**Názov výstupu:** **Point/ profile temperature and humidity measurement for the purpose of vulnerability (exposition) assessment in study area and pilot areas before the measures implementation in study area of Bratislava-Karlova Ves (year 2019).**
**Partial report**

**Bodové/profilové meranie teplôt a vlhkosti pre potreby vyhodnotenia zraniteľnosti (expozícia) v riešenom území a na pilotných plochách pred realizáciou opatrení v riešenom území v MČ Bratislava-Karlova Ves (rok 2019).**
**Dielčia správa**

**Výstup z aktivity:** D1

**Autori:** Mgr. Juraj Holec PhD., RNDr. Pavel Šťastný, CSc.

**Website:** www.odolnesidliska.sk

*Správa vznikla v rámci projektu DELIVER – DEveloping resilient, low-carbon and more LIVablE urban Residential area DELIVER: Sídliská ako živé miesta odolné voči zmene klímy, kód LIFE17 CCA/SK/000126 - LIFE DELIVER. Projekt je financovaný zo zdrojov Európskej komisie, z finančného nástroja pre životné prostredie: program LIFE, z podprogramu „Ochrana klímy“.*

SLOVENSKÝ HYDROMETEOROLOGICKÝ ÚSTAV

# Bodové/profilové meranie teplôt a vlhkosti pre potreby vyhodnotenia zraniteľnosti (expozícia) v riešenom území a na pilotných plochách pred realizáciou opatrení v riešenom území v MČ Bratislava-Karlova Ves (rok 2019).

## Dielčia správa

BRATISLAVA, AUGUST, 2022

**Obsah**

Úvod ..... 4
1 Študované územie ..... 4
2 Lokality a metodika meraní ..... 4
3 Výsledky ..... 8
Záver ..... 13
Zdroje ..... 14

## Úvod

Predkladaná štúdia vznikla na základe Zmluvy o Dielo medzi Mestskou časťou Bratislava-Karlova Ves a Slovenským hydrometeorologickým ústavom, v zmysle predmetu zmluvy: **„Expertné klimatické posúdenie MČ Bratislava - Karlova Ves v rámci realizácie projektu DELIVER - Sídliská ako živé miesta odolné voči zmene klímy (LIFE17 CCA/SK/000126 - LIFE DELIVER).**

Jedná sa o dielčiu správu pre merania z roku 2019, ktorej odovzdanie je spomenuté v článku 2, bode 3, 4. časti zmluvy. Autormi správy sú Mgr. Juraj Holec, PhD. a RNDr. Pavel Šťastný, CSc.

## 1 Študované územie

Záujmovým územím, na ktorom boli vykonané merania, je mestská časť Bratislavy – Karlova Ves. Územie bolo vybrané s ohľadom na zameranie projektu DELIVER (*LIFE17 CCA/SK/000126 – „Sídliská ako živé miesta odolné voči zmene klímy“*), v rámci ktorého SHMÚ spolupracuje s mestskou časťou Bratislava - Karlova Ves. Hlavným zámerom projektu DELIVER je zladenie úsilia o prispôsobenie sa klimatickej zmene a zároveň zmierňovanie jej dopadov na život na sídliskách.

Mestská časť Karlova Ves sa nachádza v západnej časti Bratislavy. Územie sa nachádza na styku Podunajskej roviny a Malých Karpát. Rozprestiera sa v nadmorských výškach od 140 m n. m. pri Dunaji ohraničujúcom územie z juhu po 265 m n. m. na úpätí Malých Karpát. Jadro územia predstavuje údolie pozdĺž potoka Suchá Vydrica, ktorý je dnes zvedený do kanalizácie. Smerom na západ sa na svahoch Malých Karpát nachádza sídlisko Dlhé Diely, na východ sa nachádzajú svahy Starého gruntu (260 m n.m.) a Sitiny (264 m n.m.), ktoré sú zväčša nezastavané.

## 2 Lokality a metodika meraní

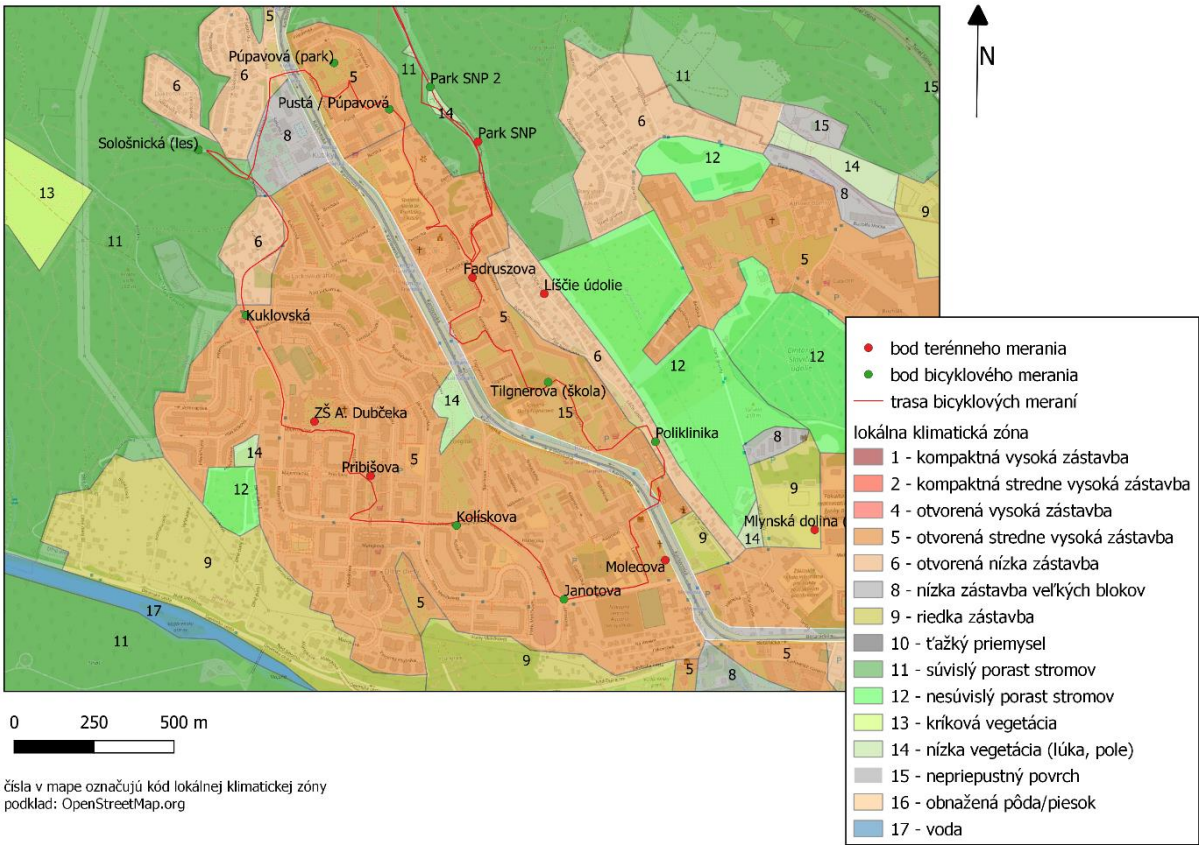
Pre meranie v Karlovej Vsi bol stanovený termín 1.7.2019. Daný deň sa vyznačoval mimoriadne teplým a slnečným počasím. V Bratislave bol zaznamenaný supertropický deň s maximálnou teplotou vzduchu na stanici Bratislava-letisko 36,3 °C. Fúkal len slabý vietor s rýchlosťou do 3 m/s. Charakter mimoriadne teplého dňa bol prerušený vo večerných hodinách okolo 18:00 prechodom studeného frontu, ktorý priniesol rýchle ochladenie a zrážky.

Terénne merania boli vykonávané na šiestich miestach: Na Majerníkovej pri ZŠ A. Dubčeka, na pešej zóne Pribišova, na Molecovej pri križovatke s Karloveskou, v parku SNP, na ulici Líščie údolie a na Fadruszovej ulici. Okrem toho boli vykonávané mobilné bicyklové merania na trase cez park SNP, Líščie údolie, Donnerovu, Segnerovu, Karloveskú, Molecovu, Janotovu, Pribišovu, Majerníkovu, Kuklovskú a Perneckú späť do Líščieho údolia. Záujmové územie s lokalitami merania je znázornené na obr. 1, tu sú zároveň vykreslené lokálne klimatické zóny (LCZ), v ktorých sa nachádza územie Karlovej Vsi. Lokálne klimatické zóny boli vymapované v zmysle metodiky práce Stewart a Oke (2012). Väčšina meraní

prebiehala v zóne 5 – otvorená stredne vysoká zástavba. Merania v Líščom údolí prebiehali v zóne 6 - otvorená nízka zástavba. Merania v parku SNP a na Sološnickej prebiehali v zóne 11 – súvislý porast stromov.

Merania prebiehali v termínoch od 8. hodiny do 17. hodiny a meralo sa pomocou Assmanových aspiračných psychrometrov, pre bicyklové merania bol použitý datalogger Hobo U23-002, zároveň pre meranie polohy bolo použité GPS Garmin Oregon 550. Merania teploty z dataloggera a pozície z GPS boli synchronizované na základe času merania. Namerané dáta teploty vzduchu boli normalizované vždy na daný termín (celú hodinu), aby bolo možné ich vzájomné porovnávanie. Nakoľko bicyklové merania prebiehali kontinuálne v desaťsekundových intervaloch, boli vybrané záujmové body, pri ktorých bola agregovaná priemerná hodnota bicyklových meraní z blízkeho okolia daných bodov (obr. 1, body značené zelenou farbou).

Nasledujúci mesiac bol stanovený deň dodatočných meraní, kde bolo úlohou najmä meranie možných rozdielov medzi navzájom blízkymi, ale mikroklimaticky potenciálne kontrastnými lokalitami. Dodatočné merania boli vykonané dňa 20.8. 2019 v popoludňajších hodinách v termínoch od 13. do 18. hodiny, lokality meraní sú zaznačené na obr. 2. Meranie bolo vykonané pomocou Assmanových aspiračných psychrometrov a údaje boli taktiež normalizované k danému termínu - celej hodine.




**Obr. 1: Body meraní dňa 1.7.2019 a lokálne klimatické zóny vyčlenené v Karlovej Vsi**

**Obr. 2: Body dodatočných meraní dňa 20.8. 2019**

## 3 Výsledky

Priebeh meraní možno demonštrovať ich výsledkami o 8., 11., 14. a 17. hodine LSEČ, ktoré sú zdokumentované na obr. 3 - 6. O 8. hodine (obr. 3) môžeme z meraní pozorovať diferencovanosť viac ako 2 °C. Najchladnejší je park SNP nachádzajúci sa v malom zalesnenom údolí, kde bolo nameraných 22,8 °C. Naopak najteplejšou lokalitou je Molecova s 25,1 °C. V prípade Molecovej zohráva úlohu zrejme aj teplo z dopravy, nakoľko sa jedná o vyťaženú križovatku a termín rannej dopravnej špičky. O 11. hodine (obr. 4) bola diferencovanosť taktiež približne 2 °C, najchladnejšia lokalita s teplotou 28,12 °C sa nachádza na Púpavovej v priestore s veľkým podielom zelene, najteplejšou lokalitou je opäť Molecova, ktorá bola jedinou lokalitou o 11. hodine, kde teplota presiahla 30 °C. Hodnota 29 °C bola prekročená na dvoch bodoch merania v Líščom údolí. O 14. hodine (obr. 5) je rozdiel medzi teplotami v rámci Karlovej Vsi zo všetkých termínov najmenší, len 1,7 °C. Najchladnejšou lokalitou je okraj lesa na Sološnickej ulici (32,3 °C), najteplejšou lokalitou je južná časť Líščieho údolia v blízkosti polikliniky (34 °C). O 17. hodine (obr. 6) boli teplotné rozdiely najväčšie. V tomto čase sa už začal výraznejšie prejavovať efekt mestského ostrovu tepla a rozdiel medzi areálmi s prirodzenými povrchmi a areálmi s umelými povrchmi. Na okraji lesa na Sološnickej ulici teplota klesla na 30,3 °C, zatiaľ čo na mnohých miestach prevyšovala 35 °C – napr. v Líščom údolí, na Molecovej, či Janotovej, kde bolo zaznamenané maximum (35,6°C). Zo zastavaných lokalít bola najchladnejšou oblasť Púpavovej ulice, kde bolo nameraných 34,1 °C. K relatívne chladnejším lokalitám sa zaraďoval aj park SNP, v ktorom sa pohybovala teplota vzduchu medzi 32,1 °C a 33,6 °C.

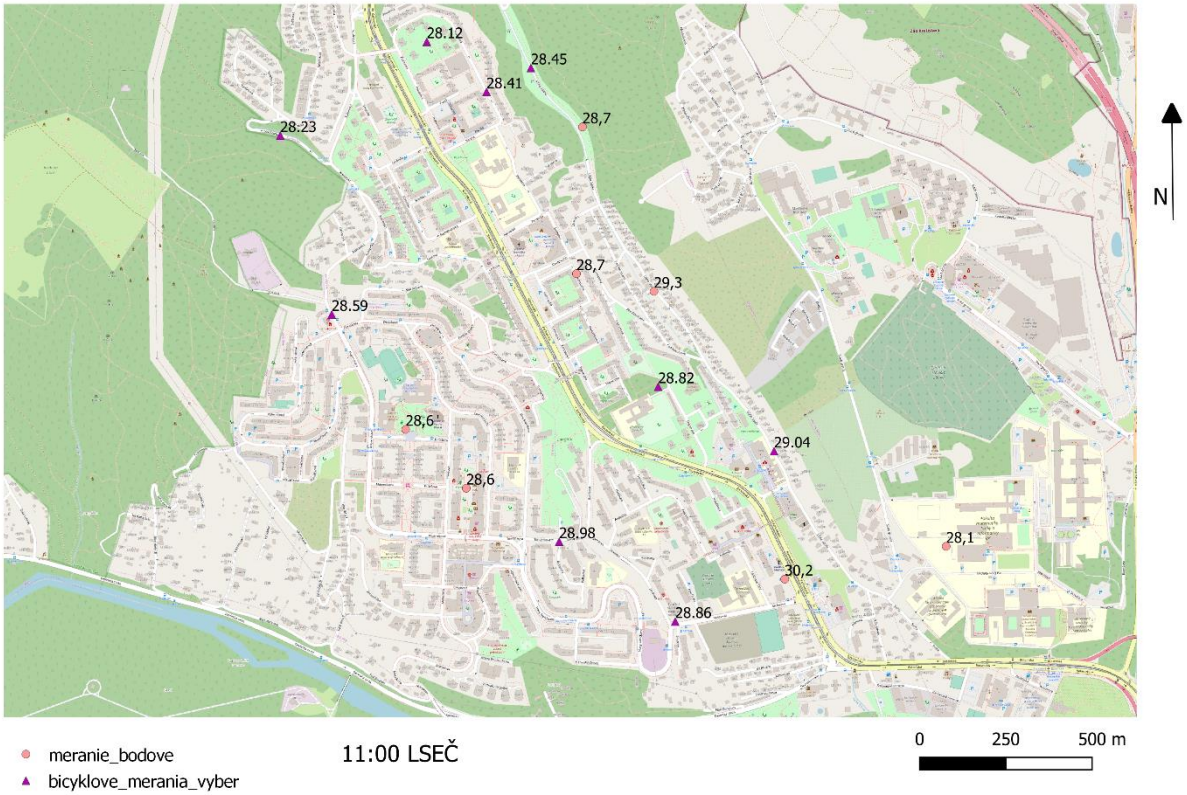
Chod teploty na vybraných meraných lokalitách je dokumentovaný aj na obr. 7 a 8, na ktorých je ukázané aj porovnanie s referenčnou stanicou Bratislava – Mlynská dolina. Najteplejším miestom na obr. 7 je lokalita Molecova, jej teploty sa k ostatným bodom približujú až okolo 14. hodiny. Spomedzi druhej trojice bodov (obr. 8) je najteplejšia lokalita Líščie údolie. Lokalita Fadruszova je v poludňajších hodinách síce chladnejšia ako park SNP, avšak v podvečerných hodinách prebieha ochladzovanie v parku SNP rýchlejšie.

V porovnaní s Bratislavou ako celkom patrí Karlova Ves vďaka svojej polohe v Malých Karpatoch ku chladnejším častiam mesta. Na stanici Bratislava-Mlynská dolina a taktiež v rámci terénnych meraní dosiahlo teplotné maximum hodnotu 35,6 °C. Naproti tom maximálna teplota vzduchu v daný deň na stanici Bratislava-Koliba bola 36,0 °C a na stanici Bratislava-letisko až 36,3 °C.

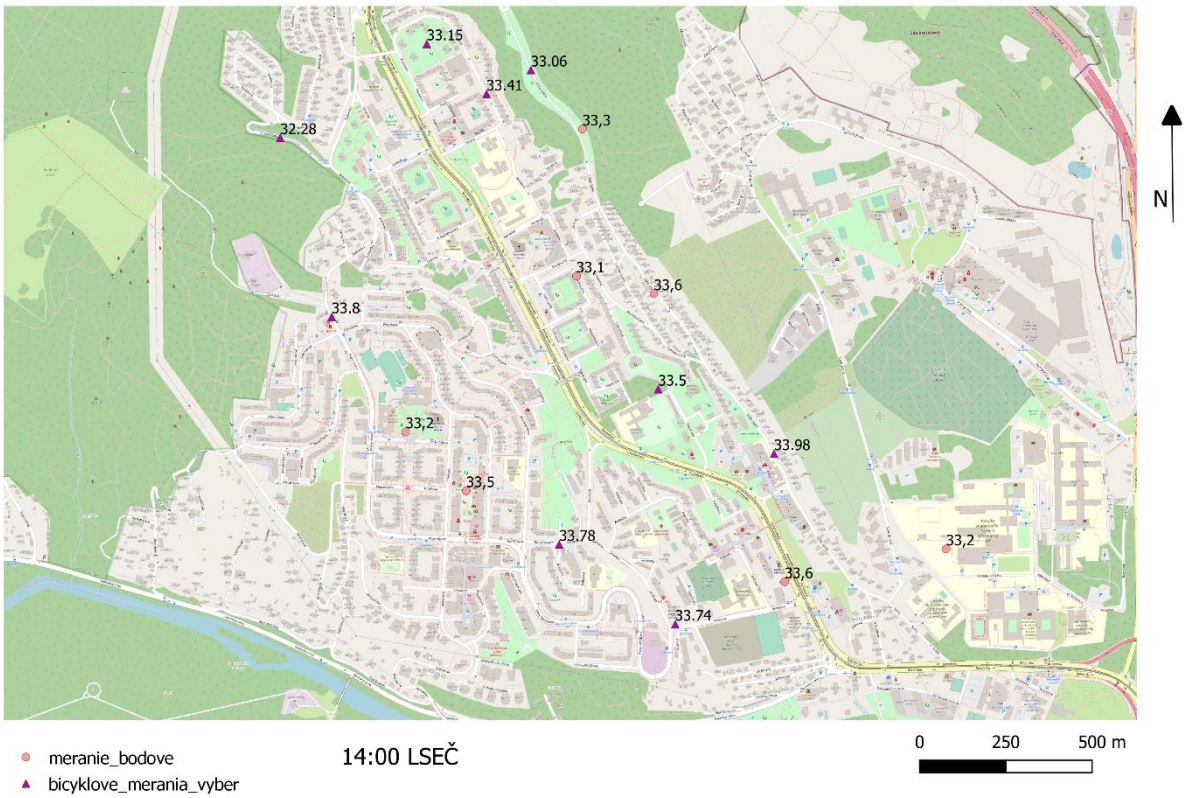
Dodatočné merania z dňa 20.8.2019 (obr. 9) potvrdili o trochu chladnejší charakter oblasti Dlhých Dielov (v priestore ulíc Pribišova a Majerníkova, kde boli o 17. hodine najnižšie teploty zo všetkých lokalít). V termíne o 17. hodine bola najteplejšou lokalitou Karloveská ulica (asi 200 metrov od bodu na Molecovej, kde sa meralo v júli 2019). Rovnako sa ukázala funkcia zelene - park Kútiky mal nižšiu teplotu ako oblasť pri MiÚ Karlova Ves. Avšak napríklad vnútroblok na Fadruszovej, ktorý mal rovnako

dostatok zelene ukazoval o 1°C vyššiu teplotu ako park Kútiky. Tu sa ukazuje zrejme nedostatočná ventilácia vnútrobloku, a tým pádom jeho väčšie prehrievanie ako v prípade otvorenej lokality v parku Kútiky.

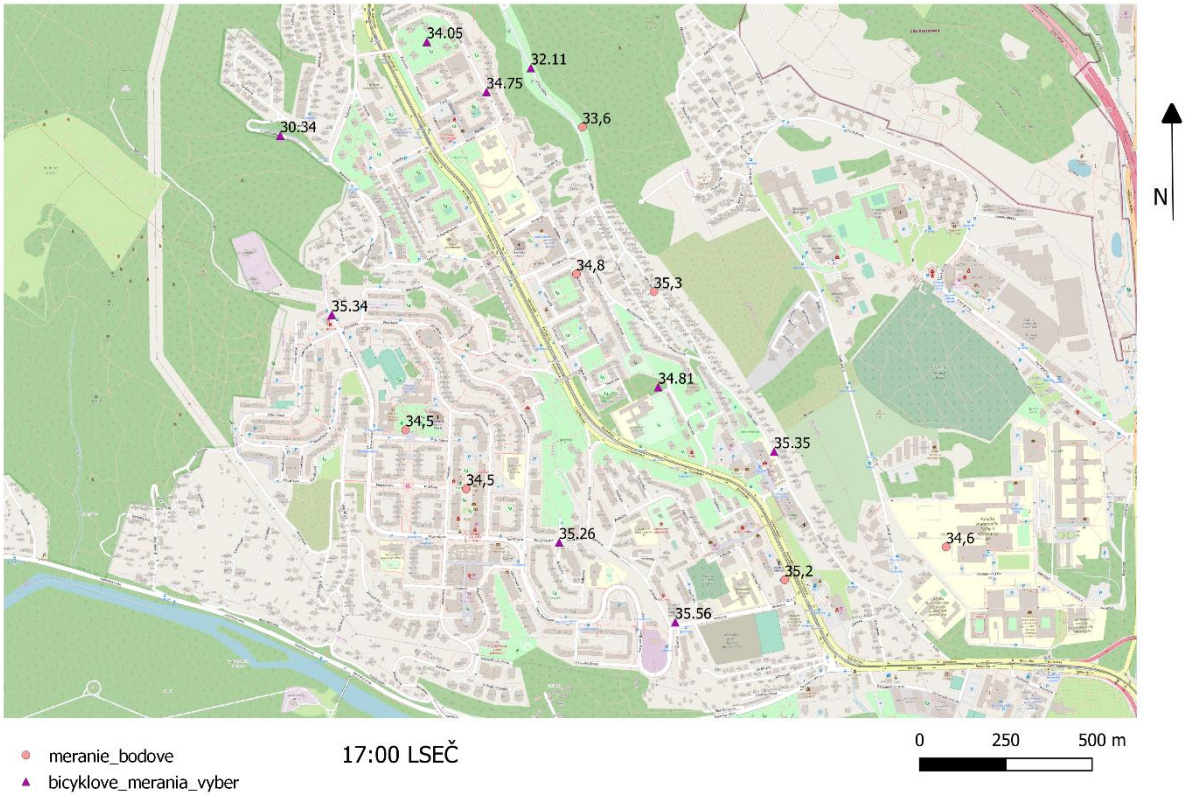
**Obr. 3: Teplota vzduchu (°C) dňa 1.7.2019 podľa meraní o 8. hodine**



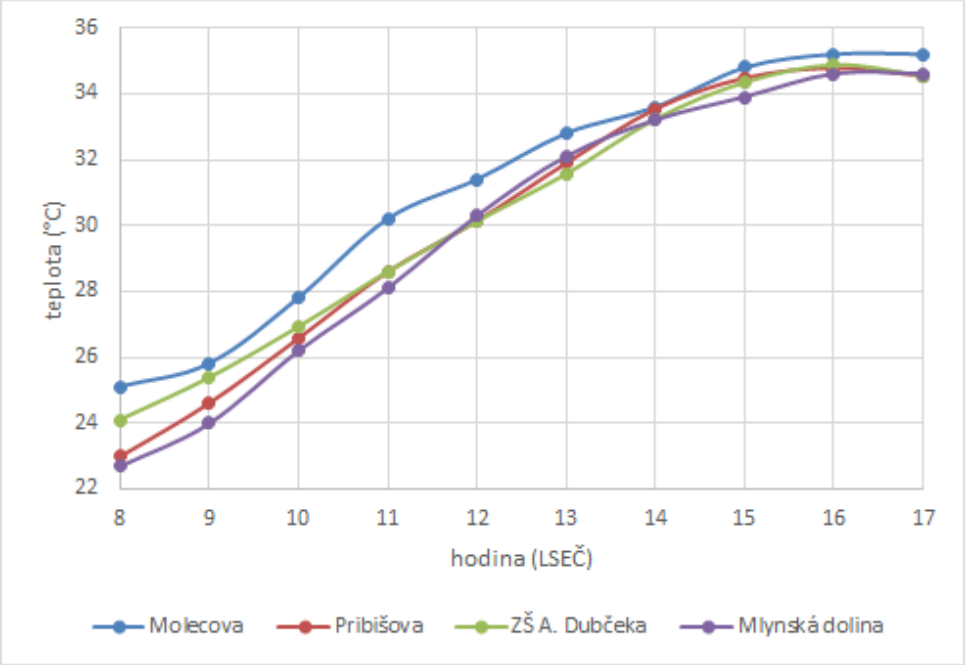

**Obr. 4: Teplota vzduchu (°C) dňa 1.7.2019 podľa meraní o 11. hodine**



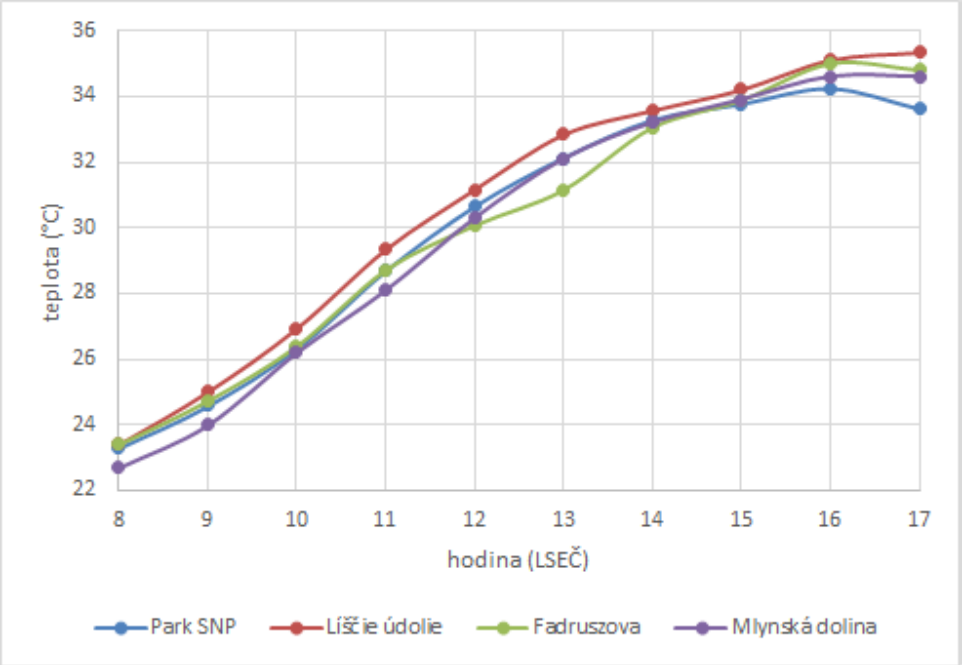

**Obr. 5: Teplota vzduchu (°C) dňa 1.7.2019 podľa meraní o 14. hodine**



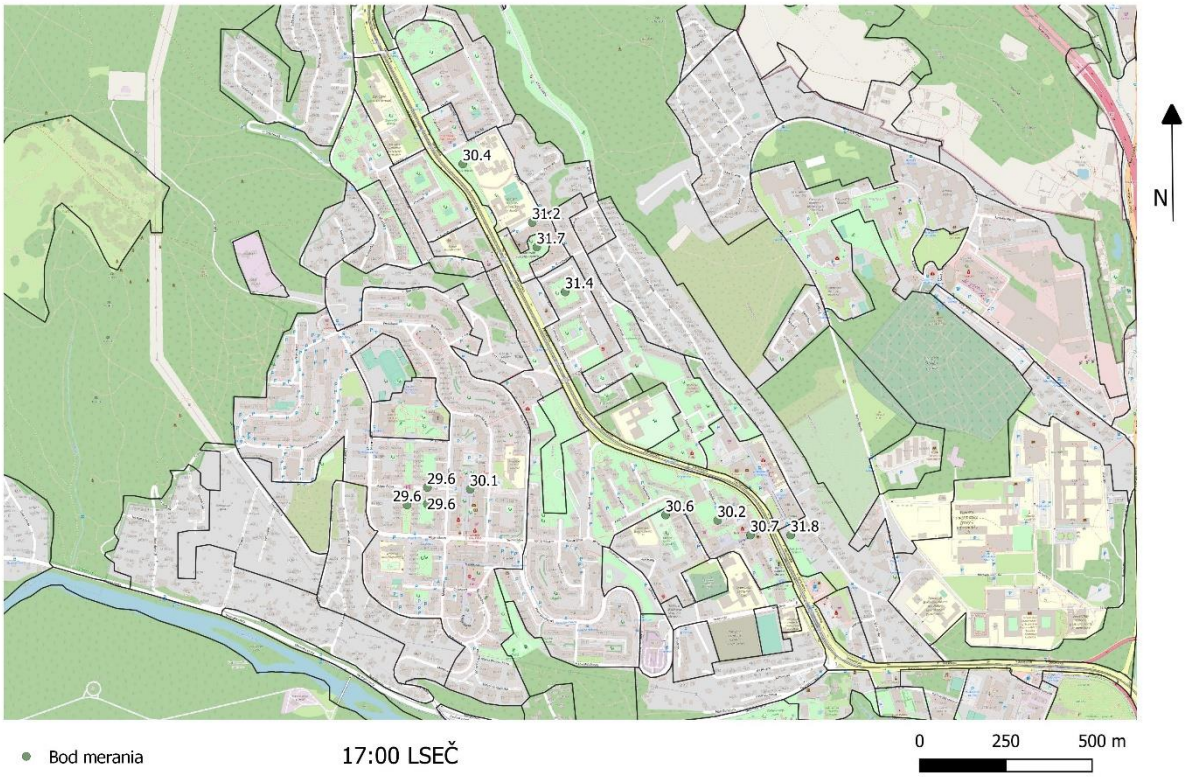

**Obr. 6: Teplota vzduchu (°C) dňa 1.7.2019 podľa meraní o 17. hodine**




**Obr. 7: Denný chod teploty vzduchu dňa 1.7.2019 na vybraných lokalitách (Dlhé Diely)**




**Obr. 8: Denný chod teploty vzduchu dňa 1.7.2019 na vybraných lokalitách (Karlova Ves)**




**Obr. 9: Teplota vzduchu (°C) dňa 20.8.2019 podľa meraní o 17. hodine**

## Záver

Pri prezentovaných výsledkoch je potrebné zohľadniť fakt, že merania sa uskutočnili jednorazovo počas vybraného supertropického dňa. Avšak niektoré z lokalít boli taktiež súčasťou terénnych meraní uskutočnených počas roku 2018. Výsledky z leta 2018 nie sú v rozpore s vykonanými meraniami. Jednoznačne sa potvrdila ochladzujúca funkcia územia s hustým pokrytím stromami na príklade parku SNP, prípadne lesa pri Sološnickej ulici, ktorá najmä v neskorších poobedných hodinách môže byť aj niekoľko °C. Navyše úlohu tu zohráva aj reliéf, údolná poloha oboch lokalít podporuje hromadenie studenšieho vzduchu vo večerných a nočných hodinách. Počas poludňajších hodín je však teplota lokality podobná ako v sídliskových zónach, čo zodpovedá obvyklému charakteru mestského ostrova tepla (Oke, 1982). Naopak najteplejšou lokalitou je križovatka Molecovej a Karloveskej ulice, potvrdzujú to aj merania z roku 2018. Jedná sa o miesto s vysokým percentuálnym pokrytím umelými povrchmi a zároveň s veľkou intenzitou cestnej dopravy. Merania nenaplnili predpoklad, že sídlisková časť územia (v lokálnej klimatickej zóne č. 5) musí byť teplejšia ako zástavba s nižšími, rodinnými domami (lokálna klimatická zóna č. 6). Lokalita Fadruszova bola počas celého dňa chladnejšia ako neďaleká lokalita Líščie údolie. Predpokladáme, že svoju úlohu tu zohráva charakter vegetácie so staršími a mohutnejšími stromami na lokalite Fadruszova, zatiaľ čo v prípade Líščieho údolia je pokryvnosť stromovou vegetáciou výrazne nižšia. Z meraní na obr. 6 aj dodatočných meraní na obr. 9 vidno, že oblasť Dlhých Dielov je mierne chladnejšia, úlohu v tomto prípade zohráva aj rozdiel v nadmorských výškach, zatiaľ čo lokalita na Molecovej sa nachádza približne 150 m n.m., lokality na Dlhých Dieloch sú približne o 100 metrov vyššie. Z dodatočných meraní vidno, že úlohu môže hrať aj konštelácia budov – príkladom toho je vyššia teplota v relatívne slabo ventilovanom vnútrobloku oproti neďalekému parku Kútiky.

Zároveň teda merania poukázali na fakt, že vymedzenie lokálnych klimatických zón má svoje limity a existuje variabilita v teplotách aj v rámci danej zóny, ktorá závisí napr. od charakteru vegetácie v jednotlivých častiach danej zóny. Príkladom toho môže byť porovnanie jednotlivých častí sídliska Dlhé diely a Karlovej Vsi, v ktorých je rozdiel vo výške a hustote stromovej vegetácie. Merania dňa 1.7. 2019 boli vzhľadom na prechod studeného frontu krátko pred 18. hodinou ukončené. Dá sa predpokladať, že ak by pokračoval pôvodný horúci charakter počasia, rozdiely medzi chladnejšími a teplejšími lokalitami by sa ešte zintenzívnili, nakoľko prejav mestského ostrova tepla je najvýraznejší práve vo večerných a nočných hodinách (Oke, 1982).

Merania poukázali na variabilitu teplôt v rámci mestskej časti Karlova Ves a identifikovali zóny najviac

ohrozené vysokými teplotami. Výsledky práce môžu byť zohľadnené pri tvorbe adaptačných a mitigačných opatrení. Do úvahy treba vziať aj fakt, že sme sa zamerali len na jednu časť mesta, v ktorej je mestský ostrov tepla menej intenzívny ako v centre a východnej časti Bratislavy (Bokwa a kol., 2019; Holec a kol., 2020). Najteplejšie lokality Karlovej Vsi sú teda v porovnaní s centrom stále o čosi chladnejšie.

## Zdroje


Bokwa, A., Geletič, J., Lehnert, M., Žuvela-Aloise, M., Hollósi, B., Gál, T., Skarbit, N., Dobrovolný, P., Hajto, M.J., Kielar, R., Walawender, J.P., Šťastný, P., Holec, J., Ostapowicz, K., Burianová, J., Garaj, M. (2019). Heat load assessment in Central European cities using an urban climate model and observational monitoring data. *Energy and Buildings*, 201:53–69

Holec, J., Feranec, J., Šťastný, P., Szatmári, D., Kopecká, M., & Garaj, M. (2020). Evolution and assessment of urban heat island between the years 1998 and 2016: case study of the cities Bratislava and Trnava in western Slovakia. *Theoretical and Applied Climatology*, *141*(3), 979-997.

Oke, T. R. (1982). The energetic basis of the urban heat island. *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*, *108*(455), 1-24.

Stewart, I. D., & Oke, T. R. (2012). Local climate zones for urban temperature studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, *93*(12), 1879-1900.