

## Využití termálního monitoringu v meteorologii a agrometeorologii Thermal monitoring in meteorology and agrometeorology

Tomáš Středa<sup>1</sup>, Hana Středová<sup>2</sup>, Bronislava Mužtková<sup>2</sup>, Radovan Pokorný<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Mendelova Univerzita v Brně, Ústav pěstování a šlechtění rostlin a rostlinolékařství

<sup>2</sup>Mendelova Univerzita v Brně, Ústav aplikované a krajinné ekologie

### Abstrakt

Termální monitoring je jedním z prostředků studia specifik časoprostorového režimu povrchové teploty v krajině. V městské zástavbě nebo v porostu zvětšení plochy aktivních povrchů a jejich dominantní vertikální orientace způsobují intenzivnější absorpci krátkovlnného záření a jeho četné odrazy. Ve velkoplošném měřítku je možné využít termosnímků z leteckého DPZ a termosnímků s vysokým rozlišením z družic. K porovnání teplot jednotlivých povrchů (holá půda, zemědělské plodiny, lesní porost) a určení jejich teplotních režimů, prostorových diferencí apod. Jelikož se jedná o neinvazivní metodu měření její využití je velmi vhodné v prostředích se specifickými podmínkami ochrany jakou jsou jeskynní prostory. Použití IR metod zde představuje environmentálně šetrnou metodu bez nutnosti destrukce interiéru jeskyně. Termální snímky slouží pro primární teplotní průzkum a identifikaci míst s odlišnými teplotními podmínkami kde je následně realizován podrobný monitoring teploty skalní stěny pomocí teplotních snímačů, umístěných v otvorech ve skalní stěně. Další oblastí kde lze IR metody využít je agrometeorologie. Lze ji využít ke sledování fyziologické reakce rostlin vyvolané např. stresem ze sucha. Jsou-li průduchy otevřeny, odpařující se voda ochlazuje list, zavřením průduchů se rostlina brání vůči ztrátám vody transpirací. Zavřením průduchů zároveň dojde ke změně vodivosti průduchů a zvýšení teploty listů. Prostřednictvím termálního monitoringu tak lze nepřímo hodnotit fyziologický stav rostlin a jejich odolnost vůči případným patogenům.

**Klíčová slova:** mezoklima, jeskyně, transpirace, IR kamera, termometr

### Abstract

Thermal monitoring is used for studying of time-spatial regime of surface temperatures in the landscape. Mesoclimatic conditions of urban environment are influenced by the specific formation of urban buildings as a type of active surface. Different thermal properties of the active surfaces with a large proportion of materials with high thermal capacity lead to increased heat absorption during positive energy balance and its decline when negative energy balance. Images from aerial remote sensing and thermal image with high-resolution combined with thermal satellites image of the Earth's surface could be use for the large scale research.. IR as a non-invasive method is suitable in environments with specific conditions of protection as are cave etc. This technique is environmentally friendly without requirement of any destruction of the cave interior. Thermal images are mainly used for the primary thermal survey and identifying of the sites with different temperature conditions. The temperature of the rock massif in those zones is subsequently monitored in detail by the temperature sensors placed in the rock wall. IR method can be successfully used in agrometeorology. For example to monitor the physiological response of plants on drought stress Open stomas evaporate water and the plant is cooling. Closed stomas cause a change in stomatal conductance and increase of the leaf temperature. The thermal monitoring also indirectly assesses the physiological state of the plants and their resistance to potential pathogens.

**Keywords:** mesoclimate, cave, transpiration, IR methods, termometr

### Úvod

Oblasti využití termálního monitoringu jsou velmi různorodé a široké. V biologických vědách se jedná zejména o fyziologii rostlin, dendrologii, zoologii (např. pro výzkum aktivity hibernujících živočichů). Meteorologie a agrometeorologie využívá termálních snímků při výzkumu teplotních poměrů měst a umělých povrchů, jako součást komplexního klimatologického výzkumu jeskyní, pro sledování teplotního režimu zemědělské krajiny a také např. k identifikaci stresu a fyziologické reakce rostlin.

Využití snímků pro studium teplotního pole pro potřebu environmentálních studií popisuje Weng (2009). Leuzinger, Vogt a Körner (2010) použili termální snímky k výzkumu městské vegetace. Početné práce se zabývají teplotními podmínkami městských aglomerací na základě hodnocení satelitních (Nichol 1998, Weng a Lu 2006) a leteckých (Kaufmann a Buchroithner 1990, Ozawa et al. 2004) termálních snímků. Torgersen, Faux, McIntosh, Poage a Norton (2001) analyzovali letecké termální snímky pro stanovení povrchové teploty vodních toků. Na základě termálního monitoringu digitální kamerou Graham, Lam a Yuen (2010) studovali energetickou bilanci v lesním porostu. Při vulkanologických výzkumech pracovali s termálními snímky např. Stevenson a Varley (2008) a mnoho dalších. Možnostmi využití ruční termální kamery v geografii, při studiu krajiny a místního klimatu v České republice se zabývají např. Vysoudil (2008) nebo Dosoudilová (2010). Bezkontaktní

měření povrchové teploty lze označit velmi užitečnou a efektivní metodu při studiu specifík klimatu na všech prostorových úrovních, při studiu prostředí se specifickým režimem klimatu i typů přírodního nebo antropogenního prostředí (lesní porosty, zemědělské plochy, městská krajina atd.).

Klima měst patří v současné klimatologii k aktuálním tématům, což souvisí mimo jiné s rostoucím podílem městského obyvatelstva, s případným rizikem ztrát na lidských životech a také s rizikem materiálních škod v případě extrémních projevů počasí. Ve velkých městech žije v současné době na 50% světové populace a ve vyspělých státech světa dokonce až 75% (Lambin a Geist, 2006). Jak uvádějí např. Voogt a Oke (2003), formování teplotních poměrů v zastavěných oblastech souvisí především se specifickými vlastnostmi prostředí městské zástavby jako druhu aktivního povrchu v porovnání s volnou krajinou.

Znalost mikroklimatických poměrů jeskyní nachází uplatnění především pro stanovení optimálních podmínek jejich ochrany, vědecky podloženého managementu včetně využití pro speleoterapii, rozšíření a ochranu jeskynní bioty, specifikaci geneze krasových území apod. 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.

Porostní mikroklima hraje základní roli v procesech ekosystému, ale prediktivní pochopení vertikální a horizontální variability v heterogenní krajině do značné míry chybí, a to navzdory pozorování, že organismy, druhy a společenstva reagují rozdílně na teploty hodinové, denní, sezónní a na teploty za delší časové rozpětí (Vanwallegem & Meentemeyer, 2009). Vertikální variabilita je obzvláště složitá, neboť kombinace jak fyziografických (např. nadmořská výška) tak ekologických (např. struktura vegetace) faktorů ovlivňuje toky energie a vlhkosti (Chen et al., 1999). Vztah mezi měřením mikroklimatu na meteorologických stanicích a měřením porostního mikroklimatu silně závisí jak na struktuře porostu, tak na výškovém umístění měřících senzorů (Chelle et al., 2009) atd.

## **Materiál a metody**

Pro monitoring teploty povrchu jsou využívány bezkontaktní metody, které představují nedestruktivní a tedy environmentálně šetrný způsob měření. Cílem je popsat teplotní prostorovou a časovou variabilitu povrchů a upozornit na vznik jevů souvisejících s charakterem pole povrchové teploty. Použitými zařízeními jsou infrared (IR) kamera a IR termometr.

Termální kamera FLUKE Ti55 IR fusion technology má teplotní citlivost  $\leq 0,05$  °C a poskytuje snímky o velikosti 320 × 240 pixelů, přičemž skutečná velikost monitorované plochy a prostorové rozlišení jsou závislé na vzdálenosti kamery od cíle. Pro monitoring je nutno nastavit „pozadové“ teploty vzduchu a emisivity materiálu (relativní hodnoty teploty povrchu).

Bezdotykový infračervený teploměr (termometr) Raytek Raynger® MX4™ s rozlišením 0.1 °C a přesností 1.0 °C měří množství E emitované ve formě dlouhovlnného záření z daného povrchu a zobrazuje teplotu povrchu tohoto předmětu. Přesnost měření je dosažena správným nastavením koeficientu emisivity snímaného materiálu.

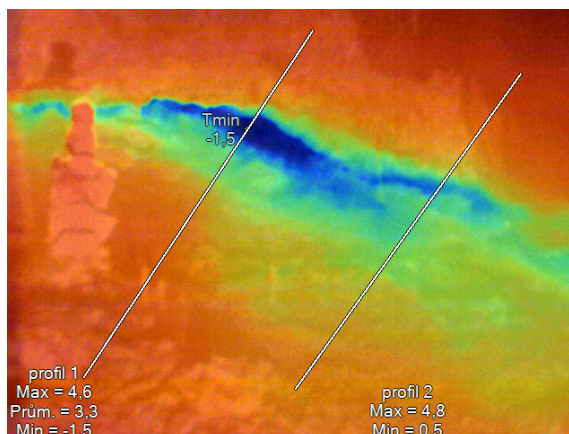
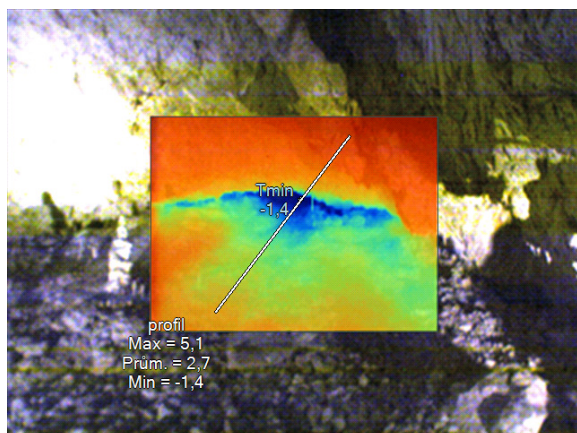
## **Výsledky**

### ***Výzkum jeskyní***

Cílem výzkumu bylo stanovení teplotního a vlhkostního režimu a nastavení optimálních parametrů návštěvnosti. Modelovou lokalitou byla v tomto případě Kateřinská jeskyně v Moravském krasu. Byl realizován paralelní monitoring teploty a vlhkosti vzduchu, monitoring teploty skalní stěny prováděný destruktivní metodou (čidla byla zapuštěna do stěny jeskyně do vyvrtaných otvorů) a monitoring teploty povrchu skalní stěny s využitím nedestruktivních IR metod.

Termální snímky povrchu skalní stěny pořízené termokamerou sloužily k porovnání teploty v různých sezónách a také jako klíčový podklad k vymezení kritických zón s největší dynamikou teplot (Obr. 1a 2) a předpokládaným vlivem návštěvníků na mikroklima. Tyto zóny byly následně osazeny senzory stacionárního monitoringu

Srovnáním teploty povrchu s výsledky měření teploty vzduchu umožňuje definovat způsob výměny tepla v jeskyních a rozšířit tak poznatky o těchto unikátních krajinných útvarech. Termální monitoring je také využitelný k identifikaci ztenčenin nadloží pro následný speleologický průzkum.

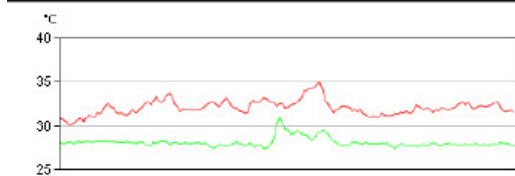
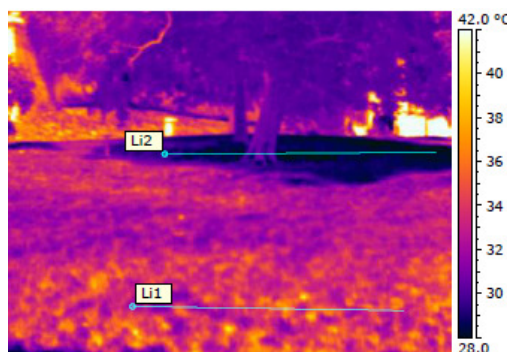
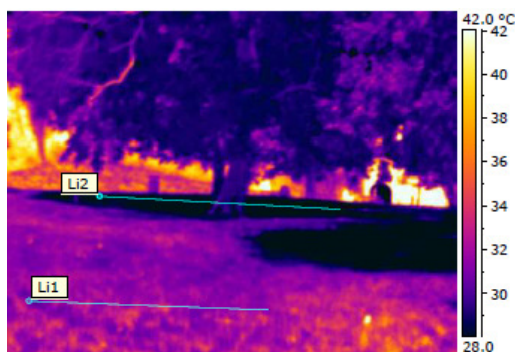


Obr. 1 a 2 vymezení zón s dynamických teplotním polem

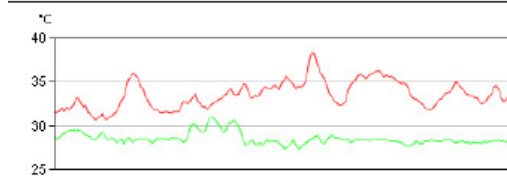
### Výzkum teplotního režimu měst

Cílem výzkumu byla časoprostorová analýza městského klimatu na příkladu středně velkých měst (Brno, Hradec Králové, Olomouc). Tyto výsledky jsou využitelné v humánní bioklimatologii a také při monitorování teplotního režimu dominantních povrchů z pohledu MUHI (teplotní mikro-ostrov měst). Výzkum MUNI zahrnuje zejména určení vztahu mezi teplotou povrchu a vzduchu, stanovení kombinovaného vztahu mezi teplotou povrchu, solární radiací a teplotou vzduchu a také srovnání teplot jednotlivých městských povrchů (beton, asfalt, tráva). Na základě měření byl mimo jiné popsán teplotní vertikální profil nad asfaltovým povrchem.

Termální snímkování různých městských povrchů bylo realizováno v centru města (betonový povrch, kamenná dlažba, vodní plocha), pohledem do centra města z vyvýšeného města (střechy, komíny) a v parku a na zatravněné ploše v blízkosti hradu Špilberk v Brně (Obr. 3 a 4).



■ Li1 Min: 30.1 Max: 34.9 Avg: 32.1  
■ Li2 Min: 27.4 Max: 31.0 Avg: 28.1



■ Li1 Min: 30.7 Max: 36.3 Avg: 33.6  
■ Li2 Min: 27.4 Max: 30.9 Avg: 28.6

Obr. 3 Termální snímek městského parku a graf průběhu teploty povrchu ve vyznačených řezech – dopoledne (vlevo)

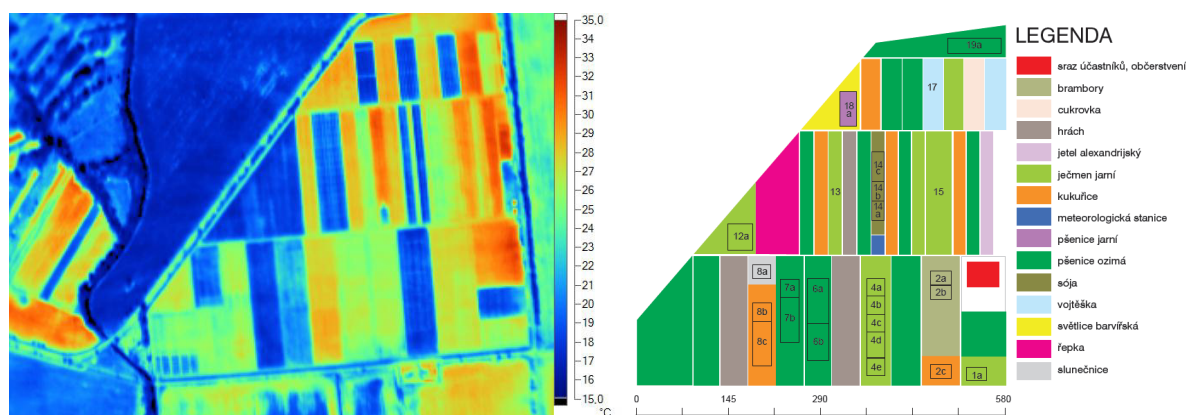
Obr. 4 Termální snímek městského parku a graf průběhu teploty povrchu ve vyznačených řezech – odpoledne (vpravo)

### Agrometeorologie

Monitoring v zemědělské krajině byl podrobně realizován na pozemcích školního polního podniku ŠPP Žabičce. Byla popsána prostorová variabilita jednotlivých „land cover“ charakteristických pro zemědělskou krajinu (holá půda, porosty ozimých i jarních plodin a další kultury a porosty) – Obr. 5.

Monitoring porostů/rostlin je realizován jednak přímo v polních podmínkách nebo v podmínkách laboratorních. Byla prokázána a popsána vazba mezi vzrůstající teplotou povrchu listu po vystavení stresu suchem. Nedostatek vody v půdním profilu vedlo k postupnému snížení/zastavení transpirace což způsobilo vzrůst teploty listů.

Poznatky jsou využitelné při šlechtění na odolnost k suchu a pro výběr suchovzdorných odrůd.



Obr. 5 Termální snímek jednotlivých zemědělských pozemků

### Závěr

Termální monitoring nachází uplatnění v celé řadě vědeckých disciplín. Často je realizován jako doplněk či nadstavba k dalším metodám výzkumu. Nespornou výhodou je, že se jedná o neinvazivní metoda měření teploty což zajišťuje například při výzkumu jeskyní environmentální šetrnost.

Výsledky jsou využitelné při základním výzkumu v bioklimatologii a humánní bioklimatologii.

V aplikační rovině potom například při managementu zvláště chráněných segmentů krajiny, v územním plánování a ve šlechtitelské praxi a ochraně rostlin.

### Literatura

- Dosoudilová, B. (2010): Vliv georeliéfu a aktivního povrchu na režim povrchové teploty na základě vyhodnocení termálních snímků. [Bakalářská práce]. Přírodovědecká fakulta Univerzity Palackého, Katedra geografie, Olomouc, 52 s.
- Graham, E. A., Lam, Y., Yuen, E. M. (2010): Forest understory soil temperatures and heat flux calculated using a Fourier model and scaled using a digital camera. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150: 640–649.
- Kaufmann, V., Buchroithner, M. F. (1990): City Planning by means of Thermal Infrared Mapping, *Urban climate analysis of the City of Graz. Earth Observation Quarterly*, No. 31, September 1990, 3 p.
- Leuzinger, S., Vogt, R., Körner, Ch. (2010): Tree surface temperature in an urban environment. *Agricultural and Forest Meteorology*, 150:56-62.
- Nichol, J., E. (1998): Visualisation of urban surface temperatures derived from satellite images. *International Journal of Remote Sensing*, 19: 1639 – 1649.
- Ozawa, A. et al. (2004): Airborne hyperspectral and thermal information for assessing the heat island in urban areas of Japan. [cit. 2011-01-13]. Dostupné na WWW: <<http://www.isprs.org/proceedings/XXXV/congress/comm7/papers/9.pdf>>
- Stevenson, J. A., Varley, N. (2008): Fumarole monitoring with a handheld infrared camera: Volcán de Colima, Mexico, 2006–2007. *Journal of Volcanology and Geothermal Research*, 177 (4): 911-924.
- Torgersen, Ch. E., Faux, N. J., McIntosh, B. A., Poage, N. J., Norton, D. J. (2001): Airborne thermal remote sensing for water temperature assessment in rivers and streams. *Remote Sensing of Environment*, 76 (3): 386-398.
- Vysoudil, M., (2008): Topoclimate Study by Use Thermal Monitoring. *Geodays Liberec 2008. Book of Abstracts. Annual International Geographical Conference of Czech Geographical Conference, Liberec 25.-28. 8. 2008, Technical University of Liberec, p. 29.*
- Weng, Q., Lu, D. (2006): Spectral mixture analysis of ASTER images for examining the relationship between urban thermal features and biophysical descriptors in Indianapolis, Indiana, USA. *Remote Sensing of Environment*, 104: 157–167.
- Weng, Q. (2009): Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: Methods, applications, and trends. *ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing*, 64: 335 – 344.
- Chelle, M., Liu S., Ney B., 2009: Which air temperature drives epidemiological processes of fungal folia wheat diseases at leaf scale? *AFPP – 9ème Conférence internationale sur les maladies des plantes tours – 8 et 9 décembre 2009*
- Chen, J., Saunders, S., C., Crow, T., R., Naiman, R., J., Brososke, K., D., Mroz, G., D., Brookshire, B., L., Franklin, J., F., 1999: Microclimate in forest ecosystem and landscape ecology. *Bioscience*, 49: 288 – 297.
- Vanwalleghem, T., Meentemeyer, R., K., 2009: Predicting Forest Microclimate in Heterogeneous Landscapes. *Ecosystems*, 12: 1158 – 1172

**Poděkování**

Práce vznikla za podpory projektu NAZV QJ1230056 Vliv očekávaných klimatických změn na půdy České republiky a hodnocení jejich produkční funkce

Prezentace: [Upice.ppt](#)