

## MIKROKLIMA MACOCHY A PUNKEVNÍCH JESKYNÍ

Jaroslav Rožnovský<sup>1</sup>, Tomáš Litschmann<sup>2</sup>, Petra Fukalová<sup>3</sup>, Hana Pokladníková<sup>4</sup>,  
Tomáš Středa<sup>5</sup>

### Abstrakt

Jeskyně představují výjimečné přírodní prostředí, které morfologií a uzavřeností určuje specifické mikroklimatické poměry v podzemních prostorách. Monitorování jednotlivých parametrů kryptoklimatu patří v současné době již k běžným postupům prováděných ve většině veřejně přístupných jeskyní u nás i v zahraničí. Cílem tohoto monitoringu bývá snaha sladit množství návštěvníků v jednotlivých skupinách a frekvenci vstupů tak, aby nedocházelo k výraznějšímu ovlivnění tohoto kryptoklimatu a narušení ekologické stability jeskynního systému. Kromě návštěvníků však hodnoty meteorologických veličin ovlivňuje do jisté míry i okolní prostředí. Mezi ním a jeskynním prostředím dochází k výměně hmoty a energie prostřednictvím jednotlivých toků, jejichž směr a velikost je dána jejich gradienty. Je proto zřejmé, že je nutno kromě monitorování vnitřního prostředí provádět i měření parametrů venkovního prostředí v okolí jeskyní. Naměřené hodnoty klimatických prvků z různých míst krasového území lze kromě poznání vzájemných vazeb mezi vnitřním a vnějším prostředím využít i k bližšímu poznání mezoklimatických podmínek jednotlivých biotopů typických pro krasový reliéf. V Punkevních jeskyních probíhá od roku 1997 stacionární měření teploty vzduchu, vlhkosti vzduchu, tlaku vzduchu, rychlosti a směru proudění vzduchu, koncentrace CO<sub>2</sub> a teploty skalního masivu v hloubce 30 cm. Pro zajištění souběžného měření venkovního prostředí byly v rámci projektu zřízeny v roce 2008 meteorologické stanice: Macocha, Punkevní jeskyně, Výtok Punkvy, Sloup a Ostrov. Punkevní jeskyně je nejvíce navštěvovanou jeskyní Moravského krasu. Na základě dosavadních měření je průkazné, že teplota vzduchu v jeskyni je ovlivněna návštěvností, i když dochází ke zvýšení o několik desetín stupně v době návštěv.

**Klíčová slova:** jeskyně, kryptoklima, monitoring

### 1. Úvod

Jeskyně mají v porovnání s volnou krajinou nižší denní i roční amplitudy teploty vlhkosti vzduchu, velmi často je zde vyšší relativní vlhkost vzduchu a patrný roční, případně i denní chod rychlosti i směru větrného proudění a s tím vším spojený proměnlivý většinou nízký výpar.

Mikroklima jeskyní ovlivňuje hlavně tvar a velikost podzemních prostor, vzdálenost, počet a poloha vchodů spojených s vnějším prostředím a hydrologické poměry (teplota podzemních toků, délka protékaných prostor, množství prosakující vody, vlhkost jeskynních stěn). Podrobná znalost mikroklimatických poměrů jeskyní poskytuje cenné informace nezbytné k řešení otázek intenzity krasování, rozšíření rostlinných a živočišných druhů apod. (MUSIL a kol., 1993).

---

<sup>1</sup> Český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno, Kroftova 43 Brno 616 67, E-mail: roznovsky@chmi.cz

<sup>2</sup> AMET - sdružení Litschmann & Suchý, Žižkovská 1230, 691 02 Velké Bílovice, E-mail: amet@email.cz

<sup>3</sup> Český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno, Kroftova 43 Brno 616 67, E-mail: fukalova@chmi.cz

<sup>4</sup> Český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno, Kroftova 43 Brno 616 67, E-mail: hana.pokladnikova@chmi.cz

<sup>5</sup> Český hydrometeorologický ústav, pobočka Brno, Kroftova 43 Brno 616 67, E-mail: tomas.streda@chmi.cz

Krasový reliéf představuje poměrně různorodou mozaiku geomorfologických tvarů, vyskytujících se většinou na relativně malém území. K tomu přistupuje i výskyt víceméně rozsáhlých podzemních dutin, do určité míry propojených s okolní atmosférou. Nejinak je tomu i v Moravském krasu, rozkládajícím se severovýchodně od Brna v pásu širokém 3 – 5 km a dlouhém cca 24 km. Je tvořen střednodevonskými až svrchnodevonskými vápenci s rozsáhlými plošinami zbrázděnými hlubokými, korytovitými i kaňonovitými, většinou suchými údolími.

Moravský kras leží v mírně teplé klimatické oblasti. Podle klasifikace „Klimatické oblasti ČSSR“ (QUITT, 1971) má jižní část dlouhé, teplé a mírně suché léto, krátké přechodné období s mírně teplým jarem a podzimem. Zima je krátká, mírně teplá, velmi suchá s krátkým trváním sněhové pokrývky. Střední část krasu má léto normálně dlouhé až krátké, mírné až mírně chladné a suché až mírně suché. Přechodné období je normální až dlouhé s mírným jarem i podzimem. Zima je normálně dlouhá, mírně chladná, suchá až mírně suchá s normálním až krátkým trváním sněhové pokrývky. Severní část krasového území má léto krátké, mírné až mírně chladné a suché až mírně suché. Přechodné období je zde normální až dlouhé s mírným jarem i podzimem. Zima je normálně dlouhá, mírná až mírně chladná, suchá až mírně suchá.

Jestliže z geomorfologického a speleologického hlediska je Moravský kras poměrně dobře probádán, nedá se to říci o klimatologických, zvláště pak topoklimatologických až mikroklimatologických poměrech, panujících v jednotlivých geomorfologických útvarech a o jejich vztahu ke kryptoklimatu jeskyní. Proto byla na začátku roku 2008 vybudována v rámci projektu „Stanovení závislosti jeskynního mikroklimatu na vnějších klimatických podmínkách ve zpřístupněných jeskyních ČR“ síť několika stanic, měřících základní meteorologické prvky – teplotu a vlhkost vzduchu, úhrn srážek, směr a rychlost větru, globální záření, tlak vzduchu, vlhkost a teplotu půdy (LITSCHMANN, ROŽNOVSKÝ, 2008).

Součástí jeskynního komplexu CHKO Moravský kras jsou Punkevní jeskyně, které jsou vývěrovou větví hydrografického systému Punkvy a součástí nejdelší jeskynní soustavy v ČR – Amatérské jeskyně (33 km). Do Punkevních jeskyní ústí také světově proslulá propast Macocha, hluboká 187,5 m (ZAJÍČEK A KOL., 2007).

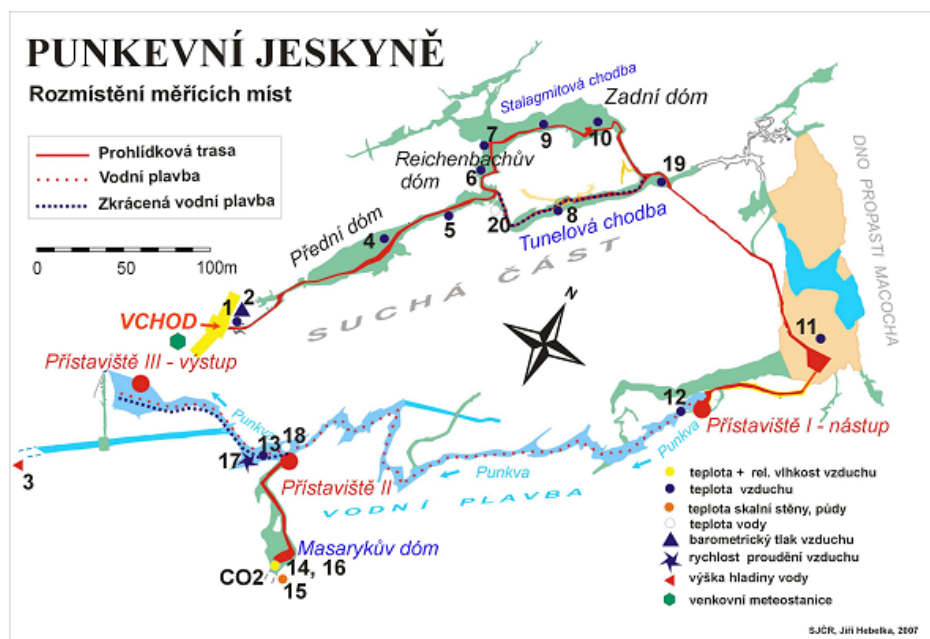
K měření jeskynního mikroklimatu se využívá stacionárního a ambulantního měření. Na vybraných lokalitách probíhá stacionární měření teploty vzduchu, vlhkosti vzduchu, tlaku vzduchu, rychlosti a směru proudění vzduchu, koncentrace CO<sub>2</sub> a teploty skalního masivu v hloubce 30 cm. Základní výška měření je 1 m nad povrchem. Přenos dat je zajištěn pomocí datalogerů. Stacionární měření je doplněno měřením ambulantním. V jeho rámci jsou prováděna vertikální měření teploty, vlhkosti a proudění vzduchu. K měření se používají stejné přístroje jako pro stacionární měření. Pro všechna měření je zvolen interval měření 1 minuta. Jak prokázala analýza dosavadních měření, jen při tomto intervalu je možné podchytit změny v hodnotách meteorologických prvků.

## **2. Vyhodnocení měření mikroklimatu Macochy a Punkevních jeskyních**

### **2.1 Stanovení režimu proudění vzduchu a teplotního a vlhkostního režimu systému Punkevních jeskyní**

V Punkevních jeskyních byl roku 1997 zřízen systém měření mikroklimatu, které je zajišťováno Správou jeskyní ČR.

Klimatologická měření v Punkevních jeskyních jsou prováděna v minutovém kroku na stanovištích uvedených v Tab. 1 rozmístění stanovišť je uvedeno na Obr. 1.

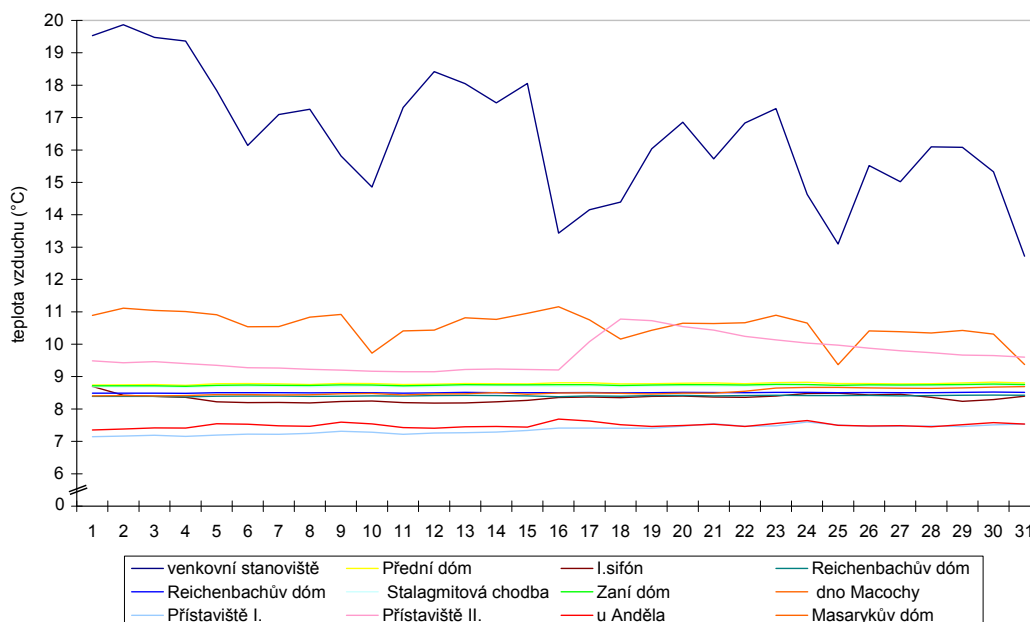


Obr. 1: Rozmístění měřicích stanovišť v Punkevní jeskyni

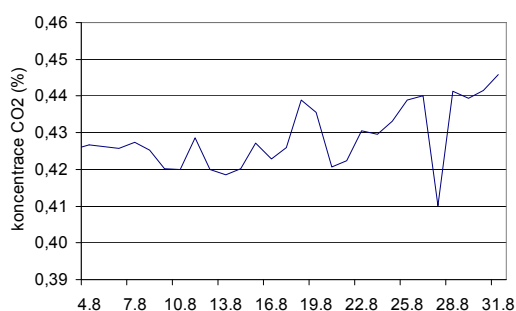
Tab. 1: Měřicí stanoviště v Punkevní jeskyni

Stanoviště	Kód	Měřená veličina	Popis
1	T_VEN	teplota vzduchu	venkovní stanoviště
2	P_VEN	barometrický tlak	venkovní stanoviště
3	PRUTOK	výška hladiny	venkovní stanoviště - limnigr. stanice ČHMÚ
4	T_PREDNI	teplota vzduchu	Přední dóm
5	T_SIFON	teplota vzduchu	I. sifon
6	T_REICH_SP	teplota vzduchu	Reichenbachův dóm
7	T_REICH_H	teplota vzduchu	Reichenbachův dóm
8	T_TUNEL	teplota vzduchu	Tunelová chodba
9	T_STALAG	teplota vzduchu	Stalagmitová chodba
10	T_SNEZKA	teplota vzduchu	Zadní dóm
11	T_DNO	teplota vzduchu	venkovní stanoviště - dno Macochy
12	T_PRIST1	teplota vzduchu	Přístaviště I.
13	T_PRIST2	teplota vzduchu	Přístaviště II.
14	T_MAS_VZ	teplota vzduchu	Masarykův dóm
15	T_MAS_ST	teplota skalní stěny	Masarykův dóm
16	VLHKOST	relativní vlhkost	Masarykův dóm
17	PRUVAN	rychlost proudění vzduchu (m/s)	IV. Pohádkové jezírko
18	T_P_M_D	teplota vody	IV. Pohádkové jezírko
19	T_ANDEL	teplota vzduchu	u "Anděla"
20	T_SIFON2	teplota vody	II. sifon

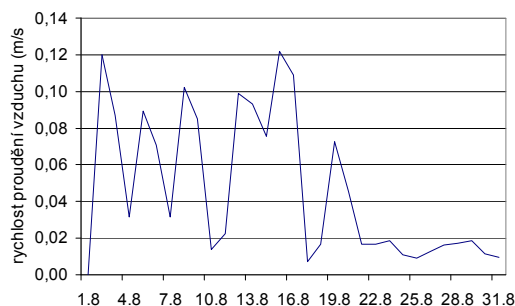
Na Obr. 2 je prezentován chod průměrné denní teploty vzduchu v měsíci srpnu na měřicích stanovištích v Punkevní jeskyni. Na Obr. 3 je zobrazen chod koncentrace CO<sub>2</sub> a na Obr. 4 chod rychlosti proudění vzduchu v měsíci srpnu na měřicích stanovištích v Punkevní jeskyni.



Obr. 2: Chod průměrné denní teploty vzduchu v měsíci srpnu měřené v Punkevní jeskyni.



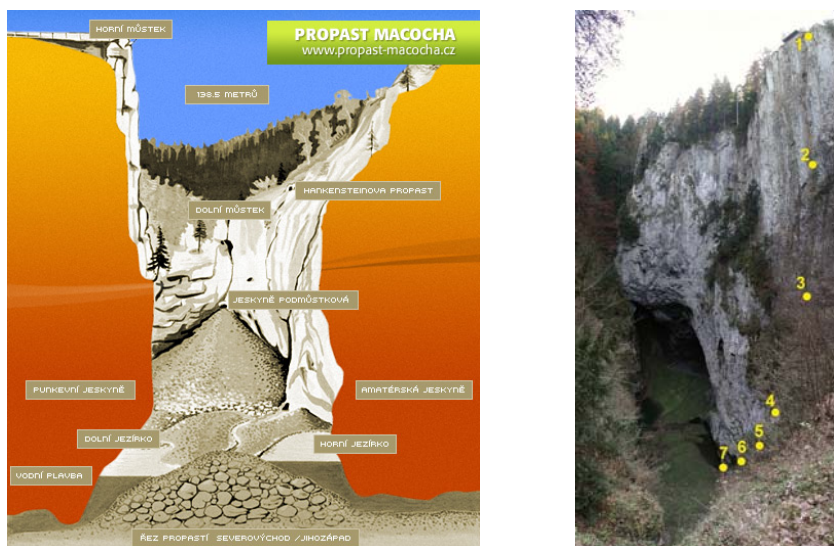
Obr. 3: Chod naměřené koncentrace CO<sub>2</sub> v měsíci srpnu v Punkevní jeskyni



Obr. 4: Chod naměřené rychlosti proudění vzduchu v měsíci srpnu v Punkevní jeskyni

## 2.2 Hodnocení teplotního a vlhkostního vertikálního profilu propasti Macocha

Teplotní a vlhkostní poměry propasti Macocha v letním období roku 2008 byly vyhodnoceny na základě dat ze stabilně umístěných registrátorů ve vertikálním profilu (LITSCHMANN, ROŽNOVSKÝ, HEBELKA, 2008). Měření ve svislém profilu probíhají v patnáctiminutových intervalech a byla započata 15.5.2008. Údaje od tohoto data až do 31.8.2008 jsou tudíž reprezentativní pro značnou část letního období tohoto roku. Zpracovány jsou jak průměrné hodnoty za celé zpracované období, tak i denní chody obou prvků a také některé typické dny s radiačním režimem počasí. Variabilita obou těchto prvků se zvyšuje s rostoucí výškou. U vlhkosti vzduchu je možno pozorovat, že na dně propasti leží vrstva nasyceného vzduchu s velmi malou denní amplitudou, směrem k povrchu vlhkost klesá nejprve pozvolna, od hloubky 60 m je pak úbytek vlhkosti výraznější. V denním chodu jsou pak největší změny pozorovány opět ve svrchních vrstvách, směrem do hloubky se amplituda vlhkosti snižuje.

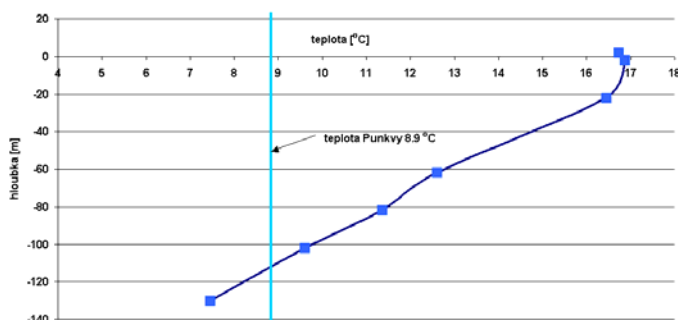


Obr. 5: Příčný průřez propastí Macocha. Převzato ze serveru: [www.propast-macocha.cz](http://www.propast-macocha.cz).  
 Obr. 6: Skalní stěna Macochy s rozmístěním měřících bodů (měřítka je nelineární)

Vertikální profil pro měření teploty a vlhkosti vzduchu byl tvořen sedmi registrátory řady HOBO-PRO (ONSET, USA) umístěných pod nerezovými kryty s dvojitou stěnou zavrtanými do svislé skalní stěny obrácené k SV (Obr. 6). Vzdálenost registrátorů od stěny je 40 cm. Odečet údajů je prováděn pomocí horolezecké techniky. Kromě toho je u okraje propasti nainstalována další meteorologická stanice, která charakterizuje vyšší část terénu. Stanice je vybavena standardním 10 m vysokým stožárem pro měření rychlosti a směru větru. Měření jsou další meteorologické prvky: teplota a vlhkost vzduchu, srážky, globální záření, vlhkost půdy, teplota půdy v hloubce 5, 20 a 30 cm, přízemní minimální teplota vzduchu. Stanice ležící u výtoku Punky z Punkevních jeskyní měří rovněž teplotu vody v této říčce, která protéká i dnem propasti a může se do jisté míry podílet na modifikaci mikroklimatu v blízkosti jejího dna.

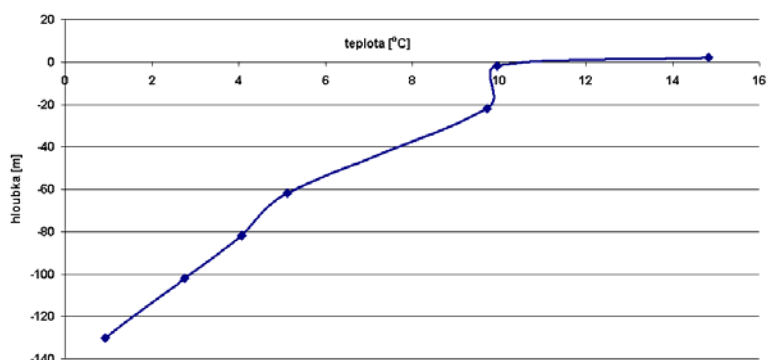
### 2.2.1 Teplotní poměry

Průměrná teplota vzduchu v propasti ve sledovaném letním období klesala od hloubky 20 m téměř lineárně až ke dnu, kde dosahovala hodnoty 7,5 °C, byla tudíž o něco nižší než je teplota Punkvy u výtoku za stejné časové období (Obr. 7). Je to celkem logické zjištění, jelikož lze předpokládat, že ochlazování v této části nastává turbulentní výměnou, zatímco k oteplování dochází pouze kondukcí z vodní hladiny, popřípadě skalních stěn, která má nižší intenzitu. Ve svrchní části propasti, která se zde nálevkovitě rozšiřuje, je průměrná teplota přibližně stejná jako na povrchu, což dokazuje poměrně intenzivní výměnu vzduchu s okolím.



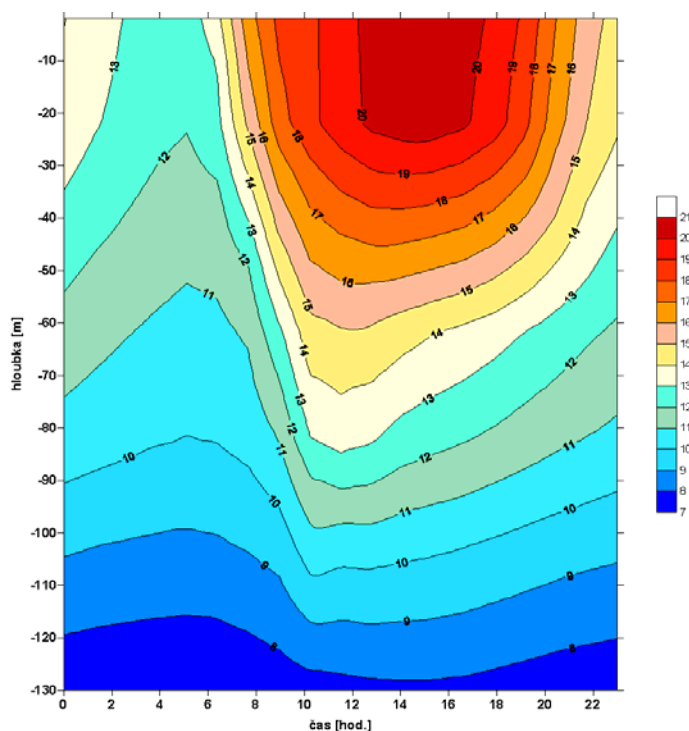
Obr. 7: Vertikální profil průměrné teploty vzduchu

Přestože teplota vzduchu až do hloubky nejméně 20 m je téměř konstantní, lze i zde pozorovat rozdíly ve variabilitě, jak dokazuje Obr. 8. Na něm je znázorněna průměrná denní amplituda teploty vzduchu a je zřejmé, že opět od hloubky cca 20 m se lineárně snižuje směrem ke dnu, značný skok v amplitudě byl zjištěn mezi horními partiemi propasti a okolním terénem. Na povrchu jsou v důsledku většího ovlivnění aktivním povrchem nižší minima a vyšší maxima teploty vzduchu než nad propastí, kde je ovlivnění aktivním povrchem podstatně nižší.



Obr. 8: Průměrná denní amplituda teploty vzduchu

Vykreslením *průměrného denního chodu teploty vzduchu* lze získat plastický obraz o změnách této veličiny v jednotlivých hloubkách propasti, polohu maxim a minim a rovněž i amplitudu teploty. Na Obr. 9 je pomocí izoterm vykreslena průměrná teplota v jednotlivých hloubkách v průběhu dne pomocí programu Surfer.

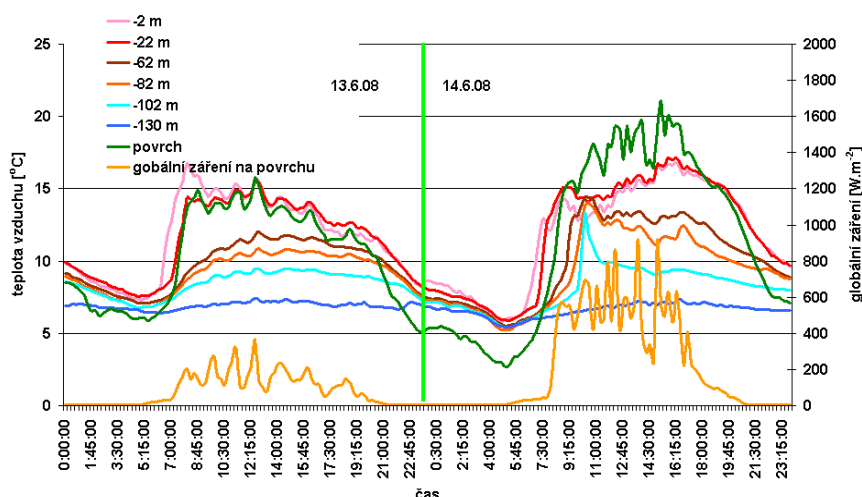


Obr. 9: Průměrné rozložení teploty vzduchu v průběhu dne, čas je v LEČ

Jako metoda poskytující nejuvěrohodnější vykreslení izoterem se ukázala „Triangulation with linear interpolation“. V nočních hodinách dochází k postupnému zaplňování propasti studeným vzduchem, jehož zdrojem je především plošina kolem ústí propasti, částečně pak i mírněji ukloněné svahy v horní části. Nejnižších teplot je dosaženo v období kolem východu Slunce. Od této chvíle začíná být ozařována skalní stěna s umístěnými registrátory a teplota začíná pozvolna stoupat, se zvyšující se výškou Slunce nad obzorem dochází k prohřívání nižších vrstev. Toto ohřívání trvá do cca 10 hod. LEČ, kdy jsou sluneční paprsky rovnoběžné s podélnou osou propasti a zasahují tudíž nejhluběji, v období kolem letního slunovratu dopadají až na kousek dna v jeho SZ části. Od tohoto okamžiku již paprsky nedopadají přímo na skalní stěnu a teplota vzduchu se začíná opět pozvolna snižovat, přičemž pokles teploty je nejintenzivnější v úzké spodní části propasti s kolmými stěnami, v rozšířené vrchní části maxima teplot přetrvávají déle v důsledku intenzivnější turbulentní výměny vzduchu s okolní atmosférou.

Na Obr. 10 jsou vykresleny chody teploty vzduchu v jednotlivých vrstvách v propasti a na povrchu včetně hodnot globálního záření ve dnech 13. a 14.6.2008. Dne 13.6. převažovalo polojasné počasí s rychlostmi větru  $2 - 3 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$ , teplota vzduchu až do hloubky nejméně 20 m kopírovala poměrně těsně teplotu vzduchu na povrchu, turbulentní výměnou došlo postupně ke zvýšení teploty i v hlubších částech propasti a vytvořilo se zde poměrně ploché maximum teploty, které trvalo až do večerních hodin. Po západu Slunce došlo k vyjasnění a snížení rychlosti proudění, teplota vzduchu na povrchu začala poměrně rychle klesat a v ranních hodinách dosáhla minima  $2,7 \text{ }^\circ\text{C}$ . Tento studený vzduch začal postupně stékat do propasti, až kolem 5. hod ranní byla zaznamenána téměř izotermie v celém vertikálním profilu propasti. Nedošlo k vytvoření jezera studeného vzduchu, jak by se dalo předpokládat, naopak teplota uvnitř propasti byla o několik stupňů vyšší než na přilehlé náhorní plošině a vytvořil se tak spíše ostrov teplého vzduchu. Vyšší teplotu v propasti lze vysvětlit tím, že vzduch klesající do propasti se adiabaticky otepluje (oteplení může dosáhnout 1 až  $1,2 \text{ }^\circ\text{C}$ ). Další zdroje tepla je nutno hledat v okolním skalním masívu a též i v teplotě protékající Punkvy. To vše potvrzuje, že chladný vzduch na dně Macochy v tomto období je spíše alochtonního než autochtonního původu.

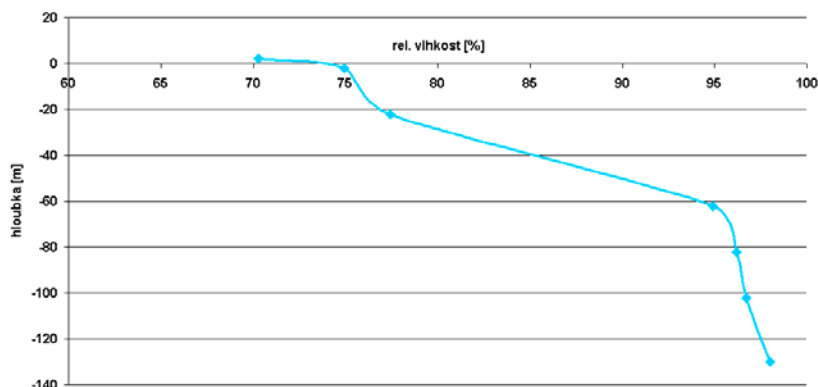
Po východu Slunce dne 14.6. se začala postupně prohřívát skalní stěna obrácená k SV a teplota přilehlého vzduchu začala postupně vzrůstat i v hlubších vrstvách. Se zvyšující se mocností ohřátého vzduchu zesilují vzestupné proudy, které postupně nahrazují již ohřátý vzduch v horní části propasti a teplota zde začíná pozvolna klesat, až kolem 10. hod LEČ dojde k vyrovnání teplot téměř v celém svislém profilu podél skalní stěny, s výjimkou nejhlubší části. V následujících hodinách ve svrchní části propasti pak teploty opět začínají stoupat tak, jak se zvyšuje i teplota vzduchu v okolí, od 60 m níže nejprve mírně klesají a pak stagnují, ve večerních hodinách dochází k poklesu.



Obr. 10: Teplota vzduchu v propasti Macocha ve dnech 13. - 14.6.2008

### 2.2.2 Vlhkostní poměry

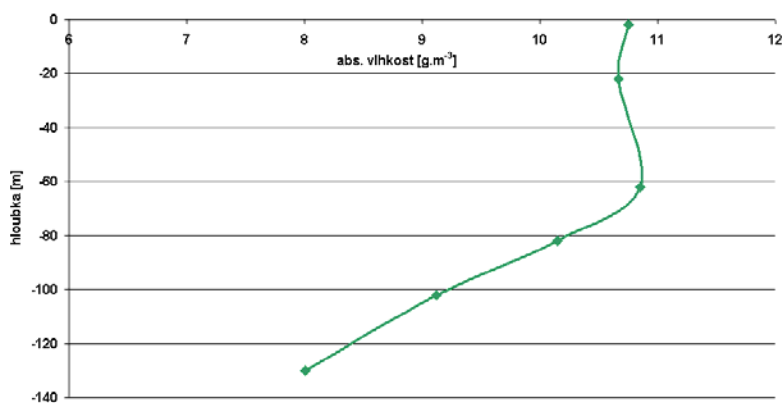
Průměrná vlhkost vzduchu na rozdíl od teploty vzduchu nemůže být hodnocena pomocí jednoduché lineární závislosti, jak je zřejmé z Obr. 11. V horní části propasti je rel. vlhkost vzduchu přibližně o 5 % vyšší než na volném prostranství, směrem do hloubky však poměrně rychle vzrůstá a od 60 m jsou již hodnoty nad 95 % a směrem ke dnu ještě mírně vzrůstají, vzduch se tak blíží hranici nasycení. Jelikož je rel. vlhkost vzduchu i funkcí jeho teploty a nemůže přesáhnout hranici 100 %, doplňující informace přináší další veličina, kterou je absolutní vlhkost.



Obr. 11: Vertikální profil průměrné relativní vlhkosti vzduchu

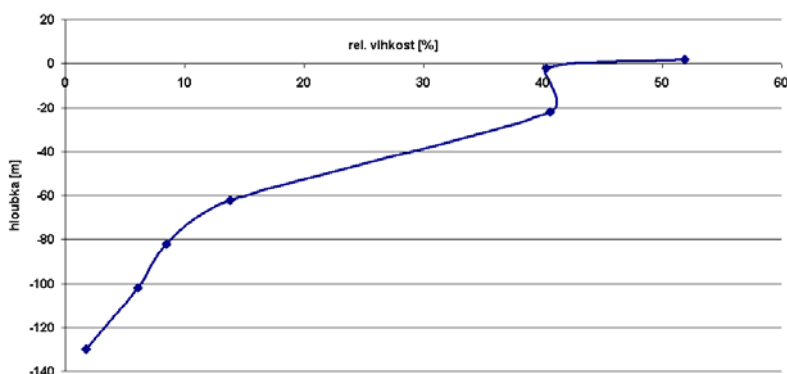
Obr. 12 prezentuje průměrné hodnoty absolutní vlhkosti vzduchu ve vertikálním profilu propasti. Do hloubky 60 m se udržuje poměrně konstantní absolutní vlhkost, od této hloubky se směrem ke dnu lineárně snižuje v závislosti na tom, jak v této oblasti klesá teplota vzduchu.





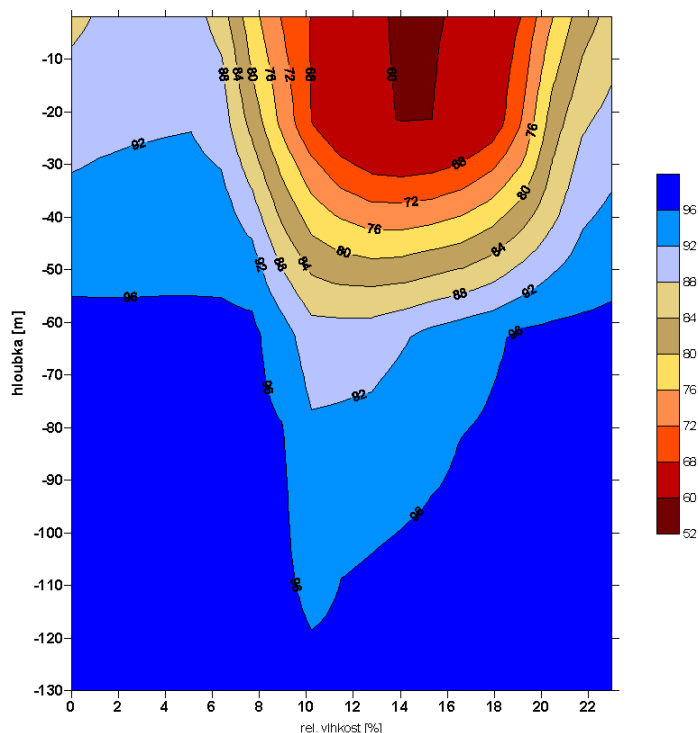
Obr. 12: Vertikální profil průměrné absolutní vlhkosti vzduchu

Variabilita relativní vlhkosti vzduchu v profilu propasti, vyjádřená průměrnou denní amplitudou (Obr. 13), vykazuje téměř totožné rysy jako amplituda průměrné denní teploty vzduchu. Na dně propasti je změna pouze několik %, směrem k povrchu průměrná amplituda vzrůstá až na hodnoty kolem 40 % rel. vlhkosti ve svrchní 20 - 40 m silné vrstvě. Na povrchu je pak průměrná amplituda opět vyšší a přesahuje 50 % rel. vlhkosti.



Obr. 13: Průměrná denní amplituda relativní vlhkosti vzduchu

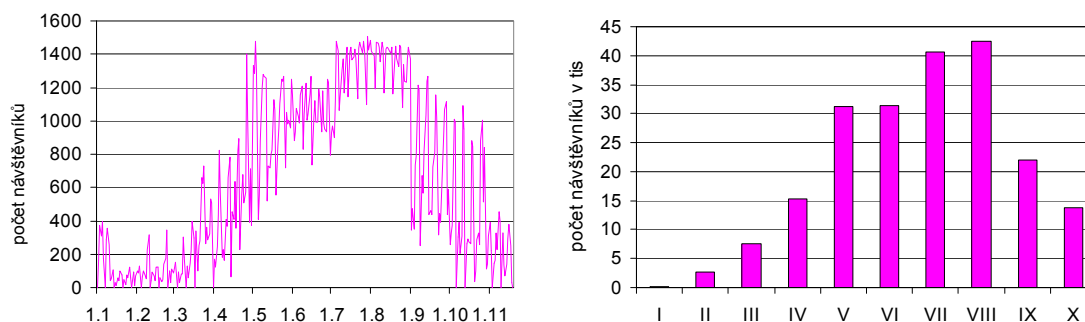
Vykreslení *denního chodu vlhkosti vzduchu* pomocí izolinií umožňuje podrobnější poznání změn v rozložení rel. vlhkosti vzduchu v průběhu dne v jednotlivých vrstvách (Obr. 14). Je možno najít podobnost s denním chodem teploty vzduchu. Denní chod relativní vlhkost vzduchu je většinou inverzní k chodu teploty vzduchu. Rozdíl je možno spatřovat v tom, že relativní vlhkost je ve svých maximálních hodnotách omezena stavem nasycení, tj. hodnotou 100 %. Proto nepřekvapuje, že poměrně značná část propasti, přibližně od hloubky 60 m, je po značnou část dne vyplněna vzduchem s rel. vlhkostí nad 96 %, v průběhu dne se ve střední části snižuje na 92 %. Směrem k ústí propasti, kde se zvětšuje amplituda teploty vzduchu, se zvyšuje rovněž i amplituda vlhkosti vzduchu. Minimum vlhkosti vzduchu je v hloubce pozorováno opět kolem 10. hod LEČ, směrem k povrchu se minimum posouvá a nejnižších hodnot je dosahováno v odpoledních hodinách, kdy se vyskytují nejnižší hodnoty i nad povrchem okolního terénu.



Obr. 14: Průměrné rozložení relativní vlhkosti vzduchu v průběhu dne, čas je v SELČ

### 2.3 Zahájení komplexního monitorování v podmínkách úplného provozu a přítomnosti návštěvníků

Punkevní jeskyně je nejvíce navštěvovanou jeskyní Moravského krasu. Pro návštěvníky je otevřena v období od dubna do září denně, od ledna do března a od října do prosince denně mimo pondělí. Na Obr. 15 je vyhodnocena návštěvnost Punkevní jeskyně za období 1.1.2008 do 18.11.2008. Průměrně jeskyni za den navštíví 662 osob. Maximální počet návštěvníků (1506) byl dne 29.7.2008, nejméně lidí (11) navštívilo jeskyni 30.1.2008.



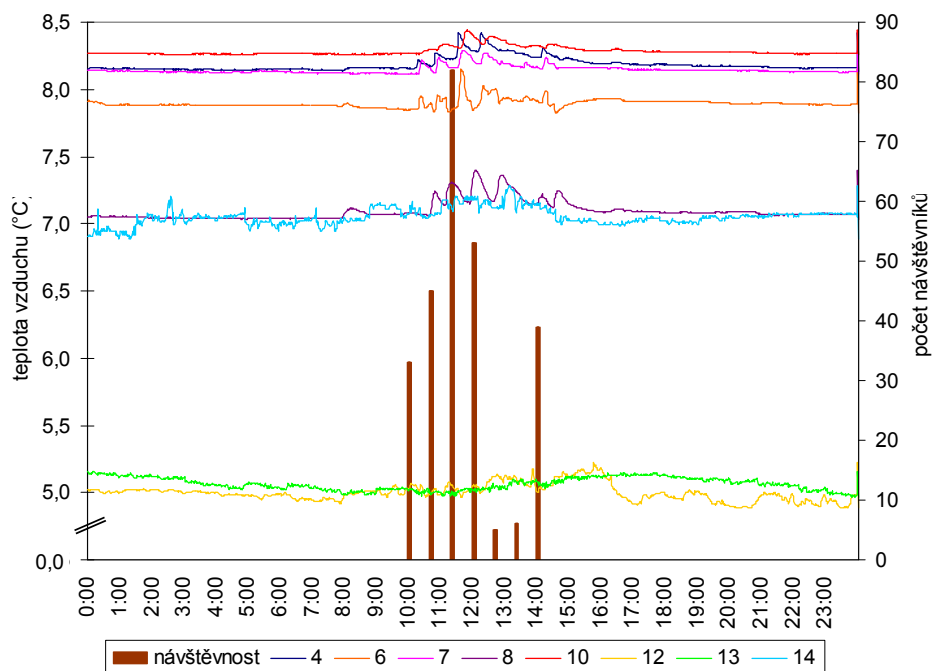
Obr. 15: Návštěvnost Punkevní jeskyně v období od 1.1.2008 do 18.11.2008

Nejvíce lidí navštívilo Punkevní jeskyni v srpnu 42 433 osob, dále pak v červenci 40 558, nejméně naopak v lednu pouhých 109, v únoru již 2756 osob.

#### 2.3.1 Teplota a vlhkost vzduchu v návštěvní dny

Jako příklad monitorování teploty a vlhkosti vzduchu v přítomnosti návštěvníků je uveden 25. březen 2008, kdy Punkevní jeskyni navštívilo 263 lidí a 20. květen, kdy ji navštívilo 850 lidí. Na Obr. 16 a 19 jsou zobrazeny chody teplot vzduchu z jednotlivých měřicích stanovišť

v Punkevní jeskyni a návštěvnost v daný den (měřící stanoviště jsou popsána v Obr. 1 a v Tab. 1). Návštěvnost je počet lidí ve skupině, která vstoupila do jeskyně v různý čas. Pro lepší názornost je návštěvnost zobrazena v čase vstupu do jeskyně. 25. března navštívilo jeskyni celkem 7 skupin v čase od 10 do 15 hodin, přičemž prohlídky začínají vždy po 40 minutách. 20. května navštívilo jeskyni 18 skupin v čase od 9 do 15.40 hodin, přičemž začátek prohlídky byl každých 20 minut s výjimkou pauzy na oběd. Doba prohlídky je cca 60 min, tudíž po nějakou dobu z celkové doby trvání prohlídky např. v 1. případě po dobu 20 minut jsou na prohlídkové trase 2 skupiny lidí na různých místech. Teploty vzduchu v jednotlivých stanovištích na trase prohlídky vzrůstají, vždy s příslušným zpožděním po začátku prohlídky podle toho, kde se právě skupina nachází.



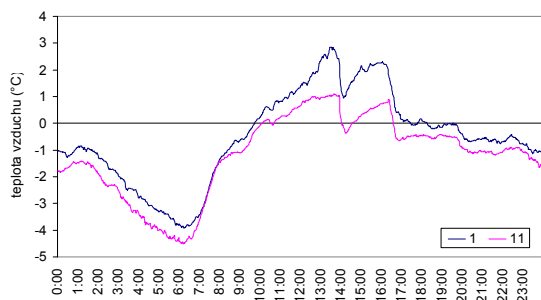
Obr. 16 : Teplota vzduchu v Punkevní jeskyni v návštěvní den (25.3.2008)

Na základě grafického zpracování je průkazné, že teplota vzduchu v jeskyni je ovlivněna návštěvností, i když vzrostla pouze o několik desetín stupně a to zejména v Předním dómu, Reichenbachově a Zadním dómu. Na stanovišti Přístaviště I a Přístaviště II se teplota vzduchu vlivem návštěvnosti neměnila.

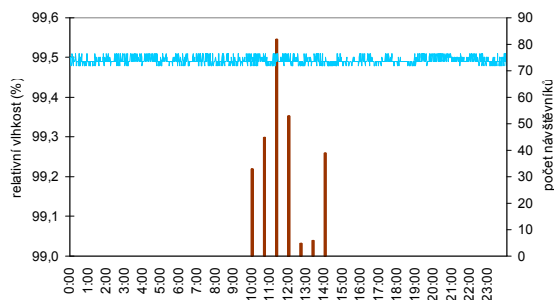
Tab. 2: Teplota vzduchu na jednotlivých měřicích stanovištích jeskyně 25. března

25. 3.	4	6	7	8	10	12	13	14
prum	8,18	7,89	8,14	7,10	8,29	5,00	5,06	7,05
max	8,42	8,15	8,29	7,40	8,44	5,22	5,16	7,28
min	8,13	7,82	8,11	7,03	8,26	4,89	4,96	6,89
max-min	0,29	0,33	0,18	0,37	0,18	0,33	0,20	0,39
smodch	0,05	0,03	0,03	0,07	0,03	0,06	0,05	0,06

Na Obr. 17 a 20 jsou chody venkovní teploty měřené v daný den na 2 stanovištích (u vstupu do jeskyně a na dně propasti Macocha). Na Obr. 18 a 21 je zobrazen chod vlhkosti vzduchu na jednotlivých měřicích stanovištích jeskyně opět s návštěvností v daný den.

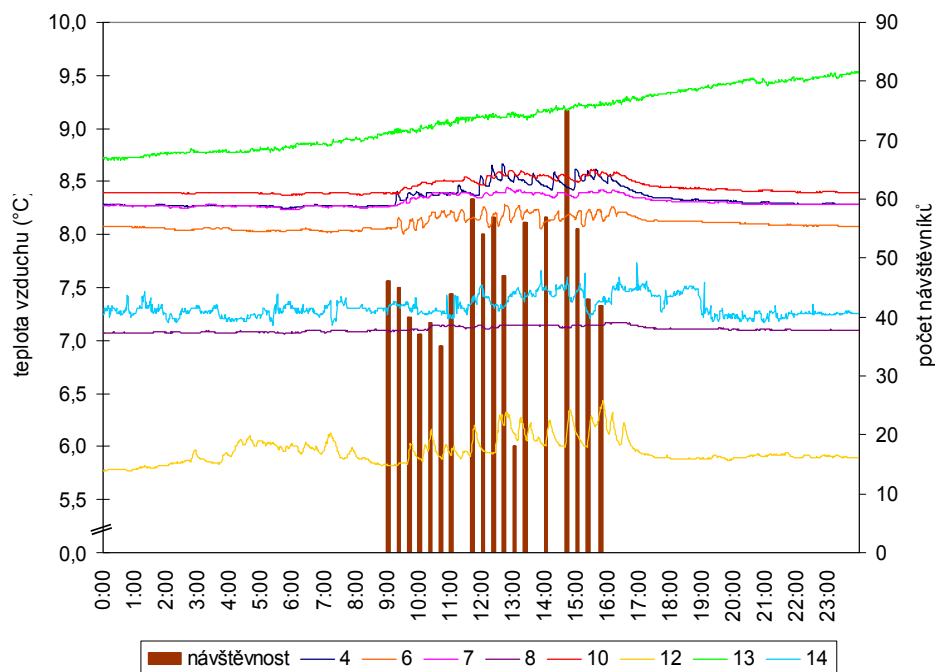


Obr. 17: Chod venkovní teploty vzduchu 25.3.2008



Obr. 18: Chod relativní vlhkosti vzduchu 25.3.2008

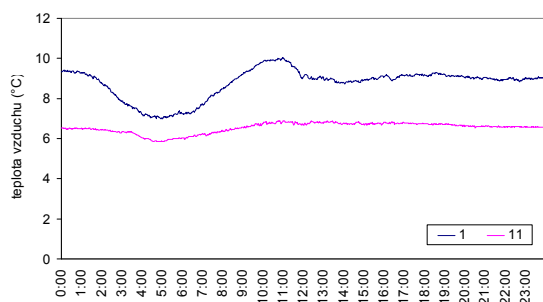
Z Obr. 19 vyplývá, že relativní vlhkost kolísá kolem 99,5 % bez ohledu na návštěvnost. Také dne 20. května vzrostla teplota vzduchu v jeskyni s návštěvností pouze o několik desetin stupně.



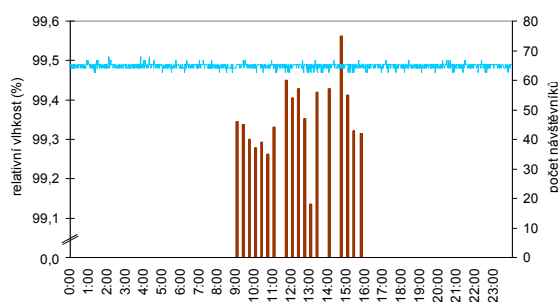
Obr. 19: Teplota vzduchu v Punkevní jeskyni v návštěvní den (20.5.2008)

Tab. 3: Teplota vzduchu na jednotlivých měřících stanovištích jeskyně 20.května 2008

20. 5.	4	6	7	8	10	12	13	14
prům	8,34	8,10	8,31	7,10	8,44	5,96	9,09	7,32
max	8,67	8,28	8,44	7,17	8,61	6,43	9,54	7,73
min	8,24	8,00	8,23	7,06	8,37	5,77	8,70	7,15
max-min	0,43	0,28	0,21	0,11	0,24	0,66	0,84	0,58
smodch	0,09	0,06	0,05	0,03	0,07	0,12	0,26	0,10



Obr. 20: Chod venkovní teploty vzduchu 20.5.2008



Obr. 21: Chod relativní vlhkosti vzduchu 20.5.2008

### 3. Závěr

K měření jeskynního mikroklimatu se využívá stacionárního a ambulantiho měření. V Punkevních jeskyních probíhá stacionární měření teploty vzduchu, vlhkosti vzduchu, tlaku vzduchu, rychlosti a směru proudění vzduchu, koncentrace CO<sub>2</sub> a teploty skalního masivu v hloubce 30 cm.

Pro možnost srovnání dynamiky mikroklimatu jeskyní se vychází ze souběžných měření venkovního prostředí. V rámci řešeného projektu byly zřízeny meteorologické stanice: Macocha, Punkevní jeskyně, Výtok Punkvy, Sloup a Ostrov. Všechny stanice jsou vybaveny solárním napájecím systémem a přenosem údajů prostřednictvím sítě GSM na webový server, z nějž je možno si údaje stáhnout v datovém souboru anebo prohlížet na grafech za zvolené období.

Punkevní jeskyně je nejvíce navštěvovanou jeskyní Moravského krasu. Pro návštěvníky je otevřena v období od dubna do září denně, od ledna do března a od října do prosince denně mimo pondělí. Na základě dosavadních měření je průkazné, že teplota vzduchu v jeskyni je ovlivněna návštěvností, i když dochází ke zvýšení o několik desetin stupně v době návštěv. Pro přesnější určení vlivu počtu návštěvníků jeskyně na její mikroklima je nutné pokračovat v započatém výzkumu a provést podstatně větší počet ambulantiho měření.

Závislost mikroklimatu jeskyně na vnějších klimatických podmínkách je nejučelnější zkoumat v letních měsících, kdy jsou teploty venku výrazně vyšší než uvnitř jeskyně. Také návštěvnost dosahuje v tuto dobu maxima a je tedy reálná možnost, že návštěvníci svoji přítomností ovlivní mikroklima uvnitř jeskyně. V tomto období jsou ale jeskyně denně otevřené a proto není možné zjistit stav mikroklimatu bez návštěvnosti, což dosti komplikuje tento výzkum.

Dosažené výsledky v roce 2008 představují potřebný základ pro pokračování projektu v roce 2009.

### Poděkování

Výsledky tohoto příspěvku vznikly za podpory projektu MŽP ČR č. SP/2D5/5/07 „Stanovení závislosti jeskynního mikroklimatu na vnějších klimatických podmínkách ve zpřístupněných jeskyních ČR.“

### *Literatura*

LITSCHMANN, T. – ROŽNOVSKÝ, J. – HEBELKA, J., 2008. Hodnocení letního teplotního a vlhkostního profilu propasti Macocha. In: 16. Posterový den s mezinárodní účastí a Deň otvorených dverí na ÚH SAV "Transport vody, chemikálií a energie v systéme pôda-rastlina-atmosféra". Bratislava: Ústav hydrologie SAV, Bratislava, s. 315-325, CD ROM. ISBN 978-80-89139-16-3.

LITSCHMANN, T. – ROŽNOVSKÝ, J., 2008. Vliv krasového reliéfu na modifikaci vybraných meteorologických prvků. In: Rožnovský, J. – Litschmann (ed): Sborník příspěvků z mezinárodní konference a CD ROM s články, „Bioklimatologické aspekty hodnocení procesů v krajině“, Mikulov 9.-11.9.2008, Česká bioklimatologická společnost v nakl. Českého hydrometeorologického ústavu, s. 40, CD ROM. ISBN 978-80-86690-55-1.

MUSIL, R. a kol., 1993. MORAVSKÝ KRAS labyrinty poznání. Vydal J. Bližňák, GEO program, Adamov, 336 s.

QUITT, E., 1971. Klimatické oblasti Československa. Studia Geographica 16. Geografický ústav ČSAV, Brno. 84 s.

ZAJÍČEK, P. a kol., 2007. Punkevní jeskyně a propast Macocha. Správa jeskyní ČR. Vydala INVENCE Janov – první upravené vydání. ISBN: 80-86143-19-8.