

2024

MORAVSKÝ KRAS POD MIKROSKOPEM

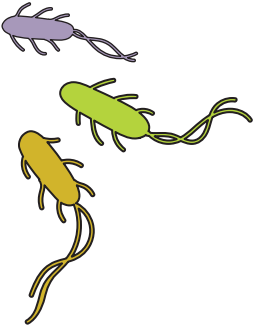
KRITICKÝ KATALOG VÝSTAVY

Konání výstavy:
Blansko, Muzeum Blanenska
27. 6. – 20. 10. 2024

Ivo Pavlík,
Vít Ulmann,
Vlastislav Káňa

● Mendelova
● univerzita
● v Brně
●

Mendelova univerzita v Brně



MORAVSKÝ KRAS POD MIKROSKOPEM

KRITICKÝ KATALOG VÝSTAVY

Konání výstavy:
Blansko, Muzeum Blanenska
27. 6. – 20. 10. 2024

Ivo Pavlík,
Vít Ulmann,
Vlastislav Káňa

Výstava *Moravský kras po mikroskopem*, kterou uspořádalo Muzeum Blanenska ve spolupráci s Mendelovou univerzitou v Brně a Zdravotním ústavem se sídlem v Ostravě, přibližuje život a výzkum mikroorganismů a drobných živočichů v prostředí Moravského krasu.

Konání výstavy:

Blansko, Muzeum Blanenska, 27. 6. – 20. 10. 2024

Autoři:

Ivo Pavlík¹,  <https://orcid.org/0000-0002-5771-3381>
Vít Ulmann²,  <https://orcid.org/0000-0002-5203-8276>
Vlastislav Káňa³

¹Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1665/1, 613 00 Brno

²Zdravotní ústav se sídlem v Ostravě, Partyzánské náměstí 2633/7, Moravská Ostrava, 702 00 Ostrava

³Muzeum Blanenska, p. o., Zámek 1/1, 678 01 Blansko

Námět:

Ivo Pavlík, Pavlína Komínková, Vlastislav Káňa

Grafické zpracování:

Jakub Pernes

Fotografie a grafická spolupráce:

Ivo Pavlík, Vlastislav Káňa, Jaroslav Šanda, Vít Ulmann, ZO ČSS 6-01 Býčí skála, AOPK ČR a autoři uvedení v textu.

Realizace:

Muzeum Blanenska, p. o., Pavlína Komínková, Lubomír Janeček, Jaroslav Bebej, Vlastislav Káňa, Vít Ulmann

Modely a preparace:

René Šujan, Vlastislav Káňa

Didaktické materiály:

Daniela Pernesová, Vlastislav Káňa

Poděkování

Výstava vznikla díky spolupráci Muzea Blanenska s odborníky z pracovišť, která se podílela na řešení výzkumných projektů, nebo pracovišť, která byla zapojena do této spolupráce v rámci jejich výzkumných aktivit. Kolektiv autorů děkuje také všem, kteří poskytli fotografické a jiné obrazové materiály. Jsou to: Archiv map CHKO Moravský kras (A. Tůma, L. Štefka, D. Franc a M. Kovařík), Archiv ZO ČSS 2-07 Hranický kras (M. Guba, D. Čani) a Archiv ZO ČSS 6-01 Býčí skála (J. Svozil, A. Pekárek, L. Dohnal). Poskytnuté fotografie: M. Audy, V. Beran, M. Blahutková, T. Boissellet, R. Dobiáš, L. Dvorská-Bartošová, O. A. Fischer, M. Geršl, M. Golec, Z. Golec-Mírová, V. Grymová, M. Guba, R. Hrdina, D. Hübelová, P. Jahn, M. Kabourková, M. Kaevska, K. Kantorová, J. Kazda, Z. Knotek, O. Konečný, S. Koukal, A. Králová, R. Kratochvíl, P. Kříž, K. Křížová, F. Kuda, Š. Mátl, L. Mátllová, L. Mezenský, Z. Minaříková, V. Mrlík, F. Musil, A. Pásler, Z. Patočka, M. Pavlík, P. Proks, J. E. Shitaye, K. Somerlíková, I. Stejskal, I. Světlík, J. Svobodová, J. Svozil, M. Škorič, L. Štefka, F. Travěnc, J. Wallenfels a P. Zajíček.

Při získávání výsledků a jejich multidisciplinárních interpretacích jsme spolupracovali s mnoha odborníky z pracovišť jak v České republice, tak v zahraničí. Byli to kromě již výše uvedených: V. Babák, H. Bandouchová, M. Bartoš, R. Bolehovská, D. Franc, T. Hrušovský, P. Chalupa, M. Jiroušek, K. Konečná, P. Kostrhun, P. Koutrný, A. Kozumplíková, A. Krása, P. J. Kříž, P. Kubálek, J. Kudělka, R. Kukla, G. Lo Papa, R. Ličbinský, T. Lošák, M. Lukáš, P. Mikuška, H. Modrá, L. Morávková, Z. Musil, J. Píkula, A. Plichta, J. Pokorný, B. Rantová, M. Roblíčková, L. Ryšková, S. Sázlová, V. Seidlová, J. Svoboda, J. Šafář, A. Tůma, M. Vattano, J. Wallenfels, R. T. Weston, P. Zajíček, M. Á. G. Zapata, J. Zukal, K. Zukalová.

Dedikace

Výstava byla realizována díky výsledkům získaných od roku 2016 při řešení grantů číslo16-132315 a 21-127195 Grantové agentury České republiky a grantu registrační číslo NU20-09-00114 Agentury pro zdravotnický výzkum (Ministerstvo zdravotnictví České republiky).

© Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno

ISBN 978-80-7701-014-6

<https://doi.org/10.11118/978-80-7701-014-6>



Open Access. Publikace *Moravský kras pod mikroskopem: kritický katalog výstavy* podléhá licenci CC BY-NC-ND 4.0 (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/>)



Abstrakt

Přírodovědný výzkum Moravského krasu zahrnuje mnoho oborů, kterými jsou geologie, zoologie a botanika, ekologie a další. V posledních 10 letech byla pozornost zaměřena na mikrobiologické a především bakteriologické studium vody a sedimentů, na prostředí lesů, luk a především na studium jeskynního prostředí. Úloha bakterií v systému člověkem více i méně ovlivněné krasové přírody byla v Moravském krasu dosud známa jen obecně. Život těchto mikroskopických organismů zůstával zejména v jeskynním prostředí zčásti nepoznaný. Výzkumný tým vedený profesorem Ivo Pavlíkem, složený z odborníků Mendelovy univerzity v Brně, Zdravotního ústavu se sídlem v Ostravě, Muzea Blanenska a dalších institucí, se rozhodl tuto

mezeru zaplnit. Za indikátorový mikroorganismus si vybrali mykobakterii. Také výzkum dalších drobných obyvatel krasové krajiny se bez mikroskopu nebo aspoň lupy neobejde. Třeba drobné kostičky netopýrů a dalších savců jsou svědectvím o změnách klimatu a krajiny v minulosti. Vrstvičky netopýřího guána, nánosy říčních sedimentů v podzemí, nebo žížaly v něm žijící; to všechno jsou pro nás zdroje poznání mechanismu, jakým příroda Moravského krasu funguje. I vy si můžete nyní vyzkoušet, jaké to je ponořit se prostřednictvím okuláru mikroskopu a různých moderních laboratorních metod do světa těch opravdu malých organismů, které tak významně ovlivňují život přírody v Moravském krasu a v některých případech i ten náš.

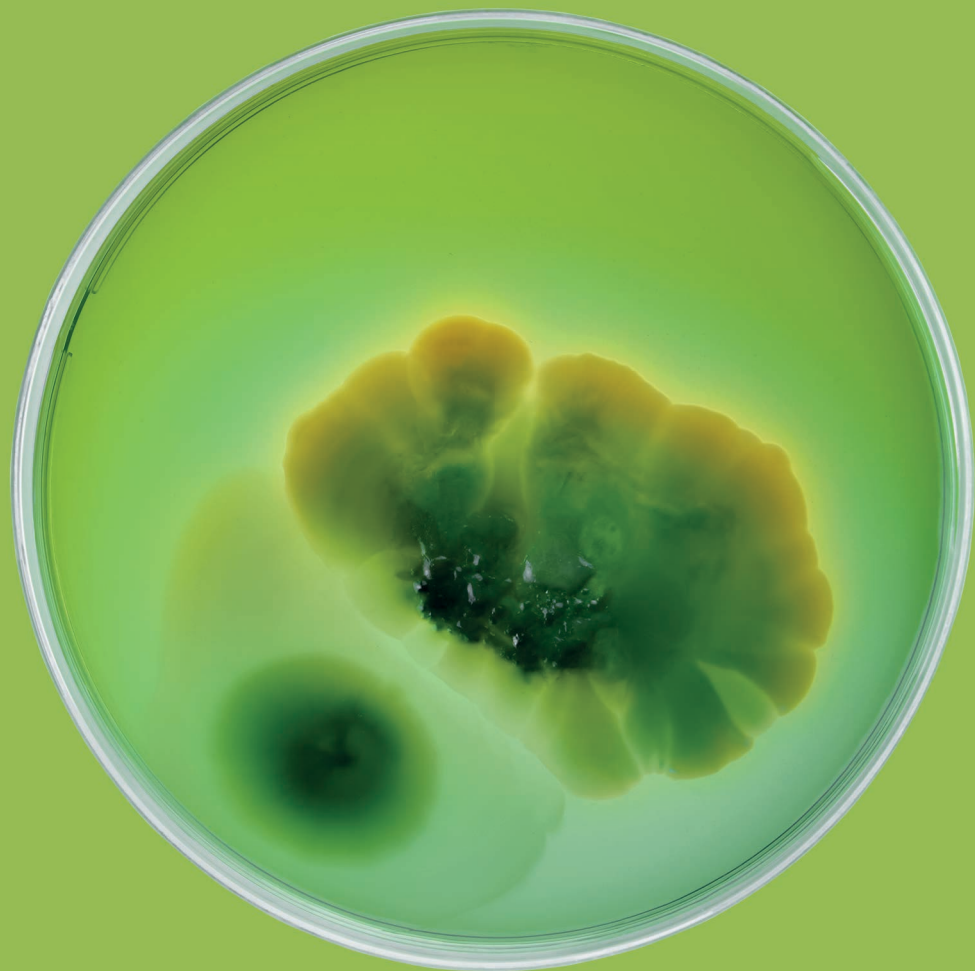
Klíčová slova: krasové jeskyně, speleologie; speleopotápění, ekologie, archeologie, paleontologie, kořenové stalagmity, radiokarbonové datování, chiropterologie, bakteriologie, mikrobiologie; mykologie; vodní sediment; demografie; suburbanizace, geografie, hydrologie, skapová voda, aluviální voda, freatická voda, znečištění krasového prostředí, čisticí odpadních vod, vodní biofilm, epidemiologie, *Mycobacterium*, tuberkulóza, mykobakteriáza, netuberkulózní mykobakterie, indikátorové bakterie; psychrofilní mykobakterie; mezofilní mykobakterie, termofilní mykobakterie, diagnostika mykobakteriálních infekcí, světelná mikroskopie, elektronová mikroskopie, DNA, qPCR, MALDI, počítačová tomografie, rentgenologické vyšetření, netopýr, guáno, bezobratlí živočichové, žížaly, žížalince, prach, GIS, bezpečnost potravin, prevence infekcí, vakcinace BCG, speleoterapie

Abstract

Natural science research in the Moravian Karst includes many fields, such as geology, zoology and botany, ecology, and others. In the last 10 years, attention has been focused on the microbiological and, above all, bacteriological study of water and sediments, on the environment of forests, meadows and, above all, on the study of cave environments. The role of bacteria in the system of karst nature more or less influenced by humans was only generally known in the Moravian Karst. The life of these microscopic organisms remained largely unknown, especially in the cave environment. A research team led by Professor Ivo Pavlík, consisting of experts from the Mendel University in Brno, the Public Health Institute Ostrava, the Museum Blanenska and other institutions, decided to fill this gap. They chose *Mycobacterium*

as the indicator microorganism. Also, the research of other small inhabitants of the karst landscape cannot be done without a microscope or at least a magnifying glass. For example, the tiny bones of bats and other mammals are evidence of climate and landscape changes in the past. Layers of bat guano, deposits of river sediments underground, or earthworms living in it; all these are sources of knowledge for us about the mechanism by which the nature of the Moravian Karst works. You too can now experience what it's like to immerse yourself through the eyepiece of a microscope and various modern laboratory methods into the world of those really small organisms that so significantly influence the life of nature in the Moravian Karst and in some cases our life as well.

Keywords: karst caves, speleology, cave diving, ecology, archaeology, palaeontology, root stalagmites, radiocarbon dating, chiropterology, bacteriology, microbiology, mycology, water sediment, demography, suburbanization, geography, hydrology, dripping water, alluvial water, phreatic water, pollution of the karst environment, wastewater treatment plant, water biofilm, epidemiology, *Mycobacterium*, tuberculosis, mycobacteriosis, nontuberculous mycobacteria, indicator bacteria; psychrophilic mycobacteria; mesophilic mycobacteria, thermophilic mycobacteria, diagnosis of mycobacterial infections, light microscopy, electron microscopy, DNA, qPCR, MALDI, computed tomography, X-ray examination, bat, guano, invertebrate animals, earthworms, earthworms castings, dust, GIS, food safety, infection prevention, BCG vaccination, speleotherapy

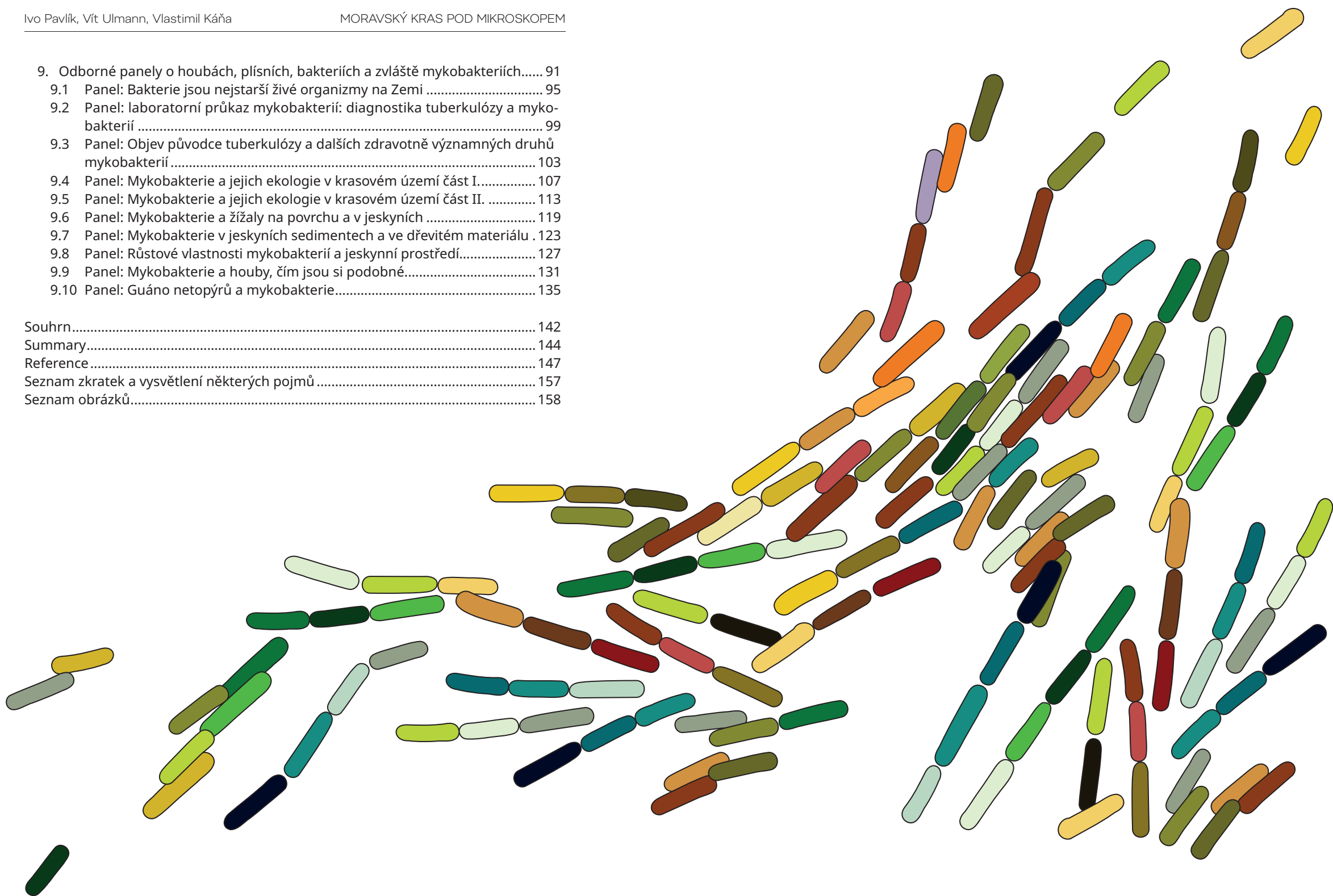


OBSAH

OBSAH

Úvod	11
1. Zapojené výzkumné týmy financovaných národních projektů	15
1.1 Grant GAČR (2016–2018)	15
1.2 Grant AZV (2020–2023)	15
1.3 Grant gačr (2021–2023)	16
1.4 Další spolupracovníci	16
1.5 Multioborový výzkum moravského krasu	17
2. Proč jsme si vybrali k výzkumu mikrobioty právě Moravský kras?	19
I. Část: Výstava	21
3. Dispozice výstavy	23
I. První výstavní prostor: Předsálí	23
II. Druhý výstavní prostor: První „malá“ výstavní místnost	23
III. Třetí výstavní prostor: Druhá výstavní místnost	23
IV. Čtvrtý výstavní prostor: Třetí „velká“ výstavní místnost	23
4. Mapa výstavního prostoru	27
5. Koncepce výstavy	28
II. Část: Expozice	36
6. Expozice	39
6.1 První výstavní prostor v předsálí: Reálné vzorky prostředí pro mikroskopická vyšetření	41
6.2 Druhý výstavní prostor: Úvod do tématu výstavy	45
6.3 Třetí výstavní prostor: Laboratoř biospeleologa a mikrobiologa	49
6.4 Čtvrtý výstavní prostor: Promítání krátkých přírodovědných filmů o Moravském krasu	61
III. Část: Panely	62
7. Úvodní panely výstavy	65
7.1 Panel se základními údaji o autorech a sponzorech výstavy	65
7.2 Panely propagující výstavu	67
7.3 Panel s koláží fotografií přibližující výstavu	68
7.4 Panel se speleologem a zimujícími netopýry v jeskyni Stará Býčí skála	69
8. Doprovodné panely k interaktivním prvkům výstavy	71
8.1 Panel: Jeskyně jako odpadní jímka i čistírna vody zároveň	73
8.2 Panel: Netopýři pod mikroskopem	75
8.3 Panel: Malé organismy v jeskyních. Jak malé vlastně jsou?	77
8.4 Panel: Jeskyně, kras, hygiena a zdraví	79
8.5 Panel: Organismy v jeskyních moravského krasu, malé a ještě menší	81
8.6 Panel: Bakterie v jeskyních	85
8.7 Panel: Malí a velcí tvorové	87
8.8 Panel: Panel s návodem pro práci s interaktivními exponáty: Trocha praxe pro návštěvníky výstavy	89

9. Odborné panely o houbách, plísniích, bakteriích a zvláště mykobakteriích.....	91
9.1 Panel: Bakterie jsou nejstarší živé organizmy na Zemi	95
9.2 Panel: laboratorní průkaz mykobakterií: diagnostika tuberkulózy a mykobakterií	99
9.3 Panel: Objev původce tuberkulózy a dalších zdravotně významných druhů mykobakterií	103
9.4 Panel: Mykobakterie a jejich ekologie v krasovém území část I.....	107
9.5 Panel: Mykobakterie a jejich ekologie v krasovém území část II.	113
9.6 Panel: Mykobakterie a žížaly na povrchu a v jeskyních	119
9.7 Panel: Mykobakterie v jeskyních sedimentech a ve dřevitém materiálu .	123
9.8 Panel: Růstové vlastnosti mykobakterií a jeskynní prostředí.....	127
9.9 Panel: Mykobakterie a houby, čím jsou si podobné.....	131
9.10 Panel: Guáno netopýřů a mykobakterie.....	135
Souhrn.....	142
Summary.....	144
Reference.....	147
Seznam zkratk a vysvětlení některých pojmů	157
Seznam obrázků.....	158



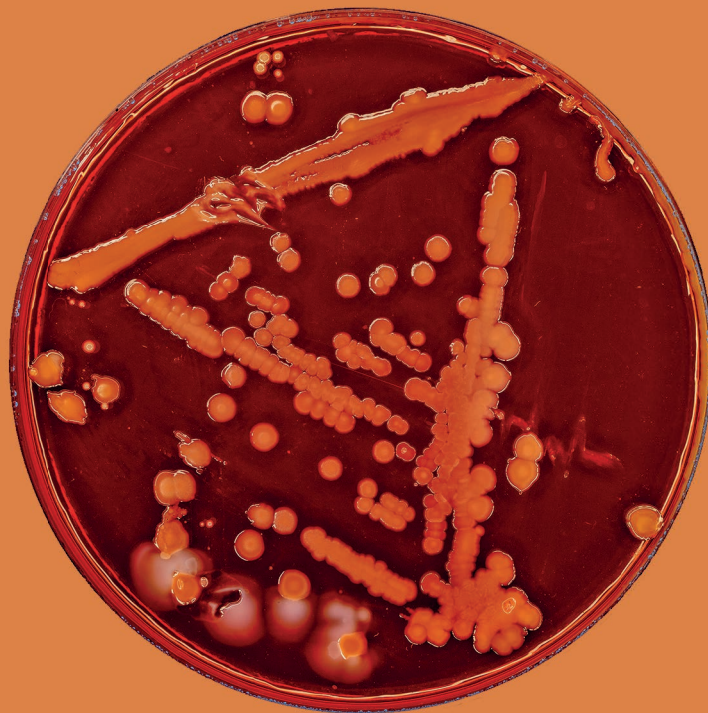
ÚVOD

Přírodovědný výzkum Moravského krasu zahrnuje mnoho oborů, kterými jsou geologie, zoologie a botanika, ekologie a další (Hromas, 2009). V posledních letech byla zaměřena mikrobiologická a především bakteriologická pozornost na vody a sedimenty potoků, na prostředí lesů, luk a především na jeskynní prostředí Moravského krasu. Úloha bakterií v systému člověkem více i méně ovlivněné krasové přírody byla v Moravském krasu dosud známa jen obecně a život těchto mikroskopických organismů zůstával zejména v jeskynním prostředí zčásti nepoznaný. Výzkumný tým vedený profesorem Ivo Pavlíkem, složený z odborníků Mendelovy univerzity v Brně, Zdravotního ústavu se sídlem v Ostravě, Muzea Blanenska a dalších institucí, se rozhodl tuto mezeru zaplnit. Také výzkum dalších drobných obyvatel krasové krajiny se bez mikroskopu nebo aspoň lupy neobejde. Třeba drobné kostičky netopýrů a dalších savců jsou svědectvím o změnách klimatu a krajiny v nedávné i dávnější minulosti. Vrstvičky netopýřího guána, nánosy říčních sedimentů v podzemí nebo žížaly v něm žijící; to všechno jsou pro nás zdroje poznání mechanismu, jakým příroda Moravského krasu funguje. I vy si můžete nyní vyzkoušet, jaké to je ponořit se prostřednictvím okuláru mikroskopu do světa těch opravdu malých organismů, kteří tak významně ovlivňují život přírody v Moravském a krasu a i ten náš.

Za modelový mikroorganismus byla ke studiu vybrána bakterie: mykobakterie. Původ jejího označení pochází z dob jejího prvního kultivačního průkazu. Byla to první úspěšná kultivace a záchyt původce humánní tuberkulózy. To se podařilo po několikátýdenní inkubaci

infikované tkáně plic ve vývaru z hovězího srdce při 37 °C. Nárůst byl v blance na povrchu vývaru, která připomínala rostoucí plísně. Řecky jsou plísně označovány jako „mycos“. Při mikroskopickém vyšetření však pan prof. Robert Koch pozoroval bakterie, které jsou označovány latinsky *bacterium* (V. Mrlík). Spojením těchto dvou pojmů proto vznikl rodový název: *Myco-bacterium* (Kazda et al., 2009). Mykobakterie díky své stavbě přežívají v různých složkách vlhkého prostředí dlouhé měsíce až roky. Voskové a fosfolipodové složky bakteriální stěny mykobakterií také za příznivých a stabilních podmínek uchovávají její DNA po staletí až tisíciletí (Kazda, 2000; Kazda et al., 2009). V Nikaragui bylo např. zjištěno, že výskyt, druhové spektrum a množství mykobakterií ve vodních sedimentech úzce souvisí s jejich organickým znečištěním (Pavlík a Garmendia, 2022).

Z předešlých studií zabývajících se ekologií mykobakterií bylo známo, že voda hraje nejvýznamnější roli nejenom při růstu, ale také při jejich šíření (Kazda, 2000; Kazda et al., 2009; Krizova et al., 2010; Mrlík et al., 2012; Klanicova et al., 2013). Z těchto důvodů bylo na počátku našich studií v roce 2015 hlavním cílem sledování výskytu mykobakterií ve vodních sedimentech a biofilmech v povrchových vodách tří povodí nejvýznamnějších vodních toků, které se propadají do podzemí Moravského krasu: povodí vodních toků Sloupsko-šošůvských jeskyní, Rudického propadání – Býčí skály – Barové jeskyně a Ochozské jeskyně. Ekologická situace byla systematicky v Moravském krasu sledována v sezónách jaro-léto-podzim-zima. Následně jsme zjistili stejně jako i jiní výzkumní pracovníci, že nejvýznam-



ÚVOD

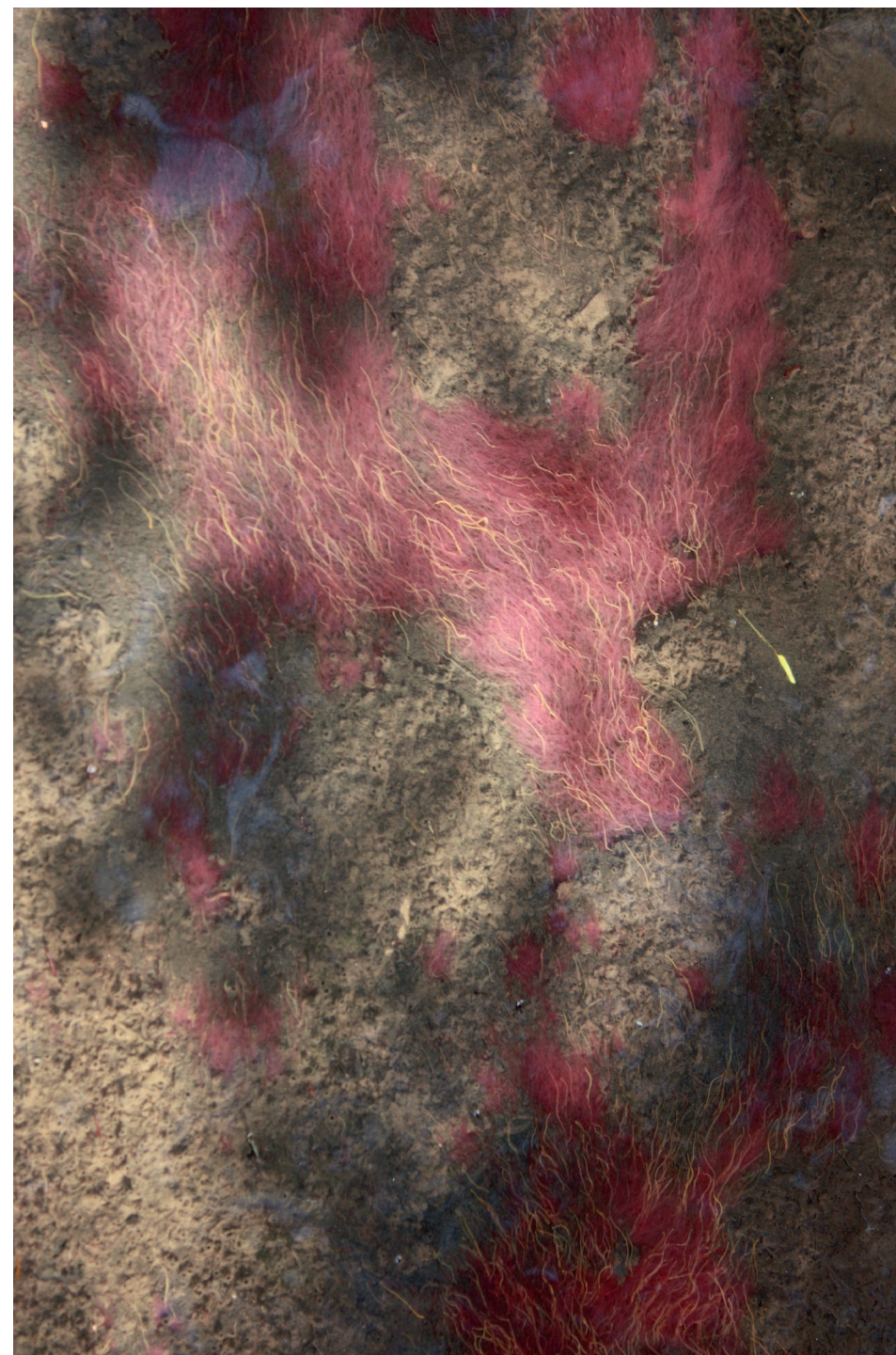
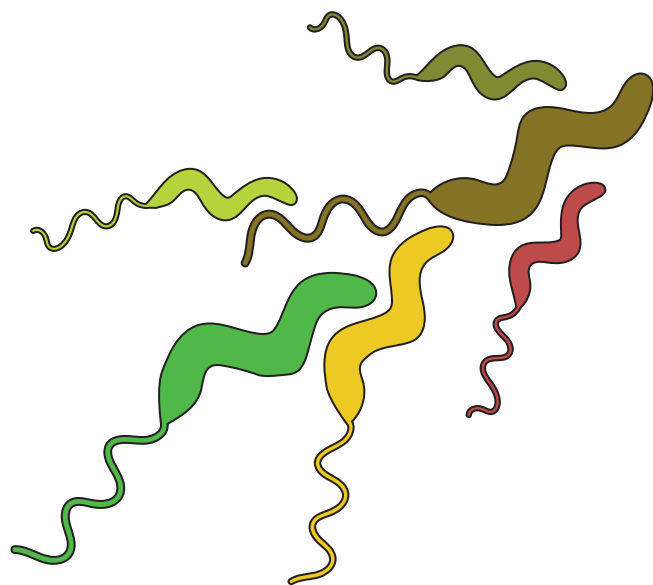
nější znečištění je v Moravském krasu způsobeno různou antropogenní činností produkující organické látky (Hübelová et al., 2017c; Malá et al., 2022; Modra et al., 2024).

Rovněž byla studována demografická situace v Moravském krasu a povodí jeho toků (Hübelová a Pavlík, 2016; Hübelová et al., 2016a,b). Také byla analyzována situace v oblasti turistického ruchu (Hübelová et al., 2017a,b) a pobytových rizik spojených s rekreací u vody (Pavlík, 2016; Pavlík et al., 2017). Při odběru vzorků jak na povrchu, tak v podzemí jsme byli vždy vedeni zkušenými pracovníky CHKO Moravský kras. Ti nám zajišťovali jejich bezpečný odběr (Geršl et al., 2017).

Četné základní poznatky o biospeleologii vycházely z výsledků systematického výzkumu prof. Absolona a dalších skupin pracovníků-speleologů (Absolon, 1970a, b; Hromas, 2009; Zajíček et al., 2021). Pro detekci a kvantifikaci přítomnosti mykobakterií v povrchových a podzemních vodách, v biofilmech, půdě, dřevitých materiálech, rostlinných zbytcích a dalších matric byly vyvinuty a adaptovány

různé konvenční a molekulárně biologické mikrobiologické metody (Ulmann et al., 2021; Fremrová et al., 2022, 2023). Díky těmto novým laboratorním postupům bylo možné získat a komplexně analyzovat výsledky ve spolupráci s odborníky z mnoha oborů: např. speleologie (Hübelová et al., 2021), geologie, hydrogeologie a environmentální toxikologie (Hübelová et al., 2017c; Modrá et al., 2017, 2018), chiropterologie (Pavlik et al., 2021b; Zúkalova et al., 2023), geografie a ekologie (Pavlik et al., 2017, 2018), epidemiologie a epizootologie (Dvorska et al., 2002; Zinsstag et al., 2011; Pavlík, 2014b; Pavlík a Hübelová, 2014; Pavlík et al., 2015; Ulmann et al., 2018; Modra et al., 2019; Pavlik et al., 2021a, 2022a, b; Ryskova et al., 2022a, b, 2023).

Díky všem těmto předešlým a nově získaným zkušenostem v oblasti mikrobiologie a ekologie mikroorganismů v Moravském krasu a jiných krasových územích mají návštěvníci možnost se seznámit často s novými poznatky.



Obr. 1: Rudě zbarvené nitěnky v Hostěnickém potoku před ponorem do Ochozské jeskyně, které se v takovém množství vyskytují pouze v bohatě organicky znečištěném sedimentu (foto I. Pavlík).

Obr. 2: Řešitelé grantu číslo 16-13231S Vodní prostředí v krasu: dopad lidských aktivit na geomykobakteriologii, Grantové agentury České republiky (2016–2018); zleva: Leoš Štefka, Antonín Tůma, Helena Modrá, Vít Ulmann, Jan Caha, Dana Hübelová, Ondřej Konečný, Jan Kudělka, Milan Geršl, Ivo Pavlík (foto I. Pavlík).



Obr. 3: Řešitelé grantu číslo 21-12719S „Mykobakterie u netopýrů a jejich role ve zdraví a nemoci“, Grantové agentury České republiky (2021–2023); zleva nahoře: Jiří Pikula, Lenka Janošiková, Michal Kotůč, Vít Ulmann, Hana Bandouchová, Michal Guba, Milan Geršl, David Čani; prostřední řada zleva: Veronika Seidlova, Jan Zukal, Ondřej Konečný, Ivo Pavlík; dolní řada zleva: Barbora Rantová, Kateřina Zukalová, Kateřina Konečná (foto I. Pavlík).



Obr. 4: Řešitelé grantu registračního čísla NU20-09-00114 Agentury pro zdravotnický výzkum, Ministerstvo zdravotnictví České republiky (2020–2023); zleva: Helena Modrá, Kateřina Konečná, Michaela Kotásková, Lenka Ryšková, Ondřej Konečný, Vít Ulmann, Dana Hübelová, Michaela Kantorová, Ivo Pavlík, Radka Bolehovská, Rudolf Kukla (foto J. Čeněk).



1. ZAPOJENÉ VÝZKUMNÉ TÝMY FINANCOVANÝCH NÁRODNÍCH PROJEKTŮ

V roce 2015 byla zahájena pilotní studie týkající se ekologie mykobakterií v Moravském krasu. Výzkum v této oblasti byl následně financován prostřednictvím tří pro nás nejvýznamnějších grantů českých grantových agentur.

1.1 GRANT GAČR (2016–2018)

V rámci řešení prvního projektu jsme začali spolupracovat s různými odborníky, kteří nám umožnili detekovat mykobakterie v prostředí a interpretovat získané výsledky. Tento projekt GAČR umožnil zásadním způsobem objasnit ekologii mykobakterií v krasovém prostředí (zejm. v Moravském a Hranickém krasu) a v povodí povrchových vodních toků. Byl zjištěn vliv zemědělské činnosti a význam lidských sídel na ekologii mykobakterií v krasovém území na povrchu i v podzemí.

Řešitelé grantu číslo 16-13231S Vodní prostředí v krasu: dopad lidských aktivit na geomykobakteriologii, Grantové agentury České republiky (2016–2018): RNDr. Leoš Štefka, RNDr. Antonín Tůma, doc. MVDr. Helena Modrá, Ph.D., Mgr. Vít Ulmann, RNDr. Jan Caha, Ph.D., doc. PhDr. Dana Hübelová, Ph.D., Mgr. Ondřej Konečný, Ph.D., Bc. Ing. Jan Kudělka, Ph.D., doc. Mgr. Milan Geršl, Ph.D. a prof. MVDr. Ivo Pavlík, CSc.

1.2 GRANT AZV (2020–2023)

Druhý grant byl zaměřen na ekologii mykobakterií a jejich zdravotního významu pro člověka. Grant AZV (Agentura pro zdravotnický výzkum Ministerstva zdravotnictví) pomohl objasnit současná rizika představovaná podmíněně patogenními mykobakteriemi v prostředí. Zásadní roli v tomto segmentu onemocnění lidí mykobakterií sehrálo zastavení plošné vakcinace BCG proti humánní TBC v roce 2010. Od té doby jsou stále častěji diagnostikovány krční lymfadenitidy u dětí a plicní mykobakterií u predisponovaných pacientů např. s cystickou fibrózou.

Řešitelé grantu registračního čísla NU20-09-00114 Agentury pro zdravotnický výzkum, Ministerstvo zdravotnictví České republiky (2020–2023): doc. MVDr. Helena Modrá, Ph.D., BSc. Kateřina Konečná, Ing. Michaela Kotásková, MUDr. Lenka Ryšková, Ph.D., Mgr. Ondřej Konečný, Ph.D., Mgr. Vít Ulmann, doc. PhDr. Dana Hübelová, Ph.D., Mgr. Michaela Kantorová, prof. MVDr. Ivo Pavlík, CSc., Mgr. Radka Bolehovská, Ph.D. a Mgr. Rudolf Kukla, Ph.D.

1.3 GRANT GAČR (2021–2023)

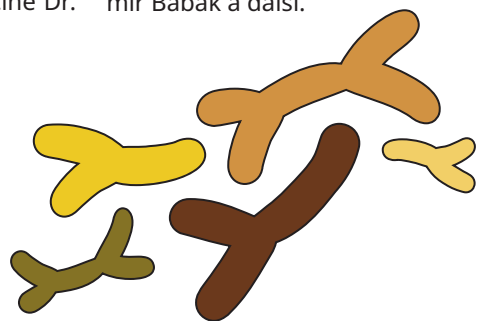
U druhého grantu GAČR se náš výzkum od roku 2021 zaměřil na netopýry a výskyt mykobakterií u nich. U netopýrů byl totiž do té doby výskyt a zdravotní význam mykobakterií zcela neznámý. Pomohl objasnit roli guána netopýrů v ekologii mykobakterií v jeskynním prostředí a roli netopýrů v šíření mykobakterií i v letních koloniích. Nejvýznamnější poznatky byly zjištěny při opakovaných odběrech vzorků guána z různých lokalit a při výzkumu deponovaného guána pod letními a zimními koloniemi netopýrů

Řešitelé grantu číslo 21-12719S Mykobakterie u netopýrů a jejich role ve zdraví a nemoci, Grantové agentury České republiky (2021–2023): zleva nahoře: prof. MVDr. Jiří Pikula, Ph.D., Ing. Lenka Janošíková, Mgr. Michal Kotůč, Mgr. Vít Ulmann, doc. MVDr. Hana Bandouchová, Ph.D., Bc. Michal Guba, doc. Mgr. Milan Geršl, Ph.D., David Čani, Mgr. Veronika Seidlová, Ph.D., doc. Mgr. Jan Zukal, Dr. MBA, Mgr. Ondřej Konečný, Ph.D., prof. MVDr. Ivo Pavlík, CSc., Ing. Barbora Rantová, Mgr. Kateřina Zukalová, Ph.D. a BSc. Kateřina Konečná.

1.4 DALŠÍ SPOLUPRACOVNÍCI

Kromě těchto členů řešitelských týmů projektů s námi ještě spolupracovali odborníci zabývající se mykologií (Dr. Radim Dobiáš), pedologové doc. Giuseppe Lo Papa, prof. Tomáš Lošák a jeho doktorand Ing. Tadeáš Hrušovský, odborníci na dálkový průzkum Země Dr. Zdeněk Patočka a Ing. Stanislav Koukal, archeologové Mgr. Zuzana Golec-Mírová, doc. Martin Golec, Mgr. Pavel Kubálek, Dr. Petr Kostrhun, doc. Sandra Sázelová a prof. Jiří Svoboda, jaderný fyzik a odborník na radiokarbonové datování Dr. Ivo Světlík, analytický chemik Dr. Pavel Mikuška, veterinární patolog doc. Miša Škorič, rentgenolog a odborník na další zobrazovací techniky ve veterinární medicíně Dr.

Pavel Proks, paleontologové Dr. Martina Roblíčková a Mgr. Aleš Plichta, zoologové Mgr. Antonín Krása, RNDr. Karel Kovařík a Dr. Miguél Ángel Garmendia Zapata, krajinní ekologové Ing. Petr Koutný a Dr. Alice Kozumplíková, odborník na lesnictví Ing. Dominik Franc, chiropterolog RNDr. Jiří Šafář, speleologové Jiří Svozil, Ing. Aleš Pekárek, Luboš Dohnal a Dr. Marco Vattano, molekulární biologové Doc. Ivan Rychlík a Dr. Ross Tim Weston, veterinární lékaři MVDr. Jan Pokorný a Dr. Petr Kříž, socioekonomický geograf prof. Petr Chalupa a humánní lékaři doc. Vladimír Koblížek, prof. Jaroslav Štěrba, MUDr. Jana Svobodová, biostatistik RNDr. Vladimír Babák a další.



1.5 MULTIOBOROVÝ VÝZKUM MORAVSKÉHO KRASU

Všichni zapojení řešitelé a spoluřešitelé získa data umožnila i díky bohaté foto-financovaných grantů a ostatní spolupracující odborníci začali vytváření skutečně mezioborový tým. Tím se podařilo analyzovat získané výsledky z mnoha úhlů pohledu. V některých případech bylo proto možné se k jednotlivým studovaným procesům vracet a nově odebrat vzorky na vyšetření.

Získána data umožnila i díky bohaté foto-dokumentační práci interpretovat výsledky v širších souvislostech. Podobný přístup byl volen mnoha týmy, přičemž za průkopníky je nutné považovat komplexní výzkumy pana Dr. Jindřicha Wankela (Wankel, 1984) a prof. Karla Absolona (Absolon, 1970a,b; Zajíček et al., 2021).



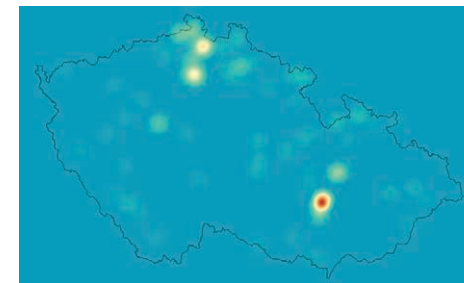
Obr. 5: Obtížný sběr vzorků v jeskyních Moravského krasu (foto V. Káňa)

2. PROČ JSME SI VYBRALI K VÝZKUMU MIKROBIOTY PŘÁVĚ MORAVSKÝ KRAS?

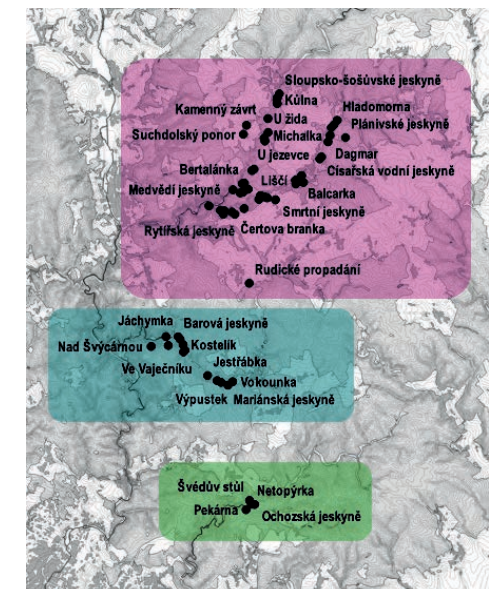
Moravský kras je unikátním rozvinutým krasovým reliéfem o rozloze více než 96 km² chráněného území. Typologicky se jedná o holokarst, tj. úplný kras se značným rozvojem povrchových i podzemních krasových jevů. Do krasového území přitéká několik povrchových vodních toků z nekrasového povodí.

Povrchová voda se na geologické hranici s devonskými vápenci téměř okamžitě prostřednictvím ponorů dostává do podzemí (Absolon, 1970a,b). Z heatmapy českých jeskyní je patrné, že jejich největší koncentrace je právě v oblasti Moravského krasu (Obr. 7). Jeskyně Moravského krasu se nachází ve všech

jeho částech, tedy v severní, střední a jižní (Obr. 8). Dle monografie Hromase (2009) se nachází v Moravském krasu více než 1100 jeskyní, z nichž jsme jich 38 při našich výzkumech navštívili a odebrali v nich vzorky na laboratorní vyšetření (nepublikovaná data).



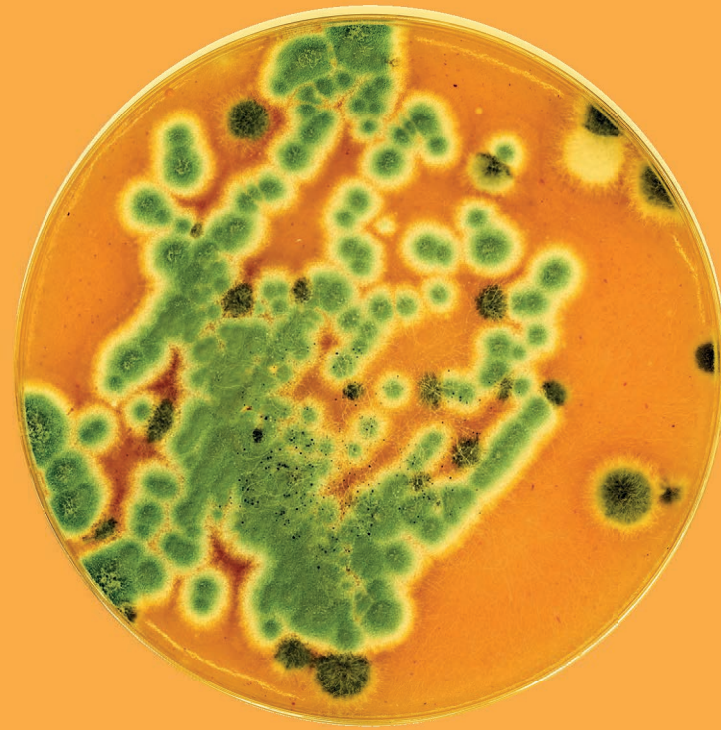
Obr. 7: Heatmapa českých jeskyní; jejich největší koncentrace je v Moravském krasu (bezplatný kartografický-GIS nástroj QGIS).



Obr. 8: Jeskyně Moravského krasu od shora v jeho severní, střední a jižní části (bezplatný kartografický-GIS nástroj QGIS).



I. ČÁST
VÝSTAVA



DISPOZICE VÝSTAVY

3. DISPOZICE VÝSTAVY

Výstava je realizována ve čtyřech oddělených prostorách:

- I. předsálí,
- II. první „malá“ výstavní místnost,
- III. druhá výstavní místnost,
- IV. třetí „velká“ výstavní místnost.

I. PRVNÍ VÝSTAVNÍ PROSTOR: PŘEDSÁLÍ

V předsálí je umístěn panel s úvodním textem a vyobrazením interiéru jeskyně s výzkumem a živočichy o rozměru 1,5×1 m. Je zde také umístěno projekční plátno s dataprojektorem, kde je realizována projekce filmové smyčky „Výzkum mikrobioty Moravského krasu“ beze zvuku. Lem dveří je vchodem do jeskyně a laboratoře s panelem po levé straně na téma Jeskynní prostředí. V pultové vitrině jsou ukázky sedimentů, kostních pozůstatků, organických materiálů, sintrů a bioty jeskyní i povrchu včetně ponorů vývěrů s popisky.

II. DRUHÝ VÝSTAVNÍ PROSTOR: PRVNÍ „MALÁ“ VÝSTAVNÍ MÍSTNOST

Ve druhém prostoru (první „malá“ výstavní místnost) je umístěno 6 panelů o rozměrech 1×1 m s následujícími tématy:

1. Anotace, autoři a popis výstavy.
2. Moravský kras.
3. Biota jeskyní a toků (ryby, paraziti, řasy, bezobratlí živočichové, žížaly, netopýři a další).
4. Vliv člověka na prostředí: odpadní vody, vstupy, stavby, zemědělství a lesní hospodářství na povrchu.
5. Výskyt mikroorganismů a patogenů v podzemí v závislosti na biotě a činnosti člověka.

6. Jeskyně jako přirozená čistírna organicky kontaminovaných vod a zároveň „konzervou“ biologických informací časových dat.

Je zde umístěna vitrina s ukázkami vybavení a techniky pro terénní výzkum a pro správnou jeskynní praxi. Je zde k dispozici simulace odběru vzorků v jeskyních pro kultivaci na přítomnost mikroorganismů a popiskami. Je zde také umístěn plastový box se sedimentem a nástroji k odběru (interaktivní exponát).

III. TŘETÍ VÝSTAVNÍ PROSTOR: DRUHÁ VÝSTAVNÍ MÍSTNOST

Třetí výstavní prostor (druhá výstavní místnost) je věnován následujícím 5 tématům výstavy:

1. **Drobný život v krasu a v jeskyních je přiblížen interaktivními exponáty.** Vždy je k dispozici stůl, dvě židle, mikroskop, panel, preparační nástroje a trvalé preparáty k prohlížení (návštěvníci používají mikroskop sami pod dohledem). Na panelu jsou mikro a makrofotografie, které jim umožňují se seznámit s konkrétní biotou, která se v prostředí Moravském krasu vyskytuje.
2. **Mykobakterie a jejich ekologický význam jsou přiblíženy u druhého interaktivního stanoviště:** stůl, židle, ukázky různých typů mikroskopů a jiných přístrojů (jen na ukázkou), klávesnice k ovládání obrazovky/monitoru na panelu. Klávesnicí si posouvají návštěvníci prezentaci s vyobrazením mykobakterií, jejich výskytu, následků, výzkumu atd. K dispozici je také obrazová prezentace v programu Power Point (PPT), k dispozici jsou modely mykobakterií, obrazově-textový panel s vysvětlením biologie



Obr. 9: První až čtvrtá výstavní prostora (foto I. Pavlík).

mykobakterií a pěknými fotkami včetně schématu stavby těla mykobakterií a obecně bakterií.

3. Transport mikroorganismů v prostředí jeskyně je demonstrován ve vitrině s mumiiemi zvířat, kostmi, tkáněmi, sedimenty a guánem. Na stěnách jsou panely přibližující jeskynní výskyt žízá, netopýrů a dalších živočichů, kteří mají funkci vektorů mikroorganismů. Je zde také názorně ukázán rozklad organické hmoty včetně saprofágů a jiných destruentů organické hmoty (všechny exponáty jsou sterilizovány gama zářením; jsou tedy pro návštěvníky bezpečné).

4. Vztah odpadních vod a jeskynní a cirkulace vody v jeskyních je demonstrována u dalšího interaktivního stanoviště: stůl, židle, mikroskop, preparační nástroje, pracovní bílé pláště, jednorázové rukavice různých velikostí a další ochranné prostředky umožní bezpečnou práci při odběru vzorků vody, senného nálevu s prvky a dalšími mikroorganismy, vodních řas (materiál odebraný z vývěru Jedovnického potoka) apod. Návštěvníci sami mikroskopují připravené dočasné preparáty. Na stěnách je obrazově textový panel zaměřený na téma čistoty vody, hygieny, hospodaření s odpadem a negativní vliv na jeskynní prostředí.

5. Fosilní svět pod mikroskopem, změny klimatu, osídlení a bioty jsou dokumentované přítomností mikroorganismů. K dispozici je zde další interaktivní stanoviště: vitrina s fosiliemi (kosti z období pleistocénu a holocénu, makrofauna a mikrofauna z jeskynního prostředí s popisky). Na stěnách je obrazově-textový panel s vysvětlením úlohy mikrofauny při paleoklimatickém výzkumu. Jsou zde fotografie drobných zemních savců (především hlodavců) a netopýrů. Výzkumnou práci spojenou s od-

běrem vzorků si mohou návštěvníci přímo sami vyzkoušet. K dispozici je stůl, dvě židle, preparační binokulární mikroskop, vzorky mikrofauny (nedůležité ke zničení připravené vzorky pro návštěvníky na osobní vyzkoušení při jejich odběru).

IV. ČTVRTÝ VÝSTAVNÍ PROSTOR: TŘETÍ „VELKÁ“ VÝSTAVNÍ MÍSTNOST

Čtvrtý výstavní prostor (třetí „velká“ výstavní místnost) je věnován komplexnímu pohledu z pěti úhlů pohledů na ekologii krasového území se všemi ději na povrchu a v jeho podzemí.

Na stěně je umístěn velký poster, který je koláží mikroskopických snímků mykobakterií a plísní a čtyři panely v závěsech s kazuistikami patogenních a podmíněně patogenních mikroorganismů (modelově jsou vybrány mykobakterie). Je zde vysvětlen jejich zdravotní význam jak pro člověka, tak pro zvířata. Z pohledu bezpečnosti pobytu v jeskynním prostředí a na povrchu krasového území jsou představeny závěry založené na výsledcích výzkumu, který probíhal za aktivní účasti pracovníků Muzea Blanenska. Je zde doporučeno, jak se v tomto prostředí chovat bezpečně, a kterým rizikovým aktivitách se v Moravském krasu vyhnout (např. nepít žádnou vodu, která vytéká z podzemí).

Jsou zde umístěny vitríny s dalšími přístroji a technikou, která je citlivá na poškození (nebude volně k dispozici návštěvníkům).

Na protilehlé stěně od vchodu do místnosti je umístěno plátno, na kterém je promítán souhrnný dokument o průběhu a výsledcích mikrobiologického výzkumu v Moravském krasu.

Také zde najdeme poslední interaktivní stanoviště s hrou, která umožňuje formou skládačky kompletovat kolonie bakterií různých tvarů.

4. MAPA VÝSTAVNÍHO PROSTORU

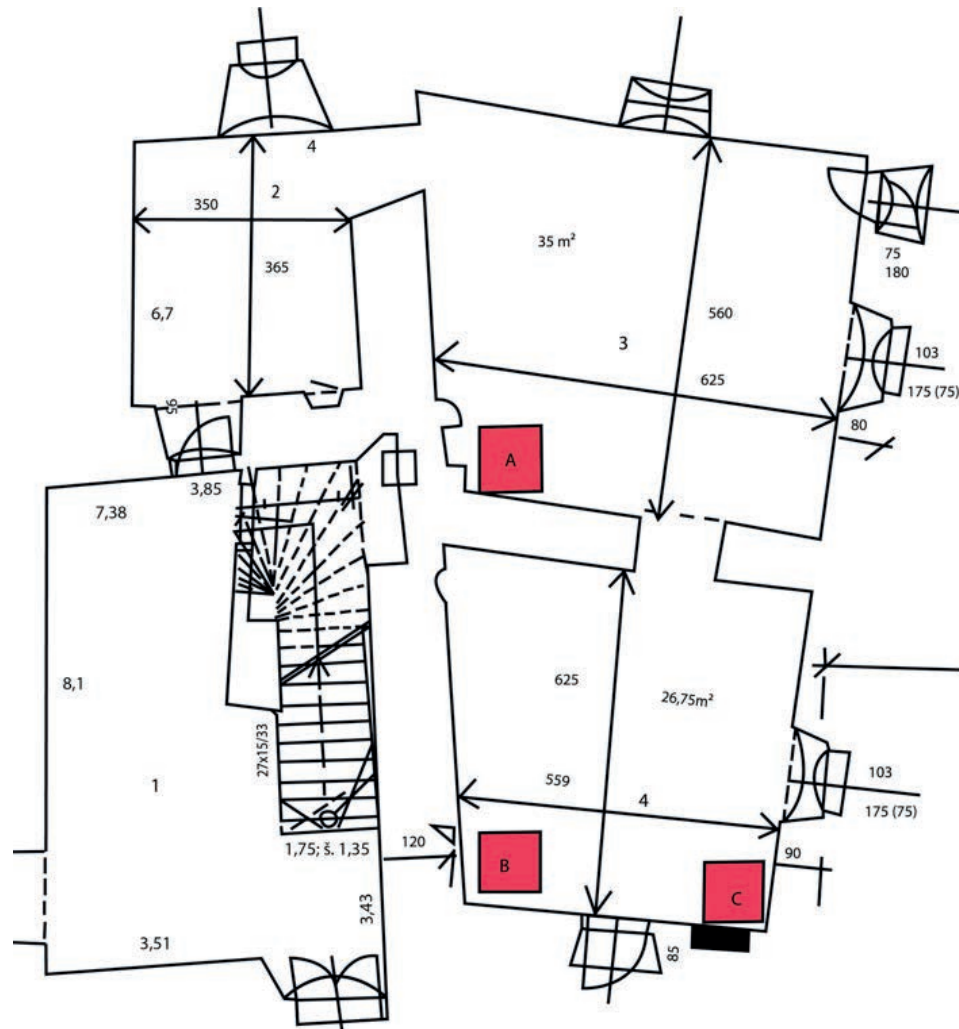
K instalaci sezónních výstav (jeden až sedm měsíců trvání) užívá Muzeum Blanenska tři prostory v budově blanenského zámku:

1. Audiovizuální místnost v přízemí severního křídla budovy.
2. Historické sklepení, což je specifická výstavní prostora s neregulovaným klimatem.
3. Malou výstavní síň, která se skládá z předsíně a tří vzájemně propojených místností; tyto výstavní prostory se využívají pro instalaci většiny sezónních výstav včetně této prezentované výstavy (Obr. 10: Plán půdorysu čtyř výstavních prostor).

Mobiliář Muzea Blanenska byl doplněn za účelem této výstavy laboratorními stoly a židlemi (kulatá sedátka, která jsou výškově stavitelná bez opěradla s pojezdem). Záměrem výstavy je totiž evokace prostředí reálné laboratoře s možností rozsáhlých interaktivit návštěvníků. Instalované laboratorní stoly, židle, jakož i vybavení pro interaktivní složku výstavy tvoří jednotný celek. Jsou to: Žákovský mikroskop, binokulární a monokulární preparační lupa, laboratorní pomůcky pro přípravu mikroskopických preparátů, notebook, LCD monitor, místní osvětlení, vzorky přírodnin a preparátů pocházejících z prostředí Moravského krasu, hotové mikroskopické preparáty a další.

Všechny tyto čtyři výstavní prostory jsou vybaveny závěsným systémem a bodovým stropním osvětlením. Kromě tří napevno instalovaných vitrín (A, B, C; půdorys Malých výstavních prostor) je v každém prostoru k dispozici velké množství elektrických zásuvek, stojací i pultové (stolové) vitríny různých typů, které lze umístit variabilně dle potřeby. Rozměry těchto čtyř prostor jsou 30 m², 12 m², 35 m² a 27 m². Okna a dveře spojující místnosti a obslužný sklad tvoří další stabilní prvek, který byl do architektury výstavy zakomponován.

Toto vybavení slouží během výstavy a následně bude také sloužit při výukových programech, které jsou zaměřeny na přírodu Moravského krasu a blanenského okolí. Ve čtvrtém výstavním prostoru (třetí výstavní místnost) je promítací plátno s projektorem. Pro účely výstavy Moravský kras pod mikroskopem bylo vybavení doplněno instalací funkčních a „běžících“ přístrojů využívaných při laboratorní práci pro výzkum mikroorganismů včetně bakterií a plísní.



Obr. 10: Plán půdorysu čtyř výstavních prostor Muzea Blanenska označených 1-4. Červeně jsou označeny tři velké prosklené vitríny (A, B, C), které jsou instalovány napevno bez možnosti přesunu (obrázek archiv Muzea Blanenska).

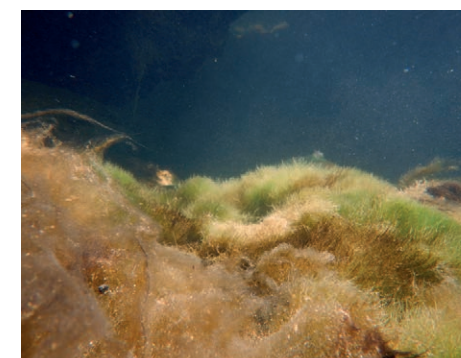
5. KONCEPCE VÝSTAVY

S ohledem na zamýšlenou koncepční výstavu s novým pohledem na mikrobiotu v krasovém prostředí jsme přistoupili k její přípravě také komplexně.

Protože se výstava nachází ve čtyřech výstavních prostorách, přistoupili jsme k jejímu sestavení vždy ze čtyř různých úhlů pohledů.



KONCEPCE VÝSTAVY



Obr. 11: Letecký pohled na Olšovec (foto I. Pavlík).

Obr. 12: Podzemí v Šošůveckém koridoru (foto I. Pavlík).

Obr. 13: Řasy ve vývěru Jedovnického potoku z Býčí skály (foto I. Pavlík).

Obr. 14: Pstruh obecný v Jedovnickém potoku v Nové Býčí skále za Sifonem dřiny (foto I. Pavlík).

VE SVÉ PODSTATĚ JSME STUDOVALI ČTYŘI RŮZNÉ SVĚTY:

1. povrch krasového území,
2. podzemí krasového území s jeskyněmi,
3. podvodní prostředí na povrchu krasového území,
4. podvodní prostředí v jeskyních.

ZAMĚŘILI JSME SE NA ČTYŘI NEJDŮLEŽITĚJŠÍ ZPŮSOBY PŘENOSU MIKROORGANISMŮ DO JESKYNNÍHO PROSTŘEDÍ:

1. přitékající povrchovou vodou do podzemí různými ponory,
2. přinášené vzduchem a prachem z povrchu,
3. přinášené různými druhy živočichů včetně člověka,
4. přinášené prorůstajícími kořeny stromů z povrchu do jeskynního prostředí.

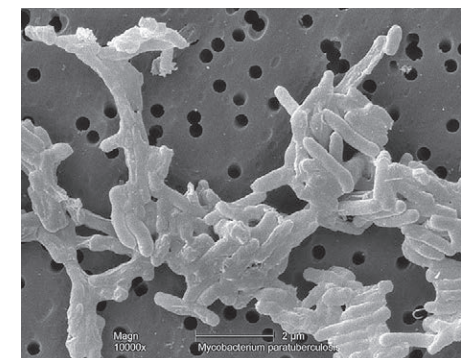


Obr. 15: Sedimenty z rybníku Dymák přinášené Jedovnickým potokem do ponoru Rudického propadání (foto I. Pavlík).

Obr. 16: Prach zachycený v pavučinách v ponoru Sloupského potoka ve Starých skalách (foto I. Pavlík).

Obr. 17: Sloupský potok ve Staré Amatérské jeskyni (foto I. Pavlík).

Obr. 18: Kořenový stalagmit v Barové jeskyni (foto I. Pavlík).



Obr. 19: Žížalince v Nové Amatérské jeskyni (foto I. Pavlík).

Obr. 20: *Mycobacterium paratuberculosis*, zvětšeno 10 000× (foto V. Beran).

Obr. 21: Porada a interpretace výsledků v Domu přírody (Skalní mlýn) Moravského krasu (foto I. Pavlík).

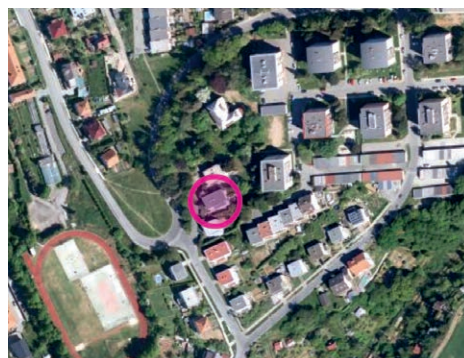
Obr. 22: Archeologové v Předsíni Nové Býčí skály (foto I. Pavlík).

POUŽILI JSME ČTYŘI RŮZNÉ PŘÍSTUPY K VÝZKUMU MIKROBIOTY A INTERPRETACI VÝSLEDKŮ:

1. pozorování v týmu složeném z různých odborníků,
2. laboratorní vyšetřování klasickými a novými metodami (např. elektronová mikroskopie nebo detekce DNA),
3. interpretace výsledků v širokém týmu odborníků,
4. široká spolupráce s odborníky různých oborů.

SNAŽILI JSME SE STUDOVAT A PROPOJIT ČTYŘI NEDJÚLEŽITĚJŠÍ TĚMATA NAŠEHO VÝZKUMU:

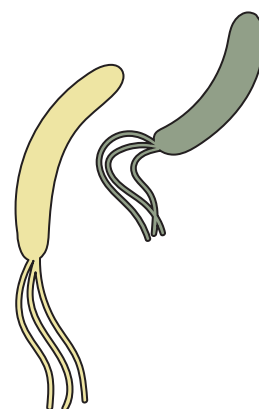
1. studium ekologie v nejširším slova smyslu,
2. studium biospeleologie se zaměřením na mikroorganismy ze skupiny bakterií (zejména zaměření se na zástupce rodu *Mycobacterium*),
3. studium epidemiologie mykobakteriálních infekcí (zejména tuberkulózy ptáků a tuberkulózy drobných zemních savců a mykobakterióz u zvířat a člověka),
4. demografii a turismus v krasovém území a v povodí jeho vodních toků.



Obr. 23: a), b) Odpadní vody pod obcí Habrůvka vtékající do ponoru Habrůveckého potoka (foto I. Pavlík).

Obr. 24: Kostí jeskynního medvěda a guáno od vrápence malého v Barové jeskyni (foto I. Pavlík).

Obr. 25: Došetřování zahrady a okolí domku dětského pacienta s mykobakteriózou krčních mízních uzlin (foto Mapy.cz).



Obr. 26: Prof. Karel Absolon používal ve svých výzkumech především metod světelné mikroskopie (Absolon, 1970a, b); jeho pracovna v Moravském zemském muzeu v Brně (foto I. Pavlík).

Obr. 27: Plošina Harbechy s četným závrtvy a s možným výskytem zajímavých druhů mykobakterií (foto S. Koukal).

Obr. 28: Dokumentace odběru vzorků v Nové Amatérské jeskyni (foto L. Štefka).

Obr. 29: Přednáška ve VIDA Science centrum, Brno, 16. 10. 2023 (foto I. Pavlík).

MĚLI JSME ČTYŘI HLAVNÍ CÍLE PRO OBJASNĚNÍ NÁSLEDUJÍCÍCH OTÁZEK:

1. novými laboratorními a dalšími metodami, které neměl v minulém století prof. Karel Absolon (1970a, b; Zajíček et al., 2021), prozkoumat území Moravského krasu,
2. pokusit se najít předchůdce mykobakterií, resp. evolučně nejstarší známé druhy mykobakterií (např. zástupci komplexu *Mycobacterium tuberculosis*),
3. objasnit historii výskytu mykobakterií v jeskyních jak v současných sedimentech, tak v sedimentech obklopujících archeologické a paleontologické nálezy,
4. srozumitelně sdělit výsledky co možná nejširší veřejnosti.

VÝSTAVA VYUŽÍVÁ CELKEM ČTYŘI RŮZNÉ POSTUPY K PREZENTACI VÝSLEDKŮ:

1. názorné panely různých velikostí s fotodokumentací a stručnými komentáři,
2. krátká videa dostupná prostřednictvím QR kódů umístěných na jednotlivých panelech,
3. trojrozměrné objekty, kterými jsou jak laboratorní přístroje, tak kultivační media, preparáty pro mikroskopická vyšetření a další včetně prostorových modelů bakterií,
4. zasněžené průvodce.



Obr. 30: Jeden z názorných posterů výstavy (foto V. Káňa a J. Pernes).

Obr. 31: Kráter Santiago sopky Masaya, Nikaragua (foto I. Pavlík).

Obr. 32: Světelný mikroskop pro praktické použití (foto I. Pavlík).

Obr. 33: Zasněžený průvodce Mgr. Káňa při práci (foto I. Pavlík).



Obr. 34: Porada v Nové Amatérské jeskyni před odběrem vzorků (foto L. Štefka).

Obr. 35: I skapová voda je riziková; kelímky v jeskyních v Rudickém propadání přitom přímo vybízí k pití této, často různými mikroorganismy kontaminované, vody (foto I. Pavlík).

Obr. 36: Podvodní záběr pstruha potočního s přísátou chobotnatkou před hřbetní ploutví. Tento nález v Jedovnickém potoce ve Velké síni Nové Býčí skály byl velkým překvapením (foto I. Pavlík).

Obr. 37: Jen zasněžený průvodce (např. V. Káňa) je schopen upoutat pozornost mladých návštěvníků (foto I. Pavlík).

VŠECHNY VÝŠE UVEDENÉ ČTVEŘICE ZÁMĚRŮ MÍŘÍ NA ZÁVĚR KE ČTYŘEM CÍLŮM VÝSTAVY:

1. přiblížit srozumitelnou formou široké veřejnosti všech věkových kategorií současné výsledky výzkumu mikrobiálního světa krasového prostředí,
2. s ohledem na potenciální zdravotní rizika představované mikrobiálně kontaminovaných složek prostředí vybudovat v návštěvnických respekt k těmto rizikům,
3. otevřít mysl a fantazii návštěvníků novým a často nečekaným zážitkům,
4. přimět mládež odložit prakticky nepřežitě používané mobilní telefony.



II. ČÁST
EXPOZICE

6. EXPOZICE

Exponáty výstavy jsou umístěny ve čtyřech výstavních prostorách o celkové ploše více než 100 m².

V expozici výstavy byly umístěny exponáty, které přibližují výzkum v Moravském krasu a ukazují různé nálezy, které byly v průběhu více než 20 let učiněny. Jsou zde vystaveny i mumie různých uhynulých živočichů, které je možné vidět na panelech živé v různých životních situacích. Prostory mají za cíl ve všech svých částech přiblížit jak makrosvět, tak i mikrosvět území Moravského krasu.



Obr. 38: Jen zanícený průvodce (např. vpravo stojící V. Káňa) je schopen upoutat pozornost mladých návštěvníků (foto I. Pavlík).

6.1 PRVNÍ VÝSTAVNÍ PROSTOR V PŘEDSÁLÍ: REÁLNÉ VZORKY PROSTŘEDÍ PRO MIKROSKOPICKÁ VYŠETŘENÍ

V prvním výstavním prostoru jsou na stěnách tři obrazově-textové panely přibližující krasové území, výsledky laboratorních vyšetření a návod, jak pracovat s reálnými vzorky.

Ty jsou k dispozici na třech nízkých pracovních stolcích se stoličkami. Na nich jsou umístěny tři plastové kontejnery s reálnými vzorky půdy, lesní hrabanky, jeskynního sedimentu a vody z vývěru Býčí skály. Na čtvrtém pracovním stolku se stoličkami jsou k dispozici ochranné rukavice, pinzety, odběrové nádobky, Petriho misky a další laboratorní vybavení pro práci se vzorky. Nad nimi je umístěn

instruktažní panel pro práci s těmi vzorky a bezpečnost, kterou je doporučeno dodržovat. Vpravo je umístěna prosklená vitrína se vzorky odběrových nádob a ochranných pomůcek. V průčelí místnosti je na monitoru zabudovaném do stěny promítána videosmyčka o Moravském krasu, která je jen motivační, bez mluveného slova, pouze se stručným textovým komentářem.



Obr. 39: V prvním výstavním prostoru, v předsálí, se nachází nádoby s reálnými vzorky odebranými v Moravském krasu (Býčí skála): od shora je to v nádobě voda z vyvěrajícího Jedovnického potoka, půda ze vstupního portálu, lesní hrabanka, kůra a mechy z okolí Býčí skály (foto I. Pavlík).



Obr. 40: Jeskynní sedimenty ze vchodu jeskyně Býčí skála je možné odebrat pinzetou, která je určená pro odběr vzorků tohoto organického materiálu na následující mikroskopické vyšetření. Vzorky sedimentu i hrabanky jsou bezpečné (neškodné pro člověka), přesto je manipulace s nimi ryze dobrovolná, na vlastní riziko a doporučená s ochrannými pomůckami (k dispozici jsou jednorázové rukavice). Ve vzorkovnici (sputovce s červenými víčkem) je možné vzorky přenést na následné mikroskopické vyšetření (foto I. Pavlík).



Obr. 41: V průčelí prvního výstavního prostoru je monitor s promítaným krátkým dokumentárním filmem o Moravském krasu (Tajemství jeskyní Moravského krasu, autoři I. Pavlík, I. a P. Jetelina), vpravo se nachází skleněná vitrína s ukázkou odběrových nádob na tekuté a pevné vzorky a úvodní panel s červenými nitěnkami a koláž záběrů výsledků laboratorních vyšetření mikroorganismů. (foto P. Komínková).

Obr. 42: Vitrína s ukázkou odběrových nádob na tekuté a pevné vzorky (foto I. Pavlík).



Obr. 43: a), b) Pro odběry vzorků jsou také k dispozici jednorázové plastové Petriho misky, sputovky s červenými víčky (foto I. Pavlík).

Obr. 44: a), b) Pro odběr většího množství tekutin jsou k dispozici jednorázové plastové nádoby s modrým uzávěrem a pro odběr malého množství vzorků např. pro izolaci DNA jsou připravené igelitové jednorázové sáčky se žlutým zipem a Eppendorfkvy o objemu 1 ml (foto I. Pavlík).



Obr. 45: Postava speleologa ve speciálním ochranném oděvu (tzv. overalu) před vitrinou s mumifikovanými kadávery zvířat, které byly při výzkumech objeveny v různých jeskyních Moravského krasu. Na stěně v pozadí je v Býčí skále zachycen chiropterolog V. Káňa, který stojí pod největší kolonií hibernujících netopýřů vrápenců malých v Moravském krasu (foto I. Stejskal).

6.2 DRUHÝ VÝSTAVNÍ PROSTOR: ÚVOD DO TÉMATU VÝSTAVY

Tato místnost je úvodem do tématu výstavy. Na obrazových panelech se stručným textem je uvedeno, jak a proč se drobné organismy v Moravském krasu vyskytují a jak a proč je zkoumáme. Místnost je klasickou výstavou bez interaktivních prvků.

Levou stranu a čelo zaujímají čtyři panely 1 × 1 m s obrazem a textem, který přibližuje život v jeskyních. Pod oknem je umístěná celoskleněná soklová vitrína s pomůckami pro sběr mikroorganismů, jiných vzorků a dat z jeskyní.

Po pravé straně je umístěna pultová (stolková) vitrína s dvojitým panelem (220 × 100 cm) s následujícími exponáty: mumifikovaná kočka, mumifikovaná kuna a mumifikovaní netopýři velcí, rezaví, brvití, ušatí a další druhy. Jsou zde vystaveny také vzorky půdních sedimentů, žížalové hlíny, guáno a zbytky hmyzu po požití netopýří, vzorek dřeva naplaveného do jeskyně a vzorky sedimentů (kulmské valouny).

Ve vitríně jsou také umístěny kosti netopýřů z jeskyně Býčí skála a z komína Centrál v Býčí skále datované radio-

karbonovou metodou do vrcholného středověku. Kostí netopýřů z Kateřinské jeskyně byly datovány rovněž radiokarbonovou metodou, která určila jejich stáří 8 300 let. Ve vitríně jsou pro názornost umístěny také jednorázové odběrné nádoby, sáčky, Eppendorfy, přístroje zaznamenávající teplotu a vlhkost a pomůcky pro odběry vzorků: ochranné štíty a rukavice.

Vedle panelu, který zobrazuje interiér jeskyně, je vpravo umístěna figurína jeskyňáře v ochranném obleku s přilbou, respirátorem a rukavicemi. Všechny tyto ochranné prostředky chrání jeskyňáře před infekcemi závažnými patogeny. Jednoduché dioráma jeskyně se speleologem evokuje práci v jeskynním prostředí.



Obr. 46: Kost velkého savce, která byla nalezena v jeskynním prostředí (foto I. Pavlík).



Obr. 50: Před vchodem do třetí výstavní místnosti je vlevo pod oknem vitrína jak s odběrovými nádobami na vzorky, tak i transportní box pro transport chlazených vzorků (foto P. Komínková).

Obr. 51: Kostí a zbytky měkkých tkání netopýřů byly také nalezeny v jeskyních (foto I. Pavlík).

Obr. 47: a), b) Ve vitríně jsou uloženy dvě mumie: vlevo kočky domácí (*Felis catus*) a vpravo kuny skalní (*Martes foina*), které byly nalezeny při výzkumných aktivitách v Moravském krasu (foto I. Pavlík).

Obr. 48: a), b) Exponáty vlevo přibližují sběr kostí drobných savců, které pomáhají zlepšit poznání změn klimatu v minulosti. Exponáty vpravo jsou fosilní kosti mláďat netopýřů z jeskyně Býčí skála, které byly datované radiokarbonovou metodou do počátku čtrnáctého století našeho letopočtu. To je významným svědectvím o teplém klimatickém výkyvu v období tzv. středověkého klimatického optima. V té době byla průměrná teplota výrazně vyšší, než je v dnešním Moravském krasu (foto I. Pavlík).

Obr. 49: Detailní záběr na laboratorní materiál používaný při odběrech vzorků v terénu a jejich transportu do laboratoře (foto I. Pavlík).



Kostí a zbytky měkkých tkání netopýřů uhynulých v jeskyních Býčí skála, Piková Dáma a dalších

Kadávery netopýřů z letní kolonie na půdě kostela Jména Panny Maria ve Křtinách



6.3 TŘETÍ VÝSTAVNÍ PROSTOR: LABORATOŘ BIOSPELEOLOGA A MIKROBIOLOGA

Tato prostora je koncipována jako laboratoř biospeleologa a mikrobiologa. Tři laboratorní stoly s židlemi nabízí interaktivní přístup k tématu. Zde si návštěvníci sami mohou prohlédnout preparáty a také zde probíhají práce v rámci výukových programů.

Stůl 1 je s notebookem, obrazovkou, mikroskopem s trvale umístěným preparátem mykobakterií a dalšími pomůckami a přístroji. Tyto exponáty jsou pouze k nahlédnutí. Notebook je k dispozici pro přehrávání prezentace s fotografiemi a filmů s tematikou výstavy (na velké obrazovce). Do mikroskopu je možné nahlédnout. Je v něm trvale umístěn mikroskopický preparát s mykobakteriemi. Zde návštěvníci nepracují sami.

Stůl 2 je se školním světelným mikroskopem, binokulární preparační lupou, monokulární lupou a kapesními lupami. Jsou zde k dispozici trvalé preparáty, je zde i možnost vytvoření vlastního preparátu. Jsou zde k dispozici ukázky různých přírodnin pocházejících z Moravského krasu.

Stůl 3 je s binokulárním mikroskopem, světelným mikroskopem a ukázkami přístrojů, které se nezapínají. Jsou zde i přírodniny a vzorky pro výukové programy (ostatní návštěvníci si je jen prohlíží).

Uprostřed místnosti je interaktivní skříňka modelů bakterií a nachází se zde i zvětšený model chvostoskoka rodu *Folsomia*. U stěny stojí stálá vitrína s ukázkou historického mikroskopu a s modely mykobakterií. V dalších vitrínách jsou různé biologické vzorky půdy, trouchnivé dřevo, mumie lišky a lasičky, jeskynní brouci apod. Na podstavcích jsou ukázky přístrojů používaných k výzkumu mikroorganismů, je zde postaven nezapojený termostat, který

slouží jako zásobník materiálů a pomůcek pro interaktivní program.

Na stěnách je celkem 7 panelů s textem a obrazovým materiálem. Jsou zde fotografie mykobakterií, netopýrů a dalších živočichů. Je porovnávána jejich velikost s velikostí mikroorganismů. Dva panely jsou rozměrů 1 × 1 m a 6 panelů je rozměrů 70 × 100 cm.

V jednotlivých vitrínách je vystavena entomologická krabice s jeskynnými brouky, dřevěný trouch z jeskyně, plodnice hub z jeskyně, kosti savců z jeskyně a kostra lišky z jeskyně. Z laboratorních pomůcek jsou vystaveny Petriho misky, preparační pomůcky a odběrové nádoby. K dispozici jsou návštěvníkům čtyři sady trvalých preparátů, čtyři sady pro přípravu dočasných preparátů, dvě pěti kusové sady sestavitelných interaktivních modelů bakterií se spojovacími čepky, dva modely mykobakterií ve vitríně a historický mikroskop z přelomu 19. století.

Z laboratorních přístrojů je vystaven starší typ světelného mikroskopu s optikou umožňující prohlížení mikroskopických preparátů při maximálním zvětšení 400×. Při tomto zvětšení jsou již patrné a dobře zobrazeny buňky bakterií. Odběrová a transportní brašna slouží k déle doběmu uchování odebraných vzorků při konstantní teplotě, kterou lze regulovat přidáním mrazících bloků, nebo naopak chemických generátorů

Obr. 52: Zvětšené modely bakterií (autor modelu R. Šujan) se spojují pomocí spojovacích čepů dle návodných mikrofotografií skutečných bakterií vyskytujících se v prostředí samostatně nebo ve shlucích (foto I. Pavlík).

tepla. Vzorky pevných matric jsou odebrány do odolných dobře uzavíratelných kontejnerů. Normovaná láhev je standardně určená k odběru tekutých vzorků, nejčastěji vody. Analytické váhy slouží v laboratoři k hmotnostní kvantifikaci vzorku a dále k navážení složek kultivačních médií a roztoků pro předpřípravu odebraných vzorků. Speciální termoregulační vodní lázeň se uplatní při posouzení vlastností bakterií (mykobakterií): při jejich přežití a jejich využívání živin z pro-

středí. Kultivace v tekutém médiu při regulaci teploty slouží k detekci produkce enzymů a schopnosti degradace uhlíkatých molekul, jako zdrojů stavebního materiálu a energie.

K dispozici jsou návštěvníkům preparáty motýlích křídel, preparáty raků signálních, kosti drobných hlodavců, vzorky vody z jeskyní a povrchových toků, napěstované kultury plísní a bakterií na agaru, ochranné pomůcky a preparační pomůcky pro práci se vzorky.



Obr. 53: V. Káňa (kurátor výstavy) drží v ruce otevřenou Petriho misku s fosilními kostmi netopýřů, které jsou určeny pro mikroskopické vyšetření pomocí vlevo stojícího světelného mikroskopu (foto I. Stejskal).



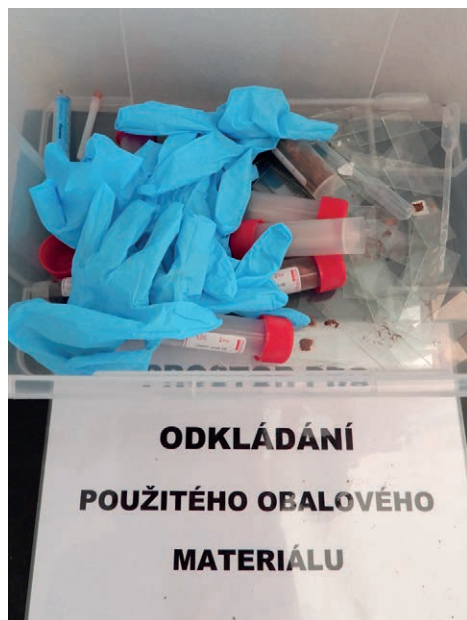
Obr. 54: Ve vitrině je vystaven kadáver (mršina) lišky obecné (*Vulpes vulpes*), který je rozkládán bakteriemi a houbami (plísněmi). Součástí expozice jsou i jednorázové odběrové nádoby (láhve s modrým víkem a sputovky s červenými víčky) a jednorázové igelitové sáčky se žlutým uzavíratelným lemem (foto I. Pavlík).



Obr. 55: V další výstavní místnosti je promítán 20 min. dokumentární film o vodě v Moravském krasu a její cirkulaci na povrchu a v podzemí (foto I. Stejskal).



Obr. 56: Vlevo vidíme ochranné pracovní oblečení do laboratoře včetně ochranného plexisklového štítu na obličeji, vpravo vitrínu s různými exponáty (foto I. Pavlík).



Obr. 57: Nádoba na odkládání použitého jednorázového materiálu: gumových rukavic, sputovek, pipet, podložních sklíček a podobně (foto I. Pavlík).



Obr. 58: Model vnějšího tvaru mykobakterie byl zhotoven podle snímků z elektronového mikroskopu, zvětšeno 400 000x; autor modelu R. Šujan (foto I. Pavlík).



Obr. 59: Laboratorní stůl se židlí, která umožňuje návštěvníkům si blíže prohlédnout připravené vzorky na vyšetření, mikroskopy s příslušenstvím a extraktorem tuků (foto I. Pavlík).



Obr. 60: Vlevo je vystavena preparační binokulární lupa s příslušenstvím a biologickým materiálem na Petriho miskách používaná k výzkumu kostí a zubů drobných obratlovců, hmyzu a jeskynních korýšů. Vpravo je umístěn extraktor tuků (foto I. Pavlík).



Obr. 61: Na laboratorním stole jsou na černé podložce umístěné jednorázové nádoby (sputovky), pinzety, nůžky a další příslušenství potřebné k práci s mikroskopem. Současně jsou ve skleněných Petriho miskách různé velikosti umístěny fosilní kosti netopýrů, které umožnily matovat klimatické změny v Moravském krasu (Býčí skála) v prehistorickém a historickém období. Vpravo jsou umístěny lebky různých savců. V obdélníkové krabici jsou vrstvy štěrku a hlíny s kostmi různého stáří z Býčí skály. Jsou kronikou života ve vchodu do jeskyně za posledních asi 10 tis. let (foto I. Pavlík).



Obr. 64: Historický světelný mikroskop z přelomu 19. a 20. století s přirozeným zdrojem světla přiváděného do mikroskopu prostřednictvím polohovatelného zrcátka pod pracovním stolem mikroskopu (foto I. Pavlík).



Obr. 62: Tělo mumifikovaného netopýra velkého na Petriho misce určeného k dalšímu vyšetřování (foto I. Pavlík).



Obr. 63: Vlevo je příruční stolek s jednorázovými nádobami s vodou pocházející z Jedovnického potoka vytékajícího z Býčí skály, vpravo dole je vystavena laboratorní centrifuga a nad ní jeden z odborných panelů (foto I. Pavlík).



Obr. 65: Mumie lišky obecné (*Vulpes vulpes*) nalezené v Jeskyni mrtvého netopýra (foto I. Pavlík).

Obr. 66: Vzorok organického materiálu jsou z prostředí jeskyní Moravského krasu, obsahují velké množství mikroorganismů i jejich DNA (foto I. Pavlík).



Vzorok organického materiálu z jeskyní Moravského krasu. Takový materiál obsahuje velké množství a široké spektrum mikroorganismů



Obr. 68: Návštěvník výstavy si prohlíží model chvostoskoka (foto I. Pavlík).

Obr. 67: Zvětšený model (asi 500× zvětšený) chvostoskoka rodu *Folsomia*, který je v Moravském krasu běžný a který obývá i povrchy sedimentů v jeskyních (foto I. Pavlík).



Zvětšený model chvostoskoka rodu *Folsomia*, který je v Moravském krasu běžný a který obývá i povrchy sedimentů v jeskyních (foto I. Pavlík)



Obr. 69: Návštěvníci spontánně nosili ochranné pomůcky (bílé pláště nebo plexisklový štít pro ochranu obličeje před infekcí) při prohlídce jednotlivých exponátů (foto I. Stejskal).

Obr. 70: Modely bakterií je možné pomocí dřevěných čepů spojovat do tvarů, které připomínají jejich společné tvary při množení (foto I. Stejskal).



Obr. 71: Dřevo je napadené houbami a bakteriemi z jeskyně Býčí skála, kam bylo napraveno podzemním tokem Jedovnického potoka. Toto dřevo bývá napadeno i houbami, jejichž plodnice je také možné v mnoha jeskyních pozorovat (foto I. Pavlík).

Obr. 72: Mumifikovaná těla skokanů z jeskyně Býčí skála, která byla také vyšetřována na přítomnost mikroorganismů i jejich DNA (foto I. Pavlík).



6.4 ČTVRTÝ VÝSTAVNÍ PROSTOR: PROMÍTÁNÍ KRÁTKÝCH PŘÍRODOVĚDNÝCH FILMŮ O MORAVSKÉM KRASU

Tento prostor je koncipována jako promítací místnost. Je tedy trvale zatemněn a v čele místnosti se nachází promítací plátno s potiskem různých tvarů mikroorganismů na okrajích. Promítá se zde smyčka několika filmů připravených pro účely výstavy, s titulovým komentářem v českém a anglickém jazyku.

Celkem 8 židlí je volně umístěných v prostoru. Ve vitrínách jsou vystaveny různé laboratorní přístroje a pomůcky: mikroskop, termobox, rentgenové snímky, váhy a další přístroje. V místnosti je umístěn funkční termostat. V něm jsou inkubovány vzorky plísní na agarových

půdách. Tento termostat je používán při výukových programech. V místnosti jsou také umístěny dva banery o výzkumu, který byl realizován v Moravském krasu.

Na stěnách je celkem umístěno pět panelů. Jeden panel o rozměru 1 × 1 m a čtyři panely o rozměrech 70 × 100 cm.

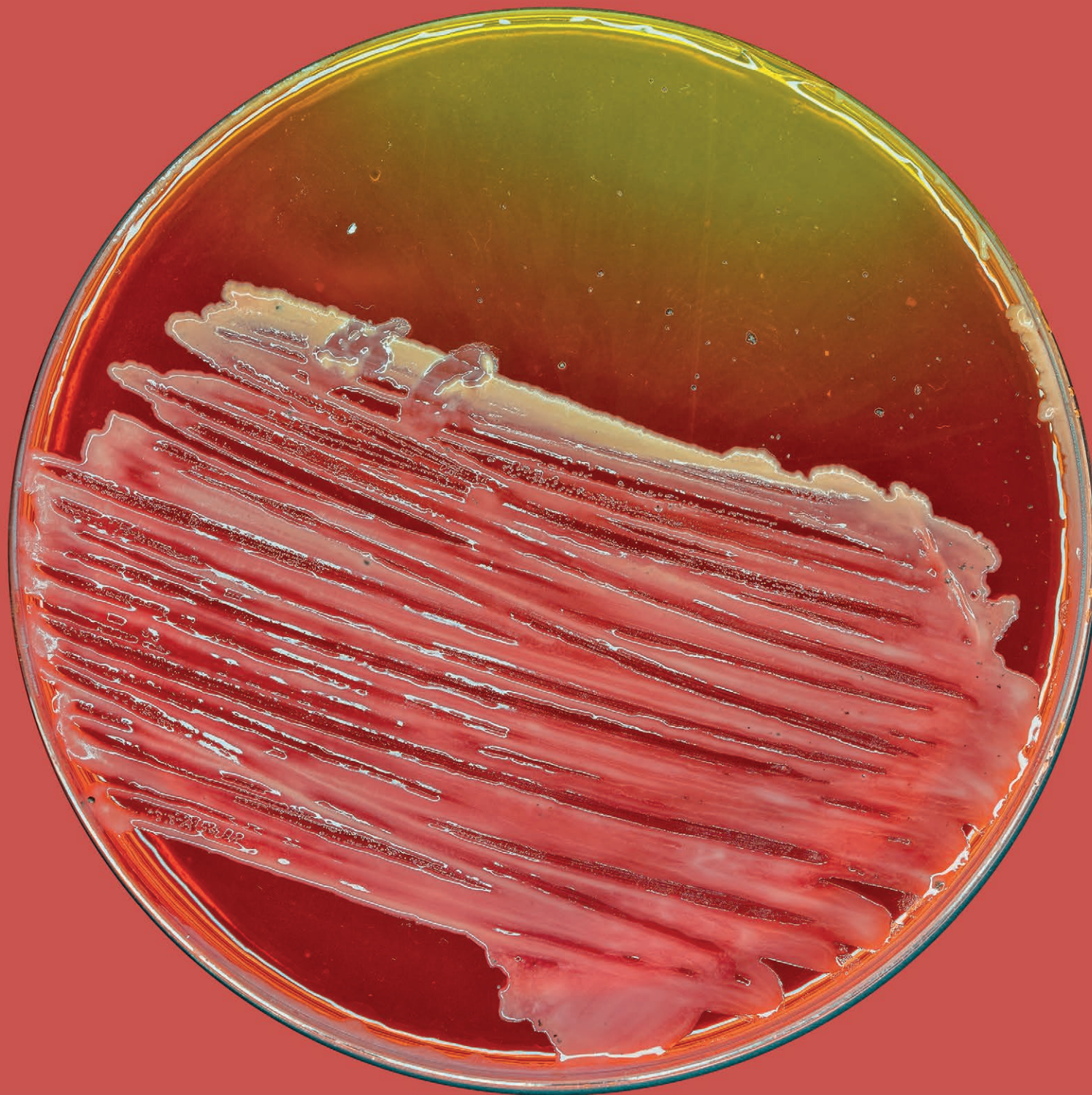


Obr. 73: Ve čtvrté výstavní místnosti s projekcí filmů o Moravském krasu s českými a anglickými titulky jsou po obou stranách projekčního plátna vitríny s laboratorními přístroji (foto I. Stejskal).

Obr. 74: Pohled na celkovou dispozici výstavy s umístěním panelů, vitrín s laboratorními přístroji a dalšími pomůckami a projekčního plátna vytváří zvláštní atmosféru (foto I. Pavlík).



Obr. 75: a, b) Vitríny s laboratorními přístroji a dalšími pomůckami (foto I. Pavlík).

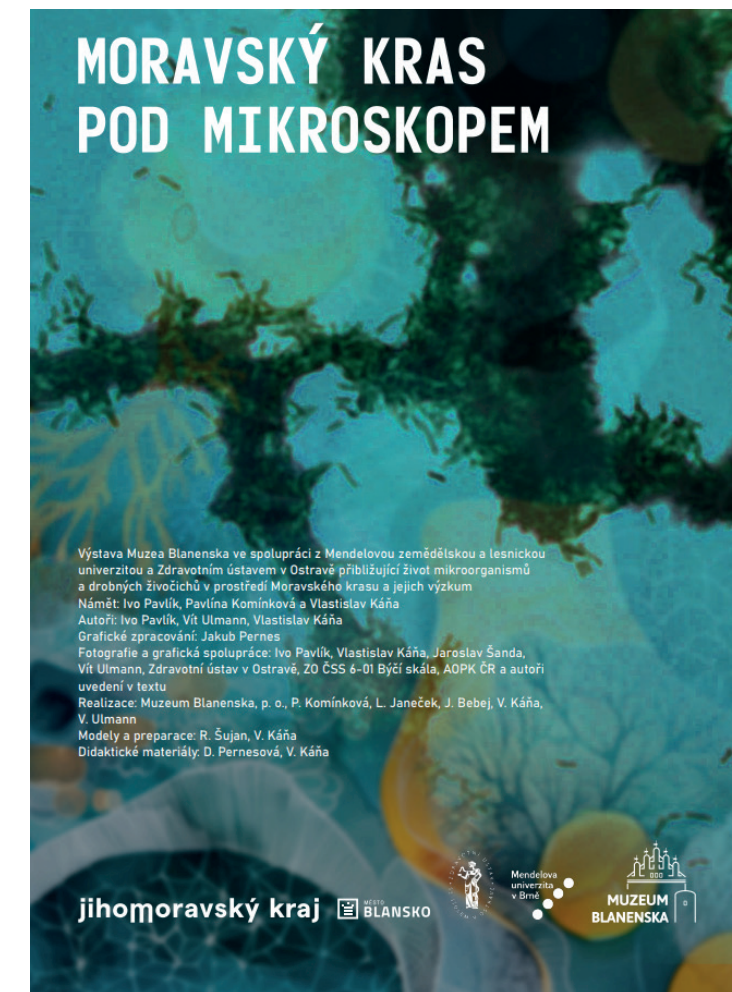


III. ČÁST
PANELY

7. ÚVODNÍ PANELY VÝSTAVY

Pro propagaci výstavy byly zhotoveny různé panely, které přibližují formou poutavých záběrů krasové prostředí včetně jeskyní. Jsou umístěny při vstupu do prvního výstavního prostoru expozice (předsíň s foyer a schodištěm). Mají za cíl přiblížit návštěvníkům předmět a obsah výstavy. Současně je jejich cílem navození atmosféry, která panuje v krasovém území včetně Moravského krasu.

7.1 PANEL SE ZÁKLADNÍMI ÚDAJI O AUTORECH A SPONZORECH VÝSTAVY



Obr. 76: Úvodní panel (grafická úprava J. Pernes).

ÚVODNÍ PANELY VÝSTAVY



7.2 PANE LY PROPAGUJÍCÍ VÝSTAVU

Jeskyňě v Moravském krasu představuje zcela nové a zvláštní prostředí, které je vytvářeno různými prvky. Tím nejznámějším je krápníková výzdoba, která je všeobecně známa. V jeskyních se však především v zimním období vyskytují četné druhy zimujících (hibernujících) netopýrů. Stěny jeskyní mohou být také kontaminovány vodními sedimenty,

kteří jsou často návštěvníky přehlíženi. Ty jsou ovšem podle našich poznatků, kromě přítomných netopýrů a jejich guána, nejvýznamnějším zdrojem mikrobiálních společenstev (mikrobiospeologie a ekologie mikroorganismů). Proto byly zvoleny na propagačních panelech fotografie, které tuto pestrost jeskynního prostředí přibližují.

Video s reportáží z výstavy:

<https://www.youtube.com/watch?v=TZTOSigzVYo>

Rozhovor s pozvánkou na výstavu:

https://www.facebook.com/watch/?v=1529826017916830&extid=CL-UNK-UNK-UNK-IO5_GK0T-GK1C&ref=sharing

Výstava na Blanenském zámku

MORAVSKÝ KRAS pod mikroskopem

27. 6. — 20. 10. 2024



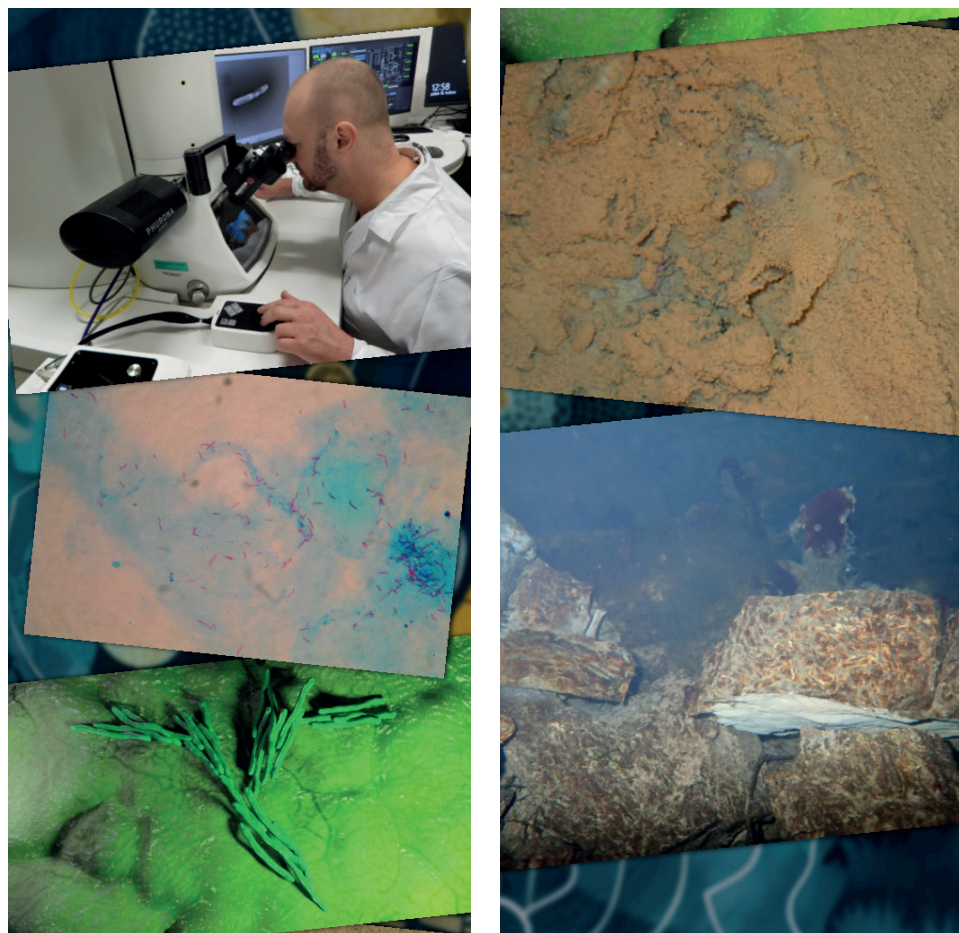
Více informací na www.muzeum-blanenska.cz, info@muzeum-blanenska.cz a tel. 725 952 592



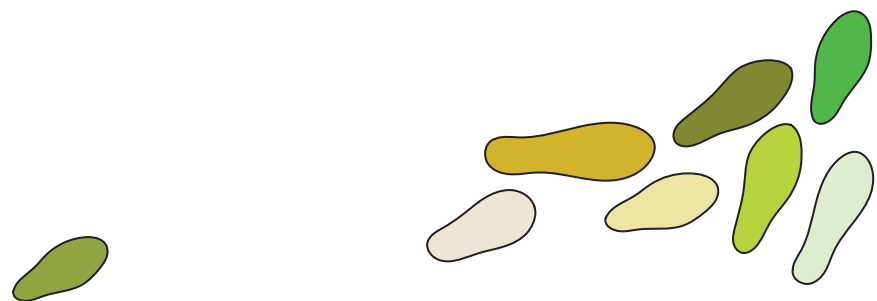
Více informací na www.muzeum-blanenska.cz, info@muzeum-blanenska.cz a tel. 725 952 592

Obr. 77: a), b), c) Propagační panely (foto I. Pavlík, grafická úprava K. Páleníková).

7.3 PANEL S KOLÁŽÍ FOTOGRAFIÍ PŘIBLIŽUJÍCÍ VÝSTAVU



Obr. 78: Koláž fotografií a 3D objektu s bakteriemi v biofilmu přibližuje hlavní témata a objekty výstavy (foto I. Pavlík, námět V. Káňa, grafická úprava J. Pernes).



7.4 PANEL SE SPELEOLOGEM A ZIMUJÍCÍMI NETOPÝRY V JESKYNI STARÁ BÝČÍ SKÁLA



Obr. 79: Speleolog a chiropterolog V. Káňa se nachází pod zimujícími netopýry ve Staré Býčí skále (foto J. Šanda).

8. DOPROVODNÉ PANELY K INTERAKTIVNÍM PRVKŮM VÝSTAVY

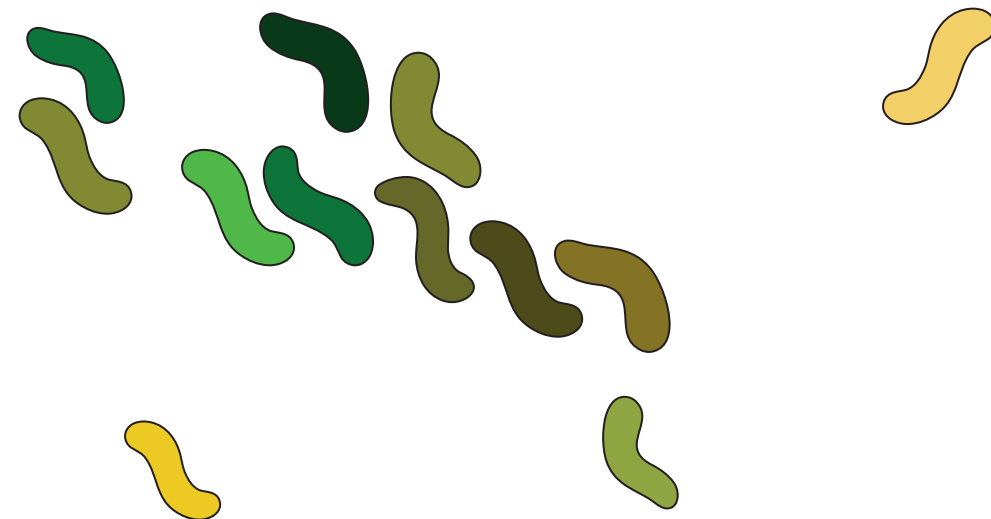
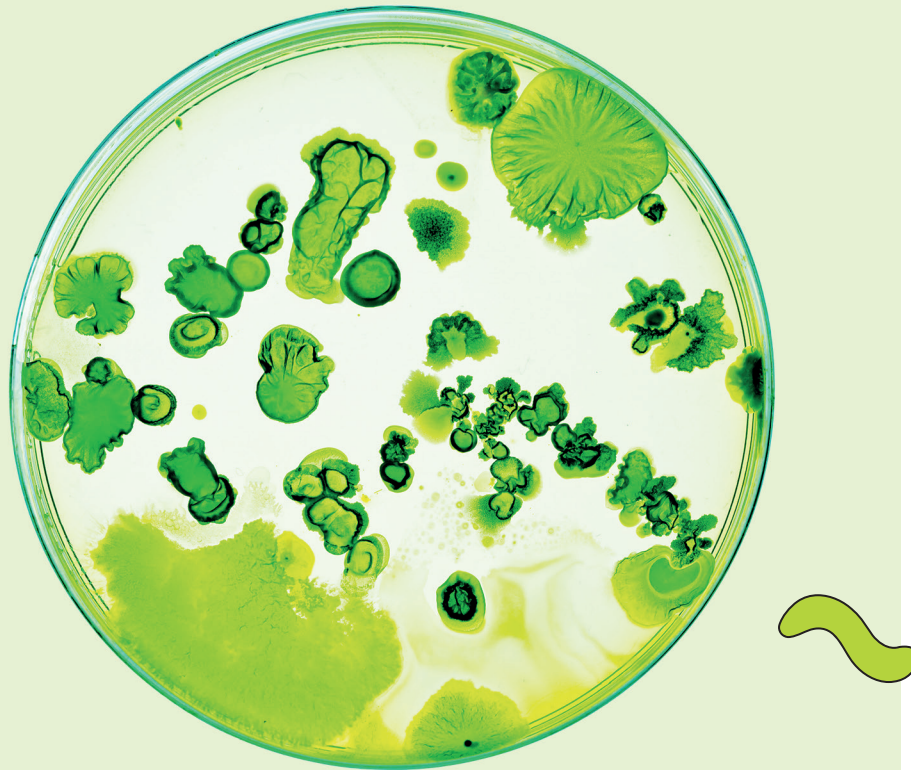
Cílem výstavy je zaujmout návštěvníky nejenom po odborné stránce. Současně se snažíme demonstrovat i bezpečnou terénní a laboratorní práci. Proto se mají návštěvníci procvíčit v praktické dovednosti spojené s bezpečným pobytem v jeskynním prostředí, s bezpečným odběrem různých typů vzorků a s jejich základním laboratorním vyšetřením. Těmi jsou příprava mikroskopického preparátu, jeho vyšetření světelným mikroskopem nebo stereomikroskopem, pipetování vzorků vod s řasami a další laboratorní činnosti.

Pro lepší pochopení všech souvislostí mezi prací v terénu a laboratorními výsledky jsou prezentovány doprovodné panely ke všem interaktivním prvkům výstavy. Těmi jsou například modely bakterií, model bezobratlého živočicha (chvostokoka), laboratorní přístroje (termostaty, třepačky, centrifugy, odběrové boxy) a další.

Panely vysvětlují mimo jiné, že jeskyně působí jako odpadní jímka i čistírna vody současně. Přibližují netopýry a jejich život včetně jejich ektoparazitů, kosterních nálezů a jejich možnost je vyšetřit pod mikroskopem. Kromě velkých obratlovců včetně savců jsou přiblíženy malé organi-

zmy v jeskyních a malí živočichové. U nich je znázorněna pro lepší pochopení jejich velikost a prostředí, ve kterém je můžeme pozorovat. Důležitým prvkem při pobytu v jeskyních a vlastně i celého krasového území je důležitá bezpečnost pobytu a ochrana zdraví. Organismy v jeskyních Moravského krasu jsou pestré; jsou reprezentovány malými bezobratlými živočichy až bakteriemi, které se vyskytují i v jeskyních. Malí a velcí tvorové se v tomto prostředí nejenom vyskytují, někteří se v něm dokonce i množí. Všechny tyto skutečnosti komplexním způsobem přibližují tyto panely.

DOPROVODNÉ
PANELY
K INTERAKTIVNÍM
PRVKŮM VÝSTAVY



JESKYNĚ JAKO ODPADNÍ JÍMKA I ČISTÍRNA VODY ZÁROVEŇ

Hlavním způsobem, jak se do jeskyní možné patogeny, především bakterie vázané na lidskou činnost, fekálie, rozkladné bakterie, odpady, části rostlin nebo uhynulí živočichové, dostávají, jsou ponorné toky, které je, zejména při povodních, přináší a ukládají v místě pomalého proudu, v dómech, chodbách a sifonech. Písky a jíly v jeskyních fungují jako čistící médium a mnoho organického materiálu zachytí, další část projde stejným procesem, jako ve vyhnivací nádrži v čistírně odpadních vod. Kapacita jeskyní je však omezená a při povodni nestačí.



Vývř. Jedovnického potoka za povodně. voda je zkalena jílem z jeskynních sedimentů který závažně funguje jako neutralizátor organického znečištění

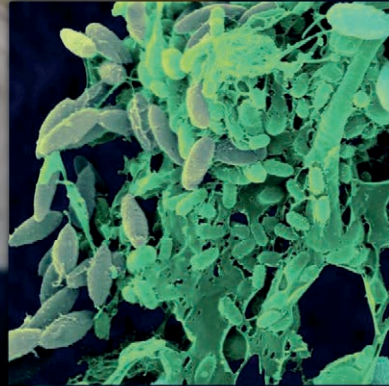


Ryba uhynulá v jeskyni po povodni, ve vlhkém prostředí jeskyně ji rozkládají bakterie a houby (plísňe)

Kolonie saprofytických a fekálních bakterií na stěně sifonu mezi býčí skálou a Šarovou jeskyní, pozemní tok Jedovnického potoka. Tato část jeskyně je trvale zaplavena vodou, před pořízením snímku byl sifon vyčerpán kalovými čerpadly

Mikroskopický detail bakteriálního biofilmu ze znečištěné vody

Nánosy povodňových sedimentů v jeskyni, všimněte si vrstev organické hmoty (černý kal, listí, větvičky apod.), takto je do jeskyně transportována většina mikroorganismů



Obr. 80: Doprovodný panel *Jeskyně jako odpadní jímka i čistírna vody zároveň* (námět V. Káňa, grafická úprava J. Pernes).

8.1 PANEL: JESKYNĚ JAKO ODPADNÍ JÍMKA I ČISTÍRNA VODY ZÁROVEŇ

Hlavním způsobem, jak se do jeskyní možné patogeny, především bakterie vázané na lidskou činnost, fekálie, rozkladné bakterie, odpady, části rostlin nebo uhynulí živočichové, dostávají, jsou ponorné toky, které je, zejména při povodních, přináší a ukládají v místě pomalého proudu, v dómech, chodbách a sifonech. Písky a jíly v jeskyních fungují jako čistící médium a mnoho organického materiálu zachytí, další část projde stejným procesem, jako ve vyhnivací nádrži v čistírně odpadních vod. Kapacita jeskyní je však omezená a při povodni nestačí.

Krasové území je značně zranitelné. Na jeho povrchu jsou jakékoliv procesy, spojené s odlesňováním a dalším narušováním povrchu významné. Dochází totiž k erozi půdy a splavování různých toxických látek, např. herbicidů, které se následně často ocitají v podzemí (Modra et al., 2018). Do krasového podzemí je však kontaminující organická hmota také splavována povrchovou vodou přitékající z povodí vodních těchto toků. V propadáních do jeskyní se proto ocitá často velké množství erodované půdy a odpadů pocházejících z obydlených částí a ze zemědělské činnosti. V předchozích studiích (Modra et al., 2017, Malá et al., 2022, Modra et al., 2024), jsme zjistili, že právě lidská obydlí hrají významnou roli při znečišťování těchto vod komunálními odpady a splaškovou vodou.

Obohacená voda o organickou hmotu je vhodným prostředím pro různé mikroorganismy, které se podílí na její degradaci. Při těchto procesech dochází velmi často ke spotřebování kyslíku, který následně chybí v hlubších vrstvách sedimentů. V jeskyních proto je často v těchto naplavených sedimentech bezkyslíkaté (anaerobní) prostředí, které podporuje růst anaerobních bakterií a plísňí. Rovněž i druhové složení mykobakterií je těmito procesy ovlivňováno. Zjistili jsme, že druhová pestrost mykobakterií se zvyšuje v sedimentech vodních toků v obcích

a pod obcemi (Modra et al., 2024). Tento poznatek významným způsobem objasňuje i druhovou pestrost v těch částech jeskyní, ve kterých se nevyskytuje guáno netopýřů. Tedy v těch částech jeskyní, které jsou pro ně nedostupné.

K našemu velkému překvapení však jeskynní prostředí nevytváří příliš příhodné prostředí pro degradaci, tedy odstraňování této organické hmoty mikrobiálním rozpadem. Je tomu také i proto, že stálá teplota ve většině jeskynních prostor nepřesahuje celoročně 9°C (Hromas, 2009). Pouze některé druhy bakterií včetně mykobakterií jsou schopné se při těchto stabilních nižších teplotách množit (Pavlik et al., 2022a, b); jsou to tzv. psychrofilní bakterie. Nedostatek kyslíku v těchto sedimentech také zpomaluje bakteriální rozklad této organické hmoty. Proto je nutné se chovat v jeskynním prostředí, které je kontaminováno vodními sedimenty pocházejícími z povrchových vod, s velkým respektem a obezřetností.

Ochrana jeskyní krasových území včetně Moravského krasu tedy musí být zaměřena i na ochranu území, kterým protékají povrchové vodní toky propadající se do podzemí. Často je tento fakt opomíjen a zdroje znečištění povrchových vod jsou následně objeveny desítky kilometrů od míst, ve kterých mizí tyto povrchové vody v podzemí.



Doprovodná videa k panelu

NETOPÝŘI POD MIKROSKOPEM

Výzkum netopýřů má v Moravském krasu dlouhou tradici. Přesto vědci dodnes odhalují nové a nové zajímavé poznatky z jejich života. Před čtrnácti lety šokovala svět „netopýří plíseň“, která vyhubila v Severní Americe tisíce těchto zvířat při zimování. Protože její vlákna rostla hibernujícím netopýřům nejnápadněji kolem čenichu a na tvářích, dostala název White Nose Syndrome, syndrom bílého nosu. Pomocí DNA analýzy a právě mikroskopického zkoumání bylo zjištěno, že se jedná o nový, dosud neznámý druh! Byla pojmenována *Pseudogymnoascus destructans* a bylo zjištěno, že v Evropě je vlastně zcela běžná a naše druhy netopýřů jsou proti ní mnohem odolnější. Na jiná zvířata nebo dokonce na lidi se však nepřenáší a žít na nich nemůže.

Netopýři neobývají v Moravském krasu jen jeskyně, jen nějakých dvanáct druhů v nich zimuje (v ČR žije dvacet sedm druhů) nebo je navštěvuje na podzim, kdy mají netopýři námluvy. S některými druhy se lze, zvláště v létě, setkat například na půdách budov, kde samičky rodí a vychovávají mláďata. Trus netopýřů je také významným prostředím pro různé mikroorganismy, především mykobakterie, které jsou dnes intenzivně zkoumány. Protože se netopýři živí hmyzem, který leckam vlezl a nachytá na sebe kdeco, není se co divit. Jsou také častou obětí různých hmyzích nebo roztočích parazitů, například muchulů, o nichž jsme tu už psali.

Půdy s koloniemi netopýřů, například v kostele ve Křtinách nebo ve Starém Blansku je tedy nutno pečlivě chránit (všichni naši netopýři i jejich úkryty jsou přísně chráněni), kontrolovat, ale i sanovat a hygienicky zabezpečit.



Kosti netopýřů (lebeky a řelst) z Býčí skály prozradily mnoho o klimatu v jeskyních v minulosti. Drobné kosti jsou často velmi cenným paleoekologickým dokladem a i jejich výzkumu dobře poslouží mikroskopická technika. Také různé mikroorganismy se v pozůstatcích netopýřů nebo jejich guána často dlouho uchovávají.

Půda kostela ve Křtinách s netopýřím guánem



Sanace krovu půdy kostela ve Starém Blansku, kde se vyskytuje letní kolonie netopýřů velkých



Parek muchulů na křídle netopýře. Netopýřům sají krev, ale lidem nijak nebezpečně lidskou krev nesají



Roztoč Spinturnix myotis občas obtěžuje netopýře ve velkém množství



8.2 PANEL: NETOPÝŘI POD MIKROSKOPEM

Výzkum netopýřů má v Moravském krasu dlouholetou tradici. Přesto vědci dodnes odhalují nové a nové zajímavé poznatky z jejich života.

Před čtrnácti lety šokovala svět „netopýří plíseň“, která vyhubila v Severní Americe tisíce těchto zvířat při zimování. Protože její vlákna rostla hibernujícím netopýřům nejnápadněji kolem čenichu a na tvářích, dostala tato plíseň název White Nose Syndrome (syndrom bílého nosu). Pomocí analýzy DNA a právě mikroskopického zkoumání bylo zjištěno, že se jedná o nový, dosud neznámý druh! Byla pojmenována *Pseudogymnoascus destructans* a bylo zjištěno, že v Evropě je vlastně zcela běžná a naše druhy netopýřů jsou proti ní mnohem odolnější. Na jiná zvířata nebo dokonce na lidi se však nepřenáší a žít na nich nemůže.

Netopýři neobývají v Moravském krasu jen jeskyně, jen nějakých dvanáct druhů v nich zimuje (v ČR žije dvacet sedm druhů) nebo je navštěvuje na podzim, kdy mají netopýři námluvy. S některými druhy se lze, zvláště v létě, setkat například na půdách budov, kde samičky rodí a vychovávají mláďata. Výkaly (známé také jako guáno netopýřů) jsou také významným prostředím pro různé mikroorganismy, především mykobakterie, které jsou dnes intenzivně zkoumány. Protože se netopýři živí hmyzem, který leckam vlezl a nachytá

na sebe kdeco, není se co divit. Jsou také častou obětí různých hmyzích nebo roztočích parazitů, například muchulů, o nichž jsme tu už psali.

Půdy s koloniemi netopýřů, například v kostele ve Křtinách nebo ve Starém Blansku, je tedy nutno pečlivě chránit (všichni naši netopýři i jejich úkryty jsou přísně chráněni), kontrolovat, ale i sanovat a hygienicky zabezpečit. Nahromaděné guáno pocházející z letních kolonií netopýřů je z půdních prostor často odstraňováno ve velkém množství. Je známo, že obsahuje mnoho významných látek používaných při hnojení rostlin, jsou to především dusík a fosfor. Proto je guáno netopýřů používáno v amatérských podmínkách jako hnojivo. Z předešlých výsledků však víme, že toto guáno obsahuje velké množství mykobakterií (Pavlik et al., 2021b), které mohou být pro vnímavé osoby nebezpečné. Proto je nutné při práci s tímto guánem netopýřů používat ochranné pomůcky (zejm. rukavice, roušky nebo respirátory). Použité guáno netopýřů je nutné po hnojení zpracovat do půdy. V ní je množství mykobakterií po několika dnech až týdnech významně sníženo.

Obr. 81: Doprovodný panel *Netopýři pod mikroskopem* (námět V. Káňa, grafická úprava J. Pernes).



Doprovodná videa k panelu

JESKYNĚ, KRAS, HYGIENA A ZDRAVÍ

Jak je to tedy s hygienou a čistotou jeskynního a vůbec krasového prostředí? Jak se chovat, abychom snížili rizika na minimum? Jsou tedy jeskyně pro mikroorganismy rájem nebo vězením?

Odpovíme si tedy na tyto otázky...

Jeskyně Moravského krasu jsou prostředím, které je vhodné pro mnoho druhů mikroorganismů, zejména bakterií (pro viry tolik vhodné není), umožňuje bakteriím přežít v něm dlouhý čas.

Vyložené koncentrovány jsou tam ale jen místy, tam, kde jeskyně komunikuje s povrchem pomocí podzemního toku, lidí nebo jiných větších tvorů (netopýrů, žížal apod.).

Celková nebezpečnost jeskynního prostředí je tedy spíše nízká, neteče-li tudy potok nebo není-li tam hromada organického bláta.

V krasovém prostředí a přímo v jeskyních je záhodno používat zhruba stejné hygienické návyky a ochranu, jako v každém jiném přírodním prostředí s vlivem člověka.

Ve vodách pozemních toků a v čerstvých nánosech jejich bahna z povrchu, často z málo funkčních čistíren odpadní vody, je třeba dbát zvýšené opatrnosti, „naše“ bakterie pronikají i tam.

Voda v podzemních tocích není pitná! Drobní živočichové mohou sloužit jako přenašeči mikroorganismů do jeskyně, ale bez většího hygienického rizika pro běžného návštěvníka nebo badatele. Jeskyně funguje jako čistírna odpadní vody, ale jen do jisté míry.

Největším zdrojem pro nás škodlivých mikroorganismů v jeskyních je voda znečištěná člověkem.

Největším zdrojem pro nás škodlivých mikroorganismů v jeskyních je voda znečištěná člověkem.



—Výhled Jedovnického potoka u Byčí skály
Voda je sice mnohem čistší než ta, která v Rudicích propadá do jeskyně, avšak přesto ji nelze považovat za zcela čistou. Ve vodě prospívají zelené i hnědé řasy

Kolonie bakterií izolovaných z jeskynního prostředí a namnožených v laboratorii



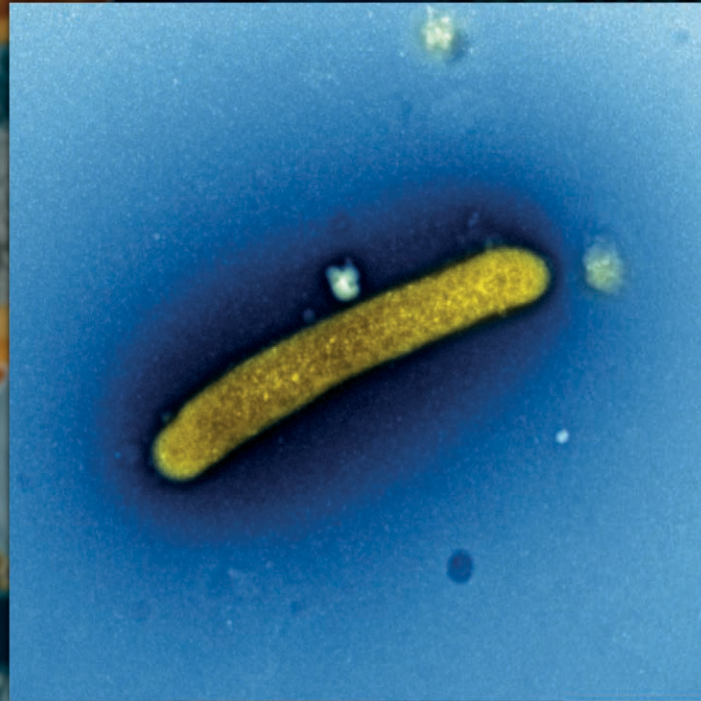
Speleologický průzkum ve vodě obsahující takové bakterie



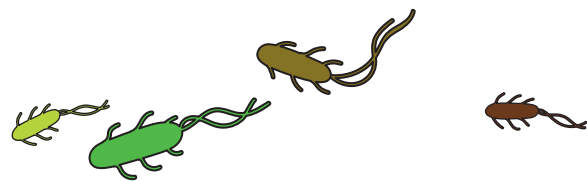
Zimující netopýři přinášejí do jeskyně své parazity a další mikroorganismy. Jejich vliv na zdraví člověka je ale malý



Ani bližšího kontaktu s netopýry se člověk v jeskyni nemusí bát, to spíše naopak. Patogeny (škodlivé mikroorganismy, například bakterie a viry) našich netopýrů na člověka nejsou přenosné



Obr. 83: Doprovodný panel Jeskyně, kras, hygiena a zdraví (námět V. Káňa, grafická úprava J. Pernes).



Doprovodná
videa k panelu

8.4 PANEL: JESKYNĚ, KRAS, HYGIENA A ZDRAVÍ

Jak je to tedy s hygienou a čistotou jeskynního a vůbec krasového prostředí? Jak se chovat, abychom snížili rizika na minimum? Jsou tedy jeskyně pro mikroorganismy rájem nebo vězením?

Odpovíme si tedy na tyto otázky...

Jeskyně Moravského krasu jsou prostředím, které je vhodné pro mnoho druhů mikroorganismů, zejména bakterií (pro viry tolik vhodné není), umožňuje bakteriím přežít v něm dlouhý čas. Vyložené koncentrovány jsou tam ale jen místy, tam, kde jeskyně komunikuje s povrchem pomocí podzemního toku, lidí nebo jiných větších tvorů (netopýrů, žížal apod.).

Celková nebezpečnost jeskynního prostředí je tedy spíše nízká, neteče-li tudy potok nebo není-li tam hromada organického bláta.

V krasovém prostředí a přímo v jeskyních je záhodno používat stejné hygienické návyky a ochranu, jako v každém jiném přírodním prostředí s vlivem člověka.

Ve vodách pozemních toků a v čerstvých nánosech jejich bahna z povrchu, často z málo funkčních čistíren odpadní vody, je třeba dbát zvýšené opatrnosti, „naše“ bakterie pronikají i tam.

VODA V PODZEMNÍCH TOCÍCH NENÍ PITNÁ!

Drobní živočichové mohou sloužit jako přenašeči mikroorganismů do jeskyně, ale bez většího hygienického rizika pro běžného návštěvníka nebo badatele. Jeskyně funguje jako čistírna odpadní vody, ale jen do jisté míry.

Největším zdrojem pro nás škodlivých mikroorganismů v jeskyních je voda znečištěná člověkem.



ORGANISMY V JESKYNÍCH MORAVSKÉHO KRASU, MALÉ A JEŠTĚ MENŠÍ

Život v jeskyních je velmi ochuzený oproti životu na povrchu, není zde světlo, a tedy ani rostliny, které by produkovaly živou hmotu – potravu. Většina stálých obyvatel jeskyní je tedy velmi malá (ani netopýři nežijí v jeskyních stále, jen se tam ukryvají v době odpočinku nebo zimního spánku), nejčastěji milimetrových nebo mikroskopických velikostí, a živí se organickými zbytky, které se do jeskyní dostanou z povrchu. Drtivě převažují mikroorganismy, převážně bakterie, z větších organismů pak houby, plísně, drobní korýši, chvostokoci, brouci a asi největší z těch malých: žížaly. Ty jsou zase hostitelem mnoha zvláštních bakterií, o nichž tu bude ještě řeč. Ovšem nemylme se: nejen v jeskyních, ale i na povrchu jsou mikroorganismy tou nejpočetnější a velevýznamnou složkou ekosystémů. Jen to není tak nápadné.



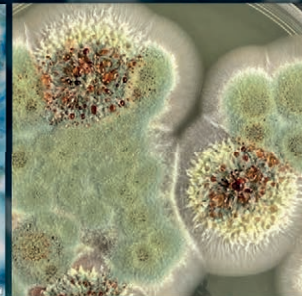
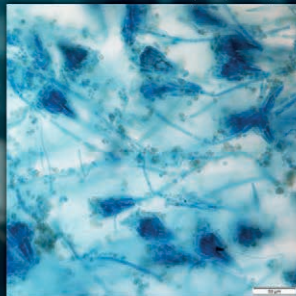
Plodnice hub s myceliem (podhubím) na povrchu vápencového bloku hluboko v jeskyni 160 m od vchodu, 60 m pod povrchem

Mikroskopický detail plísně. Takové druhy nižších hub jsou typické všude, kde je dostatek živé hmoty k rozkladu. V jeskyních stačí například dřevěné násady od lopat nebo pažení

Detail kolonie plísně „dopěstované“ v laboratorii

Chvostokoc rodu *Folsomia* je typickým obyvatelům půdy, hrabanky, zvodných sedimentů i nitra jeskyní Moravského krasu. Společně s chvostokocí všech druhů jsou v přírodě velmi početná a významná

Samička muchule (*Nycteria*) těsně před porodem. Muchule jsou parazitní netopýři, sají jim krev a žijí převážně v jejich srsti (tato mála smloua se spadá, což se jim často nestává). Jsou živořodé, samičky rodi larvu, která je stejně velká, jako ony samy a hned se kuklí



Obr. 84: Doprovodný panel *Organismy v jeskyních moravského krasu, malé a ještě menší* (námet V. Káňa, grafická úprava J. Pernes).



Doprovodná videa k panelu

8.5 PANEL: ORGANISMY V JESKYNÍCH MORAVSKÉHO KRASU, MALÉ A JEŠTĚ MENŠÍ

Život v jeskyních je velmi ochuzený oproti životu na povrchu, není zde světlo, a tedy ani rostliny, které by produkovaly živou hmotu – potravu.

Většina stálých obyvatel jeskyní je tedy velmi malá (ani netopýři nežijí v jeskyních stále, jen se tam ukryvají v době odpočinku nebo zimního spánku). Dosahují nejčastěji milimetrových nebo mikroskopických velikostí a živí se organickými zbytky, které se do jeskyní dostanou z povrchu. Drtivě převažují mikroorganismy, převážně bakterie, z větších organismů pak houby, plísně, drobní korýši, chvostokoci, brouci a asi největší z těch malých: žížaly. Ty jsou zase hostitelem mnoha zvláštních bakterií, o nichž tu bude ještě řeč. Ovšem nemylme se: nejen v jeskyních, ale i na povrchu jsou mikroorganismy tou nejpočetnější a velevýznamnou složkou ekosystémů. Jen to není tak nápadné.

Všechny mikroorganismy a bezobratlí živočichové v jeskynním prostředí Moravského krasu pochází s největší pravděpodobností z jeho povrchu. V jeskynních se těmito stabilním podmínkám přizpůsobují. Je to především 100% vlhkost a teploty, které nepřesahují 9 °C (Hromas, 2009). Povrchové vody, které přitékají do jeskyní, jsou především v letním a podzimním období zahřáté, takže do nitra jeskyní přitékají s vyšší teplotou, než která je zde běžná. Teploty v letních měsících např. ve Velké síni v Nové Býčí skále dosahují po několik týdnů díky protékajícímu a v létě teplemu Jedovnickému potoku až 13 °C (nepublikované údaje).

Cílem tohoto panelu je ukázat druhovou pestrost malých živočichů a mikroorganismů, které se v jeskyních vyskytují. Jsou to

především bakterie, které jsou viditelné pouze pod mikroskopem. Jsou však i další živé organismy, kterých je v některých částech jeskyní až ohromující množství (Nováková, 2008, 2017, 2022; Hubelova et al., 2021; Pavlík et al., 2022a). Jsou to především plísně, které rozkládají dřevitý materiál, guáno netopýřů a také výkaly žížal: žížalince. Na jejich šíření, tedy šíření bakterií a spor plísni se v jeskyních podílí mnoho živých vektorů a různých látek (matric), kterými je např. prach, uvolněné sedimenty a vodní aerosol.

V našich studiích jsme zjistili, že z vektorů, tedy živočichů, jsou mezi nejvýznamnějšími šířiteli bakterií a spor plísni netopýři (jejich guáno) a žížaly (jejich výkaly žížalince). Z dalších vektorů je však nutné zmínit také nitěnky, které se dostávají do vodních sedimentů povrchovými vodami. Pozorovány byly i pijavice, chvostokoci, korýši a další živočichové, kteří na svém povrchu a ve svém střevním traktu šíří v jeskyních bakterie, plísně a další mikroorganismy. Prachové částice pronikající vchodovými částmi jeskyní jsou také často kontaminovány bakteriemi (zejm. mykobakteriemi) a sporama plísni (Hubelova et al., 2021). Tyto prachové částice se zachycují v pavučinách kolem vchodů do jeskyní a ve fotické části jeskyní (té části, kam částečně proniká denní světlo z povrchu). Pavouci, kteří tyto pavučiny využívají, se potom také stávají při svém pohybu v jeskyních šířiteli těchto mikroorganismů a plísni.

Mezi vektory mikroorganismů a plísní je ovšem nutné považovat i větší živočichy (např. kuny, lasičky, plchy a veverky), které se příležitostně v částech jeskyní blízkých povrchu objevují. Nejvýznamnějším šířitelem mikroorganismů a plísní je ale člověk.

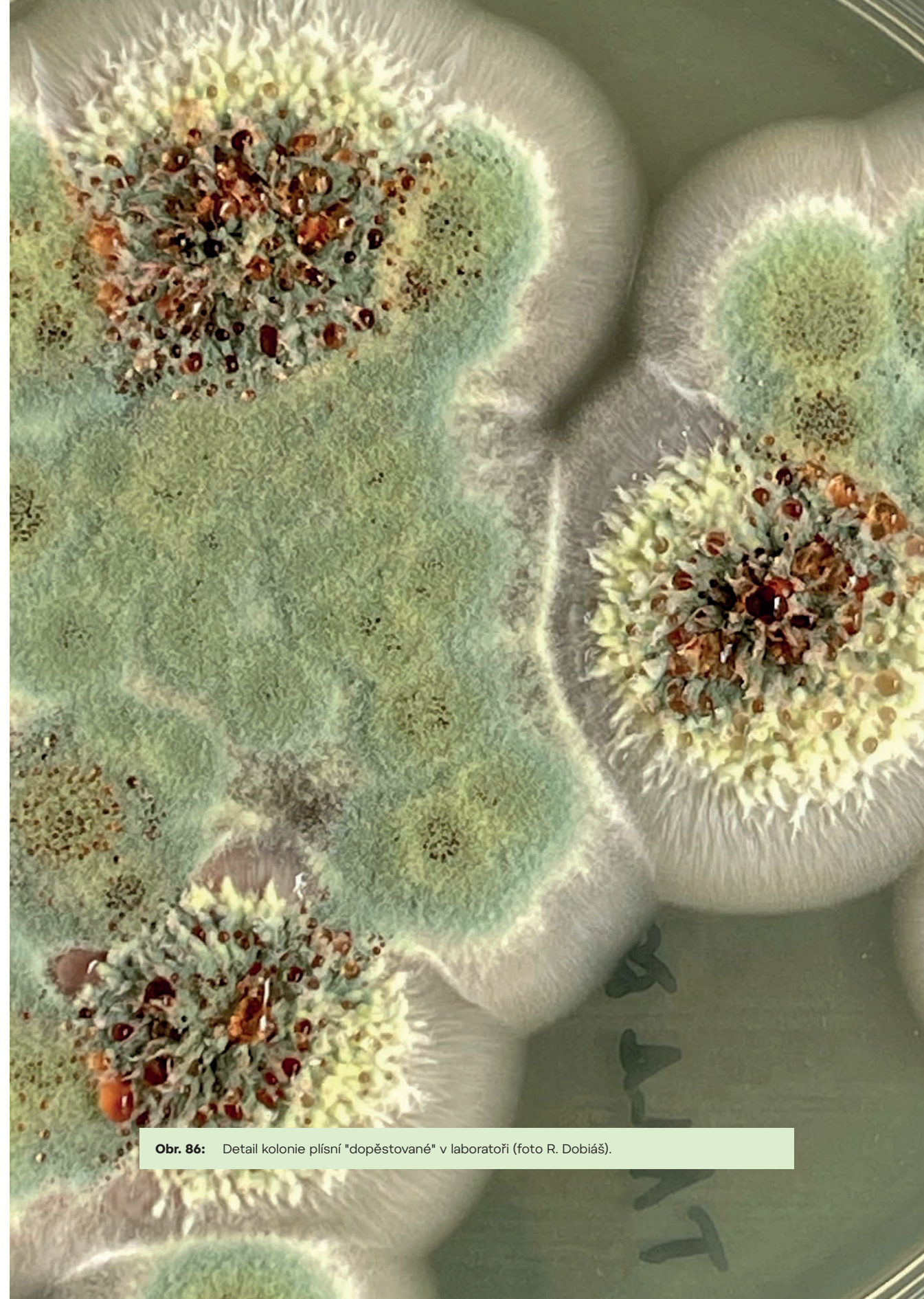
V jeskynním prostředí se ocitají speleologové, speleopotápěči, geologové, archeologové, paleontologové, hydrologové, mikrobiologové, mykologové, chiropterologové, zoologové, palynologové a další. Tito všichni odborníci přináší na povrchu svého těla a na svém oblečení a obuvi mikroorganismy z povrchu.

Uvnitř jeskynního prostředí je potom šíří při svém pobytu na svém oblečení, obuvi a přístrojích, které používají ke svým výzkumům. Zdrojem těchto mikroorganismů, plísní a drobných živočichů je však ale třeba i dřevo, které se používá na různé vnitřní konstrukce včetně schodišť, zábradlí apod. Nemaleým zdrojem těchto mikroorganismů a malých organismů jsou v neposlední řadě i návštěvníci jeskyní.

Proto je třeba při obytu v jeskynním prostředí dbát jak osobní bezpečnosti, tak mít rovněž na mysli tento faktor, který může mít na vnitřní prostředí velký vliv.



Obr. 85: Samička muchule (*Nicteribia*) těsně před porodem. Muchule jsou parazité netopýrů, kteří jim sají krev a žijí převážně v jejich srsti. Jsou živorodé, samičky rodí larvu, která je stejně velká jako ony samy a hned se kuklí (foto V. Káňa).



Obr. 86: Detail kolonie plísní "dopěstované" v laboratoři (foto R. Dobiáš).

BAKTERIE V JESKYNÍCH

Velmi specifickou skupinou mikroorganismů v jeskyních, ve vodě i na povrchu jsou bakterie. Bez nadsázky je možno říci, že na Zemi takřka není místo, kde by nežily, ať už jsou to rozkladné, parazitické nebo symbiotické bakterie. V jeskyních prospívají stejně dobře jako na povrchu, jejich společenstva jsou ale jiná a dlouho se o nich mnoho nevědělo. Teprve výzkumy posledních let, jako je ten, jemuž je věnována velká část naší výstavy, odhalují detaily jejich života v jeskyních. Mnoho bakterií se do jeskyní dostává také přičiněním člověka a člověk – jeskyňář se s nimi musí vyrovnat, jak víme, například voda podzemních toků je jich často plná. Současné výzkumníky nejvíce zajímají takzvané mykobakterie, velmi odolné a často způsobující vážné nemoci, například tuberkulózu. V jeskyních, jeskynních vodách i v povrchové krajině Moravského krasu je jich mnoho druhů, našťastí jejich koncentrace je většinou velmi nízká.



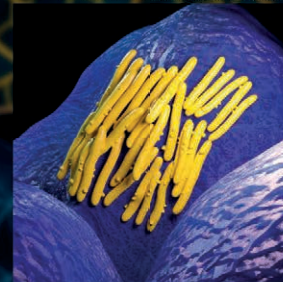
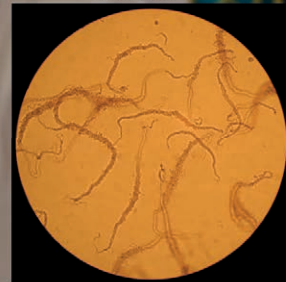
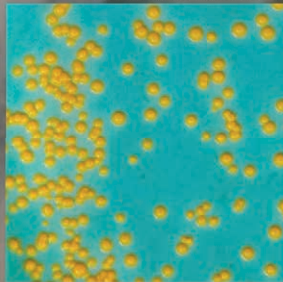
Kolonie více druhů bakterií, včetně fekálních, na stěně jeskynní chodby v sifonu mezi Byčí skalou a Barovou jeskyní. Zde je na místě opatrnosti, hrozí průjmová onemocnění a jiné komplikace

Obraz mykobakterií stejného druhu, jako byly objeveny i v sedimentech jeskyní Moravského krasu. Z elektronového mikroskopu, barvy jsou umělé, generované počítačem. Bakterie jsou organicky velmi malé (asi jeden mikrometr), takže nelze zaznamenat jejich přirozenou barvu. I naše bakterie, které tu dole uvidíte, budou dobarveny chemicky nebo digitálně.

Mikroskopický detail bakterií z takové koncentrace

Malé shluky mykobakterií z terénu, které bakteriologové „napřístovali“ v laboratorii

Jiné druhy bakterií se shlukují do řetězků



Obr. 87: Doprovodný panel *Bakterie v jeskyních* (námět V. Káňa, grafická úprava J. Pernes).

8.6 PANEL: BAKTERIE V JESKYNÍCH

Na doprovodných panelech k výstavě je představená celá řada makrofotografií a mikrofotografií bakterií a plísni. Jejich smyslem není unavit návštěvníky výstavy velkým množstvím údajů a poznatků o těchto mikroorganismech. Naopak jsme se pokusili přehledně představit především nejvýznamnější druhy mykobakterií, které se nějakým způsobem vztahují k ekologii. Tyto poznatky (především z Moravského a Hranického krasu) jsou uváděny formou komentovaných fotografií na panelech. Instalované laboratorní přístroje (zejm. mikroskopy, termostaty, třepačky tekutin a další), které se běžně používají při diagnostice a výzkumu bakterií a plísni, je přibližují z praktického úhlu pohledu. Petriho misky, zkumavky a další nádoby určené pro jejich izolaci v laboratoři v termostatech jsou rovněž k dispozici a jsou během výstavy průběžně obměňovány.

Cílem těchto všech názorných fotografií, laboratorních přístrojů a nástrojů, kultivačních nádob a dalších není vyčerpávajícím způsobem přiblížit práci s nimi. Tyto všechny panely a objekty mají především posloužit jako návod k přemýšlení o mikroorganismech v prostředí a o jejich ekologii. Výběr těchto laboratorních zařízení nebyl čistě náhodný, ale měl za cíl ukázat návštěvníkům pestrost práce v laboratoři, které často předchází náročná práce v terénu. Návštěvníci proto mají možnost si prakticky s pinzetami, pipetami, mikroskopy a dalšími laboratorními nástroji a přístroji udělat představu o této zajímavé výzkumné práci. Sami potom mohou posoudit jejich užitečnost a význam v současné době jak pro výzkum v jeskyních, tak například i pro diagnostiku v humánní nebo veterinární medicíně.

Přestože jsou bakterie významnou součástí jeskynního prostředí, není cílem této výstavy podat kompletní výčet druhů mykobakterií, které byly v krasovém prostředí včetně jeskyní, prokázány. Některé druhy byly totiž prokázány třeba jen náhodně, což nemůže vést k celkovým závěrům. Nechceme se ale na druhé straně zaměřit jen na stu-

dium mykobakterií, které jsou nedílnou součástí jeskynního prostředí. Proto se v dalších částech výstavy věnujeme také plísním a houbám, které se společně s mykobakteriemi vyskytují např. v dřevitém materiálu, výkalech žížal (žížalincích) a výkalech netopýrů (guánu).

Jsme si vědomi toho, že v prostředí, včetně prostředí krasových území, zůstává celá řada dosud dostatečně neprostudovaných oblastí. Ta mohou v budoucnu přinést objev mnoha nových, nepopsaných mykobakteriálních druhů. Ty určitě čekají na některé své budoucí objevitele. Naším cílem tedy není jen ukázat naši úspěšnost při používání různých laboratorních a diagnostických metod pro průkaz mykobakterií.

Výstava by se měla stát pro návštěvníky základním a snadným původcem těchto poznatků z pohledu autorů výstavy. Těmi jsou jak veterinární lékař, tak mikrobiolog a zoolog. Na této výstavě se proto snažíme přiblížit laické i odborné veřejnosti v oblasti biologických věd různé pestré a často i nové poznatky. Výsledek tohoto našeho počínání i v oblasti mikrobiologie v krasovém prostředí je možné po shlédnutí této výstavy a po přečtení tohoto katalogu posoudit.



Doprovodná videa k panelu

MALÍ A VELCÍ TVOROVÉ

Pozorovat často monumentální přírodu Moravského krasu, sokoly na hnízdě, netopýry zimující po stovkách v podzemí nebo skalní útvary a propasti porostlé vzácnými rostlinami je jedním z důvodů, proč lidé, laici i odborníci, k nám do krasu přicházejí. Zdaleka ne všichni tvorové, kteří jsou důležití pro přírodu Moravského krasu a zcela jistě hodni zkoumání, jsou velcí dostatečně na to, abychom je mohli zkoumat bez lupy nebo mikroskopu. Do světa malých organismů vstupujeme proto, že jejich poznání je extrémně důležité z hlediska ekologie krasové krajiny, významné pro výzkum klimatu v minulosti a v neposlední řadě má velký epidemiologický a hygienický význam.



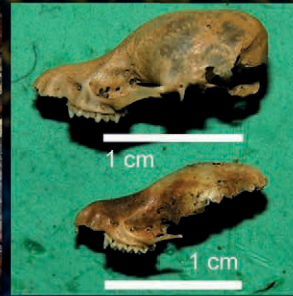
Jeskynní koryši nepotřebují tělní pigment (barvivo), v trvalé tmě jeskyní jim je k ničemu

Drobná bílá mnohožáčka na kořenovém stalagmitu. Kořenové stalagmity vznikají tam, kde kořeny stromů prorostou do jeskyně a narazí na skap, tedy místo, kde se stromová kůra voda začne řídit pro sílnou kápek a vytvoří malý krepčík stalagmitu. Jsou velmi zajímavým prostředím pro různé mikroorganismy a na vápenci (tedy i v Moravském krasu) jsou vzácné, známy jsou ze dvou jeskyní

Štířáček rodu Trechus má v oblibě jeskynní prostředí, kamenné sutě, půdu pod kameny a podobné lokality. Je dlouhý jen asi čtyři milimetry

Větší zvířata, která proniknou do jeskyní, tam často umřou. Jejich kůže (mrtvá) jsou potravou pro bakterie, houby, jeskynní broučky, chvostokosky a další drobné organismy. Kostí jsou studovány často s pomocí mikroskopických metod (turbidní stáří, potravy, klimatu v době úhynu apod.)

Drobné kosti netopýrů z jeskynních sedimentů odhalují mnoho o změnách klimatu v minulosti (například jeskyně Býčí skála byla ve středověku teplejší než dnes, dokonce natolik, že v ní samičky netopýrů velkých rodily mláďata). I zde je nutné pracovat s mikroosty a lupami, netopýří kosti a fosilní guano (trus) jsou také konzervou pro staré mikroorganismy, například dříve z Moravského krasu vymizelé bakterie



Obr. 88: Doprovodný panel Malí a velcí tvorové (námět I. Pavlík, grafická úprava J. Pernes).

8.7 PANEL: MALÍ A VELCÍ TVOROVÉ

Pozorovat často monumentální přírodu Moravského krasu, sokoly na hnízdě, netopýry zimující po stovkách v podzemí nebo skalní útvary a propasti porostlé vzácnými rostlinami je jedním z důvodů, proč lidé, laici i odborníci, k nám do krasu přicházejí. Zdaleka ne všichni tvorové, kteří jsou důležití pro přírodu Moravského krasu a zcela jistě hodni zkoumání, jsou velcí dostatečně na to, abychom je mohli zkoumat bez lupy nebo mikroskopu. Do světa malých organismů vstupujeme proto, že jejich poznání je extrémně důležité z hlediska ekologie krasové krajiny, významné pro výzkum klimatu v minulosti a v neposlední řadě má velký epidemiologický a hygienický význam v současnosti a v budoucnosti.

Malí bezobratlí živočichové hrají při šíření mikroorganismů a plísni roli nejvýznamnější. Při studiu všech souvislostí s jejich šířením však není možné opomenout i větší živočichy, tedy obratlovce. Ti jsou na povrchu krasového území vždy nejvíce viditelní a často návštěvníky pozorování. Někteří z nich se však příležitostně dostávají i do jeskynního prostředí; především do jejich suchých částí. Tam můžeme ojedinele nalézat jejich rozkládající se nebo již mumifikovaná těla nebo jejich výkaly. V jeskyních byly často různé druhy mykobakterií izolovány také z výkalů kun, lasiček, plchů a dalších teplokrevných obratlovců (nepublikovaná data). Za nejvýznamnější zdroj mikroorganismů včetně spor plísní je však nutné považovat netopýry (Pavlík et al., 2021b; Ulmann et al., 2021).

Ve vodních tocích, které protékají jeskynním prostředím, jsou významné ryby. Nejčastěji bývají pozorování pstruzi potoční a okouni říční. Zcela ojedinele byla pozorována štika a úhoř. V okolí vodních ploch jsou také velmi často pozorování obojživelníci. Z nich jsou to nejčastěji ropuchy obecné a skokani zelení a hnědí (nepublikovaná data). Tito se živí jak žížalami, tak nitěnkami, které jsou hojně přítomné ve vodních sedimentech a dalšími bezobratlými

živočichy (brouci, komáři a další). Z nich byly v předešlých studiích realizovaných na povrchu krasového území a území nacházejícího se v povodích ponorných vodních toků izolovány mykobakterie (Mátlová et al., 1998; Fischer et al., 2000, 2001, 2003a,b, 2004a,b, 2005, 2006; Mrlik et al., 2012).

Výzkumy role při šíření mikroorganismů a plísní jsou však u těchto větší obratlovců chladnokrevných i teplokrevných teprve na začátku. Jejich pobyt je v jeskynním prostředí Moravského krasu systematicky monitorován, jejich výkaly a mrtvá těla jsou vyšetřována. Jejich konkrétní role při šíření mikroorganismů však dosud není bezpečně v jeskynním prostředí odhalena.

Na povrchu se vyskytující teplokrevní obratlovci jsou z hlediska zdrojů mykobakteriálních infekcí málo známí. Pouze u aviární tuberkulózy víme, že jejich zdrojem je chovaná drůbež v malochovech a jiné chované druhy ptáků (např. bažanti), kteří jsou často infikováni (Shitaye et al., 2008a,b, 2009, 2010; Moravkova et al., 2011). U drobných zemních savců je výskyt mykobakterií a dalších závažných bakteriálních patogenů znám (Skoric et al., 2007). V jeskynním prostředí je zatím výzkum v této oblasti zcela na počátku.



Doprovodná
video k panelu

Trocha praxe:

1. V boxech jsou připraveny vzorky přírodnin, které můžete využít k vytvoření vlastního dočasného mikroskopického preparátu.
2. Použijte ochranných rukavic, jsou k dispozici různé velikosti.
3. Vzorek naberte do epruvety s pomocí přiložené pinzety.
4. Vezměte jej s sebou na výstavu a vytvořte podle návodu na jednom z pracovišť mikroskopický preparát.
5. Pro prohlížení kostí drobných savců využijte pracoviště s lupou nebo binokulární lupou.
6. Pinzetu ponechte na místě, na pracovištích jsou připraveny potřebné nástroje.
7. Při odchodu z výstavy vraťte použitou epruvetu na určené místo a rukavice vhod'te do koše
8. Vytvořený preparát nebo vzorek v epruvetě si můžete ponechat, pokud Vám to dovolí průvodce, například při speciální nebo komentované prohlídce.
9. Při práci s mikroskopem postupujte podle přiloženého návodu a dbejte instrukcí průvodce.
10. Při práci s počítačem, například při prohlížení filmů, fotografií nebo prezentací, dbejte instrukcí průvodce, počítač ani jiné přístroje sami nevypínejte ani nezapínejte.
11. Na pracovištích jsou pro Vás připraveny trvalé mikroskopické preparáty, vždy je po prohlédnutí vracejte na místo, nepřenášejte je mezi stoly.
12. Interaktivní modely bakterií nepřenášejte do jiné místnosti, po složení je vraťte na místo.
13. Videoprogram běží automaticky jako smyčka, projekční přístroje sami nezapínejte.

Děkujeme a přežeme hodně badatelských úspěchů.

Obr. 89: Doprovodný panel s návodem pro práci s interaktivními exponáty: Trocha praxe pro návštěvníky výstavy (námet V. Káňa, grafická úprava J. Pernes).

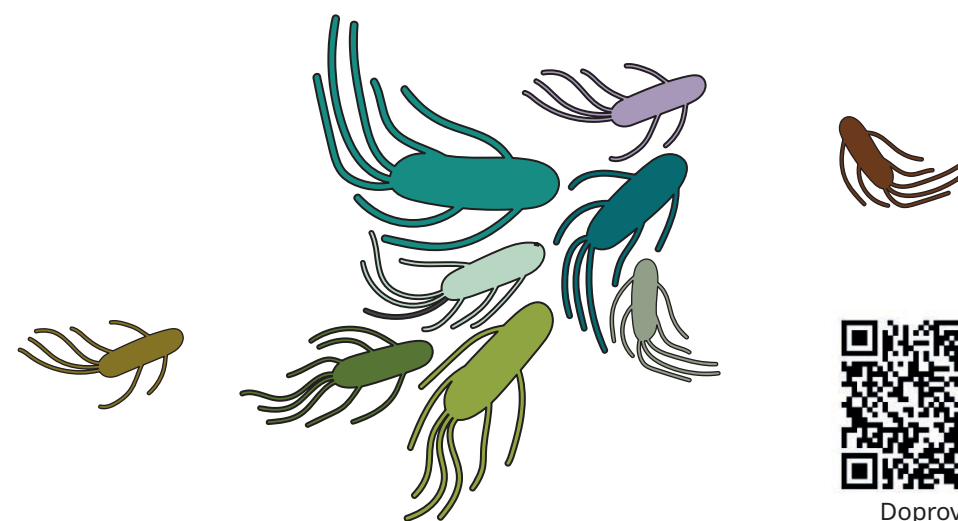
8.8 PANEL S NÁVODEM PRO PRÁCI S INTERAKTIVNÍMI EXPONÁTY: TROCHA PRAXE PRO NÁVŠTĚVNÍKY VÝSTAVY

Výstava si bere za cíl návštěvníky nejenom teoreticky ale i prakticky vzdělat v oblasti laboratorní práce při studiu přírodních materiálů pocházejících z území Moravského krasu. V první výstavní místnosti jsou k dispozici různé přírodní materiály, např. voda s řasami z Jedovnického potoka vývěru Býčí skály, hrabanka listů a větviček z portálu Býčí skály a další. Tyto vzorky jsou umístěny v odběrové jednorázové nádobě na tekutiny a v boxech. Vzorky vody s řasami je možné přemístit jednorázovými pipetami do jednorázových nádob na odběr sputa a jednorázových Petriho misek.

V této místnosti je také umístěn panel s instrukcemi na bezpečné zacházení a manipulaci se vzorky. Ty si návštěvníci mohou odnést do třetí výstavní místnosti, ve které jsou k dispozici světelné mikroskopy a stereomikroskop. Na podložní skříčka je možné přenést jak výše zmíněné matrice, tak kosti netopýrů, které byly ošetřeny radiační sterilizací firmou BIOSTER, a.s. sídlící ve Veverské Bítýšce.

K dispozici jsou jednorázové latexové rukavice a další prostředky pro osobní hygienu. Proto je práce, která je reali-

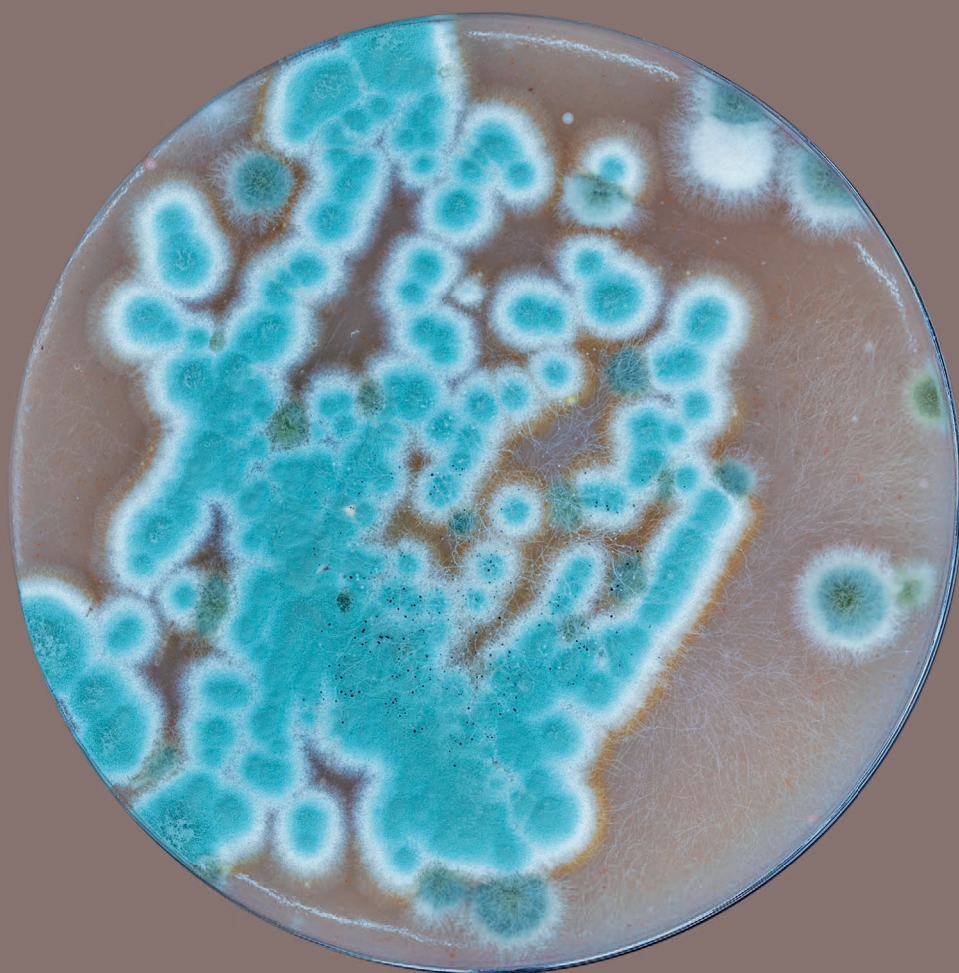
zována podle instrukcí na panelu a za použití těchto ochranných prostředků, bezpečná. Na konci každého výstavního dne jsou všechny použité jednorázové nástroje bezpečně likvidovány a podložní skříčka jsou omyty v desinfekčním roztoku Chloraminu T použitého dle instrukcí výrobce. Nové jednorázové laboratorní nástroje a nádoby jsou pravidelně doplňovány stejně jako prostředky pro osobní ochranu. Ty jsou k dispozici každé ráno před otevřením výstavních prostor pro veřejnost.



Salmonella

Doprovodná videa k panelu

ODBORNÉ PANELE O HOUBÁCH, PLÍSNÍCH, BAKTERIÍCH A ZVLÁŠTĚ MYKOBAKTERIÍCH



9. ODBORNÉ PANELE O HOUBÁCH, PLÍSNÍCH, BAKTERIÍCH A ZVLÁŠTĚ MYKOBAKTERIÍCH

Po úvodních panelech v prvních dvou výstavních prostorách je v dalších z nich na stěnách umístěno celkem deset odborných panelů s podrobnějšími informacemi o biosféře skládající se zvláště z mikroorganismů. V předešlých více než třech dekádách byl výzkum v jeskyních zaměřen mimo jiné také na plísně a houby (Nováková, 2008, 2017, 2022). Z tohoto důvodu je velká většina těchto odborných panelů zaměřena na prezentaci výsledků výzkumu mykobakterií.

V průběhu let 2015–2024 bylo vyšetřeno v rámci tří výzkumných projektů GAČR a AZV celkem 3599 vzorků prostředí pocházejících z krasových území v České republice a v zahraničí. Dalších 1761 vzorků bylo vyšetřeno z různých vzorků prostředí nacházejícího se mimo krasová území: přírodní rašeliniště, zemina zahrad, parků, skleníků, prachu z domácností, zahradních substrátů, vody, vodních biofilmů a sedimentů a dalších vzorků. Tento systematický výzkum na přítomnost mykobakterií tedy umožnil komplexní pohled na jejich ekologii. Přitom interpretace výsledků byla realizována v široké mezioborové spolupráci. Proto tyto odborné panely přibližují svět bakterií od jejich vzniku na Zemi až po jejich laboratorní průkaz. Ten je vysvětlen na příkladu mykobakterií, které se vyskytují jak v prostředí, tak jsou schopny (některé druhy) způsobit infekci člověka a zvířat (tuberkulózu a mykobakteriózu). Objev původce tuberkulózy otevírá dlouhou historii výzkumu této významné skupiny mikroorganismů. Postupně byly izolovány od různých druhů zvířat a z prostředí četné druhy mykobakterií (dnes jich je známých téměř 200 druhů). Jejich záchyt v Moravském krasu je proto na mnohých těchto odborných panelech dávám do různých souvislostí epidemiologických a epizootologických.

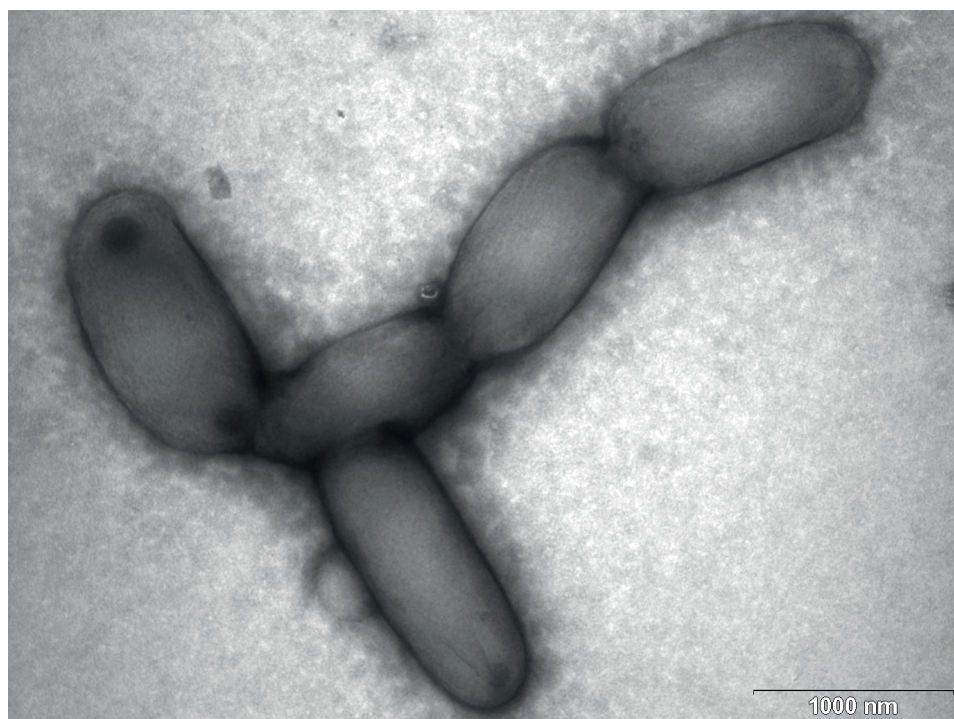
Za unikátní je možné považovat interpretaci výsledků a analýzy významu žíhal a jejich výkalů (žížalinců) při šíření mykobakterií v jeskynním prostředí. Jeskynní sedimenty a dřevitý materiál se vyskytují v jeskyních naprosto běžně. Sedimenty jsou přinášeny aktivně protékajícími vodními toky z povrchu, nebo se nachází v jeskyních od jejich vzniku a prvních záplav. Naproti tomu dřevitý materiál je buď do jeskyně přinesen vodním tokem z povrchu (zejm. listí, větvičky, šišky aj.), nebo byl do jeskyně přinesen záměrně (toto dřevo označujeme pracovním jako konstrukční). Zcela zvláštní skupinou dřevitého materiálu představují kořeny stromů a rostlin prorůstajících do jeskyní. Tyto kořenové útvary jsou často pozorovány v jeskyních České republiky včetně jeskyní Moravského krasu.

Pro pochopení ekologie mykobakterií v krasovém prostředí je jeden odborný panel věnován růstovým vlastnostem mykobakterií. Z faktorů, které mají největší význam při jejich růstu, jsou teplota, vlhkost a dostupnost organické hmoty. Všechny tyto faktory jsou v jeskyních splněny, i když se zásadně liší od faktorů na povrchu krasového území, nebo v jiných částech území jak v České republice, tak v zahraničí. Mykobakterie jsou přitom svými vlastnostmi

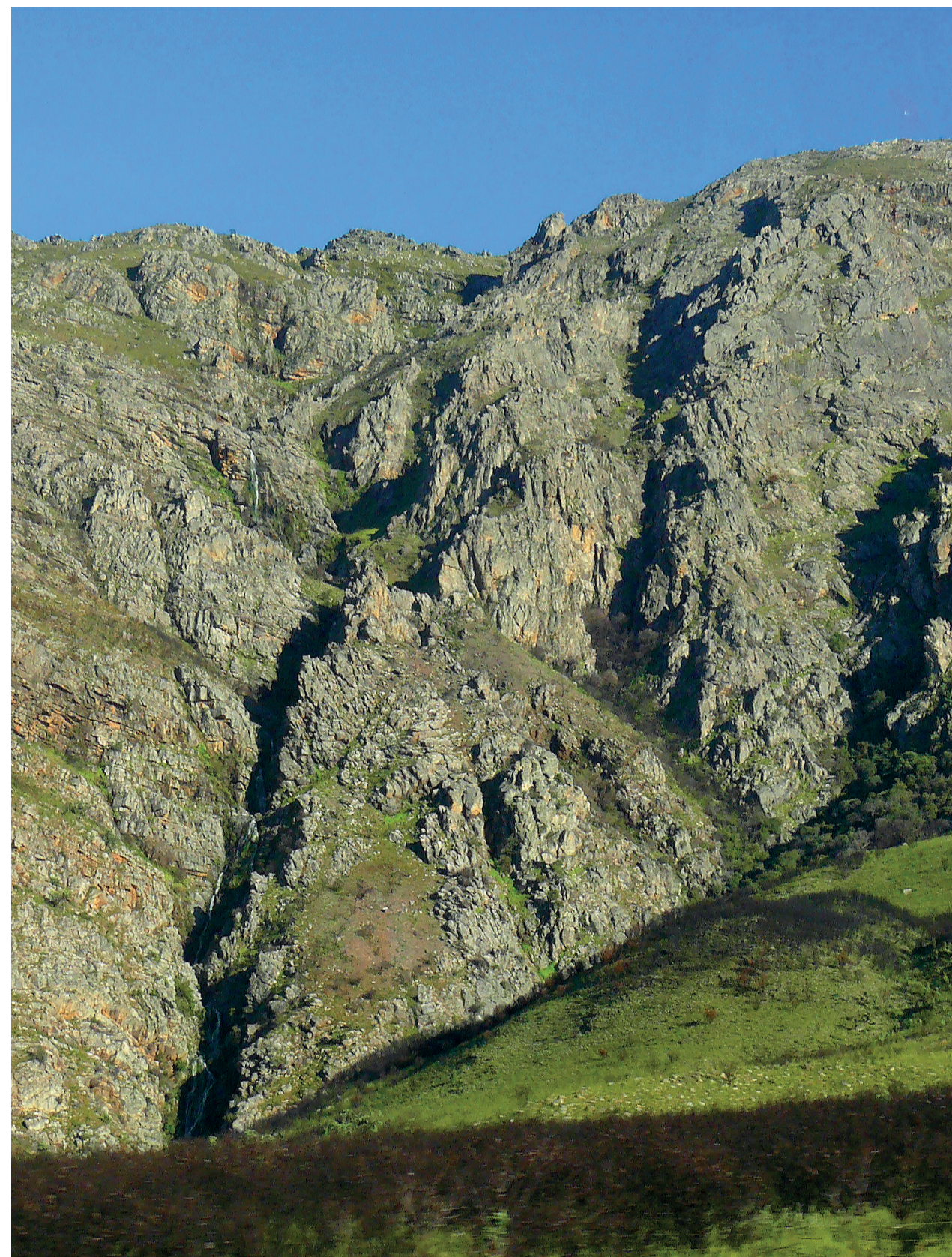
podobné houbám. Pro pochopení často jejich společnému výskytu se věnuje jeden celý odborný panel.

Za jeden z nejvýznamnějších objevů v Moravském krasu a v dalších krasových oblastech v České republice (především Hranický kras a Český kras) je objev významu netopýrů a jejich guána při šíření mikroorganismů a spor plísní. Tomuto tématu je věnován poslední odborný panel. Tyto poznatky byly známy především z tropických a subtropických oblastí, ve kterých jsou průměrné teploty v krasových jeskyních vyšší než 22 °C. Tyto podmínky jsou zcela odlišné

od teplotních podmínek v jeskyních Moravského krasu. Pouze jedna jeskyně (Rotunda v Hranické propasti) má celoročně vyšší teplotu, která se pohybuje kolem 15 °C. Tímto je vytvořeno zcela unikátní prostředí po více než 15 mil. let, během kterých již tato jeskyně nepřetržitě existuje. Radiokarbonové datování umožnilo pro nás do té doby neznámé objevy jak v jeskyni Rotunda, tak v jeskyních Moravského krasu (Býčí skála, Kateřinská jeskyně a Sloupsko-šošůvské jeskyně). Průkaz DNA mykobakterií ve vzorcích guána datovaného na 13 393–13 155 let před naším letopočtem je ohromující.



Obr. 90: *M. avium* subsp. *paratuberculosis*, zvětšeno 18 000× (foto L. Dvorská).



Obr. 91: Nejstarší horniny na Zemi se vyskytují také v Jihoafrické republice (foto I. Pavlík).

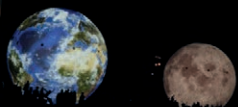
BAKTERIE JSOU NEJSTARŠÍ ŽIVÉ ORGANIZMY NA ZEMI

Před 4,7 miliard (mld.) let: vznik Země



Žhavá láva po celém povrchu neumožňovala existenci života, aktivní kráter *Santiago* sopky *Masaya*, Nikaragua (I. Pavlík)

Před 4,5 mld. let: vznik Měsíce



Měsíc podle současných teorií vznikl před 4,5 mld., foto pořízené u Hvězdárny a planetária města Brna, Kraví Hora (I. Pavlík)

Před 4,5–4,1 mld. let: postupné chladnutí povrchu Země



Povrch Země postupně chladl, sopka *Kilauea*, Velký Ostrov, Havajské ostrovy (I. Pavlík)

Před 4,1–3,8 mld. let: chladnutí povrchu Země vytvořilo podmínky pro vznik Praoceánu



Vznik Praoceánu byl zatím dramatický a neumožňoval kvůli jeho vysokým teplotám vznik života, od roku 1983 nepřetržitě teče žhavá láva do Tichého oceánu, *Red Lava Floating Field*, Velký Ostrov, Havajské ostrovy (I. Pavlík)

Před 4,0–3,7 mld. let: na Zemi jsou zachovány nejstarší horniny

Austrálie představuje unikátní prostředí se zachráněnými nejstaršími horninami na Zemi, Modré hory – *Blue Mountains*, Nový Jižní Wales, foto pořízené u Hvězdárny a planetária města Brna, Kraví Hora (I. Pavlík)



Nejstarší horniny na Zemi, Jihoafrická republika (I. Pavlík)

Před 4,1–3,8 mld. let: voda byla silně mineralizovaná a značně kyselá



Chladnoucí voda s minerálními a dalšími rozpustitelnými látkami vytvořila podmínky pro vznik života. První voda v kalderě chladnoucí sopky *Toya*, *Toya Caldera and Usu Volcano Global Geopark*, Hokkaidó, Japonsko (I. Pavlík)

Jedny z nejstarších hornin (3,8 mld. let) je možné spatřit mimo jiné v Austrálii, Modré hory (I. Pavlík)

Před 4,1–3,8 mld. let: zřejmě opakovaný vznik života na Zemi ve vodě

Podvodní záběr dna Punkvy v Nové Amatérské jeskyni (I. Pavlík)



Život vznikl ve vodě obohacené o rozpustěné minerální a další látky. Podvodní záběr dna Jedovnického potoka v Býčí skále, Rudová štola

Ve vodě byly rozpustěny často i železité horniny; dno jezírka se skapovou vodou, Společňák (I. Pavlík)

Činnost živých mikroorganismů se následně stala voda Praoceánu méně zakalená, dno Horního jezírka, Macocha (I. Pavlík)



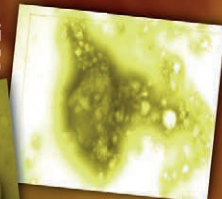
Suché prostředí erodované lávy na jemný písek nevytvářel podmínky pro vznik života na Zemi, aktivní sopka *Mt. Usu*, Japonsko (I. Pavlík)

Vodu je možné pozorovat dodnes i Bahnitých sopkách, *Los Hervideros de San Jacinto*, Nikaragua (I. Pavlík)

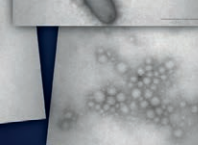


Před 4,1–3,8 mld. let: první živé jednobuněčné mikroorganismy na Zemi měly ve vodě zřejmě kulovitý tvar

Mycobacterium avium subsp. *avium*, zvětšeno 18 000x, před (odstraněním) rozpustěním mykobakteriální stěny (L. Dvorská)



Tentýž izolát *M. avium* subsp. *avium*, zvětšeno 12 000x, po odstranění mykobakteriální stěny (L. Dvorská)



Tentýž izolát *M. avium* subsp. *paratuberculosis*, zvětšeno 20 000x, po částečném odstranění bakteriální stěny (L. Dvorská)

Tentýž izolát *M. avium* subsp. *paratuberculosis*, zvětšeno 12 000x, po úplném odstranění bakteriální stěny (L. Dvorská)

9.1 PANEL: BAKTERIE JSOU NEJSTARŠÍ ŽIVÉ ORGANIZMY NA ZEMI

Na tomto panelu jsou přiblíženy podmínky vzniku života na Zemi fotografiemi ze sopečných oblastí (Havajské ostrovy, Japonsko a Nikaragua). Pro ilustraci byly také pořízeny podvodní záběry z vodních toků, které jsou v Moravském krasu přítomny v podzemí: např. Jedovnický potok v Rudickém propadání, Býčí skále a Barové jeskyni, nebo Punkva v Amatérské jeskyni. Mikroskopicky jsou kulovité tvary tehdejších vznikajících prvních buněčných forem života přiblíženy na poddruzích *M. avium*. Tyto formy se podařilo získat po speciálním ošetření mykobakterií různými enzymy. Ty zapříčinily vznik tzv. L forem bakterií bez jejich buněčné stěny, jak je popsáno v přehledném článku Beran et al. (2006).

Podvodní záběry z vodních toků jeskyní v Moravském krasu, tekoucí láva kráteru Santiago sopky Masaya a bahnitě sopky v Nikaragui, tuhá láva nebo tekoucí láva do Tichého oceánu na Velkém ostrovu na Havaji nebo nejstarší horniny na Zemi přítomné v Austrálii (Modré hory) nebo v Jihoafrické republice přibližují tuto situaci.

Činnost živých mikroorganismů včetně mykobakterií (Modra et al., 2017) ve vodě a sedimentech Jedovnického potoka v Býčí skále ukazují současnou ekologickou situaci. S velkou pravděpodobností se dá předpokládat, že podobné situace nastávaly i při vzniku života na Zemi před asi 4,1 až 3,5 mld. let.

Mykobakterie představují skupinu nepohyblivých, aerobních tyčinek, které mají neobvyklé morfologické a kultivační vlastnosti. Díky nim se výrazně liší od ostatních skupin bakterií. Mezi tyto odlišné vlastnosti patří zejména stavba buněčné stěny. Ta je vysoce odolná jak proti imunitnímu systému infikovaných organismů, tak i proti různým podmínkám v prostředí (Hurych a Štícha, 2020). Další jejich zvláštní vlastností je relativně dlouhá generační doba, tedy čas potřebný ke vzniku nové generace mykobakterií.

U běžných bakterií, např. *Escherichia coli*, je tato generační doba pouze asi 20 min. Naproti tomu u původce humánní tuberkulózy trvá tato generační doba 24 hod a u původce lepry dokonce až 7 dnů (Kazda et al., 2009).

Taxonomicky se rod *Mycobacterium* řadí do čeledi Mycobacteriaceae, řádu Corynebacteriales, třídy Actinobacteria a domény Bacteria (Kazda, 2000). Do rodu *Mycobacterium* je recentně řazeno více než 200 druhů a poddruhů (LPSN, 2024). Je až překvapující, kolik je stále popisováno s pokračujícím rozvojem diagnostických a laboratorních metod nových druhů mykobakterií. Od popisu nového mykobakteriálního druhu a zanesení jeho specifických sekvencí DNA do genových bank a do jejich zpřístupnění vědecké veřejnosti uběhnou často jen dny či týdny. V současných možnostech je práce s databázemi s publikovanou vědeckou i odbornou literaturou potom relativně snadná. O „tom či onom“ mykobakteriálním druhu lze zjistit dostatečné množství informací (Pavlík et al., 2022b). O jejich ekologii v krasovém a především v jeskynním prostředí je však omezený zdroj

Obr. 92: (str. 94) Doprovodný panel *Bakterie jsou nejstarší živé organizmy na Zemi* (námět I. Pavlík, grafická úprava J. Pernes).

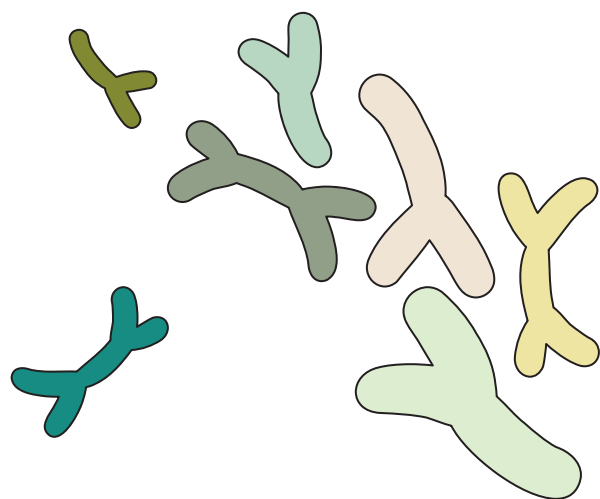
informací. Tato výstava svým zaměřením a obsahem se proto pokouší tyto mezery zaplnit.

Druhová pestrost mykobakterií jim mimo jiné v prostředí umožňuje dlouhodobě osídlit různé niky (Kazda, 2000; Kazda et al., 2009). Jejich přítomnost následně většinou svědčí pro dlouhodobě znečištěné prostředí organickými látkami. Proto začínají být mykobakterie považovány v současné době kromě *Escherichia coli* za tzv. indikátorové mikroorganismy (Pavlík a Garmendia, 2022).

Z literárních údajů z oblasti přírodních věd se dnes setkáváme s naprosto detailními analýzami všech různých složek prostředí, ve kterých se mykobakterie vyskytují. Je možné se dozvědět až překvapivé detaily o chemickém složení vody, rostlin, vzduchu, prachu, půdy a dalších často mykobakteriemi osídlených přírodních materiálů. Je možné se dozvědět až neuvěřitelné nové poznatky o výskytu mykobakterií kultivačně nezávislými technikami (metody PCR, hybridizace, sekvenování a další). Ty jsou schopné, jak se jeví podle prvních získaných a publikovaných poznatků, objevit pro nás „nové světy“ v oblasti mykobakteriologie. Detailní klimatologické studie

v době nastupujících klimatických změn spojených především s oteplováním jsou rovněž k dispozici ve vztahu k výskytu mykobakterií (Kazda et al., 2009). Relativně stabilní prostředí jeskyní vytváří jakousi zásobárnu či banku různých druhů bakterií včetně mykobakterií. Poměrně nízké průměrné teploty mezi 7–9 °C a až 100% vlhkost (Absolon, 1970a,b; Hromas 2009) vytváří příznivé podmínky pro uchování mikroorganismů.

Pro snadnější pochopení mikrosvětla představovaného bakteriemi byly proto mykobakterie vybrány pro tuto výstavu jako jeden z hlavních indikátorových mikroorganismů. Mykobakterie nám umožňují pochopit prostřednictvím jejich cirkulace na povrchu a v podzemí jejich ekologický význam v jeskynním prostředí krasových území. V Moravském krasu nám to zprostředkoval dlouhodobý výzkum, který byl zaměřen na přítomnost mykobakterií a jejich přežívání v různých složkách prostředí (Modra et al., 2017, 2018, 2024). Ve výstavních prostorách u mikroskopů umožňují promítané fotografie na monitorech vytvoření představ jak o vzhledu a barvě izolovaných kolonií mykobakterií, tak o jejich struktuře po vyšetření mikroskopem.



Doprovodná videa
k panelu



Obr. 93: Vznik Praoceanu byl zatím dramatický a neumožňoval kvůli jeho vysokým teplotám vznik života; od roku 1983 nepřetržitě teče žhavá láva do Tichého oceánu, Red Lava Floating Field, Velký Ostrov, Havajské ostrovy (foto I. Pavlík).



LABORATORNÍ PRŮKAZ MYKOBAKTERIÍ: DIAGNOSTIKA TUBERKULÓZY A MYKOBAKTERIÓZ

1. Vyšetření klinické

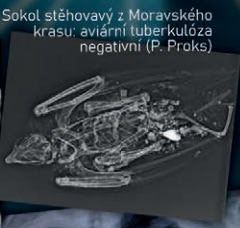


Veterinární lékař v ohnisku aviární tuberkulózy (I. Pavlík)

2. Vyšetření rentgenologické



Kajman brýlový s mykobakteriózou (Z. Knotek)



Sokol stěhovavý z Moravského krasu: aviární tuberkulóza negativní (P. Proks)



Člověk vyšetřovaný na mykobakteriízu plic (R. Hrdina)



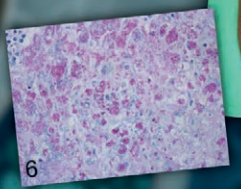
Kocour s granulomatózní plicní infekcí (V. Grymová)

3. Vyšetření patologické



Pitva varana komodského (J. Svobodová)

4. Vyšetření tkání, histologické vyšetření



Buňky těchto infikovaných jater plné červených tyčků původce aviární tuberkulózy *M. avium* subsp. *avium* (M. Skorič)

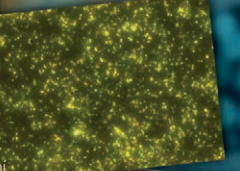


Sup krahujový, játra, ptačí (aviární) tuberkulóza (M. Skorič)

6. Vyšetření mikroskopické přímé po fluorescenčním barvení



Fluorescenční mikroskop umožňuje také pozorovat mykobakterie, jsou však patrné již při zvětšení 200 x, ZÚ Ostrava (I. Pavlík)

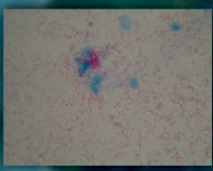


Přímé mikroskopické vyšetření (200 x zvětšeno) sputa od člověka s humánní tuberkulózou (*M. tuberculosis*), mykobakterie se barví sytě žlutě (J. Svobodová)

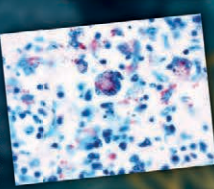
5. Vyšetření mikroskopické přímé po barvení dle Ziehl-Neelsena



Kur domácí, játra, ptačí (aviární) tuberkulóza (J. Shitaye)



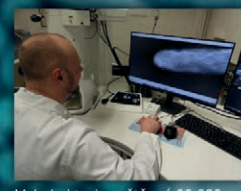
Přímé v homogenizované tkáni jater prokázána masivní infekce červenými tyčkami mykobakterií později identifikovaných jako původce aviární tuberkulózy (J. Shitaye)



Prokázání červených tyček mykobakterií *M. avium* subsp. *hominissuis* v homogenizované tkáni mízní uzliny střevní koně Capriána (M. Blahutková)

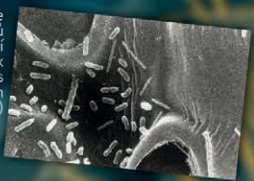


7. Vyšetření mikroskopické elektronovým mikroskopem



Mykobakterie zvětšená 30 000 x krát, elektronový mikroskop v ZÚ Ostrava (I. Pavlík)

Mykobakterie různých druhů v rašelině přírodní (25 000 x zvětšeno), směs různých dlouhých tyček (J. Kazda)



9.2 PANEL: LABORATORNÍ PRŮKAZ MYKOBAKTERIÍ: DIAGNOSTIKA TUBERKULÓZY A MYKOBAKTERIÍ

Pro pochopení všech souvislostí mezi mykobakteriemi, infekcemi lidí a zvířat a jejich ekologií je na tomto panelu přiblížen jejich průkaz prostřednictvím různých metod využívaných v diagnostice. Tuberkulóza se týká většiny z nás prostřednictvím BCG vakcíny, kterou byli vakcinováni do roku 2010 všichni obyvatelé České republiky (Ulmann et al., 2023).

Na tomto panelu jsou přiblíženy vyšetřovací metody včetně přímé mikroskopie. Klasická světelná mikroskopie je v současné době doplňovaná o mikroskopii elektronovou. Návštěvníci výstavy si mohou udělat představu o vzhledu mykobakterií, které jsou zvětšené jak v izolovaných kulturách, tak přímo ve vzorcích prostředí při zvětšení až 30 000×.

Objevy v oboru molekulární biologie přináší další závratný pokrok. Prostřednictvím molekulárně biologických metod se urychluje popis nových druhů mykobakterií. To vede k neuvěřitelné „explozi“, která umožňuje studovat tyto nové mykobakteriální druhy nejenom v organismu infikovaných jedinců, ale také v různých složkách prostředí. S popisem těchto nových mykobakteriálních druhů téměř stejným tempem přibývá množství popisu kasuistik přidružených onemocnění, případů infikovaných pacientů oslabených zhoršenou funkcí dýchacího ústrojí, neb imunitního systému (Kazda et al., 2009; Ulmann et al., 2023).

Do výběru podkladů pro tento panel byly vybrány fotografie a fakta z výzkumů, kterým se autoři této výstavy věnovali více než tři dekády. Prezentované poznatky však vychází z více než 150letého období od popisu příčinné souvislosti mykobakterie a pradávného onemocnění v roce 1873. Tehdy byl popsán původce

lepry *Mycobacterium leprae*. Následoval další druh *M. phlei*, který byl pak popsán v roce 1899. Tento druh se však vyskytoval mimo hostitelský organismus na stvolech traviny bojínku lučního *Phleum pratense*. Patřil mezi tzv. netuberkulózní mykobakterie, anglicky známé jako „non-tuberculous mycobacteria“, které nezpůsobují tuberkulózu u lidí a zvířat (Kazda et al., 2009).

Během tohoto relativně dlouhého období je pozornost věnována mykobakteriím právě proto, že jsou původci závažných onemocnění lidí (lidská tuberkulóza) a zvířat (především bovinní tuberkulóza). Při diagnostice těchto onemocnění byly postupně používány různé metody od patologického vyšetření (pitva uhynulých jedinců) po zobrazovací techniky. Těmi bylo nejprve rentgenologické vyšetření následované počítačovou tomografií (computer tomography, CT) a magnetickou rezonancí (magnetic resonance, MR). V laboratoři byly používány kultivační metody již od roku 1882, kdy byl poprvé v laboratoři ve vývaru z hovězího srdce izolován původce lidské tuberkulózy (*M. tuberculosis*). Po tyto dlouhé dekády se spektrum mykobakteriálních druhů, které byly izolovány a následně identifikovány, postupně rozšiřovalo. Bylo zjištěno, že mnoho těchto druhů pochází z prostředí, což značně

Obr. 94: (str. 98) Doprovodný panel *Laboratorní průkaz mykobakterií: diagnostika tuberkulózy a mykobakterií* (námět I. Pavlík, grafická úprava J. Pernes).

rozšířilo pohled na mykobakterie i z ekologického hlediska (Kazda, 2000; Kazda et al., 2009).

Nyní je známo již více než 200 mykobakterií. V krátké době lze očekávat objevy dalších nových druhů. Ty je možné rozdělit do dvou skupin. Tou první skupinou jsou jak nově druhově určované klinicky významné izoláty, tak i dnes častěji prostě mykobakteriální izoláty od pacientů s různými jinými přidruženými onemocněními. O ekologii těchto nově popsanych druhů mykobakterií není zatím mnoho známo. V jejich druhovém popisu se často v různých obměněných frázích setkáme s informacemi, že jejich zdrojem jsou voda, půda či prach. Detailní informace o jejich ekologii však dosud zůstávají neobjasněny.

Druhou skupinu představují především v poslední dekádě nově popsané druhy mykobakterií, které byly objeveny v prostředí, a které hrají významnou roli např. při rozkladu toxických látek nebo ropných produktů v půdě a ve vodních sedimentech (LPSN, 2024). Obě tyto skupiny druhů mykobakterií jsou zkoumány diagnostickými metodami, které jsou přiblížené prostřednictvím fotodokumentace tohoto panelu.

Z pohledu autorů této výstavy je nutné poznamenat a zdůraznit, že jejím posláním není popis každého onemocnění, které je způsobené různými druhy mykobakterií. Cílem je přiblížení ekologického pohledu na mykobakterie návštěvníkům výstavy a čtenářům tohoto katalogu. Jejich ekologie v prostředí krasového území i mimo něj umožní rozšířit představy o tomto tématu. Složená mozaika informací z mnoha vystavovaných objektů, artefaktů a modelů minimálně popisuje niky, ve kterých se v Morav-

ském krasu i mimo něj mykobakterie vyskytují. O těchto popsanych druhích mykobakterií je možné se potom více dozvědět z publikací, které popisují jak jejich význam v přírodě, tak jejich dopad na zdraví člověka a zvířat (Kriz et al., 2010, 2014; Kaevska et al., 2014; Slany et al., 2014; Pavlik, 2015; Ulmann et al., 2023).

Tyto diagnostické metody a formy jejich viditelných výsledků přibližují jak vyšetřované hostitelské organizmy, tak i prostředí (např. rašeliniště nebo zahradní rašelinu). U mnoha mykobakteriálních druhů se totiž často setkáváme pouze s vágním konstatováním, že jejich zdrojem pro člověka či zvíře je „s největší pravděpodobností“ vnější prostředí. V těch „lepších případech“ je alespoň zmíněna složka tohoto prostředí (např. voda, prach či půda), ve kterém se tento původce „pravděpodobně“ vyskytuje. Dopátrat se však ucelených poznatků o ekologii toho či onoho mykobakteriálního druhu, který způsobuje často i závažné onemocnění lidí a zvířat, není jednoduché.

Mikroskopy a příslušenství pro přípravu mikroskopických preparátů názorně prezentují nejdostupnější nástroje pro hledání nových zdrojů mykobakterií a dalších mikroorganismů. Prezentace na monitorech počítačů a promítané krátké filmy potom přibližují poměrně náročnou práci v terénu jeskyní (Modra et al., 2017).

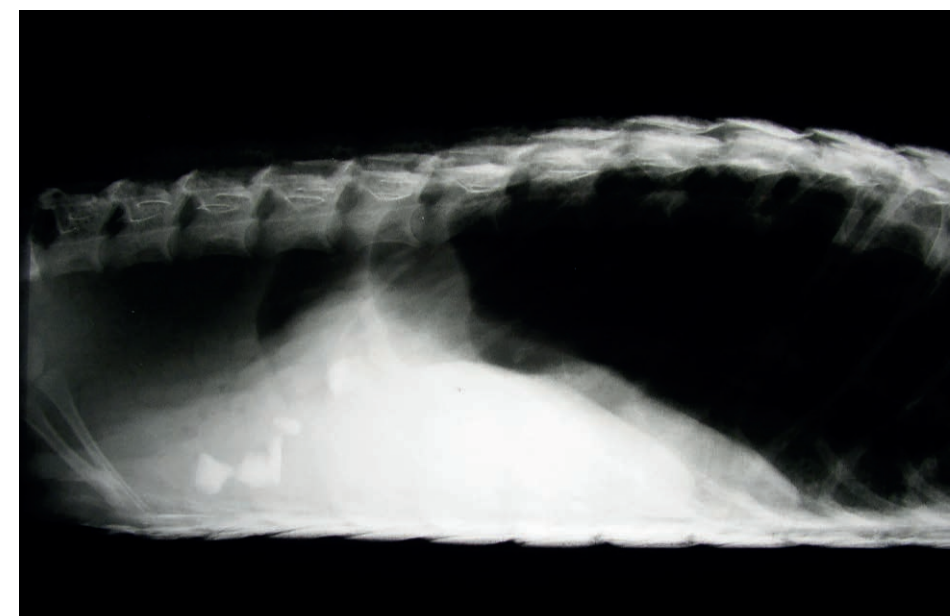
Na výstavě jsou pro získání celkového přehledu popisovány také některé kasuistiky. Z nich návštěvníkům výstavy a čtenářům katalogu může být zřejmé, že nejvýznamnější jsou pro diagnostiku původce onemocnění především klinické projevy. Diagnostika, pokud je úspěšná, umožní cílenou a účinnou léčbu. Logicky a relativně jednoduše jsou prezentovány

postupy, které v praxi provádí humánní a veterinární lékaři (Pavlík et al., 2015, 2017).

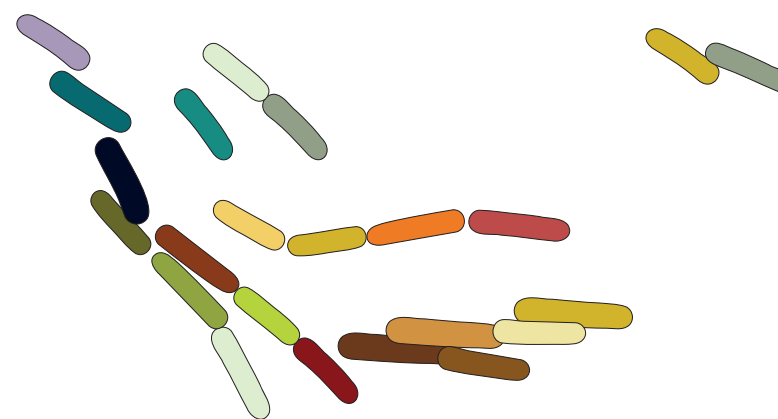
Za velké zadostiučnění budou autoři výstavy považovat zájem kolegů z různých oborů biologických a příp. i technických věd o studium ekologie mikroorganismů. Z pohledu lidského zdraví potom bude největším přínosem vzrůst povědomí lékařů o diagnostice mykobakteriálních onemocnění. Dalším, z pohledu autorů

výstavy možným přínosem, bude objasnění zdravotních rizik, které představuje současné životní prostředí kontaminované různými potenciálními patogeny. Respektem, který po návštěvě výstavy lidé získají, se snad podaří zabránit nejméně jednomu zapeklitému případu komplikované infekce.

Pokud se toto naplní, výstava dle autorů splnila své poslání.



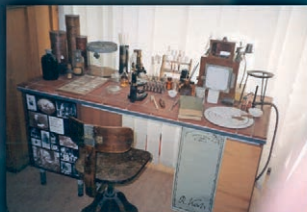
Obr. 95: Kajman brýlový s mykobakteriózou (Slany et al., 2010; foto Z. Knotek).



Doprovodná videa k panelu

OBJEV PŮVODCE TUBERKULÓZY A DALŠÍCH ZDRAVOTNĚ VÝZNAMNÝCH DRUHŮ MYKOBAKTERIÍ

1. Objev původce lidské tuberkulózy (1882)



Prof. Robert Koch objevil a v laboratorii izoloval původce humánní tuberkulózy (*M. tuberculosis*) v Berlíně u tohoto laboratorního stolu v roce 1882, v muzeu je zachován i jeho původní mikroskop jeho (I. Pavlík)

Prof. Robert Heinrich Hermann Koch, humánní lékař a mikrobiolog (1843–1910) obdržel za tento objev v roce 1905 Nobelovu cenu (Google)

Objevil tyto tyčky, které rostou nejčastěji ve sputu a které je možné pozorovat jak ve sputu, tak v postižené tkáni plic (J. Svobodová)



Prof. Robert Koch byl tak slavný, že o jeho objevu původce lidské tuberkulózy byl natočen film dabovaný do různých jazyků včetně i češtiny

2. Objev původce lepry (malomocenství) v roce 1869



Původce lepry *M. leprae* (červené samostatné tyčky a shluky tyček) objevil již v roce 1869 norský mikrobiolog Gerhard Armauer Hansen (O. A. Fischer, J. Kazda)

3. Původce lepry je možné množit jen ve tkáňích pásovců



Dosud se nepodařilo v laboratorii na půdách izolovat původce lepry *M. leprae*. To se zatím podařilo jen po infekci pásovců, v jejichž játrech se *M. leprae* po mnoha měsících až několika letech masivně namnoží (I. Pavlík)

Příznaky lepry jsou odstrašující (J. M. Grange)



Pracoval v leprosiáru v Bergenu (Norsko), kde se obětavě věnoval tehdy nevytřeštěným nemocným pacientům (P. Jahn)



Pro neléčitelnost lepry a děsivé příznaky nemocnění byli infikovaní pacienti přísně izolováni, leprosiárum na ostrově *Spinalonga*, Recko (I. Pavlík)

4. Původce tuberkulózy skotu (bovinní tuberkulózy) objevený v roce 1876

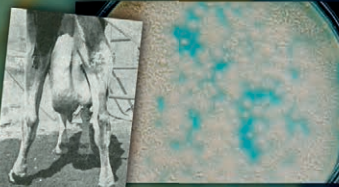


Výskyt bovinní tuberkulózy v Evropské unii v roce 2022 (EFSA, 2023)

Bovinní tuberkulóza byla u skotu v České republice utlumena v roce 1968 a poslední případ byl diagnostikován v roce 1995. Situace v EU v roce 2019 (Eurostat, 2020)

5. Využití vakcinačního kmen pro humánní tuberkulózu *M. bovis* BCG (1919)

Původní izolát pro přípravu vakcíny proti tuberkulóze pocházel z vemene přirozeně infikované krávy *M. bovis* (Dražan et al., 1962). V roce 1919 byl po 13 letech z tohoto izolátu *M. bovis* připraven vakcinační kmen (J. Svobodová)



M. bovis roste na pevných půdách ve formě drsných kolonií, které jsou podobné kvěťákům; proto jsou označovány jako kvěťákovité kolonie (I. Pavlík)

6. Evoluce nových druhů komplexu *M. tuberculosis*



Z předchůdce *M. tuberculosis* se vyvinuly další druhy komplexu; ty se specializovaly na určité druhy hostitelů – zvířat (*M. caprae* u koz, *M. orygis* u antilop, *M. pinnipedii* u ploutvozců, *M. microti* u hrabošů a další). Všichni tyto zástupci jsou i nadále přenosní na člověka (Supply a Brosch, 2017)



Vakcinační kmen se jmenuje podle svých objevitelů jako BCG: *Bacillus Calmette-Geuérin* (Kaufmann, 2006)



9.3 PANEL: OBJEV PŮVODCE TUBERKULÓZY A DALŠÍCH ZDRAVOTNĚ VÝZNAMNÝCH DRUHŮ MYKOBAKTERIÍ

Mezi obligátně patogenní mykobakterie patří druhy *M. tuberculosis* a *M. leprae*, které jsou původci humánní tuberkulózy a lepry.

Tuberkulóza je dle Světové zdravotnické organizace (World Health organization, WHO) dlouhodobě nejběžnější příčinou úmrtí na infekční onemocnění. Každoročně onemocní asi 10 mil. osob. I přesto, že se jedná o onemocnění, kterému lze předcházet a vyléčit ho, zemře každý rok na tuberkulózu 1,5 mil. pacientů. Tuberkulóza bývá také hlavní příčinou úmrtí osob s HIV/AIDS. Většina osob, které onemocní TBC, pochází z rozvojových zemí. Výskyt onemocnění je celosvětový. Přibližně asi polovina všech osob s notifikovanou, tedy potvrzenou tuberkulózou, pochází z osmi zemí. Nejvyšší roční počet infikovaných osob (incidence) je dlouhodobě a neměnně zjišťována v Bangladéši, Číně, Indii, Indonésii, Nigérii, Pákistánu, Jižní Africe a na Filipínách. Celková promořenost se zahrnutím latentní neprogresivní formy je odhadována na téměř 1,3 mld. osob. K postinfekčnímu rozvoji onemocnění však dochází pouze u 5–15 % osob (WHO, 2023).

Počty notifikovaných případů v České republice dlouhodobě klesají od více než 40 000 potvrzených (notifikovaných) případů v 50. letech až po současných 357 infikovaných osob (ÚZIS, 2022). Avšak migrace obyvatelstva ze zemí s vysokým výskytem onemocnění může v budoucnu tento příznivý trend zvrátit (Ulmann et al., 2023).

Další hrozbou mařící snahy o redukcí celosvětového výskytu nových případů (incidence) tuberkulózy je stabilní šíření kmenů rezistentních izolátů *M. tuberculosis* k dostupné léčbě. Nejvyšší výskyt rezistence u notifikovaných případů (>50 %) je v oblastech východní Evropy a jihovýchodní Asie (D'Ambrosio et al., 2015). V roce 2021 bylo v České republice zachyceno 34 (z 274 testovaných) kmenů *M. tuberculosis* rezistentních alespoň na jeden z účinných léků. Převažovala monorezistence nejčastěji na isoniazid a streptomycin (Školoudík et al., 2018). Kritická multirezistence na léky isoniazid a zároveň rifampicin byla zjištěna rovněž u 10 kmenů. Celkový záchyt polyrezistentních kmenů byl 14. Obdobně jako v předchozích pěti letech byl zachycen i jeden případ extenzivně rezistentního kmene, tedy kmene rezistentního na základní i náhradní léky, který je označován jako XDR (ÚZIS, 2022).

Zdrojem nákazy a rezervoárem je vždy pouze člověk s progresivní plicní formou onemocnění. U nemocného tuberkulózou mohou být živé mykobakteriální buňky vylučovány i jinými sekrety a exkrety. Typickým vehikulem přenosu je aerosolizované sputum s *M. tuberculosis*, méně často jsou zdrojem sekrece z ulcerací nebo z píštělí, které se vyskytují na kůži a sliznicích, tím je šířeno

Obr. 96: (str. 102) Doprovodný panel Objev původce tuberkulózy a dalších zdravotně významných druhů mykobakterií (námet I. Pavlík, grafická úprava J. Pernes).

především *M. leprae*. Vzácně může být infekčním materiálem stolice, která může obsahovat mykobakterie při tuberkulóze střev. Ta vzniká v důsledcích polykání infikovaného sputa s *M. tuberculosis*, příp. vznikne při vylučování *M. tuberculosis* žlučovými cestami. Močí je *M. tuberculosis* vylučováno v případě progresu postižení v oblasti ledvin, vývodných cest močových nebo pohlavních orgánů. Sekret v pohlavních žlázách při tuberkulóze varlete, prostaty a semenných váčků může být také infekční stejně jako i menstruační krev při tuberkulóze a endometritidě (Křepela, 1995).

Do komplexu *M. tuberculosis* je v současné době řazeno 8 mykobakteriálních druhů, z nichž 7 druhů patří mezi obligátně patogenní mykobakterie a osmým druhem je *M. bovis* BCG používaný k vakcinaci (Kazda et al., 2009; Ulmann et al., 2023):

- *M. tuberculosis* (původce lidské tuberkulózy na celém světě, sporadicky prokazované infekce u zvířat).
- *M. africanum* (původce lidské tuberkulózy především u obyvatel v západní Africe, vzácně prokazované infekce u zvířat).
- *M. canettii* (původce infekce u lidí diagnostikovaný zcela sporadicky, u zvířat nebyl tento druh dosud prokázán).
- *M. bovis* (mezi vnímavé hostitele patří jak zvířata, tak i lidé).
- *M. caprae* (má stejné hostitelské spektrum jako *M. bovis*).
- *M. microti* (původce tuberkulózy drobných zemních savců, výjimečně se vyskytující u jiných zvířat a lidí).
- *M. pinnipedii* (původce tuberkulózy u ploutvoonožců, který je přenosný také na lidi, zejm. z infikovaných zvířat chovaných v zajetí).

- *M. bovis* BCG (vakcinační kmen; ojediněle způsobuje postvakcinační komplikace u imunosuprimovaných jedinců; kmen používán při studiu účinků desinfekce, nebo přežívání v prostředí).

Zatím u žádného z těchto 8 druhů komplexu *M. tuberculosis* nebyla prokázána jeho schopnost množení se mimo hostitelský organismus. Do prostředí jsou nejčastěji tyto druhy vylučovány infikovanými hostiteli v závislosti na lokalizaci infekce; nejčastěji to bývá od lidí sputum, stolice a moč, u dojených zvířat (zejm. skotu) také ještě mléko a u ostatních domácích a divokých zvířat infikované tkáně jejich těl. Ta se totiž především u volně žijících zvířat stávají součástí potravního řetězce jiných zvířat nebo se rozkládají na povrchu zemském (např. divocí přežvýkavci), v zemi (např. drobní zemní savci), nebo ve vodě, např. ploutvoonožci (Kazda et al., 2009).

Z těchto obligátně patogenních druhů komplexu *M. tuberculosis* byl v krasovém území prokázán zatím jen jeden z nich. Bylo to *M. microti* v guánu netopýrů velkých v jeskyni Rotunda v Hranické propasti (nepublikované údaje). O vlastnostech a výskytu *M. microti*, které způsobuje onemocnění zvířat a ojediněle i lidí je možné se seznámit v přehledné publikaci Skoríc et al. (2007). Spektrum hostitelů *M. microti* je soustředěno především na drobné zemní savce, jejich predátory, ostatní zvířata a na člověka. Již v polovině minulého století bylo známo, že hmyzožravci a drobní hlodavci se dostávají do kontaktu s *M. microti* při konzumaci rostlinné a živočišné potravy. O výskytu *M. microti* v zevním prostředí a o jeho schopnostech v různých složkách prostředí přežít nebyly z území České

republiky žádné dostupné informace a nebylo známo nic o zdrojích infekce (Ulmann et al., 2018).

V historické době, kdy byla v České republice prováděna kultivace materiálů od infikovaných osob s tuberkulózou, bylo *M. microti* prokázáno pouze u jednoho pacienta (Ulmann et al., 2018). Proto záchyt *M. microti* v guánu netopýrů velkých v jeskyni Rotunda v Hranické propasti bylo velkým překvapením (nepublikované údaje).

Obdobný klinický obraz způsobený *M. tuberculosis* má i infekce a rozvoj tuberkulózy způsobené dalšími úzce příbuznými druhy, kterými jsou již zmínované *M. microti* a *M. bovis*. Posledně jmenovaný druh *M. bovis* je původcem

onemocnění přežvýkavců, zejm. skotu. *M. bovis* je jako zoonóza přenosná cestou kontaminovaných masných a mléčných produktů, nebo aerosolem sekretu dýchacích cest při dlouhodobém kontaktu s nemocným zvířetem. V České republice jsou případy aktivního onemocnění člověka zaznamenávány pouze sporadicky (Pavlík, 2015); dva pacienti za posledních 10 let (Ulmann et al., 2023). U zvířat divokých či chovných v zajetí nebyl již od 80. let 20. století zachycen v České republice žádný případ onemocnění. V Evropě se *M. bovis* u skotu stále ještě vyskytuje, např. ve Velké Británii, Irsku, Španělsku, Portugalsku, Itálii, Chorvatsku, Bulharsku, Rumunsku a v dalších zemích



Obr. 97: Prof. Robert Koch byl tak slavný, že o jeho objevu původce lidské tuberkulózy byl natočen film dabovaný do různých jazyků včetně i češtiny, jak to dokumentuje tento plakát (foto IMDb.com, 2024).



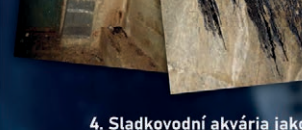
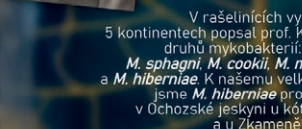
Doprovodná videa
k panelu

MYKOBACTERIE A JEJICH EKOLOGIE V KRASOVÉ I NEKRASOVÉ KRAJINĚ I.

2. Rašeliniště a rašelina jako nejvýznamnější přirozený zdroj mykobakterií

První výzkum výskytu mykobakterií v prostředí realizoval již v letech 1898–1999 prof. Alfred Möller v Německu (Wikipedie). Tehdy v Berlíně ve spolupráci s prof. R. Kochem vyšetřoval rašelínu na přítomnost mykobakterií (Kazda, 2009). Na tento výzkum navázal od roku 1968 v Borstelu v Německu prof. Jindřich Kazda. Z rašeliniště na zahrádce svého domku izoloval mnoho různých druhů mykobakterií (I. Pavlík)

V rašeliništích vyskytujících se na 5 kontinentech popsal prof. Kazda pět nových druhů mykobakterií: *M. komossense*, *M. sphagni*, *M. cookii*, *M. madagascariense* a *M. hiberniae*. K našemu velkému překvapení jsme *M. hiberniae* prokázali v žízalích v Ōchozské jeskyni u kóty 193 u Beránka a u Zkamenělé řeky (I. Pavlík)

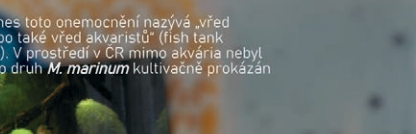
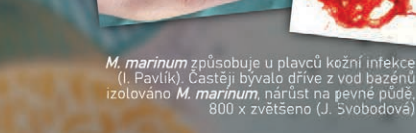
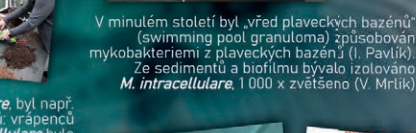
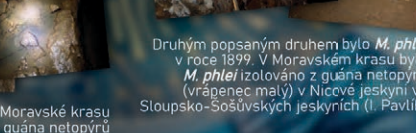


1. Nejvýznamnější monografie o ekologii mykobakterií

První monografie byla publikována v roce 2000 a druhá v roce 2009. Autoři knihy *The ecology of mycobacteria: Impact on animal's and human's health*, zleva prof. J. Falkinham (USA), prof. J. Kazda (Německo), prof. I. Pavlík a prof. K. Hruška (Česká republika), Tisnov, 2009 (M. Kabourková)



Prvním popsáním mykobakteriálním druhem prokázaným v prostředí bylo *M. smegmatis* v roce 1889. V Moravském krasu bylo izolováno *M. smegmatis* ze sedimentu ze dna jezera ve Skaradém sifonu (Archiv ZO ČSS 6-01 Byčí skála)



Druhým popsáním druhem bylo *M. phlei* v roce 1899. V Moravském krasu bylo *M. phlei* izolováno z guána netopýrů (vrápenec malý) v Rudickém propadání (I. Pavlík)

M. phlei bylo v Moravském krasu izolováno také z guána netopýrů (vrápenec malý) v Rudickém propadání (I. Pavlík)

M. phlei bylo v Moravském krasu izolováno také z guána netopýrů (vrápenec malý) v Rudickém propadání (I. Pavlík)

M. phlei bylo v Moravském krasu izolováno také z guána netopýrů (vrápenec malý) v Rudickém propadání (I. Pavlík)

M. phlei bylo v Moravském krasu izolováno také z guána netopýrů (vrápenec malý) v Rudickém propadání (I. Pavlík)

M. phlei bylo v Moravském krasu izolováno také z guána netopýrů (vrápenec malý) v Rudickém propadání (I. Pavlík)

M. phlei bylo v Moravském krasu izolováno také z guána netopýrů (vrápenec malý) v Rudickém propadání (I. Pavlík)

M. phlei bylo v Moravském krasu izolováno také z guána netopýrů (vrápenec malý) v Rudickém propadání (I. Pavlík)

M. phlei bylo v Moravském krasu izolováno také z guána netopýrů (vrápenec malý) v Rudickém propadání (I. Pavlík)

M. phlei bylo v Moravském krasu izolováno také z guána netopýrů (vrápenec malý) v Rudickém propadání (I. Pavlík)

M. phlei bylo v Moravském krasu izolováno také z guána netopýrů (vrápenec malý) v Rudickém propadání (I. Pavlík)

M. phlei bylo v Moravském krasu izolováno také z guána netopýrů (vrápenec malý) v Rudickém propadání (I. Pavlík)

M. phlei bylo v Moravském krasu izolováno také z guána netopýrů (vrápenec malý) v Rudickém propadání (I. Pavlík)

M. phlei bylo v Moravském krasu izolováno také z guána netopýrů (vrápenec malý) v Rudickém propadání (I. Pavlík)

M. phlei bylo v Moravském krasu izolováno také z guána netopýrů (vrápenec malý) v Rudickém propadání (I. Pavlík)

M. phlei bylo v Moravském krasu izolováno také z guána netopýrů (vrápenec malý) v Rudickém propadání (I. Pavlík)

3. Plavecké bazény jako minulý zdroj mykobakterií

V minulém století byl „vřed plaveckých bazénů“ (swimming pool granuloma) způsobován mykobakteriemi z plaveckých bazénů (I. Pavlík). Ze sedimentů a biofilu bývalo izolováno *M. intracellulare*, 1 000 x zvětšeno (V. Mrlik)

Tento druh, *M. intracellulare*, byl např. izolován z guána netopýrů: vrápenců malých (I. Pavlík). *M. intracellulare* bylo izolováno také ze zahradního substrátu pro pěstování rostlin obohaceného guánem netopýrů (M. Pavlík)

Tento druh, *M. intracellulare*, byl např. izolován z guána netopýrů: vrápenců malých (I. Pavlík). *M. intracellulare* bylo izolováno také ze zahradního substrátu pro pěstování rostlin obohaceného guánem netopýrů (M. Pavlík)

Tento druh, *M. intracellulare*, byl např. izolován z guána netopýrů: vrápenců malých (I. Pavlík). *M. intracellulare* bylo izolováno také ze zahradního substrátu pro pěstování rostlin obohaceného guánem netopýrů (M. Pavlík)

Tento druh, *M. intracellulare*, byl např. izolován z guána netopýrů: vrápenců malých (I. Pavlík). *M. intracellulare* bylo izolováno také ze zahradního substrátu pro pěstování rostlin obohaceného guánem netopýrů (M. Pavlík)

Tento druh, *M. intracellulare*, byl např. izolován z guána netopýrů: vrápenců malých (I. Pavlík). *M. intracellulare* bylo izolováno také ze zahradního substrátu pro pěstování rostlin obohaceného guánem netopýrů (M. Pavlík)

Tento druh, *M. intracellulare*, byl např. izolován z guána netopýrů: vrápenců malých (I. Pavlík). *M. intracellulare* bylo izolováno také ze zahradního substrátu pro pěstování rostlin obohaceného guánem netopýrů (M. Pavlík)

Tento druh, *M. intracellulare*, byl např. izolován z guána netopýrů: vrápenců malých (I. Pavlík). *M. intracellulare* bylo izolováno také ze zahradního substrátu pro pěstování rostlin obohaceného guánem netopýrů (M. Pavlík)

Tento druh, *M. intracellulare*, byl např. izolován z guána netopýrů: vrápenců malých (I. Pavlík). *M. intracellulare* bylo izolováno také ze zahradního substrátu pro pěstování rostlin obohaceného guánem netopýrů (M. Pavlík)

4. Sladkovodní akvária jako současný významný zdroj mykobakterií

V současné době jsou nejčastějším zdrojem *M. marinum* především akvária se svým bohatým organickým znečištěním (I. Pavlík)

M. marinum způsobuje především kožní infekce u akvarijních ryb (I. Pavlík). Při manipulaci s infikovanými rybami se *M. marinum* přenese do poraněné kůže akvaristy (I. Pavlík)

Proto se dnes toto onemocnění nazývá „vřed akvárií, nebo také vřed akvaristů“ (fish tank granuloma). V prostředí v ČR mimo akvária nebyl dosud tento druh *M. marinum* kultivačně prokázán



9.4 PANEL: MYKOBACTERIE A JEJICH EKOLOGIE V KRASOVÉM ÚZEMÍ ČÁST I.

Zájem o ekologii mykobakterií začal vzrůstat až ve druhé polovině minulého století, kdy začal klesat počet případů klasické tuberkulózy. Stalo se tak v důsledku systematického používání rozsáhlých depistážních metod, zavádění spolehlivých metod diagnostiky a účinné léčby tuberkulózy. Zlepšily se životní a socioekonomické podmínky a začala být plošně uplatňována vakcinace proti tuberkulóze BCG vakcínou. Všechny tyto faktory způsobily podstatné snížení počtu zdrojů onemocnění působených druhem *M. tuberculosis* u lidí a *M. bovis* u zvířat. V chovech domácích zvířat byly rovněž realizovány národní ozdravovací programy proti tuberkulóze u skotu (bovinní tuberkulóze), což vedlo k jejímu postupnému snižování. V mnoha státech se nakonec podařilo bovinní tuberkulózu u skotu eliminovat (u nás v České republice se to podařilo v roce 1968). Tím vymizely zdroje infekcí vyvolaných *M. bovis* jak u zvířat, tak i u lidí. Přispěly k tomu i důsledné veterinární hygienické prohlídky poražených jatečných a ostatních domácích zvířat. Dalším úspěšným krokem snižování obligátních mykobakteriálních patogenů bylo zavedení povinné pasterace kravského mléka (Thoen et al., 2006).

Ústup tuberkulózy vyvolané druhy komplexu *M. tuberculosis* byl ovšem následován vzestupem infekcí vyvolávaných ostatními druhy mykobakterií (Kazda, 2000). Jedním z důvodů byla změna způsobu života většiny obyvatel ekonomicky vyspělých i rozvíjejících se států. Ta byla spojena s jejich migrací do měst s minimalizací možnosti přenosu infekce od domácích zvířat při přímém kontaktu, expozice obyvatel v těžkém a důlním průmyslu, změna demografické křivky a převaha obyvatel pokročilejšího věku. Vzestup nových onemocnění člověka souvisel s oslabením imunity ponejvíce související s infekcí HIV/AIDS. V současnosti výskyt onemocnění spojených s atypickými mykobakteriemi ovlivňují také nastalé změny životního prostředí a klimatu a omezené povědomí o ekologii mykobakterií. Dalšími příčinami je zvýšení prašnosti, častější povodně a tendence obyvatel migrovat do příměstských

oblastí s blízkým kontaktem s přírodou. Tím byla zásadním způsobem ovlivněna také ekologie mykobakterií a s tím byla zvýšena rizika expozice a infekce člověka (Kazda et al., 2009).

Kombinace působení těchto faktorů vedla rovněž ke změnám epidemiologie infekcí způsobovaných netuberkulózními mykobakteriemi. Jejich zdravotní význam pro lidskou a zvířecí populaci začal rychle stoupat. Přitom v prostředí byly vytvářeny příznivé podmínky pro osídlování nových nik netuberkulózními mykobakteriemi (např. rezervoáry pitné vody, přístroje na výrobu ledu aj.). Začala vznikat nutná potřeba poznání jejich ekologie a tím i možnosti zavádění účinných protiinfekčních opatření (Kazda, 2000; Kazda et al., 2009). Díky dnešním možnostem práce s databázemi (např. PubMed) je možné se o těchto kasuistikách a opatřeních proti nim dozvědět mnoho užitečných informací o jejich diagnostice, terapii a prevenci.

Obr. 98: (str. 106) Doprovodný panel *Mykobakterie a jejich ekologie v krasovém území část I.* (námět I. Pavlík, grafická úprava J. Pernes).

Netuberkulózní mykobakterie (někdy také označované jako atypické mykobakterie) jsou rozšířené v prostředí a mnohdy tvoří jeho přirozenou součást (Kazda et al., 2009). Ve vztahu k onemocnění člověka je jejich uplatnění pouze oportunní (příležitostné) a jejich schopnost vyvolat onemocnění (mykobakteriózou) je podstatně podmíněna několika faktory (Ulmann et al., 2023).

Stěžejní je ve vztahu k potenciální infekci těmito netuberkulózními mykobakteriemi hostitelského organismu míra přítomnosti konkrétního mykobakteriálního druhu ve zdroji (intenzita kontaminace), či obecněji v prostředí. Infekční dávka mykobakteriemi nutná pro zvýšení pravděpodobnosti rozvoje klinického onemocnění u vnímavého pacienta je až o tři řády vyšší oproti dávce, při které je schopen původce humánní tuberkulózy (*M. tuberculosis*) způsobit infekci. V případě nemoci vyvolané netuberkulózními mykobakteriemi dochází ke vzniku granulomů. Netuberkulózní mykobakterie se vyskytují zejm. ve vodě slané i sladké, vodovodním potrubí, studních, hlíně a v prachu. Přirozeným prostředím pro perzistenci mnoha druhů mykobakterií jsou také akvária, akvakultury a pro druhy *M. avium* a *M. malmoense* přírodní rašeliniště a zahradní substráty s rašelinou (Ulmann et al., 2018).

Přenos na člověka netuberkulózních mykobakterií je vždy z prostředí; dosud nebyl popsán přenos netuberkulózních mykobakterií mezi lidmi. Vehikulem je vysoce pohyblivý (volatilní) vodní aerosol, nebo prachové částice. U naprosté většiny druhů netuberkulózních mykobakterií chybí mechanismy modulace imunitního systému hostitele jako je tomu u obligátních patogenů. Netuberkulózní mykobakterie jsou více přizpůsobeny

k přežití ve vnějším prostředí. V něm jsou schopny dlouhodobé kolonizace a jsou schopné využívat různé substráty (Kazda et al., 2009). Mechanismy pro překonání obranných mechanismů makroorganismu zahrnují vyšší míru odolnosti vůči vnějším vlivům, extrémní nutriční nenáročnost a schopnost překonávat období nedostatku živin svojí dormancí (schopností minimalizovat svoje životní projevy). Tvorba kompaktních mykobakteriálních (buněčných) útvarů umožňujících překonání eliminace imunitním systémem (fagocytózy) je pak specifickou vlastností pouze několika druhů (např. *M. xenopi*, *M. kansasii* nebo *M. avium*). Zatím co nových případů klasické tuberkulózy meziročně v České republice ubývá, počty případů jiných mykobakterióz, tedy infekcí způsobovaných netuberkulózními mykobakteriemi, stabilně oscilují průměrně kolem 100 případů ročně (ÚZIS, 2022; Wallenfels et al., 2018).

Rizikem pro rozvoj mykobakteriózy je přítomnost primárního poškození funkčnosti orgánů a imunitního systému pacienta. Predisponujícími faktory jsou především infekce HIV/AIDS, imunosupresivní léčba po transplantacích, leukémie, chronické metabolické poruchy (např. diabetes), dlouhodobý abusus alkoholu, pneumokonióza a geneticky podmíněné poruchy funkčnosti buněčné imunity (Noma et al., 2022). Nejdůležitější ve vztahu k onemocnění mykobakteriózou jsou u člověka především postižení plic kterými jsou chronická obstrukční plicní nemoc (CHOPN), cystická fibróza (CF), kouření, pneumokonióza, posttuberkulózní a jiná infekční fibróza, idiopatická a geneticky podmíněná onemocnění související s elasticitou stěn bronchů či ciliární poruchy. U dětí či pacientů infikovaných HIV/AIDS bývají

postiženy lymfatické uzliny (Hricíková et al., 2011). K infekci pak zřejmě dochází po expozici infekčního aerosolu, nebo kontaminovaným prachem cestou slizničních lézí v dutině ústní (Školoudík et al., 2018).

Z publikovaných údajů o mnohých desítky let popsaných a známých mykobakteriálních druzích (např. *M. marinum*, *M. kansasii*, *M. xenopi* a *M. intracellulare*) je zřejmé, že jejich ekologii byla věnována velká pozornost (Kazda, 2000). Proto bylo také možné snadněji se rychle a dobře seznámit s výskytem těchto druhů v krasovém prostředí. Ty druhy mykobakterií za určitých podmínek jen „kolonizují“ a za jiných podmínek (především v dnešní době stoupající imunosuprese zvířat a lidí) také „úspěšně“ infikují hostitele. Druh *M. marinum* způsobuje infekce především tropických a subtropických akvarijních ryb a akvaristů. U sladkovodních ryb v našich povrchových vodách se "tento druh mykobakterií nevyskytuje. To byl také důvod, proč jsme je neprokazovali v krasovém prostředí ani na povrchu a ani v podzemí (Modra et al., 2017; Pavlík et al., 2018, 2021b).

M. marinum je druhem velmi úzce příbuzným s druhy komplexu *M. tuberculosis* (Tobin a Ramakrishnan, 2008). *M. marinum* je obligátním patogenem ryb a obojživelníků. Uplatňuje se především v zájmových chovech akvarijních ryb a je nejčastější příčinou úhynu osádky akvária. V přírodních vodních rezervoárech našeho klimatického pásma nebylo ve vodě ani u ryb dosud životaschopné *M. marinum* zachyceno (Mrlik et al., 2012). Stejně jako ostatní mykobakterie tak i *M. marinum* není schopné průniku nepoškozeným kožním krytem. Branou vstupu je vždy traumatizující poranění kůže. Infekce ve většině případů progreduje

v lokalizované granulomatózní postižení podkožních lymfatických uzlin. Průběh je velmi pozvolný a u imuno-kompetentních osob dochází mnohdy ke spontánní regresi. Predispozicí k diseminovanému onemocnění jsou poruchy imunity, vyšší věk, hormonální a metabolické poruchy (kortikoterapie, diabetes), ale také velikost dávky inokula (Lahey, 2003).

Díky teplotnímu růstovému optimu tohoto druhu do 32 °C zůstávají postiženy prakticky vždy pouze povrchové a koncové části těla. Počet případů infikovaných akvaristů v České republice kolísá ročně mezi 4–5 případy. Vzhledem k primárnímu nekomplikanému (kosmetickému) průběhu bývá postižení nemocnými osobami dlouhou dobu přehlíženo až bagatelizováno. Proto je pravděpodobné, že mnohdy uniká infekce způsobovaná *M. marinum* správné a včasné diagnostice (Kazda et al., 2009; Slany et al., 2012, 2014).

Generalizované formy infekcí způsobovaných *M. marinum* s masivní diseminací je nutno vždy léčit kombinací vhodných léků se základním makrolidem. Mimo lokalizované kožní změny, jsou diagnostikovány rozsáhlé sporotrichoidní plaky. Onemocnění je dominantní vzhledem k charakteru zájmu v akvaristice především u mužů, ovšem evidovány jsou i infikované ženy. U mužů jsou známy případy důsledku rozsevu *M. marinum* z primárního ložiska na nohou končící zánětem varlat a nadvarlat (Macek et al., 2011). Lokalizovaná ložiska je možno řešit pouze chirurgickou excizí. Rozsáhlé formy vyžadují kombinovanou antibiotickou léčbu (Ulmann et al., 2023).

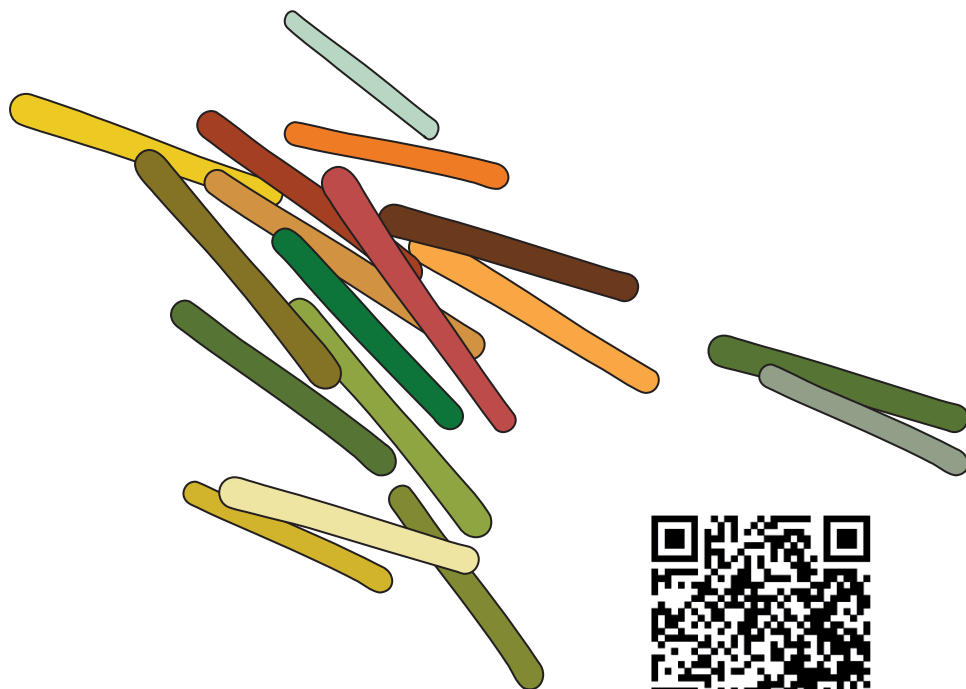
Druh *M. kansasii* se vyskytuje pouze v endemické oblasti severní Moravy v důlních provozech a v těžkém průmy-

slu (Ulmann et al., 2015). Proto rovněž nebyl tento druh v námi studovaném krasovém prostředí (Moravský kras a Hranický kras) nikdy prokázán podzemí a ani na povrchu (Modra et al., 2017; Pavlík et al., 2018, 2021b).

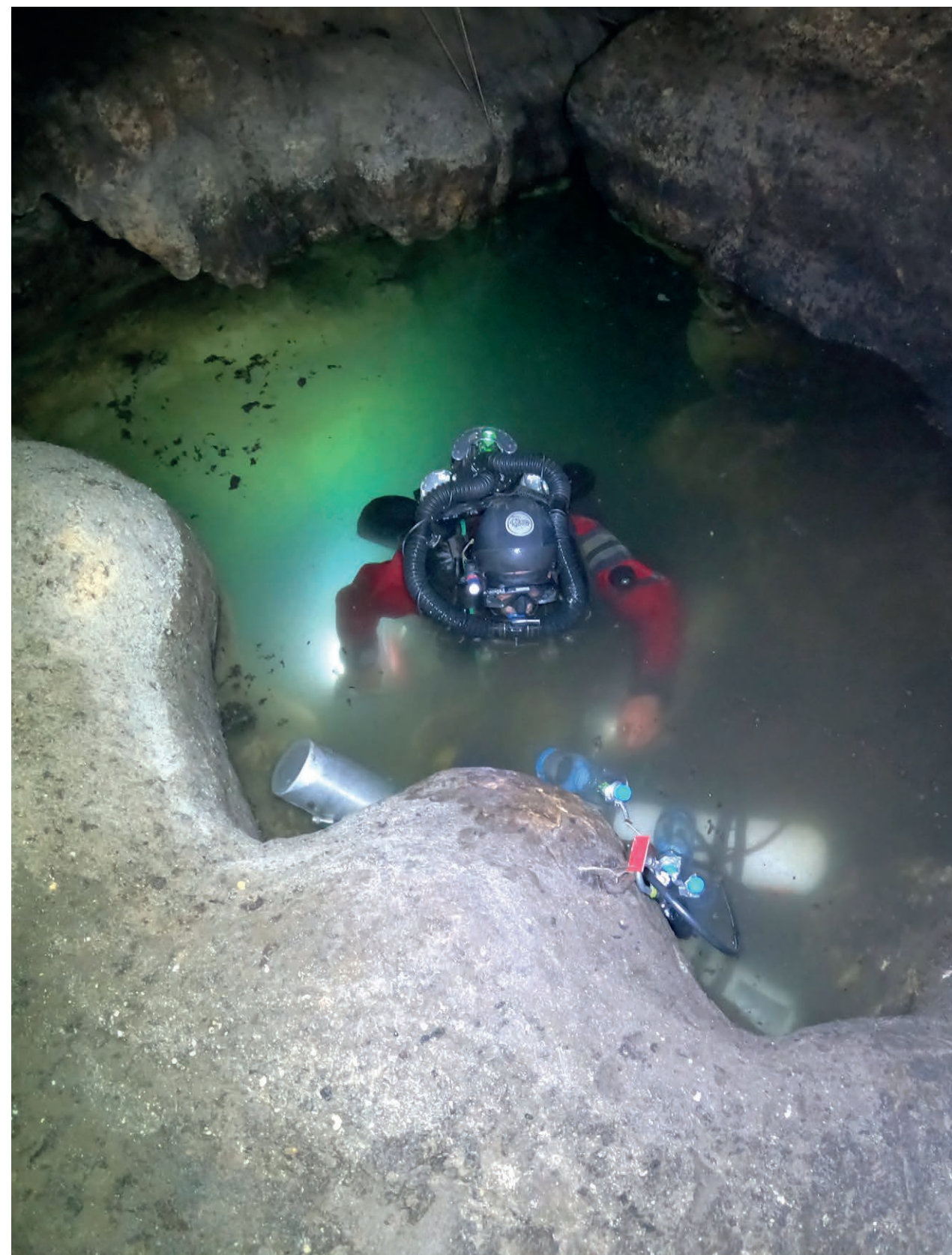
Druh *M. xenopi* je typickým obyvatelům teplovodního potrubí a rezervoárů (bojlerů) na ohřev vody (Kazda et al., 2009; Ulmann et al., 2023). Ve studovaných sedimentech aktivních vodních toků v jeskyních v Moravském krasu (Jedovnický potok, Sloupský potok, Punkva a další) bylo *M. xenopi* sporadicky prokazováno (nepublikované údaje). Tento stav je způsobem průtokem odpadních

vod z domácností, ve kterých se *M. xenopi* v teplovodním systému vyskytuje (Modra et al., 2024). V jeskynním chladném prostředí následně tento mykobakteriální druh dlouhodobě díky své odolnosti přežívá, aniž by se množil (Kazda et al., 2009; Pavlík et al., 2022a, 2022b).

Druh *M. intracellulare* byl k velkému překvapení opakovaně izolován z guána netopýřů, kteří přes zimu hibernovali v některých jeskyních a v letních měsících vyváděli svoje mláďata na půdách kostelů, hradů a zámků. Tyto poznatky jsou zcela nové a v případě používání guána ke hnojení na zahradách je nutné s těmito riziky počítat (Pavlík et al., 2021b).



Doprovodná videa
k panelu



Obr. 99: Záchyt druhu *M. hiberniae* se podařil z guána netopýřů velkých v jeskyni Rotunda v Hranické propasti. Vzorky guána odebírají potápěči, protože jeskyně Rotunda v Hranické propasti není jiným způsobem přístupná (foto M. Guba).

MYKOBAKTERIE A JEJICH EKOLOGIE V KRASOVÉ I NEKRASOVÉ KRAJINĚ II.

5. Voda a sedimenty povrchových vodních toků a vodních ploch

Voda je vhodným médiem, které mykobakterie roznášejí na velké vzdálenosti. Primárně se v ní ale mykobakterie vyskytují v malém množství. Protože mají voskové obaly, jsou mykobakterie nesměřivé, a proto se vyskytují především v sedimentech nebo biofilmtech. V krasové oblasti ale vody často v potocičích vysychají. V létě je většinou Křtinský potok bez vody. V suchých sedimentech mykobakterie přežívají pouze několik dnů až týdnů (I. Pavlík)

Povrchové vody a vodní sedimenty jsou vhodným prostředím pro mykobakterie. Vysvětlujeme také sedimenty Křtinského potoka (I. Pavlík)

K našemu velkému překvapení jsme v Moravském krasu prokázali mykobakterie také ve vodě a v sedimentech u studánek (K. Somerčíková)

Prokázali jsme v nich *M. gordonae* na Petriho misce a 1 000 x zvětšené po barvení dle Ziehl-Neelsena (J. Svobodová)

6. Vodovodní potrubí a zásobníky teplé vody a mykobakterie

V domácnostech, průmyslu a dalších provozech je častým zdrojem mykobakterií biofilm, tvořící se ve starém vodovodním potrubí, zásobníkových ohřívacích vody, ve sprchových růžicích apod. O jejich přítomnosti v dodávané vodě svědčí bohatý záchyt mykobakterií jak v těchto biofilmtech, tak v nádržkách zadržující splachovací vodu. Voda je v nich intenzivně znečištěná biofilmem a sedimenty rezavě až černě barvy (I. Pavlík)

Bylo zde jak z vody, tak z biofilmů a sedimentů kolem studánek izolováno především *M. avium* subsp. *hominissuis* na Petriho misce (V. Ulmann)

M. avium subsp. *hominissuis* 1 000 x zvětšené po barvení dle Ziehl-Neelsena (V. Mrlík)

7. Odpadní vody z obcí jako významný zdroj mykobakterií v krasovém prostředí

V krasovém prostředí jsou významným zdrojem mykobakterií odpadní vody z obcí. *M. chelonae* a *M. fortuitum* bylo prokázáno ve směsné kultuře v kalu odebraném z domovní čistírny v Kotvrdovicích (I. Stejskal)

Za silného deště jsou vyplavovány odpadní vody přímo do Ochozského potoka pod obcí Březina odpoledne dne 27. 4. 2017 (I. Pavlík)

7 těchto sedimentů Ochozského potoka pod obcí Březina bylo izolováno *M. arupense*. Middle-Brookova půda ve zkumavce (V. Mrlík)

Přímým mikroskopickým vyšetřením je zde možné pozorovat při zvětšení 1 000 x velké množství červeně se barvících mykobakterií (O. A. Fischer)

Z těchto sedimentů a biofilmů je často izolováno *M. chelonae*, 1 000 x zvětšeno (V. Mrlík)

M. fortuitum patří k dalším často prokazovaným druhům mykobakterií, 1 000 x zvětšeno (V. Ulmann)

M. chelonae bylo prokázáno také v Kateřinské jeskyni v sedimentech zaplavených vodou (I. Pavlík). Na povrchu těchto sedimentů jsme pod vodou pozorovali guano netopýrů, které bylo s největší pravděpodobností zdrojem *M. chelonae* (I. Pavlík)

M. chelonae bylo prokázáno i v odebraném guánu od vrápenců malých na zemi v jedné chodbě v jeskyni Balcarů (I. Pavlík)

Dalšími druhy mykobakterií, které byly ze sedimentů Ochozského potoka pod obcí Březina izolovány, bylo *M. Porcinum*, *M. fortuitum* a *M. triviale*, 1 000 x zvětšeno (V. Mrlík)

8. Nitěnky v povrchových a podzemních jeskynních vodách jako zdroj mykobakterií

O cirkulaci *M. fortuitum* v krasovém prostředí svědčí i jeho průkaz v nitěnkách v Hostěnickém potoku před I. Hostěnickým Propadáním (I. Pavlík)

Přes Hostěnické Propadání byly nitěnky i s mykobakteriemi transportovány povrchovou vodou do Ochozské jeskyně, kde jsme *M. fortuitum* také v nitěnkách prokázali (I. Pavlík)

9.5 PANEL: MYKOBAKTERIE A JEJICH EKOLOGIE V KRASOVÉM ÚZEMÍ ČÁST II

Cílem tohoto panelu je popis ekologie dalších významných druhů netuberkulózních mykobakterií v povrchové vodě krasu. Voda je na Zemi přirozeným prostředkem šíření/přenosu většiny mykobakteriálních druhů. Právě povrchová voda významně přispívá k cirkulaci mykobakterií mezi různými prostředími. Mykobakterie žijící přímo ve vodě se sdružují v porostech pod hladinou na dně, březích a na dlouhodobě ponořených předmětech (biofilmtech). Odpařená voda nacházející se v atmosféře a voda pod povrchem země (kromě vodních toků protékajících jeskyněmi) je na přítomnost mykobakterií velice chudá (Kazda et al., 2009).

Z druhů vázaných a přežívajících ve vodě je to *M. phlei*, které je do ní splavené s erodovanou lesní nebo luční půdou, zde se pak podílí se na dekompozici organické hmoty spolu s dalšími druhy patřící např. do komplexu *M. terrae* nebo komplexu *M. fortuitum*. Všudypřítomným druhem, který osídluje umělé teplovodní systémy vytvořené člověkem je mimo výše zmíněného *M. xenopi* a také *M. gordonae*.

Druh *M. gordonae* je schopen se úspěšně adaptovat na prostředí vodovodního řádu zejm. se studenou vodou. Zde na vnitřním povrchu potrubí vytváří povlaky, ze kterých se průběžně uvolňuje do odtékající vody. S touto vodou se s největší pravděpodobností dostává prostřednictvím odpadu ze sídelních oblastí do povrchových vodních toků přitékajících do krasových území včetně Moravského krasu. Tento druh byl prokázán např. v sedimentech Křtinského potoka (nepublikované údaje). Na základě současných klinických studií je patogenní uplatnění *M. gordonae* minimální i s tím, že povědomí o zdrojích a ekologii tohoto druhu je velmi omezené, nebo dosud neznámé. Proto průkaz tohoto druhu v povrchových vodách vodních toků Moravského krasu je nutné považovat za významné.

Velkým překvapením byl v Moravském krasu průkaz poddruhu *M. avium* subsp. *hominissuis* v pramenité vodě studánek a v biofilmtech potrubí v těchto studánkách. Mykobakteriální druh *M. avium* zahrnuje celkem 4 poddruhy. Ty se výrazně liší svojí ekologií a klinickým uplatněním.

První poddruh *M. avium* subsp. *hominissuis* je zdravotně pro člověka nejvýznamnější. Infikuje především predisponované pacienty. Je celosvětově rozšířen, jeho hlavním přirozeným biotopem jsou rašeliniště (včetně tuzemských rašelinišť). Odtud se vodotečemi šíří horizontálně v krajině. *M. avium* subsp. *hominissuis* je proto přítomno také ve zdrojích vody pro úpravy pitné vody. Odtud v nedetekovatelných dávkách inokula proniká dále do vodovodních systémů. Sekundárně je *M. avium* subsp. *hominissuis* schopné dalšího masivního množení v zásobnicích pro výrobu teplé vody, které úspěšně a trvale kolonizuje (Klanicova et al., 2013). Z hlediska expozice vysokým počtům životaschopných mykobakteriálních buněk *M. avium* subsp. *hominissuis* jsou nejrizikovější pro lidské pacienty pěstební substráty s vysokým podílem rašeliny (Ulmann et al., 2021). Optimálním inkubátorem se sta-

Obr. 100: (str. 112) Doprovodný panel Mykobakterie a jejich ekologie v krasovém území část II. (námět I. Pavlík, grafická úprava J. Pernes).

bilními podmínkami pro růst *M. avium* subsp. *hominissuis* jsou také nedosta- tečně udržované vířivé vany (van der Zanden et al., 2012).

Výsledkem inhalace masivně konta- minovaného aerosolu *M. avium* subsp. *hominissuis* je také hypersenzitivní pneu- monitida, která je následována kolonizací respiračního traktu. Počet diagnostiko- vaných mykobakterií způsobovaných *M. avium* subsp. *hominissuis* dosahuje v České republice stabilně 30–40 případů ročně (incidence 0,3–0,4/100 000 obyv.). Dominantní jsou chronické plicní koloni- zace s bronchiectáziemi. Z mimoplicních infekcí, které představují 20–30% pří- padů, pak jednoznačně převládají krční lymfadenity u dětí, kterých je přibližně 10 každý rok (ÚZIS, 2022). Obdobná epide- miologická situace je i v okolních státech a v západní Evropě. Mimo Evropu je převažujícím původcem mykobakterií *M. avium* subsp. *hominissuis* v Asii, kon- krétně v Koreji a Japonsku, kde je velká popularita využívaných vířivek (Wallen- fels et al., 2018).

Léčba mykobakterií způsobené *M. avium* subsp. *hominissuis* je kompli- kována přirozenou rezistencí tohoto poddruhu k mnoha antituberkulotikům a antibiotikům. Základní makrolidová terapie často selhává v souvislosti se získanou konstitutivní, nebo inducibilní rezistencí. Náhradní léčiva mají vždy jen mykobakteriostatický efekt. Paren- terální podání aminoglykosidů může být při ambulantní léčbě administrační komplikací (Ulmann et al., 2023). Proto je nutné se v krasové oblasti, především v podzemí, bránit aerogenní infekci tímto poddruhem.

Druhým poddruhem je *M. avium* subsp. *avium*, které je původcem ptačí tuberkulózy v chovech domácích, volně žijících i exotíc- kých ptáků (Mátlová et al., 1997; Dvorska

et al., 2007). Tento podruh je izolován z humánního klinického materiálu výji- mečně. V Moravském krasu se nám podařilo prokázat pouze jeho DNA, která byla zjiš- těna v sedimentech Jedovnického potoka v Rudickém propadání a v Býčí skále (Modra et al., 2017). Jeho fyziologickou vlastností je schopnost růstu v laboratorních pod- mínkách pouze při vyšších teplotách nad 37 °C. Optimální teplotou pro jeho izolaci je potom 42 °C. Takové teplotní podmínky se však nevyskytují ani ve vodních sedimen- tech na povrchu a ani v podzemí. Proto jsme detekovali pouze DNA, která svědčí o jeho přítomnosti, nikoliv o jeho aktivním množení. Původ těchto průkazů *M. avium* subsp. *avium* v podzemí je třeba hledat v povodí Jedovnického potoka. Pokud do něho vtéká erodovaná půda s výkaly infi- kovaných, zejm. domácích ptáků (hrabavé drůbeže), s aviární tuberkulózou, mohou být tyto nálezy vysvětleny tímto způsobem.

Zdroje *M. avium* subsp. *avium* může být guáno netopýřů, ve kterém jsme tento poddruh také prokázali (Pavlik et al., 2021b). Na výstavě jsou exponáty četných kostí uhynulých různých druhů netopýřů, vzorky guána odebraného v jeskyních a mumifikovaná těla netopýřů. Všechny tyto nálezy svědčí pro dlouhodobý hojný výskyt netopýřů mnoha druhů v jeskyn- ním prostředí. A jakou cestou se dostává podruh *M. avium* subsp. *avium* způsobující aviární tuberkulózu do jejich guána? Svoji potravu (především bezobratlé živočichy) loví v místech jejího největšího výskytu. Tím je i sídelní struktura v krasové oblasti i mimo ni v doletové vzdálenosti lovičích netopýřů. U dvoukřídlého hmyzu jsme různé druhy mykobakterií prokázali pře- devším v okolí chovů domácích zvířat, zejm. skotu a prasat (Fischer et al., 2000).

Následně jsme při experimentech zjis- til, že poddruhy *M. avium* jsou schopné po pozření různými bezobratlými živoči-

chy dlouhodobě v jejich střevním traktu a v jejich výkalech přežít. Zjistili jsme to u dvoukřídlého hmyzu (Fischer et al., 2001), žížal (Fischer et al., 2003a), larev švábů (Fischer et al., 2000), bzučivek (Fischer et al., 2004a, 2005, 2006) a larev potemníků (Fischer et al., 2004a). Pokud se stává tento bezobratlý hmyz kořistí drobných zemních savců (zejm. hmyzo- žravců), je schopno *M. avium* subsp. *avium* infikovat také jejich vnitřní orgány a být vylučováno jejich výkaly (Fischer et al., 2000; Moravkova et al., 2011).

Podobný princip přenosu původce aviární tuberkulózy probíhá pravděpo- dobně i u netopýřů. Protože netopýři loví bezobratlé živočichy i v okolí lidských sídel s chovanými domácími zvířaty, je pravděpodobnost ulovení infikovaných bezobratlých živočichů původcem avi- ární tuberkulózy vysoká. Touto cestou se zřejmě původce aviární tuberku- lózy dostává do jejich střevního traktu a následně je vyloučen v guáno.

Třetím poddruhem je *M. avium* subsp. *paratuberculosis*, které je původcem paratuberkulózy. Ta je závažným patoge- nem střevního traktu přežvýkavců. Tento poddruh je přenosný především mezi importovanými přežvýkavci ze zahraničí (Pavlik et al., 1994; Ayele et al., 2001). V krasovém prostředí nebyl původce paratuberkulózy dosud prokázán.

Čtvrtým a posledním poddruhem je *M. avium* subsp. *silvaticum*, které bylo dosud izolováno zcela ojediněle od holubů doupačků s tuberkulózně změ- něnými játry a od infikovaných ovcí s paratuberkulózou. V České republice nebyl tento poddruh nikdy izolován ani od lidských pacientů, domácích nebo divokých zvířat, nebo z prostředí (nepub- likované údaje). Právě proto se asi tento poddruh nepodařilo izolovat z žádného vzorku, který pocházel z krasových území.

Ve vodovodním potrubí, zásobnicích teplé vody a v odpadních vodách z obcí byly prokázány kromě již zmiňovaného druhu *M. xenopi* další dva druhy: *M. fortu- itum* a *M. chelonae*. První zmiňovaný druh *M. fortuitum* využívá prostředí s ome- zenou mikrobiální konkurencí. Proto je běžným kolonizátorem jak biofilmů vodo- vodních potrubí, tak zvlhčených lokalit v lidských sídlech, kterými jsou sociální zařízení, koupelny, vany, odpady a svody odpadních vod (Pavlik et al., 2022b). Ve zdravotnictví představuje tento rychle rostoucí mykobakteriální druh velké nebezpečí v oblasti nozokomiálních mykobakteriálních infekcí. S ohledem na velké množství v současné době popsá- ných mykobakteriálních druhů je kromě *M. fortuitum* druhový výčet zaměřen na dlouhodobě studované environmentální či podmíněně patogenní další druhy (*M. kansasii*, *M. ulcerans*, *M. avium*, *M. intra- cellulare*, *M. xenopi* a *M. marinum*). O nich jsou shrnuty v publikaci Ulmann et al. (2023) nejzávažnější publikované poznatky z pohledu zdroje infekce lidí a zvířat. Jsou známy nejčastější způsoby jejich expozice a jejich výskyt v prostředí, tedy lokalizace infekčního procesu.

V odpadních vodách bylo také proká- záno *M. chelonae*, které následně bylo izolováno také z vodních sedimentů růz- ných potoků, které byly v Moravském krasu vyšetřovány před svým ponorem do podzemí. Tento druh se vyskytuje v lidských domácnostech rovněž v akva- rijním prostředí a v chovech terarijních zvířat (Slany et al., 2010a, 2012 a 2014). Méně často je prokazováno *M. chelonae* v rašelině (Kazda, 2000) a v zahradních substrátech (Ulmann et al., 2023). *M. che- lonae* patří mezi jedny z nejodolnějších mykobakterií, což bylo zjištěno při studiu bezpečnosti produktů z rybiho masa. *M. chelonae* přežívalo teplotu 55 °C po

dobu 15 min, 60 °C po dobu 2.5 min a 65 °C po dobu 0.5 min. Zcela bylo devitalizované až při teplotě 70 °C. V rybí směsi připravované z celých ryb nebo z jejich částí přežívalo *M. chelonae* až 90 min, což bylo považované za velké riziko (Whipple a Rohovec, 1994). V České republice bylo zase z drůbežích produktů prodáváných v obchodech izolováno *M. chelonae* z míchaného mletého kuřecího masa na polévku a ze zmrazených srdcí kachen (Shitaye et al., 2009).

Dalším druhem, který byl izolován z vodních sedimentů Ochozského potoka, bylo *M. arupense*, které patří mezi nedávno popsané druhy. Od roku 2006, kdy bylo poprvé popsáno, bylo zjištěno v mnoha různých typech vzorků z prostředí a od většinou klinicky zdravých pacientů ze sputa (Slany et al., 2010b). *M. arupense* patří do komplexu *M. terrae*, který se nejčastěji vyskytuje v půdním prostředí (Abudaff a Beam, 2017). Do tohoto komplexu patří i další druhy, kterými jsou např. námi prokazované druhy *M. triviale*,

M. terrae a *M. nonchromogenicum* (Kazda et al., 2009). Erodivaná půda a prach je potom pravděpodobně zdrojem kontaminace druhy patřícími do tohoto komplexu krasového prostředí jak nad zemí, tak v podzemí.

Z prostředí jeskyní s guánem, vodními sedimenty, žížalinci a dalšími matricemi s organickou hmotou byly izolovány další mykobakteriální druhy (*M. malmoense*, *M. bohemicum*, *M. celatum*, *M. hassiacum*, *M. lentiflavum*, *M. mucogenum* a další), které však nejsou zmíněny na tomto panelu (nepublikované údaje). Je to skupina mykobakteriálních druhů, které byly popsány posledních několika letech, a o jejichž ekologii existují pouze fragmentované údaje. Jejich environmentální zdroj je předpokládán v půdě, kontaminované vodě a dalších matricích. Jejich výskyt byl však v krasovém prostředí sporadický. Jejich zdroje se dosud exaktně nepodařilo prokázat a čekají v průběhu dalšího výzkumu na své objevení.



Doprovodná videa
k panelu

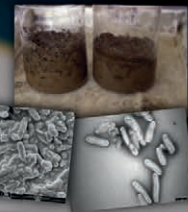
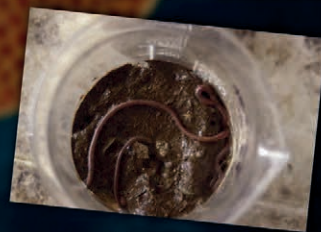


Obr. 101: Erodivaná půda vodou je také zdroj mykobakterií v jeskynním prostředí. Kromě *M. fortuitum* jsme izolovali z nitěnek také *M. mucogenicum* a *M. gordonae*. Všechny tři zmíněné druhy byly také izolované z naplavených půdních sedimentů z Ochozského potoka na sintrové stěně asi 1 m těsně nad jeho hladinou (foto I. Pavlík).

MYKOBAKTERIE A ŽÍŽALY NA POVRCHU A V JESKYNÍCH

1. Žížaly jako přenašeči mykobakterií v chovech zvířat

Již v roce 2003 bylo zjištěno, že žížaly v prostředí chovů infikovaných zvířat (skot, prasata, drůbež a bažanti) mohou přenášet mykobakteriální původce onemocnění (Fischer et al., 2003). V pokusných nádobách (I. Pavlík) vylučovaly původce aviární tuberkulózy (18 000 x zvětšeno; L. Dvorská) a paratuberkulózy (30 000 x zvětšeno; V. Beran) ve svých výkalech (žížalincích) po době 72 hod od posledního kontaktu s nimi (Fischer et al., 2003)



2. Žížaly na povrchu krasového území a v povodí jeho vodních toků

Proto jsme začali vyšetřovat žížaly a žížalince jak ve všech třech velkých jeskynních systémech v Moravském krasu, tak i na povrchu v místech průniku povrchové vody do podzemí. Vyšetření žížalinců před Rudickým propadáním byla na mykobakterie pozitivní, bylo izolováno *M. arupense* (I. Pavlík)



3. Transport žížal a jejich vajíček do podzemí

Sloupským potokem jsou v okolí Hřebenáče ve Sloupu splachovány do podzemí nejenom žížalince s kokony obsahujícími oplozená vajíčka žížal, ale také celá těla žížal. Podobná situace byla pozorována v ponoru jeskyně Nová Rasovna, anebo následně v Jedovnickém potoku v Rudové štolě v Nové Byči skále (I. Pavlík)



Transport žížalinců s vajíčky v kokonech a těl žížal probíhá velice rychle (Sloupský potok, ponor v jeskyni Staré skály u Sloupu). Následně osídlují úspěšně sedimenty v jeskyních, jak tomu je např. v Bahňité chodě v Nové Amatérské jeskyni (I. Pavlík)



Ze žížalinců před jeskyní Jáchymka (I. Pavlík) bylo izolováno také *M. arupense* (V. Mrlík), které bylo ve směsi s *M. avium* subsp. *hominissuis*, 18 000 x zvětšeno (L. Dvorská). Odolnosti proti střevním enzymům žížal, kterými tráví rostlinnou potravu, vděčí mykobakterie voskovému obalu (náhled, 3D Models for Professionals :: TurboSquid)



4. Osídlování sedimentů

Osídlen je žížalami jakýkoliv sediment, který byl do jeskynního prostředí zanesen z povrchu. Někteří jedinci jsou i více než 10 cm dlouzí; břeh Punkvy, Nová Amatérská jeskyně (I. Pavlík)

V některých jeskyních je možné je pozorovat společně i s nitěnkami v Rodové štolě, Nová Byčí skála, nebo s jinými bezobratlými živočichy v jeskyni Lopač (I. Pavlík)

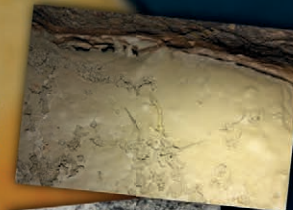
Často jsme prokazovali v jejich žížalincích přítomnost směsi druhů *M. porcinum*, *M. peregrinum*, *M. fortitum*, *M. septicum* s *M. tarzae* tak, tomu bylo i v žížalincích v Bahňité chodě v Nové Amatérské jeskyni (I. Pavlík)



5. Jak stárnou žížalové hlíny?

Ve stále vlhkých sedimentech jsou na počátku jejich osídlení optimální podmínky pro žížaly. Bahňité půdky jsou prvními místy, kterými žížaly do sedimentů pronikají např. v Senkové síloně ve Staré Byči skále (I. Pavlík)

Povodně však nejsou pravidelné. Proto v některých částech jeskyní začínou žížalové hlíny (speleology často označované jako „trusinková pole“) ztrácet výživné látky doprovázené mírným vysycháním (I. Pavlík). Ke studiu jejich struktury jsme použili počítačovou tomografii (CT) používanou k diagnostice onemocnění lidí a zvířat (Veterinární univerzita Brno, P. Proks). V různých vrstvách byly izolovány různé druhy *M. monacense*, *M. parascrofulaceum*, *M. saskatchewanense*, *M. scrofulaceum* a *M. vanbaalenii*

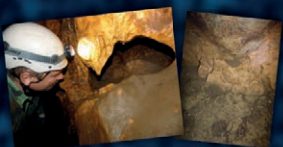


Vyšetření CT pomohlo objasnit strukturu chodbiček a umožnilo přesně odebrat vzorky na vyšetření z jednotlivých vrstev žížalové hlíny (Veterinární univerzita Brno, P. Proks)



6. Žížaly horolezkyňe?

Osídlují i výše položené nánosy sedimentu, které se ocitají na římsách po poklesu vodní hladiny aktivního toku v jeskyni. Jeskyně Nová Rasovna a Velká síň v Nové Byči skále (I. Pavlík)



Jsou schopné lézt po stěně (tzv. „žížaly horolezkyňe“) a kolonizovat výše položené sedimenty. Velká síň, Nová Byčí skála (I. Pavlík)



9.6 PANEL: MYKOBAKTERIE A ŽÍŽALY NA POVRCHU A V JESKYNÍCH

Žížaly tvoří významnou součást edafonu (živou hmotu půdy), což jsou mikroskopické i vyšší rostliny a živočichové žijící v půdě. Těmi jsou od nejmenších a po největších: půdní bakterie, plísňe, řasy, prvoci, červi, hmyz dospělý i ve stupni larev a drobní savci (krtek, myš, křeček, sysel a další). Na 1 ha půdy se nachází asi 20 q edafonu, z čehož: 4 q tvoří bakterie, 2–3 q tvoří plísňe, řasy a prvoci a 2–10 q tvoří žížaly. V 1 m³ půdy jich může žít 100–800, které mohou za jeden rok vyloučit více než 80 q výkalů (žížalinců) na 1 ha půdy. Tyto žížalince mohou vytvořit vrstvičku úrodné půdy 3–8 mm vysokou (Fischer et al., 2003a).

Rozšíření žížal v prostředí je však ovlivněno charakterem stanoviště. Nevyskytují se totiž v půdách kyselých nebo v půdách s velmi mělkým půdním horizontem. Naproti tomu za příhodných podmínek může žít na 1 m² do hloubky 50 cm dobré zahradní půdy až 400 žížal. Na loukách je jejich počet nižší a na 1 m² do hloubky 50 cm se odhaduje se na 290 žížal a na polích jen asi 100 žížal. Svým způsobem života představují významnou složku půdy, protože ji pohlcejí a svými výkaly ji vynášejí na povrch. Tím žížaly neustále promíchávají vrstvy půdy a prohlubují tak humusovou vrstvu. Rytím chodbiček půdu provzdušňují. Touto činností příznivě ovlivňují mikrobiální činnost a rozklad organických zbytků. Chodbičky, ve kterých se žížaly pohybují, umožňují pronikání vody a vzduchu do půdy a zabraňují tak nadměrnému vypařování vody (Fischer et al., 2003a). Všechny tyto procesy probíhají také v jeskynním prostředí, kde jsme je měli možnost pozorovat. Naplavené vodní sedimenty jsou velmi rychle osídleny žížalami, které v nich vrtají své chodbičky a na povrch vylučují žížalince. V nich jsme již na začátku našich výzkumů prokázali mnoho druhů mykobakterií (Modra et al., 2017).

Žížaly se živí převážně odumřelou rostlinnou a jinou organickou hmotou pocházející např. u odpadních vod urbáních oblastí. Současně s touto potravou pohlcejí četné mikroorganismy včetně mykobakterií. Ty byly prokázány u různých rodů a druhů žížal jak ve volné přírodě, tak na farmách domácích zvířat. Bylo to na farmách skotu infikovaných paratuberkulózou (*M. avium* subsp. *paratuberculosis*), v chovech prasat s aviární mykobakterií (*M. avium* subsp. *hominissuis*) a ve voliérách s vodními ptáky infikovanými původcem aviární tuberkulózy (*M. avium* subsp. *avium*; Fischer et al., 2003a). Protože byly u žížal prokázány rovněž původci těchto onemocnění, je nutné je považovat za potenciální zdroj těchto patogenů. Zatahování těchto mikroorganismů žížalami do půdy a následné jejich vynášení z půdy prostřednictvím žížalinců na její povrch je možné považovat za velice nebezpečné. Z těchto výsledků vyšetření volně žijících žížal na povrchu jsme na počátku našeho výzkumu usuzovali, že mohou hrát významnou roli při šíření mykobakterií i v jeskynním prostředí. To se následně i prokázalo (Modra et al., 2017; Ulmann et al., 2021).

Obr. 102: (str. 118) Doprovodný panel *Mykobakterie a žížaly na povrchu a v jeskyních* (námět I. Pavlík, grafická úprava J. Pernes).

Zvýšení rizika pro šíření těchto původců mykobakteriálních onemocnění nastává zejména v období sucha, kdy se žížaly zdržují např. na pastvinách pod výkaly zvířat. V tomto prostředí nachází potřebnou vlhkost pro přežití. V jeskynním prostředí je podle našich měření celoročně 100% vlhkost, což vytváří pro jejich přežívání a množení ideální podmínky. Při sledování osídlování vodních sedimentů po záplavách v Býčí skále bylo možné pozorovat po několik měsíců jejich postupnou kolonizaci. Díky vajíčkům v kokonech, které jsou přinášeny s erodovanou půdou, mohou být osídleny i sedimenty na různých izolovaných římsách a výše položených sintrech pokrytých vodními sedimenty. Tím dochází k postupnému šíření mykobakterií v jeskynním prostředí. Často jsou žížaly nalézány kolem vchodů do jeskyní, kde žijí v půdě. Odtud mohou být zanášeny při prudkých deštích i do jeskynního prostředí, které není protékáno aktivním vodním tokem.

Žížaly, které mají na povrchu přístup k trusu ptáků a kontaminovaným zbytkům krmiva původce aviární tuberkulózy (*M. avium* subsp. *avium*), v obsahu svého střevního traktu mohou tohoto původce vnášet do jeskynního prostředí. Následně po pozření dalších organických substrátů v jeskynních sedimentech vylučují tohoto původce svými výkaly do prostředí. Po analýze námi provedených experimentů *in vitro* jsme zjistili, že žížaly mají schopnost uměle infikovanou potravu (výkaly skotu) živými mykobakteriemi přijmout. Tyto koprofágní žížaly následně ve svých žížalincích vylučovaly mykobakterie ještě po 24–48 hod po jejich jednorázovém infikování výkaly skotu. Nebylo zjištěno, že by byly schopny tyto mykobakterie uchovávat ve svém těle po delší dobu (Fischer et al., 2003a).

Rovněž bylo zjištěno, že původce paratuberkulózy (*M. avium* subsp. *paratuberculosis*) průchod trávicím traktem žížal přežíval ve stejném, nebo sníženém počtu ve srovnání s počtem mykobakterií ve výkalech přežvýkavců, které byly použity k infekci žížal. Kultivace žížalinců infikovaných žížal také prokázala, že v jejich trávicím traktu se tento poddruh *M. avium* nebyl schopen množit. Příčinou je asi nízká teplota, která je v tělech žížal a která nedosahuje teplot mezi 37–40 °C, které tento poddruh k růstu vyžaduje. K určitému snížení počtu mykobakterií docházelo. To bylo s největší pravděpodobností způsobeno obrannými mechanismy střevního traktu žížal (Bilej et al., 2000) nebo ředěním nemnožících se mykobakterií pozřitou půdou žížalami (Fischer et al., 2003).

Žížaly mají vyvinut obranný systém proti pozřným bakteriím založený na lytickém účinku coelomové tekutiny a fagocytóze (Bilej et al., 2000). Tento systém je účinný proti bakteriím, které mohou být patogenní pro žížaly. Účinnost tohoto systému proti mykobakteriím nebyla dosud studována a čeká proto na své objevení. V námi vyšetřených vzorcích jeskynního prostředí byly prokázány různé druhy environmentálních mykobakterií. Velmi podobné druhové složení mykobakterií bylo také izolováno ze vzorků výkalů žížal (žížalinců) z výše zmíněných kolonizovaných vodních sedimentů v jeskyních. Proto je nutné považovat žížaly za významný faktor pro šíření těchto mykobakteriálních druhů v jeskyních.

Pro návštěvníky výstavy je zajímavou otázkou také používání vermikompostu a výskyt mykobakterií v něm. Kompostování je v podstatě urychlení zetlení organické hmoty. Umožňuje zužitkovat

zbytkovou biomasu ze zemědělských provozů, zbytky z dřevo-zpracovatelských závodů a komunální odpad z měst. Je nejúčinnějším způsobem pro fermentaci hnoje. Výroba kompostu je charakterizována smícháním biomasy nejlépe s již zrajícím kompostem, kejdou či močůvkou. Z pohledu mykobakterií je zřejmé, že se pokud se mykobakterie vyskytují v biomase, která je na výrobu kompostu často používána, tak je žížaly budou přijímat do svého střevního traktu. Následně je vylučují v žížalincích stejně jako je tomu v půdě nebo v sedimentech v jeskynním prostředí. Recyklace různých pěstebních substrátů s jejich následným využitím v zahradnictví (kompost z listí, drnů, rašeliny či kompost získávaný pomocí kalifornských žížal, tzv. „vermikompost“) je dalším způsobem šíření mykobakterií v prostředí (Kazda et al., 2009).

Žížaly je nutné považovat za významný faktor, který se podílí na šíření různých druhů mykobakterií v jeskynním prostředí. Z výsledků našich výzkumů vyplynulo, že četné nově popsané mykobakteriální druhy v posledních dvou

dekádách jsou významnou součástí mikrobiální populace v jeskyních. Izolované mykobakteriální druhy prokazované v žížalincích byly objeveny v širokém časovém období: *M. fortuitum* v roce 1938, *M. scrofulaceum* v roce 1956, *M. peregrinum* v roce 1962, *M. terrae* v roce 1966, *M. porcinum* v roce 1983, *M. septicum* v roce 2000, *M. vanbaalenii* v roce 2002, *M. parascrofulaceum* v roce 2004, *M. saskatchewanense* v roce 2004, *M. monacense* a *M. arupense* až v roce 2006.

M. vanbaalenii objevené v roce 2002 patří do skupiny druhů, které byly v Japonsku izolovány z půdy hald, skrývek a odvalů (Wang et al., 2006). Tyto půdy vznikají činností člověka. Patří mezi nejvíce zdevastované půdy, které zcela nebo zčásti ztratily své původní vlastnosti. Tyto půdy se nazývají antropogenní, nebo též antropické. Mezi ně patří půdy postižené exhaláty z průmyslu a půdy vzniklé v důsledku intenzivní těžby surovin. K jejich začlenění do biologicky vyvážené krajiny je třeba rozsáhlých a nákladných rekultivací. Při nich mohou významným způsobem pomoci i mykobakterie.



Doprovodná videa k panelu

MYKOBAKTERIE V JESKYNÍCH SEDIMENTECH A DŘEVITÉM MATERIÁLU

1. Voda skapová není zdrojem mykobakterií

Skapová voda prolíná vápencovým nadloží, ve kterém je „filtrací“ zbavená všech bakterií a plísň. Mykobakterie nebyly zjištěny ani v kapající, ani následně v rozstříkující se vodě (I. Pavlík)

V různých jeskyních byly realizovány četné odběry skapové vody na přítomnost mykobakterií vždy s negativním výsledkem: Nová Amatérská jeskyně (D. Húbelová)

Mykobakterie jsme nečkaně prokázali až v guanu netopýrů, které tyto „sterilní“ skapové vody kontaminovaly. Absolutně čistá, Nová Amatérská jeskyně (I. Pavlík)

2. Jezírka se skapovou vodou jsou zdrojem mykobakterií po jejich kontaminaci guánem netopýrů

Voda skapových jezírek je malým množstvím mykobakterií z guána netopýrů často kontaminována, Nová Amatérská jeskyně (I. Pavlík)

Teplota vody je však v jeskyních pro množení mykobakterií nízká a nepřesahuje běžné teploty 8 °C. To dokazuje snímek Jedovnického potoka realizovaný konvenčním fotoaparátem a termokamerou, Velká síň, Byčí skála (Z. Patočka)

Proto se nedoporučuje tuto vodu v jeskyních pít, i když se často nabízí různé příležitosti: Byčí skála (I. Pavlík)

3. Mohou být zdrojem mykobakterií jeskynní sedimenty?

Sedimenty pod sintry uchované po tisíce až stovky tisíc let neobsahovaly ani živé mykobakterie, ani jejich DNA: Masarykův dóm, Púnkevní jeskyně, Nová Amatérská jeskyně (L. Štefka, I. Pavlík)

Negativní na přítomnost mykobakterií i jejich DNA byly také sedimenty odebrané z nedotčených (intaktních) vrstev sedimentů v Kůlně. Mykobakterie (*M. terrae*) však byly prokázány v guánu netopýrů, které tyto vrstvy kontaminovaly v současné (recentní) době (V. Ulmann)

4. Mohou být mykobakterie přineseny sedimenty do jeskyní aktivními vodními toky?

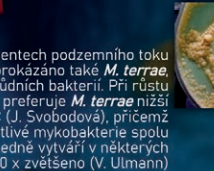
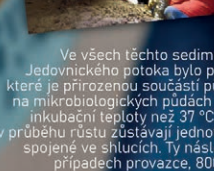
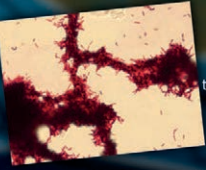
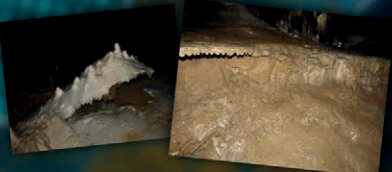
Systematickým vyšetřováním např. vod Jedovnického potoka jsme zjistili, že druhově složení mykobakterií v sedimentech Jedovnického potoka před jeho ponorem do jeskynního systému Rudické propadání – Byčí skála – Barová jeskyně je stejné druhově složení mykobakterií v sedimentech jeho vývěru z Byčí skály v Josefovském údolí (I. Pavlík)

Ve vodě jsou kontaminující složky buď rozpuštěné, nebo jsou v suspenzi ve formě částic, které nejsou na první pohled patrné. Po osvětlení však vyzařují světlo (tzv. Tyndallův jev nebo také Tyndallův rozptyl světla), jak dokládá podvodní záběr z Púnky v Nové Amatérské jeskyni (I. Pavlík)

Aktivní vodní tok přináší velké množství sedimentů, které se v různých částech jeskynní pravidelně usazují: odběry vzorků sedimentů Jedovnického potoka v Dómu překvapení v Byčí skále (I. Pavlík)

Ve všech těchto sedimentech podzemního toku Jedovnického potoka bylo prokázáno také *M. terrae*, které je přirozenou součástí půdních bakterií. Při růstu na mikrobiologických půdách preferuje *M. terrae* nižší inkubační teploty než 37 °C (J. Svobodová), přičemž v průběhu růstu zůstávají jednotlivé mykobakterie spolu spojené ve shlucích. Ty následně vytváří v některých případech provazce, 800 x zvětšeno (V. Ulmann)

M. intracellulare patří rovněž do skupiny těchto „půdních“ mykobakterií, které rostou většinou samostatně (V. Mrlík) ve formě krátkých i delších tyček, 18 000 x zvětšeno (L. Dvorská). Bylo prokázáno v půdě před Rudickým propadáním (I. Pavlík)



9.7 PANEL: MYKOBAKTERIE V JESKYNÍCH SEDIMENTECH A VE DŘEVITÉM MATERIÁLU

Většina sedimentů, která byla vyšetřována na přítomnost mykobakterií, byla aluviálního původu. Tyto sedimenty tedy byly naplaveny do jeskyní v současné nebo dávné době. Byly vrstveny většinou vodorovně a v některých částech jeskyní byly pokryty sintry, tedy vápencem. Protože jeskynní prostředí představuje pro bakterie, včetně mykobakterií, mimořádné podmínky, studovali jsme nejprve přítomnost mykobakterií v naplavených sedimentech v okolí aktivních vodních toků.

Především po povodních bylo naplaveno velké množství organické hmoty, která vytvářela příznivější podmínky pro přežití mykobakterií. V některých typech naplavených vzorků sedimentů jsme dokonce zaznamenávali množení mykobakterií (Kazda et al., 2009).

Mykobakterie jsou na tyto náročné podmínky adaptované různým způsobem. Jsou extrémně nenáročné, což vyplývá z fyziologie mykobakteriální buňky, pro kterou je typický pomalý metabolismus. Tím se mykobakterie stávají značně odolnými proti nepříznivým podmínkám zevního prostředí včetně nepříznivých podmínek v jeskyních. Je tomu tak i díky lipo-poly-sacharidové buněčné stěně a dostatečné fenotypové (genetické) plasticitě. Ta jim umožňuje reagovat během jejich vývoje na tyto náročné okolní podmínky. To činí z mykobakterií pionýrské mikroorganismy, které jsou schopny adaptace a přežití v jakémkoliv nutričně chudém prostředí i za relativně pro jiné mikroorganismy nižších teplot (Kazda et al., 2009; Ulmann et al., 2021).

Dynamický rozvoj a snadná dostupnost molekulárně biologických metod pro studium, identifikaci a systematiku mykobakterií vedly v posledních dvou dekádech k explozi nových druhů. Dolo-

žená je subspeciace v rámci kmenů jednoho druhu, rekonstituce a mutace genomu. Tyto procesy v mykobakteriích vedou k jejich novým fyziologickým vlastnostem, které mohou determinovat jak jejich schopnost přežívání ve vnějším prostředí, tak i jejich míru případného klinického uplatnění (Tortoli, 2003). Fenotypový popis mykobakterií dnes přestává být v systematice mikroorganismů včetně mykobakterií dostačující (Kazda et al., 2009). Přesto pro edukační účely a snadnější představy o jejich vzhledu jsou na výstavě k dispozici jak fotografie rostoucích druhů mykobakterií na různých médiích, tak v termostatech Petriho misky a zkumavky s narostlými environmentálními druhy mykobakterií.

Z našich výzkumů vyplynulo, že skapová voda v jeskyních je prostá nejenom mykobakterií, ale bakterií a dalších mikroorganismů, které jsou filtrovány při prolínání vody vápencem (tzv. průlinová voda). Ve skapových jezírcích je však situace z mikrobiologického pohledu jiná. Bakterie včetně mykobakterií bývají do těchto stojatých vod skapové vody zavlčeny sekundárně nejčastěji guánem netopýrů, návštěvníky jeskyní nebo jiným způsobem. Pití vody zachycené ze skapových zdrojů proto může být zdravotně rizikové a v jeskyních se nedoporučuje.

Obr. 103: (str. 122) Doprovodný panel Mykobakterie v jeskyních sedimentech a ve dřevitém materiálu (námet I. Pavlík, grafická úprava J. Pernes)

Sedimenty, které jsou pokryté sintry, byly většinou staré desítky až stovky tisíc let na základě prováděných datování (Kadlec et al., 2000; Kadlec a Šlechta, 2007). Při geochemických analýzách nebyla zjištěna přítomnost organické hmoty a rovněž vyšetření na přítomnost mykobakterií kultivací a přítomnost jejich DNA byla negativní. Naproti tomu sedimenty přinášené do jeskyní aktivními vodními toky byly mykobakteriemi bohatě osídleny. Studovali jsme druhové spektrum mykobakterií před ponory povrchových vodních toků do jeskyní a ve vývěrech z nich. Zjistili jsme, že druhové spektrum bylo téměř identické. To svědčí pro průtok různých mykobakteriálních druhů z povrchu jeskynním prostředím, aniž by jeskyně byly zdrojem druhů jiných (Modra et al., 2017, 2024).

Velké překvapení představovalo vyšetřování sedimentů pocházejících z revizních výzkumů v kopaných sondách v Předšíni Býčí skály. V nich jsme zachytili *M. terrae*, což bylo spojeno také s přítomností organické hmoty s guánem a kostmi netopýrů (nepublikované údaje).

Významným organickým materiálem, který je bohatě osídlen mykobakteriemi a plísněmi, je dřevo a dřevitý materiál.

Tento materiál jsme rozdělili do dvou kategorií dle původu: dřevo naplavené (aluviální) a dřevo konstrukční (přinesené záměrně do jeskynního prostředí). Ve vlhkém prostředí se dřevo a dřevitý materiál začne rychle rozkládat působením mikroorganismů a hub díky jejich enzymu (ligninázy) schopnému štěpit lignin. Je známo, že některé druhy mykobakterií mají enzym ligninázu, čímž z nich činí úspěšné kolonizátory těchto matic (Mendes et al., 2021).

Povrchová voda vodních toků, která s sebou přináší široké spektrum dřevitého materiálu (jehličí, větvičky, listí, stvoly trav a další) je zdrojem velkého množství organické hmoty, která se stává v jeskynním prostředí zdrojem živin pro mykobakterie (Modra et al., 2017).

Zdrojem mykobakterií byly v jeskynním prostředí také kořeny rostlin a stromů, které bylo možné v Barové jeskyni, v Jeskyni Výpustech, Balcarka a v dalších vyšetřit (nepublikovaná data).

Proto konstrukční i aluviální dřevo, pokud není z jeskynního prostředí odstraněno, se stává zdrojem různých druhů mykobakterií.



Doprovodná videa
k panelu



Obr. 104: Klíčící kaštan koňský (*Aesculus hippocastanum*) známý také jako jírovec maďal byl objeven v Nové Amatérské jeskyni (foto I. Pavlík).

RŮSTOVÉ VLASTNOSTI MYKOBAKTERIÍ A JESKYNNÍ PROSTŘEDÍ

1. Kultivace mykobakterií při stabilních teplotách trvá týdny až měsíce



Vzorky se vyšetřují v laboratořích při dodržování čistoty a bezpečnosti práce; ZÚ Ostrava (I. Pavlík)



Připravené vzorky jsou ve skříňových inkubátorech kultivovány při různých teplotách: 25 °C a 30 °C se používá pro izolaci mykobakterií z vnějšího prostředí a z kůže pacientů, zdravotní ústav Ostrava. Teplota 42 °C se používá pro izolaci teplotodních druhů, např. *M. xenopi* (I. Pavlík)

Nejběžnější teplota používaná pro izolaci mykobakterií je 37 °C. Nejčastěji se používají vyhřívané místnosti pro kultivaci stovek až tisíců vzorků; ZÚ Ostrava (I. Pavlík)



Pravidelně každý týden je kontrolován nárůst: na různých typech půd jsou viditelné kolonie pouhým okem, v tekutých půdách je patrný zákal a sediment na dně zkumavek; ZÚ Ostrava (I. Pavlík)



Teplota je stále udržovaná v požadované výši po několik týdnů až měsíců; u klinických vzorků 3 měsíce, u vzorků z prostředí dítěte; ZÚ Ostrava (I. Pavlík)

2. V prostředí nerostoucí mykobakterie komplexu tuberkulózy: *M. tuberculosis*



Zástupci komplexu tuberkulózy *M. tuberculosis* rostou mimo hostitelský organismus pouze na speciálních kultivačních půdách při 37 °C. V prostředí nebyl jejich růst zatím zaznamenán. Na pracovišti jednoho pacienta, který zemřel na otevřenou formu plicní tuberkulózy, jsme prokázali DNA *M. tuberculosis* v nedopalcích jeho cigaret a v prachu na chodbě. Následně DNA *M. tuberculosis* byla prokázána také ve střevech jeho dvou psů a v jejich výběhu v jejich hračkách: různé balonky (I. Pavlík)



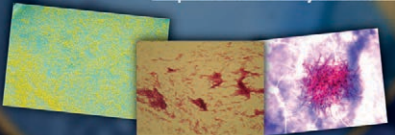
DNA *M. tuberculosis* v ohlazených kostech (I. Pavlík). V jeskynním prostředí nebylo nikdy *M. tuberculosis* prokázáno

3. V prostředí nerostoucí mykobakterie komplexu tuberkulózy: *M. microti*

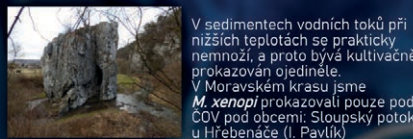


V jeskyni Rotunda v Hranické propasti jsme izolovali *M. microti* z guána netopýrů velkých na dně jeskyně pomocí potápečů (M. Guba). Toto guáno pochází z letní kolonie asi 150 samic netopýrů velkých, které zde každoročně vyvádí svá mláďata (I. Pavlík). Je to vůbec první kultivační průkaz *M. microti* z jiné matrice než klinického vzorku (sputum nebo resekovaná tkáň plic infikovaného člověka s plicní tuberkulózou)

5. Vyskytuje se v jeskyních i teplotodní druh mykobakterií?



Na prostředí ohříváné vody v domácnostech a různých provozech je specializovaný druh *M. xenopi*. Preferuje pro růst teploty nad 42 °C, při kterých tvoří drobné žluté kolonie (J. Svobodová). Tvoří často shluky buněk (V. Mrlík), které připomínají ptáčí hnízdo, zvětšeno 1000 x (L. Mezenský)



V sedimentech vodních toků při nižších teplotách se prakticky nemnoží, a proto bývá kultivačně prokazován ojedinelé. V Moravském krasu jsme *M. xenopi* prokazovali pouze pod ČOV pod obcí; Slupský potok u Hřebenáče (I. Pavlík)

6. Mykobakterie rostoucí v prostředí při nízkých teplotách (psychrofilní druhy)



Druhů rostoucích od 5–18 °C je zatím popsáno pouze 5. V krasovém prostředí jsme prokázali pouze druh *M. sediminis* v Nicové jeskyni (Stoupsko-šošůvské jeskyně) v guánu vrápence malého. Druhý záchyt *M. sediminis* se podařil v Býčí skále v sedimentu s podhoubím blůže neručených hub (I. Pavlík)

4. Původce (ptačí) aviární tuberkulózy v jeskyních?



Primárním zdrojem původce aviární tuberkulózy, *M. avium* subsp. *avium*, je kur domácí. Infikované jsou především několik roků staré nosnice v melochovech (I. Pavlík). Jejich játra, střeva a další orgány bývají prostoupené bílými uzlíky (J. E. Shitaye). Původce onemocnění vylučují do prostředí především výkaly. Po kontaktu s nimi jsou infikováni také holubi (A. Králová), bažanti a další ptáci

Z prostředí infikovaného chovu domácí drůbeže se původce *M. avium* subsp. *avium* (V. Mrlík) pravděpodobně povrchovou vodou přenesl do jeskynního prostředí. Kultivačně nezávislou metodou PCR bylo DNA *M. avium* subsp. *avium* prokázáno v sedimentu v Býčí skále v sedimentu pod skapem u Hastrmana



M. xenopi bylo izolováno ze sedimentů Jedovnického potoka před Rudickým propadáním a v sedimentech téhož potoka ve vývěru z Býčí skály (I. Pavlík)

Ze sedimentu výtoku pod ČOV v Podomí (I. Pavlík) bylo izolováno *M. xenopi* (V. Mrlík). Hostitelským potokem bylo *M. xenopi* zaneseno do sedimentů ve Wankelově sifonu v Ochozské jeskyni, kde jsme ho izolovali ze žízalinců; tedy ze žízal, které požírají vysychající přinesené sedimenty do jeskyně. Nejsou schopné ve svém střevním traktu mykobakterie včetně tohoto druhu devitalizovat

9.8 PANEL: RŮSTOVÉ VLASTNOSTI MYKOBAKTERIÍ A JESKYNNÍ PROSTŘEDÍ

Obaly mykobakteriální buňky, buněčná stěna a membrána, jsou v mikrobiální říši unikátní svou skladbou a vlastnostmi. Vysokouhlíkaté sloučeniny, tzv. mykolové kyseliny, svázané na povrchu s lipidy (tuky), zajišťují mimořádnou odolnost vůči negativním fyzikálním a chemickým vlivům prostředí. Buněčná membrána vytvářející druhou vrstvu buněčného obalu, je rovněž velmi obtížně prostupná pro řadu organických a anorganických sloučenin. Transport živin a minerálů do buňky je pozvolný a regulovaný.

Selektivní výběr molekul a prvků postupujících do buňky zaručuje mykobakteriím relativně vysokou odolnost vůči látkám obecně toxickým (těžké kovy a aromatické uhlovodíky), žravým (louhy a kyseliny) i mikrobicidním: antibiotika a dezinfekce (Dulberger et al., 2020). Tyto mechanismy jsou společné pro obligátní lidské patogeny i oportunní a saprofytické druhy. Přičemž schopnost přežití a přizpůsobení se vnějším podmínkám je přirozeně u environmentálních zástupců nepoměrně vyšší.

Veškeré buněčné pochody, růst a množení, jsou přizpůsobeny velmi pomalému, avšak efektivnímu metabolismu. Vše je pak kódováno v jejich velmi plastickém genomu. Generační doba mykobakterií je oproti většině mikrobů výrazně delší. Proto jsou předurčeny k pozvolné, avšak ultimátní kolonizaci málo živných substrátů. Bohužel jsou však rovněž také nebezpečné pro oslabený organismus člověka a zvířat. Imunitní systém zdravého živočicha a funkční přirozené fyziologicko-anatomické bariéry jsou naprosto dostačující pro zvládnutí infekce oportunními mikroorganismy. Jakékoliv jejich omezení či poškození je pak mykobakteriemi využito k usídlení (Ulmann et al., 2023).

K zužitkování, rozkladu a vstřebávání molekul na bázi uhlíku, jako zdrojů energie i výstavby buněčných struktur a příjmu esenciálních prvků např. síry, dusíku, fosforu a železa, jsou vybaveny širokým spektrem enzymů. Mykobakterie tak profitují v prostředích s velmi omezenou mikrobiální konkurencí, kde jsou pak jedinými faktory podmiňujícím jejich úspěšné množení teplota a vlhkost. Většina druhů mykobakterií izolovaných v jeskyních je mezofilních. Nejlépe prospívají v teplotním rozmezí 25–37 °C ve vodním, nebo minimálně trvale zvlhčeném prostoru. Jediný druh zachycený ve vodních tocích Moravského krasu *M. sediminis* je schopné aktivního množení i při teplotě nižší než 20 °C (Pavlik et al., 2022b).

Náš dosavadní výzkum v krasových jeskyních odhalil fenomenální a dosud nepopsané aspekty fyziologie a ekologie environmentálních mykobakterií. Potvrdili jsme jejich horizontální šíření, kdy ostatní v jeskyních nejčastěji izolované druhy *M. avium*, *M. fortuitum*, *M. arupense* se také šíří na povrchu krasováného území. Hlavním vektorem je v průtočných jeskyních (Býčí skála) voda, která je ve vodotečích smíchána s příměsí komunálních odpadních vod (přítom-

Obr. 105: (str. 126) Doprovodný panel Růstové vlastnosti mykobakterií a jeskynního prostředí (námet I. Pavlík, grafická úprava J. Pernes).

nost *M. xenopi*). Další významný vektor mykobakterií je představován především netopýry, kteří vyhledávají četné jeskyně jako své úkryty především v zimě.

Teplota téměř ve všech vyšetřovaných jeskyních celoročně nestoupá nad 12 °C. Proto není tato teplota z fyziologického hlediska pro množení mykobakterií optimální. Zjistili jsme v některých místech jeskyní masivní kumulaci mykobakterií a jejich měsíce až léta přetrvávající přítomnost.

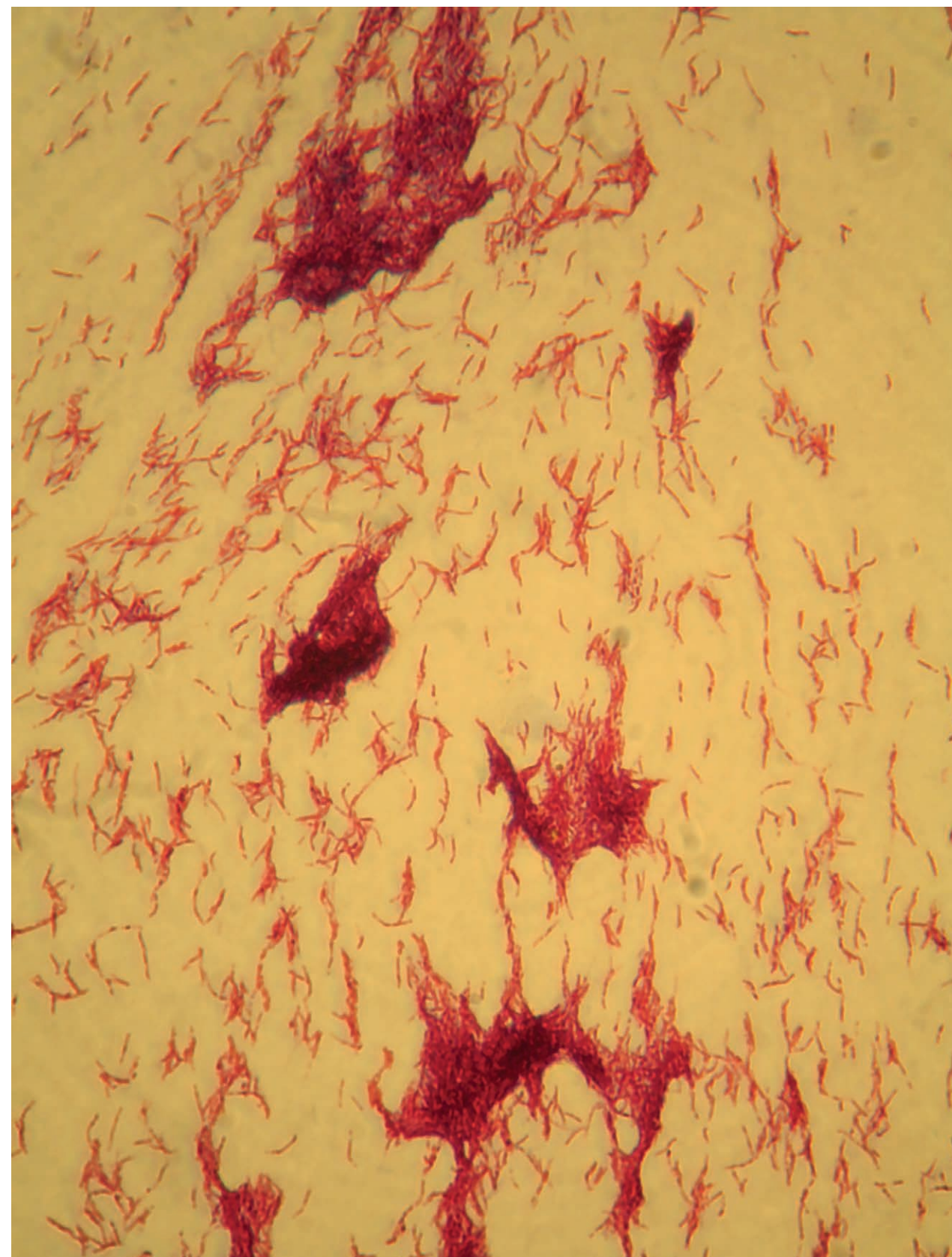
Na základě těchto poznatků pak byla experimentálně doložena dosud neznámá schopnost některých mykobakteriálních druhů překonat fyziologické strádání omezením metabolismu do stavu dormance. Po dobu minimálně 4 let jsme zjistili, že jsou mykobakterie schopné revitalizace, ke které dochází při zlepšení podmínek. Zcela potvrzující veškerá dosažená poznání, která byla učiněna v izolované jeskyni Rotunda Hranické propasti v Hranickém krasu. Tento unikátní, z povrchu pro člověka do roku 1978 nedostupný systém, skýtá naprosto optimální podmínky pro dlouhodobou perzistenci mykobakterií. Od roku 1978, kdy byla jeskyně objevena speleopotápěči, nevstoupil do jeskyně žádný člověk a ani žádný živočich kromě netopýrů.

Z nich nejzásadnější jsou, na poměry jeskynního prostředí, poměrně vysoká teplota, která je celoročně 15 °C. Toto jeskynní prostředí je oproti ostatním krasovým jeskyním stabilně ohříváno vyvěrající teplou minerální vodou z podzemí. Mikroaerofilní prostředí se zvýšenou tenzí oxidu uhličitého a cyklická přítom-

nost kolonie netopýrů velkých vytvořily ideální podmínky pro zanesení a následné přežívání mykobakterií. Zjištěna zde byla periodicky se obnovující populace širokého spektra podmíněně patogenních druhů mykobakterií, z nichž některé druhy (*M. szulgai* a *M. microti*) dosud nebyly ve vnějším prostředí ani v České republice a ani v zahraničí dokumentovány.

Veškeré tyto poznatky jednoznačně doplnily náhled na klinické uplatnění mykobakterií. Pomohly objasnit především zdroje netuberkulózních mykobakterií a následný přístup k léčbě již kolonizovaných či nemocných pacientů. Je tedy zjevné, že mykobakterie jsou schopny veškeré prostředky pro přežití v extrémních podmínkách a odolnosti využívat i při interakci s lidským tělem. Především schopnost dormance a omezení jejich metabolismu má naprosto drtivý dopad na úspěšnost antibiotické terapie. Ta je vždy vedena kombinací několika antibiotik po dobu terapie delší než 1 rok.

Na nemetabolizující, spící mykobakteriální buňku, však nemá ani kombinace antibiotik žádný vliv. Obdobný cyklus, jako po změně podmínek v jeskyních, lze s vysokou pravděpodobností předpokládat také u kolonizovaného (infikovaného) pacienta. Toto chování je možné očekávat v jejich tělech, resp. v různých orgánech. Po odeznění antibiotického tlaku dojde u některých neúspěšně léčených pacientů k endogenní (již uvnitř přetrvávající) obnově mykobakteriální infekci, tak zvané reaktivaci mykobakterií.



Obr. 106: Na teplotně vodním prostředí je specializované *M. xenopi*, které roste ve shlucích zvětšeno 1000x (foto V. Mrlík)

MYKOBACTERIE A HOUBY, ČÍM JSOU SI PODOBNÉ

1. Vyskytují se v prostředí mykobakterie a plísně společně?

Pro úspěšnou kultivaci mykobakterií (M. Kaevska) je nutné z vyšetřovaných vzorků odstranit doprovodnou mikroflóru představovanou bakteriemi i plísněmi (V. Beran)

Při mikroskopickém vyšetření (1 000x zvětšení) je možné často pozorovat zelené až žluté vlákna plísní nebo kulovité kvasinky (T. Boissellet)

První kultivační záchyt původce lidské tuberkulózy se podařilo po několikadenní inkubaci infikované tkáně plic ve vývaru z hovězího srdce. Nárůst byl v bílé (I. Pavlík), která připomínala rostoucí plísně (R. Dobiáš). Rečky jsou plísně označovány jako „mycos“. Při mikroskopickém vyšetření však pan prof. Koch pozoroval bakterie latinský *bacterium* (V. Mrlík). Spojením těchto dvou pojmů proto vznikl rodový název *Mycobacterium*

V některých případech společně rostou na bakteriologických půdách červeně se barvící mykobakterie s modrými vlákny plísní v popředí, 400 x zvětšeno. V jiných případech rostou společně červeně se barvící mykobakterie a modře se barvící bakterie a plísně (V. Mrlík)

2. Jak probíhá kultivace plísní v mykologické laboratoři?

Nárůst na Petriho misce a při mikroskopickém vyšetření plísně *Talaromyces ruber*, 400 x zvětšeno (R. Dobiáš)

Dalším příkladem je nárůst na Petriho misce a při mikroskopickém vyšetření plísně *Aspergillus flavus*, 400 x zvětšeno (R. Dobiáš)

Pro kultivaci plísní jsou používána speciální media, na kterých po dnech až týdnech inkubace narostou, např. *Aspergillus clavatus* na Petriho misce a při mikroskopickém vyšetření, 400 x zvětšeno (R. Dobiáš)

3. Mají mykobakterie a plísně společné vlastnosti?

Mykobakterie a plísně jsou schopné produkovat enzymy, které štěpí lignin pomocí enzymu ligninázy. Proto byla možné je společně prokázat na rozkládajícím se dřevěném materiálu, např. naplavené dřevě v jeskyni Spirálka a v ponoru v jeskyni Staré skály u Stoupu (I. Pavlík)

Mykobakterie a plísně byly prokázány i na rozkládajícím se konstrukčním dřevě, např. v jeskyni Lopač (I. Pavlík)

Plísně je možné pozorovat také na stěnách, které po osvětlení září bílou (stříbrnou) nebo žlutou (zlatou) barvou. Dříve se proto návštěvníci jeskyní domnívali, že objevili stříbro a zlato: Dračí hřbety u Kouzelné vody ve Staré Býčí skále (I. Pavlík)

4. Vyskytují se v jeskyních také houby?

Kromě plísní je možné v jeskyních pozorovat na dřevěném materiálu také plodnice mnoha druhů hub: helmovka tuhonohá v ponoru v jeskyni Staré skály u Stoupu (I. Pavlík)

Ve II. Stote v Prolomené Býčí skále bylo možné pozorovat během 3 měsíců růst plísní na naplaveném dřevě (I. Pavlík)

Postupně bylo pozorováno během 8 let mnoho dalších druhů hub v ponoru v jeskyni Staré skály u Stoupu: hnojník nasetý a druh blíže neurčená penízovka (I. Pavlík)

5. Jsou mykobakterie a plísně schopné štěpit chitin?

Druhou významnou schopností mykobakterií a plísní je schopnost štěpení chitinu pomocí enzymu chitinázy. Vnější kostru bezobratlých živočichů tvoří totiž chitin, který nejsou schopni netopýři žvýkat se především brouky a dalšími bezobratlými živočichy strávit. Chitin představuje podstatnou část guána nacházejícího se v jeskynním prostředí: plísní rod *Mucor* pokryté guáno v Barové jeskyni (I. Pavlík)

V guánu netopýřů v jeskyních bylo prokázáno více než 30 druhů mykobakterií: *M. chelonae* (1 000 x zvětšeno) (V. Mrlík)

9.9 PANEL: MYKOBACTERIE A HOUBY, ČÍM JSOU SI PODOBNÉ

Přímá souvislost závažného onemocnění tuberkulózy s konkrétním mikroorganizmem byla naprosto přesně a jednoznačně popsána prof. Dr. Robertem Kochem v roce 1882. Souviselo to mimo jiné s rozvojem a zdokonalením metod mikroskopie. Jedním z odvětví biologie je systematika (odvozená z řeckého slova *systema*=organizovat, kombinovat), která vnáší řád do poznání a popisu přírody. Má tři hlavní úkoly: rozpoznávat druhy (základní jednotky živé přírody), klasifikovat je do hierarchického systému a přinášet poznatky o druzích v širších souvislostech (např. evoluci, ekologii nebo biogeografii).

Přestože společný slovní základ pojmenování *mykos* asociuje příbuznost mykobakterií s houbami, skutečnost je naprosto odlišná. Houby patří do skupiny živých organismů s vyššími stupeň uspořádání buňky tzv. Eukaryota (buňky s pravým jádrem). Pravá buňka je komplexní a složitý systém se striktně oddělenou genetickou informací v jádře, členěný na komplikované součásti (kompartmenty) a ohraničený plazmatickou membránou. Životní formou většiny vyšších hub je soubor mnoha jednotlivých složitých buněk vytvářející vláknité struktury zvané mycelium (podhoubí).

Buňka bakterií je oproti vyšším organismům uspořádána mnohem jednodušeji. V podstatě pouze buněčné obaly ohraničují volnou genetickou informaci. Byť jsou struktury obou tříd organismů mikroskopické, ty bakteriální jsou o 10 řádů menší.

Buňky obligátně patogenních mykobakterií (*M. tuberculosis*) zůstávají po dobu množení spojeny a při navyšování buněčné masy vytvářejí vláknité útvary připomínající mycelium hub. Název *Mycobacterium* pro celý rod zkonstruoval německý botanik a specialista na mykologii Friedrich Wilhelm Zopf v roce 1883. Právě on na základě podobnosti mikro-

skopických a okem viditelných struktur, které při svém růstu buňky mykobakterií vytváří, navrhl tento název v sobě obsahující pojmy pro houby (*mykos*) a bakterie (Lehmann a Neumann, 1896).

Vnitřní prostředí jeskyní je pro většinu organismů limitující nízkou teplotou, která se v jeskyních České republiky pohybuje mezi 8–9 °C (Hromas, 2009). Jeden z mála, ne však vždy všudypřítomných pozitivních faktorů, je vysoká vlhkost vzduchu i ploch a častá trvalá přítomnost vodních rezervoárů. Voda podporuje rozpouštění a lepší vstřebávání málo dostupných živin, které se v jeskyních vyskytují. V prostředí bez trvalého slunečního svitu a při nízkých teplotách (chladu) přežívají a množí se pouze extrémofilní organismy. To jsou ty, které jsou schopné zužitkovat každý zbytek organické hmoty, který do tohoto prostředí pronikne a je jim k dispozici.

Saprophytické (rozkládací a hniloživé) houby se podílí na koloběhu uhlíku a dalším rozšiřování živin v lokalitě, ve které rostou. Produkují škálu chemických látek – enzymů, které usnadňují rozklad různých uhlíkatých molekul. Dokonce tak komplikovaných a obecně velmi stabilních, obtížně odbouratelných

Obř. 107: (str. 130) Doprovodný panel *Mykobakterie a houby, čím jsou si podobné* (námět I. Pavlík, grafická úprava J. Pernes).

makromolekul jako je celulóza, lignin, tvořících těla rostlin a chitin nebo keratin podílejících se na stavbě exoskeletu, kostí, kůže a jejich derivátů u živočichů a hmyzu (Nováková, 2008; El-Gendi et al., 2021). Pro bakterie a většinu mykobakterií nejsou tyto materiály jako zdroje živin dostupné, přesto byly při našem výzkumu zachyceny druhy (*M. fortuitum*), které se na rozkladu hmoty spolu s houbami podílely.

V prostředí jeskyní byly zachyceny jak zástupci vyšších, makroskopických, plodnici hub systematického oddělení Basidiomycety (zde patří také pravé hříby a muchomůrky) rodů Hnojník (*Coprinus*) a helmovka (*Mycena*), tak nižších „plísni“ Askomycet rodu kropidlák (*Talaromyces/Aspergillus*) a nejjednodušších vláknitých, spájevých hub *Zygomycet* rodu *Mucor* (plíseň hlavičková). Ve všech případech jde o velmi schopné kolonizátory, rozkládající a zužitkující jakoukoliv organickou hmotu, nenáročné na podmínky prostředí. Menší organické molekuly (cukry, glycerol, triglyceridy a cyklické uhlovodíky) jako výsledky rozkladu komplexních látek jsou houbami částečně produkovány zpět do substrátu a mohou sloužit jako základ a potrava pro další mikroorganismy. Ty však musí být na soužití s houbami

náležitě přizpůsobeny. Mimo živiny produkují houby mnoho dalších chemických látek, které eliminují konkurenční mikroflóru. Houbové toxiny a antibiotika jsou přirozeným prostředkem při boji o nedostatečný substrát (Demain a Martens, 2017; Chaoqun a Yakov, 2024). Právě mykobakterie jsou jedny z mála mikroorganismů, které jsou schopny díky svým vlastnostem a odolnosti takový boj ustát bez úhony.

Většinu organické hmoty ve studovaných jeskynních systémech tvořily ostrůvkovitě exkrementy a uhynulá tělanelanopýrů, drobní bezobratlí (žížaly a hmyz), méně pak nepřeživší obratlovci (hlodavci, žáby aj. živočichové). V průtočných a člověkem více ovlivněných systémech to byl také naplavený rostlinný materiál a uhynulé ryby. Nejvyšší diverzita mykobakterií (počet druhů) byla však zjištěna u všech materiálů souvisejících s netopýry.

Koexistence hub a mykobakterií na společných substrátech byla potvrzena, přičemž ostatní mikrobiální flóra byla upozaděna. Profilování mykobakterií k vyšší odolnosti při tlaku různých chemických substancí produkovaných houbami je na snadě a v konečném důsledku opět může komplikovat následnou léčbu nakažených pacientů.



Obr. 108: Ve Staré Býčí skále u Šenkova sifonu rostly rovněž na dřevěné konstrukci houby; na obrázku je blíže neurčená lakovka (foto I. Pavlík).

GUÁNO NETOPÝRŮ A MYKOBAKTERIE

1. Jaký je původ názvu guáno



Pojem „GUANO“ vzniklo pozměněním slova „HUANO“, které používají Inkové pro „trus, kterým se hnojí“. Ptáci tedy poskytovali Inkům nejenom zdobné perní, ale i hnojivo používané v zemědělství. Národní muzeum (I. Pavlík)

Guáno je tvořeno nahromaděnými výkaly ptáků (označovaný jako trus), hnízdo jiríček obecných s guánem v ČR, guáno mořských ptáků na Novém Zélandu a guáno tučňáků v Kanadě (I. Pavlík)



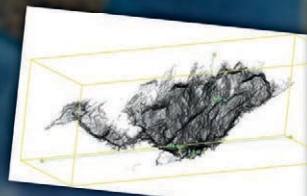
Od netopýrů jsou za guáno považovány jejich výkaly staré 8 hod. V jeskyních v Moravském krasu je ho v jejich zimovištích relativně malé množství, např. v jeskyni Nad Svycárnou (I. Pavlík)



Naproti tomu pod letními koloniemi netopýrů velkých je guána vždy velké množství, např. ve Křtínách na půdě Kostela Jména Panny Marie (I. Pavlík)



2. Jsou mykobakterie v guánu netopýrů přítomné?



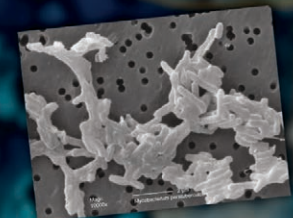
Ve stěně Hranické propasti je jeskyně Rotunda dlouhá 60,2 m a vysoká až 19,7 m (3D model, M. Guba, F. Kudá). Pro netopýry velké je Rotunda dostupná puklinou hlubokou 8–10 m (I. Pavlík)



Nashromážděné guáno vytváří různé mucné vrstvy. V jeskyni Rotunda a v sondách v guánu jsme zjistili v současné době druhově nejbohatší rezervoár mykobakterií v České republice: 20 druhů (I. Pavlík)



Za nejvýznamnější je nutné považovat kultivaci *M. szulgai*, jehož rezervoár se jinde zatím nedařilo v ČR odhalit

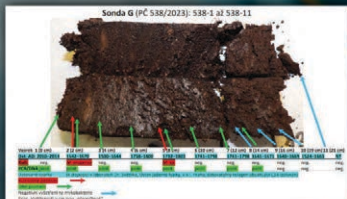


V průběhu roku jsou v jeskyni Rotunda stabilní podmínky (100% vlhkost a stabilní teplota 15 °C). Dynamika zachytu mykobakterií nebyla zatím vysvětlena. Jejich druhová pestrost je zřejmá. Zachytlost DNA mykobakterií dosahovala 77% (V. Beran)



Získávání těchto vzorků je možné pouze ve spolupráci se speleotápěči. Ti se musí potopit 55 m pod hladinu a proplavat do zaplaveného komína, který vede do jeskyně Rotunda (archiv ZO ČSS 2-07)

3. Jak může být guáno netopýrů v České republice staré?

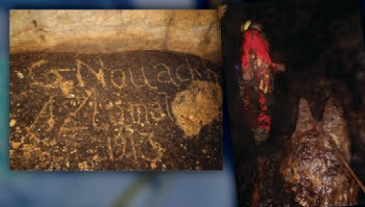


Pomocí datování uhlíku C14 bylo možné určit stáří guána v sondách v jeskyni Rotunda: v sondě G bylo datování určeno v rozmezí let 1524–2014. Nejstarší bylo guáno netopýrů z let 13 393–13 165 před naším letopočtem (datování I. Světlík, sonda M. Guba, foto sondy I. Pavlík, odběry vzorků ze sondy M. Geršl)



4. Jak probíhá výzkum datování guána netopýrů v Moravském krasu?

V Moravském krasu bylo guáno netopýrů datováno v Guánové chodbě ve Staré Býči skále (V. Káňa). Stáří bylo určeno na 841–750 roku před naším letopočtem (datování I. Světlík, odběry vzorků zajistil J. Svozil, vyšetření zajistil I. Pavlík)

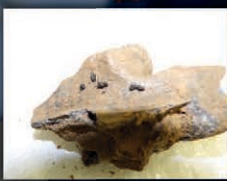
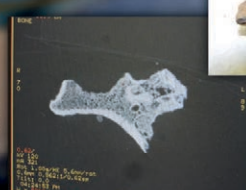


Barová jeskyně byla objevena v roce 1947 střešedšským profesorem Antonínem Sobolem. Od té doby se zde také sporadicky vyskytují netopýři (vrápenec malý). Jejich guáno přináší do jeskyně mykobakterie (I. Pavlík)



Po navrtání těchto kostí jsme v žádné části z nich (kompaktní nebo spongiózní část kosti) DNA mykobakterií neprokázali (I. Pavlík). Další výzkum v této oblasti pokračuje

Studiem CT a vrtáním kostí bylo zjištěno, že mykobakterie zůstávají pouze na jejich povrchu (I. Pavlík)



9.10 PANEL: GUÁNO NETOPÝRŮ A MYKOBAKTERIE

Netopýři žijí skrytým způsobem života a pro mnohé z nás jsou dosud záhadnými živočichy. Občas je možné je zahlédnout v podvečer a v noci poletovat ve volné přírodě včetně Moravského krasu, na zahradách nebo i kolem domů na vesnicích a ve městech. Před asi 60–70 mil. let začali předci netopýrů, některé druhy drobných zemních savců, létat. Již asi před 34 mil. byly současně známé čeledi, rody a druhy netopýrů na Zemi přítomny. Tito letouni představují 24 % druhů savců na Zemi. Kaloňů je celkem známých 378 druhů a netopýrů 872 druhů. Tato druhová pestrost a často zaměření na potravu, která se vyskytuje v určitých nikách a není potravou jiných živočichů, z nich činí jedny z neúspěšnějších živočichů na Zemi. V České republice je známo 27 druhů netopýrů (Anděra, 2019).

Jaký je původ názvu guáno? Do 8 hodin po defekaci se používá termín výkaly netopýrů. Po delší době jsou tyto výkaly označovány jako guáno. Toto označení pochází z jazyka Inků, kteří slovem „HUANO“ označovali „trus, kterým se hnojí“. Toto označení převzali Evropané od Inků nejenom pro označení trusu ptáků včetně trusu tučňáků, ale také pro označení výkalů od netopýrů. Guáno netopýrů a vodních ptáků je totiž zdrojem základních makro-prvků (zejména dusík a fosfor) a mikro-prvků pro růst a vývoj rostlin. Proto může být používáno jako hnojivo. Jeho velká ložiska lze po staletích nalézt především v neporušených jeskyních. Guáno vodních (zejm. mořských ptáků) se těží na četných ostrovech v Atlantském a Tichém oceánu (Ramírez-Fráncel et al., 2022). Netopýři (řád *Chiroptera*) jsou známí tím, že hostí mnoho různých virových a bakteriálních patogenů, včetně koronavirů. V průběhu pandemie Covid-19 se výrazně zvýšil zájem o jejich výzkum, protože netopýři byli zdrojem koronaviru, který tuto pandemii způsobil. Většina zájmu různých výzkumných pracovišť zabývajících se netopýry byla zaměřena

na studium původců virových onemocnění. O bakteriích, které se u netopýrů také vyskytují, se toho tolik ještě do posledních několika let nevědělo. Z bakterií byla pozornost věnována především původcům způsobujícím nemoc kočičího škrábnutí (*Bartonella* spp.), původcům kolinfekcí (*Escherichia coli*), chlamydiím, mykoplazmatům, leptospirám, stafylokokům a dalším druhům bakterií. O výskytu mykobakterií nebylo zatím mnoho známo. Proto se náš výzkum, podporovaný grantem Grantové agentury České republiky od roku 2021 zaměřil na netopýry a výskyt mykobakterií (Pavlík et al., 2021b). Některé druhy mykobakterií jsou původci tuberkulózy u lidí, savců, ptáků nebo i akvarijních rybek. U netopýrů byl do nedávné doby výskyt a zdravotní význam mykobakterií zcela neznámý (Kazda et al., 2009).

V předešlých výzkumech od roku 2016 týkajících se výskytu mykobakterií v jeskynním prostředí krasových oblastí jsme zjistili, že se mykobakterie vyskytují především v naplaveném sedimentu aktivně protékajících vodních toků, v žízalnicích a ve dřevitém materiálu. Rovněž jsme mykobakterie prokazovali také ve výka-

Obř. 109: (str. 134) Doprovodný panel panel Guáno netopýrů a mykobakterie (námět I. Pavlík, grafická úprava J. Pernes).

lech (guánu) netopýrů. Od roku 2021 se primárně náš výzkum soustředil do oblasti Moravského krasu, zejm. do jeskyně Býčí skála a na oblast Hranického krasu, zejm. na jeskyni Rotunda. Ta se nachází v Hranické propasti. Pro získání informací o výskytu mykobakterií u netopýrů jsme se však zaměřili i na jeskyně v Českém krasu. Kromě toho jsme vyšetřili i vzorky guána od netopýrů žijících v jiných zemích Evropy: na Slovensku, v Maďarsku, Bulharsku, Slovinsku, Francii a jinde. Ve spolupráci s kolegy mikrobiology, veterinárními lékaři a zoology zabývajícími se životem netopýrů (chiropterologové) jsme poodhalili výskyt a význam mykobakterií u netopýrů. Netopýry jsme nechytali a žádným způsobem jsme jejich život našimi výzkumy neovlivňovali. Pouze jsme vyšetřovali jejich guáno. Podle našich získaných výsledků výzkumu je netopýří guáno jedním z nejvýznamnějších zdrojů mykobakterií v krasových jeskyních. Zjistili jsme totiž, že 32,0 % vzorků guána bylo kultivovačně pozitivních na mykobakterie a mykobakteriální DNA byla prokázána pomocí metody qPCR dokonce u 86,6 % vzorků guána netopýrů. Rovněž druhové zastoupení mykobakterií bylo překvapivé, protože bylo identifikováno 19 mykobakteriálních druhů. Z nich převládalo *M. arupense*, *M. avium*, *M. fortuitum* a *M. terrae* (Pavlik et al., 2021b).

Velké rozdíly ve výskytu mykobakterií byly k našemu překvapení zjištěny mezi guánem pocházejícím z jeskyní od hibernujících netopýrů a z půdních prostor budov, kde se nachází letní kolonie netopýrů. U guána z letních kolonií netopýra velkého (*Myotis myotis*) byla kultivační pozitivita nižší a dosáhla 16,0%. Mykobakteriální DNA však byla zachycena pomocí qPCR v 84,1 % vzorků guána. Dru-

hové spektrum bylo užší, protože pouze čtyři mykobakteriálních druhy byly izolovány: *M. arupense*, *M. avium*, *M. fortuitum* a *M. terrae* (Pavlik et al., 2021a). Z jednotlivých vzorků guána od samic netopýrů rezavých (*Nyctalus noctula*) bylo během jejich březosti izolováno celkem osm mykobakteriálních druhů: *M. avium*, *M. arupense*, *M. fortuitum*, *M. hiberniae*, *M. interjectum*, *M. peregrinum*, *M. septicum* a *M. terrae* (Zukalová et al., 2023).

Velké druhové spektrum mykobakterií v guánu netopýrů je překvapivé ve srovnání s výskytem mykobakterií u jiných druhů savců, včetně prasat domácích, psů, koček, hmyzožravců, drobných zemních savců aj. zvířat (Kazda et al., 2009). Zdroje těchto mykobakterií lze nalézt v životním prostředí. V České republice je možné z dostupných publikovaných výsledků předpokládat, že zdrojem některých mykobakteriálních druhů je hmyz nebo různé matrice v prostředí (Kazda, 2000; Kazda et al., 2009).

Z guána netopýrů bylo izolováno *M. microti*. Ve více než stoleté historii kultivačního vyšetření mykobakterií v humánní a veterinární medicíně byl tento druh prokázán pouze u jednoho pacienta s plicní infekcí (tuberkulózou) v roce 2007 (Ulmann et al., 2018).

Tento patogen, způsobující tuberkulózu u drobných zemních savců, nebyl u zvířat a prostředí v ČR dosud nikdy nalezen (Kazda et al., 2009; Pavlík, 2015). Zdroj *M. microti* (tuberkulózy drobných zemních savců) bylo možné zatím u nás považovat za zcela nejasný. Z guána netopýrů velkých, pocházejícího z jeskyně Rotunda (Hranická propast, Hranický kras), byl však tento druh poprvé v České republice poprvé izolován. Patří mezi druhy komplexu *M. tuberculosis*. Tento druh, *M. microti*, způsobuje tuberkulózu

drobných zemních savců, zejm. hrabošů (Ulmann et al., 2018). Proto je možné považovat první izolaci *M. microti* z guána netopýrů velkých za významný objev potvrzující skutečnost, že se tento druh vyskytuje i v České republice v prostředí.

V posledních třech letech se výzkum guána netopýrů soustředil, mimo jiné, do jeskyně Býčí skála, která je významným zimovištěm více než 20 druhů netopýrů. Další unikátní informace nám poskytla jeskyně Rotunda, která je přístupná pouze potápěčům. Ti se musí potopit 45 m pod hladinu jezírka na dně Hranické propasti. Potom se jedním komínem pod vápencovou stěnou pod vodou zvanou Zubatice vnoří v této jeskyni. Pro nás je to zcela unikátní prostředí, které nebylo do roku 1978 navštíveno žádným člověkem. Každý rok v Rotundě několik stovek samic netopýrů velkých přivádí na svět svoje mláďata (Hromas, 2009). V jejich guánu jsme zatím učinili jedny z nezajímavějších objevů týkajících se výskytu mykobakterií.

Ze vzorků guána z jeskyní v Izraeli a v Iráku jsme totiž tak velký záchyt mykobakterií nezjistili. Příčinou jejich nižšího průkazu je s největší pravděpodobností skutečnost, že jeskynní prostředí je v nich zcela suché. Přitom vysoké teploty, které se pohybují v těchto jeskyních, jsou nad 20 °C, což nevytváří příznivé pro přežívání mykobakterií. U nás v jeskyních v České republice se pohybuje celoročně teplota mezi 8–9 °C (Hromas, 2009), což je pro uchování živých mykobakterií v guánu ideální prostředí (Kazda et al., 2009).

A jakým směrem se bude ubírat náš další výzkum v této oblasti? Různé druhy netopýrů mají různé strategie lovu. Netopýr velký např. loví větší členovce. Hlavní část potravy přitom představují velcí střevlíci, které sbírá z povrchu půdy. Jeho oblíbeným revírem jsou kosené louky a listnaté

lesy s řídkým bylinným podrostem. Jsou však popsána i jiná loviště netopýrů, která jsou s oblibou využívána. Proto je struktura potravy pro jednotlivé druhy netopýrů specifická. V naší studii jsme zkoumali guáno ze zimních a letních kolonií netopýrů velkých. Zjistili jsme, že druhové složení mykobakterií v letních a zimních koloniích bylo podobné (Pavlik et al., 2021a). Toto zjištění by mohlo naznačovat stejné zdroje potravy netopýrů velkých v různých úkrytech, které se vyskytují jak na krasovém území, tak mimo ně.

Druhové složení mykobakterií, které jsme začali pracovně označovat jako „mykobakteriota“, se ve specifických složkách životního prostředí značně liší (Kazda et al., 2009). Proto je důležité poznat druhové složení hmyzu, který je součástí potravy netopýrů velkých. Dá se předpokládat, že přítomnost mykobakterií bude detekována především na povrchu těl těchto bezobratlých živočichů (křídla, krovky, nohy a další částí těla). Mykobakterie se však vyskytují podle výsledků našeho výzkumu také v jejich střevním traktu a v jejich tělesných tekutinách v dutině tělní (Fischer et al., 2004a, 2004b, 2006).

Současně také probíhá výzkum zaměřený na odběr vzorků z prostředí (půdy, vodních sedimentů, rostlinných částí atd.), včetně pavučin s prachem. V nich se totiž prach s mykobakteriemi zachycuje, čímž se stává vhodnou monitorovací maticí pro studium přítomnosti mykobakterií v prostředí (Hubelová et al., 2021).

Budoucí výzkum bude také zaměřen na jedinou letní jeskynní kolonii netopýrů velkých v České republice. Ta se nachází v jeskyni Rotunda, v Hranické propasti (Hranický kras). Nahromaděné guáno (až 65 cm vysoké) bylo geochemicky zkoumáno, datováno (prof. T. Goslar, Polsko;

<https://radiocarbon.pl/en/>) a vyšetřeno na přítomnost mykobakterií. Datování bylo úspěšné, přičemž ve vzorku odebraném v hloubce 65 cm bylo zjištěno stáří 2 690 let před současností. Následně byla navázána spolupráce s panem RNDr. Ivo Světlíkem, CSc. (Ústavu jaderné fyziky v Praze), který nám datoval radiokarbonovou metodou další vzorky. V dalším deponovaném guánu pod letní kolonií těchto netopýrů velkých v jeskyni Rotunda bylo zjištěno, že nejstarší vzorek pocházel z období 15 220 let před současností (nepublikované údaje).

Podobná studie byla realizována také v guánu a kostech netopýrů odebraných v jeskyních Moravského krasu. V rámci našeho výzkumu v této oblasti jsme se setkali i s archeology a paleontology, kteří prováděli vykopávky v některých jeskyních (Býčí skála, Kateřinská jeskyně, Jeskyně pod Hradem a další). Při jejich výzkumu našli v některých jejich částech kosti uhynulých netopýrů nebo jejich guánu, resp. černou organickou hmotu, která byla podobná guánu. Tyto vzorky jsme vyšetřili na přítomnost

mykobakterií jak kultivací, tak detekcí mykobakteriální DNA. K našemu velkému překvapení jsme izolovali např. *M. terrae* ze sedimentu z Předsíně Býčí skály. Díky přítomnosti organického uhlíku v těchto vzorcích guána a kostí netopýrů bylo možné určit radiokarbonovým datováním stáří různých vrstev sedimentů. Radiokarbonové datování bylo realizované odborníky z Polska (prof. T. Goslar) a z České republiky (RNDr. Ivo Světlík, CSc.). Výsledky datování nás více než překvapily, protože prokázalo stáří tohoto sedimentu 2 800 let před současností.

A jaké stáří bylo zjištěno ve vyšetřovaných vzorcích pocházejících z jeskyní Moravského krasu? Ve třech jeskyních bylo určeno stáří vzorků několik tisíc let před současností. V Amatérské jeskyni bylo u nejstarších kostí netopýrů stanoveno jejich stáří na 5 400 let před současností. V Býčí skále to bylo 8 300 let před současností a v Kateřinské jeskyni to bylo 9 150 let. DNA mykobakterií byla prokázána v nejstarším vzorku guána a kostí v Kateřinské jeskyni (Bezejmenná chodba) datovaného na 3 000 let před



Obr. 110: Skupina netopýrů velkých (*Myotis myotis*) zimujících v Býčí skále (foto V. Káňa).



Doprovodná videa
k panelu



SOUHRN

Souhrn

Výstava navazuje na četné předešlé výstavy týkající se Moravského krasu, jeho významných osobností (např. MUDr. Jindřich Wankel, prof. Karel Absolon a další), archeologických a speleologických výzkumů a dalších. Cílem výstavy je přiblížit současné přístupy a metody používané při multioborovém výzkumu ekologie mikroorganismů nejenom v krasovém území. Formou panelů, interaktivních exponátů včetně různých laboratorních přístrojů (mikroskop světelný a stereoskopický, termostaty pro kultivaci bakterií a plísní a další) a trojrozměrných exponátů: kosti uhynulých současných zvířat žijících v Moravském krasu a zvířat vyhynulých, guáno netopýr, výkaly žížal (žížalince na povrchu různých jeskynních sedimentů), naplavený dřevitý materiál a další exponáty. Součástí expozice je několik krátkých filmů o Moravském krasu, které přibližují postupy při odběru vzorků na vyšetření na povrchu i v jeskynním prostředí. Ukázaná je také jejich komplikovaná přeprava do laboratoře, jejich vyšetření a interpretace výsledků. Prostřednictvím záběrů pořízených z letadla, pomocí dronu s normální kamerou i termokamerou, záběrů pořízené podvodní kamerou a fotoaparátem, mapování pomocí 3D kamery, použití počítačové tomografie (CT), rentgenologického vyšetření, radiokarbonové datování a další umožňují nové interpretace výsledků.

Návštěvníci budou s výsledky biologického výzkumu seznámeni formou čtyř úvodních panelů se základními informacemi o autorech výstavy, o navázaných spolupracích a spolupracovnících, kteří se podíleli na pořízení fotodokumentace, videí a komplexní interpretaci získaných výsledků.

Celkem 8 doprovodných panelů přiblíží praktické poznatky a postřehy, které pomohou následnou orientaci v interaktivní a odborné části výstavy. První z nich seznámí návštěvníky s organickým znečištěním povrchových vod, které kontaminují původně téměř sterilní jeskynní prostředí. Druhý panel představuje netopýry nejenom jako zajímavé létající savce, ale také jako hostitele různých parazitů a producenty guána. Kosterní nálezy netopýrů umožňují poskytnout informace získané radiokarbonovým datováním, mikrobiologickými a dalšími vyšetřeními. Třetí panel přibližuje výskyt bezobratlých živočichů v jeskynním prostředí včetně hub, plísní a bakterií. Čtvrtý panel upozorňuje i na zdravotní rizika, která mohou způsobit některé patogenní mikroorganismy zavlčené do jeskyní zvířaty, člověkem, prachem z povrchu nebo přitékající kontaminovanou povrchovou vodou. Pátý doprovodný panel je zaměřen na některé bezobratlé živočichy (zejm. chvostokoky a muchule) a na houby a plísně. Šestý panel přibližuje bakteriální svět, který je v jeskynním prostředí přítomen. Jeho pestrost názorně představují 3D modely bakterií. Sedmý doprovodný panel porovnává velikost drobných zemních savců, netopýrů, brouků, koryšů a kořenových stalagmitů. Osmý panel přináší návštěvníkům instrukce pro práci se vzorky přírodnin, s jednorázovými laboratorními pomůckami (rukavice, pipety, podložní a krycí sklíčka, bakteriologické kličky, zkumavky, sputovky a další materiál) a vzorky biologického materiálu na vyšetření (vodní řasy a sedimenty z Jedovnického potoka aj.). Všechny interaktivní modely jsou pro návštěvníky neinfekční a bezpečné.

Celkem 10 odborných panelů seznamuje návštěvníky muzea se vznikem života na Zemi a prvními jednobuněčnými organismy, z nichž se záhy vyvinuly první bakterie a plísně. Mykobakterie jsou přiblíženy formou diagnostiky onemocnění, které mohou způsobit (např. tuberkulóza člověka, skotu, ptáků a dalších zvířat). Objev původce lidské (humánní) tuberkulózy byl v prevenci a léčbě onemocnění zásadní a prof. Robert Koch byl za tyto výzkumné aktivity zaslouženě odměněn v roce 1905 Nobelovou cenou za lékařství a fyziologii. Vakcinační kmen BCG proti humánní tuberkulóze má každý občan ČR od roku 1953 v levé paži. Tehdy se s plošným očkováním začalo. Až v roce 2010 byla plošná vakcinace BCG u novorozenců zastavena kvůli tehdy příznivé epidemiologické situaci. Ekologii mykobakterií přibližují případové studie z různých jeskyní Moravského krasu (systematicky bylo vyšetřeno 38 jeskyní ve spolupráci s odborníky z CHKO Moravský kras, se speleology a speleopotápěči).

Na dalších panelech je také poukázáno na rizikové pití vody jak ze studánek v Moravském krasu, tak z vody vyvěrající z krasového podzemí. Čistící schopnosti mikroorganismů v chladném podzemí jsou omezené. Na odstraňování organické hmoty v sedimentech se však k velkému překvapení podílí i žížaly a další bezobratlí živočichové, kteří se hojně v jeskynním prostředí v organické hmotě vyskytují. Naplavené nebo konstrukční dřevo v jeskyních poskytuje vhodné podmínky pro mikroorganismy, které mají schopnost štěpit lignin (mezi ně patří jak plísně, tak z bakterií i mykobakterie). Mikroorganismy pronikají do jeskyní mimo

jiné i prostřednictvím prorůstajících kořenů keřů a stromů z povrchu. I když jsou s ohledem na průměrné teploty v jeskyních (8–9 °C) podmínky pro intenzivní růst mykobakterií málo příznivé, toto prostředí je jejich dlouhodobým rezervoárem. Z téměř 200 známých druhů a poddruhů mykobakterií jsme jich v Moravském krasu dosud prokázali více než 60. Růstové vlastnosti mykobakterií jsou optimální mezi 15 až 37 °C. V Jeskyni Rotunda v Hranické propasti je guáno netopýrů velkých uchováno celoročně při stabilní teplotě 15 °C (oproti chladným jeskyním Moravského krasu). Tím jsou vytvořeny podmínky, které poskytují více než 30 druhům mykobakterií vhodné prostředí pro jejich přežívání a růst. Mimo jiné jsou zde se vyskytující druhy mykobakterií v ČR ojedinělé až vzácné.

Často byl pozorován v jeskynním prostředí růst hub a plísní na dřevitém materiálu a na guánu netopýrů. To jim stejně jako mykobakteriím umožňuje enzym lignináza (rozkládající lignin dřeva) a enzym chitináza. Tento enzym rozkládá nestrávené chitinové zbytky brouků a ostatních bezobratlých živočichů, kterými se netopýři živí. Poslední odborný panel přibližuje guáno a kosti netopýrů jako významný indikátor umožňující radiokarbonové datování vrstev, ve kterých se vyskytují. Nejstarší radiokarbonově datované vzorky pochází z jeskyně Rotunda a jsou z období 15 220 před současností.

Přejeme tímto návštěvníkům získání nových a zajímavých informací o živé přírodě jak na povrchu, tak v podzemí Moravského krasu.

Summary

The exhibition follows numerous previous exhibitions related to the Moravian Karst, its important personalities (e.g. MD Jindřich Wankel, Prof. Karel Absolon, and others), archaeological and speleological research, and others. The aim of the exhibition is to present the current approaches, methods, and interpretations used in multidisciplinary research into the ecology of microorganisms not only in the karst area. In the form of panels, interactive exhibits including various laboratory instruments and equipment (light and stereoscopic microscopes, thermostats for the cultivation of bacteria and fungi, and others) and three-dimensional (3D) exhibits: bones of dead current animals living in the Moravian Karst and extinct animals, bat guano, earthworm castings (earthworms on the surface of various cave sediments), alluvial woody material, and other exhibits. The exhibition includes several short films about the Moravian Karst, which explain the procedures for taking samples for examination on the surface and in the cave environment. Also shown is their complicated transport to the laboratory, their examination, and interpretation of the results. Through photographs a video taken from the airplane, taken by drone with both a conventional and a thermal camera, underwater camera and camera, 3D camera mapping, the use of computed tomography (CT), X-ray examination, radiocarbon dating, and more other allow new interpretations of the results.

Visitors will be introduced to the results of biological research in the form of four introductory panels with basic information about the authors of the exhibition, established collaborations and collaborators who participated in the acquisition

of photo documentation, videos and a comprehensive interpretation of the obtained results.

A total of 8 panels will present practical view and insights that will help subsequent orientation in the interactive and professional part of the exhibition. The first of them introduces visitors to the organic pollution of surface waters, which contaminates the originally almost sterile cave environment. The second panel presents bat not only as interesting flying mammals, but also as hosts of various parasites and producers of guano. Skeletal remnants of bats provide information obtained by radiocarbon dating, microbiological, and other examinations. The third panel approximates the occurrence of invertebrates in the cave environment, including fungi, yeasts, and bacteria. The fourth panel draws attention to the health risks that can be caused by some pathogenic microorganisms introduced into the caves by animals, humans, dust from the surface, or inflowing contaminated surface water. The fifth panel is focused on some invertebrates (especially *Collembola* and *Nycteribia kolenatii*), fungi and yeasts. The sixth panel focuses on the bacterial world that is present in the cave environment. Its diversity is illustrated by 3D models of bacteria. The seventh panel compares the size of small terrestrial mammals, bats, beetles, crustaceans, and root stalagmites. The eighth panel provides visitors with instructions for working with samples of natural products, with disposable laboratory equipment (gloves, pipettes, microscope slides, bacteriological loops, test tubes, sputum tubes, and other material) and samples of biological material for examination (algae and sedi-

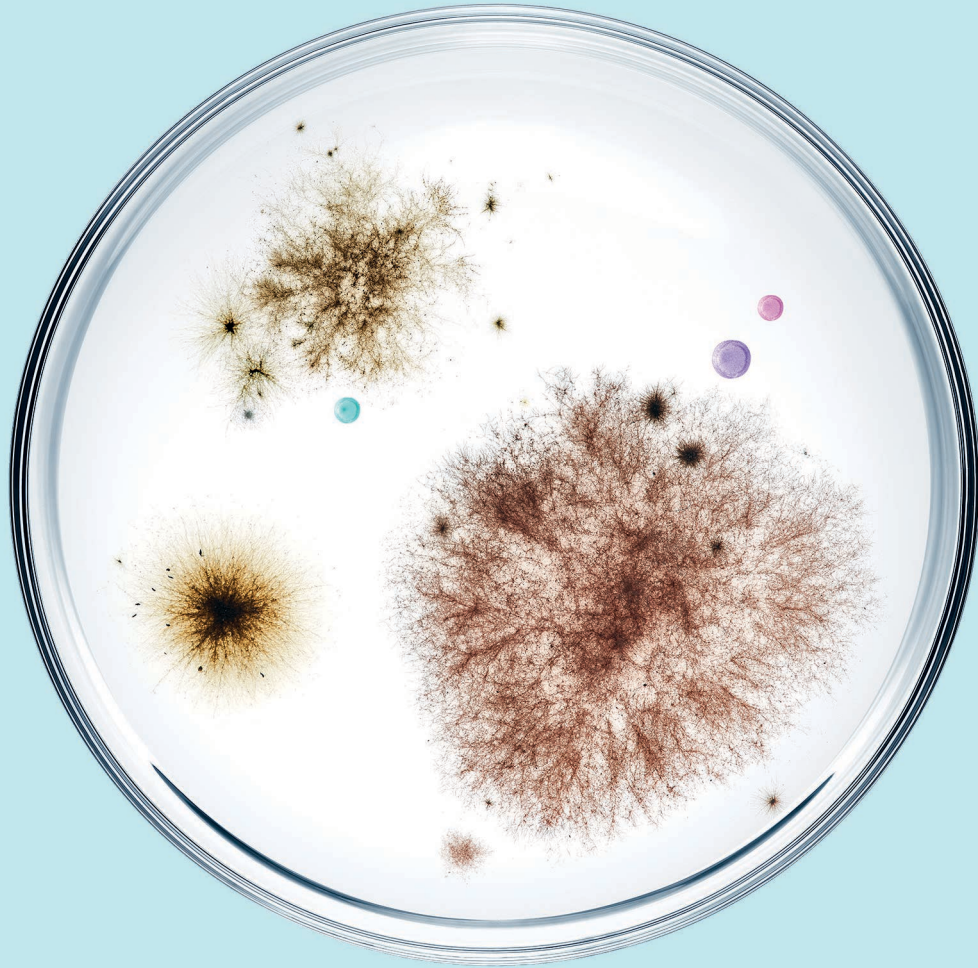
ments from Jedovnický Stream etc.). All interactive models are non-infectious and safe for visitors.

A total of 10 expert panels introduces visitors to the origin of life on Earth and the first single-cells organisms, from which the first bacteria and fungi soon evolved. Mycobacteria are approached in the form of diagnostics of the diseases they can cause (e.g. human tuberculosis, bovine tuberculosis, avian tuberculosis and mycobacterial infections of other animals). The discovery of the causative agent of human tuberculosis was essential in the prevention and treatment of the disease, and prof. Robert Koch was awarded the Nobel Prize in Medicine and Physiology in 1905 for these research activities. Every citizen of the Czech Republic has had the BCG vaccination strain against human tuberculosis on their left arm since 1953. That's when obligatory vaccination began. It wasn't until 2010 that obligatory BCG vaccination of newborns was stopped due to the then favorable epidemiological situation. The ecology of mycobacteria is demonstrated by case studies from various caves of the Moravian Karst (a total of 38 were systematically investigated in cooperation with experts from the PLA Moravian Karst, with speleologists, and cave divers).

Other panels also point out the risks of drinking water from wells in the Moravian Karst and from water flowing from the karst underground. The cleaning abilities of microorganisms in the cold underground are limited. However, to our great surprise, earthworms and other invertebrates, which are abundant in the cave environment in organic matter, also participate in the removal of organic matter in sediments. Alluvial wood or structural wood in caves provides suitable conditions for microorganisms that have the

ability to break down lignin (these include fungi, bacteria and mycobacteria). Microorganisms penetrate the caves, among other things, through the roots of shrubs and trees growing from the surface. Even though the conditions for the intensive growth of mycobacteria are not very favourable, given the average temperatures in caves (8–9 °C), this environment is their long-term reservoir. Of the nearly 200 known species and subspecies of mycobacteria, we have so far proven more than 60 in the Moravian Karst. The growth properties of mycobacteria are optimal between 15 and 37 °C compared to the cold caves of the Moravian Karst. In the Rotunda cave in the Hranická propast (Hranice Abyss), the guano of greater mouse-eared bats is preserved year-round at a stable temperature of 15 °C. This creates conditions that provide more than 30 species of mycobacteria with a suitable environment for their survival and growth. Among other things, the species of mycobacteria found here are unique to rare in the Czech Republic. The growth of fungi and moulds on woody material and on bat guano has often been observed in cave environments. This is enabled by the enzyme ligninase (decomposing wood lignin) and the enzyme chitinase, just like mycobacteria. This enzyme breaks down undigested chitins' remains of beetles and other invertebrates that bats feed on. The last expert panel presents bat guano and bones as an important indicator enabling radiocarbon dating of the layers in which they occur. The oldest radiocarbon-dated samples come from the Rotunda Cave and date back to 15,220 BC.

We hope that visitors will gain new and interesting information about the wildlife both on the surface and underground in the Moravian Karst.



REFERENCE SEZNAM ZKRATEK SEZNAM OBRÁZKŮ

Reference

- ABSOLON, K. 1970a. *Moravský kras 1*. Academia, Praha, 1970a, 415 s.
- ABSOLON, K. 1970b. *Moravský kras 2*. Academia, Praha, 1970b, 345 s.
- ABUDAFF, N. N., BEAM, E. 2017. *Mycobacterium arupense*: A review article on an emerging potential pathogen in the *Mycobacterium terrae* complex. *Journal of Clinical Tuberculosis and Other Mycobacterial Diseases*. 22(10), 1–5.
- ANDĚRA, M. 2019. *Naší netopýři*. 2. vyd. Průhonice: Správa jeskyní České republiky. 168 s. ISBN, 978-80-87309-22-3
- AUDYOVÁ, J. 1993. *Moravský kras: čas a kámen*. 1. vyd. Boskovice. 144 s. ISBN 80-901260-7-3
- AYELE, W. Y., MACHACKOVA, M., PAVLIK, I. 2001. The transmission and impact of paratuberculosis infection in domestic and wild ruminants. *Veterinarni Medicina*. 46(7–8), 205–224.
- BERAN, V., HAVELKOVA, M., KAUSTOVA, J., DVORSKA, L., PAVLIK, I. 2006. Cell wall deficient forms of mycobacteria: A review. *Veterinarni Medicina*. 51(7), 365–389.
- Bezplatný kartografický-GIS nástroj: QGIS.
- BILEJ, M., DE BAETSELIER, P., BESCHIN, A. 2000. Antimicrobial defense of the earthworm. *Folia Microbiologica Praha*. 45, 283–300.
- BLAHUTKOVA, M., FICTUM, P., SKORIC, M., BEZDEKOVA, B., JAHN, P., KRIZ, P., MRLIK, V., SLANA, I., KAEVSKA, M., PAVLIK, I. 2011. *Mycobacterium avium* subsp. *hominissuis* infection in two sibling Fjord horses diagnosed by quantitative real time PCR: A case report. *Veterinarni Medicina*. 56(6), 294–301.
- BOČEK, A. 1922. *Moravský Kras Průvodce celým jeho územím a jeho krápníkovými jeskyněmi*. Praha: Körber. 156 s.
- D'AMBROSIO, L., CENTIS, R., SOTGIU, G., PONTALI, E., SPANEVELLO, A., MIGLIORI, G.B. 2015. New anti-tuberculosis drugs and regimens, 2015 update. *ERJ Open Research*. (1), 00010–2015.
- DEMAIN, A. L., MARTENS, E. 2017. Production of valuable compounds by molds and yeasts. Online. *The Journal of Antibiotics*. 70(4), 347–360.
- DJELOUADJI, Z., RAOULT, D., DRANCOURT, M. 2011. Palaeogenomics of *Mycobacterium tuberculosis*: Epidemic bursts with a degrading genome. *Lancet Infectious Diseases*. 11(8), 641–650.
- DRAŽAN, J., CUPÁK, M., ČERNÝ, L., DOBEŠ, M., JEDLIČKA, J., KÁBRT, J., KLIMEŠ, B., KLOBOUK, A., KOUBA, V., KUBÍK, A., MIKOTOVÁ, E., PAVLAS, M., PIVNÍK, L., PRAVDA, D., REJTHAR, E., ROSSI, L., RYŠÁNEK, M., ŘÍHA, V., ŠTĚPÁNEK, M., ZENDULKA M. 1962. *Tuberkulóza hospodářských zvířat*. 1. vyd. Praha: Státní zemědělské nakladatelství. 509 s.
- DULBERGER, C. L., RUBIN, E. J., BOUTTE, C. C. 2020. The mycobacterial cell envelope – a moving target. *Nature Reviews Microbiology*. 18(1), 47–59.
- DVORSKA, L., BARTOS, M., OSTADAL, O., KAUSTOVA, J., MATLOVA, L., PAVLIK, I. 2002. IS1311 and IS1245 restriction fragment length polymorphism analyses, serotypes, and drug susceptibilities of *Mycobacterium avium* complex isolates obtained from a human immunodeficiency virus-negative patient. *Journal of Clinical Microbiology*. 40(10), 3712–3719.

- DVORSKA, L., MATLOVA, L., AYELE, W. Y., FISCHER, O. A., AMEMORI, T., WESTON, R. T., ALVAREZ, J., BERAN, V., MORAVKOVA, M., PAVLIK, I. 2007. Avian tuberculosis in naturally infected captive water birds of the Ardeidae and Threskiornithidae families studied by serotyping, IS901 RFLP typing and virulence for poultry. *Veterinary Microbiology*. 119, 366–374.
- EFSA. 2023. The European Union One Health 2022 Zoonoses Report. *EFSA Journal*. 21(12), e8442.
- EL-GENDI, H., SALEH, A. K., BADIERAH, R., REDWAN, E.M., EL-MARADNY, Y. A., EL-FAKHARANY, E. M. 2021 A comprehensive insight into fungal enzymes: Structure, classification, and their role in mankind's challenges. *Journal of Fungi*. 8(1), 23.
- EUROSTAT. 2020. *Tuberculosis – Annual Epidemiological Report for 2020*. Eurostat. (europa.eu)
- FISCHER, O., MATLOVA, L., BARTL, J., DVORSKA, L., MELICHAREK, I., PAVLIK, I. 2000. Findings of mycobacteria in insectivores and small rodents. *Folia Microbiologica*. 45(2), 147–152.
- FISCHER, O., MATLOVA, L., DVORSKA, L., SVASTOVA, P., BARTL, J., MELICHAREK, I., WESTON, R. T., PAVLIK, I. 2001. Diptera as vectors of mycobacterial infections in cattle and pigs. *Medical and Veterinary Entomology*. 15(2), 208–211.
- FISCHER, O. A., MATLOVA, L., BARTL, J., DVORSKA, L., SVASTOVA, P., DU MAINE, R., MELICHAREK, I., BARTOS, M., PAVLIK, I. 2003a. Earthworms (Oligochaeta, Lumbricidae) and mycobacteria. *Veterinary Microbiology*. 91 (4), 325–338.
- FISCHER, O. A., MATLOVA, L., DVORSKA, L., SVASTOVA, P., PAVLIK, I. 2003b. Nymphs of the Oriental cockroach, *Blatta orientalis* as passive vectors of causal agents of avian tuberculosis and paratuberculosis. *Medical and Veterinary Entomology*. 17(2), 145–150.
- FISCHER, O. A., MATLOVA, L., DVORSKA, L., SVASTOVA, P., BARTL, J., WESTON, R. T., PAVLIK, I. 2004a. Blowflies *Calliphora vicina* and *Lucilia sericata* as passive vectors of *Mycobacterium avium* subsp. *avium*, *M. a. paratuberculosis* and *M. a. hominissuis*. *Medical and Veterinary Entomology*. 18(2), 116–122.
- FISCHER, O. A., MATLOVA, L., DVORSKA, L., SVASTOVA, P., PERAL, D. L., WESTON, R. T., BARTOS, M., PAVLIK, I. 2004b. Beetles as possible vectors of infections caused by *Mycobacterium avium* species. *Veterinary Microbiology*. 102, 247–255.
- FISCHER, O. A., MATLOVA, L., DVORSKA, L., SVASTOVA, P., BARTOS, M., WESTON, R.T., KOPECNA, M., TRCKA, I., PAVLIK, I. 2005. Potential risk of *Mycobacterium avium* subsp. *paratuberculosis* spread by syrphid flies in infected cattle farms. *Medical and Veterinary Entomology*. 19, 360–366.
- FISCHER, O. A., MATLOVA, L., DVORSKA, L., SVASTOVA, P., BARTOS, M., WESTON, R.T., PAVLIK, I. 2006. Various stages in the life cycle of syrphid flies (*Eristalis tenax*; Diptera: Syrphidae) as potential mechanical vectors of pathogens causing mycobacterial infections in pig herds. *Folia Microbiologica*. 51(2), 147–153.
- FREMROVÁ, L., ULMANN, V., PAVLÍK, I. 2022. *Jakost vod – Stanovení atypických mykobakterií ve vodě*. Česká technická norma (ČSN) 75 7840. Česká agentura pro standardizaci (ČAS). 24 s.
- FREMROVÁ, L., ULMANN, V., PAVLÍK, I. 2023. *Stanovení mykobakterií v pevných matricích*. Česká technická norma (ČSN) 83 8181. Česká agentura pro standardizaci (ČAS). 28 s.
- GERŠL, M., KOUTECKÝ, B., PAVLÍK, I. 2017. Speleology as adrenalin phenomenon and current security risks. In: *Sborník z konference Rekreační ochrana přírody (RaOP 2017)*. 1. – 3. května 2017, Brno, p. 365–370. ISBN 978-80-7509-488-9.
- GRANGE, J. M. 1996. *Mycobacteria and human disease*. 2. vyd. London: Arnold; New York: Oxford University Press. 250 s. ISBN 0340645636
- GRYM, M., GRYMŮVÁ, V., HALOUZKA, R., TRČKA, I., BARTOŠ, M., TĚŠÍNSKÁ, I., HORVÁTHOVÁ, A., SVOBODOVÁ, J., PAVLÍK, I. 2006. Primární adenokarcinom plic klinicky napodobující tuberkulózu u kočky. *Veterinářství*. 56(5), 277–285.
- HAZEN, R. M. 2015. *Příběh Země*. Academia. 300 s., ISBN 978-80-200-2401-5.
- HRICÍKOVÁ, I., ŠTERCLOVÁ, M., VAŠÁKOVÁ, M. 2011. Netuberkulózní mykobakterií. *Praktický lékař*. 91(3), 144–147.
- HROMAS, J. (ed.). 2009. Jeskyně. In: MACKOVIČ, P., SEDLÁČEK, M. (eds.) *Chráněná území ČR*. Svazek XIV. Praha (Agentura ochrany přírody a krajiny ČR). 608 s. ISBN 978-80-87051-17-7
- HÜBELOVÁ, D., PAVLÍK, I. 2016. Vývoj počtu obyvatelstva a technické infrastruktury v obcích Moravského krasu: potenciální vliv na organické znečištění vodního prostředí. *Geografické informace*. (20)2, 468–484. ISSN 1337-9453
- HÜBELOVÁ, D., HOŘÍNEK, M., PAVLÍK, I. 2016a. Dynamika obyvatelstva v letech 2001–2015 a úroveň technické infrastruktury obcí střední části Moravského krasu s ohledem na rizika kontaminace povrchové vody komunálním odpadem. In: *Sborník příspěvků z mezinárodní vědecké konference „Region v rozvoji společnosti 2016“ (RESPO2016)*. Brno. p. 284–297, ISBN 978-80-7509-459-9
- HÜBELOVÁ, D., CHALUPA, P., PAVLÍK, I. 2017a. Vzájemná propojenost přírodního a společenského prostředí jako motivace návštěvy Moravského krasu. *Studia Turistica*. (8)1, 54–66.
- HÜBELOVÁ, D., CHALUPA, P., PAVLÍK, I. 2016a. Vybraná rizika znehodnocení krasového prostředí lidskou činností na příkladu CHKO Moravský kras. In: *11. mezinárodní konference Aktuální problémy cestovního ruchu*. 24.–25. února 2016, Jihlava, Vysoká škola polytechnická. p. 126–138 ISBN 978-80-88064-21-3
- HÜBELOVÁ, D., KONEČNÝ, O., GERŠL, M., PAVLÍK, I. 2017b. Návštěvnost Moravského krasu v letech 2012–2015 v souvislosti s udržitelným rozvojem území a cestovního ruchu. In: *Aktuální problémy cestovního ruchu „Cestovní ruch jako křižovatka poznatků“*. Jihlava: Vysoká škola polytechnická Jihlava. p. 104–114. ISBN 978-80-88064-30-5
- HÜBELOVÁ, D., MODRÁ, H., KONEČNÝ, O., GERŠL, M., ULMANN, V., BARTOŠ, M., PAVLÍK, I. 2017c. Možnosti hodnocení kontaminace vodního prostředí Amatérské jeskyně pesticidy a organickými látkami a zdravotní rizika. In: *Sborník příspěvků z mezinárodní vědecké konference „Region v rozvoji společnosti 2017“ (RESPO2017)*. 19. – 20. 10. 2017, Brno. p. 253–265. ISBN 978-80-7509-548-0
- HÜBELOVA, D., ULMANN, V., MIKUSKA, P., LICBINSKY, R., ALEXA, L., MODRA, H., GERSL, M., BABAK, V., WESTON, R. T., PAVLIK, I. 2021. Nontuberculous mycobacteria prevalence in aerosol and spiders' webs in karst caves: Low risk for speleotherapy. *Microorganisms*. 9, 2573.

- HURYCH, J., ŠTÍCHA, R. 2020. Lékařská mikrobiologie Repetitorium. Praha: Stanislav Juhaňák - TRITON. 622 s. ISBN 978-80-7553-844-4
- CHAOQUN, W., YAKOV, K. 2024. Mechanisms and implications of bacterial-fungal competition for soil resources. *The ISME Journal*. 18(1), wrae073.
- IMDb. [2024]. Robert Koch, der Bekämpfer des Todes. In: *IMDb*. [cit. 2024-11-25]. https://www.imdb.com/title/tt0031868/?ref_=tt_mv_close
- JURADO, V., LAIZ, L., RODRIGUEZ-NAVA, V., BOIRON, P., HERMOSIN, B., SANCHEZ-MORAL, S., SAIZ-JIMENEZ, C. 2010. Pathogenic and opportunistic microorganisms in caves. *International Journal of Speleology*, 2010, 39 (1), 15–24.
- JUSTUS, W., VALLE, S., BARTON, O. GERSHAM, A., SHANNON, G. 2024. A review of bovine tuberculosis transmission risk in European wildlife communities. *Mammal Review*. 54, 325–340
- KAEVSKA, M., STERBA, J., SVOBODOVA, J., PAVLIK, I. 2014. *Mycobacterium avium* subsp. *avium* and *Mycobacterium neoaurum* detection in an immunocompromised patient. *Epidemiology and Infection*. 142(4), 882–885.
- KAMATH, P. L. 2022. Conserving rhinoceros in the face of disease. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 119(25), e2206438119.
- KAUFMANN, S.H. 2006. Envisioning future strategies for vaccination against tuberculosis. *Nature Reviews. Immunology*. 6(9), 699–704.
- KAUFMANN, S. H. E. 2021. Vaccine development against tuberculosis over the last 140 years: Failure as part of success. *Frontiers in Microbiology*. 12, 750124.
- KAZDA, J. 2000. *The ecology of mycobacteria*. Kluwer Academic Publishers. 72 s. ISBN 978-0-7923-6197-8
- KAZDA, J., PAVLIK, I., FALKINHAM, J., HRUSKA, K. 2009. *The ecology of mycobacteria: Impact on animal's and human's health*. 1. vyd., Springer. 520 s. ISBN 978-1-4020-9412-5
- KLANICOVA, B., SEDA, J., SLANA, I., SLANY, M., PAVLIK, I. 2013. The tracing of mycobacteria in drinking water supply systems by culture, conventional, and real time PCRs. *Current Microbiology*. 67, 725–731.
- KOMÍNKOVÁ, P., KOUDELKA, M., NOVÁK, M. (ed.). 2022. *Moravské Švýcarsko Jindřicha Wankla*. Muzeum Blanenska, p.o. 391 s. ISBN 978-80-86951-43-0
- KRIZ, P., SLANA, I., MRLIK, V., MORAVKOVA, M., KRALOVA, A., KRIZOVA, K., PAVLIK, I. 2010. *Mycobacterium avium* subsp. *avium* in domestic pigeons (*Columba livia* f. *domestica*) diagnosed by direct conventional multiplex PCR: A case report. *Veterinarni Medicina*. 55 (2), 87–90.
- KRIZ, P., PARMOVA, I., HORACKOVA, Z., KRUPKA, J., FEIX, F., SLANA, I., KRALOVA, A., PAVLIK, I. 2014. *Mycobacterium avium* subsp. *avium* in lymph nodes and diaphragms of pigs from one infected herd in the Czech Republic. *Journal of Food Protection*. 77(1), 141–144.
- KRIZOVA, K., MATLOVA, L., HORVATHOVA, A., MORAVKOVA, M., BERAN, V., BOISSELET, T., BABAK, V., SLANA, I., PAVLIK, I. 2010. Mycobacteria in the environment of pig farms in the Czech Republic between 2003 and 2007. *Veterinarni Medicina*. 55 (2), 55–69.
- KŘEPELA, K. 1995. Tuberkulóza dětí a dorostu a její diferenciální diagnostika. Praha: Nakladatelství MAXDORF - JESSENIUS. 223 s. ISBN 80-85912-03-1
- LAHEY, T. 2003. Invasive *Mycobacterium marinum* infections. *Emerging Infectious Diseases*. 9(11), 1496–1498.
- LEHMANN, K. B., NEUMANN, R. 1896. *Atlas und Grundriss der Bakteriologie und Lehrbuch der speziellen bakteriologischen Diagnostik*. 1. vyd. München: J. F. Lehmann.
- LPSN. 2024. *LPSN - List of Prokaryotic names with Standing in Nomenclature*.
- MACEK, P., BODNAROVA, M., ZAVADA, J., JEZEK, P., PAVLIK, I., SLANY, M., HAVELKOVA, M., STORK, J., DUSKOVA, J., HANUS, T., KOCVARA, R. 2011. *Mycobacterium marinum* epididymoorchitis: Case report and literature review. *Urologia Internationalis*. 87(1), 120–124.
- MALÁ, J., HRICH, K., VACULÍKOVÁ, K., LEJSKA, S. 2022. Multicriterial approach to the determination of buffer zones for the Moravian Karst protected landscape area in the Czech Republic. *Environmental Monitoring and Assessment*. 194(2), 103.
- MÁTLOVÁ, L., FISCHER, O., KAZDA, J., KAUSTOVÁ, J., BARTL, J., HORVÁTHOVÁ, A., PAVLÍK, I. 1998. Výskyt mykobakterií u bezobratlých a poikilothermních živočichů a jejich význam při infekci zvířat a lidí. *Veterinarni Medicina*. 43 (4), 115–132.
- MATLOVA, L., DVORSKA, L., PALECEK, K., MAURENC, L., BARTOS, M., PAVLIK, I. 2004. Impact of sawdust and wood shavings in bedding on pig tuberculous lesions in lymph nodes, and IS1245 RFLP analysis of *Mycobacterium avium* subsp. *hominissuis* of serotypes 6 and 8 isolated from pigs and environment. *Veterinary Microbiology*. 102, 227–236.
- MENDES, I. V., GARCIA, M. B., BITENCOURT, A. C. A., SANTANA, R. H., LINS, P. C., SILVEIRA, R., SIMMONS, B. A., GLADDEN, J. M., KRUGER, R. H., QUIRINO, B. F. 2021. Bacterial diversity dynamics in microbial consortia selected for lignin utilization. *PLoS One*. 16(9), e0255083.
- MODRA, H., BARTOS, M., HRIBOVA, P., ULMANN, V., HUBELOVA, D., KONECNY, O., GERSL, M., KUDELKA, J., VOROS, D., PAVLIK, I. 2017. Detection of mycobacteria in the environment of the Moravian Karst (Bull Rock Cave and the relevant water catchment area): The impact of water sediment, earthworm castings and bat guano. *Veterinarni Medicina*. 62, 153–168.
- MODRÁ, M., GRUBEROVÁ, E., KONEČNÝ, O., ULMANN, V., KAUCKÁ, P., VLKOVÁ, M., TŮMA, A., HALEŠOVÁ, T., KUDĚLKA, J., GERŠL, M., PAVLÍK, I. 2018. Influx and concentration of triazine pesticides in the Amaterska cave system, Moravian Karst, Czech Republic. *Journal of Soils and Sediments*. 18(2), 640–647.
- MODRA, H., ULMANN, V., CAHA, J., HUBELOVA, D., KONECNY, O., SVOBODOVA, J., WESTON, R. T., PAVLIK, I. 2019. Socio-economic and environmental factors related to spatial differences in human non-tuberculous mycobacterial diseases in the Czech Republic. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 16, 3969.

- MODRA, H., ULMANN, V., GERSL, M., BABAK, V., KONECNY, O., HUBELOVA, D., CAHA, J., KUDELKA, J., FALKINHAM, J. O. III., PAVLIK, I. 2024. River sediments downstream of villages in a karstic watershed exhibited increased numbers and higher diversity of nontuberculous mycobacteria. *Microbial Ecology*. 87, 15.
- MORAVKOVA, M., LAMKA, J., KRIZ, P., PAVLIK, I. 2011. The presence of *Mycobacterium avium* subsp. *avium* in common pheasants (*Phasianus colchicus*) living in captivity and in other birds, vertebrates, non-vertebrates and the environment. *Veterinarni Medicina*. 56 (7), 333–343.
- MRLIK, V., SLANY, M., KUBECKA, SEDA, J., NECAS, A., BABAK, V., SLANA, I., KRIZ, P., PAVLIK, I. 2012. A low prevalence of mycobacteria in freshwater fish from water reservoirs, ponds and farms. *Journal of Fish Diseases*. 35, 497–504.
- MUSIL, R. 2019. Moravský kras. Průvodce Josefovským a Křtinským údolím. 1. vyd. Brno: Masarykova univerzita. 360 s. ISBN 978-80-210-8742-2
- TURBOSQUID BY SHUTTERSTOCK. 2024. *3D Models for Professionals: TurboSquid*.
- NOMA, K., MIZOGUCHI, Y., TSUMURA, M., OKADA, S. 2022. Mendelian susceptibility to mycobacterial diseases: State of the art. *Clinical Microbiology and Infection*. 28(11), 1429–1434.
- NOVÁKOVÁ, A. 2008. Svět jeskyní pohledem mykologa. *Živa*. 2, 63–64.
- NOVÁKOVÁ, A. 2017. Mikrobiota podzemních prostor. *Živa*. 5, 213–217.
- NOVÁKOVÁ, A. 2022. Koprofilní houby v podzemí. *Živa*. 111–115.
- OIE. 2019. *Bulletin Panorama*. 2019-1. <https://bulletin.woah.org/wp-content/uploads/bulletins/panorama-2019-1-en.pdf>
- PAVLIK, I. 2014a. Status of bovine tuberculosis control in countries of Central Europe and countries of the former Soviet Union. Kapitola 32. In: THOEN, C. O., STEELE, J. H., KANEENE, J. B. (eds.). *Zoonotic tuberculosis: Mycobacterium bovis and other pathogenic mycobacteria*. 3. vyd. Wiley-Blackwell. p. 369–382. ISBN 978-1-118-47429-7
- PAVLIK, I. 2014b. *Rozvoj zdravého regionu. Význam infekčních onemocnění lidí a zvířat a zoonóz při rozvoji regionů*. 1. vyd. Mendelova univerzita v Brně. 208 s. ISBN 978-80-7509-033-1
- PAVLIK, I. 2015. Na bovinní tuberkulózu není ještě možné zapomenout ani v České republice. *Klinická mikrobiologie a infekční lékařství*. 21 (2), 56–62.
- PAVLIK, I. 2016. Rekreační u vody nemusí být vždy bezpečná: zdravotní rizika kontaminace povrchových vod různými původci onemocnění. In: *Sborník příspěvků z mezinárodní vědecké konference „Region v rozvoji společnosti 2016“ (RESPO2016)*. Brno, 2016. s. 731–740, ISBN 978-80-7509-459-9
- PAVLIK, I., GARMENDIA, M. Á. Z. 2022. *Wild birds and mammals in nicaragua and its regional development*. Part 3. 1. vyd. Mendelova univerzita v Brně. 440 s. ISBN 978-80-7509-876-4 (print), ISBN 978-80-7509-877-1 (online; pdf), <https://doi.org/10.11118/978-80-7509-877-1>
- PAVLIK, I., HÜBELOVÁ, D. 2014. *Rizika rozvoje regionu. Význam onemocnění lidí a zvířat v rozvinutém regionu*. 1. vyd. Mendelova univerzita v Brně. 96 s. ISBN 978-80-7509-370-7

- PAVLIK, I., GERSL, M., BARTOS, M., ULMANN, V., KAUCKA, P., CAHA, J., UNC, A., HUBELOVA, D., KONECNY, O., MODRA, H. 2018. Nontuberculous mycobacteria in the environment of Hranice Abyss, the world's deepest flooded cave (Hranice Karst, Czech Republic). *Environmental Science and Pollution Research*. 25(24), 23712–23724.
- PAVLÍK, I., HÜBELOVÁ, D., KONEČNÝ, O. 2017. Příspěvek ke geografii zdraví: zdroje kontaminace povrchové vody a zdravotní rizika v CHKO Moravský kras. *Geographia Cassoviensis*. XI(1), 33–50.
- PAVLÍK, I., HÜBELOVÁ, D., HORÁK, M., SOMERLÍKOVÁ, K. 2015. *Význam onemocnění lidí a zvířat pro rozvoj regionů*. 1. vyd. 165 s. Mendelova univerzita v Brně. ISBN 978-80-7509-372-1
- PAVLIK, I., JAHN, P., MORAVKOVA, M., MATLOVA, L., TREML, F., CIZEK, A., NESNALOVA, E., DVORSKA-BARTOSOVA, L., HALOUZKA, R. 2008. Lung tuberculosis in a horse caused by *Mycobacterium avium* subsp. *avium* of serotype 2: A case report. *Veterinarni Medicina*. 53(2), 111–116.
- PAVLÍK, I., PAVLAS, M., BEJČKOVÁ, L. 1994. Výskyt, ekonomický význam a diagnostika paratuberkulózy. *Veterinarni Medicina*. 39(8), 451–496.
- PAVLIK, I., ULMANN, V., WESTON, R.T. 2021a. Clinical relevance and environmental prevalence of *Mycobacterium fortuitum* group members: Comment on Mugetti et al. Gene sequencing and phylogenetic analysis: Powerful tools for an improved diagnosis of fish mycobacteriosis caused by *Mycobacterium fortuitum* group members. *Microorganism*. 9(11), 2345.
- PAVLIK, I., ULMANN, V., FALKINHAM, J. O. III. 2022a. Nontuberculous mycobacteria: Ecology and impact on animal and human health. *Microorganisms*. 10(8), 1516.
- PAVLIK, I., ULMANN, V., HUBELOVA, D., WESTON, R. T. 2022b. Nontuberculous mycobacteria as saprozoites: A review. *Microorganisms*. 10, 1345.
- PAVLIK, I., ULMANN, V., MODRA, H., GERSL, M., RANTOVA, B., ZUKAL, J., ZUKALOVA, K., KONECNY, O., KANA, V., KUBALEK, P., BABAK, V., WESTON, R. T. 2021b. Nontuberculous mycobacteria prevalence in bats' guano from caves and attics of buildings studied by culture and qPCR examinations. *Microorganisms*. 9, 2236.
- RAMÍREZ-FRÁNCEL, L. A., GARCÍA-HERRERA, L. V., LOSADA-PRADO, S., REINOSO-FLÓREZ, G., SÁNCHEZ-HERNÁNDEZ, A., ESTRADA-VILLEGAS, S., LIM, B. K., GUEVARA, G. 2022. Bats and their vital ecosystem services: A global review. *Integrative Zoology*. 17(1), 2–23.
- RITO, T., INLAMEA, O., OLIVEIRA, P., DUARTE, R., SOARES, P., CORREIA-NEVES, M. 2023. Evolution and Molecular Characteristics of *Mycobacterium tuberculosis* and *Mycobacterium bovis*. In: REZAEI, N. (ed.). *Tuberculosis*. Integrated Science, kapitola 11. Springer, Cham. p. 847–865. ISBN 978-3031159541. https://doi.org/10.1007/978-3-031-15955-8_41
- RUSTERHOLTZ, K. J., MALLORY, L. M. 1994. Density, activity, and diversity of bacteria indigenous to a karstic aquifer. *Microbial Ecology*. 28(1), 79–99.
- RYSKOVA, L., BOLEHOVSKA, R., KUKLA, R., SVARC, M., ZAVRELOVA, A., VANICEK, H., PAVLIK, I., BOSTIK, P. 2022a. Mycobacterioses induced by *Mycobacterium abscessus*: Case studies indi-

- cating the importance of molecular analysis for the identification of antibiotic resistance. *Antibiotics-Basel*. 11(7), 873.
- RYSKOVA, L., KUKLA, R., BOLEHOVSKA, R., PROKES, L., VAJDA, M., KUCERA, T., PAVLIK, I., BOSTIK, P., RYSKA, P. 2023. A rare case of osteomyelitis of an ankle caused by *Mycobacterium chelonae*. *Antibiotics-Basel*. 12, 97.
- RYSKOVA, L., ZAHRADNICEK, J., KUKLA, R., BOLEHOVSKA, R., VAJDA, M., PAVLIK, I., BOSTIK, P., RYSKA, P. 2022b Dual infection of an open fracture caused by *Mycobacterium setense* and *Clostridium celerecrescens*. *Antibiotics-Basel*. 11, 1254.
- SHITAYE, J. E., HALOUZKA, R., SVOBODOVA, J., GRÝMOVA, V., GRÝM, M., SKORIC, M., FICTUM, P., BERAN, V., SLANY, M., PAVLIK, I. 2010. First isolation of *Mycobacterium genavense* in blue headed parrot (*Pionus menstruus*) imported from Surinam (South America) to the Czech Republic: A case report. *Veterinarni Medicina*. 55(7), 339-347.
- SHITAYE, J. E., MATLOVA, L., HORVATHOVA, A., MORAVKOVA, M., DVORSKA-BARTOSOVA, L., TREML, F., LAMKA, J., PAVLIK, I. 2008a. *Mycobacterium avium* subsp. *avium* distribution studied in a naturally infected hen flock and in the environment by culture, serotyping and IS901 RFLP methods. *Veterinary Microbiology*. 127, 155-164.
- SHITAYE, J. E., MATLOVA, L., HORVATHOVA, A., MORAVKOVA, M., DVORSKA-BARTOSOVA, L., TRCKA, I., LAMKA, J., TREML, F., VRBAS, V., PAVLIK, I. 2008b. Diagnostic testing of different stages of avian tuberculosis in naturally infected hens (*Gallus domesticus*) by the tuberculin skin agglutination tests, faecal and egg examinations. *Veterinarni Medicina*. 53 (2), 101-110.
- SHITAYE, J. E., HORVATHOVA, A., BARTOSOVA, L., MORAVKOVA, M., KAEVSKA, M., DONNELLY, N., PAVLIK, I. 2009. Distribution of non-tuberculosis mycobacteria in the environmental samples from slaughterhouse and in raw and processed meats. *Czech Journal of Food Sciences*, 27(3), 194-202.
- SKORIC, M., FICTUM, P., FRGELECOVA, L., KRIZ, P., SLANA, I., KAEVSKA, M., PAVLIK, I. 2010. Avian tuberculosis in a captured Ruppell's griffon vulture (*Gyps ruppellii*). *Veterinarni Medicina*. 55(7), 348-352.
- SKORIC, M., MRLIK, V., SVOBODOVA, J., BERAN, V., SLANY, M., FICTUM, P., POKORNY, J., PAVLIK, I. 2012. Infection in a Komodo dragon (*Varanus komodoensis*) caused by *Mycobacterium intracellulare*: A case report. *Veterinarni Medicina*, 57(3), 163-168.
- SKORIC, M., SHITAYE, J. E., HALOUZKA, R., FICTUM, P., TRCKA, I., HEROLDOVA, M., TKADLEC, E., PAVLIK, I. 2007. Tuberculous and tuberculoid lesions in free living small terrestrial mammals and the risk of infection to humans and animals: A review. *Veterinarni Medicina*. 52(4), 144-161.
- SLANY, M., KNOTEK, Z., SKORIC, M., KNOTKOVA, Z., SVOBODOVA, J., MRLIK, V., MORAVKOVA, M., PAVLIK, I. 2010a. Systemic mixed infection in a brown caiman (*Caiman crocodylus fuscus*) caused by *Mycobacterium szulgai* and *M. chelonae*: A case report. *Veterinarni Medicina*, 55 (2), 91-96.
- SLANY, M., SVOBODOVA, J., ETTLOVA, A., SLANA, I., MRLIK, V., PAVLIK, I. 2010b. *Mycobacterium arupense* among the isolates of non-tuberculous mycobacteria from human, animal and environmental samples. *Veterinarni Medicina*, 55 (8), 369-376.
- SLANY, M., JEZEK, P., FISEROVA, V., BODNAROVA, M., STORK, J., HAVELKOVA, M., KALAT, F., PAVLIK, I. 2012. *Mycobacterium marinum* infections in humans and tracing of its possible environmental sources. *Canadian Journal of Microbiology*. 58, 1-6.
- SLANY, M., MAKOVCOVA, J., JEZEK, P., BODNAROVA, M., PAVLIK, I. 2014. Relative prevalence of *Mycobacterium marinum* in fish collected from aquaria and natural freshwaters in central Europe. *Journal of Fish Disease*. 37(6), 527-533.
- SUPPLY, P., BROSCHE, R. 2017. The Biology and epidemiology of *Mycobacterium canettii*. Kapitola 2. In: GAGNEUX, S. (ed.). Strain variation in the *Mycobacterium tuberculosis* complex: Its role in biology, epidemiology and control. *Advances in Experimental Medicine and Biology*. 1019, 27-41.
- SÝKORA, M., ŠUSTR, M. 2018. *Moravské Švýcarsko na starých pohlednicích*. 1. vyd. Tváře. 140 s. ISBN 978-80-906621-8-6
- ŠKOLOUDÍK, L., CHROBOK, V., RÝŠKOVÁ, L., DĚDKOVÁ, J., LACO, J., VANÍČEK, H. 2018. Netuberkulózní mykobakteriální krční lymfadenitida v dětském věku. *Pediatric pro praxi*. 19(5), 244-247.
- THOEN, C. O., STEELE, J. H., GILSDORF, M. J. 2006. *Mycobacterium bovis* infection in animals and humans. 2. vyd. Blackwell Publishing Professional, Ames, Iowa, USA. 317 s. ISBN-13: 978-0-8138-0919-9
- TOBIN, D. M., RAMAKRISHNAN, L. 2008. Comparative pathogenesis of *Mycobacterium marinum* and *Mycobacterium tuberculosis*. *Cellular Microbiology*. 10(5), 1027-1039.
- TREBICHAŤSKÝ, I. 2014. Nejstarší stopy života. *Živa*. 1, I-II.
- ULMANN, V., KOZEL, R., TUDÍK, I., PAVLÍK, I. 2023. Mykobakterioly – nejčastější původci. *Epidemiologie, mikrobiologie, imunologie*. 72(3), 151-163.
- ULMANN, V., MODRA, H., BABAK, V., WESTON, R. T., PAVLIK, I. 2021. Recovery of mycobacteria from heavily contaminated environmental matrices. *Microorganisms*. 9, 2178.
- ULMANN, V., KRACALIKOVA, A., DZIEDZINSKA, R. 2015. Mycobacteria in water used for personal hygiene in heavy industry and collieries: A potential risk for employees. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 12, 2870-2877.
- ULMANN, V., MODRA, H., BABAK, V., WESTON, R. T., PAVLIK, I. 2021. Recovery of mycobacteria from heavily contaminated environmental matrices. *Microorganisms*. 9, 2178.
- ULMANN, V., MODRÁ, H., BARTOŠ, M., CAHA, J., HÜBELOVÁ, D., KONEČNÝ, O., PAVLÍK, I. 2018. Epidemiologie vybraných zástupců komplexu *Mycobacterium tuberculosis* v České republice v letech 2000-2016. *Epidemiologie, mikrobiologie, imunologie*. 67(4), 184-190.
- ÚZIS. 2022. Základní přehled epidemiologické sutiace ve výskytu tuberkulózy v České republice v roce 2021. In: UZIS. www.uzis.cz
- VAN DER ZANDEN, R. J., MAGIS-ESCURRA, C., DE LANGE, W. C., HOEFSLOOT, W., BOEREE, M. J., VAN INGEN, J., VAN SOOLINGEN, D. 2012. Hypersensitivity pneumonitis caused by *Mycobacterium avium* subsp. *hominissuis* in a hot tub, as proven by IS1245 RFLP and rep-PCR typing. *International Journal of Mycobacteriology*. 1(3), 152-154.

- WALLENFELS, J., VAŠÁKOVÁ, M., SOLOVIČ, I. 2018. Aktuální farmakoterapie tuberkulózy. *Klinická farmakologie a farmacie*. 32(4), 10–14.
- WANG, Y., OGAWA, M., FUKUDA, K., MIYAMOTO, H., TANIGUCHI, H. 2006. Isolation and identification of mycobacteria from soils at an illegal dumping site and landfills in Japan. *Microbiology and Immunology*. 50, 513–524.
- WANKEL, J. 1984. *Obrazy z Moravského Švýcarska a jeho minulosti*. Originální název: Bilder aus der Mährischen Schweiz und ihrer Vergangenheit, 1882 (překlad Grolich, V., Svoboda, O., Urban, J.), Muzejní a vlastivědná společnost (Brno), Okresní muzeum (Blansko). 306 s.
- WHIPPLE, M. J., ROHOVEC, J. S. 1994. The effect of heat and low Ph on selected viral and bacterial fish pathogens. *Aquaculture*. 123, 179–189.
- WHO. 2022. 2.1 Case notifications (who.int). WHO. 2023. Tuberculosis. Privacy Legal Notice. [Citace: 25. březen 2023.] <https://www.who.int/teams/global-tuberculosis-programme/overview>
- WHO. 2024. *Leprosy*. Leprosy (who.int).
- ZAJÍČEK, P. 2017. *Moravský kras v ponorné řece času*. Praha: Academia. 279 s. ISBN 978-80-200-2723-8
- ZAJÍČEK, P., OLIVA, M., KOSTRHUN, P. 2021. *Karel Absolon: Objevitel, manažer, vědec*. 1. vyd. Praha: Academia. 431 s. ISBN 978-80-200-3167-9
- ZINSSTAG, J., BORNA, M., PAVLIK, I. 2011. Mycobacterioses. Kapitola 15. In: PALMER, S. R., SOULSBY, L., TORGERSON, P. R., BROWN, D. W. G. (eds.). *Oxford Textbook of Zoonoses. Biology, Clinical Practice and Public Health Control*. 2. vyd. Oxford University Press. s. 128–135. ISBN 978-0-19-857002-8
- ZUKALOVA, K., SEIDLOVA, V., ULMANN, V., PAVLIK, I., PIKULA, J., ZUKAL, J. 2023. Prevalence of non-tuberculous mycobacteria in Noctule (*Nyctalus noctula*) females during gestation. *Acta Chiropterologica*. 25(2), 351–361.

Seznam zkratk a vysvětlení některých pojmů

AD	Anno Domini „Léta Páně“ (L. P.), označuje letopočet od narození Krista
Bacterium	latinsky bakterie
BCG	Bacillus Calmete-Geuérin (vakcinační kmen proti humánní tuberkulóze)
calBP	calibrated Before Present (kalibrované datované roky před současností)
CF	cystická fibróza
CT	Computed Tomography (počítačová tomografie)
ČOV	Čistírna odpadních vod
ČR	Česká republika
DNA	deoxyribonucleic acid (deoxyribonukleová kyselina)
ECDC	European Centre for Disease Prevention and Control (Evropské středisko pro prevenci a kontrolu nemocí)
EFSA	European Food Safety Authority (Evropský úřad pro bezpečnost potravin)
EU	Evropská unie (European Union)
Eurostat	European Statistical Office (Statistický úřad Evropské unie)
Huanu	označení Inku pro „trus, kterým se hnojí“
CHKO	Chráněná krajinná oblast
CHOPN	chronická obstrukční plicní nemoc
M.	<i>Mycobacterium</i>
M. tb	<i>M. tuberculosis</i> (původce humánní tuberkulózy)
mycos	řecky houba
OIE	Office International des Epizooties (Světová organizace pro zdraví zvířat)
PCR	Polymerase Chain Reaction (polymerázová řetězová reakce)
qPCR	Quantitative (kvantitativní) PCR
RTG	rentgenologické vyšetření
subsp.	subspecie (poddruh)
ÚZIS	Ústav zdravotnických informací a statistiky České republiky
WHO	World Health Organization (Světová zdravotnická organizace)
Wikipedie	mnohojazyčná encyklopedie dostupná elektronicky
ZO ČSS	základní organizace České speleologické společnosti
ZÚ	Zdravotní ústav

Seznam obrázků

- Obr. 1:** Rudě zbarvené nitěnky v Hostěnickém potoku před ponorem do Ochozské jeskyně, které se v takovém množství vyskytují pouze v bohatě organicky znečištěném sedimentu (foto I. Pavlík). 13
- Obr. 2:** Řešitelé grantu číslo 16-13231S Vodní prostředí v krasu: dopad lidských aktivit na geomikrobiologii, Grantové agentury České republiky (2016–2018); zleva: Leoš Štefka, Antonín Tůma, Helena Modrá, Vít Ulmann, Jan Caha, Dana Hübelová, Ondřej Konečný, Jan Kudělka, Milan Geršl, Ivo Pavlík (foto I. Pavlík). 14
- Obr. 3:** Řešitelé grantu číslo 21-12719S „Mykobakterie u netopýrů a jejich role ve zdraví a nemoci“, Grantové agentury České republiky (2021–2023); zleva nahoře: Jiří Pikula, Lenka Janošíková, Michal Kotůč, Vít Ulmann, Hana Bandouchová, Michal Guba, Milan Geršl, David Čani; prostřední řada zleva: Veronika Seidlova, Jan Zukal, Ondřej Konečný, Ivo Pavlík; dolní řada zleva: Barbora Rantová, Kateřina Zukalová, Kateřina Konečná (foto I. Pavlík). 14
- Obr. 4:** Řešitelé grantu registračního čísla NU20-09-00114 Agentury pro zdravotnický výzkum, Ministerstvo zdravotnictví České republiky (2020–2023); zleva: Helena Modrá, Kateřina Konečná, Michaela Kotásková, Lenka Ryšková, Ondřej Konečný, Vít Ulmann, Dana Hübelová, Michaela Kantorová, Ivo Pavlík, Radka Bolehovská, Rudolf Kukla (foto J. Čeněk). 14
- Obr. 5:** Obtížný sběr vzorků v jeskyních Moravského krasu (foto V. Káňa) 17
- Obr. 6:** Dno propasti Macocha (foto AdobeStock) 18
- Obr. 7:** Heatmapa českých jeskyní; jejich největší koncentrace je v Moravském krasu (bezplatný kartografický-GIS nástroj QGIS). 19
- Obr. 8:** Jeskyně Moravského krasu od shora v jeho severní, střední a jižní části (bezplatný kartografický-GIS nástroj QGIS). 19
- Obr. 9:** První až čtvrtá výstavní prostora (foto I. Pavlík). 24
- Obr. 10:** Plán půdorysu čtyř výstavních prostor Muzea Blanenska označených 1–4. Červeně jsou označeny tři velké prosklené vitríny (A, B, C), které jsou instalovány napevno bez možnosti přesunu (obrázek archiv Muzea Blanenska). 26
- Obr. 11:** Letecký pohled na Olšovec (foto I. Pavlík) 29
- Obr. 12:** Podzemí v Šošůveckém koridoru (foto I. Pavlík) 29
- Obr. 13:** Řasy ve vývěru Jedovnického potoku z Býčí skály (foto I. Pavlík). 29
- Obr. 14:** Pstruh obecný v Jedovnickém potoku v Nové Býčí skále za Sifonem dřiny (foto I. Pavlík). 29
- Obr. 15:** Sedimenty z rybníku Dymák přinášené Jedovnickým potokem do ponoru Rudického propadání (foto I. Pavlík) 30
- Obr. 16:** Prach zachycený v pavučinách v ponoru Sloupského potoka ve Starých skalách (foto I. Pavlík). 30
- Obr. 17:** Sloupský potok ve Staré Amatérské jeskyni (foto I. Pavlík) 30
- Obr. 18:** Kořenový stalagmit v Barové jeskyni (foto I. Pavlík). 30
- Obr. 19:** Žížalince v Nové Amatérské jeskyni (foto I. Pavlík). 31
- Obr. 20:** *Mycobacterium paratuberculosis*, zvětšeno 10 000× (foto V. Beran) 31

- Obr. 21:** Porada a interpretace výsledků v Domu přírody (Skalní mlýn) Moravského krasu (foto I. Pavlík) 31
- Obr. 22:** Archeologové v Předšíně Nové Býčí skály (foto I. Pavlík). 31
- Obr. 23:** a), b) Odpadní vody pod obcí Habrůvka vtékající do ponoru Habrůveckého potoka (foto I. Pavlík). 32
- Obr. 24:** Kosti jeskynního medvěda a guáno od vrápence malého v Barové jeskyni (foto I. Pavlík). 32
- Obr. 25:** Došetřování zahrady a okolí domku dětského pacienta s mykobakterií krčních mízních uzlin (foto Mapy.cz). 32
- Obr. 26:** Prof. Karel Absolon používal ve svých výzkumech především metod světelné mikroskopie (Absolon, 1970a, b); jeho pracovna v Moravském zemském muzeu v Brně (foto I. Pavlík). 33
- Obr. 27:** Plošina Harbechy s četným závrtým a s možným výskytem zajímavých druhů mykobakterií (foto S. Koukal). 33
- Obr. 28:** Dokumentace odběru vzorků v Nové Amatérské jeskyni (foto L. Štefka). 33
- Obr. 29:** Přednáška ve VIDA Science centrum, Brno, 16. 10. 2023 (foto I. Pavlík) ... 33
- Obr. 30:** Jeden z názorných posterů výstavy (foto V. Káňa a J. Pernes). 34
- Obr. 31:** Kráter *Santiago* sopky *Masaya*, Nikaragua (foto I. Pavlík). 34
- Obr. 32:** Světelný mikroskop pro praktické použití (foto I. Pavlík). 34
- Obr. 33:** Zsvěcený průvodce Mgr. Káňa při práci (foto I. Pavlík) 34
- Obr. 34:** Porada v Nové Amatérské jeskyni před odběrem vzorků (foto L. Štefka). 35
- Obr. 35:** I skapová voda je riziková; kelímky v jeskyních v Rudickém propadání přitom přímo vybízí k pití této, často různými mikroorganismy kontaminované, vody (foto I. Pavlík). 35
- Obr. 36:** Podvodní záběr pstruha potočního s přisátou chobotnatkou před hřbetní ploutví. Tento nálezy v Jedovnickém potoce ve Velké síni Nové Býčí skály byl velkým překvapením (foto I. Pavlík). 35
- Obr. 37:** Jen zanícený průvodce (např. V. Káňa) je schopen upoutat pozornost mladých návštěvníků (foto I. Pavlík). 35
- Obr. 38:** Jen zanícený průvodce (např. vpravo stojící V. Káňa) je schopen upoutat pozornost mladých návštěvníků (foto I. Pavlík). 38
- Obr. 39:** V prvním výstavním prostoru, v předsáli, se nachází nádoby s reálnými vzorky odebranými v Moravském krasu (Býčí skála): od shora je to v nádobě voda z vyvěrajícího Jedovnického potoka, půda ze vstuptního portálu, lesní hrabanka, kůra a mechy z okolí Býčí skály (foto I. Pavlík) 40
- Obr. 40:** Jeskynní sedimenty ze vchodu jeskyně Býčí skála je možné odebrat pinzetou, která je určena pro odběr vzorků tohoto organického materiálu na následující mikroskopické vyšetření. Vzorky sedimentu i hrabanky jsou bezpečné (neškodné pro člověka), přesto je manipulace s nimi ryze dobrovolná, na vlastní riziko a doporučená s ochrannými pomůckami (k dispozici jsou jednorázové rukavice). Ve vzorkovnici (sputovce s červenými víčkem) je možné vzorky přenést na následné mikroskopické vyšetření (foto I. Pavlík). 41
- Obr. 41:** V průčelí prvního výstavního prostoru je monitor s promítaným krátkým dokumentárním filmem o Moravském krasu (Tajemství jeskyní Moravského

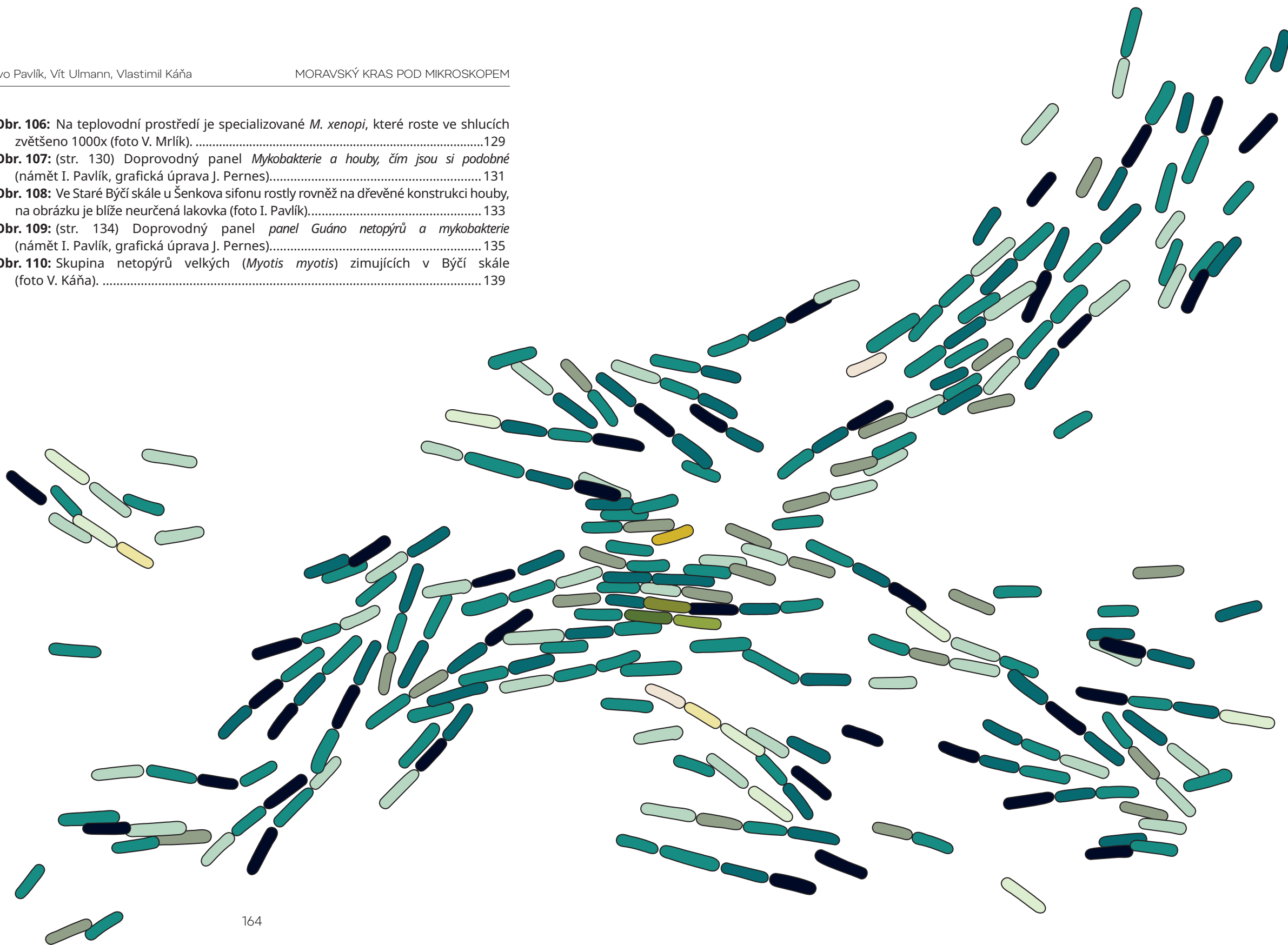
- krasu, autoři I. Pavlík, I. a P. Jetelina), vpravo se nachází skleněná vitrína s ukázkou odběrových nádob na tekuté a pevné vzorky a úvodní panel s červenými nitěnkami a koláž záběrů výsledků laboratorních vyšetření mikroorganismů. (foto P. Komínková). 42
- Obr. 42:** Vitrína s ukázkou odběrových nádob na tekuté a pevné vzorky (foto I. Pavlík). 42
- Obr. 43:** a), b) Pro odběry vzorků jsou také k dispozici jednorázové plastové Petriho misky, sputovky s červenými víčky (foto I. Pavlík). 43
- Obr. 44:** a), b) Pro odběr většího množství tekutin jsou k dispozici jednorázové plastové nádoby s modrým uzávěrem a pro odběr malého množství vzorků např. pro izolaci DNA jsou připravené igelitové jednorázové sáčky se žlutým zipem a Eppendorfkou o objemu 1 ml (foto I. Pavlík). 43
- Obr. 45:** Postava speleologa ve speciálním ochranném oděvu (tzv. overalu) před vitrínou s mumifikovanými kadávery zvířat, které byly při výzkumech objeveny v různých jeskyních Moravského krasu. Na stěně v pozadí je v Býčí skále zachycen chiropterolog V. Káňa, který stojí pod největší kolonií hibernujících netopýrů vrápenců malých v Moravském krasu (foto I. Stejskal). 44
- Obr. 46:** Kost velkého savce, která byly nalezena v jeskynním prostředí (foto I. Pavlík). 45
- Obr. 47:** a), b) Ve vitríně jsou uloženy dvě mumie: vlevo kočky domácí (*Felis catus*) a vpravo kuny skalní (*Martes foina*), které byly nalezeny při výzkumných aktivitách v Moravském krasu (foto I. Pavlík). 46
- Obr. 48:** a), b) Exponáty vlevo přibližují sběr kostí drobných savců, které pomáhají zlepšit poznání změn klimatu v minulosti. Exponáty vpravo jsou fosilní kosti mláďat netopýrů z jeskyně Býčí skála, které byly datované radiokarbonovou metodou do počátku čtrnáctého století našeho letopočtu. To je významným svědectvím o teplém klimatickém výkyvu v období tzv. středověkého klimatického optima. V té době byla průměrná teplota výrazně vyšší, než je v dnešním Moravském krasu (foto I. Pavlík). 46
- Obr. 49:** Detailní záběr na laboratorní materiál používaný při odběrech vzorků v terénu a jejich transportu do laboratoře (foto I. Pavlík). 46
- Obr. 50:** Před vchodem do třetí výstavní místnosti je vlevo pod oknem vitrína jak s odběrovými nádobami na vzorky, tak i transportní box pro transport chlazených vzorků (foto P. Komínková). 47
- Obr. 51:** Kostí a zbytky měkkých tkání netopýrů byky také nalezené v jeskyních (foto I. Pavlík). 47
- Obr. 52:** Zvětšené modely bakterií (autor modelu R. Šujan) se spojují pomocí spojovacích čepů dle návodných mikrofotografií skutečných bakterií vyskytujících se v prostředí samostatně nebo ve shlucích (foto I. Pavlík). 48
- Obr. 53:** V. Káňa (kurátor výstavy) drží v ruce otevřenou Petriho misku s fosilními kostmi netopýrů, které jsou určeny pro mikroskopické vyšetření pomocí vlevo stojícího světelného mikroskopu (foto I. Stejskal). 50

- Obr. 54:** Ve vitríně je vystaven kadáver (mršina) lišky obecné, který je rozkládáný bakteriemi a houbami (plísněmi). Součástí expozice jsou i jednorázové odběrové nádoby (láhve s modrým víkem a sputovky s červenými víčky) a jednorázové igelitové sáčky se žlutým uzavíratelným lemlem (foto I. Pavlík). 51
- Obr. 55:** V další výstavní místnosti je promítán 20 min. dokumentární film o vodě v Moravském krasu a její cirkulaci na povrchu a v podzemí (foto I. Stejskal). 51
- Obr. 56:** Vlevo vidíme ochranné pracovní oblečení do laboratoře včetně ochranného plexisklového štítu na obličej, vpravo vitrínu s různými exponáty (foto I. Pavlík). 52
- Obr. 58:** Model vnějšího tvaru mykobakterie byl zhotoven podle snímků z elektronového mikroskopu, zvětšeno 400 000x; autor modelu R. Šujan (foto I. Pavlík). 52
- Obr. 57:** Nádoba na odkládání použitého jednorázového materiálu: gumových rukavic, sputovek, pipet, podložních sklíček a podobně (foto I. Pavlík). 52
- Obr. 59:** Laboratorní stůl se židlí, která umožňuje návštěvníkům si blíže prohlédnout připravené vzorky na vyšetření, mikroskopy s příslušenstvím a extraktorem tuků (foto I. Pavlík). 53
- Obr. 60:** Vlevo je vystavena preparační binokulární lupa s příslušenstvím a biologickým materiálem na Petriho miskách používaná k výzkumu kostí a zubů drobných obratlovců, hmyzu a jeskynních korýšů. Vpravo je umístěn extraktor tuků (foto I. Pavlík). 54
- Obr. 61:** Na laboratorním stole jsou na černé podložce umístěné jednorázové nádoby (sputovky), pinzety, nůžky a další příslušenství potřebné k práci s mikroskopem. Současně jsou ve skleněných Petriho miskách různé velikosti umístěny fosilní kosti netopýrů, které umožnily matovat klimatické změny v Moravském krasu (Býčí skála) v prehistorickém a historickém období. Vpravo jsou umístěny lebky různých savců. V obdélníkové krabičce jsou vrstvy šterku a hlíny s kostmi různého stáří z Býčí skály. Jsou kronikou života ve vchodu do jeskyně za posledních asi 10 tis. let (foto I. Pavlík). 54
- Obr. 62:** Tělo mumifikovaného netopýra velkého na Petriho misce určeného k dalšímu vyšetřování (foto I. Pavlík). 55
- Obr. 63:** Vlevo je příruční stůl s jednorázovými nádobami s vodou pocházející z Jedovnického potoka vytékajícího z Býčí skály, vpravo dole je vystavena laboratorní centrifuga a nad ní jeden z odborných panelů (foto I. Pavlík). 55
- Obr. 64:** Historický světelný mikroskop z přelomu 19. a 20. století s přirozeným zdrojem světla přiváděného do mikroskopu prostřednictvím polohovatelného zrcátka pod pracovním stolem mikroskopu (foto I. Pavlík). 55
- Obr. 65:** Mumie lišky obecné (*Vulpes vulpes*) nalezené v Jeskyni mrtvého netopýra (foto I. Pavlík). 56
- Obr. 66:** Vzorky organického materiálu jsou z prostředí jeskyní Moravského krasu, obsahují velké množství mikroorganismů i jejich DNA (foto I. Pavlík). 56
- Obr. 68:** Návštěvník výstavy si prohlíží model chvostoskoka (I. Pavlík). 57

- Obr. 67:** Zvětšený model (asi 500× zvětšený) chvostoskoka rodu *Folsomia*, který je v Moravském krasu běžný a který obývá i povrchy sedimentů v jeskyních (I. Pavlík). 57
- Obr. 69:** Návštěvníci spontánně nosili ochranné pomůcky (bílé pláště nebo plexisklový štít pro ochranu obličeje před infekcí) při prohlídce jednotlivých exponátů (foto I. Stejskal). 58
- Obr. 70:** Modely bakterií je možné pomocí dřevěných čepů spojovat do tvarů, které připomínají jejich společné tvary při množení (foto I. Stejskal). 58
- Obr. 71:** Dřevo je napadené houbami a bakteriemi z jeskyně Býčí skála, kam bylo napraveno podzemním tokem Jedovnického potoka. Toto dřevo bývá napadeno i houbami, jejichž plodnice je také možné v mnoha jeskyních pozorovat (foto I. Pavlík). 59
- Obr. 72:** Mumifikovaná těla skokanů z jeskyně Býčí skála, která byla také vyšetřována na přítomnost mikroorganismů i jejich DNA (foto I. Pavlík). 59
- Obr. 73:** Ve čtvrté výstavní místnosti s projekcí filmů o Moravském krasu s českými a anglickými titulky jsou po obou stranách projekčního plátna vitríny s laboratorními přístroji (foto I. Stejskal). 60
- Obr. 74:** Pohled na celkovou dispozici výstavy s umístěním panelů, vitrín s laboratorními přístroji a dalšími pomůckami a projekčního plátna vytváří zvláštní atmosféru (foto I. Pavlík). 60
- Obr. 75: a), b)** Vitríny s laboratorními přístroji a dalšími pomůckami (foto I. Pavlík). 61
- Obr. 76:** Úvodní panel (grafická úprava J. Pernes). 65
- Obr. 77: a), b), c)** Propagační panely (foto I. Pavlík, grafická úprava K. Páleníková). 67
- Obr. 78:** Koláž fotografií a 3D objektu s bakteriemi v biofilmu přibližuje hlavní témata a objekty výstavy (foto I. Pavlík, námět V. Káňa, grafická úprava J. Pernes). 68
- Obr. 79:** Speleolog a chiropterolog V. Káňa se nachází pod zimujícími netopýry ve Staré Býčí skále (foto J. Šanda). 69
- Obr. 80:** Doprovodný panel *Jeskyně jako odpadní jímka i čistírna vody zároveň* (námět V. Káňa, grafická úprava J. Pernes). 72
- Obr. 81:** Doprovodný panel *Netopýři pod mikroskopem* (námět V. Káňa, grafická úprava J. Pernes). 74
- Obr. 82:** Doprovodný panel *Malé organismy v jeskyních. Jak malé vlastně jsou?* (námět V. Káňa, grafická úprava J. Pernes). 76
- Obr. 83:** Doprovodný panel *Jeskyně, kras, hygiena a zdraví* (námět V. Káňa, grafická úprava J. Pernes). 78
- Obr. 84: Doprovodný panel *Organismy v jeskyních moravského krasu, malé a ještě menší* (námět V. Káňa, grafická úprava J. Pernes). 80
- Obr. 85:** Samička muchule (Nictaribia) těsně před porodem. Muchule jsou parazité netopýrů, kteří jim sají krev a žijí převážně v jejich srsti. Jsou živorodé, samičky rodí larvu, která je stejně velká jako ony samy a hned se kuklí (foto V. Káňa). 82
- Obr. 86:** Detail kolonie plísní "dopěstované" v laboratoři (foto R. Dobiáš). 83

- Obr. 87:** Doprovodný panel *Bakterie v jeskyních* (námět V. Káňa, grafická úprava J. Pernes). 84
- Obr. 88:** Doprovodný panel *Malí a velcí tvorové* (námět I. Pavlík, grafická úprava J. Pernes). 86
- Obr. 89:** Doprovodný panel s návodem pro práci s interaktivními exponáty: *Trocha praxe pro návštěvníky výstavy* (námět V. Káňa, grafická úprava J. Pernes). 88
- Obr. 90:** *M. avium* subsp. *paratuberculosis*, zvětšeno 18 000× (foto I. Pavlík). 92
- Obr. 91:** Nejstarší horniny na Zemi se vyskytují také v Jihoafrické republice (foto I. Pavlík). 93
- Obr. 92:** (str. 92) Doprovodný panel *Bakterie jsou nejstarší živé organismy na Zemi* (námět I. Pavlík, grafická úprava J. Pernes). 95
- Obr. 93:** Vznik Praoeánu byl zatím dramatický a neumožňoval kvůli jeho vysokým teplotám vznik života, od roku 1983 nepřetržitě teče žhavá láva do Tichého oceánu, *Red Lava Floating Field*, Velký Ostrov, Havajské ostrovy (foto I. Pavlík). 97
- Obr. 94:** (str. 98) Doprovodný panel *Laboratorní průkaz mykobakterií: diagnostika tuberkulózy a mykobakterií* (námět I. Pavlík, grafická úprava J. Pernes). 99
- Obr. 95:** Kajman brýlový s mykobakterií (Slany et al., 2010; foto Z. Knotek). 101
- Obr. 96:** (str. 102) Doprovodný panel *Objev původce tuberkulózy a dalších zdravotně významných druhů mykobakterií* (námět I. Pavlík, grafická úprava J. Pernes). 103
- Obr. 97:** Prof. Robert Koch byl tak slavný, že o jeho objevu původce lidské tuberkulózy byl natočen film dabovaný do různých jazyků včetně i češtiny, jak to dokumentuje tento plakát (foto IMDb.com, 2024). 105
- Obr. 98:** (str. 106) Doprovodný panel *Mykobakterie a jejich ekologie v krasovém území část I.* (námět I. Pavlík, grafická úprava J. Pernes). 107
- Obr. 99:** Záchyt druhu *M. hiberniae* se podařil z guána netopýrů velkých v jeskyni Rotunda v Hranické propasti. Vzorky guána odebírají potápěči, protože jeskyně Rotunda v Hranické propasti není jiným způsobem přístupná (foto M. Guba). 111
- Obr. 100:** (str. 112) Doprovodný panel *Mykobakterie a jejich ekologie v krasovém území část II.* (námět I. Pavlík, grafická úprava J. Pernes). 113
- Obr. 101:** Erodivní půda vodou je také zdroj mykobakterií v jeskynním prostředí. Kromě *M. fortuitum* jsme izolovali z nitěnek také *M. mucogenicum* a *M. gordonae*. Všechny tři zmíněné druhy byly také izolované z naplavených půdních sedimentů z Ochozského potoka na sintrové stěně asi 1 m těsně nad jeho hladinou (foto I. Pavlík). 117
- Obr. 102:** (str. 118) Doprovodný panel *Mykobakterie a žížaly na povrchu a v jeskyních* (námět I. Pavlík, grafická úprava J. Pernes). 119
- Obr. 103:** (str. 122) Doprovodný panel *Mykobakterie v jeskyních sedimentech a ve dřevitém materiálu* (námět I. Pavlík, grafická úprava J. Pernes). 123
- Obr. 104:** Klíčící kaštan koňský (*Aesculus hippocastanum*) známý také jako jírovec maďal byl objeven v Nové Amatérské jeskyni (foto I. Pavlík). 125
- Obr. 105:** (str. 126) Doprovodný panel *Růstové vlastnosti mykobakterií a jeskynní prostředí* (námět I. Pavlík, grafická úprava J. Pernes). 127

- Obr. 106:** Na tepl vodní prostředí je specializované *M. xenopi*, které roste ve shlučích zvětšeno 1000x (foto V. Mrlík).129
- Obr. 107:** (str. 130) Doprovodný panel *Mykobakterie a houby, čím jsou si podobné* (námět I. Pavlík, grafická úprava J. Pernes)..... 131
- Obr. 108:** Ve Staré Býčí skále u Šenkova sifonu rostly rovněž na dřevěné konstrukci houby, na obrázku je blíže neurčená lakovka (foto I. Pavlík)..... 133
- Obr. 109:** (str. 134) Doprovodný panel *panel Guáno netopýřů a mykobakterie* (námět I. Pavlík, grafická úprava J. Pernes)..... 135
- Obr. 110:** Skupina netopýřů velkých (*Myotis myotis*) zimujících v Býčí skále (foto V. Káňa).139



MORAVSKÝ KRAS POD MIKROSKOPEM

KRITICKÝ KATALOG VÝSTAVY

Autoři: Ivo Pavlík, Vít Ulmann, Vlastislav Káňa

Vydala: Mendelova univerzita v Brně, Zemědělská 1, 613 00 Brno

Vydání: první, 2024

ISBN 978-80-7701-014-6

<https://doi.org/10.11118/978-80-7701-014-6>

Publikace naprošla jazykovou korekturou.

