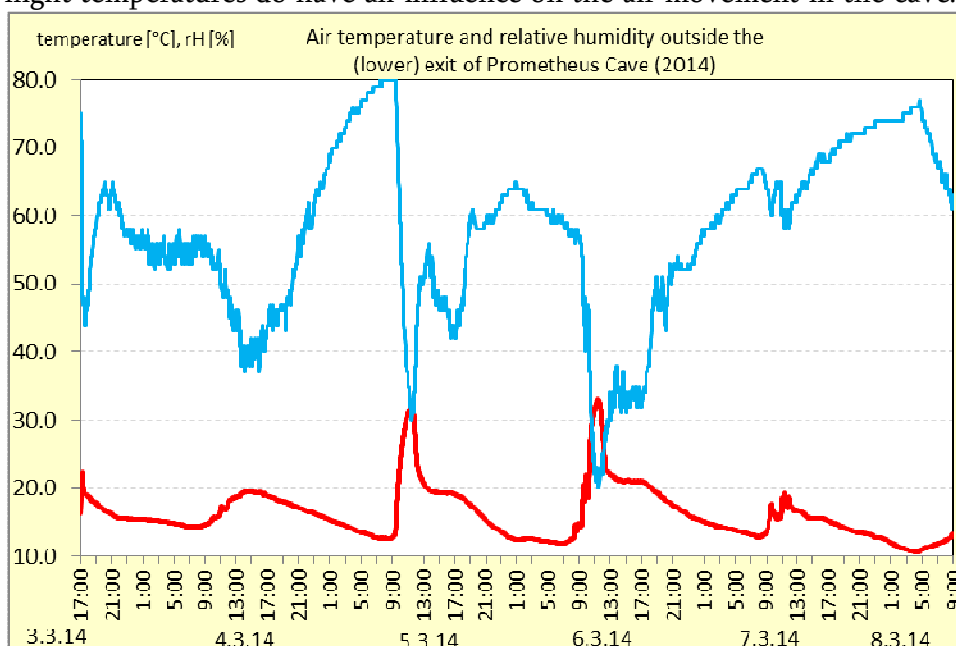
Sampling site	Date	Ace-sulfa m	Sucr a-lose	Tolyl-triazo le	Carba ma-zepine	1H-Benzo -	Sota - lol	Met o-Prol	CBZ - DiO

		ng/L	ng/L	ng/L	ng/L	triazole ng/L	ng/L	ol ng/L	H ng/L
Prometheus	8.3.2014	20	5	5	0.5	180	2	2.5	2
Satania Exit	8.3.2014	2.5	5	5	0.5	5	2	2.5	2
Detection		2.5	5	5	0.5	5	2	2.5	2
Limit of		5	10	10	1	10	4	5	4

Analyst: Kulcsar & Schuster, Environment Agency Austria

Measurements of speleometeorological parameters

Between March 3rd and 8th 2014 single and continuous measurements of temperature, radon, radon daughter products (EEC), gamma-radioactivity, CO₂, relative humidity, air pressure and air velocity were conducted at different sites in the Prometheus Cave (see Figure 6). The outside temperature and humidity (Figure 11) was primarily measured to check whether lower night temperatures do have an influence on the air movement in the cave. It turned out



that during the night hours the outside temperature dropped below the cave temperature and a reverse air movement (from the boat exit into the cave) developed, characterised by sharp drops of air temperatures at the very sensitive measuring device in the Amphitheatre Hall, adjacent to the boat exit (Figure 12).

This night-time inflow of comparatively cold and therefore more humid air (relative humidity 60-80 %) into the cave became more saturated (most probably up to $\sim 100\%$) by passing over the water body in the boat passage. Therefore, this does not have any effect on the relative humidity (which is usually close to 100 %) in the cave.

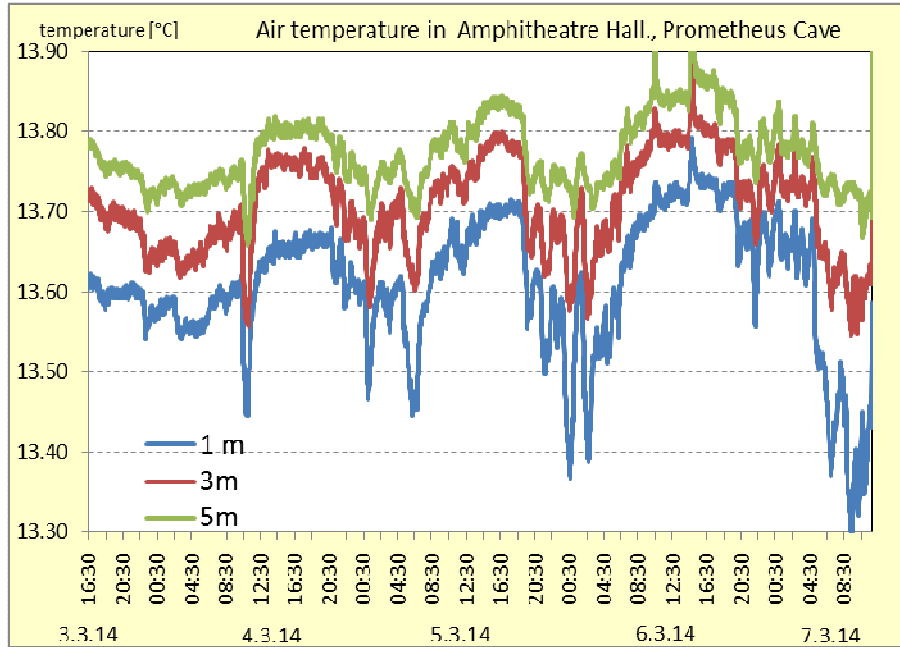


Figure 12 High precision measurement of air temperature at different heights in the Prometheus Cave

It further turned out that in the Amphitheatre Hall the air movement – and therefore the influence of the inflowing air during the night – was higher in the lower part of this big chamber. The average temperature increased in the upper part, but stayed more constant (the standard deviation decreases, see Figure 12). As the correlation is nearly linear, a slow and non-turbulent air flow is most likely.

Investigating the average temperatures of the period March 3rd to 7th 2014 of different points within the cave a striking decrease near the emergence (“spring”) of the cave brook (between points 7 and 8, see Figure 6) can be observed (Figure 13). The lower temperature of the brook water (ca. 1 degree lower than the air temperature at the higher parts of the cave) yields a significantly cooling of the cave air. The stratification of air within the cave complex (colder air below warmer air in the cave and much warmer air outside) results in a stronger air flow during the day. The pedestrian exit tunnel on the other hand – entirely isolated from the cooler cave brook and lake – shows a similar temperature average as the higher parts of the cave.

Taking average CO₂ values (ppm) as well as ²²²Rn activities (Bq/m³) into account (Figure 14), one can see an increase of both parameters along the path from the upper entrance to the lower exit. This relation is disturbed again – like the air temperature, see above – close to the inflow of the brook water (“spring”) into the cave. This water yields 2 Bq/m³ (which is slightly radon-oversaturated with respect to the cave air), leading to an abrupt increase of ²²²Rn in the cave air at this point and implying that in the remaining part of the cave the cave brook dominates the behaviour of ²²²Rn in air.

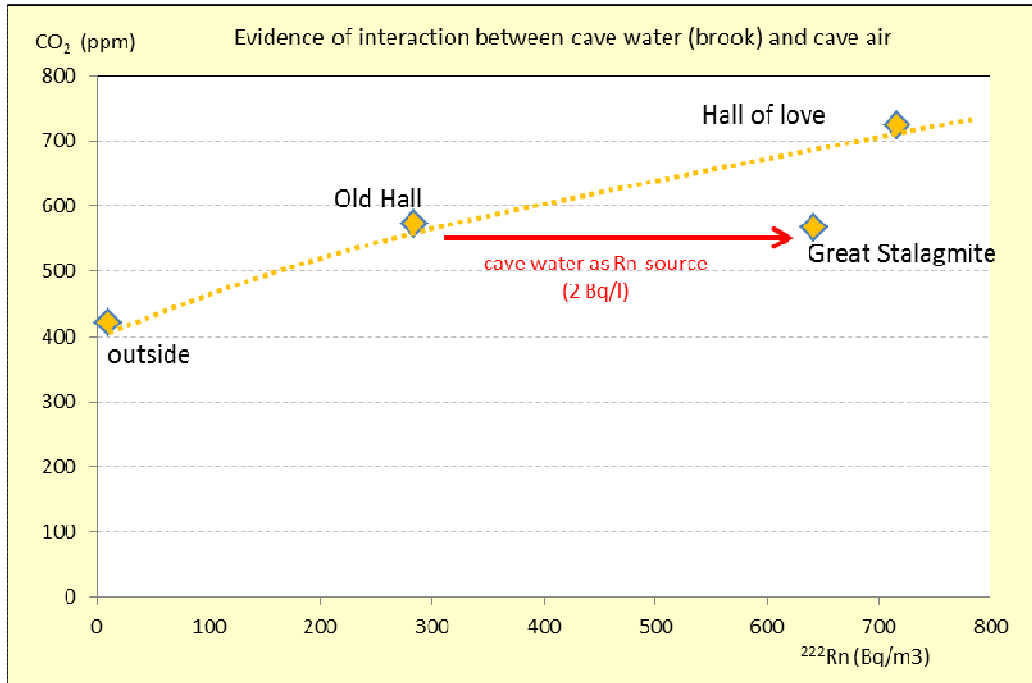


Figure 13 Average radon activity and CO₂ contents in the Prometheus Cave (March 2014)

This is most significant near the beginning of the boat exit, where a radon-datalogger has been placed during the measuring period (Figure 15).

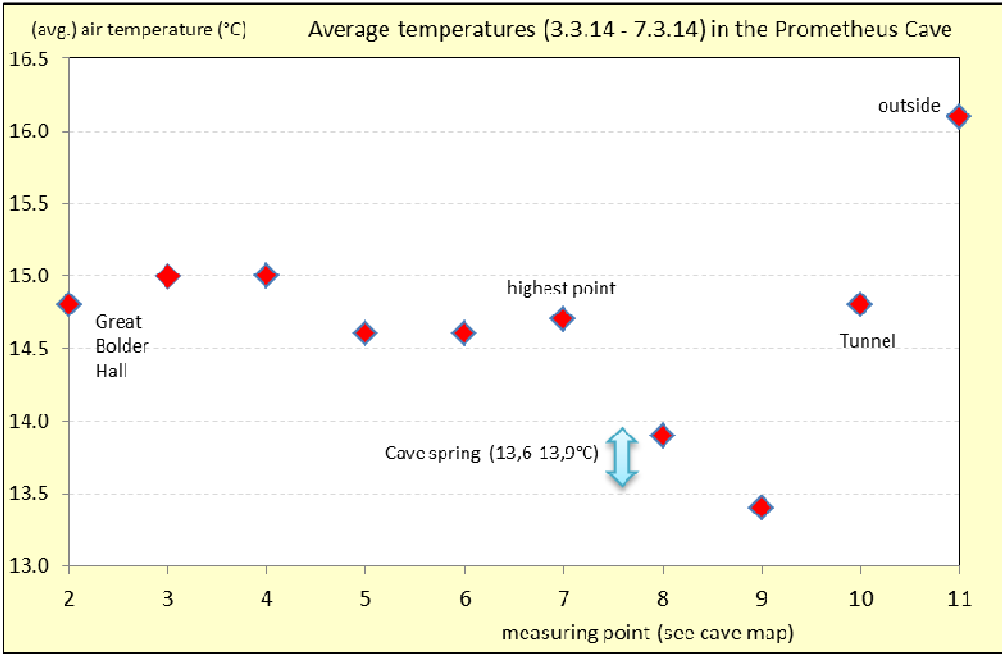
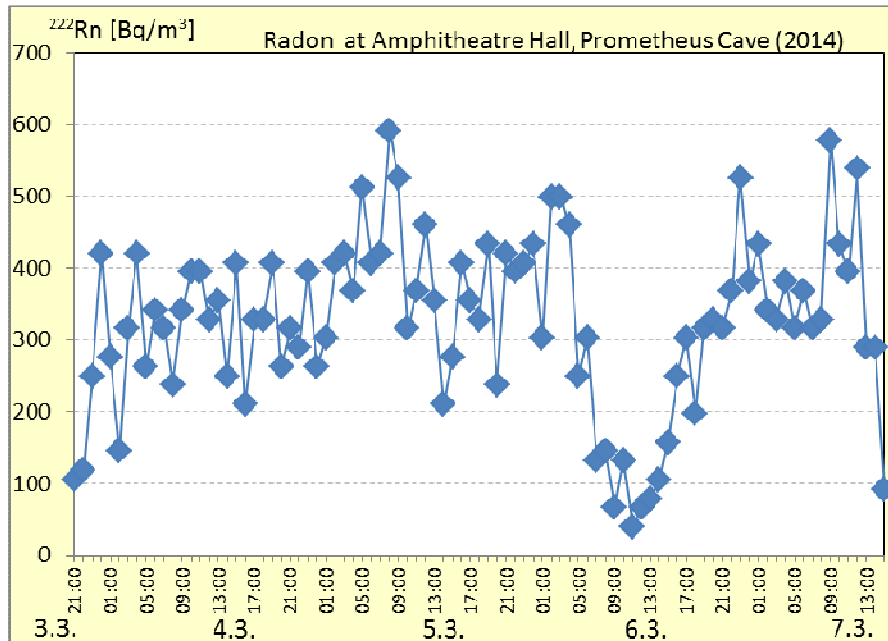


Figure 14 Average values of air temperatures at different sites in the Prometheus Cave



In contrast to the temperature, radon did not generally indicate the inflow of air during the



night hours in the Amphitheatre Hall near the boat ramp (Figure 16): usually radon is much more sensitive to air movements than the air temperature and low values of ^{222}Rn should arise therefore during the night hours.

This is not the case in this part of the Prometheus Cave, leading to the conclusion that the ^{222}Rn activity in the cave air is almost entirely influenced by the radon - degassing of the lake as the cave brook – feeding the lake – showed a slightly elevated radon-222 activity with respect to the cave air. The distinct decrease of radon, starting in the morning hours of March 6th (Figure 16), on the other hand, shows the limits of the degassing process: during that particular night the inflow of air was more significant than in the previous nights (Figure 11), the increased volume of inflowing air more than offset the effect of radon-degassing – which diminishes along the flow path anyway.

No fast air pressure variations – which usually lead to abrupt alterations of Rn-values – could be observed during the measurement period (Figure 17), indicating that the variation of outside temperatures was the driving force for air movements and variations of temperature and radon in the Prometheus Cave.

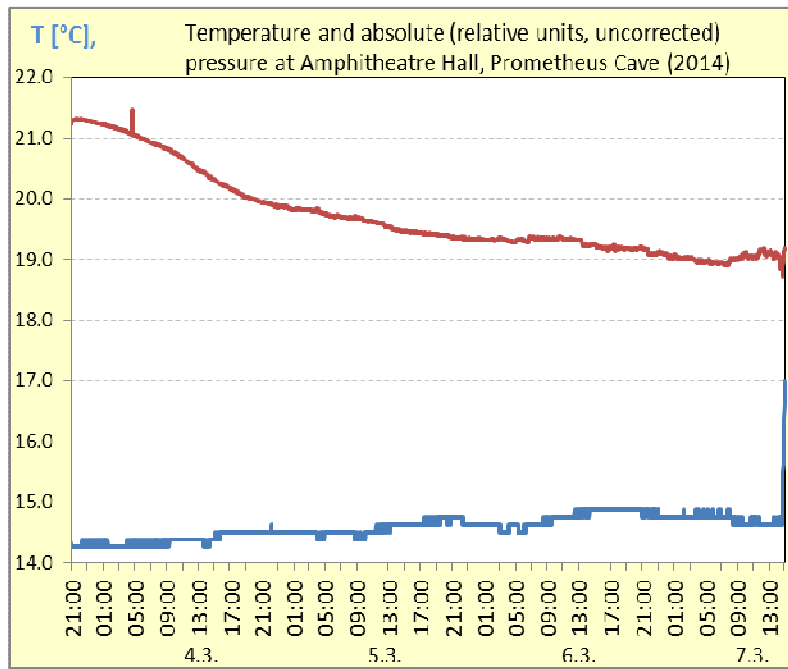
Discussion

Water Dynamics and Water Quality of the Prometheus Cave

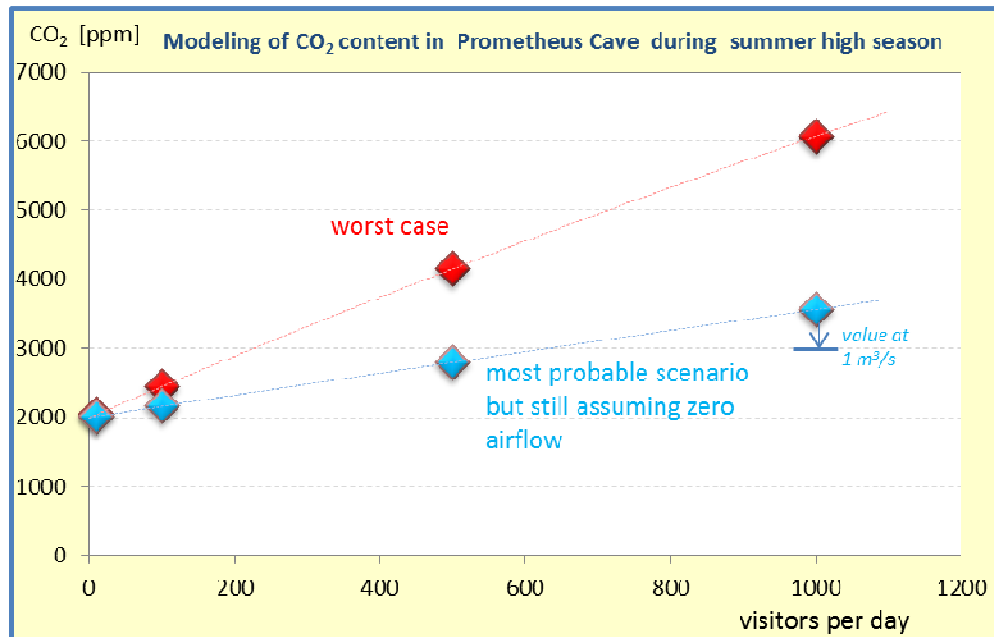
Water enters in the upper part of the cave (until up to 800 m, site 1 Figure 6) at a very small rates as dripping stalagmites. At the site 1 (800m) water flows via a siphon at dry periods at a rate of several litres per second. During strong and longer rain storms the water discharge rate in the brook seems to rise over the period of hours up to several hundreds of litres per second (Table 1; Figure 7-8).

The similar $\delta^{18}\text{O}$ values of the precipitation of March and the brook water in the cave indicate that both are from precipitation of the winter half-year (Oct. – Mar.) and lower than the weighted yearly mean of Batumi (Figure 9). However, the water sample in the brook in the Grove of Aresi with a $\delta^{18}\text{O}$ values of -9.54‰ is significantly different to the rest of the brook water samples (-9.98‰ – -10.15‰) indicating at least two major infiltration areas of the brook water.

The major ion composition is characteristic for karst water in contact with a dolomitic limestone with no obvious contamination. However, the microbiological analyses indicate a certain contamination by humans or mammals. The artificial sweetener acesulfam and the corrosion inhibitor 1H-benzotriazole support the assumption that some domestic waste water enters the Prometheus cave. Microbiological contamination and waste water may have a



negative effect on the stalagmites and the ecological habitat of the cave. Due to the low flow (12-14L/s) during sampling the concentrations may be higher than normal, but during summer time the concentration could be influenced by a large number of visitors as well.



Air Dynamics of the Prometheus Cave

Prometheus Cave is a moderately ventilated cave, showing increased CO₂ and Rn with respect to the outside air and slightly elevated radon daughter products (EEC; Equilibrium factor > 0.5). These values are comparable to many other show caves (including some in Austria). At the time of the investigation (March) the air movement was certainly higher than it usually is during the summer months due to lower outside temperatures in spring time. Therefore an increase of both parameters (CO₂ and Rn) is likely. However earlier measurements as well as modelling tests indicate that the values still stay in ranges that are not dangerous to visitors, staff and the cave environment. The radon content seems to be influenced by the ventilation and the degassing of the brook water in the cave. Additional measurements at times of very high and very low outside temperatures might enhance the validity of these conclusions.

Modelling approach for summer high-season CO₂ in the Prometheus Cave air

In order to evaluate the influence of visitors to the CO₂ content of the Prometheus Cave some measurements, published and unpublished data and – in general – very pessimistic assumptions (“worst case scenario”) were used for a modelling procedure:

Air volume of the cave: length 1000 m, average cross section 50 m² > minimum cave air volume 50 000 m³

Air flow (summer high season): none (4/2014: 1 – 2 m³/h near the upper entrance)

Average CO₂ content of exhaled respiratory air: 40 000 ppm (wikipedia)

Average CO₂ content of cave air before opening: 2 000 ppm 4/2014 max. 750 ppm

5/2013 avg. 1100 ppm (unpubl. Czech data)

6/2013 avg. 1600 ppm (unpubl. Czech data)

11/2013 avg. 800 ppm (unpubl. Czech data)

Respiratory volume per visitor (strong breathing): 6 m³/hour
(www.msporting.com/planung/4_2_2%20Athem.htm)
Lenght of stay per visitor: 1 hour

A second modelling was done with a “most probable scenario” data (cave air volume 70 000 m³, respiratory volume per visitor 3 m³/h, but still assuming no airflow within the cave.

Finally a single point modelling for an airflow value of 1 m³/s, taking 8 hours of guided tours into account was done too (Figure 18).

This brief modelling with some pessimistic assumptions yields maximum CO₂ contents of some 5,000 ppm assuming that there is no airflow even with doors open, which is not likely. The measured airflow during springtime of 1-2 m³ per second (even with closed doors) would enable an air exchange to a large extent e.g. during the late evening. Anyway, 5,000 ppm would not cause a danger to visitors (5,000 ppm is the maximum CO₂ concentration for working space in Austria and Germany – for an average 8 hours working day).

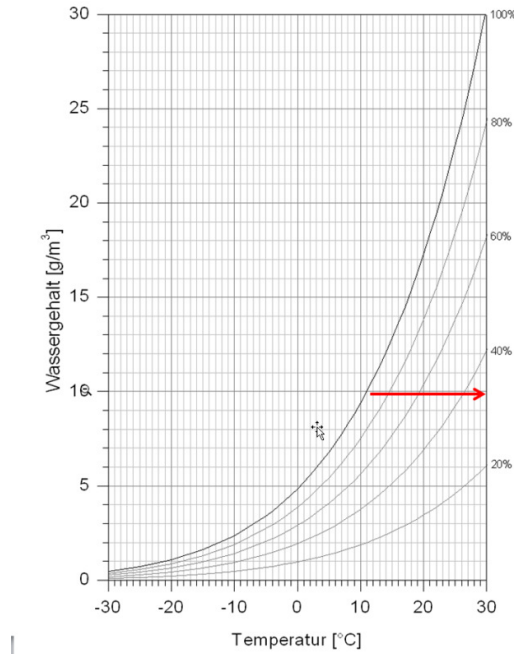
In some Austrian show caves – like Eisensteinhöhle (Lower Austria) and Grasslhöhle (Styria) - these values are exceeded during the summer season. In show caves in Western Australia CO₂ values are getting sometimes much higher and visitors may have some breathing problems. This will not happen even at pessimistic 5,000 ppm in the Prometheus Cave.

Concerning the potential corrosion of speleothems there is barely any data available apart from empirical observations at the Austrian caves mentioned above, where no significant corrosion could be observed even at rates well above 5,000 ppm. Nevertheless Dragovic&Grose (1990) used a “limestone corrosion threshold” of 2,400 ppm for their evaluations in the Jenolan Caves (Australia). For the example of Prometheus cave – using the pessimistic assumptions again – this would mean that the threshold would be reached at a level of already 100 visitors per day. Taking into account that the visitors do not show up in one large group and that values drop during the night when no tours are conducted, this value will be reached only at higher visitor rates – still assuming that there is no air movement at all. The “most probable scenario” however would enable at least 300 persons per day to reach that value of 2,400 ppm, still assuming no airflow (which would decrease the CO₂ value).

Furthermore, as the solubility of CO₂ in H₂O decreases with temperature (in the order of 5 % per degree centigrade) , speleothems in colder caves with an elevated amount of CO₂ (e.g. at higher altitudes in alpine environments) are more endangered than those in temperate caves like Prometheus.

In our opinion the natural air movement, which could be enhanced by opening doors for two to three hours during the evening hours or during night time (depending on the necessary safety measures) in the summer season, should be sufficient to stay on the safe side. The inflow of outside air (the relative humidity of which is lower than the cave air) is no threat to the cave atmosphere or the speleothems during the summer season because its relative humidity will increase due to lower water saturation of colder air.

Figure 19 shows that the cave air (e.g. 12°C with rH close to 100 %) corresponds with an outside air of 30° C and a rH of ~ 35 % - both bearing the same amount of water vapour (~ 10 g/m³)



A simple and reliable tool to measure the CO₂ content of the air during the peak season could be DRAEGER diffusion tubes (we used this instrument during our measurements in March additionally to direct measurements) for longer measuring periods (> 12 hours) or simple CO₂-monitors. A continuous and expensive CO₂ online-measurement equipment is not necessary from our point of view.

Water Dynamics and Water Quality of the Sataplia Cave

A small brook enters the cave just north of the exit and only small amounts of water in form of few dripping stalagmites is added. The small discharge of about 1.5 L/s below the entrance of the cave was about the same as that entering the cave next to the exit. The dynamic of the discharge during the rest of the year is unknown and not recorded.

The $\delta^{18}\text{O}$ values of the brook water are about 0.37 ‰ lower than in the Prometheus cave. Due to the altitude difference of about 200 m a decrease of about 0.19 ‰ per 100 m altitude increase is in the range of international reported values.

The lower electric conductivity and ion sum as well as the higher concentrations in magnesium (Mg), sodium (Na), iron (Fe), aluminium (Al) and silica (Si) are the result of the occurrence of volcanic rocks in large parts of the recharge area.

The major ion composition of the brook water shows no sign of contamination and all indicators of domestic waste water (Table 4) are below detection limits, but the microbiological analysis shows high concentration of cultivatable bacteria. The source of these high values is unknown and should be studied in more detail.

Acknowledgment

We thank Zaal Kvantaliani (Director), Temur Muhkudiani, Mogeli Chogovadze and Nino Giorgadze(ICPA Administration) for general support. Tamaz Kopaleishvili and KukuriTsikarishvili introduced us to the caves. We also thank Nino Janiashvili for linguistic support and Mike Garforth for help in administration and for improving the English text.

References

1. Dragovic, D. &Grose, J. (1990): Impact of tourists on carbon dioxide levels at Jenolan Caves, Australia: an examination of microclimatic constraints on tourist cave management.-*Geoforum*, 21(1):111-120.
2. Georgia today (1913): Prometheus Cave – explore the myths of the Argonauts and Prometheus. (http://www.-georgiatoday.ge/article_details.php?id=11225_140731).
3. Hudson, R. & Fraser, J. (2005): Introduction to Salt Dilution Gauging for Streamflow Measurement Part IV: The Mass Balance (or Dry injection) Method. *Streamline Watershed Management Bulletin*, 9, 6-12.
4. Pavuza, R., Mais, K. &Cech, P. (2002): ErsteUntersuchungenzurLampenflora in der AllanderTropfsteinhöhle (Niederösterreich) / Preliminary investigations of the “Lampenflora” in the show cave of Alland (Austria).- *Proc. Int.Conf. Cavelighting* (Nov.2000, Budapest):117-122, Magyar Karszt- ésBarlangkutatóTársulat, Budapest.
5. Tatashidze, Z K, Tsikarishvili, K, Jishkariani, J, Jamrishvili, A, Geladze, G and Lominadze G. 2009b.The Tskaltubo cave system. [Tbilisi: “Petiti” Publishing House.] 72pp. [in Georgian.].
6. Tsikarishvili, K., Barjadze, S., Kvavadze, E., Bolashvili, N., Djanashvili, R. &Martkoplshvili, I. (2010): Speleology of Georgia: aspects of its current situation and perspectives. *Cave and Karst Science*, 37, 73-78, Transactions of the British Cave Research Association.
7. Vaupotic, J., Bezek, M., Kapanadze, N., Melikadze, G., Makharadze, T., Machaidze, Z. &Todadze,M.(2012): Radon and Thoron Measurements in West Georgia.- *Journal Georg.Geophys.Soc., Iss.(A) Phys. Solid Earth*, v15a, 2011-2012: 108-117.
8. Webgate Europa (2013): Strengthening Management of Protected Areas of Georgia. Programme: ENPI 2010 Annual Action Programme Twinning number:GE12/ENP-PCA/EN/14. (<https://webgate.ec.europa.eu/.../index.cfm?>).

Appendix

Compilation of single air parameter measurements in the Prometheus Cave

Lokalität	"meters"	date	Air - T °C	Air - T (avg.) °C	Water - T °C	Air Velocity m/s	rel. Hum. %	CO ₂ (direct) ppm	CO ₂ (avg) ppm	²²² Rn avg Bq/m ³	²²² Rn H2O Bq/l	EEC Bq/m ³	Remark
2 Great Bolder Hall	90	03.03.2014 3.3.-7.3.		14,8		1,5		463					air velocity within doorframe; 2 m3/s, inbound
3 Kolchida Hall	140	03.03.2014 3.3.-7.3.		15,0				668					
4 NE Old Hall	255	03.03.2014 07.03.2014					0,25	486 659		390	284		358 air velocity in gallery, 1m3/s, outbound (S->N)
5 Medea Hall	440	03.03.2014 07.03.2014						619 670					
6 Golden Waterfall	610	03.03.2014 3.3.-7.3.		14,6				674					
7 Hall of Love	645	03.03.2014 07.03.2014						729 719					
1 "Cave Spring"	790	03.03.2014 04.03.2014				13,6		728					
		05.03.2014 08.03.2014				13,9						2	
8 E Great Stalagmite	880	03.03.2014 04.03.2014				13,3		549 522					289 478
		05.03.2014 07.03.2014					99,9	631					
9 Amphitheatre Hall	"1020"	03.03.2014 07.03.2014		13,9 14,6			>99,9	479	642				air movement inbound (S->N)
		3.3.-7.3.		13,4				527	356				
10 Tunnel	1200	03.03.2014 07.03.2014						638					air movement inbound, when opening door
		3.3.-7.3.		14,8									
11 Outside Exit	1233	03.03.2014 3.3.-7.3.						421					
				16,1									

ჰიდროგეოლოგიური და სპელეომეტეოროლოგიური დინამიკა სათაფლიისა და პრომეთეს მღვიმეებში, იმერეთი, საქართველო

¹მარტინ კრალიკი, ²რუდოლფ პავუზა, ³გიორგი მელიქაძე

1 გარემოს სააგენტო და ვენის უნივერსიტეტი, ვენა, ავსტრია (მარტინ კრალიკი)

2 ბუნების ისტორიის მუზეუმი, ვენა, ავსტრია (რუდოლფ პავუზა)

3 ივანე ჯავახიშვილის სახელობის თბილისის სახელმწიფო უნივერსიტეტი, თბილისი, საქართველო (გიორგი მელიქაძე)

რეზიუმე

წყლის დინამიკა

- მღვიმეში წვიმის წყალი რამოდენიმე ადგილას შეედინება შედარებით სწრაფად, რის გამოც, ძლიერი და ხანგრძლივი წვიმების დროს უნდა შეწყდეს მღვიმეში ვიზიტორთა მიღება.
- მღვიმის დაბალ ნაწილებში წყალი მიედინება მცირე ნაკადულის სახით რამოდენიმე ლიტრი/წამში ნაკადით (დაბალი ნაკადი 2014 წლის მარტის პირველი კვირა) ძლიერი წყალდიდობების დროს ნაკადი აღწევს 1მ³/წმ.
- მარტში წყლის დაბალი ნაკადის დროს მაღალია მიკრობიოლოგიური დაბინძურება, მღვიმის წყლებში აღმოჩენილი ხელოვნური დამატკბობლებისა და კოროზიის ინჰიბიტორების კვალი მიუთითებს მღვიმეში საყოფაცხოვრებო წყლების შედინებაზე.
- უნდა აიგეგმოს მღვიმის წყლების კვების არე და უნდა მოხდეს საცხოვრებელი სახლებიდან და ფერმებიდან გამომავალი საყოფაცხოვრებო ნარჩენი წყლების გაწმენდა და გაგრძელდეს შემდგომი მონიტორინგი.

სპელეომეტეოროლოგიური დინამიკა

უკვე არსებულ მონაცემებსა და სხვა მსგავს მღვიმეებში მიღებულ გამოცდილებაზე დაყრდნობით, პრომეთეს მღვიმეში სიტუაცია შესაძლებელია შეფასდეს შემდეგნაირად:

აღნიშნულ დროის მონაკვეთში (მარტი, 2014) ჩატარებული კვლევების სპელეომეტეოროლოგიური მონაცემები მღვიმის გარემოსა და მის ვიზიტორთა უსაფრთხოებასთან მიმართებაში შეიძლება ჩაითვალოს საკმაოდ კარგად. არ დაფიქსირებულა ნახშირორჟანგის კონცენტრაციის მნიშვნელოვანი ზრდა, რომელიც ძირითადად ბუნებრივი ვენტილაციითაა გამოწვეული, თუმცა გასათვალისწინებელია ის ფაქტიც, რომ გაზომვები ჩატარდა ადრეულ სეზონზე.

ზაფხულის განმავლობაში გაიზრდება CO₂- ის კონცენტრაცია ბუნებრივი პირობების ცვლილებისა და (ნიადაგის გაზრდილი აქტივობა და მას დამატებული ნაპრალებში CO₂-ის გაზრდილი შემოდინება, რაც გამოწვეულია გარედან შემომავალი ჰაერისთვის თერმოდინამიკური ბარიერის გაჩენით) ასევე ვიზიტორების გაზრდილი რაოდენობის გამო. თუმცა შემცირებული, მაგრამ როგორც ჩანს, მაინც არსებული ვენტილაციის გამო მისი მნიშვნელობა არ იზრდება იმ დონემდე, რაც საფრთხისშემცველი იქნებოდა მღვიმის გარემოსა და ვიზიტორებისათვის. ამ ურთიერთსაპირისპირო ფაქტების შედეგები დაფიქსირებულია ზაფხულის თვეებში პრომეთეს მღვიმეში რადონის შემცველობის მცირედ გაზრდილი კონცენტრაციით (Vaupotic et al. 2012).

იმისათვის, რომ თავიდან იქნას აცილებული მღვიმეებში ნახშირორჟანგის სახიფათო კონცენტრაციები, ჩატარდა მისი ცვლილების მოდელირება მოვლენების განვითარების როგორც ყველაზე პესიმისტური, ასევე რეალური სცენარის მიხედვით. სხვა მღვიმეებში ჩატარებული კვლევების შედეგებისა და გამოცდილების გათვალისწინებით, ტურისტული სეზონის პიკისა და გარე ჰაერის მაღალი ტემპერატურის პირობებში, თუკი მიღებული იქნება რამოდენიმე მარტივი ზომა, ნაკლებ სავარაუდოა ნახშირორჟანგის კონცენტრაციის მღვიმის გარემოსა და ვიზიტორთათვის სახიფათო ნიშნულამდე აწევა.

ჩვენის აზრით, ზაფხულის სეზონის დროს ჰაერის ბუნებრივი მოძრაობა შესაძლებელია გაუმჯობესდეს შესასვლელი და გამოსასვლელი კარებების რამოდენიმე საათით გაღებით საღამოს ან ღამის განმავლობაში (დამოკიდებულია უსაფრთხოების საჭირო ზომებზე). გარე ჰაერის მღვიმეში შედინება (რომლის ფარდობითი ტენიანობა დაბალია მღვიმის ჰაერის ტენიანობაზე) არ წარმოადგენს არანაირ საფრთხეს არც მღვიმის ატმოსფეროსა და არც მასში წარმოქმნილი ფორმაციებისათვის, რადგან გაიზრდება მისი ფარდობითი ტენიანობა მისი დაბალი წყლით გაჯერებულობის გამო.

პიკურ სეზონებში ჰაერში CO₂-ის შემცველობის გასაზომად შედარებით გრძელი პერიოდისათვის (> 12 სთ) შესაძლებელია გამოყენებული იქნას მარტივი და საიმედო ხელსაწყო დიფუზიურ-ვენტილაციური მილი (რაც გამოყენებული იქნა ჩვენს მიერ მარტში პირდაპირ გაზომვებთან ერთად) ან სწრაფი გაზომვისათვის - CO₂- მონიტორი. ხანგრძლივი და უფრო ძვირადღირებული CO₂- ონლაინ გამზომი ხელსაწყო არ არის აუცილებელი.

მღვიმეების ელექტრო განათება

პრომეთეს მღვიმეში დაინსტალირებული იქნა თანამედროვე განათების სისტემები. მიუხედავად იმისა, რომ განათების ელემენტების მდებარეობა არ ქმნის არანაირ პრობლემას, განათების ფერები მაინც ნაწილობრივ პრობლემატურია.

იმის გამო, რომ მღვიმეებში ფლორა (lampenflora) შთანთქავს სინათლის კონკრეტული ტალღის სიგრძეს და ასევე, ნათურების გააჩნია განსხვავებული სპექტრი, ჩვენ ვხედავთ, რომ ლურჯის და ნაწილობრივ წითელი ფერის ნათურების გამოყენება უნდა იქნას თავიდან აცილებული, რათა არ მოხდეს ხავსისა და მწვანე წყალმცენარეების ზრდის პროვოცირება. ამ გზით ლურჯ-მწვანე წყალმცენარეების (რომელიც ფაქტიურად ბაქტერიაა) ზრდა მნიშვნელოვნად არ იზღუდება, მაგრამ წარმოადგენს ნაკლებ პრობლემას, ვიდრე სხვა სახის ფლორა. თეთრი ნათურები ასევე ახლოსა კრიტიკულ ტალღის სიგრძესთან, მაგრამ მაინც მისაღებია, რადგან სინათლის ინტენსიურობა ნათურებთან ახლოს არ არის ძალიან მაღალი. ამ შემთხვევაში ეფექტურია ისეთი მარტივი მიწყობილობის გამოყენება, როგორცაა საჩრდილობლები.

ჩვენ გთავაზობთ, თავიდან ავიცილოთ განსაკუთრებით ლურჯი ფერის განათების გამოყენება საერთოდ და წითელი ფერის გამოყენება დაყვანილი იქნას მინიმუმამდე.

ამის გარდა, ფლორის შესამცირებლად, სასარგებლო იქნებოდა განათების დროის შემცირება (ყველაზე ეფექტური იქნებოდა განათების გათიშვა იმ სექტორებში, სადაც ვიზიტორები არ არიან) რაც, როგორც ჩანს უფრო მეტად სერიოზული პრობლემაა მღვიმეების გარემოს შესანარჩუნებლად, ვიდრე ვიზიტორთა სიმრავლე.

სათაფლიას მღვიმე

სათაფლიას მღვიმეში წყლის ნაკადისა და კლიმატის მხოლოდ წინასწარი გაზომვები ჩატარდა. მღვიმის დირექციის გადაწყვეტილების გამო არ მოხდა წყლის დონის მონიტორინგის ხელსაწყოს დაინსტალირება. მიუხედავად ამისა, რამოდენიმე წინასწარი შედეგი იქნა დოკუმენტირებული:

წყლის დინამიკა

- უფრო მაღალი აბსოლუტური სიმაღლისა და ნაკლები ფართობის კვების არის გამო, სათაფლიას მღვიმეში წყალი იყო უფრო მნიშვნელოვნად ცივი (8.5°C) და ნაკადიც მცირე (1.5 ლ/წმ), ვიდრე პრომეთეს მღვიმეში მარტის პირველი კვირის განმავლობაში (2014).
- კვების არეში განლაგებული ვულკანური და ამასთან ერთად გამოკარტსებული კარბონატული ქანების არსებობის გამო, წყლის შემადგენლობა ნაკლებად მინერალიზებულია, მაგრამ უფრო მდიდარია მაგნიუმით (Mg), ნატრიუმით (Na), რკინით (Fe), ალუმინითა (Al) და სილიციუმით (Si), ვიდრე წყალი პრომეთეს მღვიმეში.
- 2014 წლის მარტში ასევე უფრო მაღალი იყო მიკრობიოლოგიური დაბინძურება, მაგრამ არ იქნა აღმოჩენილი საყოფაცხოვრებო ნარჩენი წყლის კვალი. ამის გამო, იმისათვის, რომ დადგინდეს, თუ რა არის დაბინძურების წყარო (კვების არეში მცხოვრები ცხოველები თუ სხვა წყარო) მიკრობიოლოგიური ინდიკატორების მონიტორინგი უნდა გაგრძელდეს ერთი წლის განმავლობაში მაინც.

სპელეომეტეოროლოგიური დინამიკა

სათაფლიას მღვიმეში გამა გამოსხივება მნიშვნელოვნად უფრო მაღალია, ვიდრე პრომეთეს მღვიმეში ($124-71 \text{ nSv/h}$ –გარეთა ფონთან შედარებით $\sim 130 \text{ nSv/h}$), რაც

დიდი ალბათობით გამოწვეულია ვულკანური ქანების სიმრავლით, რომელიც მრავლადაა წარმოდგენილი ასევე მღვიმეში ალოქტონური ნალექების სახით. სამწუხაროდ, - პრომეთეს მღვიმეში გამოყენებული ხელსაწყოებიდან სათაფლიას მღვიმეში ჩვენ გვქონდა მხოლოდ ხელსაწყო, რომელიც ზომავს მხოლოდ რადონის შვილობილ პროდუქტებს (radon-222 გაწონასწორებული მდგომარეობისთვის). შედეგები, რომლებიც მნიშვნელოვნად დაბალია, ვიდრე პრომეთეს მღვიმეში, გამოწვეული უნდა იყოს სათაფლიას მღვიმის უფრო აქტიური ვენტილაციით, ყოველ შემთხვევაში გაზომვების დროს მაინც.

Гидрогеологическая и спелеометеорологическая динамика в прометоиских и сатафлииских пещерах Имеретии, Грузия

¹Мартин Кларик, ²Рудолф Равуза, ³Гиоргий Меликадзе

¹*Природоохранное Агенство и Венский Университет, Австрия*

²*Музей Истории Природы, Вена, Австрия*

³*Тбилисский Государственный Университет, Тбилиси, Грузия*

Резюме

Пещера Прометея

Динамика воды

- Дождевая вода входит в пещеру относительно быстро в нескольких местах, поэтому экскурсии в пещеру должны быть остановлены во время сильных и продолжительных штормов.
- В нижней части пещеры небольшой ручей с расходом нескольких литров в секунду (низкий расход в первую неделю марта 2014 г.) до примерно 1 кубический метр в секунду во время сильных наводнений.
- Во время малого расхода воды в марте микробиологическое загрязнение является высоким и согласуется со следами искусственных подсластителей и ингибиторов коррозии, указывающих на приток бытовых сточных вод в пещеру.
- Область питания пещерных вод должны быть заснята съемкой. Должна осуществляться и контролироваться очистка сточных вод из жилых домов и ферм в этой области.

Спелеометеорологическая динамика

Ситуация в пещере Прометея, на основе имеющихся данных и опираясь на опыте других аналогичных пещер, выглядит следующим образом:

Общий статус спелеометеорологических параметров на данном временном интервале исследования (март 2014 года) можно рассматривать как неплохой по отношению к окружающей среде пещеры и к безопасности посетителей. Там не было никакого существенного обогащения CO₂, что в основном связано с естественной вентиляцией и с началом сезона.

В летнее время содержание CO₂ увеличивается в силу естественных причин (повышение активности почвы плюс термодинамический барьер против наружного воздуха увеличивает приток CO₂ в пещеру через трещины), а также в связи с увеличением числа посетителей. Тем не менее, скорее всего до сих пор существующая вентиляция будет ограничивать их значение до величин, которые не вызывают серьезной угрозы для окружающей среды пещеры и ее посетителей. Результатом этих эффектов является фиксирование немного повышенного содержания радона во время летних месяцев (Vaupotic et al. 2012).

Тем не менее, для целей безопасности, было выполнено моделирование изменения CO₂ при изменении граничных условий как при пессимистичных сценариях, а также при более реалистичных условиях. Учитывая эти исследования и опыт других пещер, отсутствуют серьезные угрозы для посетителей и для пещеры, если будут приняты некоторые простые меры предосторожности во время пика туристического сезона и при высоких температурах наружного воздуха.

На наш взгляд, естественное движение воздуха можно было бы повысить путем открытия двери на два-три часа в вечерние часы или в ночное время (в зависимости от необходимых мер безопасности) в летний сезон, и это должно быть достаточно, чтобы обеспечить безопасность. Приток наружного воздуха (относительная влажность которого ниже, чем у воздуха пещеры) не создаст угрозы для атмосферы пещеры или спелеобразований во время летнего сезона, поскольку его относительная влажность будет увеличиваться за счет более низкой водонасыщенности холодного воздуха.

Простым и надежным инструментом для измерения содержания CO₂ в воздухе во время пикового сезона могут быть Draeger диффузионные трубки (мы их использовали, как дополнение к прямым измерениям, во время наших измерений в марте) для измерений на долгий период (>12 часов) или простые CO₂-измерительные устройства для немедленных замеров. Непрерывная и более дорогая онлайн CO₂-измерительная аппаратура не является необходимой.

Электрическое освещение пещеры

В пещере Прометея была установлена сложная система освещения. В то время как положение световых элементов не вызывает никаких вопросов, то цвета освещения можно изменить, по крайней мере частично.

Из-за поглощения волн света определенной длины, глядя на спектр излучения разных светодиодов, надо учесть, что синие (особенно) и красные (частично) цвета надо избегать, чтобы уменьшить рост мхов и зеленых водорослей. Сине-зеленые водоросли (на самом деле, бактерии) нельзя ограничить таким способом, однако они вызывают беспокойства меньше. Белые светодиоды имеют тоже близкую к критической длину волны света, однако допустимы, если их интенсивность не слишком близка к лампам. Простые устройства светлых оттенков могут быть полезны в этих случаях.

Мы предлагаем полностью избегать синие цвета и уменьшить красные до минимума.

Кроме того, что любое сокращение общего времени освещения (выключая свет в непосещаемый момент) будет наиболее эффективным и будет способствовать снижению

т.к. называемой флоры ламп, которая представляет собой более серьезную угрозу для окружающей среды пещеры, чем посетители.

Пещера Сатаплиа

Только предварительное исследование было проведено об изменении воды и климата в пещере Сатаплиа. По желанию директора, не было проведен мониторинг движения воды. Однако некоторые предварительные итоги здесь приведены.

Динамика воды

- В связи с большей высотой и меньшей площадью области питания поток воды в пещере был значительно холоднее (8.5 ° C) и поток намного меньше (1.5 л / с), чем в пещере Прометей в течение первой недели марта 2014 года.
- В связи с наличием вулканических пород и карстованностью карбонатных пород в зоне подпитки состав вода менее минерализован, но более обогащен магнием (Mg), натрием (Na), железом (Fe), алюминием (Al) и диоксидом кремния (Si) по сравнению с пещерой Прометей.
- Микробиологическое загрязнение также была высоким в марте 2014, но ни один из индикаторов бытовых сточных вод не был найден. Поэтому микробиологические показатели должны контролироваться в течение одного года, чтобы уточнить, происходит ли загрязнение от животных, живущих в районе подпитки или имеет другие источники.

Спелеометеорологическая динамика

Повидимому, в связи с соседними вулканическими породами, которые там в изобилии, а также аллохтонных пещерных отложений в в пещере Сатаплиа, гамма-излучение было значительно выше, чем в пещере Прометей (124 против 71 nSv/h – наружный фон ~ 130 nSv/h). К сожалению, поскольку все устройства были использованы в пещере Прометей, мы имели возможность только дочерние продукты радона (ЕЕС – равновсное значение радон-222) лишь однажды. Результаты, будучи значительно ниже, чем в пещере Прометей, указывают на более активную вентиляцию в этой пещере, по крайней мере на момент измерений.