

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního prostředí

**Katedra vodního hospodářství a environmentálního
modelování**



BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

**Problematika tepelného ostrova a vln horka na
území hl. m. Prahy a návrh adaptačních opatření
proti nim**

**Vedoucí práce: Ing. Petr Bašta
Autor: Vojtěch Pačiska**

© 2021 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Vojtěch Pačiska

Krajinářství

Územní technická a správní služba

Název práce

Problematika tepelného ostrova a vln horka na území Hl. m. Prahy a návrh adaptačních opatření proti nim

Název anglicky

Urban heat island and heat wave issues in Prague and adaptation measures to deal with them

Cíle práce

Hlavním cílem práce bude zpracování teplotních dat z průběhu přechodu vlny horka na území Hlavního města Prahy a jejich zhodnocení v závislosti na funkčním využití území (typu povrchu). Na základě toho student také rámcově navrhne možná adaptační opatření ke zmírnění dopadu vysoké pocitové teploty. Dílčím cílem bude zpracování rešerše odborných zdrojů zadané problematiky.

Metodika

V první části práce student vypracuje rešerši odborných zdrojů na téma extrémních teplotních projevů, vln horka, případně dalších hydrometeorologických extrémů v kontextu klimatické změny. Dále uvede adaptační opatření pro zmírnění dopadů vln horka aplikovaná v tuzemských i zahraničních městech.

V rámci praktické části student zanalyzuje a vizualizuje teplotní data vybrané vlny horka na území Prahy v rastrovém formátu v prostředí GIS, stejně tak data o krajinném pokryvu. Pro krajinný pokryv bude navržena klasifikace, prostřednictvím které bude zhodnocen typ povrchu z hlediska podílu zástavby a zeleně a tedy i náchylnosti k jeho zahřívání. Následně budou tato data uvedena do souvislosti a budou vytipovány lokality s největším potenciálem k přehřívání. Na základě toho budou navržena rámcová adaptační opatření. Výsledky budou zhodnoceny formou diskuze.

Doporučený rozsah práce

30 normostran textu

Klíčová slova

LandUse, Urban heat island, heat wave, adaptation measures

Doporučené zdroje informací

- Fritzsche, K., Schneiderbauer, S., Bubeck, P., Kienberger, S., Buth, M., Zebisch, M., and Kahlenborn, W. (2014): The Vulnerability Sourcebook: Concept and guidelines for standardised vulnerability assessments. Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), Bonn, Germany.
- Pondělíček et al. (2016): Adaptace na změnu klimatu. Civitas per Populi, o. p. s., Hradec Králové. ISBN: 978-80-87756-09-6
- Preston, B.L. and Stafford-Smith, M. (2009). Framing vulnerability and adaptive capacity assessment: Discussion paper. CSIRO Climate Adaptation Flagship Working paper No. 2. <http://www.csiro.au/org/ClimateAdaptationFlagship.html>
- Rannow, S., Loibl, W., Greivingc, S., Gruehna, D., and Meyera, B. C. (2010): Potential impacts of climate change in Germany—Identifying regional priorities for adaptation activities in spatial planning. Landscape and Urban Planning 98, p. 160–171.
- Swart, R., Fons, J., Geertsema, W., van Hove, B., Gregor, M., Havranek, M., Jacobs, C., Kazmierczak, A., Krellenberg, K., Kuhlicke, Ch., and Peltonen, L. (2012): Urban Vulnerability Indicators A joint report of ETC-CCA and ETC-SIA. ETC CCA, European Environment Agency.

Předběžný termín obhajoby

2020/21 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. Petr Bašta

Garantující pracoviště

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Elektronicky schváleno dne 24. 11. 2020

prof. Ing. Martin Hanel, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 30. 11. 2020

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 16. 12. 2020

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma: "Problematika tepelného ostrova a vln horka na území hl. m. Prahy a návrh adaptačních opatření proti nim" vypracoval samostatně pod vedením vedoucího Ing. Petra Bašty a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědom, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne 30. března 2021

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval Ing. Petru Baštovi za odborné vedení, věcné připomínky, cenné rady, vstřícnost při dlouhých konzultacích a za pomoc se získáváním dat do praktické části práce. Dále bych chtěl poděkovat celé rodině za podporu během studia.

Abstrakt

Bakalářská práce se zabývá problematikou městského tepelného ostrova a přechodem horkých vln přes území hl. m Prahy. V rešeršní části práce je popsána tematika a problematika městského klimatu, tepelného ostrova a klimatické změny. V poslední části rešerše jsou uvedena jednotlivá adaptační opatření. V metodice je popsáno zájmové území a zpracování převzatých dat v programu ArcMap. V praktické části jsou výsledky interpretovány mapovými výstupy, které ukazují sjednocení teplotních dat přechodu vlny horka s typem využitého území (Land Use) a tím znázorňují kriticky náchylné oblasti k tvorbě městského tepelného ostrova. Na těchto oblastech přesáhla teplota vzduchu mezní hodnotu 30 °C po dobu až šesti hodin během jednoho dne. Pro tyto oblasti jsou v diskusi navržena rámcová adaptační opatření v podobě zvýšení zelených a vodních prostor a využití materiálů méně náchylných k teplotním jevům.

Klíčová slova: využití ploch, městský tepelný ostrov, teplotní vlny, adaptační opatření, evapotranspirace, hustě zastavěné území, vodní plocha, zelená plocha, ArcMap.

Abstract

The bachelor's thesis is focused on the issue of urban heat island and the passage of hot waves through the territory of capital city of Prague. The theoretical part of the thesis describes the themes and issues of urban climate, warm island, and adaptation measures. In the last part of the research there are individual adaptation measures. The methodology describes the area of interest and the processing of the acquired data in the ArcMap program. In the practical part, the results are interpreted in the form of map outputs, which show the unification of the temperature data of the heat wave transition with the type of land use and then show critical areas to form an urban heat island. In these areas, the air temperature exceeded the limit of 30 ° C for up to six hours in one day. For these areas, framework adaptation measures are proposed in the discussion in the form of increasing green and water areas and the use of materials less susceptible to temperature phenomena.

Keywords: land use, urban heat island, heat wave, adaptation measures, evapotranspiration, discontinuous dense urban fabric, blue space, green space, ArcMap.

Obsah

1 Úvod	11
2 Cíl práce	12
3 Teoretická východiska	13
3.1 Městské klima.....	13
3.2 Městský tepelný ostrov	14
3.3 Klasifikace městského tepelného ostrova	15
3.4 Problematika městského tepelného ostrova	16
3.5 Způsoby sledování účinků městského tepelného ostrova	17
3.6 Městský chladný ostrov	18
3.7 Městský tepelný stres.....	19
3.8 Změna klimatu.....	19
3.9 Vliv klimatických změn na přírodu a krajinu.....	21
3.10 Meteorologické jevy spojené s klimatickými změnami.....	22
3.10.1 Sucho	22
3.10.2 Srážky	23
3.11 Vlny horka.....	24
3.11.1 Negativní dopady horkých vln	25
3.12 Adaptační opatření.....	25
3.12.1 Rozdělení adaptačních opatření.....	27
3.13 Adaptační opatření proti městskému tepelnému ostrovu.....	28
3.13.1 Zelené plochy	28
3.13.2 Vodní plochy	30
3.13.3 Používané materiály v infrastruktuře.....	31
3.13.4 Snížení antropogenních zdrojů.....	32
3.13.5 Lepší a novodobá struktura měst.....	32
4 Metodika	34
4.1 Popis zkoumaného území.....	35
4.2 Výzkum míst náchylných na městský tepelný ostrov.....	37
4.3 Land Use a Land Cover	38
4.4 Zpracování dat	38
4.4.1 Reklasifikace	39
4.4.2 Rastrová kalkulačka.....	39
4.4.3 Sjednocení	40
4.4.4 Sumarizace	41
4.4.5 Průnik.....	42

5	Výsledky.....	43
5.1	Místa náchylná k tvorbě městského tepelného ostrova.....	43
5.2	Navržení rámcových adaptačních opatření	48
6	Diskuse.....	50
7	Závěr.....	51
8	Citovaná literatura	52
9	Seznam použitých obrázků a tabulek	59
9.1	Seznam obrázků.....	59
9.2	Seznam tabulek.....	60
10	Přílohy.....	60

Seznam použitých zkratek

MTO – Městský Tepelný Ostrov

UHI – urban heat island (Městský Tepelný Ostrov)

Mt – megatuna

CO₂ – Oxid uhličitý

CH₄ – Methan

N₂O – Oxid dusný

HFC – fluorovodík

PFC – Perfluorované sloučeniny (látky patřící do skupiny fluorovodíků)

SF₆ – Fluorid sírový

LU – Land Use (využití území)

LC – Land Cover (pokryv území)

AUHI – atmospheric urban heat island (atmosférický městský tepelný ostrov)

SUHI – Surface urban heat island (Povrchový městský tepelný ostrov)

MCHO – Městský chladný ostrov

UCI – Urban cool island (Městský chladný ostrov)

MTS – městský tepelný stres

MŽP – Ministerstvo životního prostředí

GHG – Greenhouse Gas

AO – Adaptační opatření

IPCC – Intergovernmental Panel of Climate Change (Mezivládní panel pro změnu klimatu)

NAS – Národní adaptační strategie

EIA – Environmental Impact Assessment (Vyhodnocení vlivů na životní prostředí)

SEA – Strategic Impact Assessment (Posuzování vlivů koncepcí na životní prostředí)

Fe₂O₃ – Oxid železitý

TiO₂ – Oxid titaničitý

AV ČR – Akademie věd České republiky

BOZP – Bezpečnost práce

PO – Požární ochrana

TTP – Trvalý travní porost

ZEVO – Zařízení Energetického Využití Odpadu

1 Úvod

"Městské tepelné ostrovy přispívají k lidskému nepohodlí, zdravotním problémům, vyšším účtům za energii a většímu znečištění." (Mummery Gartland, 2012).

V posledních několika desetiletích hraje ekologie, životní prostředí a jeho ochrana důležitou roli v našich každodenních životech. Netýká se pouze nás, ale našich budoucích generací, jež naše chyby budou pronásledovat, tak jako nás pronásledují chyby našich předků.

Stejně jako život ve městě má své výhody, tak má i mnohé nevýhody, k nimž patří zhoršené ovzduší, velká kumulace lidí na malý prostor a v posledních letech taky zvyšující se teplota. Tu má na svědomí jev popsáný jako Městský tepelný ostrov (anglicky Urban Heat Island – UHI). Právě na ten se ve své práci budu zaměřovat. Konkrétně v teoretické části této práce bude popsána problematika městského tepelného ostrova, kterou popisuje ve své práci Gunawardena et al. (2017) a problémy ním způsobené (Yang et. al, 2016). Okrajově budou v práci zmíněny i další hrozby jako jsou městský chladný ostrov, změna klimatu či městský tepelný stres. Dále také adaptační opatření, která budou napomáhat ke snižování vlivu tepelného ostrova na náš každodenní život a jejich základní dělení (Pondělníček et. Bízek, 2016). Konkrétně opatření, kterými jsou zvýšení vodních a zelených ploch, snížení antropogenních zdrojů a využití novodobých materiálů v infrastruktuře, kterou popisuje ve své práci Badin et al. (2020). V praktické části práce se zaměřím na průběh tepelné vlny nad územím hlavního města Prahy, pomocí dat přebraných od Geletiče (2019) a zaznamenané teploty budu promítat do upravené mapy funkčního využití prostředí (Copernicus, ©2021), aby bylo patrné, na jakých místech budou již zmíněná opatření potřeba použít a kde je situace nejhorší. Cílem práce je navrhnout rámcová opatření ke snížení dopadu tepelného ostrova na území hl. m. Prahy ke konkrétním typům Land Use.

Jako motivaci k vypracování této práce je nenásilná snaha předat lidem myšlenku a seznámit je s každodenním děním v dané problematice. Dále beru tuto práci jako jakousi výzvu porozumět více danému tématu a přispět k jeho aktivnímu řešení do budoucích let. Téma městského tepelného ostrova jsem si vybral záměrně, jelikož mě tato tematika velice zaujala a jako obyvatel žijící ve městě ji mohu každý den pozorovat.

2 Cíl práce

Hlavním cílem práce bude zpracování teplotních dat z průběhu přechodu vlny horka v letním měsíci, konkrétně v červenci, na území hlavního města Prahy. Jejich zhodnocení v závislosti na funkčním využití území (typu povrchu Land Use; LU) a pokryvu území (Landcover; LC) budou zpracována aplikací ArcMap pro účely vizualizace (v podobě mapových výstupů) náchylných oblastí na území hl. m Prahy. Jde především o vliv urbanizovaného území, vlivu obyvatelstva a husté infrastruktury na mikroklima hlavního města. Na základě toho budou rámcově navržena možná adaptační opatření ke zmírnění dopadu vysoké pocitové teploty a snížení rizika tvorby městského tepelného ostrova.

Dílčím cílem bude zpracování rešerše odborných zdrojů související s danou problematikou městského tepelného ostrova, městského klima, změny klimatu a její příklady a adaptační opatření proti změně klimatu a dopadu MTO.

3 Teoretická východiska

Rešeršní část této práce nám přiblíží zpracování odborných zdrojů na téma městský tepelný ostrov, extrémní teplotní projevy, vlny horka, případně dalších hydrometeorologických nebo klimatických extrémů v kontextu klimatické změny. Dále uvede adaptační opatření pro zmírnění dopadů vln horka a snížení vlivu městského tepelného ostrova aplikovaná v tuzemských i zahraničních městech.

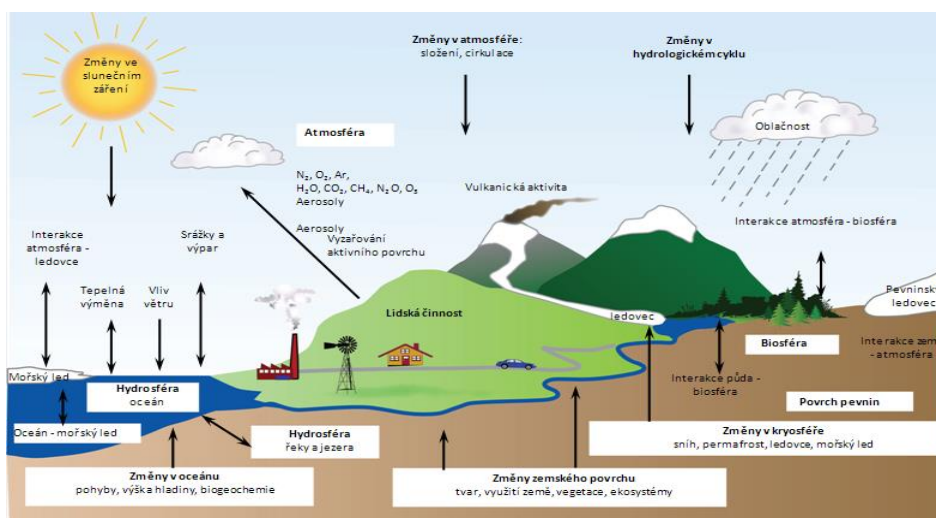
3.1 Městské klima

Městské klima je spojené z několika povrchů (viz obrázek č. 1). Těmi jsou různé formy georeliéfu, lidská činnost, zejména dopravní a průmyslová a antropogenních zdroje energie. Ve městech převládá aktivní povrch, který je tvořen budovami, komunikacemi, ale i zelenými a vodními plochami (Vysoudil, 2013).

Pro města je charakteristický až 10krát větší počet pevných částic, o 5–15 % kratší doba trvání slunečního svitu, o 100 % vyšší výskyt mlhy v zimních obdobích a o 1–2 °C vyšší průměrná teplota (Lansberg, 1981).

Vyšší průměrná teplota uvnitř města v porovnání s venkovskými oblastmi se obecně nazývá jako efekt městského tepelného ostrova (dále jen MTO) (Heisler, 2010).

Důležitou roli ve městech hraje geometrie zástavby, která podporuje redukci albeda povrchu a napomáhá tak pohlcovat sluneční záření za dne, a v noci k jejímu vyzářování (Oke, 1976).



Obrázek č. 1 Úplný klimatický systém (Ruda, 2014)

3.2 Městský tepelný ostrov

Městský tepelný ostrov (anglicky Urban Heat Island – UHI) je definován jako teplotní rozdíl mezi městskou, příměstskou a venkovskou oblastí v jednom daném regionu, který se směrem dovnitř intenzivně zvyšuje. Má řadu ekologických a environmentálních vlivů na městské klima, městské hydrologické situace, atmosférické prostředí, materiálové cykly a může mít vliv i na metabolismus a zdraví obyvatel měst a energetickou spotřebu (Yang et al. 2016).

Jedná se tedy o rozdíl teplot způsobený městskou zástavbou a použitím umělých materiálů na jeho výstavbu, s odlišnými absorpčními tepelnými vlastnostmi (zejména se jedná o beton, železobeton, asfalt a jiné druhy materiálu, které velice dobře absorbují a udržují teplo) na rozdíl od přirozených povrchů (louky, lužiny, lesy a pole) a tím se mění energetická bilance. Dále teplotu vzduchu ovlivňuje odpadní teplo, které produkuje zejména doprava a průmysl, ale může se jednat i o klimatizaci nebo vytápění budov (Lorencová et al. 2017). Označuje se to jako poměr mezi příjmem a výdejem energie, dodávaná energie nahrazuje energetické zásoby, jež jsou spotřebované.

Tento jev vznikl čistě lidskou činností. V přírodě bychom jej mohli pozorovat pouze v horských oblastech anebo na velkých vodních plochách. Voda má totiž značnou schopnost absorbovat teplo a následně ho v řádu několika hodin vydávat. (Ekolist.cz, ©2014).

MTO má určité slabiny, které dokážou napomáhat k jeho aktivnímu odbourávání nebo značnému potlačení jeho vlivu. Tato opatření mohou mít triviální formu, ale jejich účinnost je značná. Jedná se například o vhodné umístění zelených ploch a vodních ploch ve městech, přístup proudícího vzduchu do nitra měst a menší vybetonované plochy. Jeho intenzita je závislá na velikosti města, jeho geografické poloze, klimatických poměrech v daném regionu a na počtu obyvatel v něm žijících (Vysoudil, 2013).

3.3 Klasifikace městského tepelného ostrova

Teplotní rozdíly městského tepelného ostrova se dají rozdělit do několika skupin. První skupinou bude městský tepelný ostrov **denní** a městský tepelný ostrov **noční**, kde pozorujeme teplotní rozdíly oproti normálu. Při nočním městském tepelném ostrově dochází ke zdatelně větším teplotním rozdílům než při městském tepelném ostrově denním, jelikož město vyzařuje naakumulované teplo a ohřívá okolní prostory. Dále můžeme pozorovat dění toho jevu za slabého a silného větru a také za bezvětří (Gunawardena et al. 2017).

MTO lze také rozdělit pomocí výškového rozložení – tepelný ostrov městské atmosféry (Atmosferic Urban Heat Island – dále jen AUHI) a městský tepelný ostrov povrchu města (Surface Urban Heat Island – dále jen SUHI). Povrchem je myšlen aktivní povrch, na kterém dochází k přeměně zářivé energie na energie jiné – zejména teplo (Voogt et Oko, 2003).

AUHI můžeme dále dělit na tzv. tepelný ostrov mezní vrstvy atmosféry (Boundary layer Urban heat Island) a druhým typem je korunová vrstva (Canopy Layer Urban Heat Island) (Středová, 2011).

Podle Okeho (1976) vznikají právě tyto dva podtypy tepelného ostrova rychlou urbanizací měst. Dělí se podle působení: jedna působí v mikroškále a druhá vrstva působí v mezoškále. Korunová vrstva (Canopy Layer Urban Heat Island), která se stanovuje drsností města, představuje objem vzduchu, jenž je omezený aktivním povrchem a výškou budov. Tento proces se odehrává v mikroskopickém měřítku a je přímo ovlivňován okolím (použitými materiály a koncepcí dané lokality). V zástavbách s vysokou hustotou zastavění, bude hranice této vrstvy přesně korespondovat s vrcholky střech, nebo bude těsně pod nimi.

Druhá, mezní vrstva (Boundary Layer Urban Heat Island), která se nachází přímo pod korunovou vrstvou, je ovlivňována přímo spodní městskou hranicí. Tato vrstva se díky proudění větru může oddělit od země a vytvářet tzv. městský oblak. V této vrstvě se také může vyskytovat teplotní inverze, ale pouze v její vrchní části. Tento efekt může být spojován se znečištěním města, na to jsou však potřeba další studie (Oke, 1976).

Podle studie od Gunawardena et al. (2017), která se zabývá využitím zeleně a vodních ploch na aktivní odbourávání tepelného ostrova, je teplota ve městech výrazně nižší při správném proudění vzduchu. Je tedy velmi důležité i samotné rozpoložení města, aby umožňovalo volný průduch větru a tím napomáhalo k jeho ochlazení, které by vedlo k potlačení efektu MTO.

Tento jev byl poprvé zkoumán na začátku 19. století na městském klimatu ve Spojeném království, konkrétně v Londýně, od něho se odvíjí řada výzkumů a charakteristik tohoto jevu. Vědec, který výzkum prováděl, Luke Howard, studoval městské klima dvacet let a dokázal, že vnitřek města má pozorovatelně vyšší teploty než jeho přilehlé okolí (Howard, 1833).

3.4 Problematika městského tepelného ostrova

Příčiny městského tepelného ostrova můžeme pozorovat hned na několika příkladech. Patří mezi ně lidská činnost, lokálně znečištěné ovzduší nebo špatně navrhnutá infrastruktura města spojená s přehuštěnou dopravou ve městech samotných.

Další z úskalí MTO je, že při vyšší teplotě, kdy se vzduch vně víc ohřívá, má za následek, že při srážkách se voda prožene bez jakékoli výměny tepla mezi vodou a ohřátými plochami a oteče do kanalizační sítě (Ekolist.cz, ©2014).

Efekty městského tepelného ostrova jsou přímo úměrné velikosti daného města, podle studie od Vysoudila (2013), je městský tepelný ostrov ve větších městech v daleko rozsáhlejší měřítku než v těch menších. Ve větších městech je zastavěné území více vměstnané na menší prostor než v malých městech, kde se lépe řídí proces urbanizace.

Městská povrchová teplota je jedním z nejdůležitějších faktorů městského klimatu. Ovlivňuje určité meteorologické parametry, jakými jsou například: **teplota, protékání vzduchu a městská vlhkost** (Ekolist.cz, ©2014).

Tento rozdíl teplot vzduchu uvnitř města oproti venkovským oblastem se v některých městech pohybuje od 3–10 °C. Například v New Yorku (Spojené státy americké) se teplotní rozmezí MTO pohybuje v rozmezí od 3,1–8 °C; v Pekingu (Čína) průměrný teplotní rozdíl dosahuje hodnot okolo 3,3 °C a při dlouhodobém pozorování v Šanghaji (Čína) se od roku 1961 do roku 2000 průměrně dosahoval hodnot 7,4 °C (Yang et al. 2016).

V roce 2006 vlna veder, která se provalila přes Evropu, souvisela s přívalem suchého vzduchu do mnoha evropských zemí (Belgie, Francie, Německo, Nizozemí,

Švýcarsko i Česká republika). Průměrné teploty vzrůstaly ve většině Evropy až o 6 °C. Maximální teploty o 6 °C byly přesaženy na téměř 700 000 km². A o 4 °C byly přesaženy na 2,21 miliónů km² (Rebetez et al. 2009).

V Praze se mezi lety 1961 a 2016 průměrná teplotní intenzita MTO pohybovala pro minimální teploty o 0,16 °C, průměrné denní teploty o 0,08 °C a maximální denní teploty o 0,03 °C, k těmto navýšením teplotních dat docházelo za decennium (Žák, ©2017).

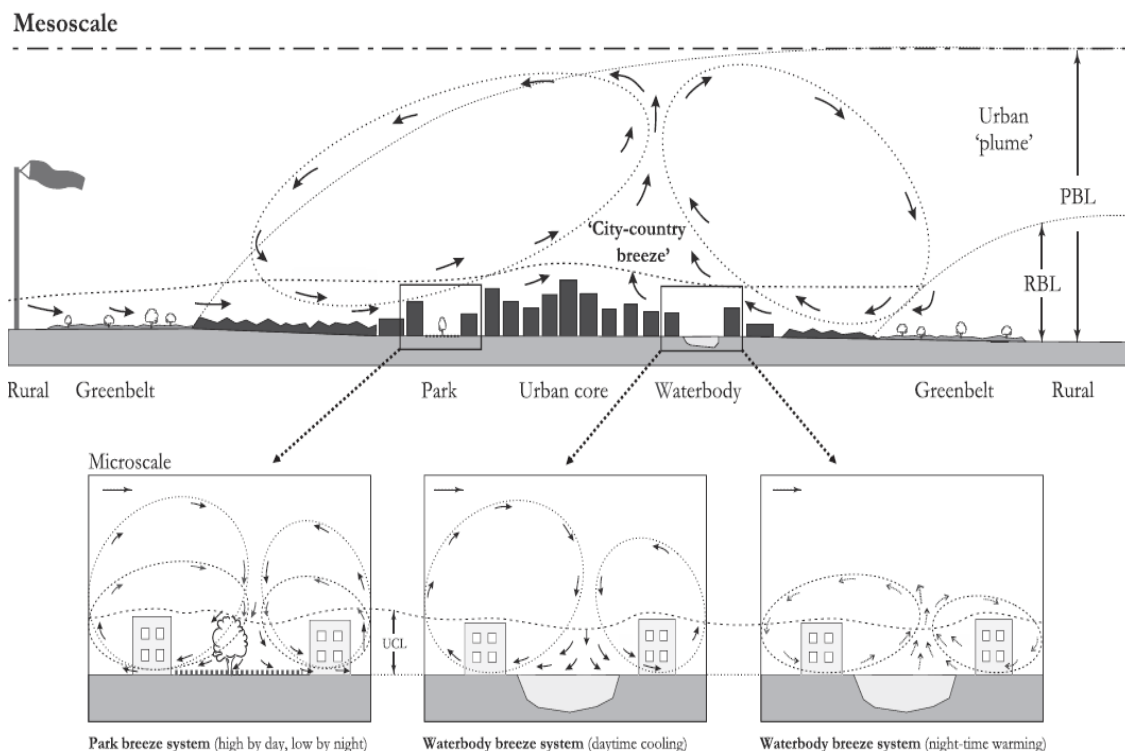
3.5 Způsoby sledování účinků městského tepelného ostrova

Jelikož MTO zásadně ovlivňuje městské klima, k jeho účinnému odbourávání je potřeba přesné sledování měření. K tomu se mohou používat tři hlavní metody: pomocí propracované pozemní sítě teplotních čidel, ze satelitních snímků nebo z letadel, popřípadě v posledních letech velmi používaných dronů.

První jmenovaná metoda se věnuje měření MTO přímo v postiženém městě a v jeho blízkém okolí a ve vesnické oblasti, tyto hodnoty se porovnávají. Je zapotřebí velmi hustá síť teplotních snímačů, aby bylo dosaženo přesného měření a výsledné naměřené hodnoty byly adekvátní. Množství použitých snímačů je ovšem finančně náročné (Mendez-Astudillo et al. 2020).

Pozorování tepelného ostrova ze satelitních snímků je druhou metodou, která má tu výhodu, že s ní lze pozorovat velkou geografickou plochu (Mohegh et al. 2018). Je k tomu ale potřeba velmi dobrá viditelnost, pro pořízení adekvátních a prokazatelných fotografií. K této metodě se používá hlavně satelitní program LANDSAT (Mendez-Astudillo et al. 2020).

A jako poslední metodou, která se nejvíce využívají ke sledování MTO patří metoda využívající letadel s potřebným vybavením ke sledování teplot. Speciálním vybavením se myslí například termokamery či tepelné snímače s vysokou kvalitou snímků (Grimmond et al. 2010).



Obrázek č. 2 Účinky vodních a zelených ploch na proudění větru ve městech (Gunawardena et al. 2017).

3.6 Městský chladný ostrov

Tepelný ostrov není jediným problémem, který sužuje městské mikroklima. Opakem městského tepelného ostrova je tzv. městský chladný ostrov (anglicky Urban Cool Island - UCI), (dále jen MCHO). Tento jev může nastat když je energetická bilance v kladných hodnotách a centra měst jsou chladnější než méně urbanizované plochy tedy venkovské oblasti. A teplotní rozdíl vůči tepelnému ostrovu je zde markantně nižší (Rizwan et al. 2008).

Tento proces se děje hlavně v ranních hodinách, kdy stíny, které vrhají budovy, zabraňují vstupu slunečního svitu do zasažených oblastí. V těchto oblastech se teploty pohybují výrazně níže než v těch oblastech, kam sluneční svit dopadá (Gonçalves et al. 2018).

3.7 Městský tepelný stres

Městský tepelný stres (MTS) je jev, který má za následky nepohodlí obyvatelstva a je dalším z důsledků změny klimatu v oblastech města. Jeho účinky mají na obyvatele ekonomický a sociální ráz a má dopad na jejich zdraví. Hlavními ukazateli MTS jsou: MTO, vlhkost, sluneční záření, vítr a znečištěné ovzduší (Arifwidodo et Chandrasiri, 2020).

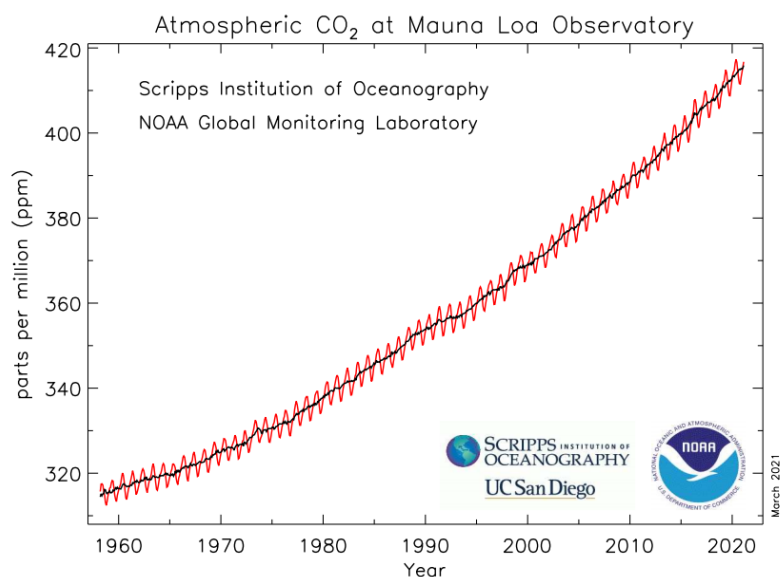
3.8 Změna klimatu

Změna klimatu je jedním z nejvíce diskutovaných globálních problémů a má ji na svědomí přibývání přirozených skleníkových plynů v atmosféře (CO_2 , CH_4 , N_2O , HFC, PFC a SF_6) v důsledku lidské činnosti a znečišťování antropogenními plyny (MŽP ©2015).

Skleníkový efekt je zcela přirozený jev, díky kterému je na Zemi cca o $30\text{ }^\circ\text{C}$ více, než kdyby jeho působení nebylo žádné. Skleníkový efekt lze popsat jako propuštění krátkovlnného slunečního záření přes skleníkové plyny namísto dlouhovlnného tepelného záření, jenž je Země schopna absorbovat (Pondělníček et. Bízek, 2016).

Změnou klimatu je ohrožované fungování krajinných složek a lidské společnosti. Nelze přesně předpovědět možné následky klimatické změny, a proto jsou vyvíjeny předpovědní modely. Zatím nejúčinnější metodou, jak zmírnit klimatické změny, je efektivní snižování emisí skleníkových plynů v naší atmosféře a zároveň se s těmito dopady přizpůsobovat neboli adaptovat. Obsah skleníkových plynů v atmosféře se souhrnně nazývá CO_2ekv . Protože každý z plynů má jinou schopnost ovlivňovat klima jiným způsobem (MŽP ©2015).

Hodnota CO_2ekv . je normalizovaná jednotka, vyjadřující množství určitého plynu vypouštěného do atmosféry násobená koeficientem GWP (global warming potentials), který je pro každý plyn jiný. Podle Forstera et al. (2007) jsou dolní hodnoty pro plyn oxid dusný (N_2O) 265 a podle Myhre et al. (2013) horní hranice je 298. Obě hodnoty jsou v závislosti na carbon-climate feedback (cc fb). To je účinek, který říká, jak velký dopad má klima na uhlíkový cyklus. Lze tedy říct, že 1 t oxidu dusného je 265–298krát horší pro životní prostředí, než 1 t oxidu uhličitého (CO_2) (Forestr et al., 2007; Myhre et al. 2013).



Obrázek č. 3 Graf měsíčního průměru CO₂, vodorovná osa: roky, svislá osa: 1:1 000 000 částic CO₂ na milion částic, červená barva: Měsíční průměr, černá barva: průměrné měsíční hodnoty pro běžný sezónní cyklus (ESRL, ©2021)

Podle GHG protokolu (Greenhouse Gas Protocol) se emise CO₂ rozdělují do tří částí: Scope 1, Scope 2 a Scope 3. Do skupiny Scope 1 patří přímé emise (emise kotlů nebo generátorů na fosilní paliva v podnicích, emise z automobilové dopravy a emise spojené se spalováním odpadů). Emise ze skupiny Scope 2 jsou spojovány s emisemi za nákup energie, která je v podniku spotřebována, jedná se o nepřímé emise. A do skupiny Scope 3, která je doporučující, patří emise, které podnik vyprodukoval svou činností, ale nejsou specifikovány ve skupině Scope 2. Jedná se např. o služební cesty letadlem, ukládání odpadu na skládky nebo cesty ostatními dopravními prostředky, které podnik nevlastní (GHG Protocol, ©2020).

Hlášení emisí ze skupin Scope 1 a 2 jsou povinné a Scope 3 je pouze dobrovolné. Součet těchto 3 skupin se nejčastěji určuje v tunách ekvivalentních emisí oxidu uhličitého (CO₂ekv.) (CI2, ©2020).

V České republice se se změnami klimatu zabývá tzv. „Adaptační strategie ČR“ od října roku 2015. Ta měla/má za cíle snížit emise České republiky do roku 2020 alespoň o 32 Mt CO₂ekv. A do roku 2030 o 44 Mt CO₂ekv. s porovnáním hodnot z roku 2005. Ty činily 146 Mt CO₂ekv (MŽP, ©2015).

3.9 Vliv klimatických změn na přírodu a krajinu

Změna klimatu s sebou nese mnohá úskalí, jež mohou změnit náš každodenní život nejenom regionálně, ale hlavně globálně. Jevy se mohou lišit podle dané topologie a rozložení daného regionu/státu (Ústav výzkumu globální změny AV ČR, ©2021).

Střídající se výkyvy počasí jsou typickým jevem při klimatických změnách, nejčastěji dochází k povětrnostním jevům a četným srážkám, jež střídá sucho a bezvětří. To podle vědeckých předpokladů může v krajních případech vést až k extrémním povodním, které by mohly mít za následek snížení kvality vody a následné zhoršení dostupnost vodních zdrojů (Žalud et al. 2019).

Dále to mohou být požáry způsobené suchem, které v posledních letech postihly celou planetu (v roce 2020 to bylo například Ruská federace, Austrálie, Spojené státy americké).

V nadcházejících desetiletích se očekává, že se změny klimatu ještě víc zintenzivní (Evropská komise pro opatření v oblasti klimatu, ©2016).

Ekologické problémy se tedy znatelně podepíší i na globální ekonomice a jejich udržitelnost se nadále nebude moci přehlížet, ale skutečně se začít řešit.

3.10 Meteorologické jevy spojené s klimatickými změnami

S klimatickou změnou přichází i extrémny s ní spojené. Hlavními sledovanými extrémny jsou sucho, srážky a přechody vln horka.

3.10.1 Sucho

Sucho se dá definovat jako nedostatek vody v krajině. Podle Tallaksen et Van Lanen (2004) je sucho opakující se jev, který postihuje všechny klimatické oblasti a v každé z nich má jiný dopad. Jedná se o tranzitivní jev, který je způsobený nedostatkem srážek, nadbytkem slunečního svitu, povětrnostními podmínkami, hlavně rychlostí větru a evapotranspirací. Evapotranspirace je slovo složené ze slov evaporace (výpar z vodních ploch, půdy a tajícího sněhu, popřípadě ledu) a transpirace (výpar z vegetace). Výpar v atmosféře tvoří asi 15 % zastoupení vodní páry (Žalud et al. 2019). Udává celkový výpar vody z povrchu země vypouštěného do atmosféry, zejména z vodních ploch, rostlin a nashromážděné dešťové vody (Gunawardena et al. 2017).

Monitorováním sucha na území České republiky se zabývá projekt intersucho.cz. Ten rozděluje sucho na několik základních kategorií (meteorologické, hydrologické a socioekonomické). Projekt intersucho.cz k monitorování používá funkci intenzity sucha, který vychází z modelového odhadu půdní vlhkosti. Tento model sleduje podrobná meteorologická data na plochách 500 x 500 m, do kterých rozdělil území České republiky. Data se porovnávají s historickými měřeními ve vztahu k podmínkám na daném území. Výstupem z tohoto modelu je pravděpodobnost opakování obsahu půdní vlhkosti v daný den a je přiřazována odpovídající škále (S0, S1, S2, S3, S4, S5) (Brázdil et al. 2015). Viz obrázek č. 4.

Kategorie	Popis
Normální stav	Zásoba vody v půdě je blízká nebo vyšší než normální hodnoty pro dané období. Obsah dostupné vláhy je větší než hodnota 30. percentilu
S0 – snížená úroveň půdní vláhy	Relativně nižší úroveň půdní vlhkosti opakující se v daném období v průměru jedenkrát za 3-5 let. Obsah dostupné půdní vláhy v intervalu 20.-30. percentilu.
S1 – počínající sucho	Snížená úroveň půdní vlhkosti opakující se v daném období v průměru jedenkrát za 5-10 let. Obsah dostupné půdní vláhy v intervalu 10.-20. percentilu.
S2 – výrazné sucho	Půdní vlhkost dosahuje hodnot, které se v daném období opakují v průměru jedenkrát za 10-20 let. Obsah dostupné půdní vláhy v intervalu 5.-10. percentilu.
S3 – velmi výrazné sucho	Půdní vlhkost dosahuje hodnot, které se v daném období opakují v průměru jedenkrát za 20-50 let. Obsah dostupné půdní vláhy v intervalu 2.-5. percentilu.
S4 – výjimečné sucho	Půdní vlhkost dosahuje neobvykle nízkých hodnot, které se v daném období opakují v průměru jedenkrát za 50-100 let. Obsah dostupné půdní vláhy v intervalu 1.-2. percentilu.
S5 – extrémní sucho	Extrémně nízká půdní vlhkost, která se v daném období v průměru opakuje méně než jedenkrát za 100 let a současně nasycení půdy je nižší než 50% po více než 1 měsíc.

Obrázek č. 4 Stupnice intenzity sucha (Brázdil et al. 2015)

Nedostačený koloběh vody může tedy vést k tomu, že se teplo akumuluje jinde a přispívá to efektu městského tepleného ostrova. Je tedy třeba tento ukazatel bedlivě sledovat při vyhodnocování MTO.

3.10.2 Srážky

Srážky jsou výsledek kondenzace nebo sublimace vodní páry v ovzduší, na povrchy, objekty a vegetaci. Jsou společně s teplotou vzduchu a dalšími základními faktory určovány krajinným rázem (Tlapák et al. 1992).

Srážky se tvoří v mracích, kde se vlhkost spojuje v kapičky (kapička vody má rozměr 0,02 mm) a ty se následně přetváří v dešťové kapky (velikost cca 2 mm), které jsou dostatečně těžké na překonání odporu vzduchu a dosáhnou zemského povrchu (Ahern, 2003).

Podle Tlapáka et. al (1992) se srážky dělí dvěma způsoby, na vertikální a horizontální. Druhý ze zmíněných způsobů zpravidla sporadické v období hydrologického roku, ale má zásadní vliv na zemědělství, protože pokrývá minimální potřebu vody v době, kdy je vertikálních srážek nedostatek (Kemel, 1996).

Vertikální srážky jsou zejména srážky trvalé, přeháňkové a srážky z mrholení. Ty trvalé se vyznačují malou intenzitou, ale delší dobou trvání. Srážky přeháňkové

mají velkou intenzitu, ale trvají kratší dobu a srážky z mrholení jsou zcela neintenzivní (kapičky vody o velikostech 0,05–0,5 mm) (Havlíček, 1986).

Srážky dokáží ochladit vyšší městské teploty, a tím napomáhat snižování rizik, které s sebou přináší městský tepelný ostrov. Ve městech dochází ke zvýšenému množství srážek třemi způsoby a to zvýšenou intenzitou výstupných konvenčních pohybů, přílivem vlhkého vzduchu z okolních oblastí a zvýšením znečištění atmosféry (Bonan, 2008).

Výskyt výškových budov, které zpomalují postup frontálních systémů ve městech, může mít vliv při zvyšování četnosti srážek ve městech. V porovnání s venkovskými oblastmi je to navýšení o 5–15 % (Changnon, 1981; Lansberg, 1981).

3.11 Vlny horka

Vlna horka je jev spjatý s několikadenními enormně vysokými teplotami v průběhu letních měsíců. I když nelze výskyt vln horka připisovat pouze klimatickým změnám, mají na ně velký vliv. Teplotní vlny procházejí celými státy nebo jen lokálními oblastmi (AVČR, ©2020).

Teplotní vlna je několika denní až několika týdenní projev počasí, kde maximální denní teploty přesahují 30 °C a více. Za vlnu horka je považováno počasí, kde alespoň tři za sebou jdoucí dny se teplota vyšplhá nad 30 °C a ustálí se.

Další zdroje uvádějí, že za horkou vlnu se dá považovat počasí trvající čtyři dny s průměrnou teplotou, která překračuje pravděpodobnost výskytu pouze jednou za 10 let (Kunkel et al. 1999).

S výskytem vln horka se spojuje i vysušování zemského povrchu začátkem teplých měsíců (na jaře a počátkem léta). V průběhu let se klimatické modely shodují, že právě v těchto letech ubyl výskyt průměrných srážek, které vedou ke změně klimatu nejen nad většinou Evropy (Kyselý et Pecho, 2012).

V uplynulých dvaceti letech zasáhla vlna zvýšených teplot planetu několikrát. V roce 2003 a 2006 – Evropa, v roce 2010 – Rusko (přechodu horka je připisováno až na 55 000 obětí). Rok 2010 byl podle Kyselého et Pecha (2012) z hlediska teplotních odchylek i velikostí zasaženého území nejvíc extrémním od roku 1500.

3.11.1 Negativní dopady horkých vln

Extrémní dopady vysokých teplot jsou spojovány se zvýšenou mortalitou. Jedním z případů je selhání srdeční činnosti z přetížení organismu člověka teplem. Jako tomu bylo během letních měsíců při přechodu vlny veder v roce 2003 ve Francii (Obrusník, 2010).

Podle Kollárikové et. al (2013) tyto problémy souvisí i s dalšími jevy, které dokáže ovlivňovat horké počasí. Týká se to například tání ledovců v Alpách, dopad na zemědělství, vznik lesních požárů a negativní dopad na lesní společenství jimi způsobené.

3.12 Adaptační opatření

Variant adaptačních opatření (dále jen AO) může být nespočet. Může se jednat o změnu lidského chování, změnu používaných materiálů, změnu infrastruktury a v neposlední řadě i o změnu rozpoložení městské zástavby a využití zeleně a vodních ploch (Sharifi, 2020).

AO mají za cíl snížit zranitelnost a podpořit schopnost zvládnání a odbourávání MTO. Podle IPCC se jedná o proces přizpůsobení se stávajícímu nebo očekávanému klimatu a jeho účinkům na lidskou populaci a přírodu (Mach et al. 2014).

Mach et al. (2014) dále definuje opatření jako cílený lidský zásah za účelem snížení zdrojů a zlepšení propadů skleníkových plynů. Konečným cílem je však minimalizovat nežádoucí účinky na životní prostředí a změny klimatu (Ayers et Huq, 2009).

Země si připravují tzv. národní adaptační strategii (NAS), která připravuje strategii v různých sektorech, v České republice ji spravuje MŽP (©2015) do těchto deseti sektorů:

- lesní hospodářství;
- zemědělství;
- vodní režim v krajině a vodní hospodářství;
- urbanizovaná krajina;
- biodiverzita a ekosystémové služby;
- zdraví a hygiena;
- cestovní ruch;
- doprava;
- průmysl a energetika;
- mimořádné události a ochrana obyvatelstva a životního prostředí.

AO a jejich pozitivním vlivem na městské klima se začalo zabývat nespočet zemí v Evropě, ale i po celém světě (např. Finsko, Francie, Španělsko, Čína, Mexiko, Dánsko, Velká Británie, Německo a další). Ve svých NAS jmenují konkrétní opatření v boji se změnou klimatu (Biesbroek, 2010).

Jako návrh AO na zmírnění měnícího se klimatu a přírody může být několik:

- opatření založená na ekosystému (více zeleně a vodních ploch do hustě zastavěných oblastí, zejména měst);
- využití nových technologií v průmyslu;
- snížení koncentrace CO₂ v ovzduší;
- ekologické a „zelené“ stavby, umožňující pasivní chlazení;
- oznamující;
- fyzická realizace určitých opatření (protipovodňové zábrany...).

3.12.1 Rozdělení adaptačních opatření

AO lze rozdělit do dvou základních skupin: **strukturální** a **nestrukturální**, viz tabulka č. 1.

Tabulka 1 Základní rozdělení adaptačních opatření (Pondělníček et. Bízek, 2016)

TYP REALIZACE	SUBTYP
Strukturální	Zelená
	Modrá
	Šedá
	Kombinovaná (kombinace všech výše zmíněných)
Nestrukturální	Prevence
	System včasného varování
	Pojištění
	Stimulační nástroje (finanční podpora jednotlivcům)

Zelená opatření

Pomocí zelených ploch se sníží antropogenní zdroje tepla a budou přispívat ke stabilizaci mikroklimatu a tím i ke snížení městského tepelného ostrova a přechodů horkých vln (Pondělníček et. Bízek, 2016).

Modrá opatření

Pomocí vodních ploch dojde, stejně jako u zelených ploch, ke stabilizaci mikroklimatu ve městech a ke snížení MTO a horkých vln. Dále toto opatření povede k revitalizaci říčních toků (Pondělníček et. Bízek, 2016).

Šedá opatření

Jedná se o stavebně-technická provedení určitých opatření (například protipovodňové bariéry) na úrovni obcí i měst (Pondělníček et. Bízek, 2016).

Kombinovaná opatření

V ideálním případě se skloubí všechna opatření (zelená, modrá a šedá), která poskytují největší úspěšnost opatření (Pondělníček et. Bízek, 2016).

Preventivní opatření

Slouží k lepší informovanosti široké veřejnosti. Například letáky o dopadu klimatické změny, možnostech přizpůsobení a jiné (Pondělníček et. Bízek, 2016).

Systemy včasného varování

Jedná se o varování obyvatel před blížící se hrozbou (např. povodně), vyhlášení stavu ohrožení a následné evakuace z nejvíce postižených oblastí (Pondělníček et. Bízek, 2016).

Opatření ve formě pojištění

Jedná se o náhradu už vzniklých škod způsobených buď hydrometeorologických nebo klimatických pohrom (Pondělníček et. Bízek, 2016).

3.13 Adaptační opatření proti městskému tepelnému ostrovu

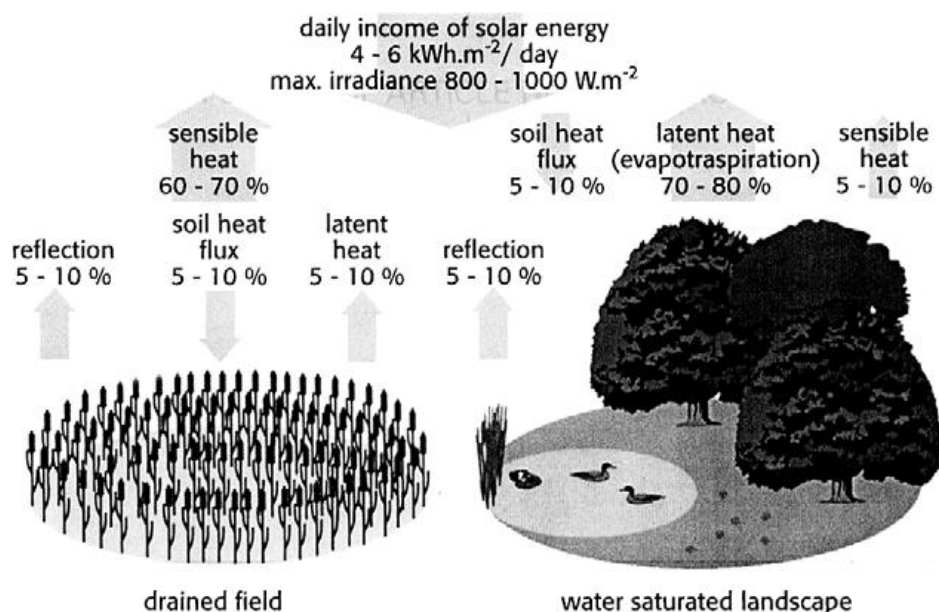
AO by měla řešit ohřívání budov, ulic a vzduchu ve městech. Dají se dělit na aktivní a pasivní opatření. Aktivní řeší problémy napřímo (zelené plochy, vodní plochy a použité materiály na výstavbu). Zatímco pasivní opatření mají informovat a upozorňovat na danou hrozbu (legislativní předpisy, obecná informovanosti obyvatelstva).

3.13.1 Zelené plochy

Zahrnutí zelených ploch v odbourávání MTO se již v minulosti ukázal jako jeden z nejvíce efektivních nástrojů vedoucích ke zlepšení mikroklimatu měst a redukcii tepelného ostrova (Chun et Guldmann, 2018).

Klíčovou rolí v tom hraje evapotranspirace (výpar), díky níž se přeměňují zelené plochy sluneční energii na latentní teplo. Tento proces snižuje množství energii potřebnou pro vytvoření sálavého tepla, které by ohřívalo přilehlé okolí (Filho, 2018). Vzrostlé stromy v ulicích poskytují stínění stunečního svítu, a už 10% zastínění ulice může mít za následek snížení vyzařované energie povrchem až o 1 °C (Daemer et al. 2018).

Zelené plochy mohou být umístěny buď na střechách, ve vybetonovaných částech města, kde je minimum zeleně (Malá Strana, Žižkov apod.) nebo v teplejších částech města.



Obrázek č. 5 Rozdíl disturbance sluneční energie na 1 m² odvodněné krajiny (vlevo) a 1 m² krajiny pokryté vegetací a nesycené vodou (Pokorný, 2001)

Zelenou plochou, jako nástroj AO rozumíme: parky, travní pásy v kolejišti, zelené střechy (střechy s vegetací), stromovou alej uprostřed vozovky anebo tzv. zelené lavičky, které se běžně používají v amerických městech (San Francisco) viz obr. č. 6 .



Obrázek č. 6 Lavičky se zelení jako aktivní opatření proti potlačení MTO (USA, San Francisco) (Trendhunter, ©2011)

Dalším příkladem mohou být zelené střechy a zdi – plochy domů s vegetací, které přispívají ke snížení efektu MTO. Také přispívají ke zvýšení atraktivity prostředí města, snižují energetické náklady na vytápění a chlazení budov a mají i pozitivní psychologický dopad na lidské pohodlí (Vijayaraghavan, 2016).

3.13.2 Vodní plochy

Vodními plochami se rozumí všechna tělesa statické nebo dynamické povrchové vody. Snižování účinků městského tepelného ostrova vodními plochami musíme tedy rozdělit do dvou skupin, vody stojící a tekoucí, protože obě poskytují jiné výhody (Gunawardena et al. 2017).

Ale podle Gunawardena et al. (2017) mohou vodní plochy i město zahřívát, za určitých podmínek např. když jsou špatně umístěny nebo jsou špatně navrženy. Proto je chlazení měst vodními plochami velmi náchylné na zpracování a je třeba podrobný výzkum okolí před aplikováním tohoto AO.

Stojaté vody přináší chladící efekt pomocí odpařování. Absorbovaná energie přeměňuje zahřívání na latentní vytápění vodní páry a díky tepelné kapacitě a entalpii odpařování má voda vysokou tepelnou setrvačnost. V ranních hodinách se voda převážně ohřívá. V odpoledních hodinách, kdy voda i pára dosahují teplotních vrcholů, se vytváří silný odpařovací tok, který může trvat až do nočních hodin (Gunawardena et al. 2017).

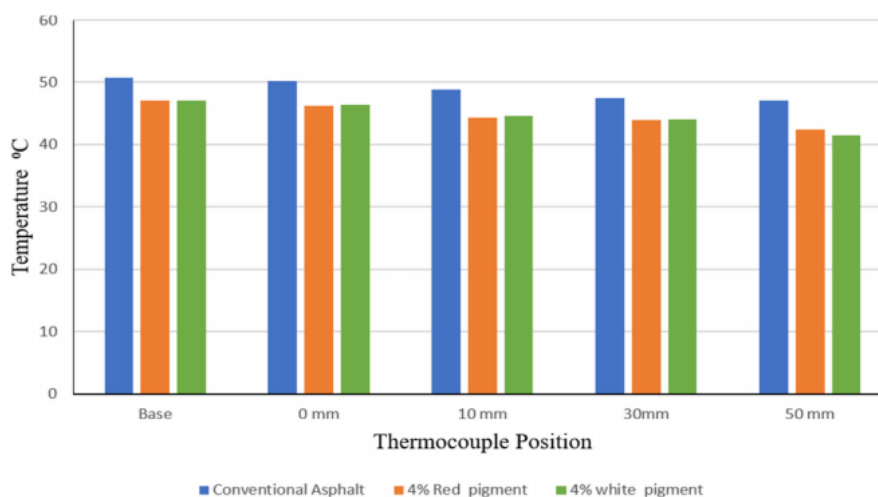
Tekoucí vody jsou důležité z pohledu odvádění ohřáté vody pryč z postižené oblasti. Radiační výměna tepla je určena albedem vodního povrchu (odrazivostí). Ten je nízký při nízkém až středním úhlu výskytu slunečního záření, je ovlivňován průtokem a dynamikou a zakaleností vody. Krátkovlnné sluneční záření (vlnové délky od 0,1 do 5,0 μm) a infračervené záření s dlouhou vlnou (vlnové délky od 4 do 100 μm) jsou absorbovány, což vede k oteplování vodních ploch a tím pádem odvodu tepla pryč z města (Gunawardena et al. 2017).

Vodními plochami jako AO rozumíme například fontány v husté městské zástavbě, přirozené vsakování vody. Za vhodných geografických podmínek by také mohly být vybudované povrchové odtoky dešťových vod, které by pomáhaly odvádět teplo z nejvíce namáhaných oblastí. A dále, vodní plochy, které by absorbovaly teplo během dne a v noci by jej vydávaly a tím zmenšovaly teplotní propad.

3.13.3 Používané materiály v infrastruktuře

V dnešní době každá stavba, činnost s ní spojená, technologie a výrobní materiály zasahují do území a do životního prostředí, kde se daná stavba buduje. Každá stavba musí před zahájením projít procesem **EIA** (Environmental Impact Assessment) a musí mít vypracovaný vliv stavby na ŽP. EIA se dělí na dvě kategorie. V první kategorii je posuzován záměr a obsahuje například komunikace nebo vodní díla. V druhé kategorii se u dílčích záměrů stanoví, zda mají zásadní vliv na ŽP nebo ne. Do druhé kategorie patří zejména rekreační areály. Posuzují se hlavně vlivy na veřejné zdraví, vlivy na floru a faunu, ekosystém, ovzduší, klima, krajinu, půdu atd. (Tománková et Čápková, 2013).

Dnes se používá hlavně ekonomicky nejvýhodnějších materiálů na výstavbu (beton, železobeton, asfalt). Tyto materiály dobře absorbují teplo a mají většinou tmavou barvu. Je třeba je nahradit jinými, méně tepelně absorpčními materiály. Podle výzkumu od Badina et al. (2020) lze asfalt obarvit pomocí červených pigmentů oxidu železitého (Fe_2O_3) a bílých pigmentů oxidu titaničitého (TiO_2). Vzorčky běžného materiálu, které po 3 hodinovém zahřívání vykazovaly hodnoty mezi 65–70 °C po přidání pigmentu měly teplotu 55–60 °C, tj. o 5–7 °C nižší teplotu než u vzorků asfaltu bez použití pigmentu. Vozovka by se neohřívala na vyšší teploty a neohřívala by tak vzduch. Výsledky výzkumu také ukázaly, že vylepšený typ asfaltu rychleji chladne (Badin et al. 2020).



Obrázek č. 7 Teploty asfaltu, svislá osa: teplota; vodorovná osa: modrá – klasický asfalt, oranžová – asfalt s 4% červeným pigmentem oxidu železitého, zelená – asfalt s 4% bílým pigmentem oxidu titaničitého (Badin et al. 2020)

3.13.4 Snížení antropogenních zdrojů

Antropogenní zdroje (vyprodukované lidskou činností) jsou výrazným znečišťovatelem ŽP a globálně napomáhají zahřívání planety Země. Největšími producenty tohoto znečištění jsou elektrárny používající pro výrobu energie fosilní paliva, zemědělství, průmyslová činnost, doprava a vytápění budov a klimatizace (Braníš et Hůnová, 2009).

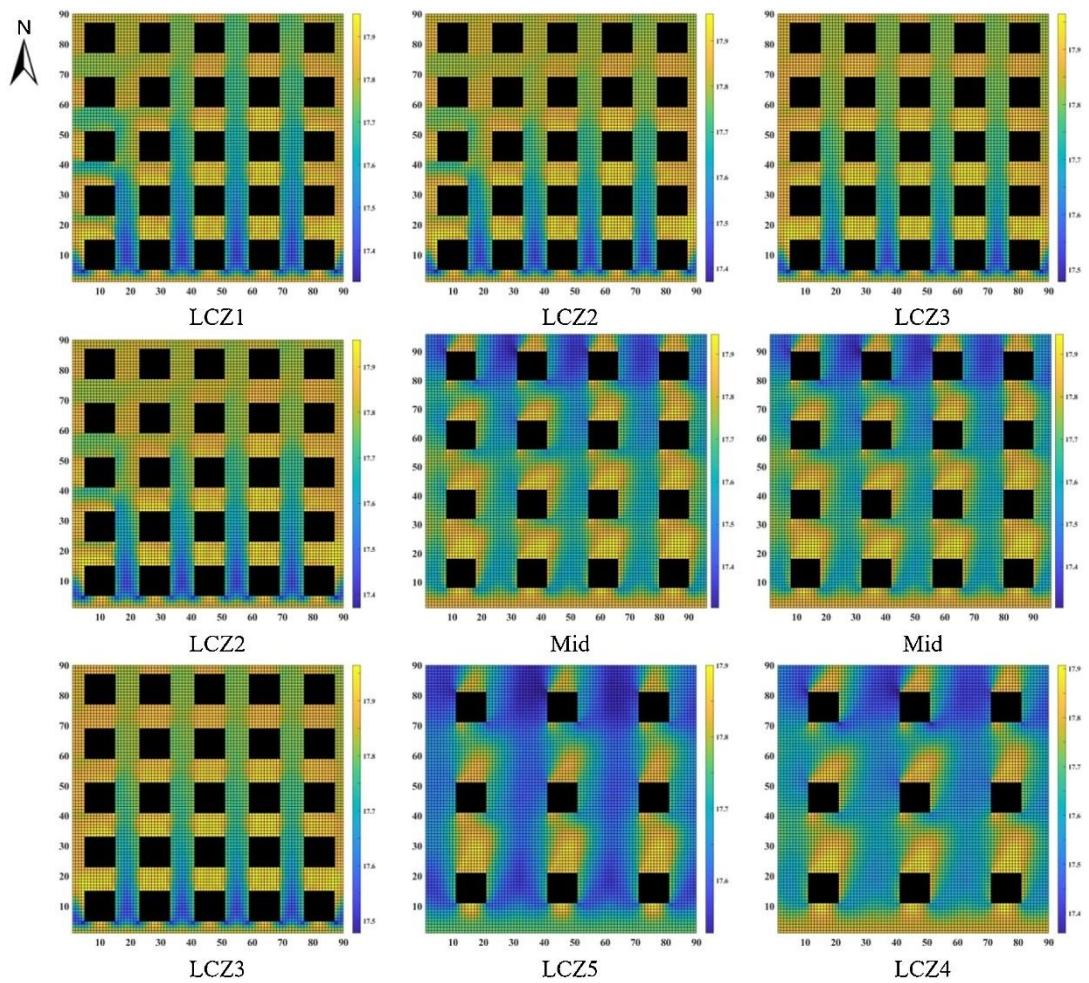
K jejich snížení se Česká republika zavázala v roce 2015 podle stanoviska SEA ke koncepci Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách České republiky a sledování a rozbor vlivů koncepce na životní prostředí a veřejné zdraví (MŽP, ©2015).

Snížení antropogenních vlivů by znamenalo snížení CO₂ v ovzduší a celkově by napomáhalo ochlazování povrchu. Je tedy jedním ze základních AO, která by měla vliv nejen na efekt MTO, ale i na ostatní ekologické hrozby.

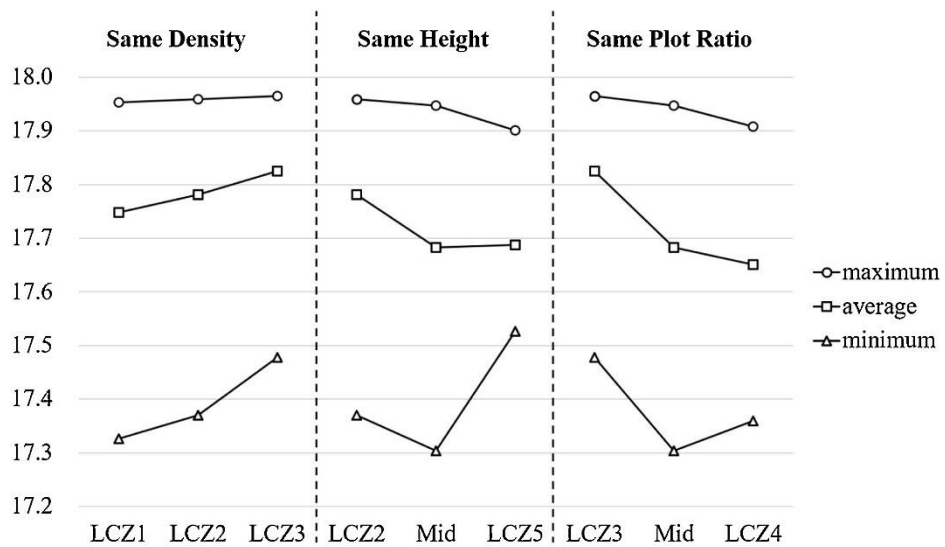
3.13.5 Lepší a novodobá struktura měst

Hustá městská zástavba zabraňuje dostatečnému průtoku větru městem, a napomáhá k jeho ohřevu. Studie od Wang et al. (2021) dokázala, že různé struktury městské zástavby mají velký vliv na tepelný stres za stejných meteorologických podmínek. Společně s hustotou zástavby hraje roli také výška zástavby. Vytvořili model městské zástavby, rozdělený do dvou kategorií: kompaktní a otevřené budovy. Na obrázku č. 8 vidíme rozdělení městské zástavby do pěti částí (LCZ 1–5). **LCZ1** výškový model budov s vysokou hustotou, **LCZ2** představuje střední model s vysokou hustotou zastavění, **LCZ3** představuje model budov s normální výškou s vysokou hustotou zastavění, **MID** zastupuje střední (normální) hustotu, model **LCZ4** představuje model s nízkou hustotou výškových budov a **LCZ5** model s nízkou hustotou ve středním modelu. Černé čtverce znázorňují budovy (Wang et al. 2021).

Obrázek č. 9 popisuje průběh modelové situace při stejných podmínkách pro: hustotu, výšku a poměr vykreslení (poměr celkové podlahové plochy budovy k ploše pozemku). Jsou zde zastoupena minimální, průměrná a maximální teplotní data. Podle průběhu teplotních dat, je patrné, že ochlazení městské oblasti lze docílit při využití určité struktury města, která nezabraňuje průtoku větru a napomáhá ochlazování budov.



Obrázek č. 8 Prostorově teplotní rozdělení modelů (Wang, 2021)



Obrázek č. 9 Maximální, minimální a průměrné hodnoty modelů; na ose y je zobrazena teplota (°C) a na ose x jsou zobrazeny jednotlivé typy městské zástavby (Wang, 2021)

4 Metodika

V této části práce je stručný popis zkoumaného území, přírodní zajímavosti a výpis oblastí pokrývající území, do kterých je hlavní město rozděleno. Další kapitola se zabývá výzkumem oblastí, jež jsou náchylné na městský tepelný ostrov. V této kapitole jsou popsána vstupní data jak ze zdroje Urban Atlas 2012 (Copernicus, 2021) tak jejich úprava ÚI AV ČR (Geletič, 2019) a jejich rozdělení do hodinových intervalů a jejich převod do SELČ (středoevropského letního času).

Jelikož byla data zpracována pomocí geografického informačního systému (GIS) jsou zde popsány jednotlivé metody zpracování dat, které vedly k finálním mapovým výstupům, které určují význam práce. Pomocí funkce reklasifikace byla vstupní data rozdělena na data, která byla potřebná, a která byla pro práci zanedbatelná. Funkce rastrová kalkulačka byla použita jako součet všech potřebných dat z funkce reklasifikace. Jelikož je pro práci důležité určit teplotně namáhaná místa hl. m. Prahy, musela být vyexportovaná teplotní data překryta s vrstvou, která rozděluje hlavní město (i přilehlé okolí) do sítě a každý čtverec zaujímá plochu 100 x 100 m a má přidělen jeden ze 45 tříd využití území. Ty představují plochy využití území (LU), případně pokryv území (LC). Do podkladové vrstvy byl vložen i stínovaný reliéf České republiky upravený přesně tak, aby kopíroval sledovanou oblast.

Pro lehčí a srozumitelnější třídění dat byly vyexportovány tabulky, které znázorňují již zmíněné třídy Land Use a teplotní data a spolu ukazují, na kterém typu využití půdy byla překročena jaká teplota a po jak dlouhou dobu jednoho dne přechodu vlny horka (0–6 hodin). Pro dobu kratší, než jedna hodina bylo teplotou $>30\text{ °C}$ zasaženo **26** tříd typu LU na celkové ploše **5 634 km²**. Po dobu šesti hodin se teplota dostala přes tuto hranici pouze na pěti typech oblastí, kterým odpovídá rozloha 0,77 km² a jde převážně o hustě zastavěnou část Prahy.

Dále je v práci poskytnuta analýza teplotních dat i pro další vybrané vlny horka 25 °C; 28 °C a 32 °C, ta však nebyla pro práci použita, jelikož teploty 25 °C a 28 °C byly téměř na celé ploše sledovaného území a data by byla značně znehodnocena (viz přílohy č. 10 a č. 11). Pro teplotu 32 °C bylo naopak zasažených oblastí velmi málo a zaujímala velmi malou rozlohu, tudíž z těchto teplot nešlo stanovit přesnější závěry.

Následně jsou tato data uvedena do souvislosti a budou vytipovány lokality s největším potenciálem k přehřívání a na základě těchto informací jsou navržena rámcová adaptační opatření, jež jsou zmíněna v rešeršní části práce. Díky zpracovaným mapám je možné vizualizovat teplotně namáhaná místa na území hl. m. Prahy a jeho přilehlém okolí.

4.1 Popis zkoumaného území

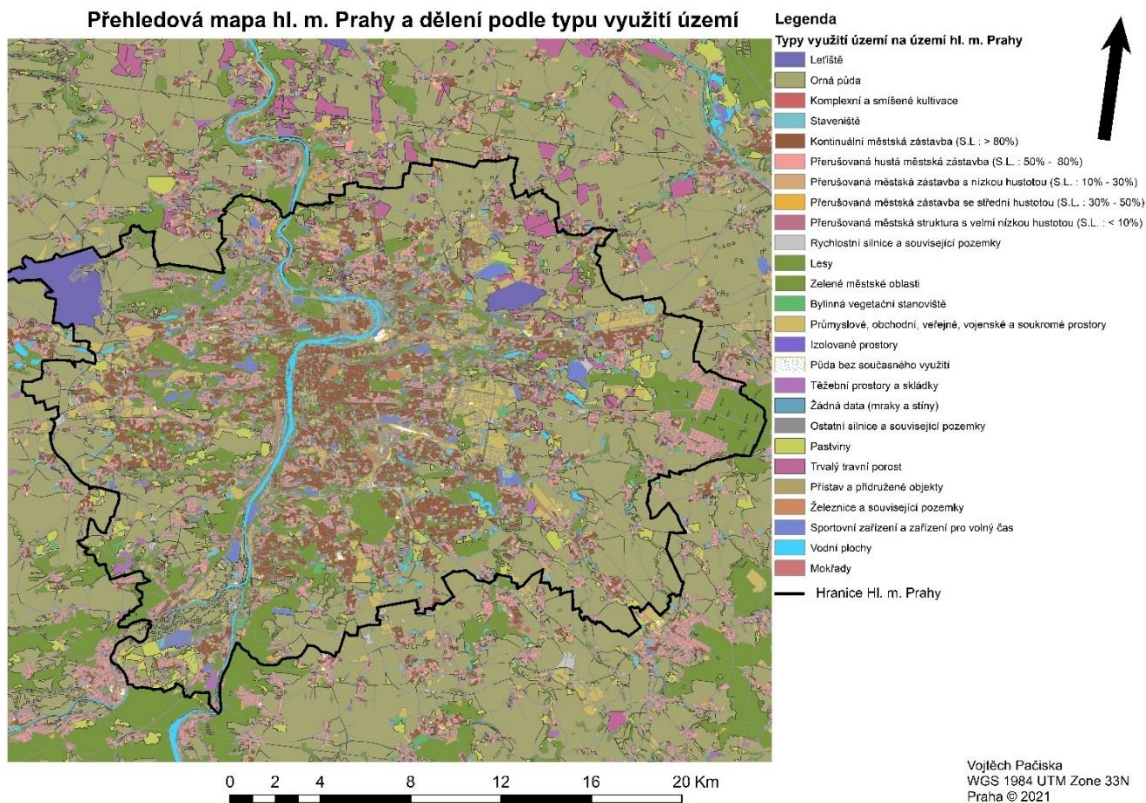
Data přechodu teplotní vlny byla zkoumána na území hlavního města Prahy. Počtem obyvatel a rozlohou, která činí 496 km², se jedná o největší město České republiky. Pro zkoumání městského tepelného ostrova jsou ideální větší města díky rozmanitosti jejich stanovišť a velké různorodosti využití daných ploch, jak zeleň, tak vodní plochy.

Hlavní město Praha je obklopeno jedenácti přírodními parky (např. Přírodní park Šárka-Lysolaje, Přírodní park Radotínsko-Chuchelský háj, Přírodní park Klánovice-Čihadla a Přírodní park Botič-Milíčov) a je zde celkem 93 maloplošných zvláště chráněných území, které jsou vyhlášovány jako přírodní rezervace, přírodní památky anebo za národní přírodní památku. (Magistrát hlavního města Prahy, 2011; Lampartová et Schneider, 2016).

Město Praha je situováno okolo údolí řeky Vltavy a jejich přítoků. Dále na jejím území leží přes 100 vodních ploch (rybníků a vodních nádrží). Za zmínku stojí Počernický rybník a vodní nádrž Hostivař a vodní nádrž Džbán (Lampartová et Schneider, 2016).

Hl. m. Prahu obsahuje, jako každé město, mnoho různých ploch s různým využitím (Landuse, LU). Tyto plochy mají různou náchylnost na absorbování a odbourávání tepla. Pro zpracování dat přechodu teplotní vlny přes území hl. m. Prahy, je velmi důležité tyto plochy určit. LU na území hl. m. Prahy tvoří dle Urban Atlas 2012 (Copernicus, ©2021) a Geletiče (2019) tyto plochy: vodní plochy, orná půda, letiště, komplexní a smíšená kultivace, staveniště, kontinuální městská zástavba (> 10 %; 10 % až 30 %; 30 % až 50 %; 50 % až 80 % a > 80 %), rychlostní silnice a související pozemky, lesy, zelené městské oblasti, bylinná vegetační stanoviště (přírodní louky, rašeliniště...), průmyslové, obchodní, veřejné, vojenské a soukromé prostory, izolované prostory, půda bez současného využití, těžební prostory a skládky, ostatní silnice a související pozemky, pastviny,

trvalý travní porost (vinice, ovocné stromy, olivové háje), přístavy a přidružené objekty, železnice a související pozemky, sportovní zařízení a zařízení pro volný čas a mokřady.



Obrázek č. 10 Přehledová mapa hl. m Prahy a dělení podle typu využití území (autor)

4.2 Výzkum míst náchylných na městský tepelný ostrov

Práce zpracovává data přechodu teplotní vlny přes území hl. m. Prahy v měsíci červenci. MTO je náchylný především na využití území a jeho pokryv. Výsledné grafy a mapové výstupy ukazují místa náchylná na akumulaci tepla a následné vytváření efektu městského tepelného ostrova. Jedná se především o kontinuální a přerušovanou městskou zástavbu se zahuštěním 50 % až 80 % a nad 80 %; průmyslové, obchodní, veřejné, vojenské a soukromé pozemky; silnice a pozemky související s nimi a zelené městské oblasti, které však dokážou teplo odbourávat lépe než zastavěné části města.

Tato data o přechodu teplotní vlny nad Prahou byla modelována pro období měsíce červenec. Land Use a Land Cover jsou převzaty z datového souboru Urban Atlas 2012 (Copernicus, ©2021).

Tato data byla dále zpracována a ve výsledku se jedná o urbanizovaný LC, který byl zpřesněn Ústavem informatiky AV ČR pro účely analýz dopadu klimatické změny, zejména zvyšování teplot, na zranitelnost urbanizovaných území. Výsledný datový soubor MUKLIMO_3 obsahuje 45 raritních tříd pro urbanizovaný LC (Geletič et al. 2016).

Teplotní data byla modelována pro časové okno 14:00–00:00 UTC, a jelikož jde o letní měsíc, musíme brát v potaz polohu České republiky a letní čas. Takže se jedná o data UTC+2, a zde data odpovídají SELČ 16:00–02:00.

Přechod vlny horka byl modelován po hodinových intervalech (16:00–17:00, 17:00–18:00 atp.). Pro vizualizaci jednotlivých hodinových přechodů teplotní vlny byla data vložena na stínovaný reliéf Prahy, který byl upraven na požadovanou lokalitu (Geoportál ČÚZK, ©2021). Nalezneme je v přílohách č. 13 až č. 18.

4.3 Land Use a Land Cover

Land Use, neboli využití území, představuje funkční dělení území do ploch, o dané velikosti, jež jsou předem určeny kategorií. Druhy těchto kategorií jsou dány způsobem využití konkrétních ploch. Jedná se o seskupení vegetačního pokryvu, způsobu managementu krajiny a hospodářského využití. Je většinou tvořen lidskou činností, zejména přetvářením a využíváním (Sklenička, 2003).

LC, neboli pokryv území, kombinuje LU s vegetací pokrývající dané území. Zpodobuje tedy druh materiálu, jako např. tráva, asphalt, holá půda a voda. Tyto doplňující znaky se používají především k detailnímu hodnocení krajiny (krajinařská opatření) (Sklenička, 2003).

4.4 Zpracování dat

Data v mé práci byla zpracována v softwaru ArcMAP 10.7.1 od firmy ESRI, která se zabývá vývojem softwarů pro práci s geografickými informačními systémy (GIS). Výsledné výstupy z aplikace mohou být ve formě map, atributových tabulek, prostorových analýz či editovaných dat (ARCDATA PRAHA s.r.o., ©2020).

Pro zpracování dat byly použity tyto funkce: reklasifikace, rastrová kalkulačka, průnik, sjednocení a sumarizace a převod rastrové vrstvy na polygonovou.

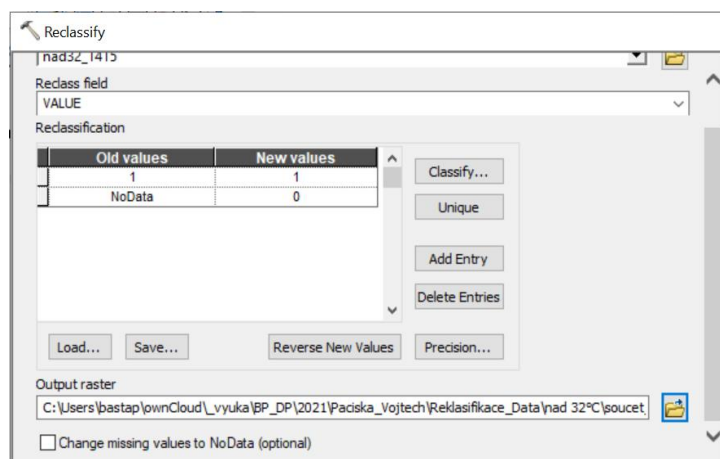
Vstupní teplotní stimulovaná data přechodu teplotní vlny horka přes hl. m Prahu data z Urban Atlas 2012 byla pro účely studie rozdělena na dva intervaly dle kritické mezní teploty 30 °C, která představuje rozdíl mezi normálním a tropickým dnem.

Pomocí funkce reclassify byly vymezené oblasti, kde došlo k přesazení mezní teploty. Jde o model simulace přechodu vlny horka nad územím Prahy, není tedy specifikován konkrétní den jejího přechodu, ale jde o typický červencový den (jakožto zástupce nejteplejšího měsíce v roce). Každá oblast Land Use, kterou na mapových výstupech symbolizuje barevný pixel, zastupuje oblast o rozloze 100*100 m. Vstupní data jsou k nahlédnutí v příloze č. 12.

4.4.1 Reklasifikace

Reklasifikace (anglicky reclassify), je metoda v ArcGIS, která překlasifikuje nebo mění vstupní hodnoty v rastru (ArcMAP, ©2020).

Do funkce Reclassify byla dosazena původní data Urban Atlas 2012 od společnosti Copernicus (Copernicus, ©2021) pomocí níž byly vymezené oblasti, kde došlo k přesažení mezní teploty 30 °C. Na obrázku č. 11 vidíme data, která byla upravena podle požadované teplotní škály pro mezní teplotu.

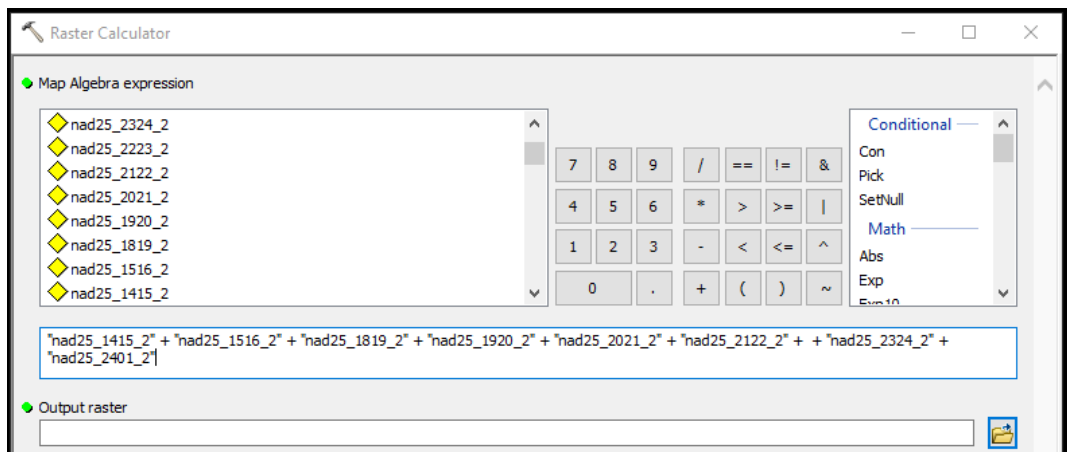


Obrázek č. 11 Postup zpracování dat v programu ArcMap pomocí metody Reclassify

4.4.2 Rastrová kalkulačka

Další z metod pro zpracování dat jsem použil Raster Calculator. Tato metoda kalkuluje s rastrovými vstupy. Do rastrové kalkulačky lze však vkládat všechny typy rastrových dat. V našem případě do rastrové kalkulačky vkládáme výstupy z reklasifikace ke každé teplotě zvlášť (ArcMAP, ©2020).

Pomocí funkce Raster Calculator byly sečteny všechny reklasifikované časové intervaly a tím bylo zjištěno, po kolik hodin během přechodu vlny horka byla v každém pixelu přesažena mezní teplota 30 °C (či ostatní zkoumané teploty 25 °C; 28 °C a 32 °C). Viz obrázek č. 12.

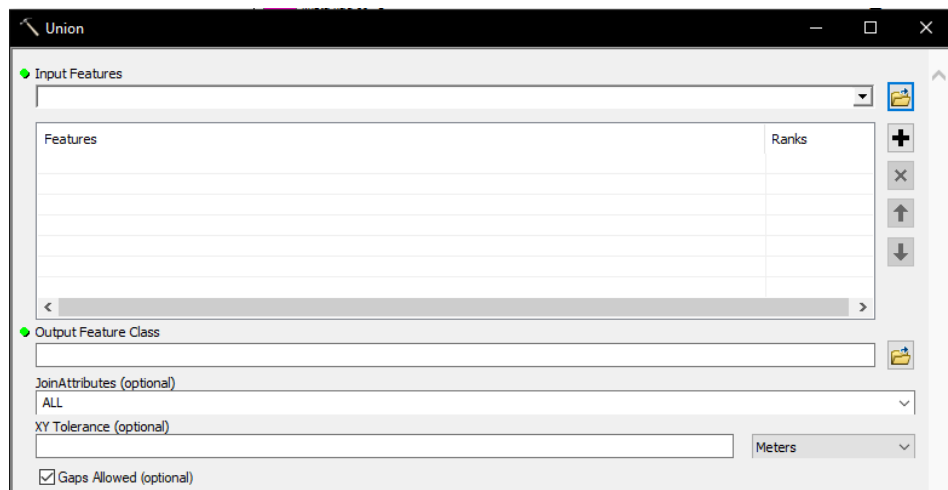


Obrázek č. 12 Postup zpracování dat v programu ArcMap pomocí metody Raster Calculator

4.4.3 Sjednocení

Funkce Union, tedy sjednocení dvou a více vstupních vrstev. Výsledná vrstva je sjednocení všech vrstev, zachovává tvar vstupních vrstev. Do funkce Union se musí data vkládat pouze ve formátu souboru „polygon“ (ArcMAP, ©2020).

Poté byla teplotní data od Geletiče (2019) spojena s daty o pokryvu území města Urban Atlas 2012. Pomocí funkce Union byla data spojena do jedné vrstvy, abychom získali souvislost mezi teplotou a pokryvem území. Tím došlo k vymezení konkrétních oblastí daného typu LU v nichž po určitý čas teplota přesáhla 30 °C. Viz obrázek č. 13.

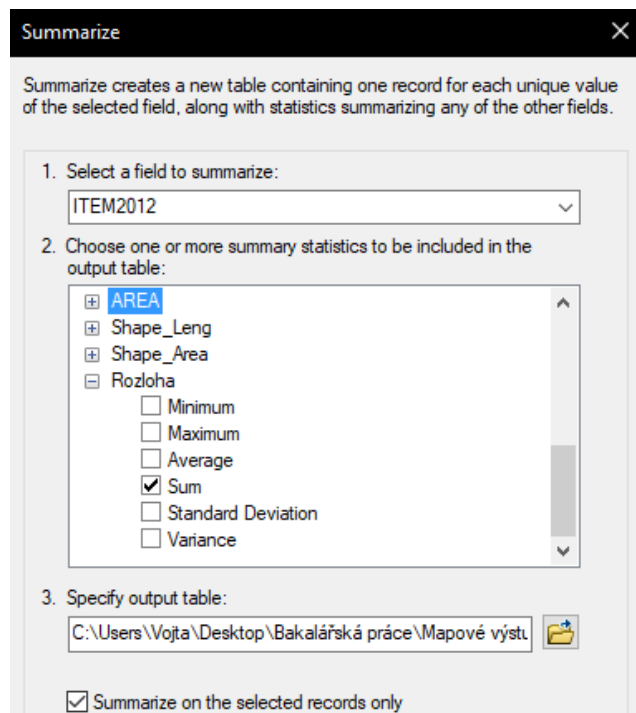


Obrázek č. 13 Postup zpracování dat v programu ArcMap pomocí metody Union

4.4.4 Sumarizace

Sumarizace dat v atributové tabulce slouží k účelu zjištění základních údajů popisné statistiky daného atributu. Výsledkem může být např. součet nebo průměr hodnot seskupených podle specifikovaného kritéria pro celou tabulku, nebo zcela nová tabulka s novými hodnotami (ArcMAP, ©2020).

Z dat, která vznikla z funkce Union byla pomocí sumarizace, pro každou kategorii pokryvu území vypočtena rozloha, v níž došlo k přesažení mezní teploty o 30 °C. Viz obrázek č. 14.



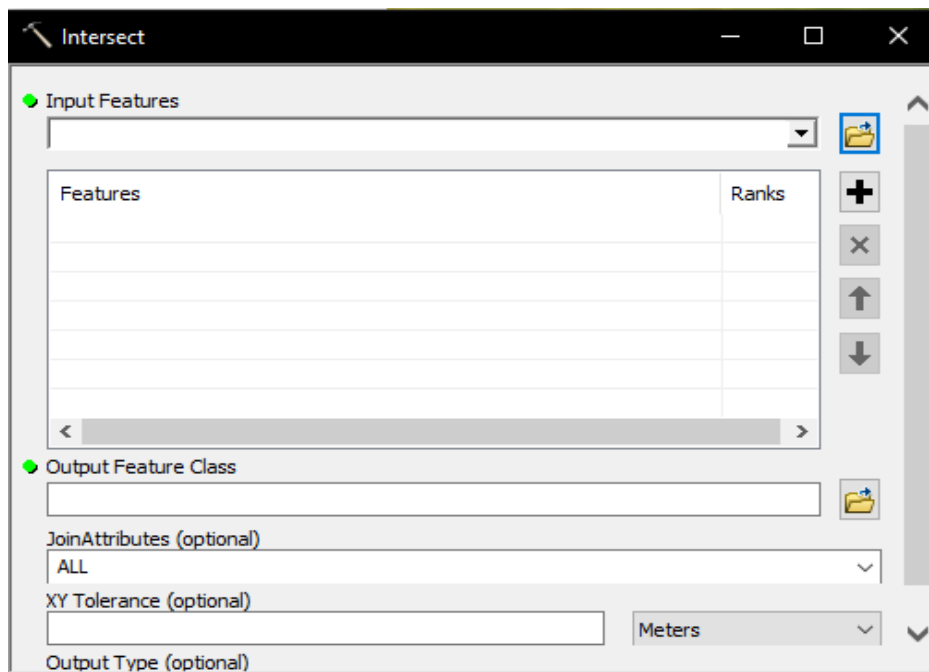
Obrázek č. 14 Postup zpracování dat v programu ArcMap pomocí Sumarizace

4.4.5 Průnik

Funkce průnik (anglicky intersect) počítá geometrický průnik mezi prvky dvou a více vrstev. Z prvků, nebo jejich částí, které jsou společné pro všechny vstupující vrstvy, je vytvořena nová vrstva. Nově vytvořené vrstvy nesou informace ze vstupních vrstev (ArcMAP, ©2020).

- Input features: Do této funkce byly vloženy konkrétní hodinová data přechodu teplotní vlny společně se stínovaným reliéfem.
- Features: Zde se zobrazí vložené vrstvy připravené k průniku.
- Output Features Class: Zvolení úložiště vznikajícího rasteru.

Vrstvy vzniklé z této funkce jsou mapové výstupy Viz obrázek č. 15.



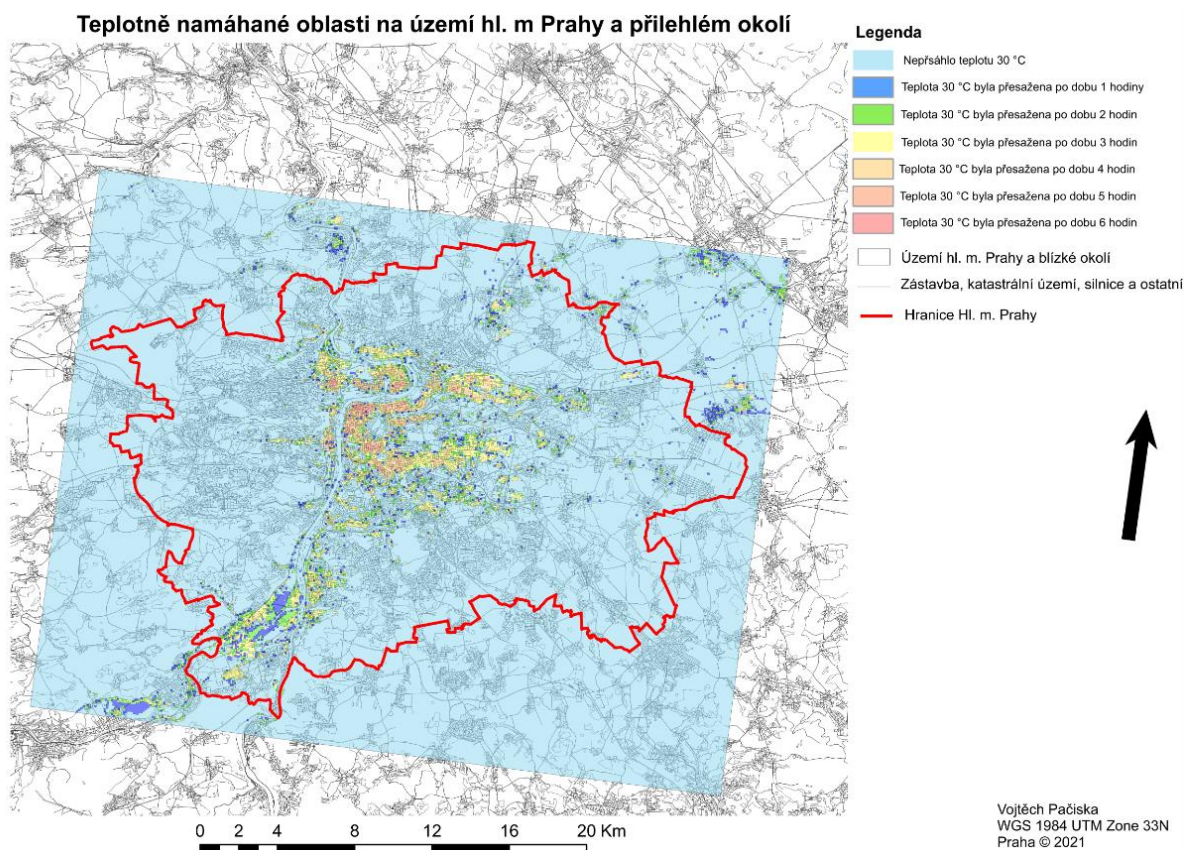
Obrázek č. 15 Postup zpracování dat v programu ArcMap pomocí metody Intersect

5 Výsledky

Tato kapitola práce se zabývá souhrnem a porovnáváním výsledných dat. Výsledky jsou zobrazeny pomocí mapových výstupů, grafů a tabulek.

5.1 Místa náchylná k tvorbě městského tepelného ostrova

Analýzu míst náchylných na městský tepelný ostrov jsem skládal z několika vrstev, a to konkrétně z Urban Atlas 2012, Land Use a Landcover a teplotních dat. Na obrázku č. 16, který vznikl překrytím těchto upravených vrstev, je patrné, které části hl. m. Prahy jsou náchylné na tepelný ostrov a postrádají schopnost odbourávat teplo. Teplotní hranici 30 °C přesáhlo celkově **85 817** ploch, o rozloze **5 634 km²**, které zastupuje více než 20 typů pokryvu území. Analýza byla analogicky provedena i pro překročení mezních teplot 25 °C, 28 °C a 32 °C, výsledky mají podobný trend jako pro mezní teplotu 30 °C, které jsou k nahlédnutí v přílohách č. 9,10,11.



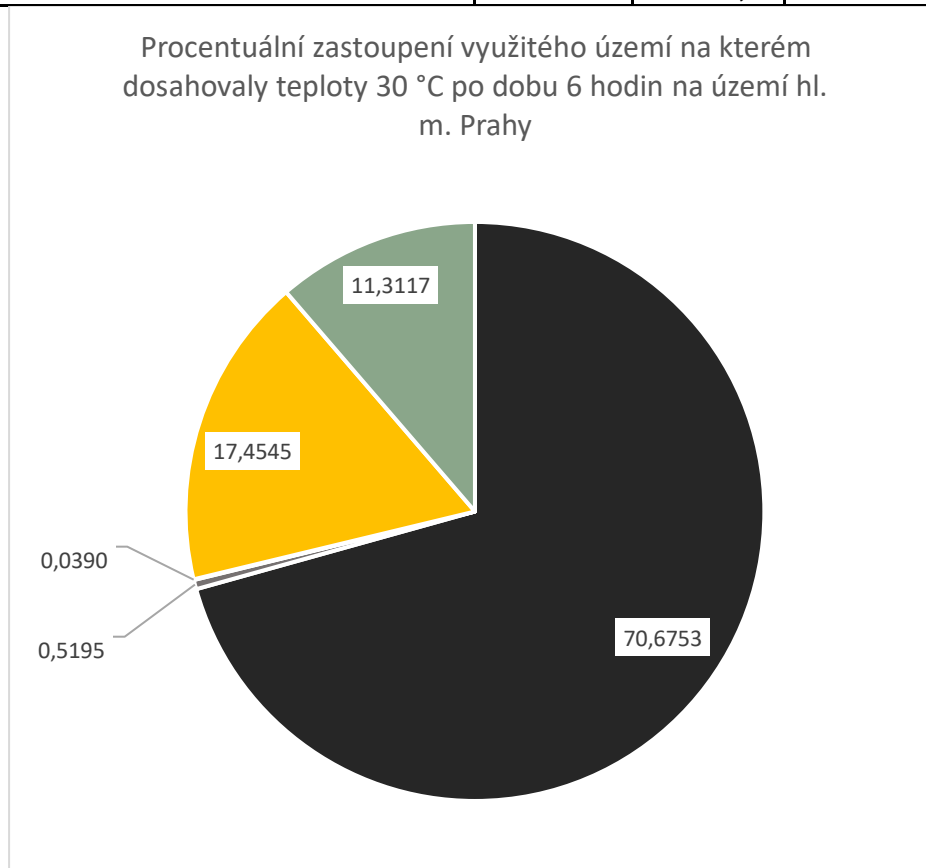
Obrázek č. 16 Zobrazení míst náchylných na městský tepelný ostrov (autor)

Z obrázku č. 16 můžeme tedy usoudit, že nejvíce ohrožených oblastí se nachází v širší části centra hl. m. Prahy, konkrétně se jedná o oblasti: **Dejvice, Bubeneč, Holešovice, Libeň, Staré Město, Nové Město, Vinohrady**. A v jihozápadní oblasti se jedná o městské části: **Velké Chuchle a Radotín**.

V tabulce č. 2 vidíme jednotlivé zastoupení ploch LU, na kterých byla přesažena teplota 30 °C po dobu 6 hodin. Nejvíce náchylnými plochami na přechod vlny horka jsou kontinuální a přerušovaná městská zástavba s hustotou zastavění nad 50 %, které tvoří přes 70 % nejvíce rizikových oblastí k tvorbě MTO. Okrajově je zde zastoupena i městská zeleň, ta však odbourává teplo rychleji než urbanizované oblasti, proto se jedná o bezvýznamné procento.

Tabulka 2 Land Use a jejich četnost, rozloha, kde teplota přesáhla 30 °C 6 hodin (autor)

Třída využití území	Počet zastoupení	Rozloha (km ²)	Zastoupení (%)
Kontinuální městská zástavba (S.L.:> 80 %)	134	0,5442	70,6753
Přerušovaná hustá městská zástavba (S.L.: 50 % —80 %)	1	0,0040	0,5195
Zelené městské oblasti	1	0,0003	0,0390
Průmyslové, obchodní, veřejné, vojenské a soukromé prostory	34	0,1344	17,4545
Ostatní silnice a související pozemky	34	0,0871	11,3117
Celkem	204	0,77	100

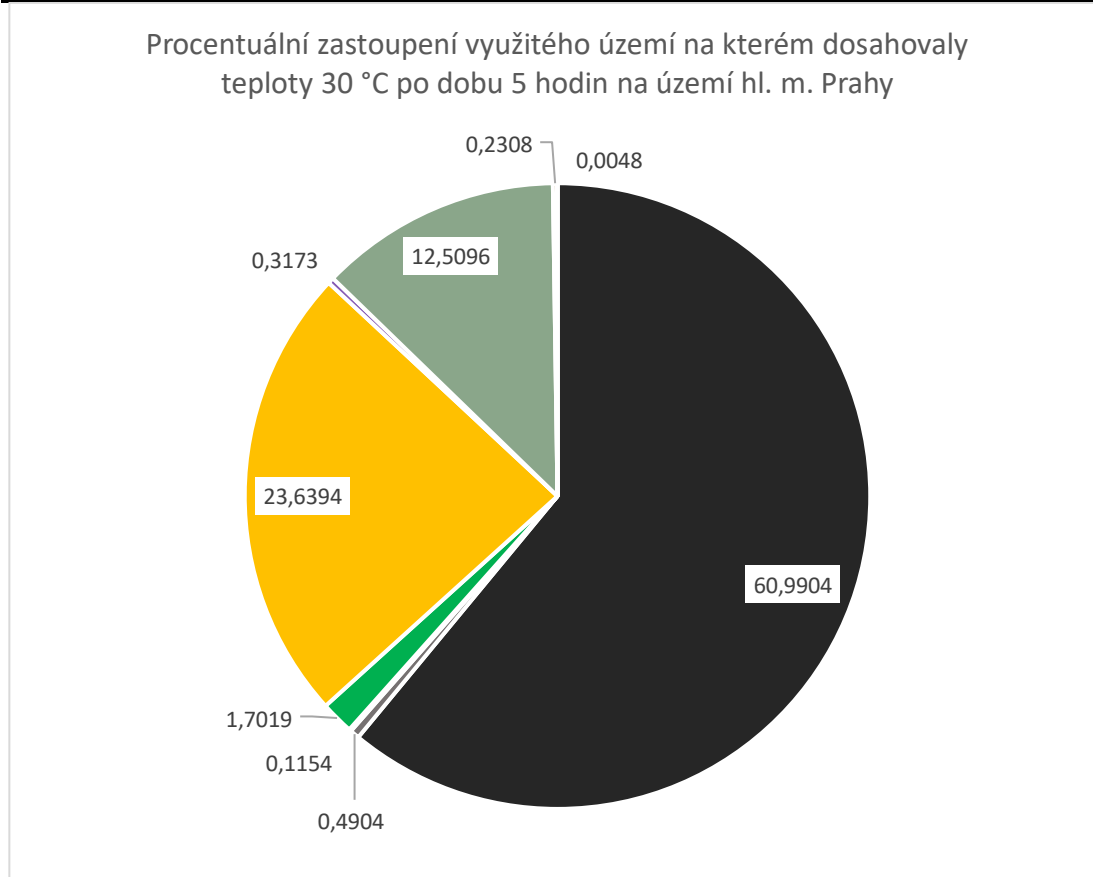


Obrázek č. 17 Graf procentuálního zastoupení využitého území na kterém dosahovaly teploty 30 °C po dobu 6 hodin na území hl. m. Prahy (autor)

Následující tabulky a grafy ukazují průběh teplotní vlny pro příslušné doby (pět a čtyři hodiny) nad zkoumaným územím, zasažené oblasti a jejich rozlohu v km². Oblasti kde teplota přesahovala 30 °C po dobu **menší než hodinu, jednu hodinu, dvě hodiny a tři hodiny** jsou v práci jako přílohy č. 1 až 8.

Tabulka 3 Land Use a jejich četnost, rozloha, kde teplota přesáhla 30 °C 5 hodin (autor)

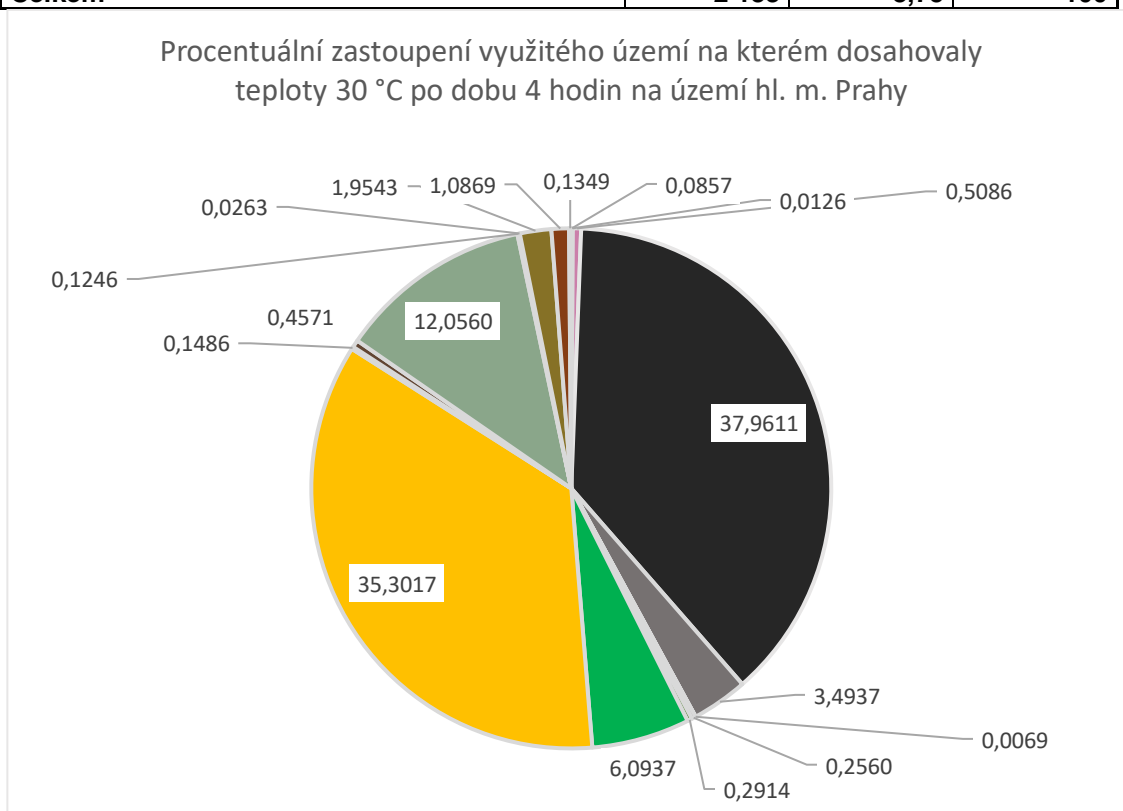
Třída využití území	Počet zastoupení	Rozloha (km ²)	Zastoupení (%)
Kontinuální městská zástavba (S.L.: > 80 %)	377	1,2686	60,9904
Přerušovaná hustá městská zástavba (S.L.: 50 % —80 %)	4	0,0102	0,4904
Lesy	2	0,0024	0,1154
Zelené městské oblasti	22	0,0354	1,7019
Průmyslové, obchodní, veřejné, vojenské a soukromé prostory	100	0,4917	23,6394
Půda bez současného využití	2	0,0066	0,3173
Ostatní silnice a související pozemky	119	0,2602	12,5096
Železnice a související pozemky	3	0,0048	0,2308
Sportovní zařízení a zařízení pro volný čas	1	0,0001	0,0048
Celkem	630	2,08	100



Obrázek č. 18 Graf procentuálního zastoupení využitého území na kterém dosahovaly teploty 30 °C po dobu 5 hodin na území hl. m. Prahy (autor)

Tabulka 4 Land Use a jejich četnost, rozloha, kde teplota přesáhla 30 °C 4 hodiny (autor)

Třída využití území	Počet zastoupení	Rozloha (km ²)	Zastoupení (%)
Orná půda	3	0,0075	0,0857
Komplexní a smíšené kultivace	1	0,0011	0,0126
Staveniště	9	0,0445	0,5086
Kontinuální městská zástavba (S.L.: > 80 %)	939	3,3216	37,9611
Přerušovaná hustá městská zástavba (S.L.: 50 % —80 %)	95	0,3057	3,4937
Přerušovaná městská zástavba s nízkou hustotou (S.L.: 10 % —30 %)	1	0,0006	0,0069
Přerušovaná městská zástavba se střední hustotou (S.L.: 30 % —50 %)	6	0,0224	0,2560
Lesy	15	0,0255	0,2914
Zelené městské oblasti	186	0,5332	6,0937
Průmyslové, obchodní, veřejné, vojenské a soukromé prostory	396	3,0889	35,3017
Půda bez současného využití	13	0,0130	0,1486
Těžební prostory a skládky	1	0,0400	0,4571
Ostatní silnice a související pozemky	378	1,0549	12,0560
Pastviny	6	0,0109	0,1246
Trvalý travní porost (vinice, ovocné stromy, olivové háje)	2	0,0023	0,0263
Železnice a související pozemky	49	0,1710	1,9543
Sportovní zařízení a zařízení pro volný čas	23	0,0951	1,0869
Vodní plochy	10	0,0118	0,1349
Celkem	2 133	8,75	100



Obrázek č. 19 Graf procentuálního zastoupení využitého území na kterém dosahovaly teploty 30 °C po dobu 4 hodin na území hl. m. Prahy (autor)

Z tabulky č. 3 vyčteme, že po dobu 5 hodin byly teplotám nad 30 °C vystaveny oblasti o rozloze přes 2 km². Jsou zde zahrnuta i stejná místa, jako u nejvíce kritických míst (tj. míst, kde teplota přesahovala 30 °C po dobu 6 hodin). Mimo jiné přibyly další druhy LU (železnice a související pozemky a sportovní a volnočasová zařízení), sice jen malým výskytem o zanedbatelné ploše, nicméně zde došlo k překročení mezní tepelné hodnoty 30 °C, a budou pro ně navržena AO.

U tabulky č. 4 (tj. míst, kde teplota přesahovala 30 °C po dobu 4 hodin) můžeme pozorovat velké navýšení plošného zastoupení. Celková rozloha těchto oblastí dosahuje skoro 9 km² u 18 typů LU a na zkoumaném území se jich nacházelo přes 2 100. Nárůst můžeme zkoumat jak u kontinuální městské zástavby tak u průmyslových, obchodních, veřejných, vojenských a soukromých prostorů, ty sice nemají takovou četnost, ale jejich rozloha je téměř srovnatelná s hustě zastavěnými částmi města. Jako další se zobrazují méně hustě zastavěné části města a nezastavěné plochy města, na které se ovšem AO aplikovat nebudou, jelikož si dokážou s vysokou teplotou poradit sami.

U tabulek (příloha č. 1 a 3) můžeme sledovat větší zastoupení ploch zastupující nejvíce kritické oblasti (kontinuální městská zástavba s hustotou > 80 %; 50 % až 80 % průmyslové, obchodní, veřejné, vojenské a soukromé prostory), naopak u nově zobrazených LU je zastoupení velmi nahodilé a v celkovém měřítku představují setiny až desetiny km², což je na zkoumaném území zanedbatelná jednotka. Po dobu jedné hodiny byla překročena hranice tropického dne na 22 oblastech s celkovou rozlohou 14,5 km². Po dobu dvou hodin na 21 oblastech o rozloze 18,2 km². Po dobu tří hodin na 22 oblastech o rozloze 23,3 km². U tabulky (příloha č.7) můžeme pozorovat v kolonce rozloha rapidní navýšení hodnot (např. u typů LU: orná půda, kontinuální městská zástavba s hustotou > 80 %; 50 % až 80 %, lesy, ostatní silnice a související pozemky, TTP) s porovnáním s ostatními tabulkami, to je způsobené tím, že maximálně po dobu jedné hodiny byla mezní teplota 30 °C překročena na velké rozloze dalece přesahující území Prahy. Teplotní data byla modelována i pro okolí hlavního města a do hodnocení byla taktéž zahrnuta. Pro výsledky práce je to však nepodstatné. V přílohách č. 13 až č. 18 nalezneme mapové výstupy týkající se hodinového zobrazení přechodu vlny horka na území hl. m. Prahy v čase mezi 16:00 – 22:00. Díky těmto mapovým výstupům lze lépe oblasti dělit podle rizika náchylnosti a tím pádem lépe určit rámcová AO.

5.2 Navržení rámcových adaptačních opatření

Jak je z tabulek a grafů patrné, tak oblasti kde teplota přesahuje mezní hodnotu 30 °C, překrývají značnou plochu zkoumaného území. Pro snížení jeho teploty se aplikují rámcová adaptační opatření. Zejména se bude jednat o oblasti, kde tato teplota byla přesažena po 3, 4, 5 a 6 hodin. Dále, zmíněná opatření se budou také týkat oblastí z přílohy č. 9, kde teplota přesahovala 32 °C (Staré Město, Nové Město a Libeň). Tato opatření jsou určena pro již vystavěná města a slouží pouze k upravení využívaných materiálů nebo k vylepšení podmínek vlivu MTO.

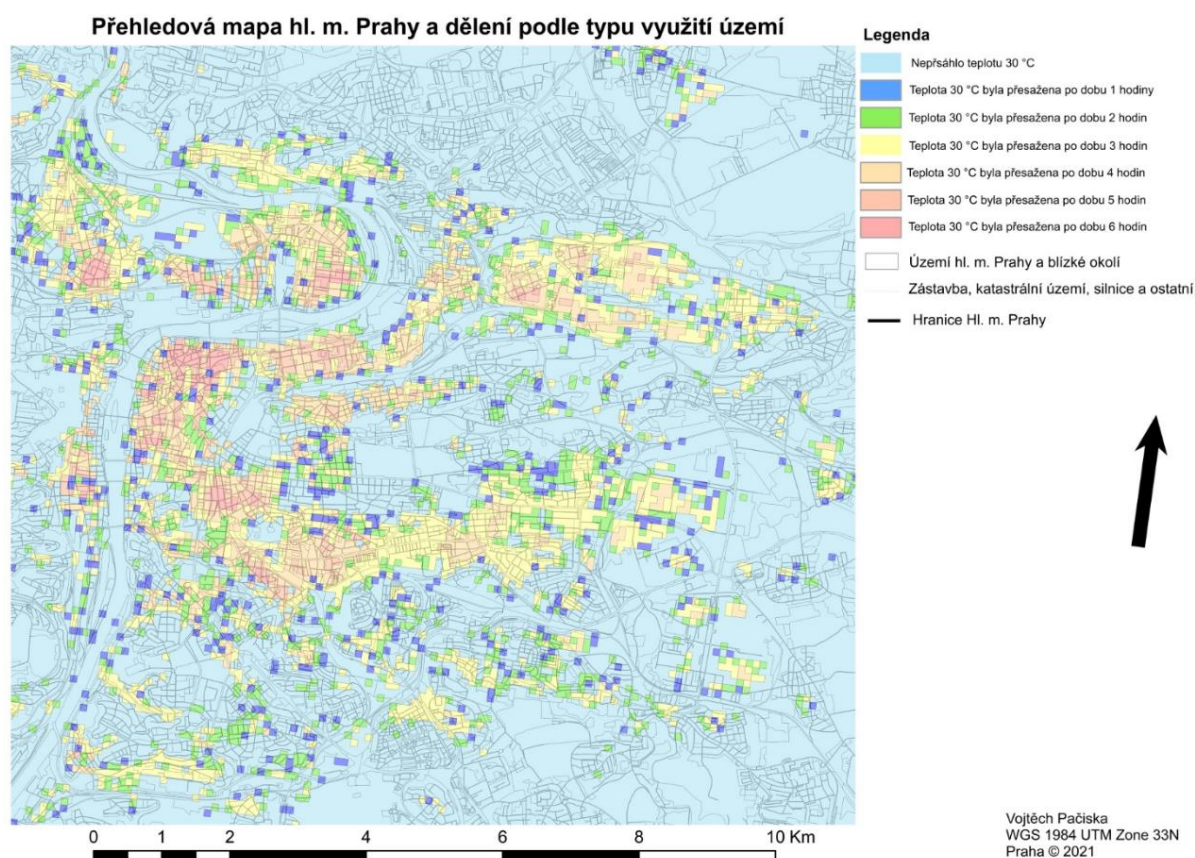
V oblastech, kde je situace nejvíce kritická (doba trvání 5 hodin a více), to jsou zejména oblasti s hustou městskou zástavbou (Vinohradská a Revoluční ulice a Dvořákovo nábřeží, Smíchov, Staré a Nové Město, Bubeneč a Vítězné náměstí) navrhuji jako AO zvýšit podíl zeleně natolik, aby zeleň vrhala stín a zabraňovala tak ohřevu asfaltu (například výsadba stromů a keřů). Aplikovat metody zelených střech a zelených stěn, tam kde to architektura budov umožňuje, protože na staré činžovní domy opatření ve formě zelených střech aplikovat nelze (zejména Staré a Nové Město). Na místech, kde by zelené plochy nebylo možné aplikovat, a byla by zjištěna vysoká povrchová teplota na větších vyasfaltovaných plochách (Wilsonova ulice, Plzeňská ulice, Evropská ulice), by bylo dobré použít asfalt podle výzkumu od Badina et al. (2020), který by snížil absorpci slunečního záření, ohřívání asfaltu a způsobil by rychlejší chladnutí postižených ploch.

Na typu Land Use, jako jsou železnice a související pozemky (Hlavní a Masarykovo nádraží), navrhuji travní pásy vsazené do kolejiště a obecně zvýšit podíl zelené složky v okolí kolejiště tak, aby nezasahoval do bezpečnosti provozu a neohrozil cestující. V oblastech, kde je v dopravě využíváno kolejových vozidel (zejm. tramvají) a mezi kolejemi se nacházejí betonové bloky, asfalt nebo šterková sypanina (tj. oblasti Evropská ulice, Milady Horákové, Národní třída, Karlovo náměstí, náměstí I.P. Pavlova, Florenc, Strossmayerovo náměstí, Anděl, Masarykovo, Dvořákovo a Rašínovo nábřeží), doporučuji tyto plochy zaměnit za travní pásy. Popřípadě v místech, kde by doprava neumožňovala tuto výměnu, tak nahradit stávající materiály asfaltovým materiálem od Badina et al. (2020).

Pro oblasti průmyslových, obchodních, veřejných, vojenských a soukromých prostor (jako jsou třeba areály ZEVO a teplárny Malešice, nebo prostory teplárny Holešovice) by jako nejlepší možné AO bylo zvýšit podíl zeleně na plochách, kde by neporušovaly BOZP (bezpečnost práce) a PO (požární ochrany).

V částech města, kde sice teplota přesáhla mezní hranici 30 °C, ale jedná se o přírodní kategorie Land Use (lesy, zelené městské oblasti, TTP, pastviny a vodní plochy) by byla potenciální AO irelevantní. Tyto oblasti zůstanou tedy beze změny, protože zelené plochy se díky evapotranspiraci dokážou s nástrahami teplot vypořádat lépe než urbanizované plochy. Vodní plochy ochlazují město pomocí odparu nebo odvádí ohřátou vodu pryč z p. Ke snížení antropogenních zdrojů se ČR zavázala v roce 2015 a jejím důsledným dodržováním se mají snížit hodnoty ekvivalentních emisí oxidu uhličitého ke 100 Mt CO₂ekv.

Na obrázku č. 20 můžeme vidět nejvíce zasažené oblasti Prahy, kde teplota přesahovala 30 °C, a pro která byla navržena adaptační opatření. Jde o oblasti Dejvice, Bubeneč, Smíchov, Nové Město, Staré Město, Holešovice, Libeň, Vysočany, Karlín a Vinohrady.



Obrázek č. 20 Nejvíce postižená místa přechodem vlny horka na území hl. m. Prahy (Dejvice, Bubeneč, Holešovice, Nové Město, Staré Město, Libeň, Vysočany, Karlín, Vinohrady a Smíchov) (Autor)

6 Diskuse

Adaptační opatření na zlepšení městského klimatu nejsou ve světě žádnou novinkou. Například v americkém městě San Francisco, kde se na vyhrazená parkovací místa umístil blok zeleně, který sloužil jako rekreační místo pro obyvatele města a zároveň tím napomáhal zvládnání tepelného ostrova a také snížení hladiny tepelného stresu.

Následující opatření zprostředkoval Santos et al. (2015) v portugalském Lisabonu. Navrhl realizovat zelené plochy a zvýšit jejich četnost v zasažených oblastech a jejich následné propojení do souvislé sítě. Dále navrhuje snížení antropogenních vlivů, zejm. automobilové dopravy, pomocí levnější hromadné dopravy. Výše zmíněná adaptační opatření by se mohla implementovat i na území Prahy a s připojením mnou navržených AO by se vliv MTO na území hlavního města mohl zásadně minimalizovat.

Výzkum MTO a přechodu vln horka ukazuje teplotně namáhaná místa na území hl. m. Prahy a to za použití vstupních teplotních dat, která měla strukturu rastru s rozlišením buňek 100*100 m. Při takovémto rozlišení může dojít k případu, kde na jedné buňce bude jak hustě zastavěná část města, tak zelená plocha (či jiná plocha napomáhající odbourávání MTO). To může být na některých místech nevyhovující. Zhuštěním sítě teplotních dat na rozměry například 10*10 m, by vznikla daleko detailnější síť dat, která by podrobněji vypovídala o zkoumané ploše Land Use, a následná AO by mohla být vytvořena na míru přímo pro danou oblast.

Podobný případ může nastat při sběru tepelných dat. Vytvořením husté sítě pozorovacích sond, by se dosáhlo podrobnějších dat vedoucích k přesnějšímu teplotnímu modelu města. Popřípadě by se dala data zkombinovat z více druhů měření. V práci jsem zmiňoval tři způsoby měření teplotních dat (satelitní, pomocí letecké dopravy a pomocí sítě teplotních čidel na povrchu). Spojením výsledných dat těchto metod by se zamezila chybovost měření a například zastínění satelitu či letadla mrakem, by se vykompenzovala naměřenými hodnotami z pozemních sběračů a podobně. Zamezilo by se tím ztrátě důležitých dat, které by pomohly být klíčovým prvkem při výběru a zejména velmi přesné lokalizaci opatření.

7 Závěr

Hlavním cílem této práce byla analýza teplotně namáhaných oblastí, které mají všechny aspekty ke tvorbě městského tepelného ostrova. Dále navržení rámcových adaptační opatření k potlačení jejich vlivu. Jde především o vliv urbanizovaného území, vlivu činnosti obyvatelstva a husté infrastruktury na mikroklima hlavního města. Dále byly vypracovány mapové výstupy, sloužící k vizualizaci dané problematiky.

První část této práce se věnovala teoretické části, která se zabývala problematikou městského tepelného ostrova, jeho dělení a způsobům sledování. Další částí rešeršní části práce byla věnována změně klimatu, jeho vlivu na přírodu a krajinu a vybranými meteorologickými jevy, které způsobuje. A jako posledním popisovaným bodem v rešeršní části je Land Use (využití území).

Hlavními problémy v nejvíce tepelně náchylných oblastech hl. m Prahy (Holešovice, Libeň, Staré Město, Nové Město, Vinohrady; v okrese Praha-západ se jedná o oblasti: Velké Chuchle a Radotín), ve kterých se tvoří městský tepelný ostrov je nedostatek zelených oblastí, hustá městská zástavba, o čem svědčí data o přechodu vlny horka. Dalším problémem je využívání zastaralých materiálů na výstavbu a nevyhovující prostorové řešení města, kterému se v minulosti nekladla patřičná váha.

V těchto postižených místech by bylo dobré zrealizovat AO, především zvětšit podíl zelených oblastí, vodních ploch (fontány apod.) a aplikovat nové technologie pigmentového upravování asfaltu oxidem železitým a oxidu titaničitým.

Z území hl. m. Prahy vyšly z hlediska zasažení vysokými teplotami nejlépe obvodové části města, což je přisuzováno tomu, že se jedná o mladší oblasti, ve kterých už není tak značná hustota zastavění a byla zde uplatněna některá AO. Dále je zde více zelených ploch (přírodní parky).

Přínosem této práce je především zpracování teplotních dat a vytyčení oblastí, které mají zhoršenou schopnost efektivně odbourávat teplo. To je důležité především pro pochopení problematiky tepelného ostrova a možnost v daných oblastech využít dostupných adaptačních opatření. Dalším přínosem může být vyvarování se chybám při výstavbě nových městských čtvrtí, které by tuto problematiku řešily od základu.

8 Citovaná literatura

Knižní publikace a časopisy

Ahern J., 2003: Počasí:zemská atmosféra, srážky, meteorologie, klimatická pásma, životní prostředí. Fortuna Libri, Praha, 128 s., ISBN 80-7321-062-2.

Ayers J., Huq S., 2009: The value of linking mitigation and adaptation: a case study of Bangladesh. *Environmental Management* 43:753-764.

Badin G., Ahmad N., Muhamma Ali H., 2020: Experimental investigation into the thermal augmentation of pigmented asphalt. *ScienceDirect: Physica A;Statistical Mechanics and its Applications* 551.

Bonan G., 2008: *Ecological climatology: Concepts and applications.* : Cambridge University press, Cambridge,550 s., ISBN 978-0521693196.

Braniš M., Hůnová I., 2009: *Atmosféra a klima. Aktuální otázky znečištění ovzduší.* Nakladatelství Karolinum, Praha, 352 s., ISBN 978-80-246-1598-1.

Brázdil R., Trnka M., 2015: *Historie počasí a podnebí v českých zemích XI: Sucho v českých zemích: minulost, současnost a budoucnost.* Centrum výzkumu globální změny akademie věd České republiky, Brno, 402 s., ISBN 978-80-87902-11-0.

Filho W., Icaza L.,Neth A., 2018: Coping with the impacts of urban heat islands. A literature based study on understanding urban heat vulnerability and the need for resilience in cities in a global climate change context.. *Journal of Cleaner Production:* 1140-1149. ISSN 0959-6526.

Forster P., Ramaswamy P., Artaxo P., Bernsten T., Betts R., Fahey D.W., Haywood J., Lean J., Lowe D.C., Myhre G., Nganga J., Prinn R., Raga G., Schulz M., van Dorland R., 2007: Changes in Atmospheric Constituents and in Radiative Forcing. In: Solomon S., Qin D., Manning M., Chen Z., Marquis M., Averyt K.B., Tignor M., Miller H.L. (eds.). *Climate Change 2007:The Physical Science Basis.* Cambridge University Press, Cambridge and New York: 129-217.

Daemer A., Azmoodeh M., Zamani Z., Mehrinejad-Khotbehsarad E., 2018: Experimental and simulation studies on the thermal behavior of vertical greenery system for temperature mitigation in urban spaces. *Journal of Building Engineering* 20:277-284.

Biesbroek R., Swart R., Carter T., Cowan C., Henrichs T., Mela H., Morecroft M., Rey D., 2010: Europe adapts to climate change: Comparing national adaptation strategies. *Global Environmental Change* 20: 440-450. ISSN 0959-3780.

Geletič J., 2019: Mapy s land cover klasifikací pro vybraná města, vysvětlivky s vlastnostmi klasifikovaných tříd. Adaptační výzvy měst: podpora udržitelného plánování s využitím integrované analýzy zranitelnosti. Ústav informatiky AV ČR v.v.i, Praha. „Nepublikováno“ Výsledek projektu TA ČR reg. č. TL0100238. Dep.: Repozitář AV ČR.

Geletič J., Lenhart M., Dobrovolný P., 2016: Modelled spatio-temporal variability of air temperature in an urban climate and its validation: a case study of Brno, Czech Republic. *Hungarian Geographical Bulletin* 65:169-180.

Gonçalves A., Ornellas G., Castro-Riberio A., Maia F., Rocha A., Feliciano M., 2018: Urban Cold and Heat Island in the City of Bragança (Portugal). *Climate* 6:70.

Grimmond C., Roth M., Oke T., Au Y., Best M., Betts M., Carmichael G., Voogt J., 2010: Climate and More Sustainable Cities: Climate Information for Improved Planning and Management of Cities (Producers/Capabilities Perspective). *Procedia Environmental Sciences* 1: 247-274.

Gunawardena K., Wells M., Kwrshaw T., 2017: Utilising green and bluespace to mitigate urban heat island intensity. *Science of the total environment* 584-585:1040-1055. ISSN 0048-9697.

Havlíček V., 1986: *Agrometeorologie*. Státní zemědělské nakladatelství, Praha, 260 s. ISBN 80-7231-1-5.

Howard L., 1833: *The climate of London : deduced from meteorological observations made in the metropolis and at various places around it*. Cambridge University Press, Londýn, 383 s.

Changnon, S., Semonin R., 1981: Impacts of Urban Modified Precipitation Conditions. *Metromex: A Review and Summary*:153-177.

Chun B., Guldmann J., 2018: Impact of greening on the urban heat island: Seasonal variations and mitigation strategies. *Environment and Urban Systems* 71:165-176.

Mach K., Planton S., von Stechow C. (eds.), 2014: IPCC Annex II: Glossary. In: R.K. Pachauri R.K., Meyer L.A. (eds.): *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, IPCC, Geneva: 117-130.

Myhre G., Shindell D., Bréon F.M., Collins W., Fuglestedt J., Koch D., Lamarque J.F., Lee D., Mendoza B., Nakajima T., Robock A., Stephens G., Takemura T., Zhang H., 2013: Anthropogenic and Natural Radiative Forcing. In: Stocker T.F., Qin D., Plattner G.K., Tignor M., Allen S.K., Boschung J., Nauels A., Xia Y., Bex V., Midgley P.M. (eds.): *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. Cambridge University Press, Cambridge and New York:659-740.

Pokorný J., 2001: Dissipation of solar energy in landscape—controlled by management of water and vegetation. *Renewable Energy* 24: 641-645. ISSN 0960-1481

Kemel M., 1996: *Klimatologie, meteorologie, hydrologie*. Vydavatelství ČVUT, Praha, 289 s., ISBN 8001014568.

Kolláriková P., Szolgay J., Pecho, J., 2013: Dlhodobé zmeny vybraných charakteristík vln horúčav na Slovensku. *Meteorologický časopis* 2: 62-69.

Kunkel K., Pielke R., Changnon S., 1999: Temporal Fluctuations in Weather and Climate Extremes That Cause Economic and Human Health Impacts: A Review. *Bulletin of the American Meteorological Society* 80:1077-1098.

Kyselý J., Pecho J., 2012: Horké vlny v měnícím se klimatu: ozatníky zůstávají. *Vesmír* 91:28-34.

Lampartová I., Schneider J., 2016: *Řeky ve městech*. Mendelova univerzita v Brně, Brno, 399 s., ISBN 978-80-7509-421-6.

Lansberg H., 1981: International Geophysics Series 28: The Urban Climate. Academic Press, 275 s., ISBN 9780080924199.

Yang L., Qian F., Song D., Zheng K., 2016: Research on Urban Heat-Island effect. Procedia Engineering 169:11-18. ISSN 1877-7058

Santos A., Branquinho C., Goncalves P., Santos-Reis M., 2015: Lisbon, Portugal – Case study portrait, part of a GREEN SURGE study on urban green infrastructure planning and governance in 20 European cities. Greensurge. Lisbon, 15 s.

Lorencová E., Emmer A., Geletič J., Bašta P., Vačkář D., 2017: Analýza zranitelnosti hl.m. Prahy vůči dopadům změny klimatu. 59 s. „Nepublikováno“ Dep.: Repozitář AV ČR

Magistrát hlavního města Prahy, 2011: Praha životní prostředí 2009. Praha životní prostředí. 200 s.

Rebetez M., Dupont O., Giroud M., 2009: An analysis of the July 2006 heatwave extent in Europe compared to the record year of 2003. Theoretical and Applied Climatology 95:1-7.

Mendez-Astudillo J., Lau L., Tang Y., 2020: A new Global Navigation Satellite System (GNSS) based method for urban heat island intensity monitoring. International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation 94. ISSN 0303-2434.

Mohegh A., Levinson R., Haider T., Gilbert H., zhang J., Li Y., Tang T., Ban-Weiss G., 2018: Observational Evidence of Neighborhood Scale Reductions in Air Temperature Associated with Increases in Roof Albedo. Climate 98. ISSN 2225-1154.

Mummery-Gartland L., 2012: Heat Islands: Understanding and Mitigating Heat in Urban Areas. Earthscan, London, 192 s., ISBN 1849771553.

Obrusník I., 2010: Člověk ve svém pozemském - Snižování rizika přírodních katastrof a včasné varování. : Český hydrometeorologický ústav, Úpice, 174 s., ISBN 978-80-86303-23-9.

Oke T.R., 1976: The distinction between canopy and boundary-layer urban heat islands. Atmosphere 14:268-277. ISSN 0004-6973.

Pondělíček M., Bízek V., 2016: *Adaptace na změnu klimatu. Civitas per Populi*, Hradec Králové, 174 s., ISBN 978-80-87756-09-6.

Rizwan, Ahmed Memon; Liu, Ch; Dennis, Y C;. 2008. A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. *Journal of Environmental Sciences* 20: 120-128. ISSN 1001-0742.

Ruda A., 2014: *Klimatologie a hydrogeografie pro učitele*. Masarykova univerzita, Brno, 257 s., ISSN 1802-128X.

Sharifi A., 2020: Trade-offs and conflicts between urban climate change mitigation and adaptation measures: A literature review. *Journal of Cleaner Production* 276:1-14. ISSN 0959-6526.

Sklenička P., 2003: *Základy krajinného plánování*. Naděžda Skleničková, Praha, 321 s. ISBN 80-903206-1-9.

Středová H., Bokwa A., Dobrovolný P., Krédl P., Krahula L., Litschmann T., pokorný R., Rožnovský J., Středa T., vysoudil M., 2011: *Mikroklima a mezoklima měst, mikroklima porostů*. Český Hydrometeorologický ústav, Praha, 98 s. ISBN 978-80-86690-90-2.

Tallaksen L., Van Lanen H., 2004: *Hydrological drought: Processes and estimation methods for streamflow and groundwater*. Elsevier, Oslo/Wageningen, 504 s. ISBN 978-0-444-51767-8.

Heisler G., Brazel A., 2010: *The Urban Physical Environment: Temperature and Urban Heat Islands*. *Urban Ecosystem Ecology* 55:29-56. ISBN 9780891181750.

Tlapák V., Šálek J., Legát V., 1992: *Voda v zemědělské krajině*. Zemědělské nakladatelství Brázda, Praha, 318 s. ISBN 80-209-0232-5.

Tománková J., Čápková D., 2013: *Management staveb*. FinEco, Praha 225 s. ISBN 978-80-86590-12-7.

Arifwidodo S., Chandrasiri O., 2020: Urban heat stress and human health in Bangkok, Thailand. *Environmental Research* 185:1-8. ISSN 0013-9351.

Wang R., Gao W., Zhou N., Kammen D., Peng W., 2021: Urban structure and its implication of heat stress by using remote sensing and simulation tool. *Sustainable Cities and Society* 65:1-15. ISSN 2210-6707.

Vijayaraghavan K., 2016: Green roofs: A critical review on the role of components, benefits, limitations and trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 57: 740-752. ISSN 1364-0321.

Voogt J., Oke T.R., 2003: Thermal remote sensing of urban climates. *Remote Sensing of Environment* 86: 370-384. ISSN 0034-4257.

Vysoudil M., 2013: *Základy fyzické geografie 1: Meteorologie a klimatografie*. Univerzita Palackého v Olomouci, Olomouc, 282 s., ISBN 80-244-0875-9.

Žalud Z., Trnka M., Hlavinka P., 2019: *Zemědělské sucho v České republice*. Agrární komora České republiky, Praha, 120 s., ISBN 978-80-88351-02-3.

Internetové zdroje

ARCDATA PRAHA s.r.o., ©2020: Aplikace ArcGIS Online (online) [cit. 2020.09.23], dostupné z <<https://www.arcdata.cz/produkty/arcgis/desktopovy-gis/arcmap>>

ArcMAP, ©2020: ArcMap tools (online) [cit. 2020.10.18], dostupné z <<https://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/main/tools/a-quick-tour-of-geoprocessing-tool-references.htm>>

AVČR: Ústav fyziky atmosféry, ©2020: Vlny veder (online) [cit. 2020.12.18], dostupné z <<http://www.klimaweb.cz/vlny-veder>>

CI2, ©2020: Snižujeme CO₂. CI2, o.p.s (online) [cit. 2020.08.16] dostupné z <<https://snizujemeco2.cz/cs>>

Copernicus. ©2021. Copernicus - Europe's eyes on Earth. Land monitoring service – Copernicus (online) [cit. 2021.03.02], dostupné z <<https://land.copernicus.eu/local/urban-atlas/urban-atlas-2012>>

Ekolist.cz, ©2014: Co je tepelný ostrov a proč ho zkoumat (online) [cit. 2020.11.01], dostupné z <<https://ekolist.cz/cz/zpravodajstvi/zpravy/PR-co-je-tepelny-ostrov-prahy-a-proc-ho-zkoumat>>

ESRL, ©2021: Global Monitoring Laboratory. Earth System Research Laboratories: Europe adapts to climate change: Comparing National Adaptation Strategies.. (online) [cit. 2021.01.09], dostupné z <<https://www.esrl.noaa.gov/gmd/ccgg/trends/>>

Evropská komise pro opatření v oblasti klimatu, ©2020: Evropská komise, Opatření v oblasti klimatu: Příčiny změny klimatu (online) [cit. 2020.09.03], dostupné z <https://ec.europa.eu/clima/change/causes_cs>

Geoportál ČÚZK, ©2021: Topografická databáze České republiky (Data200) - vrstva Terénní reliéf (online) [cit. 2021.01.24], dostupné z <[https://geoportal.cuzk.cz/\(S\(j53e11e3uwmm0jsoacnyhpai\)\)/Default.aspx?mode=TextMeta&side=mapy_data200&metadataID=CZ-CUZK-DATA200-RELIEF-V&head_tab=sekce-02-gp&menu=2296](https://geoportal.cuzk.cz/(S(j53e11e3uwmm0jsoacnyhpai))/Default.aspx?mode=TextMeta&side=mapy_data200&metadataID=CZ-CUZK-DATA200-RELIEF-V&head_tab=sekce-02-gp&menu=2296)>

GHG Protocol, ©2020: Greenhouse gas protocol:Scope 1; Scope 2; Scope 3 (online) [cit. 2020.11.20], dostupné z <https://ghgprotocol.org/sites/default/files/ghgp/Scope3_Calculation_Guidance.pdf>

Trendhunter, ©2011:Precise Portable Forestry (online) [cit. 2020.11.07], dostupné z <<https://www.trendhunter.com/trends/parkmobile>>

MŽP: Ministerstvo životního prostředí, ©2015: Politika ochrany klimatu ČR;Ministrestvo životního prostředí (online) [cit. 2020.11.02], dostupné z <https://www.mzp.cz/cz/politika_ochrany_klimatu_2017>

Ústav výzkumu globální změny AV ČR, ©2021: Klimatická změna (online) [cit. 2021.02.09], dostupné z <<https://www.klimatickazmena.cz/cs/>>

Žák M., ©2017: Tepelný ostrov v Praze a možnosti zmírnění jeho negativních dopadů (online) [cit. 2020.09.22], dostupné z <http://portalzp.praha.eu/public/41/bf/ab/2498938_800079_Tepelny_ostrov_vPraze_MZak.pdf>

9 Seznam použitých obrázků a tabulek

9.1 Seznam obrázků

Obrázek č. 1 Úplný klimatický systém (Ruda, 2014)	13
Obrázek č. 2 Účinky vodních a zelených ploch na proudění větru ve městech (Gunawardena et al. 2017).	18
Obrázek č. 3 Graf měsíčního průměru CO ₂ , vodorovná osa: roky, svislá osa: 1:1 000 000 částic CO ₂ na milion částic, červená barva: Měsíční průměr, černá barva: průměrné měsíční hodnoty pro běžný sezónní cyklus (ESRL, 2021).....	20
Obrázek č. 4 Stupnice intenzity sucha (Brázdil et al. 2015).....	23
Obrázek č. 5 Rozdíl disturbance sluneční energie na 1 m ² odvodněné krajiny (vlevo) a 1 m ² krajiny pokryté vegetací a nesyčené vodou (Pokorný, 2001).....	29
Obrázek č. 6 Lavičky se zelení jako aktivní opatření proti potlačení MTO (USA, San Francisco) (Trendhunter, 2011).....	29
Obrázek č. 7 Teploty asfaltu, svislá osa: teplota; vodorovná osa: modrá – klasický asfalt, oranžová – asfalt s 4% červeným pigmentem oxidu železitého, zelená – asfalt s 4% bílým pigmentem oxidu titaničitého (Badin et al. 2020).....	31
Obrázek č. 8 Prostorově teplotní rozdělení modelů (Wang, 2021).	33
Obrázek č. 9 Maximální, minimální a průměrné hodnoty modelů; na ose y je zobrazena teplota (°C) a na ose x jsou zobrazeny jednotlivé typy městské zástavby (Wang, 2021).....	33
Obrázek č. 10 Přehledová mapa hl. m Prahy a dělení podle typu využití území (autor).	36
Obrázek č. 11 Postup zpracování dat v programuArcMap pomocí metody Reclassify	39
Obrázek č. 12 Postup zpracování dat v programuArcMap pomocí metody Raster Calculator	40
Obrázek č. 13 Postup zpracování dat v programuArcMap pomocí metody Union ..	40
Obrázek č. 14 Postup zpracování dat v programuArcMap pomocí Sumarizace.....	41
Obrázek č. 15 Postup zpracování dat v programuArcMap pomocí metody Intersect	42
Obrázek č. 16 Zobrazení míst náchylných na městský tepelný ostrov (autor)	43

Obrázek č. 17 Graf procentuálního zastoupení využitého území na kterém dosahovaly teploty 30 °C po dobu 6 hodin na území hl. m. Prahy (autor)	44
Obrázek č. 18 Graf procentuálního zastoupení využitého území na kterém dosahovaly teploty 30 °C po dobu 5 hodin na území hl. m. Prahy (autor)	45
Obrázek č. 19 Graf procentuálního zastoupení využitého území na kterém dosahovaly teploty 30 °C po dobu 4 hodin na území hl. m. Prahy (autor)	46
Obrázek č. 20 Nejvíce postižená místa přechodem vlny horka na území hl. m. Prahy (Dejvice, Bubeneč, Holešovice, Nové Město, Staré Město, Libeň, Vysočany, Karlín, Vinohrady a Smíchov) (Autor).....	49

9.2 Seznam tabulek

Tabulka 1 Základní rozdělení adaptačních opatření (Pondělíčková et. Bízek, 2016). 27	
Tabulka 2 Land Use a jejich četnost, rozloha, kde teplota přesáhla 30 °C 6 hodin (autor).....	44
Tabulka 3 Land Use a jejich četnost, rozloha, kde teplota přesáhla 30 °C 5 hodin (autor).....	45
Tabulka 4 Land Use a jejich četnost, rozloha, kde teplota přesáhla 30 °C 4 hodiny (autor).....	46

10 Přílohy

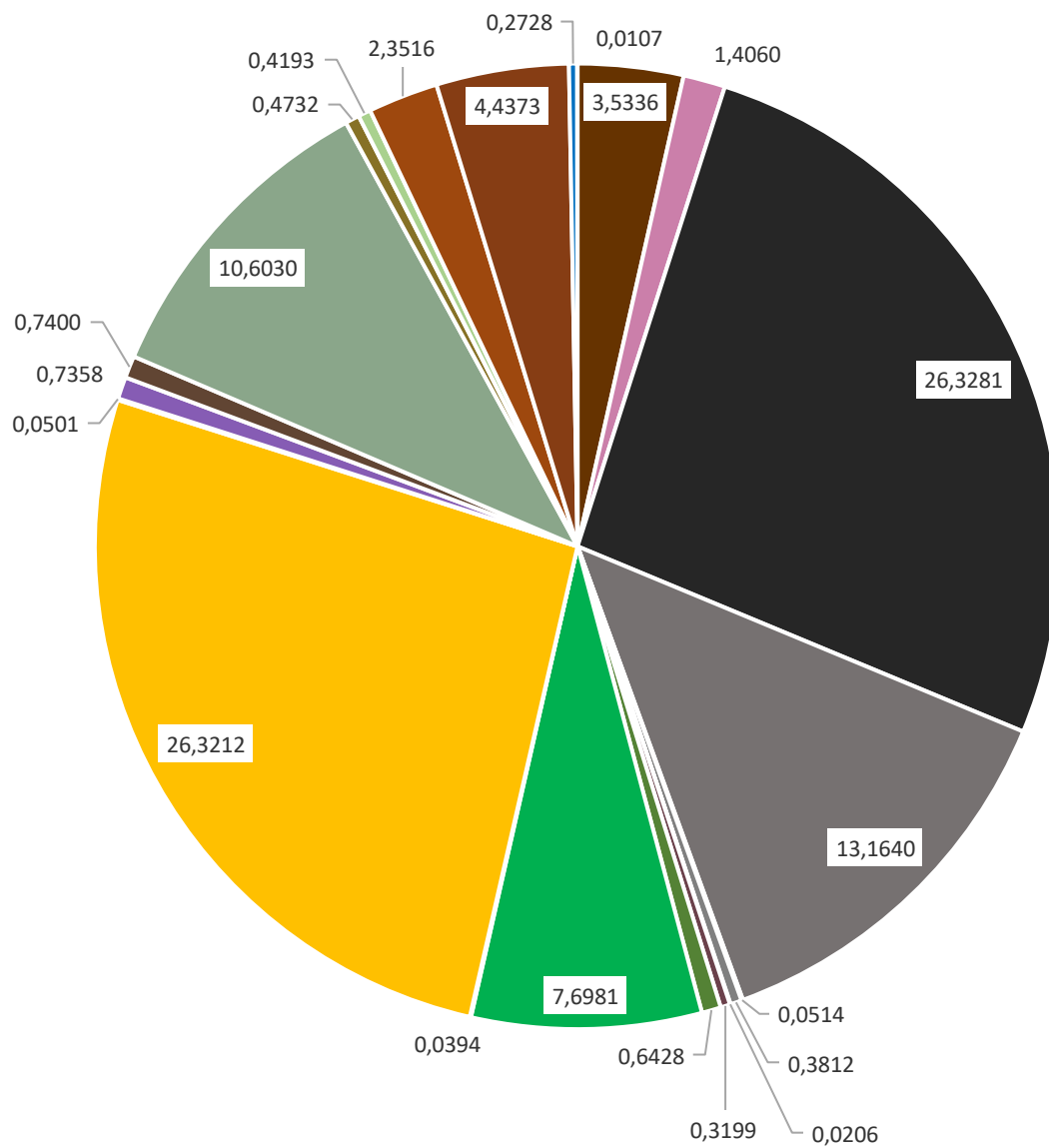
Příloha č. 1 Land Use a jejich četnost, rozloha, kde teplota přesáhla 30 °C 3 hodiny (autor).....	62
Příloha č. 2 Graf procentuálního zastoupení využitého území na kterém dosahovaly teploty 30 °C po dobu 3 hodin na území hl. m. Prahy. Doplnující přílohu č. 1. (autor)	63
Příloha č. 3 Land Use a jejich četnost, rozloha, kde teplota přesáhla 30 °C 2 hodiny (autor).....	64
Příloha č. 4 Graf procentuálního zastoupení využitého území na kterém dosahovaly teploty 30 °C po dobu 2 hodin na území hl. m. Prahy. Doplnující přílohu č. 3. (autor)	65
Příloha č. 5 Land Use a jejich četnost, rozloha, kde teplota přesáhla 30 °C 1 hodinu (autor).....	66

Příloha č. 6 Graf procentuálního zastoupení využitého území na kterém dosahovaly teploty 30 °C více než 1 hodinu na území hl. m. Prahy. Doplňující přílohu č. 5. (autor)	67
Příloha č. 7 Land Use a jejich četnost, rozloha, kde teplota přesáhla 30 °C pod 1 hodinu (autor).....	68
Příloha č. 8 Procentuální zastoupení využitého území na kterém dosahovaly teploty 30 °C méně než 1 hodinu na území hl. m. Prahy. Doplňující přílohu č. 7. (autor)	69
Příloha č. 9 Místa, kde teplota přesáhla 32 °C na území hl. m. Prahy a přilehlém okolí (autor).....	70
Příloha č. 10 Místa, kde teplota přesáhla 28 °C na území hl. m. Prahy a přilehlém okolí (autor).....	71
Příloha č. 11 Místa, kde teplota přesáhla 25 °C na území hl. m. Prahy a přilehlém okolí (autor).....	72
Příloha č. 12 Ukázka vstupních dat. Teplotní data pro hl. m Prahu a blízké okolí (Geletič, 2019).....	73
Příloha č. 13 Hodinové zobrazení přechodu vlny horka, konkrétně mezi 16:00—17:00 (autor).....	74
Příloha č. 14 Hodinové zobrazení přechodu vlny horka, konkrétně mezi 17:00—18:00 (autor).....	75
Příloha č. 15 Hodinové zobrazení přechodu vlny horka, konkrétně mezi 18:00—19:00 (autor).....	76
Příloha č. 16 Hodinové zobrazení přechodu vlny horka, konkrétně mezi 19:00—20:00 (autor).....	77
Příloha č. 17 Hodinové zobrazení přechodu vlny horka, konkrétně mezi 20:00—21:00 (autor).....	78
Příloha č. 18 Hodinové zobrazení přechodu vlny horka, konkrétně mezi 21:00—22:00 (autor).....	79

Příloha č. 1 Land Use a jejich četnost, rozloha, kde teplota přesáhla 30 °C 3 hodiny (autor).

Třída využití území	Počet zastoupení	Rozloha (km ²)	Zastoupení (%)
Orná půda	100	0,8251	3,5336
Staveniště	26	0,3283	1,4060
Kontinuální městská zástavba (S.L.:> 80 %)	1 525	6,1476	26,3281
Přerušovaná hustá městská zástavba (S.L.:50 % - 80 %)	592	3,0738	13,1640
Přerušovaná městská zástavba s nízkou hustotou (S.L.: 10 % - 30 %)	5	0,0120	0,0514
Přerušovaná městská zástavba se střední hustotou (S.L.: 30 % - 50 %)	20	0,0890	0,3812
Přerušovaná městská struktura s velmi nízkou hustotou (S.L.: <10 %)	3	0,0048	0,0206
Rychlostní silnice a související pozemky	20	0,0747	0,3199
Lesy	75	0,1501	0,6428
Zelené městské oblasti	487	1,7975	7,6981
Bylinná vegetační stanoviště (přírodní louky, rašeliniště ...)	5	0,0092	0,0394
Průmyslové, obchodní, veřejné, vojenské a soukromé prostory	909	6,1460	26,3212
Izolované prostory	5	0,0117	0,0501
Půda bez současného využití	50	0,1718	0,7358
Těžební prostory a skládky	9	0,1728	0,7400
Ostatní silnice a související pozemky	1 006	2,4758	10,6030
Pastviny	28	0,1105	0,4732
Trvalý travní porost (vinice, ovocné stromy, olivové háje)	16	0,0979	0,4193
Železnice a související pozemky	162	0,5491	2,3516
Sportovní zařízení a zařízení pro volný čas	122	1,0361	4,4373
Vodní plochy	31	0,0637	0,2728
Mokřady	1	0,0025	0,0107
Celkem	5 197	23,35	100

Procentuální zastoupení využitého území na kterém dosahovaly teploty 30 °C po dobu 3 hodin na území hl. m. Prahy

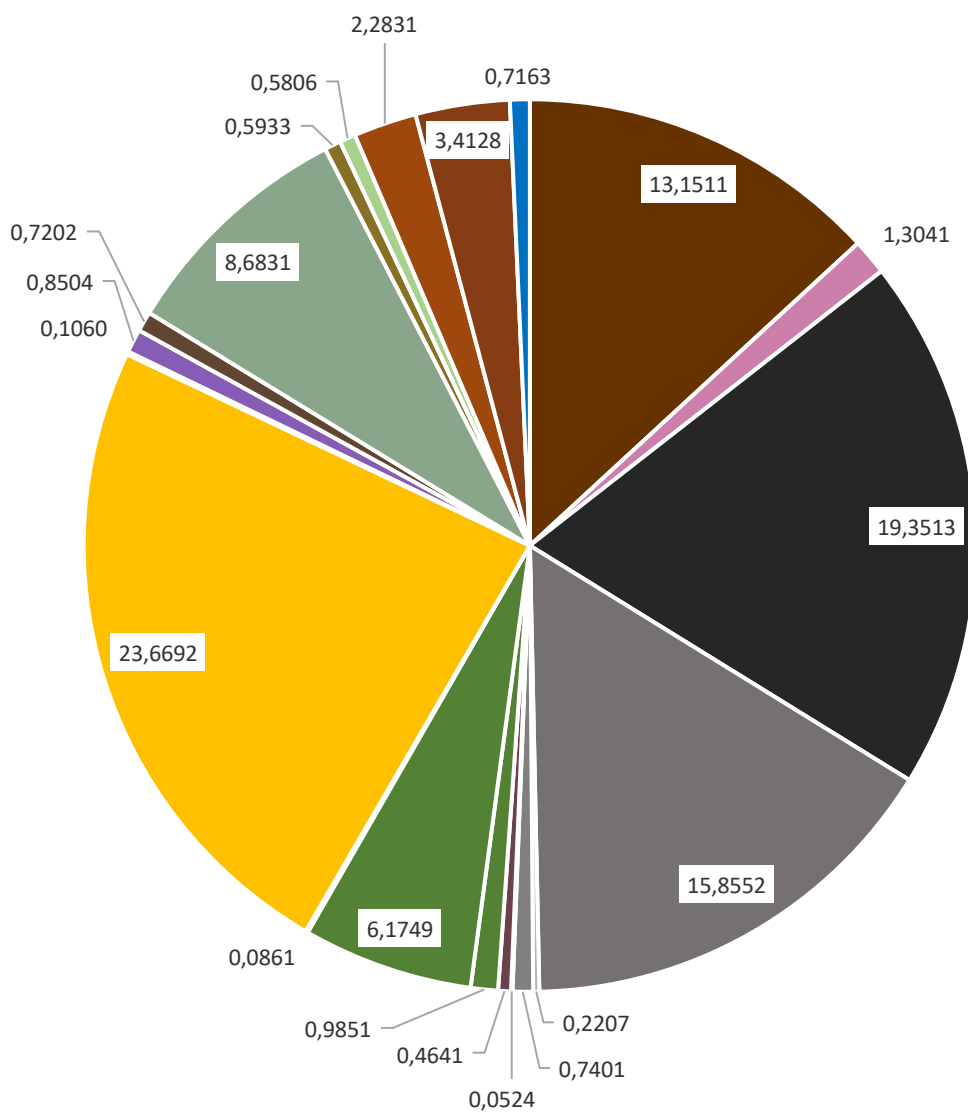


Příloha č. 2 Graf procentuálního zastoupení využitého území na kterém dosahovaly teploty 30 °C po dobu 3 hodin na území hl. m. Prahy. Doplnující přílohu č. 1. (autor)

Příloha č. 3 Land Use a jejich četnost, rozloha, kde teplota přesáhla 30 °C 2 hodiny (autor).

Třída využití území	Počet zastoupení	Rozloha (km²)	Zastoupení (%)
Orná půda	220	2,3830	13,1511
Staveniště	38	0,2363	1,3041
Kontinuální městská zástavba (S.L.: > 80 %)	1240	3,5065	19,3513
Přerušovaná hustá městská zástavba (S.L.: 50 % - 80 %)	776	2,8730	15,8552
Přerušovaná městská zástavba s nízkou hustotou (S.L.: 10 % - 30 %)	14	0,0400	0,2207
Přerušovaná městská zástavba se střední hustotou (S.L.: 30 % - 50 %)	48	0,1341	0,7401
Přerušovaná městská struktura s velmi nízkou hustotou (S.L.: <10 %)	7	0,0095	0,0524
Rychlostní silnice a související pozemky	20	0,0841	0,4641
Lesy	110	0,1785	0,9851
Zelené městské oblasti	433	1,1189	6,1749
Bylinná vegetační stanoviště (přírodní louky, rašeliniště ...)	11	0,0156	0,0861
Průmyslové, obchodní, veřejné, vojenské a soukromé prostory	898	4,2889	23,6692
Izolované prostory	8	0,0192	0,1060
Půda bez současného využití	59	0,1541	0,8504
Těžební prostory a skládky	10	0,1305	0,7202
Ostatní silnice a související pozemky	1 215	1,5734	8,6831
Pastviny	55	0,1075	0,5933
Trvalý travní porost (vinice, ovocné stromy, olivové háje)	31	0,1052	0,5806
Železnice a související pozemky	183	0,4137	2,2831
Sportovní zařízení a zařízení pro volný čas	135	0,6184	3,4128
Vodní plochy	59	0,1298	0,7163
Celkem	5 570	18,1202	100

Procentuální zastoupení využitého území na kterém dosahovaly teploty 30 °C po dobu 2 hodin na území hl. m. Prahy

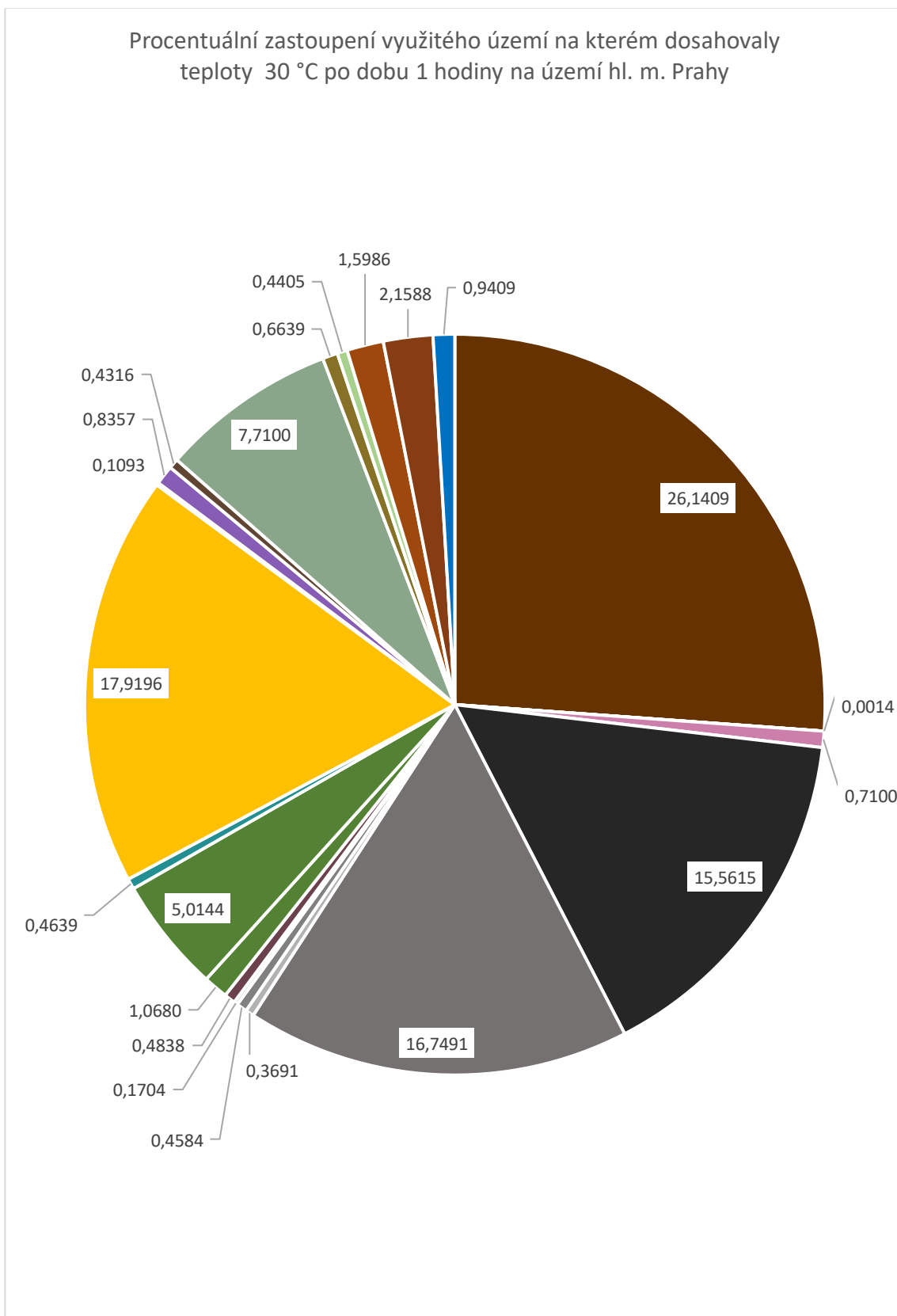


Příloha č. 4 Graf procentuálního zastoupení využitého území na kterém dosahovaly teploty 30 °C po dobu 2 hodin na území hl. m. Prahy. Doplnující přílohu č. 3. (autor)

Příloha č. 5 Land Use a jejich četnost, rozloha, kde teplota přesáhla 30 °C 1 hodinu (autor).

Třída využití území	Počet zastoupení	Rozloha (km²)	Zastoupení (%)
Orná půda	266	3,8035	26,1409
Komplexní a smíšené kultivace	2	0,0002	0,0014
Staveniště	16	0,1033	0,7100
Kontinuální městská zástavba (S.L.:> 80 %)	872	2,2642	15,5615
Přerušovaná hustá městská zástavba (S.L.: 50 % - 80 %)	718	2,4370	16,7491
Přerušovaná městská zástavba s nízkou hustotou (S.L.: 10 % - 30 %)	18	0,0537	0,3691
Přerušovaná městská zástavba se střední hustotou (S.L.: 30 % - 50 %)	28	0,0667	0,4584
Přerušovaná městská struktura s velmi nízkou hustotou (S.L.: <10 %)	10	0,0248	0,1704
Rychlostní silnice a související pozemky	20	0,0704	0,4838
Lesy	94	0,1554	1,0680
Zelené městské oblasti	295	0,7296	5,0144
Bylinná vegetační stanoviště (přírodní louky, rašeliniště ...)	17	0,0675	0,4639
Průmyslové, obchodní, veřejné, vojenské a soukromé prostory	629	2,6073	17,9196
Izolované prostory	6	0,0159	0,1093
Půda bez současného využití	44	0,1216	0,8357
Těžební prostory a skládky	8	0,0628	0,4316
Ostatní silnice a související pozemky	906	1,1218	7,7100
Pastviny	37	0,0966	0,6639
Trvalý travní porost (vinice, ovocné stromy, olivové háje)	17	0,0641	0,4405
Železnice a související pozemky	108	0,2326	1,5986
Sportovní zařízení a zařízení pro volný čas	87	0,3141	2,1588
Vodní plochy	74	0,1369	0,9409
Celkem	4 272	14,55	100

Procentuální zastoupení využitého území na kterém dosahovaly teploty 30 °C po dobu 1 hodiny na území hl. m. Prahy

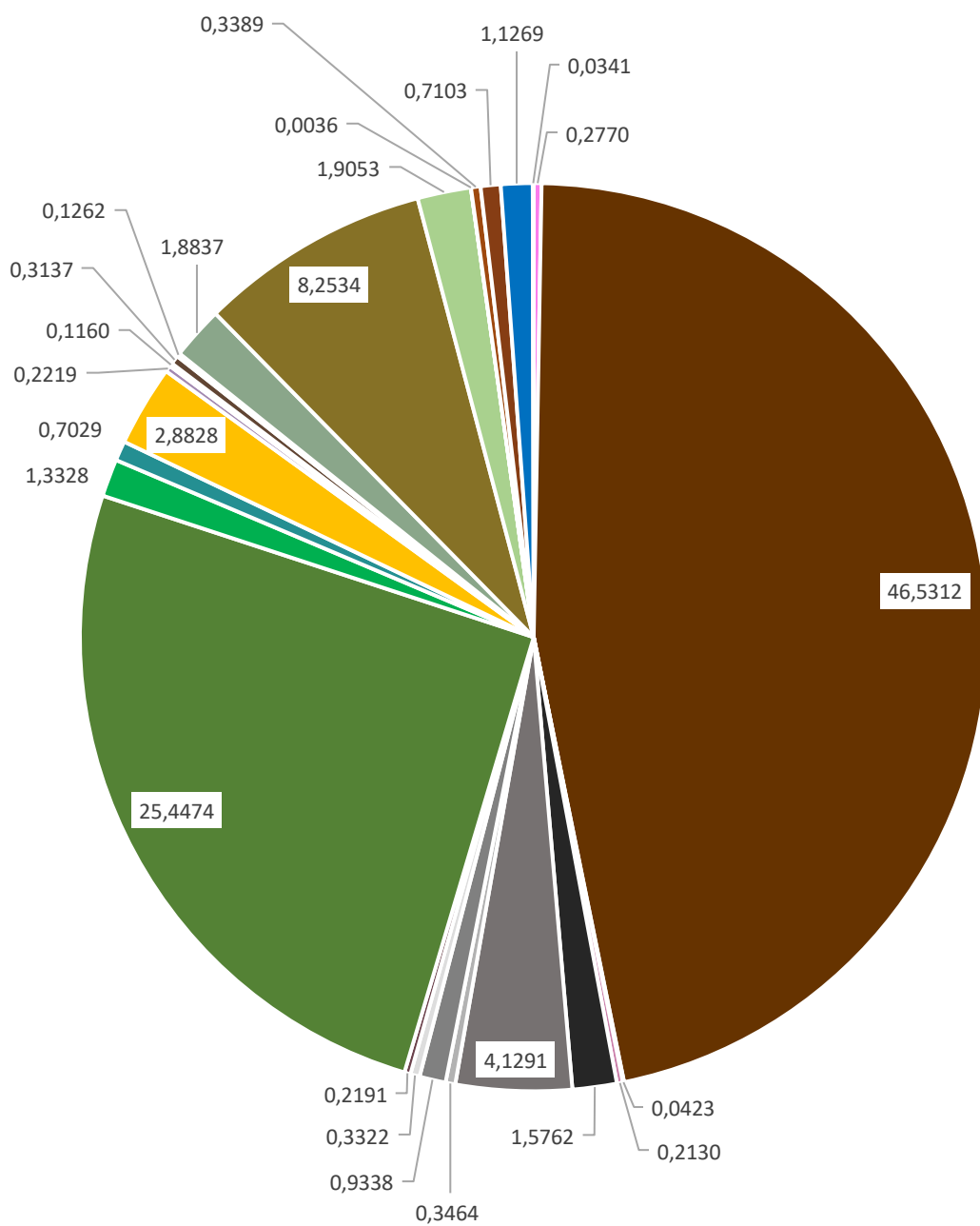


Příloha č. 6 Graf procentuálního zastoupení využitého území na kterém dosahovaly teploty 30 °C po dobu 1 hodiny na území hl. m. Prahy. Doplnující přílohu č. 5. (autor)

Příloha č. 7 Land Use a jejich četnost, rozloha, kde teplota přesáhla 30 °C pod 1 hodinu (autor).

Třída využití území	Počet zastoupení	Rozloha (km ²)	Zastoupení (%)
Letiště	42	15,6070	0,2770
Orná půda	8 233	2621,7017	46,5312
Komplexní a smíšené kultivace	32	2,3823	0,0423
Staveniště	598	11,9994	0,2130
Kontinuální městská zástavba (S.L.: > 80 %)	9 829	88,8065	1,5762
Přerušovaná hustá městská zástavba (S.L.: 50 % - 80 %)	16 104	232,6441	4,1291
Přerušovaná městská zástavba s nízkou hustotou (S.L.: 10 % - 30 %)	1 130	19,5167	0,3464
Přerušovaná městská zástavba se střední hustotou (S.L.: 30 % - 50 %)	3 382	52,6105	0,9338
Přerušovaná městská struktura s velmi nízkou hustotou (S.L.: <10 %)	1 516	18,7184	0,3322
Rychlostní silnice a související pozemky	526	12,3423	0,2191
Lesy	4 865	1433,7769	25,4474
Zelené městské oblasti	2 962	75,0961	1,3328
Bylinná vegetační stanoviště (přírodní louky, rašeliniště ...)	1 232	39,6034	0,7029
Průmyslové, obchodní, veřejné, vojenské a soukromé prostory	8 221	162,4253	2,8828
Izolované prostory	2 360	12,5030	0,2219
Půda bez současného využití	694	6,5350	0,1160
Těžební prostory a skládky	247	17,6742	0,3137
Žádná data (mraky a stíny)	28	7,1088	0,1262
Ostatní silnice a související pozemky	12 555	106,1325	1,8837
Pastviny	5 726	465,0195	8,2534
Trvalý travní porost (vinice, ovocné stromy, olivové háje)	1 487	107,3490	1,9053
Přístav a přidružené objekty	2	0,2019	0,0036
Železnice a související pozemky	1 662	19,0956	0,3389
Sportovní zařízení a zařízení pro volný čas	1 621	40,0177	0,7103
Vodní plochy	748	63,4916	1,1269
Mokřady	15	1,9224	0,0341
Celkem	85 817	5634,2818	100








Procentuální zastoupení využitého území na kterém dosahovaly teploty 30 °C méně než 1 hodinu na území hl. m. Prahy

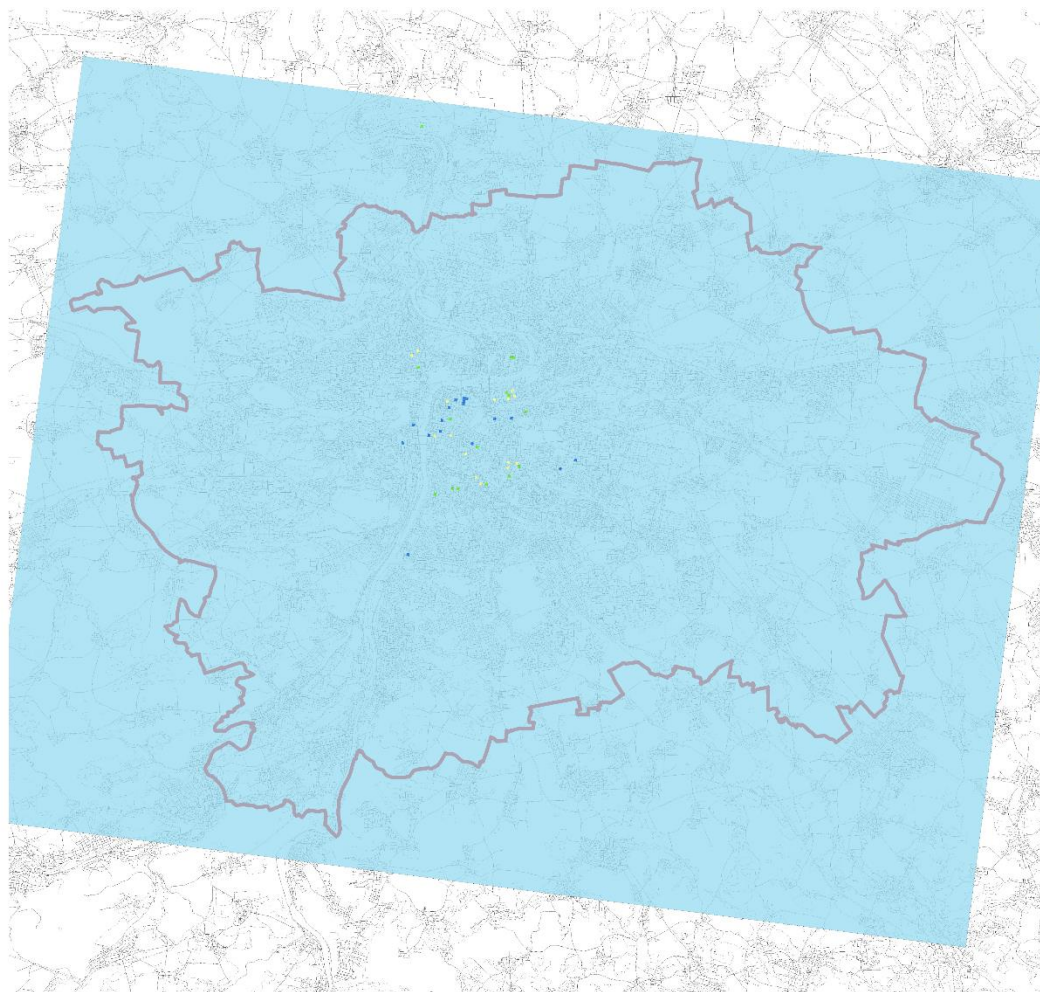


Příloha č. 8 Procentuální zastoupení využitého území na kterém dosahovaly teploty 30 °C po dobu méně než 1 hodinu na území hl. m. Prahy. Doplnující přílohu č. 7. (autor)

Teplotně namáhané oblasti na území hl. m. Prahy a přilehlém okolí

Legenda

-  Nepřesáhlo teplotu 30 °C
-  Teplota 32 °C byla přesažena po dobu 1 hodiny
-  Teplota 32 °C byla přesažena po dobu 2 hodin
-  Teplota 32 °C byla přesažena po dobu 3 hodin
-  Území hl. m. Prahy a blízké okolí
-  Zástavba, katastrální území, silnice a ostatní
-  Hranice Hl. m. Prahy



0 2 4 8 12 16 20 Km

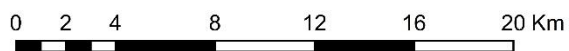
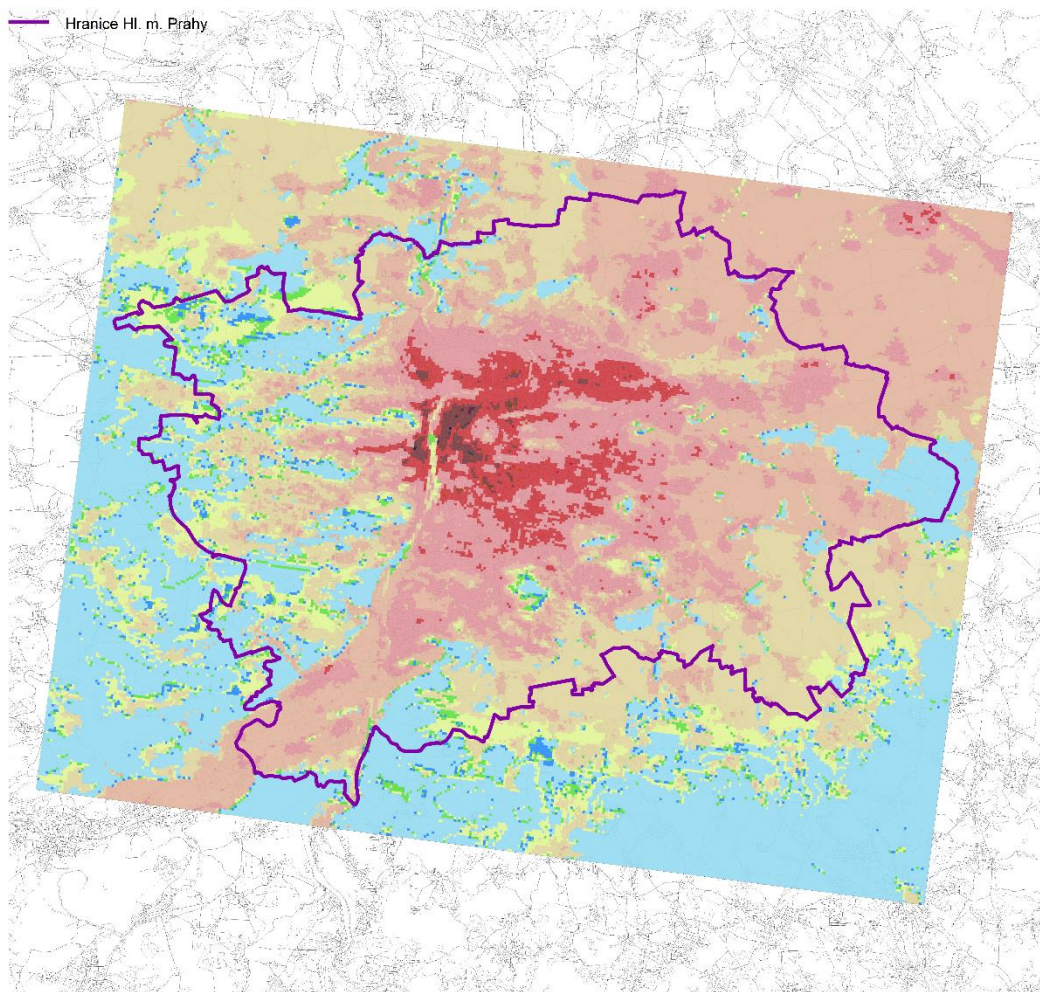
Vojtěch Pačiska
WGS 1984 UTM Zone 33N
Praha © 2021

Příloha č. 9 Místa, kde teplota přesáhla 32 °C na území hl. m. Prahy a přilehlém okolí (autor)

Legenda

- Nepřesáhlo teplotu 28 °C
- Teplota 28 °C byla přesažena po dobu 1 hodiny
- Teplota 28 °C byla přesažena po dobu 2 hodin
- Teplota 28 °C byla přesažena po dobu 3 hodin
- Teplota 28 °C byla přesažena po dobu 4 hodin
- Teplota 28 °C byla přesažena po dobu 5 hodin
- Teplota 28 °C byla přesažena po dobu 6 hodin
- Teplota 28 °C byla přesažena po dobu 7 hodin
- Teplota 28 °C byla přesažena po dobu 8 hodin
- Teplota 28 °C byla přesažena po dobu 9 hodin
- Území hl. m. Prahy a blízké okolí
- Zástavba, katastrální území, silnice a ostatní
- Hranice Hl. m. Prahy

Teplotně namáhané oblasti na území hl. m. Prahy a přilehlém okolí



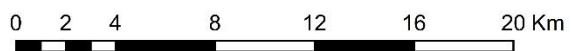
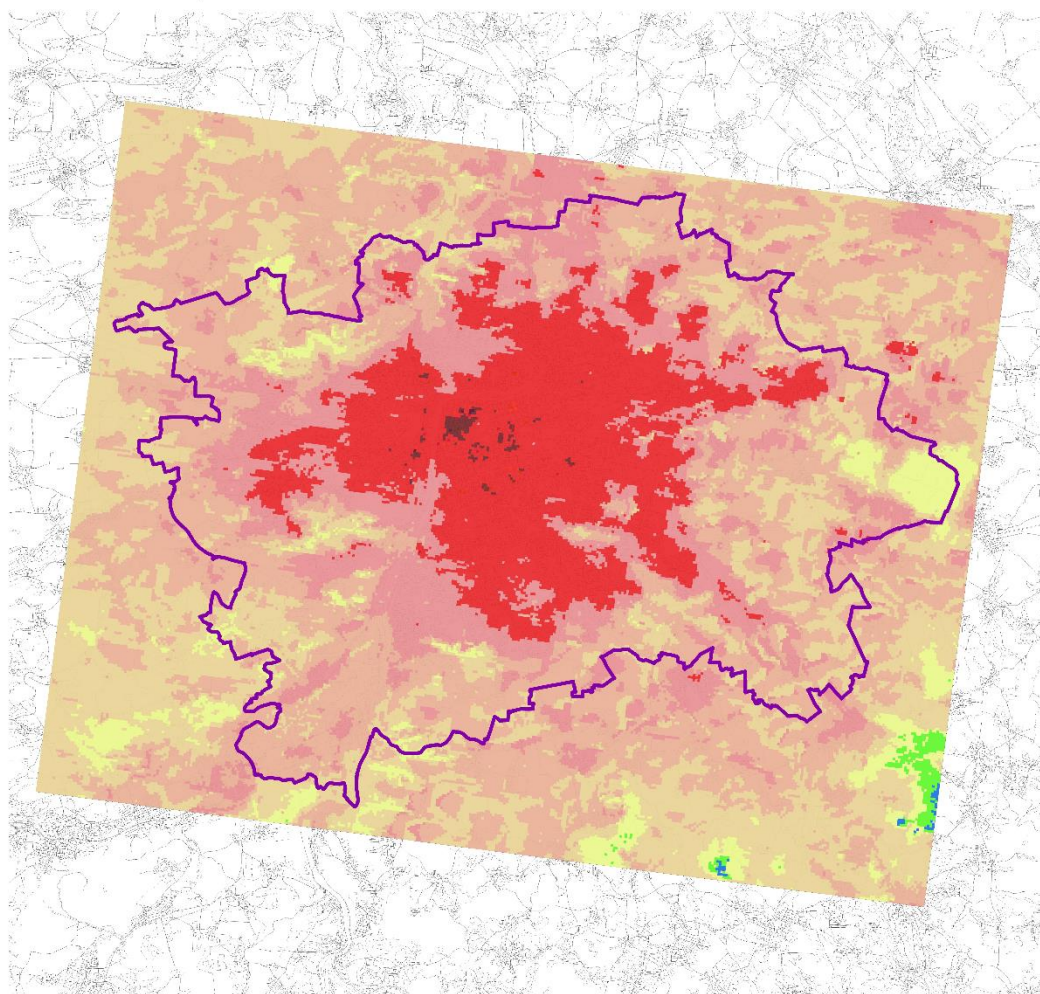
Vojtěch Pačiska
WGS 1984 UTM Zone 33N
Praha © 2021

Příloha č. 10 Místa, kde teplota přesáhla 28 °C na území hl. m. Prahy a přilehlém okolí (autor)

Legenda

- Nepráhlo teplotu 25 °C
- Teplota 25 °C byla přesažena po dobu 1 hodiny
- Teplota 25 °C byla přesažena po dobu 2 hodin
- Teplota 25 °C byla přesažena po dobu 3 hodin
- Teplota 25 °C byla přesažena po dobu 4 hodin
- Teplota 25 °C byla přesažena po dobu 5 hodin
- Teplota 25 °C byla přesažena po dobu 6 hodin
- Teplota 25 °C byla přesažena po dobu 7 hodin
- Teplota 25 °C byla přesažena po dobu 8 hodin
- Území hl. m. Prahy a blízké okolí
- Zástavba, katastrální území, silnice a ostatní
- Hranice hl. m. Prahy

Teplotně namáhané oblasti na území hl. m. Prahy a přilehlém okolí



Vojtěch Pačiska
WGS 1984 UTM Zone 33N
Praha © 2021

Příloha č. 11 Místa, kde teplota přesáhla 25 °C na území hl. m. Prahy a přilehlém okolí (autor)

Naměřené teplotní hodnoty na území hl. m Prahy v 18:00 - 19:00

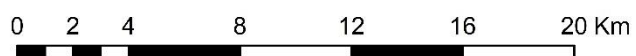
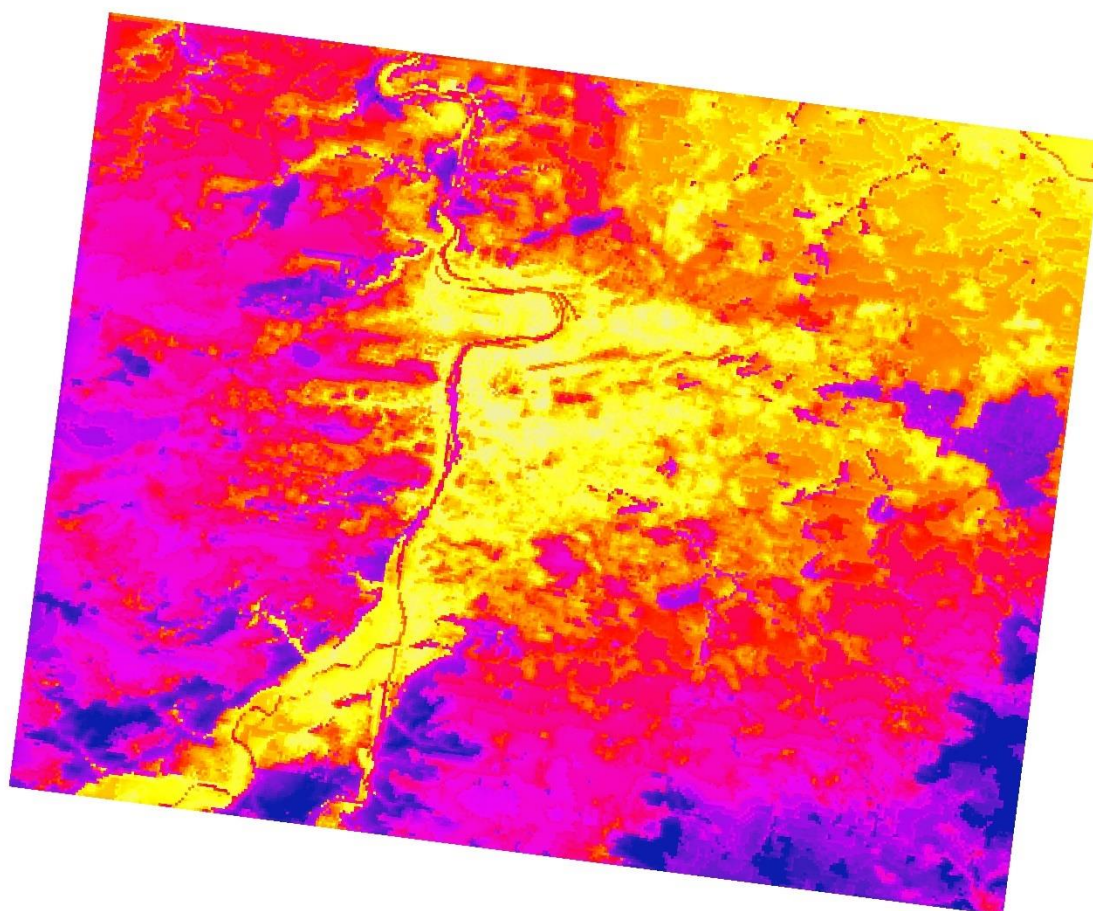


Legenda

Teplota (°C)

Maximum : 33,28

Minimum : 25,25





Vojtěch Pačiska
WGS 1984 UTM Zone 33N
Praha © 2021



Příloha č. 12 Ukázka vstupních dat. Teplotní data pro hl. m Prahu a blízké okolí (Geletič, 2019)

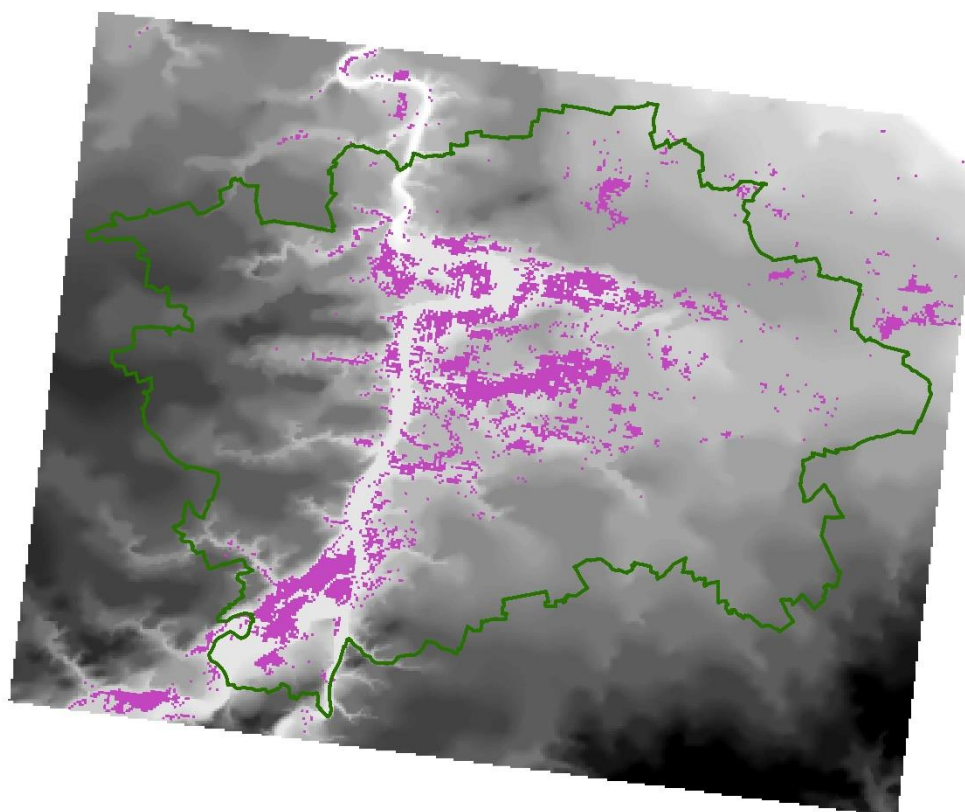
Tepločně namáhané oblasti na území hl. m. Prahy a přilehlém okolí mezi 16:00—17:00

Legenda

-  Místa s teplotou nad 30 °C
-  Hranice Hl. m. Prahy

Hodnota (m n. m.)

-  Maximum : 500
 -  Minimum : 174
- Stínovaný reliéf Prahy a přilehlého okolí





0 2 4 8 12 16 20 Km

Vojtěch Pačiska
WGS 1984 UTM Zone 33N
Praha © 2021



Příloha č. 13 Hodinové zobrazení přechodu vlny horka, konkrétně mezi 16:00—17:00 (autor)

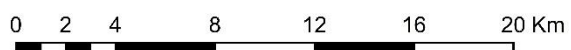
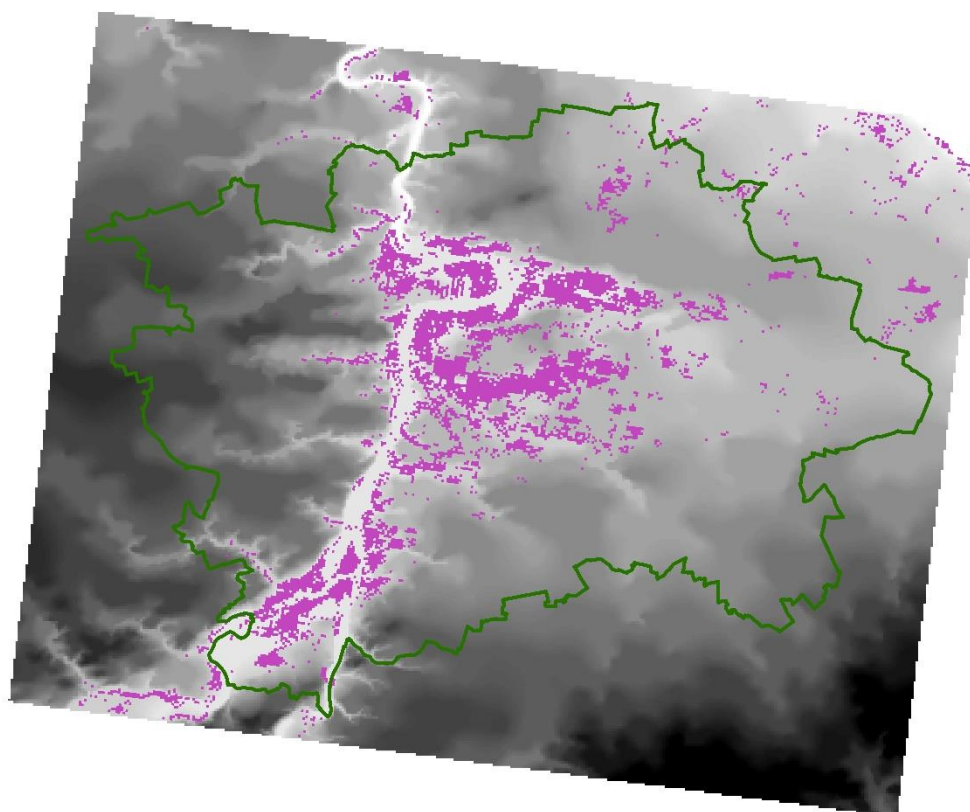
Tepločně namáhané oblasti na území hl. m. Prahy a přilehlém okolí mezi 17:00—18:00

Legenda

-  Místa s teplotou nad 30 °C
-  Hranice Hl. m. Prahy

Hodnota (m n. m.)

-  Maximum : 500
 -  Minimum : 174
- Stínovaný reliéf Prahy a přilehlého okolí





Vojtěch Pačiska
WGS 1984 UTM Zone 33N
Praha © 2021



Příloha č. 14 Hodinové zobrazení přechodu vlny horka, konkrétně mezi 17:00—18:00 (autor)

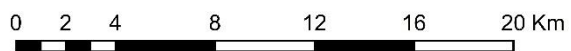
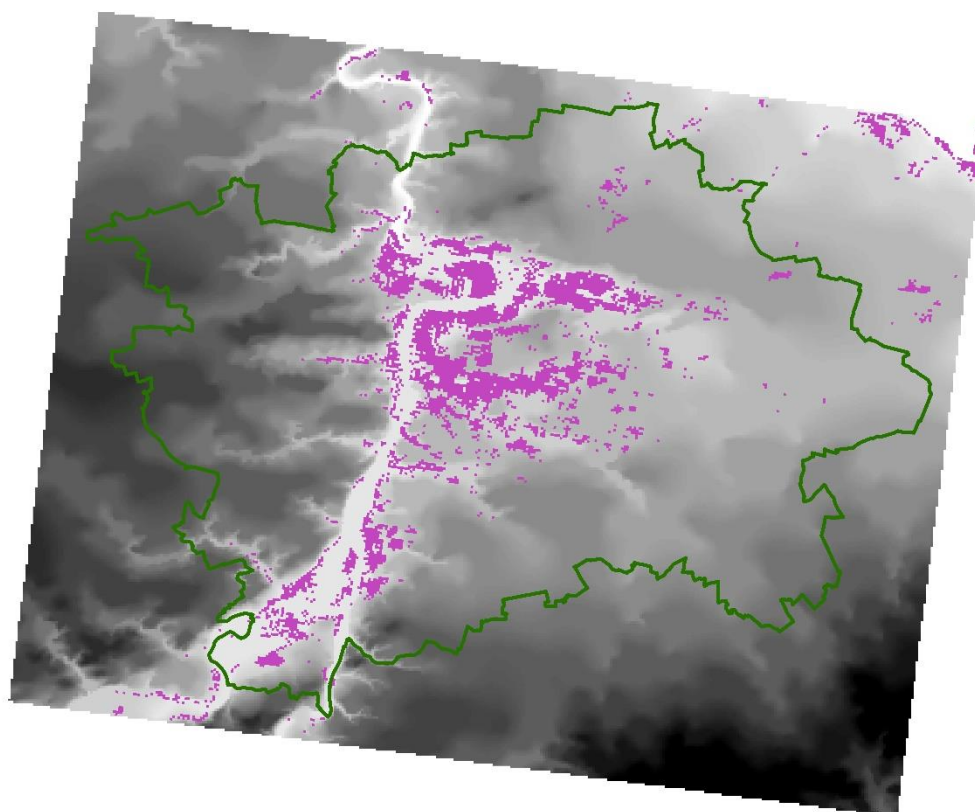
Tepločně namáhané oblasti na území hl. m. Prahy a přilehlém okolí mezi 18:00—19:00

Legenda

-  Místa s teplotou nad 30 °C
-  Hranice Hl. m. Prahy

Hodnota (m n. m.)

-  Maximum : 500
 -  Minimum : 174
- Stínovaný reliéf Prahy a přilehlého okolí





Vojtěch Pačiska
WGS 1984 UTM Zone 33N
Praha © 2021



Příloha č. 15 Hodinové zobrazení přechodu vlny horka, konkrétně mezi 18:00—19:00 (autor)

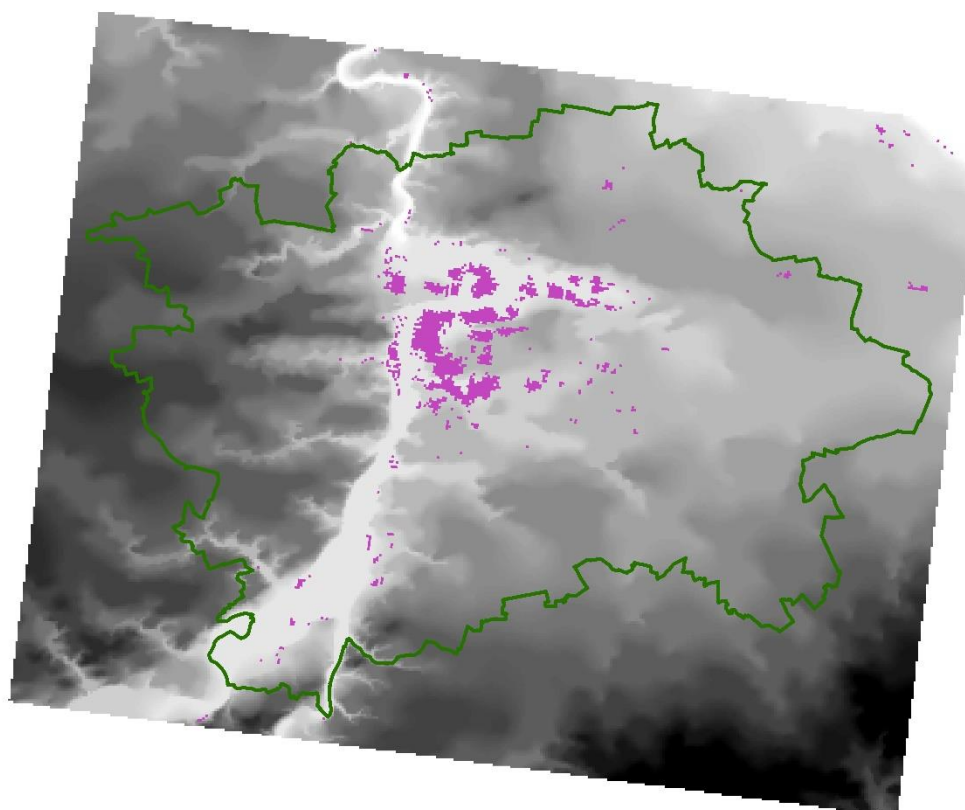
Teplotně namáhané oblasti na území hl. m. Prahy a přilehlém okolí mezi 19:00—20:00

Legenda

-  Místa s teplotou nad 30 °C
-  Hranice Hl. m. Prahy

Hodnota (m n. m.)

-  Maximum : 500
 -  Minimum : 174
- Stínovaný reliéf Prahy a přilehlého okolí





0 2 4 8 12 16 20 Km

Vojtěch Pačiska
WGS 1984 UTM Zone 33N
Praha © 2021



Příloha č. 16 Hodinové zobrazení přechodu vlny horka, konkrétně mezi 19:00—20:00 (autor)

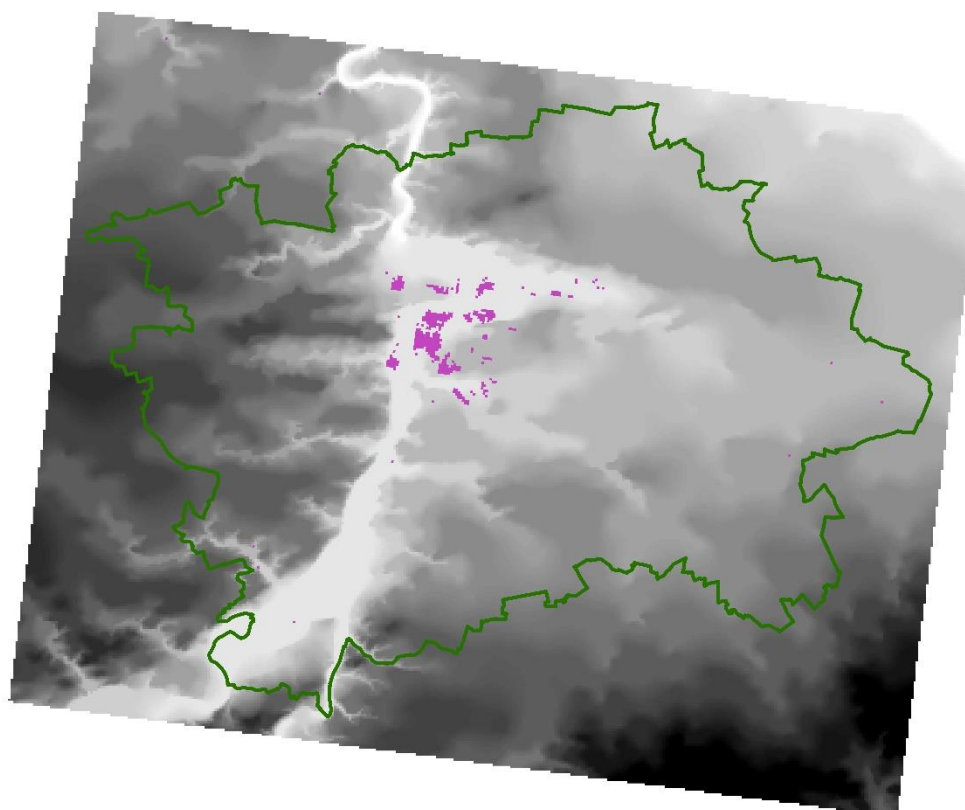
Teplotně namáhané oblasti na území hl. m. Prahy a přilehlém okolí mezi 20:00—21:00

Legenda

-  Místa s teplotou nad 30 °C
-  Hranice Hl. m. Prahy

Hodnota (m n. m.)

-  Maximum : 500
 -  Minimum : 174
- Stínovaný reliéf Prahy a přilehlého okolí




0 2 4 8 12 16 20 Km

Vojtěch Pačiska
WGS 1984 UTM Zone 33N
Praha © 2021

Příloha č. 17 Hodinové zobrazení přechodu vlny horka, konkrétně mezi 20:00—21:00 (autor)


Teplotně namáhané oblasti na území hl. m. Prahy a přilehlém okolí mezi 21:00—22:00

Legenda

 Místa s teplotou nad 30 °C

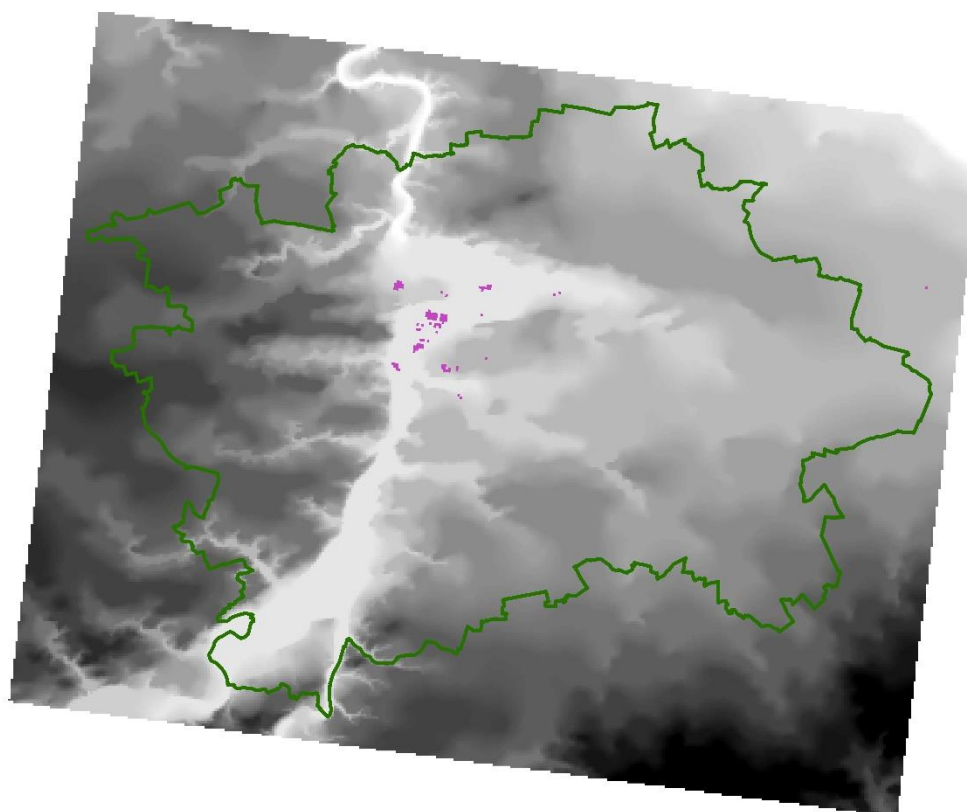
 Hranice Hl. m. Prahy

Hodnota (m n. m.)

 Maximum : 500

Stínovaný reliéf Prahy a přilehlého okolí

Minimum : 174



0 2 4 8 12 16 20 Km

Vojtěch Pačiska
WGS 1984 UTM Zone 33N
Praha © 2021

Příloha č. 18 Hodinové zobrazení přechodu vlny horka, konkrétně mezi 21:00—22:00 (autor)