

Antropogenní ovlivnění jeskynního mikroklimatu

03 Hromadné vstupy

- hromadné vstupy návštěvníků do jeskyně
- dny otevřených dveří v Amatérské jeskyni
- dny otevřených dveří v jeskyni Býčí skála

Antropogenní ovlivnění I

- prostředí zpřístupněných jeskyní bývá významně antropogenně ovlivněno

(1) Aktivity spojené se zpřístupňováním jeskyní:

- nejrůznější stavební úpravy (vchody a východy, dveře, schody, zábradlí...)
- elektrické osvětlení jeskyní – vznik lampenflory v okolí světelných zdrojů

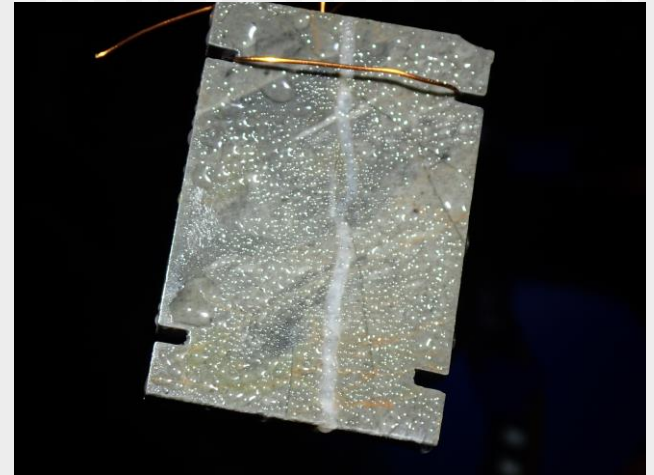


Antropogenní ovlivnění II

- prostředí zpřístupněných jeskyní bývá významně antropogenně ovlivněno

(2) Přítomnost návštěvníků v rámci prohlídek:

- uvolňování antropogenního CO_2 – ovlivnění základních krasových procesů
- uvolňování antropogenní vodní páry – koroze kalcitu v jeskynním prostředí



Antropogenní ovlivnění III

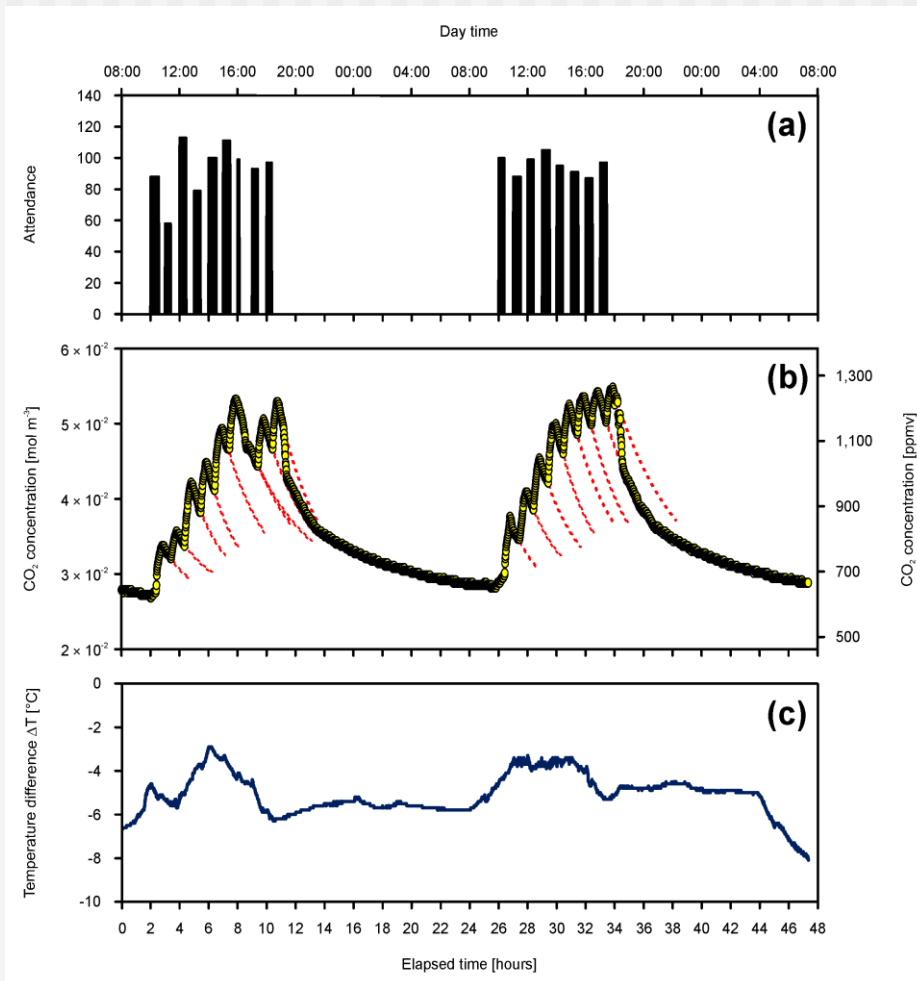
- prostředí zpřístupněných jeskyní bývá významně antropogenně ovlivněno

(3) Přítomnost návštěvníků v rámci hromadných vstupů:

- kulturní akce (hudební koncerty, poutní mše, speciální dětské prohlídky...)
- prohlídky běžně nepřístupných jeskyních (Amatérská jeskyně, Býčí skála)



Příklad: antropogenní CO₂



Monitorovací kampaň:

- data z akce Ďábelský Výpustek
- 17 skupin (= celkem 1632 osob)
- záporný teplotní rozdíl jeskyně

Koncentrace CO₂:

- přírodní trend CO₂ dán ventilací
- den: růst CO₂ x noc: pokles CO₂
- nasuperponované antrop. píky
- pomalý návrat na přír. hodnoty

Příklad: antropogenní CO₂

Dosažitelné koncentrace CO₂:

- model pro 20 a 50 návštěvníků
- pro 20 osob 1585 a 1904 ppmv
- pro 50 osob 2275 a 3855 ppmv

Pobyt nutný pro rovnováhu CO₂:

- model pro různé velké skupiny
- UAF: od 2,4 min. do 18,12 hod.
- DAF: od 1,2 min. do 10,60 hod.

Ventilation mode	theoretical reachable $c_{(A)}^{ss}$		
	[mol m ⁻³]	[ppmv]	log PCO ₂
20 visitors			
UAF mode	$(3.53-8.26) \times 10^{-2}$	813-1904	-3.09 to -2.72
DAF mode	$(3.78-6.87) \times 10^{-2}$	873-1585	-3.06 to -2.80
50 visitors			
UAF mode	$(0.56-1.56) \times 10^{-1}$	1278-3588	-2.89 to -2.45
DAF mode	$(4.98-9.86) \times 10^{-2}$	1149-2274	-2.94 to -2.64

Visitor number	Staying period [hours]	
	UAF mode	DAF mode
20	18.12	10.60
50	7.25	4.24
100	3.63	2.12
500	0.73	0.42
1000	0.36	0.21
10,000	0.04	0.02

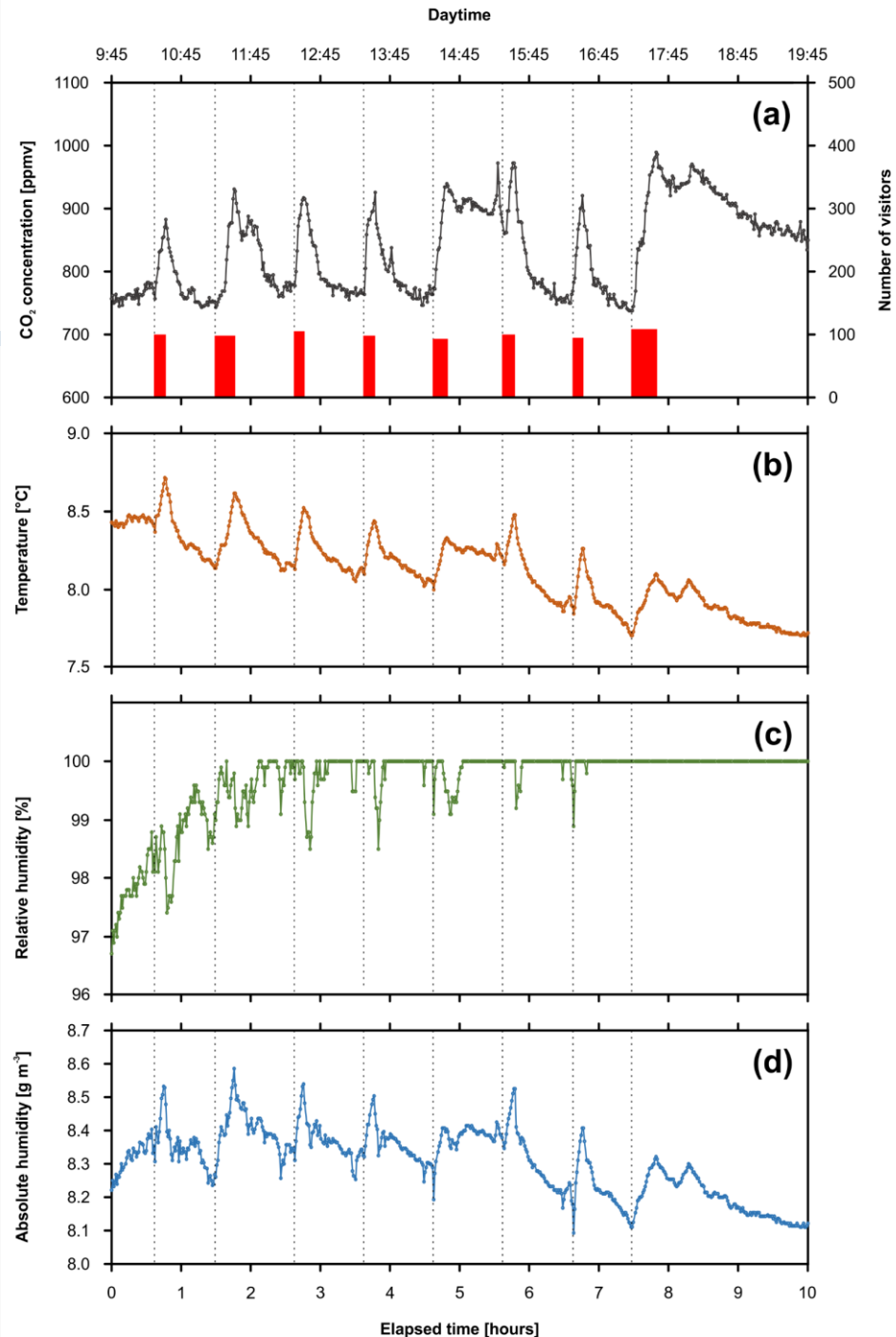
Antropogenní vodní pára

Monitorovací kampaň:

- akce Ďábelský Výpustek (2019)
- monitoring dat CO_2 , T, RH a AH
- celkem 794 osob v 8 skupinách
- píky u jednotlivých proměnných

Antropogenní vodní pára:

- vliv návštěvnosti na nárůsty AH
- během monitoring slabý pokles
- maximální nárůst AH $0,37 \text{ g m}^{-3}$



Antropogenní vodní pára

Model rozpouštění kalcitu:

- hlavní parametr je návštěvnost
- délka okruhu + letní a zimní CO₂
- modelování pro 4 různá období
- objem vodní páry a rozp. kalcitu

Rozpuštěná množství kalcitu:

- vyšší množství v létě oproti zimě
- nejvyšší hodnoty v Punkevních j.
- roční maxima od 1,59 do 12,81 g

Period	Attendance	Exh. water vapor [L]	Dissolved calcite [mol]	[g]
Balcarka Cave				
Winter season	617 to 5,145	39.91 to 164.66	$(0.39-1.61) \times 10^{-1}$	1.44 to 5.95
Summer season	22,019 to 52,290	704.70 to 1,673.49	1.01 to 2.41	37.59 to 89.27
Whole season	23,636 to 57,435	756.45 to 1,838.15	1.06 to 2.57	39.46 to 95.22
Period 2010–2019	314,591	10,169.40	14.24	527.95
Kateřinská Cave				
Winter season	1,505 to 7,915	32.11 to 168.87	$(0.31-1.61) \times 10^{-1}$	1.16 to 6.10
Summer season	30,246 to 78,718	676.46 to 1,679.53	0.97 to 2.42	36.08 to 89.59
Whole season	33,183 to 85,107	736.41 to 1,815.84	1.03 to 2.53	38.25 to 93.96
Period 2010–2019	456,163	9,732.69	13.64	505.61
Punkva Caves				
Winter season	18,822 to 47,212	602.38 to 1,510.97	0.59 to 1.47	21.77 to 54.60
Summer season	100,846 to 246,165	3,227.48 to 7,878.26	4.64 to 11.34	172.16 to 420.24
Whole season	121,738 to 293,377	3,896.10 to 9,389.24	5.30 to 12.81	196.32 to 474.84
Period 2010–2019	1,992,331	63,762.56	87.41	3,240.09
Sloup-Šošůvka Caves				
Winter season	1,133 to 6,112	66.48 to 358.62	$(0.65-3.50) \times 10^{-1}$	2.40 to 12.96
Summer season	29,204 to 53,742	1,713.52 to 3,153.26	2.47 to 4.54	91.40 to 168.20
Whole season	30,867 to 59,099	1,811.09 to 3,467.57	2.56 to 4.84	94.93 to 179.56
Period 2010–2019	425,506	24,966.14	34.66	1,284.77
Výpustek Cave				
Winter season	2,717 to 5,401	108.69 to 216.07	$(1.06-2.11) \times 10^{-1}$	3.93 to 7.81
Summer season	12,447 to 24,252	497.94 to 970.20	0.72 to 1.40	26.56 to 51.75
Whole season	16,968 to 29,276	678.80 to 1,171.19	0.89 to 1.59	33.10 to 59.02
Period 2010–2019	194,487	7,780.45	10.35	383.65

Ukázky případových studií

Dny otevřených dveří v Amatérské jeskyni

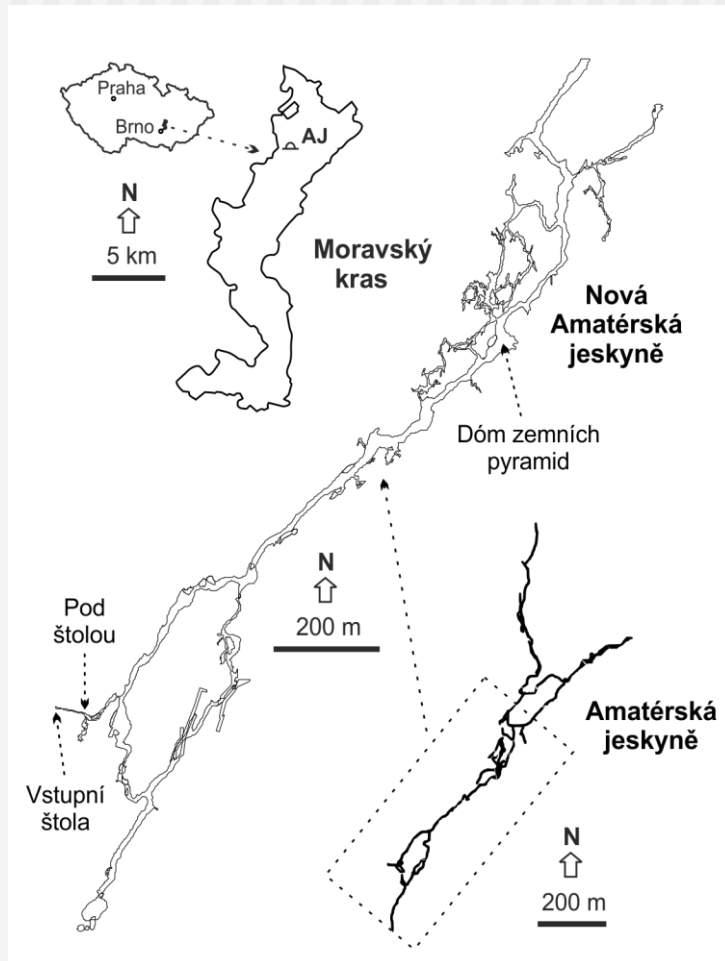
- monitoring v období od 12. do 27. 6. 2021
- vliv hromadných vstupů na teplotní data
- podpurná data k výsledkům projektu TAČR



Dny otevřených dveří v rámci jeskyně Byčí skála

- monitoring mikroklimatu od 10. 6. do 1. 7. 2021
- měřící stanoviště po celé délce návštěvní trasy
- srovnání s daty z projektu v Amatérské jeskyni

DOD v Amatérské jeskyni



Místo studia: Amatérská jeskyně

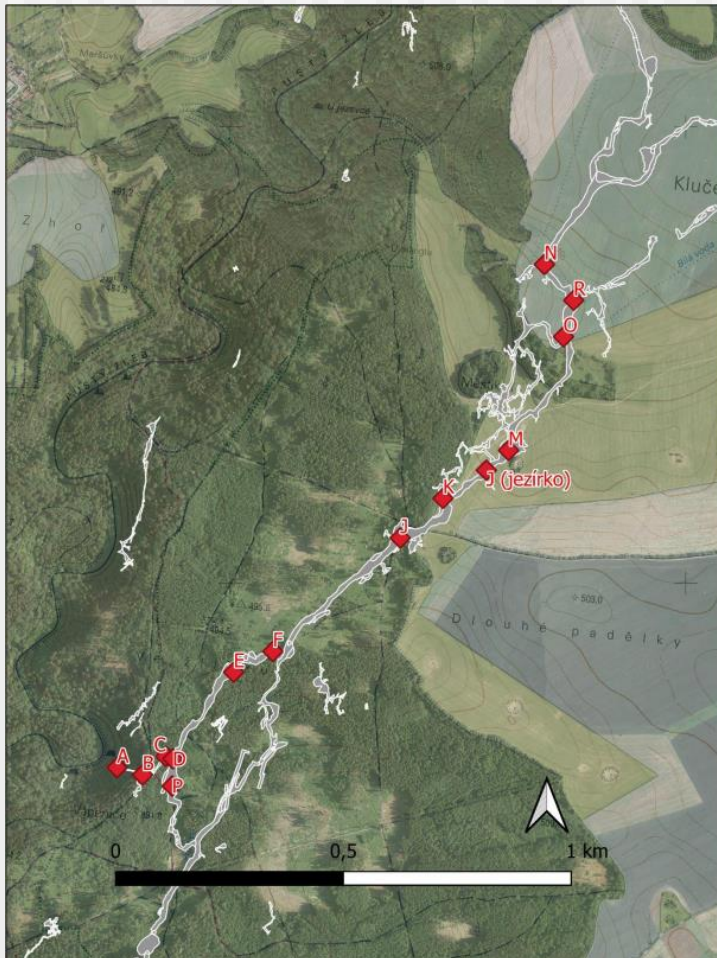
- nejrozsáhlejší jesk. systém v ČR (40 km)
- tvar Y (ramena = Stará Amatérská jesk.)
- ramena tvoří Sloupský potok a Bílá voda
- spojení v Nové Amatérské jesk. (Punkva)
- vstup tvoří uměle ražená uzavřená štola
- Záp. macošská větev: Javorová chodba - Absolonův dóm - aktivní řečiště Punkvy (konec větve tvoří Zával a dóm Roztoka)
- Vých. macošská větev: z Dómu Roztoka klesá směrem k aktivnímu řečišti Punkvy

DOD v Amatérské jeskyni

T A

Č R

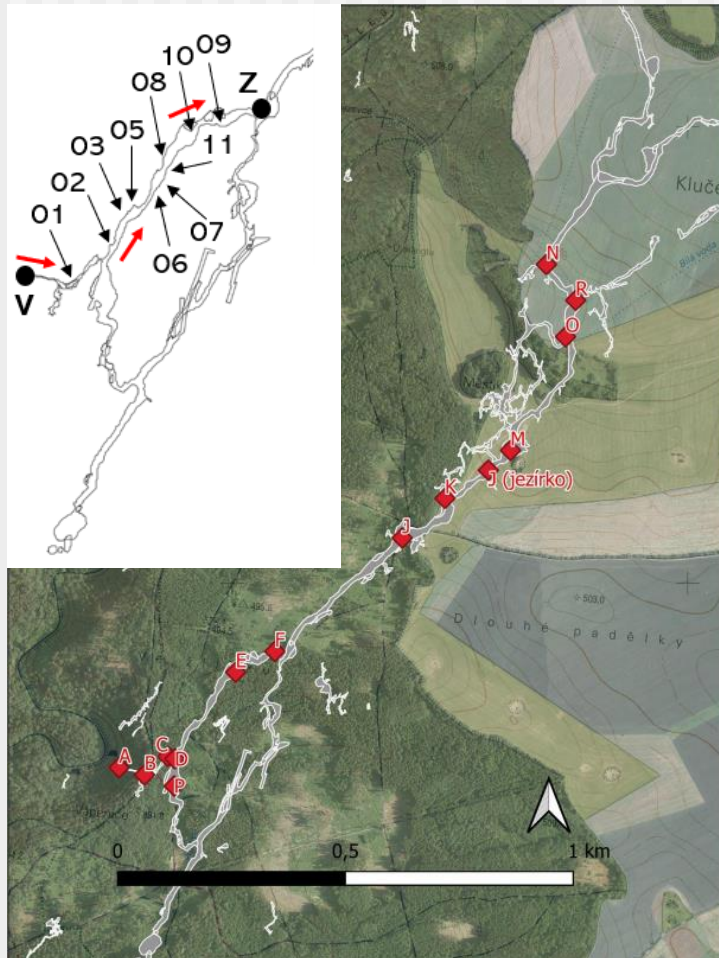
Technologická
agentura
České republiky



Projekt TAČR Zéta v Amatérské jeskyni:

- „Zhodnocení vlivu povrchových podmínek na jeskynní prostředí“ (7/2020 –6/2022)
- data z celkem 15 monitorovacích stanovišť
- prostředí: mikroklima, skapové vody, půdy
- mikroklima: T_{vzduch} , RH, CO_2 a obj. akt. Rn (navíc $T_{\text{stěna}}$ - studium kondenzační koroze)
- sk. vody: T, kond., vyd., pH, Ca^{2+} , alkalita, SI
- půdy: T, RH, CO_2 + odběry půdních vzorků
- srovnávací monitoring v jeskyni Býčí skála

DOD v Amatérské jeskyni

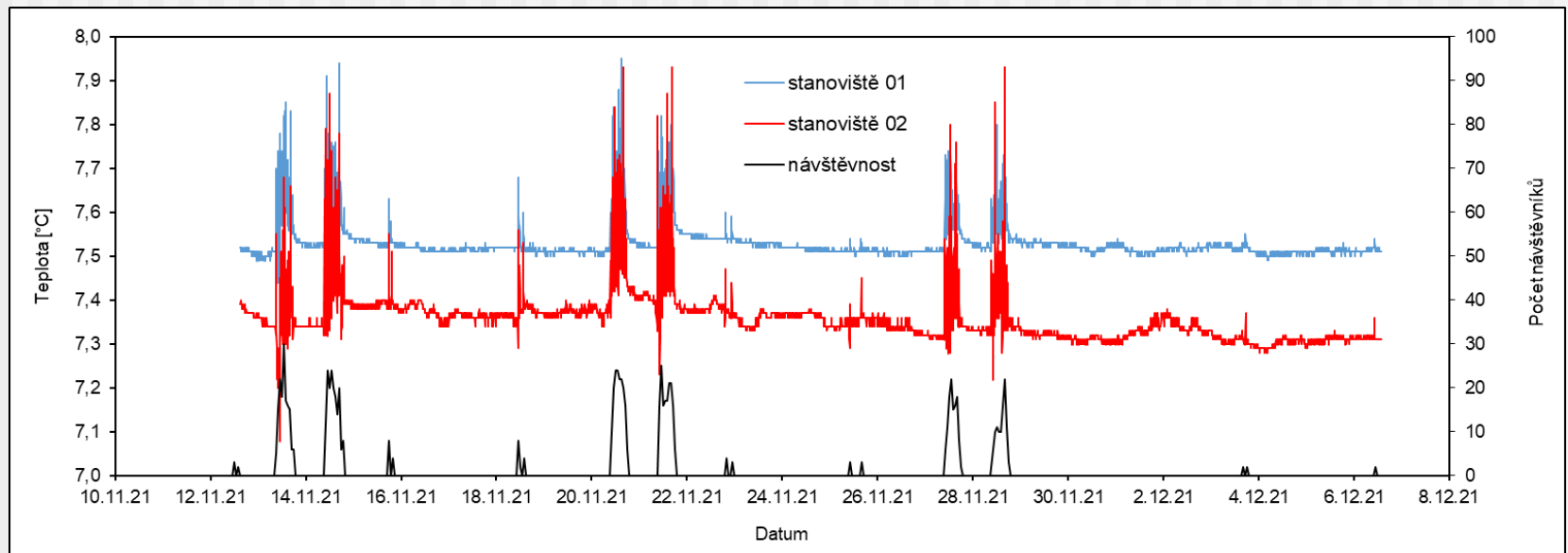


Monitoring DOD v Amatérské jeskyni:

- průběh DOD: tři víkendy v listopadu 2021 (víkendy 13.-14. 11., 20.-21. 11., 27.-28. 11.)
- trasa: Západní macošská větev až po Zával (celk. délka trasy v každém směru ~ 500 m)
- prohlídky každou hodinu od 9 do 16 hodin
- 850 návštěvníků rozdělených do 56 skupin
- podél trasy umístěno 10 celkem teploměrů
- teplotní monitoring rozšířen i o měření CO₂ (stanice situovány na stanovištích 01 a 06)

DOD v Amatérské jeskyni

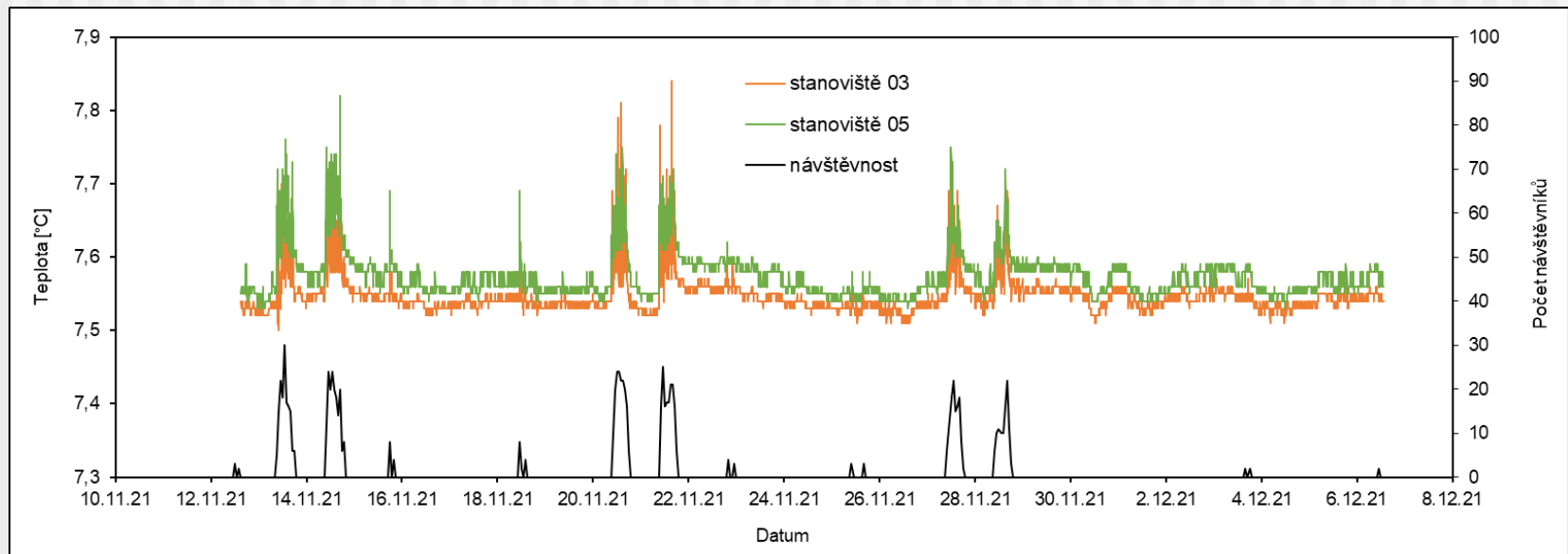
- průměrné přírodní teploty vzduchu mimo DOD = 7,52 °C (01) a 7,34 °C (02)
- významné ovlivnění stanovišť 01 a 02 chladným vzduchem z ext. atmosféry



- antropogenní nárůsty teploty během DOD až na 7,95 °C (01) a 7,93 °C (02)
- slabá korelace teplotních nárůstu s počtem návštěvníků (zastávky, výklad...)

DOD v Amatérské jeskyni

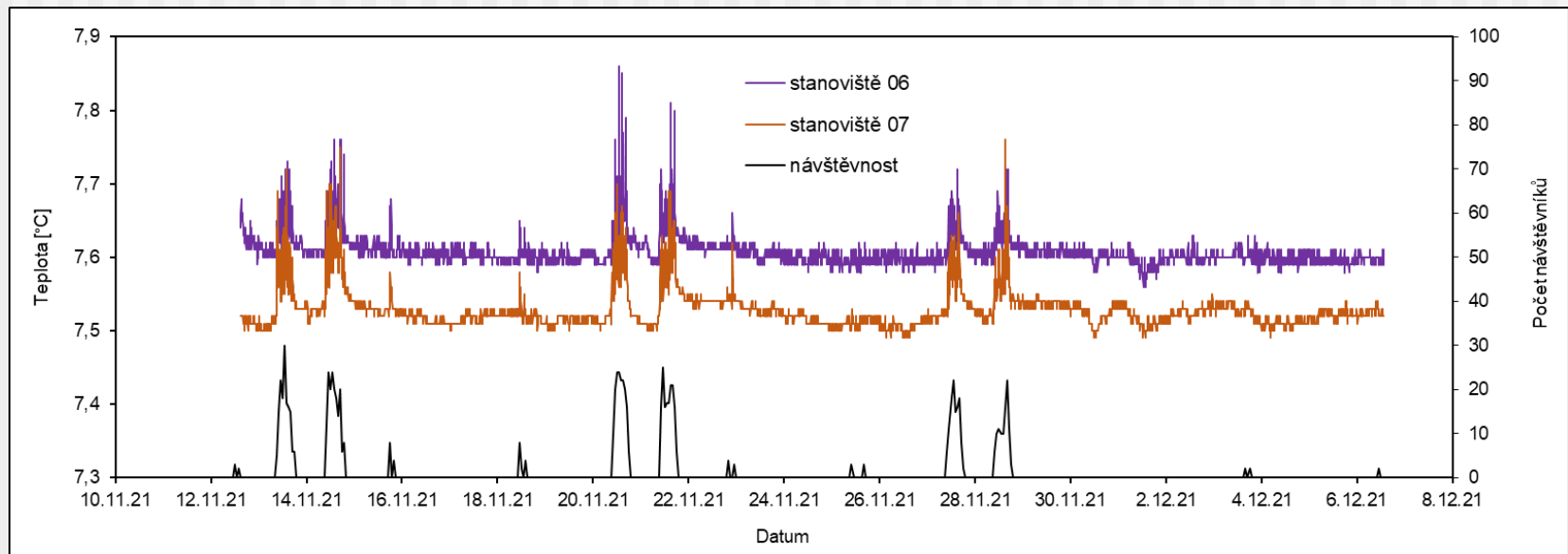
- průměrné přírodní teploty vzduchu mimo DOD = 7,54 °C (03) a 7,57 °C (05)
- nárůst teploty vzduchu směrem od vchodu: oslabení vlivu externí atmosféry



- antropogenní nárůsty teploty během DOD až na 7,84 °C (03) a 7,82 °C (05)
- náznak heterotermické teplotní zóny + menší teplotní nárůsty během DOD

DOD v Amatérské jeskyni

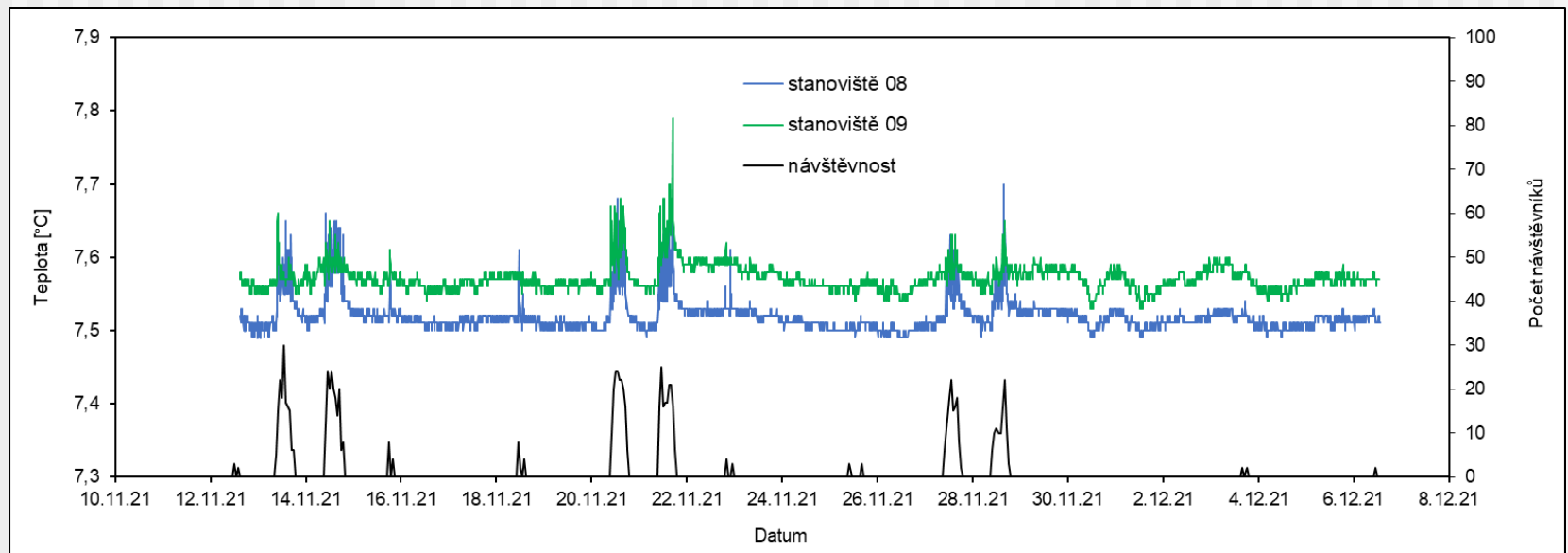
- průměrné přírodní teploty vzduchu mimo DOD = 7,60 °C (06) a 7,52 °C (07)
- postupný nárůst teploty vzduchu směrem od vchodu – heterotermická zóna



- antropogenní nárůsty teploty během DOD až na 7,86 °C (06) a 7,76 °C (07)
- stanoviště 06 za úzkou chodbou – pomalejší pohyb lidí a delší doba pobytu

DOD v Amatérské jeskyni

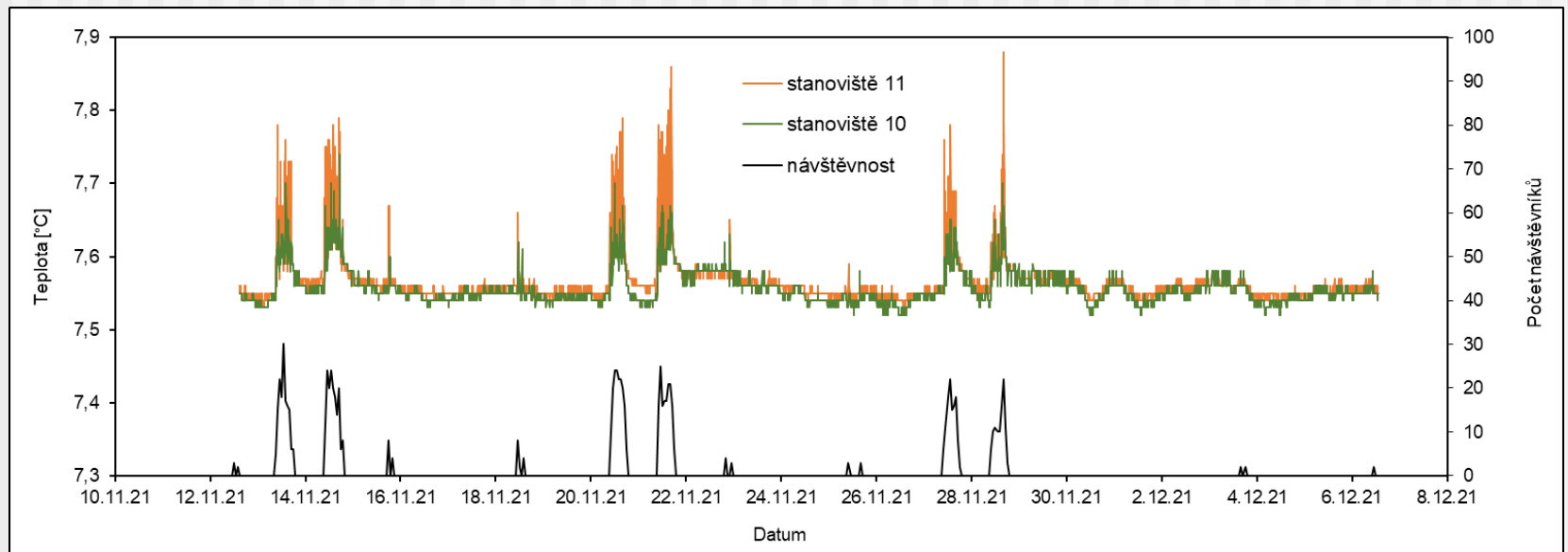
- průměrné přírodní teploty vzduchu mimo DOD = 7,51 °C (08) a 7,57 °C (09)
- přírodní teploty vzduchu podobné předchozím stanovištím (rozsah ~ 0,1 °C)



- antropogenní nárůsty teploty během DOD až na 7,70 °C (08) a 7,79 °C (09)
- na stanovišti 08 nárůsty < 0,19 °C – možné umístění mimo hlavní vent. větev

DOD v Amatérské jeskyni

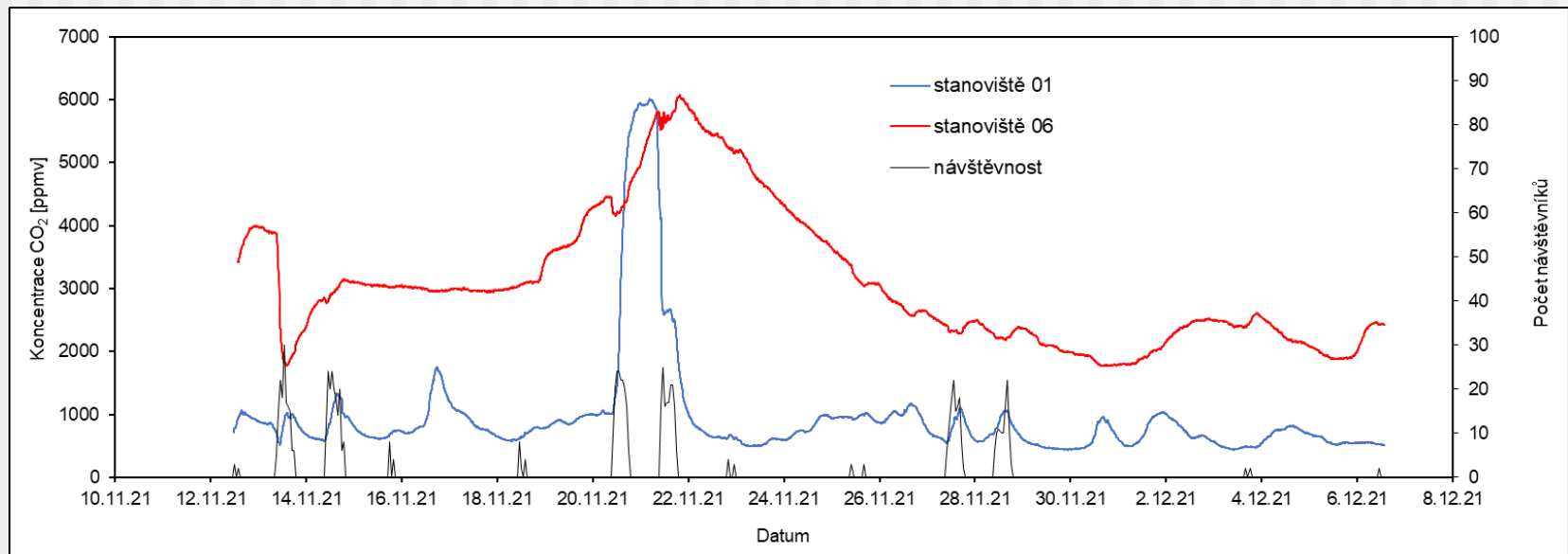
- průměrné přírodní teploty vzduchu mimo DOD = 7,55 °C (10) a 7,56 °C (11)
- srovnatelné teploty vzduchu ~ teplota homotermické zóny Amatérské jesk.



- antropogenní nárůsty teploty během DOD až na 7,74 °C (10) a 7,88 °C (11)
- stanoviště 11 blízko stanoviště 06 – nárůsty vlivem pomalejšího pohybu lidí

DOD v Amatérské jeskyni

- st. 01: píky CO₂ (do 2000 ppmv) během DOD, ale další píky i bez vstupu lidí
- st. 06: malé negativní píky CO₂ během DOD (možný vliv proudění vzduchu)



- před druhým víkendem DOD max. externí teplota 9,3 °C; přízemní až 13,1 °C
- jeskyně v DAF módu: možný transport CO₂ advektivními toky z půd/epikrasu

DOD v Amatérské jeskyni

Shrnutí hlavních výsledků monitoringu teplot:

- přírodní teploty na stanovištích indikují vymezení odlišných teplotních zón
- širší rozsah T na st. 01 a 02 = heterotermická zóna – vliv externí atmosféry
- antropogenní ovlivnění během DOD klesalo od vchodu směrem do jeskyně
- slabá korelace mezi počtem lidí v jednotlivých skupinách a růstem teploty

Shrnutí hlavních výsledků monitoringu CO₂:

- píky CO₂ v obdobích s přítomností lidí na obou stanovištích, ale i mimo ně
- na stanovišti 01 pozitivní píky, avšak v případě stanoviště 02 spíše negativní
- na obou stanovištích výskyt výrazného píku – možný vliv advektivních toků

DOD v jeskyni Býčí skála

Jeskyně Býčí skála:

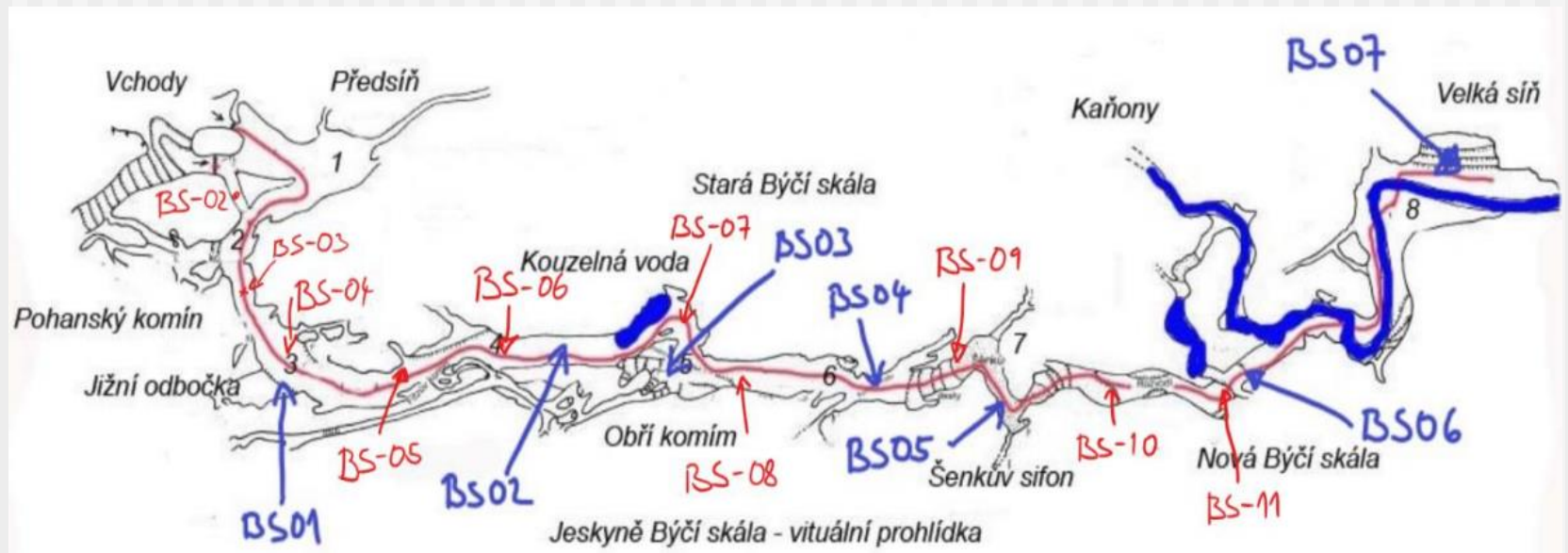
- rozsáhlý jeskynní systém ve střední části MK s aktivním podzemním tokem, ale zároveň i s vývěrovou částí otevřenou na povrch více rozsáhlými vchody
- účely monitoringu: (i) posouzení míry antropogenního ovlivnění jeskynního prostředí a (ii) získání mikroklim. dat pro srovnání s daty z Amatérské jeskyně

Průběh DOD:

- DOD v roce 2021 byly přesunuty kvůli dravcům hnízdícím na skalním výchozu u vstupu do jeskyně až na druhou polovinu června (12.-13., 19.-20., 26.-27.)
- jednotlivé skupiny návštěvníků vstupovaly do jeskyně mezi 9 a 16 hodinou

DOD v jeskyni Býčí skála

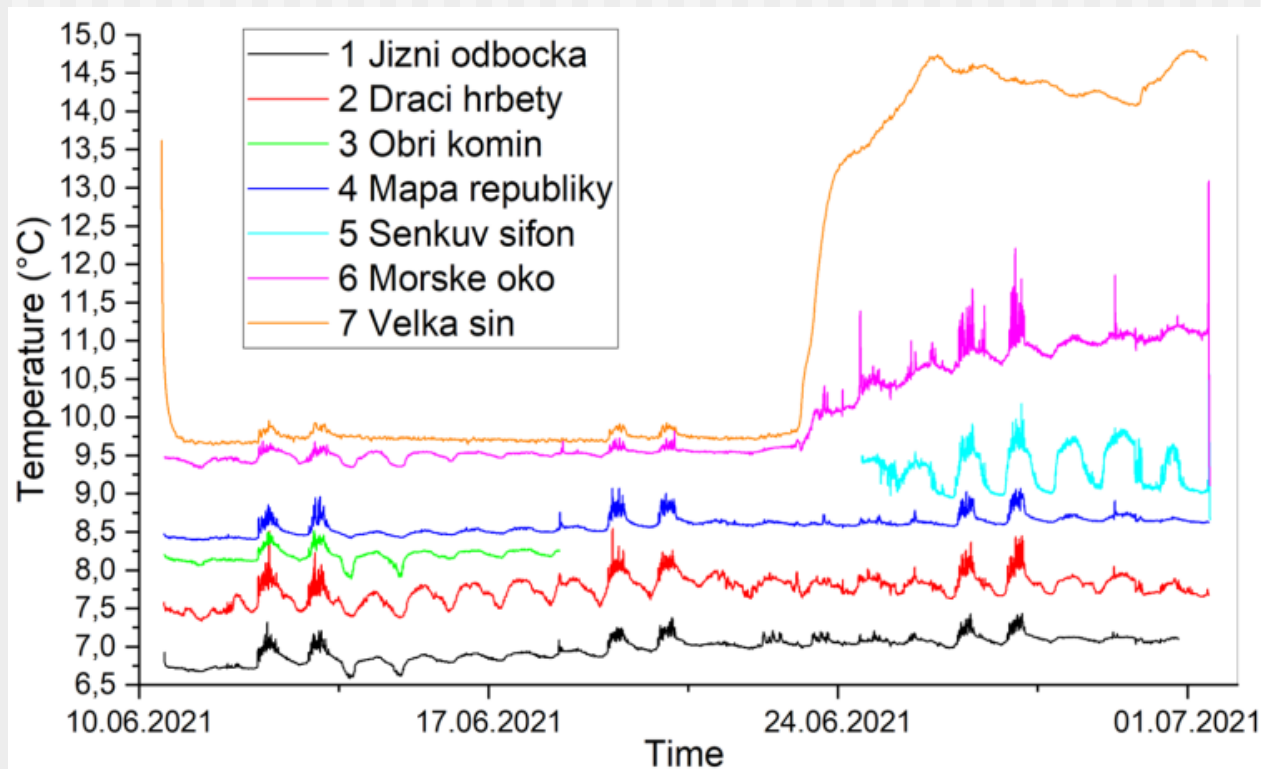
- přístroje na 7 stanovištích pro sledování jesk. mikroklimatu od 10. 6 do 1. 7.
- všude monitorována teplota a na stanovištích 02 a 05–07 navíc CO₂, RH a P



- po DOD monitoring prodloužen do 6. 2022 a zahuštěn dalšími 10 teploměry
- variace vst. pasáží (vliv vchodů) a jemnější rozlišení u vchodů a tekoucí vody

DOD v jeskyni Býčí skála

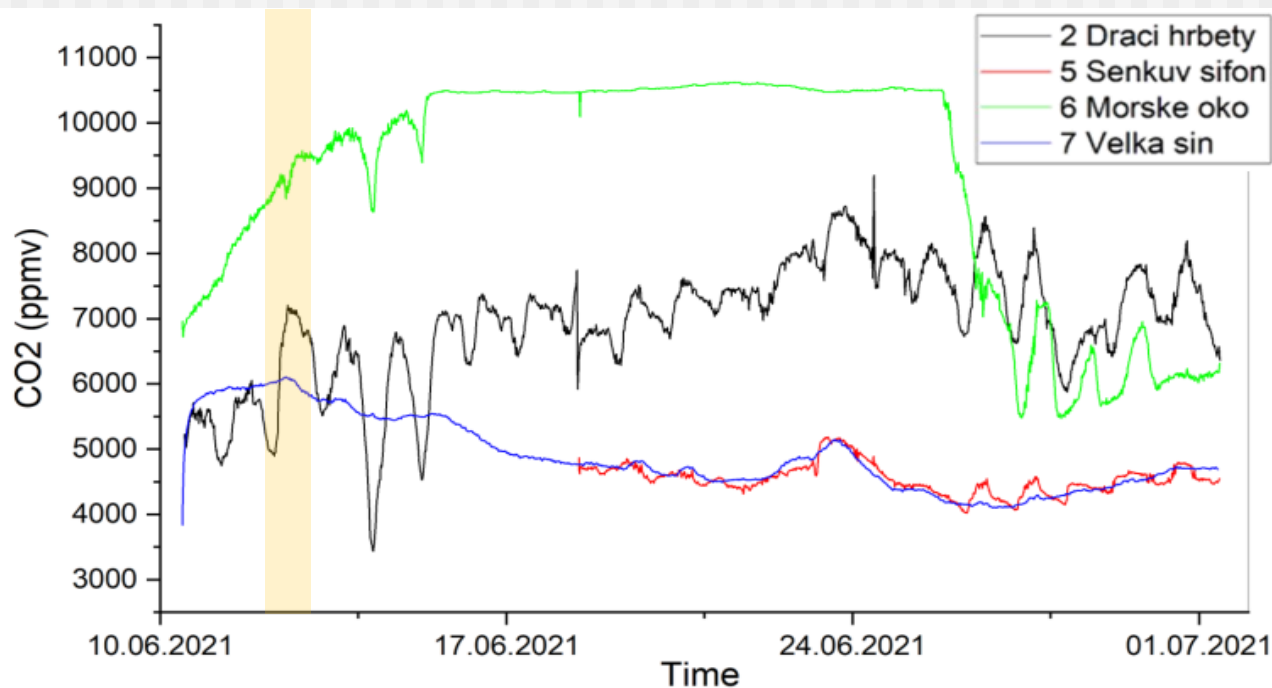
- mimo DOD: denní variace 6,6–9,7 °C (0,03–0,4 °C u lokalit) - max. u vchodu
- vliv DOD – na všech lokalitách nárůst T o 1,5–10,2 % (až 6násobné rozsahy)



- větší ovlivnění u užších pasáží
- výraznější píky u všech skupin
- relaxace teplot po DOD ~ 24 h

DOD v jeskyni Býčí skála

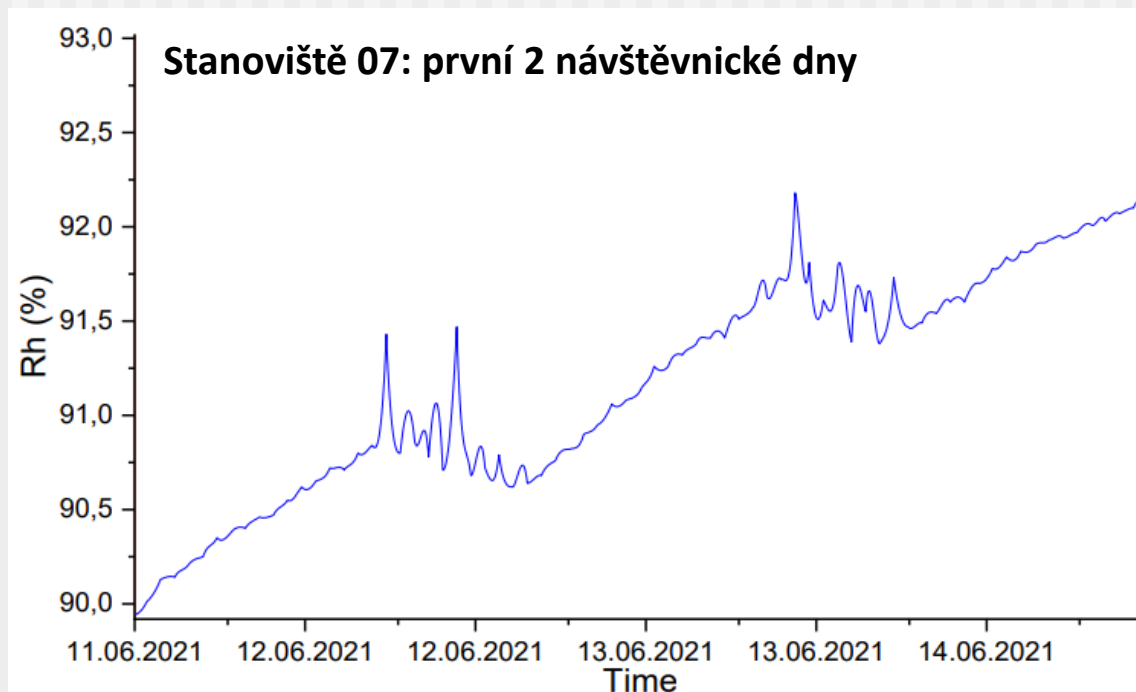
- koncentrace CO₂ v jeskynní atmosféře 3500–10500 ppmv (0,35–1,05 obj. %)
- během DOD patrné ovlivnění návštěvníky – návrat na přír. hodnoty do 24 h.
- větší vliv DOD v užších pasážích + další faktory (změny v produkci, ventilace)



- na stanovišti 06 v první den DOD pokles CO₂ (píst. toky od vchodu)
- na stanovišti 02 vyšší ventilace u vstupu = variace
- na stanovišti 07 jen náznak píků

DOD v jeskyni Býčí skála

- rozdílné výsledky monitoringu relativní vlhkosti jesk. atmosféry na lokalitách
- na stanovištích 02/04 po celou dobu monitoringu konstantní hodnota 100 %
- relativní vlhkost na stanovišti 06 dosáhla hodnoty 100 % ~ po týdnu měření

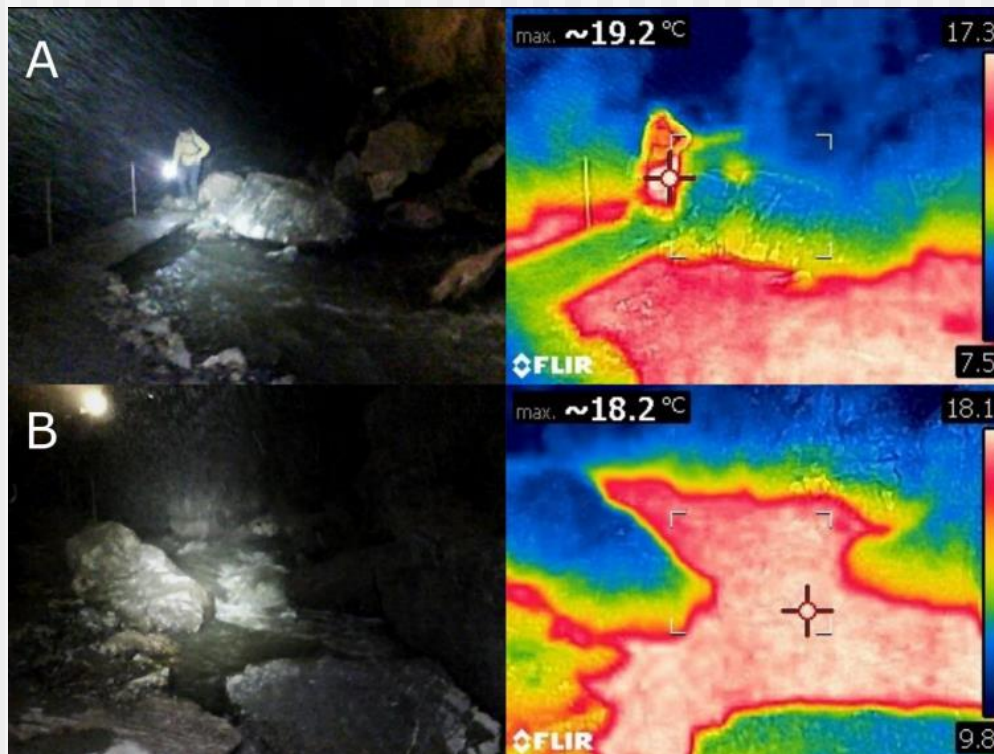


RH na stanovišti 07:

- rozdílné chování RH
- vliv využití odlišných čidel (různá citlivost)
- vlivy návštěvnických skupin oběma směry
- nárůst na 100 % dán přítokem vody 22. 6.

DOD v jeskyni Býčí skála

Vliv podzemního toku po 22. červnu 2021:



- ovlivnění jesk. mikroklimatu přívalovou bouřkou v červnu
- přítoky teplé vody z rybníků až do Jedovnického potoka a dál do Rudického propadání
- na stanovišti 07 růst teploty vody téměř na 20°C a až na 5°C v případě tepl. Vzduchu
- jasně viditelné denní variace

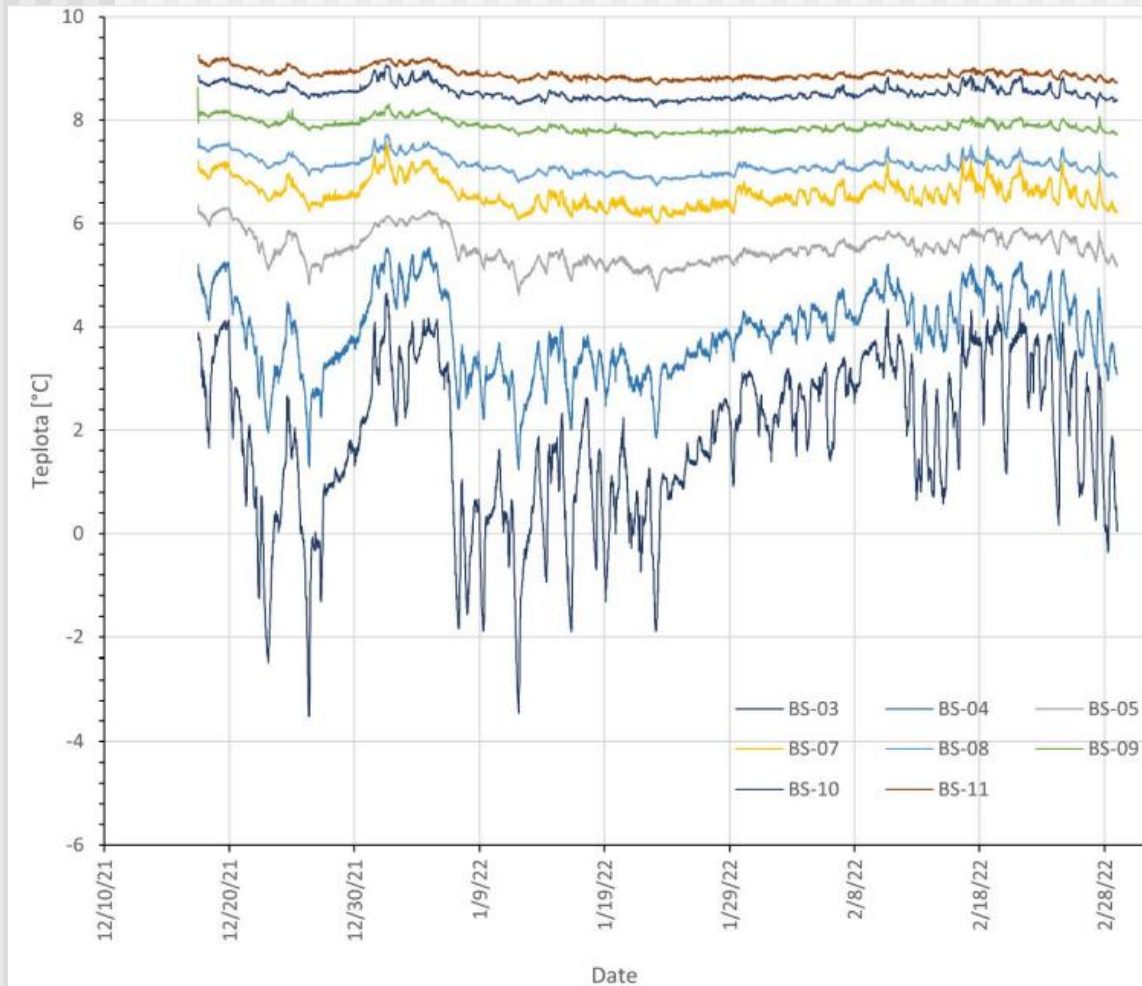
- A = mostek a B = pohled po proudu (vlevo optický snímač, vpravo IČ kamera)

DOD v jeskyni Býčí skála

Vliv podzemního toku po 22. červnu 2021:

- změny způsobené přísunem teplé vody do jeskyně na zasažených lokalitách zcela přesahují pozorovaný antropogenní vliv – stále na stanovišti viditelný
- koncentrace CO₂ na stanovišti 07 vykazují pozorovatelný počáteční nárůst a následný pokles v průběhu 3–4 dnů zpět na hodnoty z počátku monitoringu
- k nárůstu koncentrace CO₂ může docházet vytlačováním vzduchu z hlubších pasáží jeskyně přívalovou vodou, případně pak infiltrační vodou z epikrasu
- pokles koncentrace CO₂ je spojen s rozpouštěním CO₂ z atmosféry do vody
- stanoviště 06 bez ovlivnění: pokles koncentrace CO₂ (bez spojitosti s vodou)

DOD v jeskyni Býčí skála

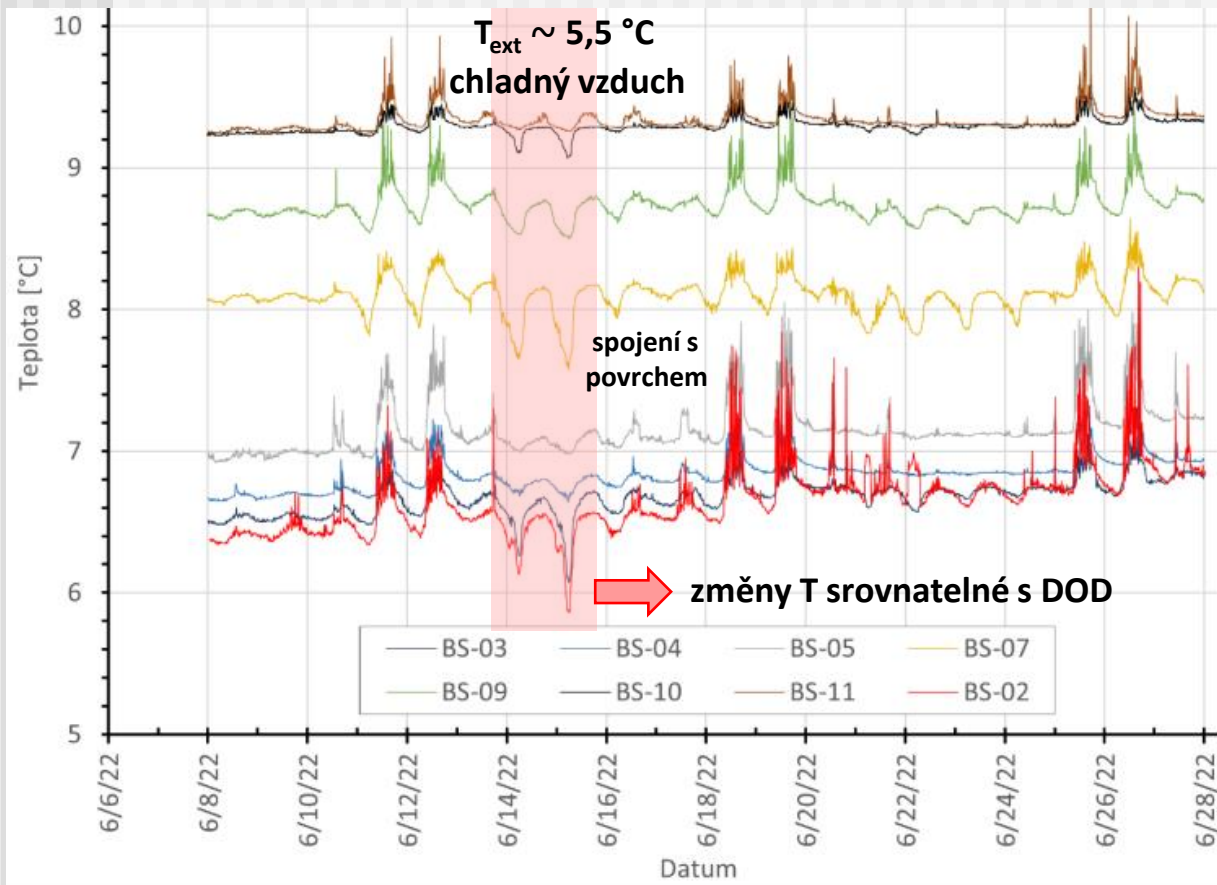


Navazující monitoring v BS:

- porovnání zimního období s daty z DOD (+ Amatérské j.)
- záznamy ze stanovišť 02/06 nekompletní – selhání čidel
- na všech stanovištích reakce na vnější met./klim. události
- oteplení v úvodu roku 2022 = změny ventilace a nárůst T
- vzdálenost stanoviště 03 od 04 ~ 20 m a 2x vyšší rozsah T
- na st. 11 téměř konstantní T

DOD v jeskyni Býčí skála

- navazující monitoring v BS zachytil i DOD 2022 – podobnost dat s DOD 2021



- násobné nárůsty teplot a návrat během 24 hod.
- vyšší ovlivnění stanovišť 02/03: po otevření dveří ventilace i z vedl. vstupů
- shodné píky i mimo DOD (např. vstupy jeskyňářů)
- velký vliv úzkých prostor na intenzitu píků (st. 05)

DOD v jeskyni Býčí skála

Studium antropogenního ovlivnění:

- významné ovlivnění jeskynního mikroklimatu návštěvníky v průběhu DOD
- ovlivňující faktory: dýchání, produkce tepla, antrop. indukované proudění
- v průběhu DOD zvýraznění přirozených nárůstů T i nárůsty koncentrací CO₂
- návrat parametrů na přirozené hladiny během následujícího denního cyklu

Srovnání s přírodními procesy:

- přirozeně indukované procesy mohou významně převyšovat antropogenní
- zásadní vlivy v BS představují změny vent. módů (změny T) a proudící voda
- dlouhodobější uplatnění přírodních procesů ve srovnání s antropogenními