

**Česká zemědělská univerzita**

**Fakulta životního prostředí**

**Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování**



**Vývoj prostorové diferenciace povrchových  
teplot v Praze**

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**

Autor: Bc. Martin David

Vedoucí práce: Mgr. Aleš Urban, Ph.D.

© 2022 ČZU v Praze

# ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Martin David

Krajinné inženýrství  
Regionální environmentální správa

Název práce

Vývoj prostorové diferenciacce povrchových teplot v Praze

Název anglicky

Development of spatial patterns of land surface temperature in Prague

---

### Cíle práce

Od 90. let 20. stol. dochází v obcích na okraji velkých měst (zejména Prahy a Brna) k překotnému záboru volné půdy, rozvoji průmyslových zón, vzniku příměstských satelitů a s tím spojenému nárůstu počtu obyvatel – tzv. suburbanizaci. Z environmentálního hlediska patří mezi hlavní negativní důsledky suburbanizace fragmentace krajiny a rozšiřování zastavěných ploch, což má za následek snižování retenční schopnosti krajiny a změny v radiační a energetické bilanci zemského povrchu. Tyto procesy vedou k rozšiřování vlivu městského tepelného ostrova.

Družicové snímky představují užitečný nástroj pro analýzu prostorové diferenciacce městského tepelného ostrova. Množství emitovaného záření v termální části elektromagnetického spektra lze využít jako informaci o teplotních poměrech studovaného území. Cílem práce je seznámit se s problematikou městské klimatologie a na základě rešerše aktuální odborné literatury vyhodnotit možnosti využití družicových snímků v analýze teplotních poměrů ve městě a jejich časoprostorových změn v důsledku suburbanizace.

### Metodika

V praktické části práce bude úkolem řešitele vyhodnotit vývoj městské zástavby v aglomeraci Prahy od 90. let 20. stol. do současnosti pomocí analýzy termálních pásem družicových snímků v programu ArcGIS. K sestavení polí povrchových teplot v Praze a okolí budou využity snímky pořízené družicemi Landsat 5–8. Ve spolupráci s vedoucím práce budou vybrány 2–4 referenční dny s podobnými meteorologickými podmínkami a úkolem bude analyzovat časoprostorové změny povrchové teploty.

**Doporučený rozsah práce**

40-60 stran

**Klíčová slova**

tepelný ostrov města, povrchová teplota, Landsat, družicové snímky

---

**Doporučené zdroje informací**

Dobrovolný, P. a kol., 2012: Klima Brna. Víceúrovňová analýza městského klimatu. Masarykova univerzita, Brno. ISBN: 9788021060296

Oke, T.R., Mills, G., Christen, A., Voogt, J.A. 2017: Urban Climates. Cambridge University Press, USA. ISBN 978-1-107-42953-6.

---

**Předběžný termín obhajoby**

2021/22 LS – FZP

**Vedoucí práce**

Mgr. Aleš Urban, Ph.D.

**Garantující pracoviště**

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

**Konzultant**

Ing. Tugba Dogan

Elektronicky schváleno dne 3. 12. 2020

**prof. Ing. Martin Hanel, Ph.D.**

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 27. 1. 2021

**prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.**

Děkan

V Praze dne 30. 03. 2022

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že svou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně pod vedením Mgr. Aleše Urbana, Ph.D. s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu použitých zdrojů na konci práce. Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob. Dále prohlašuji, že tištěná verze je shodná s verzí nahranou v Univerzitním informačním systému.

V Praze, dne 30. 3. 2022

.....  
vlastnoruční podpis autora

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu diplomové práce Mgr. Aleši Urbanovi, Ph.D. za péči, kterou věnovali přípravě mé práce a za celou řadu podnětných připomínek k textu. Děkuji své rodině, především matce, za zázemí a všestrannou podporu, kterou mi vždy poskytovala nejen v souvislosti s touto prací.

## **Abstrakt**

Diplomová práce se zabývá tématem zvyšování povrchových teplot v důsledku vývoje městské zástavby v Praze a jejím okolí. Rozšiřující se zástavba zvyšuje intenzitu tepelného ostrova města, což zhoršuje kvalitu života obyvatel Prahy v letních měsících. Teoretická část práce zprvu seznamuje s fungováním městského klimatu, energetickou bilancí aktivních povrchů a popisuje, proč mají tyto jevy vliv na zvyšující se teplotu krajinných pokryvů ve městě a jeho okolí. Suburbanizace je hlavním faktorem rozšiřování tepelného ostrova do volné krajiny a má za následek oteplování zemského povrchu. V praktické části byly vybrány 3 dny od počátku moderní suburbanizace v 90. letech až do současnosti s největší podobností z hlediska počasí, ročního období a zároveň i přeletu družice Landsat, která byla použita pro analýzu povrchových teplot ve zvolených dnech. Ze zvolených snímků pomocí dálkového průzkumu Země byly v programu Esri ArcMap vypočítány teploty povrchů a porovnány se změnami vegetačních ploch v databázi krajinného pokryvu Corine Land Cover.

**Klíčová slova:** tepelný ostrov města, povrchová teplota, Landsat, družicové snímky

## **Abstract**

Suburbanization is a major factor in heat island expansion. It spreads to the open countryside and results in warming up the earth's surface. A study has been conducted to investigate the impact of growing urban areas in the city of Prague and its surroundings on the surface temperature increase. Urban growth expands the urban heat islands, which worsens the life quality of Prague residents in the summer months. The theoretical part of the thesis explains the urban climate characteristics and the active surfaces energy balance. It describes why these phenomena have an impact on the land cover temperature increase in the city and its surroundings. The objectives of the practical part were to evaluate the satellite imagery usage in the analysis of temperature conditions in the urban areas and their spatial-temporal changes due to suburbanization. The aim was to determine the degree of the land cover temperature increase in the urban landscape. Three days were selected in the time period from the beginning of modern suburbanization in the 1990s until today. Landsat imagery was used to analyse surface temperature changes.

**Keywords:** urban heat island, land surface temperature, Landsat, satellite imagery

# Obsah

1	Úvod.....	9
2	Cíle práce .....	11
3	Klima měst.....	12
3.1	Faktory ovlivňující městské klima.....	14
3.2	Tepelný ostrov města .....	15
4	Energetická bilance aktivního povrchu.....	16
4.1	Transport tepla v atmosféře .....	17
4.2	Faktory ovlivňující teplotu zemského povrchu.....	18
4.3	Elektromagnetické záření .....	19
4.4	NDVI (Normalizovaný diferenční vegetační index).....	21
4.5	Emisivita.....	22
4.6	Absolutně černé těleso .....	22
4.7	Sluneční záření.....	23
4.8	Tepelné záření.....	25
5	Suburbanizace.....	26
5.1	Důsledky suburbanizace.....	27
5.1.1	Environmentální důsledky.....	27
5.1.2	Ekonomické důsledky.....	28
5.1.3	Sociální důsledky.....	28
6	Dálkový průzkum Země .....	29
6.1	Klasifikace krajinného pokryvu Corine Land Cover (CLC).....	31
7	Program Landsat .....	33
7.1	Historie a současnost .....	33
7.2	Sezory družic Landsat .....	34
7.3	Oběžná dráha družic Landsat.....	36
8	Praktická část DP - Analýza změny povrchových teplot v Praze a její suburbii 38	
8.1	Definice zájmového území.....	38
9	Metodika a použitá data.....	41
9.1	Výběr satelitních snímků.....	41
9.2	Výpočet povrchové teploty ze snímků družice Landsat 5 a Landsat 8 .....	43
9.2.1	Výpočet spektrálního záření v horní části atmosféry (Top of atmosphere spectral radiance – $L_{TOA}$ ) .....	44
9.2.2	Převod spektrálního záře v horní hranici atmosféry na jasovou teplotu (Brightness temperature - BT) .....	45
9.2.3	Výpočet NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) .....	45
9.2.4	Výpočet vegetačního poměru $P_v$ .....	46

9.2.5	Výpočet emisivity $\epsilon$ .....	46
9.2.6	Výpočet teploty zemského povrchu LST .....	47
9.3	Metodika změny povrchové teploty krajinného pokryvu podle CLC.....	48
9.4	Metodika relativní intenzity povrchové teploty ploch vůči lesním plochám.	49
10	Výsledky .....	50
10.1	Výsledky změny teplot povrchů v Praze a okolí .....	50
10.2	Změny povrchové teploty krajinného pokryvu podle Corine Land Cover ...	57
10.3	Relativní intenzita povrchové teploty ploch vůči lesním plochám .....	60
11	Závěr.....	63
12	Literatura.....	64



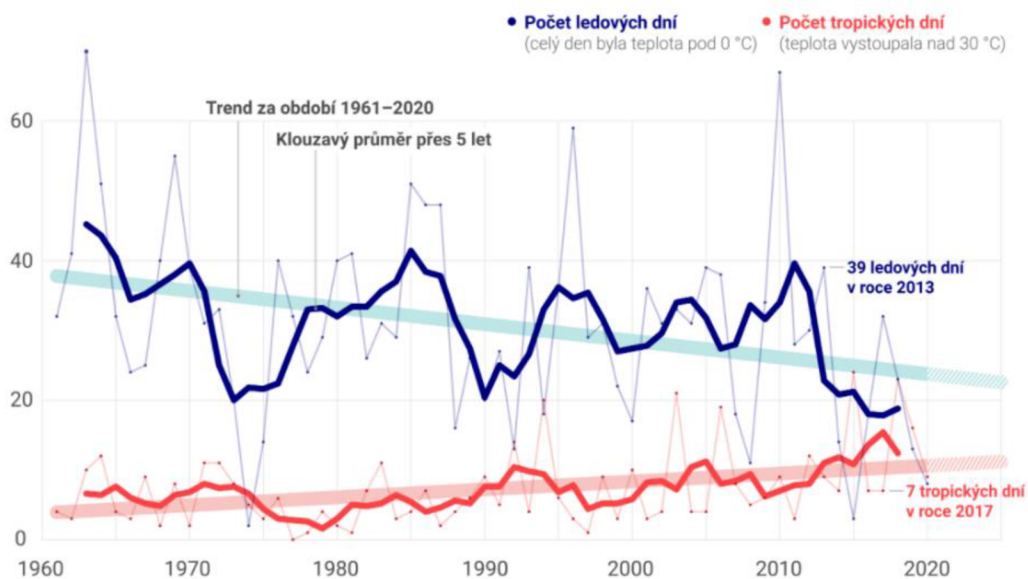
# 1 Úvod

Naše planeta za dobu své existence prošla mnoha přírodními změnami. Jednou z nejznatelnějších změn bylo střídání dob ledových v intervalech několika desítek tisíc let. Nikdy však nebyla změna klimatu na naší planetě tak rychlá jako od 20. století po současnost. V posledních letech zaznamenáváme nárůst průměrné globální teploty. Tento vývoj představuje výzvu ke spolupráci společností jako celku. Fakta změny klimatu mohou poškodit nejen celý ekosystém Země, ale také lidstvo jako civilizaci. Mezinárodní panel pro změnu klimatu (IPCC) již řadu let zařazuje mezi své zprávy, kapitolu o vlivu klimatické změny na lidské zdraví. Podle současného vývoje a klimatických modelů lze předpokládat, že teplota Země dále poroste (zpráva IPCC, 2021). Klimatická změna je důležitým tématem i pro Světovou zdravotnickou organizaci (WHO), která ji označuje za jednu z největších zdravotních hrozeb 21. století (WHO, 2018).

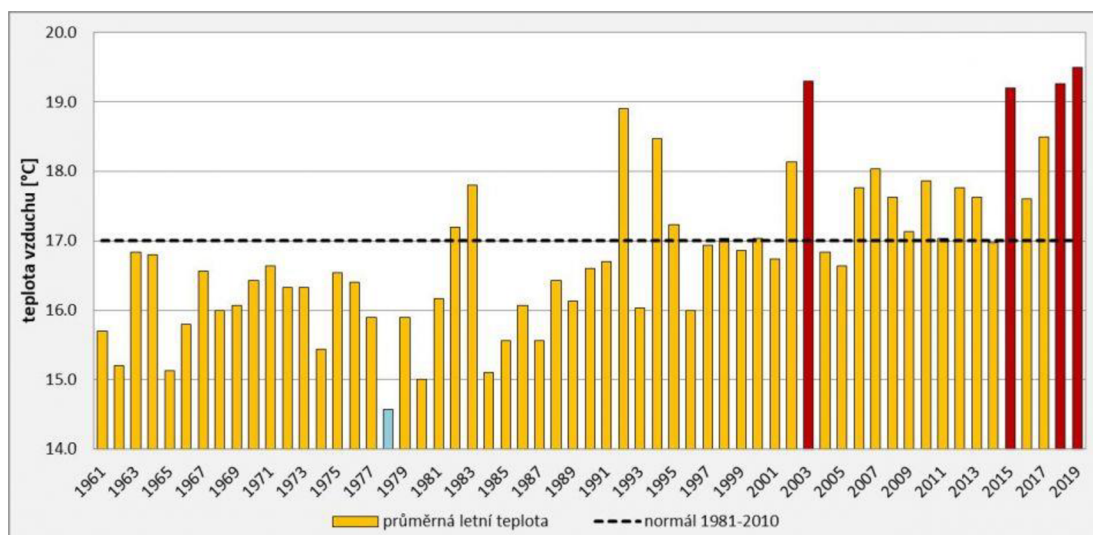
Změna klimatu je patrná i na území České republiky. ČHMÚ v ČR zaznamenává projevy změny klimatu, nejčastěji v extrémech, spojených s teplotou, větrem a srážkami (ČHMÚ, 2021). Nárůst teploty v ČR, dokládá např. údaj o průměrném počtu tropických dnů v roce, měřené meteorologickou stanicí v Praze Ruzyni (obr. 1.1). Tropický den je označován, pokud maximální teplota během dne dosáhne hodnoty 30 °C. Zatímco mezi lety 1961 - 1963 bylo na stanici pozorováno v průměru 6,7 tropických dnů za rok, v letech 2016 - 2018 bylo již 12,7 dnů. Za stejné období naopak ubylo četnost ledových dnů, kdy se teplota po celý den nedosáhne nad teplotu 0 °C (faktaoklimatu.cz, 2021). Jiná studie autorek Sedlákové, Crhové, (2019) mapující meteorologické charakteristiky srpna 2019 udává, že průměrná teplota v tomto měsíci byla 18,9 °C, což je o 1,6 °C vyšší, než průměrná teplota z let 1981 - 2010. Do roku 2019 byl měsíc srpen teplejší v letech 1992, 2003, 2015 a 2018 (obr. 1.2). V této studii je zahrnuta i plošná nerovnoměrnost srážkových úhrnů v kombinaci se silnějšími srážkami po dobu nižšího počtu dnů. ČHMÚ ve své zprávě zmiňuje zajímavost, kterou je historická citace z novin Posel z Prahy č. 127 ze dne 6. 6. 1875, kde se zmiňuje: „Po velikém vedru, které v pátek 4. 6. až 29 stupňů dosáhlo, dostavila se v noci na včerejšek silná bouřka, již prudký liják provázal“. Odlišné vnímání teplotních extrémů ve společnosti poukazuje na změněné pocity obyvatel, kdy nám v dnešní době teplota 29 °C v letních měsících přijde v normálu. V porovnání s obdobím mezi lety 1850 - 1900 je v Česku průměrná teplota vyšší o 2 °C. Vyšší průměrná teplota má za následek vyšší výpar vody z krajiny, což v kombinaci s větší plošnou

nerovnoměrností srážkových úhrnů, může zapříčinit problémy se zásobováním pitnou vodou (ČHMÚ, 2021).

Takto rychlé změny klimatu, v kontextu doby existence planety Země, bychom neměli ignorovat. Oteplující se krajina, která má za následek změny ve fungování ekosystémů, byla pro mě jednou z motivací, proč jsem se rozhodl zabývat se tímto tématem v rámci diplomové práce.



Obr. 1.1: Počet tropických a ledových dnů na meteorologické stanici v Praze Ruzyni (faktaoklimatu.cz, 2021)



Obr. 1.2: Průměrná letní teplota na území ČR v letech 1961-2019 (Sedláková, Crhová, 2019)

## 2 Cíle práce

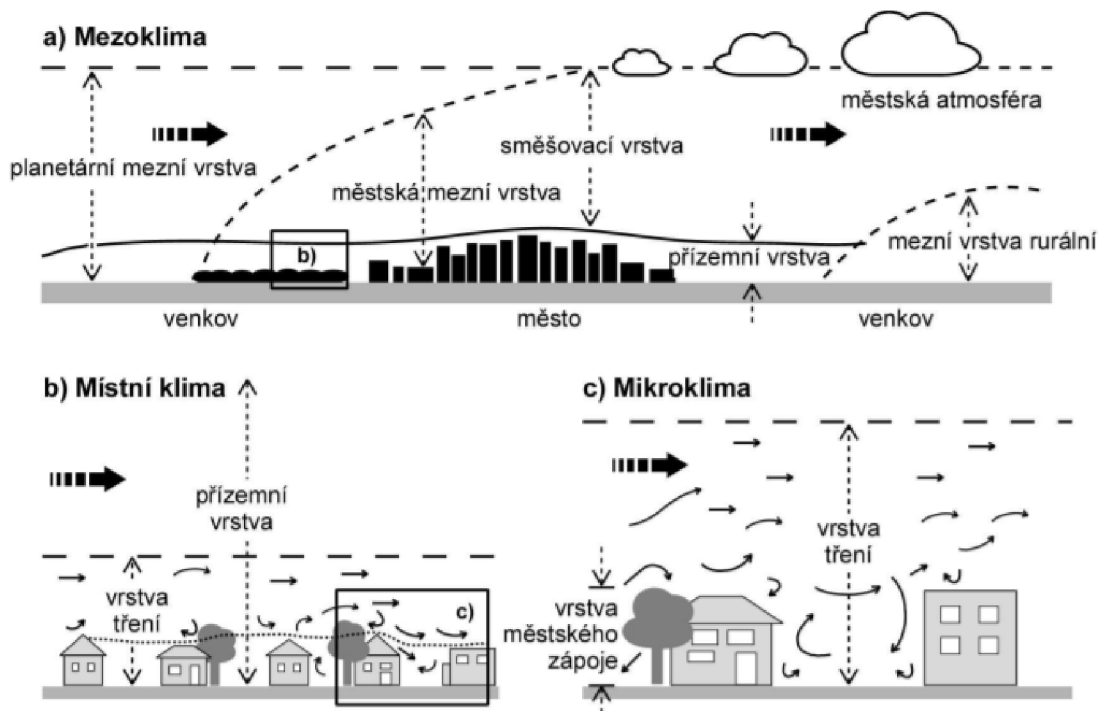
Cílem rešeršní části mé diplomové práce, je seznámit s procesy v městské klimatologii. Zaměřit se na pojmy související, např. na tzv. tepelný ostrov města. V rámci městské klimatologie je popsána energetická bilance aktivních povrchů města, transport tepla a Další důležité faktory, které na teplotu povrchů mají dopad. V této části shrnu informace týkající se suburbanizace, jejího vývoje a vlivu na povrchové teploty. V závěru rešeršní části vysvětluji princip dálkového průzkumu Země a program družic Landsat, pomocí kterého byla vypracována praktická část diplomové práce.

Hlavní cíl diplomové práce je analýza vlivu suburbanizace na teplotní poměry povrchů, stanovením tří dnů podobného časového období roku v praktické části. Zkoumané roky byly stanoveny od počátku moderní suburbanizace (90. léta 20. století) až do současnosti, s časovým rozestupem rozšiřující se zástavby do volné krajiny na okraji města Prahy. Jako ukazatel procesu suburbanizace byla použita databáze Corine Land Cover.

Metodika postupu řešení praktické části je podrobněji vysvětlena v praktické části.

### 3 Klima měst

Zastavěné území měst přináší specifické městské klima, které je odlišné od klimatických poměrů ve volné venkovské krajině (Dobrovolný, 2017). Městské klima lze podle Okeho (1997) studovat na nejvyšší úrovni, kterou v kategorii městského klimatu představuje mezoklima (obr. 3.1).



Obr. 3.1: Úrovně městského klimatu (Dobrovolný, 2017)

V mezoklimatu jsou zaznamenávány procesy tření o zemský povrch, rozšířený o zástavbu a je značně ovlivňováno převládající formou aktivního povrchu. Horizontální procesy probíhají do délky od jednotek až desítek kilometrů ve směru proudění vzduchu, které zanášejí městské klima do volné krajiny mimo město. Ve vertikálním směru je mezoklima omezeno tzv. mezní vrstvou atmosféry. V městské mezní vrstvě atmosféry se bezprostředně projevuje vliv městského zemského povrchu na meteorologické jevy. Tato vrstva dosahuje výšky od stovek metrů do dvou kilometrů od povrchu Země (Meteorologický slovník, 1993).

Mezi faktory, které mocnost klimatu ovlivňují, jsou fyzikální vlastnosti povrchů např. drsnost povrchu, barva a zvýšená nevyrovnanost teplotního zvrstvení, které vytváří v městské zástavbě tzv. tepelný ostrov města. Utváření městské mezní vrstvy a její mocnost závisí mj. na charakteru počasí a denní době. Maximální mocnost teploty

vzduchu nad městem je nejčastěji během dne za jasného počasí s minimální rychlostí větru (Dobrovolný, 2017).

V menším měřítku místního klimatu definujeme městskou přízemní vrstvu atmosféry (obr. 3.1). Jedná se o nejspodnější část mezní vrstvy, o tloušťce několika desítek metrů, kde se projevují termální vlivy zemského povrchu a rozdílnost meteorologických jevů vzhledem k venkovskému prostředí. V tomto prostředí lze v přízemní vrstvě vymezit tzv. městský zápoj. Ten představuje uzavřený objem vzduchu mezi aktivním povrchem a výškou budov. V těchto kategoriích jsou procesy ve spodních vrstvách atmosféry formovány vlastnostmi aktivního povrchu (radiční a tepelné), vlastnostmi aerodynamickými (drsnot) a vlhkostními (propustnost).

Mikroklima je charakterizováno jako podnebí velmi malých oblastí, v němž se uplatňují vlivy umělých povrchů, které tvoří většinu města a přeměňuje sluneční energii převážně na teplo (obr. 3.1). Mikroklima je nejčastěji formováno homogenním aktivním povrchem (např. městská zástavba nebo holá půda). Aktivní povrch, na kterém probíhá přeměna sluneční energie na tepelnou, je hlavním mikroklimatotvorným činitelem (Středová, 2011).

### 3.1 Faktory ovlivňující městské klima

K formování specifického městského klimatu přispívá řada faktorů. Podle Okeho (1981), jde především o:

- radiační a tepelné vlastnosti aktivních povrchů;
- nepropustný charakter aktivních povrchů;
- geometrické upořádání aktivních povrchů;
- znečištění atmosféry;
- produkce odpadního tepla.

Nejvýznamnější faktor, ovlivňující městské klima, autor uvádí aktivní povrch měst. Tyto povrchy mají nižší albedo, než plochy z vegetací. Tím se povrch zahřívá rychleji a dosahuje vyšších maximálních teplot. Umělé povrchy ve městech se vyznačují vysokou tepelnou kapacitou, vysokou tepelnou vodivostí a dochází k větší akumulaci tepla. Bokorys zástavby vede k opakovanému odrazu záření, pohlcuje více slunečního záření a omezuje vyzařování v nočních hodinách (Oke, 1976).

Aktivní povrch v městském prostředí má dále vliv na dešťové srážky, které odtékají do městského odvodnění a výpar vody se tím snižuje. Klima města ovlivňuje zároveň antropogenní znečišťování atmosféry, které je umocňováno inverzním počasím. Městské prostředí je výrazně ovlivňováno všemi zmíněnými faktory, které dohromady tvoří tepelný ostrov města (Oke, 1981).

## 3.2 Tepelný ostrov města

Tepelný ostrov, je oblast města, která se vyznačuje vyššími teplotami, než okolní krajina. Vzniká tím, že přirozený povrch (např. louka, les, pole) je nahrazován umělým povrchem (např. asfalt, beton, sklo), který mnohem více zadržuje teplo ze slunečního záření. Umělé povrchy mají větší tepelnou kapacitu a tím se více zahřívají, které oproti přirozeným povrchům obsahují zanedbatelný podíl vody. Dopadající sluneční energie se nepřeměňuje na výpar, ale na zbytkové teplo a při kladné energetické bilanci má přímý vliv na oteplování okolí (Pokorný, 2014).

Tepelný ostrov je také umocňován odpadním teplem (např. vytápění, klimatizace, doprava, průmysl), vylučovaným antropogenní činností (ekolist.cz, 2014). Teplota směrem do centra města narůstá v závislosti na zvyšující se hustotě zástavby. O míře efektu tepelného ostrova města, jeho rozšíření a proměnlivosti v čase, rozhodují geografické charakteristiky místa. Jedná se o velikost města, morfologie, konfigurace druhů povrchů, reliéf, nadmořská výška, regionální klima atd. V případě vyšších budov, má sluneční záření mnohonásobný odraz. To zvyšuje intenzitu absorpce tepla. Budovy zeslabují vítr, který by mohl vzduch promíchat s chladnějším (Žák, Zahradníček, 2017). V zahraničí byl tepelný ostrov zjištěn u měst nad 10 000 obyvatel, v ČR jsou dotčena především krajská města (Navrátil, Lipina, 2016).





## 4.1 Transport tepla v atmosféře

Teplota je fyzikální veličinou, popisující termodynamický děj ve hmotě a šíří se prostředím pomocí vedení, proudění a tepelného záření. Přijme-li povrch teplotu tepelnou výměnou, vzrůstá jeho tepelná energie. Teplota se vždy šíří z místa o vyšší teplotě do místa s nižší teplotou. Kromě šíření tepla zářením, které má elektromagnetickou povahu, se může teplota šířit pouze v prostředí vyplněném látkou. Proces transportu tepla probíhá pomocí atomů a molekul, které si předávají kinetickou energii, dokud nedojde k vyrovnání teplot obou povrchů (Kubátová, 2008).

Výchozí směr proudění tepla je z atmosféry na povrch. Směr toku tepla může být opačný, a to rozdílem teplot mezi vzduchem a povrchem. Např. nad vodními plochami je denní teplota stálejší, voda má velkou tepelnou kapacitu a trvá déle, než se prohřeje nebo ochladí. Opačný jev je u pevných povrchů, jako je beton, skála nebo železo. Přijímají a vydávají teplotu rychleji, a proto u nich bývá velké kolísání teplot (Dvořák, 2017).

Nejvyšší teplotu dosahuje vzduch kolem 14. hodiny a nejnižší v době východu slunce. Tyto nejvyšší a nejnižší teploty jsou způsobené tepelnou setrvačností, kdy trvá, než slunce v nejvyšším bodě nad obzorem na obloze dodá tepelnou energii do atmosféry. Naopak v noci probíhá ochlazování vzduchu, které se umocňuje dobou od západu slunce. V této době není dodávána tepelná energie do atmosféry ze slunce a vzduch chladne. K největším denním výkyvům teploty dochází během bezvětřného jasného dne a denní amplituda teplot se zmenšuje s rostoucí vzdáleností nad povrchem. Pokud je větrno, dochází k promíchávání přízemní vrstvy s chladnějším vzduchem ve vyšších patrech atmosféry, a proto je amplituda teploty nižší (Dvořák, 2017; Bednář, 2003).

## 4.2 Faktory ovlivňující teplotu zemského povrchu

Teplotu povrchů planety ovlivňuje mnoho faktorů. Lze je podle Trnky a kol. (nedatováno), rozdělit na:

- extraterestrické (např. sluneční záření, poloha Země ke Slunci, propustnost atmosféry);
- terestrické (např. vlastnosti zemského povrchu, vegetace);
- antropogenní (např. emise, urbanizace).

Změna teplot povrchů záleží, podle Bednáře (2003), na:

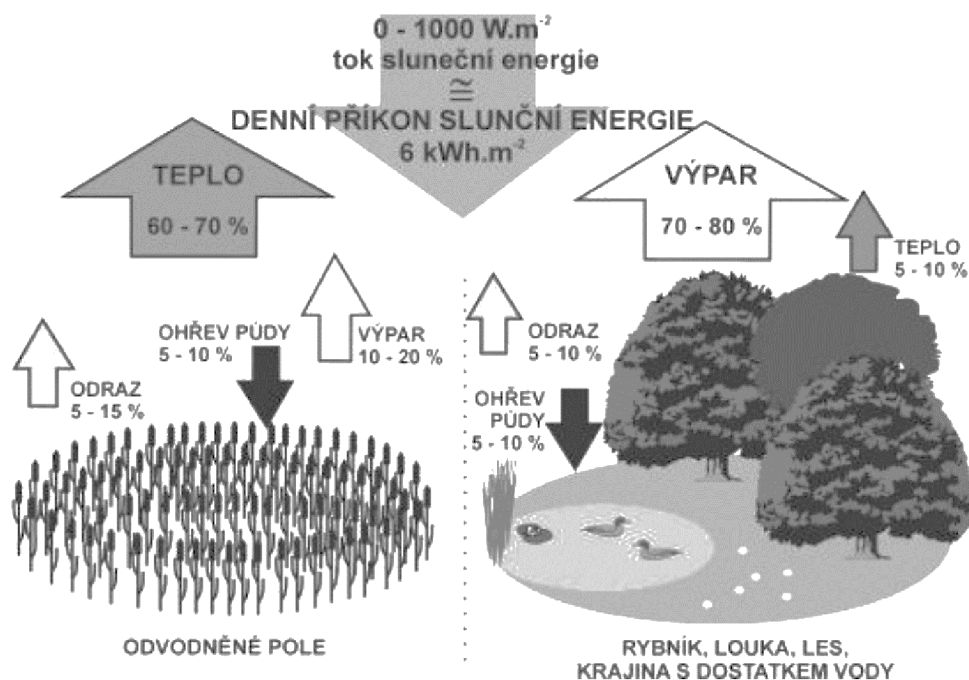
- oblačnosti;
- expozici (na sklonu povrchu a jeho orientaci k světovým stranám);
- vlastnosti povrchu (vegetace, sněhová pokrývka, albedo povrchu, na tepelné vodivosti povrchu, na vlhkosti půdy);
- výměně tepla mezi půdou a vzduchem.

Zemský povrch bývá během dne teplejší a v noci naopak chladnější než vzduch, což je dáno tepelnou kapacitou. V noci zemský povrch chladne, a pokud není přítomný vítr, vzduch se u povrchu ohřívá a tvoří se teplotní inverze. Naopak, pokud je větrno, vzduch u povrchu se promíchává s výše ležící teplejší vrstvou a inverze nevzniká. Větrné proudění je příčinou rozdílných teplot dne a noci, než by bylo za bezvětřného počasí.

Rozdíl denní amplitudy se mění v závislosti na oblačnosti. Při jasném počasí je denní amplituda teploty vyšší. Přes den oblačnost filtruje a utlumuje sluneční záření. V noci má vrstva oblačnosti funkci izolační vrstvy, která brání ochlazování zemského povrchu. Oblaka svojí radiací předávají energii do vrstvy vzduchu níže pod sebou, do níž zároveň vyzařuje teplo od zemského povrchu (Dvořák, 2017).

Při dopadu sluneční energie na suchý povrch se tento povrch ohřívá. Sluneční energie se v tomto případě mění především na zjevné teplo. V krajině pokryté vegetací a zásobené vodou se podstatná část energie spotřebovává na výpar vody (obr. 4.2). U rostlin se voda vypařuje přes listy transpirací nebo se voda vypařuje přímo z půdy evaporací. Dohromady se tento proces nazývá evapotranspirace. Výpar vody váže sluneční energii a nadbytek energie se následně uvolňuje do chladnějších

míst. Při těchto procesech dochází k žádanému malému koloběhu vody (Pokorný, 2014).



Obr. 4.2: Rozdíl v distribuci sluneční energie na suchém povrchu a v krajině s dostatkem vody (Pokorný, Květ, 2004)


Další autoři Windahl, Beurs (2016) zmiňují, že přesnost stanovení teploty povrchů je nejvíce ovlivňována dvěma faktory. Stavem atmosféry a emisivitou povrchu. Stav atmosféry, neboli obsažené množství plynných složek a aerosolů v ní, ovlivňuje senzorem naměřenou energii vyzařovanou zemským povrchem. Emisivita povrchů udává množství odraženého záření od povrchů zpět do senzoru družice. Hodnota emisivity mimo ovlivněna zejména množstvím a stavem vegetace.

### 4.3 Elektromagnetické záření

Elektromagnetické záření, nazýváno také vlnění je nedílnou součástí našeho okolí. S rozvojem techniky, jsme schopni jednotlivé skupiny záření zkoumat. Mezi prvními, kterým se to podařilo, jsou Michael Faraday a James Clerk Maxwell. Maxwell v roce 1865 dokázal teoreticky popsat elektromagnetické záření pomocí matematicko-fyzikálních rovnic, známých jako Maxwellovy rovnice (Forbes, Mahon, 2019).

Elektromagnetické záření, podrobněji rozděleno na (obr. 4.3), kde nejkratší vlnové délky představuje gama záření (méně než 0,124 nm). Gama záření vzniká při jaderných dějích a vyskytuje se také v kosmickém prostoru. Následuje rentgenové záření, s vlnovou délkou v rozmezí 0,1 až 10 nm, používané ve zdravotnictví.

Nad vlnovou délkou 10 nm se ve škále nachází ultrafialové záření, a to až do délky 380 nm. Od hodnoty 380 až do 750 nm je ve spektru tzv. viditelné záření. Dále rozdělujeme infračervené záření, které obsahuje vlnové délky od 750 nm až do 1 mm. Infračervené záření se skládá z tepelného záření v hodnotách 3 000 nm až 1 mm, které je klíčové pro tuto práci. V rozsahu 1 mm až 10 cm kmitají mikrovlny a hodnoty od 10 cm až do délek tisíců kilometrů jsou vlnové délky rádiových vln (Dvořák, 2017).

<b>Elektromagnetické záření, vlnění</b>	<b>Vlnová délka <math>\lambda</math></b>	<b>Použití, výskyt</b>
Radiové vlny Dlouhé(DV) Střední (SV) Krátké (KV) Velmi krátké (VKV) Ultra krátké (UKV)	600 m - 2 000 m 50 m - 600 m 15 m - 50 m 1 m - 15 m 10 cm - 1 m	rozhlas , televize
Mikrovlny	1 mm - 10 cm	mobilní telefony, GPS, WiMax, Wifi, mikrovlnné trouby, radar
Tepelné záření	3 000 nm - 1 mm	
Infračervené záření	750 nm - 1 mm	dálkové ovladače, noční vidění
Viditelné záření	380 - 750 nm	viditelné světlo
 červené oranžové žluté zelené modré fialové	650 - 700 nm 590 - 640 nm 540 - 580 nm 500 - 530 nm 450 - 490 nm 400 - 440 nm	
Ultrafialové záření	10 - 380 nm	opalování, solária, sterilizace
Rentgenové záření	0,1 - 10 nm	lékařská diagnostika, průmyslová diagnostika
Záření gama	< 0,124 nm	ozařování nádorů, kosmické záření, jaderné reaktory

Obr. 4.3: Spektrum elektromagnetického záření (elektro.tzb-info.cz, 2022)

## 4.4 NDVI (Normalizovaný diferenční vegetační index)

NDVI index je používán k mapování vegetace a vyjadřuje vztah mezi odrazivostí v intervalu červené viditelné části spektra (600 – 700 nm; pásmo 5 u Landsat 8 a pásmo 4 u Landsat 5) a v blízké infračervené části spektra (~700 – 900 nm; pásmo 4 u Landsat 8 a pásmo 3 u Landsat 5). Zjednodušeně řečeno jde o způsob, jak vyjádřit vegetaci v číselné podobě. NDVI se řadí mezi poměrové indexy. Hodnoty se mohou pohybovat v intervalu od -1 až do +1. Hodnoty vyšší než nula indikují přítomnost vegetace a umožňují odlišit vegetaci od ostatních antropogenních objektů a od vodních ploch (Gashaw a kol., 2015). NDVI rezonuje především s obsahem zelené biomasy na ploše buňky pixelu. Příklady hodnot NDVI pro družici Landsat jsou znázorněny v tab. 4.1. Mapy NDVI mohou být vhodným nástrojem ke studiu zdravotního stavu vegetace nebo jako indikátor změn klimatu (Dobrovodný, Herber, Hynek, nedatováno). Pro výpočet NDVI je zkoumán chlorofyl pomocí vlnové délky červené barvy (R) jako invertovaná barva zelené. Chlorofyl obsažený v listech silně pohlcuje záření ve vlnových délkách červené a modré barvy, ale odráží vlnovou délku barvy zelené. Další faktor výpočtu je blízké infračervené pásmo (NIR), které má relativně vysokou odrazivost vegetace (Oršulák, Pacina, 2010).

Tab. 4.4: Příklady hodnot NDVI pro družici Landsat  
(gringis.com, 2015)

<b>Druh povrchu</b>	<b>Hodnota NDVI</b>
Hustá vegetace	0,700
Holá půda	0,025
Oblačnost	0,002
Sníh a led	-0,046
Voda	-0,257

## 4.5 Emisivita

Emisivita je bezrozměrná veličina a nabývá hodnot od 0 do 1. Vyjadřuje, jak efektivně je těleso schopno vyzařovat přijaté záření v porovnání s absolutně černým tělesem. Jedná se o poměr zářivého toku reálného tělesa a zářivého toku absolutně černého tělesa. Výsledkem je hodnota emisivity, která udává podíl přijatého záření, které těleso zpětně vyzařuje. Hodnota emisivity závisí na teplotě (vyšší teplota tělesa znamená vyšší emisivitu), vlnové délce záření, drsnosti a obsahu vody v tělese. K měření emisivity je využit dálkový průzkum Země a získává se z indexu NDVI. Určení emisivity je klíčové pro přesnost měření povrchové teploty (Lillesand a kol., 2004).

## 4.6 Absolutně černé těleso

Měření povrchových teplot souvisí s termínem absolutně černého tělesa. Pro lepší pochopení principu emisivity je podstatné znát princip absolutně černého tělesa. Absolutně černé těleso je pomyslný předmět, který přijme veškeré záření, které na jeho povrch dopadne. Neodráží žádné dopadající záření a má tzv. nulové albedo. Albedo je poměr mezi příchozím a odraženým slunečním zářením. Země má průměrnou hodnotu albeda 0,38. To znamená, že průměrně 38 % z příchozího záření je pohlceno zemským povrchem a 62 % záření je odraženo zpět do atmosféry, část z tohoto podílu zpět do vesmíru. Kdyby teplota absolutně černého tělesa byla absolutní nula tj. 0 K (-273,15 °C), pak by toto těleso pohltilo veškeré záření a zpětné vyzařování by bylo nulové, tj. emisivita by se rovnala 0. S rostoucí teplotou se vyzařovaná energie těles mění podle Planckova zákona (Allakhverdiev, 2016).

## 4.7 Sluneční záření

Sluneční záření představuje základní zdroj energie pro všechny procesy probíhající v atmosféře a na zemském povrchu. Je hlavním původcem energie pro biosféru na planetě Zemi. Příkladem je fotosyntéza, bez které by neexistoval život, jak ho v současnosti známe. Sluneční záření je elektromagnetické záření, jehož součástí je i tepelná energie, představuje širokou škálu vlnových délek

Pokud bychom rozdělili spektrum vlnových délek slunečního záření, tak podle Bednáře (2003), na:

- Ultrafialové záření s vlnovými délkami pod 400 nm. Před vstupem do atmosféry tvoří asi 7% energie celkového slunečního záření a je z velké části pohlceno atmosférickým ozonem.
- Viditelné sluneční záření s vlnovými délkami 400 až 750 nm, přibližně 48% energie slunečního záření. Tvoří spektrum okem viditelných barev od fialové po červenou.
- Infračervené záření s vlnovými délkami nad 750 nm. Tvoří 45% z celkové energie slunečního záření dopadajícího na Zemi.

Energie slunečního záření při vstupu do atmosféry se pohybuje kolem  $1,36 \text{ kW}\cdot\text{m}^{-2}$ , tj. pokud by stejná energie dopadala na zemský povrch, tak na každý čtvereční metr dopadá každou sekundu energie o velikosti 1,36 kJ (Pokorný, 2014). Tato energie je podstatná např. pro fotovoltaické panely družic na oběžné dráze Země. Vzhledem k oběhu planety Země kolem slunce, která neobíhá přesně po kruhové dráze, tak dopadající energie na zemský povrch není stálá. V lednu je Země ke Slunci blíže a v červenci dále. Výsledkem je kolísavá přijatá energie během jednoho oběhu Země kolem Slunce ( $0 \pm 3,5 \%$ ) (Dvořák, 2017).

Záření procházející atmosférou je z části pohlcováno a z části prochází až k zemskému povrchu přes atmosférická okna.

Sluneční záření, dopadající na povrchy naší planety, se podle Pokorného (2014) skládá z několika hlavních složek:

- Odražené záření, které záleží na druhu povrchu, jeho barvě a obsahu vody.
- Čistý tok záření, jako suma veškeré přicházející energie odečtená od sumy veškeré energie odcházející. V létě je tento tok pozitivní a v zimě negativní.
- Bilance dlouhovlnného záření, které se řídí Stefan-Boltzmannovým zákonem, podle kterého rozdíl o 1 °C mezi dvěma objekty vyvolá tok energie o velikosti 5 W.m<sup>-2</sup>.
- Zjevné teplo, které je možné při horkých dnech pozorovat lidským okem nad horizontem, cítit ho při přechodu z vegetačního prostředí na asfaltové plochy nebo měřit teploměrem. Sluneční energie ohřívá povrch a od kterého se dále ohřívá vzduch, který turbulentním prouděním stoupá vzhůru.
- Skupenské teplo (latentní) je energie nutná k přeměně skupenství látek. Např. výpar vody není doprovázen vzrůstající teplotou, protože se energie spotřebovává na změnu skupenství. Následkem tohoto procesu je přeměna vody v krajině na vodní páru. Kondenzaci vodní páry zpět na vodu se tato energie opět uvolňuje ve formě skupenského tepla.
- Tok tepla do půdy, kdy půda v létě se postupně ohřívá a tok tepla je kladný, naopak v zimě půda chladne a tok tepla je záporný.
- Fotosyntéza, jež tvoří velmi malou část celkové energetické bilance, je množství sluneční energie, vázané ve vznikající biomase. Opačným procesem je fotorespirace, kdy se energie uvolňuje rozkladem organických látek.
- Ohřev porostu, ve kterém závisí množství spotřebované energie na množství biomasy a obsahu vody v ní.

U povrchu nejsou hodnoty energie záření všude stejné. Plyny (např. vodní pára, oxid uhličitý) v atmosféře pohlcují záření určitých vlnových délek. Záření absorbují oběma směry, a to jak při vstupu do atmosféry, tak po následném odrazu od zemského povrchu zpět do vesmíru. Pohlcování záření, zejména v infračervených úsecích slunečního spektra, vede ke skleníkovému efektu. Ten vytvářejí skleníkové plyny, pohlcující velkou část příchozího slunečního záření. Následně takto získanou energii vyzařují do dlouhovlnné, infračervené a tepelné části spektra. S narůstajícím podílem skleníkových plynů v atmosféře, od průmyslové revoluce v 19. století, se jejich vlivem na pohlcování dlouhovlnného záření zesiloval skleníkový efekt, a tím se více ohřívala atmosféra v přízemní vrstvě. Mezi nejrozšířenější skleníkové plyny v naší atmosféře patří vodní pára, metan a oxid uhličitý (Dvořák, 2017).



## 4.8 Tepelné záření

Zemský povrch pohlcuje sluneční záření a zároveň povrch sám vyzařuje tepelné záření. Každé těleso o teplotě vyšší, než absolutní nula, vyzařuje do okolního prostoru energii ve formě elektromagnetického záření. Tepelné záření je generováno tepelným pohybem částic ve hmotě, ze kterých se skládá. Intenzita elektromagnetického záření je závislá na povrchové teplotě objektu, který toto záření vydává (Bednář, 2003). Tepelné záření je zřetelné jako tepelné infračervené záření o vlnových délkách 3 000 nm – 1 mm (Nováková, 2006).

Procesy tepelného záření vytvářejí tepelné rozdíly, které jsou zodpovědné za vznik tlakových útvarů, větrů, změn počasí, výparů vody, oblačnosti, srážek. Zároveň jsou základním faktorem pro vznik bouřek. Mají zásadní vliv pro cirkulaci chemických látek na Zemi, a to v atmosféře, hydrosféře, litosféře a v biosféře (Dvořák, 2017).

## 5 Suburbanizace

Suburbanizace je jedna z příčin, která mění teplotu aktivního povrchu. Její definicí je přesun rezidenčních, komerčních a dalších funkcí z jádrového města do suburbii (Ouředníček a kol., 2008). Další definice popisuje suburbanizaci jako růst města prostorovým rozpínáním do okolní venkovské krajiny (Sýkora, 2003). Tento proces představuje základní prostorovou expanzi měst, která se uplatňuje v průběhu jejich dosavadní existence a lze ji brát jako součást procesu vývoje urbanizace (Ouředníček, 2003).

Městské aglomerace se prostorově rozrůstají do okolní kulturní a venkovské krajiny, vznikají nové příměstské zástavby a satelitní městečka. Rostoucí tlak na další zábor půdy při rozvoji městských aglomerací, spojený s výstavbou nových průmyslových komplexů, nákupních a obchodních zón snižuje celkovou rozlohu půd. Tyto oblasti by mohly být použity pro zachování zemědělského, lesnického a rekreačního využívání krajiny. Zbývající zemědělská půda je obhospodařována v nevhodně velkých prostorových celcích, s neoddělenými plochami stálé zeleně (Šilhánková, 2009).

Suburbanizaci lze také chápat jako využití doposud nevyužitých území v extravilánu, poblíž větších měst, oddělených od městské aglomerace rozsáhlejšími neurbanizovanými prostory. Menší obce nebo město řeší rozvoj v územním plánování, jak s nevyužitou půdou dále naložit. Zda vybudovat novou rezidenční čtvrť nebo skladové či výrobní haly. Touto výstavbou se částečně znehodnocuje přírodní potenciál území a oblasti zůstávají v úzkém funkčním vztahu s původními sídelními jádry. Podle typu nové výstavby, dle územního plánu, se dále řeší nejvhodnější infrastruktura i architektura a dochází ke změně, která určuje strukturu obyvatelstva (Ouředníček, Bičík, Vágner, 2007). Nahodilá suburbanizace, z hlediska dlouhodobého časového horizontu, nevyužívá efektivně plný potenciál území a vytváří další náklady na vybavení a dopravní i technickou infrastrukturu (Šilhánková, 2009).

Především v okolí Prahy a dalších krajských měst přibývá příchozích obyvatel a obce nezvládají tento trend řešit ve smyslu občanského vybavenosti. Probíhá proces suburbanizace, jehož negativní důsledky jsou desítky let důležitým tématem v rozvinutých zemích západní Evropy a Severní Ameriky (Hnilička, 2005). V České republice se zatím suburbanizace v takovém měřítku nevyskytuje i díky státem plánované výstavbě sídlišť do roku 1989.

Jev suburbanizace lze podle funkce rozdělit na rezidenční suburbanizaci a komerční suburbanizaci. Rezidenční suburbanizace představuje výstavbu rodinných a bytových domů, určených k bydlení. Komerční suburbanizace se projevuje výstavbou komerčních zón. Tyto zóny vznikají potřebou transportu v blízkosti významných dopravních komunikací, představující sklady, obchodní centra či výrobní a logistické haly (Ouředníček a kol., 2008).

## **5.1 Důsledky suburbanizace**

Důsledky suburbanizace mohou být rozděleny do tří kategorií; environmentální, ekonomickou a sociální. Základním předpokladem je předcházet negativním důsledkům již od počátku a omezovat nežádoucí formy rozvoje osídlení pro využívání krajiny, neboť návratnost tohoto procesu je obtížná a vytváří další náklady. Pro zmírnění negativních důsledků suburbanizace je klíčová koordinace rozvoje v celé metropolitní oblasti jako v jednom celku (Sýkora, 2001). Sýkora (2001) dále uvádí: „Měli bychom se pokusit předcházet možným negativním důsledkům a hned od počátku omezovat nežádoucí formy rozvoje osídlení a využívání krajiny, které jsou z ekonomického, sociálního a environmentálního hlediska neudržitelnější.“ Často jsou hodnoceny pozitivně z ekonomického hlediska, a naopak mohou přinášet negativní sociální nebo environmentální důsledky (Sýkora, 2002).

### **5.1.1 Environmentální důsledky**

O hlavních environmentálních důsledcích suburbanizace se zmiňuje Evropská environmentální agentura, jako o rozsáhlém záboru volných ploch, změnách reliéfu, fragmentaci krajiny, ohrožení biodiverzity, úbytkem biotopů pro rostliny i živočichy a nevratná degradace zemědělské půdy (EEA, 2006). V urbanizovaných oblastech je vyšší teplota a menší výkyvy teplot, než v okolní krajině, vlivem energetické bilance aktivních povrchů a rozšiřujícím se vlivu klimatu města (Ouředníček a kol., 2008). Environmentální důsledky se dají shrnout jako činnosti, které vedou k dlouhodobým změnám ve využití krajiny a její funkce. Bydlení v suburbíích často vyžaduje vyšší nároky na dopravu do jádra města a tím rostou emise skleníkových plynů spolu s prašností. Krajina je zatížena fragmentací výstavbou nových dopravních tahů, pro zajištění funkční dopravní obslužnosti. Dálnice a okruhy jsou často oplocené a pro

živočichy tvoří nepropustnou zeď. V suburbii často chybí síť územních systémů ekologické stability, které tvoří vhodné podmínky pro vývoj rostlinných a živočišných společenstev. Vývoj využívání krajiny je orientován na potřeby bydlení, obchodu a služeb (Šilhánková, 2007). Dochází tím k degradaci diverzity krajinného pokryvu, vlivem zastavování a snižování retenční funkce krajiny (Romportl, Chuman, 2010).

### **5.1.2 Ekonomické důsledky**

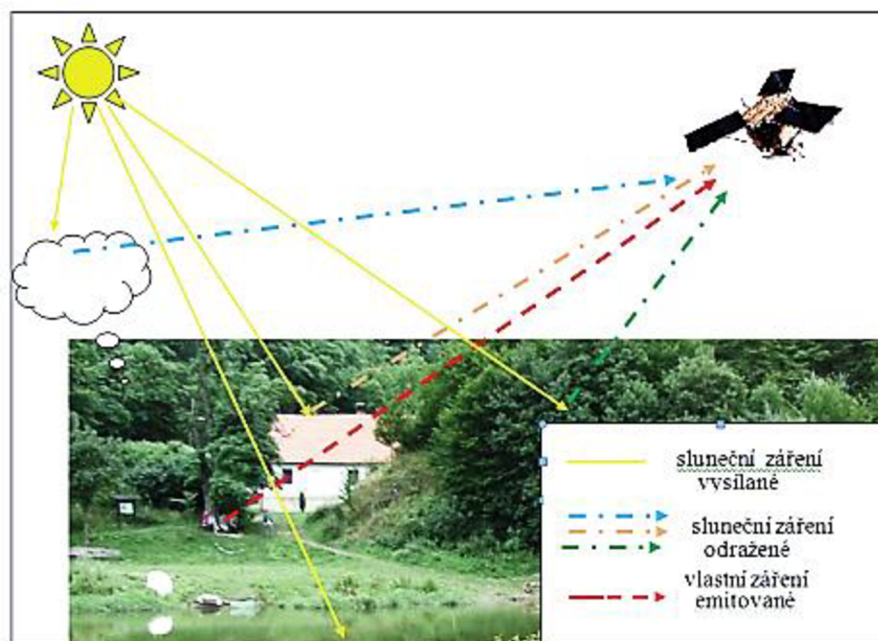
Mezi nejvýznamnější ekonomické důsledky se řadí rozpočet obcí. Finanční příjmy obcí pocházejí převážně z výnosů celostátních daní, které jsou rozdělovány mezi obce podílem odvozeného od počtu obyvatel (Plicnerová, 2016). Nově nastěhovaní obyvatelé do dotčených obcí se často nepřihlašují k trvalému pobytu a do rozpočtu obce tak přicházejí pouze příjmy za základní poplatky, např. za svoz odpadů (Macešková, Ouřeniček, 2008).

### **5.1.3 Sociální důsledky**

Sociální důsledky suburbanizace jsou nejčastěji spjaty s migrací obyvatelstva. Suburbanizace má za následek migraci obyvatel z centrální části městské aglomerace do suburbii. Podle Horské, Maura, Musila (2002) je pro průběh suburbanizace typická stagnace nebo mírný pokles obyvatel v jádru městské aglomerace a naopak rychlý, v některých případech až extrémní nárůst počtu obyvatel v příměstské zóně. Žijí zde obyvatelé jiným stylem života a většinou i s vyšším příjmem. Migrace těchto obyvatel na venkov není možná, vzhledem k lepším pracovním příležitostem ve městě, a tak obyvatelé migrují do venkovské krajiny v blízkosti města. Do zaměstnání často dojíždějí delší dobu, což dále umocňuje nižší sociální styky (Sýkora, 2001; Ouřeniček, 2013). Všechny tyto aspekty suburbanizace by při plánování obcí v okolí měst měly být zohledněny, v zájmu kvality života obyvatel, žijících v dotčených obcích.

## 6 Dálkový průzkum Země

Dálkový průzkum Země je definován jako metoda získávání informací o objektech a jevech na povrchu planety Země, bez potřeby bezprostředního kontaktu s pozorovanými objekty. Bezprostřední kontakt nahrazují senzory na oběžné dráze, schopné snímat záření na Zemi mimo viditelné světlo. Letecké a družicové snímky, pořízené fotografií, již nyní překonalo snímání zemského povrchu moderními metodami (Lillesand a kol., 1994).



Obr. 6.1: Zdroje elektromagnetického záření zaznamenávaného skenerem na družici (Svatoňová, Lauermann, 2010)

Během dopadu slunečního záření na těleso zemského povrchu se záření změní dle fyzikálních a chemických vlastností povrchu tělesa. Vlnové délky, které následně tělesa vyzařují atmosférou do senzoru, jsou podle těchto vlastností měněny na vlastní vyzařování. Pomocí tohoto principu je následně možné vyhodnocovat informace o snímaném povrchu.

Na zkoumání teplot povrchů se získávají informace především o radiční teplotě pomocí elektromagnetického záření (obr. 4). Kromě klasické kinetické teploty, každý objekt vyzařuje radiční neboli jasovou teplotu, jako vnější projev energie tělesa. Tyto tepelné vlastnosti objektů jsou v dálkovém průzkumu Země odvozovány od hodnot jejich vyzařování.

Podle Dobrovského (1998) pracuje celý systém snímání informací ze zemského povrchu na družici podle následujícího schématu. Nejdříve záření ze zemského povrchu dopadá na zrcadlo. Zrcadlo odráží záření na další části optického systému, které směřují na detektor. Takto snímané záření je fotograficky zaznamenáváno (Dobrovský, 1998).

Za hlavní výhody metod dálkového průzkumu Země je podle Plánka pokládána:

- horizontální spojitost - získání dat z většího území;
- vertikální spojitost - získání dat z různých druhů geosféry;
- dynamická spojitost - získání informací jedním technickým zařízením při opakovaní snímání stejného území v časových intervalech.

K uskutečnění dálkového průzkumu Země potřebujeme zdroj záření (krajina), energetický zdroj (Slunce), měřicí aparaturu (senzor) a zpracovatelský systém (software) (Svatoňová, Lauermann, 2010). Dálkový průzkum Země má velmi široké využití napříč obory a jeho vývoj hraje klíčovou roli při zkoumání planety Země.

## 6.1 Klasifikace krajinného pokryvu Corine Land Cover (CLC)

Corine Land Cover je databáze informací o změnách krajinného povrchu pro Evropu. CLC je součástí monitorování území Copernicus, což je program Evropské unie, který umožňuje bezplatně zkoumat data povrchu planety (Copernicus.eu, 2020). Data jsou dostupná na webových stránkách Land.Copernicus.eu. Mapování dat do databáze CLC bylo zahájeno v roce 1985.

Data CLC zpracovávají členské státy samostatně, v ČR je to Česká informační agentura životního prostředí CENIA a celý projekt koordinuje Evropská agentura životního prostředí. CLC se pravidelně aktualizuje a v současnosti jsou k dispozici pro roky 1990, 2000, 2006, 2012 a 2018. V mapových údajích krajinného pokryvu se jednotlivé úrovně dělí do tříd, kde každá třída má přidělen svůj trojmístný kód (tab. 6.1). První číslo kódu třídy představuje základní kategorii, druhé číslo podrobnější členění a třetí číslo nejpodrobnější třídu vrstvy (Land.Copernicus.eu, 2020). CLC obsahuje celkem 44 tříd krajinného pokryvu a využití území, na území ČR zaznamenáváme 29 těchto tříd (tab. 6.1) v úrovni 3 (Copernicus.eu, 2020). V datech CLC jsou zkoumány změny krajinného pokryvu a změny využití území mezi jednotlivými mapováními (Stein a kol., 2019).

Tab. 6.1: Rozdělení pozemků CLC po úrovních (Land.copernicus.eu2)

<b>Úroveň 1</b>	<b>Úroveň 2</b>	<b>Úroveň 3</b>	
<b>1. Urbanizované a technizované areály</b>	<b>1.1 Urbanizovaná sídelní zástavba</b>	1.1.1. Souvislá sídelní zástavba	
		1.1.2. Nesouvislá sídelní zástavba	
	<b>1.2. Průmyslové, obchodní a dopravní areály</b>	1.2.1. Průmyslové a obchodní areály	
		1.2.2. Silniční a železniční síť	
		1.2.3. Areály letišť	
		1.2.4. Areály přístavů	
	<b>1.3. Areály těžby, skládek a výstavby</b>	1.3.1. Areály těžby nerostných surovin	
		1.3.2. Areály skládek	
		1.3.3. Areály výstavby	
	<b>1.4. Areály umělé (nezemědělské zeleně)</b>	1.4.1. Areály sídelní zeleně	
		1.4.2. Areály sportu a zařízení volného času	
	<b>2. Zemědělské areály</b>	<b>2.1. Orná půda</b>	2.1.1. Nezavlažovaná orná půda
		<b>2.2. Trvalé kultury</b>	2.2.1. Vinice
			2.2.2. Ovocné sady
<b>2.3. Areály trav</b>		2.3.1. Louky	
<b>2.4. Heterogenní (různorodé) zemědělské areály</b>		2.4.1. Mozaika polí, luk a trvalých kultur	
		2.4.2. Zemědělské areály s podílem přirozené vegetace	
<b>3. Lesní a polopřírodní areály</b>		<b>3.1. Lesy</b>	3.1.1. Listnaté lesy
			3.1.2. Jehličnaté lesy
	3.1.3. Smíšené lesy		
	<b>3.2. Křoviny a travnaté areály</b>	3.2.1. Přirozené louky	
		3.2.2. Vřesoviště a slatiny	
	<b>3.3. Areály s řídkou vegetací</b>	3.3.1. Pláže, duny, písky	
		3.3.2. Skály	
		3.3.3. Spáleniště	
	<b>4. Zamokřené areály</b>	<b>4.1. Vnitrozemské močály</b>	4.1.1. Močály
4.1.2. Rašeliniště			
<b>5. Vody</b>	<b>5.1. Vnitrozemské vody</b>	5.1.1. Vodní toky	
		5.1.2. Vodní plochy	



## 7 Program Landsat

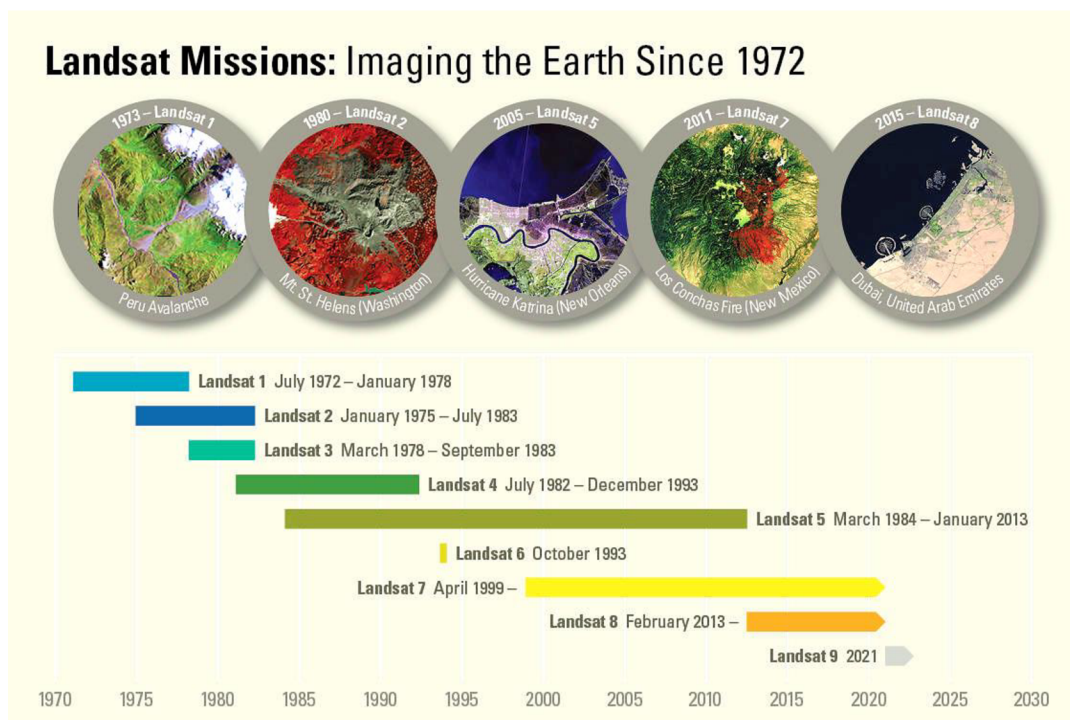
### 7.1 Historie a současnost

V polovině 60. let minulého století začala NASA (Národní úřad pro letectví a vesmír USA), společně s USGS (Úřad pro geologický průzkum země USA), vyvíjet první civilní monitorovací satelit Země. První z devíti družic Landsat byla vypuštěna 23. července 1972, s označením Earth Resources Technology Satellite - 1 (ERTS-1). Satelit měl plánovanou životnost jednoho roku, avšak jeho funkčnost trvala až do roku 1978 (USGS, 1997).

Vypuštění druhé Landsat družice, s názvem ERTS-B, se uskutečnilo dne 22. ledna 1975 a byla přejmenována na Landsat 2. Zároveň se změnil i název družice ERTS-1 na Landsat 1. Následující družice Landsat 3 (ERTS-C) byla vypuštěna 5. března 1978. Družice Landsat 2 fungovala do roku 1982, družice Landsat 3 do roku 1983 (USGS, 1997).

Druhá generace družic Landsat byla odstartována spuštěním družice Landsat 4 v roce 1982, která se stala prvním satelitem NASA s navigačním systémem GPS. Další družice Landsat 5, vypuštěna na oběžnou dráhu v roce 1984, byla původně navržena na 3 roky, ale její vyřazení z provozu se uskutečnilo až po 29 letech, v roce 2013.

Vypuštění první družice třetí generace, s názvem Landsat 6, mělo být uskutečněno v roce 1993 na raketě Titan II. Při průniku rakety na oběžnou dráhu došlo k havárii a družice byla zničena. Po havárii Landsatu 6, následoval Landsat 7 v roce 1999. Další satelit v řadě byl Landsat 8, který v roce 2013 dosáhl oběžné dráhy. Dne 27. září 2021 byl vypuštěn nejnovější Landsat 9. Družice Landsat 7, 8 a 9 obíhají po Zemském orbitu do současnosti (USGS.gov2). Odhadovaná doba životnosti Landsat 8 a 9 byla plánována 5 let, ale bývá zpravidla vyšší (USGS.gov, 2022). Kompletní časová osa družic Landsat je znázorněna níže (obr. 7.1).



Obr. 7.1: Časová osa družic Landsat (usgs.gov)

## 7.2 Sezory družic Landsat

Skener MSS (Multispectral Scanner System) byl použit jako první skener na družicích Landsat. Měl 4 pásma a snímal viditelné světlo a část infračerveného záření do 1 100 nm. Byl používán pro družice Landsat 1 - 5, v období let 1972 až 1992. Jedním snímkem zabral území o šířce 185 km, s velikostí jednoho pixelu 60 m (USGS.gov, 2018).

U družic Landsat 4 a 5 byl mimo skener MSS, který byl zachován z důvodu tvorby dlouhodobé sledovací řady se stejným zářením, použit i modernější TM (Thematic Mapper) skener. TM skener je v provozu od roku 1982, má 7 spektrálních pásem s rozlišením 30 m. Snímal záření o vlnových délkách až 12 500 nm a dodával data s výrazně lepším spektrálním a prostorovým rozlišením a se stejnou šířkou snímku 185 km, jako u MSS. TM skener dodával data nepřetržitě po dobu provozu družice Landsat 5 až do poloviny roku 2013 (earth.esa.int, 2022).

Landsat 6 nesl vylepšený skener ETM (Enhanced Thematic Mapper), který, jak už bylo zmíněno, se nepodařilo dostat na oběžnou dráhu. Landsat 7 měl na palubě oproti předchozí družici opět vylepšený ETM+ skener. Jeho výhoda spočívala v lepší přesnosti, v lepším prostorovém rozlišení, od 15 do 60 metrů a také v novém

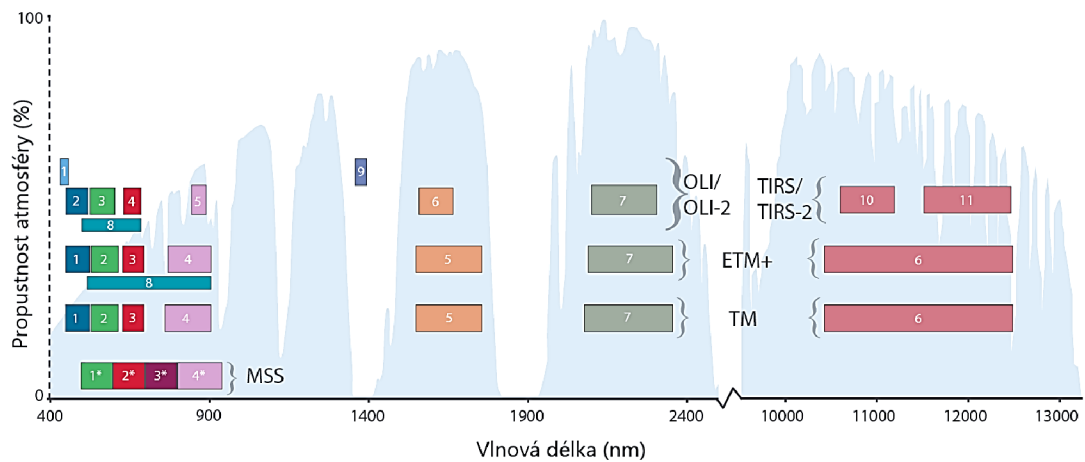
panchromatickém pásmu. Toto pásmo spojovalo jednotlivé multispektrální části červené, zelené a modré do jednoho snímku. V roce 2003 se na skeneru vyskytla závada, která zakrývá většinu snímku. Z celkové šířky 185 km je viditelný pouze pás ve středu, o přibližné velikosti 22 km (eos.com, 2022).

Landsat 8 obsahuje modernější skenery Operational Land Imager (OLI) a Thermal Infrared Sensor (TIRS). Snímají více vlnových délek než jejich předchůdci. Konkrétně je Landsat 8 rozšířen o tmavě modré pobřežní pásmo, aerosolové pásmo a také o krátkovlnné infračervené pásmo Cirrus, schopné detekovat vysokou tenkou oblačnost a odstranit její vliv na data. Pásmo Cirrus je také schopné detekovat kvalitu vody (arcdata.cz).

Landsat 9 obsahuje citlivější skenery OLI-2 a TIRS-2, snímající celkem 11 vlnových délek, stejně jako u Landsat 8. Skener OLI-2 je oproti Landsatu 8 bez technické změny. U skeneru TIRS-2 byla snížena hodnota rozptýleného světla, která snižovala kvalitu snímků.

Princip senzoru družic vychází z činnosti zaznamenávání snímků na oběžné dráze a jejich odesílání na pozemní stanice. V dnešní době se již řeší problém nedostatečné kapacity pozemních stanic, důsledkem nárůstu počtu družic na oběžné dráze a zlepšováním technologií, jako např. stále zvyšování kvality a počtu senzorů. Satelity obecně vytvoří více dat, než je počet pozemních stanic schopno přijímat. Evropská kosmická agentura v této problematice hledá budoucí řešení, které by mohlo spočívat např. ve zpracovávání dat na palubě družice (Esa.int, 2022).

Podrobnější znázornění jednotlivých pásem skenerů znázorňuje (obr. 7.2).



Obr. 7.2: Schéma snímání vlnových délek jednotlivými pásmy skenerů družic Landsat. V pozadí jsou znázorněny propustnosti atmosféry vlnových délek. Skener MSS (4 pásma) nesl Landsat 1, 2 a 3; skener TM (7 pásem) Landsat 4 a 5; skener ETM+ (8 pásem) Landsat 7 a skenery OLI/OLI-2 a TIRS/TIRS-2 (11 pásem) Landsat 8 a 9 ([landsat.gsfc.nasa.gov](http://landsat.gsfc.nasa.gov))

### 7.3 Oběžná dráha družic Landsat

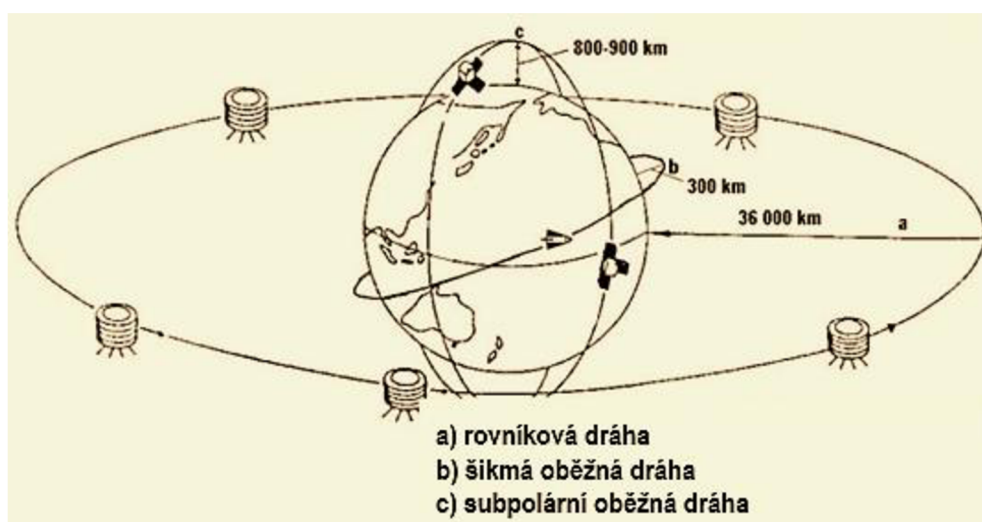
Družice Landsat opakují svoji oběžnou dráhu kolem Země synchronně se Sluncem po subpolární oběžné dráze. To znamená, že průlet nad určitým místem na Zemi se pravidelně opakuje v přibližně stejnou hodinu místního času.

Jak je znázorněno na (obr. 7.3), existují také družice s rovníkovou a šikmou dráhou letu. Mimo to, existují i geostacionární družice, které kopírují pohyb Země a tím jsou pro pozorovatele stále nad stejným místem.

Landsat 1 až 3 obíhal ve výšce 920 km s 18denním opakovaným cyklem (ke stejnému místu se dostaly za 18 dní) a satelity obletěly Zemi každých 103 minut, tj. vykonaly celkem 14 obletů denně (USGS, 1997).

Družice Landsat 4 a 5 obíhaly na dráze ve výšce 705 km. Snímaly zemský povrch mezi 81° severní a jižní zeměpisné délky. Po 16 dnech se družice vrátila do výchozí pozice a opakovala svůj cyklus. Při společném provozu Landsatu 4 a 5 (1984–1993) se zkrátila perioda oběhu kolem Země na 8 dnů (USGS.gov, 2022).

Družice Landsat 7 byla ve výšce 705 km, byla vybavena motorem pro korekci oběžné dráhy. Tím mohla sloužit jako kalibrační zdroj pro ostatní družice NASA. V kombinaci s družicí Landsat 5 obíhala přes dané území jednou za 16 dní a jeden oběh Země trval 99 minut. Stejně jako Landsat 7 jsou družice Landsat 8 a 9 ve výšce 705 km nad zemským povrchem. Mají shodnou dobu oběhu 16 dní a společně snímají stejné území jednou za 8 dní (lib.cas.cz, 2022).

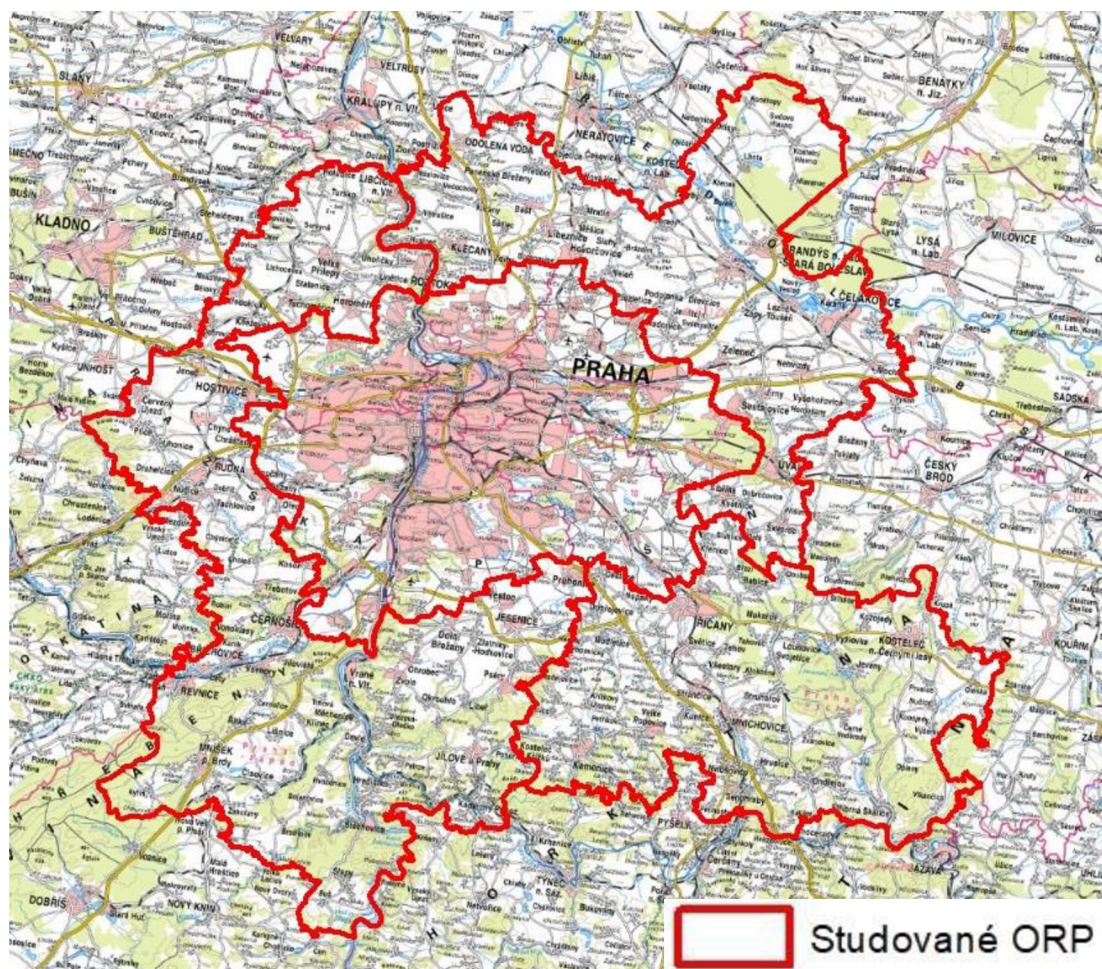


Obr. 7.3: Znáromění typů oběžných drah družic s přibližnými vzdálenostmi od zemského povrchu (Hoffmann, 2014)

## 8 Praktická část DP - Analýza změny povrchových teplot v Praze a její suburbii

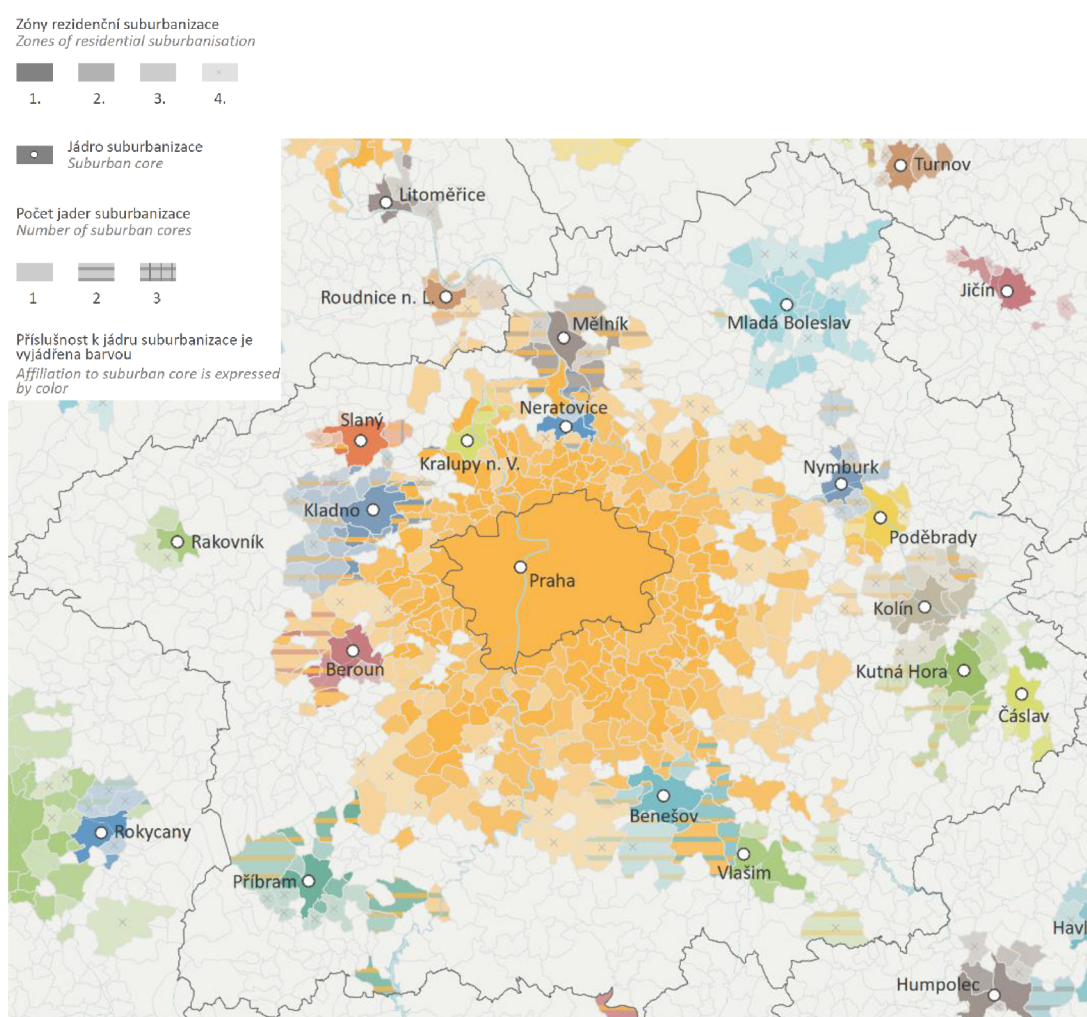
### 8.1 Definice zájmového území

Cílem praktické části diplomové práce je analyzovat změny prostorových polí povrchové teploty LST na území hlavního města Prahy a v její metropolitní oblasti od začátku 90. let do současnosti. Období 90. let je obecně vnímáno jako počátek suburbanizace v dnešním slova smyslu, které víceméně trvá do dnešní doby. Zkoumaná oblast v této práci byla určena pražskou suburbii, definována územím hl. m. Prahy a třemi sousedními obcemi s rozšířenou působností (ORP) v Brandýse nad Labem, Černošicích a Říčanech, znázorněnými na (obr. 8.1).



Obr. 8.1: Vymezení oblasti studovaných ORP (CUZK.cz)

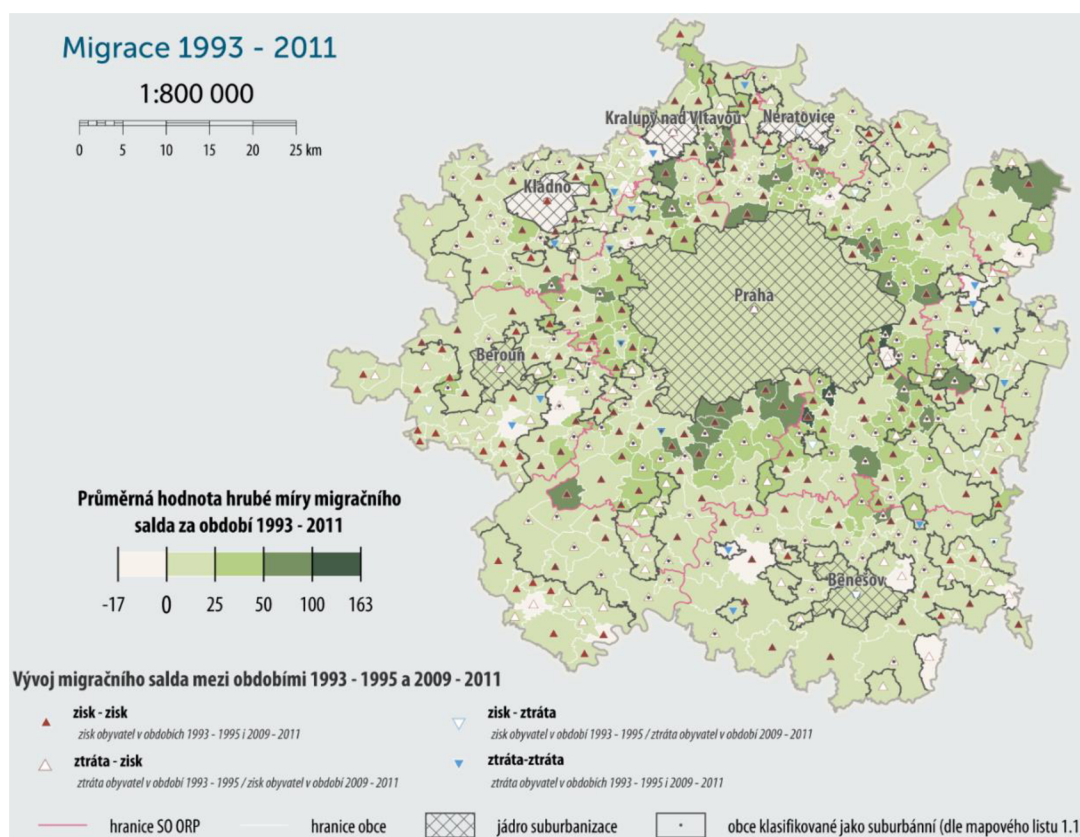
Vymezení studovaného území bylo provedeno na základě údajů o rezidenční suburbanizaci v České republice, dostupných na portálu Atlasobyvatelstva.cz (2020). (Obr. 8.2) zobrazuje míru suburbanizace v oblasti Prahy a jejího okolí. Je zřetelné, že největší rezidenční suburbanizace je ve zkoumané oblasti. Sytost barev je rozdělena podle zón rezidenční suburbanizace, kde platí, že čím sytější barva, tím je tato suburbánní zóna podobnější městskému prostředí, s ohledem na hustotu osídlení. Každá suburbie má svou příslušnou barvu podle toho, jaké městské aglomeraci náleží. Nejsytější odstín oranžové barvy nejlépe odpovídá území vybraných ORP.



Obr. 8.2: Rezidenční suburbanizace ve Středočeském kraji 2016 (Atlasobyvatelstva.cz, 2020)

Města s barevně vyznačenými oblastmi ukazují, jak od 90. let dochází k rychlému nárůstu zastavování volné půdy, se kterou souvisí migrace obyvatelstva ve formě suburbanizace.

(Obr. 8.3) znázorňuje příliv obyvatelstva do okolí hl. m. Prahy ve formě migrace mezi lety 1993 - 2011. Odstíny zelené, u většiny obcí v okolí Prahy, ukazují kladné migrační saldo za sledované období. Maximální přírůstek obyvatelstva činí 163 % v tmavě zelených obcích. Ty se nachází především na jihu (např. Dolní Břežany, Zvole, Vestec, Jesenice, Herink, Nupaky) a na severu (např. Zdiby, Holubice, Postřižín, Jenštejn, Svěmyslice) od Prahy. Lze předpokládat, že podobný trend pokračoval během poslední dekády, což dokládá např. zpráva Územně analytických podkladů hl. m. Prahy z roku 2012, kde je suburbanizace uvedena jako stávající a pravděpodobně v budoucnu rizikový, negativní vliv (IPR Praha, 2012). O suburbanizaci se hovoří i ve Strategickém rámci Česká republika 2030, kde je označena jako budoucí ohrožení pro stabilitu příměstské krajiny (CR2030.cz, 2017).



Obr. 8.3: Migrace obyvatel v okolí hl. m. Prahy v letech 1993–2011 (Atlasobyvatelstva.cz, 2020)



## 9 Metodika a použitá data

Pro analýzu prostorového rozložení povrchové teploty LST v metropolitní oblasti Prahy byly využity satelitní snímky z družic Landsat 5 a Landsat 8. Snímky ze všech družic Landsat, jsou k dispozici zdarma ke stažení na internetových stránkách v aplikaci EarthExplorer.org, provozované Geologickou službou Spojených států (USGS).

Pro analýzu souvislostí mezi změnami prostorového rozložení povrchové LST teploty v čase a vývojem suburbanizace v zájmovém území byla využita databáze o krajinné pokryvu Corine Land Cover z webových stránek Land.Copernicus.eu. V poslední části výsledků byl hodnocen vztah průměrné teploty lesních porostů, jako představitel pozemků s největší mírou vegetace vzhledem k ostatním plochám, vyjádřený do rastrové mapy.

### 9.1 Výběr satelitních snímků

Výpočet povrchové teploty LST z družicových snímků je velmi náchylný na aktuální počasí (analýza vyžaduje snímky bez oblačnosti) a danou výšku slunce nad obzorem. Proto bylo pro analýzu vývoje rozložení povrchové teploty LST v čase nutno vybrat snímky Landsat na základě následujících kritérií:

- a) Určení vhodných roků pro analýzu - mezi snímky musel být dostatečný časový odstup, aby bylo možné zkoumat změny v prostorovém rozložení povrchové teploty LST.

Zároveň vybraný rok musel přibližně odpovídat aktualizacím databáze CLC (1990, 2012, 2018) pro analýzu vlivu změny krajinného pokryvu na prostorové rozložení povrchové teploty LST.

Za vhodná období pro zkoumání těchto změn bylo vybráno období:

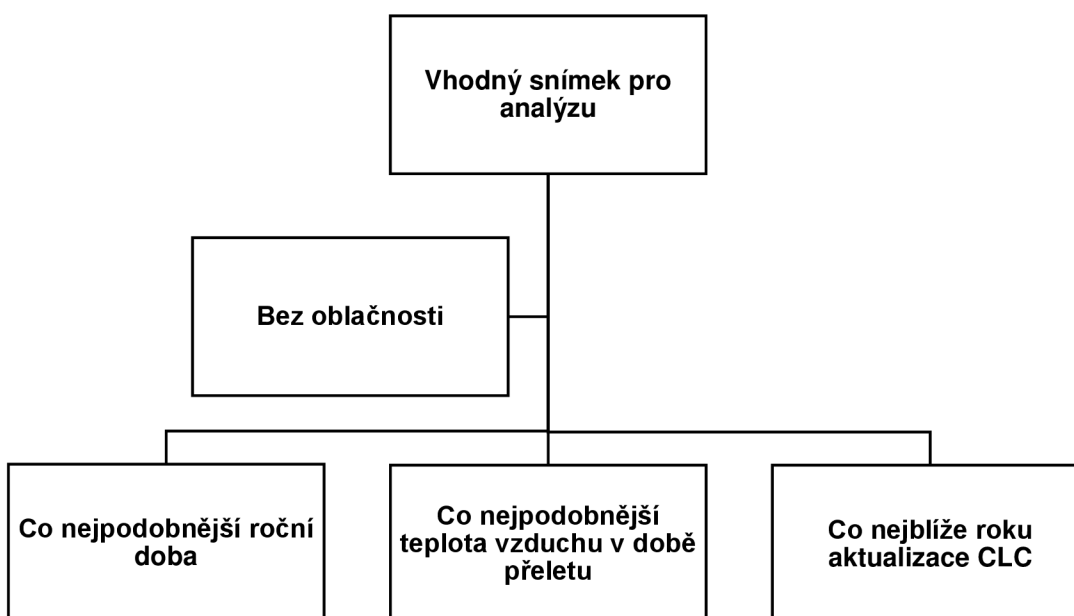
- počátek moderní suburbanizace na začátku 90. let;
- rok v meziobdobí;
- rok odpovídající současné situaci.

b) Podobnost vybraných dnů z hlediska:

- míry pokrytí oblohy oblačností - pro analýzu povrchových teplot pomocí družicových snímků bylo podstatné vybrat bezoblačné dny, protože i malá oblačnost znehodnocuje snímky pro další analýzy;
- teploty vzduchu - z důvodu přeletů družic Landsat nad ČR v ranních hodinách byly analyzované snímky vybrány na základě podobnosti ranních a průměrných denních teplot.

c) Časová blízkost jednotlivých snímků z hlediska ročního období pro zajištění podobné výšky a doby slunce nad obzorem v čase pořízení snímku.

Kritéria výběru jsou znázorněna do schématu (obr. 9.1).



Obr. 9.1: Schéma způsobu výběru snímku

Vzhledem k frekvenci přeletů družic Landsat nad Prahou, jednou za 16 dní, byly k dispozici maximálně dva snímky za každý měsíc (Usgs.gov, 2020a). Na základě výše uvedených podmínek byly nakonec vybrány tři snímky z družic Landsat 5 a 8 v následujících termínech:

- 1.7.1992, 09:14:09 (Landsat 5);
- 3.7.2010, 09:41:32 (Landsat 5);
- 20.6.2017, 09:50:43 (Landsat 8).

Základní parametry snímků jsou shrnuty (tab. 9.1), kde T je teplota a OB oblačnost. Pro vytipování vhodných dnů byla použita data, z Meteorologické stanice ČHMÚ v Praze Ruzyni, která mi poskytl vedoucí práce.

Tab. 9.1: Teploty vybraných dnů při snímání suburbie Prahy družicemi Landsat 5 a 8

<b>Praha Ruzyně</b>						
<i>Datum</i>	<i>Čas</i>	T v 7:00	T průměr	T max.	T min.	OB v 7:00
<b>01.07.1992</b>	<b>9:14</b>	<b>19,5 °C</b>	<b>23,1 °C</b>	<b>29,7 °C</b>	<b>11,9 °C</b>	<b>0%</b>
<b>03.07.2010</b>	<b>9:41</b>	<b>21,4 °C</b>	<b>23,3 °C</b>	<b>30,0 °C</b>	<b>15,6 °C</b>	<b>0%</b>
<b>20.06.2017</b>	<b>9:50</b>	<b>21,5 °C</b>	<b>24,5 °C</b>	<b>31,4 °C</b>	<b>13,2 °C</b>	<b>10%</b>

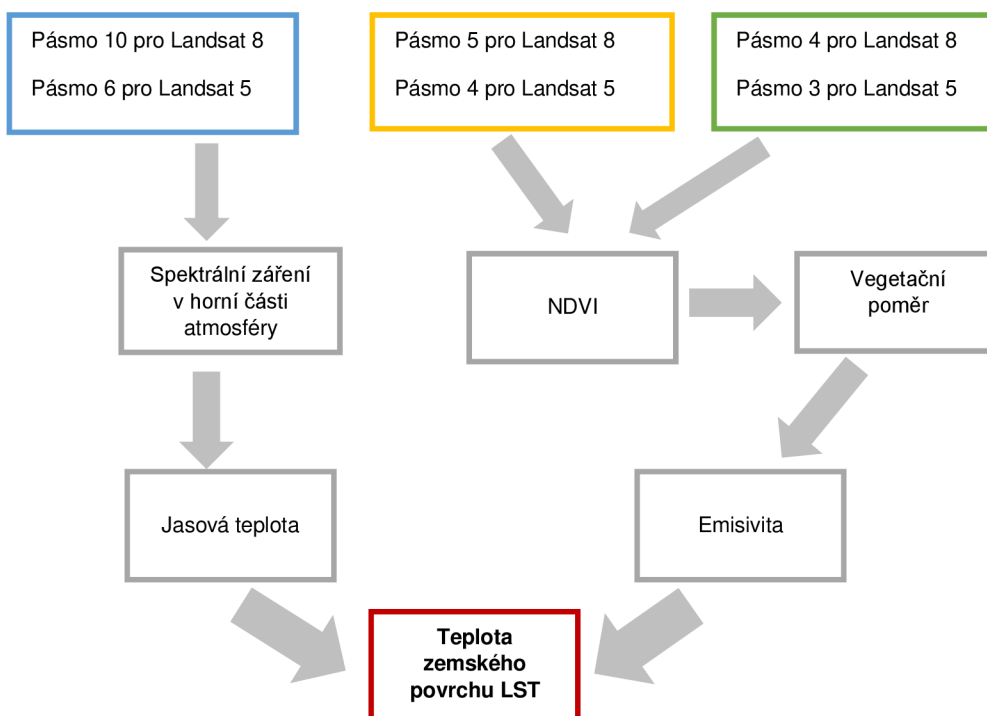
## 9.2 Výpočet povrchové teploty ze snímků družice Landsat 5 a Landsat 8

Vybrané snímky byly použity pro výpočet prostorového pole povrchové teploty Prahy a okolí podle postupu popsání v publikaci Avdan, Jovanovska (2016).

Výpočet byl realizován nástrojem Raster Calculator v programu ArcMap podle návodu Avdana a Jovanovské (2016) a Sobrino, Jiménez-Munoz, Paoliny (2004). Velikost pixelu buňky v rastru u Landsat 5 a 8 shodně 30 m na 30 m.

Všechna data, která byla zahrnuta do výpočtu, pocházejí z metadatového souboru MTL, který je součástí archivu při stažení dat z aplikace Earthexplorer.usgs.gov. Zkratka souboru MTL je zkratka pro Metadata Landsat, které obsahují vlastnosti snímku, jako jsou čas snímání, ID scény, formát obrázku, koordinační systém, souřadnice rohů snímku, rozlišení snímku, množství oblačnosti, konstanty spektrální záře odrazu jednotlivých pásem snímků a jiné údaje, které je nutné znát pro další analyzování snímků.

Výpočet povrchové teploty LST byl realizován podle schématu na (obr. 9.2), který je podrobněji popsán v bodech níže.



Obr. 9.2: Znárodnění postupu výpočtu LST (přeloženo podle Avdan, Jovanovska, 2016)

### 9.2.1 Výpočet spektrálního záření v horní části atmosféry (Top of atmosphere spectral radiance – $L_{TOA}$ )

V prvním kroku výpočtu LST je třeba družicí zaznamenané hodnoty, tzv. DN hodnoty (DN – digital number), převést na hodnoty spektrální hustoty záře v horní hranici atmosféry  $L_{TOA}$ . DN hodnoty jsou bezrozměrné hodnoty ve formě surových termálních dat. Tyto hodnoty, které jsou přiřazovány každému pixelu na základě zjištěné velikosti dopadajícího záření, jsou zatíženy chybami vzniklými v průběhu měření. Pro odstranění těchto chyb a zpětné převedení na radiometrické veličiny se používají radiometrické kalibrace, atmosférické korekce a geometrické korekce (Hofrajtr, 2017). K převodu DN hodnoty na hodnoty  $L_{TOA}$  byla využita radiometrická korekce spektrálního záření v horní vrstvě atmosféry.  $L_{TOA}$  představuje veličinu s fyzikální jednotku  $W \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot \mu m^{-1}$  a vypočítá se následujícím vzorcem (9.1):

$$L_{TOA} = ML \cdot DN + AL - Oi \quad (9.1)$$

kde DN, jsou surové hodnoty ze senzoru družice odpovídající termálnímu pásmu (10 u Landsat 8 a 6 u Landsat 5),  $M_L$  a  $A_L$  odpovídají multiplikativní resp. aditivní konstantě pro radiometrickou kalibraci. Obě konstanty jsou specifické pro daný senzor a danou vlnovou délku a najdeme je v metadatech pod označením RADIANCE\_MULT\_BAND a RADIANCE\_ADD\_BAND.  $O_i$  je korekční hodnota 0,29 používaná pouze u Landsat 8 pro pásmo 10 z důvodu kalibrace chyby vychýlení (Barsi a kol., 2014).

### 9.2.2 Převod spektrální záře v horní hranici atmosféry na jasovou teplotu (Brightness temperature - BT)

Ve druhém kroku je možné z hodnoty  $L_{TOA}$  stanovit jasovou teplotu BT. Jasová teplota odpovídá teplotě černého tělesa, které by emitovalo stejné množství záření jako cílené těleso ve specifikovaném spektrálním pásmu (Spampinato a kol., 2011), jinými slovy by odpovídala teplotě povrchů, pokud by splňovali definici absolutně černého tělesa. Pro výpočet jasové teploty BT je třeba hodnoty  $L_{TOA}$  ošetřit o vliv atmosféry pomocí kalibračních tepelných konstant. Tyto hodnoty jsou opět specifické pro daný senzor a danou vlnovou délku a jsou uvedeny v souboru MTL. Na tento výpočet byla použita rovnice (9.2)

$$BT = \left[ \frac{K_2}{\ln\left(\frac{K_1}{L}\right) + 1} \right] - 273,15 \quad (9.2)$$

kde  $K_1$  je kalibrační konstanta specifická pro dané pásmo družice, označené v metadatech jako  $K1\_CONSTANT\_BAND$  a  $K_2$  kalibrační konstanta  $K_2$  opět z metadat označená  $K2\_CONSTANT\_BAND$ . Hodnota  $L$  označuje předchozí krok výpočtu spektrálního záření horní části atmosféry TOA ( $L$ ). Pro získání finální hodnoty povrchové teploty v jednotkách stupňů Celsia (v dalších krocích) byla k teplotě jasu přičtena absolutní nula.

### 9.2.3 Výpočet NDVI (Normalized Difference Vegetation Index)

Pro přesné určení povrchové teploty z BT je nutné znát emisivitu jednotlivých povrchů. Tu lze zjistit na základě míry zastoupení vegetace přes výpočet indexu NDVI.

K výpočtu povrchové teploty LST z jasové teploty potřebujeme znát emisivitu. Emisivitu určíme na základě podílu vegetace a podíl vegetace se vypočte přes index NDVI. NDVI umožňuje odlišit vegetaci od ostatních antropogenních objektů a od vodních ploch (Gashaw a kol., 2015). Pro výpočet NDVI byla použita následující rovnice (9.3):

$$NDVI = \frac{NIR-R}{NIR+R} \quad (9.3)$$

kde NIR představuje blízké infračervené záření, což je konkrétně u Landsat 5 pásmo 4 a u Landsat 8 pásmo 5. R je červené záření, zaznamenávané u Landsat 5 jako pásmo 3 a u Landsat 8 jako pásmo 4.

#### 9.2.4 Výpočet vegetačního poměru $P_v$

Vegetační poměr  $P_v$  je definován jako poměr vegetačního krytu ve svislém směru obsahující biomasu na celkové vegetační ploše (Deardorff, 1978). Výpočet byl proveden podle následujícího vzorce:

$$P_v = \left( \frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right)^2 \quad (9.4)$$

kde NDVI je rastr NDVI hodnot vypočítaných v předchozím kroku,  $NDVI_{min}$  minimální hodnota rastru a  $NDVI_{max}$  maximální hodnota rastru NDVI. Hodnoty  $NDVI_{min}$  a  $NDVI_{max}$  závisí také na atmosférických podmínkách (Avdan, Jovanovska, 2016).

#### 9.2.5 Výpočet emisivity $\varepsilon$

Z vegetačního poměru  $P_v$  je možné určit celkovou emisivitu povrchu podle vzorce:

$$\varepsilon = 0,004 \cdot P_v + 0,986 \quad (9.5)$$

kde hodnota 0,004 je koeficient emisivity, který vychází z rovnice emisivity holé půdy, emisivity vegetace a z tvarového faktoru. Hodnota je vegetační poměr  $P_v$  a hodnota 0,986 představuje vhodný koeficient vegetační emisivity ve smíšené krajině,

vypočtený opět z emisivit holé půdy a vegetace, kombinovaný s tvarovým faktorem F (Sobrino, Jiménez-Munoz, Paoliny, 2004; Hofrajtr, 2017).

### 9.2.6 Výpočet teploty zemského povrchu LST (Land Surface Temperature)

Poslední krok je výpočet termodynamické teploty zemského povrchu (LST). Tento vzorec vychází z upraveného Planckova vyzařovacího zákona. Výsledkem je rastrová mapa s povrchovými teplotami daných dnů.

$$LST = \frac{BT}{1 + \frac{0,0015 \cdot BT}{1,4388} \cdot \ln(\epsilon)} \quad (9.6)$$

kde BT je jasová teplota,  $\epsilon$  emisivita zemského povrchu, hodnota 0,00115 odpovídá vlnové délce emitovaného záření a 1,4388 vyjadřuje konstantu vypočtenou z Planckova a Boltzmannova zákona (Avdan, Jovanovska, 2016; Hofrajtr, 2017). Výsledek výpočtu teploty zemského povrchu LST je ve °C.

### 9.3 Metodika změny povrchové teploty krajinného pokryvu podle CLC

Pro porovnání souvislostí mezi změnami teplot povrchu a změnami krajinného pokryvu Corine Land Cover byly výsledné hodnoty povrchové teploty LST u tří analyzovaných snímků přiřazeny k jednotlivým třídám krajinného pokryvu časově odpovídajících aktualizací produktu CLC. Pro tento účel byla použita statistická funkce Zonal Statistic as Table v programu ArcMap. Tím vznikl rozdíl teplot pro jednotlivé roky. Zkoumané hodnoty u všech druhů krajinných pokryvů v rámci Prahy a ORP Brandýs nad Labem, Černošice, Říčany v této statistice byly:

- výměra, počet buněk;
- rozsah hodnot teplot;
- aritmetický průměr a vážený průměr teplot;
- medián teplot;
- maximální a minimální hodnota teplot v daném krajinném pokryvu.

Tato data byla následně exportována do Excelového souboru Microsoft Office, kde byly provedeny další analýzy:

- změna krajinného pokryvu mezi jednotlivými roky;
- vážený a aritmetický průměr teploty jednotlivých úrovní krajinných pokryvů;
- celkový vážený, aritmetický průměr, medián, vážený průměr mediánu;
- rozdíl průměrných hodnot jednotlivých krajinných pokryvů mezi lety.



## 9.4 Metodika relativní intenzity povrchové teploty ploch vůči lesním plochám

Ke znázornění intenzity oteplování městských ploch ve studované oblasti pražské suburbie byl vypočten poměr teplot pro každý zkoumaný rok pomocí ploch s největším podílem vegetace. Pro účely této analýzy byly zvoleny jako ukazatel plochy lesů z databáze CLC, konkrétně třída pozemků 3.1 Lesy, které představují nejpřirozenější přírodní prostředí ve studované oblasti.

Tento poměr byl vypočten z průměrné teploty lesů podle následujícího vzorce:

$$\text{Poměr intenzity tepla vzhledem lesům} = \frac{LST - \overline{\text{OT}}_{les}}{\overline{\text{OT}}_{les}}$$

Kde LST představuje rastr teplot povrchů a  $\overline{\text{OT}}_{les}$  průměrnou teplotou buněk rastru povrchů kategorie 3.1 podle databáze CLC.

Z tohoto výpočtu byly následně vyřiznuty pozemky lesů, pro které by byl tento výpočet irelevantní.

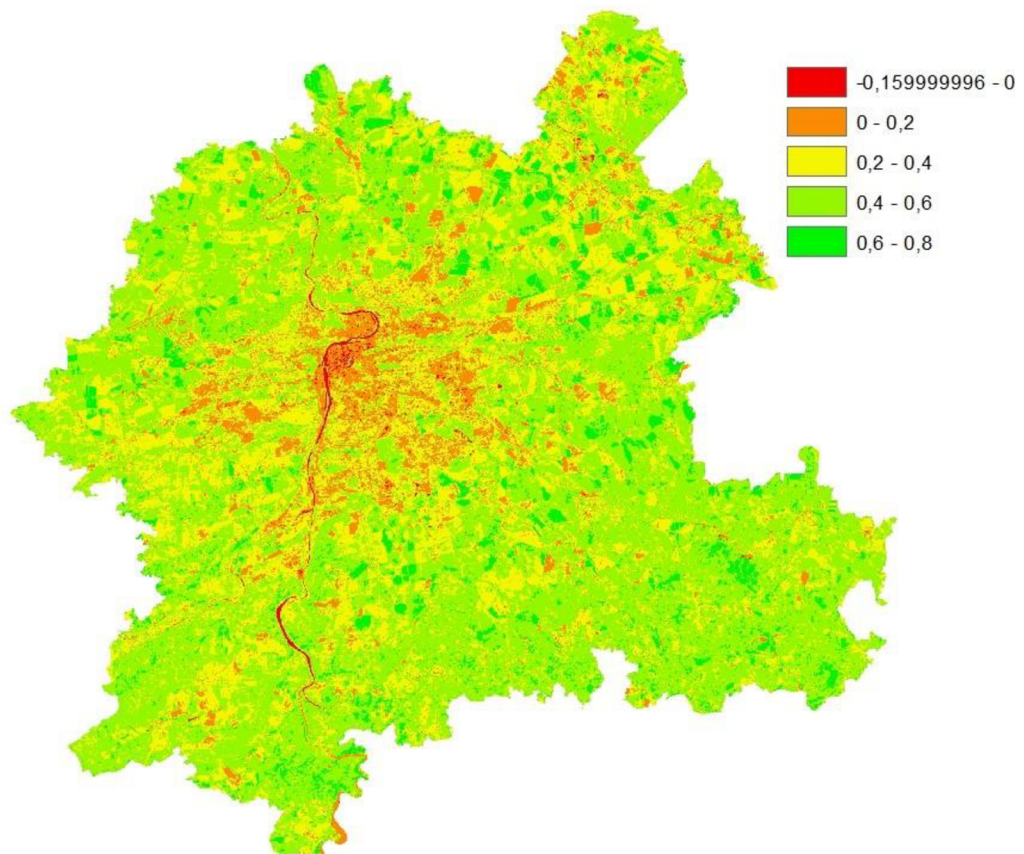
## 10 Výsledky

Hlavní výsledky této diplomové práce zahrnují porovnání prostorového rozložení povrchové teploty LST aglomerace Prahy, ve třech obdobích vybraných dle fáze procesu suburbanizace. Kapitola je rozdělena do tří částí, a to z důvodu lepší interpretace výsledků:

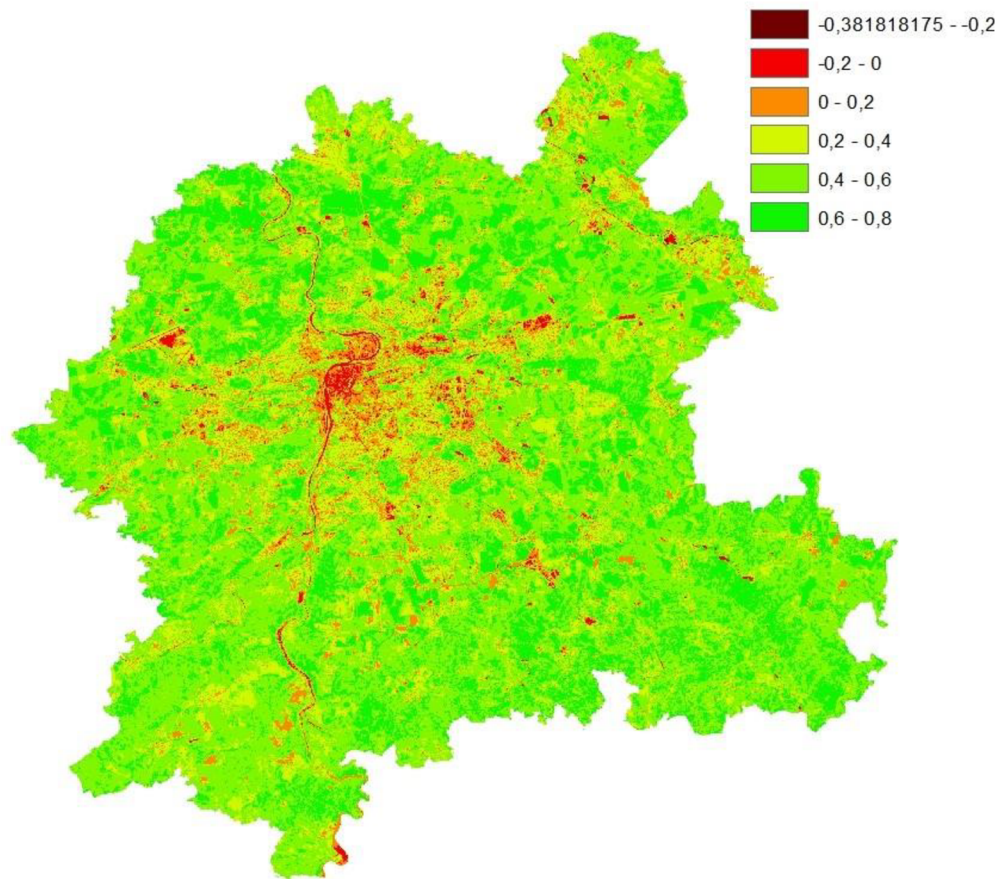
- Výsledky teplot povrchů v Praze a okolí v letech měření
- Výsledky vazby změn teplot na výměře plochy dle CLC v letech měření
- Vývoj rozdílu povrchové teploty urbanizovaných ploch vůči lesním pozemkům v Praze a okolí

### 10.1 Výsledky změny teplot povrchů v Praze a okolí

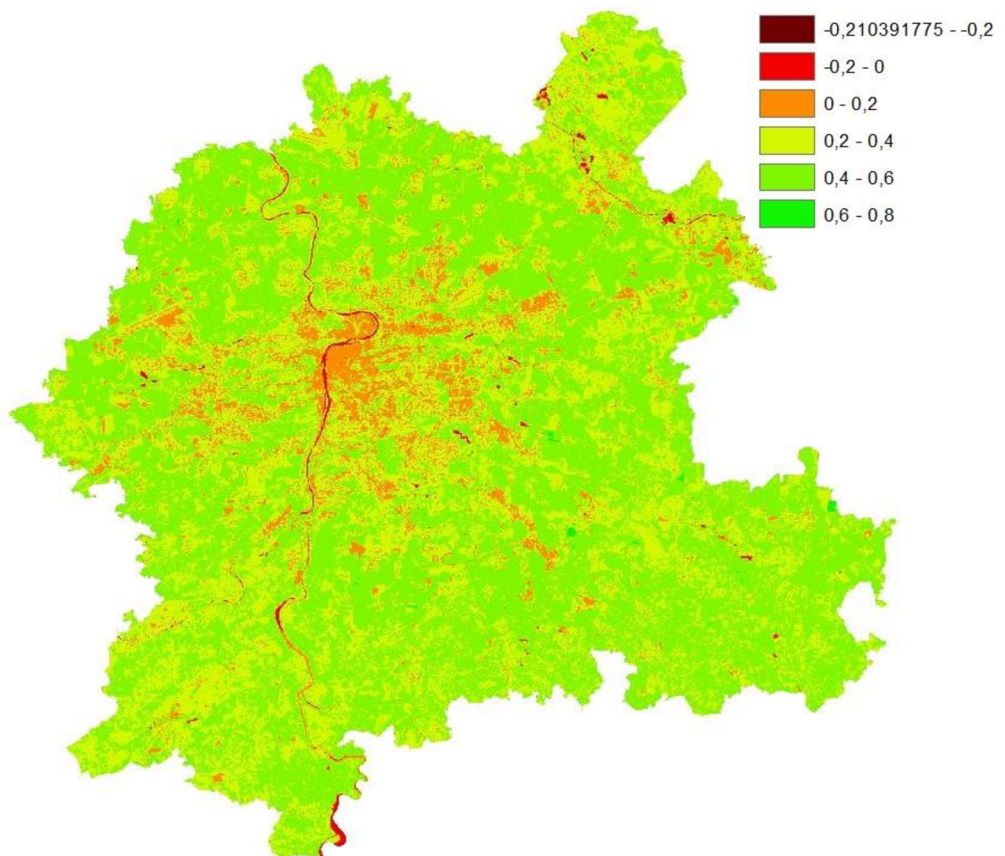
Pro výpočet druhů povrchů LST je zásadní výpočet hodnot NDVI. Hodnoty NDVI jsou znázorněny do (obr. 10.1, 10.2, 10.3) níže. Rozdílný výsledek v roce 1992 oproti letům 2010 a 2017 může to být následek rozdílnou hodnotou snímku v blízkém infračervené pásnu (NIR).



Obr 10.1: Hodnoty NDVI pro zkoumaný rok 1992 pořízených družicí Landsat 5

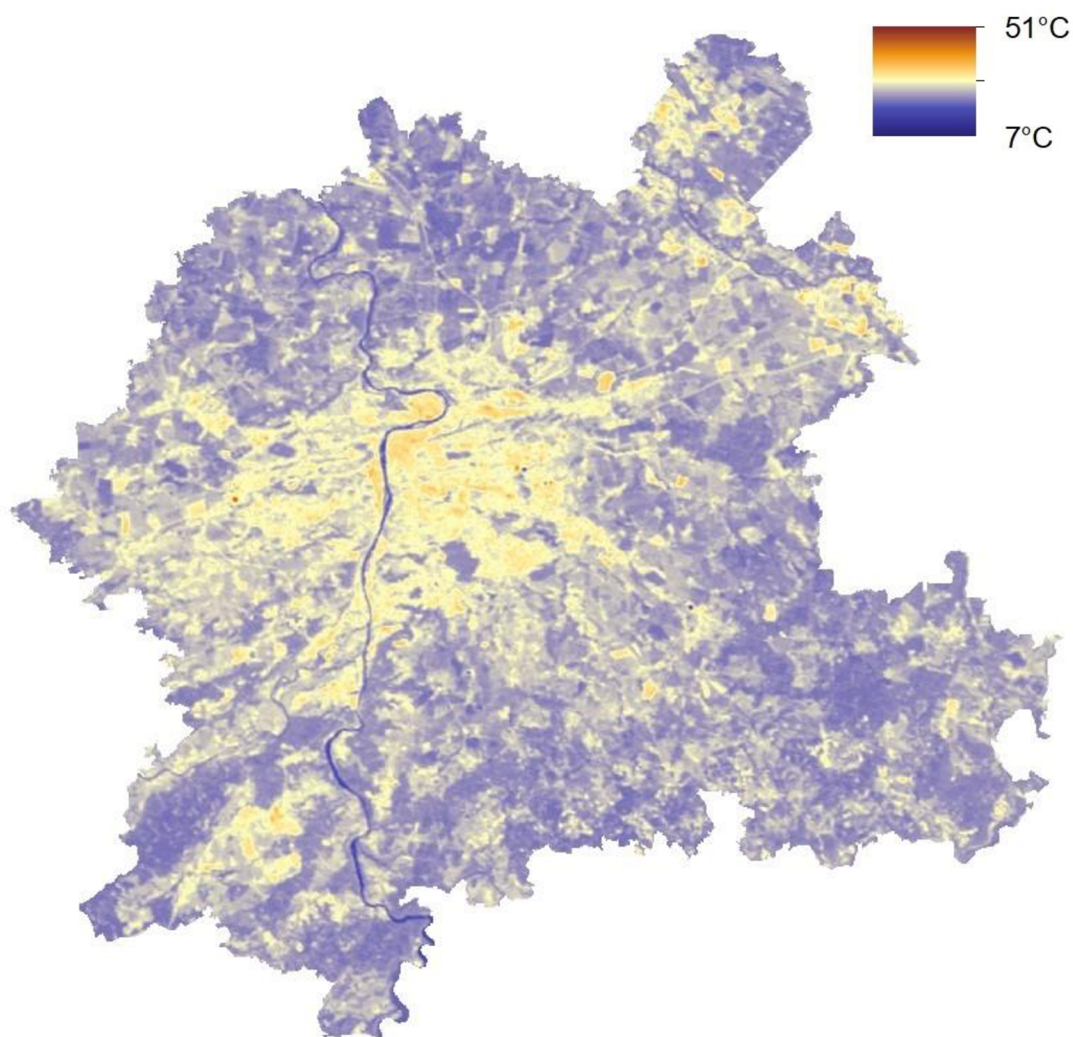


Obr 10.2: Hodnoty NDVI pro zkoumaný rok 2010 pořízených družicí Landsat 8

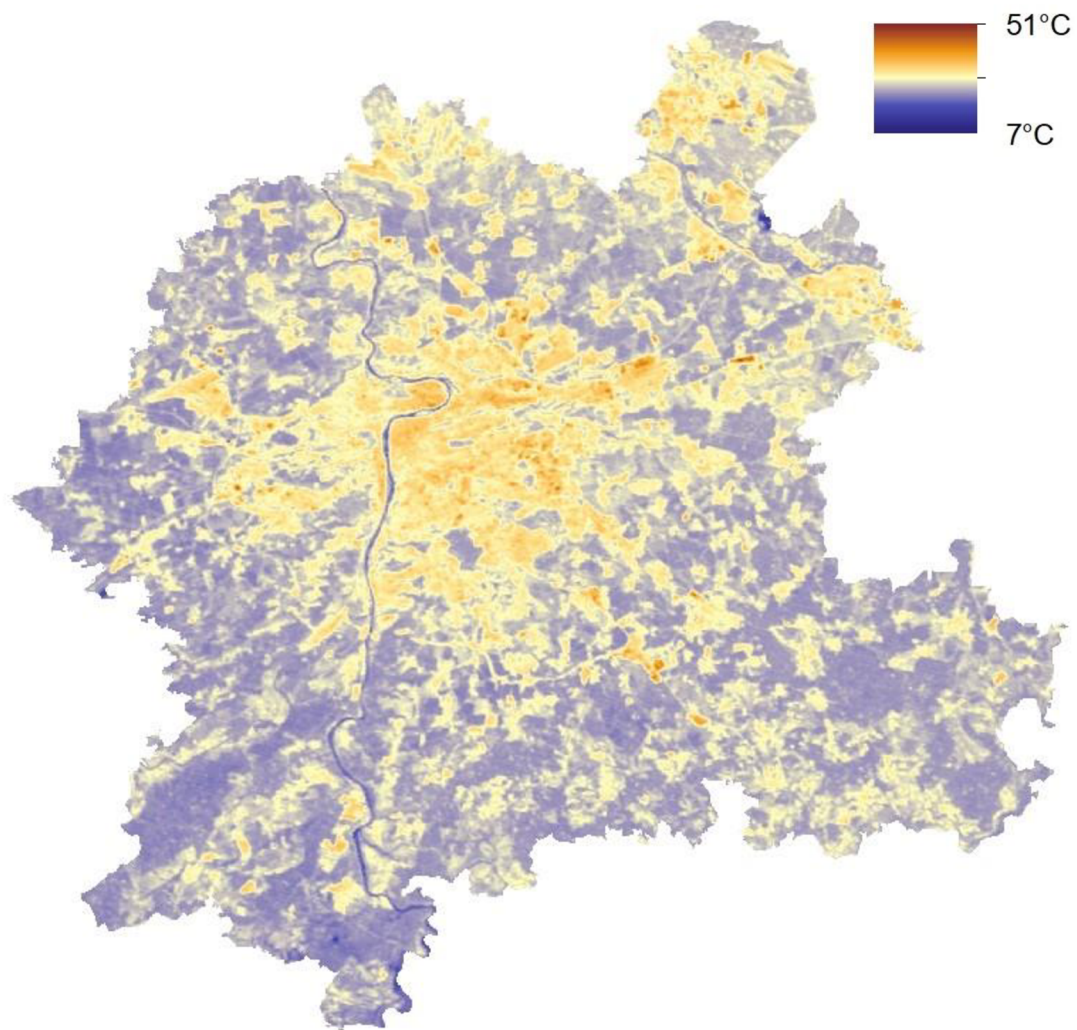


Obr 10.3: Hodnoty NDVI pro zkoumaný rok 2017 pořízených družicí Landsat 8

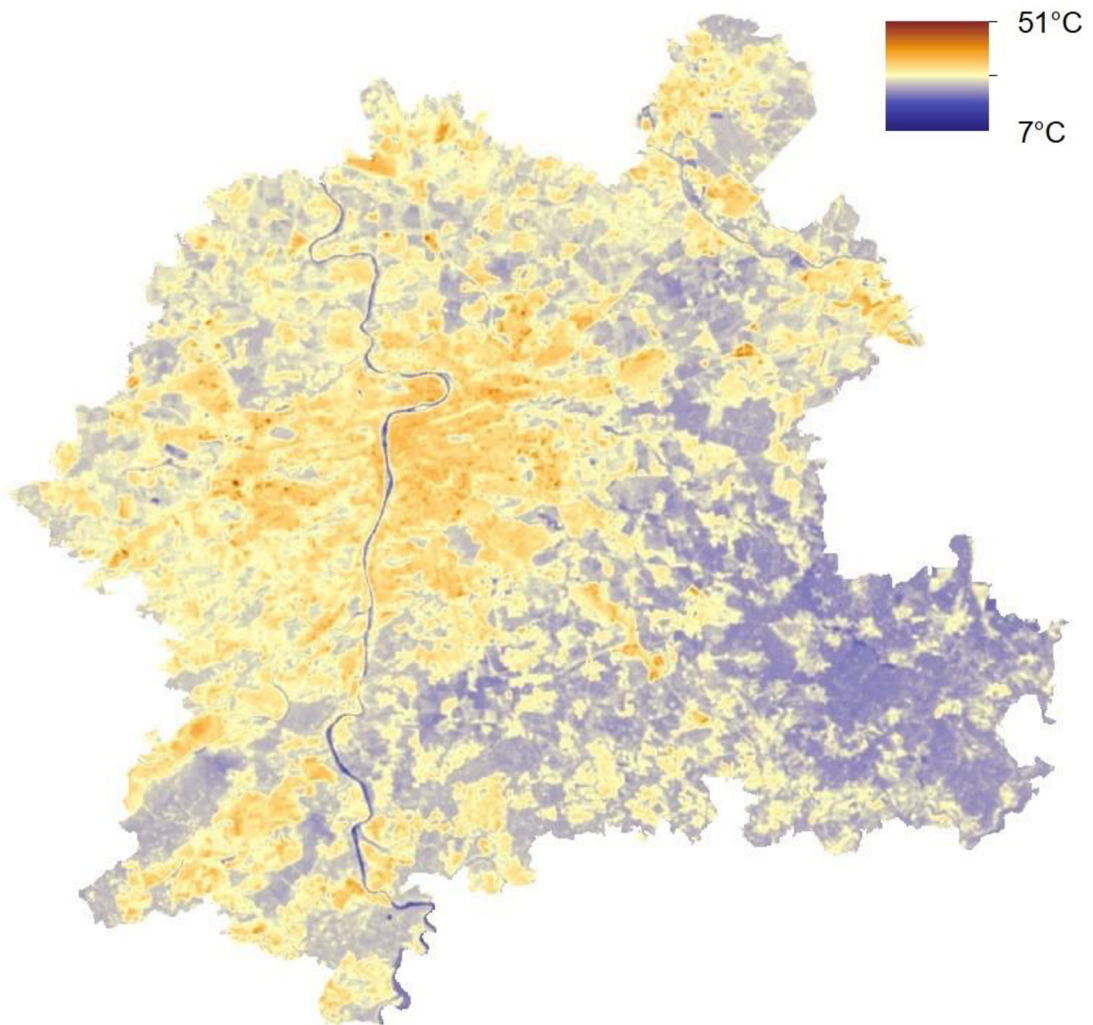
Po zhotovení výpočtu v Raster Calculatoru v programu ArcMap na rastrové snímky z družic Landsat vznikl první základní výsledek ve formě rastru povrchových teplot LST pro každý zkoumaný den (obr. 10.4, 10.5, 10.6). Tyto mapové výstupy mají velikost buňky rastru 30 m<sup>2</sup>. Základní teplotní charakteristiky snímků jsou znázorněny v tabulky 10.1 níže.



*Obr. 10.4. – Výsledná teplota povrchů LST ve zkoumaném roce 1992*



*Obr. 10.5. – Výsledná teplota povrchů LST ve zkoumaném roce 2010*



*Obr. 10.6. – Výsledná teplota povrchů LST ve zkoumaném roce 2017*

Na obrázcích výše (obr. 10.4, 10.5, 10.6) je z výpočtu povrchové teploty LST patrné, že se tato teplota postupem let zvyšovala. Žluté zbarvení je viditelné i v okolních obcích. To napovídá skutečnosti, že povrchové teploty jsou na zpevněných plochách aktivního povrchu města a obcí rozsáhlejší, což dokládá žlutější zbarvení v oblasti. Tento vývoj je dobře patrný na Kunraticko-Michelském lese v jihovýchodní části Prahy, který teplotě povrchů okolního města odolává v letech 1992 a 2010, avšak v roce 2017 je již patrný nárůst teploty i v této oblasti. Zvýšený vliv tepelného ostrova Prahy na okolí města se postupem let rozšiřuje z městské oblasti do okolní krajiny. Zvýšená teplota v roce 1992 v severovýchodní části a v roce 2017 v západní části studované oblasti je pravděpodobně způsobena meteorologickými vlivy.

Tab. 10.1 – Hlavní data výpočtu LST obsažená z grafu 10.1

[°C]	1992	2010	2017
<b>Maximum</b>	44,8	47,4	48,5
<b>Vrchní hranice odlehlých hodnot</b>	32	34	37
<b>3. kvartil</b>	26	28	30
<b>Aritmetický průměr</b>	24,4	26	27,5
<b>Medián</b>	24	25	27
<b>1. kvartil</b>	22	24	25
<b>Spodní hranice odlehlých hodnot</b>	16	18	18
<b>Minimum</b>	14,2	11,9	15,3

Pro lepší prezentaci výsledků byl vytvořen krabicový graf 10.1 z hodnot buněk v rastru. Ten znázorňuje všechny obsažené hodnoty rastru povrchových teplot vypočtených programem ArcMap pro každý rok zvlášť. Hodnoty rastru bylo nutné zaokrouhlit na celá čísla, protože by jejich export nebyl v programu ArcMap možný. Jednotlivé hlavní hodnoty krabicového grafu jsou zaznamenány v tabulce 10.1, mimo odlehlé hodnoty, kterými se v krabicovém grafu 10.1 rozumí hodnota, která je blízká maximu nebo minimu mimo běžné hodnoty a v menším počtu. Z dat je patrný trend zvyšující se teploty povrchu během let. V tomto období zároveň rostly i hranice odlehlých hodnot měřených let.

Z (tab. 10.1) a (grafu 10.2) vyplývá, že mezi pozorovanými snímky v letech 1992, 2010 a 2017 s relativně podobnými meteorologickými podmínkami docházelo k celkovému nárůstu hodnot povrchové teploty v Praze a okolí. Průměrná povrchová teplota LST z celé plochy rastru byla v roce 2010 o 1,5 °C vyšší než v roce 1992. Rozdíl mezi roky 2010 a 2017 pak činil 3 °C. Celkový rozdíl průměrné povrchové teploty LST mezi snímky z roku 1992 a 2017 je 4,5 °C.

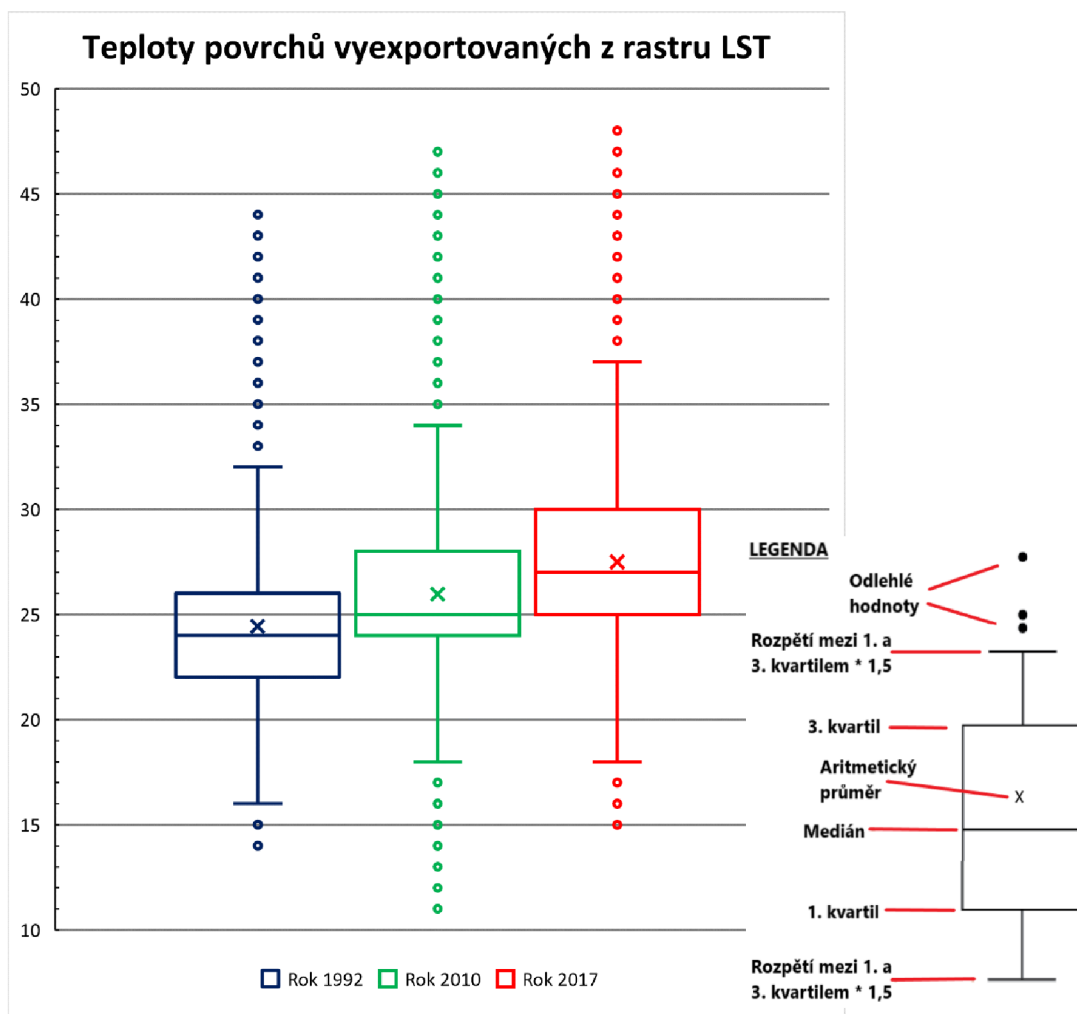
Medián teplot pro jednotlivé roky dosahoval v roce 1992 24 °C, v roce 2010 25 °C a v roce 2017 27 °C. To značí nárůst v rychlosti oteplování povrchů, může to být však způsobeno meteorologickými podmínkami daného dne, kdy v roce 2017 byla průměrná teplota dne o 1,2 °C vyšší, než v roce 2010.

Nárůst teplot je znatelný i v hranici 1. kvartilu a především ve 3. kvartilu, kde teplota rostla mezi každým zkoumaným rokem o 2 °C. To naznačuje růst teplot v horní polovině hodnot, způsobených pravděpodobně zvyšujícím se efektem tepelného ostrova.

U maximálních naměřených povrchových teplot pro Prahu a okolí je patrný nárůst, od roku 1992 do roku 2010 o 2,6 °C, od roku 1992 do roku 2017 o 3,6°C.

Nejnižší povrchová teplota ze všech snímků byla zjištěna v roce 2010, což je pravděpodobně zapříčiněno oblakem v pravé horní části, který mohl data z celkového družicového snímku zkreslit. Pokud bychom tento rok vyřadili, můžeme v případě minimálních povrchové teploty LST pozorovat zvětšení mezi lety 1992 a 2017 o 1,1 °C.

Průměr rozdílů všech teplot mezi lety 1992 až 2010 je 1,66 °C, mezi lety 2010 až 2017 je to 1,42 °C a celkový průměrný rozdíl teplot povrchů mezi lety 1992 až 2017 je 3,07 °C. Mezi lety 1992 až 2010 to bylo 0,09 °C na 1 rok, mezi lety 2010 až 2017 0,2 °C na 1 rok. Výpočty mimo jiné naznačují, že se celkové tempo oteplování povrchů zrychluje.



Graf 10.1: Krabicový graf dat z rastru teplot zemského povrchu LST pro roky 1992, 2010, 2017 vypočtený z družic Landsat



## 10.2 Změny povrchové teploty krajinného pokryvu podle Corine Land Cover

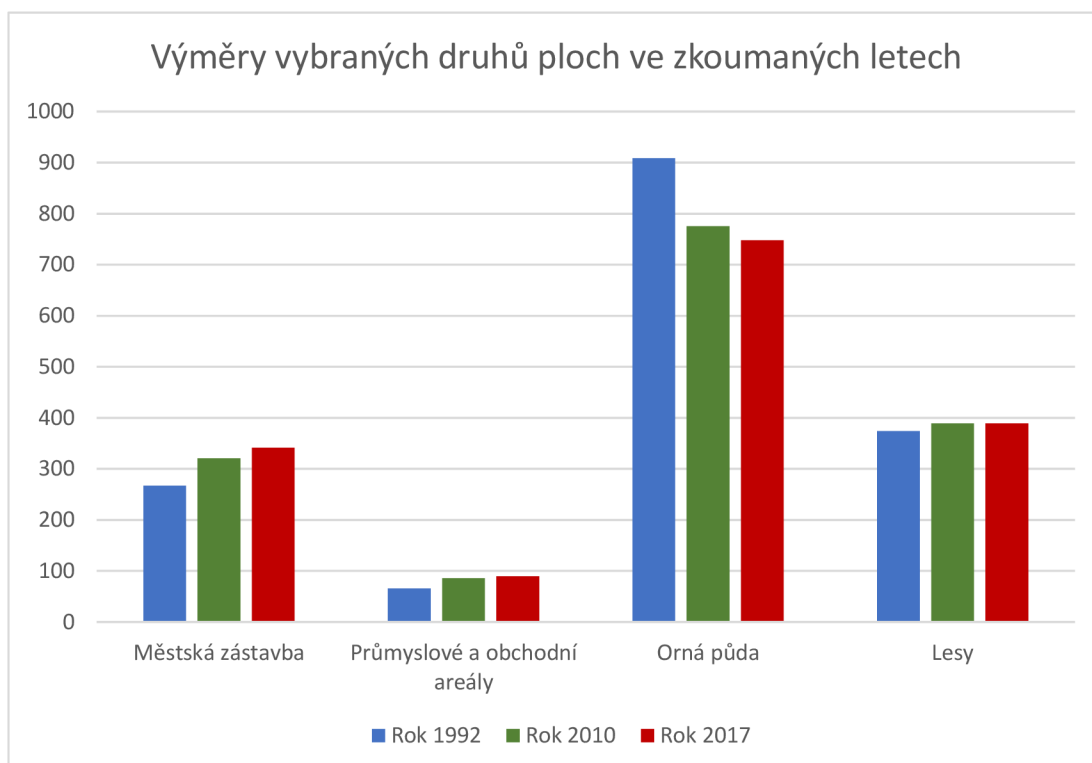
V této kapitole výsledků bude hodnocen vztah změn povrchové teploty LST a změny využití pozemků podle Corine Land Cover. Nárůst je do značné míry způsoben globálním nárůstem povrchové teploty a proto bylo cílem práce analyzovat, do jaké míry může být způsobem změnou krajinného pokryvu (Ravanelli a kol., 2018).

Růst teplot může být dán rozdílnými podmínkami ve dnech měření, avšak, i když byl pro výpočet nalezen meteorologickými podmínkami nejpodobnější den, tak zvyšující se změna je patrná v obou měřených obdobích.

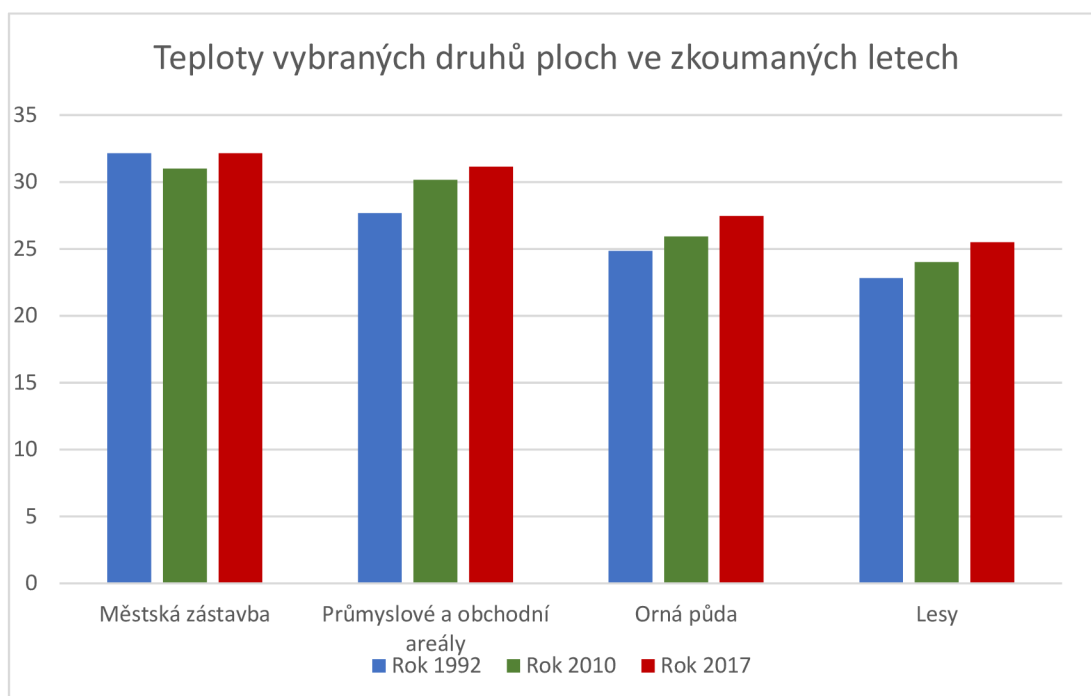
V tab. 10.2 je zaznamenán vývoj výměry jednotlivých ploch CLC v podrobnosti členění úrovně 2. Tento vývoj může napovědět, jak se jednotlivé plochy oteplovaly. Největší míra změny využití pozemků se uskutečnila u orné půdy, kde byl pokles mezi lety 1992 - 2010 o 15 % a mezi lety 2010 - 2017 o 4 %. Vyjádřeno v plošných jednotkách se v celém období jednalo o pokles o 160,79 km<sup>2</sup>. Nárůst byl zaznamenán v obytných plochách a průmyslových, obchodních zónách. Zvýšená výměra těchto ploch za celé období ve studované oblasti byla vyšší o 74,62 km<sup>2</sup> u obytných ploch a o 23,83 km<sup>2</sup> u průmyslových a obchodních zón. Tento vývoj výměr a teplot povrchů je přehledně znázorněn v (graf 10.2 a 10.3).

Tab. 10.2: Změna využití pozemků mezi lety 1990, 2012 a 2018 (Copernicus, 2020)

[km <sup>2</sup> ]	1990	Absolutní rozdíl	Změna v %	2012	Absolutní rozdíl	Změna v %	2018
<b>1.1. Obytné plochy</b>	267,12	53,68	20%	320,80	20,94	7%	341,74
<b>1.2. Průmyslové a obchodní zóny, komunikační síť</b>	65,54	20,37	31%	85,91	3,46	4%	89,37
<b>1.3. Doly, skládky a staveniště</b>	3,52	-0,69	-20%	2,83	0,50	18%	3,33
<b>1.4. Plochy umělé, nezemědělské zeleně</b>	47,55	-0,11	0%	47,34	0,13	0%	47,47
<b>2.1. Orná půda</b>	908,74	-133,53	-15%	775,21	-27,26	-4%	747,95
<b>2.2. Stálé kultury</b>	4,01	-1,05	-26%	2,96	-0,18	-6%	2,78
<b>2.3. Pastviny</b>	8,49	44,45	523%	52,94	4,98	9%	57,92
<b>2.4. Různorodé zemědělské plochy</b>	115,56	10,42	9%	125,98	-2,45	-2%	123,53
<b>3.1. Lesy</b>	373,95	14,99	4%	388,94	0,25	0%	389,19
<b>3.2. Plochy s křovinnou a travnatou vegetací</b>	15,19	-3,17	-21%	12,02	-1,72	-14%	10,30
<b>5.1. Pevninské vody</b>	14,69	0,59	4%	15,28	0,04	0%	15,32



Graf 10.2: Změny výměr ve využití krajinného pokryvu v km<sup>2</sup> (Copernicus.com, 2020)



Graf 10.3: Změny teplot ve využití krajinného pokryvu v km<sup>2</sup> (Copernicus.com, 2020)

V tab. 10.3 jsou zapsány hodnoty všech průměrných změn teplot povrchů dle CLC v úrovni 2. Jednotlivé změny teplot jsou patrné u všech ploch, nejvyšší nárůst povrchových teplot byl zaznamenán u obytných ploch a průmyslových areálů. Tyto plochy se obecně dají shrnout pod pojem suburbanizace. V důsledku jevu suburbanizace se vegetační plochy (především orná půda) mění na plochy zastavěné, se kterými se rozšiřuje intravilán do okolní krajiny a rozšiřuje se i tepelný ostrov města, který je vázán na zastavěné území. To umocňují nepřerušované monokulturní zemědělské plochy bez mezí a remízků.

Nejnižší nárůst teplot připadá pevninským vodám, protože tepelná energie dopadající na vodní plochu se spotřebuje výparem. Nárůst povrchových teplot LST se dá považovat i rozdíl teplot ve všech vegetačních plochách.

Tab. 10.3: Rozdíl průměrných teplot jednotlivých druhů pozemků ve zkoumaných letech 1992, 2010 a 2017

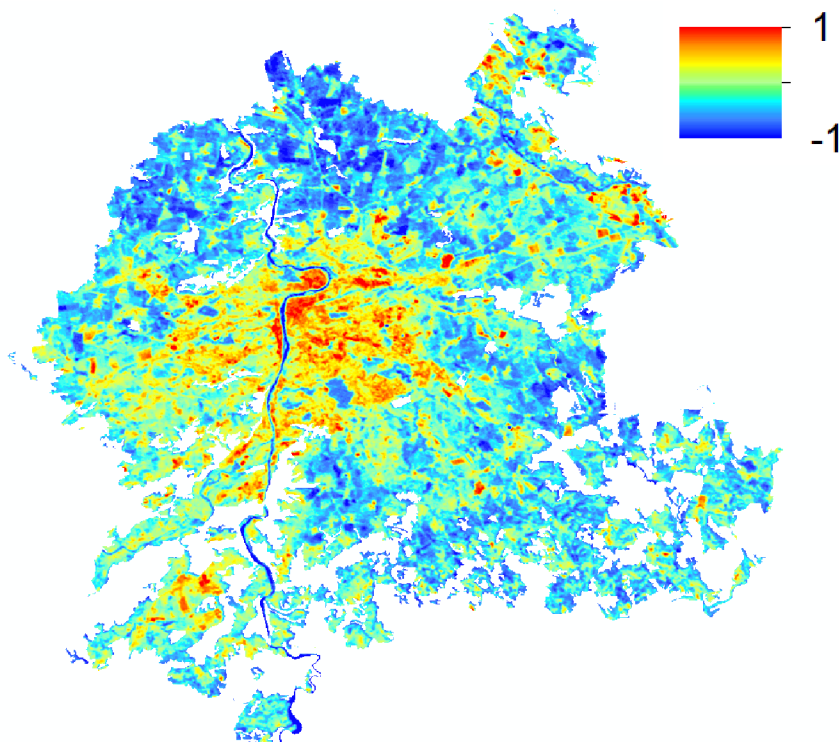
[°C]	1992 až 2010	2010 až 2017	Celkem 1992 až 2017
<b>1.1. Obytné plochy</b>	2,04	1,15	3,19
<b>1.2. Průmyslové a obchodní zóny, komunikační síť</b>	2,50	0,97	3,47
<b>1.3. Doly, skládky a staveniště</b>	0,39	2,04	2,43
<b>1.4. Plochy umělé, nezemědělské zeleně</b>	1,66	1,79	3,45
<b>2.1. Orná půda</b>	1,07	1,53	2,60
<b>2.2. Stálé kultury</b>	1,37	1,36	2,73
<b>2.3. Pastviny</b>	1,00	2,88	3,88
<b>2.4. Různorodé zemědělské plochy</b>	1,59	1,78	3,37
<b>3.1. Lesy</b>	1,18	1,49	2,67
<b>3.2. Plochy s křovinnou a travnatou vegetací</b>	3,90	0,09	3,99
<b>5.1. Pevninské vody</b>	1,52	0,50	2,02

### 10.3 Relativní intenzita povrchové teploty ploch vůči lesním plochám

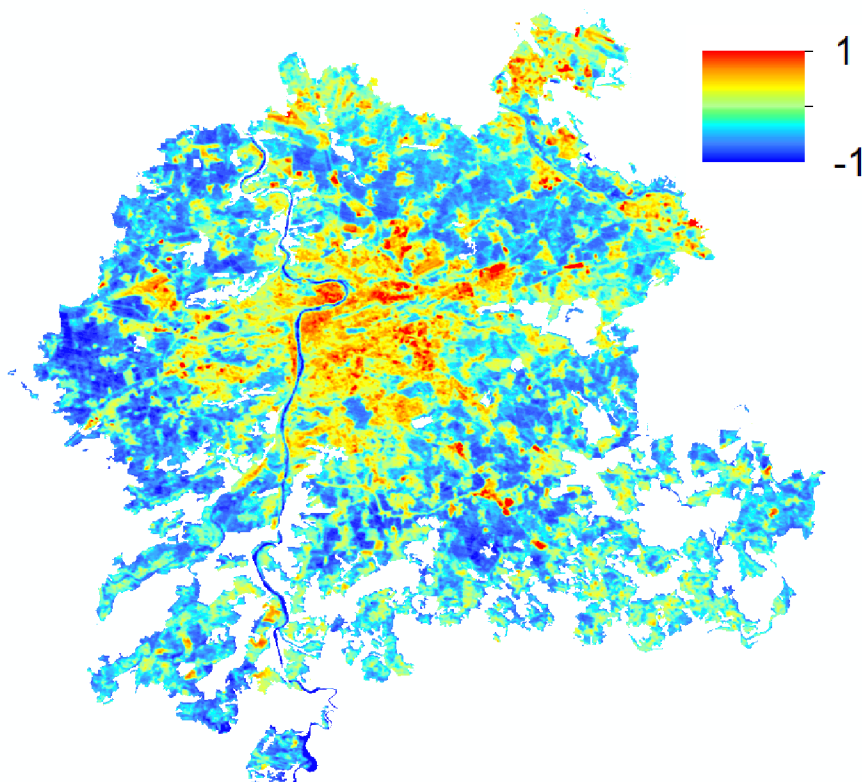
Pro lepší pochopení rozdílu povrchového tepla v oblasti pražské suburbie byla dle metodiky vypočítána relativní intenzita povrchové teploty ploch vůči lesním plochám dle metodiky. Tato analýza může napovědět, jak se měnily teploty povrchů ostatních ploch, vzhledem k lesním plochám, které mohou být posuzovány jako nejpřírodnější území ve studované oblasti.

Výsledný rastr ukazuje, že tento poměr přibližně kopíruje teploty povrchů. Nejvyšší byl zaznamenán na nezpevněných městských plochách, kde má vliv městské klima a energetická bilance aktivních povrchů. Naopak nejnižší byl na vodních plochách a zemědělských plochách. V průběhu let je také znatelný vliv suburbanizace na tento výpočet, kde červená barva, která vykazuje vyšší hodnoty je postupem let stále ve větším zastoupení. V roce 2010 je vyšší poměr intenzity tepla vzhledem k lesům znázorněn více na jihozápadě oblasti, což může být ovlivněno teplotou daný den. V roce 1992 byl zaznamenán nejchladnější den, avšak v centru Prahy je intenzita povrchové teploty vůči lesním plochám nejintenzivnější. Může to být celkovým

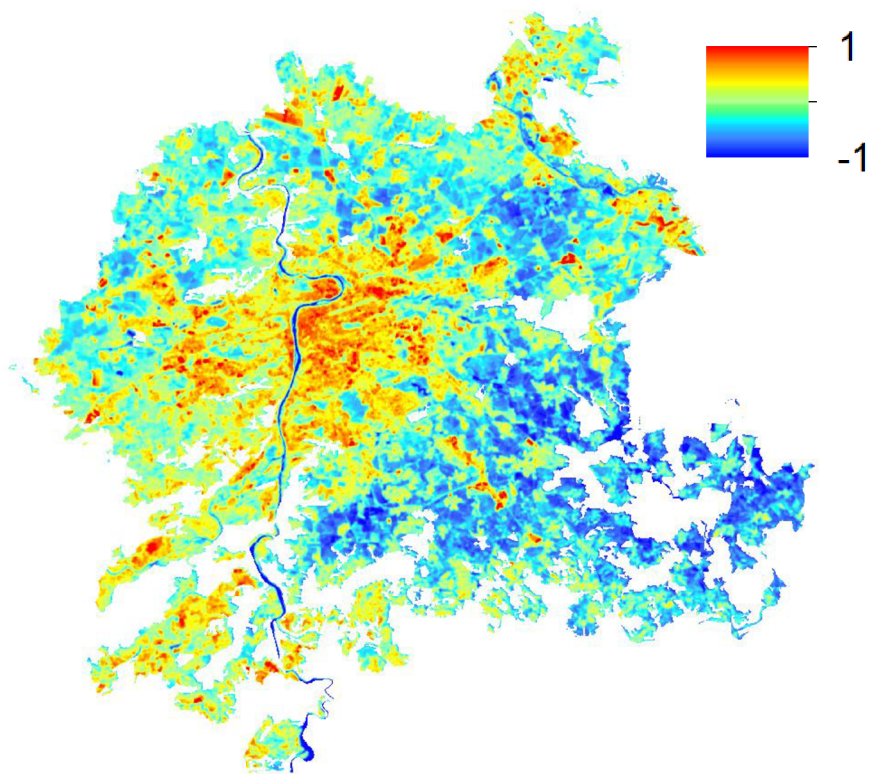
vztahem teplot, které vykazují nižší rozdíl a tím je vzájemný vztah vyjádřený intenzitou nižší. Intenzita je také ovlivněna rychlejším oteplováním přírodních ploch.



*Obr. 10.7: Relativní intenzita povrchové teploty ploch vůči lesním plochám pro rok 1992*



*Obr. 10.8: Relativní intenzita povrchové teploty ploch vůči lesním plochám pro rok 2010*



*Obr. 10.9: Relativní intenzita povrchové teploty ploch vůči lesním plochám pro rok 2017*

## 11 Závěr

Diplomová práce se zaměřuje na vývoj oteplování a vysvětlení odborných pojmů dle zadání diplomové práce. Pojmy, týkající se tématu změny klimatu jsou důležité k pochopení tematiky, která je součástí celého světa, aby i další život na planetě mohl existovat dál, se stejnými přirozenými životními podmínkami.

Podobný vývoj, popsáný v mé práci byl mapován ve studii autora Dobrovolného (2012) pod názvem Klima Brna, Víceúrovňová analýza městského klimatu. Tato publikace se zabývá prostorovou diferenciací hlavních meteorologických prvků v Brně, včetně charakteristiky prostorové diferenciace povrchových teplot. Lze se zde dočíst, že podobný trend se odehrává i v Brně. Mezi lety 2001 – 2006 tam došlo k průměrnému nárůstu povrchové teploty LST o 3 °C. To značí, že se tento trend netýká pouze hl. m. Prahy, ale minimálně i města Brna (Dobrovolný, 2012).

Záměrem a mojí motivací k psaní práce bylo motivovat širší veřejnost k uvědomění, že pokud vývoj půjde stejným tempem, tak svým pohodlím můžeme zkomplikovat kvalitu života svých dětí. Vývoj, který vysvětluji v diplomové práci, může být v budoucnosti pro lidstvo těžko zastavitelným problémem. Upozorňuje na nynější stav oteplování na příkladu v ČR v oblasti pražské metropole, pomocí dálkového průzkumu Země.

Přínos této práce také spočívá v analýze vývoje suburbanizace v Praze a její suburbii a poukazuje na všechny negativní faktory, které přináší. Je podstatné se nad tímto vývojem pozastavit a vyvarovat chybám do budoucího rozvoje měst.

## 12 Literatura

Allakhverdiev, 2016: Ruslan ALLAKHVERDIEV; Pracoviště dynamické aktivní termografie, České vysoké učení v Praze, 2016, (online) [cit. 18.2.2022], dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/bitstream/handle/10467/65692/F2-BP-2016-Allakhverdiev-Ruslan-BP%20final.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>

ArcData.cz: Esri, Družice Landsat, (online) [cit. 11.12.2022] dostupné z: <https://www.arcdata.cz/produkty/geograficka-data/druzicova-data/landsat>

Atlasobyvatelstva.cz, 2020: Urbánní a regionální laboratoř, Katedra sociální geografie a regionálního rozvoje, Univerzita Karlova (online) [cit. 25.10.2020], dostupné z: <https://www.atlasobyvatelstva.cz/cs/suburbanizace>

Avdan, Jovanovska, 2016: Ugur AVDAN, Gordana JOVANOVSKA; Algorithm for Automated Mapping of Land Surface Temperature Using LANDSAT 8 Satellite Data, Journal of Sensors Volume 2016, Hindawi, Eskisehir, dostupné z: <https://www.hindawi.com/journals/js/2016/1480307/>

Barsi a kol., 2014: Julia A. BARSÍ, John R. SCHOTT, Simon J. HOOK, Nina G. RAQUENO, Brian L. MARKHAM, Robert G. Radocinski; Landsat-8 Thermal Infrared Sensor (TIRS) Vicarious Radiometric Calibration, Remote Sens, 2014, ISSN 2072-4292, dostupné z: <https://www.mdpi.com/2072-4292/6/11/11607/htm>

Bednář, 2003: Jan BEDNÁŘ, Meteorologie: úvod do studia dějů v zemské atmosféře, Nakladatelství Portál, 2003. ISBN 80-7178-653-5

Copernicus.eu, 2020: Program Evropské unie Copernicus, (online) [cit. 2.12.2020], dostupné z: <https://www.copernicus.eu/cs/o-programu-copernicus/zakladni-informace-o-programu-copernicus>



CR2030.cz, 2017: Strategický rámec Česká republika 2030, Úřad vlády České republiky, Odbor pro udržitelný rozvoj. ISBN: 978-80-7440-181-6

ČHMÚ, 2021: Radim TOLASZ; Zpráva o klimatických změnách popisuje především: oteplování, změnu energetiky a chování člověka, Český hydrometeorologický ústav, 2021, (online) [cit. 21.1.2022], dostupné z:  
[https://www.chmi.cz/files/portal/docs/tiskove\\_zpravy/2021/TZ\\_Zprava\\_o\\_klimatickych\\_h\\_zmenach.pdf](https://www.chmi.cz/files/portal/docs/tiskove_zpravy/2021/TZ_Zprava_o_klimatickych_h_zmenach.pdf)

ČHMÚ, 2022: Český hydrometeorologický ústav, (online) [cit. 9.1.2022], dostupné z:  
<https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-teploty>

Dobrovolný 1998: Petr DOBROVOLNÝ, skripta Dálkový průzkum Země, Přírodovědecká fakulta Masarykovy univerzity, Brno, 1998. ISBN 80-210-1812-7

Dobrovolný a kol. 2012: Petr DOBROVOLNÝ, Klima Brna, Víceúrovňová analýza městského klimatu, Masarykova univerzita, Brno 2012. ISBN 978-80-210-6029-6

Dobrovolný, 2017: Petr DOBROVOLNÝ, Učební materiály k předmětu Aplikovaná fyzická geografie, Masarykova univerzita, 2017, (online) [cit. 8.11.2021], dostupné z:  
[https://is.muni.cz/el/sci/podzim2017/Z7000/um/mestske\\_klima/literatura/?fbclid=IwAR3Coi1HxUe0ES6C6kxVXKb88HIL5fLb6ZIGnzDWe2iYIsp1zdz9xCCA6Zs](https://is.muni.cz/el/sci/podzim2017/Z7000/um/mestske_klima/literatura/?fbclid=IwAR3Coi1HxUe0ES6C6kxVXKb88HIL5fLb6ZIGnzDWe2iYIsp1zdz9xCCA6Zs)

Dobrovovolný, Herber, Hynek, nedatováno: Výuka krajinné ekologie a DPZ, Masarykova univerzita, (online) [cit. 18.6.2021], dostupné z:  
[https://www.sci.muni.cz/~dobro/zemsky\\_povrch\\_vegetace.html](https://www.sci.muni.cz/~dobro/zemsky_povrch_vegetace.html)

Dvořák, 2017: Petr DVORÁK; Letecká meteorologie, Svět Křidel, 2017. ISBN: 978-80-7573-014-5

Earth.ESA.int, 2022: Evropská kosmická agentura, (online) [cit. 4.1.2022], dostupné z: <https://earth.esa.int/eogateway/instruments/thematic-mapper-tm->

EEA, 2006: Urban Sprawl in Europe, Zpráva Evropské environmentální agentury, Lucembursko, 10/2006, ISBN 92-9167-887-2

Ekolist, 2014: Internetový deník Ekolist, (online) [cit. 5.11.2021], dostupné z: <https://ekolist.cz/cz/zpravodajstvi/zpravy/PR-co-je-tepelny-ostrov-prahy-a-proc-ho-zkoumat>

Elektro.tzb-info.cz: Ivo NOVÁK; Účinky elektromagnetického pole na lidský organismus, 2015, (online) [cit. 17.1.2022], dostupné z: <https://elektro.tzb-info.cz/13319-ucinky-elektromagnetickeho-pole-na-lidsky-organismus>

EOS.com, 2022: Systém pozorování Země USA, (online) [cit. 5.3.2022], dostupné z: <https://eos.com/make-an-analysis/panchromatic/>

Esa.int, 2022 - [https://www.esa.int/ESA\\_Multimedia/Images/2019/02/Satellite\\_scans\\_Earth](https://www.esa.int/ESA_Multimedia/Images/2019/02/Satellite_scans_Earth)

Faktaoklimatu.cz, 2021: Otevřená data o klimatu, z.ú., (online) [cit. 27.1.2021], dostupné z: <https://faktaoklimatu.cz/infografiky/tropicke-dny-praha>

Forbes, Mahon, 2019: Nancy FORBES, Basil MANHON; Faraday, Maxwell, and electromagnetic field: How Two Men Revolutionized Physics, Prometheus book, 2019. ISBN 978-1633886070

Gashaw a kol., 2015: Temesgen GASHAW, Bogale TEFERI, Wondie MEBRAT; Vegetation Stress Detection Using GIS Techniques in East of Lake Tana, Etiopie, ISSN 2394-5915, (online) [cit. 1.12.2021], dostupné z: <http://www.ijraf.org/pdf/v2-i1/2.pdf>

GISAT.com, 2022: Webové stránky společnosti GISAT s.r.o., (online) [cit. 17.1.2022], dostupné z: <http://www.gisat.cz/content/cz/dpz/prehled-druzicovych-systemu/landsat>

giscrack.com, 2018: Poradní internetové fórum pro oblast GIS, (online) [cit. 10.8.2020], dostupné z: <https://giscrack.com/how-to-calculate-land-surface-temperature-with-landsat-8-images/>

Gringis.com, 2015: Poradní internetové fórum pro oblast GIS, (online) [cit. 12.1.2021], dostupné z: <https://grindgis.com/blog/vegetation-indices-arcgis>

Hoffmann, 2014: Ull HOFMANN; Dálkový průzkum Země, 2014, (online) [cit. 25.2.2022], dostupné z: <https://www.slideserve.com/ull/d-lkov-pr-zkum-zem>

Hofrajtr, 2017: Martin HOFRAJTR; Využití dálkového průzkumu Země pro zkoumání teplotních charakteristik povrchu, Univerzita Karlova v Praze, 2019, (online) [cit. 17.12.2021], dostupné z: <https://dspace.cuni.cz/bitstream/handle/20.500.11956/109882/120342503.pdf?sequence=1>

Horská, Maur, Musil 2002: Pavla HORSKÁ, Eduard MAUR, Jiří MUSIL; Zrod velkoměsta: Urbanizace českých zemí a Evropa. Praha, Paseka, 2002, ISBN: 80-7185-409-3  
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0303243416300629?via%3Dihub>

IPR Praha, 2012: Institut plánování a rozvoje hl. m. Prahy, (online) [cit. 16.1.2022], dostupné z:  
[https://iprpraha.cz/uploads/assets/soubory/data/UAP/UAP2012/2\\_1\\_praha\\_vnejsi-vztahy.pdf](https://iprpraha.cz/uploads/assets/soubory/data/UAP/UAP2012/2_1_praha_vnejsi-vztahy.pdf)

Kubátová 2008 – KUBÁTOVA Senta, Biofot: přehled fyzikální podstaty světla a lidského vidění, 2008, (online) [cit. 16.1.2022], dostupné z:  
<http://uloz.to/1162346/biofot.doc>

Land.copernicus.eu, 2020: Databáze Corine Land Cover programu Copernicus, (online) [cit. 26.10.2020], dostupné z <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover>

Land.copernicus.eu2: Program Evropské unie Copernicus, (online) [cit. 26.2.2020], dostupné z: <https://land.copernicus.eu/user-corner/technical-library/corine-land-cover-nomenclature-guidelines/html>

Landsat.GSFC.NASA.gov: Národní úřad pro letectví a vesmír USA, (online) [cit. 14.1.2022] dostupné z: <https://landsat.gsfc.nasa.gov/satellites/landsat-9/landsat-9-bands/>

Lillesand a kol., 1994 - Thomas LILLESAND, Thomas M., KIEFER, Ralph W., CHIPMAN, Jonathan W.. Remote Sensing and Image Interpretation, John Willey and Sons, New York, 2008. ISBN 978-0- 470-05245-7

Lillesand a kol., 2004: Thomas LILLESAND, Ralph W. KIEFER, Jonathan CHIPMAN; Remote sensing and image interpretation, Hoboken, John Wiley & Sons, 2004. ISBN 0-471-15227-7

Macešková, Ouřeniček, 2008: Marie MACEŠKOVÁ, Martin OUŘEDNÍČEK; Dopad suburbanizace na daňové příjmy obcí, Univerzita Karlova v Praze, 2008, (online) [cit. 10.3.2022], dostupné z: <http://www.dvs.cz/clanek.asp?id=6318414>

Meteorologický slovník, 1993: Meteorologický slovník výkladový a terminologický. Academia, Ministerstvo životního prostředí ČR, Praha 1993. ISBN: ISBN 80-85368-45-5

Moran, Morgan, 1989: Michael D. MORGAN, Joseph M. MORAN; Meteorology, the atmosphere and the science of weather, 1989 University of Wisconsin, Green Bay. ISBN 0-02-383330-0

Navrátil, Lipina, 2016: Bořek NAVRÁTIL, Pavel LIPINA; Informační stránky Českého hydrometeorologického ústavu, (online) [cit. 15.12.2021], dostupné z: <http://www.infomet.cz/index.php?id=read&idd=1451891907>

Nováková, 2006: Eva NOVÁKOVÁ; Algoritmy zpracování obrazu použitelné pro výzkum krajiny narušené těžbou a zpracováním nerostných surovin, (online) [cit. 20.2.2021], dostupné z: <https://www.geoinformatics.upol.cz/dprace/magisterske/novakova06/>

Oke, 1976 – Tim R. OKE; The distinction between canopy and boundary layer urban heat islands. Atmosphere, 1976. DOI: 10.1080/00046973.1976.9648422

Oke, 1997: Tim R. OKE: Urban climates and global environmental change. Applied Climatology. Principles & Practices. Routledge, 1997. ISBN: 978-0-662-48365-6

Oršulák, Pacina, 2010: Tomáš ORŠULÁK, Jan PACINA; Dálkový průzkum Země, Centrum pro virtuální realitu a modelování krajiny, Ústí nad Labem, 2010, (online) [cit. 20.2.2022], dostupné z: <https://docplayer.cz/9891155-Dalkovy-pruzkum-zeme.html>

Ouředníček a kol., 2008: Martin OUŘEDNÍČEK, Jana TEMELOVÁ, Marie MACEŠKOVÁ, Jakub NOVÁK, Petra PULDOVÁ, Dušan ROMPORTL, Tomáš CHUMAN, Světa ZELENDOVÁ, Iva KUNCOVÁ; suburbanizace.cz, Univerzita Karlova v Praze, 2008, ISBN 978-80-86561-72-1

Ouředníček, Špačková, 2013: Martin OUŘEDNÍČEK, Petra ŠPAČKOVÁ; Populační vývoj v zázemí Českých měst jako důsledek procesu suburbanizace, Univerzita Karlova v Praze, 2013. ISSN 1803-8239

Ouřeniček, 2013: Martin OUŘEDNÍČEK, Petra ŠPAČKOVÁ, Jakub NOVÁK; Sub Urbs: krajina, sídla a lidé, Academia, Praha, 2013, ISBN: 978-80-200-2226-4

Plicnerová, 2016: Karin PLICNEROVÁ; Z čeho vlastně obec plní svou kasičku, (online) [cit. 10.3.2022], dostupné z: <http://www.lodeni.cz/z-ceho-vlastne-obec-plni-svou-kasicku/>

Pokorný, 2014: Jan POKORNÝ; Hospodaření s vodou v krajině – funkce ekosystémů, Univerzita Jana Evangelisty Purkyně, Ústí nad Labem, 2014, ISBN 978-80-7414-885-9

Romportl, Chuman, 2010 - Dušan ROMPORTL, Tomáš CHUMAN; Změny struktury krajiny vlivem rezidenční a komerční suburbanizace v České republice, suburbanizace.cz, ISSN 1803-8239, (online) [cit. 11.3.2022], dostupné z: [http://www.suburbanizace.cz/analyzy/ROMPORTL, D., CHUMAN, T. \(2010\) Zmeny\\_struktury\\_krajiny\\_vlivem\\_rezidencni\\_a\\_komercni\\_suburbanizace\\_v\\_Ceske\\_republice.pdf](http://www.suburbanizace.cz/analyzy/ROMPORTL,_D.,_CHUMAN,_T._(2010)_Zmeny_struktury_krajiny_vlivem_rezidencni_a_komercni_suburbanizace_v_Ceske_republice.pdf)

Ravanelli kol., 2018: Roberta RAVANELLI, Andrea NASCETTI, Raffaella Valeria CIRIGLIANO, Clarissa Di RICO, Giovanni LEUZZI, Paolo MONTI, Mattia CRESPI; Monitoring the Impact of Land Cover Change on Surface Urban Heat Island through Google Earth Engine: Proposal of a Global Methodology, First Applications and Problems, University of Rome La Sapienza, 2018, (online) [cit. 20.3.2022] ], dostupné z: <https://www.mdpi.com/2072-4292/10/9/1488/htm>

Sedláková, Crhová, 2019: Klára Informační stránky Českého hydrometeorologického ústavu, (online) [cit. 14.12.2021], dostupné z: <http://www.infomet.cz/index.php?id=read&idd=1568015141>

Smolová, 2015: Irena SMOLOVÁ; Klimatické poměry na Území České republiky, Univerzita Palackého v Olomouci (online) [cit. 6.1.2022], dostupné z: [https://geography.upol.cz/soubory/lide/smolova/GCZ/GCZ\\_Klima.pdf](https://geography.upol.cz/soubory/lide/smolova/GCZ/GCZ_Klima.pdf)

Sobrino, Jiménez-Munoz, Paoliny, 2004: José A. SOBRINO, Juan C. JIMÉMEZ-MUNOZ, Leonardo PAOLINY; Land surface temperature retrieval from LANDSAT TM 5. Remote Sensing of Environment Volume 90 Issue 4, 2004. ISSN 0034-4257, dostupné z: <https://reader.elsevier.com/reader/sd/pii/S0034425704000574?token=D4465DB776B6362C43AF343278266B65E74A272BA6230F9FB3007EC008F79391DF63301CA9BC278501D7557F079DF3FF>

Spampinato a kol., 2011: Letizia SPAMPINATO, Sonia CALVARI, Clive OPPENHEIMER, Enzo BOSCHI; Volcano surveillance using infrared cameras, Earth-Science Reviews, Volume 106 Issues 1-2, May 2011, ISSN 0012-8252, dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0012825211000043>

Stein a kol., 2017: Zbyněk STEIN, Lenka REJENTOVÁ, Kateřina HORÁKOVÁ, Marek ŠLÉGR; Metodika tvorby stavových a změnových map vybraných tříd krajinného pokryvu v gridu 2x2 km dle CORINE Land Cover, Cenia, (online) [cit. 8.2.2022], dostupné z: <https://www.cenia.cz/wp-content/uploads/2019/12/Metodika-StavAZmenyKrajinnehoPokryvu.pdf>

Středová, 2011: Hana STŘEDOVÁ; Mikroklima a mezoklima měst, mikroklima porostů, Praha, Český hydrometeorologický ústav. ISBN 978-80-86690-90-2.

Svatoňová, Lauermann, 2010: Hana SVATOŇOVÁ, Lubomír LAUERMANN, Dálkový průzkum Země – aktuální zdroj geografických informací, Masarykova univerzita, 2010. ISBN 978-80-210-5162-1

Sýkora, 2001: Luděk SÝKORA; Proměny prostorové struktury Prahy v kontextu postkomunistické transformace, 2001, (online) [cit. 20.2.2022], dostupné z: [https://is.muni.cz/el/fss/jaro2012/SOC102/um/Sykora2001\\_Praha.pdf](https://is.muni.cz/el/fss/jaro2012/SOC102/um/Sykora2001_Praha.pdf)

Sýkora, 2002: Luděk SÝKORA; Suburbanizace a její sociální, ekonomické a ekologické důsledky, Ústav pro ekopolitiku, Praha, 2002, ISBN: 80-901914-9-5

Sýkora, 2003: Luděk SÝKORA; Suburbanizace a její společenské důsledky, Sociologický časopis Vol. 39, Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy Praha, 2003, (online) [cit. 2.2.2022], dostupné z: [https://web.natur.cuni.cz/~sykora/pdf/Sykora\\_2003\\_Sociologicky%20casopis\\_39\\_2\\_Suburbanizace.pdf](https://web.natur.cuni.cz/~sykora/pdf/Sykora_2003_Sociologicky%20casopis_39_2_Suburbanizace.pdf)

Šilhánková, 2007: Vladimíra ŠILHÁNKOVÁ; Suburbanizace - hrozba fungování (malých) měst, Civitas per Populi, Hradec Králové, 2007, ISBN: 978-80-903813-3-9

Trenberth, Fasullo, 2011: Kevin E. TRENBERTH, John T. FASULLO; Tracking Earth's Energy: From El Nio to Global Warming, Surveys in Geophysics, 2011, DOI: 10.1007/s10712-011-9150-2, (online) [cit. 1.3.2022], dostupné z: [https://www.researchgate.net/publication/257564838\\_Tracking\\_Earth's\\_Energy\\_From\\_El\\_Nio\\_to\\_Global\\_Warming](https://www.researchgate.net/publication/257564838_Tracking_Earth's_Energy_From_El_Nio_to_Global_Warming) a překlad Oldřich Radovan DVOŘÁK, 2014, (online) [cit. 1.3.2022], dostupné z: <https://docplayer.cz/15552026-Mestsky-tepelny-ostrov.html>



Trenberth, Fasullo, Kiehl, 2009: Kevin E. TRENBERTH, John T. FASULLO, Jeffrey Kiehl; Bulletin of the American Meteorological Society, Národní centrum pro výzkum atmosféry USA, 2009, DOI: 10.1175/2008BAMS2634.I, (online) [cit. 12.2.2022], dostupné z:

[https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/90/3/2008bams2634\\_1.xml](https://journals.ametsoc.org/view/journals/bams/90/3/2008bams2634_1.xml)

Trnka a kol., nedatováno: Miroslav TRNKA, Zdeněk ŽALUD, Petr HLAVINKA, Lenka BARTOŠOVÁ, Mitigační a adaptační opatření, Czech Globe, (online) [cit. 9.1.2022], dostupné z:

[https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUK EwjI8qu2mez2AhVGqaQKHUL3DHwQFnoECBIQAQ&url=http%3A%2F%2Fwww.klimatickazmena.cz%2Fdownload%2F16a8db869a4c9cbbcdf5b043f1c0810a%2F9.%2520kapitola\\_mitigace%2520a%2520adaptace.docx.pdf&usq=AOvVaw3JqlarSOPR Qj8MlyUZf-XP](https://www.google.com/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&ved=2ahUK EwjI8qu2mez2AhVGqaQKHUL3DHwQFnoECBIQAQ&url=http%3A%2F%2Fwww.klimatickazmena.cz%2Fdownload%2F16a8db869a4c9cbbcdf5b043f1c0810a%2F9.%2520kapitola_mitigace%2520a%2520adaptace.docx.pdf&usq=AOvVaw3JqlarSOPR Qj8MlyUZf-XP)

USGS, 1997: Úřad pro geologický průzkum země USA, Landsat Data (online) [cit. 20.5.2021], dostupné z: <https://pubs.usgs.gov/fs/1997/0084/report.pdf>

USGS.gov, 2018: Úřad pro geologický průzkum země USA, (online) [cit. 21.1.2022], dostupné z: <https://www.usgs.gov/centers/eros/science/usgs-eros-archive-landsat-archives-landsat-1-5-multispectral-scanner-mss-level>

USGS.gov, 2020a: Úřad pro geologický průzkum země USA, (online) [cit. 20.11.2020], dostupné z: <https://www.arcdata.cz/produkty/geograficka-data/druzicova-data/landsat>

Usgs.gov, 2020b: Úřad pro geologický průzkum země USA, (online) [cit. 30.9.2021], dostupné z: [https://www.usgs.gov/faqs/what-are-band-designations-landsat-satellites?qt-news\\_science\\_products=0#qt-news\\_science\\_products](https://www.usgs.gov/faqs/what-are-band-designations-landsat-satellites?qt-news_science_products=0#qt-news_science_products)

USGS.gov, 2022: Úřad pro geologický průzkum země USA, (online) [cit. 28.6.2021], dostupné z [https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-7?qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con=0#qt-science\\_support\\_page\\_related\\_con](https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-7?qt-science_support_page_related_con=0#qt-science_support_page_related_con)

USGS.gov, nedatováno: Úřad pro geologický průzkum země USA, nedatováno (online) [cit. 30.8.2021], dostupné z <https://www.usgs.gov/landsat-missions/landsat-data-continuity-mission-underfly-landsat-7>

Windahl, Beurs, 2016 – Emily WINDAHL, Kristen de BEURS; An intercomparison of Landsat land surface temperature retrieval methods under variable atmospheric conditions using in situ skin temperature. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 2016, Volume 51, (online) [cit. 10.12.2021], dostupné z:

[https://www.researchgate.net/publication/301830632\\_An\\_intercomparison\\_of\\_Landsat\\_land\\_surface\\_temperature\\_retrieval\\_methods\\_under\\_variable\\_atmospheric\\_conditions\\_using\\_in\\_situ\\_skin\\_temperature](https://www.researchgate.net/publication/301830632_An_intercomparison_of_Landsat_land_surface_temperature_retrieval_methods_under_variable_atmospheric_conditions_using_in_situ_skin_temperature)

Žák, Zahradníček, 2017: Michal ŽÁK, Pavel ZAHRADNÍČEK, Tepelný ostrov v Praze a možnosti zmírnění jeho negativních dopadů, Český hydrometeorologický ústav, 2017, (online) [cit. 1.3.2022], dostupné z: [https://portalzp.praha.eu/public/41/bf/ab/2498938\\_800079\\_Tepelny\\_ostrov\\_vPraze\\_MZak.pdf](https://portalzp.praha.eu/public/41/bf/ab/2498938_800079_Tepelny_ostrov_vPraze_MZak.pdf)