

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

Přírodovědecká fakulta

Katedra geografie

Lucie FILLOVÁ

**Vliv charakteru povrchu a vegetace na teplotu vzduchu
v městském prostředí na příkladu Olomouce**

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Mgr. Michal Lehnert, Ph.D.

Olomouc 2019

Bibliografický záznam

Autor (osobní číslo): Lucie Fillová (R15449)

Studijní obor: Regionální geografie

Název práce: Vliv charakteru povrchu a vegetace na teplotu vzduchu v městském prostředí na příkladu Olomouce

Title of thesis: The influence of land cover and vegetation on air temperature in urban landscape: case of Olomouc

Vedoucí práce: Mgr. Michal Lehnert, Ph.D.

Rozsah práce: 45 stran

Abstrakt: Práce se zabývá vlivem charakteru povrchu a vegetace na teplotu vzduchu v městském prostředí na příkladu Olomouce. Je vytvořena podrobná klasifikace povrchů a vegetace v okolí trasy mobilních měření na podkladě leteckých snímků a terénního průzkumu. Výsledky ukázaly, že propustné povrchy jsou zastoupeny 58 %, nepropustné povrchy 27 % a budovy 15 %. Při podrobnějším členění vegetace zabírají travnaté plochy 22 %, pole 14 % povrchu, stromy 10 %, holá půda 2 % povrchu. Na příkladu dne 10. 7. 2016 bylo potvrzeno, že ve večerních hodinách s rostoucím zastoupením budov v okolí bodu měření teplota vzduchu roste a s rostoucím zastoupením (nízké) vegetace klesá. V návaznosti na tuto práci by měly být zkoumány další faktory prostorové variability teploty vzduchu v Olomouci.

Klíčová slova: Olomouc, teplota vzduchu, land cover/land use, teplotní režim, tepelný ostrov, vegetace

Abstract: The thesis investigates the influence of surface and vegetation on the air temperature in the urban environment in case of Olomouc. It is created a detailed classification of surfaces and vegetation around the mobile measurement points. The aerial photos and field survey are used as a base for this purpose. The results show that pervious surface fraction occupies 58%, impervious surface fraction 27% and building surface fraction 15%. More detailed classification of vegetation shows that grassy areas occupies 22%, fields 14%, trees 10%, bare land 2% of the surface. In the case of 10 July 2016, it is confirmed that the air temperature is increasing with the increasing amount of buildings around the measuring points. On the other hand the air temperature is decreasing with the increasing amount of (low) vegetation around the measuring points. Both cases were at nighttime. Other factors of spatial variability of air temperature in Olomouc should be investigated in connection with this work.

Keywords: Olomouc, air temperature, land cover/land use, temperature regime, urban heat island, vegetation

Prohlašuji, že jsem zadanou bakalářskou práci vypracovala samostatně a veškerou použitou literaturu jsem řádně uvedla v seznamu literatury.

V Olomouci dne 2. Ledna 2019

.....

Tímto chci poděkovat Mgr. Michalu Lehnertovi, Ph.D. za vedení mé práce,
ochotný přístup a poskytnutí cenných odborných rad a informací.

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI
Přírodovědecká fakulta
Akademický rok: 2016/2017

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Lucie FILLOVÁ**
Osobní číslo: **R15449**
Studijní program: **B1301 Geografie**
Studijní obor: **Regionální geografie**
Název tématu: **Vliv charakteru povrchu a vegetace na teplotu vzduchu
v městském prostředí na příkladu Olomouce**
Zadávací katedra: **Katedra geografie**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

Cílem bakalářské práce je připravit podklady pro analýzy vlivu charakteru povrchu a vegetace na teplotu vzduchu v Olomouci a následně provést na příkladu vybraného dne pilotní analýzu a vypracovat její vyhodnocení. K analýze budou mimo v práci vytvořených podkladů charakteru povrchu a vegetace využita data z mobilního měření teploty vzduchu, která byla v Olomouci a okolí dříve provedena. Vliv charakteru povrchu a vegetace na teplotu vzduchu bude testován na základě vhodných statistických metod.

Navržená struktura práce:

1. Úvod
2. Cíle
3. Účelová charakteristika území
4. Teoretické předpoklady
5. Metody
6. Výsledky
7. Diskuze
8. Závěr
9. Summary
10. Seznam zdrojů

Rozsah grafických prací: Podle potřeb zadání

Rozsah pracovní zprávy: 5 000 - 8 000 slov

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

- BOWLER, D. E., BUYUNG-ALI, L., KNIGHT, T. M., PULLIN, A. S. (2010):** Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landscape and urban planning*, 97(3), 147-155.
- DOBROVOLNÝ, P. et al. (2012):** Klíma Brna. Víceúrovňová analýza městského klimatu. Masarykova univerzita: Brno. 200 s.
- DOBROVOLNÝ, P., KRAHULA, L. (2015):** The spatial variability of air temperature and nocturnal urban heat island intensity in the city of Brno, Czech Republic. *Moravian Geographical Reports*, 23(3), 816. doi: 10.1515/mgr-2015-0013.
- GEIGER, R., ARON, R. H., TODHUNTER, P. (2003):** The Climate Near the Ground. Rowman & Littlefield publishers, Inc., Lanham, 584 s.
- PROŠEK, P., REIN, F. (1982):** Mikroklimatologie a mezní vrstva atmosféry. SPN, 237 s.
- STŘEDOVÁ, J. a kol (2011):** Mikroklima a mezoklima měst, mikroklima porostů. Český hydrometeorologický ústav, Praha. 120 s.
- VYSOUDIL, M. (2012):** Podnebí Olomouce. Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, 211 s.

Vedoucí bakalářské práce: **Mgr. Michal Lehnert, Ph.D.**
Katedra geografie

Datum zadání bakalářské práce: **25. ledna 2017**

Termín odevzdání bakalářské práce: **30. dubna 2019**

L.S.

prof. RNDr. Ivo Frébort, CSc., Ph.D.
děkan

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

V Olomouci dne 15. září 2018

Obsah

1	Úvod.....	9
2	Cíle.....	10
3	Účelová charakteristika území.....	11
	3.1 Geomorfologická charakteristika.....	11
	3.2 Geologická charakteristika	11
	3.3 Pedologická charakteristika	12
	3.4 Hydrologická charakteristika.....	12
	3.5 Struktura městské zástavby a využití půdy (land use/land cover).....	12
	3.5.1 Historický vývoj zástavby města	12
	3.5.2 Využití půdy (land use/land cover).....	13
	3.6 Místní klimatické zóny	15
4	Teoretická východiska	17
	4.1 Městské klima	17
	4.2 Výzkum klimatu v Olomouci	18
	4.3 Vliv zeleně na teplotu vzduchu.....	20
5	Metody	23
	5.1 Mobilní měření teploty vzduchu.....	23
	5.2 Charakter povrchu a vegetace.....	24
	5.3 Analýza vlivu vegetace a land cover na teplotu vzduchu.....	25
6	Výsledky	27
	6.1 Charakter povrchu a vegetace v okolí trasy mobilního měření	27
	6.2 Vztah mezi jednotlivými typy povrchu a vegetace.....	30
	6.3 Vztah charakteru povrchu a vegetace a teploty vzduchu.....	32
7	Závěr	38
8	Summary	40
9	Seznam literatury	42

1 Úvod

Tato bakalářská práce se zabývá tématem vlivu charakteru povrchu a vegetace na teplotu vzduchu. Analyzována bude vegetace v městském prostředí. Místem výzkumu byla zvolena Olomouc. Jedná se o město, ke kterému mám blízký vztah. Nachází se nedaleko mého bydliště a také zde studuji, proto je pro mě Olomouc dobře dostupná i z hlediska terénního výzkumu. Je zde k dispozici dostatek zdrojů dat týkající se výzkumu městského klimatu.

Dalším důvodem, proč jsem si zvolila toto téma, byl můj zájem o problematiku tepelného ostrova města. Téma této práce s tím úzce souvisí. Je známo, že vegetace snižuje teplotu vzduchu, a proto by má práce mohla přispět při hledání vhodných opatření a řešení vedoucí ke zmírnění intenzity tepelného ostrova města. Díky těmto skutečnostem jsem se rozhodla o Olomouc zajímat podrobněji prostřednictvím výzkumu v bakalářské práci. Mým osobním cílem je lépe porozumět celé problematice a pochopit roli vegetace v tepelném poli města.

2 Cíle

Hlavní cíle bakalářské práce jsou příprava dat pro analýzu vlivu charakteru povrchu a vegetace na teplotu vzduchu v Olomouci a okolí, provedení a vyhodnocení pilotní analýzy vlivu charakteru povrchu a vegetace na teplotu vzduchu na příkladu vybraného dne.

Přesněji, v prvním kroku bude zpracována podrobná charakteristika povrchů v okolí trasy mobilního měření, která obnáší rozdělení propustných a nepropustných povrchů. Práce se bude přitom v dalším dělení blíže zabývat propustnými povrchy, mezi které spadají také různé typy vegetačního pokryvu.

V druhém kroku bude vytvořená vrstva charakteru povrchu a vegetace v okolí trasy mobilního měření využita pro pilotní analýzu vlivu charakteru povrchu a vegetace na teplotu vzduchu v Olomouci. Výsledky práce by měly přispět k řešení projektu Identifikace lokalit ohrožených teplotním stresem – nástroj pro udržitelné plánování měst.

3 Účelová charakteristika území

3.1 Geomorfologická charakteristika

Území města Olomouce se nachází v Hornomoravském úvalu (CENIA, 2012). Jedná se o protáhlou sníženinu se střední výškou 225,8 m n. m (Demek, 2014). Na území města zasahují podcelky Uničovská plošina, Středomoravská niva, Prostějovská pahorkatina. Východní část spadá do Uničovské plošiny, což je plochá nížinná pahorkatina. Střední část spadá do Středomoravské nivy. Tento podcelek protíná území Olomouce v podobě úzkého pásu, nezahrnuje však historický střed města. Západní část města spadá do Prostějovské pahorkatiny, která zahrnuje velkou část kompaktní zástavby Olomouce (CENIA,2012). Je to nížinná pahorkatina s povrchem skloněným od SZ k JV (Demek, 2014). Takto lze zařadit převážnou část města, mimo katastry městských částí Svätý Kopeček, Radíkov a Lošov, které spadají již do geomorfologického celku Nížkého Jeseníku, což je plochá vrchovina se střední výškou 482,5 m n. m. (Demek, 2014). A dále do podcelku Domašovská vrchovina.

3.2 Geologická charakteristika

Velká část území leží na geologickém podloží prekambriických granitů a granitoidů (Vysoudil et al., 2012). Značná část města se nachází v široké údolní nivě, tedy ve fluviálních písčitéch hlínách. Tato údolní niva byla vytvořena řekou Moravou. Jedná se o území, které bylo v minulosti pravidelně zaplavováno, a proto je zde velice úrodná půda z říčních naplavenin, která je ovšem na území Olomouce zastavěna domy a městskou infrastrukturou. Dále jsou tu obdoby fluviálních naplavenin jako fluviální písčité hlíny s příměsí štěrků či fluviální písčité štěrky. Ve východní části můžeme najít fluviální písčité štěrky Kralické terasy (Česká geologická služba, 2014). Na západě nalezneme vápnité jíly, písky či štěrky, které jsou zde k nalezení díky činnosti miocenního moře. V okrajové západní části se nacházejí spraše a sprašové hlíny, které se zde uložily v kvartéru (Vysoudil et al., 2012). Na severovýchodě se rozkládají organické sedimenty v oblasti městské části Černovír. Antropogenní uloženiny leží zejména pod historickým jádrem města a v oblasti okolo hlavního vlakového nádraží (Česká geologická služba, 2014).

3.3 Pedologická charakteristika

Rozsáhlá část Olomouce je tvořena nivními půdami fluvizemí. Do fluvizemě můžeme zařadit centrální a východní úsek města, kopírující převážně nivu Moravy, která v minulosti území pravidelně zaplavovala. Do vymezeného území fluvizemí jsou však zaklenuty antropogenní země. Ty se nacházejí v historickém centru města a to přesněji kolem Náměstí hrdinů a v okolí Tržnice. Dále je můžeme najít ještě v okolí hlavního vlakového nádraží. Východ území ležící už v Nízkém Jeseníku, je tvořeno hnědozeměmi a kambizeměmi. Osamocený ostrov kambizemě můžeme také nalézt v centru města v historickém jádru v oblasti Václavského, Biskupského, Horního a Dolního náměstí. Západní část ležící v Prostějovské pahorkatině je pokryta převážně černozeměmi. V severovýchodní části v katastru Černovíra leží podmáčené půdy glejů a organozemí (Česká geologická služba, 2014).

3.4 Hydrologická charakteristika

Dominantním tokem je v Olomouci řeka Morava, která v minulosti ovlivňovala zdejší vývoj reliéfu. Morava protéká městem v severojižním směru. Délka na území Olomouce činí 14 kilometrů a koryto je zde silně regulované (Nermut, 2009). Mezi městskými částmi Nové sady a Hodolany přijímá pravostranný přítok Mlýnský potok, který se také nazývá Střední Morava. Jde o její rameno, které se od řeky odděluje v CHKO Litovelském Pomoraví. Jeho dolní tok protéká historickým jádrem Olomouce. Následně se vlévá zpět do hlavního toku na výše zmíněném místě. Z východu se do Olomouce vlévá tok Bystřice, pramenící v nízkém Jeseníku. Je to levostranný přítok Moravy. Soutok těchto dvou řek je v městské části Hodolany. V okolí kompaktní zástavby města se nenachází žádná významná vodní nádrž. Vezmeme-li však v potaz katastrální území Olomouce, tak v jeho hranicích nalezneme Chomutovské jezero.

3.5 Struktura městské zástavby a využití půdy (land use/land cover)

3.5.1 Historický vývoj zástavby města

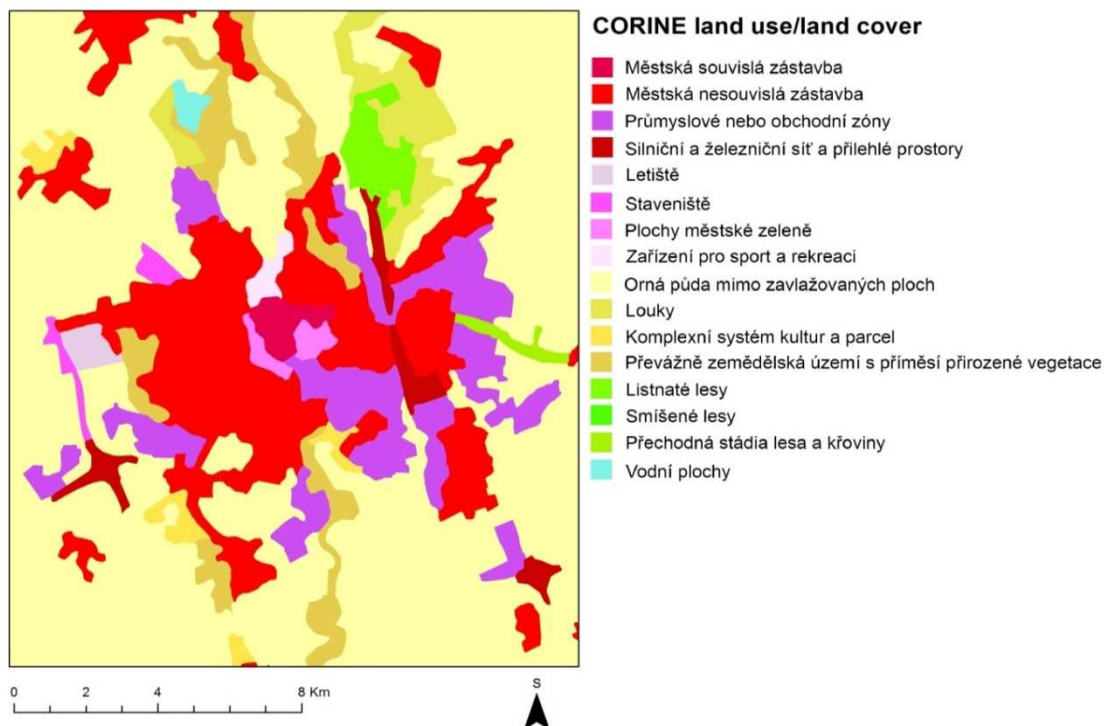
Zájmové území statutární město Olomouc se nachází v Olomouckém kraji, v jeho jižní části. Rozkládá se na ploše o rozloze 10 333 ha (k 31. 12. 2018) (ČSÚ, 2018) a žije zde 100 494 obyvatel (k 1. 1. 2018) (ČSÚ, 2018).

Olomouc se za hranice současného historického centra začala rozšiřovat po roce 1886, kdy byl zrušen demoliční reverz a bylo umožněno stavět i v okolí hradeb. Dále se Olomouc rozrůstala s připojováním okolních vesnic a měst (převážně nízká zástavba

venkovského charakteru), které se většinou svou zástavbou spojily se zástavbou města, ale toto propojení nebylo nutností. Významné připojené město bylo Nová ulice, které plnila hlavně rezidenční funkci, pak město Hodolany, jež se stalo průmyslovou částí. V roce 1919 byla vytvořena Velká Olomouc. Po druhé světové válce zaznamenala Olomouc velký nárůst obyvatel. To bylo způsobeno jednak migrací lidí z okolních obcí, ale také jejich připojováním. Zvyšující se počet obyvatel pocítil nedostatečnou bytovou kapacitu, proto se realizovaly výstavby panelových sídlišť na Nové ulici, Povlu, Nových sadech, Neředíně – Tabulovém vrchu a Lazcích. Další etapou růstu byla výstavba velkých nákupních center v okrajových částech města (Ptáček et al., 2007).

3.5.2 Využití půdy (land use/land cover)

Aktivní povrch je ve městech utvářen různými typy povrchů. Lze je obecněji charakterizovat mapou využití půdy. Pro určení využití půdy nebo-li land use/land cover byla využita mapová služba CORINE Land Cover 2018 prostřednictvím služby Národního geoportálu INSPIRE. Z mapy je zřejmé, že velkou část tvoří zastavěné plochy, přesněji městská nesouvislá zástavba. Ta dominuje hlavně v západní části města, dále můžeme najít velkou plochu na severovýchodě území. Ve středu města nalezneme městskou souvislou zástavbu, která reprezentuje historické jádro. Tato oblast je z jihovýchodu a jihozápadu obklopena městskou zelení. Jedná se o parky Bezručovy sady, Čechovy sady a Smetanovy sady. Poměrně velké zastoupení mají i plochy průmyslové a obchodní zóny. Nacházejí se převážně na východ od jádra města v městských částech Nový Svět, Holice, Hodolany, Bělidla, Řepčín, ale také ve Slavoníně a Nových Sadech. Velký podíl činí i orná půda, která je nejvíce zastoupena na jihu a západě města. Rozsáhlá pole se však nacházejí i před Svatým Kopečkem. V severovýchodní části, protíná město úzký pás silniční a železniční sítě s přilehlými prostory, tato oblast je tvořena zejména olomouckým hlavním nádražím. Co se lesních porostů týče, tak je většina těchto ploch lokalizována na severovýchod, hlavně do vyšších poloh v katastru Radíkova, Svatého Kopečku a Lošova, kde najdeme hlavně jehličnaté nebo smíšené lesy. Na severu, v katastru Černovíra můžeme nalézt Černovírský les, lemovaný loukami a pastvinami. Za zmínku určitě stojí i úzký pás přechodových stádií lesa a křovin vnikající do východní části města podél řeky Bystřice (INSPIRE, 2018).

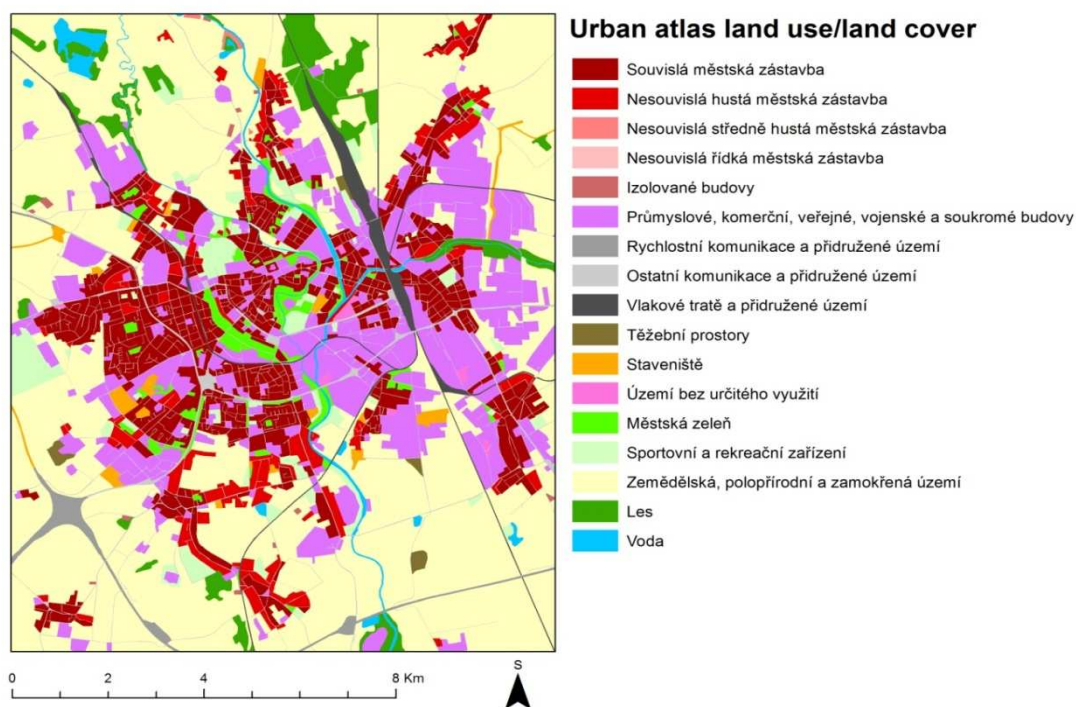


Obr. 1: CORINE land use/land cover v Olomouci a okolí

Zdroj: INSPIRE 2018, vlastní zpracování

Další rozdělení land use/land cover poskytuje Urban Atlas od společnosti The European Environment Agency (EEA). Jedná se o podrobnější dělení využití půdy pro vybraná větší města. Z mapy je na první pohled zřejmé, že v Olomouci převládají plochy klasifikované jako souvislá městská zástavba. Její největší koncentraci můžeme najít v západní polovině města převážně v městských částech Nová ulice, Olomouc-město, Povel a Nové sady. Druhou hojně zastoupenou kategorií jsou plochy průmyslové, komerční, veřejné, vojenské a soukromé budovy. Nej hustší pokrytí mají na jihovýchodě města a na východním okraji souvislé zástavby v městských částech Nový Svět, Holice, Hodolany a Bělidla. V části Olomouc-město, kolem historického jádra, můžeme najít poměrně velké plochy městské zeleně představující olomoucké parky. Na sever od historického jádra se nachází různá sportovní a rekreační zařízení. Další typ městské zástavby vyskytující se v Olomouci spadá do kategorie nesouvislá hustá městská zástavba, která se nachází hlavně v jižní části města. Jsou to převážně panelová sídliště. V severovýchodní části vniká do Olomouce úzký pás vlakových tratí a přidružených území, představující hlavní vlakové nádraží. Na východ od tohoto pásu se rozkládá plocha klasifikovaná jako les, lemující tok Bystřice. Rozsáhlé území lesa nalezneme i v městské části Černovír. Mimo souvislou zástavbu města v okrajových částech

můžeme najít zemědělské, polopřírodní a zamokřená území, která jsou na jihozápadě protínána rychlostní komunikací a přidruženým územím (EEA, 2010).



Obr. 2: Urban atlas land use/land cover v Olomouci a okolí

Zdroj: EEA 2010, vlastní zpracování

3.6 Místní klimatické zóny

Místní klimatické zóny (Local Climate Zone – LCZ) je koncept založen na fyzikálních parametrech prostředí měst. Důležité jsou vlastnosti povrchů a lidská aktivita, která vytváří charakteristická prostředí. Tento koncept byl původně navržen kanadskými vědci Stewartem a Okem (2012). Definovali 17 základních tříd, které dále rozdělili do dvou nadřazených skupin „built types“ a „land cover types“. Dále viz Stewart a Oke (2012).

Typologie LCZ byla zpracována i pro města České republiky a to autory Geletič a Lehnert (2016). Do případové studie byla zařazena čtyři středně velká města včetně Olomouce.

LCZ 2 (středně vysoká kompaktní zástavba) se většinou vyskytuje v historickém jádru města. Tento případ nastal i v Olomouci. Procentuální zastoupení LCZ 2 je 2,3 %. Velikost této kategorie většinou koresponduje s historickou významností města. LCZ 2 zpravidla bývá teplejší než okolí. Pozvolna přechází v LCZ 5 (středně vysoká rozvolněná zástavba), která je nejvíce zastoupena ve vnitřním městě a převládá spíše

v západní části Olomouce. Jedná se o procentuálně velkou kategorii se zastoupením 13,5 %. Můžeme sem zařadit vnitroblokovou zástavbu se dvory pokrytými vegetací a nižší panelová sídliště. Podíl těchto ploch klesá směrem od centra města. LCZ 5 má zvýšenou náchylnost k vyšším teplotám v nočních hodinách. Některá panelová sídliště můžeme zařadit už do kategorie LCZ 4 (vysoká rozvolněná zástavba), kvůli vyšším budovám. V Olomouci je 2% zastoupení těchto ploch a nacházejí se převážně na jihu města v městských částech Povel a Nové sady. I tato kategorie má zvýšenou náchylnost k vyšším teplotám během noci. LCZ 6 (nízká rozvolněná zástavba) se nachází převážně na okraji zástavby města v menších fragmentech. Jedná se hlavně o rezidenční zástavbu nebo menší podnikové haly (12,5 %). Rezidenční funkci plní i LCZ 9 (řádká zástavba) zastoupena v 10,6 % převážně v severozápadní okrajové části a LCZ 3 (nízká kompaktní zástavba) 1,8%, která není v Olomouci příliš častá. LCZ 8 (nízká zástavba s rozlehlými objekty) jsou například velké podnikové haly nebo nákupní střediska. Nachází se hlavně na okraji vnitřního města na východě (10,5 %). Velice podobnou kategorií je LCZ 10 (těžký průmysl). V Olomouci jsou takovéto plochy hlavně v okolí vlakového nádraží a vlakových tratí. Tyto dvě kategorie jsou během dne náchylné k vysokým teplotám. LCZ 1 (vysoká kompaktní zástavba) a LCZ 7 (nízká hustá provizorní zástavba) se na zkoumaném území nenacházejí (Lehnert, Geletič, 2017).

LCZ A (hustě osázené stromy) se v Olomouci nachází na severu v katastru městské části Černovír, kde můžeme najít lužní les. V rámci kompaktního města je zastoupení 0,9 %. LCZ B (rozptýlené stromy) představují hlavně městské parky, které jsou lokalizovány jižně od historického jádra. Dále je LCZ B na okrajích kompaktní zástavby více na jihu. Procentuální zastoupení je 10,2 %. LCZ C (křoviny) je malá skupina 1,1 %. LCZ D (nízká vegetace), kam můžeme zařadit například pole, je naopak největší skupinou 28,8 %. Nachází se převážně na okrajích města a v menší míře jako malé ostrůvky ve vnitřním městě. V nočních hodinách je charakterizována nižší teplotou vzduchu, a naopak v denních hodinách vykazuje vyšší teploty. LCZ E (ztrzené plochy) tvoří 5,5 %. Řadí se sem hlavně parkoviště, odstavné plochy a komunikace. Je z velké části zastoupena na východě města. Tvoří ji hlavně nepropustné povrchy a tudíž je velmi náchylná k vysokým teplotám vzduchu během dne. LCZ F (holá půda a písčité plochy) má velice malé zastoupení a to pouze 0,1%. LCZ G (voda) se zastoupením 0,3 % také není z hlediska teploty vzduchu v Olomouci příliš důležitá, protože se v bezprostřední blízkosti kompaktní zástavby nenachází větší vodní plochy (Lehnert, Geletič, 2017).

4 Teoretická východiska

4.1 Městské klima

Rozdílné kvality ovzduší mezi městem a volnou krajinou si všímali už lidé ve starověku a středověku. Tehdy byly ale rozdíly zapříčiněny znečišťujícími látkami, které produkovala lokální topeniště, koncentrovaná ve městech (Dobrovolný, 2012).

První vědecká práce srovnávající teplotní režim mezi městem a příměstskými oblastmi „The climate of London“ se objevila v Londýně. Jejím autorem byl Howard (1833). Jako první prokázal, že střed města je teplejší než jeho okolí a popsal základní rysy tepelného ostrova. Od této doby rostl zájem o tepelný ostrov města a vznikaly stále nové studie, ale také se přicházelo na nové způsoby, jak tepelné pole města zkoumat. Dříve se zkoumalo hlavně bodově. Porovnávaly se teploty naměřené pouze na stanicích. Oke (2006) podal doporučení k rozmístění meteorologických stanic, tak aby měly vypovídající hodnotu a zastupovaly určité druhy aktivních povrchů. Průkopníkem nové metody mobilního měření byl například Quitt (1972), který pro měření vyžil tramvaje a automobil. Tato metoda dává lepší představu o prostorovém rozložení teploty. Tím je docíleno lepších meteorologických měření v prostředí měst. Existují i další metody zkoumání tepelného ostrova. Například uplatňování leteckých a družicových snímků a metody dálkového průzkumu země, které se v současné době rychle rozvíjí. Touto metodou lze sledovat především teploty povrchů, které mohou mít vliv na formování tepelného ostrova. Zabývala se jimi například Grimmond (2006).

Tepelný ostrov města byl popsán v mnoha městech Evropy. Například v maďarském Debrecenu, kterému se věnoval Bottyán et al. (2005), provedl řadu mobilních měření za různého typu počasí po dobu jednoho roku a zjistil, že se průměrná teplota vzduchu může na městských a příměstských stanicích lišit až o 2,5 °C. Další zpracovaná studie je z polského města Łódž Fortuniak et al. (2006). V České republice se zkoumal vliv tepelného ostrova například v Praze. Jeho detekci provedl např.: Brázdil a Budílková (1999). Dalším českým městem, ve kterém byl proveden výzkum, bylo Brno a Olomouc.

V dnešní době probíhá neustálé zdokonalování výzkumu. Klima měst má své specifické znaky a většinou modifikovaný chod meteorologických prvků, než je tomu v příměstské krajině. Klima měst můžeme zkoumat na úrovni mezoklimatu, místního klimatu nebo mikroklimatu, sem se řadí i klima uzavřených prostor. Mikroklima je obvykle nejlépe vyjádřeno do výšky vrstvy městského zápoje, což je objem vzduchu obklopený umělými povrchy a sahající do průměrné výšky budov, vegetace a dalších

objektů. Pro tuto vrstvu je typické, že je značně ovlivňována charakterem aktivního povrchu (Dobrovolný, 2012). Aktivní povrch je povrch, na kterém dochází k přeměně zářivé energie na jiné druhy energie. Část energie se pohltí a část odrazí. Výsledek všech zářivých toků se nazývá radiační bilance. Skládá se z přímého slunečního záření, difúzního, reflektovaného a dlouhovlnného záření (Prošek a Rein, 1982).

Specifické klima měst je ovlivňováno zejména aktivním povrchem. Tento faktor se na teplotě vzduchu podílí největším dílem, ale ke všemu přispívají i další faktory jako geometrické uspořádání zástavby, které má vliv na proudění vzduchu a může omezovat jeho promíchávání. Dalšími faktory jsou znečištění atmosféry a produkce antropogenního tepla. Tyto faktory přispívají ke zvyšování teploty vzduchu měst vůči svému okolí. V ideálním vzorovém příkladě je nejvyšší teplota ve středu měst, kde bývá i nejvyšší zástavba a se zvětšující vzdáleností od středu se teplota postupně snižuje. Intenzita tepelného ostrova závisí na jeho velikosti, která se často určuje podle počtu obyvatel. Tento ideální model je však hodně zjednodušený. V reálném prostředí je teplota vzduchu mnohem diverzifikovanější a závisí na více faktorech (Dobrovolný, 2012). Tepelný ostrov města se výrazněji projevuje po západu slunce v době negativní energetické bilance, kdy dochází k tepelnému vyzařování aktivních povrchů. Záleží i na charakteru počasí a roční době (Středová a kol., 2011).

4.2 Výzkum klimatu v Olomouci

Práci více zaměřenou na Olomouc, zpracoval Homola (1972). Napsal příspěvek zabývající se podnebím Olomoucka zahrnující období 1901–1960. Vyšel ve Sborníku pedagogické fakulty Univerzity Palackého v Olomouci. Podrobněji se klimatem Olomouce a okolí zabýval Miroslav Vysoudil. Vysoudil (1988a, 1988b) napsal dva příspěvky, které pojednávají o srážkových poměrech Olomouce, resp. sekulární kolísání srážek ve vybraných stanicích severní Moravy, mezi kterými najdeme i stanici Olomouc - Klášterní hradisko. Srážkové poměry byly shrnuty za období 1881–1980. Dále detailně popsal srážky severní Moravy, kde můžeme najít i informace týkající se srážkových poměrů Olomouce Vysoudil (1989). V jeho tvorbě nalezneme články, ve kterých zjistíme více informací o klimatologických charakteristikách Olomouce a okolí. Jméno tohoto autora můžeme také vidět v dílech ve spolupráci s jinými autory. Například Vysoudil, Jurek (2005) analyzovali kolísání letních teplot v Olomouci a slovinském městě Ljubljana a dané charakteristiky mezi sebou porovnávali. Práce se zabývá globálním oteplováním a jeho vlivem na klima ve střední Evropě. Odhalili

trendy ve vývoji teploty vzduchu a frekvenci letních a tropických dnů. Analyzované jsou údaje za období 1961–2000. Tomáš a Vysoudil (2011) se ve svém článku zabývali popisem a hodnocením srážkových a teplotních poměrů na území města Olomouce. Analyzovali dlouhodobé časové řady z klimatologických stanic, měřících na území Olomouce.

Ucelenou knihu, která celkově shrnuje podnebí Olomouce, napsal Vysoudil et al. (2012). Jsou zde popsány základní klimatologické charakteristiky za období 1961–2010. Také provedl mobilní měření v roce 2010 a 2011 a zjištěné charakteristiky podrobně analyzoval a srovnával s dlouhodobým průměrem. Můžeme se dočíst i o rozboru řad začínající rokem 1876. Takto analyzoval teplotu vzduchu a srážky, protože nebyly dostupné jiné historické údaje. Publikace byla výstupem projektu Víceúrovňová analýza městského a příměstského klimatu na příkladu středně velkých měst započatého v roce 2009, Grantové agentury ČR (Geografický ústav, 2010–2018). Díky projektu byla v Olomouci vystavěna metropolitní staniční síť (MESSO), jejímž základem je osm plně automatických stanic (Statutární město Olomouc, 2012). Data z těchto stanic mohou sloužit jako doplňkové informace k informacím ze stanic ČHMU.

Později se teplotou vzduchu v Olomouci a různými faktory, které ji mohou ovlivňovat, zabýval Michal Lehnert. Například Geletič, Lehnert (2014) se zabývali povrchovou teplotou Olomouce. Zkoumali, jak se změnila povrchová teplota míst, kde byla vystavěna nákupní centra. Motivací pro tuto studii byl fakt, že homogenní umělé povrchy kumulují mnohem více tepla. Pro rozpoznání změny povrchové teploty byly použity družicové snímky. Lehnert et al. (2015) napsal článek o klasifikaci stanic Metropolitní staniční sítě Olomouce v rámci místních klimatických zón. Zařadil jednotlivé stanice do kategorií LCZ na základě terénního průzkumu a již existujících gisových dat. Z celkové kategorizace vyplynuly základní rozdíly v teplotním režimu mezi stanicemi v určitých LCZ. Další studie zabývající se místními klimatickými zónami je také od kolektivu Lehnert et al. (2018). Byla prováděna ve dvou městech České republiky, Brně a Olomouci. Vymezil v daných městech místní klimatické zóny, které obohatil o data z nočních mobilních měření. Následně byly porovnány teploty mezi LCZ a v rámci LCZ. Bylo zjištěno, že rozdíly mezi teplotami byly větší ve větším z měst, tedy v Brně.

Další zdrojem informací byly bakalářské a diplomové práce studentů Univerzity Palackého v Olomouci. Mohu jmenovat diplomovou práci Blanky Poledníkové (2010), která pojednávala o městském a příměstském klimatu Olomouce. Inspirací mi také byla

například diplomová práce Josefa Kubečka (2017), který se zabýval místními klimatickými zónami v Olomouci a okolí a teplotu vzduchu zkoumá pomocí mobilního měření.

4.3 Vliv zeleně na teplotu vzduchu

Vegetace ovlivňuje teplotu vzduchu přízemní vrstvy atmosféry a vytváří specifické mikroklima. Záleží přitom na druhu, stáří, zdravotním stavu, výšce, hustotě nebo na vývojovém stádiu vegetace (Geiger et al., 2003). Obecně platí, že čím vyšší a hustší vegetace je, tím větší má vliv na režim teploty vzduchu ve srovnání s holým povrchem. Vysoká vegetace má mnohem větší vliv než nízká, protože vytváří prostor mezi korunami stromů a povrchem, kde se tvoří podmínky pro specifické mikroklima. Díky tomu poskytuje i dostatek stínu. Je i rozdíl mezi samotnými stromy. Listnaté stromy ovlivňují teplotu nejvíce. Rozdíl mezi listnatými a jehličnatými stromy je hlavně v množství pronikání slunečního záření. Jehličnany nevytváří tak hustou korunu, a tudíž lze i v nižších patrech očekávat vyšší teplotu.

Sluneční záření dopadající na povrch rostlin je z části reflektováno, z části pohlceno a z části proniká pletivem rostlin. Pohlcení, odraz a průnik závisí na vlnové délce. Absorbovány jsou krátké vlnové délky a se zvětšující se vlnovou délkou dochází k odrazu nebo pronikání. Záření pronikající pod orgány rostlin se tedy spektrálně liší od stínu vrženého jinými předměty a nazývá se „červený stín“. Dle barvy vnímaného lidským okem „zelený stín“ (Prošek a Rein, 1982). Místa zastíněná vegetací jsou zpravidla chladnější než okolní nezastíněná místa během pozitivní energetické bilance.

Klimatem rostlin se zabýval Geiger et al. (2003) ve své knize *The Climate Near the Ground*. V publikaci jsou dvě kapitoly věnované této problematice. Zabýval se nejprve nízkou vegetací a následně stromy. Popsal zákonitosti záření, vlhkosti vzduchu a proudění větru nad a v prostoru vegetace a uvedl možné účinky na své okolí. Například zjistil, že celých 80 % záření je zachyceno korunami stromů a k nejspodnější vrstvě lesa se dostane pouhých 5 %, záleží ale na typu záření. Během slunečných dnů, kdy převládá přímé záření, se k půdě lesa dostává méně radiace, než během zatažených dnů s převládajícím difúzním zářením, které lépe proniká korunami stromů. Ve spodních patrech lze tedy očekávat méně intenzivní prohřívání vzduchu.

Při pozitivní energetické bilanci se maximální teplota vyskytuje v oblasti největší hustoty porostu. Dochází zde k maximálnímu pohlcování sluneční energie (Prošek a Rein, 1982). U nízké vegetace se tak děje zhruba v 70 % výšky porostu

a u vyšší vegetace je tomu tak na povrchu (Středová a kol., 2011). Naopak u negativní energetické bilance je ve stejných místech zaznamenán výskyt minimálních teplot. Dochází zde k maximální intenzitě efektivního vyzařování (Prošek a Rein, 1982). Rostliny se snaží vytvořit si optimální podmínky pro svůj růst. Proto specifickým způsobem výměny energie zmenšují extrémní teploty během pozitivní a negativní energetické bilance uvnitř vegetačního krytu a snižují tak výkyvy teplot (Geiger et al., 2003). Během negativní energetické bilance je teplota vzduchu ve vyšší husté vegetaci obvykle vyšší než teplota vzduchu na otevřených prostranstvích s nízkou nebo žádnou vegetací.

V okolí vegetace je odlišná vlhkost vzduchu. Zpravidla bývá vyšší než nad povrchy nepropustnými. Je to způsobeno vyšším výparem. K evaporaci z povrchu půdy přispívá ještě transpirace rostlin. Transpirace se zvyšuje se zvětšující se plochou nadzemních částí rostlin, proto při vyšší hustotě porostu je i vyšší transpirace. Celému procesu výparu nad vegetací se říká evapotranspirace (Prošek a Rein, 1982). Rostliny se transpirací ochlazují a dokáží ochladit i okolní vzduch. Proto když se transpirace sečte s evaporací (tj. evapotranspirace), efekt ochlazení se tím zvětší. Se zvětšující se evapotranspirací se snižuje teplota okolního vzduchu. Vyšší vlhkost dokazují i pokusy provedené v porostu pšenice a řepky olejné. Vlhkost nad těmito zkoumanými plodinami byla vždy vyšší než na místech bez vegetace. S rostoucí výškou od porostu se vlhkost snižovala. Výrazné zvyšování výparu bylo zaznamenáno do 70 % vlhkosti vzduchu. Dosáhla-li vlhkost 70 % tak nebyly zkoumané plodiny výrazněji vlhčí než okolí (Středová a kol., 2011).

Vliv vegetace na teplotu vzduchu shrnul Bowler et al. (2010). Shromáždil a zhodnotil 47 studií zkoumající teplotu vzduchu městských zelení. Jednotlivé práce rozdělil do tří kategorií dle posuzovaného typu vegetace. První kategorie byly parky a rozsáhlejší oblasti zeleně, dále městské stromy ať už samostatně nebo jejich seskupení a poslední kategorie byla nízká vegetace a střechy osázené zelení. Nejvíce se autoři věnovali parkům. Bylo o nich sepsáno nejvíce studií, tudíž jsou závěry z této kategorie nejreprezentativnější. Z analyzovaných dat bylo zjištěno, že parky měli obecně o 1 °C nižší teplotu vzduchu než je tomu v zastavěných částech města. Některé studie dokázaly, že parky ochlazovaly vzduch i za svými hranicemi. Se zvětšující se vzdáleností klesala intenzita tohoto ochlazování. Z prací vyplynulo, že parky nad 3 ha byly teplotně stálější a jejich ochlazovací efekt byl větší. Z kategorie jednotlivých stromů a jejich seskupení vyplynulo, že měly také vliv na teplotu vzduchu. Míra ochlazování byla mnohem menší

než u parků. U jednotlivých stromů byl vliv skoro zanedbatelný. Čím větší bylo seskupení, tím větší byl vliv na teplotu, ale záleželo také na druhu stromů a hustotě jejich korun. Nejmenší vliv na teplotu měla nízká vegetace. Z práce je patrné, že teplota nad vegetací byla nižší než nad umělými povrchy, ale tento efekt nesahal příliš vysoko nad zkoumanou zeleň. Uvedená studie potvrdila hypotézu, že vegetace ovlivňuje teplotu a mohla by pomoci ochlazovat vzduch při stále frekventovanějších vlnách veder.

5 Metody

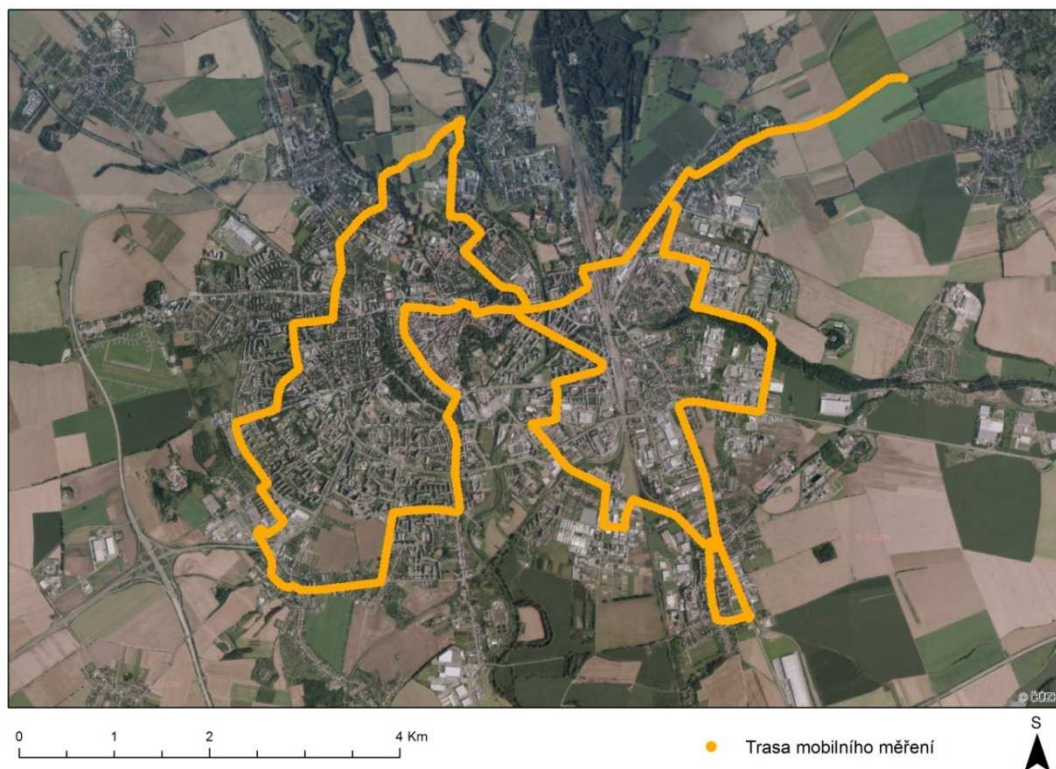
5.1 Mobilní měření teploty vzduchu

Mobilní měření slouží k lepšímu pochopení prostorového rozložení teploty vzduchu. Může posloužit jako doplnění informací ke staničním stacionárním měřením. Tato metoda je obzvláště vhodná pro zkoumání tepelného ostrova města a pro zkoumání vlivu vegetace na tepelné pole, kterým se tato práce bude zabývat. Propagátorem metody mobilního měření na našem území byl Quitt (1972), který uskutečnil měřicí jízdy za pomoci tramvaje a automobilu. Nejčastěji využívaný prostředek bývá právě automobil, ale můžeme se setkat s pracemi, které využily jízdního kola nebo chůze.

Data využita v této práci byla získána na základě automobilového mobilního měření. Měření na území Olomouce probíhalo ve večerních hodinách (začátek měření byl stanoven na cca 2 hodiny po západu slunce) od července 2016 do května 2017. Celkem bylo provedeno 14 měřících jízd. Jízdy byly vždy prováděny za předpokladu radiačního počasí s malou mírou pokrytí oblohy oblačností a při nízkých rychlostech větru. Pro pilotní analýzu vlivu charakteru vegetace a povrchu na teplotu vzduchu bylo vybráno měření ze dne 10. 7. 2016, po konzultaci s vedoucím práce.

Průběh trasy má tvar dvou smyček sbíhajících se na východ od historického jádra města. Lze ji tedy rozdělit na západní a východní část. Celková délka je zhruba 30 km s převýšením menším než 50 m. Trasa musela být přizpůsobena tak, aby jí bylo možné projet autem. Byla snaha o zahrnutí všech LCZ s různou hustotou a výškou budov a také o postihnutí různého stupně pokrytí vegetací. V trase jsou zahrnuty, jak pole v okrajových částech Olomouce s nízkou vegetací, tak městské parky, průmyslové oblasti, sídliště, vnitřní město i historické jádro (Lehnert et al., 2018).

Teplota byla zaznamenávána speciálním odporovým teploměrem s NiCr-Ni čidlem. Čidlo má rychlou dobu odezvy 0,8 s. Teplota byla snímána každých 5 s za průměrné rychlosti 30–40 km/h. Senzor byl umístěn na střechu automobilu na levou stranu ve výšce 1,8 m nad vozovkou.



Obr. 3: Průběh trasy mobilního měření

Zdroj: ČÚZK 2010; Lehnert et al. 2018, vlastní zpracování

5.2 Charakter povrchu a vegetace

Podkladem pro další práci byla vrstva vytvořená z dat ZABAGED. Tato zkratka představuje Základní bázi geografických dat České republiky. Je to komplexní digitální geografický model území České republiky, který je spravován Zeměměřickým úřadem. Pokrývá území celé České republiky a představuje nejpodrobnější geografickou databázi. Jedná se o zdroj informací pro tvorbu základních map ČR v měřítku 1:10 000 až 1:100 000 (ČÚZK, 2010).

Na podkladu dat ZABAGED byla podle postupu Geletič a Lehnert (2016) v souladu se Stewart a Oke (2012) vytvořena vrstva se třemi základními typy povrchů z hlediska utváření městského klimatu. Budovy (BSF z anglického building surface fraction), nepropustné povrchy (ISF z anglického impervious surface fraction) - nepropustné povrchy, mimo budovy a propustné povrchy (PSF z anglického pervious surface fraction) - propustné povrchy, které zahrnují právě i zeleň.

V této práci byla dále rozpracována kategorie PSF. Zpracování vrstvy bylo prováděno v programu ArcMap 10.2 do něž byla nahrána data ZABAGED a bodová vrstva průběhu mobilního měření. Vrstva bodů mobilního měření byla převedena

na liniovou a kolem ní vytvořen buffer 300 m. Tento vymezený prostor sloužil jako hranice pro podrobnější dělení vrstvy charakteru povrchů a vegetace. Jak už bylo výše zmíněno, dále se pracovalo s polygony označenými jako PSF. Na podkladu ortofoto snímku a terénního průzkumu se uskutečnilo podrobnější dělení polygonů PSF za pomoci nástroje Cut polygons tools. Nově vzniklé polygony byly podle charakteru pokrytí zelení zařazeny do sedmi kategorií: holá půda (mimo pole, zahrnující písek, štěrk, antuku či škváru), pole (jež je charakterizováno sezóně nízkou vegetací a po sklizni holou půdou), travnaté plochy, křoviny (tato kategorie se vymezovala vegetací do výšky 3 m), listnaté stromy, jehličnaté stromy a ostatní, zahrnující vše, co nezapadalo do výše zmíněných kategorií. V určitých případech neposkytoval letecký snímek dostatečně dost podrobné informace o charakteru zeleně a pro zpřesnění výsledků byla třeba návštěva daného místa přímo v terénu. Zde byl objektivně zhodnocen druh vegetace a její výška. Takto vznikla podrobná kategorizace druhu vegetace v okolí trasy mobilního měření.

5.3 Analýza vlivu vegetace a land cover na teplotu vzduchu

Na základě vytvořené vrstvy charakteru povrchů a vegetace bylo možné vypočítat procentuální zastoupení jednotlivých typů povrchů v okolí všech 780 bodů měření. Byly tedy vytvořeny postupně kruhy o poloměru 50, 100, 150 a 200 m se středem v bodě měření (dále nazývané jako velikosti bufferu). Nejprve bylo vypočítáno zastoupení povrchů BSF, ISF a PSF pro všechny uvedené velikosti bufferu. Následně bylo vypočítáno zastoupení povrchů v podrobnějších subkategoriích holá půda, pole, křoviny listnaté stromy, jehličnaté stromy nízká vegetace a ostatní v kategorii PSF.

Získaná data o procentuálním zastoupení jednotlivých typů povrchů umožnila statisticky zhodnotit vliv jednotlivých typů povrchů na teplotu vzduchu během měření. Nejprve byl zjišťován vztah mezi jednotlivými typy povrchů za pomoci Pearsonova korelačního koeficientu. V dalším kroku byl šetřen vliv daného typu povrchu a vegetace na teplotu vzduchu pomocí koeficientu determinace.

V závěrečné fázi bylo přistoupeno ke kategorizaci procentuálního podílu čtyř vybraných skupin povrchu a vegetace - BSF, ISF, nízká vegetace (zahrnuje holou půdu, pole a travnaté plochy) a vysoká vegetace (zahrnuje křoviny, listnaté a jehličnaté stromy). Při zachování reprezentativního vzorku dat, byly sestaveny následující kategorie na základě rozložení četností. BSF v intervalech 0–9,9; 10,0–19,9; 20,0–29,9; 30,0–39,9; 40,0 a více. ISF 0–9,9; 10,0–19,9; 20,0–29,9; 30,0–39,9; 40,0–49,9; 50,0–

59,9; 60,0 a více. Nízká vegetace 0–9,9; 10,0–19,9; 20,0–29,9; 30,0–39,9; 40,0–49,9; 50,0–59,9; 60,0 a více. 0–9,9; 10,0–19,9; 20,0–29,9; 30,0–39,9; 40,0–49,9; 50,0–59,9; 60,0 a více. Vysoká vegetace 0–9,9; 10,0–19,9; 20,0–29,9; 30,0 a více. Pro všechny uvedené kategorie a velikosti bufferu a výše uvedené sledované kategorie povrchu a vegetace byly následně stanoveny průměrné teploty vzduchu.

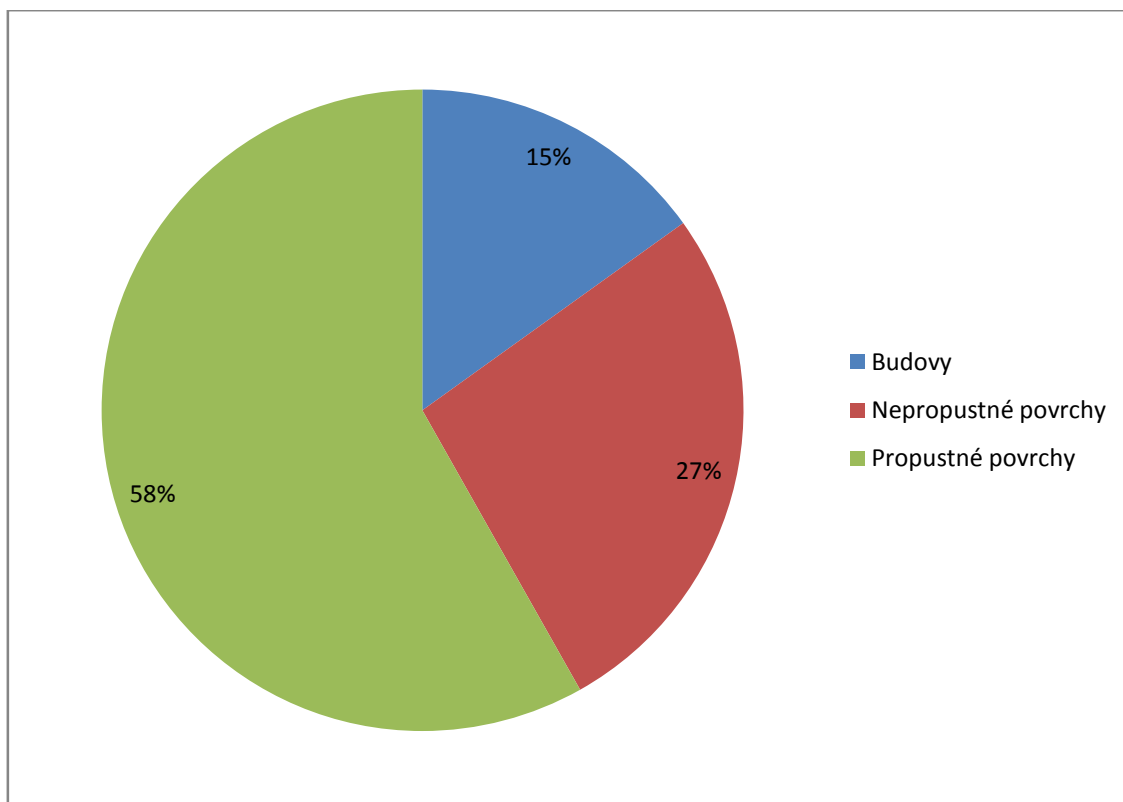
Všechny výpočty byly provedeny v programu MS Excel. V programu STATISTICA byla testována možnost využití vícenásobné regrese (viz kapitola 6.3 Vztah charakteru povrchu a vegetace a teploty vzduchu).

6 Výsledky

6.1 Charakter povrchu a vegetace v okolí trasy mobilního měření

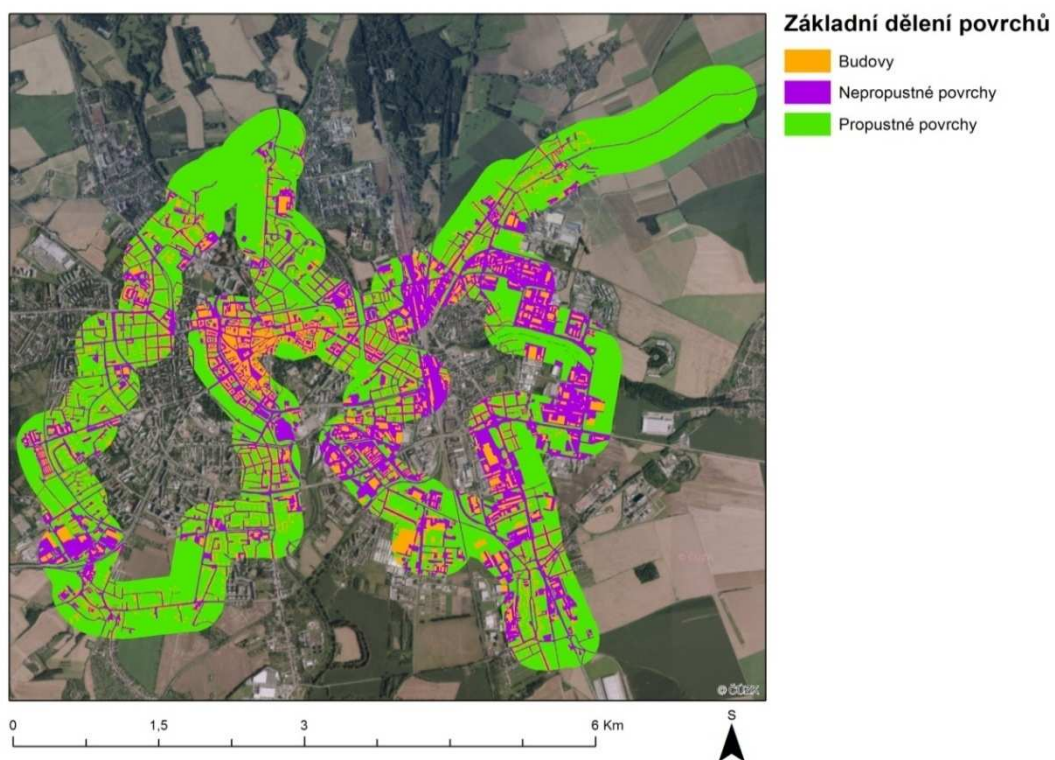
Analýza základního (výchozího) dělení povrchů z hlediska utváření městského klimatu na propustné povrchy, nepropustné povrchy a budovy ukázala, že v okolí 300 m od trasy mobilního měření jsou celkově propustné povrchy (PSF) zastoupeny 58 %, nepropustné povrchy (ISF) 27 % a budovy (BSF) 15 % (obr. 4). Největší kategorie propustné povrchy (PSF) se nachází hlavně v okrajových částech zkoumaného území, jak je zřejmé z obr. 5. Je tvořena převážně polem a městskými parky. Nejdominantnější zastoupení této kategorie najdeme v městských částech Hejčín, Slavonín, Holice a Chválkovice. Velmi často se PSF povrchy vyskytují i v oblastech s rezidenční funkcí v podobě zahrad a dvorů. Tato situace dominuje v městských částech Lazce, Nová Ulice a Nové Sady. Druhou kategorií ISF najdeme převážně na východu území v městských částech Pavlovičky, Bělidla a Hodolany, jimiž prochází vlaková trať a přilehlé prostory. Také zde najdeme rozsáhlé průmyslové objekty, areály firem a výrobní prostory. Rozsáhlejší areály nepropustných povrchů nalezneme i v Chválkovicích a Nové Ulici. Poslední kategorie BSF je nejkoncentrovanější v historickém jádru města. Jako malé fragmenty plochy můžeme BSF nalézt i v částech s rezidenční funkcí a v průmyslových oblastech, kde se jedná hlavně o velké výrobní haly. Zpravidla je kategorie BSF obklopena kategorií nepropustných povrchů (ISF).

Podrobnější dělení charakteru povrchu a vegetace v okolí 300 m od trasy mobilního měření znázorňuje obr. 6. Na první pohled můžeme vidět, že nejčetnější kategorií jsou travnaté plochy 22%. Stromy zabírají celkově 10 %, z čehož drtivá většina je listnatých 9 % a malá část jehličnatých, pouze 1 %. V městských parcích převládají hlavně listnaté stromy a stejnou tendenci vykazují i soukromé zahrady a dvory. Velmi malou část zabírají také křoviny 1 %. Velkou kategorií představují i pole 14 %. Vyznačují se sezónní zelení a po sklizni holou půdou. V období sezóny je tedy holá půda zastoupena z pouhých 2 %. Kategorie ostatní tvoří 9 %.



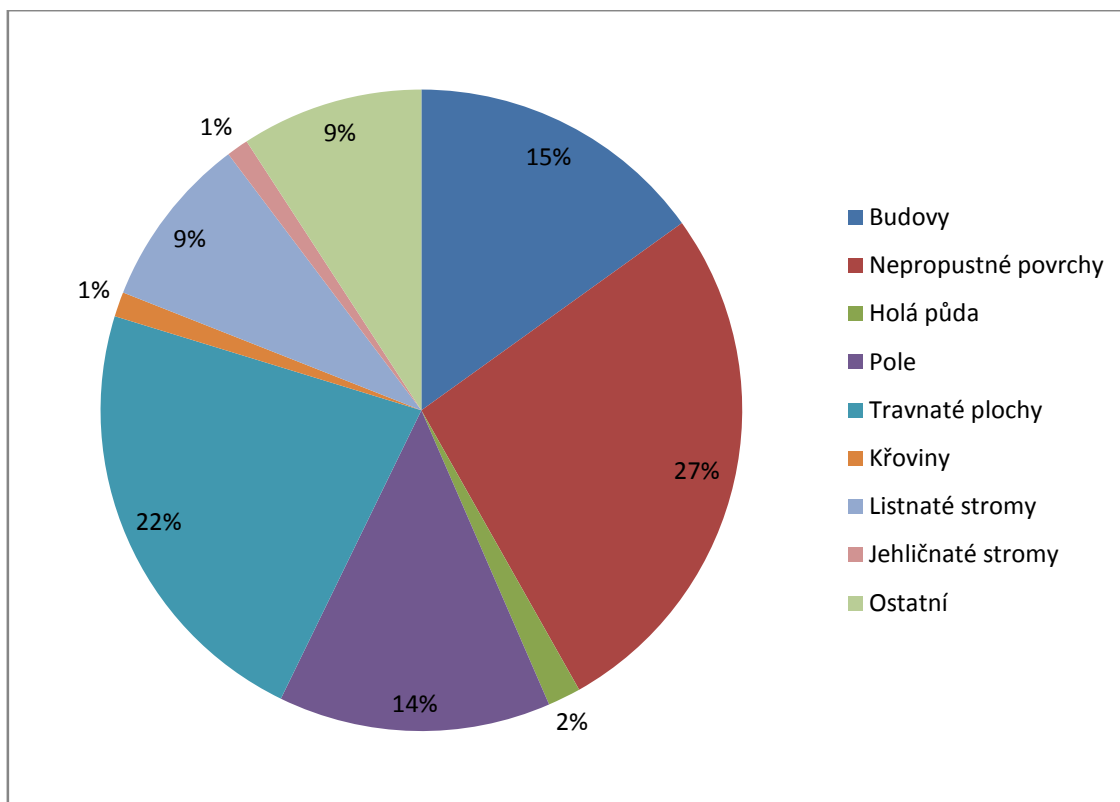
Obr. 4: Základní typy povrchu v okolí 300 m od trasy mobilního měření

Zdroj: vlastní zpracování



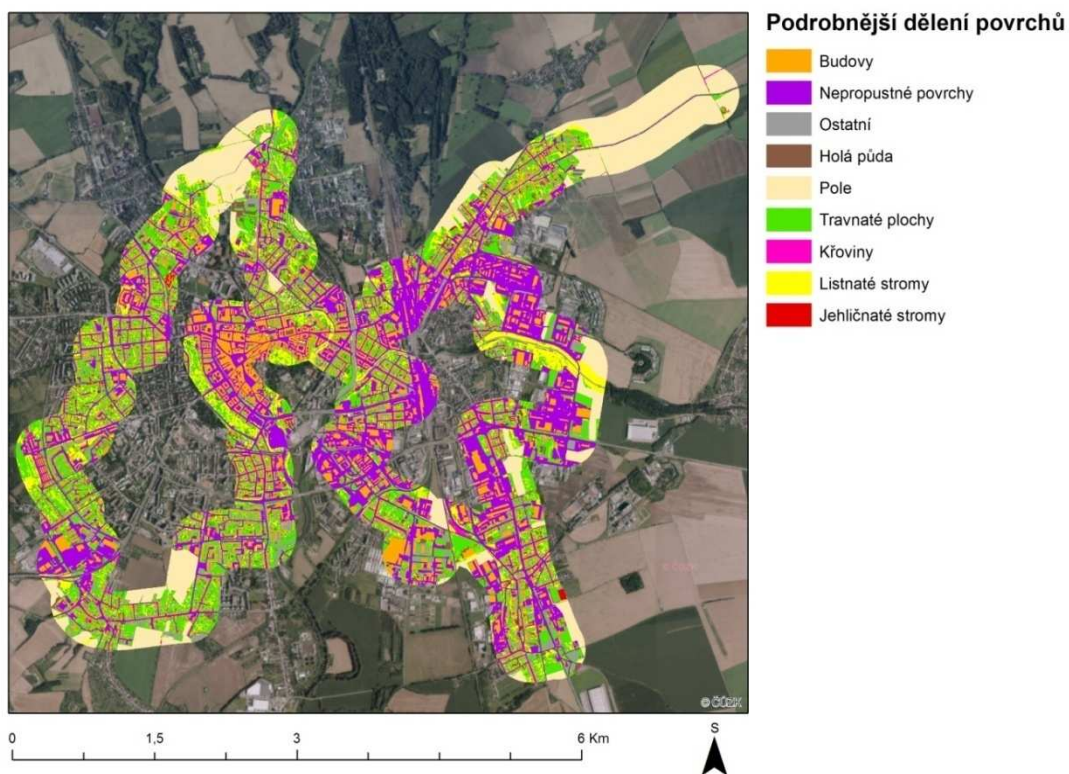
Obr. 5: Základní typy povrchu v okolí 300 m od trasy mobilního měření

Zdroj: ČÚZK 2010; vlastní zpracování



Obr. 6: Charakter povrchu a vegetace v okolí 300 m od trasy mobilního měření

Zdroj: vlastní zpracování



Obr. 7: Charakter povrchu a vegetace v okolí 300 m od trasy mobilního měření

Zdroj: ČÚZK 2010; vlastní zpracování

Z obr. 7, který znázorňuje podrobnější dělení povrchů, vyplývá, že je zeleň v Olomouci rozmístěna poměrně rovnoměrně. Zeleň v okolí trasy mobilního měření je zastoupena v podobě trávníků, které jsou zpravidla doplněny o stromy a keře. Dále v podobě parků a alejí stromů kolem cest a chodníků. Největší podíl zaujímají travnaté plochy, které se nejvíce vyskytují ve vnějším městě převážně na západě území v katastru městských částí Nové Sady, Povel, Slavonín, Nová Ulice, Hejčín a Lazce. Tyto oblasti spadají do LCZ 4, LCZ 5 a LCZ 6. Na východě území je větší množství travnatých ploch na katastru Chválkovic a Holice. Nejméně je jich pochopitelně ve středu města v katastrálním území Olomouc-město, tvořené historickým jádrem, které je charakteristické kompaktní zástavbou a umělými povrchy spadající do LCZ 2. Souvislé plochy stromů nalezneme hlavně v městské části Hejčín, Chválkovice a dále kolem toku Bystřice, který je jimi lemován. Za oblasti koncentrace stromů lze považovat i městské parky. Dalším rozsáhlým typem povrchů jsou pole, která nalezneme výhradně v okrajových částech zkoumaného území, převážně na severu. Největší prostor zabírají na území Chválkovic a Hejčína. V menší míře jsou plochy polí k nalezení i ve Slavoníně, Povelu, Holici a Bystovanech. Jedná se o území sezonně zarostlé nízkou vegetací a v zimním období o rozsáhlé plochy holé půdy. Celoroční úseky holé půdy jsou na území 300 m od trasy mobilního měření zastoupeny pouze v malé míře. Nalezneme je v podobě stavenišť, brownfieldů, nezpevněných hřišť nebo záhonků pro pěstování plodin na soukromých zahradách. Z mapy vyplývá, že se holá půda nejčastěji vyskytuje v okrajových částech města konkrétně v katastru Chválkovic, Lazců a Hejčína.

6.2 Vztah mezi jednotlivými typy povrchu a vegetace

V dalším kroku byla posouzena závislost mezi výskytem jednotlivých typů povrchů ve zkoumaných velikostech bufferu (50, 75, 100, 150 a 200 m). Analýza je nezbytná pro další analýzy a interpretace vlivu charakteru povrchu a vegetace na teplotu vzduchu.

Na základě tab. 1 je možné konstatovat, že s rostoucím zastoupením budov roste zastoupení nepropustných povrchů a naopak. Pouze v případě bufferu 50 m nebyla prokázána žádná závislost. S rostoucím zastoupením nízké vegetace, klesá zastoupení budov a nepropustných povrchů. Stejně výsledky vyšly i u vysoké vegetace. Rozdíl je, že u nízké vegetace klesá zastoupení budov a nepropustných povrchů výrazněji. Vztah mezi nízkou vegetací a vysokou vegetací říká, že s rostoucím podílem nízké

vegetace mírně klesá zastoupení vysoké vegetace. Míra závislosti ve vztahu těchto dvou kategorií je stejná ve většině velikostí bufferu. Výjimku tvoří pouze buffer 50 m, kdy nebyla prokázána žádná závislost a buffer 200 m, kde míra závislosti mírně vzrostla. Z tabulky je zřejmé, že síla závislosti stoupá s rostoucí velikostí bufferu.

Tab. 1: Pearsonův korelační koeficient mezi vybranými typy povrchu a vegetace

50 m	BSF	ISF	Nízká vegetace	Vysoká vegetace
BSF	X	0,00	-0,52	-0,26
ISF	0,00	X	-0,67	-0,30
Nízká vegetace	-0,52	-0,67	X	0,00
Vysoká vegetace	-0,26	-0,30	0,00	X
75 m	BSF	ISF	Nízká vegetace	Vysoká vegetace
BSF	X	0,14	-0,58	-0,28
ISF	0,14	X	-0,72	-0,31
Nízká vegetace	-0,58	-0,72	X	-0,02
Vysoká vegetace	-0,28	-0,31	-0,02	X
100 m	BSF	ISF	Nízká vegetace	Vysoká vegetace
BSF	X	0,23	-0,62	-0,31
ISF	0,23	X	-0,74	-0,32
Nízká vegetace	-0,62	-0,74	X	-0,02
Vysoká vegetace	-0,31	-0,32	-0,02	X
150 m	BSF	ISF	Nízká vegetace	Vysoká vegetace
BSF	X	0,35	-0,67	-0,33
ISF	0,35	X	-0,77	-0,30
Nízká vegetace	-0,67	-0,77	X	-0,02
Vysoká vegetace	-0,33	-0,30	-0,02	X
200 m	BSF	ISF	Nízká vegetace	Vysoká vegetace
BSF	X	0,39	-0,70	-0,29
ISF	0,39	X	-0,79	-0,26
Nízká vegetace	-0,70	-0,79	X	-0,06
Vysoká vegetace	-0,29	-0,26	-0,06	X

6.3 Vztah charakteru povrchu a vegetace a teploty vzduchu

Vztah mezi charakterem povrchu a vegetace a teplotou vzduchu byl v této práci zkoumán na příkladu dne 10. 7. 2016. Tab. 2 vyjadřuje hodnoty koeficientu determinace mezi teplotou vzduchu v daném bodě mobilního měření a charakterem povrchu a vegetace (celkem 780 bodů). Hodnoty koeficientu determinace byly vypočítány postupně pro velikosti bufferu 50, 75, 100, 150 a 200 m.

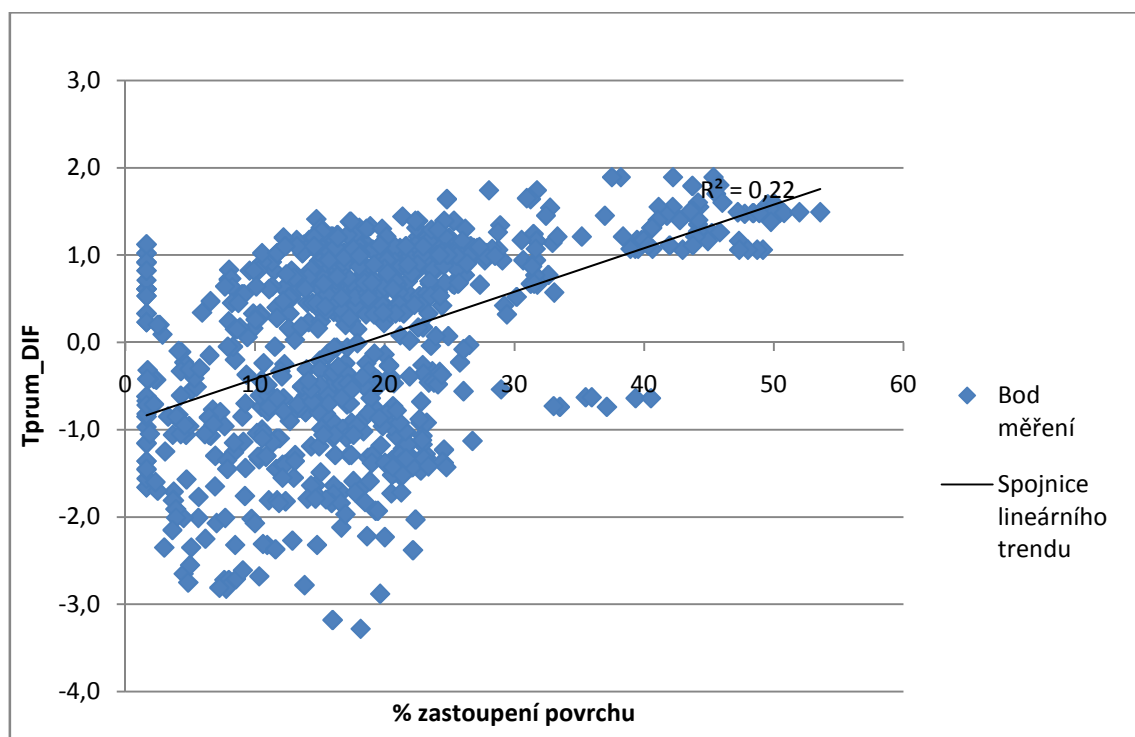
Nejvyšší hodnoty koeficientu determinace mezi teplotou vzduchu a typem povrchu byly zjištěny pro BSF při použití bufferu 100, 150 a 200 m. To znamená, že s rostoucím podílem budov v okolí bodu měření teplota vzduchu rostla. Jednalo se však pouze o slabou závislost (R^2 0,22). Druhé nejvyšší hodnoty koeficientu determinace byly zjištěny u kategorie PSF. Směr regresní přímky a hodnoty koeficientu determinace potvrzují předpoklad, že s rostoucím zastoupením vegetace v okolí bodu mobilního měření klesá teplota vzduchu. Závislosti jsou ale opět velice slabé (R^2 0,15) a její nejvyšší hodnoty se nacházejí u bufferu 75, 100 a 150 (tab. 2, obr. 9). Ochlazující vliv zeleně na teplotu vzduchu můžeme dobře vidět také v posledním sloupci „Nízká vegetace“, ve kterém byly sloučeny povrchy holé půdy, polí a travnatých ploch. Z tabulky 2 vyplývá, že nejnižší teploty byly naměřeny v lokalitách s vyšším zastoupením travnatých ploch. Naopak stromy neměli na teplotu vzduchu významnější vliv, v čase měření. Velmi nízké hodnoty koeficientu determinace byly zjištěny také mezi zastoupením ISF a teplotou vzduchu. To je dáno večerním časem mobilního měření, kdy oblasti s vysokým zastoupením PSF jsou teplejší než oblasti s nízkou vegetací, ale již chladnější než zastavěné lokality.

Tab. 2: Koeficienty determinace teploty vzduchu pro vybrané typy povrchu a vegetace

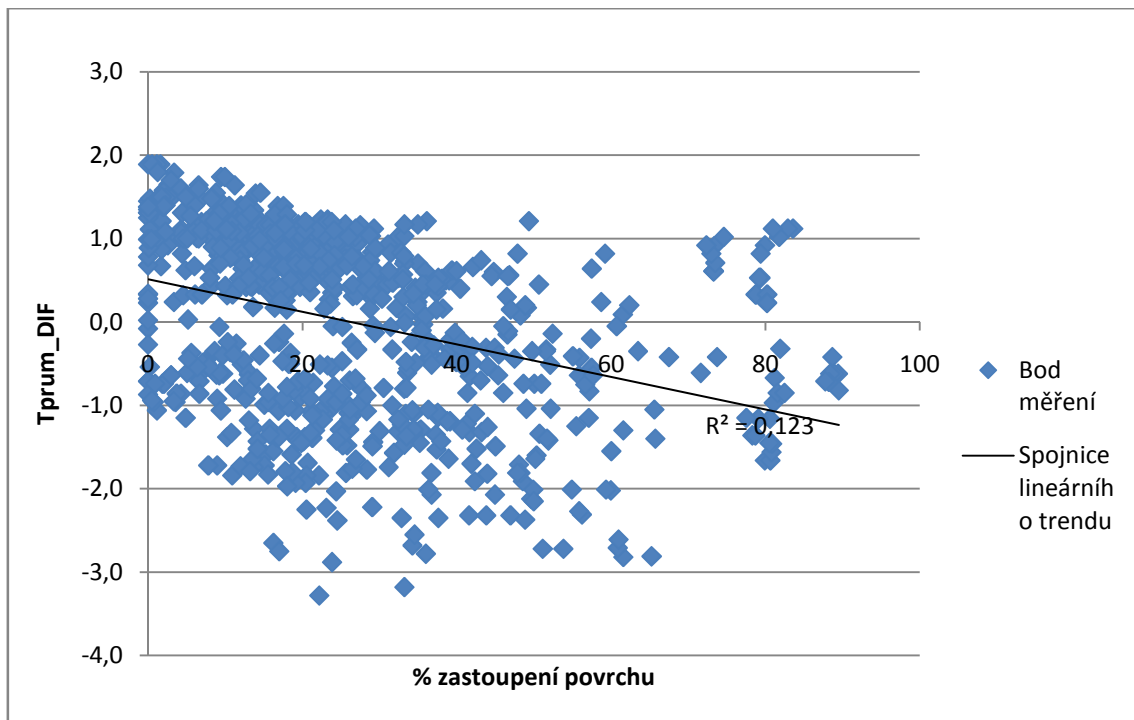
Buffer [m]	BSF	ISF	PSF	Ostatní	Holá půda	Pole	Travnaté plochy	Křoviny	Listnaté stromy	Jehličnaté stromy
50	0,16	0,04	0,14	0,00	0,00	0,02	0,11	0,02	0,00	0,00
75	0,20	0,04	0,15	0,00	0,00	0,02	0,11	0,02	0,02	0,00
100	0,22	0,04	0,15	0,01	0,02	0,02	0,10	0,04	0,02	0,00
150	0,22	0,05	0,15	0,00	0,01	0,02	0,10	0,04	0,02	0,00
200	0,22	0,05	0,14	0,00	0,01	0,03	0,09	0,04	0,01	0,00

Pro lepší grafickou názornost vlivu vybraného typu povrchu a vegetace na teplotu vzduchu, jsou dále prezentovány dva vybrané grafy (obr. 8 a obr. 9). První graf (obr. 8) znázorňuje lineární regresi mezi teplotou vzduchu a procentuálním podílem

budov (BSF) v okolí 150 m (buffer 150 m). Z grafu je zřejmé, že teplota vzduchu s rostoucím podílem BSF roste. Zároveň z grafu vyplývá, že tento vztah není příliš těsný. To je způsobeno značnou variabilitou teploty vzduchu v důsledku dalších faktorů. Druhý zvolený graf (obr. 9) znázorňuje lineární regresi mezi teplotou vzduchu a procentuálním zastoupením holé půdy a nízké vegetace (kategorie zahrnuje holou půdu, pole a travnaté plochy) v okolí 50 m (buffer 50 m). V tomto případě teplota vzduchu s rostoucím podílem holé půdy a nízké vegetace v okolí bodu měření klesá. Vzhledem k variabilitě teploty vzduchu v důsledku dalších faktorů je tento vztah opět velmi volný.



Obr. 8: Rozdíl teploty vzduchu v bodě měření od průměrné teploty vzduchu měření a zastoupení BSF (%) v okolí 150 m



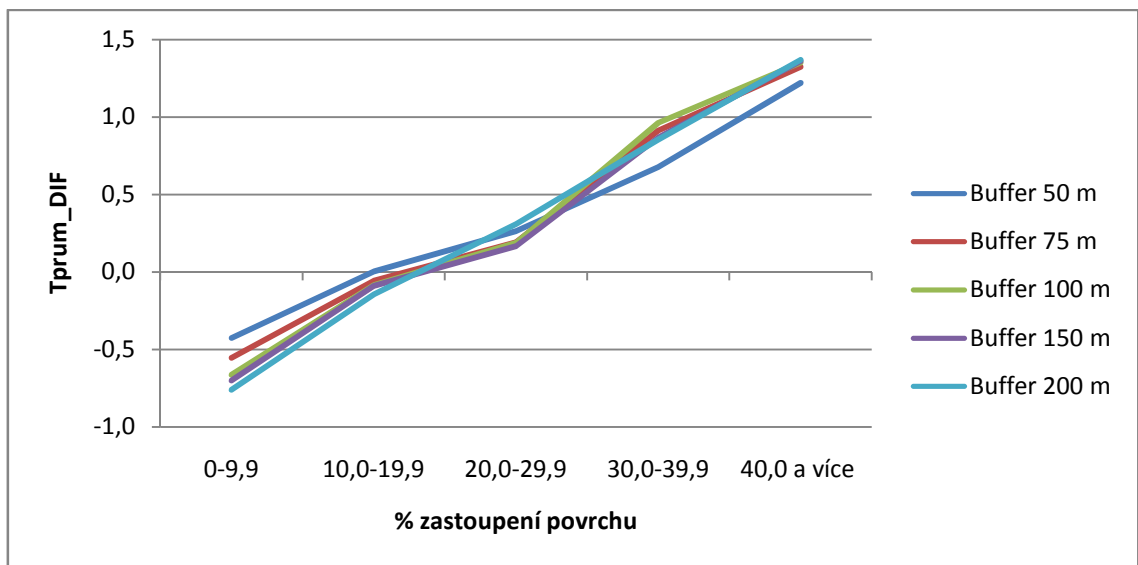
Obr. 9: Rozdíl teploty vzduchu v bodě měření od průměrné teploty vzduchu měření a zastoupení nízké vegetace (%) v okolí 50 m

Při snaze o sestavení modelu založeného na vícenásobné lineární regresi, který by současně zohledňoval vliv zastoupení více než jedné kategorie charakteru povrchu a vegetace, se nepodařilo vysvětlit větší část variability teploty vzduchu než v případě výše uvedených koeficientů determinace.

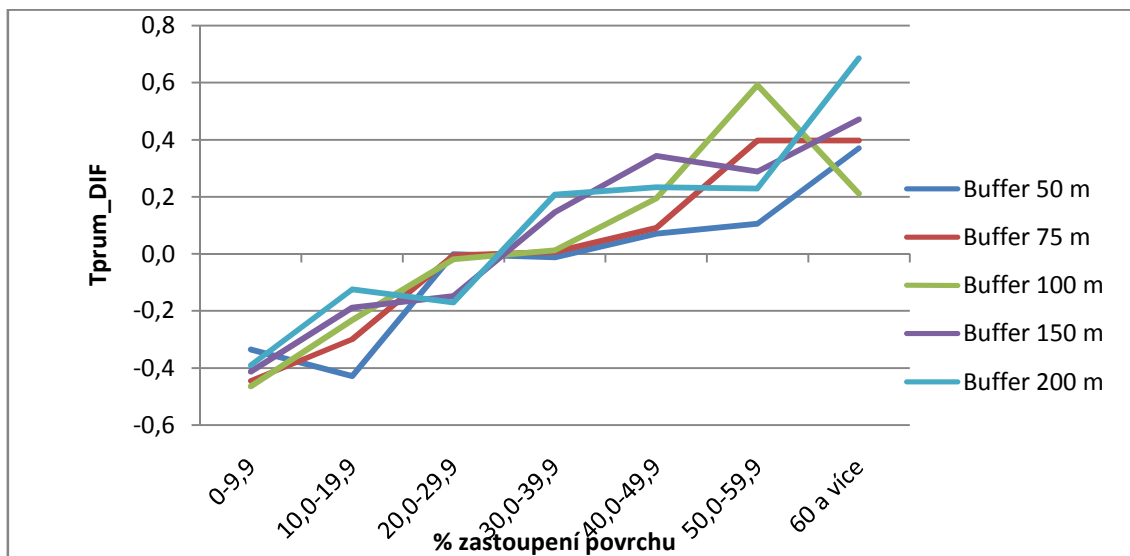
Pro eliminaci vlivu dalších (v této studii nezohledňovaných) faktorů a přehledné vyjádření změny teploty vzduchu s charakterem povrchu a vegetace bylo na základě výše uvedených výsledků (tab. 2) v závěrečné fázi přistoupeno ke kategorizaci procentuálního podílu čtyř vybraných skupin povrchu a vegetace BSF, ISF, nízká vegetace a vysoká vegetace ve stanovených intervalech dle rozložení četností (podrobněji viz kapitola 5.3 Analýza vlivu vegetace a land cover na teplotu vzduchu).

Pro lepší názornost byl pro každou vybranou skupinu charakteru povrchu sestaven graf, znázorňující průběh průměrných teplot pro jednotlivé velikosti bufferu (obr. 10, obr. 11, obr. 12, obr. 13). První graf (obr. 10) vyobrazuje vztah průměrných teplot a procentuálního zastoupení budov (BSF). Můžeme si všimnout, že průběh teploty vzduchu pro všechny velikosti bufferu rostou téměř lineárně s rostoucím zastoupením budov (BSF). Druhý graf (obr. 11) vypovídá o mírně vyšších teplotách při vyšším procentuálním zastoupení nepropustných povrchů (ISF). Můžeme tedy říci, že při vysokém zastoupení nepropustných povrchů je průměrná teplota vzduchu

ve večerních hodinách stále mírně vyšší oproti průměru měření. Průběh křivek je však v tomto případě v daných velikostech bufferu poměrně odlišný. Větší rozdíly se začínají tvořit s procentuálním zastoupením ISF 40,0 % a více. V intervalu 50,0–59,9 % vidíme křivku, která má opačný trend než všechny ostatní. Jedná se o buffer 100 m. Tato náhlá změna může být dána chybou měření nebo specifickým okolím v blízkosti započítaných bodů měření. Nejvýrazněji roste křivka bufferu 200 m a nejméně opět křivka bufferu 50 m.

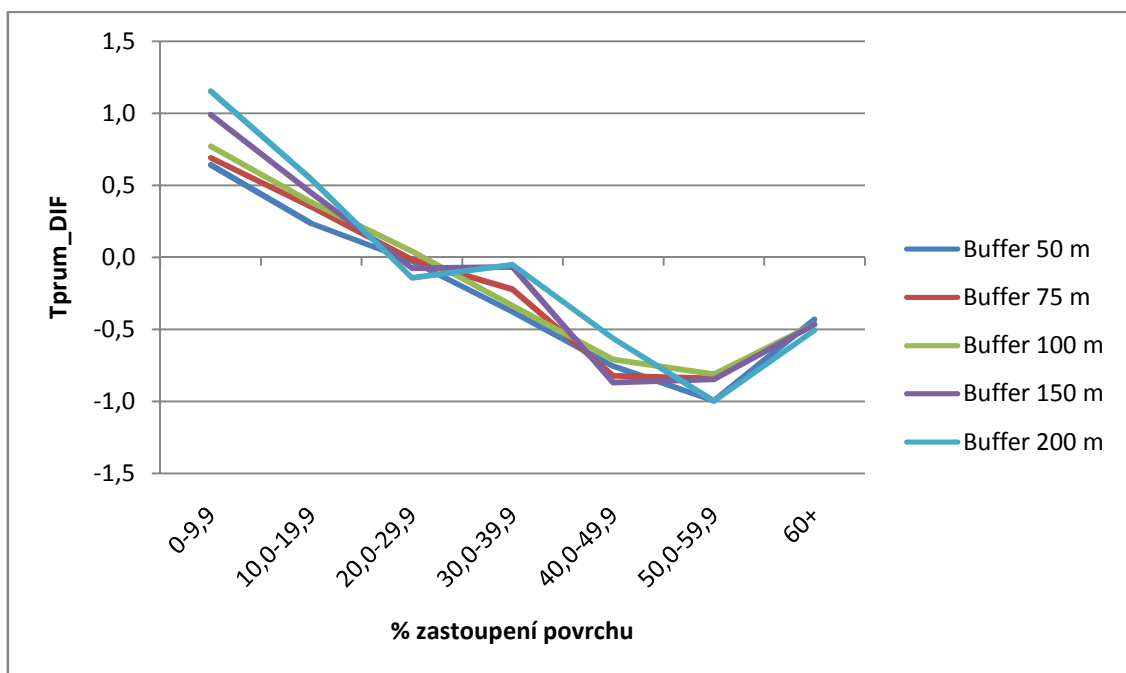


Obr. 10: Průměrné rozdíly teploty vzduchu od průměru měření pro kategorie procentuálního zastoupení budov v okolí bodů měření

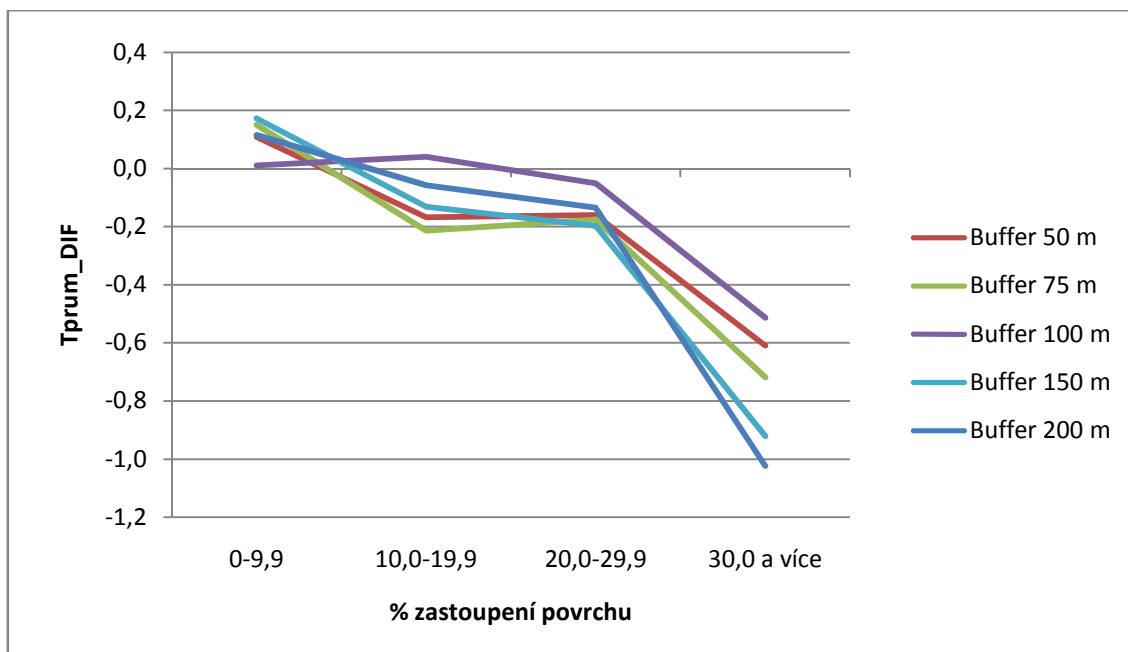


Obr. 11: Průměrné rozdíly teploty vzduchu od průměru měření pro kategorie procentuálního zastoupení nepropustných povrchů v okolí bodů měření

Další dva grafy (obr. 12 a obr. 13) znázorňují průměrné teploty vzduchu při zastoupení jednotlivých kategorií vegetace. Z obr. 12 je patrné, že pro kategorie s vysokým zastoupením nízké vegetace (BSF123) je průměrná teplota výrazně nižší (až o $2,0^{\circ}\text{C}$) než v případě malého zastoupení nízké vegetace nebo při její úplné absenci. Nejlépe jsou přitom tyto rozdíly vyjádřeny v případě použití bufferu 200 m a nejméně v případě použití buffer 50 m. To může být způsobeno výskytem rozsáhlejších ploch nízké vegetace na okraji města. Průměrné teploty vzduchu klesají také v případě rostoucího zastoupení vysoké vegetace (BSF456). Tento pokles však není tak výrazný jako v případě nízké vegetace. Výraznější pokles průměrných teplot nastává až pro kategorii s 30 % a vyšším zastoupením vysoké vegetace. Na tento pokles má vliv přítomnost rozsáhlejších kompaktních ploch vyšší zeleně – například městské parky.



Obr. 12: Průměrné rozdíly teploty vzduchu od průměru měření pro kategorie procentuálního zastoupení nízké vegetace v okolí bodů měření



Obr. 13: Průměrné rozdíly teploty vzduchu od průměru měření pro kategorie procentuálního zastoupení vysoké vegetace v okolí bodů měření

7 Závěr

Na základě provedených analýz bylo zjištěno, že v okolí 300 m od trasy mobilního měření se vyskytují propustné povrchy (PSF) v 58 %. Tvoří nejčastější skupin a najdeme je hlavně v okrajových částech města, v podobě polí, městských parků, zahrad a dvorů. Další kategorie nepropustné povrchy (ISF) zaujímá 27 % a vyskytuje se nejčastěji na východě území v podobě vlakových tratí, průmyslových areálů a logistických center. Nejmenší zastoupení mají budovy (BSF) 15 %. Nejvyšší koncentrace BSF je v historickém jádru, dále na sídlištích a v oblastech s velkými výrobními halami a sklady.

Při podrobnějším dělení propustných povrchů bylo zjištěno, že v rámci propustných povrchů jsou nejvíce zastoupeny travnaté plochy 22 % (vyskytují se převážně ve vnějších částech města a na západě území). Stromy zabírají celkem 10 %, kdy většina je listnatých (9 % oproti 1 % jehličnatých z celkové plochy). Stromy se nacházejí převážně v městských parcích a kolem toku řeky Bystřice. Oblasti s větší koncentrací stromů jsou většinou doplněny o keře, které tvoří však pouze 1 % povrchu. Pole zabírají celkem 14 % povrchu. Nachází se především v okrajových částech zkoumaného území a to převážně na severu. Holá půda zaujímá 2 % rozlohy. Jedná se hlavně o brownfieldy, staveniště a nezpevněné hřiště. V návaznosti na tuto práci může být v budoucnu dokončena kategorizace povrchů pro celé území města Olomouce. Zastoupení jednotlivých typů povrchů může být následně porovnáno také s jinými městy.

Na příkladu dne 10. 7. 2016 bylo zjištěno, že s rostoucím zastoupením budov v okolí bodu měření roste teplota vzduchu. Jedná se však pouze o slabou závislost, která byla lépe vyjádřena, pokud bylo zastoupení povrchů počítáno pro okolí 100 m a více. Lze předpokládat, že kdyby bylo noční měření posunuto do pozdějších nočních resp. brzkých ranních hodin, mohl by být vliv budov lépe vyjádřen. Vliv nepropustných povrchů (budovy vyjímaje) na teplotu vzduchu nebyl jednoznačný vzhledem k času měření. S rostoucím zastoupením vegetace v okolí bodu mobilního měření teplota vzduchu klesala. Tento vztah je nejlépe patrný, pokud bylo zastoupení povrchů počítáno pro okolí 75, 100 a 150 m. Na ochlazujícím efektu se nejvíce podílí nízká vegetace a to převážně travnaté plochy vzhledem k času měření v období negativní energetické bilance. Naopak ochlazující efekt stromů byl znatelný pouze v případě většího procentuálního zastoupení, které odpovídalo přítomnosti parků.

Vliv charakteru povrchu a vegetace na teplotu vzduchu je lépe viditelný až po provedení kategorizace procentuálního zastoupení jednotlivých typů povrchů a vegetace. To potvrzuje vliv dalších (v této práci nevyhodnocených) faktorů na teplotu vzduchu. Například lze předpokládat vliv směru proudění vzduchu vzhledem k celkovému charakteru zástavby, vliv menších vodních ploch a toků (v této práci nebyly vyhodnoceny samostatně) a také vliv antropogenních emisí tepla. Tyto faktory by měly být při dalším studiu prostorové variability teploty vzduchu v Olomouci podrobněji zkoumány.

V budoucích pracích v návaznosti na tuto práci by měly být provedeny stejné analýzy vztahu charakteru povrchu a vegetace a teploty vzduchu pro další dny, ve kterých bylo realizováno mobilní měření, aby bylo zjištěno, zda-li je možné získané závěry zobecňovat. V dalším kroku by bylo zajímavé porovnat rozdíly vlivu charakteru povrchu a vegetace mezi ročními obdobími.

8 Summary

The first part of the research was the map showing the percentage representing basic types of surfaces. Data were used from ZABAGED layer, which is processed according to Geletič and Lehnert (2016) in compliance with Stewart and Oke (2012). In this way, were created three categories: pervious surface fraction (PSF), impervious surface fraction (ISF), and building surface fraction (BSF). Then was created the percentage of the basic surface: PSF 58%, ISF 27% and BSF 15%. The characteristics were calculated for the neighborhood of 300 meters from the mobile tracking points.

The basic group PSF was analyzed into more details and divided into additional subcategories. The largest category was grassy areas 22%, which were mainly situated in the outskirts and in the west of the territory. Next were trees 10% (deciduous 9%, coniferous 1%). Trees could be found mostly in city parks and around river Bystřice. Fields were covering 14% of the area. They were mostly located in the outer part of the city and in the north. Last subcategory was bare land (brownfields, construction zones) 2%.

Then the dependence between the types of surfaces was analyzed. The Pearson correlation coefficient was used for this purpose and it was analyzed for different buffer sizes (50, 75, 100, 150 and 200 m). There were created two subcategories: low vegetation (including grassy areas, fields and bare ground) and high vegetation (trees and scrubs). The result showed that with growing amount of low or high vegetation the amount of buildings and impervious surfaces were decreasing. In case of low vegetation, the decreasing was more significant.

In next step the coefficient of determination was used to express the relation of the surface and vegetation to the air temperature. Characteristics were calculated for 10 July 2016. However, the dependence was weak in all cases. It was found that the increasing number of buildings and impervious surfaces around the measuring point caused the rise of the air temperature. In the case of vegetation, the temperature of the air is decreasing with the growing amount of vegetation around the mobile measurement point, as expected. The cooling effect was mostly due to low vegetation. On the other hand, the cooling effect of trees was noticeable only in the case of their higher concentration, such as city parks.

In the final step, the categorization of the percentage representation of each type of surfaces and vegetation was created to see more clearly the influence of the surface

and vegetation on the air temperature. This confirms the influence of the other factors on the air temperature. For example, the influence of the air flow direction, overall character of the building position, small water areas as well as the impact of anthropogenic heat emissions. These factors should be explored more in future investigation in Olomouc. Moreover, the same analysis of the relation between the surface and the vegetation and the air temperature should be done, to determine whether the results from this work could be generalized. In the next step, it would be interesting to compare the differences of the influence of the surface and the vegetation between seasons.

9 Seznam literatury

Bottyán, Z. et al (2005): The relationship between built-up areas and the spatial development of the mean maximum urban heat island in Debrecen, Hungary. *International Journal of Climatology*, 25 (3), s. 405–418

Bowler, D. E., Buyung-Ali, L., Knight, T. M., Pullin, A. S. (2010): Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landscape and urban planning*, 97 (3), s. 147–155.

Brázdil, R., Budíková, M. (1999): An urban bias in air temperature fluctuations at the Klementinum, Prague, the Czech republic. *Atmospheric Environment*, 33(24–25), s. 4211–4217

CENIA (2012): Prohlížení. [online]. Geoportal cit. [2018–12–03]. Dostupné z: <https://geoportal.gov.cz/web/guest/map>

Česká geologická služba (2014): Půdní mapa 1:50 000. [online]. Česká geologická služba, cit. [2018–08–21]. Dostupné z: <http://mapy.geology.cz/pudy/>

Česká geologická služba (2014): Geologická mapa 1:25 000. [online]. Česká geologická služba, cit. [2018–08–21]. Dostupné z: http://mapy.geology.cz/geocr_25/

Český statistický úřad (2018): Počet obyvatel v obcích - k 1.1.2018. [online]. cit. [2018–08–21]. Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/pocet-obyvatel-v-obcich-see2a5tx8j>

Český statistický úřad (2018): Vše o území. [online]. cit. [2018–08–21]. Dostupné z: https://vdb.czso.cz/vdbvo2/faces/cs/index.jsf?page=profil-uzemi&uzemiprofil=31588&u=__VUZEMI__43__500496#

ČÚŽK (2010): Aplikace: ZABAGED® - polohopis – úvod. [online]. cit. [2018-08-21]. Dostupné z: [http://geoportal.cuzk.cz/\(S\(cvcfrtn5sjougj4ztlwnywf5\)\)/default.aspx?mode=TextMeta&text=dSady_zabaged&side=zabaged&menu=24](http://geoportal.cuzk.cz/(S(cvcfrtn5sjougj4ztlwnywf5))/default.aspx?mode=TextMeta&text=dSady_zabaged&side=zabaged&menu=24)

Demek, J., Mackovčín, P. ed. (2014): Zeměpisný lexikon ČR. Hory a nížiny. 3.vyd. přepracované. Mendelova univerzita v Brně, Brno, 584 s

- Dobrovolný, P. (2012): *Klima Brna: víceúrovňová analýza městského klimatu*. Masarykova univerzita, Brno, 200 s
- EEA (2010): European Environmental Agency: *Urban atlas*. [online]. cit. [2018-09-19]. Dostupné z: <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/data/urban-atlas>
- Fortuniak, K., Kłysik, K., Wibig, J. (2006): Urban-rural contrasts of meteorological parameters in Łódź. *Theoretical Applied Climatology*, 84, s. 91–101.
- Geiger, R., Aron, R. H., Todhunter, P. (2003): *The Climate Near the Ground*. Rowman & Littlefield publishers, Inc., Lanham, 584 s.
- Geletič, J., Lehnert M. (2014): Vliv průmyslových, distribučních a obchodních center na prostorovou diferenciaci povrchové teploty, 31. výroční konference Fyzickogeografické sekce České geografické společnosti v Brně
- Geletič, J., Lehnert, M. (2016): GIS-based delineation of local climate zones: The case of medium-sized Central European cities. *Moravian Geographical Reports*, 24 (3), s. 2–12.
- Geografický ústav (2010–2018): Přírodovědecká fakulta MU: Víceúrovňová analýza městského a příměstského klimatu na příkladu středně velkých měst. [online]. cit. [2018-08-21]. Dostupné z: <http://geogr.muni.cz/klima-mesta>
- Grimmond, S. (2006): Progress in measuring and observing the urban atmosphere. *Theoretical Applied Climatology*, 84, s. 3–22.
- Homola, F. (1972): Příspěvek k ponebí Olomoucka. *Sborník prací pedagogické fakulty Univerzity Palackého v Olomouci. Zeměpis 1. SPN*, Praha, s. 5–20.
- Howard, L. (1833): *The climate of London, Deduced from Meteorological Observations*. Harwey & Darton, London, 383 s.
- INSPIRE (2018): Prohlížení. [online]. Geoportal cit. [2018–12–03]. Dostupné z: <https://geoportal.gov.cz/web/guest/map>
- Kubeček, J. (2017): Místní klimatické zóny v Olomouci a okolí: teplota vzduchu. [Diplomová práce], Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, 132 s.

Lehnert, M., Geletič, J., Husák, J., Vysoudil, M. (2015): Urban field classification by “local climate zones” in a medium-sized Central European city: the case of Olomouc (Czech Republic). *Theoretical and applied climatology*, 12 2(3–4), s. 531–541

Lehnert, M., Geletič, J. (2017): Místní klimatické zóny a jejich význam ve městech České republiky. *Urbanismus a územní rozvoj*, 20 (2), s. 9–16.

Lehnert, M., Geletič, J., Dobrovolný, P., Jurek, M. (2018): Temperature differences among local climate zones established by mobile measurements in two central European cities. *Climate Research*, 75 (1), s. 53–64

Nermut, Z. (2007): Zhodnocení faktoru erozní činnosti přívalového deště na Olomoucku. [Diplomová práce], Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, 69 s.

Oke, T., R. (2006): Initial Guidance to Obtain Representative Meteorological Observations at Urban Sites. *Instruments and Observing Methods*, Report No. 1, WMO, 47 s.

Poledníková, B. (2010): Příspěvek ke studiu městského/příměstského klimatu (Olomouc a okolí). [Diplomová práce], Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, 107 s.

Prošek, P., Rein, F. (1982): *Mikroklimatologie a mezní vrstva atmosféry*. SPN, Praha, 237 s.

Ptáček, P., Szczyrba, Z., Fňukal, M. (2007): Proměny prostorové struktury města Olomouce s důrazem na rezidenční funkce. *Urbanismus a územní rozvoj*, 10 (2), s. 19–26.

Quitt, E. (1972): Měřicí jízdy jako jedna z cest k racionalizaci mezoklimatického výzkumu. *Meteorologické zprávy*, 6, s. 172–176

Statutární město Olomouc: oficiální informační portál: Vědci poprvé popsali podnebí Olomouce. [online]. cit. [2018-08-21]. Dostupné z: <http://www.olomouc.eu/aktualni-informace/aktuality/13848>

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

- Středová, H. a kol (2011): Mikroklima a mezoklima měst, mikroklima porostů. Český hydrometeorologický ústav, Praha. 120 s.
- Vysoudil, M. (1988a): Srážkové poměry Olomouce. Zprávy krajského vlastivědného muzea, 255, s. 15–28
- Vysoudil, M. (1988b): Sekulární kolísání srážek na vybraných stanicích severní Moravy (1881–1980). AUPO, Fac. Rer. Nat., Vol. 92, Geographica-Geologica XXVII., Praha: SPN, s. 107–126
- Vysoudil, M. (1989): Dlouhodobé kolísání srážek na území severní Moravy 1881–1989. Spisy Univerzity Palackého. Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, 139 s.
- Vysoudil, M. (2012): Podnebí Olomouce. Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, 211 s
- Vysoudil, M., Jurek M. (2005): Summer Air Temperatures in Ljubljana (Slovenia) and Olomouc (Czech Republic) in the Period 1961–2000. Dela23. Geographical View of Regional Development. Department of Geography. Faculty of Arts, University of Ljubljana, s. 245–258
- Vysoudil, M., Tomáš, M. (2011): Teplotní a srážkové poměry Olomouce. Zprávy Vlastivědného muzea v Olomouci, 301, s. 69–91.