

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

Přírodovědecká fakulta

Katedra geografie

Ondřej TESAŘ

Městský tepelný ostrov Liberce

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Mgr. Jan GELETIČ, Ph.D.

Olomouc 2022

Bibliografický záznam

- Autor (osobní číslo):** Ondřej Tesař (R19112)
Studijní obor: Regionální geografie (RG)
- Název práce:** Městský tepelný ostrov Liberce
Title of thesis: Urban Heat Island: The Case of Liberec (Czech Republic)
- Vedoucí práce:** Mgr. Jan Geletič, Ph.D.
Rozsah práce: 54 stran, 1 vázaná příloha
- Abstrakt:** Tato práce se zabývá studiem městského tepelného ostrova Liberce. K získání dat byla využita metoda mobilního měření teploty vzduchu s využitím osobního automobilu. Měření probíhala v letním a zimním období v odpoledních a nočních hodinách. Získaná data byla dále analyzována a byl zkoumán vliv vybraných geografických faktorů. Jednalo se o nadmořskou výšku, nepropustnost povrchu a procento zastavěného území.
- Klíčová slova:** městský tepelný ostrov, teplota vzduchu, mobilní měření, městské klima, Liberec
- Abstract:** This thesis analyzes the urban heat island in the mid-sized city of Liberec. The method of mobile air temperature measurement using a car was used to obtain data. Measurements took place in summer and winter in the afternoon and at night. The obtained data were further analyzed and the influence of selected geographical factors was investigated. These were altitude, surface imperviousness and the percentage of built-up area.
- Keywords:** urban heat island, air temperature, mobile measuring, urban climate, Liberec

Tímto prohlašuji, že jsem zadanou bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením Mgr. Jana Geletiče, Ph.D. a veškeré informace a zdroje jsem uvedl v seznamu použité literatury.

V Olomouci dne: _____

podpis autora

Chtěl bych poděkovat Mgr. Janu Geletičovi, Ph.D. za ochotný přístup a pomoc při vedení této práce. Dále bych chtěl poděkovat Mgr. Michalu Lehnertovi, Ph.D. za cenné rady a za zapůjčení přístrojů potřebných k praktické části.

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

Přírodovědecká fakulta

Akademický rok: 2020/2021

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: Ondřej TESÁŘ
Osobní číslo: R19112
Studijní program: B1301 Geografie
Studijní obor: Regionální geografie
Téma práce: Městský tepelný ostrov Liberce
Zadávající katedra: Katedra geografie

Zásady pro vypracování

Bakalářská práce se bude zabývat městským tepelným ostrovem na příkladu města Liberce. V letních a zimních dnech s předpokladem radičního režimu počasí bude za pomoci automobilu a teploměru s rychlou odezvou prováděno mobilní měření teploty vzduchu na vybraných trasách ve městě a jeho okolí. Výsledky práce budou pomocí vhodných statistických metod a grafických nástrojů interpretovány v kontextu vybraných (geo)faktorů.

Navržená struktura práce:

1. Úvod
2. Cíle
3. Účelová charakteristika území
4. Teoretická východiska
5. Metody
6. Výsledky
7. Diskuse
8. Závěr
9. Summary
10. Seznam zdrojů

Rozsah pracovní zprávy: 5 000 – 8 000 slov
Rozsah grafických prací: Podle potřeb zadání
Forma zpracování bakalářské práce: tištěná

Seznam doporučené literatury:

BOKWA, Anita, Monika J. HAJTO, Jakub P. WALAWENDER a Mariusz SZYMANOWSKI. Influence of diversified relief on the urban heat island in the city of Kraków, Poland. *Theoretical and Applied Climatology*. 2015, 122(1-2), 365-382. ISSN 0177-798X. Dostupné z: doi:10.1007/s00704-015-1577-9.
DOBROVOLNÝ, Petr a Lukáš KRAHULA. The spatial variability of air temperature and nocturnal urban heat island intensity in the city of Brno, Czech Republic. *Moravian Geographical Reports*. 2015, 23(3), 8-16. ISSN 1210-8812. Dostupné z: doi:10.1515/mgr-2015-0013.
GEIGER, R., R. H. ARON a P. TODHUNTER. *The climate near the ground*. 6. ed. Lanham: Rowman & Littlefield publishers, 2003, 584 s. ISBN 0-7425-1857-4.
GELETIČ, J. a M. LEHNERT. Místní klimatické zóny a jejich význam ve městech České republiky. *Urbanismus a územní rozvoj*. 2017, 20(2), 9-16. ISSN 1212-0855.
LEHNERT, Michal, Jan GELETIČ, Petr DOBROVOLNÝ a Martin JUREK. Temperature differences among local climate zones established by mobile measurements in two central European cities. *Climate Research*. Germany: Inter-Research Science Publisher, 2018, 75(1), 53-64. ISSN 0936-577X. Dostupné z: doi:10.3354/cr01508.

LEHNERT, Michal, Josef KUBEČEK, Jan GELETIČ, Martin JUREK a Jindřich FRAJER. Identifying hot and cool spots in the city centre based on bicycle measurements: the case of Olomouc. *Geographica Pannonica*. Czech Republic, 2018, 22(4), 230-240. ISSN 0354-8724. Dostupné z: doi:10.5937/gp22-19750.

OKE, T. R., G. MILLS, A. CHRISTEN a J. A. VOOGT. *Urban Climates*. Cambridge University Press, 2017. ISBN 9781139016476.

PROŠEK, P. a F. REIN. *Mikroklimatologie a mezní vrstva atmosféry*. Praha: SPN, 1982, 237 s. ISBN 17-103-81.

STEWART, I. D. a T. R. OKE. Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*. 2012, 93(12), 1879-1900. ISSN 0003-0007. Dostupné z: doi:10.1175/BAMS-D-11-00019.2.

STŘEDOVÁ, Hana a kol. *Mikroklima a mezoklima měst, mikroklima porostů*. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2011, 120 s. ISBN 978-80-86690-90-2.

VYSOUDIL, Miroslav. *Podněbí Olomouce: Climate of Olomouc*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2012. ISBN 978-80-244-3285-4.

Vedoucí bakalářské práce: **Mgr. Jan Geletič**
Katedra geografie

Datum zadání bakalářské práce: **13. ledna 2021**

Termín odevzdání bakalářské práce: **30. dubna 2022**

L.S.

doc. RNDr. Martin Kubala, Ph.D.
děkan

prof. RNDr. Marián Halás, Ph.D.
vedoucí katedry

V Olomouci dne 1. listopadu 2021

Obsah

1. Úvod.....	9
2. Cíle.....	10
3. Charakteristika zájmového území.....	11
3.1 Geomorfologická charakteristika.....	11
3.2 Hydrologická charakteristika.....	12
3.3 Klimatická charakteristika.....	13
3.3.1 Referenční stanice.....	14
3.4 Využití území.....	16
5. Metody.....	22
5.1 Mobilní měření teploty vzduchu.....	22
5.2 Trasa měření.....	23
5.3 Další zdroje dat.....	25
5.4 Zpracování dat.....	26
6. Výsledky.....	27
6.1 Přehled měření.....	27
6.1.1 Odpolední měření 31. 7. 2021.....	28
6.1.2 Noční měření 31. 7. 2021.....	29
6.1.3 Odpolední měření 14. 8. 2021.....	30
6.1.4 Noční měření 15. 8. 2021.....	31
6.1.5 Odpolední měření 4. 9. 2021.....	32
6.1.6 Noční měření 4. až 5. 9. 2021.....	33
6.1.7 Odpolední měření 12. 2. 2022.....	34
6.1.8 Noční měření 13. 2. 2022.....	35
6.1.9 Odpolední měření 13. 2. 2022.....	36
6.1.10 Noční měření 13. až 14. 2. 2022.....	37
6.1.11 Odpolední měření 14. 2. 2022.....	38
6.1.12 Noční měření 14. až 15. 2. 2022.....	39
6.2 Analýza dat.....	40
6.2.2 Vliv nepropustnosti povrchu na teplotu vzduchu.....	42

6.2.3 Vliv hustoty zástavby na teplotu vzduchu	43
7. Diskuse.....	44
8. Summary	45
9. Závěr	46
10. Seznam zdrojů.....	47
11. Přílohy.....	51
11.1 Vztah mezi intenzitou tepelného ostrova a nadmořské výšky	51
11.2 Vztah mezi intenzitou tepelného ostrova a nepropustností povrchu	53

1. Úvod

Globální změna klimatu je v současné době jedním z nejvíce řešených témat dopadu lidské činnosti na životní prostředí. Jedním z jeho projevů jsou také městské tepelné ostrovy, které jsou díky vysoké míře urbanizace v Evropě stále více diskutovaným tématem. Existenci tepelného ostrova pocítujeme zejména v horkých letních dnech, kdy je teplota vzduchu v husté zástavbě měst i o několik stupňů vyšší než v jeho okolí. To s sebou mimo jiné přináší zvýšená zdravotní rizika pro obyvatelstvo. Pro poslední roky typická horká léta přispěla ke zvýšenému zájmu o tuto problematiku.

I z těchto důvodů jsem si dané téma vybral pro svoji bakalářskou práci. Jako zájmové území jsem si zvolil město Liberec, které je mým bydlištěm a tato skutečnost mi pomohla v realizaci terénního výzkumu. Město je navíc rozmanité z hlediska výškové členitosti a tento aspekt bych chtěl při analýze výsledků zohlednit. Budu zjišťovat nejen vliv nadmořské výšky, ale i vliv nepropustnosti povrchu a procenta zastavěného území na intenzitu tepelného ostrova. Zároveň na toto téma ještě nebyla pro dané území zpracována žádná kvalifikační práce, v čemž vidím přínos tohoto výzkumu.

2. Cíle

Cílem této bakalářské práce je zjistit intenzitu městského tepelného ostrova Liberce během letních a zimních dnů s radiačním režimem počasí. V těchto dnech budou v odpoledních a nočních hodinách na předem stanovené trase realizována mobilní měření teploty vzduchu. Získaná data budou dále zpracována a pomocí vhodných statistických metod a grafických nástrojů interpretována v kontextu vybraných geofaktorů.

3. Charakteristika zájmového území

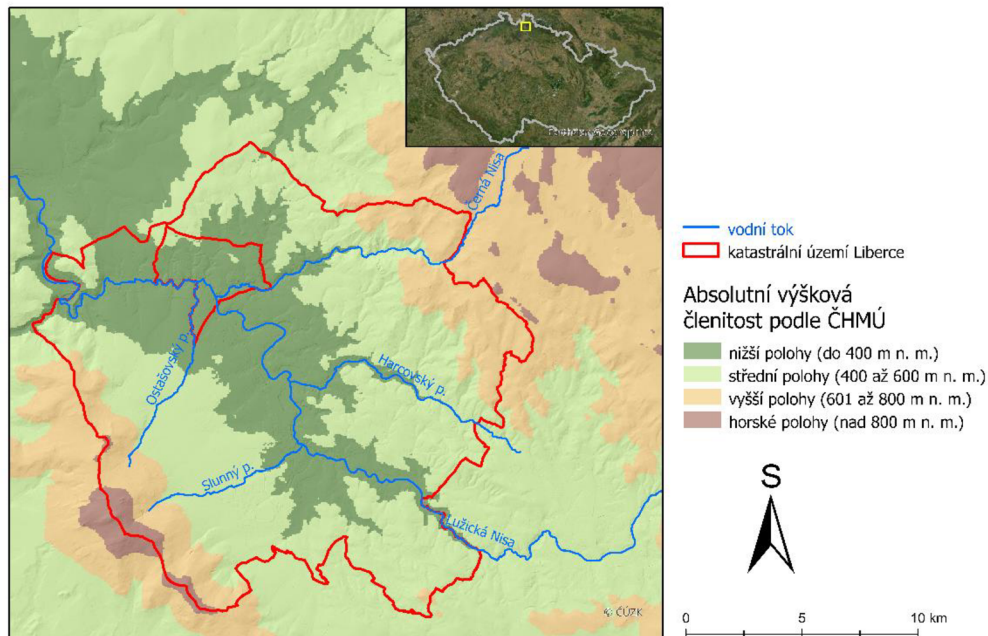
Liberec je krajským a statutárním městem ležícím v severních Čechách nedaleko česko-německo-polského trojmezí. Je pátým největším městem České republiky, k 31. 12. 2020 zde žilo 104 261 obyvatel (ČSÚ, 2021). Celková rozloha katastrálního území Liberce činí 106,1 km². Město se nachází v Liberecké kotlině, která je součástí Žitavské pánve a je obklopeno horskými masivy Jizerských hor a Ještědsko-kozákovského hřbetu. Tyto hřebeny tvoří přirozenou bariéru pro chladné vlhké proudění vzduchu od Atlantického oceánu a mají tak významný vliv na klima regionu (liberec.cz, 2019).

3.1 Geomorfologická charakteristika

Z hlediska geomorfologického členění patří Liberec do Hercynského systému, provincie Česká vysočina, Krkonoško-jesenické subprovincie a Krkonošské oblasti. Většina katastrálního území města náleží do celku Žitavská pánev, podcelku Liberecká kotlina a okrsku Vratislavická pánev. Jihozápadní okraj území zasahuje do celku Ještědsko-kozákovský hřbet, severovýchodní část do celku Jizerské hory.

Žitavská pánev je tektonická sníženina zasahující z Německa a Polska na území severních Čech, kde vyplňuje pokleslé území mezi Jizerskými horami a Ještědsko-kozákovským hřbetem. Celkem zaujímá plochu 175,51 km², střední nadmořská výška činí 384 m n. m., střední sklon 4° 42'. Celek tvoří krystalické břidlice a granitoidovými masivy, které jsou na severozápadě pokryty třetihorními jezerními sedimenty s lignitovými slojemi a kvartérními uloženinami. Dno Žitavské pánve představuje různě členitý pahorkatinný reliéf s plochými suký, odlehlíky, žulovými exfoliačními klenbami, strukturně denudačními a hrást'ovými hřbety, rozsáhlými zarovnanými povrchy, rozevřenými údolími v povodí Lužické Nisy a s plochým erozně akumulacním povrchem na sedimentech pleistocenního kontinentálního ledovce (Demek, Mackovčín 2006: 531).

Nadmořská výška katastrálního území Liberce se pohybuje v rozmezí od 325 m (hladina Lužické Nisy v místní části Machnín) do 1 012 m (vrchol Ještědu). Radnice v centru města se nachází ve výšce 374 m n. m., souvislá zástavba zasahuje přibližně do 550 m n. m. (Horní Hanychov). Podle relativní výškové členitosti převažují ploché a členité pahorkatiny.



Obr. 1: Absolutní výšková členitost a říční síť zájmového území

Zdroj: USGS, ARCDATA PRAHA, vlastní zpracování v ArcGIS Pro

3.2 Hydrologická charakteristika

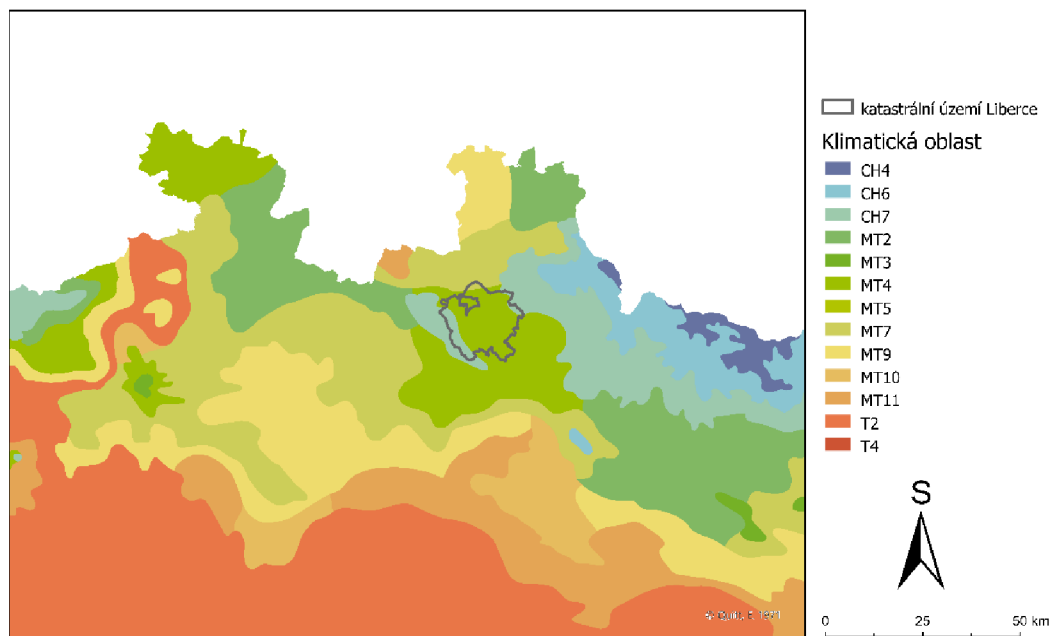
Říční síť na území Liberce tvoří Lužická Nisa a její přítoky, kterými jsou například Harcovský potok, Slunný potok, Františkovský potok, Černá Nisa a Ostašovský potok. Lužická Nisa je levostranným přítokem Odry, území je tedy odvodňováno do Baltského moře.

Největší vodní plochou je vodní nádrž Harcov, která byla vybudována na Harcovské potoce již v letech 1902-1906. Přehrada zaujímá rozlohu 11,8 ha. Dalšími vodními plochami jsou menší rybníky a drobné vodní nádrže, například Vesecký rybník nebo rybník Kačák v Krásné Studánce.

3.3 Klimatická charakteristika

Nejpoužívanější makroklimatickou regionalizací pro území ČR je klasifikace vytvořená Evženem Quitem v roce 1971. Ve svém díle Klimatické oblasti Československa vymezil na tehdejším území ČSSR tři základní klimatické oblasti – teplá (T), mírně teplá (MT) a chladná (CH). Tyto oblasti pak dále rozdělil celkem na 23 podoblastí, 5 teplých, 11 mírně teplých a 7 chladných. Na území ČR se nachází pouze 13 podoblastí, ostatní se vyskytují na Slovensku. Při regionalizaci Quitt vycházel z klimatologických dat z let 1901–1950, hlavními faktory byly teplota vzduchu, úhrn srážek a oblačnost. Použité charakteristiky jsou uvedené v tabulce 1.

Podle této klasifikace náleží katastrální území Liberce do mírně teplé podoblasti MT4, pro kterou je typické krátké, mírné, suché až mírně suché léto, přechodná období s mírným jarem a mírným podzimem a normálně dlouhá, mírně teplá a suchá zima s krátkým trváním sněhové pokrývky. Okrajově na území Liberce zasahuje chladná podoblast CH7.



Obr. 2: Klimatická regionalizace podle Quitta (1971)

Zdroj: gis.nature.cz, ARCDATA PRAHA, vlastní zpracování v ArcGIS Pro

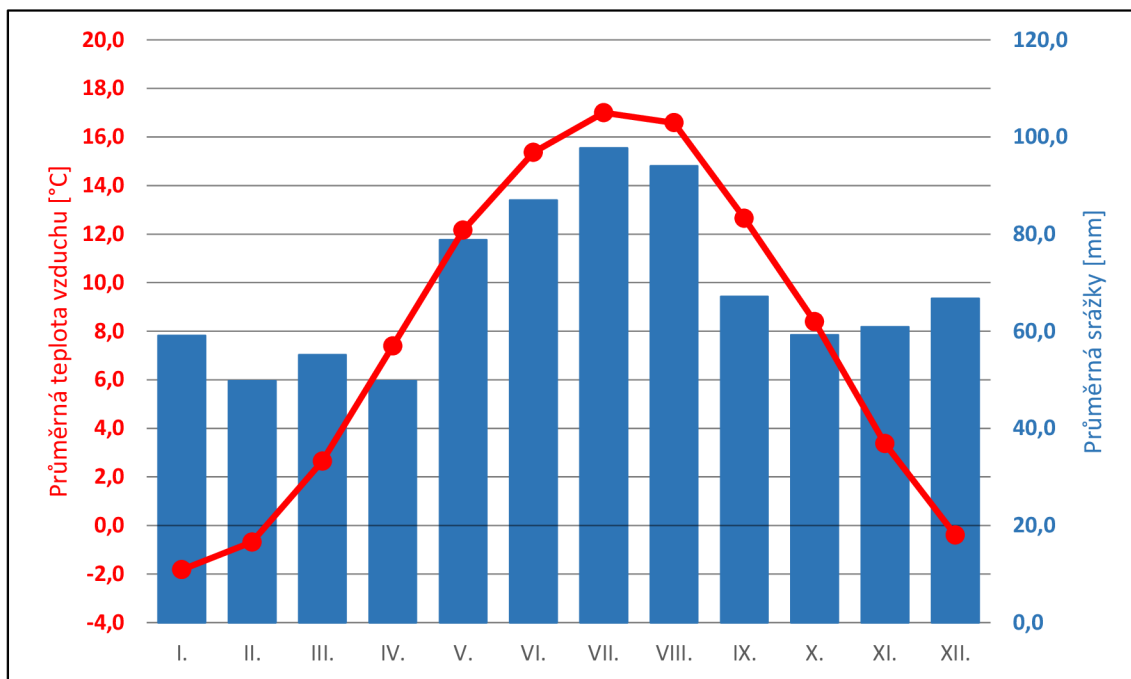
Tab. 1: Mírně teplá podoblast MT4 – charakteristika

počet letních dní ($T_{\max} \geq 25 \text{ °C}$)	20–30
počet dní s průměrnou teplotou $> 10 \text{ °C}$	140–160
počet dní s mrazem	110–130
počet ledových dní ($T_{\max} < 0 \text{ °C}$)	40–50
průměrná lednová teplota [$^{\circ}\text{C}$]	-2 až -3
průměrná dubnová teplota [$^{\circ}\text{C}$]	6 až 7
průměrná červencová teplota [$^{\circ}\text{C}$]	16 až 17
průměrná říjnová teplota [$^{\circ}\text{C}$]	6 až 7
počet dní se srážkami $> 1 \text{ mm}$	110–120
suma srážek ve vegetačním období [mm]	350–450
suma srážek v zimním období [mm]	250–300
počet dní se sněhovou pokrývkou	60–80
počet jasných dní (oblačnost $< 0,2$)	40–50
počet zatažených dní (oblačnost $> 0,8$)	150–160

Zdroj: Quitt (1971): Klimatické oblasti Československa

3.3.1 Referenční stanice

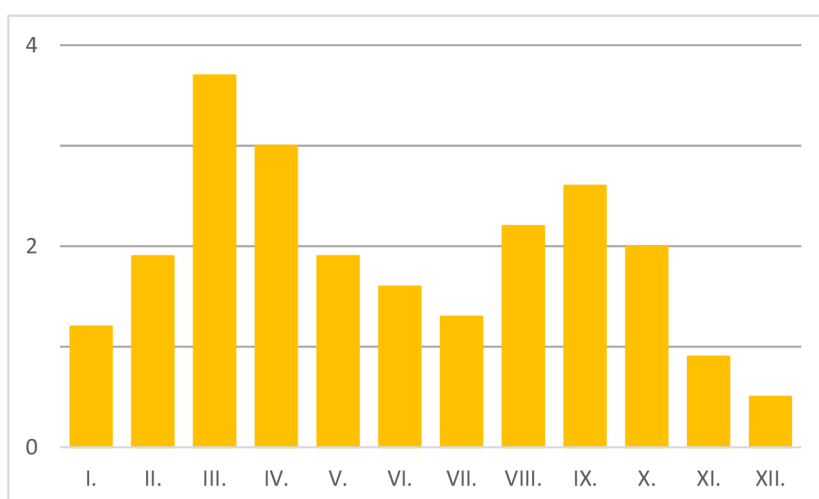
Na katastrálním území města Liberce se nachází jedna profesionální stacionární meteorologická stanice provozovaná Českým hydrometeorologickým ústavem (ČHMÚ). Je situována v místní části Růžodol I na okraji libereckého letiště v nadmořské výšce necelých 398 m n. m. Stanice se v této lokalitě nachází od roku 1961 a zaznamenává teplotu vzduchu, teplotu půdy, úhrn srážek, výšku sněhové pokrývky, rychlost a směr větru, relativní vlhkost vzduchu, tlak vzduchu, oblačnost a dobu trvání slunečního svitu.



Obr. 3: Klimadiagram Liberce, data z let 1961–2020

Zdroj: ČHMÚ (2021): Měsíční data, vlastní zpracování

Zejména jasné dny jsou pro realizaci mobilního měření teploty vzduchu nejpříznivější. Jedná se o charakteristické meteorologické dny, během nichž byla průměrná oblačnost nižší než 2 desetiny (slovník.cmes.cz). Podle dat ČHMÚ bylo v Liberci v letech 2011–2020 zaznamenáno průměrně 23 jasných dní ročně. Jejich rozložení v jednotlivých měsících zobrazuje graf na obrázku 4. Je patrné, že potenciálně vhodných dní k realizaci terénního výzkumu je poměrně málo.



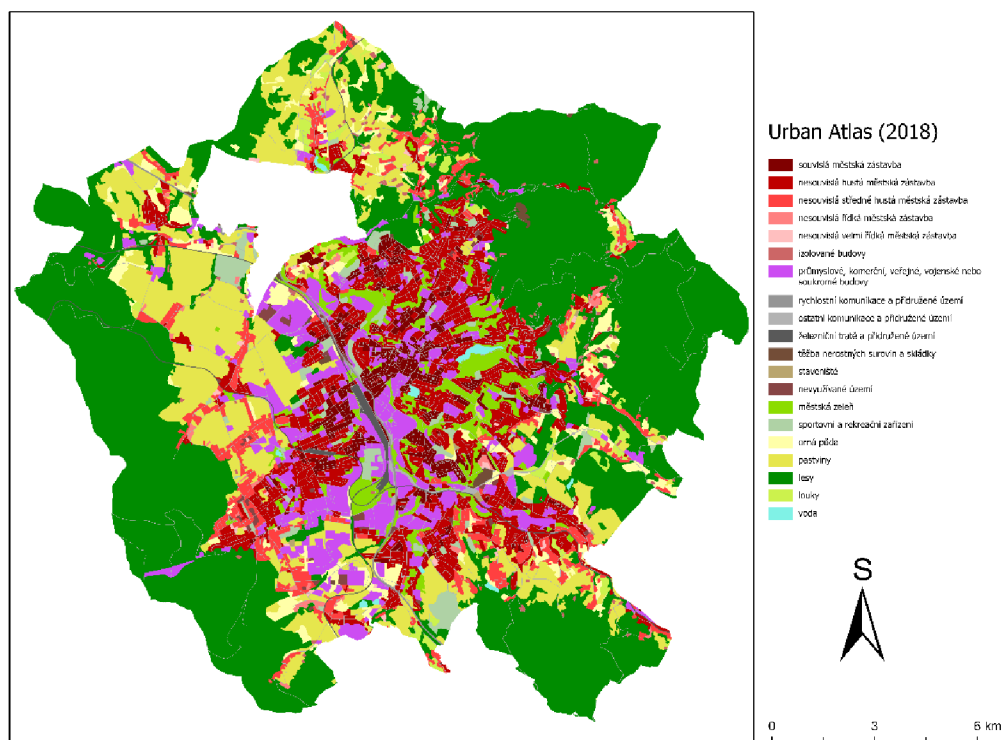
Obr. 4: Průměrný počet jasných dní v Liberci, data z let 2011–2020

Zdroj: ČHMÚ (2021): Měsíční data, vlastní zpracování

3.4 Využití území

Důležitým faktorem ovlivňujícím výskyt a intenzitu městského tepelného ostrova je využití krajiny neboli land use. K jeho grafickému zobrazení nám může posloužit vrstva CORINE Land, kterou již od roku 1985 zpracovává Evropská agentura pro životní prostředí (EEA). Svým rozsahem pokrývá velkou část území Evropy včetně Turecka. Data chybí především pro státy východní Evropy – Bělorusko, Ukrajina, Moldavsko a Rusko.

Detailnější využití krajiny měst a jejich zázemí představuje dataset Urban Atlas, který také vytváří EEA. Celkem rozlišuje 27 typů využití území. Městská zástavba je rozdělena do 5 kategorií podle podílu zastavěné půdy. Na katastrálním území Liberce převládá nesouvislá hustá městská zástavba, na tomto území je zastavěno 50 až 80 % půdy. V centru se pochopitelně nachází souvislá městská zástavba doplněná o veřejné a komerční budovy. Dále jsou v intravilánu města hojně zastoupeny průmyslové objekty a také dopravní stavby. Městská zeleň se ve větší míře nachází spíše v okrajových částech intravilánu, v centru chybí větší park nebo zahrada. Extravilán obce tvoří louky, pastviny a zejména lesy, které zaujímají přibližně 40 % rozlohy katastrálního území. Orná půda se zde vyskytuje velmi zřídka.



Obr. 5: Využití katastrálního území Liberce podle Urban Atlas v roce 2018

Zdroj: EEA (2018): Urban Atlas, vlastní zpracování v ArcGIS Pro

4. Teoretická východiska

4.1 Výzkum městského klimatu

Města představují výrazný antropogenní zásah do krajiny, projevující se změnami aktivních povrchů, znečišťováním atmosféry či zvýšenou produkcí odpadního tepla. Důsledkem je poměrně výrazná změna průběhu hodnot většiny meteorologických prvků oproti okolním málo nezastavěným venkovským územím a dochází k vzniku městského klimatu. S narůstajícím podílem městského obyvatelstva a tím i rozšiřováním městské zástavby se tak jedná o stále více aktuální téma (Středová, 2011).

Systematický výzkum městského klimatu započal v 1. polovině 19. století s nástupem průmyslové revoluce a s ní spojenou industrializací měst, větší využívání fosilních paliv a díky tomu i většímu znečištění ovzduší. Jedním z prvních, kdo se zabýval touto problematikou, byl britský vědec Luke Howard. Ve svém díle „The Climate of London“ z roku 1833 prokázal, že střed města je charakteristický vyšší průměrnou teplotou vzduchu než jeho okolí. Hlavní příčinou podle něj bylo spalování fosilních paliv. Dále také jako první popsal základní vlastnosti tzv. městského tepelného ostrova. Při svém výzkumu vycházel z více než dvacetiletého stacionárního měření teploty vzduchu. Velkým posunem ve výzkumu klimatických poměrů ve městech pak bylo mobilní měření teploty, které umožňuje lépe popsat prostorovou variabilitu teploty vzduchu a dalších měřených meteorologických prvků. Každé město má jinou strukturu, jinak koncipované centrum a předměstí a nelze tedy obecně tvrdit, že nejteplejší je střed města a s rostoucí vzdáleností klesá průměrná teplota. Metoda mobilního měření se začala používat v první polovině 20. století, průkopníkem byl v roce 1927 W. Schmidt, který zkoumal klima ve Vídni. Na našem území tuto metodu jako první použil E. Quitt, který v Brně v 50. letech realizoval měřicí jízdy s využitím tramvaje. V současné době se ke studiu městského klimatu využívá také dálkový průzkum Země, zejména letecké a družicové termální snímky a v posledních letech také bezpilotní letadla a drony. Jejich výhodou je, že mohou postihnout celé území města či zkoumané oblasti a nejsou tak časově náročná jako například mobilní měření (Dobrovolný, 2012).

4.2 Městský tepelný ostrov

Městský tepelný ostrov (angl. Urban Heat Island – UHI) je definován jako „*oblast zvýšené teploty vzduchu v mezní a přízemní vrstvě atmosféry nad městem nebo průmyslovou aglomerací ve srovnání s venkovským okolím.*“ Jeho vznik je dán především kvůli přítomnosti umělého aktivního povrchu, díky němuž dochází k větší akumulaci tepla a menšímu albedu ve městě. Vliv na tvorbu tepelného ostrova má také charakteristická vodní a vláhová bilance (projevující se například nízkou vlhkostí vzduchu či rychlým odtokem) a v neposlední řadě také tepelné znečištění ovzduší z antropogenních zdrojů (slovník.cmes.cz). Tepelný ostrov je nejvíce rozvinutý ve dnech s radičním režimem počasí. Ten je charakterizován především vyšší intenzitou radičního záření, oblačností do 2/10 a průměrnou rychlostí větru do 2 m/s (Vysoudil, 2013).

Podle Arnfielda (2003) patří městský tepelný ostrov mezi nejlépe zdokumentované příklady modifikace meteorologických a klimatických podmínek v mezoměřítku. V městské zástavbě dochází ke zvětšování plochy aktivních povrchů, čímž dochází k většímu pohlcování krátkovlnného záření a jeho odrazům. Souvislá městská zástavba přes den akumuluje teplo, které je zde uchováno i v nočních hodinách. Kromě teploty vzduchu má městská zástavba vliv také na rychlost větru nebo na relativní vlhkost vzduchu, která je díky vysokému výskytu nepropustných povrchů nižší (Dobrovolný, 2012).

Podle vertikálního členění rozlišuje Oke a kol. (2017) atmosférický (Atmospheric UHI), povrchový (Surface UHI) a podpovrchový tepelný ostrov (Subsurface UHI). Atmosférický tepelný ostrov se pak dále dělí na tepelný ostrov mezní vrstvy atmosféry (Boundary layer UHI) a tzv. Canopy layer UHI. Mezní vrstva je nejspodnější část atmosféry, jejíž chování je značně ovlivněno zemským povrchem, tzv. canopy layer je část mezní vrstvy atmosféry ve městech a přilehlém okolí sahající od zemského povrchu do výšky budov. Intenzitu atmosférického tepelného ostrova můžeme zjišťovat ze stacionárních meteorologických stanic mobilním měřením nebo pomocí dálkového průzkumu Země. Povrchový tepelný ostrov se na rozdíl od atmosférického netýká teploty vzduchu, ale teploty přirozených i umělých povrchů v prostoru městské zástavby a okolní venkovské zástavbě. Pro hodnocení prostorové variability teploty aktivního povrchu je vhodné využít družicová měření (Voogt a Oke, 2003). Je přirozené, že se oba druhy tepelného ostrova navzájem ovlivňují, každý má ale má odlišný denní a noční režim, dobu

maximální a minimální intenzity atd. Atmosférický tepelný ostrov většinou dosahuje nižší intenzity v ranních hodinách a během dne, zvětšuje se po západu slunce, kdy zahřáté umělé povrchy oteplují přízemní vrstvu atmosféry. Maximální intenzita se obvykle vyskytuje před východem slunce, v zimním období a při tzv. radiačním režimu počasí. Naopak během dne, v letním období, a především při advekčním počasí je vliv atmosférického tepelného ostrova potlačen. Povrchový tepelný ostrov je nejvíce rozvinut přes den, ale existuje i v noci (Středová, 2011).

Intenzitou tepelného ostrova se nejčastěji rozumí odchylka maximální teploty ve městě a teploty v okolí ve stejnou dobu. Intenzita je často ovlivněna velikostí města. Nelze však jednoznačně říci, že ve větším městě bude automaticky vyšší intenzita tepelného ostrova. Zásadní roli totiž hraje struktura daného města, rozmístění a typ zástavby, charakter a vlastnosti povrchu, plochy městské zeleně, geografické faktory, výšková členitost a s tím související vliv místního klimatu atd. (Dobrovolný, 2012). Jak již bylo zmíněno v úvodu, tato práce zkoumá, jaký vliv má na intenzitu tepelného ostrova nadmořská výška, nepropustnost povrchu a procento zastavěného území. Tyto faktory byly vybrány po konzultaci s vedoucím, jedná se o objektivně měřitelné faktory a data k nim jsou veřejně dostupná. Nepropustnost povrchu, přesněji řečeno procento nepropustných ploch (angl. Impervious Surface Fraction – ISF) představuje poměr plochy nepropustných povrchů (např. asfaltových nebo betonových ploch) ku celkové ploše daného území. Procento zastavěného území, přesněji řečeno procento plochy zastavěné budovami (angl. Building Surface Fraction – BSF) představuje poměr zastavěné plochy ku celkové ploše (Geletič, 2017).

4.3 Výzkum v ČR

V České republice vznikla řada studií týkajících se městských tepelných ostrovů především velkých měst. Tepelný ostrov Prahy a jeho zesilování se zkoumala řada akademiků, např. Brázdil a Budíková (1999) nebo Beranová a Huth (2003). Ve svém výzkumu se zabývali ročním chodem tepelného ostrova Prahy a také vlivem různých synoptických situací na intenzitu tepelného ostrova. Vycházeli z dat naměřených na meteorologické stanici Praha Klementinum a na vybraných mimopražských venkovských stanicích. Intenzitu tepelného ostrova zjišťovali jako rozdíl minimální denní teploty vzduchu v Klementinu a aritmetický průměr denních minimálních teplot venkovských stanic. Průměrná roční intenzita tepelného ostrova byla zjištěna 2,40 °C, nejvyšší průměrná intenzita byla zaznamenána v červenci (2,62 °C), nejnižší pak v listopadu (2,22 °C). Nejvíce extrémních hodnot neboli dní s intenzitou tepelného ostrova vyšší než 4 °C bylo zjištěno v zimě. Dalším poznatkem bylo, že tepelný ostrov byl rozvinut především během anticyklonálních synoptických situací, nejvíce při postupující anticykloně (Beranová a Huth, 2003). Jedná se o převážně krátkodobou přechodnou situaci, při které se tlaková výše v přízemním tlakovém poli přesouvá ve směru proudění přes střední Evropu, zpravidla do nižších zeměpisných šířek. *„Tato synoptická situace se projevuje nejdelší dobou trvání slunečního svitu ze všech situací, a to ve všech ročních obdobích. Tepelná energie ze slunečního záření se akumuluje v městských materiálech, v nočních hodinách se uvolňuje, čímž dochází k rozvoji tepelného ostrova.“* (Beranová a Huth, 2003, s. 139)

Kromě Prahy je městské klima intenzivně studováno i v dalších velkých městech České republiky, zejména pak v Brně a v Olomouci. Díky projektu „Víceúrovňová analýza klimatu městské a příměstské krajiny na příkladu středně velkých měst“ vznikly komplexní publikace zabývající se klimatem těchto měst. Poznatky o podnebí Olomouce shrnuje stejnojmenná publikace od kolektivu autorů v čele s Miroslavem Vysoudilem (2012). Obdobná publikace vznikla i pro Brno, jejími autory jsou Petr Dobrovolný a kolektiv (2012). Prostorovou variabilitou teploty vzduchu a intenzitou nočního tepelného ostrova Brna se pak konkrétně zabývá článek Petra Dobrovolného a Lukáše Krahuly (2015). Jako hlavní zdroj dat při svém výzkumu použili mobilní měření teploty vzduchu realizované ve všech ročních obdobích v nočních hodinách s jasnou oblohou. Kromě hustoty zástavby zkoumali také vliv nadmořské výšky, množství vegetace či vliv dopravního systému. Výsledkem práce bylo zjištění, že průměrná intenzita UHI je

nejvyšší v centru Brna v letních časných nočních hodinách. Centrum města je zhruba o 2 °C teplejší než okrajové části a přibližně o 5 °C než okolní venkovská krajina. Dále byl prokázán významný vliv vegetace a částečně i hustoty zástavby na intenzitu tepelného ostrova. Nadmořská výška měla pouze slabý vliv na variabilitu teploty vzduchu (Dobrovolný, Krahula, 2015). Konceptu tzv. místních klimatických zón, klasifikujícím městské a příměstské lokality podle vlastností povrchů a lidské aktivity, pro území Brna a Olomouce se věnuje Lehnert a kol. (2018 b).

Tepelným ostrovem menších měst a obcí se ve svých kvalifikačních pracích zabývali například Bořek Navrátil, který studoval podnebí a tepelné poměry Vsetína (2011, 2013, 2014) nebo Daniel Raška, který zkoumal tepelný ostrov menších obcí v zázemí Olomouce (2021). Studium městského klimatu v Liberci se aktuálně zabývá projekt s názvem Adaptační strategie pro Liberec, jehož zadavatelem je Statutární město Liberec. Cílem projektu je „zmapovat a zhodnotit zranitelnost města ve vztahu ke klimatickým změnám a navrhnout konkrétní opatření ke zmírnění dopadů těchto změn na život obyvatel Liberce.“ (liberec.cz, 2021). V průběhu roku 2022 by mělo proběhnout letecké snímkování a termální monitoring katastrálního území města a součástí výzkumu bude také dotazníkové šetření.

5. Metody

5.1 Mobilní měření teploty vzduchu

Hlavním zdrojem dat pro analýzu městského tepelného ostrova jsou data získaná z vlastního mobilního měření teploty vzduchu. To probíhalo s využitím automobilu, teplotního čidla s rychlou odezvou a GPS navigace ve vybrané letní a zimní dny s radiačním režimem počasí. Ideální počasí pro studium mikroklimatu je jasná nebo skoro jasná obloha (oblačnost $< 0,2$) a průměrná rychlost větru do 2 m/s (Vysoudil, 2013). Vhodné dny byly vybrány především podle výstupů modelu ALADIN na webových stránkách ČHMÚ a také podle předpovědi počasí.

K měření teploty byl využit datalogger Greisinger GMH 3200 Series s teplotním čidlem GTF 300, který zaznamenával teplotu vzduchu s přesností na 0,1 °C. Přesnost přístroje je udávána $\pm 0,5$ °C. Teplotní čidlo bylo umístěno na anténu automobilu ve výšce přibližně 1,6 m nad zemí a během jízdy bylo zakryto radiačním štítem. K určení polohy jednotlivých měřících bodů sloužila navigace Garmin Oregon 700. Oba přístroje zaznamenávaly data každých 5 sekund, aby bylo možné přiřadit naměřené hodnoty teploty vzduchu k poloze vozidla. Během měření byla s ohledem na aktuální hustotu provozu a světelné křižovatky dodržována konstantní rychlost v rozmezí 30–35 km/h. Metodiku pro realizaci mobilního měření teploty vzduchu shrnují ve svém článku například Lehnert a kol. (2018, 2021) nebo Tomáš a Vysoudil (2010).

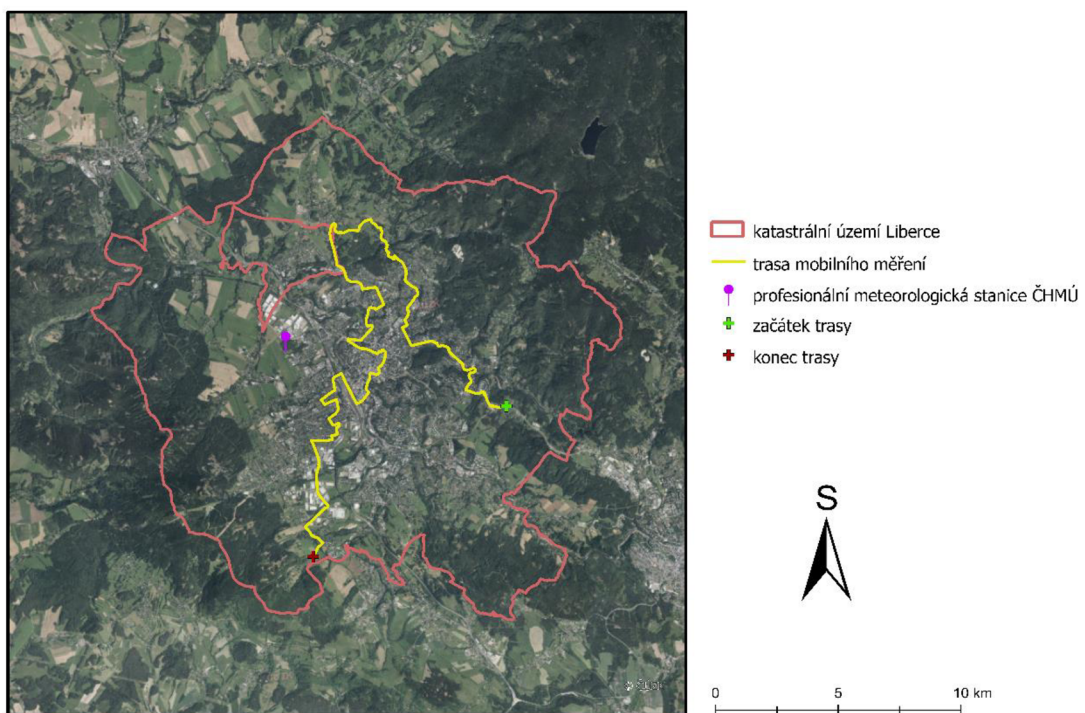


Obr. 6: Umístění teplotního čidla na automobilu

Zdroj: vlastní foto

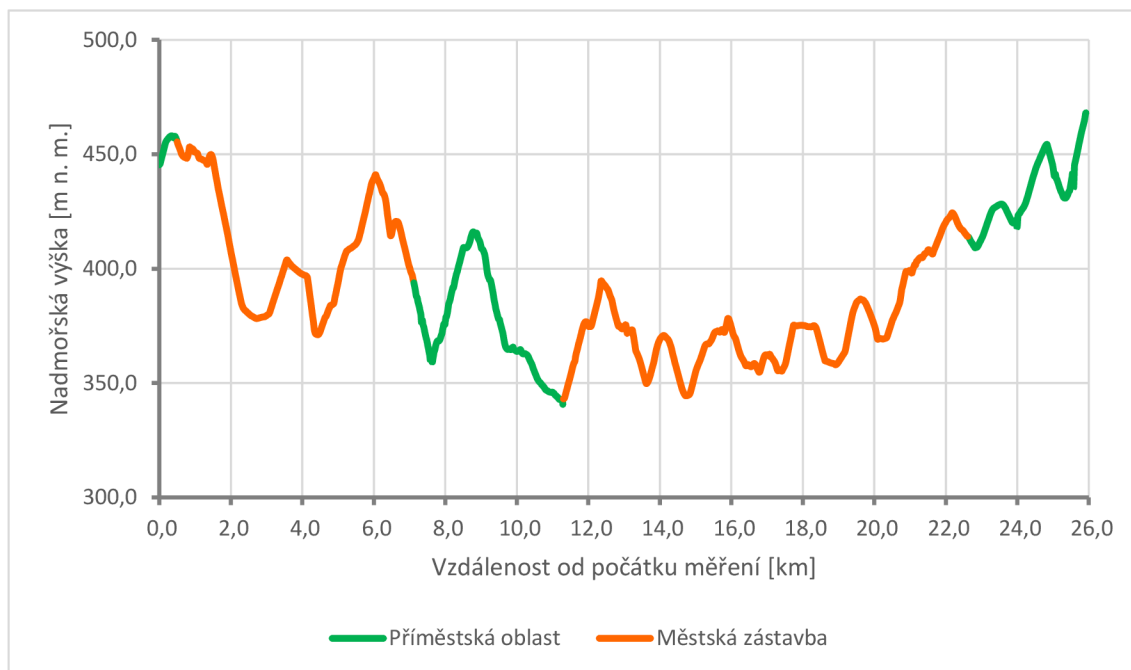
5.2 Trasa měření

Všechna měření měla stejnou, předem připravenou trasu, která byla vytyčena na katastrálním území města Liberce. Cílem bylo postihnout různé typy zástavby, jako například centrum města, rezidenční čtvrti, panelová sídliště, průmyslovou zónu a také okrajové části města charakteristické venkovskou krajinou. Při plánování trasy bylo také nutné brát ohled na její průjezdnost osobním automobilem, což se týkalo zejména centra města. Celková délka trasy činí 25,9 km, nadmořská výška se pohybuje v rozmezí od 340 do 468 m n. m. Projetí trasy během měření trvalo v průměru 60 minut.



Obr. 7: Trasa mobilního měření a poloha meteorologické stanice ČHMÚ

Zdroj: ČÚZK, ARCDATA PRAHA, vlastní zpracování v ArcGIS Pro



Obr. 8: Výškový profil trasy

Zdroj: ČÚZK: Analýzy výškopisu, vlastní zpracování



Obr. 9: Příklad městské zástavby a příměstské (venkovské) krajiny
(vlevo Šaldovo náměstí, vpravo místní část Radčice)

Zdroj: vlastní foto

5.3 Další zdroje dat

Kromě mobilního měření poskytnul další data pro analýzu Český hydrometeorologický ústav. Jednalo se o hodnoty teploty vzduchu, rychlosti větru, relativní vlhkosti vzduchu a hodinového úhrnu slunečního svitu naměřené ve vybrané dny na profesionální meteorologické stanici na libereckém letišti. Dále bylo nutné získat data o nadmořské výšce, nepropustnosti povrchů a procentu zastavěného území v okolí studované trasy. Podkladem pro údaje o nadmořské výšce byl digitální model reliéfu v podobě SRTM. Data o nepropustnosti povrchu a procentu zastavěného území jsou ve formě rastrových vrstev volně stažitelné na webových stránkách evropského programu Copernicus (<https://land.copernicus.eu/>), který se zaměřuje na dálkový průzkum Země. Nepropustnost povrchu (angl. Imperviousness Density) představuje míru utěsnění (propustnosti) půdy v procentech. Pro nepropustné povrchy je typické, že většinou vznikly činností člověka, který překryl původní krajinný pokryv (např. silnice, zástavba). Nejnovější podklady o nepropustnosti povrchů jsou k dispozici z roku 2018 a to ve formě rastru s rozlišením 10 nebo 100 metrů. Mapa evropského osídlení (angl. European Settlement Map) vyjadřuje procento zastavěného území na dané prostorové jednotce. Data pocházejí z družicových snímků satelitů SPOT 5 a SPOT 6 a jsou dostupné v podobě rastru s rozlišením 10 metrů. Mapa byla vydána v roce 2016 (land.copernicus.eu).

5.4 Zpracování dat

Zpracování dat probíhalo především s využitím programů MS Excel, ArcGIS Pro a GSOFT 3050. Nejprve bylo nutné převést naměřená data z teploměru (dataloggeru) a z GPS navigace do počítače. Pro načtení dat z dataloggeru byl určen speciální software GSOFT 3050, pomocí něhož bylo možné naměřené hodnoty teploty vzduchu exportovat do Excelu. Data z navigace obsahující polohu jednotlivých měřících bodů byla nahrána do programu ArcGIS Pro a s pomocí funkce *GPX to Features* byly vytvořeny bodové vrstvy pro jednotlivá měření. Následně bylo nutné upravit atributovou tabulku a ke každému měřicímu bodu zkopírovat příslušnou hodnotu teploty vzduchu. Toto bylo možné, protože oba přístroje byly na začátku každého měření spuštěny současně a zároveň zaznamenávaly hodnoty ve stejném intervalu. Dalším krokem bylo vymazání přebytečných bodů na začátku a na konci měření a také bodů, kdy vozidlo během měření stálo (například na křižovatce nebo na železničním přejezdu) a byla tak narušena kontinuita měření. Jelikož měření trvala vždy přibližně jednu hodinu bylo také nutné zohlednit pokles nebo nárůst teploty během této doby. K tomu posloužila data ze stanice ČHMÚ. Bylo třeba vypočítat rozdíl naměřené teploty vzduchu v době začátku a konce daného měření a hodnoty získané mobilním naměřením následně proložit lineární funkcí s hodnotou zjištěného rozdílu. Z upravených hodnot teploty vzduchu byly vypočítány odchylky jednotlivých bodů od naměřeného minima, aby bylo možné porovnat jednotlivá měření. Tyto odchylky zároveň představují hodnoty intenzity tepelného ostrova. Do atributových tabulek byly následně doplněny údaje o nadmořské výšce, nepropustnosti povrchu a procentu zastavěné plochy. K tomu byla využita funkce *Extract Values To Points*, jejímž úkolem je přiřadit hodnotu z rastrové vrstvy k příslušnému bodu. Upravené atributové tabulky byly nakonec exportovány zpět do Excelu k dalším analýzám a v prostředí ArcGIS Pro byly vytvořeny mapové výstupy k jednotlivým měřením.

6. Výsledky

6.1 Přehled měření

Nakonec proběhlo celkem 12 měření teploty vzduchu, z toho 6 v letním a 6 v zimním období. Ve vybraný měřicí den proběhla vždy 2 měření, jedno v odpoledních a jedno v nočních hodinách. Základní informace o jednotlivých výjezdech jsou shrnuta v následující tabulce.

Tab. 2: Souhrn realizovaných měření a jejich teplotní charakteristiky

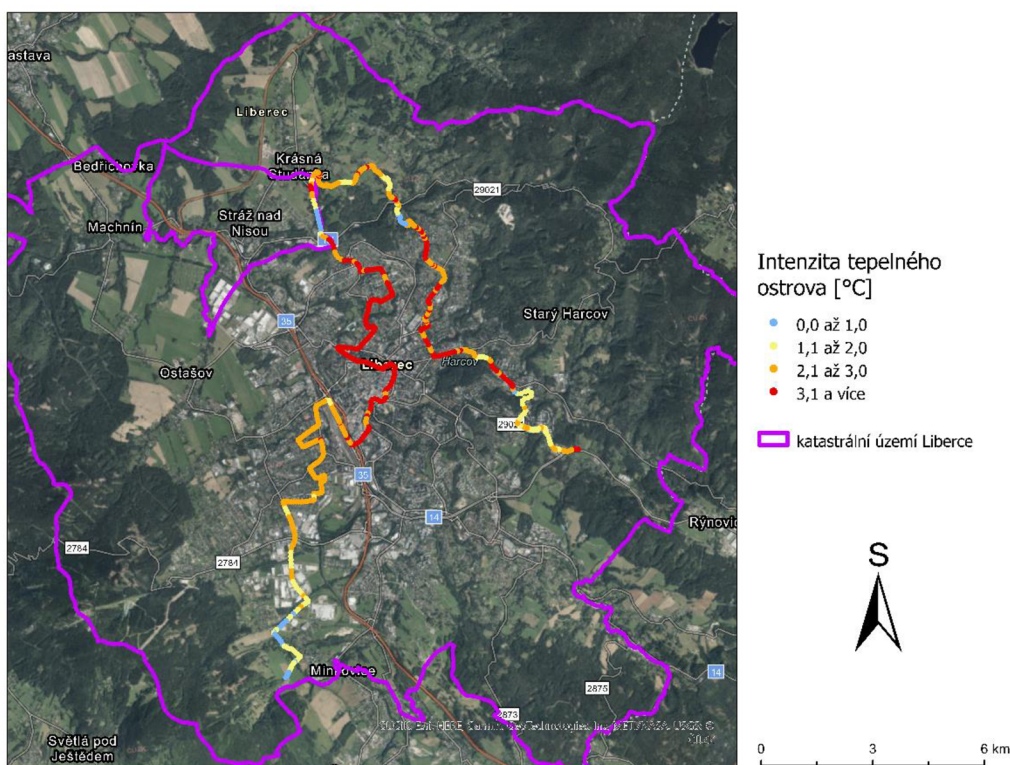
Datum a čas (SEČ)		Maximální teplota [°C]	Minimální teplota [°C]	Průměrná teplota [°C]	Variační rozpětí [°C]	Směrodatná odchylka [°C]
Začátek měření	Konec měření					
31. 7. 2021 14:51	31. 7. 2021 15:52	27,0	22,7	25,3	4,3	0,8
31. 7. 2021 22:33	31. 7. 2021 23:39	17,4	12,4	15,1	5,0	1,2
14. 8. 2021 16:13	14. 8. 2021 17:17	31,7	22,8	27,1	8,9	1,5
15. 8. 2021 01:06	15. 8. 2021 02:14	17,8	13,0	15,7	4,8	1,0
4. 9. 2021 14:27	4. 9. 2021 15:28	22,8	18,0	21,1	4,8	0,8
4. 9. 2021 23:06	5. 9. 2021 00:07	12,4	9,3	10,8	3,1	0,6
12. 2. 2022 13:27	12. 2. 2022 14:26	4,1	1,1	2,9	3,0	0,5
13. 2. 2022 01:52	13. 2. 2022 02:53	0,3	-3,2	-0,9	3,5	0,8
13. 2. 2022 12:40	13. 2. 2022 13:37	5,2	1,4	3,5	3,8	0,6
13. 2. 2022 23:10	14. 2. 2022 00:14	0,7	-1,4	0,0	2,1	0,4
14. 2. 2022 12:05	14. 2. 2022 13:03	5,9	2,3	4,2	3,6	0,5
14. 2. 2022 23:06	15. 2. 2022 00:12	2,5	-0,7	1,4	3,2	0,7

Pozn.: SEČ – středoevropský čas (UTC+1)

6.1.1 Odpolední měření 31. 7. 2021

Měření probíhalo v odpoledních hodinách posledního červencového dne. Celý den bylo jasno až polojasno, průměrná denní teplota vzduchu naměřená na libereckém letišti byla 17,7 °C, během měření se teplota pohybovala okolo 24 až 25 stupňů. Průměrná rychlost vzduchu činila 2,1 m/s a denní úhrn slunečního svitu byl 8,6 hodin.

Nejvyšší intenzita tepelného ostrova ($> 3 \text{ }^{\circ}\text{C}$) byla souvisle zaznamenána v husté městské zástavbě Starých Pavlovic a Starého Města, naopak nejnižší hodnoty se vyskytovaly v zalesněném údolí podél Radčického potoka a také na konci trasy v místní části Pilínkov. Z obytných částí byla nižší intenzita zjištěna na sídlišti Kunratická a ani v okolí průmyslové zóny Jih nebyla změřena vyšší teplota vzduchu. To může být způsobeno jednak vyšší nadmořskou výškou, ve které se zóna oproti centru nachází a také skutečností, že jednotlivé podniky jsou od sebe odděleny poměrně rozsáhlou plochou zeleně a nejedná se tak o vyloženě kompaktní celek. Dále byl patrný lokální tepelný ostrov na území místních částí Krásná Studánka a Radčice s intenzitou 2 až 3 °C.

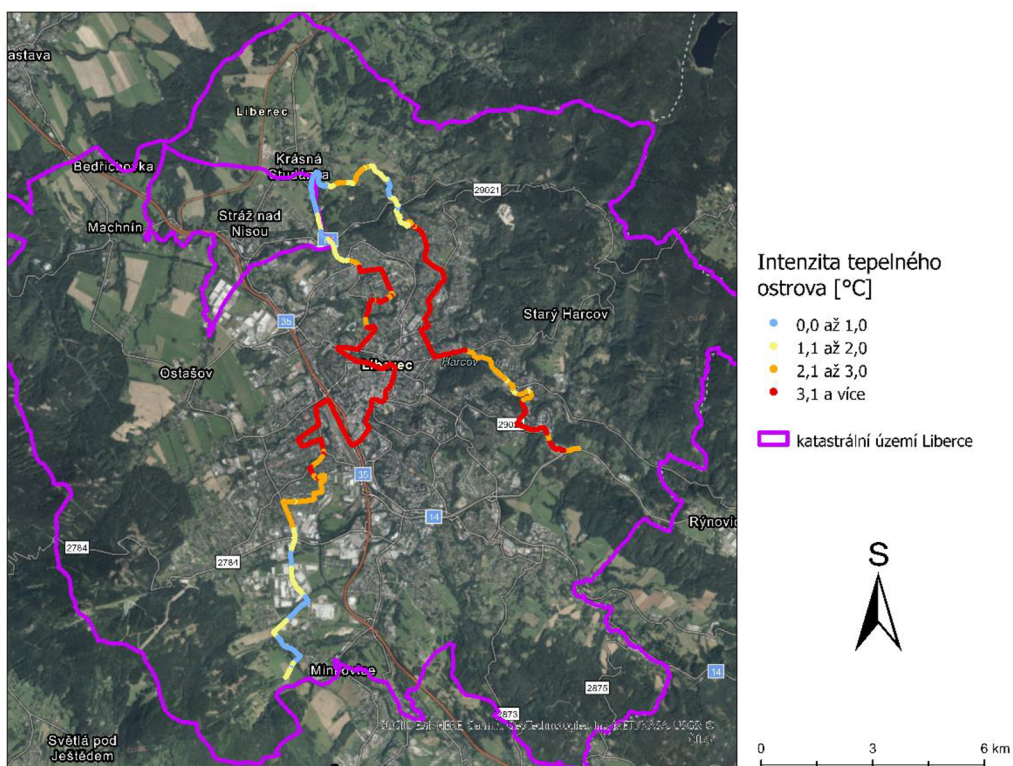


Obr. 10: Prostorová variabilita intenzity tepelného ostrova na území Liberce během odpoledního měření 31. 7. 2021

Zdroj: ČÚZK, vlastní zpracování v ArcGIS Pro

6.1.2 Noční měření 31. 7. 2021

Při nočním měření byla zjištěná intenzita tepelného ostrova o 0,7 °C vyšší než při denním měření. Teplota vzduchu na referenční stanici se v průběhu noci pohybovala v rozmezí 10,5 až 15,1 °C, rychlost větru během měření byla do 1,2 m/s. Nejvyšší intenzita tepelného ostrova se oproti odpoledni vyskytovala téměř na celém území městské zástavby. Naopak v okrajových částech nebyl tepelný ostrov příliš patrný, a to ani v Krásné Studánce a Radčicích.



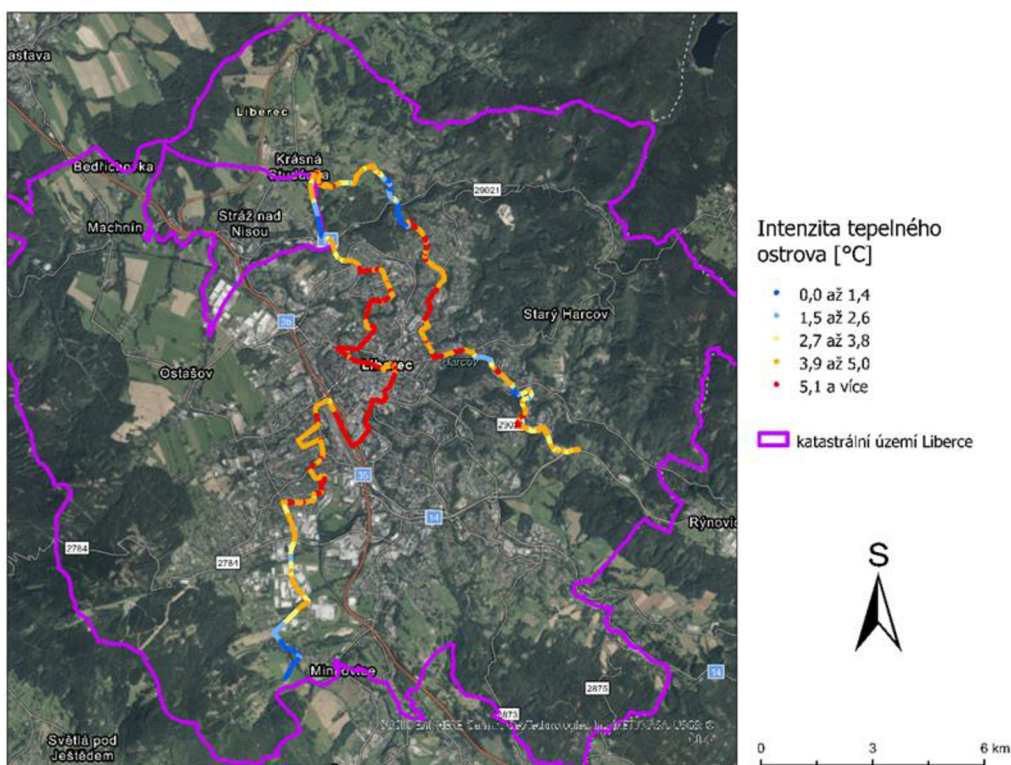
Obr. 11: Prostorová variabilita intenzity tepelného ostrova na území Liberce
během nočního měření 31. 7. 2021

Zdroj: ČÚZK, vlastní zpracování v ArcGIS Pro

6.1.3 Odpolední měření 14. 8. 2021

Měření probíhalo v odpoledních hodinách letního srpnového dne. Průměrná denní teplota vzduchu naměřená na libereckém letišti byla 20,2 °C, maximální teplota 26,5 °C byla naměřena v 17 hodin. Průměrná rychlost větru činila 1,7 m/s a denní úhrn slunečního svitu byl 12,5 hodin.

Během měření byla zaznamenána nejvyšší intenzita tepelného ostrova (až 8,9 °C) ze všech provedených měřících jízd a celkově byl rozdíl mezi souvislou městskou zástavbou a okolím výraznější než při prvním měření. Nejteplejší úsek byl v okolí terminálu městské hromadné dopravy Fügnerova, který se nachází v centru města a většina aktivního povrchu je zde zastavěna nebo překryta nepropustnými povrchy. Zvýšená intenzita byla také naměřena v okolí průmyslové zóny Jih, přibližně 4 °C od minimální teploty. Naopak nejchladnější části byly opět v zalesněných údolích Radčického potoka a Černé Nisy a také na konci trasy v Pilínkově, kde je nejvyšší nadmořská výška celé trasy.

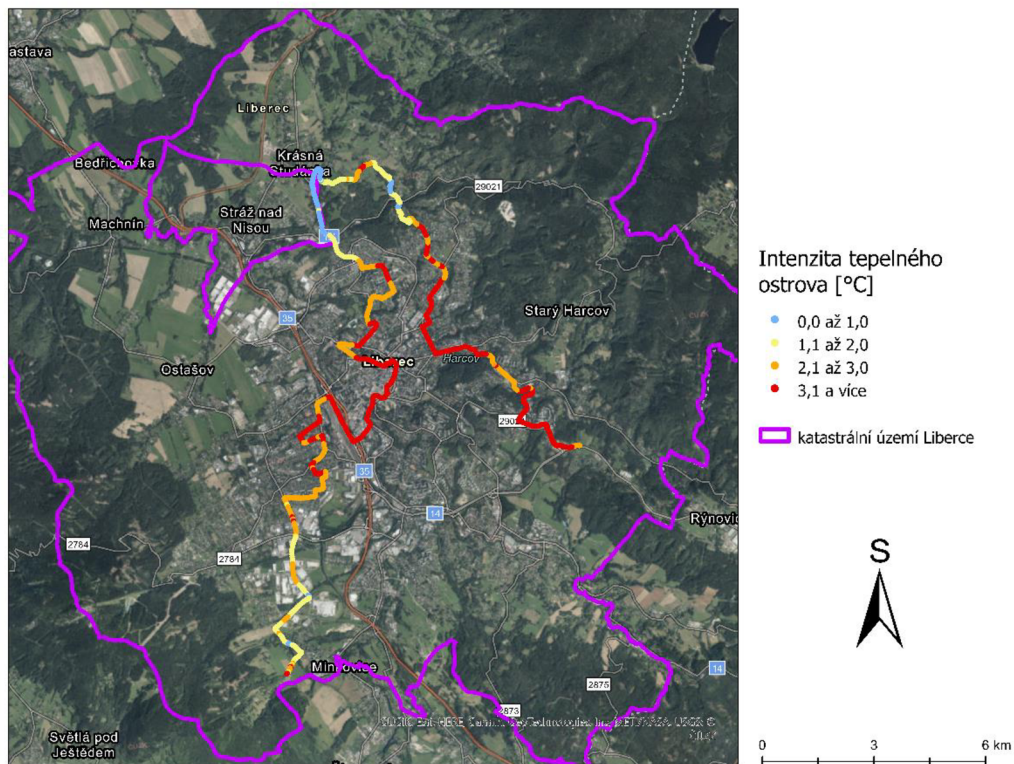


Obr. 12: Prostorová variabilita intenzity tepelného ostrova na území Liberce během odpoledního měření 14. 8. 2021

Zdroj: ČÚZK, vlastní zpracování v ArcGIS Pro

6.1.4 Noční měření 15. 8. 2021

Při nočním měření byla zjištěná maximální intenzita tepelného ostrova výrazně nižší než odpoledne, konkrétně 4,8 °C. Teplota vzduchu na referenční stanici se v průběhu noci pohybovala v rozmezí 13,3 až 18,2 °C, rychlost větru během měření byla okolo 1 m/s. Prostorová variabilita intenzity tepelného ostrova byla velmi podobné prvnímu nočnímu měření. Nejteplejší úseky byly v okolí sídliště Kunratická na začátku trasy, dále v městské zástavbě Ruprechtic, Pavlovic, Starého Města a Františkova. Dále od centra a s rostoucí nadmořskou výškou pak teplota klesala, výjimkou byla opět průmyslová zóna.



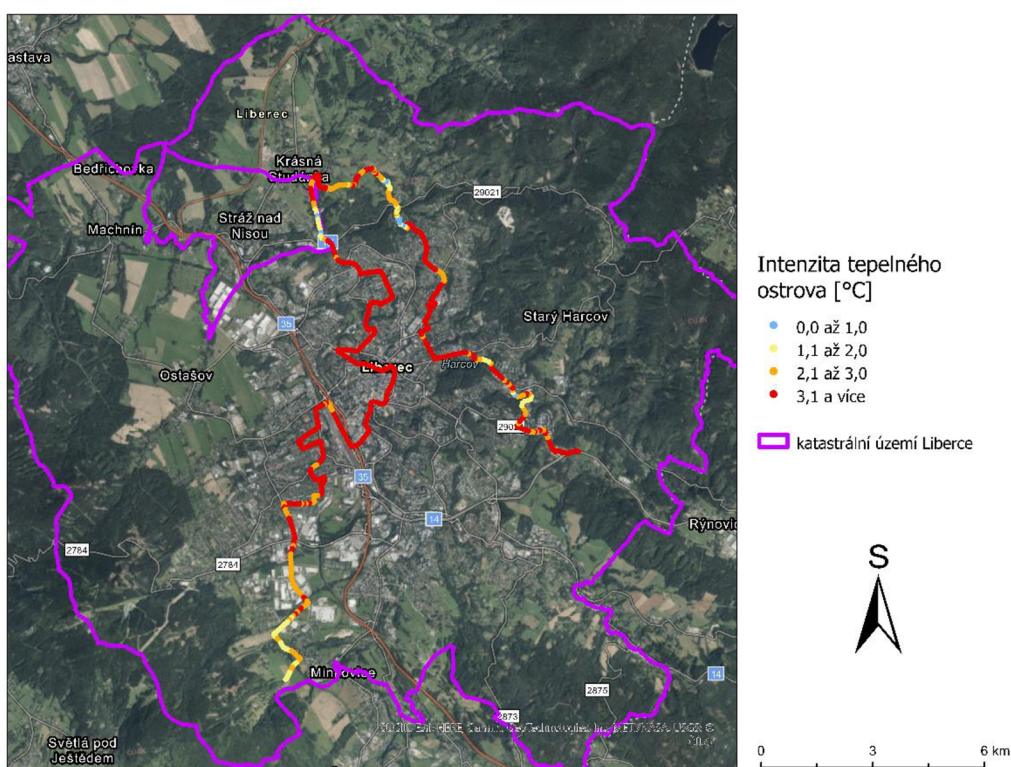
Obr. 13: Prostorová variabilita intenzity tepelného ostrova na území Liberce během nočního měření 15. 8. 2021

Zdroj: ČÚZK, vlastní zpracování v ArcGIS Pro

6.1.5 Odpolední měření 4. 9. 2021

Měření probíhalo v odpoledních hodinách první zářijovou sobotu. Průměrná denní teplota vzduchu byla 13,3 °C. V čase začátku měření byla na referenční stanici naměřena teplota 20,8 °C, což bylo i denní maximum. Průměrná rychlost vzduchu činila 0,8 m/s, denní úhrn slunečního svitu byl 11 hodin.

Intenzita tepelného ostrova dosáhla až 4,8 °C, nejvyšší hodnoty byly zaznamenány v Rumunské ulici v centru města, která je obklopena souvislou městskou zástavbou. Vyšší teploty (s odchylkou > 2 °C od naměřeného minima) převažovaly na většině trasy a chladnější místa se vyskytovala zřídka a téměř výhradně v nezastavěných zastíněných úsecích.



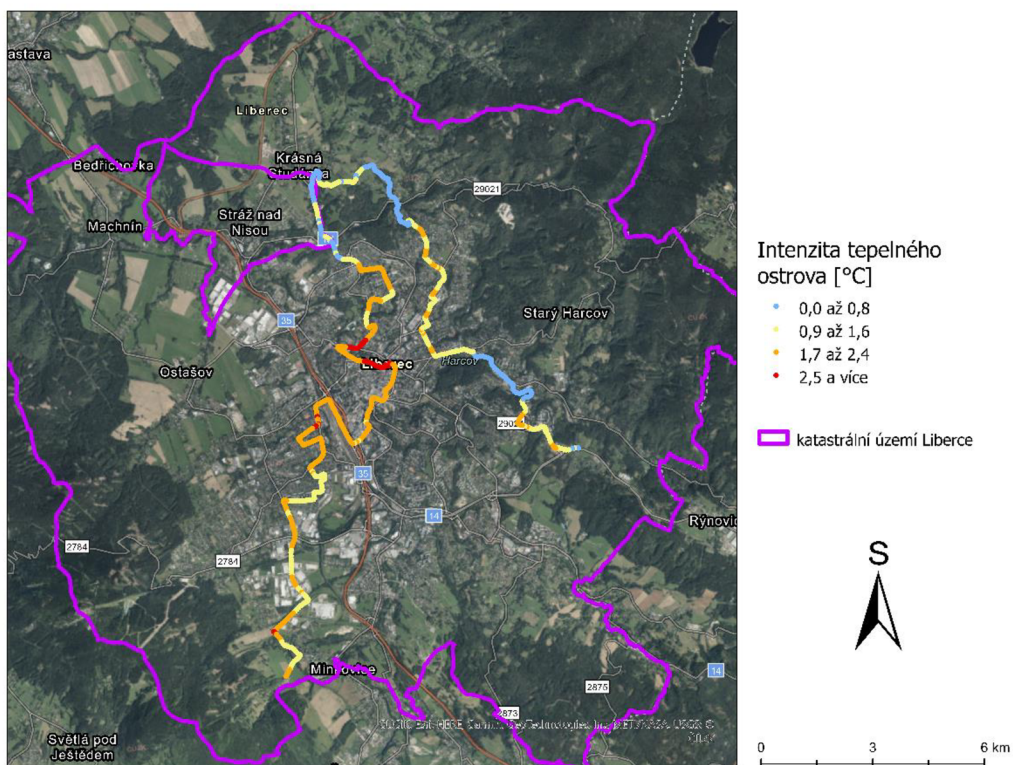
Obr. 14: Prostorová variabilita intenzity tepelného ostrova na území Liberce

během odpoledního měření 4. 9. 2021

Zdroj: ČÚZK, vlastní zpracování v ArcGIS Pro

6.1.6 Noční měření 4. až 5. 9. 2021

Teplota vzduchu na referenční stanici se v průběhu noci pohybovala v rozmezí 10,3 až 13,3 °C, rychlost větru během měření byla okolo 1 m/s. Variační ropětí teploty vzduchu bylo opět nižší než odpoledne, konkrétně 3,1 °C. Oproti předchozím nočním měřením byl tepelný ostrov méně rozvinutý z hlediska intenity i rozsahu. Nejteplejší úseky s odchylkou více než 2,5 °C od naměřeného minima se nacházeli pouze v ulicích Sokolovská a Železná a v okolí náměstí Dr. Edvarda Beneše v centru města. Zvýšená teplota vzduchu se souvisle vyskytovala v centru města a přilehlých obytných čtvrtích nacházejících se v nižších polohách (do 400 m n. m.). Výjimkou byl lokální tepelný ostrov v místní části Pilínkov na jižním okraji Liberce. Nejchladnější část trasy byla v okolí Harcovské přehrady, kde převažuje městská zeleň a nesouvislá zástavba a pak také úsek mezi Ruprechticemi a Radčicemi, kde trasa překonává zalesněné údolí Černé Nisy.



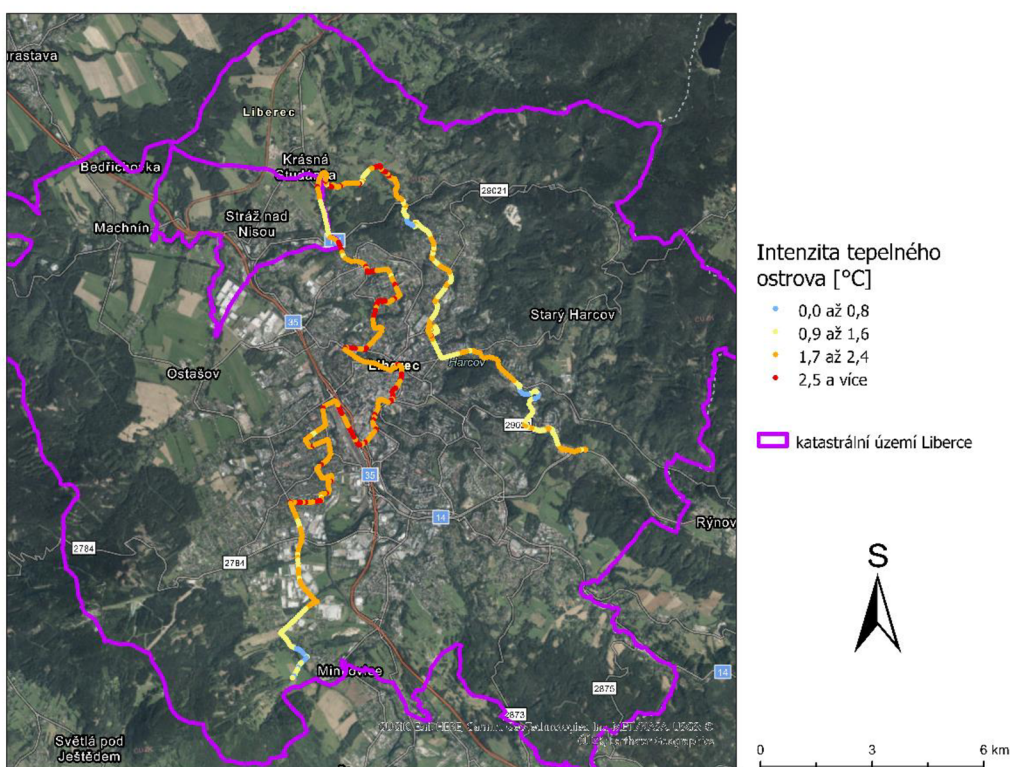
Obr. 15: Prostorová variabilita intenzity tepelného ostrova na území Liberce
během nočního měření 4. až 5. 9. 2021

Zdroj: ČÚZK, vlastní zpracování v ArcGIS Pro

6.1.7 Odpolední měření 12. 2. 2022

Měření probíhalo v odpoledních hodinách skorojasného mrazového dne. Teplota vzduchu naměřená na referenční stanici se během dne pohybovala v rozmezí od $-2,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $2,5\text{ }^{\circ}\text{C}$, průměrná denní teplota vzduchu činila $0,2\text{ }^{\circ}\text{C}$. Rychlost větru v době měření byla okolo 3 m/s , denní úhrn slunečního svitu byl $6,7\text{ hod.}$ Po celý den se držela souvislá, přibližně dvoucentimetrová sněhová pokrývka.

Variační rozpětí naměřené teploty vzduchu činilo $3,0\text{ }^{\circ}\text{C}$, nejvyšší hodnoty se nacházely v krátkých nesouvislých úsecích v zástavbě Nových Pavlovic a Starého Města, v okolí městského průtahu a v místní části Radčice na severním okraji Liberce. Z hustě obydlené městské zástavby byly nejchladnější sídliště Kunratická a čtvrť Ruprechtice. Tyto lokality se nacházejí v nadmořských výškách nad 400 m n. m.

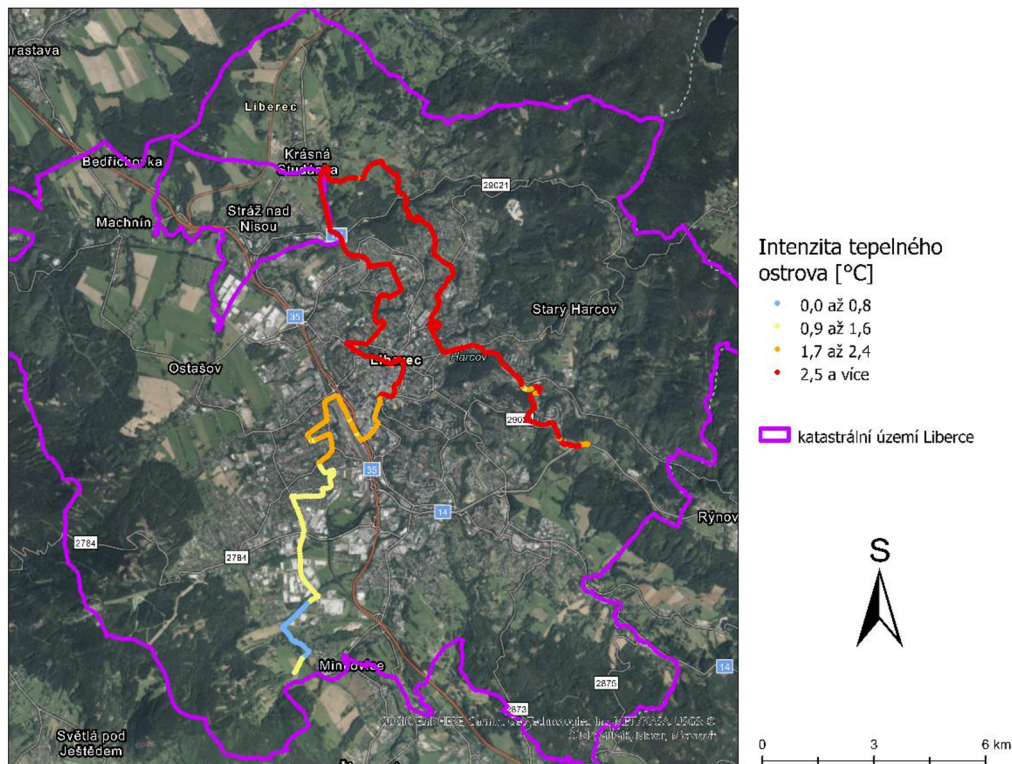


Obr. 16: Prostorová variabilita intenzity tepelného ostrova na území Liberce během odpoledního měření 12. 2. 2022

Zdroj: ČÚZK, vlastní zpracování v ArcGIS Pro

6.1.8 Noční měření 13. 2. 2022

V noci se teplota vzduchu na referenční stanici pohybovala mírně pod bodem mrazu od $-1,8\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$. Rychlost větru byla vyšší než ve dne, ve 2 hodiny dosáhla hodnoty $4,6\text{ m/s}$. I přes to bylo variační rozpětí naměřené teploty o $0,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ vyšší než odpoledne. Oproti předchozím měřením byl vývoj teploty vzduchu velmi odlišný. Nejteplejší část trasy se nacházela téměř souvisle od začátku až k terminálu hromadné dopravy v centru města. Odtud začala teplota vzduchu s rozstoucí vzdáleností a nadmořskou výškou postupně klesat až k minimální hodnotě, která byla naměřena na kraji Pilínkova.

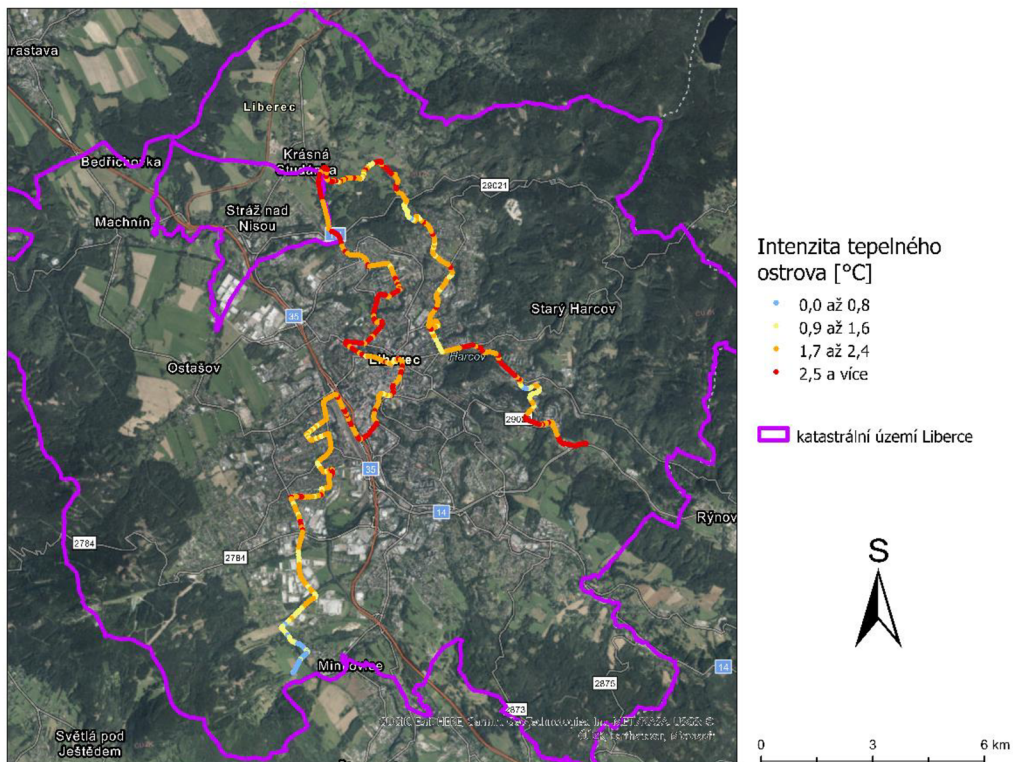


Obr. 17: Prostorová variabilita intenzity tepelného ostrova na území Liberce během nočního měření 13. 2. 2022

Zdroj: ČÚZK, vlastní zpracování v ArcGIS Pro

6.1.9 Odpolední měření 13. 2. 2022

Následující den se také vyznačoval jako mrazový, teplota vzduchu na libereckém letišti se během dne pohybovala v rozmezí $-1,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ až $4,4\text{ }^{\circ}\text{C}$. Průměrná denní teplota činila $1,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, průměrná rychlost větru byla $6,4\text{ m/s}$ a denní úhrn slunečního svitu byl $7,1$ hod. Rozdíl minimální a maximální naměřené teploty byl $3,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, což byla nejvyšší hodnota ze zimních měření. Nejteplejší část byla tradičně v centru města, ale také na sídlišti Kunratická a v místních částech Krásná Studánka a Radčice. Nejchladnější část byla na konci trasy.



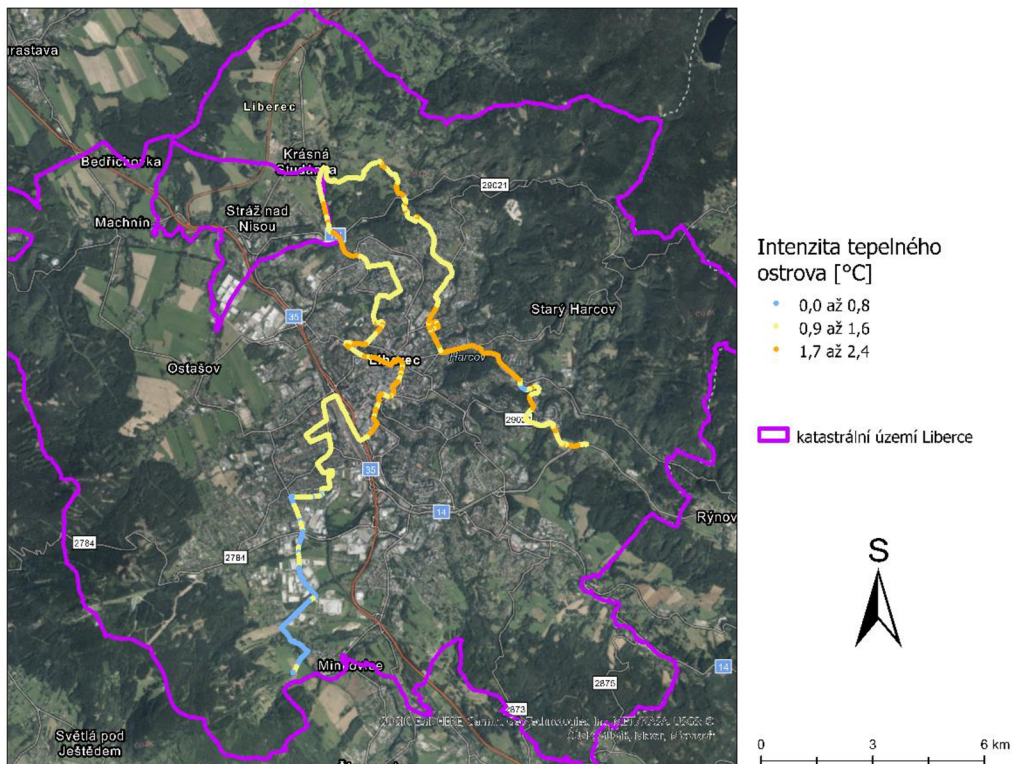
Obr. 18: Prostorová variabilita intenzity tepelného ostrova na území Liberce

během odpoledního měření 13. 2. 2022

Zdroj: ČÚZK, vlastní zpracování v ArcGIS Pro

6.1.10 Noční měření 13. až 14. 2. 2022

Během noci se teplota na referenční stanici pohybovala v rozmezí od $-0,9\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $2,9\text{ }^{\circ}\text{C}$. Rychlost větru byla opět výrazně vyšší a narušovala tak ideální podmínky pro měření. Ve 23 hodin dosáhla hodnoty $6,6\text{ m/s}$. Pravděpodobně kvůli tomu došlo k menšímu rozvinutí tepelného ostrova. Oproti odpolednímu výjezdu byla naměřena maximální intenzita $2,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ a jednalo se o nejnižší hodnotu ze všech měření. Nejteplejší souvislé úseky byly zaznamenány v okolí Harcovské přehrady a v zástavbě Starého Města, nechladnější byl závěrečný úsek v okolí průmyslové zóny Jih a místí části Pilínkov.



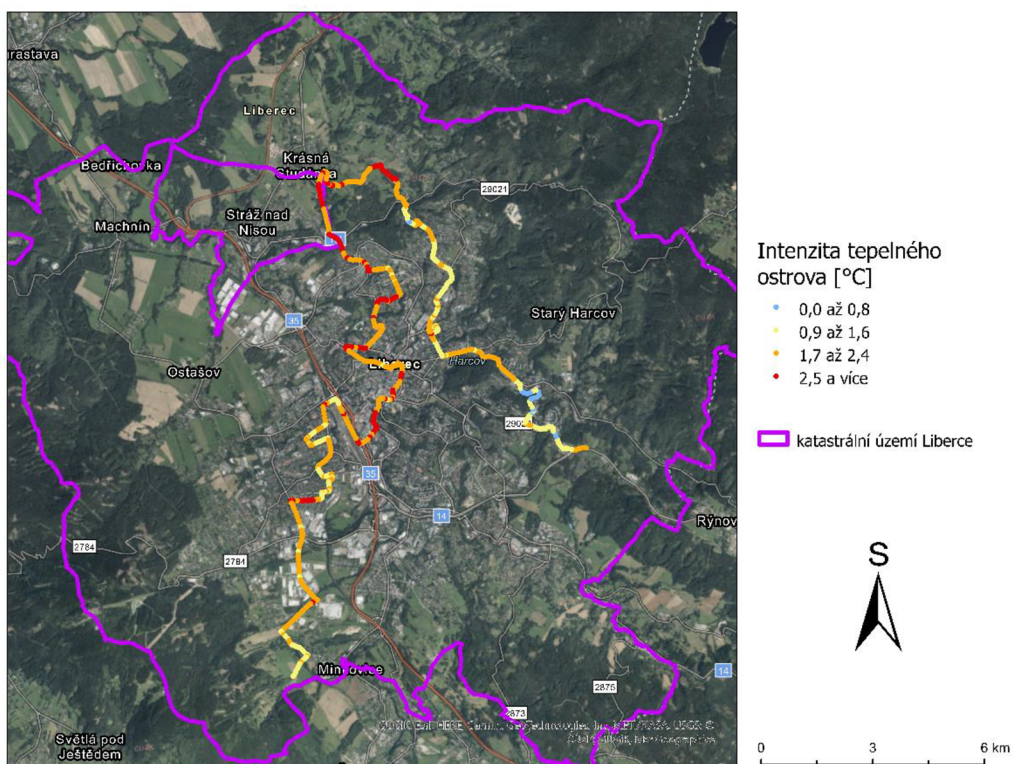
Obr. 19: Prostorová variabilita intenzity tepelného ostrova na území Liberce během nočního měření 13. až 14. 2. 2022

Zdroj: ČÚZK, vlastní zpracování v ArcGIS Pro

6.1.11 Odpolední měření 14. 2. 2022

Poslední zimní měřicí den byl z vybraných dnů nejteplejší. Ráno se teploty vzduchu pohybovala ještě pod bodem mrazu, ale během dne se pohybovala v rozmezí 0,1 až 5,5 °C. Průměrná denní teplota vzduchu činila 1,9 °C, průměrná denní rychlost vzduchu byla 4,8 m/s a denní úhrn slunečního svitu byl 7,1 hod.

Prostorové rozložení naměřené teploty vzduchu bylo přibližně stejné jako u předchozích denních měření. Opět byl patrný lokální tepelný ostrov na území Radčic a Krásné Studánky. Nejchladnější úsek byl v zalesněné části ulice Hrubínova.

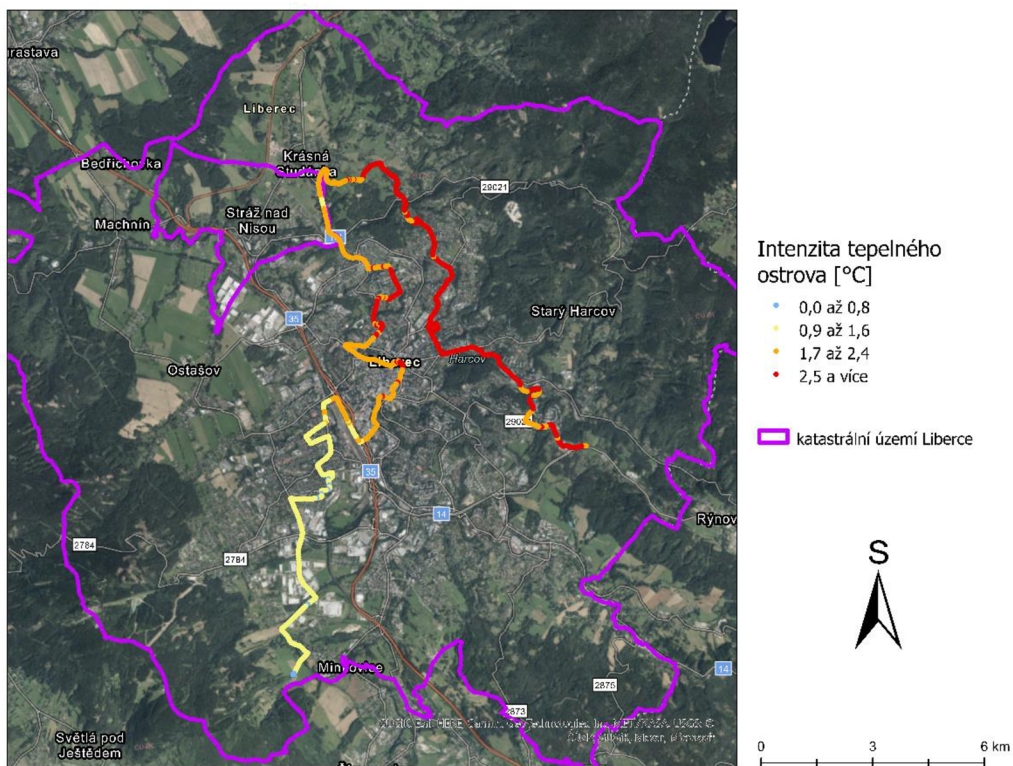


Obr. 20: Prostorová variabilita intenzity tepelného ostrova na území Liberce během odpoledního měření 14. 2. 2022

Zdroj: ČÚZK, vlastní zpracování v ArcGIS Pro

6.1.12 Noční měření 14. až 15. 2. 2022

V noci se teplota vzduchu pohybovala nad nulou (od 1,2 °C do 3,2 °C). Měření probíhalo v nejchladnější části noci mezi 23. hodinou a půlnocí, rychlost větru byla okolo 4 m/s. Variační rozpětí naměřených hodnot teploty vzduchu bylo 3,2 °C. Prostorové rozložení teplot bylo podobné jako u prvního zimního nočního měření. Nejteplejší byla přibližně celá první třetina trasy od začátku až do Radčic, pak došlo k poklesu teploty a v zástavbě Pavlovic byla opět zvýšená intenzita tepelného ostrova. Po výjezdu z centra města začala teplota vzduchu pozvolna klesat a minimum bylo naměřeno na úplném konci trasy.



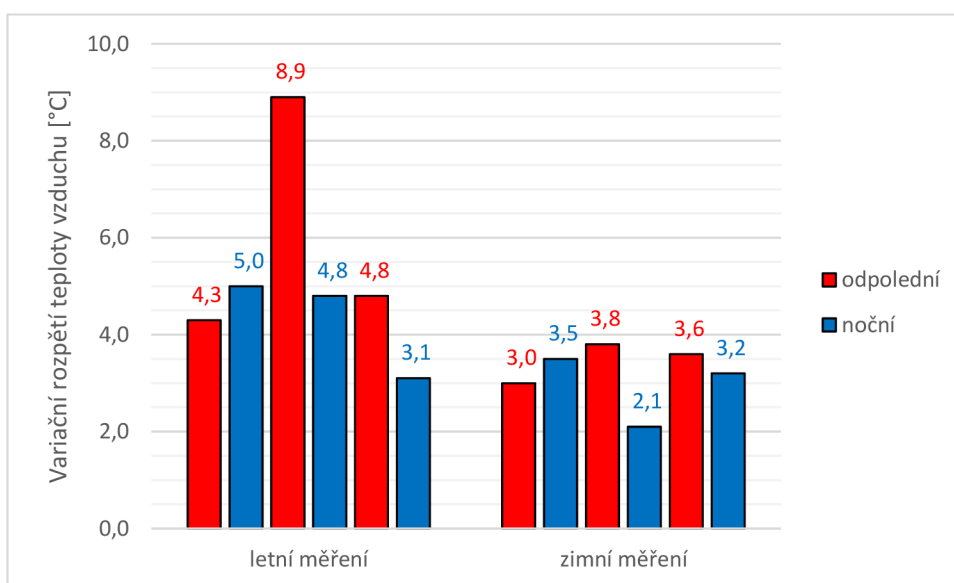
Obr. 21: Prostorová variabilita intenzity tepelného ostrova na území Liberce během nočního měření 14. až 15. 2. 2022

Zdroj: ČÚZK, vlastní zpracování v ArcGIS Pro

6.2 Analýza dat

Letní měření se vyznačovala větším variačním rozpětím teplot vzduchu než měření provedená v zimním období. U letních měření byla zjištěna také vyšší směrodatná odchylka naměřených hodnot, což dokresluje větší variabilitu teplot během měření. Pro vybrané zimní dny ale byla charakteristická zvýšená rychlost větru, která narušila ideální podmínky pro měření. Vyšší intenzita tepelného ostrova byla dále typická pro odpoledních měření, a to jak v létě, tak v zimě.

Ze zastavěného území byly nejteplejší úseky nejčastěji zaznamenány na území Staré Města a Pavlovic. Tyto městské části se nacházejí v centru města v nižší nadmořské výšce, než okolí a je zde typická velmi hustá až souvislá městská zástavba. V okrajových částech Krásná Studánka a Radčice byl v odpoledních hodinách patrný lokální tepelný ostrov, v noci se teplota v okolní nezastavěné krajině lišila méně výrazně nebo vůbec. Zajímavé bylo také chování panelových sídlišť Kunratická a Gagarinova, která se obě nacházejí v nadmořské výšce přes 400 m n. m. Při odpoledních měření zde většinou nebyla zaznamenána zvýšená teplota vzduchu ve srovnání s okolím, zatímco v noci se projevilo vyzařování tepla akumulovaného přes den. Nejchladnějšími úseky byla zalesněná údolí podél Černé Nisy a Radčického potoka. Nejnižší teploty se také pravidelně vyskytovaly v okolí místní části Pilínkov, která se nachází na jihozápadním okraji Liberce na úpatí Ještědsko-kozákovského hřbetu a měřicí trasa zde dosahovala maximální nadmořské výšky.



Obr. 22: Variační rozpětí teploty vzduchu u jednotlivých měření

Zdroj: vlastní zpracování v MS Excel

6.2.1 Vliv nadmořské výšky na teplotu vzduchu

Katastrální území Liberce se vyznačuje poměrně velkou výškovou členitostí a tak byl očekáván její vliv na intenzitu tepelného ostrova. Pro jednotlivá měření byl sestrojen grafy lineární regrese a vypočítány hodnoty Pearsonova koeficientu a koeficientu determinace. Pearsonův korelační koeficient měří sílu lineární závislosti mezi dvěma veličinami. Tabulka 3 ukazuje, že téměř u všech měření teplota vzduchu s rostoucí nadmořskou výškou klesala. U většiny zimních měření byla zjištěna středně silná závislost mezi intenzitou tepelného ostrova a nadmořskou výškou, u letních měření nebyla byla závislost slabá s výjimkou prvního odpoledního měření.

Determinační koeficient popisuje, jaký podíl celkové variability závislé proměnné vysvětluje vytvořený regresní model (statsoft.cz). U většiny zimních měření byl vliv nadmořské výšky na celkovou variabilitu teploty vzduchu výraznější než v létě, hodnoty determinačního koeficientu se pohybovaly od 13 do 29 %. V létě byl vliv nadmořské výšky s výjimkou prvního odpoledního dne minimální. Grafy lineární regrese pro jednotlivá měření se nachází v příloze na stánkách 51 a 52.

Tab. 3: Pearsonův koeficient a koeficient determinace mezi intenzitou tepelného ostrova a nadmořskou výškou

Intenzita UHI	Nadmořská výška	
	R	R ²
Měření		
31. 7. 2021 odpolední	-0,50	0,25
31. 7. 2021 noční	-0,11	0,01
14. 8. 2021 odpolední	-0,28	0,08
15. 8. 2021 noční	0,13	0,02
4. 9. 2021 odpolední	-0,29	0,08
4. až 5. 9. 2021 noční	-0,05	0,00
12. 2. 2022 odpolední	-0,42	0,18
13. 2. 2022 noční	-0,51	0,26
13. 2. 2022 odpolední	-0,37	0,13
13. až 14. 2. 2022 noční	-0,54	0,29
14. 2. 2022 odpolední	-0,49	0,24
14. až 15. 2. 2022 noční	-0,22	0,05

Pozn.: R – Pearsonův korelační koeficient; R² – koeficient determinace

6.2.2 Vliv nepropustnosti povrchu na teplotu vzduchu

Další zkoumanou veličinou byla nepropustnost povrchu. Tabulka 4 ukazuje výrazný rozdíl v hodnotách obou koeficientů mezi letním a zimním obdobím. Všechna letních měření vykazovala středně silnou závislost mezi intenzitou tepelného ostrova a nepropustností povrchu, u zimních měření byla závislost naopak velmi slabá.

V létě byl prokázán výrazný vliv nepropustnosti povrchu na celkovou variabilitu teploty vzduchu, hodnoty determinačního koeficientu se pohybovaly od 28 do 37 %. Naopak zimě byl vliv nepropustnosti povrchu minimální. Grafy lineární regrese pro jednotlivá měření se nachází v příloze na stránkách 53 a 54.

Tab. 4: Pearsonův koeficient a koeficient determinace mezi intenzitou tepelného ostrova a nepropustností

Intenzita UHI Měření	ISF	
	R	R ²
31. 7. 2021 odpolední	0,55	0,30
31. 7. 2021 noční	0,61	0,37
14. 8. 2021 odpolední	0,60	0,37
15. 8. 2021 noční	0,56	0,32
4. 9. 2021 odpolední	0,58	0,34
4. až 5. 9. 2021 noční	0,53	0,28
12. 2. 2022 odpolední	0,28	0,08
13. 2. 2022 noční	0,08	0,01
13. 2. 2022 odpolední	0,22	0,05
13. až 14. 2. 2022 noční	0,24	0,06
14. 2. 2022 odpolední	0,03	0,00
14. až 15. 2. 2022 noční	0,01	0,00

Pozn.: ISF – impervious surface fraction (nepropustnost povrchu);

R – Pearsonův korelační koeficient; R² – determinační koeficient

6.2.3 Vliv hustoty zástavby na teplotu vzduchu

Třetí zkoumanou veličinou bylo procento zastavěné plochy. Tabulka 4 ukazuje, že žádné z provedených měření nevykazovalo významnější míru závislosti mezi hustotou zástavby a intenzitou tepelného ostrova. Nepomohlo ani vymazání měřících bodů nacházejících se mimo zástavbu. Vliv hustoty zástavby na celkovou variabilitu teploty vzduchu nebyl prokázán.

Tab. 5: Pearsonův koeficient a koeficient determinace mezi intenzitou tepelného ostrova a hustotou zástavby

Intenzita UHI	BSF	
	R	R ²
Měření		
31. 7. 2021 odpolední	0,07	0,00
31. 7. 2021 noční	0,05	0,00
14. 8. 2021 odpolední	0,03	0,00
15. 8. 2021 noční	0,15	0,02
4. 9. 2021 odpolední	0,15	0,02
4. až 5. 9. 2021 noční	0,10	0,01
12. 2. 2022 odpolední	0,07	0,01
13. 2. 2022 noční	0,02	0,00
13. 2. 2022 odpolední	0,10	0,01
13. až 14. 2. 2022 noční	-0,06	0,00
14. 2. 2022 odpolední	0,02	0,00
14. až 15. 2. 2022 noční	-0,05	0,00

Pozn.: BSF – Building Surface Fraction (procento zastavěné plochy);

R – Pearsonův korelační koeficient; R² – determinační koeficient

7. Diskuse

Prostorovou variabilitou teploty vzduchu a intenzitou tepelného ostrova Brna s využitím mobilního měření se ve své studii zabývali Dobrovolný a Krahula (2015). Brno se podobně jako Liberec vyznačuje pánevní polohou a území města má rozmanitou výškovou členitost. Výzkum se stejně jako v této práci opíral především o mobilní měření teploty vzduchu realizované pomocí automobilu. Autoři prováděli výzkum celkem v devíti dnech během všech ročních období, zaměřovali se ale pouze na noční hodiny. Nejvyšší variační rozpětí teploty vzduchu bylo zaznamenáno v červenci, nejnižší v lednu. Také prostorová variabilita teploty vzduchu během nočních měření vykazovala podobné znaky jako noční měření realizovaná v Liberci. Centrum města s nejmenší mírou vegetace se vyznačovalo výrazně vyššími teplotami než vzdálené příměstské oblastech s vyšším procentem přírodních povrchů.

Dobrovolný a Krahula také zkoumaly vliv vybraných geografických faktorů na intenzitu tepelného ostrova. Vysvětlujícími proměnnými byly uvažovány nadmořská výška, množství vegetace, hustota zástavby a struktura silničního systému. Množství vegetace bylo reprezentováno tzv. normalizovaným rozdílovým vegetačním indexem (NDVI), z kterého mimo jiné vycházejí data o nepropustnosti povrchu použité při výzkumu v Liberci. Výsledkem bylo zjištění, že nejdůležitějším faktorem bylo množství vegetace (NDVI). Tento faktor měl největší vliv na jaře a v létě, kdy vysvětloval 20–50 % variability teploty vzduchu. Významný vliv byl dále prokázán u hustoty zástavby, v létě vysvětloval až 40 % variability teploty vzduchu. Vliv nadmořské výšky byl charakterizován jako slabý. Výsledky zjištěné v Liberci byly oproti brněnským částečně odlišné. V létě byl prokázán největší vliv u nepropustnosti povrchu, kdy vysvětloval 28–37 % variability teploty vzduchu. V zimě měla největší vliv nadmořská výška, která vysvětlovala až 26 % variability teploty vzduchu a potlačila tak vliv antropogenních činitelů. Rozdíl u vlivu nadmořské výšky mezi Brnem a Libercem může být dán kromě odlišného rozmístění zástavby také vyšším rozdílem nadmořských výšek mezi městem a přilehlým okolím. Výraznější vliv hustoty zástavby v Liberci nebyl prokázán u žádného měření.

8. Summary

This bachelor thesis deals with the study of the urban heat island in case of Liberec. Liberec is a mid-sized city and regional center in the northern Bohemia with more than 100,000 inhabitants. The city is located in a basin between the Jizera Mountains and the Ještěd-Kozák ridge. The urban development is located at an altitude of 325 to 550 m above sea level.

An urban heat island is defined as an area of elevated air temperature in the boundary and ground layers of the atmosphere above a city or industrial agglomeration compared to the rural environment. Its origin is mainly due to the presence of an artificial active surface, which leads to greater heat accumulation and less albedo in the city (definition taken from the Dictionary of the Czech Meteorological Society).

A total of 12 mobile air temperature measurements using a car were carried out as part of the research. Measurements took place in summer and winter on days with radiation type of weather. According to the results, summer measurements were characterized by a higher intensity of the urban heat island than measurements performed in winter. The higher intensity of the heat island was also typical for afternoon measurements, both in summer and in winter. The warmest part of the route was the continuous development in the city center with a small share of vegetation. The coldest built-up area was the suburban part of Pilínkov, which is located at a great distance from the city center at a higher altitude. The place is also characterized by sparse buildings and large areas of vegetation.

In the next part, the influence of selected geographical factors on the intensity of the heat island was investigated. In the summer, the impervious surface fraction had the greatest effect, which explained up to 28–37 % of air temperature variability. In winter, altitude had the greatest effect, which explained up to 26 % of the air temperature variability and thus suppressed the influence of anthropogenic factors.

9. Závěr

Výsledky této práce potvrdily různou prostorovou variabilitu a intenzitu tepelného ostrova Liberec během letních a zimních ale i odpoledních a nočních měření. Letní měření se vyznačovala intenzitou tepelného ostrova okolo 4 °C, při odpoledním měření 14. 8. 2021 byla naměřena maximální intenzita dokonce 8,9 °C. Rozdíl mezi odpoledními a nočními měřeními byl v létě patrný zejména v rozsahu tepelného ostrova. V nočních hodinách se rozprostíral na menší ploše a byl více patrný přechod mezi zástavbou volnou nebo zastavěnou krajinou. Nejvýznamnější vliv na variabilitu teploty vzduchu měla nepropustnost povrchu.

Zimní měření měla obecně nižší intenzitu tepelného ostrova, nejčastěji mezi 3 až 4 °C, při nočním měření v noci z 13. na 14. 2. 2022 byla naměřena maximální intenzita pouze 2,1 °C. Rozsah tepelného ostrova se jednotlivých měření poměrně výrazně lišil a nebyla zde patrná vazba na konkrétní typ zástavby. Variabilitu teploty vzduchu ovlivňovala především nadmořská výška a vliv reliéfu převažoval nad antropogenními faktory.

Metoda mobilního měření s využitím osobního automobilu se ukázala jako funkční a vzhledem k délce měřicí trasy také praktická. Na tuto práci by se v budoucnu dalo navázat dalšími analýzami městského klimatu na území Liberce.

10. Seznam zdrojů

Adaptační strategie pro Liberec. *Liberec* [online]. [cit. 2021-04-07]. Dostupné z: <https://www.liberec.cz/cz/radnice/strategie-projekty/projekty-mesta/adaptacni-strategie-pro-liberec/>

ARNFIELD, A. J. (2003): Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. *International Journal of Climatology*, svazek 23, č. 1, s. 1–26.

BALATKA, Břetislav, DEMEK, Jaromír a Peter MACKOVČIN, ed. *Zeměpisný lexikon ČR*. Vyd. 2. Brno: AOPK ČR, 2006, 580 s. ISBN 80-86064-99-9.

BERANOVÁ, Romana a Radan HUTH. PRAŽSKÝ TEPELNÝ OSTROV ZA RŮZNÝCH SYNOPTICKÝCH PODMÍNEK. *Meteorologické zprávy* [online]. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2003, **56**(5), 137–142 [cit. 2022-04-07]. ISSN 0026–1173. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/files/portal/docs/reditel/SIS/casmz/assets/2003/Meteo-2003-05.pdf#page=11>

BŘÁZDIL, Rudolf a Marie BUDÍKOVÁ. An urban bias in air temperature fluctuations at the Klementinum, Prague, The Czech Republic. *Atmospheric Environment*. **33**(24-25), 4211-4217. Dostupné z: doi:[https://doi.org/10.1016/S1352-2310\(99\)00163-6](https://doi.org/10.1016/S1352-2310(99)00163-6)

Česká meteorologická společnost (ČMeS): Elektronický meteorologický slovník [online]. [cit. 2022-04-27]. Dostupné z: <http://slovník.cmes.cz/>

Český hydrometeorologický ústav: Historická data - meteorologie a klimatologie [online]. [cit. 2022-04-27]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/denni-data/data-ze-stanic-site-RBCN>

ČSÚ: *Databáze demografických údajů za obce ČR* [online]. 2021 [cit. 2022-04-07]. Dostupné z: <https://vdb.czso.cz/vdbvo2/faces/cs/index.jsf?page=home>

DOBROVOLNÝ, Petr. *Klima Brna: víceúrovňová analýza městského klimatu*. Brno: Masarykova univerzita, 2012, 200 s. ISBN 978-80-210-6029-6.

DOBROVOLNÝ, Petr a Lukáš KRAHULA. The spatial variability of air temperature and nocturnal urban heat island intensity in the city of Brno, Czech Republic. *Moravian Geographical Reports*. 2015, **23**(3), 8-16. ISSN 1210-8812. Dostupné z: doi:10.1515/mgr-2015-0013.

EEA (2016): European settlement map [online]. European Environment Agency, cit. [2022–04–28]. Dostupné z: <https://land.copernicus.eu/pan-european/GHSL/european-settlement-map/EU%20GHSL%202014>

EEA (2018): Imperviousness Density [online]. European Environment Agency, cit. [2022–04–28]. Dostupné z: <https://land.copernicus.eu/pan-european/high-resolution-layers/imperviousness/status-maps/imperviousness-density-2018>

EEA (2018): Urban Atlas [online]. European Environment Agency, cit. [2022–04–28]. Dostupné z: <https://land.copernicus.eu/local/urban-atlas/urban-atlas-2018>

GELETIČ, Jan. *Faktory podmiňující prostorovou diferenciaci teploty vzduchu v prostředí městského klimatu* [online]. Brno, 2017 [cit. 2022-05-06]. Dostupné z: <https://is.muni.cz/th/o8xzh/>. Disertační práce. Masarykova univerzita, Přírodovědecká fakulta. Vedoucí práce Petr DOBROVOLNÝ.

Geografické údaje. Liberec [online]. [cit. 2022-04-28]. Dostupné z: <https://www.liberec.cz/cz/mesto-samosprava/profil-statut-mesta/geograficke-udaje/>

HOWARD, L. (1820): Climate of London deduced from meteorological observations, made at different places in the neighbourhood of the metropolis, 2, Londýn, 1818–20.

LEHNERT, Michal, Jan GELETIČ, Petr DOBROVOLNÝ a Martin JUREK. Temperature differences among local climate zones established by mobile measurements in two central European cities. *Climate Research*. Germany: Inter-Research Science Publisher, 2018, **75**(1), 53-64. ISSN 0936-577X. Dostupné z: doi:10.3354/cr01508.

LEHNERT, Michal, Stevan SAVIĆ, Dragan MILOŠEVIĆ, Jelena DUNJIĆ a Jan GELETIČ. Mapping Local Climate Zones and Their Applications in European Urban Environments: A Systematic Literature Review and Future Development Trends. *ISPRS International Journal of Geo-Information* [online]. 2021, **10**(4) [cit. 2022-04-28]. Dostupné z: doi.org/10.3390/ijgi10040260

NAVRÁTIL, B. (2013): Teplotní poměry Vsetína. Diplomová práce. Vedoucí práce doc. RNDr. Miroslav VYSOUDIL, CSc., Přírodovědecká fakulta, Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, 102 s.

OKE, T. R., G. MILLS, A. CHRISTEN a J. A. VOOGT. *Urban Climates*. Cambridge University Press, 2017. ISBN 9781139016476.

QUITT, Evžen. *Klimatické oblasti Československa: Climatic regions of Czechoslovakia*. Brno: Geografický ústav ČSAV, 1971, 73 s.

RAŠKA, D. (2021): Tepelný ostrov malých sídel: okolí Olomouce. Diplomová práce. Vedoucí práce Mgr. Michal Lehnert, Ph. D., Přírodovědecká fakulta, Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, 82 s.

SCHMIDT, W. (1929): Die Verteilung der Minimumtemperaturen in der Frostnacht des 12 Mai 1927 im Gemeindegebiet von Wien. *Fortschritte der Landwirtschaft*, 2(21), s. 681–686.

STŘEDOVÁ, Hana a kol. *Mikroklima a mezoklima měst, mikroklima porostů*. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 2011, 120 s. ISBN 978-80-86690-90-2.

TOMÁŠ, M., VYSOUDIL, M. (2010): Mobilní měření: Prostředek při studiu prostorové variability teploty vzduchu v městské a příměstské krajině. In *Geografie pro život ve 21. století: Sborník příspěvků z XXII. sjezdu České geografické společnosti pořádaného Ostravskou univerzitou v Ostravě 31. srpna - 3. září 2010*. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, 2010. ISBN 978-80-7368-903-2.

Úvod do regresní analýzy [online]. In: . [cit. 2022-04-29]. Dostupné z: http://www.statsoft.cz/file1/PDF/newsletter/2014_26_03_StatSoft_Uvod_do_regresni_analyzy.pdf

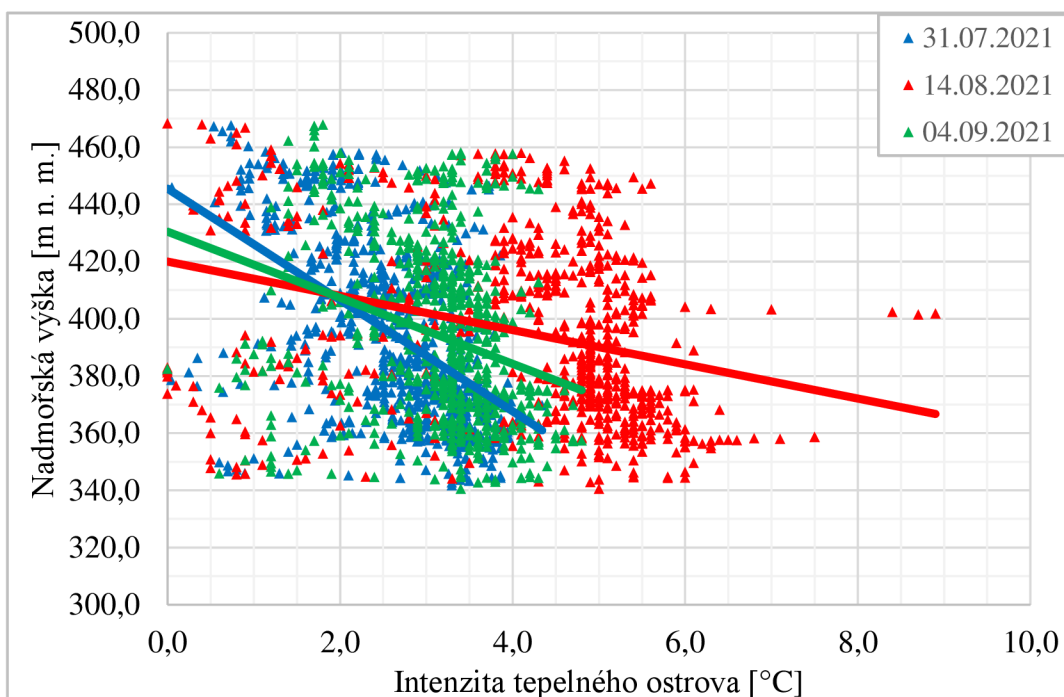
Voogt, J.A. and Oke, T.R. (2003) Thermal Remote Sensing of Urban Climates. *Remote Sensing of Environment*, 86, 370-384. [https://doi.org/10.1016/S0034-4257\(03\)00079-8](https://doi.org/10.1016/S0034-4257(03)00079-8)

VYSOUDIL, Miroslav. *Základy fyzické geografie 1: Meteorologie a klimatologie*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2013. Studijní opory. ISBN 978-80-244-3892-4.

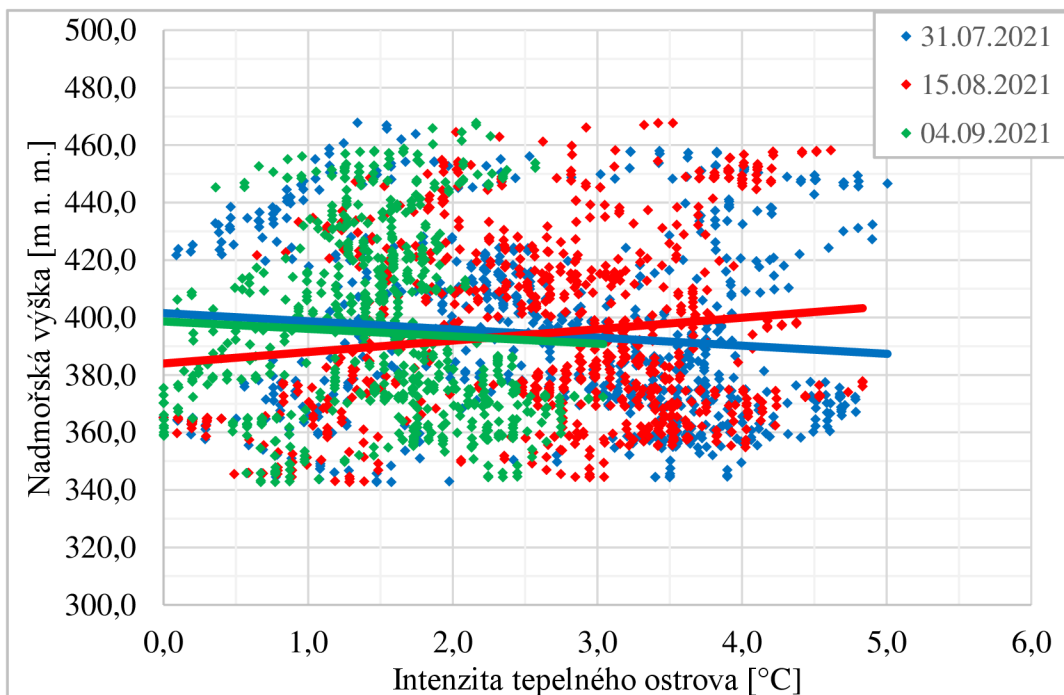
VYSOUDIL, Miroslav. Podnebí Olomouce: Climate of Olomouc. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2012, 211 s. Monografie. ISBN 978-80-244-3285-4.

11. Přílohy

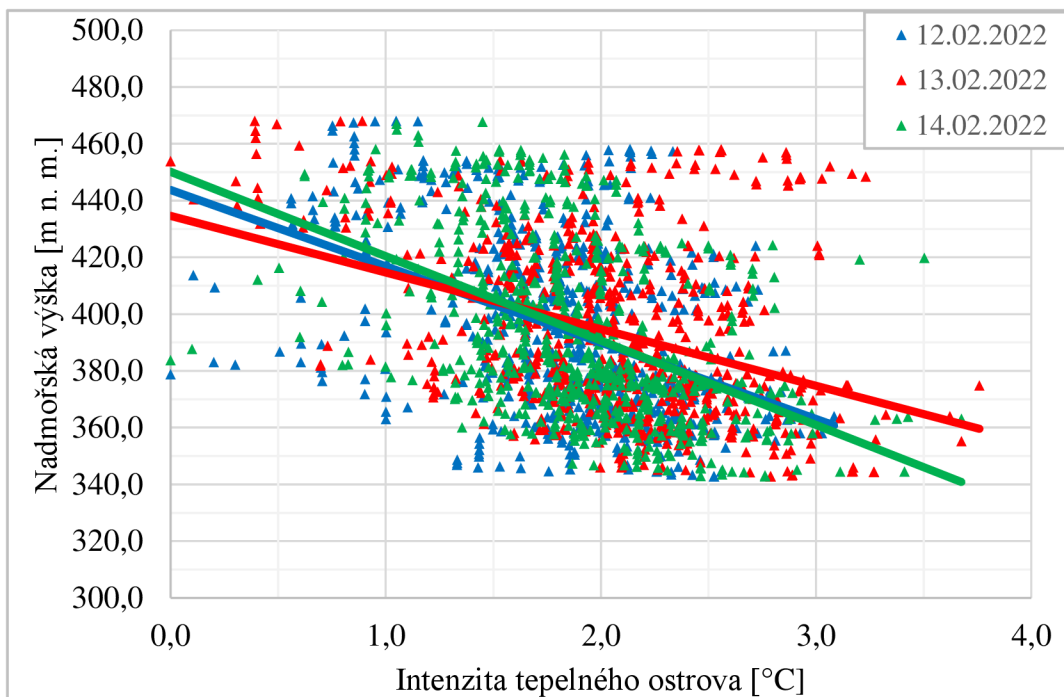
11.1 Vztah mezi intenzitou tepelného ostrova a nadmořské výšky



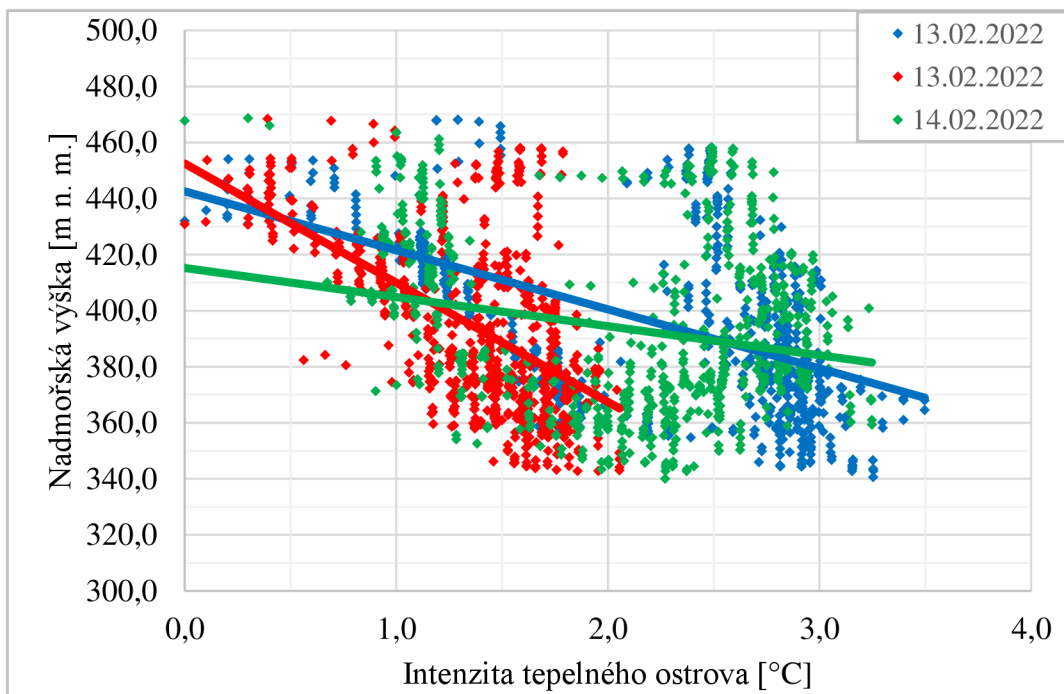
Obr. 1: Intenzita tepelného ostrova a nadmořská výška během letních odpoledních měření – spojnice lineárního trendu; vlastní zpracování v MS Excel



Obr. 2: Intenzita tepelného ostrova a nadmořská výška během letních nočních měření – spojnice lineárního trendu; vlastní zpracování v MS Excel

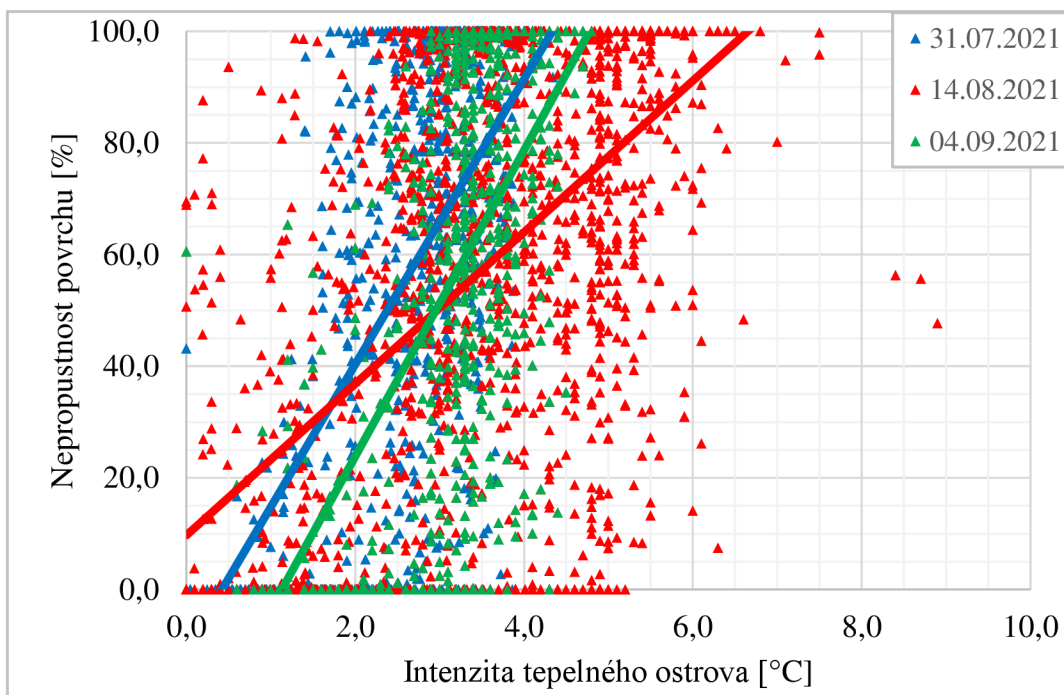


Obr. 3: Intenzita tepelného ostrova a nadmořská výška během zimních odpoledních měření – spojnice lineárního trendu; vlastní zpracování v MS Excel

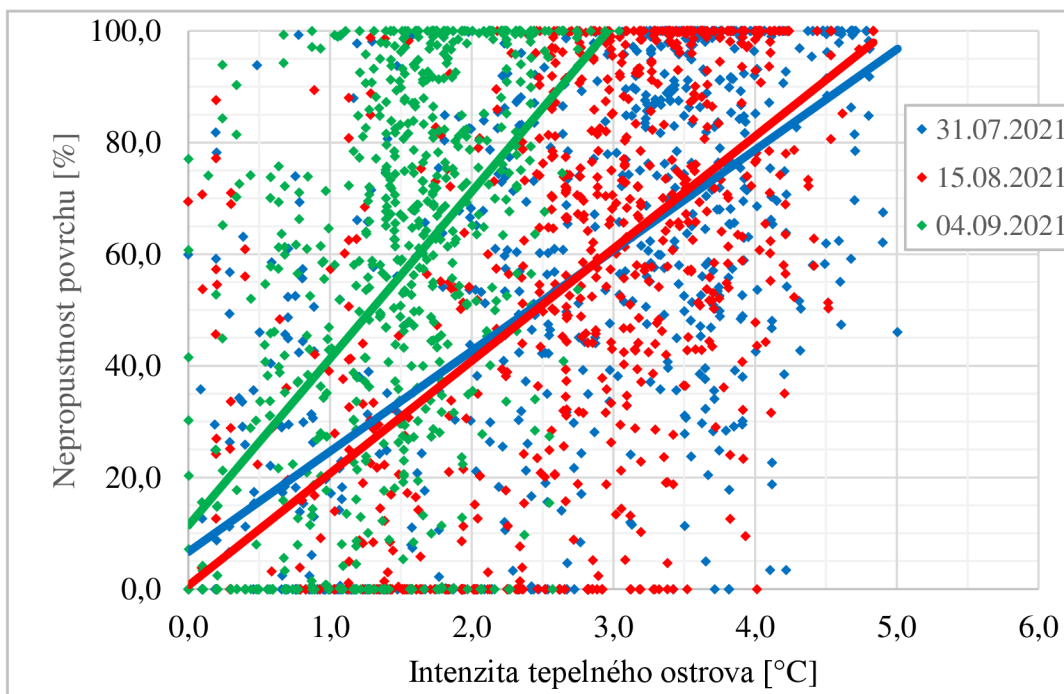


Obr. 4: Intenzita tepelného ostrova a nadmořská výška během zimních nočních měření – spojnice lineárního trendu; vlastní zpracování v MS Excel

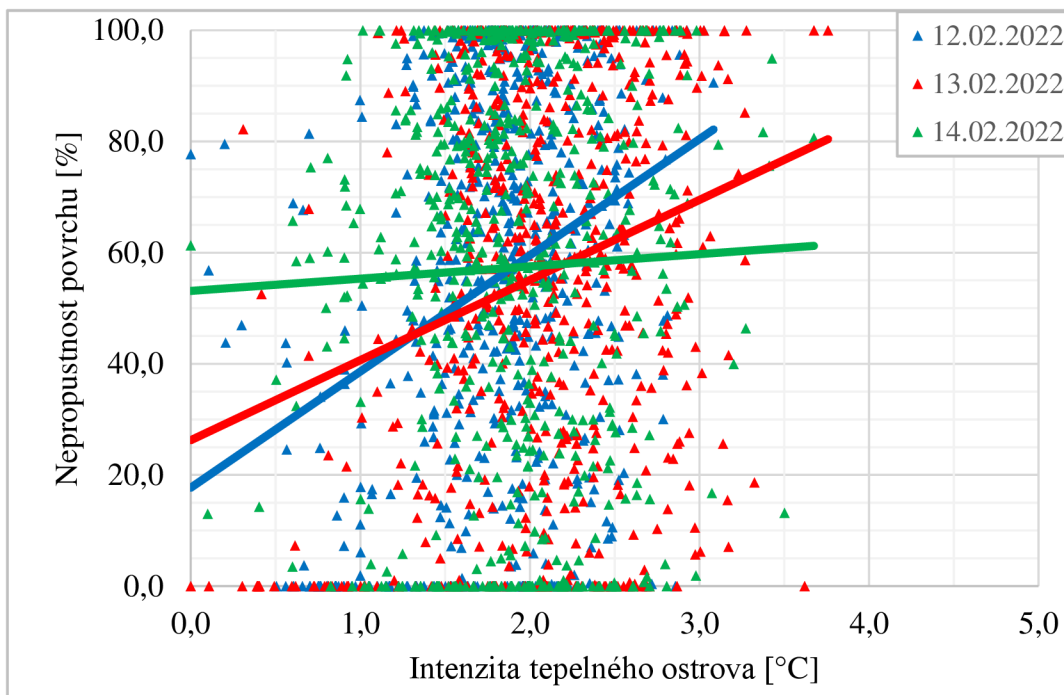
11.2 Vztah mezi intenzitou tepelného ostrova a nepropustností povrchu



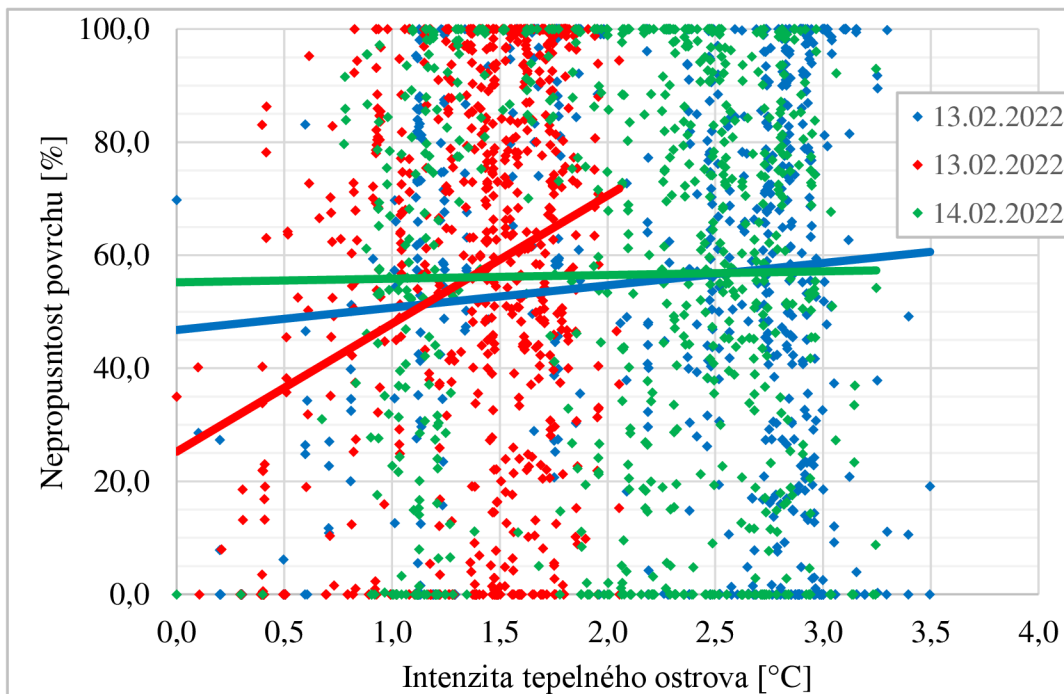
Obr. 5: Intenzita tepelného ostrova a nepropustnost povrchu během letních odpoledních měření – spojnice lineárního trendu; vlastní zpracování v MS Excel



Obr. 6: Intenzita tepelného ostrova a nepropustnost povrchu během letních nočních měření – spojnice lineárního trendu; vlastní zpracování v MS Excel



Obr. 7: Intenzita tepelného ostrova a nepropustnost povrchu během zimních odpoledních měření – spojnice lineárního trendu; vlastní zpracování v MS Excel



Obr. 8: Intenzita tepelného ostrova a nepropustnost povrchu během zimních nočních měření – spojnice lineárního trendu; vlastní zpracování v MS Excel