

ANTROPOGENNÍ OVLIVNĚNÍ MIKROKLIMATU CÍSAŘSKÉ JESKYNĚ (MORAVSKÝ KRAS)

Anthropogenic impact on the microclimate of the Císařská Cave (Moravian Karst)

Roman Horníček¹, Jiří Faimon¹, Daniel Sas²

¹ Ústav geologických věd PŘF MU, Kotlářská 2, 611 37 Brno; e-mail: 175308@mail.muni.cz

² Univerzita obrany, Kounicova 65, 612 00 Brno; e-mail: daniel.sas@unob.cz

(24-23 Protivanov)

Key words: Císařská Cave, CO₂ concentration, human, humidity, speleotherapy, temperature

Abstract

Impact of cave visitors on selected microclimatic parameters was studied in the Císařská Cave (Moravian Karst). The study showed that visitors produce significant amounts of carbon dioxide, heat, and vapor that are capable to increase CO₂ levels, temperature, and specific humidity of cave air, respectively. Anthropogenic CO₂ flux into the cave was estimated as 0.64 mol hour⁻¹ person⁻¹. Restoration of the natural values requires different times: one hour in case of temperature/humidity and one day in case of CO₂ level, based on cave ventilation. An impact on the karst processes as speleothem growth/dissolution was not proved.

Úvod

Císařská jeskyně v Moravském krasu je v současnosti využívána ke speleoterapii a kromě toho slouží jako modelová lokalita pro studium antropogenního ovlivnění jeskynního systému. Předložená studie se zaměřuje na proměnné, které zásadním způsobem ovlivňují mikroklima jeskyně (CO₂, teplota, vlhkost) a kromě toho i základní krasové procesy jako je růst nebo koroze speleotém. Výsledky studia mají přispět k odhadu (1) rozsahu ovlivnění, (2) doby relaxace jeskyně, resp. (3) případného environmentálního rizika.

Místo studia

Moravský kras je součástí většího geomorfologického celku Dražanské vrchoviny, v jv. části České vysočiny. Nachází se s. od Brna, v délce cca 25 km, šířce 3–6 km s celkovou plochou 85 km². Geomorfologicky se dělí na tři základní části (Musil 1993), a to na severní (Suchdolské plošiny), střední (Rudické plošiny) a jižní (Ochozské plošiny). Krasový profil je budován macošským souvrstvím s vápenci josefovskými, lažáneckými a vilémovickými. Ve střední a j. části krasu je v nadloží macošského souvrství líšeňské souvrství s vápenci křtinskými a hádsko-říčskými (Chlupáč et al. 2002). Samotná Císařská jeskyně se nachází v s. části Moravského krasu, mezi obcemi Holštejn a Ostrov u Macochy. Je vytvořena ve vilémovických vápencích.

Speleoterapie

Jeskynní mikroklima má terapeutické účinky na pacienty s dýchacími problémy (alergie, astma). Detailní mechanismus speleoterapeutického účinku není znám, avšak moderní výzkumy naznačují, že je to komplexní působení celé řady mikroklimatických faktorů, jako je: (1) snížená a téměř konstantní teplota, (2) vysoká relativní vlhkost blízká 100 %, (3) zvýšená koncentrace plynů (CO₂, Rn),

submikronových částic (speleo-aerosol) a lehkých iontů, a v neposlední řadě (4) snížená koncentrace polutantů (SO_x, NO_x), alergenů a mikroorganismů ve srovnání s venkovní atmosférou. Stimulující může být slabá expozice ionizujícím zářením. V Císařské jeskyni probíhá speleoterapie v různých formách již od roku 1983. Po úpravách v roce 1997 (chodníky, štola) je jeskyně celoročně využívána Dětskou léčebnou se speleoterapií v Ostrově u Macochy. Během léčebného procesu tráví dětská pacienta denně 2–3 hodiny v jeskyni. Jedna polovina této doby je zaměřena na fázi pohybovou a druhá klidovou.

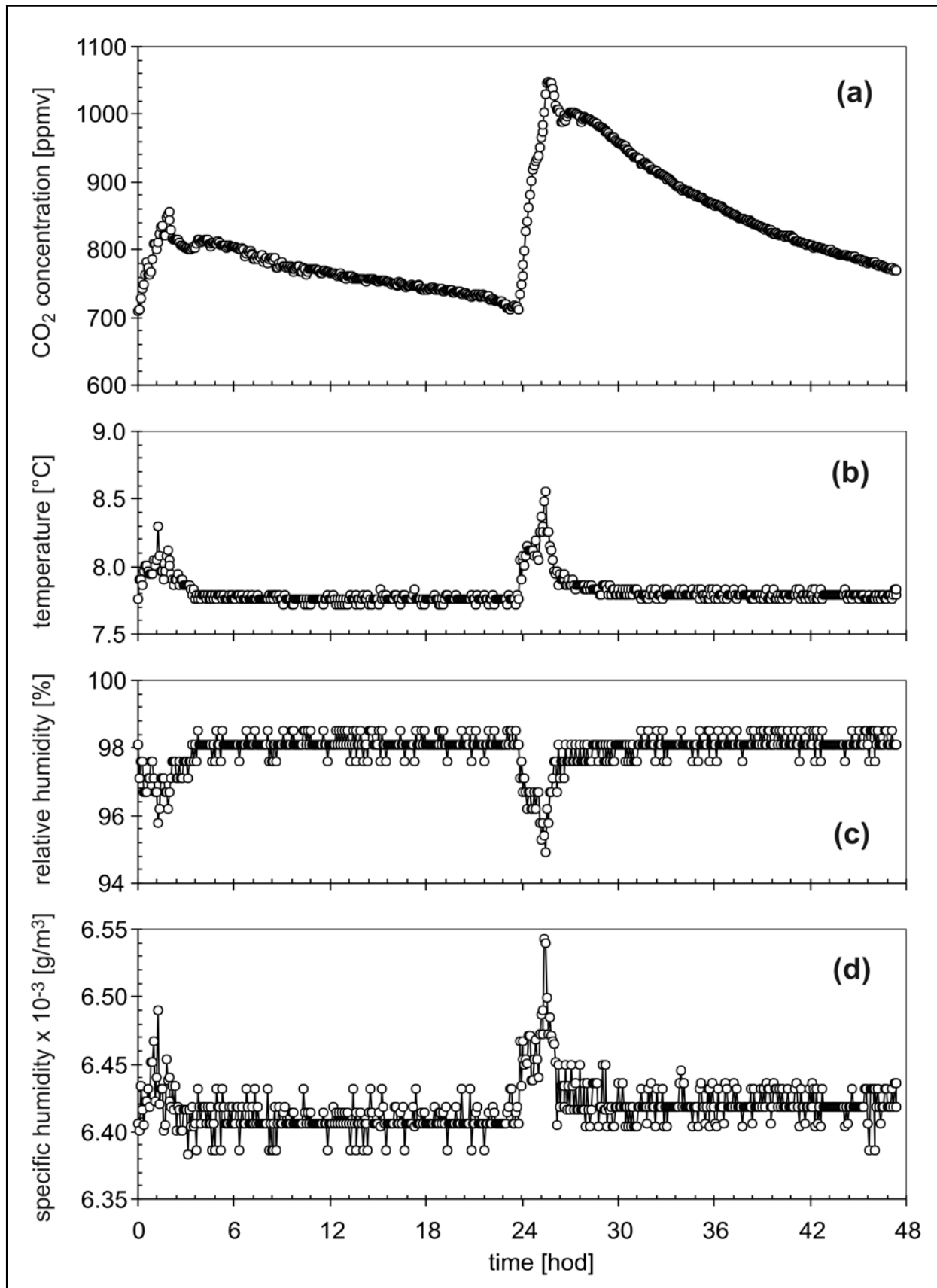
Metodika

Všechna data (koncentrace CO₂, teplota, vlhkost) pochází z monitoringu jeskynního mikroklimatu v období 9. 9.–11. 9. 1998. Data byla naměřena v Nagelově domě, kde se pacienti věnují fyzickým aktivitám. V průběhu 48 hodin se zde vystřídaly dvě skupiny dětských pacientů: první skupina měla 18 osob, druhá 30 osob.

Při měření mikroklimatických proměnných byly použity následující přístroje: pro měření oxidu uhličitého ruční infračervený detektor FT A600-CO₂H spojený s přenosným univerzálním měřičem ALMEMO 2290-4 V5 (Ahlborn, Německo; rozsah 0–10 000 ppmv, rozlišovací schopnost 1 ppmv). Teplota a vlhkost byly měřeny přístrojem Multilogger-Analyser Babuc (LSI, ITÁLIE; rozsah teploty -50 + 80 °C, rozlišovací schopnost 0,01 °C, rozsah relativní vlhkosti 0–100 %, rozlišovací schopnost 0,1 %). Všechna měření byla prováděna ve výšce cca 0,5 m nad zemí tak, aby nemohla být ovlivněna navzájem.

Výsledky

Během pobytu osob v jeskyni došlo ke znatelnému nárůstu hodnot mikroklimatických proměnných s následným postupným návratem k původním hodnotám



Obr. 1: Vývoj mikroklimatických proměnných v Císařské jeskyni při antropogenním ovlivnění (vstup 18 osob v čase $t = 0$ hod., odchod osob v čase $t = 1,95$ hod.; vstup 30 osob v čase $t = 23,75$ hod., odchod osob v čase $t = 25,83$ hod.). (a) koncentrace CO_2 , (b) teplota, (c) relativní vlhkost, (d) specifická vlhkost.

Fig. 1: Evolution of microclimatic variables in the Císařská Cave at anthropogenic impact (entering of 18 persons at time $t = 0$ hour, person leaving at time $t = 1.95$ hour; entering of 30 persons at time $t = 23.75$ hours, person leaving at time $t = 25.83$ hours). CO_2 concentration (a); temperature (b); relative humidity (c); specific humidity (d).

(obr. 1). Výchozí koncentrace 709 obj. ppm CO₂ (v čase t = 0) se po téměř dvou hodinách pobytu 18 osob zvýšila na 856 obj. ppm (obr. 1a). Po odchodu osob došlo k postupnému poklesu a po 24 hodinách se koncentrace vrátila téměř na původní hodnotu (711 obj. ppm CO₂). Druhý nárůst (v čase t = 23,75 hod.) byl spojen s 2hodinovým pobytem skupiny 30 osob. Důsledkem bylo dosažení maxima 1 049 obj. ppm CO₂. 24 hodin po odchodu osob se koncentrace vrátila do blízkosti původní hodnoty (769 obj. ppm CO₂) (obr. 1a).

Obdobně konzistentní s pobytem osob byl i vývoj teploty v jeskyni (obr. 1b). Jsou patrné dva nárůsty teploty z hodnot 7,76 °C až na 8,30 °C (první skupina osob), resp. na 8,55 °C (druhá skupina osob). Návrat teploty k původním hodnotám byl v obou případech relativně rychlý – nepřesahuje 1 hod. Relativní vlhkost vykazovala vlivem rostoucí teploty reciprokový vývoj: v průběhu pobytu osob poklesly hodnoty z 98,1 na 95,8 % (první skupina osob), resp. na 94,9 % (druhá skupina osob) (obr. 1c). Po přepočtu relativní vlhkosti na specifickou vlhkost hodnoty podle očekávání rostly z 6,4.10⁻³ g/m³ na 6,49.10⁻³ g/m³ (první skupina osob), resp. na 6,54.10⁻³ g/m³ (druhá skupina osob) (obr. 1d). Během jedné hodiny po odchodu pacientů se hodnoty přiblížily k původním hodnotám s malým trvalým navýšením; např. po odchodu druhé skupiny zůstala specifická vlhkost navýšena o 0,0012.10⁻³ g/m³ oproti výchozí hodnotě.

Diskuze

Během prvního pobytu 18 osob v Nágelově dómu rostla koncentrace CO₂ lineárně se směrnici ~ 72 obj. ppm hod⁻¹. Po přepočtu na jednu osobu činí normovaný přírůstek ~ 4.0 obj. ppm hod⁻¹ osoba⁻¹. Při pobytu 30 osob rostla koncentrace CO₂ se směrnici ~ 170 obj. ppm hod⁻¹, což odpovídá normovanému nárůstu ~ 5,7 obj. ppm hod⁻¹ osoba⁻¹. Rozdíly mezi oběma hodnotami mohou souviset s odlišnou intenzitou činnosti, věkem osob nebo aktuální ventilací jeskyně. Průměrná hodnota nárůstu činí 4.8 obj. ppm CO₂ hod⁻¹ osoba⁻¹. Objemová koncentrace v ppm byla přepočtena na látkové množství 14,4 litru čistého CO₂ v celém objemu Nágelova dómu (za předpokladu objemu V = 3 000 m³, Faimon et al. 2006), tj. na 0,64 molu (22,4 litru ~ 1 mol). Výsledný antropogenní tok CO₂ v Nágelově dómu tedy činí ~ 0,64 mol hod⁻¹ osoba⁻¹. Tato hodnota se zhruba shoduje s hodnotou uváděnou v práci Faimon et al. (2006). Často diskutovanou otázkou je, zda může člověk vydechovaným oxidem uhličitým indukovat korozi speleotém. Vydechovaný CO₂ bezesporu

zvýšuje parciální tlaky v jeskynní atmosféře. V závislosti na parciálních tlacích CO₂ ve vodě (skapové vody) se atmosférický CO₂ buď rozpouští nebo uvolňuje. Zatímco odplynění vod indukuje/zvyšuje přesycení kalcitem a růst speleotém, rozpouštění CO₂ snižuje nasycení vody kalcitem a v extrémním případě může růst kalcitu invertovat v jeho rozpouštění. Jak však ukázali Faimon et al. (2006), parciální tlaky CO₂ ve skapové vodě s velkou rezervou převyšují parciální tlaky i v antropogenně přeměněné jeskynní atmosféře a inverze růstu v rozpouštění hrozí jen za zcela extrémních podmínek.

Obdobnou otázkou je, zda další antropogenní produkt, vydechovaná vodní pára, může přispět ke kondenzaci vody v jeskynní atmosféře a k tzv. kondenzační korozi (Dreybrodt et al. 2005). Jak ukazují naše výsledky, vydechovaná vodní pára sice zvyšuje specifickou vlhkost jeskynní atmosféry, avšak současné zvýšení teploty způsobí pokles relativní vlhkosti. Po návratu teplot k původním hodnotám sice specifická vlhkost o něco převyšuje výchozí hodnoty, ale k dosažení nasycení vzduchu vodní párou zůstává stále velká rezerva. Zdá se tedy, že antropogenní zvýšení vlhkosti nevede až ke kondenzaci vody a k následné kondenzační korozi.

Závěr

Antropogenní vlivy na mikroklimatické proměnné byly studovány v Císařské jeskyni (Moravský kras) při speleoterapii dvou rozdílně velkých skupin pacientů. Podle předpokladů byly proměnné jako je (1) koncentrace oxidu uhličitého, (2) teplota vzduchu a (3) vlhkost vzduchu modifikovány přítomností pacientů. Vývoj hodnot závisel na aktuálním počtu osob a délce jejich setrvání v jeskyni. Po odchodu osob z jeskyně se proměnné vracely zpět blízko k původním přirozeným hodnotám. Vyžadovaný čas návratu se lišil: nejdelší čas vyžadovaly koncentrace CO₂, řádově 24 hodin a víc, v závislosti na ventilaci jeskyně. Oproti tomu teplota a vlhkost se blíží původním hodnotám relativně rychle, zhruba během 1 hod. Navzdory znatelným změnám v hodnotách mikroklimatických proměnných se člověk ani při frekventovaném pobytu v Císařské jeskyni zřejmě nepodílí na zásadních změnách základních krasových procesů jako je růst nebo koroze speleotém. Práce je součástí bakalářské práce Horníčka (2010).

Poděkování

Autoři děkují recenzentovi článku J. Otavovi z ČGS za podnětné připomínky. Práce byla podporována výzkumným záměrem MSM0021622412 MŠMT ČR.

Literatura

- Dreybrodt, W. – Gabrovšek, F. – Perne, M. (2005): Condensation corrosion: A theoretical approach. – *Acta Carsologica*, 34: 317–348.
 Faimon, J. – Štelcl, J. – Sas, D. (2006): Anthropogenic CO₂-flux into cave atmosphere and its environmental impact: A case study in the Císařská Cave (Moravian Karst, Czech Republic). – *Science of the Total Environment*, 369: 231–245.
 Horníček, R. (2010): Studium antropogenních toků CO₂ v Císařské jeskyni (Moravský kras). – MS, bakalářská práce PřF MU, Brno.
 Chlupáč, I. – Brzobohatý, R. – Kovanda, J. – Stráník, Z. (2002): Geologická minulost České republiky. – Akademie věd České republiky, Praha, 436 s.
 Musil, R. (1993): Moravský kras: labyrinty poznání. – GEO program, Adamov, 336 s.