



Financováno
Evropskou unií
NextGenerationEU



Národní
plán
obnovy

Číslo spisu: S/02277/JM/23

Číslo jednací: 02277/JM/23

popfk-144a/73/23

115V342003568

SMLOUVA O DÍLO

UZAVŘENÁ DLE USTANOVENÍ § 2586 A NÁSL. ZÁK. Č. 89/2012 SB., OBČANSKÉHO
ZÁKONÍKU, VE ZNĚNÍ POZDĚJŠÍCH PŘEDPISŮ

I. Smluvní strany

1.1 Objednatel

Česká republika - Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky

Regionální pracoviště: Regionální pracoviště Jižní Morava

Sídlo: Kaplanova 1931/1, 148 00 Praha 11 - Chodov

Zastoupená: RNDr. Františkem Pelcem, ředitelem AOPK ČR

Bankovní spojení: ČNB Praha, číslo účtu: 18228011/0710

IČO: 629 33 591

DIČ: neplátce DPH

Kontaktní adresa: Svitavská 29, 678 01 Blansko

Telefon: [REDACTED]

V rozsahu této smlouvy osoba zmocněná k jednání se zhotovitelem, k věcným úkonům a k převzetí díla: [REDACTED]

(dále jen „objednatel”)

a

1.2 Zhotovitel

Monapo envi s.r.o.

IČO: 107 20 529

DIČ: neplátce DPH

Adresa sídla: Ladova 1801/5, Řečkovice, 621 00 Brno

Zastoupená: RNDr. Ing. Jaroslavem Rožnovským, CSc., jednatelem

Bankovní spojení: Fio banka, č. účtu: 2401969962/2010

Společnost zapsaná v obchodním rejstříku vedeném Krajským soudem v Brně,
sp. zn. C 122440

V rozsahu této smlouvy osoba zmocněná k jednání s objednatel: Jaroslav Rožnovský,
email: [REDACTED] telefon: [REDACTED]

(dále jen „zhotovitel”)

II. Předmět smlouvy

- 2.1 Na základě této smlouvy se zhotovitel zavazuje provést na svůj náklad a nebezpečí dílo specifikované v čl. 2.2 této smlouvy a předat jej objednateli. Objednatel se zavazuje dílo převzít a zaplatit za něj zhotoviteli dohodnutou cenu.
- 2.2 Dílem se rozumí: V CHKO Moravský kras budou sledovány základní mikroklimatické parametry pro zpracování studie: teplota vzduchu, relativní vlhkost vzduchu, rychlost a směr proudění vzduchu (ten pouze v 5 jeskyních: Býčí skála, Nová Amatérská jeskyně – vchod Štola U javora, Ochozská jeskyně, Skleněné dómy, Šachta za Evropou a Indií), teplota skalního masívu, koncentrace CO₂ a teplota vody v podzemních vodních tocích. V souvislosti s tím budou sledovány změny výšky vodní hladiny v podzemních vodních tocích na stávajících zařízeních ČHMÚ a meteorologické a klimatické podmínky vnějšího prostředí rovněž u Kateřinské jeskyně a u propasti Macocha.
- Podrobná specifikace díla je uvedena v příloze smlouvy č. 1 této smlouvy.
- Sledované období je členěno na části dle pololetí jednotlivých let (část díla za II. pololetí roku 2023, část díla za I. pololetí roku 2024, část díla za II. pololetí roku 2024 a část díla za I. pololetí roku 2025).
- (dále jen „dílo“)
- 2.3 Při provádění díla je zhotovitel vázán pokyny objednatele. Objednatel si vyhrazuje právo v průběhu provádění díla aktualizovat metodické dokumenty, a to především s ohledem na nové znalosti mikroklimatických podmínek v jeskynním prostředí, případně po upozornění na nové nepředvídatelné skutečnosti zhotovitelem. Dále také změnu rozsahu sledovaných parametrů na základě výsledků předchozích analýz, při dodržení rozsahu díla a počtu měřicích bodů v jeskyních. Jakákoliv změna je možná pouze na základě písemné dohody podepsané oprávněnými zástupci smluvních stran.
- 2.4 Zhotovitel potvrzuje, že se detailně seznámil s rozsahem a povahou díla, že jsou mu známy veškeré podmínky nezbytné ke zpracování díla a že disponuje takovými kapacitami a odbornými znalostmi, které jsou nezbytné pro realizaci díla za dohodnutou smluvní cenu stanovenou podle této smlouvy.
- 2.5 Objednatel je oprávněn v průběhu platnosti smlouvy jednostranně omezit rozsah díla v dosud neprovedené části, a to především s ohledem na přidělování finančních prostředků objednateli ze státního rozpočtu. Při snížení rozsahu díla bude přiměřeně snížena jeho cena.

III. Cena díla a platební podmínky

- 3.1 Cena díla je stanovena v souladu s právními předpisy:
- | | |
|------------------|--------------|
| Cena bez DPH: | 820.000,- Kč |
| DPH 21 %: | 0,- Kč |
| Cena včetně DPH: | 820.000,- Kč |
- Zhotovitel není plátcem DPH.
- 3.2 Dohodnutá cena je stanovena jako nejvýše přípustná. Ke změně může dojít pouze při změně zákonných sazeb DPH, ale pouze za předpokladu, že zhotovitel je plátcem DPH. U neplátce DPH, který do ceny díla DPH nepromítne, nebude cena měněna ani v případě, že by se v průběhu plnění plátcem DPH stal, tj. veškeré s tím související náklady jdou k jeho tíži.
- 3.3 Veškeré náklady vzniklé zhotoviteli v souvislosti s prováděním díla jsou zahrnuty v ceně díla.

- 3.4 Cena za dílo bude vyúčtována po provedení každé části díla, tzn. po každém pololetí příslušného roku. Zhotovitel je povinen daňový doklad (fakturu) vystavit a doručit objednateli nejpozději do 15 pracovních dnů po předání a převzetí díla (v žádném případě však ne později než do 11. 11. kalendářního roku) na základě předávacího protokolu (nebo na základě protokolu o kontrole dle čl. 6.2) na adresu: Svitavská 29, 678 01 Blansko.
- 3.5 Daňový doklad (faktura) musí mít náležitosti daňového resp. účetního dokladu podle platných obecně závazných právních předpisů; označení daňového dokladu (faktury) a jeho číslo; číslo této smlouvy, den jejího uzavření a předmět smlouvy; označení banky zhotovitele včetně identifikátoru a čísla účtu, na který má být úhrada provedena; jméno a adresu zhotovitele; položkové vykázání nákladů, konečnou částku; den odeslání dokladu a lhůta splatnosti.
- 3.6 Daňový doklad (faktura) vystavený zhotovitelem je splatný do 30 kalendářních dnů po jeho obdržení objednatelem. Objednatel může daňový doklad (fakturu) vrátit do data jeho splatnosti, pokud obsahuje nesprávné nebo neúplné náležitosti či údaje. Lhůta splatnosti počne běžet doručením opraveného a bezvadného daňového dokladu (faktury).
- 3.7 Smluvní strany se dohodly, že objednatel nebude poskytovat zálohové platby.

IV. Doba a místo plnění

- 4.1 Zhotovitel se zavazuje provést dílo a předat jej objednateli nejpozději do: 31. 8. 2025. Zhotovitel předá dílo objednateli v elektronické podobě. Zhotovitel se zavazuje každopůlročně provést část díla určenou pro daný rok. Za každý půlrok odevzdá dílčí zprávu, která bude obsahovat základní údaje o realizovaných výkonech, průběhu řešení a bude doplněna o již vyhodnocené výsledky mikroklimatických parametrů. Závěrečná zpráva bude vypracována na konci studie, bude souhrnem všech dosažených výkonů a výsledků a bude předána objednateli nejpozději do 30. 8. 2025.
- 4.2 Zhotovitel předá dílčí zprávy do 30 dnů po skončení příslušného pololetí, tzn.:
- 1) sledované období části 1 je stanoveno od účinnosti smlouvy do 31. 12. 2023, dílčí zpráva bude předána do 30. 1. 2024;
 - 2) sledované období části 2 je stanoveno od 1. 1. 2024 do 30. 6. 2024, dílčí zpráva bude předána do 30. 7. 2024;
 - 3) sledované období části 3 je stanoveno od 1. 7. 2024 do 31. 12. 2024, dílčí zpráva bude předána do 30. 1. 2025
 - 4) sledované období části 4 je stanoveno od 1. 1. 2025 do 30. 6. 2025, dílčí zpráva bude předána spolu se závěrečnou zprávou do 30. 8. 2025.
- 4.3 Pokud zhotovitel dokončí dílo před dohodnutým termínem, zavazuje se objednatel, že převezme dílo i v dřívějším nabídnutém termínu, pokud bude bez vad a nedodělků.
- 4.4 Místo plnění je uvedeno v mapovém zákresu, který je přílohou č. 3 této smlouvy.

V. Další ujednání

- 5.1 Zhotovitel je povinen provést dílo v kvalitě, formě a obsahu, které vyžaduje tato smlouva a která je obvyklá pro díla obdobného typu. Zhotovitel je povinen postupovat s odbornou péčí v souladu s platnými a účinnými právními předpisy, případně technickými normami. Zhotovitel je povinen disponovat oprávněním k podnikání v rozsahu nezbytném pro provádění díla, a to po celou dobu trvání této smlouvy a na

požádání takové oprávnění kdykoliv prokázat. Zhotovitel je povinen neprodleně oznamovat objednateli všechny okolnosti významné pro plnění díla.

- 5.2 Objednatel je oprávněn kontrolovat provádění díla. Zjistí-li objednatel, že zhotovitel provádí dílo v rozporu se svými povinnostmi, je oprávněn zhotovitele na tuto skutečnost upozornit a dožadovat se provádění díla řádným způsobem. Jestliže tak zhotovitel neučiní ani ve lhůtě mu k tomu poskytnuté, je objednatel oprávněn od této smlouvy odstoupit doručením písemného odstoupení zhotoviteli.
- 5.3 Bude-li mít dílo podle této smlouvy povahu autorského díla ve smyslu § 2 zákona č. 121/2000 Sb., autorského zákona, ve znění pozdějších předpisů (dále jen „autorský zákon“), poskytuje zhotovitel objednateli výhradní oprávnění k výkonu práva dílo užit (licenci), a to v původní, zpracované i jinak změněné podobě, všemi způsoby užití, v neomezeném rozsahu, bez prostorového omezení, na dobu trvání zhotovitelových majetkových autorských práv k dílu. Zhotovitel je oprávněn dílo užit. Smluvní strany sjednávají, že objednatel je oprávněn dílo a jeho název volně užívat všemi způsoby, upravovat jej, zpracovávat, a to včetně překladu, spojovat s jiným dílem, zařazovat do díla souborného, dokončit nehotové dílo apod., jakož i zveřejňovat a publikovat jej, a to písemně i elektronicky, prostřednictvím webových stránek, a distribuovat koncovým uživatelům, úplatně i bezúplatně. Objednatel je oprávněn užívat dílo i k jiným účelům, než je sjednáno v této smlouvě. Zhotovitel výslovně souhlasí s tím, že objednatel může postoupit tuto licenci zcela nebo zčásti třetí osobě. Objednatel je oprávněn poskytnout podlicenci třetí osobě. Licenci podle tohoto odstavce není objednatel povinen využít.
- 5.4 Objednatel si vyhrazuje výlučné vlastnické právo ke všem podkladům případně předaným zhotoviteli za účelem provedení díla, přičemž bez předchozího písemného souhlasu objednatele není zhotovitel oprávněn tyto podklady použít k jinému účelu či je poskytnout třetí osobě. Byla-li zhotoviteli za účelem provedení díla poskytnuta ze strany objednatele elektronická data nebo databáze, je zhotovitel povinen tyto po předání díla objednateli odstranit ze všech svých datových úložišť. Zhotovitel je povinen chránit elektronická data nebo databáze poskytnuté objednatelem minimálně tak, jako jaké své obchodní tajemství.

VI. Předání a převzetí díla

- 6.1 O předání finální verze díla vyhotoví smluvní strany předávací protokol podepsaný oběma smluvními stranami. Objednatel není povinen převzít dílo vykazující byť drobné vady či nedodělky.
- 6.2 V případě, že je dílo bez závad, je možné dílo převzít následovně. Smluvní strany vyhotoví předávací protokol dle článku 6.1. Další možností je, že objednatel na základě prohlídky místa plnění vyhotoví protokol o kontrole, kde uvede, že dílo je dokončeno a tento podepsaný zašle zhotoviteli na vědomí.
- 6.3 Objednatel má právo převzít i takovou finální verzi díla, která vykazuje drobné vady a nedodělky, které samy o sobě ani ve spojení s jinými nebrání řádnému užívání díla. V tom případě je zhotovitel povinen odstranit tyto vady a nedodělky v termínu stanoveném objednatelem uvedeném v předávacím protokolu.
- 6.4 V případě, že finální verze díla nebude v termínu provedení finální verze díla dokončena, aniž by důvod nedokončení finální verze díla ležel na straně objednatele, má objednatel právo převzít částečně provedenou finální verzi díla a od zbytku plnění bez dalšího odstoupit. Odstoupení podle věty první vyznačí objednatel v předávacím protokolu a uvede důvody, proč nebylo možné dílo provést kompletně. Strany souhlasně prohlašují, že písemným vyznačením odstoupení v předávacím protokolu se odstoupení podle věty první považuje za doručené zhotoviteli. Předávací protokol bude do pěti pracovních dnů od podpisu uveřejněn v registru smluv (v případě, že tato

smlouva o dílo podléhá povinnosti uveřejnění prostřednictvím registru smluv podle zákona o registru smluv). Zhotovitel nemá nárok na zaplacení řádně a včas neprovedené části finální verze díla, která nebyla objednatelem převzata. Cena díla dle čl. 3.1 této smlouvy tak bude přiměřeně snížena.

VII. Odpovědnost za vady, za škodu a další povinnosti zhotovitele

- 7.1 Zhotovitel odpovídá za vady, jež má finální verze díla v době jejího předání objednateli, byť se vady projeví až později.
- 7.2 Objednatel je povinen případné vady písemně reklamovat u zhotovitele bez zbytečného odkladu po jejich zjištění. V reklamaci musí být vady popsány a uvedeno, jak se projevují. Dále v reklamaci objednatel uvede, v jaké lhůtě požaduje odstranění vad.
- 7.3 Neodstraní-li zhotovitel reklamované vady ve lhůtě 14 pracovních dnů ode dne doručení reklamace či v jiné, smluvními stranami dohodnuté, lhůtě, je objednatel oprávněn pověřit odstraněním reklamované vady jinou odborně způsobilou právnickou, nebo fyzickou osobu. Veškeré takto vzniklé náklady uhradí zhotovitel do 14 dnů ode dne, kdy obdržel písemnou výzvu objednatele k uhrazení těchto nákladů. Uhrazením nákladů na odstranění vad jinou odborně způsobilou osobou podle tohoto odstavce není dotčeno právo objednatele požadovat na zhotoviteli zaplacení smluvní pokuty dle této smlouvy.
- 7.4 Objednatel je oprávněn požadovat odstranění vady opravou, poskytnutím náhradního plnění nebo slevu ze sjednané ceny. Výběr způsobu nápravy náleží objednateli.
- 7.5 Zhotovitel odpovídá za veškerou škodu, kterou způsobí on sám nebo osoby, které použije k plnění předmětu smlouvy a které vzniknou následkem chybného zpracování díla.
- 7.6 Zhotovitel není oprávněn bez souhlasu objednatele postoupit práva a povinnosti vyplývající z této smlouvy třetí osobě.
- 7.7 Zhotovitel je povinen zachovávat povinnost mlčenlivosti ohledně skutečností, o kterých se dozví a u kterých to jejich ochrana vyžaduje, tj. zejména takových, které se týkají obchodního tajemství dle § 504 a důvěrných informací dle § 1730 zákona č. 89/2012 Sb., občanský zákoník, ve znění pozdějších předpisů, a to i po ukončení této smlouvy. Zhotovitel odpovídá za škodu způsobenou porušením výše uvedené povinnosti.

VIII. Sankce

- 8.1 V případě, že zhotovitel nedodrží termín provedení a předání dílčích zpráv a finální verze díla anebo termín odstranění vad a nedodělků uvedený v předávacím protokolu nebo termín uvedený v písemné reklamaci dle odst. 7.2 této smlouvy, je zhotovitel povinen zaplatit objednateli smluvní pokutu ve výši 0,1 % z ceny díla bez DPH za každý den prodlení.
- 8.2 V případě prodlení objednatele s placením vyúčtování je objednatel povinen zaplatit zhotoviteli úrok z prodlení z nezaplacené částky v zákonné výši.
- 8.3 Ustanoveními o smluvní pokutě není dotčen nárok oprávněné smluvní strany požadovat náhradu škody v plném rozsahu.
- 8.4 Smluvní pokutu nelze požadovat, způsobí-li porušení smluvní povinnosti zásah vyšší moci, a to po celou dobu trvání zásahu vyšší moci. Za zásah vyšší moci se považuje zejména nemožnost plnění vzniklá živelnou událostí nebo událost naplňující znaky uvedené v § 2913 odst. 2 zákona č. 89/2012 Sb., občanského zákoníku.

IX. Odstoupení od smlouvy

- 9.1 Smluvní strany jsou oprávněny od smlouvy odstoupit za podmínek stanovených zákonem č. 89/2012 Sb., občanský zákoník, ve znění pozdějších předpisů a objednatel je dále také oprávněn od smlouvy odstoupit pokud:
- a) prodlení zhotovitele s dokončením díla dle čl. IV. této smlouvy delším než 30 dnů,
 - b) zhotovitel provádí dílo v rozporu se svými povinnostmi a pokyny objednatele dle této smlouvy,
 - c) zhotovitel porušil povinnost dle odst. 7.6 a 7.7 této smlouvy,
 - d) zhotovitel je v insolvenčním řízení, jehož předmětem je dlužníkuv úpadek nebo hrozící úpadek.
- 9.2 Odstoupení od smlouvy musí být učiněno písemně. Odstoupení je účinné dnem doručení písemného oznámení druhé smluvní straně.
- 9.3 Na zhotovitelem předané a objednatelem převzaté dílo se i po ukončení této smlouvy vztahují ustanovení o odpovědnosti za vady, smluvních pokutách (s výjimkou odst. 9.4 níže) a náhradě škody, případně další aplikovatelná ustanovení této smlouvy.
- 9.4 Při odstoupení objednatele od smlouvy nevzniká zhotoviteli nárok na žádné zákonné ani smluvní sankce.

X. Vyšší moc

- 10.1 Pro účely této smlouvy se za vyšší moc považují případy, kdy smluvní strana prokáže, že jí ve splnění povinnosti ze smlouvy dočasně nebo trvale zabránila mimořádná nepředvídatelná a nepřekonatelná překážka vzniklá nezávisle na vůli této smluvní strany. Za okolnosti vyšší moci se považují okolnosti, které vznikly po uzavření této smlouvy, zejména (nikoli však výlučně) válečný konflikt, přírodní katastrofa (např. povodeň), masivní výpadek elektrické energie nebo dodávek ropy, embargo nebo epidemie, popřípadě krizové opatření vyhlášené orgánem veřejné moci při epidemii.
- 10.2 Za vyšší moc se pro účely této smlouvy nepovažuje překážka vzniklá z poměrů smluvní strany, která se překážky dle odstavce 9.1 dovolává, nebo vzniklá až v době, kdy byla tato smluvní strana v prodlení s plněním smlouvené povinnosti.
- 10.3 Smluvní strana postižená vyšší mocí je povinna neprodleně druhou smluvní stranu o výskytu vyšší moci písemně informovat.
- 10.4 V případě vyšší moci se prodlužuje lhůta ke splnění smluvních povinností o dobu, během které budou následky vyšší moci trvat včetně doby prokazatelně nutné k jejich odstranění. O ukončení vyšší moci a odstranění následků musí postižená smluvní strana druhou stranu písemně informovat.

XI. Závěrečná ustanovení

- 11.1 Tato smlouva může být měněna a doplňována pouze písemnými a očíslovanými dodatky podepsanými oprávněnými zástupci smluvních stran, není-li v této smlouvě uvedeno jinak.
- 11.2 Ve věcech touto smlouvou neupravených se řídí práva a povinnosti smluvních stran příslušnými ustanoveními zákona č. 89/2012 Sb., občanského zákoníku.
- 11.3 Zhotovitel bere na vědomí, že tato smlouva může podléhat povinnosti jejího uveřejnění podle zákona č. 340/2015 Sb., o zvláštních podmínkách účinnosti některých smluv, uveřejňování těchto smluv a o registru smluv (zákon o registru smluv), zákona

č. 134/2016 Sb., o zadávání veřejných zakázek, ve znění pozdějších předpisů a/nebo jejího zpřístupnění podle zákona č. 106/1999 Sb., o svobodném přístupu k informacím, ve znění pozdějších předpisů a tímto s uveřejněním či zpřístupněním podle výše uvedených právních předpisů souhlasí.

- 11.4 Tato smlouva je vyhotovena v elektronickém originále.
- 11.5 Smlouva nabývá platnosti dnem podpisu oprávněným zástupcem poslední smluvní strany. Smlouva nabývá účinnosti dnem přidělení finančních prostředků na realizaci díla ze strany Ministerstva životního prostředí ČR. Podléhá-li však tato smlouva povinnosti uveřejnění prostřednictvím registru smluv podle zákona o registru smluv, nenabude účinnosti dříve, než dnem jejího uveřejnění. Smluvní strany se budou vzájemně o nabytí účinnosti smlouvy neprodleně informovat.
- 11.6 Obě smluvní strany prohlašují, že se seznámily s celým textem smlouvy včetně jejich příloh a s celým obsahem smlouvy souhlasí. Současně prohlašují, že tato smlouva nebyla sjednána v tísní ani za jinak nápadně nevýhodných podmínek.
- 11.7 Nedílnou součástí smlouvy jsou tyto přílohy:
- Příloha č. 1 Podrobná specifikace díla
 - Příloha č. 2 Položkový rozpočet
 - Příloha č. 3 Mapové zákresy s lokalizací opatření
 - Příloha č. 4 Výpis : Plánu péče [AČHKO Moravský kras
 - Příloha č. 5 Metodika monitoringu mikroklimatických poměrů v jeskynních systémech

V Praze

Objednatel

V Brně

Zhotovitel

RNDr. František Pelc
ředitel AOPK ČR

RNDr. Ing. Jaroslav Rožnovský, CSc.
jednatel

Příloha č. 1 smlouvy POPFK-144a/73/23 – Podrobná specifikace díla

Cílem studie

je pokračování v projektu Agentury ochrany přírody a krajiny České republiky „Ochrana vybraných jeskyní a krasových jevů ve zvláště chráněných územích ČR“ v rámci OPŽP, v klíčové aktivitě 9 – Výzkum jeskynního mikroklimatu a koncentrace CO₂ v jeskynním ovzduší.

Současná získaná data v projektu OPŽP představují nedostatečně dlouhé období, abychom mohli specifikovat jednoznačné závěry, zda se mikroklima jeskyně během probíhajících výzkumů jeskyní při současné změně klimatu mění či nemění. Nelze brát jako reprezentující prostředí celou danou jeskyni, ale pouze její dílčí části, tedy nejbližší okolí měřeného profilu, protože v převážné většině jeskyní jde pouze o jedno měřicí místo. Zvláště jeskyně Moravského krasu představují velmi členitý systém s různým propojením s povrchem, což určuje difference hodnot měřených meteorologických prvků.

Postup prací:

Pro prokazatelné závěry je potřebné pokračovat v monitoringu jeskynního mikroklimatu ve vybraných jeskyních Moravského krasu, a to v obou níže uvedených směrech.

- 1) Pokračovat v monitoringu ve vybraných jeskyních na dosavadním profilu a takto získat pětileté řady dat využitelné pro potvrzení či naopak vyloučení antropogenního vlivu či změny klimatu na jeskynní mikroklima.
- 2) Provést podrobný monitoring v několika jeskyních zahrnující větší počet profilů nejen ve směru horizontálním, ale také vertikálním. Přitom profily volit v místech větvení jeskyně.

Ve vybraných jeskyních (viz seznam níže) proběhne měření. Budou sledovány základní mikroklimatické parametry: teplota vzduchu, relativní vlhkost vzduchu, rychlost a směr proudění vzduchu (ten pouze v 5 jeskyních: Býčí skála, Nová Amatérská jeskyně – vchod Štola U javora, Ochozská jeskyně, Skleněné dómy, Šachta za Evropou a Indií), teplota skalního masívu, koncentrace CO₂ a teplota vody v podzemních vodních tocích. V souvislosti s tím budou sledovány změny výšky vodní hladiny v podzemních vodních tocích na stávajících zařízeních ČHMÚ a meteorologické a klimatické podmínky vnějšího prostředí rovněž u Kateřinské jeskyně a u propasti Macocha.

Lokalizace:

Jednotlivé jeskyně a počet výzkumných profilů v jeskyni (v závorce):

- Býčí skála (3)
- Jalového závrt (1)
- Nový Lopač (1)
- Nová Amatérská jeskyně – Šachta Broušek (2)

- Nová Amatérská jeskyně – Štola u Javora (3)
- Nová rasovna (1)
- Ochozská (1)
- Piková dáma (3)
- Pustožlebská zazděná (1)
- Rudické propadání (1)
- Skleněné dómy (1)
- Spirálka (1)
- Společňák (1)
- Stará Amatérská (1)
- Šachta za Evropou a Indií (2)

Znalost mikroklimatických poměrů je nezbytná pro řešení otázek geneze krasu a pro stanovení optimálních podmínek ochrany a vědecky podloženého managementu. Pro stanovení jeskynního kryptoklimatu je důležitá dlouhá časová řada, v které se změny klimatu či antropogenní změna projeví. Z dosud naměřených dat lze říci, že jeskynní klima je velmi stabilní.

Výsledkem studie bude prokázání antropogenního vlivu a změny klimatu vnějšího prostředí na jeskynní mikroklima. Tento výsledek bude vyhodnocen s ohledem na jeskynní biotu a ochranu jeskyní (vysychání krápníku, zimoviště netopýrů, stanoviště bezobratlých živočichů apod.). Bude důležitý pro povolování aktivit v jeskyních a pro praktickou péči o jeskyně.

Příloha č. 2 smlouvy popfk-144a/73/23

Zhotovitel (název, IČO):

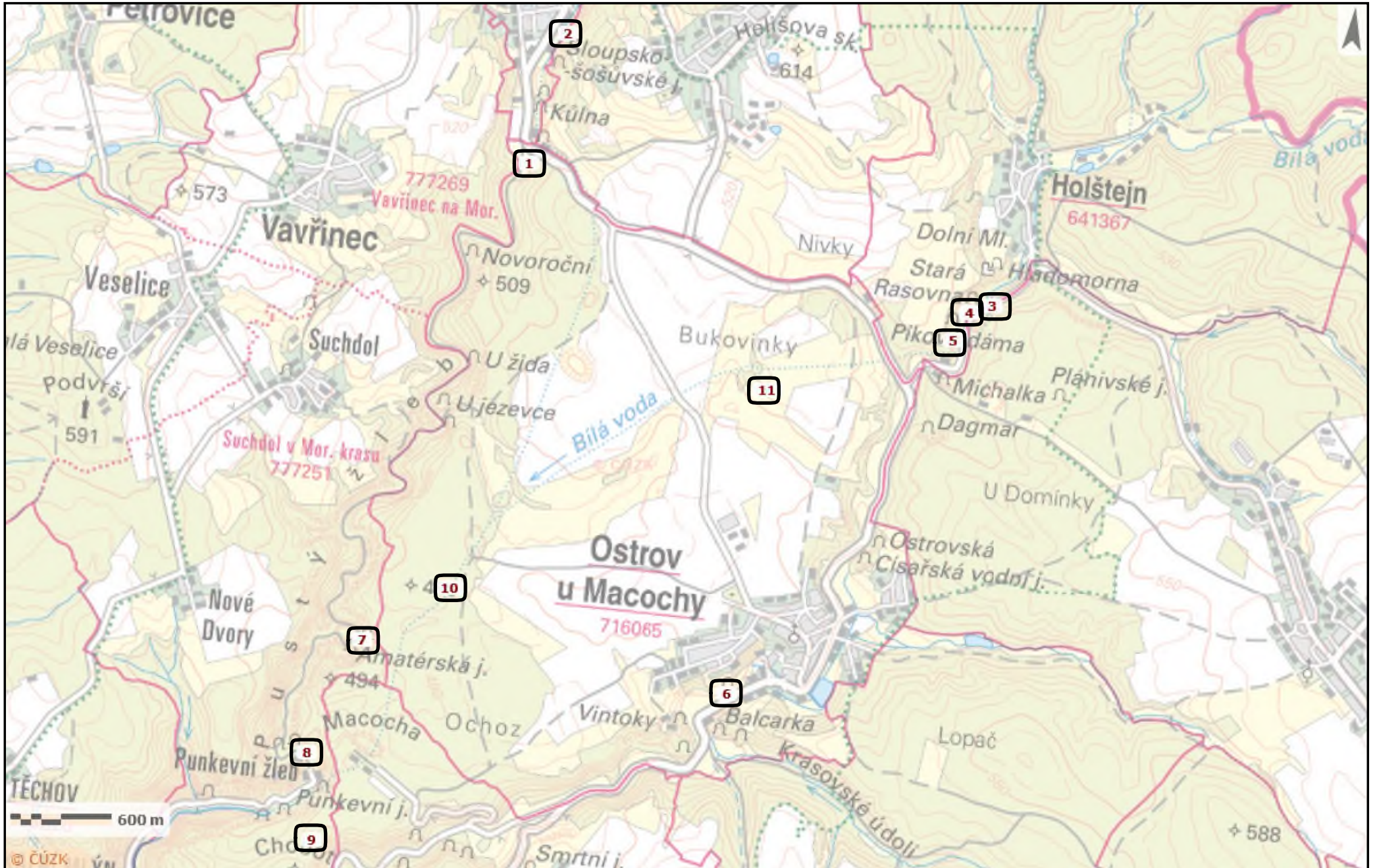
Monapo envi s.r.o., IČO: 107 20 529

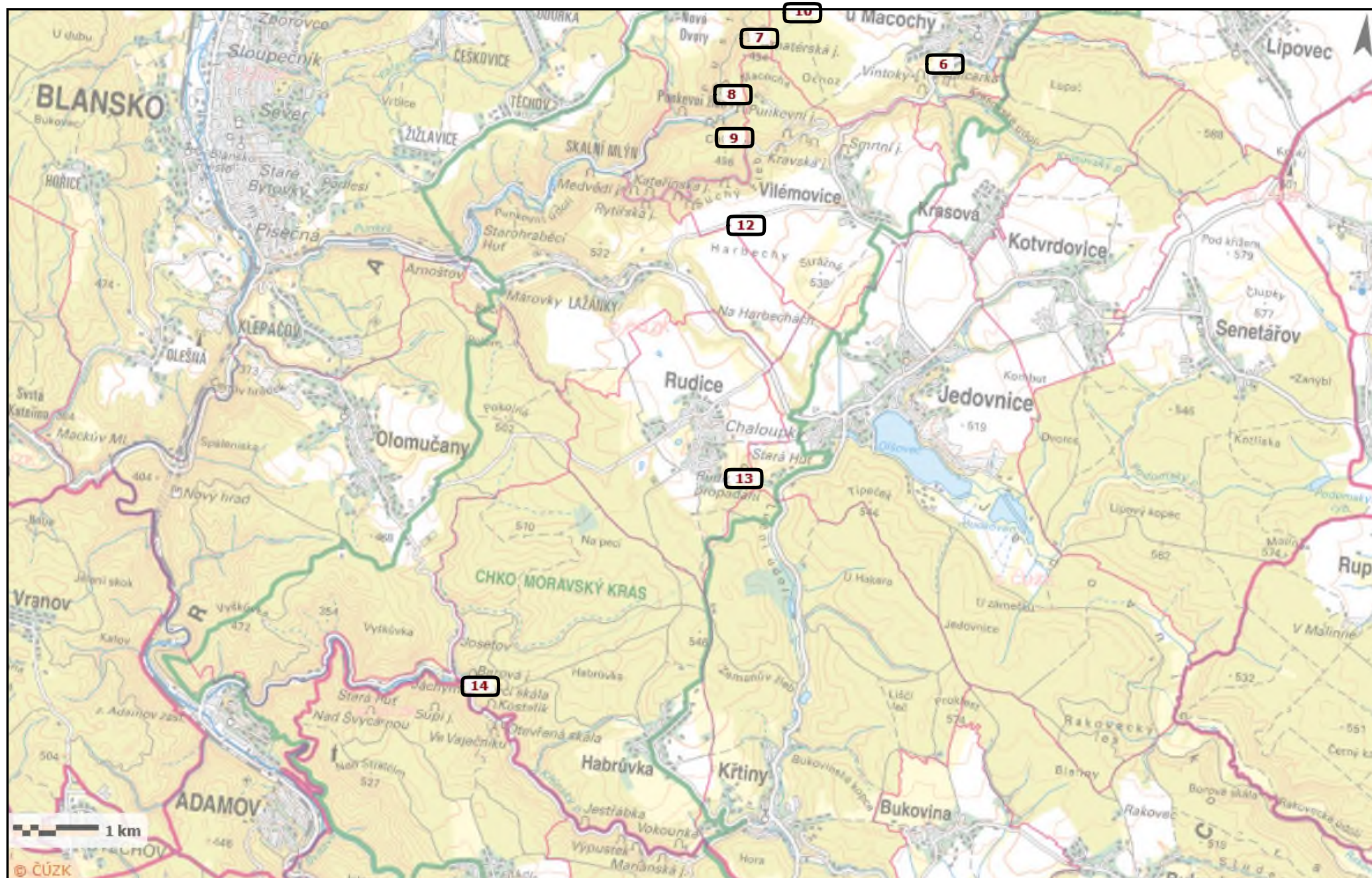
Plátce DPH:

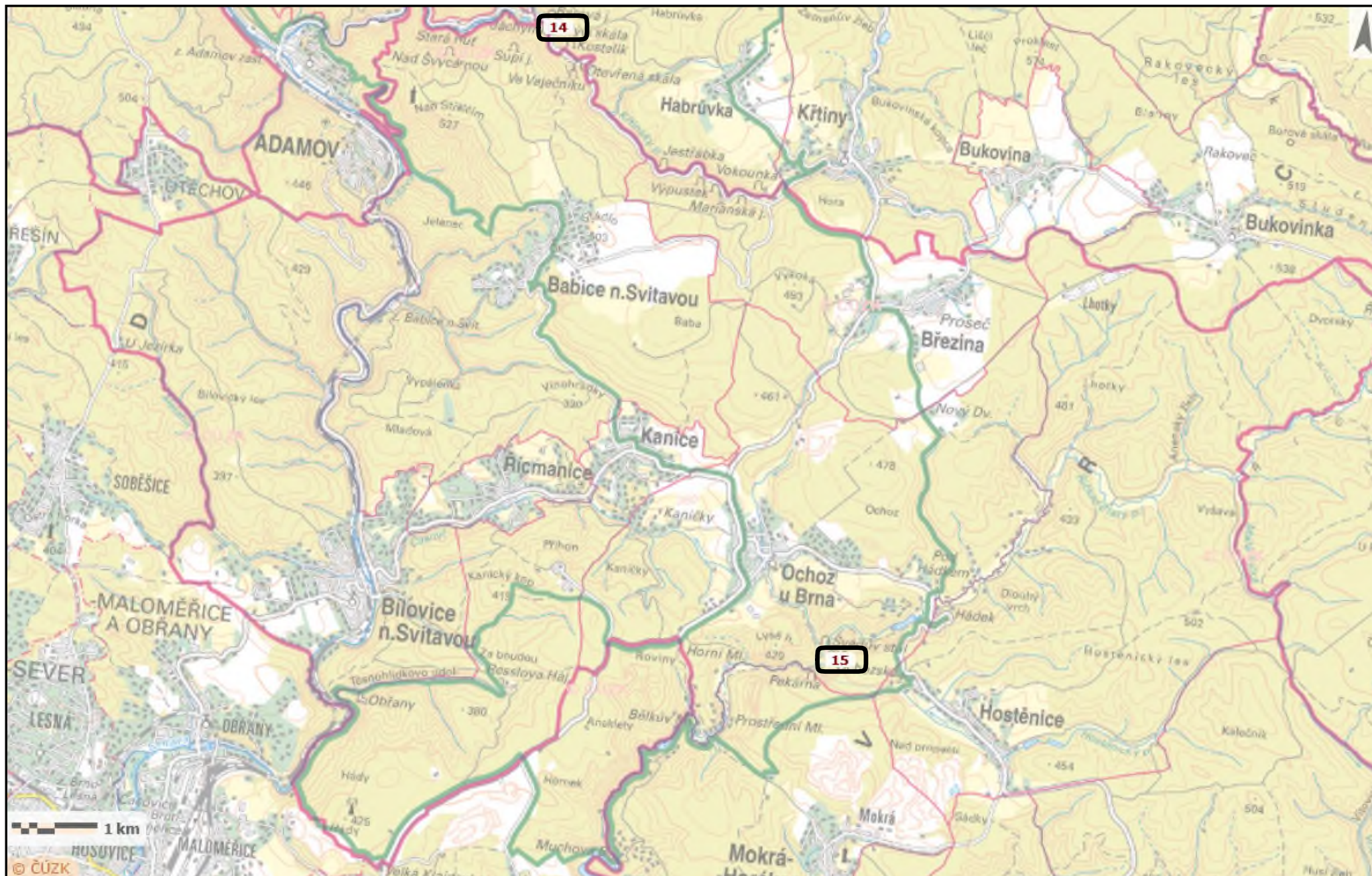
Ne

Položkový rozpočet - Výzkum jeskynního mikroklimatu v Moravském krasu

Rok	Pololetí	Počet jednotek (měřící bod)	Cena za měřící bod*	Cena za závěrečnou zprávu	Cena celkem (Kč bez DPH)	Cena celkem (Kč vč. DPH)
2023	II.	23	9 000		207 000	
2024	I.	23	7 500		172 500	
	II.	23	7 500		172 500	
2025	I.	23	10 000	38 000	268 000	
				Cena celkem:	820 000,00 Kč	820 000,00 Kč







Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky

**Plán péče o CHKO
Moravský kras
na období 2019–2028**



a horského stupně, Chasmofytická vegetace vápnitých skalnatých svahů, Jeskyně nepřístupné veřejnosti, Bučiny asociace *Asperulo-Fagetum*, Středoevropské vápencové bučiny (*Cephalanthero-Fagion*), Dubohabřiny asociace *Galio-Carpinetum*, Lesy svazu *Tilio-Acerion* na svazích, sutích a v roklicích, Smíšené jasanovo-olšové lužní lesy temperátní a boreální Evropy (*Alno-Padion*, *Alnion incanae*, *Salicion albae*), Panonské dubohabřiny a Panonské šipákové doubravy).

Dlouhodobý cíl

- příznivý stav biotopů a druhů, které jsou předmětem ochrany EVL tzn. Zachování či zlepšení kvality a plošného rozsahu přírodních stanovišť a zajištění podmínek pro stabilní výskyt populací druhů
- znalost dlouhodobého vývoje stavu evropsky významných biotopů a populací evropsky významných druhů

Navrhovaná opatření

- monitorovat jednotlivé předměty ochrany, tj. zejména sledovat jejich plošné zastoupení či rozšíření a zachovalost vč. míry degradace biotopů či velikost, vitalitu a trend vývoje populací (viz též kap. 2.13)
- dle výsledků sledování stavu plánovat a realizovat vhodná managementová opatření včetně zachování bezzásahových režimů tam, kde to předměty ochrany vyžadují
- vyhodnocovat případné střety mezi ochranou EVL a stávajícím režimem MZCHÚ a navrhnout řešení

Biotopy

- monitorovat xerothermní bezleší (T3.1, T3.2, T3.3, S2A) a v případě potřeby provádět managementová opatření (potlačování sukcese)
- obhospodařovat sekundární teplomilné trávníky (T3.4), nejlépe extenzivní pastvou ovcí a koz, případně mozaikovitým sečením s důkladným odstraňováním posečené biomasy
- pravidelnou sečí udržovat mezofilní louky (T1.1)
- v lesních biotopech, které jsou předmětem ochrany, dbát na zachování (příp. zlepšení) druhové skladby dřevin např. odstraňování geograficky nepůvodních dřevin a snižování zastoupení stanovištně nepůvodních dřevin výchovou nebo při obnově porostu, posílení populací vzácných druhů, např. tisu červeného aj. v teplomilných doubravách a panonských dubohabřinách v případě přílišného zastínění provádět prořezávání stromového/keřového patra (především expanzivní jasan) – spolupracovat s vlastníkem lesa
- podporovat bezzásahový režim v suťových lesích a bučinách při dodržení pravidel bezpečnosti a ochrany zdraví, životů a majetku
- zvláštní pozornost věnovat přírodnímu stanovišti 8310 tj. biotopu S3B Jeskyně nepřístupné veřejnosti a v případě potřeby realizovat speciální opatření (viz kap. 2.10.); v návaznosti na ochranu S3B je třeba dbát i na zachování biotopu S3A Jeskyně přístupné veřejnosti, které společně s ostatními podzemními i povrchovými krasovými jevy tvoří provázaný systém a jsou jedněmi z hlavních předmětů ochrany CHKO MK, právě i biotopy S3A jsou útočišti pro netopýry, z nichž 5 druhů patří mezi předměty ochrany EVL MK (viz níže)

Rostliny

- podporovat populace evropsky významných druhů rostlin, na základě monitoringu zavádět vhodná managementová opatření k jejich udržení:
 - hadinec červený (*Echium maculatum*) – každoroční monitoring a mozaikovitě sečení trávníků mimo květní a plodné období hadince, nebo jeho obsékání, založit zkušební plošky s rozrušením drnu v okolí plodných rostlin
 - koniklec velkokvětý (*Pulsatilla grandis*) – monitoring dle trendu vývoje populace a na vybraných lokalitách mozaikovitá seč mimo květní a plodné období koniklece

Bezobratlí

- na lokalitách výskytu ohrožených druhů motýlů aplikovat vhodný management z důvodů ochrany a zachování populací, především modráška černoskvrnného (*Maculinea arion* - mateřídouškové stráně; časové rozdělení doby sečení trvalých travních porostů v jednotlivých půdních blocích), jasoně dymnivkového (*Parnassius mnemosyne* - paseky, pařeziny; prosvětlování lesů především v okolí lesních cest a porostních stěn apod.) a modráška bahenního (*Maculinea nausithous*, vlhké krvavcové louky; ochrana vodního režimu, vhodně zvolený termín seče do 15.6.)
- udržovat cenné luční porosty z důvodů ochrany a zachování populací významných druhů hmyzu (například brouků, pavouků, motýlů atd.); kosení luk provádět mozaikovitě v prostoru a čase (s ohledem na hnízdění ptactva), včetně ponechávání nepokosených plošek či pásů do druhého roku (mimo místa s větším výskytem třtiny křovištní či jiné expanzivní nebo invazní rostliny); odstraňovat biomasu a důsledně chránit (zejména v MZCHÚ a bohaté květnaté louky) cenné luční porosty před vlivy způsobujícími jejich degradaci či likvidaci (hnojení, mulčování; odvodňování vlhkých luk či zalesňování stávajících nelesních lokalit či jejich částí)
- podporovat pastvu na stepních lokalitách s výskytem stepních druhů hmyzu (např. majky, motýli, pavouci)
- chránit lužní a nivní společenstva motýlů a dalšího hmyzu (např. bělopásek topolový, ohniváček modroleklý) před nevhodnými zásahy (např. kácením živých dřevin či odvodňováním)
- zajistit kontinuální přetrvávání starých stromů, pařezů a mrtvého dřeva (stojícího i ležícího) na vhodných lokalitách jako biotopu mnoha druhů ohroženého hmyzu (např. kovařík rezavý, roháč obecný, krasec dubový) a dalších živočichů vázaných na odumírající a tlející dřevo; při dodržení pravidel bezpečnosti, ochrany zdraví a životů a ochrany majetku
- ponechávat v lesních porostech i ve volné krajině dostatečné množství doupných stromů (především listnatých), které představují biotop ohrožených druhů brouků (zdobenci, zlatohlávci, páchník hnědý aj.)
- zachovat průchodnost říčních toků na lokalitách s výskytem raka říčního a osvětou MO MRS informovat o nebezpečí přenosu račího moru a způsobech jak mu předcházet
- pro ochranu jeskynních živočichů je rozhodující uchování jeskynního prostředí, nezasahování do mikroklimatu jeskyně a zamezení průniku znečištění průsakem z povrchu (úprava způsobu hospodaření) a ponory (vhodně koncipované ČOV)

Ryby

- zajistit ochranu populací ohrožených druhů ryb (zejména vranky obecné a střevle potoční), prosazovat opatření k udržení a zlepšení kvality vodních toků (např. výstavba ČOV před ponory a v obcích, ve spolupráci s příslušnými kompetentními orgány i na přítocích vod do CHKO Moravský kras), vyloučit negativní zásahy v povodí těchto toků (hlavně Punkvy, Jedovnického a Křtinského potoka, Řičky a Hostěnického potoka), především se zaměřením na zachování migrační prostupnosti toků.

Obojživelníci, plazi

- zajistit vhodný management Rudických jezírek tak, aby byla uchována druhová rozmanitost vodních a mokřadních druhů živočichů (zejm. obojživelníků) a rostlin, udržovat systém jezírek tak, aby byl na různém stupni vývoje zazemňování, vhodně redukovat břehové porosty (např. sečení rákosu, výřez části dřevin) a udržovat proslunění litorálu u stávajících vodních ploch
- zabezpečovat jarní tahy obojživelníků přes komunikace pomocí dočasných zábran, postupné vytvoření trvalých zábran s podchody
- na vhodných místech a v místech s absencí vhodných biotopů pro obojživelníky podporovat vytváření nových biotopů, především periodických a prosluněných vodních ploch a tůní

- předcházet neúmyslnému zavlékání nepůvodních či invazních druhů při obhospodařování pozemků
- monitorovat škody zvěří a vyvozovat opatření k jejich snížení

2.10. Neživá příroda

Neživá příroda, krasové jevy

Charakteristika problematiky

CHKO Moravský kras je nejlépe vyvinutou krasovou oblastí České republiky. Jsou zde bohatě zastoupeny rozličné krasové jevy, jako jsou jeskyně, závrtý, škrapy, hřebenáče, vývěry a ponory či okrajová polje. Pět jeskyní je přístupných veřejnosti klasickým způsobem po upravených trasách. V pěti jeskyních se veřejnost provádí speleologickým způsobem (jeskyně bez upravených tras). V mnoha dalších probíhá speleologický výzkum. Jedna jeskyně se využívá pro dětskou speleoterapii a jedna pro jarní uskladnění sazenic stromků.

Všechny jeskyně i na ně navazující povrchové jevy jsou chráněny zákonem. Praktická ochrana cenných podzemních prostor je obvykle praktikována uzavřením vchodu, dále stanovením podmínek pro využívání jeskyní jak pro veřejnost, tak i pro jiné využití a pro výzkum jeskyní. Postupně je realizována úprava hospodaření na pozemcích nad jeskyněmi (zejména zemědělských). Klíčové pro ochranu jeskynního biotopu je zachování a příp. zlepšení čistoty vod, které do jeskynních systémů pronikají (prúsaky z povrchu nad jeskyněmi, vody v ponorech). V cenných jeskyních a dalších krasových jevech se provádí jejich revitalizace (čištění sintrů, úpravy poškozených sedimentů, odstraňování nefunkčního technického vybavení) do přírodě blízkého stavu.

Kromě krasových jevů se v území nacházejí také významné stratigrafické profily a paleontologická naleziště. Nejdůležitější geologické lokality vede ve své evidenci ČGS. Nicméně celý Moravský kras je jednou obrovskou geologickou lokalitou se svými vazbami, spojitostmi a zákonitostmi geologického vývoje regionálního a nadregionálního. Kromě jeskyní, jejich výplní a dalších krasových jevů se jedná obvykle o skalní defilé a nejrůznější antropogenní odkryvy. Může jít i o důlní díla (lomy, štoly, sondy a šachtice) a vrty. Důležité geologické informace a vznik nových lokalit může přinášet současná stavební činnost. Skalní stěny a portály jeskyní jsou lokalitami výskytu vzácných druhů rostlin a živočichů. Patří k nemnoha místům, které nejsou ovlivněny významnější lidskou činností.

Nejrozsáhlejší jeskynní systém je od roku 2004 zapsán na list mezinárodně významných mokřadů Ramsarské úmluvy jako RS 11 Podzemní Punkva. Mokřad má rozlohu 1.571 ha, se zařazením – krasové a jeskynní systémy. Jedná se o specifický typ mokřadu, který není srovnatelný s jinými RS v ČR. Je tvořen částí povodí říčky Punkvy, zahrnující systém Amatérské jeskyně a navazující ponorovou a vývěrovou oblast. Specifické krasové území je charakterizováno řadou ponorů, podzemních přítoků Punkvy vázaných na jeskyně - stálých nebo periodických, skupinou vývěrů a povrchových toků silně ovlivněných krasovou hydrologií. Důležité je napojení krasového povrchu na krasové podzemí. Kromě ponorů odvádějí vodu do krasového podzemí četné závrtý a část vody prosakuje plošně. Do území zasahují plochy obcí, kde je hlavním problémem likvidace odpadních vod. Plocha krasové krajiny nad jeskyněmi (především nad Amatérskou jeskyní) je zemědělsky obhospodařována jako trvalé travní porosty, i když část takto obhospodařovaných pozemků je evidenčně stále vedena jako orná půda. Další část pozemků je evidenčně vedena a obhospodařována stále jako orná půda. Plošně se splachy a především prúsaky ze zemědělských pozemků podílejí na zhoršování jakosti vody v krasovém podzemí a spolupodílejí se na tzv. krápníkové korozi.

Dlouhodobý cíl

- zachování jeskyní, včetně jejich výplní a prostředí v přírodním stavu, zachování povrchových krasových jevů (nejen v návaznosti na jeskyně)
- udržení významných stratigrafických profilů a paleontologických lokalit
- příznivý stavu mokřadu RS 11 Podzemní Punkva

Navrhovaná opatření

- průběžně sledovat ovlivnění turisticky zpřístupněných i nezpřístupněných jeskyní (včetně jeskyní s léčebným využitím) a jejich prostředí člověkem, monitorovat vstupy osob do nejcennějších jeskyní a v případě potřeby upřesnit podmínky ochrany
- v případě potřeby zpřesnit podmínky výjimek a souhlasů vydaných pro veškeré činnosti v jeskyních (počet osob vstupujících do jeskyní, počet průvodců, resp. vedoucích skupin, návštěvní, resp. pracovní doba v jeskyni, intervaly mezi skupinami, počty skupin, ochrana zimovišť netopýrů a troglobiontů, oznámení objevu nových prostor aj.)
- řešit problematiku lampenflory (omezení osvětlení, výběr vhodného postřiku, dořešení výjimek pro využití biocidů)
- udržovat, případně nově budovat uzávěry vchodů jeskyní a důlních děl s cennými výplněmi nebo s výskytem netopýrů a dalších jeskynních živočichů
- 1 x za rok provádět kontroly uzávěr a stavu zámků v majetku AOPK
- u jeskyní s výskytem netopýrů ponechat v uzávěře otvor o minimálních rozměrech 35 x 15 cm naležato
- na orné půdě prosazovat zatravňování terénních depresí (především závrťů) a dalších erozně ohrožených území, z nichž se splachy dostávají do podzemních prostor
- zamezit zaorávání, zavážení či jiné destrukci závrťů
- udržovat významné stratigrafické profily např. proti sesuvům nebo proti zarůstání vegetací
- likvidovat nefunkční pozůstatky po starých speleologických průzkumech a jiných činnostech v jeskyních a v geologicky významných důlních dílech
- požadovat navrácení jeskyní a dalších krasových jevů, pozměněných speleologickým průzkumem nebo jinou činností, do původního stavu nebo stavu blízkého původnímu (po ukončení těchto průzkumů a činností)
- v nezbytných případech z důvodu ochrany jeskyně vymezovat, vyznačovat a případně technicky zabezpečovat (např. žebříky, mosty, lanové přechody) trasy v jeskyních pro pohyb osob vykonávajících zde průzkum, výzkum a kontrolu
- pravidelně čistit jeskyně, závrty, ponory a předpolí ponorů od odpadků, dřev a sedimentů různého typu připlavovaných po jarním tání a po přívalových deštích včetně organických naplavenin, plánovat a realizovat preventivní opatření, která zaplavování ponorů a jeskyní zabrání
- chránit evidované významné geologické lokality před poškozením, další významné lokality navrhovat do evidence geologických lokalit ČGS
- monitorovat krasové jevy stávající i vznikající, zaznamenávat geologické lokality spojené s jeskyněmi do JESO (viz též kap. 2.13.)
- prezentovat geologické dědictví veřejnosti (viz kap. 2.14.)
- ve spolupráci s vlastníky a správci pozemků zrušit nepovolené přístupy (zejména v suťových svazích) k vybraným veřejnosti nepřístupným jeskyním v MZCHÚ

Navrhované zásady

- aktivity v území provádět tak, aby nedocházelo k poškození významných geologických lokalit
- zásahy do skalních stěn a portálů jeskyní provádět po důkladném vyhodnocení všech složek živé a neživé přírody
- zpřístupňovat jeskyně pro veřejnost pouze v případech, kdy jeskyni nehrozí závažné poškození (ani poškození jejích výplní a bioty) a v území neexistují již zpřístupněné typově podobné lokality (z hlediska morfologie, výplní, výzdoby apod.); pokud dosud neexistují komplexní informace o jeskynním prostředí a biotě dané jeskyně, nejprve provést potřebné průzkumy
- zatravnit terénní deprese a závrty na orné půdě, nezavážet je ani nezaorávat
- při provádění speleologických (i jiných) výzkumných prací držet tyto zásady:
 - podrobně specifikovat pracovní postupy s cílem minimalizace narušení lokality

V omezené míře (zejména z důvodů finančních) se uskutečňují inventarizační průzkumy vybraných skupin organismů a společenstev. Větší pozornost byla věnována neživé přírodě, netopýřům a cévnatým rostlinám. Kromě množství dílčích studií byly tyto obory i monograficky zpracovány.

Z botanických oborů byly pouze ve velkých rezervacích provedeny průzkumy hub a mechorostů, výzkum lišejníků započal až v roce 2004 a k dispozici jsou jen dílčí údaje.

Zoologické průzkumy se zaměřovaly na obratlovce (netopýři, ptáci, obojživelníci a plazi), i tyto skupiny jsou však zpracovány jen v menšině MZCHÚ. Zcela nedostatečná pozornost byla věnována bezobratlým s výjimkou motýlů. Relativně uspokojivé jsou údaje z NPR Býčí skála a PR Údolí Říčky, některé skupiny byly zpracovány i v NPR Vývěry Punkvy, NPR Hádecká planinka, PR Velký Hornek a PR U Brněnky. V některých MZCHÚ chybí zoologické inventarizační průzkumy. Naprosto nedostatečné informace máme o skupině jeskynních živočichů, i když se jedná o jeden z klíčových předmětů ochrany Moravského krasu.

V posledních letech byla v rámci AOPK realizována inventarizace vybraných skupin v rámci projektu Implementace soustavy Natura 2000. Tyto výzkumy jsou však zaměřeny pouze do NPR a NPP.

Pro vyhodnocení efektivity v zajišťování cílů ochrany CHKO je nutné i nadále provádět uvedený monitoring, zpracovávat inventarizační průzkumy i sledovat a vyhodnocovat prováděné managementové zásahy, stejně jako vliv dalších činitelů na předměty ochrany (hospodaření, tlak zvěře, sukcese, vlivy na krasové vody a jeskyně apod.).

Dlouhodobý cíl

- ucelený přehled znalostí o aktuálním stavu populací rostlinných a živočišných druhů (včetně hub) i jejich společenstvech, o jejich vývoji a dlouhodobějších změnách, včetně jeskynní bioty
- podrobná dokumentace neživé přírody, především krasových jevů
- na základě významných ohrožujících faktorů a aktuálního stavu stanovení (aktualizace) vhodných managementových opatření pro jednotlivé druhy i celá společenstva

Navrhovaná opatření

- monitorovat populace kriticky a silně ohrožených druhů rostlin, živočichů a hub a ohrožených biotopů v CHKO včetně druhů a biotopů regionálně ohrožených a indikačně významných (ploštičník evropský, pryšec vrbolistý, kosatec trávolistý, netopýři, jasoň dymnívkový, modrásek černoskvrný, suché trávníky, teplomilné doubravy, mezofilní a suché bylinné lemy aj.)
- monitorovat známá místa rozmnožování obojživelníků včetně míst, kde dochází ke kolizím s dopravou
- monitorovat zimování netopýřů ve vybraných jeskyních
- pokračovat v monitoringu účinnosti různých agroenvironmentálních opatření (podzemní krasové vody, populace koroptví)
- aplikovat výsledky výzkumu i monitoringu při péči o CHKO
- doplňovat botanickou a zoologickou databázi CHKO Moravský kras a NDOP, přednostně se zaměřit na chráněné a ohrožené druhy a druhy evropsky významné; trvat na striktním zadávání všech zjištěných nálezových dat získaných při výzkumech na objednávku AOPK
- doplňovat databázi krasových jevů JESO o výsledky vlastního monitoringu a o získané informace a zprávy ze speleologických a jiných výzkumů
- monitorovat hnízda dravců, sov (zejm. výra), čápa černého příp. dalších druhů viz kap. 2.8
- monitorovat místa střetu ptáků s el. vedením a zajistit ve spolupráci s příslušnou energetickou firmou vhodná opatření, aby k nim nedocházelo (výměna konzol apod.)
- monitorovat škody zvěří v rezervacích (viz též kap. 3.3.)
- monitorovat populace invazních a expanzivních rostlin a živočichů (viz kap. 2.9.)
- podílet se na monitoringu druhů a typů přírodních stanovišť EVL Moravský kras soustavy NATURA 2000 (viz kap. 2.4.)
- zadávat studentské odborné práce v oblasti inventarizací a monitoringu

4. Závěrečný přehled prioritních úkolů

Přehled zahrnuje nejdůležitější úkoly, které je nutno zabezpečit po dobu platnosti plánu péče. Některé z úkolů mají dlouhodobou povahu, jiné vyplývají z aktuálních potřeb předmětů ochrany CHKO Moravský kras.

- udržovat, zlepšovat a vytvářet vhodné životní podmínky zvláště chráněných druhů rostlin, hub a živočichů se zvláštním důrazem na druhy, pro něž je území CHKO jedinou nebo hlavní oblastí výskytu v ČR (např. kruhatka Matthiolova, jelení jazyk celolistý, ploštičník evropský, tis červený, krasec dubový) a druhů evropsky významných (např. koniklec velkokvětý, stěvíčnick pantoflíček, netopýr velký aj.)
- zajistit ochranu a zachování jedinečných společenstev vázaných na unikátní geomorfologii, geologické podloží či specifické mikroklima - skalních společenstev, stepních trávníků a spektra lesních společenstev I. až V. vegetačního stupně
- zachovat nebo zlepšit stav přírodních stanovišť a druhů, které jsou předmětem ochrany v EVL Moravský kras na území CHKO se zajištěním péče o tato stanoviště a druhy
- ve spolupráci s vlastníky a nájemci prosazovat a podporovat zatravňování orné půdy v I. zóně v návaznosti na krasové jevy a eliminovat erozi do závrtů s cílem omezení průsaku hnojiv a pesticidů do krasového podzemí
- ve spolupráci s vlastníky a nájemci pozemků provádět opatření na likvidaci invazních druhů, zejména na lokalitách s výskytem zvláště chráněných druhů a společenstev zajistit nezbytný monitoring společenstev, rostlinných a živočišných druhů, včetně druhů invazních
- zajistit zachování jeskyní, včetně jejich výplní a prostředí v přírodním stavu, zachování povrchových krasových jevů, udržení významných stratigrafických profilů a paleontologických lokalit
- udržovat, případně nově budovat uzávěry vchodů jeskyní a důlních děl s cennými výplněmi nebo s výskytem netopýrů a dalších jeskynních živočichů
- zachovat typický krajinný ráz Moravského krasu, zejména chránit volnou krajinu před rozšiřováním zástavby, využíváním pro plošné a výškové stavební aktivity (např. fotovoltaické elektrárny), umisťováním technických dominant či plošným zalesňováním
- odborně spolupracovat při zajištění provozu návštěvnického střediska Dům přírody Moravského krasu
- udržovat a v případě potřeby rozvíjet terénní informační systém včetně údržby návštěvnické infrastruktury, podporovat činnost strážce přírody



Příloha č. 5

Metodika monitoringu mikroklimatických poměrů v jeskynních systémech

CERTIFIKOVANÁ METODIKA

**Správa jeskyní České republiky
Český hydrometeorologický ústav**



2011



Metodika vznikla za finanční podpory MŽP ČR a je výstupem řešení projektu SP/2D5/5/07 „Stanovení závislosti jeskynního mikroklimatu na vnějších klimatických podmínkách ve zpřístupněných jeskyních ČR“ resortního programu výzkumu v působnosti Ministerstva životního prostředí na léta 2007 – 2011.

© Správa jeskyní České republiky

ISBN:

Jiří Hebelka, RNDr. Tomáš Litschmann, Mgr. Magdalena Korzystka, Dr. Jacek Piasecki, RNDr. Ing. Jaroslav Rožnovský, CSc., PhD., Mgr. Tymoteusz Sawiński, Ing. Tomáš Středa, Ph.D., Ing. Hana Středová, Ph.D.

Metodika monitoringu mikroklimatických poměrů v jeskynních systémech

CERTIFIKOVANÁ METODIKA

**Správa jeskyní České republiky
Český hydrometeorologický ústav
2011**

Metodika monitoringu mikroklimatických poměrů v jeskynních systémech

Metodika přináší přehled vhodných postupů a typů měřicí techniky pro kvalitní měření mikroklimatických poměrů v jeskyních, které jsou zcela specifické malou denní i roční amplitudou průběhu teploty a vlhkosti vzduchu, vyšší relativní vlhkostí vzduchu, nízkým výparem a výrazným ročním případně i denním chodem rychlosti a směru proudění. Proto nelze při jejich měření použít standardní postupy pro měření na klimatologických stanicích. Součástí jsou též postupy pro souběžná měření v okolí jeskyně tak, aby bylo možné stanovit rozdíly mezi hodnotami meteorologických prvků v jeskyni a ve vnějším prostředí. Metodika je sestavena pro měření ve všech jeskyních bez ohledu na návštěvnost.

Dodržením doporučených metod měření a vyhodnocení bude možné kvalifikovaně vyhodnotit jeskynní mikroklima pro vědecké účely, ale i pro hodnocení možných vlivů daných změnami klimatu nebo návštěvností.

Methodology of cave microclimate monitoring

The methodology describes...

Metodika byla schválena Ministerstvem životního prostředí ČR – Odborem zvláště chráněných částí přírody pod č.j.

Ministerstvo životního prostředí doporučuje tuto metodiku pro využití v praxi.

Obsah

1.	Úvod.....	6
2.	Specifika monitoringu mikroklimatu (kryptoklimatu) v jeskyních.....	6
3.	Monitoring teploty vzduchu v jeskynních systémech	10
4.	Monitoring teploty povrchu skalní stěny	16
4.1.	Měření teploty povrchu skalní stěny pomocí infračerveného termometru.....	17
4.2.	Měření teploty povrchu skalní stěny pomocí termokamery	19
5.	Měření koncentrace oxidu uhličitého v jeskyních.....	20
6.	Měření atmosférického tlaku vzduchu v jeskyních.....	23
7.	Měření proudění vzduchu v jeskyních	23
8.	Měření vlhkosti vzduchu v jeskyních.....	26
9.	Měření meteorologických parametrů vnějšího prostředí	29
9.1.	Měření teploty vzduchu vnějšího prostředí	29
9.2.	Měření vlhkosti vzduchu vnějšího prostředí	30
9.3.	Měření atmosférických srážek.....	31
9.4.	Měření tlaku vzduchu.....	32
9.5.	Měření koncentrací CO ₂ ve vnějším prostředí	33
10.	Sběr a analýza dat.....	34
11.	Možnosti aplikace metodiky	36

1. Úvod

Jednou z významných složek jeskynního prostředí je jeho mikroklima, které lze definovat jako dlouhodobý režim faktorů tvořících fyzikální stav jeskynní atmosféry, vytvářený spolupůsobením vnějších a jeskynních faktorů a ve zpřístupněných jeskyních i činností člověka. K základním mikroklimatickým prvkům jsou zpravidla řazeny: teplota vzduchu, relativní vlhkost vzduchu, rychlost a směr proudění vzduchu. Dalšími sledovanými veličinami v rámci mikroklimatického monitoringu jeskyní jsou: koncentrace plyných komponentů jeskynního ovzduší – zejména koncentrace CO₂, případně radonu, teplota skalního masivu a teplota vody - v jeskyních protékaných vodním tokem. K faktorům, které se významně podílí na ovlivňování mikroklimatu a jsou tak při monitoringu mikroklimatu paralelně sledovány, patří změny výšky vodní hladiny a meteorologické a klimatické podmínky vnějšího prostředí.

Jeskynní mikroklima závisí na typu jeskyně (statická, dynamická, statodynamická), velikosti a tvaru jeskynních prostor, počtu a poloze vchodů spojených s povrchem, vzdálenosti od vchodu, hydrologických poměrech, návštěvnosti ve zpřístupněných jeskyních aj.

Znalost mikroklimatických poměrů jeskyní je nezbytná nejen pro řešení otázek geneze krasu, ale především pro stanovení optimálních podmínek jejich ochrany a vědecky podloženého managementu. Z důvodu ochrany je zvláště důležité sledování mikroklimatického režimu ve zpřístupněných jeskyních, soustavně ovlivňovaných návštěvností, a v místech, kde je to žádoucí z důvodu bezpečnosti návštěvníků a pracovníků (např. plynující jeskyně).

2. Specifika monitoringu mikroklimatu (kryptoklimatu) v jeskyních

Mikroklimatické poměry jeskyní jsou charakterizovány v porovnání s vnějším prostředím velmi malou denní i roční amplitudou průběhu teploty a vlhkosti vzduchu, vyšší relativní vlhkostí vzduchu, nízkým výparem a výrazným ročním případně i denním chodem rychlosti a směru proudění vzduchu. Při monitorování mikroklimatu (respektive kryptoklimatu při respektování striktní kategorizace) je v jeskynních systémech zapotřebí počítat zejména s těmito skutečnostmi:

- Jedná se o velmi vlhké prostředí s vysokou relativní vlhkostí vzduchu, doplněné o kapající anebo stékající vodu ze stropů a stěn. To klade značné nároky na vodotěsnost jednotlivých měřicích systémů, aby nedocházelo ke kondenzaci vody na

elektronických součástkách. U snímačů, které nemohou být ve vodotěsném pouzdře a musí být v kontaktu s okolní atmosférou, je třeba počítat s jejich častější kalibrací, popřípadě výměnou. Vodotěsné musí být rovněž konektory, sloužící k přenosu naměřených údajů z dataloggerů, popřípadě je výhodné volit bezkontaktní způsoby přenosu.

- Změny jednotlivých měřených prvků, popřípadě jejich hodnoty, jsou poměrně malé, což klade vyšší nároky na rozlišovací schopnost a citlivost jednotlivých přístrojů. Malé amplitudy lze očekávat zejména u teploty a vlhkosti vzduchu, nízké měřitelné hodnoty se vyskytují většinou u proudění vzduchu.
- Zejména u nezpřístupněných jeskyní je nutno počítat s obtížným přístupem a ztíženými podmínkami pro instalaci a obsluhu měřicích zařízení. V těchto podmínkách je zapotřebí používat k přenosu naměřených dat z nainstalovaných zařízení jiné prostředky, než je klasický notebook (optické čtečky apod.), zejména pak tam, kde se musí překovávat různé vodní překážky, úzké průchody apod.

Podle nároků na přesnost vstupů lze monitoring jeskynního mikroklimatu specifikovat jako: orientační, základní a případně vědecký, který prohlubuje a zpřesňuje monitoring základní.

1. Orientační monitoring (orientační měření)

Slouží k získání orientačních informací o charakteru jeskynního mikroklimatu v dané jeskyni. Cílem je získat základní předběžné informace o poměrech v jeskyni a podklady pro přípravu projektu základního monitoringu. Provádí se jednorázově nebo nepravidelně dostupnou měřicí technikou na jednotlivých vybraných stanovištích, která jsou v terénu pro možnost opakování měření vhodně označena, spolu se zákresem do plánu jeskyně.

2. Základní monitoring

Slouží k získávání základních informací o charakteru jeskynního mikroklimatu v dané jeskyni a jeho vývoji. Provádí se podle předem vypracovaného projektu, zahrnujícího:

- a. Organizační zajištění měření – identifikace osob (instituce), které měření provádí, včetně jejich způsobilosti např. akreditace, autorizace apod. Pokud bude monitoring sloužit též k báňsko-bezpečnostním účelům, musí osoby (instituce, firmy) splňovat předepsanou kvalifikaci a použité přístroje být povoleny příslušným orgánem státní báňské správy.

- b. Datum a dobu měření.
- c. Stanovení termínů měření – časových intervalů opakování měření. Měření se provádí minimálně 4× ročně v měsících leden – únor, duben – květen, červenec – srpen a říjen – listopad.
- d. Určení měřicích stanovišť. Měřicí stanoviště z hlediska jejich počtu se volí na základě dříve provedeného orientačního průzkumu tak, aby byl získán reprezentativní snímek o charakteru jeskynního mikroklimatu. Ve zpřístupněných jeskyních je nutno určit stanoviště takovým způsobem, aby nedocházelo k ovlivnění měření procházejícími návštěvníky (pokud toto není účelem prováděného monitoringu). Není-li to možné, zaznamenají se časy průchodu návštěvníků. Zvolená stanoviště se v terénu vhodně označí (barvou, nýty v podlaze nebo stropu jeskyně apod.). Jednotlivá stanoviště se očíslovají směrem od vchodu dovnitř jeskyně. Číslem 1 se označí srovnávací stanoviště venku před jeskyní. Venkovní stanoviště (pokud není opatřeno ochrannými prvky) nesmí být umístěno na přímém slunci. Do evidence se zanesou poloha a výška měřicích stanovišť nad terénem.
- e. Orientační zakres prostoru jeskyně s vyznačením měřicích stanovišť. Měřicí stanoviště se vyznačí do základní mapy jeskyně v měřítku 1:500. U jeskyní převážně vertikálního charakteru je nutno vyznačit stanoviště i v podélném řezu.
- f. Použité přístrojové vybavení a podrobnosti o jeho kalibraci.
- g. Dobu trvání monitoringu, eventuelně etapy vyhodnocování.
- h. Formu zpracování naměřených údajů.

Při návrhu a realizaci monitorovací sítě v jeskynních systémech je nutno vzít v úvahu zejména tyto okolnosti:

1. Účel měření:

- a) provozní – pokud je zapotřebí mít okamžitě k dispozici údaje o základních parametrech atmosféry ve zpřístupněných jeskyních na jednom místě, je nutno vybudovat stacionární systém se snímači propojenými metalickými vodiči s přenosem údajů do centrálního místa, umístěného většinou mimo vlastní prostor jeskyně. Mezi monitorované prvky patří: teplota vzduchu, vlhkost vzduchu, teplota vody (v případě, že jeskyní protéká podzemní tok anebo se v ní nacházejí rozsáhlejší vodní plochy), obsah CO₂ v jeskynním vzduchu

(zejména pak v jeskyních s přirozenými vývěry tohoto plynu z podloží). Pokud provozní měření neslouží současně k vědeckým účelům, je možno se spokojit s nižší přesností jednotlivých snímačů, zejména pak u snímačů CO₂, u nichž cena výrazně stoupá s dosahovanou přesností. Četnost měření by měla být nejlépe 1 minuta s uchováváním všech informací na paměťovém médiu počítače, popřípadě ve spojení s varovným systémem. Naměřené údaje je možno vhodným způsobem zobrazovat pro informaci návštěvníků,

- b) vědecký – slouží k poznání zákonitostí v chodu jednotlivých měřených prvků v dlouhodobém časovém horizontu a jejich ovlivnění přirozenými anebo antropogenními vlivy. V tomto případě je možno volit autonomní registrační zařízení, shromažďující informace přímo v měřeném místě a přenášené jednou za čas k dalšímu vyhodnocení. Oproti provoznímu měření je nutno volit snímače s vyšší přesností a rozlišovací schopností. Ve zpřístupněných jeskyních je doporučována stejná četnost měření jako u provozního měření, tj. 1 minuta. U měřicích zařízení s omezenou kapacitou paměti lze výjimečně měřit v intervalu 10 minut. V nepřístupných jeskyních s obtížnějším přístupem a menší variabilitou měřených prvků lze četnost měření snížit, doporučený interval je 1 hodina.

2. Prostorový rozsah měření:

- a) plošný – snímače jsou rozmístěny přibližně ve stejné výšce nade dnem jeskynních prostor. Tento způsob najde uplatnění především v nižších jeskyních tvořených převážně chodbami,
- b) prostorový – snímače jsou, vedle plošného rozmístění viz bod 2a, rozmístěny ještě v několika úrovních nad sebou a monitorují vertikální rozložení jednotlivých prvků. Tento způsob je vhodný zejména v jeskyních s vyššími dómy.

3. Časový rozsah měření:

Pro poznání zákonitostí chování jeskynního klimatu je zapotřebí volit co nejdelší časový rozsah měření, minimálně po dobu jednoho roku, aby byly zachyceny aspekty všech čtyř ročních období. V ojedinělých případech je možno provádět i krátkodobá ambulantní měření, jejich vypovídací schopnost je však omezena.

Měření v jeskynních systémech je nutno doplnit vždy i o povrchová měření základních meteorologických veličin s minimálně stejnou četností měření jako v podzemí a minimálně o stejné délce trvání.

Moderní monitorovací technika v současné době umožňuje většinu měření provádět automaticky s pravidelným záznamem naměřených hodnot, ruční měření se provádějí pouze u těch prvků, které nelze jednoduše automatizovat a které slouží k doplnění automatizovaných měření.

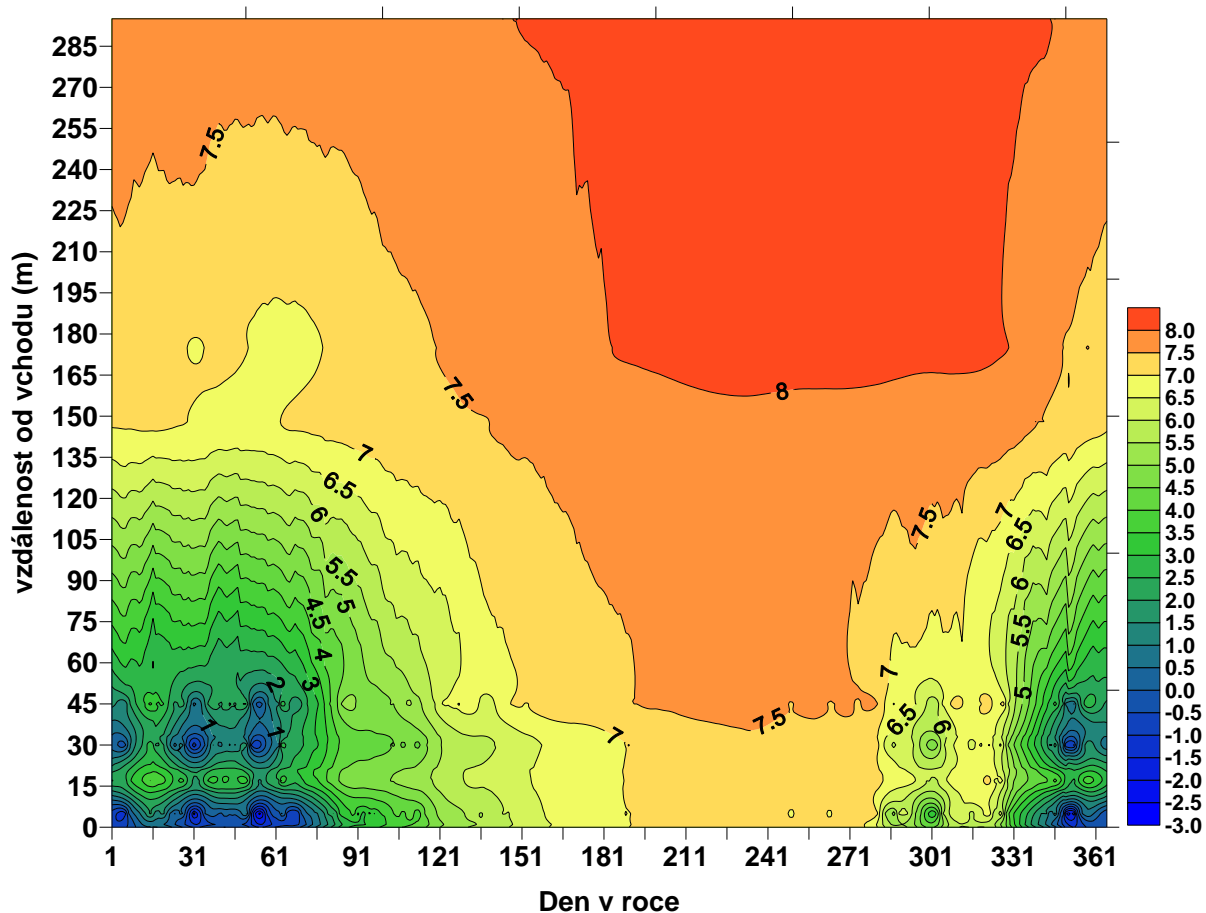
3. Monitoring teploty vzduchu v jeskynních systémech

Všeobecné požadavky na měření teploty vzduchu:

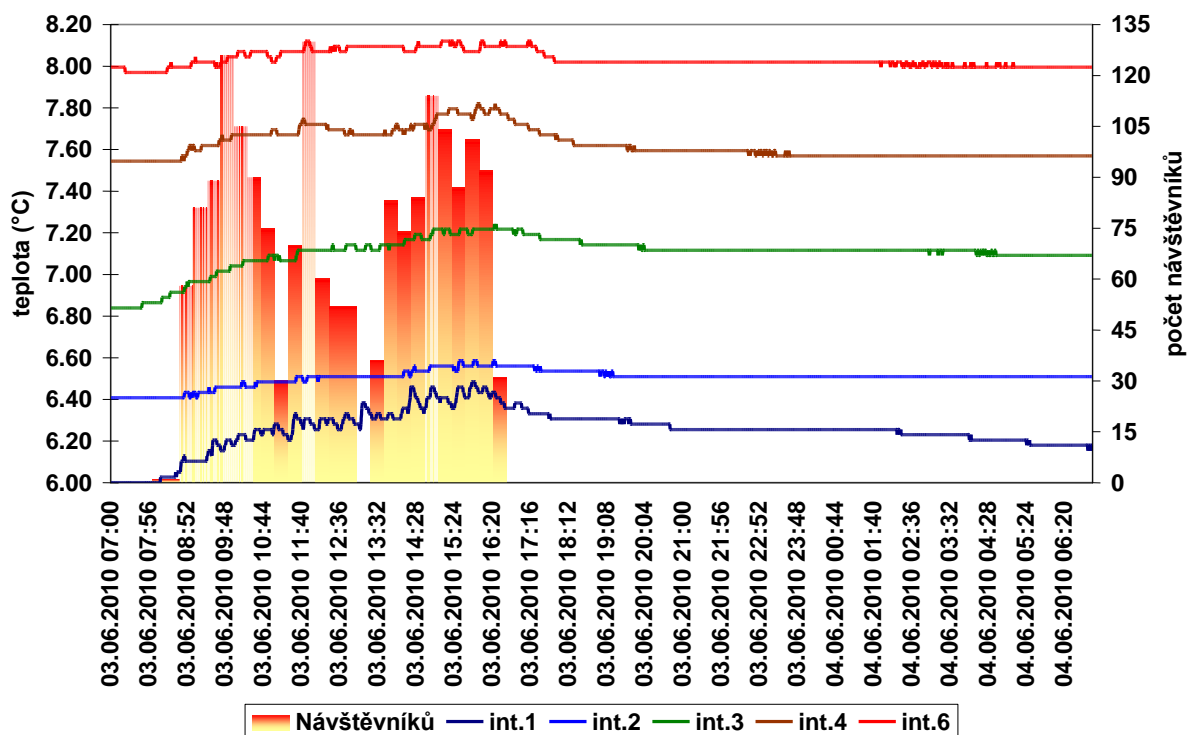
- a) Rozlišovací schopnost snímače: 0,01 °C.**
- b) Přesnost měření: $\pm 0,2$ °C.**
- c) Interval měření: zpřístupněné jeskyně 1 min., nezpřístupněné jeskyně max. 1 hod.**
- d) Interval mezi kalibrací snímačů: 2 roky.**

Přirozený teplotní režim jeskyně je ovlivňován především vstupy tepla z nadloží, podloží a prouděním vzduchu z vnějšího prostředí. V případech, kdy daným prostorem protéká vodní tok, může za určitých situací dojít k výraznějšímu ovlivnění teploty vzduchu v důsledku rozdílné teploty protékající vody. Průměrná teplota vzduchu v jeskyni se hodnotou blíží k vnější průměrné roční teplotě, vyznačuje se velmi malými sezónními a denními amplitudami a je v rovnováze s vnitřní teplotou skalního masivu a vody. V blízkosti vstupu do jeskyně (heterogenní zóna) se dostává konvekcí venkovní vzduch a způsobuje změny teploty na vzdálenost až stovek metrů.

Teplotní dynamika interiéru jeskyní se pohybuje na úrovni desetin až několika stupňů Celsia. Například z výsledků měření ve střední části Kateřinské jeskyně v letech 2009 a 2011 je v průběhu roku patrný vliv vnější teploty, způsobující teplotní změny uvnitř jeskyně o 2 °C (minimum 6,56 °C, maximum 8,56 °C). Výrazný vliv sehrává zejména vzdálenost monitorovaného prostoru od vstupního otvoru (viz. obr. 1) a v jisté míře také vliv návštěvníků (obr. 2).



Obr. 1 Teplota vzduchu v Kateřinské jeskyni v závislosti na termínu a vzdálenosti od vchodu.



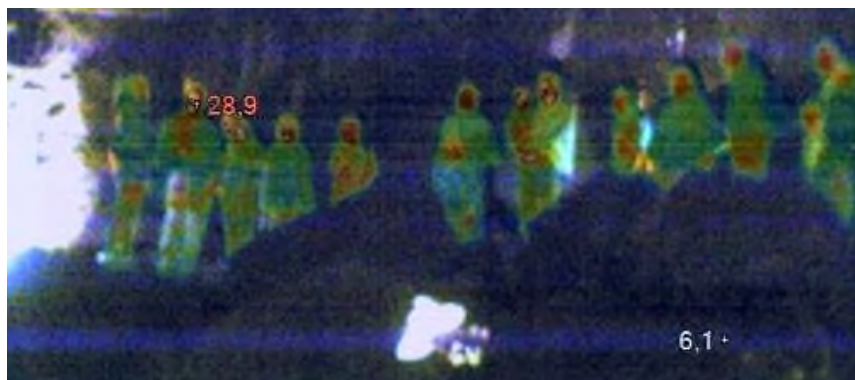
Obr. 2 Průběh teplot interiéru jeskyně a počty návštěvníků v daný okamžik v den s vysokou návštěvností (Kateřinská jeskyně 3. 6. 2010).

S ohledem na uvedené vlivy, postihující nerovnoměrně mikroklimatické poměry různých úseků jeskynního systému (tab. 1), je ideální zřízení automatického stacionárního monitorovacího systému s kontinuálním monitoringem (v případě dostupnosti finančních prostředků a potřebě podrobného monitoringu). V případě redukovaného monitoringu je vhodné umístění čidel minimálně v prostoru s predikovaným výrazným vlivem realizovaných činností na teplotu vzduchu.

Tab. 1 Rozsah teplot vzduchu v závislosti na vzdálenosti od vstupního otvoru, Kateřinská jeskyně, březen 2010 – březen 2011.

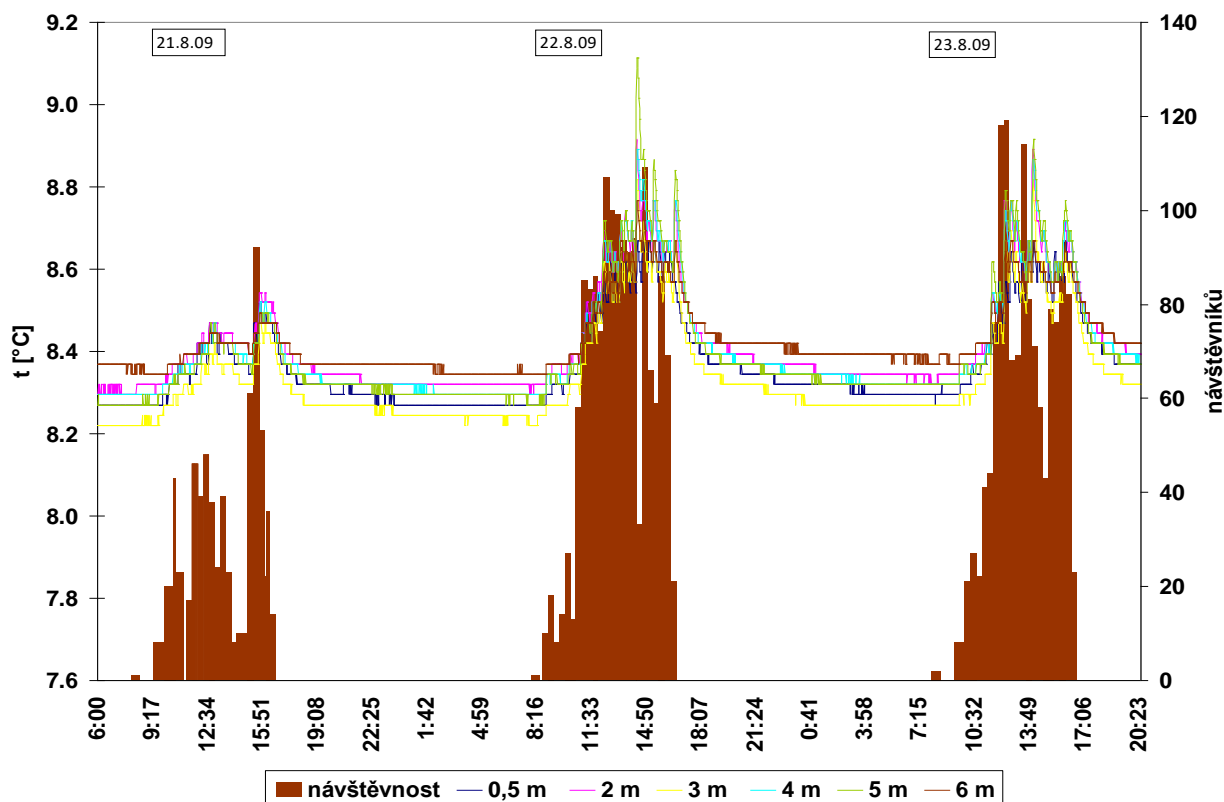
	Vzdálenost čidla od vstupu			
	5 m	35 m	148 m	295 m
Min. teplota °C	-3,806	-2,188	6,737	7,594
Max. teplota °C	7,619	7,569	8,120	8,767
Průměrná teplota	4,349	4,965	7,503	7,966

Vhodným zařízením jsou pro uvedené účely outdoorová čidla s kapacitně dostatečným dataloggerem s vlastním zdrojem energie a s rozlišením měření min. 0,01 °C. Doba měření je tak omezena kapacitou paměti měřicího přístroje a životností baterií. Minimalizována je i manipulace s jednotlivými čidly, kdy při dotyku může docházet k ohřevu čidel a zkreslení výsledků (vyrovnání teploty čidla s okolní teplotou trvá po manipulaci až několik desítek minut). Interval záznamu je třeba diferencovat podle typu jeskynního systému a období, ve kterém monitoring probíhá. V období s náhlými a čtenějšími výkyvy teplot (možnost náhlého zvýšení průtoků; období s výraznými výkyvy počasí apod.) je vhodný interval měření alespoň v řádu desítek minut. V případě ovlivnění prostředí návštěvností (vnos tepla návštěvníky je demonstrován na obr. 3) je na místě použít interval měření v 1minutovém kroku a to s rozlišením minimálně 0,1 °C, lépe však 0,01 °C.

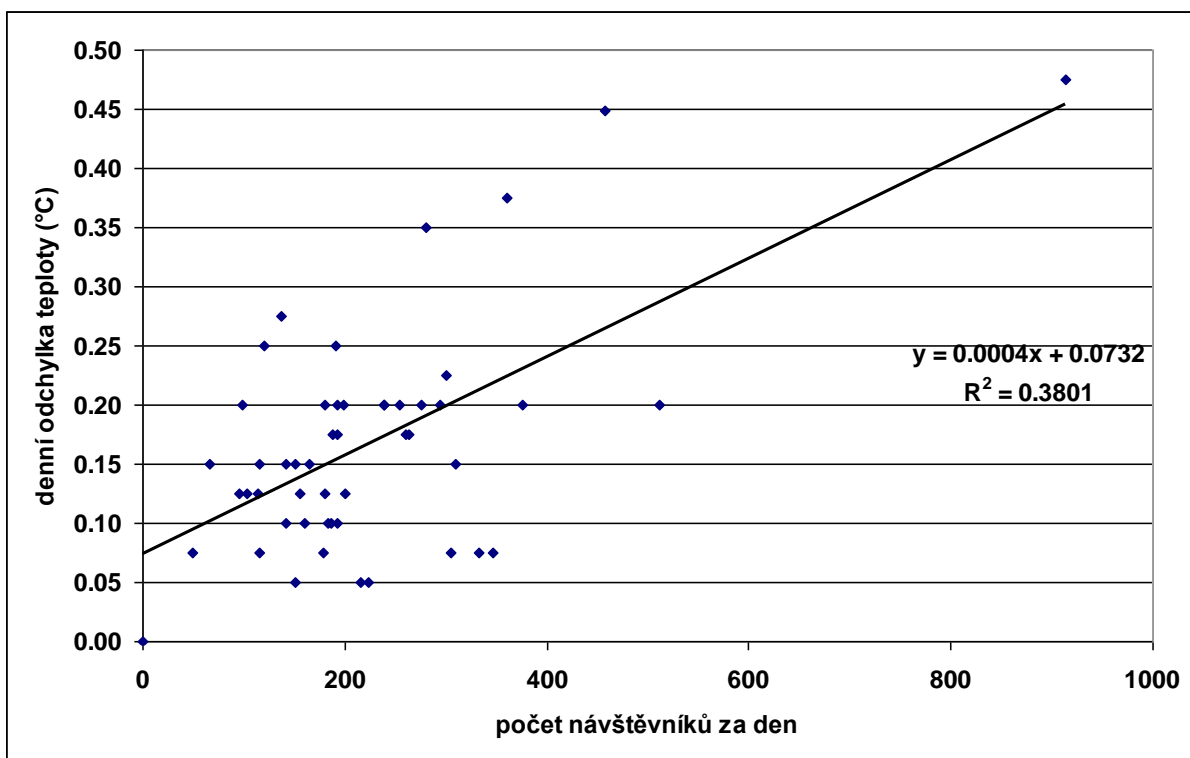


Obr. 3 Termosnímek s návštěvníky v Kateřinské jeskyni.

Pro kvantifikaci vlivu návštěvníků na teplotu interiéru (maximální denní amplitudu) je možno použít postup, kdy je teplotní výkyv zjištěn jako rozdíl mezi teplotou vzduchu naměřenou daným čidlem v 7:00 hodnoceného dne a teplotním maximem naměřeným stejným čidlem v následujících 24 hodinách. Předpokladem je, že do 7:00 (tj. před příchodem prvních návštěvníků) dojde v jeskyni ke stabilizaci teploty na teplotu „očistěnou“ od vlivu návštěvníků z předešlého dne. Zvýšení teploty v návštěvních hodinách, porovnané s touto „základní teplotou“, umožňuje kvantifikaci vlivu návštěvníků na teplotu vzduchu v daný den. Nejvyšší takto zjištěný teplotní výkyv činil např. v roce 2010 v Kateřinské jeskyni 0,50 °C. Zjištěn byl u čidla ve střední části jeskyně dne 3. 6. 2010, tj. v den s nejvyšší denní návštěvností za hodnocené období (913 návštěvníků). Vliv návštěvnosti se projevuje rozdílně dle výšky umístění čidla (obr. 4). Bodovým grafem (obr. 5) je kvantifikován vliv návštěvnosti na zvyšování teploty vzduchu na základě monitoringu ve střední části Kateřinské jeskyně ve výšce čidla 0,5 m. Pro zajištění dostatečné vypovídací hodnoty jsou hodnocena data z období roku s vysokou návštěvností (25. 5. 2010 – 25. 7. 2010). Obdobnou tendenci vykazoval monitoring ve výškách měření 2, 3 a 4 m. Ve výšce 5 m se již vliv návštěvníků na amplitudy teplot vzduchu tak výrazně neprojevoval.



Obr. 4 Vliv návštěvnosti na vertikální profil teploty vzduchu v Kateřinské jeskyni ve dnech 21. až 23. 8. 2009.



Obr. 5 Vliv návštěvnosti na změny teploty v centrální části Kateřinské jeskyně.

Jednotlivá teplotní čidla je tak vhodné umístit v průběhu celého objektu na mikroklimaticky reprezentativní místa do jednotné výšky. Doporučená výška s výjimkou vertikálních profilů je 1 metr (obr. 6), v případě podrobného monitoringu vertikálního profilu potom do odstupňovaných výšek (obr. 7). Pro instalaci senzorů jsou vhodné různé typy stojanů a stativů z antikorozního materiálu, eliminující případný vliv zdrojů tepla, skapu vody apod.

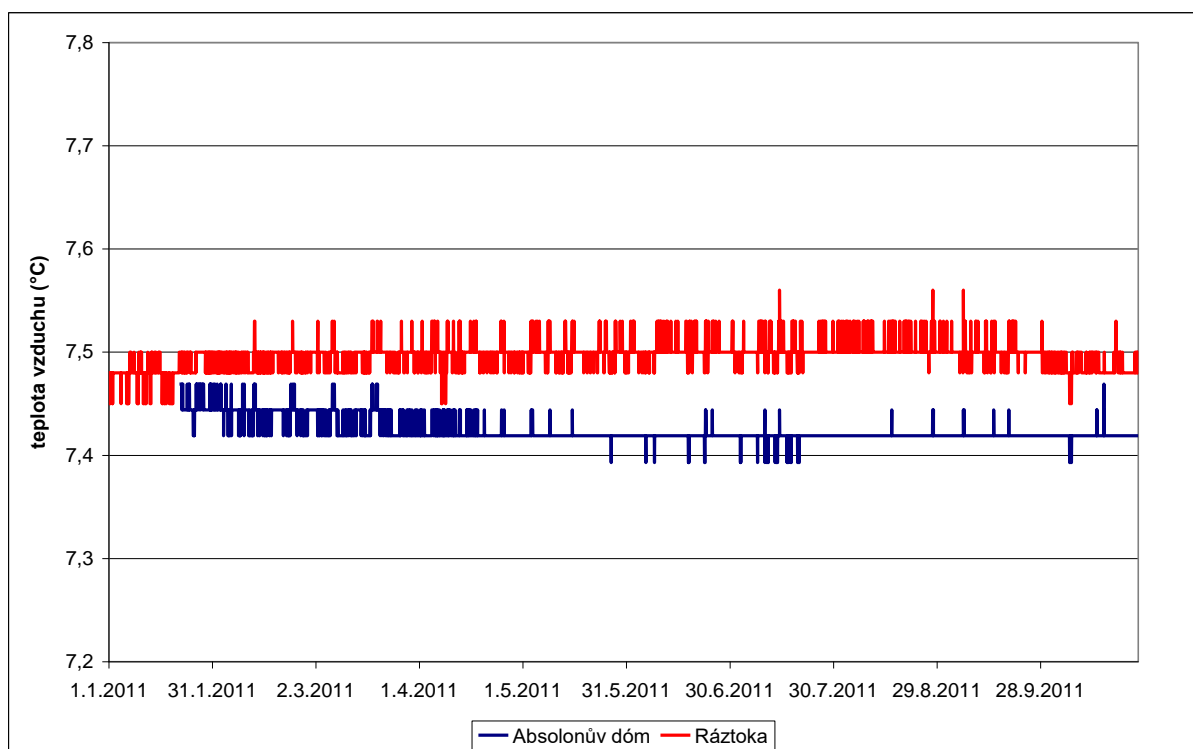


Obr. 6 (vlevo) Umístění teplotních čidel v interiéru jeskyně – jedna výška.
 Obr. 7 (vpravo) Umístění teplotních čidel v interiéru jeskyně – vertikální profil.

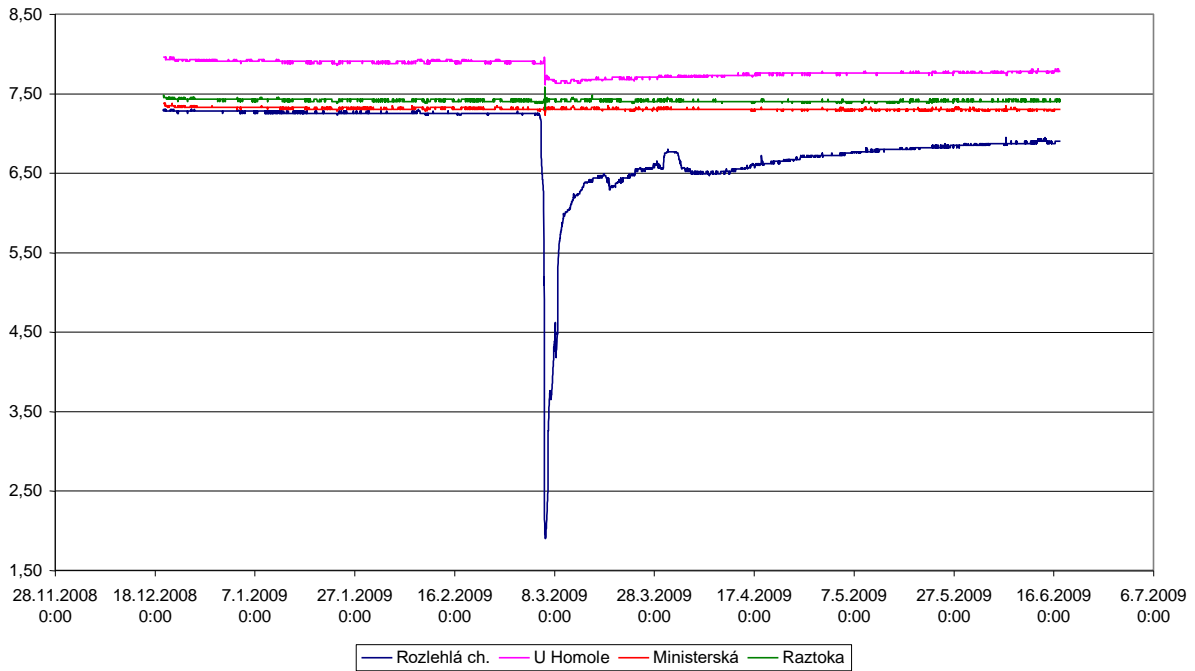
Po každém narušení homeostáze mikroklimatu má jeskynní systém tendenci k návratu do stabilního režimu. Při překročení únosnosti („carrying capacity“), zejména v teplém období a během období s krátkými nocemi, však hrozí riziko nedostatečné regenerace a nenávratných poškození prostředí, obzvláště v těch případech, kdy nemá působící faktor lineární, ale kumulativní účinky.

Příkladem jeskynního prostředí s minimální dynamikou změn teplot vzduchu je např. situace v Amatérské jeskyni. Tato jeskyně je typem statické jeskyně (s jedním, hermeticky uzavřeným vchodem) a minimálním pohybem osob v průběhu roku. Tomu odpovídá i velmi malá amplituda teploty vzduchu během roku v prostorách více vzdálených od vodního toku. Na obr. 8 je uvedena dynamika teplot vzduchu v období zima až podzim 2011 v Absolonově dómu (amplituda pouze 0,08 °C) a v dómu Ráztoka (amplituda 0,11 °C).

Teplotu vzduchu v jeskynních prostorách blíže situovaných vodnímu toku výrazně ovlivňuje jeho kolísání. Z výsledků měření v Amatérské jeskyni vyplývá, že při jarních oblevách (např. dne 6. 3. 2009), kdy jeskyní protékala studená voda, dochází k prudkému a výraznému ochlazení přilehlých jeskynních prostor (o 5,4 °C v Rozlehlé chodbě) a po skončení oblevy se teplota jen velice zvolna (v řádech měsíců) vrací na původní hodnoty (obr. 9). Obdobně dochází ke zvýšení teploty vzduchu po letních přívalových deštích vlivem velkého objemu teplé vody přicházející z povrchu do podzemí.



Obr. 8 Průběh teploty vzduchu v Amatérské jeskyni od 1.1 do 26. 10. 2011.



Obr. 9 Ovlivnění teploty vzduchu v Amatérské jeskyni kolísáním hladiny podzemního toku.

4. Monitoring teploty skalní stěny a teploty povrchu skalní stěny

4.1. Měření teploty skalní stěny

Všeobecné požadavky na měření teploty skalní stěny:

- a) Rozlišovací schopnost snímače: **0,01 °C.**
- b) Přesnost měření: **± 0,2 °C.**
- c) Interval měření: **max 1 hod.**
- d) Interval mezi kalibrací snímačů: **2 roky.**

Měření změn teploty skalní stěny se provádí pomocí teplotních snímačů, umístěných v předem vyvrtaných otvorech do skalní stěny a připojených pomocí kabelu k záznamovému zařízení. Po vložení snímačů do předvrtaných otvorů je nutné tyto otvory hermeticky izolovat od okolního prostředí (např. pomocí cementu, montážní pěny apod.). Doporučená hloubka umístění snímačů ve stěně je 20 cm. Pro vědecký monitoring je možné měřit i v jiných hloubkách např. 5, 30, 50 cm a více. Pro měření teploty půdy lze použít datalogery s externí vpichovací sondou přiměřené délky.

4.2. Měření teploty povrchu skalní stěny pomocí infračerveného termometru

Všeobecné požadavky na měření teploty povrchu infračerveným termometrem:

- a) Rozlišovací schopnost snímače: 0,1 °C.
- b) Přesnost měření: $\pm 1,0$ °C.
- c) Možnost nastavení emisivity materiálu (vápenec $\varepsilon = 0,98$).
- d) Interval měření: zpřístupněné jeskyně měsíčně, nezpřístupněné jeskyně čtvrtletně.
- e) Interval mezi kalibrací snímačů: 2 roky.

V rámci teplotního hodnocení interiéru jeskyně je významným prvkem teplota skalního masivu. K měření teploty povrchu skalní stěny je možné použít ruční bezdotykový infračervený teploměr s nastavitelnou emisivitou a laserovým zaměřovačem. Přístroj měří ve zvoleném intervalu množství infračervené energie emitované zacíleným předmětem a zobrazuje teplotu povrchu tohoto předmětu (obr. 10 a 11). Značnou výhodou přístroje je možnost měření teplot bez přímého kontaktu s měřeným objektem a bez nutnosti destrukce části interiéru jeskyně.

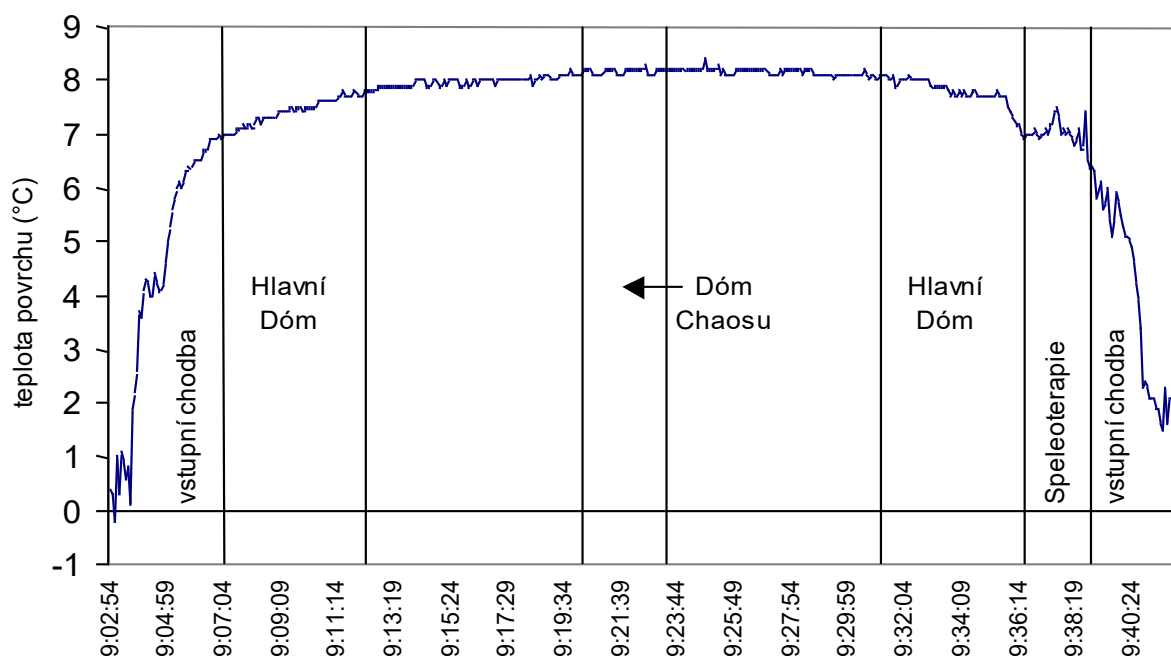
V Kateřinské jeskyni v průběhu roku 2010 kolísala průměrná teplota skalního masivu až o 1,4 °C. Teplotní maxima jednoho místa se v průběhu roku liší o 0,7 °C. Výrazná je diference minimálních teplot (až 4 °C), způsobená prochlazením vstupní chodby v zimním období (až na -1,6 °C). V letních měsících je teplota povrchu stabilní s přetrvávající nižší hodnotou ve vstupní části, což je zřejmě způsobeno intenzivním provětráváním. Vzhledem k omezené dynamice teploty skalního povrchu během roku je dostatečný přibližně měsíční interval měření s rozlišením měření $\leq 0,1$ °C. Teplotu skalního masivu je nutné snímat ve zvolených, přesně definovaných bodech nebo v průběhu celého jeskynního systému v přibližně stejné výšce a ve stejném charakteru masivu, např. podél prohlídkové trasy – viz. obr. 12. V tomto případě je nutné eliminovat případnou chybu měření heterogenitou povrchu na trase monitoringu (atypické „kapsy“ ve skalní stěně či materiál s odlišnou emisivitou – hlína atd.).



Obr. 10 Infračervený termometr Raynger.

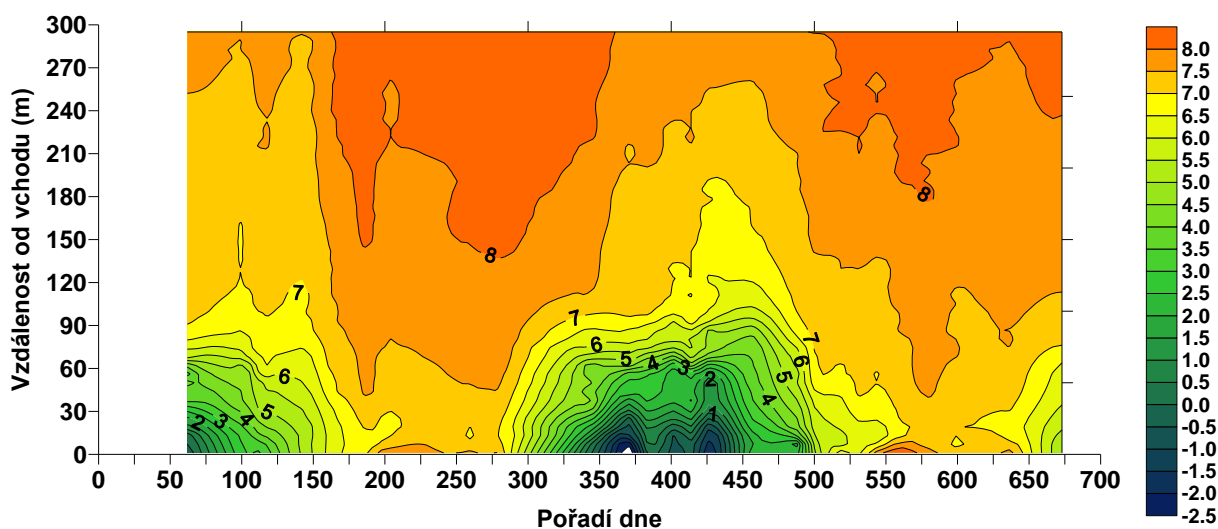


Obr. 11 Zaměřovací laserový paprsek.



Obr. 12 Průběh teploty povrchu na prohlídkové trase v Kateřinské jeskyni (25. 11. 2008).

Vývoj teplot skalního povrchu v průběhu období a v závislosti na vzdálenosti od vstupu je vhodné interpolovat a znázornit ve 2D projekci, např. prostřednictvím programu SURFER (obr. 13). Zachyceno je období od února 2010 do října 2011. Data jsou interpolována metodou „kriging“. Zřejmá je logicky poměrně výrazná dynamika teploty povrchu ve vstupní části, slábnoucí s rostoucí vzdáleností od vstupu.



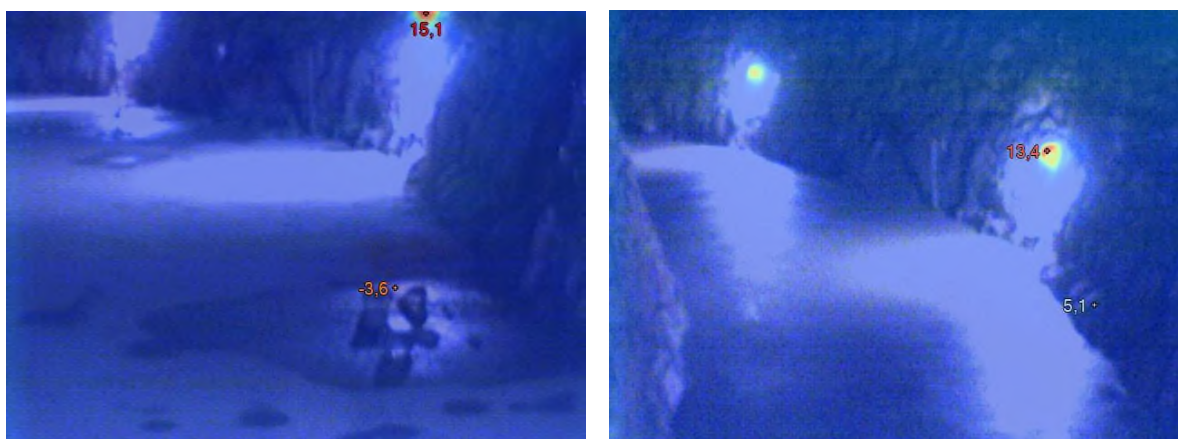
Obr. 13 Teplota skalní stěny v závislosti na termínu měření a vzdálenosti od vchodu.

4.3. Měření teploty povrchu skalní stěny pomocí termokamery

Všeobecné požadavky na měření teploty povrchu termokamerou:

- a) Rozlišovací schopnost snímače: 0,1 °C.
- b) Přesnost měření: ± 2 °C nebo 2 % (platí vyšší hodnota).
- c) Možnost nastavení emisivity materiálu (vápenec $\varepsilon = 0,98$).

Pro primární teplotní průzkum a identifikaci míst s odlišnými teplotními podmínkami je vhodné použití ruční termální kamery. S ohledem na teplotní a prostorové podmínky jeskyní doporučujeme použití termokamer s detektorem minimálně 320×240, s vysokou teplotní citlivostí $\leq 0,05$ °C a technologií „IR – Fusion“ s možností konfrontace IR a viditelné formy snímku, s automatickou detekcí studeného a horkého bodu. Problémem při použití termokamery je exaktní stanovení emisivity materiálu pro následné generování přesné teploty povrchu. Při praktickém studiu v terénu však obvykle dostačuje pracovat s relativními hodnotami teploty, které jsou dostatečně vypovídající o režimu povrchové teploty. Umožňují dobře popsat jak její prostorovou a časovou variabilitu i teplotní chování sledovaných povrchů, případně upozornit na možný vznik jevů bezprostředně souvisejících s charakterem pole povrchové teploty. Příklad identifikace míst s výrazně odlišnou teplotou povrchu pomocí termokamery je demonstrován na obr. 14 a 15. Identická scéna ze vstupní chodby Kateřinské jeskyně zachycuje teplotní pole v únoru a září téhož roku. Zřejmý je výskyt ledových útvarů (teplota -3,6 °C) versus teplota osvětlení (15,1 °C) v únoru. V září činila nejnižší teplota místa 5,1 °C a nejvyšší (osvětlení) 13,4 °C.



Obr. 14 (vlevo) Teplota povrchů v interiéru jeskyně v únoru.

Obr. 15 (vlevo) Teplota povrchů v interiéru jeskyně v září.

5. Měření koncentrace oxidu uhličitého v jeskyních

Všeobecné požadavky na měření koncentrace CO₂:

a) Rozlišovací schopnost snímače: 1 ppm.

b) Přesnost měření: ± 5 % z měřené hodnoty.

c) Interval měření: zpřístupněné jeskyně 10 min, nezpřístupněné jeskyně 1 hod.

d) Interval mezi kalibrací snímačů: 1 rok.

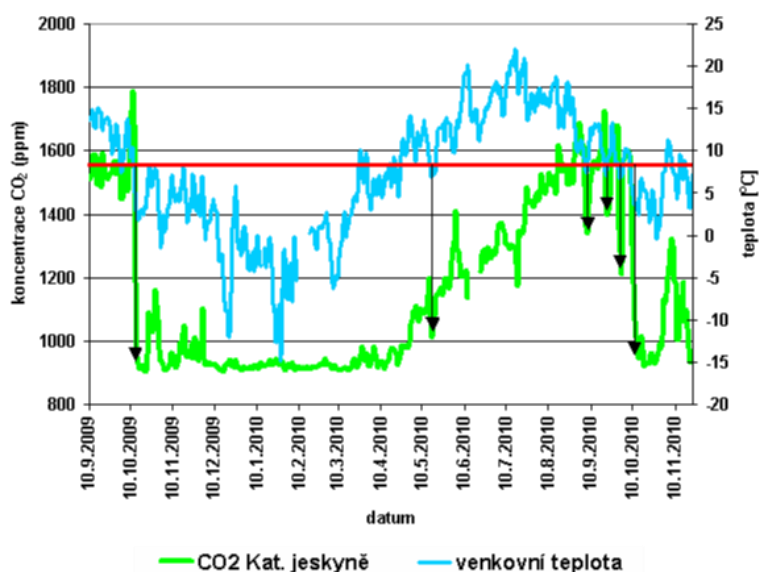
Oxid uhličitý hraje důležitou roli při vývoji krasových útvarů v karbonátových horninách. Zatímco v povrchových vrstvách napomáhá rozpouštění vápenců, v jeskynním prostředí je naopak důležitou složkou umožňující růst speleotém. Kromě toho znalost koncentrací CO₂ v jeskynní atmosféře je důležitým indikátorem výměny jeskynní atmosféry s okolním prostředím.

Zdrojem oxidu uhličitého v jeskynní atmosféře jsou následující procesy:

1. Přítok z okolní atmosféry – poměrně zanedbatelný zdroj vzhledem k tomu, že koncentrace CO₂ většinou bývají vyšší než ve venkovním prostředí. Uplatňuje se většinou v chladném období.
2. Přítok z okolní půdy – jeden z hlavních zdrojů zvýšených koncentrací CO₂ v jeskyních, zejména v teplém období. Z nadložní půdy se šíří do jeskynních prostor ve zvýšené míře puklinami, v menším množství se uvolňuje ze skapových vod. Produkce CO₂ v půdách závisí na jejich teplotě a vlhkosti.
3. Uvolňování CO₂ v důsledku bakteriální oxidace organické hmoty v jeskynních sedimentech – poměrně malý zdroj v závislosti na obsahu organické hmoty v těchto sedimentech závisí na tom, jak často a v jaké míře je do daného prostoru přiváděna organická hmota naplavováním zvenčí.
4. Přítok CO₂ difúzí z hlubinných zdrojů – v některých jeskyních (Zbrašovské aragonitové jeskyně) je výrazným zdrojem, vysoce převyšující podíl ostatních zdrojů. Mohou se tak vytvořit životu nebezpečná místa a ve zpřístupněných jeskyních je zapotřebí je nepřetržitě monitorovat.
5. Antropogenní zdroje – ve zpřístupněných jeskyních je do jejich atmosféry uvolňován CO₂ vydechovaný návštěvníky. Přínos z těchto zdrojů na zvýšení koncentrací závisí na počtu návštěvníků a velikosti jeskynních prostor.

Snižování koncentrací CO₂ v jeskynních prostorách se děje výměnou s okolním prostředím (pomineme-li nucené odvětrávání v případech, kdy je nutno snížit jeho koncentraci s ohledem na bezpečnost návštěvníků). Tato výměna je podmíněna rozdílem teplot v jeskyni a venku. V případě, že teplota venkovního vzduchu je nižší než v jeskyni, dochází ve většině případů k jejímu odvětrávání, a to nejprve částečnému, k němuž dochází v případě, že pokles venkovní teploty pod teplotu uvnitř jeskyně je krátkodobý a trvá jen několik hodin denně, v případě celodenních nižších teplot okolní atmosféry tento chladnější vzduch vytlačuje teplejší z jeskynních prostor a koncentrace CO₂ se přibližují venkovním. Jak vyplývá z výše uvedeného výčtu zdrojů CO₂ v jeskyních, mohou se jeho koncentrace pohybovat v poměrně širokém rozmezí. Pro koncentrace CO₂ je používána jednotka objemová % nebo ppm (partes per milion) – 1 ppm = 0,0001 %; 1% = 10 000 ppm. Prakticky u všech snímačů všeobecně platí, že čím větší rozsah, tím nižší rozlišovací schopnost a přesnost. S ohledem na cenu snímačů je nutné před instalací konkrétního typu snímače mít alespoň orientační informaci, v jakém rozmezí se koncentrace pohybují v jednotlivých místech daného jeskynního prostoru. K tomu lze s úspěchem využít nejrůznější přenosné měřiče koncentrací CO₂, většinou málo přesné, avšak cenově dostupné, sloužící k měření koncentrací v obytných místnostech. Nemají sice potřebné krytí pro měření v jeskynních prostorách, avšak pro ambulantní měření jsou postačující. Jejich rozsah bývá většinou do 10 000 ppm.

Nejvyšších koncentrací CO₂ v ovzduší je dosahováno ke konci letního období, typicky červenec nebo srpen, v závislosti na povětrnostních podmínkách daného roku. V tomto období je vhodné provést orientační měření v několika termínech na různých místech studovaných prostor, údaje zaznamenat a vyhodnotit s ohledem na účel trvalého monitoringu. Na základě výsledků těchto měření je možné přistoupit k volbě rozsahu přístroje trvale monitorujícího koncentrace CO₂. Ve většině jeskyní v ČR (s výjimkou některých částí Zbrašovských jeskyní) lze očekávat maximální koncentrace kolem 5 000 ppm, v některých hůře ventilovaných uzavřených prostorách bez návštěvníků mohou dosahovat až přes 10 000 ppm. Dynamika koncentrací CO₂ v průběhu roku je demonstrována na příkladu Kateřinské jeskyně (obr. 16). Šipkami jsou v grafu označeny dny, v nichž teplota venkovního vzduchu klesla pod průměrnou teplotu vzduchu v jeskyni a došlo k poklesu koncentrací CO₂.



Obr. 16 Změny denní průměrné koncentrace CO₂ a teploty vzduchu v Kateřinské jeskyni za období 10. 9. 2009 – 22. 11. 2010.

K měření koncentrací CO₂ se v současné době v praxi téměř výhradně používají snímače pracující na absorpci infračerveného záření. Jsou založeny na principu, že heteroatomární molekuly, mezi něž patří i CO₂, interagují s infračerveným zářením. Energie záření, která je molekulami absorbována, způsobí jejich vibrace. Absorpční koeficient je dán rezonanční frekvencí molekul a je pro jednotlivé plyny charakteristický. Infračervený paprsek prochází vzorkovaným prostorem a po průchodu spektrálním filtrem dopadá na detektor. Mezi nevýhody těchto snímačů patří časová nestabilita vysílače infračerveného záření při jeho stárnutí, což výrobci kompenzují různými způsoby, přičemž nejnověji se používají dva vysílací prvky, z nichž jeden vysílá častěji a je určen k měření, druhý méně často je určen k eliminaci driftu měřicího zdroje.

Nejvyšší přesnosti pro provozní měření lze zřejmě dosáhnout u nejkvalitnějších přístrojů (např. firmy Vaisala) v rozmezí ± 3 ppm (anebo ± 1 % z měřené hodnoty) při rozsahu 0 – 1000 ppm, u vyšších rozsahů se tato přesnost snižuje na ± 5 ppm (± 2 %). U méně kvalitních přístrojů může tato chyba být při nižších koncentracích až ± 50 ppm (anebo ± 5 % z měřené hodnoty), při vyšších (někdy už nad 1500 ppm) vzrůstá nad ± 7 %. Výměna plynů v měřicí komoře přístrojů může probíhat buď difúzí, anebo umělou ventilací, kdy je vzduch do komory vháněn přídavným čerpadlem. Vzhledem k tomu, že probíhající změny v koncentracích CO₂ v jeskyních jsou většinou pozvolné, je difusní výměna postačující. Důležitá je pravidelná kalibrace přístrojů, s ohledem na extrémní vlhkostní podmínky by měla být častější, než doporučuje výrobce daného přístroje.

Při návrhu typu a rozmístění jednotlivých snímačů v prostoru jeskyně je podobně jako i u dalších měřených prvků zapotřebí vycházet z cíle měření, kterým může být např. zkoumání ventilace jeskyně, stanovení velikosti jednotlivých zdrojů CO₂, vliv návštěvníků na koncentraci apod. Při zkoumání vlivu návštěvníků je nutno použít přesnější přístroje než např. při studiu ventilace, obdobný ohled se musí vzít v úvahu i při umístění přístrojů. Pokud to podmínky, zejména pak finanční, dovolují, je výhodné použít alespoň dva snímače v různých částech, např. uvnitř a v blízkosti vstupu do jeskyně, popřípadě v prostoru s návštěvníky a ve veřejnosti nepřístupné části.

Při vlastním umístění měřicí části přístroje je nutno si uvědomit, že CO₂ je těžší než vzduch a hromadí se v nejnižších partiích daného prostoru, zejména za situací s malým promícháváním vzduchu, které jsou pro jeskyně typické. Proto je nutno pečlivě volit výšku snímače nad okolním terénem, a v případě více snímačů při plošném monitoringu zajistit, aby byla vždy stejná.

6. Měření atmosférického tlaku vzduchu v jeskyních

Změny tlaku vzduchu v okolní atmosféře jsou vyrovnávány systémem otvorů a puklin v obklopujícím skalním masivu. Zejména v malých a středně velkých systémech a obzvláště ve zpřístupněných jeskyních je toto vyrovnání prouděním vzduchu ve vstupních otvorech a štěrbinách poměrně rychlé. V důsledku toho jsou tlakové rozdíly mezi vnitřním a vnějším prostředím jeskyní malé a postižitelné pouze velmi přesnými snímači. V zahraniční literatuře se uvádí (např. Pflitsch, A. a kol., Dynamic climatologic processes of barometric cave systems using the example of Jewel Cave and Wind Cave in South Dakota, USA, Acta Carsologica, 2010, 39/3, p. 449–462), že nedosahují velikosti 1 hPa a jejich měření je poměrně problematické a vyžadovalo by použití speciálních snímačů. Pro běžné potřeby je proto zcela postačující měření tlaku vzduchu ve vnějším prostředí v příznivějších provozních podmínkách (viz kapitola o měření vnějšího prostředí).

7. Měření proudění vzduchu v jeskyních

Všeobecné požadavky na měření proudění vzduchu:

a) Rozlišovací schopnost snímače: 0,01 m.s⁻¹.

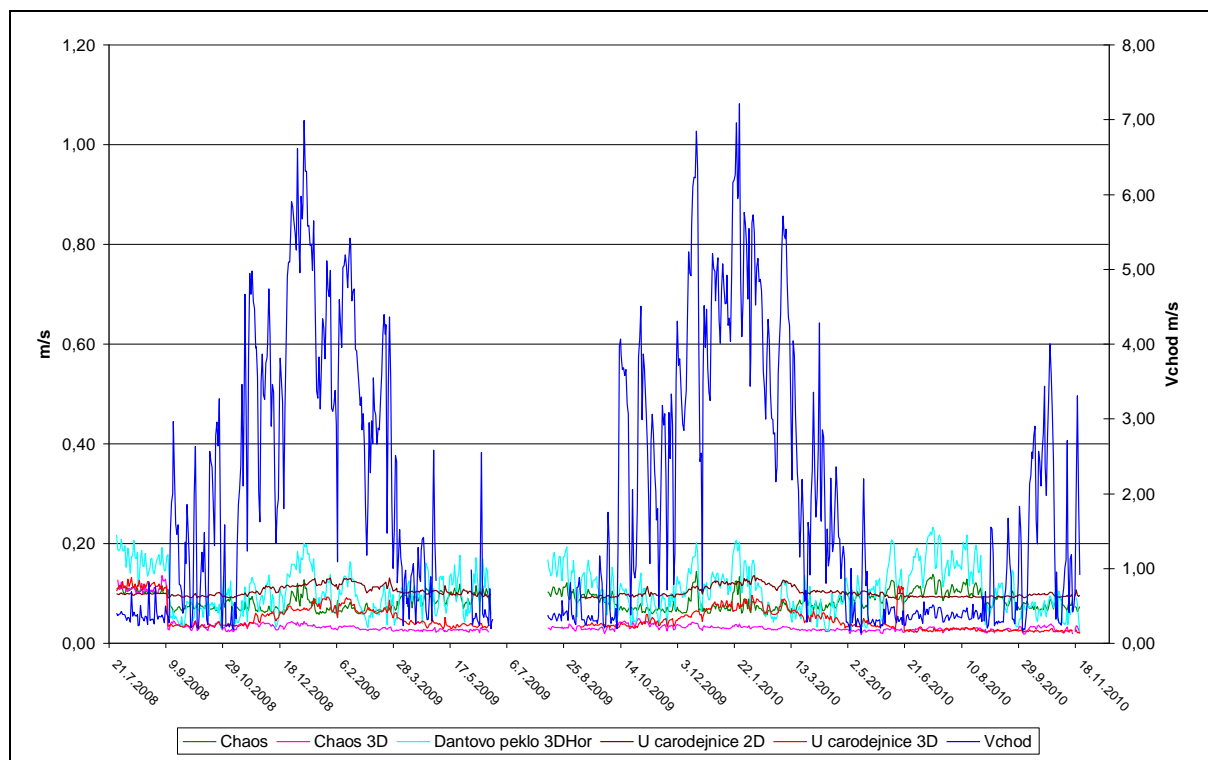
b) Prahová rychlost: 0,05 m.s⁻¹.

c) Přesnost měření: ±2 %.

d) Interval měření: zpřístupněné jeskyně 1 min, nezpřístupněné jeskyně: 10 min.

e) Interval mezi kalibrací snímačů: 1 rok.

Proudění vzduchu je důležitým indikátorem vyrovnávání termobarických polí v jeskynních systémech a ve vnějším prostředí. Tyto tlakové rozdíly mohou vznikat v důsledku změn vnějšího tlaku vzduchu způsobeného synoptickou situací, anebo změnou znaménka rozdílů teplot mezi vnější atmosférou a jeskyní. V závislosti na velikosti objemu, typu jeskyně a jejím propojení s vnějším prostředím se mění i množství vyměňovaného vzduchu. Rychlost proudění v jeskynních prostorách dosahuje relativně malých hodnot, výjimku tvoří zúžená místa propojující jeskyni s okolím (vstupní chodby, komíny apod.), v nichž se v důsledku uplatnění zákona kontinuity rychlost proudění zvyšuje (obr. 17). Proto je zapotřebí k měření proudění vzduchu v jeskyních používat citlivé přístroje. Miskové anebo vrtulové anemometry mají poměrně vysoký práh citlivosti, tj. počáteční rychlost, při níž dojde k rotaci otočných měřicích částí. Ta se pohybuje u kvalitnějších přístrojů od 0,2 m.s⁻¹. Navíc jeskynní prostředí nesvědčí příliš jemné mechanice otočných částí těchto anemometrů. Proto je nutno používat snímače bez otočných částí, založených na jiných principech.



Obr. 17 Průběh denní průměrné rychlosti proudění vzduchu v Kateřinské jeskyni za období 29. 7. 2008 - 22. 11. 2010.

Pro ambulantní měření lze používat termické anemometry, jejichž princip spočívá v tom, že v měřicí sondě je drátek vyhříváný na konstantní teplotu. Prouděním vzduchu se tento drátek ochlazuje, což elektronické obvody anemometru kompenzují zvýšenou dodávkou energie na jeho vyhřívání tak, aby jeho teplota byla konstantní. Množství přidané energie je pak úměrné rychlosti proudění. Anemometry založené na tomto principu umožňují měřit rychlosti proudění již od $0,01 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$. Tyto přístroje jsou určeny pouze pro krátkodobá orientační měření, a nikoliv pro kontinuální záznam, navíc umožňují měřit pouze rychlost proudění, a nikoliv již jeho směr. S jejich pomocí lze v jeskynním systému vytipovat lokality se zvýšenou rychlostí proudění vzduchu a ty pak osadit vhodnými snímači pro dlouhodobá měření.

Mezi nepoužívanější snímače pro měření rychlosti proudění vzduchu v jeskyních patří ultrasonické anemometry (obr. 18). Neobsahují žádné rotační části a jsou složeny z několika dvojic vysílač – přijímač ultrazvukových vln. Pokud jsou tyto dvojice dvě, umístěné v rovině a navzájem proti sobě otočené o 90° , jedná se o 2D anemometr, umožňující měřit směr a rychlost větru v horizontální rovině, podobně jako klasický anemometr s větrnou směrovkou a Robinsonovým křížem. Princip měření je přitom poměrně jednoduchý – nejprve se z vysílače na severní straně (N) vyšle ultrazvukový impuls do vysílače na jižní straně (S) a změří se doba od vyslání k zachycení impulsu. Vzápětí se vyšle impuls opačného směru (z S do N) a opět se změří potřebná doba průchodu vzdáleností mezi vysílači a přijímači. V klidném vzduchu jsou obě tyto doby stejné, v proudícím vzduchu se jedna doba zkracuje a druhá prodlužuje, z čehož lze při znalosti vzdálenosti mezi vysílači a přijímači stanovit rychlost proudění v tomto směru. To stejné se zopakuje i pro pár vysílač – přijímač, orientovaný západovýchodním směrem (W – E), čímž se získají dvě rychlosti v navzájem kolmých směrech, z nichž lze již vypočítat vektor proudění (směr a rychlost). Přidáním třetího páru vysílač – přijímač a změnou jejich rozmístění z roviny do prostorového útvaru se získá 3D anemometr, zaznamenávající i vertikální složku proudění vzduchu. To je důležité zejména při měření v prostorných dómech, v nichž proudění nemusí být vždy horizontální, ale může přicházet z libovolného místa v prostoru.

Anemometry se v jeskynním systému instalují na předem vytipovaná místa s charakteristickým režimem proudění, nejlépe do stejné výšky nad povrchem. Jelikož se měří i směr proudění, je nutno při instalaci zjistit pomocí kompasu sever a natočit značku na anemometru do tohoto směru. V průběhu výzkumu byly nejlepší výsledky získány s pomocí

anemometrů 3D typu USA-1 německé firmy METEK GmbH. O něco horší výsledky v oblasti nejnižších rychlostí, od 0,01 do 0,05 m/s, jsou získány anemometry firmy Gill Instruments, typu WindMaster (3D) a WindObserver (2D).



Obr. 18 Ukázka umístění 2D sonického anemometru v Kateřinské jeskyni.

8. Měření vlhkosti vzduchu v jeskyních

Všeobecné požadavky na měření vlhkosti vzduchu:

a) Rozlišovací schopnost snímače: 0,1 % relativní vlhkosti.

b) Přesnost měření ± 2 % relativní vlhkosti.

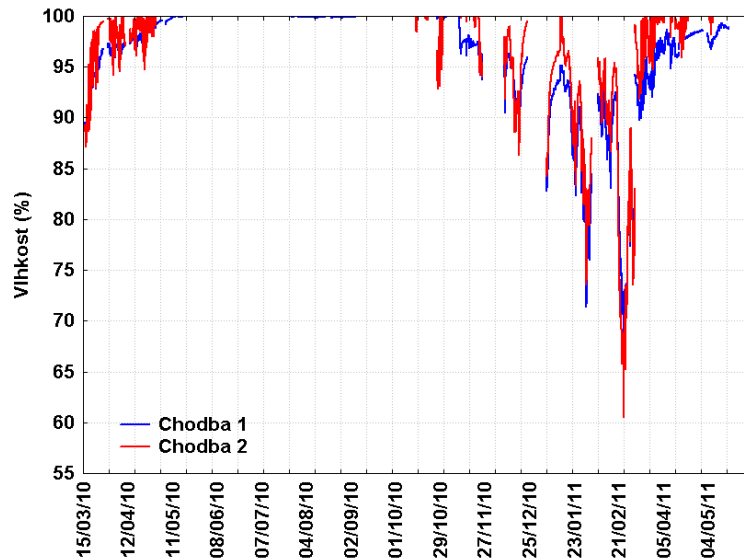
c) Interval měření: zpřístupněné jeskyně 1 min., nezpřístupněné jeskyně max. 1

hod.

d) Interval mezi kalibrací (výměnou) snímačů: 1 rok.

Odpařováním vody v uzavřeném prostoru dochází postupně ke zvyšování koncentrací vodních par až do okamžiku, kdy dosáhnou stavu nasycení a vzduch již není schopen další páry přijmout. Nejinak je tomu i v jeskynních prostorách a záleží pak již jen na velikosti hladiny vodních ploch a ovlhčených povrchů ve vztahu k ventilaci daného prostoru, aby bylo dosaženo konkrétního stavu nasycení vodními parami. Pro jeskyně jsou proto typické poměrně vysoké hodnoty relativních vlhkostí vzduchu (relativní vlhkost – poměr mezi skutečným obsahem vodní páry ve vzduchu a obsahem maximálně možným při dané teplotě, vyjádřený v procentech), avšak i zde se najdou rozdíly. Téměř 100 % vlhkost vzduchu se trvale vyskytuje ve vnitřních částech jeskyní s vlhkými stěnami (typické krápníkové jeskyně) a omezenou výměnou vzduchu. Ve vstupních chodbách a dalších místech, kde je zvýšená výměna vzduchu s venkovním prostředím, jsou tyto vlhkosti nižší a vykazují vyšší dynamiku.

Popsaná situace byla zjištěna např. monitoringem relativní vlhkosti vzduchu v Kateřinské jeskyni v letech 2010 a 2011. Dynamika relativní vlhkosti vzduchu byla zjištěna pouze ve vstupní chodbě během chladné části roku (obr. 19). Vlhkostní čidla ve zbývajících prostorách jeskyně vykazovala trvale 100 % relativní vlhkost vzduchu.



Obr. 19 Dynamika relativní vlhkosti vzduchu ve vstupní části Kateřinské jeskyně.

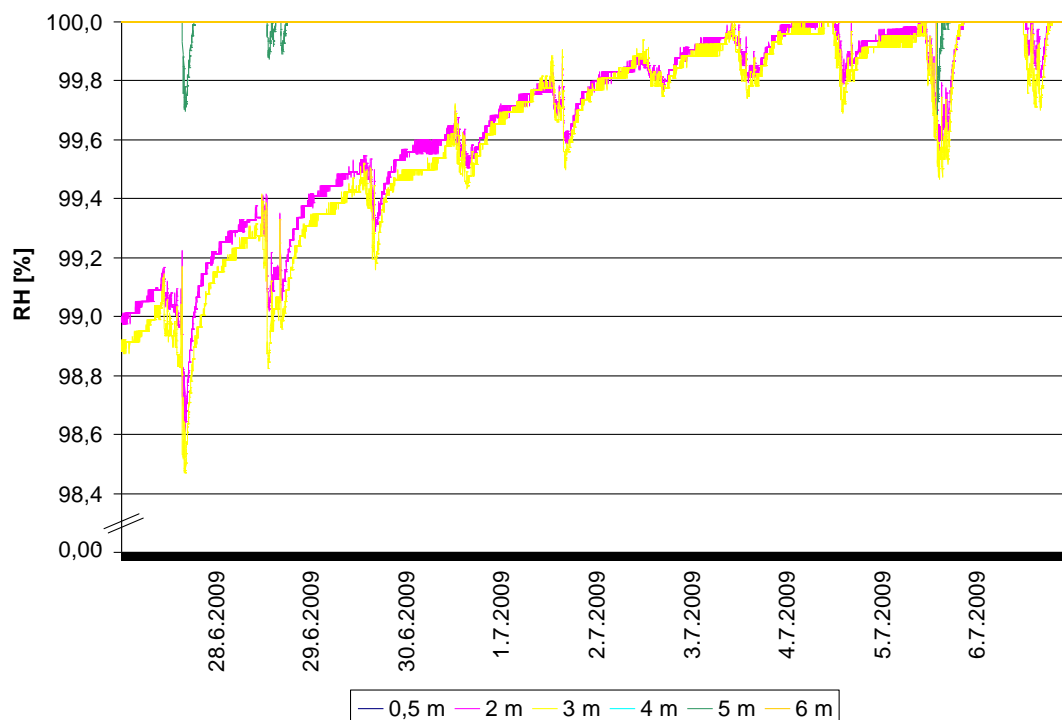
Na území ČR se nachází i jeskyně, v nichž nejsou stěny trvale ovlhčeny (např. jeskyně Na Turoldu), relativní vlhkost je v nich nižší a většinou nedosahuje stavu nasycení po delší dobu, neboť zdrojem vodních par jsou pouze vodní plochy.

Měření vlhkostí vzduchu v jeskyních je poměrně náročné, zejména v těch případech, kdy má jít o dlouhodobé monitorování v těch částech, v nichž se trvale vyskytuje vysoká vlhkost blízká stavu nasycení. Většina používaných metod při vysokých vlhkostech (nad 95 %) již vykazuje menší přesnost, snižující se při dlouhodobé expozici v tomto prostředí. Proto je třeba při výběru metody k měření v daném prostoru vzít v úvahu, nakolik jsou přesné údaje z těchto prostor pro daný záměr důležité a zda-li není postačující zjištění skutečnosti, že v daném prostoru se vlhkost vzduchu trvale pohybuje např. v rozmezí 98 – 100 %. Z obr. 20 je však zřejmé, že i s použitím kapacitního snímače lze zachytit jemné fluktuace vlhkosti vzduchu i v blízkosti stavu nasycení.

Pro většinu případů, kdy je nutno měřit vlhkost vzduchu v prostorách, v nichž nedosahuje trvale stavu nasycení, jsou postačující snímače založené na kapacitním principu. Ten spočívá v tom, že snímač tvoří kondenzátor, jehož dielektrikem je tenká vrstvička materiálu vratně sorbujícího vlhkost z prostředí. Dielektrikum je film polymeru nebo kovového oxidu. Jedna

z elektrod je děrovaná, umožňující okolnímu vzduchu kontakt s dielektrickým filmem. Přestože je množství absorbované vody poměrně malé, díky její velké dielektrické konstantě jsou změny kapacity měřitelné: řádově činí 0,1 % z celkové kapacity na každé % relativní vlhkosti. Kapacitní senzory se vyznačují malou závislostí údaje na teplotě, odolností vůči kondenzaci, dobou odezvy řádu desítek sekund, přesností v jednotkách % relativní vlhkosti, malými rozměry a v neposlední řadě nízkou cenou. Navzdory proklamovaným tvrzením výrobců o dlouhodobé časové stálosti a životnosti těchto senzorů naše praxe ukazuje, že v podmínkách, v nichž vlhkost vzduchu alespoň občas dosahuje stavu nasycení, dochází u používaného dielektrika postupně k nevratným změnám, vedoucím ke snížení citlivosti snímače až k jeho úplnému znehodnocení. Proto platí zásada, že čím je měřené prostředí vlhčí, tím častěji je nutné provádět kalibrace, popřípadě výměnu senzoru za nový, pokud mají být údaje o vlhkosti spolehlivé. Ve venkovním prostředí je životnost těchto snímačů odhadována přibližně na dobu 3 roky, ve vnitřním prostředí jeskyní doporučujeme jejich každoroční výměnu. Senzory nabízející větší přesnost v pásmu od 95 do 100 % vlhkosti (např. výrobky firem Rotronic a Vaisala) jsou obvykle dražší a navíc ani jejich konstrukce se nevyrovnává s problémem kondenzace. Řešením mohou být psychrometrické přístroje s nucenou ventilací měřicí hlavičky, ačkoliv ani ony nejsou využitelné v plném rozsahu, a to zejména s ohledem na rychlé mechanické opotřebování ventilátoru.

Vlhkost vzduchu doporučujeme měřit současně s teplotou pro případné korekce.



Obr. 20 Vlhkost vzduchu v Kateřinské jeskyni (27. 6.-6. 7. 2009) – vertikální profil.

9. Měření meteorologických parametrů vnějšího prostředí

Měření vybraných parametrů vnějšího prostředí je nedílnou součástí monitoringu mikroklimatu jeskyní. Vnější podmínky působí prostřednictvím kondukce a výměny vzduchu na dynamiku jednotlivých parametrů vnitřní atmosféry. Proto je nutno současně s měřením uvnitř jeskyní vybudovat nejméně jednu, lépe však celou síť meteorologických stanic, rozmístěných v členitém krasovém reliéfu a měřicích potřebné prvky. Při vytvoření sítě více stanic se tak současně získají i poznatky o jednotlivých složkách topoklimatu daného území.

Při umísťování stanic je zapotřebí vybrat taková místa, která jsou typická pro příslušný tvar reliéfu (žleb, náhorní rovina, údolí apod.), popřípadě se nacházejí v blízkosti monitorované jeskyně. Velká rozmanitost terénních útvarů v krasovém území vede v některých případech rovněž i ke značným rozdílům v měřených meteorologických prvcích a jejich dynamice.

V ojedinělých případech, kdy je předmětem zájmu pouze jeden prvek (např. teplota, popř. i vlhkost vzduchu), je možno instalovat na dané místo pouze malý registrátor („datalogger“), zaznamenávající tyto veličiny.

Jelikož většina měřených prvků vykazuje změny s nadmořskou výškou, je důležité po instalaci měřicích systémů zaznamenat nejen jejich přesnou geografickou polohu, ale též i nadmořskou výšku.

9.1. Měření teploty vzduchu vnějšího prostředí

Všeobecné požadavky na měření teploty vnějšího vzduchu:

a) Rozlišovací schopnost snímače: 0,1 °C.

b) Přesnost měření: $\pm 0,2$ °C.

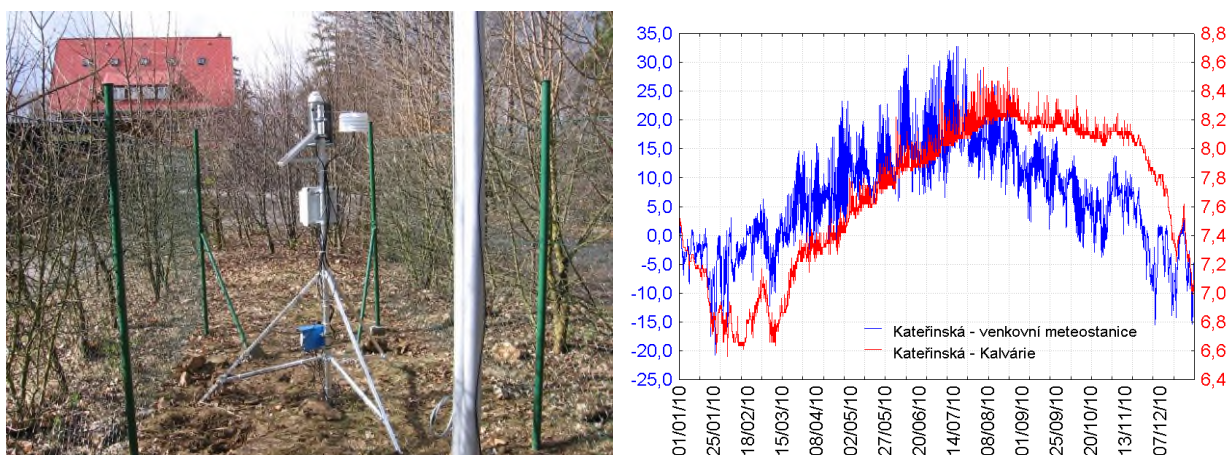
c) Interval měření: 10 min.

d) Interval mezi kalibrací snímačů: 2 roky.

Pro kvantifikaci vlivu vnějšího klimatu na teplotní poměry jeskyně je nezbytný monitoring teploty vně monitorovaných jeskynních prostor. S ohledem na specifika krasových území optimální lokalizace měřicího zařízení dle standardů ČHMÚ pro zakládání a provoz meteorologických stanic není. Respektovány by měly být místní poměry a podmínky (obr. 21) a čidla umístěna na mikroklimaticky reprezentativní místa (bez případných vlivů staveb, zdrojů tepla apod.).

S ohledem na dynamiku teplot až desítek °C v průběhu dne či v kratším časovém horizontu (obr. 22) lze ideálně doporučit desetiminutový interval měření teplot vzduchu. Jsou tak

zaznamenány výkyvy i extrémy vnějších teplot, které mají výrazně dynamičtější charakter než v uzavřených jeskynních systémech. Navíc hodnoty v 10minutovém intervalu lze srovnat s výstupy z měření okolních klimatologických stanic ČHMÚ, kde monitoring teploty probíhá právě v desetiminutovém intervalu. Pokud není měření teploty vzduchu součástí komplexnějších měření pomocí meteorologické stanice, jsou vhodným zařízením pro uvedené účely outdoorová čidla s dataloggerem s vlastním zdrojem energie s rozlišením měření minimálně 0,1 °C. V současnosti jsou uvedené přístroje cenově dostupné, uživatelsky přívětivé a jejich použití se tak jeví jako bezproblémové.



Obr. 21 (vlevo) Venkovní meteostanice v podmínkách reprezentujících mikroklima prostředí.
Obr. 22 (vpravo) Průběh teploty vzduchu v interiéru a exteriéru Kateřinské jeskyně v roce 2010.

Ať je již k měření teploty venkovního vzduchu použit samostatný datalogger anebo je součástí měření v rámci souboru přístrojů meteorologické stanice, vždy musí být snímač umístěn v radičním stínítku, kde je chráněn před přímým dopadem slunečních paprsků, dešťových srážek, ale současně je zajištěno volné proudění vzduchu.

9.2. Měření vlhkosti vzduchu vnějšího prostředí

Všeobecné požadavky na měření vlhkosti vzduchu:

- a) Rozlišovací schopnost snímače: 0,5 % relativní vlhkosti.
- b) Přesnost měření ± 2 % relativní vlhkosti.
- c) Interval měření: 10 min.
- d) Interval mezi kalibrací (výměnou) snímačů: 2 roky.

Ve vnějším prostředí relativní vlhkost vzduchu kolísá v podstatně větší míře než uvnitř jeskyní. V nočních a ranních hodinách se za příznivých situací přibližuje hodnotě 100 %, nejnižší hodnoty, kolem 30 %, bývají zaznamenávány v jarním období při výraznějších vzestupech teplot v průběhu dne. Dynamika změn v průběhu dne i v delším časovém horizontu úzce souvisí s dostupností vody k vypařování, energetickou bilancí a výměnou vzduchových hmot v dané lokalitě. V úzkých zastíněných žlebech, protékaných krasovými toky, jsou tyto změny menší a jsou zde dosahovány vyšší hodnoty vlhkosti vzduchu oproti krasovým plošinám, popřípadě širším údolím.

Pro měření vlhkosti vzduchu vnějšího prostředí lze bez problémů s dostatečnou přesností použít běžně dostupné kapacitní snímače. Pouze v extrémnějších případech, kdy jsou zaznamenávány déle trvající epizody vyšších hodnot (při měření ve žlebech, na dně propastí apod.) doporučujeme, pokud má být měření spolehlivé, častější výměnu a kalibraci než jsou uváděné dva roky.

Podobně jako při měření teploty vzduchu je nutno snímač opatřit vhodným stínítkem proti slunečnímu záření a vertikálním srážkám.

9.3. Měření atmosférických srážek

Všeobecné požadavky na měření atmosférických srážek:

- a) Rozlišovací schopnost snímače: 0,3 mm.**
- b) Přesnost měření ± 10 %.**
- c) Interval měření: 10 min.**
- d) Interval mezi kalibrací snímačů: 2 roky.**

Atmosférické srážky hrají významnou úlohu při vzniku a vývoji celého krasu a krápníkové výzdoby jednotlivých jeskyní. Zasakující srážková voda po nasycení oxidem uhličitým, obsaženým v půdě, rozpouští uhličitán vápenatý v krasových horninách a opětovně jej za příhodných podmínek vylučuje uvnitř jeskynních prostor. Při značné propustnosti zvětralých krasových hornin výraznější srážky velmi rychle zvedají hladiny v podzemních tocích a v závislosti na ročním období mění rychle jejich teplotu, což se může v některých případech projevit i v teplotě vzduchu uvnitř jeskyně. Jelikož zejména v letním období je plošné rozdělení srážek značně nerovnoměrné, je vhodné instalovat více měřicích míst na celém povodí zkoumaných krasových toků. K poznání všech těchto vzájemných souvislostí je zapotřebí mít k dispozici údaje o velikosti i podrobnějším časovém výskytu jednotlivých

srážkových epizod. Doporučovaný časový interval měření 10 minut umožňuje stanovovat i intenzitu deště využitelnou při těchto studiích.

Pro měření srážek k výše popsaným účelům plně postačují člunkové srážkoměry, v nichž přitékající srážková voda z nálevky postupně naplňuje člunek. Jakmile toto množství dosáhne určité velikosti, dojde k překlopení člunku a jeho vyprázdnění, přičemž se sepne kontakt a vyšle impuls do záznamové jednotky. Počet těchto impulsů za časovou jednotku po vynásobení množstvím srážek, potřebných k překlopení člunku, udává jejich celkové množství.

V zimním období při poklesu teploty pod bod mrazu tyto srážkoměry bez instalace vytápění neměří, možnost vytápění je limitována dostupností přívodu el. energie z rozvodné sítě.

Provoz člunkových srážkoměrů vyžaduje pravidelné čištění záchytné plochy i dalších případných sítěk umístěných v cestě ke člunku. Rovněž nečistoty, usazené v člunku, zvyšují jeho hmotnost a tím vnášejí systematickou chybu do měření. Doporučená perioda čištění se velmi různí v závislosti na ročním období (pyl z okolních stromů na jaře, spadané listí na podzim) a na okolním prostředí (prašné cesty, okolní stromy apod.).

9.4. Měření tlaku vzduchu

Všeobecné požadavky na měření tlaku vzduchu:

- a) Rozlišovací schopnost snímače: 0,1 hPa.**
- b) Přesnost měření $\pm 2 \%$ hPa.**
- c) Interval měření: 10 min.**
- d) Interval mezi kalibrací snímačů: 2 roky.**

Tlak vzduchu hraje důležitou roli při ventilaci jeskynních systémů. Tyto systémy jsou prostřednictvím nejrůznějších otvorů propojeny s okolní atmosférou, a tak dochází většinou k poměrně rychlému vyrovnání tlaků v jeskyni a venkovním prostředí za vzniku proudění vzduchu. Proto je postačující měření tlaku vzduchu vně jeskyní, kde nejsou natolik extrémní podmínky. Při vzniku těchto proudění je důležitější než sama absolutní velikost tlaku vzduchu jeho časová změna. Proto je zapotřebí tlak měřit a registrovat poměrně často, nejlépe v uvedeném desetiminutovém intervalu, aby bylo možno postihnout i lokální krátkodobé změny, vznikající při přechodu jednotlivých frontálních systémů, popřípadě při bouřkové činnosti.

K měření tlaku vzduchu existuje dnes již celá řada elektronických snímačů založených na nejrůznějších principech. Musí se jednat o snímače měřící absolutní tlak, tzn. že obsahují vakuovanou komůrku uzavřenou pružnou membránou, jejíž průhyb je převáděn vhodnou metodou na některou z elektrických veličin. Pokud není snímač tlaku vzduchu součástí systémů meteorologických stanic, existují i záznamníky tlaku vzduchu určené pro vnitřní prostředí, které je nutno umístit v místnosti nedaleko sledované jeskyně.

9.5. Měření koncentrací CO₂ ve vnějším prostředí

Všeobecné požadavky na měření koncentrace CO₂:

a) Rozlišovací schopnost snímače: 1 ppm.

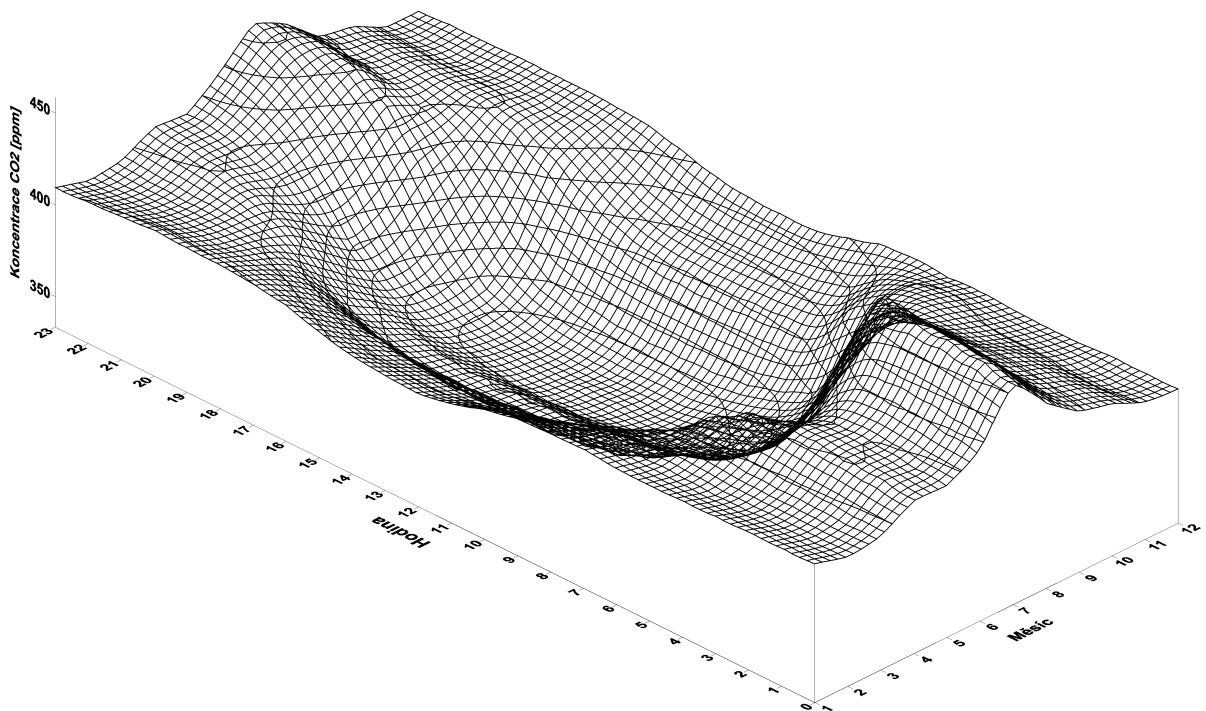
b) Přesnost měření: ± 3 ppm.

c) Interval měření: 10 min.

d) Interval mezi kalibrací snímačů: 2 roky.

Aby bylo možno porovnávat koncentrace CO₂ v jeskyních s koncentracemi ve vnější atmosféře, je nutno provádět i jeho měření na povrchu. Koncentrace CO₂ ve vnějším prostředí dosahují předvídatelných koncentrací a většinou se pohybují v rozmezí 250 – 600 ppm (obr. 23). Největší proměnlivost je zaznamenávána v letním období, kdy v období maximální fotosyntézy v poledních hodinách koncentrace dosahují minimálních hodnot, naproti tomu maximální koncentrace se vyskytují v období východu Slunce, kdy dochází k největšímu nahromadění produktů respirace v přízemní atmosféře.

Vzhledem k relativně nízkým koncentracím oproti jeskynnímu prostředí a relativně malému kolísání je zapotřebí pro monitorování vnějších koncentrací CO₂ používat přesnější a citlivější snímače (obr. 24). Jsou opět založeny na měření absorpce infračerveného záření při průchodu daným prostředím s obsahem CO₂. Snímače je nutno umístit do standardní výšky 2 m nad terénem, kde již převládá turbulentní proudění a koncentrace CO₂ jsou rovnoměrnější oproti poměrům těsně při zemi.



Obr. 23 Průměrný denní a roční chod koncentrací CO₂ ve Sloupu v Moravském krasu.



Obr. 24 Snímač koncentrací CO₂ od firmy Vaisala, chráněný před povětrnostními vlivy stříškou z nerezového plechu.

10. Sběr a analýza dat

Analýza dat z monitorovacích systémů instalovaných v Punkevních jeskyních a v Kateřinské jeskyni potvrdila, že optimálním intervalem pro většinu mikroklimatických měření ve zpřístupněných jeskyních je měření v minutovém intervalu. V jeskyních nezpřístupněných může být interval delší – 10, 15, 30 nebo maximálně 60 minut.

Shromažďování dat by mělo být prováděno na základě databázového systému (komerčního např. „Oracle Database“ nebo „open source“ např. „MySQL“, „PostgreSQL“), instalovaného v centrálním počítači (sběr dat pomocí přenosových kabelů nebo wifi - v případě počítače instalovaného u jeskyně nebo posílání dat přes internet - v případě počítače lokalizovaného ve větší vzdálenosti od jeskyně). Navíc je vhodné, aby každé stanoviště disponovalo nezávislým paměťovým modulem o kapacitě umožňující minimálně měsíční samostatnou registraci. Tato varianta je velmi důležitá v případě problémů s přenosem dat přes internet, poruch centrálního počítače, poruch integrity sítě apod. Pro menší objemy naměřených dat (zejména z outdoorových čidel s dataloggerem a s vlastním zdrojem energie) je možné použít pro jejich zpracování i aplikaci MS Excel nebo podobné aplikace.

V případě integrované sítě by měl být zápis dat z měřicích stanovišť na server prováděn tak často, jak jen to umožňují parametry komunikačních zařízení (optimálně po každém minutovém měření). V případě sítě využívající nezávislá čidla je nutné importovat data do databáze okamžitě po jejich odečtení z loggerů.

Data by měla být uložena v databázi ve formě rekordů, zahrnujících všechny měřené veličiny a datum a čas pro každé měření. Kromě zápisu v databázi by data měla být uložena ve formě záložních kopií – nejlépe v jednotlivých textových souborech, zahrnujících např. výsledky registrace z jednoho dne. Zkušenost ukazuje, že tento formát náhradních kopií značně usnadňuje kopírování, přenos a opětovnou integraci dat v případě poruchy (důležitá je především malá velikost textových souborů a jednoduchost importu do všech programů sloužících pro zpracování a správu dat).

Interface databáze by měl umožňovat oprávněným uživatelům přístup online. Měl by také nabízet možnost grafického a textového prohlížení všech naměřených veličin jak běžících, tak také archiválních. Volitelný interface může rovněž nabízet funkce základní agregace dat (především hodinové, denní, měsíční a roční průměry, extrémy, četnosti aj.) a zápis či export výsledků agregace a surových dat. Vhodná je rovněž funkce umožňující opravu dat (odstraňování chybných výsledků, uvádění korekčních koeficientů apod.). V případě použití této funkce je třeba zajistit, aby opravená data byla uložena v odlišné databázi nebo tabulce a nenahrazovala naměřená data.

Základním obdobím, pro které se provádí zpracování, agregace a analýza materiálů, by měl být hydrologický rok (období od začátku listopadu do konce října následujícího roku), nebo období od prosince (začátek klimatologické zimy) do listopadu (konec klimatologického podzimu). S přihlédnutím k výrazné sezónní proměnlivosti mikroklimatu jeskyní a k silné závislosti stavu atmosféry jeskyně v daném čase na dřívějších situacích mohou analýzy provedené

pro kalendářní rok zkreslovat skutečné vztahy v mikroklimatickém prostředí jeskyně a vést k falešným závěrům. Příkladem mohou být výpočty průměrné roční teploty vzduchu v jeskyni. Tato veličina, vypočítaná pro hydrologický rok, ilustruje vztahy mezi zimním vychlazením jeskyně a jejím letním oteplením a je podstatným indexem pro hodnocení energetické bilance jeskyně v měřítku analyzovaného období. V případě výpočtů provedených pro kalendářní rok není získání takové informace možné (průměr ovlivňují data ze dvou po sobě následujících sezón).

11. Možnosti aplikace metodiky

Možnosti aplikace metodiky jsou uvedeny v následující tabulce:

Měřená veličina	Metody měření	Získané informace	Interpretační možnosti a aplikace výsledků
Teplota vzduchu a jiných složek jeskynního prostředí (vody, skalní stěny aj.)	Orientační měření Základní monitoring	Poznání termických podmínek v jeskyni (průměrná teplota, amplituda teploty, prostorové rozložení teploty v horizontálních profilech, vertikální stratifikace termické atmosféry jeskyně); Zjištění dynamiky změn teploty v jeskyni (sezónní změny, denní rytmus, jiné neperiodické změny)	Hodnocení směru toku energie mezi jednotlivými komponenty jeskynního prostředí; Hodnocení energetické bilance jeskyně; Vyznačení mikroklimatických zón jeskyně; Hodnocení antropogenního vlivu na termické podmínky v jeskyni (vliv turistického provozu, vliv změn v morfologii jeskyně – např. zpřístupňovací práce); Nepřímá interpretace dynamiky výměny vzduchu a změn vlhkostních parametrů vzduchu v jeskyni; Vstupní data pro modelování termických podmínek a jiných mikroklimatických charakteristik v jeskyních a jiných podzemních systémech
Pohyb vzduchu	Orientační měření Základní monitoring	Zjištění rychlosti proudění vzduchu v jeskyni; Identifikace cest proudění vzduchu v jeskyni, zejména v kontextu výměny vzduchu v soustavě jeskyně – okolí; Zjištění strukturální diferenciacce proudění vzduchu ve vertikálních profilech domů a chodeb; Zjištění procesů toku vzdušných mas v izolovaných částech jeskyně (mimo oblast cirkulační výměny vzduchu mezi jeskyní a jejím okolím)	Popis cirkulačního mechanismu jeskyně; Popis necirkulačních činitelů, ovlivňujících proudění vzduchu v jeskyni (svázaných např. s procesy výměny energie v jeskynním prostředí); Popis energetické bilance; Hodnocení antropogenního vlivu na proces ventilace jeskyně (týká se především následků morfologických změn, způsobených zpřístupňovacími pracemi); Hodnocení intenzity procesů ventilace jeskyně; Vstupní data pro modelování

			termických podmínek a jiných mikroklimatických charakteristik v jeskynních a jiných podzemních systémech; Informace o charakteru ventilačních procesů v jeskyni mohou být využity pro zpracování posudků spojených s bezpečností práce v přírodních a umělých podzemních systémech
Vlhkostní parametry vzduchu	Orientační měření Základní monitoring	Zjištění vlhkostních podmínek v jeskyni (relativní vlhkost, obsah vodní páry ve vzduchu, rosný bod); Zjištění prostorové diferenciace vlhkostních podmínek v jeskyni; Zjištění dynamiky změn vlhkostních podmínek v jeskyni.	Vyznačení mikroklimatických zón jeskyně; Stanovení závěrů ohledně procesů množství a intenzity výparu a kondenzace uvnitř jeskyně; Hodnocení dodávky latentního tepla do klimatického systému jeskyně (energetická bilance jeskyně); Vstupní data pro modelování mikroklimatických charakteristik v jeskynních a jiných podzemních systémech
Složení vzduchu	Orientační měření Základní monitoring	Zjištění kvantitativních a kvalitativních charakteristik složení jeskynního vzduchu; Zjištění dynamiky změn složení jeskynního vzduchu; Zjištění prostorové diferenciace složení jeskynního vzduchu.	Hodnocení antropogenního vlivu na prostředí jeskyně (dodávka antropogenního CO ₂); Monitoring stupně ohrožení lidí zdržujících se v podzemním systému (detekce zvýšené koncentrace radonu, CO ₂ a další); Nepřímé posouzení dynamiky procesu ventilace jeskyně; Stanovení koeficientu ventilace jeskyně
Tlak vzduchu	Orientační měření Základní monitoring	Stanovení barických podmínek uvnitř jeskyně; Stanovení barického gradientu v sestavě jeskyně – okolí	Stanovení závěrů o směru a intenzitě výměny vzduchu v sestavě jeskyně – okolí (týká se především barometrických jeskyní); Vstupní data pro ventilační modely jeskyně
Složení speleo-aerosolu	Mobilní měření Periodická měření	Rozpoznání kvantitativních a kvalitativních charakteristik složení jeskynního vzduchu; Zjištění změn dynamiky složení jeskynního vzduchu; Zjištění prostorové diferenciace složení jeskynního vzduchu	Stanovení parametrů kvality vzduchu pro speleoterapeutické účely; Stanovení antropogenního vlivu (zavlečení tuhých částic) na jeskynní ekosystém a podmínky zachování památkových objektů uvnitř jeskyně (např. malby na skalách, archeologické svědectví apod.)
Intenzita výparu, kondenzace, sublimace a resublimace (v ledových jeskyních)	Periodická měření (často v rámci základního monitoringu)	Zjištění rychlosti a množství výparu a kondenzace v jeskyni; Zjištění prostorové diferenciace intenzity procesů výparu a kondenzace v jeskyni; Zjištění dynamiky procesů výparu a kondenzace v jeskyni	Stanovení dodávky latentního tepla do klimatického systému jeskyně (energetická bilance jeskyně); Stanovení intenzity koroze krápníkové výzdoby; Stanovení antropogenního vlivu na jeskynní ekosystém (vliv vodní páry z lidského dechu a přísun tepla spojeného s turistickým provozem)
Průtok nebo výška hladiny vody v podzemních tocích	Periodická měření Základní monitoring	Zjištění rozsahu změn kolísání výšky hladiny jeskynních vod; Stanovení dynamiky změn výšky hladiny a průtoku jeskynních vod	Stanovení reakce jeskynního mikroklimatického systému na změny výšky hladiny jeskynních vod a rychlosti průtoku vody (např. změny termických podmínek, změny

			průběhu výměny vzduchu, změny složení vzduchu); Stanovení energetické bilance jeskyně (přísun tepla z tekoucí vody); Zpracování charakteristik hydrologického systému jeskyně; Zajištění bezpečnostních podmínek pro jeskyni (např. včasné varování před záplavami)
Tempo přírůstku a ubývání jeskynního ledu	Periodická měření (často v rámci základního monitoringu)	Zjištění dynamiky a množství přírůstku a ubývání jeskynního ledu; Zjištění prostorové diferenciace přírůstku a ubývání ledu v oblasti jeskyně	Vyznačení klimaticko-ledových zón v jeskyních s ledovou výplní (zóna s ledem po celý rok, zóna se sezónním ledem, zóna epizodického výskytu ledových forem); Stanovení bilance masy jeskynního ledu; Stanovení energetické bilance jeskyně (příchod tepla fázových přeměn)

12. Literatura

Hájek, L., Fastej, P. (1977): Důlní záchranářství, SNTL, Praha.

Jakál, J. a kol. (1982): Praktická speleologie, Osveta, Martin.

Musil, R. a kol. (1993): Moravský kras - labyrinty poznání, Mavel, Brno.

Quitt, E. (1982): Mikroklimatické poměry jeskyní Moravského krasu, Československý kras 32, Academia, Praha.

Hebelka, J. (1995): Metodika jednotného monitorování zpřístupněných jeskyní 1. část - monitoring mikroklimatických poměrů, AOPK ČR Praha.

Autoři: Jiří Hebelka, RNDr. Tomáš Litschmann, Mgr. Magdalena Korzystka, Dr. Jacek Piasecki, RNDr. Ing. Jaroslav Rožnovský, CSc., PhD., Mgr. Tymoteusz Sawiński, Ing. Tomáš Středa, Ph.D., Ing. Hana Středová, Ph.D.

Název: Metodika monitoringu mikroklimatických poměrů v jeskynních systémech

Vydal:

Sazba a tisk:

Náklad:

Kontakt na autory:



© Správa jeskyní České republiky



Vydala Správa jeskyní České republiky

2011