

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta životního prostředí

**Katedra vodního hospodářství a environmentálního
modelování**



DIPLOMOVÁ PRÁCE

**Vliv krajinného pokryvu na prostorové rozložení
teploty vzduchu v Praze**

Vedoucí práce: Mgr. Aleš Urban Ph.D.

Diplomant: Bc. Vojtěch Pačiska

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Vojtěch Pačiska

Regionální environmentální správa

Název práce

Vliv krajinného pokryvu na prostorové rozložení teploty vzduchu na území Hl. m. Prahy

Název anglicky

Land cover and spatial distribution of air temperature in Prague

Cíle práce

Častější a silnější vlny veder patří mezi nejzávažnější dopady klimatických změn ve střední Evropě. Zvyšující se povědomí o důležitosti adaptačních opatření vůči změně klimatu vede k vyšší poptávce po modelování městského klimatu. Hlavním cílem této práce je analyzovat časoprostorový průběh teploty vzduchu v Praze během vybrané horké vlny modelované v modelu mikroklimatického měřítka a porovnávat jej s údaji o povrchové teplotě, zastoupení vegetace a typu krajinného pokryvu na základě analýzy satelitních snímků Landsat. Dílčím cílem práce bude zpracování rešerše odborných zdrojů dané problematiky.

Metodika

V první části práce bude zpracování rešerše odborných zdrojů zabývajících se tematikou městského klimatu, tepelného ostrova, klimatických změn, adaptačních strategií a opatření a dálkového průzkumu země.

V rámci praktické části práce budou pomocí ArcMap budou analyzovány časoprostorové změny teploty vzduchu z modelu MUKLIMO-3 během horké epizody v létě 2017 v Praze.

Na základě analýzy satelitních snímků Landsat ze stejného období bude analyzováno prostorové rozložení povrchové teploty, zastoupení vegetace a dalších ukazatelů typů krajinného pokryvu.

Pomocí prostorové analýzy v ArcMap budou analyzovány vztahy mezi prostorovým rozložením teploty vzduchu a jednotlivými ukazateli z analýzy snímků Landsat.

Doporučený rozsah práce

40-60

Klíčová slova

Městský tepelný ostrov, vlny veder, land cover, land use, Landsat, městská zeleň, městské klima

Doporučené zdroje informací

- Filho, W. L., Icaza, L. E., Neht, A., Klavins, M., & Morgen, E. A. (2017). Coping with the impacts of urban heat islands. A literature based. *Journal of Cleaner Production*, 1140-1149.
doi:<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.086>
- Geletiĉ, J.; Lehnert, M.; Dobrovolný, P. Land Surface Temperature Differences within Local Climate Zones, Based on Two Central European Cities. *Remote Sens.* 2016, 8, 788.
<https://doi.org/10.3390/rs8100788>
- Geletiĉ, J., Lehnert, M., & Jurek, M. (2020). Spatiotemporal variability of air temperature during a heat wave in real and modified landcover conditions: Prague and Brno (Czech Republic). *Urban Climate*, 31. <https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100588>
- Gunawardena, K., Wells, M., & Kwrshaw, T. (2017). Utilising green and bluespace to mitigate urban heat island intensity. *Science of the total environment*, stránky 584-585:1040-1055. DOI:<https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2017.01.158>

Předběžný termín obhajoby

2022/23 LS – FŽP

Vedoucí práce

Mgr. Aleš Urban, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra vodního hospodářství a environmentálního modelování

Elektronicky schváleno dne 6. 3. 2023

prof. Ing. Martin Hanel, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 6. 3. 2023

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 06. 03. 2023

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma: "Vliv krajinného pokryvu na prostorové rozložení teploty vzduchu v Praze" vypracoval zcela samostatně pod vedením vedoucího Mgr. Aleše Urbana Ph.D. a citoval jsem všechny informační zdroje, které byly v práci použity a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých citované literatury.

Jsem si vědom, že se na tuto diplomovou práci 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 diplomové 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 diplomové práce je totožná s tištěnou verzí a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne 31. března 2023

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval Mgr. Aleši Urbanovi Ph.D. za odborné vedení, cenné rady, připomínky a trpělivost při dlouhých konzultacích. Dále bych chtěl poděkovat Mgr. Janu Geletičovi, Ph.D. za poskytnutí teplotních dat do praktické části práce. Dále bych chtěl poděkovat celé rodině, přátelům a přítelkyni za podporu během studia.

Abstrakt

Práce analyzuje souvislosti mezi prostorovým rozložením teploty vzduchu a povrchu s typy využití půdy v Praze s cílem zjistit náchylnost různých urbánních ploch k akumulaci tepla. V rešeršní části práce je popsáno téma městského klimatu, městských tepelných ostrovů a vlivu zeleně na povrchovou teplotu i teplotu vzduchu v městských oblastech. Jsou diskutovány možné adaptační strategie ke zmírnění efektu městských tepelných ostrovů. Metodická část představuje zájmovou oblast a stručný popis souboru dat použitých v práci. V praktické části jsou porovnávána hodinová data s vysokým rozlišením o teplotě vzduchu během reprezentativního dne vlny veder v Praze exportovaná z městského klimatického modelu MUKLIMO_3 a informacemi o Land Use and Land Cover z Atlasu měst 2018 s cílem analyzovat vazby mezi prostorovým rozložením tepelného stavu a typologií krajinného pokryvu během dne vlny veder. Výsledky jsou porovnávány s teplotou zemského povrchu vypočtenou z družicového snímku Landsat 8 prostřednictvím Google Earth Engine společně s teplotními údaji ze dvou metrologických stanic v Praze. Prostorová analýza v aplikaci ArcMap se zaměřuje na oblasti, kde teplota vzduchu během dne vlny veder přesáhla 30 °C. Výsledky ukazují, že nejteplejší oblasti podle teploty vzduchu i povrchu byly spojeny s typy land use land cover s největší hustotou zástavby a nejnižším podílem zeleně. V diskusi jsou výsledky kriticky zhodnoceny a porovnány s podobnými studiemi.

Klíčová slova: Městský tepelný ostrov, vlny veder, městská zeleň, městské klima, evapotranspirace.

Abstract

The thesis analyses the relationship between the spatial distribution of air and surface temperature with land use types in Prague in order to determine the susceptibility of different urban areas to heat accumulation. In the research part of the thesis, the topic of urban climate, urban heat islands and the influence of greenery on surface temperature and air temperature in urban areas is described. Possible adaptation strategies to mitigate the effect of urban heat islands are discussed. The methodological section presents the area of interest and a brief description of the dataset used in the paper. In the practical part, hourly high-resolution data on air temperature during a representative heat wave day in Prague exported from the urban climate model MUKLIMO_3 and Land Use and Land Cover information from the 2018 Urban Atlas are compared to analyze the links between the spatial distribution of heat status and land cover typology during a heat wave day. The results are compared with land surface temperature calculated from Landsat 8 satellite imagery via Google Earth Engine together with temperature data from two metrological stations in Prague. The spatial analysis in ArcMap focuses on areas where the air temperature exceeded 30 °C during the heat wave day. The results show that the hottest areas by air and surface temperature were associated with land use land cover types with the highest density of development and the lowest proportion of green space. In the discussion, the results are critically evaluated and compared with similar studies.

Keywords: Urban heat island, heat waves, urban green space, urban climate, evapotranspiration.

Obsah

1. Úvod.....	1
2. Cíle práce.....	2
3. Teoretická východiska.....	3
3.1 Městské klima.....	3
3.2 Městský tepelný ostrov	4
3.3 Členění městského tepelného ostrova.....	6
3.3.1 Městský chladný ostrov	7
3.4 Ovlivňující faktory městského tepelného ostrova	8
3.4.1 Sluneční záření	8
3.4.2 Srážky	8
3.4.3 Vlhkost vzduchu.....	8
3.4.4 Povětrnostní podmínky.....	9
3.5 Problematika spojená s efektem městského tepelného ostrova.....	9
3.6 Klimatické změny.....	10
3.7 Povrchová teplota a teplota vzduchu	13
3.8 Vlny horka.....	15
3.9 Adaptační strategie	15
3.10 Adaptační opatření.....	17
3.11 Evapotranspirace	18
3.12 Land use a Land cover	19
3.12.1 CORINE Land Cover.....	20
3.13 Landsat snímání.....	21
4. Metodika.....	22
4.1 Charakteristika zkoumaného území.....	23
4.2 Sledované charakteristiky	24

4.3	Zpracování dat	25
4.3.1	Data přechodu horké vlny	26
4.3.2	Data ze satelitu Landsat 8	27
5.	Výsledky.....	30
5.1	Analýza teplotně namáhaných míst v Praze.....	30
6.	Diskuse	39
7.	Závěr	44
8.	Citovaná literatura	46
9.	Seznam obrázků	55
10.	Seznam tabulek	56
11.	Přílohy	57

Seznam použitých zkratek

MTO – Městský tepelný ostrov

IPCC – Intergovernmental Panel on Climate Change (Mezivládního panelu pro změnu klimatu)

LC – Land Cover (pokryv území)

LU – Land Use (typ povrchu)

OECD – Organization for Economic Cooperation and Development; Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj

AV ČR – Akademie věd ČR

ČSO – Český statistický úřad

AUHI – Atmospheric Urban Heat Island (atmosférický městský tepelný ostrov)

SUHI – Surface Urban Heat Island (Povrchový městský tepelný ostrov)

CO₂ – Oxid uhličitý

CO₂ekv – Ekvivalenty oxidu uhličitého

N₂O – Oxid dusný

CH₄ – Methan

PFC – Perfluorocarbons (Okysličená dýchací kapalina)

SF₆ – Fluorid sírový

GWP – Global Warming Potential (Potenciálu globálního oteplení)

ČHMÚ – Český hydrometeorologický ústav

AO – Adaptační opatření

MO – Mitigační opatření

OLI – Operational Land Imager (Zobrazovač pozemků)

NAP – Národní akční plán adaptace na změnu klimatu

UA2018 – Urban Atlas 2018

1. Úvod

"Velikost a důležitost povrchových teplot ve městě na tepelném ostrově nebyly plně doceněny, dokud nebyly poprvé vizualizovány ze vzduchu ve 20. století." (Mummery Gartland, 2012).

V posledních několika desetiletích se ve městech po celém světě řeší otázka teplotního komfortu. Na tepelný komfort je tedy ve městech kladen stále větší důraz. Velká koncentrace lidí na malém prostoru, znečištěné ovzduší a díky efektu městského tepelného ostrova (Urban Heat Island) i větší pocitová teplota vzduchu. Právě na analýzu teploty vzduchu v porovnání s třídami využití daného území se bude tato práce zaměřovat.

Konkrétněji se problematice tepelného ostrova věnuje teoretická část práce. Problematiku tepelných ostrovů popisují ve svých pracích Wanga et al. (2015) a Yanga et al. (2016). Jedním z řešení této problematiky je zvýšení podílu zeleně, kterou popisují Nyuk et Chen (2005). Zeleň si díky evapotranspiračním schopnostem dokáže s teplotním namáháním poradit lépe než plochy s vysokým albedem (odrazivostí povrchu). Podrobněji je evapotranspirace vysvětlena dle studie od Ziemera (1979). Teoretickou část práce tvoří i zpracování řešerše na téma adaptačních opatření ze studie Pondělníčka et Bízke (2016) a problematika tepelných ostrovů při přechodu vln horka a jejich účinků na město, kterou popisují Kyselý et Pecho (2012). Praktická část práce je zaměřena na vliv krajinného pokryvu na prostorové rozložení teploty vzduchu, pomocí dat z nepublikované studie, která pro účely práce poskytl Mgr. Jan GELETIČ, Ph.D. z ústavu informatiky Akademie Věd ČR (2020). Výsledky budou interpretovány pomocí mapových výstupů, na kterých dojde k propojení upravených teplotních dat s vrstvou Urban Atlas 2018 od společnosti Copernicus (2023), aby bylo patrné jaké konkrétní třídy využití území mají největší vliv na akumulaci tepla na území hl. m. Prahy. Cílem práce je zhodnocení závislosti teplotních údajů na funkčním využití území. Motivací pro vytvoření této práce bylo hlouběji porozumět teplotním jevům ve městě a zpracování teplotních dat, která by měla následně využít v praxi. Dále jako občan města pocituji na vlatní kůži zvýšenou pocitovou teplotu v letních měsících a zpracováním této práce jsem chtěl přispět ke zmírnění teplotních extrémů na území hl. m. Prahy.

2. Cíle práce

Hlavním cílem práce bude zpracování teplotních dat průběhu teplotní vlny horka MUKLIMO_3 a dat pro diskusi získaných ze snímání Landsat 8 v měsíci červenec 2017 na zkoumaném území, kterým bude hlavní město Praha. Zhodnocení závislosti teplotních údajů na funkčním využití území Urban Atlas 2018. Vizualizace výsledných dat bude v podobě mapových výstupů zpracovaných pomocí aplikace ArcMap. Na základě toho bude vyhodnocen vliv krajinného pokryvu na teplotu vzduchu v městských oblastech, který bude moci být využit při plánování zelených ploch při snaze zmírnit dopady vysoké pocitové teploty a redukci vzniku efektu městského tepelného ostrova.

Mezi dílčími cíli práce bude patřit zpracování rešerše z odborných zdrojů zabývajících se tematikou městského klimatu, tepelného ostrova, klimatických změn, povrchové teploty a teploty vzduchu evapotranspirace, adaptačních opatření a dálkového průzkumu země.

3. Teoretická východiska

Rešeršní část práce podrobně zpracovává odborné zdroje na témata městského klíma, klimatickou změnu, městský tepelný ostrov a jeho klasifikaci a další meteorologické a klimatické jevy, jež jsou zásadní pro pochopení kontextu celé práce. Dále je uvedena charakteristika teploty vzduchu a povrchových teplot a proč na jejich hodnoty hrají hlavní roli zelené plochy. Závěrem teoretické části jsou vysvětleny základní charakteristiky týkající se evapotranspirace a dálkového průzkumu Země, které tvoří nedílnou součást praktické části práce.

3.1 Městské klíma

Města považujeme z meteorologického hlediska za malé objekty oproti velkoplošným systémům jako jsou oceány a pevnina. Jejich význam je však srovnatelný, díky jejím plošným a povrchovým charakteristikám, které mění majoritní většinu atmosférických podmínek. Města tak významně ovlivňují počasí na místní úrovni a tím tak zvětšují náchylnost na možná meteorologická nebezpečí (Masson et al. 2020).

Mezi základní dělení těchto rizik řadíme:

- vyšší teploty (jak teploty povrchu, tak vzduchu),
- změna proudění větru,
- modifikace oblačnosti (častější srážky, nebo jejich nedostatek).

Podle Massona (2020) může dosahovat teplota uvnitř měst až o 10 °C vyšších hodnot než ve venkovských oblastech. Tento jev, kdy je ve městské části vyšší teplota, než v části venkovské nazýváme **městský tepelný ostrov** (dále jen MTO), který je podrobněji popsán v kapitole 3.2.

Proudění větru uvnitř města je klíčové pro jeho ochlazování a udržování stabilního a příjemného mikroklimatu. Za mírných nebo silných povětrnostních podmínek dochází ke kontaktu větru s hrubou městskou strukturou a tím dochází k jeho zpomalení. To může mít za následek vznik oblastí konvergence a divergence, které jsou odpovědné za vertikální pohyb a tím dochází k recirkulaci znečišťujících látek a jejich transportu do městské atmosféry. Změna proudění větru a větší koncentrace znečišťujících látek přispívají k větší tvorbě oblačnosti ve městech. Ta může přispívat k velkému množství srážek a bouřek, buď přímo ve městě nebo může iniciovat vznik bouřky vně města (Masson et al. 2020).

Dle odhadů OECD (Organization for Economic Cooperation and Development; Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj) žije v současnosti ve městech polovina světové populace. Tato hodnota by se do roku 2030 měla zvýšit o několik procentních bodů. Odhady hovoří, že by ke konci roku 2030 mělo žít ve městech až 60 % světové populace (OECD, 2008). Otázka městského klimatu je tedy velice zásadní pro většinu populace a jeho konzistentní udržitelnost by měla být prioritou všech velkých měst.

3.2 Městský tepelný ostrov

Jedním z projevů klimatických změn, nejen v Evropě, je intenzivnější výskyt horkých vln. Dle zprávy Mezivládního panelu pro změnu klimatu (Intergovernmental Panel on Climate Change; IPCC) budou mít důsledky horkých vln v budoucích letech značné vlivy na kvalitu života obyvatel měst a na zvýšení energetické potřeby (IPCC, 2014).

Rostoucí globální teploty budou mít za následek častější a intenzivnější výskyty extrémních projevů počasí včetně horkých vln (Ústav výzkumu globální změny AV ČR, 2017). Díky horkým vlnám se do měst dostává více tepelné energie než za normálních podmínek, a to má za dopad mimo jiné vznik **Městských tepelných ostrovů** (anglickým názvem **Urban Heat Island** – UHI, dále jen MTO). Nicméně vznik MTO není podmíněný přechodem horkých vln, jen díky jeho existenci dochází k intenzivnějším projevům a důsledkům horkých vln.

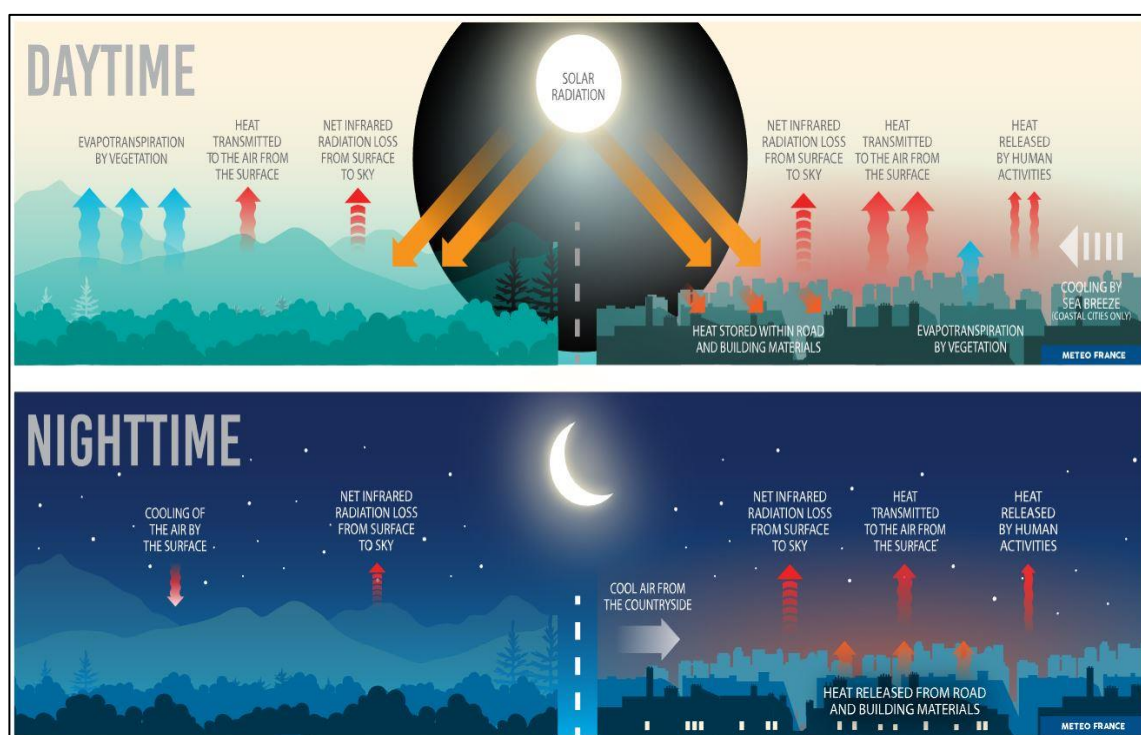
MTO můžeme definovat jako rozdíl teplotních hodnot mezi příměstskou, městskou a venkovskou zástavbou, který se směrem dovnitř zástavby intenzivně zvyšuje. Podrobnějším dělením MTO se zabývá kapitola 3.3.

Hlavní příčinou je náhlá změna aktivních povrchů, které ve městě tvoří hlavně nepřírodní materiály. Má značný vliv na zhoršování ekonomických, ekologických a environmentálních podmínek ve městech a přilehlém okolí. Stejný vliv má na materiálové cykly, energetickou spotřebu, ale i na metabolismus a zdraví obyvatelstva (Yang et al, 2016). K těmto následkům se pojí i další rizika jako je měnící se průběh srážek, zvyšování polutantů v ovzduší a zvýšená produkce skleníkových plynů, která je ve městech vytvářena dopravou a klimatizováním budov (Filho et al. 2017).

Efekt tepelného ostrova se nejčastěji a nejvýrazněji projevuje ve větších aglomeracích, městech nebo metropolích. Umělými povrchy, ve výše zmíněných sídlech, jsou zejména **asfalt, beton, dlažba, cihly a kámen**. Tyto materiály dokážou

absorbovat teplo jak z okolního vzduchu, odpadního tepla tak ze slunečního světla (Ústav výzkumu globální změny AV ČR, 2017).

Tyto tepelně absorpčně schopné materiály mají vyšší vliv na změnu energetické bilance na rozdíl od přirozených materiálů (jako louky, lesy, pastviny a lužiny) (Lorencová et al. 2017). Přírodě blízké materiály jsou vysoce efektivní při potlačování příznaků MTO nebo jeho efektivnímu odbourávání a jedná se o materiály s velmi nízkým **albedem** neboli podílem odraženého záření ku celkovému dopadajícímu záření (Daemei et al. 2018).



Obrázek č. 1 Pohyb teplého vzduchu při efektu městského tepelného ostrova u přímořského města: Daytime–den, Evapotranspiration by vegetation – evapotranspirace z vegetace, Heat transmitted to the air from the surface–Teplo přenášené do vzduchu z povrchu, Net Infrared radiation loss from the surface to sky–Čistá ztráta infračerveného záření z povrchu na oblohu, Solar radiation–Sluneční záření, Heat released by human activities–teplo vyprodukované lidskou činností, Heat stored within road and building materials–Teplo uložené v silničních a stavebních materiálech, Cooling by sea breeze–Ochlazování mořským vánkem, Cooling of the air by the surface–Ochlazování vzduchu povrchem, Cool air from the countryside–Chladný vzduch z venkovské oblasti (Masson, 2020).

Ke zkoumání MTO je klíčové zkoumání městské energetické bilance, podle Brazela (2001) je MTO meteorologický jev s rychlou proměnlivostí, která závisí na aktuálních podmínkách. Závisí na intenzitě slunečního záření, kde se až polovina dopadajícího tepla akumuluje do umělých materiálů, které jsou zmíněny výše. Ukládání naakumulovaného tepla podporuje samotný tvar města, které svou členitostí mnohdy zamezuje zpětnému vyzařování tepla do atmosféry (Masson et al. 2020). Viz obrázek č.1 a kapitola 3.3.

Efekt MTO můžeme pozorovat i v České republice. Na základě dat Českého statistického úřadu z konce roku 2022, žije ve všech městech nadpoloviční většina obyvatel České republiky. Pouze v hlavním městě Praha žije 12,1 % (tj. 1,3 milionu obyvatel) celé populace ČR. Z těchto dat lze usoudit, že efekt MTO postihuje více než pět milionů obyvatel České republiky (Český statistický úřad, 2022). Proto je snaha zabezpečit pohodlí a bezpečnost rychle rostoucí městské populace prioritou. Je nutné posílit znalosti o městském klimatu a procesech jež probíhají ve městech a které je ovlivňují (Abhishek et al. 2018). Dle studie Ústavu výzkumu globální změny AV ČR (2017) v Praze MTO zesiluje o 0,1 °C/10 let. Obecně však díky klimatické změně roste teplota o 0,28 °C/10 let. Závislost mezi velikostí sídla a populační expanzí v rámci MTO lze podle Okeho (1973) vyjádřit vzorcem pro pomalý nárůst intenzity MTO při navýšení o 10 obyvatel (viz vzorec 1):

$$UHI = 0,73 * \log_{10} pop [^{\circ}C] \quad (1)$$

Kde je „pop“ počet obyvatel vychází výsledné zvýšení teploty o 0,73°C. U nárůstu počtu obyvatel o milion obyvatel by tyto teploty dosahovaly zvýšení až o 4,4 °C.

3.3 Členění městského tepelného ostrova

Městský tepelný ostrov se klasifikuje do několika kategorií. Rozeznáváme **MTO denní** a **MTO noční**, pozorujeme hlavně výkyvy teplot oproti normálnímu stavu. Při zkoumání nočního tepelného ostrova bylo vyzorováno, že dochází k několikanásobně větším rozdílům teplot oproti dennímu tepelnému ostrovu. To je způsobeno faktem, že v noci se uvolňuje naakumulované teplo z umělých městských povrchů a tím je způsobeno ohřívání okolního vzduchu a prostor. Nejvhodnější podmínky pro pozorování tohoto jevu jsou za dobrých povětrnostních podmínek i za úplného bezvětří (Gunawardena et al. 2017).

Dále rozdělujeme MTO dle výškového rozložení na MTO atmosféry (Atmosferic Urban Heat Island; AUHI) a MTO povrchu města (Surface Urban Heat Island; SUHI). Povrchem je pro účely této práce myšlen aktivní povrch, na jehož ploše dochází k přeměně zářivé energie na jinou formu energie, zejména na teplo (Voogt et Oke, 2003). Podle výzkumu Okeho (1976) se MTO dále člení na podtypy: Mezní vrstvu (Boundary Layer Urban Heat Island) a Vrstvu městského zápoje (Canopy Layer Urban Heat Island), jenž se stanovuje na základě drsnosti města

a vymezuje objem vzduchu, který je vymezený aktivním povrchem a vertikální orientací města (Dobrovolný et al. 2012). Je to jev, který se děje v mikroklimatickém měřítku, tj. v měřítku ulic a čtvrtí. V hustěji zastavěných lokalitách koresponduje hranice s vrcholky střech, nebo se nachází těsně pod jejich úrovní. Mezní vrstva nacházející se pod hranicí korunové vrstvy je přímo ovlivněna spodní hranicí města. Díky specifickým povětrnostním podmínkám se tato vrstva může oddělit od povrchu a vytvářet městský oblak. Horní část této vrstvy se může stát místem, kde se tvoří teplotní inverze (Oke, 1976). Studie Gunawardena (2017) dále poukazuje na fakt, že na intenzitu MTO má velký vliv i samotné rozpořádání městské zástavby. V ideálním případě má být urbanistická koncepce zvolena tak, aby umožňovala volný průchod větru a tím napomáhala v efektivním odbourávání důsledků tepelného ostrova. Výsledky jeho studie tvrdí, že se město ochlazuje efektivněji při správném využití třech hlavních pilířů adaptačních opatření. Těmi jsou výsadba zeleně, využití vodních ploch a umožnění prostupnosti větru. Avšak tyto adaptační opatření se musí implementovat koordinovaně, jinak může docházet k přílišnému chlazení postižených částí. To má za následek jev, který se jmenuje městský chladný ostrov popsáný v další podkapitole.

3.3.1 Městský chladný ostrov

Opačným extrémem, než je tvorba městského tepelného ostrova, je městský chladný ostrov (MCHO; Urban Cooling Island – UCI). Tento jev vzniká za předpokladu, že je ve městské části nižší teplota než v části venkovské a v tzv. aridních oblastech, kde je podíl městské zeleně vyšší než v okolí. Vzniká za určitých meteorologických podmínek nebo na určitých místech s vyšší chladicí schopností. Intenzita MCHO je vyšší během noci oproti denním teplotám v létě, opačně tomu je v zimních měsících. Jako u MTO zde hraje hlavní roli naakumulované teplo.

Teplo, které je během dne absorbováno budovami, infrastrukturou a ostatními umělými povrchy následně vede k vyzařování ve dne k efektu MTO. Ve dne vyzařování vede k tvorbě efektu chladného ostrova. Oba tyto efekty mohou existovat simultánně. Nadbytek městské zeleně může vznik tohoto jevu za dne aktivně podporovat, proto je při plánování zelených ploch ve městě nutno efektivně umísťovat tyto plochy, aby co nejvíce pomáhaly k odbourávání MTO a způsobovaly co nejmenší efekt MCHO (Shuangping et al. 2019).

I přes tuto problematiku je MCHO pozitivním efektem. Zmírňuje nepříznivé účinky MTO a přináší příznivé účinky pro lidské zdraví a udržitelnost měst. Jeho využití musí být aplikováno přímo na danou lokalitu a musí mu předcházet terénní průzkum a vyhodnocení (Ersoy, 2019).

3.4 Ovlivňující faktory městského tepelného ostrova

Jelikož efekt městského tepelného ostrova je projevem mikroklimatických změn, jeho vznik je ovlivňován mnoha faktory. Mezi nejzásadnější z nich patří sluneční záření, poměr a výskyt srážek, vlhkost vzduchu a v poslední řadě povětrnostní podmínky.

3.4.1 Sluneční záření

Sluneční záření je nejvýznamnějším faktorem, který podporuje vznik MTO. Koncentrace materiálů, které teplo akumulují, je ve městech vyšší než v příměstských oblastech. Díky vysokému albedu tyto povrchy teplo akumulují a posléze později ve dne (či v noci), kdy je sluneční záření slabší, toto teplo vyřazují a dochází k teplotní výměně s chladnějším vzduchem (Dobrovolný et al. 2012). Sluneční záření je, společně s odpadním teplem a schopností městských povrchů akumulovat teplo, zodpovědné za zvýšení teplot uvnitř měst.

3.4.2 Srážky

Srážky ve městech jsou těžko sledovaným jevem díky nedostatku měřících stanic. Podle Dobrovolného (2012) je teplejší vzduch nad městem podmiňujícím faktorem vyšší intenzity srážek ve městských oblastech. To zejména v závětrných oblastech města. Teplý vzduch ve spojení s převládajícím směrem větru odnese mračna pryč z města a ke srážkám tak dochází až v závětrných oblastech. Landsberg (1981) ve své knize uvádí, že množství srážek ve městech a ve městských závětrích je o 5–15 % vyšší než v okolí měst. Toto zvýšení je podmíněné třemi efekty (termálním, mechanickým a efektem znečištění ovzduší) (Dobrovolný et al. 2012).

3.4.3 Vlhkost vzduchu

Urbanizovaná území ovlivňují vlhkostní poměry vzduchu zejména díky husté zástavbě, vysokému albedu, dopravě a v neposlední řadě i množství nepropustných materiálů ve městě. Podle Holmera et Eliassona (1999) jsou procesy výparu a kondenzace hlavními faktory, které ovlivňují charakteristiku vlhkosti vzduchu ve městech.

Podle Dobrovolného et al. (2012) je intenzita výparu ve městech řízená vyšší teplotou a absencí zelených městských ploch. Navíc zde dochází k akumulaci citelného tepla, které je dále spotřebováno na výpar a přeměněno na latentní teplo, které je zodpovědné za zvyšování teplot vzduchu ve městech.

3.4.4 Povětrnostní podmínky

Ve městech je nižší průměrná rychlost větru než v ostatních plochách. Dle Landsberga (1981) tyto hodnoty vykazují zmenšení až o 30 %. Co se ovšem ve městském prostředí zvyšuje je výskyt bezvětří. To je způsobeno mnohdy špatným rozpoštěním výškových budov, které zvyšují koeficient tření větru a tím ho zpomalují až úplně zastavují. Dalším efektem je rozdíl teplot, který vede ke vzniku cirkulačních systémů, kde teplý vzduch stoupá nad hranici města a je odváděn směrem ven z městských oblastí (Dobrovolný et al. 2012).

3.5 Problematika spojená s efektem městského tepelného ostrova

Efekt tepelného ostrova se negativně promítá do různých odvětví lidských činností. Mezi ně patří odvětví společenské, ekonomické, ale i doprava nebo strojírenství. Komfort obyvatel měst je do jisté míry ovlivněn vyšší teplotou. S efektem MTO je totiž spojen nárůst teplot uvnitř měst a tím dochází k možnému zhoršení zdravotního stavu obyvatel měst. V letních měsících dochází ke zvýšení počtu hospitalizovaných lidí z důvodu přehřátí, únavy organismu, úpalu a může docházet i ke zhoršení zdravotního stavu (v extrémních případech úmrtí) u lidí s respiračním nebo kardiovaskulárním onemocněním. Rebetz (2009) ve své studii popisuje průběh vlny horka v roce 2006 přes Evropu., kde se průměrné denní teploty oproti jiným letům zvýšili místy až o 6 °C.

Zvýšené teploty při efektu MTO jsou zodpovědné za zvýšené ekonomické, ale i společenské náklady. Vyšší teploty zvyšují energetickou spotřebu a urychlují amortizaci strojů v průmyslu a dopravě. Podle Minera (2017) s rostoucí teplotou roste i poruchovost zařízení a k poruchám dochází dříve. U zkoumaných klimatizačních jednotek docházelo kvůli zvýšené teplotě k navýšení spotřeby energie a postupným zahříváním docházelo ke značnému zkrácení jejich životnosti. Z tohoto hlediska klasifikujeme efekt MTO jako zdroj problému se životním prostředím, tak i jako ekonomický faktor (Miner et al. 2017).

3.6 Klimatické změny

Změna klimatu je nejvíce diskutovaným globálním problémem v dnešní společnosti. Její přítomností je ohroženo základní fungování všech krajinných složek nevyjímaje lidské společnosti. Tento jev je velmi složité zkoumat, jelikož reagovat na změny v lidském chování je možné až se zpožděním několika let. Jak předcházet možným negativním dopadům klimatické změny se věnují klimatické modely. Jejich hlavními cíli je se zaměřit na efektivní snižování obsahu plynů v atmosféře, respektive jejich mitigaci. Zároveň nastavit smysluplné adaptační opatření, která budou mít za následek skutečné zmírňování následků těchto vlivů.

Hlavní příčinou klimatické změny je zvýšení skleníkových plynů přítomných v atmosféře v důsledku lidské činnosti. Zejména se jedná o CO₂, N₂O, CH₄, PFC, SF₆ aj., které jsou produkovány zejména lidskou činností a konstantním znečišťováním antropogenními plyny (MŽP, 2017). Emise skleníkových plynů mají původ převážně ze měst, kde lze zvýšenou produkci skleníkových plynů spojovat se zvýšenou koncentrací obyvatel v nich žijících. Nicméně významné emise skleníkových plynů pochází i ze zemědělské činnosti (chov dobytka, pěstování obilnin apod.).

Při skleníkovém jevu dochází k procesu propouštění krátkovlnného slunečního záření skrze skleníkové plyny namísto aby propouštěl dlouhovlnné tepelné záření, které je Země schopna efektivně absorbovat. Jedná se o zcela přirozený jev, který je ovšem podporovaný zintenzivňovaný lidskou činností a zvyšováním koncentrací skleníkových plynů v atmosféře.

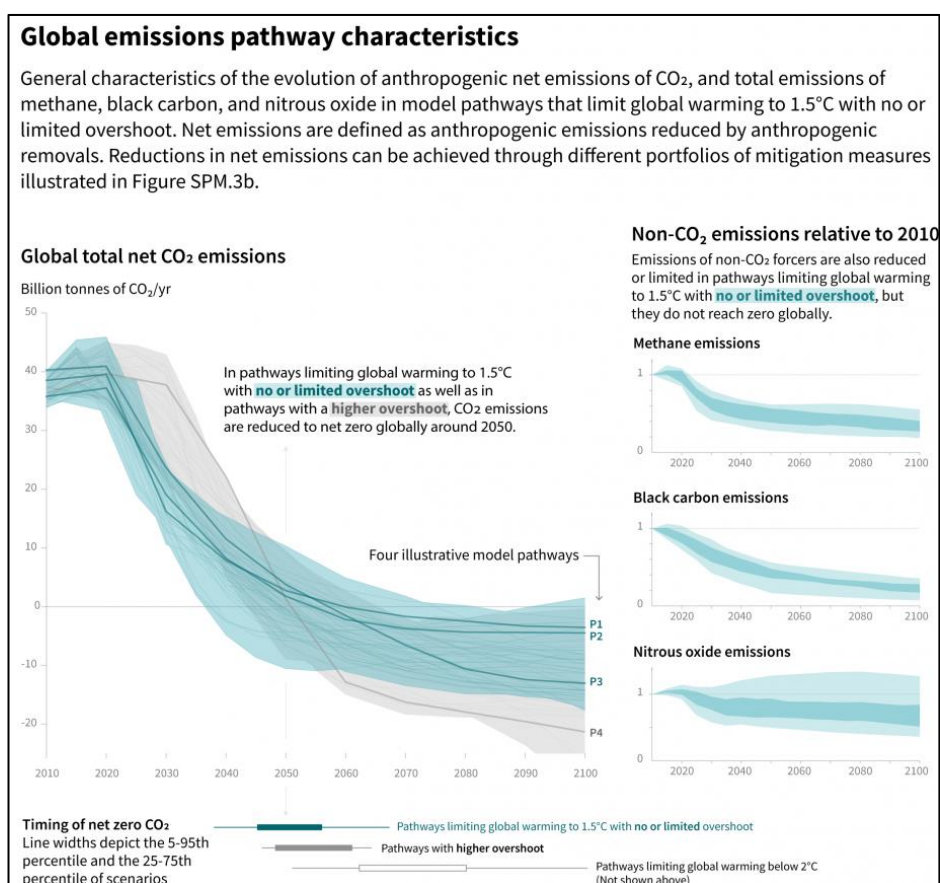
Ochranou klimatu, nejen pro Evropu, se zabývá tzv. Green Deal (zelená Dohoda), který se zaměřuje na řešení klimaticko–energetických problémů. Ten si dal za cíle do roku 2050 dosáhnout vyrovnané bilance mezi vypuštěným a zachyceným uhlíkem. Mimo jiné do roku 2030 se mají snížit tyto hodnoty od 55 % oproti hodnotám z roku 1990, které činily na území Evropské Unie 5 miliard tun CO₂ekv (Evropská komise, 2021).

Ekvivalent oxidu uhličitého (CO₂ekv) je metrická míra užívaná k porovnání emisí různých skleníkových plynů na základě jejich potenciálu globálního oteplení– GWP (Global Warming Potential) převedením na ekvivalent. Pro příklad dle IPCC (2001) je stanoven GWP pro metan 25 a pro oxid dusný 298, to značí, že 1 milion metrických tun metanu a oxidu dusného jsou ekvivalentní emisím 25 a 298 milionů metrických tun CO₂. Obsah skleníkových plynů v atmosféře se tedy vyjadřuje

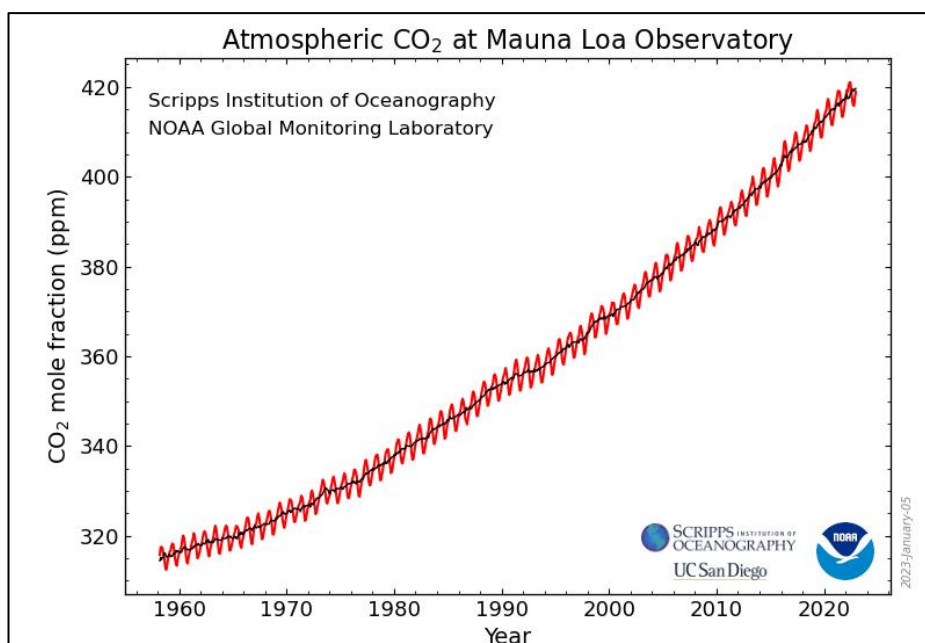
přepočtením daného skleníkového plynu na jednotku CO₂ekv. Na základě toho dojdeme faktu, že 1 t oxidu dusného zatěžuje 298krát více životní prostředí nežli 1 t oxidu uhličitého (Myhre et al. 2013).

Obrázek č.2 znázorňuje předpoklad IPCC toho, jak by se měl v ideálních podmínkách vyvíjet trend globálních emisí CO₂. Obecné charakteristiky vývoje antropogenních čistých emisí CO₂ a celkových emisí metanu, uhlíku a oxidu dusného ve čtyřech modelových cestách (P1, P2, P3, P4) omezují hodnotu globální oteplování na 1,5 °C bez překročení nebo s omezeným překročením do roku 2050.

Dále je z obrázku patrné snížení i u ostatních emisí, mezi které patří například metan, uhlík a oxid dusný, ovšem s tím rozdílem, že u těchto polutantů je časový průběh jejich anulování daleko za rokem 2100. Tento odhad je tedy spíše více teoretický a lze očekávat, že se v průběhu let bude měnit více než odhady hodnot oxidu uhličitého. Lze zde ovšem zaznamenat klesající tendenci (IPCC, 2022).



Obrázek č. 2 Předpoklad vývoje globálních emisí do roku 2100 za ideálních podmínek; Svislá osa: časová osa, Vodorovná osa: Přírůstek milionů tun CO₂ za rok; Šedé oblasti grafu: Modelové cesty s vyššími hodnotami.; Modrá oblast grafu: Modelové oblasti vedoucí ke snížení globálního oteplování pod 1,5 °C bez odchylky; Bílá oblast: oblasti vedoucí ke snížení efektu globálního oteplování pod 2 °C (IPCC, 2022).



Obrázek č. 3 Graf měsíčního průměru CO₂ na observatoři Mauna Loa na ostrově Havaj; Vodorovná osa: průběh v čase, Svislá osa: Molární poměr suchého vzduchu definovaný jako počet molekul CO₂ dělený počtem molekul vzduchu ve vzduchu, včetně samotného CO₂ po odstranění vodní páry. Červená křivka: Průměrná měsíční hodnota běžná pro sezónní cyklus (ESRL, 2023).

Obrázek č. 3 popisuje průměrné hodnoty oxidu uhličitého na observatoři Mauna Loa na Havaji. Observatoř je umístěna v nadmořské výšce 3 400 m.n.m a je situována pro měření vzdušných hmot pro rozsáhlé oblasti. Tato observatoř je nejdéle měřící stanicí sledující obsah CO₂ v atmosféře, její výzkum započal v roce 1958. Každý měsíční průměr je průměrem denních průměrů teplot, které jsou založeny na hodinových průměrech. K vyčíslení se používají jen ty hodiny, během nichž převládají „background conditions“ neboli pozad'ové podmínky. Jsou to ty podmínky, které definujeme s molárním podílem CO₂ reprezentujícím návětrný proud o délce stovek km (ESRL, 2020).

V listopadu roku 2021 byl v Glasgow podepsán pakt smluvních stran Rámcové úmluvy OSN o změně klimatu, ve kterém se zmiňuje fakt, že lidská činnost má na svědomí globální oteplení přibližně o 1,1 °C a že se klimatické a povětrnostní extrémny a jejich negativní dopady (na lidi i přírodu) budou každým dalším navýšením teploty zhoršovat. Ve všech smluvních regionech by na tento fakt měl být brán zřetel, a to hlavně v oblastech adaptace, zmírňování a financování, jež by vedly k naplnění cílů Úmluvy a jejího dlouhodobě stanoveného cíle (United Nations, 2022).

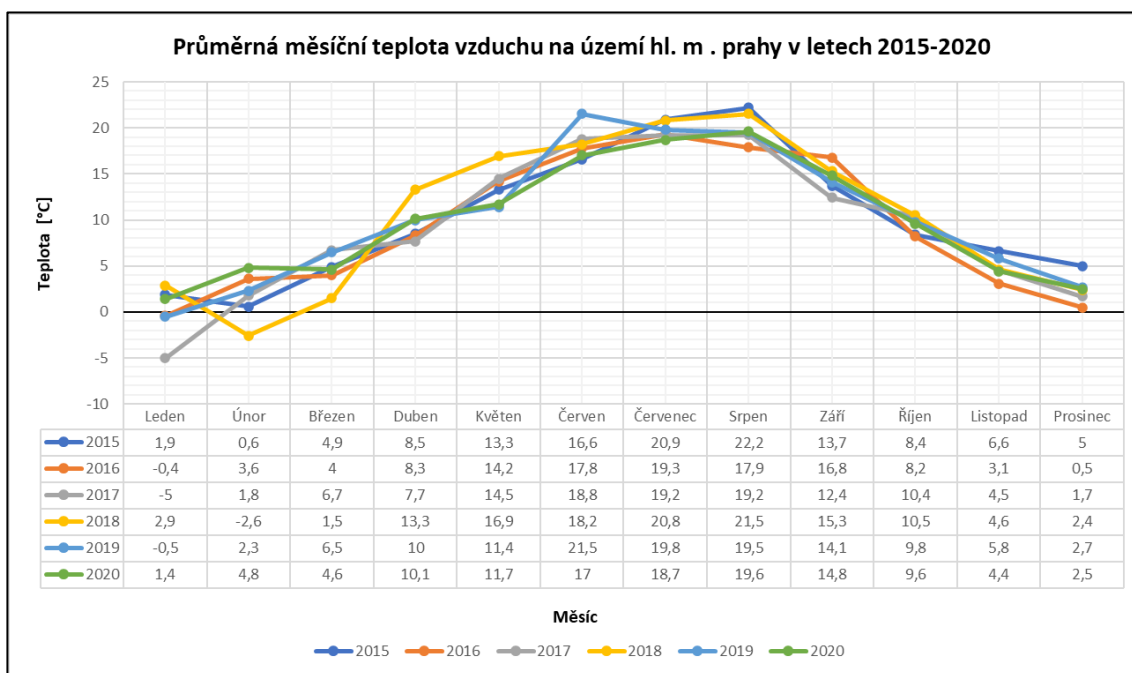
3.7 Povrchová teplota a teplota vzduchu

Povrchová teplota je definována energetickou bilancí absorpčních povrchů. Na aktivních površích dochází k transformaci převážně dvou energií. Energie krátkovlnného slunečního záření a energie dlouhovlnného záření se transformují na energii tepelnou. Zároveň se část této energie uvolňuje z aktivního povrchu vyzařováním transformací na dlouhovlnnou energii. Zbylá část je absorbována do podloží aktivního povrchu, kde turbulentním transportem a turbulentní výměnou dochází k vedení mezi atmosférou a povrchem (Prošek et Rein, 1982).

Teplota vzduchu je jednou z nejčastěji měřených meteorologických veličin. Je ovlivňována mnoha faktory, mezi nejvýznamnější patří ohřev slunečním zářením a vyzařování tepla z povrchu. Do nárůstu těchto teplot se počítá i odpadní teplo se zdroji především z infrastruktury a klimatizačních jednotek.

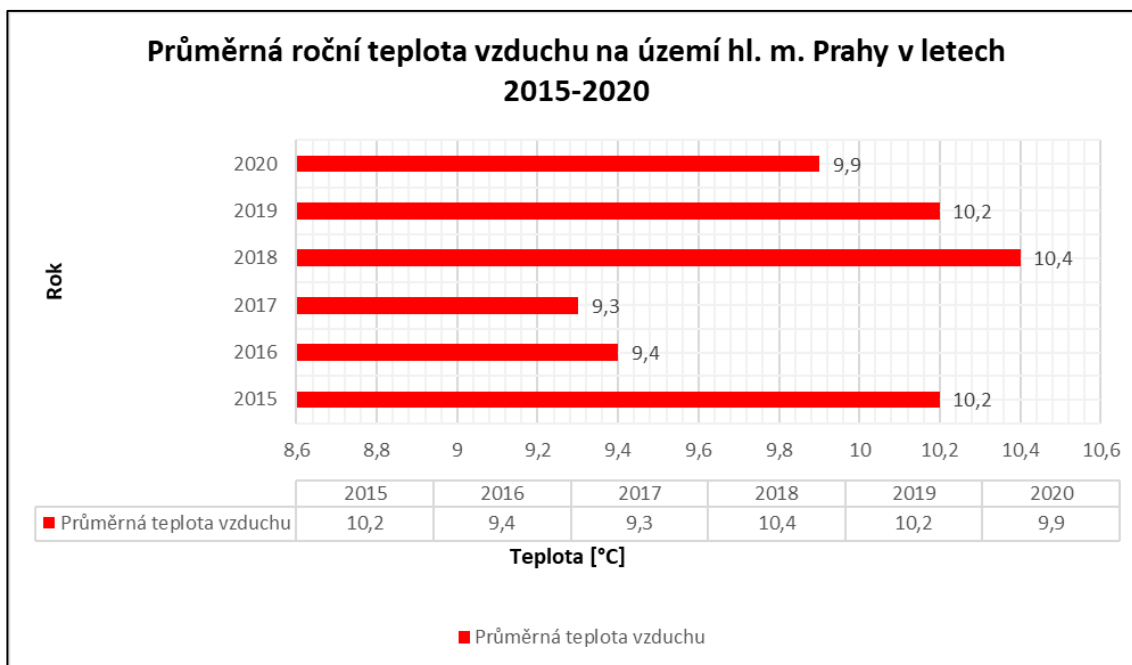
Teplota vzduchu je měřena převážně ve dvoumetrové výšce. Pro tyto hodnoty platí, že velikost denní amplitudy je menší než amplituda na povrchu půdy. Amplitudou se rozumí rozdíl mezi minimální a maximální naměřenou hodnotou v jednom sledovaném dni. Minimální naměřená hodnota nastává z pravidla ráno před východem slunce, naopak maximální nastává v odpoledních hodinách (ČHMÚ, 2011a; ČHMÚ, 2011). Z dat ČHMÚ (2023b), které sledovaly povrchové teploty v Praze v letech 2015 až 2020 byly vytvořeny graf (graf č.1 a tabulka č.1) znázorňující pohyb průměrných teplot vzduchů ze všech měřicích stanic v Praze. Tato data byla vyhodnocena tak, aby byl patrný průměrný měsíční pohyb teplot vzduchu ve vybraném sledovaném období. V tomto časovém rozmezí byl nejchladnějším měsícem leden a nejteplejším měsícem srpen. Můžeme zde sledovat také kolísání teplot. Například v lednu roku 2017 byla průměrná teplota -5 °C a o rok později, tedy v roce 2018 byla průměrná lednová teplota $+2,9\text{ °C}$. Z toho vyplývá velká variabilita teplot jednotlivých měsíců a let. Pro práci je zajímavý fakt, že tento rok je v tomto období nejchladnějším, ale přesto se v roce 2017 pohybovaly maximální teploty nad hranicí 30 °C (viz výsledky práce). Proto byl vybrán k bližšímu zkoumání. Dále je k nahlédnutí i tabulka s grafem průměrných ročních teplot (viz graf č.2 a tabulka č.2), která je doplňkovou tabulkou k tabulce průměrných měsíčních teplot. Z této tabulky je patrné, že nejteplejším rokem byl rok 2018. Nejchladnějším naopak rok předešlý, tedy rok 2017. Průměrné teploty se pohybovaly od $9,3\text{ °C}$ do $10,4\text{ °C}$, tudíž zde můžeme sledovat rozpětí více než 1 °C po dobu šesti let.

Tabulka č. 1 Průměrná měsíční teplota vzduchu na území Prahy mezi lety 2015–2020 (autor).



Graf č. 1 Průměrná měsíční teplota vzduchu na území Prahy mezi lety 2015–2020 (autor).

Tabulka č. 2 Průměrná roční teplota vzduchu v Praze mezi lety 2015–2020 (autor).



Graf č. 2 Průměrná roční teplota vzduchu v Praze mezi lety 2015–2020 (autor).

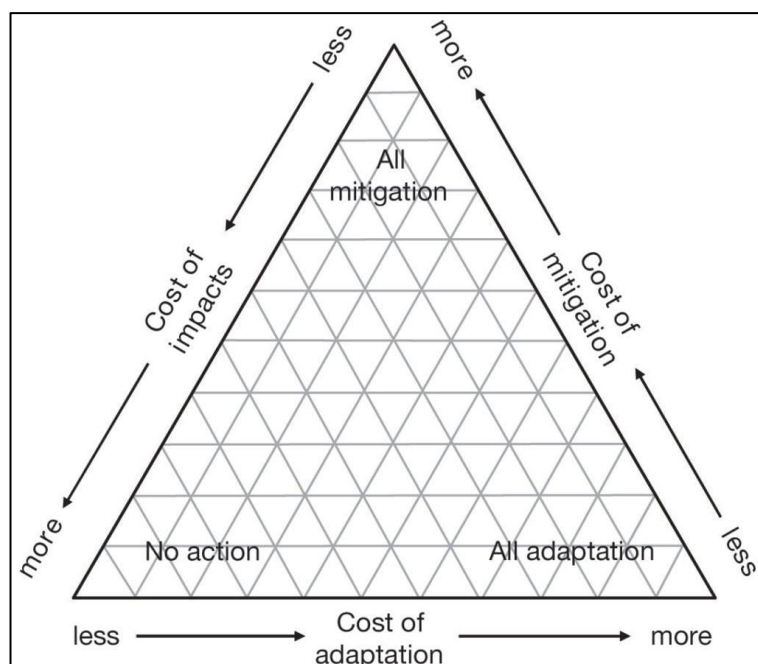
3.8 Vlny horka

Za vlnu horka se považuje projev počasí, kde maximální denní teploty přesahují 30 °C a více za dobu několika dní, popř. několika týdnů (Kyselý et Pecho, 2012). Podle Kunkela (1999) se dá za vlnu veder označit i počasí takové, které si během čtyř po sobě jdoucích dnů drží průměrnou teplotu vyšší než dny, které mají pravděpodobnost nastat jednou za 10 let.

Mezi hlavní příčiny vzniku horkých vln patří tvoření atmosférické cirkulace, jež vede k tlakovým výším ve výškových cirkulačních polích. Tyto anticyklóny, trvající týden až několik týdnů, setrvávají na jednom místě a tím zhoršují atmosférické proudění a omezují výměnu vzduchových hmot nad lokalitou, kde se objevují. Další příčinou může být sucho, které se vyznačuje nedostatkem srážek a deficitem půdní vlhkosti hlavně v období jara a počátkem léta (Kyselý et Pecho, 2012).

3.9 Adaptační strategie

Adaptace na změnu klimatu je řešena na evropské, národní a lokální úrovni. V podmínkách České republiky je adaptační strategie řízena dokumentem „*Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách v ČR*“. Tento dokument spadá pod evropský dokument „*Adaptační strategie EU*“, ale zohledňuje přírodní a geografické podmínky ČR. Přijetí této strategie bylo jedním ze závazků ČR při přijetí Rámcové úmluvy OSN o změně klimatu. Dokument cílí na případné zmírnění dopadů změny klimatu a na maximální přizpůsobení se těmto změnám. Jedněmi z dalších priorit je zachovat dobré životní podmínky a přibližovat se udržitelnému rozvoji pro příští generace. Potřebných cílů lze dosáhnout za využití určitých opatření jež jsou zakotveny v dokumentu „*Národní akční plán adaptace na změnu klimatu*“ (dále jen NAP AZK). Ten rozděluje opatření na dvě základní kategorie: **Mitigační** (dále jen MO) a **adaptační** (dále jen AO). Mitigačními opatřeními se rozumí buďto přímá nebo nepřímá opatření ke snížení skleníkových plynů, konkrétně technologická změna či náhrada, která vede ke kýženému efektu. Adaptačními opatřeními jsou opatření taková, která se přizpůsobují přírodnímu nebo antropogennímu systému a změně klimatu včetně jejich dopadů. Při implementaci mitigačních a adaptačních opatřeními musí fungovat vyrovnanost, jelikož preferování pouze jednoho směru bude mít za následek obtížnou implementaci toho druhého viz obrázek č. 4 (MŽP, 2021a).



Obrázek č. 4 Trojúhelníkový diagram popisující vztah mezi mitigací, adaptací a nečinností: *Cost of impacts* – náklady na dopady; *Cost of adaptation* – náklady na adaptaci; *Cost of mitigation* – náklady na mitigaci; *All mitigation* – pouze mitigace; *No action* – nečinnost; *All adaptation* – pouze adaptace; *more* – vysoké; *less* – nižší (IPCC, 2007).

V každém rohu se nachází jedna možnost: *No action* – nedělat nic, *All adaptation* – pouze AO a *All mitigation* – pouze MO. Rohy trojúhelníku představují 100 %, uprostřed je kombinace všech těchto přístupů. Se zmírňováním a s adaptací jsou spojené vysoké náklady, ovšem bez žádné akce jsou vyšší náklady spojené s dopady změny klimatu, jelikož nebudou implementována žádná AO ani MO. Adaptace i mitigace jsou zásadní pro snižování vlivů dopadů klimatické změny. Na konkrétní AO cílí další kapitola práce.

Před implementací adaptační strategie je třeba držet se tří základních pilířů tvořící základ oné strategie. První pilíř je tvořen ze dvou složek – monitoring a vyhodnocování. Druhý pilíř se soustředí na získávání informací a znalostí z oblastí, kde implementace AO již proběhla a vykazuje udržitelný charakter. Třetí a poslední oblastí je udržitelné plánování a správa (Ústav výzkumu globální změny AV ČR, 2017).

Česká republika má v rámci Adaptační strategie EU za cíl zvýšit připravenost na změnu klimatu a snížit její zranitelnost. Také zvýšit resilienci lidské společnosti a ekosystémů proti klimatické změně, a tím omezit její možné negativní dopady, aniž by bylo ohroženo životní prostředí anebo ekonomické a společenské ambice rozvoje (MŽP, 2021b).

Mezi formy adaptačních strategií se řadí i všeobecná informovanost, prevence, stimulační nástroje a různé formy pojištění. Tyto formy řadíme mezi nestrukturální, tedy ty, které nevidíme přímo, ale mají stejný dopad jako strategie strukturální. Strukturálními zdroji se rozumí hlavně ta opatření, která jsou fyzická. Například výsadba zeleně a budování vodních ploch blíže popsané v kapitole 3.10 (Pondělíček et Bízec, 2016).

3.10 Adaptační opatření

Adaptačními opatřeními se rozumí změna nebo přizpůsobení nejen lidského chování klimatickým změnám, ale i šetrnější využívání přírodních ploch.

Lidské chování a otázka udržitelnosti, která se bere v potaz při každém počátečním kroku adaptačních strategií, je jedním ze základních pilířů funkčních adaptačních opatření. Používání udržitelných materiálů na výstavbu obydlí a infrastruktury, rozpoložení měst dovolující lepší průchod větru a využití zelených a vodních ploch na efektivní odbourávání teplotních rozdílů. Výzkum Wanga (2015) se věnoval využití zelených ploch v Torontu na třech odlišných typech městské zástavby: oblasti rodinných domů, středně vysokou zástavbu a výškovou zástavbu. Největší podíl zeleně je v oblasti rodinných domů a s výškou budov ubývá i zeleně. Zvýšením podílu zeleně o 10 % pomocí vybudování zelených stěn, zelených střech a vysazením stromů a křovin se podařilo snížit teplotu o 0,8 °C během celého dne i v noci. Výzkum Nyuka (2005) v Singapuru zjistil, že využití zelených ploch ochlazuje město až o 4 °C. Využití zelených ploch se ukázalo jako nejvíce efektivním řešením vedoucím k vylepšení městského mikroklimatu a odbourávání MTO. Podle Filho (2018) hraje hlavní roli v tomto procesu evapotranspirace, jejíž funkce je popsána v následující kapitole.

Mezi AO řadíme i ochlazování města vodními plochami, ať už statickými nebo dynamickými. Tudíž se podle Gunawardena (2017) dělí odbourávání MTO za pomoci vodních ploch na dvě kategorie: odbourávání stojící vody a tekoucí vodou. **Stojaté vody** napomáhají chlazení díky odpařování vody. Voda se během dne ohřívá a výměnou energií přetváří vodu na vodní páru a tím ochlazuje okolí. Tento jev může trvat i do pozdních nočních hodin a jeho špatné užití může vést ke vzniku MCHO. Ochlazování pomocí **tekoucí vody** funguje na principu absorpce tepla do vody a ta je následně odváděna pryč z postižené oblasti. AO může mít i formu jinou než využití zelených a vodních ploch. Například v infrastruktuře se dají použít přírodě bližší

materiály s nižšími absorpčními schopnostmi. Velice efektivní je i ochlazování měst za pomoci dostatečného proudění vzduchu (Gunawardena et al. 2017).

3.11 Evapotranspirace

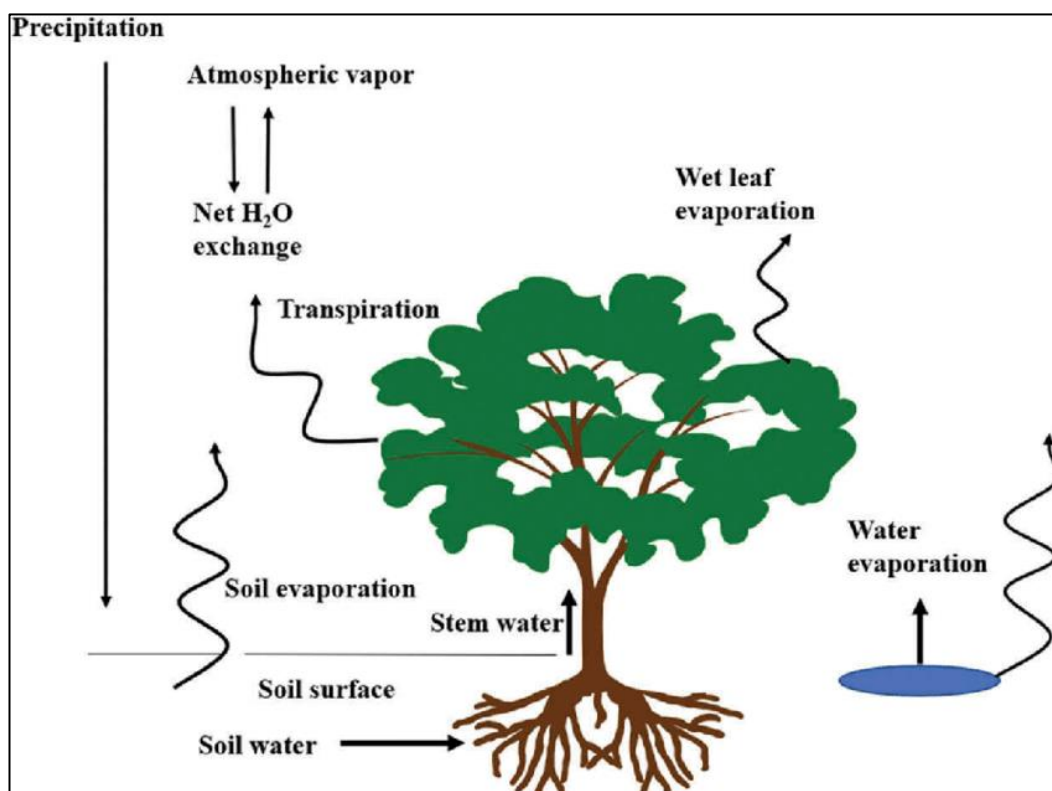
Evapotranspirace je přenos vody z půdy, z hladin a také z vody, která je zadržena na povrchu rostlin neboli intercepce. Pojem evapotranspirace vznikl spojením dvou slov, prvním je **evaporace** což je výpar půdy, vodních ploch, která není zakrytá vegetací, popřípadě z tajícího sněhu a ledu. Druhé slovo je **transpirace**, což je fyziologický výpar vody povrchem rostlin. (Rožnovský et Litschmann, 2005). Dále vyobrazeno na obrázku č. 5.

Při evaporaci kapalná voda absorbuje teplo a tím zvětšuje svoji rychlost (resp. se zrychlují vodní molekuly). Tím je vodě dodávána potřebná kinetická energie a opouští výparný povrch a voda se přetváří na vodní páru. Je to základní postup, jakým se voda navrácí zpět do vodního cyklu ve formě vodní páry. Odpařováním se aktivně podílí na ochlazování místa odpaření. Dle Penmana (1948) dochází k evaporaci za splnění dvou základních podmínek. Při dostatku energie potřebné na fázovou přeměnu na vodní páru a druhou podmínkou je, že okolní vzduch dosahuje dostatečné advekce. Udává tedy celkový výpar vody z povrchu vypouštěného do atmosféry z výše zmíněných prvků (Gunawardena et al. 2017). Její intenzitu ovlivňují dva faktory: přítok energie potřebné na fázovou přeměnu a dostatek či nedostatek vody (Novák, 2001).

Naopak u transpirace dochází k výdeji vody rostlinami, který začíná v kořenovém systému a přes cévní svazky rostliny končí na listech. Rostliny odvádí CO_2 a O_2 za pomoci stomat, což jsou mikroskopické průduchy v listech. Tento proces označujeme jako Stomatální odpor, který je přímo závislý na počasí. Při počasí, které má spíše sušší charakter se odpaří několikanásobně více vody. Stejný proces se děje když vegetace nemá potřebné množství vody. Při přechodu vln horka se dokáže z povrchu listu odpařit takové množství vody, které několikanásobně převyšuje hmotnost listu, odkud se voda odpařuje (Ziemer, 1979).

Význam evapotranspirace se zakládá na schopnostech rostlin, které dokáží aktivně odpařovat vodu a tím ovlivňují okolí ve své blízkosti. Definujeme hlavní dva typy evapotranspirace, aktuální a potenciální evapotranspiraci. Aktuální evapotranspirace vyjadřuje skutečné množství odpařené vody a probíhá v reálných přírodních podmínkách. Aktuální evapotranspiraci je velmi těžké přesně vyčíslit, proto

se vychází z předpokladu potenciální evapotranspirace. Ta závisí především na dostatku vody. Jestliže není vegetace schopna vodu absorbovat z půdy, je aktuální evapotranspirace nižší nežli ta potenciální. Vyčíslení potenciální evapotranspirace není ovšem limitována pouze na přísunu vody, ale závisí i na mnoha dalších parametrech (tepelném toku v půdě, hustotě vzduchu za stálého tlaku, radiaci, aerodynamického odporu aj.) (Allen et al. 1998).



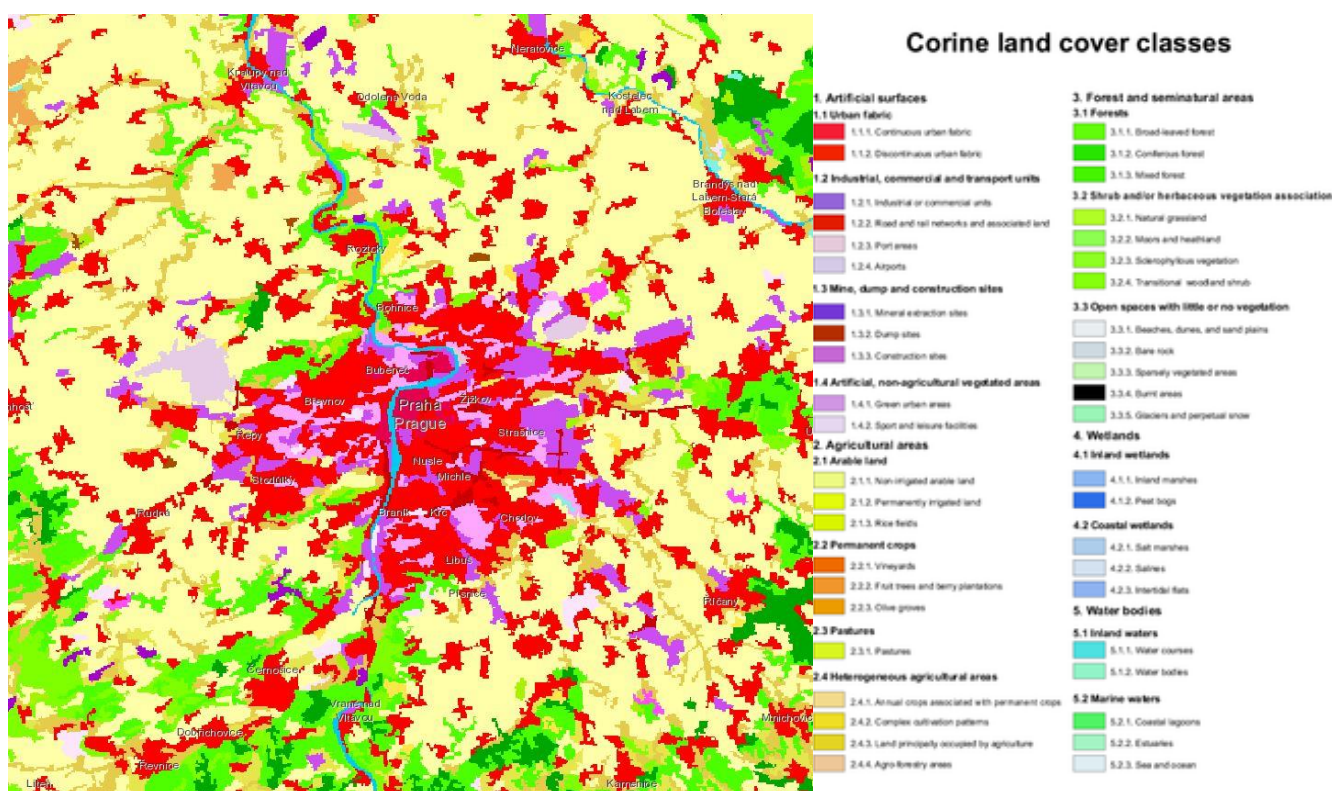
Obrázek č. 5 Schéma evapotranspirace: Atmospheric vapor – atmosférické výpary, Net H₂O exchange – netto výměna H₂O, Transpiration – transpirace, Soil evaporation – půdní evaporace, Soil surface – půdní povrch, Soil water – půdní voda, Stem water – kmenová voda, Wet leaf evaporation – Evaporace z listů, Water evaporation – vodní evaporace, Transpiration – transpirace (Zhang et al. 2020).

3.12 Land use a Land cover

Land use (dále jen LU), neboli využití území, je dělení daného území do ploch, o různých tvarech a velikostech. Tyto plochy jsou převážně vytvářené a využíváné pro lidskou činnost. Tato území jsou rozdělena do specifických kategorií dle toho, jaké má daná plocha využití. Jedná se o konfiguraci vegetačního pokryvu, hospodářského využívání a způsobu jakým je krajina organizována (Sklenička, 2003). Land Cover (dále jen LC) je kombinací spojující LU společně s vegetačním pokryvem daného území. Je tedy označením pro signifikantní druh materiálu, jako např. asfalt, travní porost, vodní plocha nebo pastvina. V Evropě se nejčastěji pracuje se symbolikou CORINE LC (Sklenička, 2003).

3.12.1 CORINE Land Cover

CORINE (COoRdination of INformation on the Environment) Land Cover neboli koordinace a přístup ke kvalitním informacím o životním prostředí a přírodních zdrojích. CORINE LC je celoevropská databáze obsahující celkem 44 tříd krajinného pokryvu a využití ploch. Na území České republiky se těchto ploch vyskytuje 29. Vrstva je zejména v měřítku 1:100 000, což na mapovém výstupu znázorňuje čtverec o velikosti 5 x 5 mm, a minimální šíř 100 m u liniových jevů. Nejmenším zkoumaným jevem jsou plochy s nejméně 25 ha (CENIA, 2012).



Obrázek č. 6 Ukázková vrstva CorineLandCoveru s legendou (Copernicus, 2023).

3.13 Landsat snímání

Dálkový průzkum země a družicové snímání zemského povrchu a oceánů jsou zásadní pro pochopení nejenom klimatických procesů planety Země. Jedním z nejvíce úspěšných a spolehlivých programů je projekt LANDSAT. Snímání zajišťuje několik pozorovatelů, mezi největšími zástupci je NASA (National Aeronautics and Space Administration), USGS (United States Geological Survey) a program koordinovaný Evropskou unií – Copernicus.

Landsat snímky, které získávají kompletní fotografie Země z vesmíru za pomoci družic obíhajících okolo planety v určitých trajektoriích, se používají napříč různými odvětvími jako jsou zemědělství, lesnictví, geologie, regionální plánování, vzdělávání a mapování globálních změn využití půdy/povrchu. Ke snímání se používají senzory, kde každý jeden je specifický pro daný výzkum. V práci jsou použita data z družice LANDSAT 8, která je vybavena senzory OLI (Operational Land Imager; Zobrazovač pozemků) s volitelným rozlišením snímku 15–30 m a TIRS (Thermal Infrared Sensor) s rozlišením 100 m (Yang et Acharya, 2015).

Snímač OLI, vybaven čtyřmi zrcadly, sbírá data ve viditelném pásmu, blízkém infračervenému spektru vlnových délek a v panchromatickém pásmu. Panchromatický snímek obsahuje vždy jen jedno spektrální pásmo vyobrazené za pomoci odstínů šedi. TIRS sbírá data ve dvou vlnových termálních infračervených pásmech. Rozlišení snímků TIRS je korelováno k datům OLI tak, aby se dala vytvořit radiometricky a geometricky přesná data sloužící k dalšímu použití (USGS, U.S. Geological Survey Fact: Landsat 8, 2013).

Družice Landsat 8 sbírá data z jedné scény vždy jednou za 16 dní, průměrně se jedná o 13 snímků za sledovanou vegetační sezonu. Zařízení slouží k pozorování a analyzování znečištění atmosféry, může být užíváno při zkoumání oceánů a korálových útesů a sledování oblačnosti. Pro práci s tímto zařízením je nejdůležitějším sledovaným prvkem povrchová teplota. Data nemusí být vždy kompletní nebo přesná. Příčinou nekompletnosti dat je oblačnost, která zamezuje družici přímý výhled na zemskou plochu a tím snímek znehodnotí, nebo je zcela nepoužitelný (CENIA, 2022; USGS, 2023).

4. Metodika

V této části práce je stručně popsáno zkoumané území, přírodní zelené plochy a výpis oblastí územního pokryvu, kterými se charakterizuje rozdělení městských ploch. Dále jsou v kapitole popsána vstupní data UrbanAtlas2018 (Copernicus, 2023), data přechodu horké vlny z modelu MUKLIMO_3 (Geletič, 2020) a data o teplotě povrchu získané ze satelitních snímků Google Earth Engine (Gorelick et al. 2023) použitá v diskusi. Pro přehlednost bylo zájmové území překryto vrstvou Urban Atlas 2018 (dále jen UA2018), která rozdělila hlavní město do segmentů o velikosti 100 x 100 m a každý segment má přidělenou jednu ze tříd UA2018. Těch je celkově 45, ale v hlavním městě a v této práci sledujeme tříd pouze 25 (viz obrázek č. 7).

Pomocí funkce reklasifikace v aplikaci ArcMap byly z teplotních vrstev vybrány tzv. tepelně namáhané oblasti, kde teplota vzduchu či povrchu překročila 30 °C. Výsledné vrstvy tepelně namáhaných oblastí byly propojeny s vrstvou UA2018 za účelem analýzy souvislostí mezi třídou využití území a teplotními charakteristikami.

Pro vývoj teploty vzduchu a teploty povrchu je také důležitá nadmořská výška. Proto byla jednotlivá teplotní data (MUKLIMO_3 i data získané z GEE) podložena vrstvou stínovaného reliéfu a propojením atributových tabulek vznikly mapové výstupy znázorňující rozložení tepelně namáhaných oblastí (z hlediska teploty vzduchu a povrchu) vůči nadmořské výšce (blíže k nahlédnutí na přílohách č. 28 a 29).

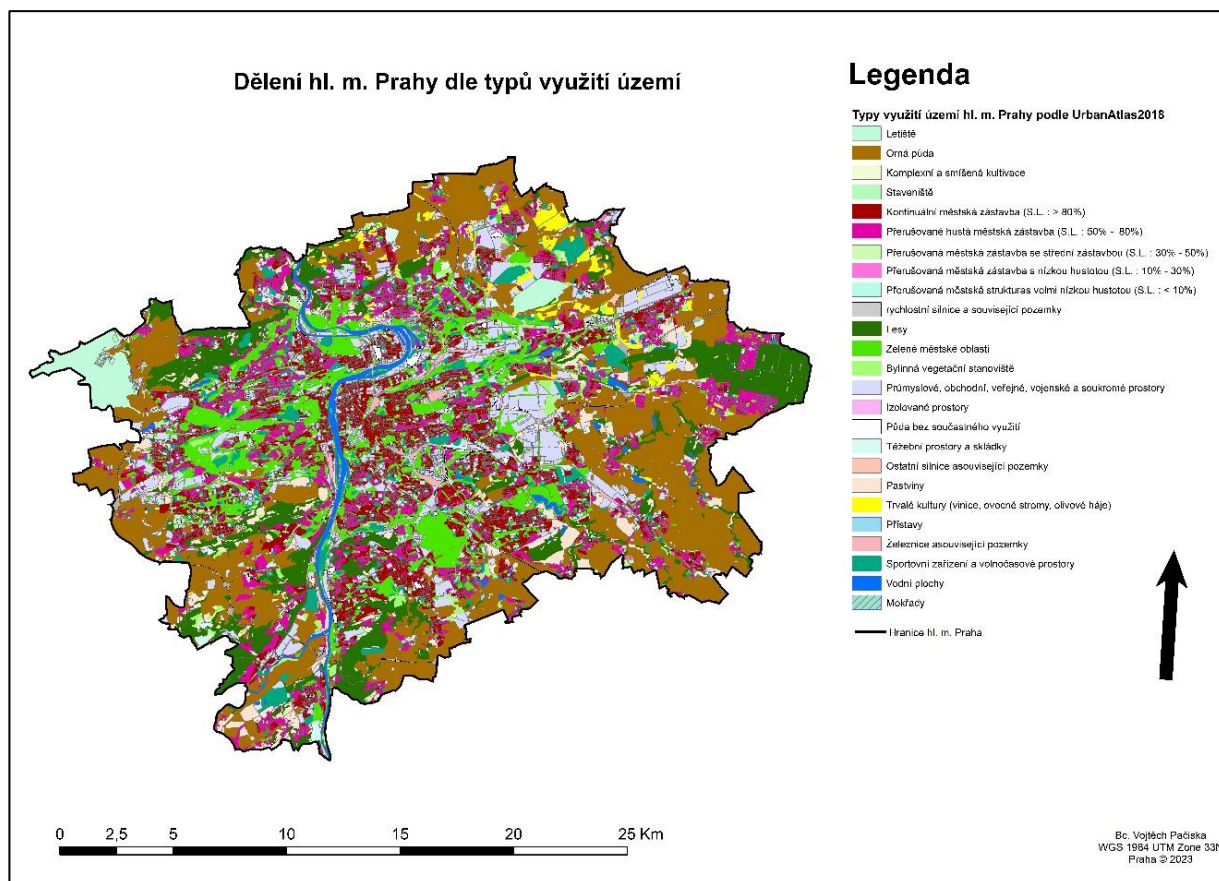
Pro srozumitelnější interpretaci výsledků byly vygenerovány tabulky a grafy, které znázorňují zastoupení jednotlivých tříd využití území a na četnost výskytu teplot přesahujících 30 °C, které jsou ve výsledcích formulovány jako tepelně namáhaných oblastech.

4.1 Charakteristika zkoumaného území

Veškerá data, která jsou v práci zkoumána, se nachází na území Prahy, hlavního města České republiky [50°4'53.193" N; 14°25'38.390" E]. V Praze žije téměř 1,3 milionu obyvatel a je tak nejlidnatějším městem ČR. Praha se rozléhá na ploše o velikost **496 km²** (Portál hl. m. Prahy, 2019). Ve velkých metropolích, jako je Praha, se schází ideální podmínky pro sledování efektu přechodu horkých vln a obecně teplotních extrémů. Počtem teplotních stanic, rozmanitostí zástavby, počtem zeleně a vodních ploch v kontrastu s novodobými funkcemi města je Praha ideálním místem pro tento výzkum. Hlavní město Praha se situuje okolo členitého terénu údolí řeky Vltavy. Ostatních vodních ploch (rybníky a vodní nádrže) se v Praze nachází několik desítek, mezi největší lze řadit Počernický rybník, Vodní nádrž Hostivař, Vodní nádrž Džbán nebo Kyjský rybník (Lampartová et Schneider, 2016).

Praha je území velmi bohaté na výskyt zeleně, přírodních parků (11), maloplošných chráněných území (93) a nachází se zde i 12 evropsky významných lokalit v rámci soustavy Natura 2000. Oblasti s 25% lesnatostí na svém území jako jsou Liboc, Vokovice, Západní Kopanina, Radotín, Komořany, Točná, Kunratice, Klánovice a Újezd nad Lesy mají i vyšší koeficient ekologické stability, než mimopražská území s menším podílem lesních ploch.

Pro sledování tepelně namáhaných oblastí je třeba brát v potaz, že každá třída UA2018 má jiné vlastnosti absorpce tepla jeho odbourávání a má jiné albedo. Proto je velmi důležité tyto plochy klasifikovat. Podle UA2018 (Copernicus, 2023) jsou v zájmovém území práce, tedy v Praze, zastoupeny tyto plochy: letiště, vodní plochy, orná půda, komplexní a smíšená kultivace, staveniště, kontinuální městská zástavba (s hustotou zástavby > 10 %; 10 % až 30 %; 30 % až 50 %; 50 % až 80 % a > 80 %), lesy, zelené městské oblasti, bylinná vegetační stanoviště (přírodní louky, rašeliniště...), pastviny, trvalý travní porost (vinice, ovocné stromy, olivové háje), mokřady, rychlostní silnice a související pozemky, průmyslové, obchodní, veřejné, vojenské a soukromé prostory, těžební prostory a skládky, izolované prostory, přístavy a přidružené objekty, železnice a související pozemky, sportovní zařízení a zařízení pro volný čas a půda bez současného využití, ostatní silnice a související pozemky. Každá z těchto ploch je klasifikována jako využití území, kterých je na zkoumaném území 25 (podrobnější výčet viz obrázek č. 7).



Obrázek č. 7 Rozdělení zkoumaného území podle typu využití území (autor).

4.2 Sledované charakteristiky

Mezi sledované charakteristiky v práci patří zejména **teplota vzduchu**. Tato charakteristika bude analyzována vzhledem k typu využití území UA2018. Čímž vznikne pomyslná síť o velikosti buňky 100 x 100 m, kde každá buňka bude obsahovat atributy, které zastupují teplotní data a typ využití daného území. Tato charakteristika je nezbytná pro další cíle práce, jimiž je i získání souvislosti mezi jednotlivými povrchy.

4.3 Zpracování dat

Data v této práci jsou zpracována v programu ArcMap 10.8.1. formou mapových výstupů, které vizualizují danou problematiku. Pro zpracování grafů, nezbytných pro klasifikaci dat, je použit program Microsoft Excel (Microsoft Corporation, 2018). Výsledně zpracovaná data jsou ve formě atributových tabulek, grafů, prostorových analýz nebo jinak editovaných dat (ARCDATA PRAHA s.r.o., 2023).

V práci budou zpracované povrchové teploty ze satelitních snímků Landsat 8 skrze webovou aplikaci Google Earth Engine (Gorelick et al. 2023), které budou dále zpracované aplikací ArcMap a použité v diskusi. Poté se jedná o data přechodu vlny horka v hodinovém intervalu teploty vzduchu z modelová situace MUKLIMO_3, jež budou přebrána z nepublikovaných dat od Geletiče (2020). Dále jsou v práci zpracována historická data teploty vzduchu, podrobena analýze a srovnávána s naměřenými hodnotami v měřicích stanicích – Libuš a Ruzyně (ČHMÚ, 2023c). Mezi podkladová data patří třeba vrstva UA2018 (Copernicus, 2023), nebo vrstva znázorňující nadmořskou výšku v podobě WMS – DMR 4G (Stínovaný model reliéfu) dostupného na webových stránkách geoportálu Českého úřadu zeměměřického a katastrálního (ČÚZK, 2023).

Vstupní data (viz přílohy č. 1 až č. 24) budou upravena pomocí nástrojů ArcMap pro prostorovou analýzu konkrétně reklasifikací (potřebnou pro změnu vstupních hodnot v rastroch), rastrovou kalkulačkou (pro kalkulaci jednotlivých reklasifikovaných dat), sjednocením (která sjednotí více vstupních vrstev, aniž by byl změněn tvar původních dat) a sumarizací (sumarizace dat z atributových tabulek hodnot slouží ke statistickému hodnocení podle požadovaného kritéria. Pro účely práce bylo za potřebí rozdělit data na maximální, minimální a průměrné hodnoty). Následně se tato stimulovaná data přechodu vlny horka přes hl. m. Prahu rozdělí na intervaly podle kritické mezní teploty 30 °C, která je hranicí mezi teplotní normou a tropickým dnem. Tento krok slouží k sortování namáhaných míst Prahy, kde teplota přesahovala zpracovatelem danou hranici, tedy 30 °C. Výsledné vrstvy prostorového rozložení teploty vzduchu a povrchové teploty během přechodu horké vlny byly následně kombinovány s vrstvami o využití území, krajinném pokryvu a nadmořské výšce na území Prahy. Tím bylo možné porovnat souvislost mezi teplotními charakteristikami s vlastnostmi povrchu. Konkrétní zpracování jednotlivých dat je popsáno v následujících podkapitolách.

4.3.1 Data přechodu horké vlny

Pro analýzu prostorového rozložení teploty vzduchu v Praze byla použita data z nepublikované studie, která pro účely práce poskytl Mgr. Jan GELETIČ, Ph.D. z ústavu informatiky Akademie Věd ČR. Data popisují průběh teploty vzduchu v Praze během dne 30. 7. 2017 v hodinových intervalech s prostorovým rozlišením přibližně 100 x 100 m. Vybraný den byl nejteplejším dnem horké vlny probíhající do 30.7. do 2.8.2017. Stejný den byl vybrán pro analýzu ve studii Geletiče et al. (2020). Průměrná, minimální a maximální teplota na stanici Praha–Ruzyně v tento den činila (Průměr – 23,3 °C, minimum – 14,5 °C a maximum – 31,6 °C) (ČHMÚ, 2023).

Model MUKLIMO_3 modeluje trojrozměrné pole větru, teploty a vlhkosti vzduchu za pomoci horizontálního rastru. Pro přesnější modelování vývoje meteorologických prvků zahrnuje model parametrizace městských povrchů. Městské oblasti jsou považovány za porézní médium, ve kterém póry představují prostor mezi budovami. Model MUKLIMO_3 tvoří popis stavebních činností s minimálně 13 třídami, které jsou popsány podílem podlahové plochy budov, výškou budov a podílem uzavřených a zelených ploch mezi jednotlivými budovami. K těmto třídám se dále řadí nezastavěné třídy jako jsou les, park, volné plochy a jiné. Ostatní převzatá vstupní data z modelu MUKLIMO_3 jsou v surové podobě k nahlédnutí v přílohách č.1 až příloha č. 23 (DWD, 2017).

Vstupní data z modelu MUKLIMO_3 byla exportována v hodinových intervalech po dobu jednoho celého dne. Reklasifikací těchto hodinových rastrů podle jednotlivých hodnot je dosaženo dat potřebných výstupů k dalšímu vyhodnocování. Všechna data byla převedena do jedné vrstvy, kde klíčovou hodnotou pro klasifikaci dat je teplotní hranice 30 °C, která je zároveň teplotní hranicí pro tropický den (viz kapitola 3.8 Vlny horka). Tím byly identifikovány plochy, kde teplota přesáhla 30 °C. Na základě toho byly určeny nejvíce teplotně namáhané oblasti Prahy. Následně je tento výstup propojen prostorovými metodami s vrstvou UA2018. Tímto krokem možné zjistit na jakých plochách byla překocena teplota 30 °C a po jakou dobu (1– 8 hodin), což může vypovídat o schopnosti jednotlivých typů povrchů efektivně snižovat/zvyšovat tepelnou zátěž svého okolí (viz obrázek č.12).

Dílčím úkolem byl převod dat z ASCII formátu na polygonovou vrstvu pro dalšímu zpracování a pro kompatibilitu s ostatními vstupními vrstvami. Následným propojením s vrstvou UA2018 je dosaženo výstupu, který sjednotí plochy, kde teplota vzduchu převyšovala onu hranici 30 °C. Tyto oblasti jsou sumarizačními postupy samostatně vyselektovány. Zde zůstala teplotní data kompletní, na rozdíl od předešlých úprav, tudíž můžeme sledovat pro každý jeden pixel (100 x 100 m) jaké je zde využití území a jeho konkrétní minimální, průměrnou a maximální teplotu. Tím lze sledovat souvislost jednotlivých povrchů na teplotu vzduchu a na druh typu využití území. Blíže identifikované výsledky ze zpracování dat teploty vzduchu jsou k nalezení v kapitole 5 – Výsledky.

4.3.2 Data ze satelitu Landsat 8

Data ze satelitu Landsat 8 zastupující **teplotu povrchu**. Slouží k porovnání typu využití území a teplotou na jednotlivých plochách hl. m. Praha. Mapový výstup pro vstupní data do analýzy (k nahlédnutí v příloze č. 24).

Pro analýzu prostorového rozložení povrchové teploty byl použit průměr tří snímků družice Landsat 8 (z období 20.června 2017–2. srpna 2017) získaný pomocí Google Earth Engine. GEE je webový portál, který poskytuje veřejně dostupný bezplatný archiv satelitních dat z civilních systémů. Archiv zahrnují snímky MODIS, Sentinel a Landsat, které jsou v práci použity a jejichž bližší popis je k nalezení v kapitole 3.13. Jeho hlavní výhodou je softwarová nezávislost uživatele, ke zpracování dat jsou používány funkce HPC (High Performance Computing), které zajišťují rychlý přístup k potřebným datům a získání potřebných dat z výpočetního systému GEE. Sortování dat probíhá přímo v dialogovém okně webového prohlížeče. Je k tomu zapotřebí sepsání algoritmu, který slouží k získání základních charakteristik žádaných dat.

Prvním krokem k získání dat je definovat si zájmové území, kterým je, pro účely práce, hl. m. Praha. Pro věrohodnost a použitelnost snímků, je třeba nastavit v algoritmu detekci mračen oblačnosti, které by mohly znehodnotit vystoupivší data. Nastavením spektrálních pásem v kódu byla data rozdělena na nejmenší a nejvyšší hodnotu (viz obrázek č. 8). Výběr satelitního snímku byl v kódu pod krokem č. 31 (obrázek č.8). Pro věrohodnou klasifikaci dat je zvoleno stejné časové období, při kterém docházelo ke sběru dat z modelu MUKLIMO_3 (pro variabilitu dat bylo zvolen

širší časový úsek, pro případ, že by nějaké znehodnocené snímky prošly předešlým filtrem oblačnosti). Je tedy zvoleno časové pásmo od 20. června 2017 do 2. srpna 2017.

```
1 //cloud mask
2 function maskL8sr(col) {
3   // Bits 3 and 5 are cloud shadow and cloud, respectively.
4   var cloudShadowBitMask = (1 << 3);
5   var cloudsBitMask = (1 << 5);
6   // Get the pixel QA band.
7   var qa = col.select('pixel_qa');
8   // Both flags should be set to zero, indicating clear conditions.
9   var mask = qa.bitwiseAnd(cloudShadowBitMask).eq(0)
10              .and(qa.bitwiseAnd(cloudsBitMask).eq(0));
11   return col.updateMask(mask);
12 }
13
14 //vis params
15 var vizParams = {
16   bands: ['B5', 'B6', 'B4'],
17   min: 0,
18   max: 4000,
19   gamma: [1, 0.9, 1.1]
20 };
21
22 var vizParams2 = {
23   bands: ['B4', 'B3', 'B2'],
24   min: 0,
25   max: 3000,
26   gamma: 1.4,
27 };
28
29 //load the collection:
30 {
31   var col = ee.ImageCollection('LANDSAT/LC08/C01/T1_SR')
32     .map(maskL8sr)
33     .filterDate('2017-06-20', '2017-8-02')
34     .filterBounds(geometry);
35 }
36 print(col, 'coleccion');
37
38 //imagen reduction
39 {
40   var image = col.median();
41   print(image, 'image');
42   Map.addLayer(image, vizParams2);
43 }
44
```

Obrázek č. 8 První část algoritmu zajišťující vstupní hodnoty získané z družice LandSat 8 skrze služby GEE (autor).

V následujících řádcích algoritmu (viz obrázek č. 9) se nastavovaly hodnoty NDVI indexu, spektrálního pásma bez nutnosti ošetření vlivu atmosféry a výpočet vegetačního poměru a emisivity, které jsou nutné pro získání žádaných dat. Pro práci jsou tyto kroky méně důležité, a proto zde nejsou blíže specifikovány.

Výsledná vrstva je ve formátu .tif, která je kompatibilní s aplikací ArcMap, kde probíhala její další analýza. Podklady z GEE byly, jako ostatní data, spojeny s vrstvou UA2018 za účelem analýzy prostorových vazeb mezi povrchovou teplotou a typem krajinného pokryvu a dále zpracovávána stejně jako teplotní data z modelu MUKLIMO_3.

```

45 //median
46 {
47 var ndvi = image.normalizedDifference(['B5',
48 'B4']).rename('NDVI');
49 var ndviParams = {min: -1, max: 1, palette: ['blue', 'white',
50 'green']};
51 print(ndvi, 'ndvi');
52 Map.addLayer(ndvi, ndviParams, 'ndvi');
53 }
54
55 //select thermal band 10(with brightness temperature), no calculation
56 var thermal= image.select('B10').multiply(0.1);
57 var b10Params = {min: 291.918, max: 302.382, palette: ['blue',
58 'white', 'green']};
59 Map.addLayer(thermal, b10Params, 'thermal');
60
61 // find the min and max of NDVI
62 {
63 var min = ee.Number(ndvi.reduceRegion({
64 reducer: ee.Reducer.min(),
65 geometry: geometry,
66 scale: 30,
67 maxPixels: 1e9
68 }).values().get(0));
69 print(min, 'min');
70 var max = ee.Number(ndvi.reduceRegion({
71 reducer: ee.Reducer.max(),
72 geometry: geometry,
73 scale: 30,
74 maxPixels: 1e9
75 }).values().get(0));
76 print(max, 'max')
77 }
78
79 //fractional vegetation
80 {
81 var fv =(ndvi.subtract(min).divide(max.subtract(min))).pow(ee.Number(2)).rename('FV');
82 print(fv, 'fv');
83 Map.addLayer(fv);
84 }
85
86 //Emissivity
87
88 var a= ee.Number(0.004);
89 var b= ee.Number(0.986);
90 var EM=fv.multiply(a).add(b).rename('EMM');
91 var imageVisParam3 = {min: 0.9865619146722164, max:0.989699971371314};
92 Map.addLayer(EM, imageVisParam3, 'EMM');
93
94 //LST in Celsius Degree bring -273.15
95 //NB: In Kelvin don't bring -273.15
96 var LST = thermal.expression(
97 '(Tb/(1 + (0.00115* (Tb / 1.438))*log(Ep)))-273.15', {
98 'Tb': thermal.select('B10'),
99 'Ep': EM.select('EMM')
100 }).rename('LST');
101 Map.addLayer(LST, {min: 20.569706944223423, max:29.328077233404645, palette: [
102 '040274', '040281', '0502a3', '0502b8', '0502ce', '0502e6',
103 '0602ff', '235cb1', '307ef3', '269db1', '30c8e2', '32d3ef',
104 '3be285', '3ff38f', '86e26f', '3ae237', 'b5e22e', 'd6e21f',
105 'fff705', 'ffd611', 'ffb613', 'ff8b13', 'ff6e08', 'ff500d',
106 'ff0000', 'de0101', 'c21301', 'a71001', '911003'
107 ]}, 'LST');
108
109 Export.image.toDrive({
110 image: LST,
111 folder: 'LC8',
112 description: 'Praha3',
113 region: geometry,
114 crs: 'EPSG:3857',
115 maxPixels: 1e9
116 });
117

```

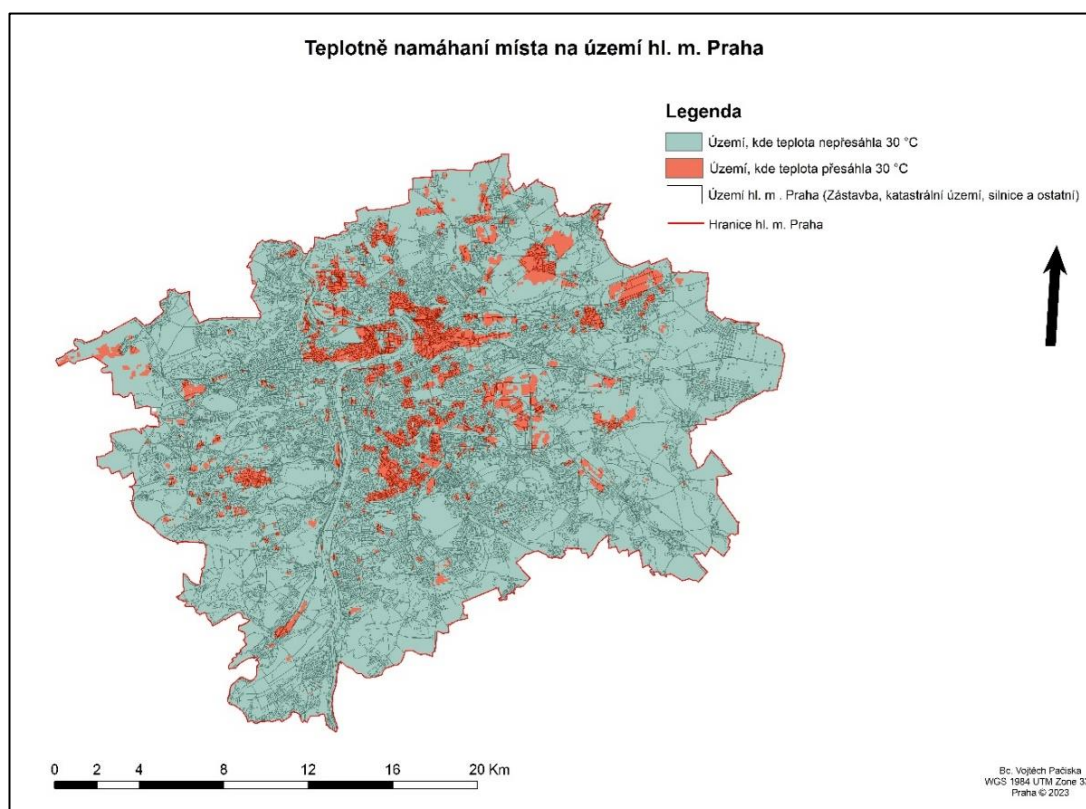
Obrázek č. 9 Druhá část algoritmu zajišťující vstupní hodnoty získané z družice Landsat 8 skrze služby GEE (autor).

5. Výsledky

Tato kapitola diplomové práce se zabývá souhrnem a klasifikací výsledných dat. Výsledky jsou vizualizovány pomocí tabulek, grafů a mapových výstupů. Sledovanými faktory jsou počet ploch o velikosti přibližně 100 x 100 m a jejich minimální, průměrná a maximální teplota. Byly identifikovány nejvíce tepelně namáhané třídy. A nejméně tepelně namáhané třídy, které z provedené analýzy jeví schopnosti odbourávání naakumulovaného tepla.

5.1 Analýza teplotně namáhaných míst v Praze

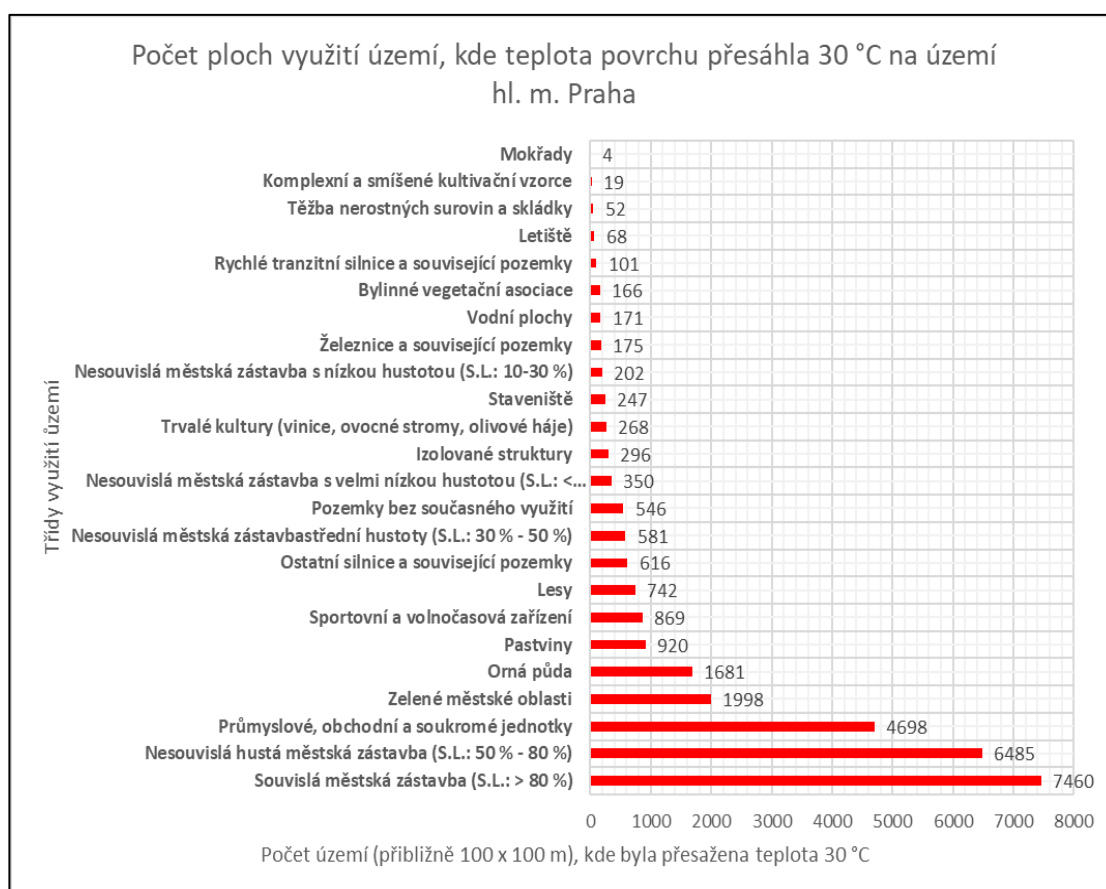
Analýzu teplotně namáhaných míst v Praze při přechodu horké vlny v létě roku 2017 byla zpracována z několika vstupních vrstev, jak je k nahlédnutí v kapitole Metodika. Konkrétními účelovými daty byla teplotní data v hodinovém intervalu z modelu MUKLIMO_3. Zpracování teplotních dat ze satelitu Landsat 8 zpracované k porovnání v diskusi. A Land Use a Land Cover z UA2018. Z obrázků č. 10 a 11 je patrné prostorové rozpoložení teplotně namáhaných oblastí Prahy, kde teplota vzduchu a povrchu překračovala hranici 30 °C.



Obrázek č. 10 Oblasti, kde teplota povrchu překročila hranici 30 °C (autor).

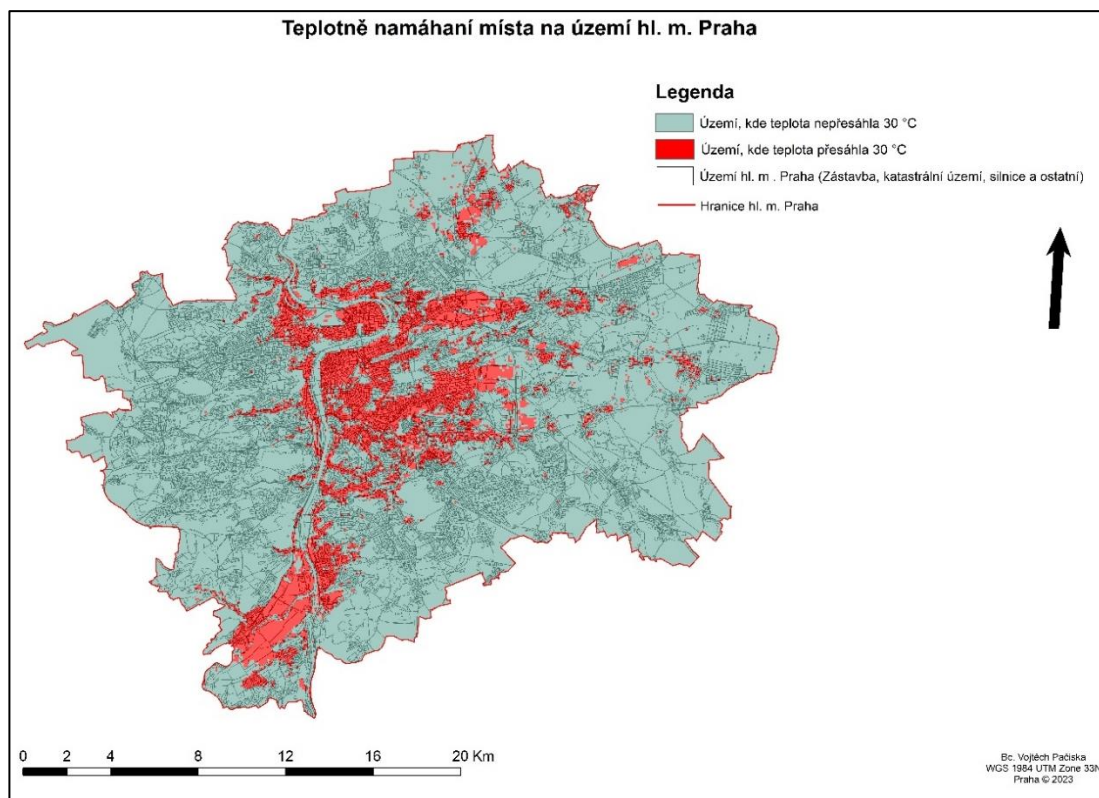
Obrázek č. 10 znázorňuje červeně oblasti Prahy, které mají tendenci k nadměrnému zahřívání povrchů. Hranice 30 °C byla překročena na celkové rozloze **191,27 km²**

(jednotlivých pixelů bylo přes 28 000), které představují přibližně **38 %** rozlohy Prahy. Největší část zasažených ploch představují oblasti bývalých dělnických čtvrtí v širším centru Prahy, konkrétně: Holešovice, Troja, Vysočany, Nusle. Mimo centrum města se širší plochy povrchovou teplotou vyskytují zejména v oblastech současných průmyslových areálů (Malešice a Michle), obchodních center a skladů (Černý Most, Horní Počernice, Letňany), dopravních ploch (Letiště Václava Havla) a některých sídlišť (Bohnice, Prosek, Prosek, Krč, Michle, Letňany). V jihozápadní části se jedná o oblasti: Zbraslav a Komořany.



Graf č. 3 Počet uzlových bodů, kde teplota povrchu přesáhla 30 °C na území hl. m. Praha (autor).

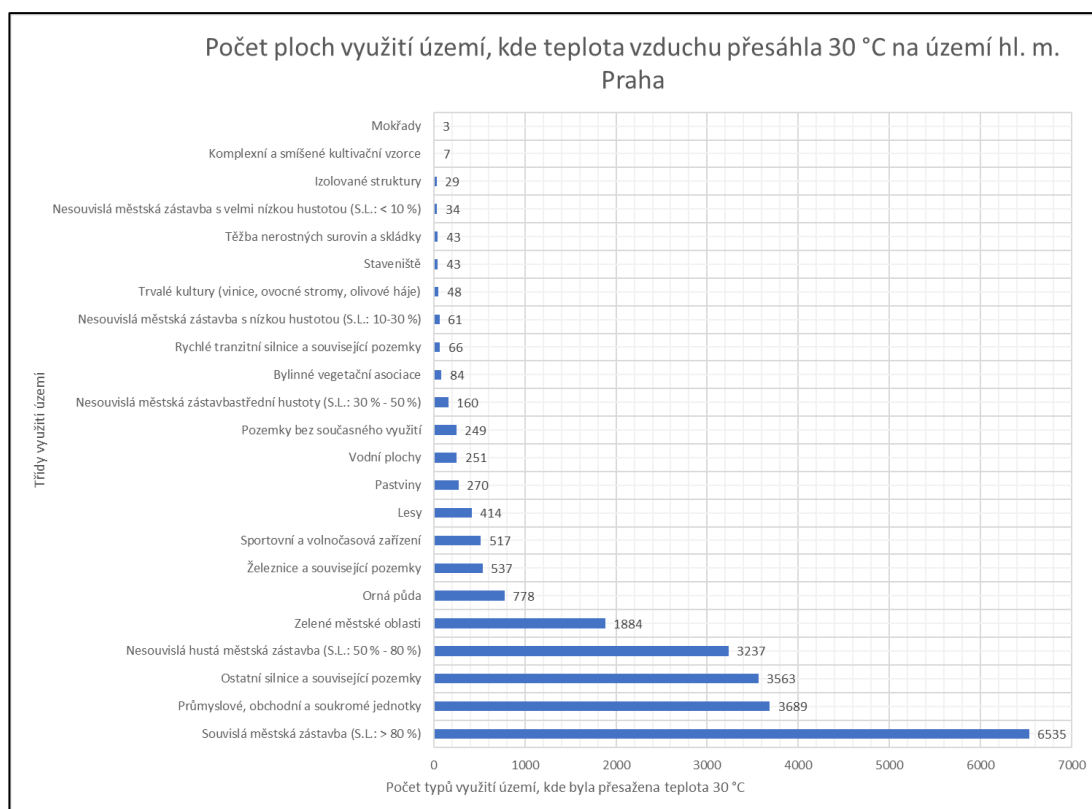
Jak je jasně patrné z grafu č. 3, nejvíce zastoupenými plochami, kde teplota povrchu přesáhla 30 °C je **souvislá městská zástavba (s hustotou zastavení > 80 %)**; **nesouvislá hustá městská zástavba (s hustotou zastavení mezi 50 % až 80 %)**; **průmyslové, obchodní a soukromé jednotky**, ale i zelené městské oblasti, orná půda a pastviny.



Obrázek č. 11 Oblasti, kde teplota vzduchu překročila hranici 30 °C (autor).

Jak již bylo řečeno, na obrázek č. 11 znázorňuje oblasti Prahy, kde teplota vzduchu 30. července 2017 překročila hranici 30 °C. Tyto oblasti jsou potenciálně náchylné nadměrné přehřívání. Je zde zastoupeno území s celkovou rozlohou **97,34 km²**, čemuž odpovídá **18,4 %** z celkové rozlohy Prahy. Z obrázku lze určit, že nejvíce namáhanými oblastmi Prahy jsou hlavně širší centrum a jihozápadní část v ústí Berounky do Vltavy. Konkrétně se jedná o obytné městské části města (Dejvice, Smíchov, Staré Město, Vinohrady, Žižkov, Strašnice, Prosek, Vysočany), průmyslové oblasti (Malešice, Holešovice, Horní Počernice), dopravní plochy (Letňany, Kbely). V jihozápadní části města se jedná o oblasti: Velká Chuchle, Radotín, Zbraslav, Modřany a Komořany.

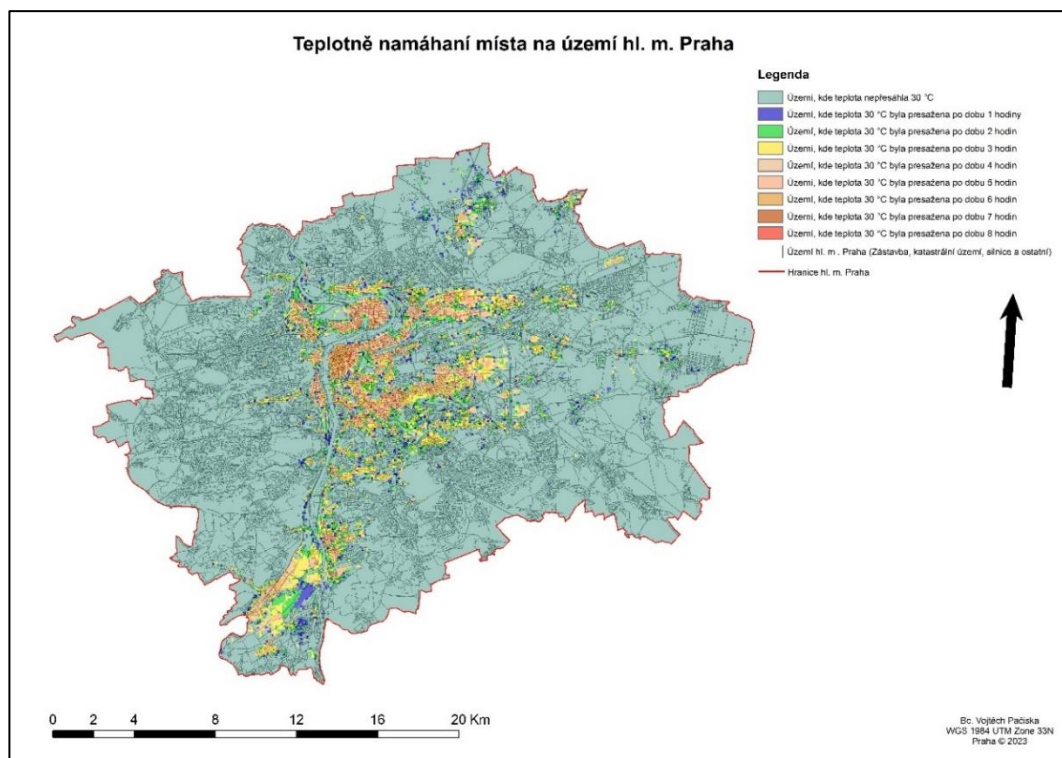
Jak je patrné z grafu č.4 nejvíce tepelně namáhanou třídou využití území je **souvislá městská zástavba (s hustotou zastavení > 80 %)**; **průmyslové, obchodní a soukromé jednotky**; **ostatní silnice a související pozemky**; **nesouvislá hustá městská zástavba (s hustotou zastavení mezi 50 % až 80 %)**, ale i zelené městské oblasti, orná půda.



Graf č. 4 Počet uzlových bodů využití území, kde teplota vzduchu přesáhla 30 °C na území hl. m. Praha (autor).

Při srovnání obrázků č. 10 a 11 můžeme pozorovat rozdílné prostorové zastoupení nejteplejších oblastí. To je způsobeno tím, že porovnáváme teplotní hranice teplot vzduchu a povrchů. Každý povrch má jiné albedo a je jinak náchylný na absorpci tepla. Rozložení teploty vzduchu naproti tomu více souvisí s topografií města.

Podobně jako u výsledků teploty povrchu, je i teploty vzduchu nejčteněji zastoupenou třídou využití povrchu souvislá městská zástavba (s hustotou zastavení > 80 %). V obou případech namáhaných povrchů, jak teplotami území, tak vzduchu se ve výčtu objevují zelené městské oblasti, pastviny a orná půda. Na těchto typech povrchů sice dosahovaly teploty hraničních hodnot (30 °C), ale díky jejich funkci a zastoupení zeleně dokážou odbourávat teplo daleko efektivněji. To zejména díky evapotranspiraci a svému albedu. Na zelených plochách, kde je prokazatelně větší podíl zeleně se tyto hodnoty zdržovaly pouze v řádech menších jak 8 hodin. Naopak souvislá městská zástavba dokáže akumulované teplo udržovat i několik hodin. Tuto myšlenku podporuje obrázek č. 12. společně s grafy č. 3 a č. 4. Obrázek č.12 ukazuje po jak dlouhou dobu (počet hodin) byla překročena teplota 30 °C v zájmovém území.



Obrázek č. 12 Teplotně namáhaná místa, kde teplota vzduchu převyšovala 30 °C v hodinovém rozpoložení (autor).

Tabulka č. 3 Počet uzlových bodů (jedna plocha je cca 100 x 100 m) na území hl. m. Praha, kde byla teplota 30 °C dosažena po dobu 1 hodiny (autor).

Třída využití území	Počet ploch
Souvislá městská zástavba (s hustotou zástavby > 80 %)	926
Nesouvislá hustá městská zástavba (s hustotou zástavby: 50 % – 80 %)	896
Ostatní silnice a související pozemky	828
Průmyslové, obchodní a soukromé jednotky	675
Zelené městské oblasti	339
Orná půda	319
Železnice a související pozemky	128
Sportovní a volnočasová zařízení	114
Lesy	90
Vodní plochy	86
Pastviny	81
Nesouvislá městská zástavba střední hustoty (s hustotou zástavby: 30 % – 50 %)	57
Pozemky bez současného využití	57
Bylinné vegetační asociace	31
Nesouvislá městská zástavba s nízkou hustotou (s hustotou zástavby: 10 % – 30 %)	21
Rychlé tranzitní silnice a související pozemky	21
Trvalé kultury (vinice, ovocné stromy, olivové háje)	18
Staveniště	17
Nesouvislá m. zástavba s velmi nízkou hustotou (s hustotou zástavby <10 %)	11
Těžba nerostných surovin a skládky	8
Izolované struktury	5
Komplexní a smíšené kultivační vzorce	4
Mokřady	2

Fakt, že zeleň dokáže aktivně odbourávat akumulované teplo rychleji, než plochy s vysokým albedem dokazují následující tabelární zobrazení. V tabulce č.3 je vidět, že plochy s nízkým albedem: Souvislá městská zástavba (s hustotou zástavby > 80 %); Nesouvislá hustá městská zástavba (s hustotou zástavby 50 % – 80 %); Ostatní silnice a související pozemky; průmyslové, obchodní a soukromé jednotky jsou zde zastupovány hojně. Nicméně jsou zde zastoupeny i plochy vysokým albedem, větší vlhkostí, a navíc s evapotranspirační schopností a ochlazujícími účinky – zelené a vodní městské plochy.

Z tabelárního zobrazení č.4, které znázorňuje plochy, kde byla teplota 30 °C přesažena po dobu 8 hodin je patrné, že se jedná pouze o plochy s nízkým albedem a s takřka nulovými schopnostmi odbourávání tepla. Zde se už zelené a vodní plochy nevyskytují (možná v zanedbatelném množství), jelikož si s naakumulovaným teplem dovedly poradit za pomoci evapotranspirace, či odbouráním tepla za pomoci větrných podmínek.

Tabulka č. 4 Počet pixelů (jedna plocha je cca 100 x 100 m) na území hl. m. Praha, kde byla teplota 30 °C dosažena po dobu 8 hodin (autor).

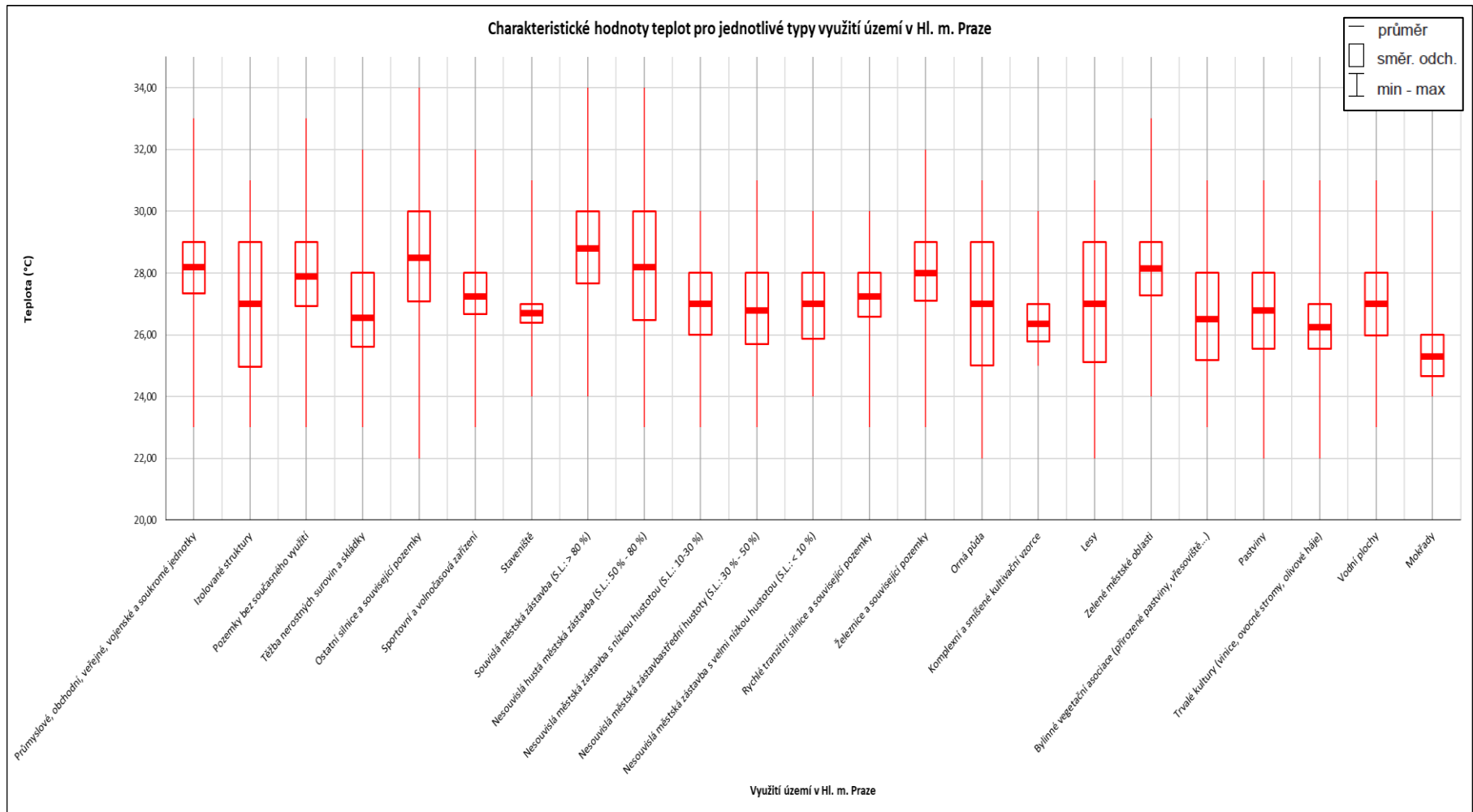
Třída využití území	Počet ploch
Souvislá městská zástavba (s hustotou zástavby > 80 %)	17
Ostatní silnice a související pozemky	6
Průmyslové, obchodní a soukromé jednotky	4
Nesouvislá hustá městská zástavba (s hustotou zástavby 50 % – 80 %)	1

Hlavní výstup práce, graf č.5 ukazuje rozdělení hodnot teploty vzduchu na jednotlivými typy UA2018 pomocí krabicového diagramu v časech, kdy byla překročena hranice 30 °C, tedy v době mezi 10:00 až 19:00. Z něj je patrné, že nevyšší teploty vzduchu byly dosahovány na třídách UA2018 **souvislá městská zástavba (s hustotou zástavby > 80 %), nesouvislá hustá městská zástavba (s hustotou zástavby 50 % – 80 %) a na třídě ostatní silnice a související pozemky**. Na těchto třech nejvíce náchylných třídách UA2018 dosahovaly teploty až 34 °C. Blíže sledována byla doba v rozmezí 10:00 – 19:00, kdy se v zájmovém území pohybovaly teploty přes 30 °C.

Konkrétně u třídy souvislá městská zástavba (s hustotou zástavby > 80 %) byla ve sledovanou dobu průměrná teplota vzduchu 29,2 °C (s maximální a minimální teplotou 34,3 a 24 °C). U nesouvislé husté městské zástavby (s hustotou zástavby

50 % – 80 %) byla průměrná teplota 29,04 °C (s maximální a minimální teplotou 34,14 a 23 °C) hlavně v pozdních odpoledních hodinách (18:00 – 19:00). Posledním sledovaným typem LC je třída ostatní silnice a související pozemky. Na územích této třídy dosahovaly průměrné teploty hranice 29,64 °C. Maximální hodnoty dosahovaly hodnot teploty vzduchu 34,86 °C. Minimální hodnoty se pohybovaly přibližně okolo 22 °C (v odpoledních hodinách 19:00). Naopak nejnižších sledovaných hodnot v zájmovém území dosahovaly plochy s třídou využití: **Orná půda, lesy, trvalé kultury**, ale i třída **ostatní silnice a související pozemky**. Na těchto typech povrchu se průměrná teplota pohybovala v rozmezí od 28 °C do 29,64 °C. Průměrná teplota na plochách třídy UA2018 – orná půda byla 28,21 °C. Maximální naměřenou teplotou byla hodnota 31,26 °C. Minimální hodnota, naměřená v odpoledních hodinách 19:00, dosahovala hodnot okolo 22 °C. Třída UA2018 lesy měla průměrné tepelné hodnoty rovny 28,23 °C. Maximální hodnoty (dosahované v době mezi 12:00 a 14:00) přesahovaly o setiny hranici 31 °C. Minima pro tuto třídu byla naměřena rovněž v odpoledních hodinách (19:00) a byly přibližně rovny 22 °C. Na plochách třídy trvalé kultury dosahovaly průměrné teploty 28,25 °C. Maximální hodnoty měly hodnotu 31,6 °C a minima dosáhla tato třída v dopolední hodině (10:00) s hodnotou 21,13 °C. Ostatní teplotní data byly vyselektovány a sumarizovány z rozsáhlého tabulárního zobrazení vyexportovaného z aplikace ArcMap, tabulka měla přes 35 000 řádků a tak bylo nemožné ji připojit k práci v přílohách. Mapový výstup ke zmíněné tabulce je k nalezení v příloze č. 25.

Třída ostatní silnice a související pozemky se objevuje v obou výběrech (Na výčtu ploch, které dopadly nejhůře a na těch co dopadly lépe), to je způsobeno schopností povrchu odbourávat naakumulované teplo. U zelených ploch je tento princip vysvětlen v kapitole č. 3.11 (Evapotranspirace). Jinak to mají nepřirodní povrchy, jako třeba asfalt. Nepřirodní materiály (asfalt, beton) má sníženou schopnost výparu a díky jejich nízkým hodnotám albeda se jedná o materiály s největší absorpcí tepla. Nicméně z analýzy je patrné, že vrstva ostatní silnice a související pozemky vykazovala hodnoty, které jsou dále porovnávány v kapitole č. 6 – Diskuse.



Graf č. 5 Charakteristické hodnoty teploty vzduchu pro jednotlivé třídy využití území. Hodnoty teplot vzduchu byly porovnány modelem MUKLIMO_3 ve dnech 30. červencem až 2. srpem 2017 (autor).

Z analýzy je jasně patrné, že plochy s větším podílem zeleně dosahovaly jednoznačně menších povrchových teplot a teplot vzduchu. Také je očividné, že zelené a vodní plochy sice mohou dosahovat kritických hodnot, ale po krátkou dobu nejteplejšího dne. U nepřirodních typů ploch analýza prokázala přesný opak. Teploty se zdžovaly na nejvíce náchylných místech až 8 hodin než se jejich hodnoty začaly prokazatelně zmenšovat. Kdežto u přírodních typů povrchů docházelo k projevům ochlazování daleko dříve.

Koncentrace zeleně v oblastech souvislá městská zástavba (s hustotou zástavby > 80 %), nesouvislá hustá městská zástavba (s hustotou zástavby 50 % – 80 %) a na třídě ostatní silnice a související pozemky by se měl zvýšit, aby tyto plochy do budoucna vykazovaly stejné výsledky jako zelené městské plochy. U typů obydlí, která jsou zastupována třídami UA2018: Nesouvislá městská zástavba střední hustoty (s hustotou zástavby: 30 % – 50 %), nesouvislá městská zástavba s nízkou hustotou (s hustotou zástavby: 10 % – 30 %), nesouvislá městská zástavba s velmi nízkou hustotou (s hustotou zástavby <10 %) lze předpokládat, že je zde vyšší podíl zeleně a tím pádem vyšší stupeň teplotní pohodlnosti.

Urbanizované plochy, kde přesahovala teplota vzduchu místy až 34 °C, nebo jejich blízké sousedící plochy, jsou hustě zastavěny. Dá se tedy s jistotou tvrdit, že pohodlí obyvatel je zde značně znepríjemněno vysokými toky citelného tepla. V těchto oblastech je třeba zásadně zvýšit zastoupení zeleně nebo změnit používané materiály na výstavbu či renovaci infrastruktury. Toho se dá dosáhnout implementací zelených střech popř. zelených stěn nebo využitím materiálů s nižším albedem. Zatepletním budov a tím pádem snížení jejich energetické závislosti, by bylo mělo za výsledek snížení produkce odpadního tepla a redukoval by se tím zásadní jeden ze vstupních faktorů, díky kterým je ve městech větší teplota než v ostatních oblastech.

6. Diskuse

Náplní této práce bylo nalézt souvislost mezi prostorovým rozložením teploty vzduchu během průchodu horké vlny v Praze a zastoupením typů využití území. Pro zpracování této analýzy byla použita data teploty vzduchu z modelu MUKLIMO_3. Výsledky analýzy byly porovnány s údaji o povrchové teplotě ze satelitu Landsat 8 a pozorovanými údaji z meteorologických stanic v Praze–Libuš a Ruzyně.

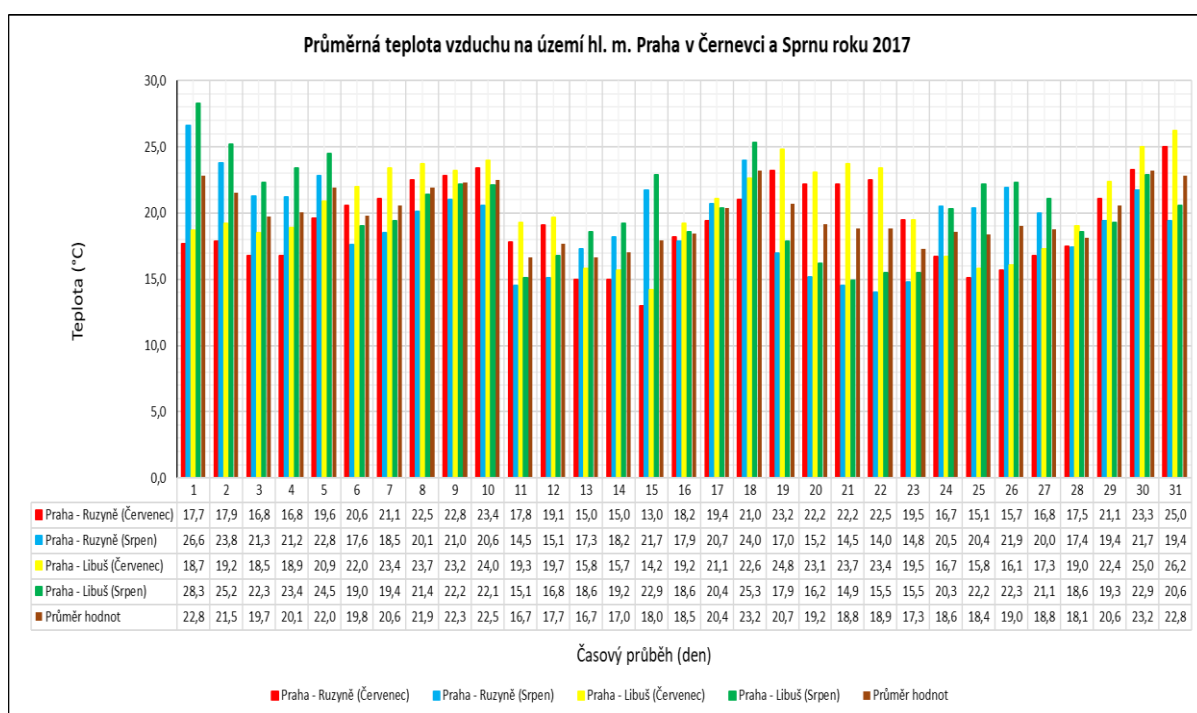
Výsledky této práce potvrzují poznatky z předchozích studií. Množství zeleně ve městě má přímý vliv na prostorové rozložení teploty vzduchu a teploty povrchu. Plochy s vyšším zastoupením zeleně nedosahovaly tak vysokých teplot, jako plochy, kde je podíl zeleně nižší nebo žádný. Z výsledků účelové analýzy bylo vypořádáno, že třídy UA2018, ve kterých je větší podíl zeleně jsou až o 3 °C chladnější než plochy s hustou městskou zástavbou a plochy infrastrukturní sítě.

Nezastupitelnou roli na městské klima hraje městská zeleň. Tu ve svých pracích zmiňují Dobrovolný et al. (2012), Geletič et al. (2020) i Gunawardena et al. (2017) Wells et Kwrshaw (2017).

Geletič et al. (2020) i Dobrovolný et al. (2012) ve svých výzkumech prokázali, že zvýšením podílu zeleně se město ochlazuje efektivněji a rychleji a nedochází k přehřívání jako by tomu bylo bez zastoupení zeleně. Tento fakt potvrdila i analýza v této práci. Podle Couttse et al. (2016) je význam designu a charakteru městské zeleně důležitý s ohledem na jejich chladící potenciál. Ovšem musí se dodržovat určité zásady plánování, jinak může být zvýšení tohoto podílu dokonce kontraproduktivní. Zvýšením podílu zeleně o 30 % se ve studii Geletiče zvýšila teplota vzduchu, což je nežádoucí efekt. V práci bylo dokázáno, že na plochách s větším podílem zeleně jsou prokazatelně vyšší teploty. Avšak podíly zeleně na jednotlivých třídách využití území nejsou zastoupeny ve výsledcích práce, jelikož metadata vstupních dat takový údaj neobsahovala.

Geletičův výzkum sledoval celkový vývoj teplot v Praze. Tato práce se zaměřovala pouze na povrchy, kde teplota přesahovala 30 °C z důvodu, že se zároveň jedná o hranici tropického dne. Tím je způsobeno to, že výsledky ze stejných vstupních dat mají rozdílné výsledky. Ovšem závěr a východiska z obou výzkumů zůstávají stejná. Geletič jako podkladovou vrstvu použil vrstvu krajinného pokryvu Local Climate Zones (dále jen LCZ) (Demuzere et al. 2022), která rozděluje městskou zástavbu do několika tříd podle hustoty zástavby, výškového rozložení zástavby a podle

druhu využití území podobně jako UA2018 (Copernicus, 2023). UA2018 nerozděluje výškovou variabilitu zástavby, která je v některých analýzách významným faktorem. Tato práce došla k hodnotám, že na městských zelených plochách je teplota vzduchu menší než na ostatních zastavěných plochách. Ve sledovaném časovém rozmezí (10:00–19:00), kdy byla na zkoumaném území překročena teplota 30 °C, byl rozdíl teplot v průměru 1,5 °C. Teploty ve městské zastavěné oblasti dosahovaly hodnot mezi 29,04–29,64 °C. V zelených městských oblastech se průměrná teplota vzduchu pohybovala od 28,21–28,25 °C.



Graf č. 6 Průměrná teplota vzduchu na území hl. m. Prahy na dvou měřicích stanicích (Praha – Ruzyně a Praha – Libuš) v červenci a srpnu roku 2017 (autor).

Průměrné teploty jsou porovnány s hodnotami pražských měřicích stanic. Z grafu č. 5 pro průměrné teploty vzduchu naměřené (30. července 2017) ve dvou pražských měřicích stanicích. Pro Prahu – Ruzyně byla teplota 23,3 °C a pro Prahu – Libuš je to 25 °C.

Tabulka č. 5 Porovnání průměrných teplot vzduchu nad vybranými třídami využití území podle modelu MUKLIMO_3 s průměrnými denními hodnotami teploty vzduchu naměřenými na stanicích ČHMÚ dne 30. 7. 2017 (autor).

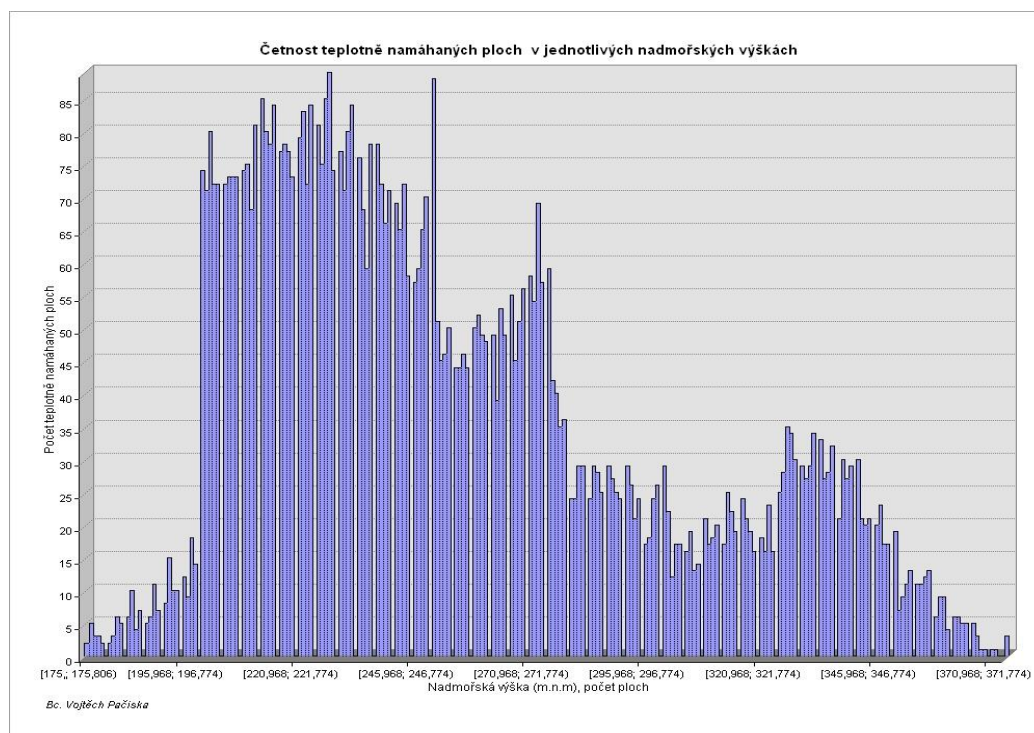
Třída využití území	Průměrná teplota (°C)	Porovnání Praha – Ruzyně (+23,3 °C)	Porovnání Praha – Libuš (+25 °C)
Souvislá městská zástavba (s hustotou zástavby > 80 %)	+29,22	+5,92	+4,22
Nesouvislá hustá městská zástavba (s hustotou zástavby 50 % – 80 %)	+29,04	+5,74	+4,04
Ostatní silnice a související pozemky	+29,64	+6,34	+4,64
Orná půda	+28,21	+4,91	+3,21
Lesy	+28,23	+4,93	+3,23
Trvalé kultury	+28,25	+4,95	+3,25

V tabulce č. 5 můžeme pozorovat odečet hodnot průměrné teploty na měřicích stanicích od teplot vyšších z práce. Teploty modelové teploty vzduchu byly vyšší o více než +4 °C (u třídy „Ostatní silnice a související pozemky“ teplota dokonce přesahovala teplotní průměr o +6,34 °C). Vysoká teplota vzduchu dokáže podle Dobrovolného et al. (2012) ovlivňovat i povrchy u kterých se pohybuje. Povrchy se díky vysoké teplotě vzduchu ohřejí více než za normálních podmínek, a tím déle trvá jejich ochlazení. To prodlužuje dobu, po kterou jsou městské oblasti vystavovány teplotnímu namáhání a vzniká tím efekt MTO. Rozdíl mezi těmito teplotami a hodnotami získanými v práci je zřejmý z prostorového pozorování. Ruzyně je stejně jako Libuš periferní oblast hlavního města. Ruzyně se nachází v nadmořské výšce 330 m n.m a Libuš je ve výšce 300 m n.m. Jedná se pouze o bodové sledování teploty vzduchu, v analýze práce je zkoumané celé území Prahy, tudíž může být teplotní rozdíl značný.

Ve stejnou dobu byly na dvou měřicích stanicích naměřeny různé hodnoty. To může být způsobeno i několika dalšími faktory (typ využití území, povětrnostní poměry, výška zástavby v okolí nebo poměrem zeleně a zástavby v dané části). Jak je popsáno dále v textu, i nadmořská výška hraje v pozorování teplotních jevů svou roli.

Průměrná teplota klesá se stoupající výškou o 0,6 °C na každých 100 metrů výšky (ČHMÚ, 2012). Což vysvětluje teplotní rozdíl mezi měřicími stanicemi. Ovšem teplota je z proběhlé analýzy hlavně závislá na typu využití území. Z obrázků č. 11 můžeme vyzorovat, že teplota vzduchu převyšovala hranici 30 °C hlavně v údolí v blízkosti řeky Vltavy.

Analýza teplotní závislosti na nadmořské výšce je spíše okrajová a pro doplnění a vyjasnění některých naměřených hodnot. Je evidentní, že nadmořská výška hraje roli v teplotní analýze náchylných oblastí, ovšem klíčovým faktorem je zde třída využití území. Je velmi složité určit jednoznačný vliv nadmořské výšky v zájmovém území. Vzhledem k nízkému rozsahu nadmořských výšek, které se pohybují od 175 do 388 metrů nad hladinou moře.



Obrázek č. 13 Četnost namáhaných ploch v jednotlivých nadmořských výškách na území hl. m. Praha (autor).

Nicméně z provedené analýzy dat stínovaného reliéfu a povrchové teploty lze vyvézt určité závěry. Je patrné, že na území hl. m. Prahy jsou nejvíce náchylné oblasti, které se nachází ve výškových oblastech od 200 do 290 m n.m. (viz obrázek č.14). V těchto výškách se nachází většina souvislá městská zástavba (s hustotou obydlí > 80 %) a ostatní silnice a související pozemky, průmyslové obchodní a soukromé objekty. Zeleň je zde zastoupena parky nebo nahodilými stromořadími, které nedokážou efektivně ochladit tak rozlehlé plochy. Ve vyšších oblastech Prahy je členitý terén, na kterém prozatím převládají zelené plochy nad těmi zastavěnými. V tomto ohledu nehrála nadmořská výška majoritní roli. Praha svou výškovou variabilitou tvoří poměrně malou sledovanou škálu. Přesnější závěry by přinesl výzkum města s větší variabilitou nadmořské výšky. Z výše provedeného sledování je patrné, že výskyt minimálních a maximálních odpoledních teplot není závislý pouze

na třídě využití území, ale je závislý na mnoha dalších faktorech. Podobný vliv jako kategorie druhu využití území může mít vliv typ krajinného pokryvu. Zde zelené plochy dokáží efektivněji odbourávat naakumulované teplo a tím snižovat i intenzitu povrchového městského ostrova. Dalším může být rozložení zástavby na dané ploše, hustota zástavby či stupeň zakrytí obzoru překážkami nebo nadmořská výška (Dobrovolný et al. 2012). Na teplotě povrchu z obrázku č. 10 je ovšem patrné, že teplota povrchu byla na území Prahy rozložena více nahodile, což naznačuje větší vliv třídy využití území.

7. Závěr

Hlavním cílem práce bylo zpracování modelových teplotních dat průběhu teplotní vlny horka MUKLIMO_3 a dat získaných ze snímání Landsat 8 v červenci roku 2017 na zkoumaném území, kterým bylo hlavní město Praha. A dále zhodnocení závislosti teplotních údajů na funkčním využití území Urban Atlas 2018. Pro účely vizualizace výsledků byly vypracovány mapové výstupy, které doplňovaly tabelární zobrazení dat vyšlých z analýzy.

První část práce se zabývala teoretickou rešerší problematiky městského klimatu, tvorbou městského tepelného ostrova a faktory ovlivňující jeho vznik. Dále byly stručně popsány klimatické změny, vysvětleny termíny povrchová teplota a teplota vzduchu, vlny horka, které byly nezbytné pro další kontext práce. Posledními kapitolami v rešerši byly kapitoly týkající se evapotranspirace a typy využití území a pokryvu území.

Hlavní část práce se zabývala zpracováním a analýzou teplotních dat z modelu MUKLIMO_3 a dat ze satelitu Landsat 8, v závislosti na třídách využití území. Z výsledků práce je patrné, že oblasti s větším podílem zeleně jsou méně tepelně namáhané než oblasti, kde je zastoupení zeleně menší. Nejhoršími třídami využití území byly podle analýzy teplot vzduchu hustě zastavené městské oblasti (s hustotou zástavby nad 50 %), komunikace a průmyslové, obchodní a soukromé jednotky. O něco lépe dopadly plochy s vyšším podílem zeleně, jako byly orná půda, lesy, trvalé kultury. Závěrem lze tvrdit, že centrum Prahy dosáhlo v analýze horších výsledků než okrajové oblasti. To je určeno strukturou zástavby a nedostatkem zelených ploch. Poté byla stručně popsána závislost teplotních dat na nadmořské výšce, která je v Praze spíše doplňujícím faktorem z hlediska nízké variability této výšky. Ovšem plochy položené v nižší nadmořské výšce vykazovaly větší náchylnost na akumulaci teplot vzduchu. U teploty povrchu byla nadmořská výška spíše zanedbatelná, jelikož teplotně namáhaná místa byla rozmístěna nahodile. Určujícím faktorem zde byla třída využití území.

Závěrem lze říct, že v teplotně namáhaných místech by bylo dobré zvýšit podíl zeleně a pokud je to možné, v infrastruktuře vyměnit tmavé materiály za materiály s vyšším albedem.

Přínosem této práce je zejména zpracování teplotních dat povrchu, teploty vzduchu a identifikací ploch, které mají vyšší tendence k přehřívání. Tyto plochy mají zároveň nižší schopnost odbourávání tepla, jelikož je zde nedostatečné zastoupení zeleně. To je důležité pro implementaci adaptačních opatření v budoucích letech.

8. Citovaná literatura

Knížní publikace a časopisy

Abhishek, G., Eichenbaum, M. K., & Simanovic, S. P., 2018: Analysis and modelling of surface Urban Heat Island in 20 Canadian cities under climate and land-cover change. *Journal of Environmental Management* 206., S. 145–157. ISSN 0301-4797.

Allen, R. G., Pereira, L. S., Rase, D., Smith, M., 1998: *Crop evapotranspiration - Guidelines for computing crop water requirements*: FAO - Food and Agriculture, Organization of the United Nations. ISBN 92-5-104219-5

Brazel, A., 2001: *Urban Climatology. The Earth Science*. ISBN 978-1-4020-3264-6

CENIA., 2012: *Vývoj krajinného pokryvu dle CORINE Land Cover na území ČR*. Česká informační agentura životního prostředí, Praha ISBN 978-80-87770-28-3

Coutts A. M., White E. C., Tapper N. J., Bringer J., Livesly S. J., 2016: Temperature and human thermal comfort effects of street trees across three contrasting street canyon environments. *Theoretical and Applied Climatology* 124. S. 55–68.

Daemei, A. B., Azmoodeh, M., Zamani, Z., & Khotbehsara, E. M., 2018: Experimental and simulation studies on the thermal behavior of vertical greenery system for temperature mitigation in urban spaces. *Journal of Building Engineering* 20., S. 277–284.

Demuzere, M., Kittner, J., Martilli, A., Mills, G., Moede, C., Stewart, I. D., Vliet J., Bechtel, B., 2022: A global map of local climate zones to support earth system modelling and urban-scale environmental science. *Articles*. S. 3835–3873.

Dobrovolný, P., Řezníčková, L., Brázdil, R., Krahula, L., Zahradníček, P., Hradil, M., Doležalová M., Šálek M., Štěpánek P., Rožnovský J., Valášek H., Kirchner K., Kolečka, J., 2012: *Klima Brna: Víceúrovňová Analýza Městského Klimatu*. Masarykova univerzita, Brno. S. 203. ISBN 978-80-210-6029-6.

Ersoy, E., 2019: *Landscape Pattern And Urban Cooling Islands*. *Freesenius environmental bulletin* 28. S. 1943–1951.

Filho W. L., Icaza L. E., Neht A., Klavins M., Morgen E. A., 2017: Coping with the impacts of urban heat islands. A literature based. *Journal of Cleaner Production* 171. S. 1140–1149. ISSN 0959-6526.

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.

Geletič J., Lenhert M., Jurek M., 2020: Spatiotemporal variability of air temperature during a heat wave in real and modified landcover conditions: Prague and Brno (Czech Republic). *Urban Climate* 31. S. 1–18. ISSN 2212-0955.

Geletič J., 2020: Data přechodu vlny horka z modelu MUKLIMO_3. Ústav informatiky AV ČR v.v.i, Praha. „Nepublikováno“ Dep.: Repozitář AV ČR.

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.

Holmer B., Eliasson I. 1999: Urban-rural vapour pressure differences and their role in the development of urban heat island. *International Journal of Climatology* 19. S. 989–1009.

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, S. 383.

IPCC, 2001: *Synthesis Report: Climate Change 2001. A Contribution of Working Groups I, II, and III to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* Albritton D., Barker T., Bashmakov I., Canziani O., Christ R., Cubasch U., Davidson O., Gitay H., Griggs D., Houghton J., House J., Kundzewicz Z., Lal M., Leary N., Magadza Ch., McCarthy J., Mitchell J., Moreira J.R., Munasinghe M., Noble I., Pachauri R., Pittock B., Prather M., Richels R. G., Robinson J. B., Sathaye J., Schneider S., Scholes R., Stocker T., Sundararaman N., Swart R., Taniguchi T., Zhou D. Cambridge University Press. S. 409. ISBN 0 521 01507

IPCC, 2007: AR4 Synthesis Report: Climate Change 2007. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Core Writing Team, Pachauri, R.K and Reisinger, A. Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change Geneva, S.104.

IPCC, 2014: AR5 Synthesis Report: Climate Change 2014. Climate Change 2014. Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meje. Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Geneva. S. 151.

Kunkel Kenneth E.; Pielke Jr., Roger A.; Changnon Stanley A., 1999: Temporal Fluctuations in Weather and Climate Extremes That Cause Economic and Human Health Impacts. Bulletin of the American Meteorological Society 80. S. 1077–1098.

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

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

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

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

Masson V., Lemonsu A., Hidalgo J., Voogt J., 2020: Urban Climates and Climate Change. Annual Review of Environment and Resources 45. S. 411–444. ISSN: 1543-5938.

Miner M. J., Taylor R. A., Jones C., Phelan P. E., 2017: Efficiency, economics, and the urban heat island. Environment And Urbanization 29. S. 183–194.

Ministerstvo životního prostředí, 2021: Národní akční plán adaptace na. Ministerstvo životního prostředí, Ministerstvo životního prostředí. Praha S. 68.

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

Myhre G., Shindell D., Bréon F.M., Collins W., Fuglestvedt 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. *Climate Change 2013: The Physical Science Basis*. S. 659–740.

MŽP, 2021: Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR. Ministerstvo životního prostředí ČR, Praha. S. 234.

Novák V., 2001: Evapotranspirácia a jej rozdelenie na území Slovenska. *Životné prostredie* 35. S. 133–137.

Nyuk, H. W., Chen, Y., 2005: Study of green areas and urban heat island in a tropical city. *Habitat International* 29, Singapore. S. 547–558.

OECD, 2008: OECD Environmental Outlook to 2030. OECD. S. 14 ISBN 978-92-64-04048-9

Oke, T. R., 1973: City size and the urban heat island. *Atmospheric Environment* 7. Vancouver. S. 769–779.

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

Penman, H. L., 1948: Natural evaporation from open water, bare soil and grass. *Proceedings of the Royal Society A* 196. S. 120–146. ISSN: 0080-4630

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

Portál hl. m. Prahy, 2019: Portál životního prostředí hlavního města Prahy: Ročenka Prahy – životní prostředí 2019. Praha. S.20.

Prošek P., Rein F., 1982: *Mikroklimatologie a mezní vrstva atmosféry*. Státní pedagogické nakladatelství. Praha. S. 237.

Rebetz 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. S. 1–7.

Rožnovský J., Litschmann T., 2005: Stanovenie evapotraspirácie smrekového porastu metódou s dendrometrickým prístupom. Brno. S. 73-80. ISBN 80-86690-24-5

Shuangping D., Zhiwen L., Xinyan Y., Yugu, L., 2019: The impact of building operations on urban heat/cool islands under urban. *Applied Energy* 235. S. ISSN 0306-2619

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

United Nations, 2022: The Glasgow climate pact: Report of the Conference of the Parties serving as the. Glasgow. S. 28.

Ústav výzkumu globální změny AV ČR, 2017: Analýza zranitelnosti hl. m. Prahy: Indikátory monitoringu adaptací. Analýza zranitelnosti hl. m. Prahy, S. 9.

Ústav výzkumu globální změny AV ČR, 2017: Analýza zranitelnosti hl. m. Prahy – mapové výstupy. Analýza zranitelnosti hl. m. Prahy. S. 59.

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

Wang Y., Berardi U., Akbari H., 2015: The Urban Heat Island effect in the city of Toronto. *Defining The Future Of Sustainability And Resilience In Design. Engineering And Construction*. S. 137–144.

Yang L., Quian F., Song D., Zheg K., 2016: Research on Urban Heat-Island effect. *Procedia Engineering* 169. S. 11-18.

Yang I., Acharya T., 2015: Exploring Landsat 8. *i-Explore International Research Journal Consortium. International Journal of IT*. S. 4–10.

Zhang J. H., Yan H., Gue H., Yun B., 2020: Linking observation, modelling and satellite-based estimation of global land Evapotranspiration. *Big Earth Data* 4. S. 1–34.

Ziemer R., Laflen J., 1979: Evaporation and transpiration. *Reviews of Geophysics and Space Physics* 17. S. 1175–1186.

Internetové zdroje

ARCDATA PRAHA s.r.o. ©2023: Aplikace ArcGIS Online(online) [cit. 2023.02.01], dostupné z <<https://www.arcdata.cz/produkty/arcgis/desktopovy-gis/arcmap>>.

CENIA ©2022: Multispektrální a teplotní data z Landsatu 8 (online) [cit. 2023.01.22], dostupné z <<https://www.cenia.cz/2022/01/06/multispektralni-a-teplotni-data-z-landsatu-8-nove-v-archivu-satelitnich-dat-cenia/>>.

Copernicus ©2023: Copernicus:Europe's eyes on Earth - CorineLandCover 2018 (online) [cit. 2023.02.20], dostupné z <<https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc2018>>.

Český statistický úřad ©2022: Český statistický úřad – Obyvatelstvo (online) [cit. 2023.01.07], dostupné z <<https://www.czso.cz/csu/xa/obyvateľstvo-xa>>.

ČHMÚ ©2012: Infomet ČHMÚ – Jak Vznikají Velké Mrazy (online) [cit. 2023.01.29], dostupné z <<http://www.infomet.cz/index.php?id=read&idd=1327929546&a0=velk%E1&a1=zima&vyrazu=2&oznacit=ano>>.

ČHMÚ ©2023a: Český hydrometeorologický ústav – Historická data – meteorologie a klimatologie (online) [cit. 2023.01.13], dostupné z <<https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/denni-data/data-ze-stanic-site-RBCN#>>.

ČHMÚ ©2023b: Český hydrometeorologický ústav: Historická data – Územní teploty. (online) [cit. 2023.01.19], dostupné z <<https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/uzemni-teploty#>>.

ČHMÚ ©2023c: Historická data – Praha Ruzyně (online) [cit. 2023.01.15], dostupné z <<https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/denni-data/data-ze-stanic-site-RBCN#>>.

ČHMÚ ©2011: Informace o přízemních měřeních a pozorováních na stanici Praha – Libuš (online) [cit. 2023.01.11], dostupné z <https://www.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/oa/prizemni_mereni.html>.

ČÚZK ©2023: Geoportál ČÚZK – Český úřad zeměměřický a katastrální (online) [cit. 2023.01.15], dostupné z <[https://geoportal.cuzk.cz/\(S\(111vsjuxgrmetguo0dhceii3\)\)/Default.aspx?menu=3129&mode=TextMeta&side=wms.verejne&metadataID=CZ-CUZK-WMS-DMR4G&metadataXSL=metadata.sluzba](https://geoportal.cuzk.cz/(S(111vsjuxgrmetguo0dhceii3))/Default.aspx?menu=3129&mode=TextMeta&side=wms.verejne&metadataID=CZ-CUZK-WMS-DMR4G&metadataXSL=metadata.sluzba)>.

DWD ©2017: The Deutscher Wetterdienst – Urban climate model MUKLIMO_3 (online) [cit. 2023.01.05], dostupné z <https://www.dwd.de/EN/ourservices/muklimo_thermodynamic/muklimo_thermodynamic.html>.

ESRL ©2020: Monitoring Laboratory: Earth System Research Laboratories – How we measure background CO2 levels on Mauna Loa (online) [cit. 2021.10.05], dostupné z <https://gml.noaa.gov/ccgg/about/co2_measurements.html>.

ESRL ©2023: Global Monitoring Laboratory – Earth System Research Laboratories Trends in Atmospheric Carbon Dioxide (online) [cit. 2023.01.15], dostupné z <<https://gml.noaa.gov/ccgg/trends/>>.

Evropská komise ©2021: Realizace Zelené dohody pro Evropu (online) [cit. 2022.10.10], dostupné z <https://commission.europa.eu/strategy-and-policy/priorities-2019-2024/european-green-deal/delivering-european-green-deal_cs>.

Gorelick, N. H ©2023: Google Earth Engine Landsat 8: Planetary-scale geospatial analysis for everyone (online) [cit. 2023.02.23], dostupné z <<https://earthengine.google.com/>>.

IPCC ©2022: The Intergovernmental Panel on Climate Change: Graphics (online) [cit. 2023.01.15], dostupné z <<https://www.ipcc.ch/sr15/graphics/>>.

Microsoft Corporation ©2018: Microsoft Corporation – Microsoft Excel (online) [cit. 2023.01.18], dostupné z <<https://office.microsoft.com/excel>>.

MŽP ©2017: Ministerstvo životního prostředí – Politika ochrany klimatu pro rok 2017(online) [cit. 2023.01.10], dostupné z <https://www.mzp.cz/cz/politika_ochrany_klimatu_2017>.

MŽP ©2021a: Ministerstvo životního prostředí–Národní akční plán adaptace (online) [cit. 2023.01.22], dostupné z <[https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/narodni_akcni_plan_zmena_klimatu/\\$FILE/OEOK_NAP_adaptace-aktualizace_2021.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/narodni_akcni_plan_zmena_klimatu/$FILE/OEOK_NAP_adaptace-aktualizace_2021.pdf)>.

MŽP ©2021b: Ministerstvo životního prostředí – Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR (online) [cit. 2023.01.11], dostupné z <https://www.mzp.cz/cz/zmena_klimatu_adaptacni_strategie>.

Portál hl. m. Prahy ©2019: Portál životního prostředí hlavního města Prahy (online) [cit. 2023.01.15], dostupné z <https://envis.praha.eu/rocenky/Pr19_pdf/ElzpravaZP19_kapA.pdf>.

United Nations ©2022: THE GLASGOW CLIMATE PACT: Report of the Conference of the Parties serving as the (online) [cit. 2023.01.22], dostupné z <<https://ukcop26.org/the-glasgow-climate-pact/>>.

USGS © 2013: U.S. Geological Survey Fact (Fact Sheet 2013–3060) – Landsat 8 (online) [cit. 2023.01.12], dostupné z <<https://pubs.usgs.gov/fs/2013/3060/>>.

USGS ©2023: United States Geological: Ocean and Climate (online) [cit. 2023.01.22], dostupné z <<https://www.usgs.gov/science/science-explorer/ocean/ocean-and-climate>>.

Ústav výzkumu globální změny AV ČR ©2017: Analýza zranitelnosti hl. m. Prahy: Indikátory monitoringu adaptací (online) [cit. 2023.02.05], dostupné z <https://adaptacepraha.cz/wp-content/uploads/2020/03/Indikatory_monitoringu_adaptaci.pdf>.

9. Seznam obrázků

- Obrázek č. 1** Pohyb teplého vzduchu při efektu městského tepelného ostrova u přímořského města: Daytime–den, Evapotranspiration by vegetation – evapotranspirace z vegetace, Heat transmitted to the air from the surface–Teplo přenášené do vzduchu z povrchu, Net Infrared radiation loss from the surface to sky–Čistá ztráta infračerveného záření z povrchu na oblohu, Solar radiation–Sluneční záření, Heat released by human activities–teplo vyprodukované lidskou činností, Heat stored within road and building materials–Teplo uložené v silničních a stavebních materiálech, Cooling by sea breeze–Ochlazování mořským vánkem, Cooling of the air by the surface–Ochlazování vzduchu povrchem, Cool air from the countryside–Chladný vzduch z venkovské oblasti (Masson, 2020).....5
- Obrázek č. 2** Předpoklad vývoje globálních emisí do roku 2100 za ideálních podmínek; Svislá osa: časová osa, Vodorovná osa: Přírůstek milionů tun CO₂ za rok; Šedé oblasti grafu: Modelové cesty s vyššími hodnotami.; Modrá oblast grafu: Modelové oblasti vedoucí ke snížení globálního oteplování pod 1,5 °C bez odchylky; Bílá oblast: oblasti vedoucí ke snížení efektu globálního oteplování pod 2 °C (IPCC, 2022). 11
- Obrázek č. 3** Graf měsíčního průměru CO₂ na observatoři Mauna Loa na ostrově Havaj; Vodorovná osa: průběh v čase, Svislá osa: Molární poměr suchého vzduchu definovaný jako počet molekul CO₂ dělený počtem molekul vzduchu ve vzduchu, včetně samotného CO₂ po odstranění vodní páry. Červená křivka: Průměrná měsíční hodnota běžná pro sezónní cyklus (ESRL, 2023)..... 12
- Obrázek č. 4** Trojúhelníkový diagram popisující vztah mezi mitigací, adaptací a nečinností: Cost of impacts – náklady na dopady; Cost of adaptation–náklady na adaptaci; Cost of mitigation – náklady na mitigaci; All mitigation–pouze mitigace; No action – nečinnost; All adaptation–pouze adaptace; more–vysoké; less–nižší (IPCC, 2007). 16
- Obrázek č. 5** Schéma evapotranspirace: Atmospheric vapor – atmosférické výpary, Net H₂O exchange – netto výměna H₂O, Transpiration – transpirace, Soil evaporation – půdní evaporace, Soil surface – půdní povrch, Soil water – půdní voda, Stem water – kmenová voda, Wet leaf evaporation – Evaporace z listů, Water evaporation – vodní evaporace, Transpiration – transpirace (Zhang et al. 2020). 19
- Obrázek č. 6** Ukázková vrstva CorineLandCoveru s legendou (Copernicus, 2023).20

Obrázek č. 7 Rozdělení zkoumaného území podle typu využití území (autor).	24
Obrázek č. 8 První část algoritmu zajišťující vstupní hodnoty získané z družice LandSat 8 skrze služby GEE (autor).....	28
Obrázek č. 9 Druhá část algoritmu zajišťující vstupní hodnoty získané z družice Landsat 8 skrze služby GEE (autor).	29
Obrázek č. 10 Oblasti, kde teplota povrchu překročila hranici 30 °C (autor).	30
Obrázek č. 11 Oblasti, kde teplota vzduchu překročila hranici 30 °C (autor).	32
Obrázek č. 12 Teplotně namáhaná místa, kde teplota vzduchu převyšovala 30 °C v hodinovém rozložení (autor).....	34
Obrázek č. 13 Četnost namáhaných ploch v jednotlivých nadmořských výškách na území hl. m. Praha (autor).	42
Graf č. 1 Průměrná měsíční teplota vzduchu na území Prahy mezi lety 2015–2020 (autor).....	14
Graf č. 2 Průměrná roční teplota vzduchu v Praze mezi lety 2015–2020 (autor).	14
Graf č. 3 Počet uzlových bodů, kde teplota povrchu přesáhla 30 °C na území hl. m. Praha (autor).	31
Graf č. 4 Počet uzlových bodů využití území, kde teplota vzduchu přesáhla 30 °C na území hl. m. Praha (autor).	33
Graf č. 5 Charakteristické hodnoty teploty vzduchu pro jednotlivé třídy využití území. Hodnoty teplot vzduchu byly pořízeny modelem MUKLIMO_3 ve dnech 30. červencem až 2. srpnem 2017 (autor).	37
Graf č. 6 Průměrná teplota vzduchu na území hl. m. Prahy na dvou měřicích stanicích (Praha – Ruzyně a Praha – Libuš) v červenci a srpnu roku 2017 (autor).....	40

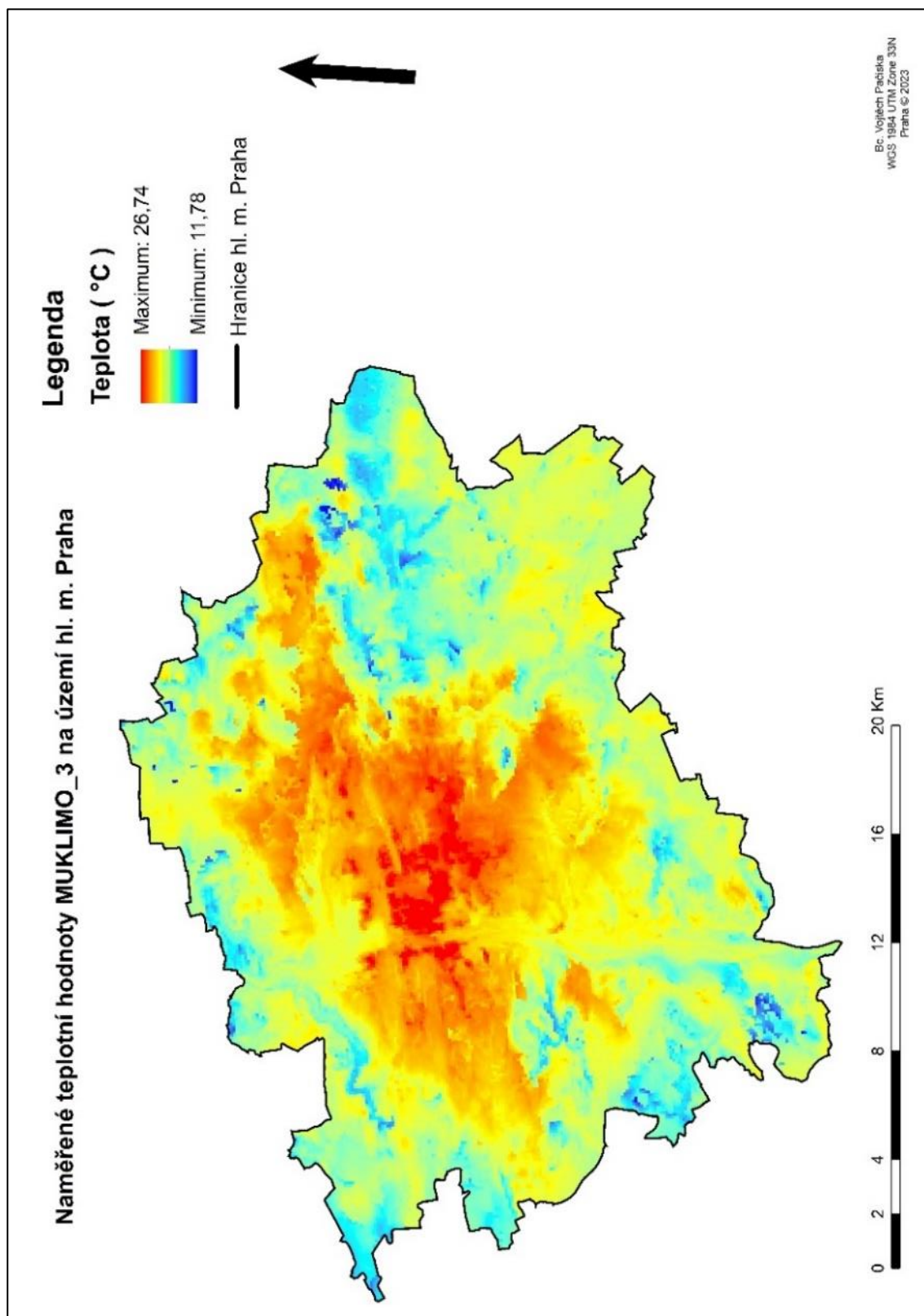
10. Seznam tabulek

Tabulka č. 1 Průměrná měsíční teplota vzduchu na území Prahy mezi lety 2015–2020 (autor).....	14
Tabulka č. 2 Průměrná roční teplota vzduchu v Praze mezi lety 2015–2020 (autor).	14
Tabulka č. 3 Počet uzlových bodů (jedna plocha je cca 100 x 100 m) na území hl. m. Praha, kde byla teplota 30 °C dosažena po dobu 1 hodiny (autor).....	34
Tabulka č. 4 Počet pixelů (jedna plocha je cca 100 x 100 m) na území hl. m. Praha, kde byla teplota 30 °C dosažena po dobu 8 hodin (autor).	35
Tabulka č. 5 Porovnání průměrných teplot vzduchu nad vybranými třídami využití území podle modelu MUKLIMO_3 s průměrnými denními hodnotami teploty vzduchu naměřenými na stanicích ČHMÚ dne 30. 7. 2017 (autor).	41

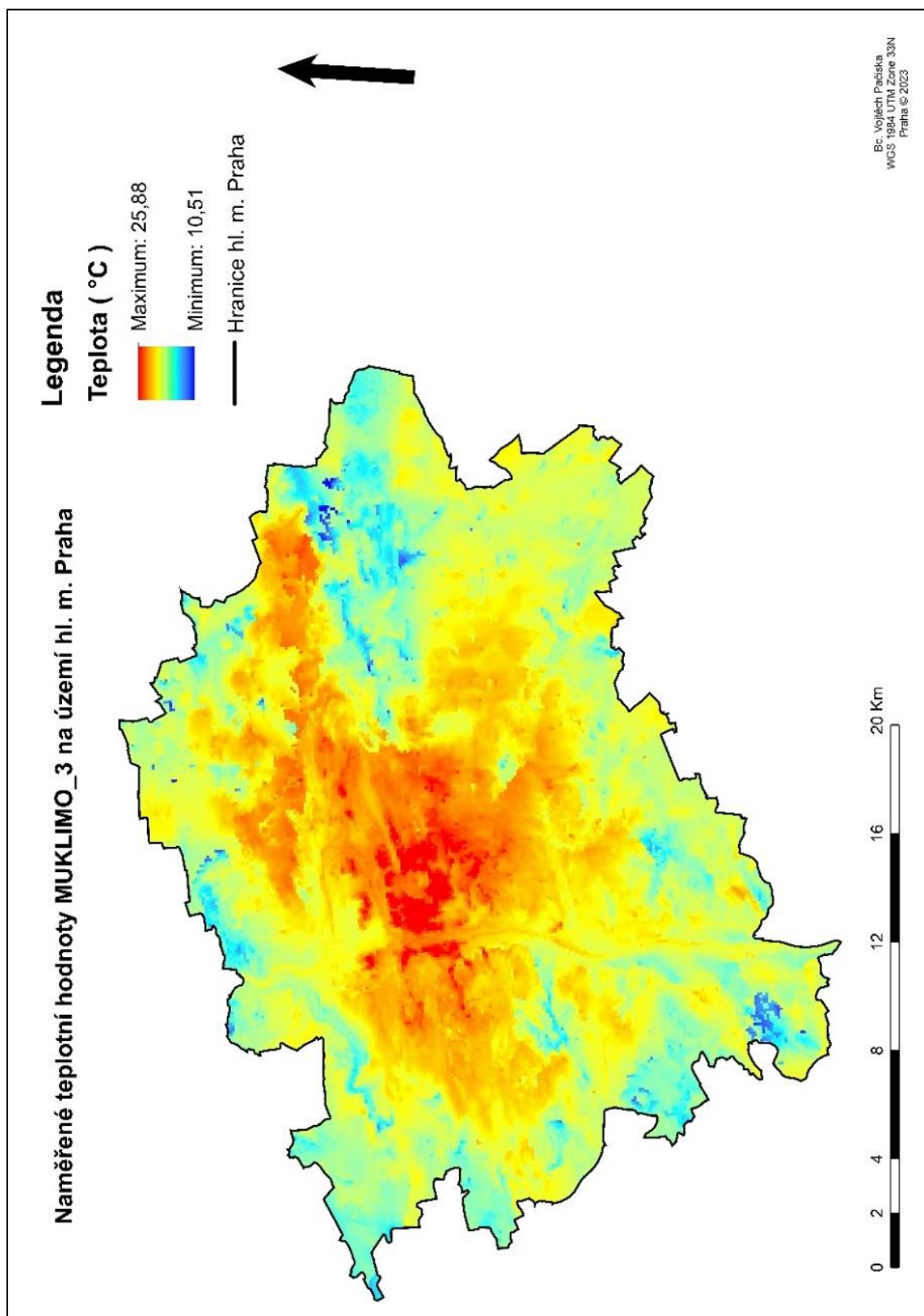
11. Přílohy

Příloha č. 1 Naměřené hodnoty teplot vzduchu z modelu MUKLIMO_3 v 1:00 (autor).....	59
Příloha č. 2 Naměřené hodnoty teplot vzduchu z modelu MUKLIMO_3 ve 2:00 (autor).....	60
Příloha č. 3 Naměřené hodnoty teplot vzduchu z modelu MUKLIMO_3 ve 3:00 (autor).....	61
Příloha č. 4 Naměřené hodnoty teplot vzduchu z modelu MUKLIMO_3 ve 4:00 (autor).....	62
Příloha č. 5 Naměřené hodnoty teplot vzduchu z modelu MUKLIMO_3 v 5:00 (autor).	63
Příloha č. 6 Naměřené hodnoty teplot vzduchu z modelu MUKLIMO_3 v 6:00 (autor).	64
Příloha č. 7 Naměřené hodnoty teplot vzduchu z modelu MUKLIMO_3 v 7:00 (autor).	65
Příloha č. 8 Naměřené hodnoty teplot vzduchu z modelu MUKLIMO_3 v 8:00 (autor).	66
Příloha č. 9 Naměřené hodnoty teplot vzduchu z modelu MUKLIMO_3 v 9:00 (autor).	67
Příloha č. 10 Naměřené hodnoty teplot vzduchu z modelu MUKLIMO_3 v 10:00 (autor).....	68
Příloha č. 11 Naměřené hodnoty teplot vzduchu z modelu MUKLIMO_3 v 11:00 (autor).....	69
Příloha č. 12 Naměřené hodnoty teplot vzduchu z modelu MUKLIMO_3 ve 12:00 (autor).....	70
Příloha č. 13 Naměřené hodnoty teplot vzduchu z modelu MUKLIMO_3 ve 13:00 (autor).....	71
Příloha č. 14 Naměřené hodnoty teplot vzduchu z modelu MUKLIMO_3 ve 14:00 (autor).....	72
Příloha č. 15 Naměřené hodnoty teplot vzduchu z modelu MUKLIMO_3 v 15:00 (autor).....	73
Příloha č. 16 Naměřené hodnoty teplot vzduchu z modelu MUKLIMO_3 v 16:00 (autor).....	74

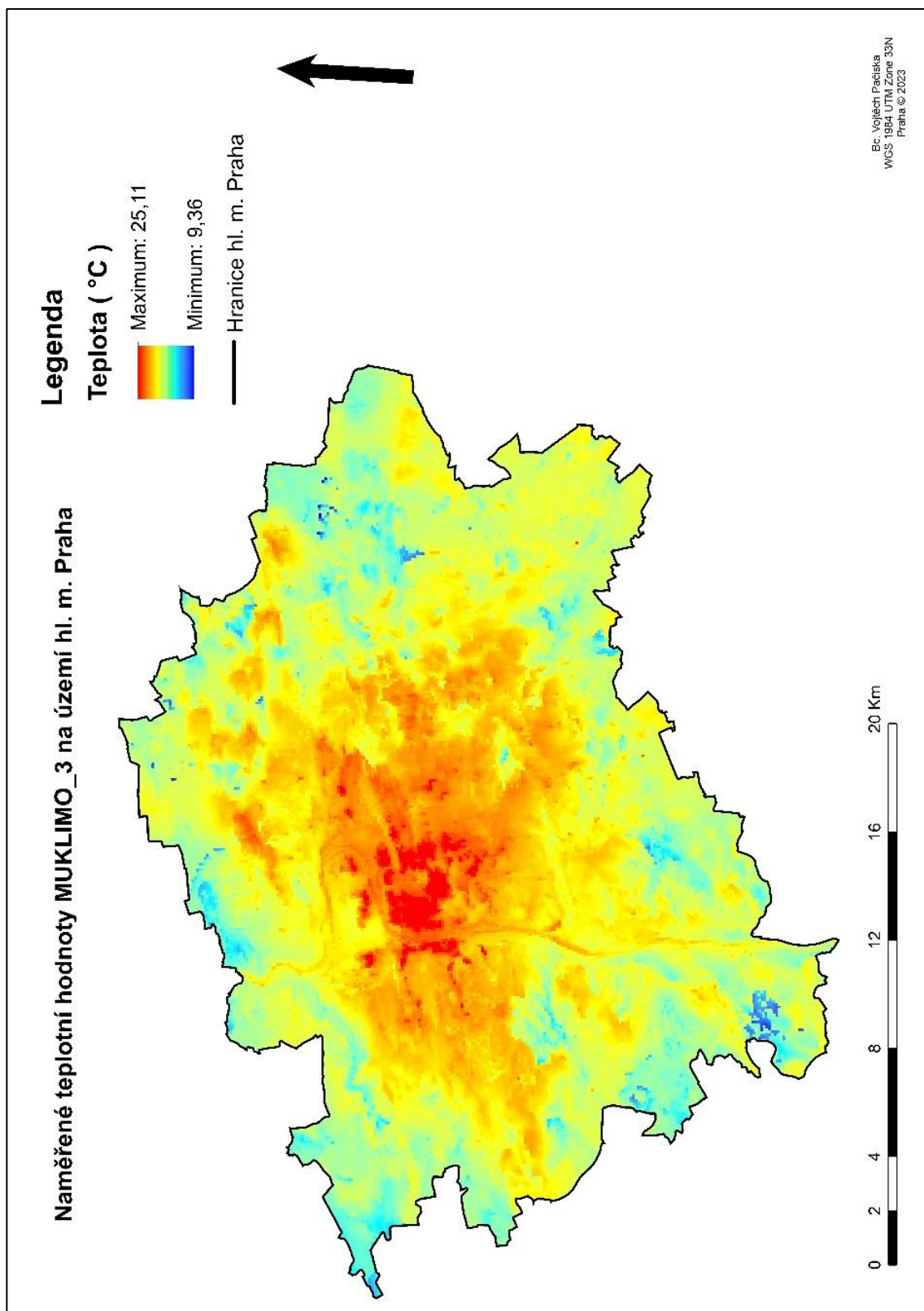
Příloha č. 17 Naměřené hodnoty teplot vzduchu z modelu MUKLIMO_3 v 18:00 (autor).....	75
Příloha č. 18 Naměřené hodnoty teplot vzduchu z modelu MUKLIMO_3 v 19:00 (autor).....	76
Příloha č. 19 Naměřené hodnoty teplot vzduchu z modelu MUKLIMO_3 ve 20:00 (autor).....	77
Příloha č. 20 Naměřené hodnoty teplot vzduchu z modelu MUKLIMO_3 ve 21:00 (autor).....	78
Příloha č. 21 Naměřené hodnoty teplot vzduchu z modelu MUKLIMO_3 ve 22:00 (autor).....	79
Příloha č. 22 Naměřené hodnoty teplot vzduchu z modelu MUKLIMO_3 ve 23:00 (autor).....	80
Příloha č. 23 Naměřené hodnoty teplot vzduchu z modelu MUKLIMO_3 ve 23:59 (autor).....	81
Příloha č. 24 Naměřené vstupní teplotní hodnoty ze satelitního snímku Landsat 8 na území hl. m. Praha (autor).....	82
Příloha č. 25 Oblasti hl. m. Prahy, kde byla překročena teplota vzduchu 30°C a více (autor).....	83
Příloha č. 26 Procentuální zastoupení ploch využití území, kde teplota povrchu přesáhla 30 °C na území Prahy (autor).	84
Příloha č. 27 Procentuální zastoupení ploch využití území, kde teplota vzduchu přesáhla 30 °C na území Prahy (autor).	85
Příloha č. 28 Vliv nadmořské výšky na teplotě povrchu na území hl. m. Praha (autor).	86
Příloha č. 29 Vliv nadmořské výšky na teplotě vzduchu na území hl. m. Praha (autor).	87
Příloha č. 30 Oblasti hl. m. Prahy, kde byla překročena teplota vzduchu 30°C a více v závislosti na nadmořské výšce (autor).	88
Příloha č. 31 Výběr dat sledovaných teplotních průměrů, maxim a minim na vybraných třídách využití území (autor).	89



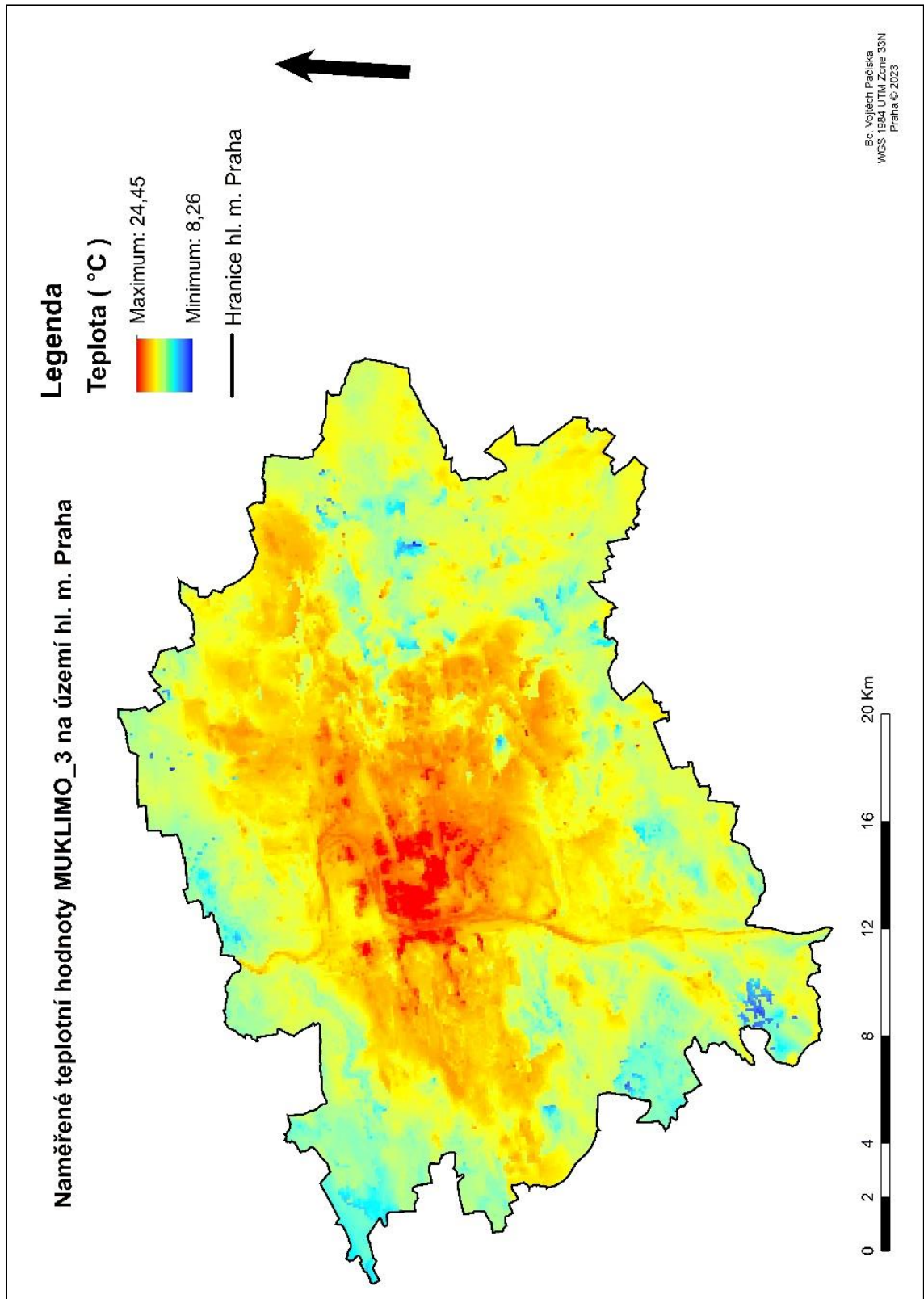
Příloha č. 1 Naměřené hodnoty teplot vzduchu z modelu MUKLIMO_3 v 1:00 (autor).



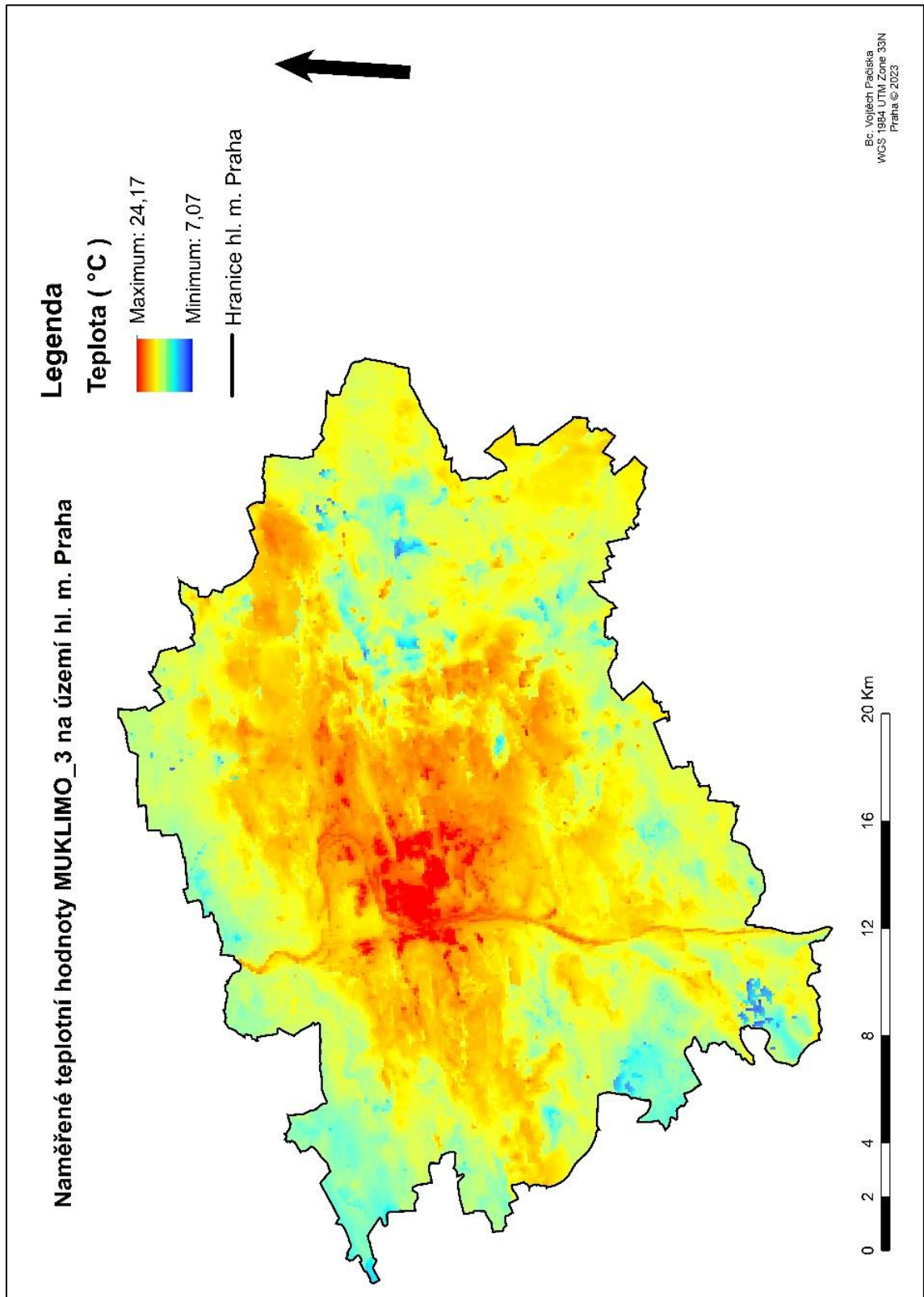
Příloha č. 2 Naměřené hodnoty teplot vzduchu z modelu MUKLIMO_3 ve 2:00 (autor).



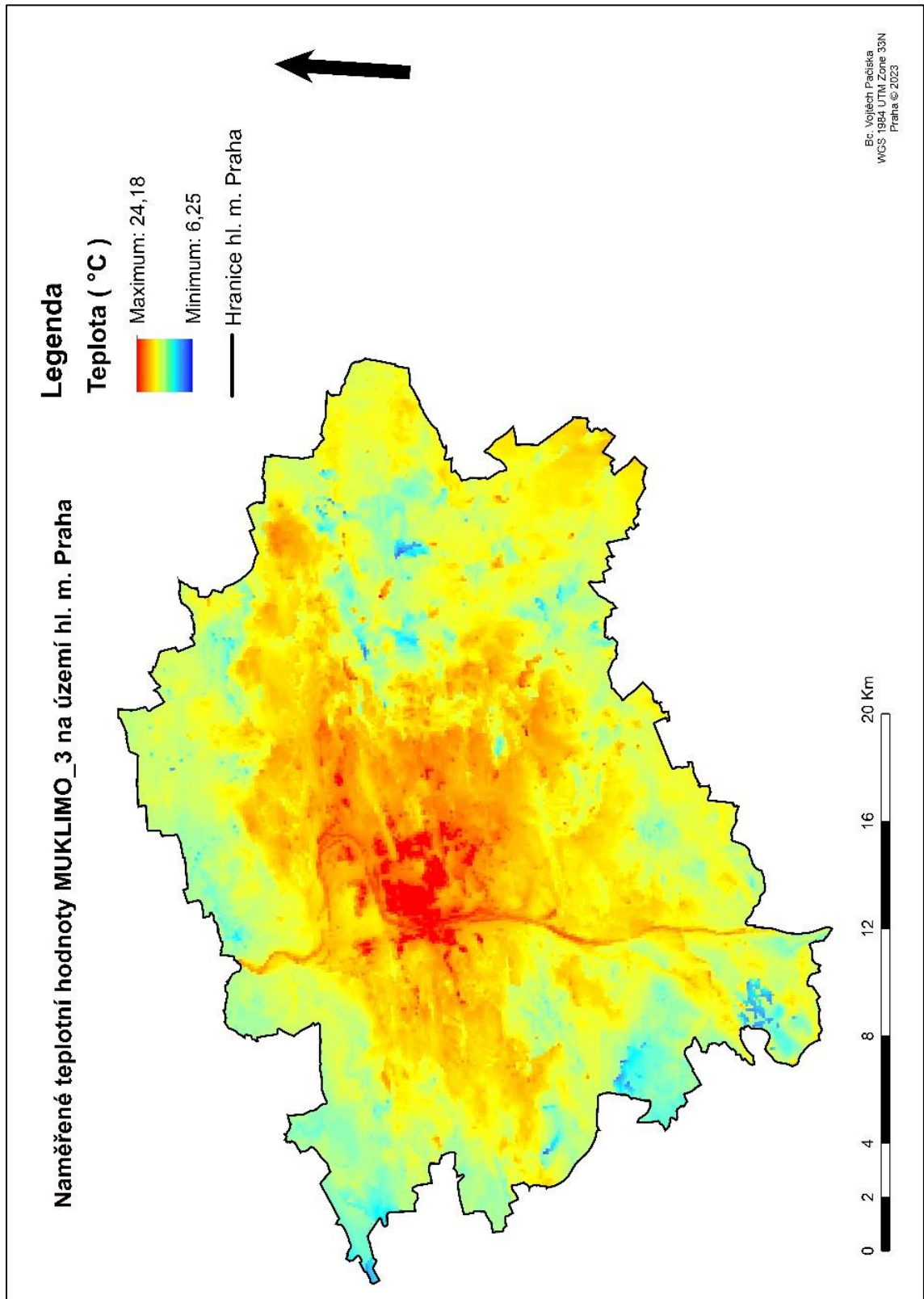
Příloha č. 3 Naměřené hodnoty teplot vzduchu z modelu MUKLIMO_3 ve 3:00 (autor).



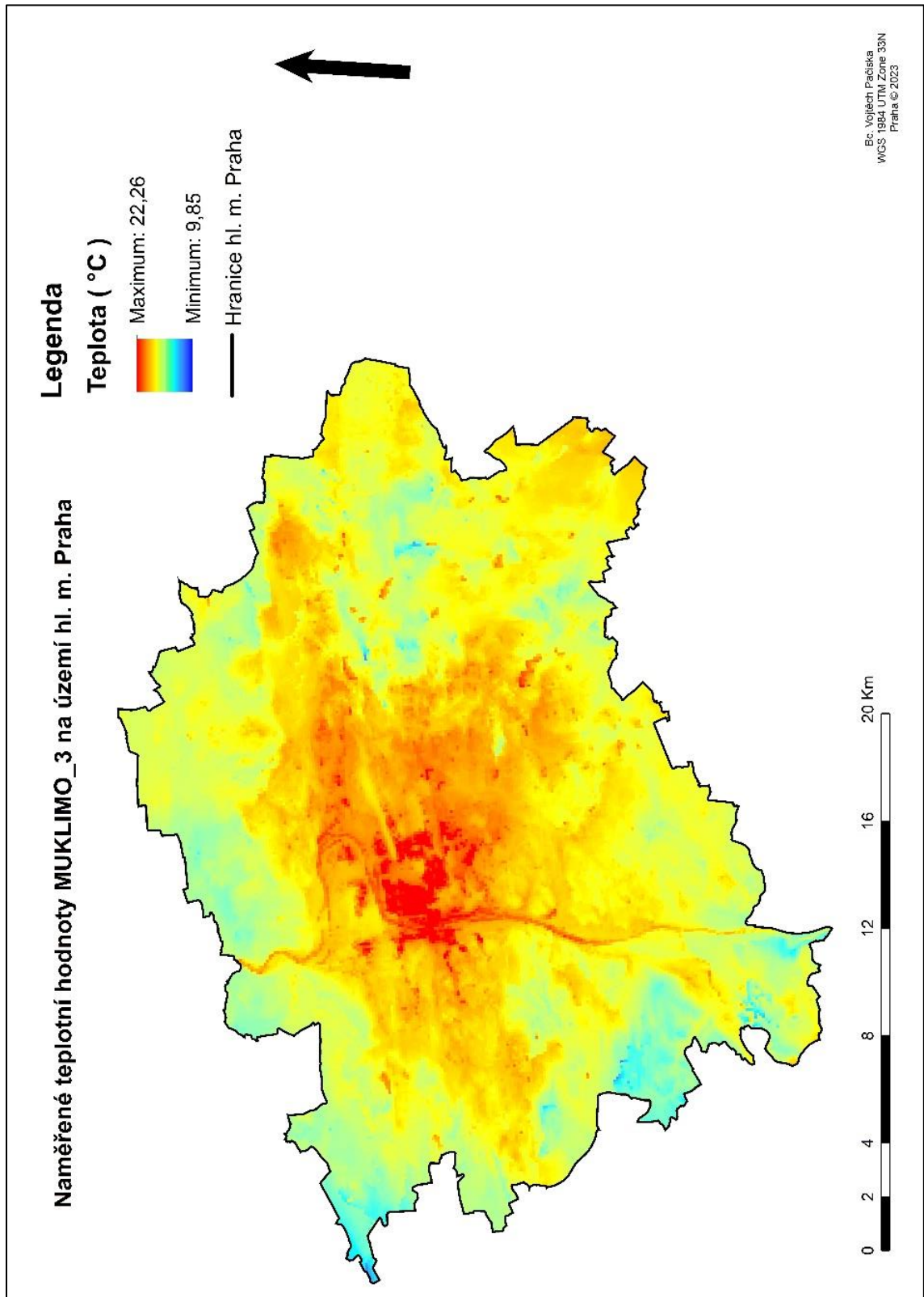
Příloha č. 4 Naměřené hodnoty teplot vzduchu z modelu MUKLIMO_3 ve 4:00 (autor).



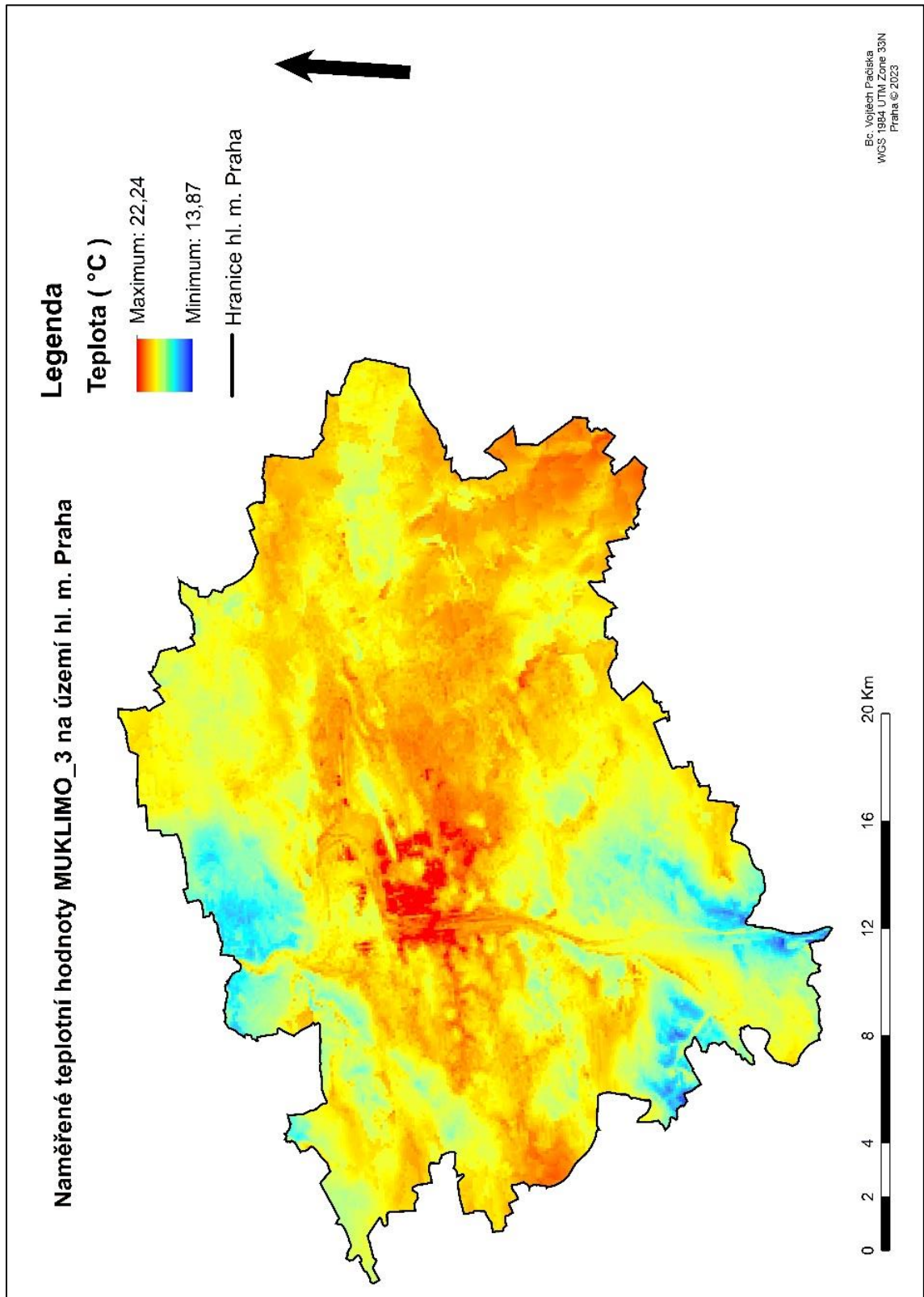
Příloha č. 5 Naměřené hodnoty teplot vzduchu z modelu MUKLIMO_3 v 5:00 (autor).



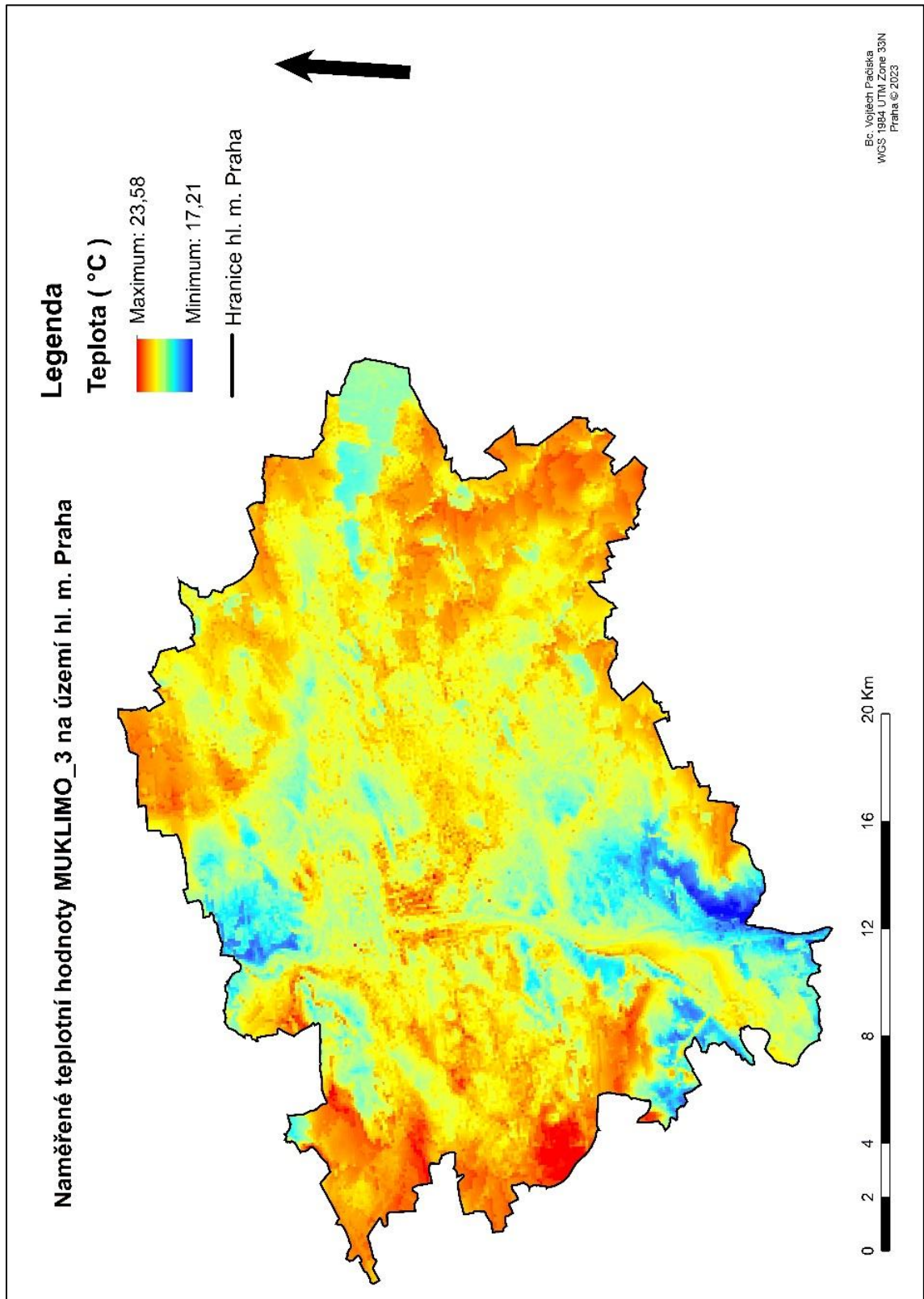
Příloha č. 6 Naměřené hodnoty teplot vzduchu z modelu MUKLIMO_3 v 6:00 (autor).



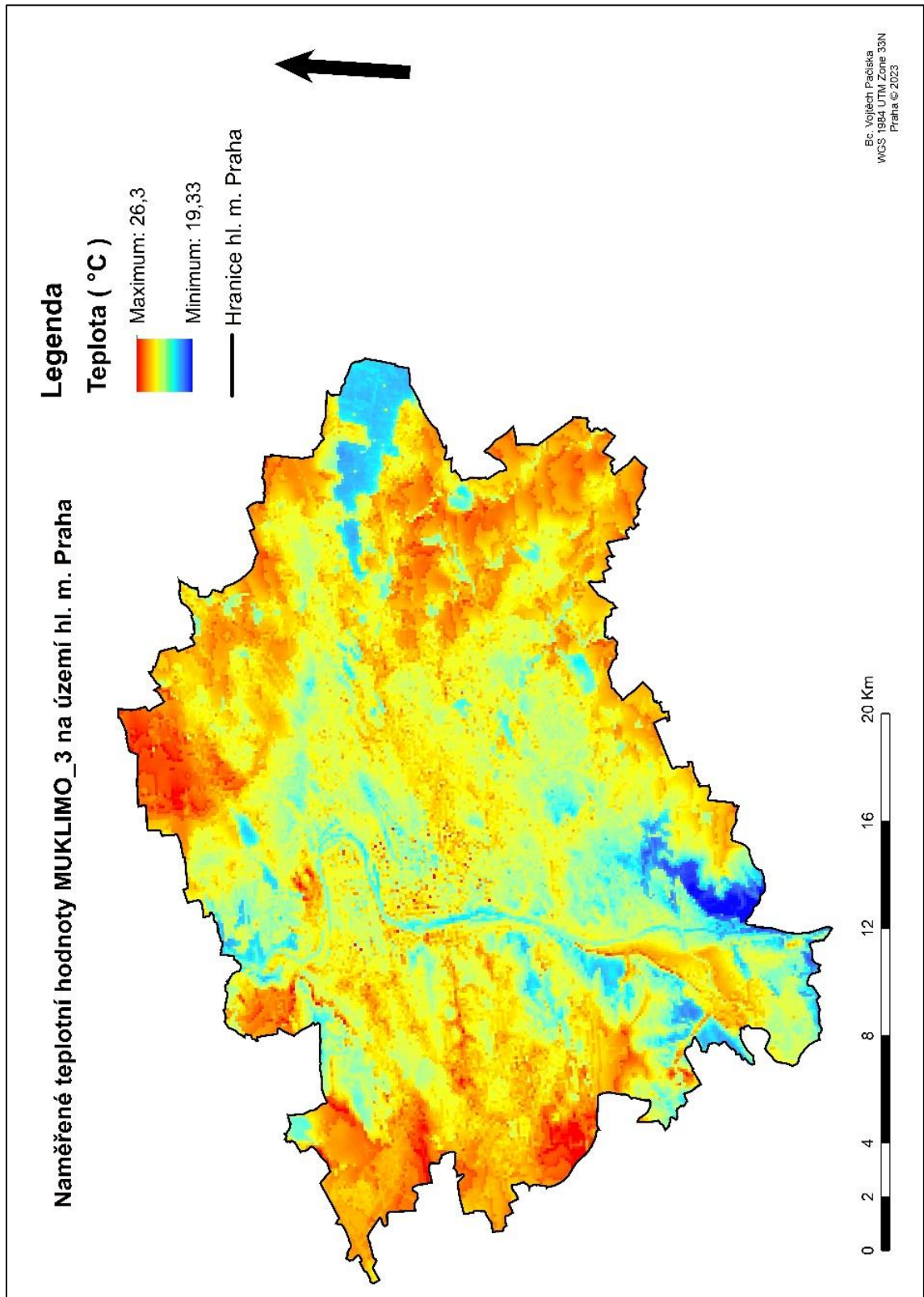
Příloha č. 7 Naměřené hodnoty teplot vzduchu z modelu MUKLIMO_3 v 7:00 (autor).



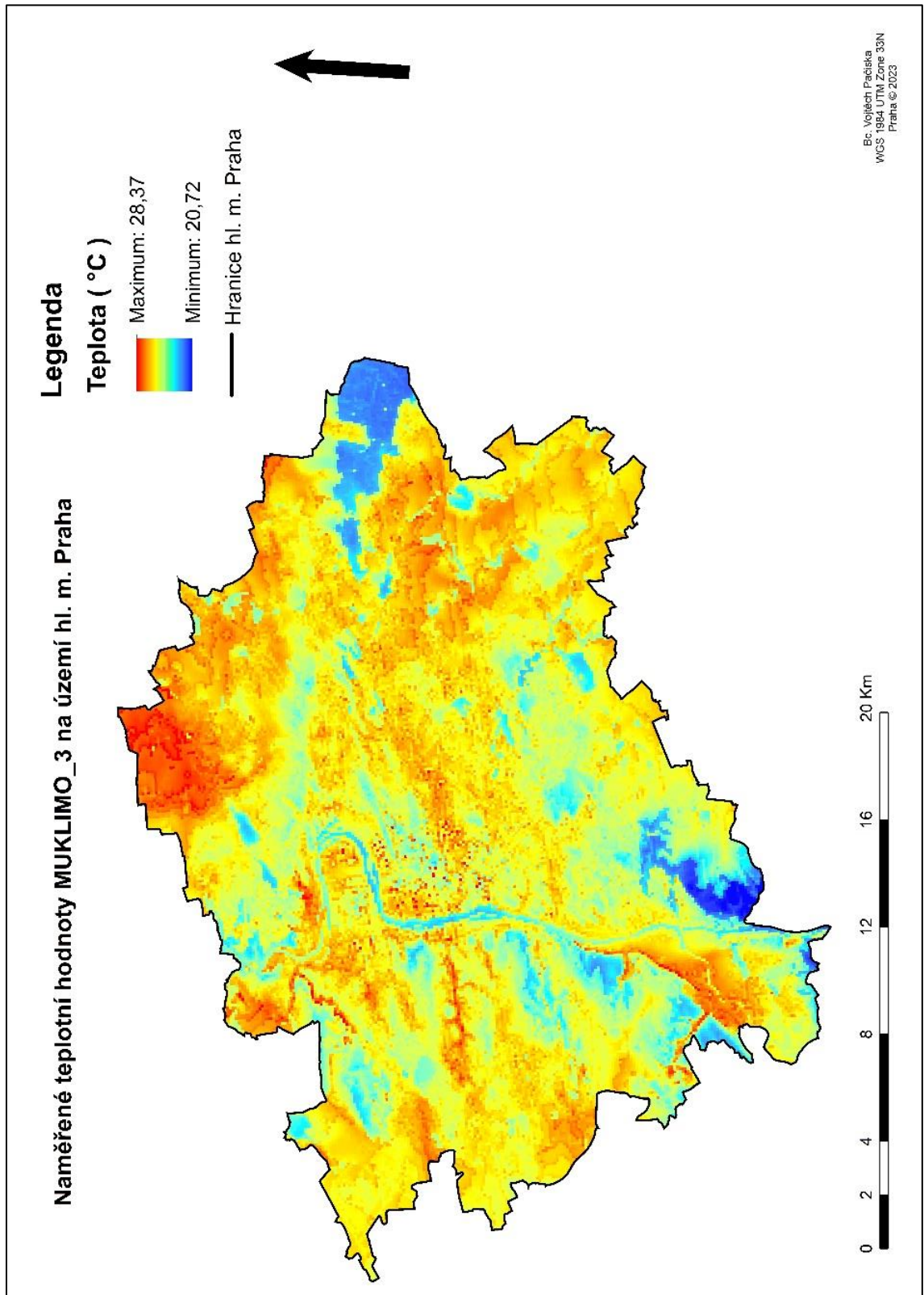
Příloha č. 8 Naměřené hodnoty teplot vzduchu z modelu MUKLIMO_3 v 8:00 (autor).



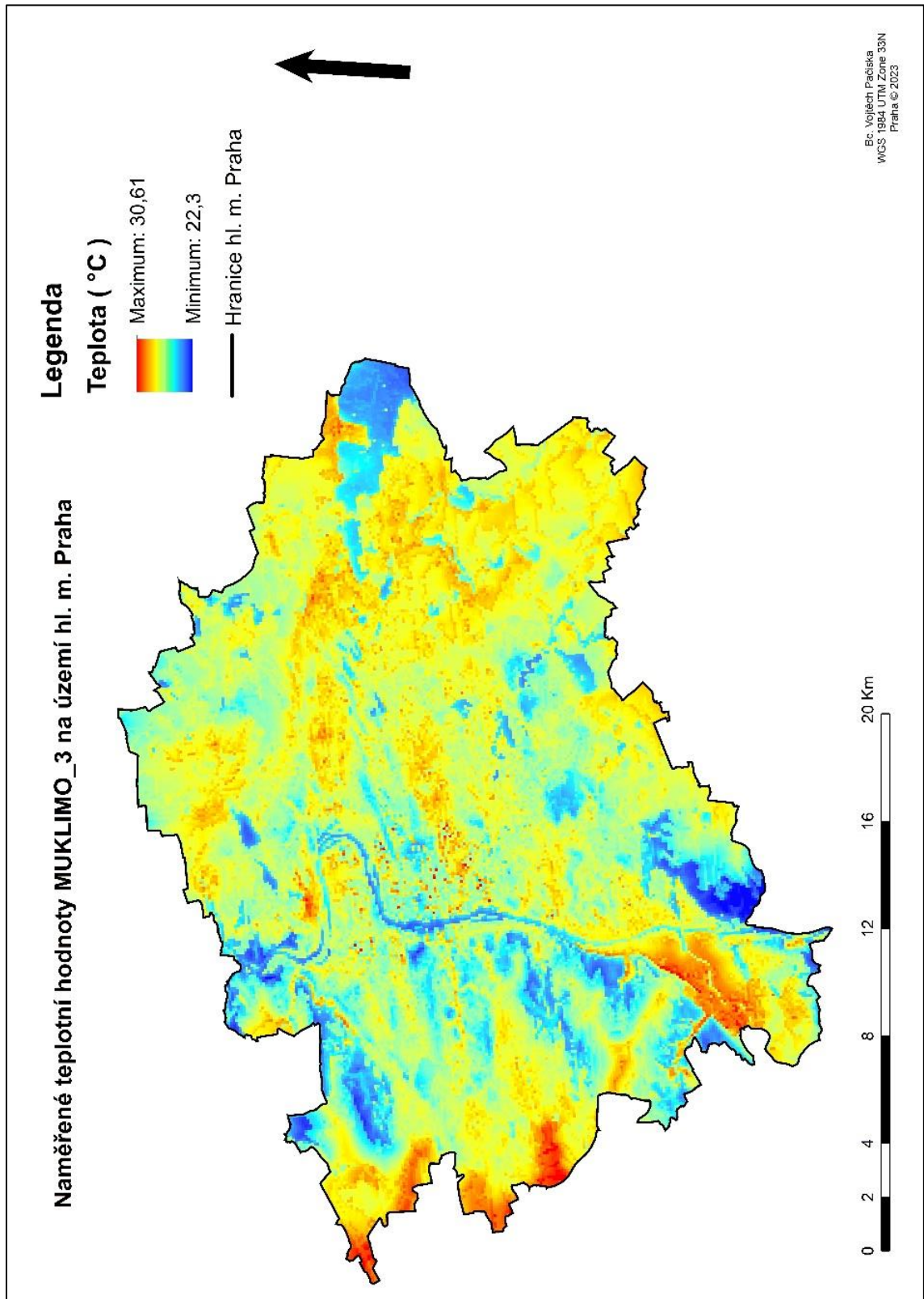
Příloha č. 9 Naměřené hodnoty teplot vzduchu z modelu MUKLIMO_3 v 9:00 (autor).



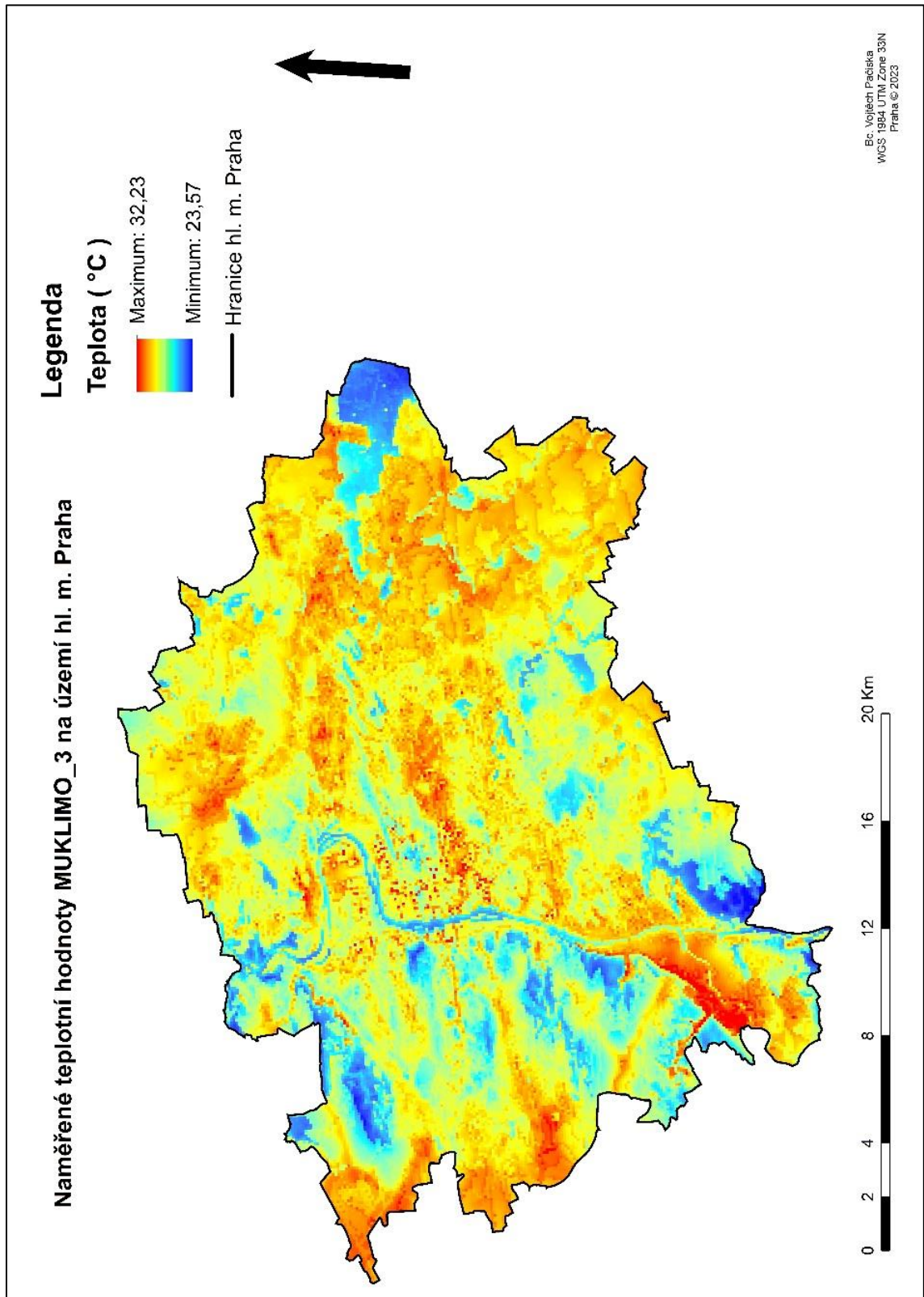
Příloha č. 10 Naměřené hodnoty teplot vzduchu z modelu MUKLIMO_3 v 10:00 (autor).



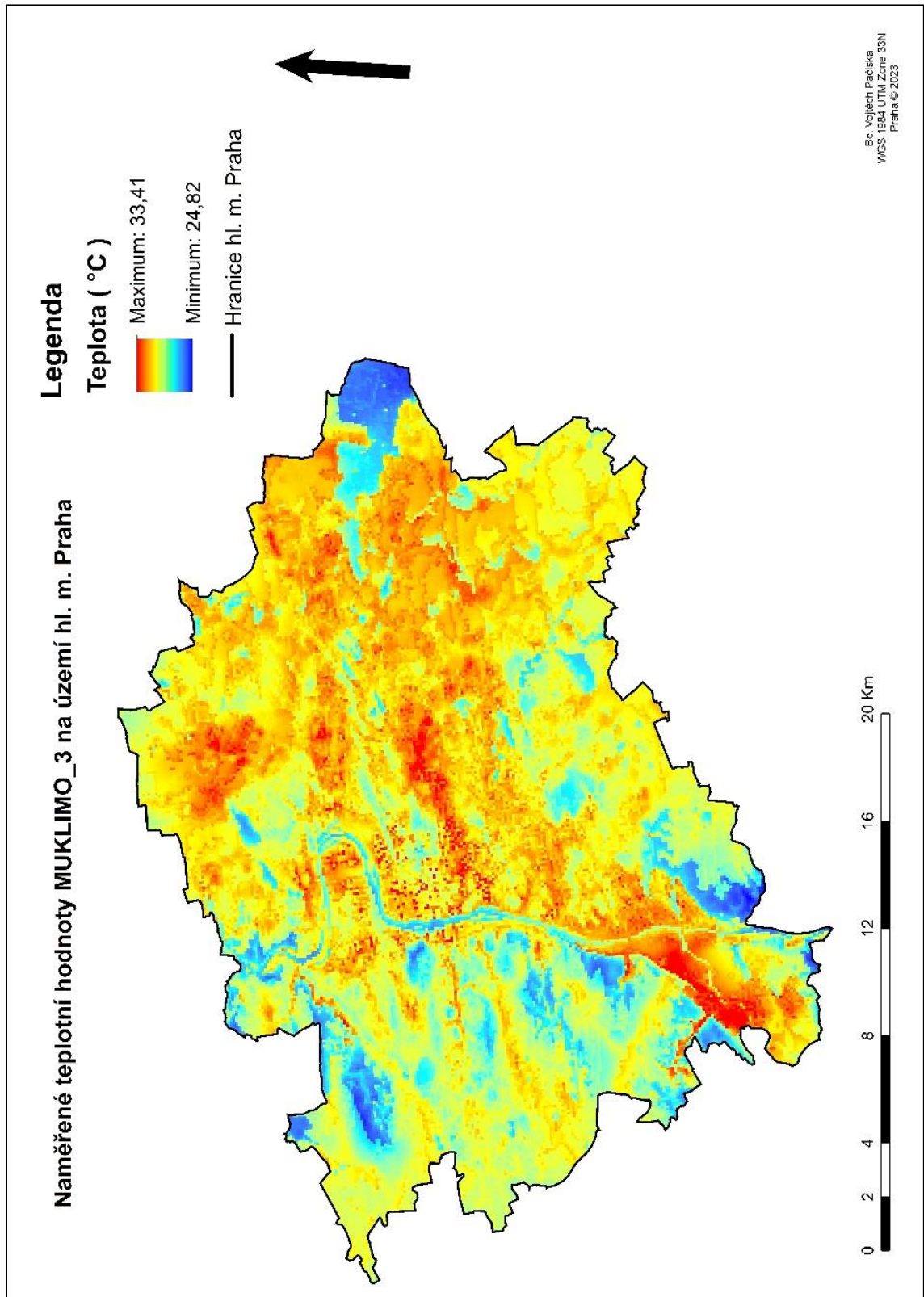
Příloha č. 11 Naměřené hodnoty teplot vzduchu z modelu MUKLIMO_3 v 11:00 (autor).



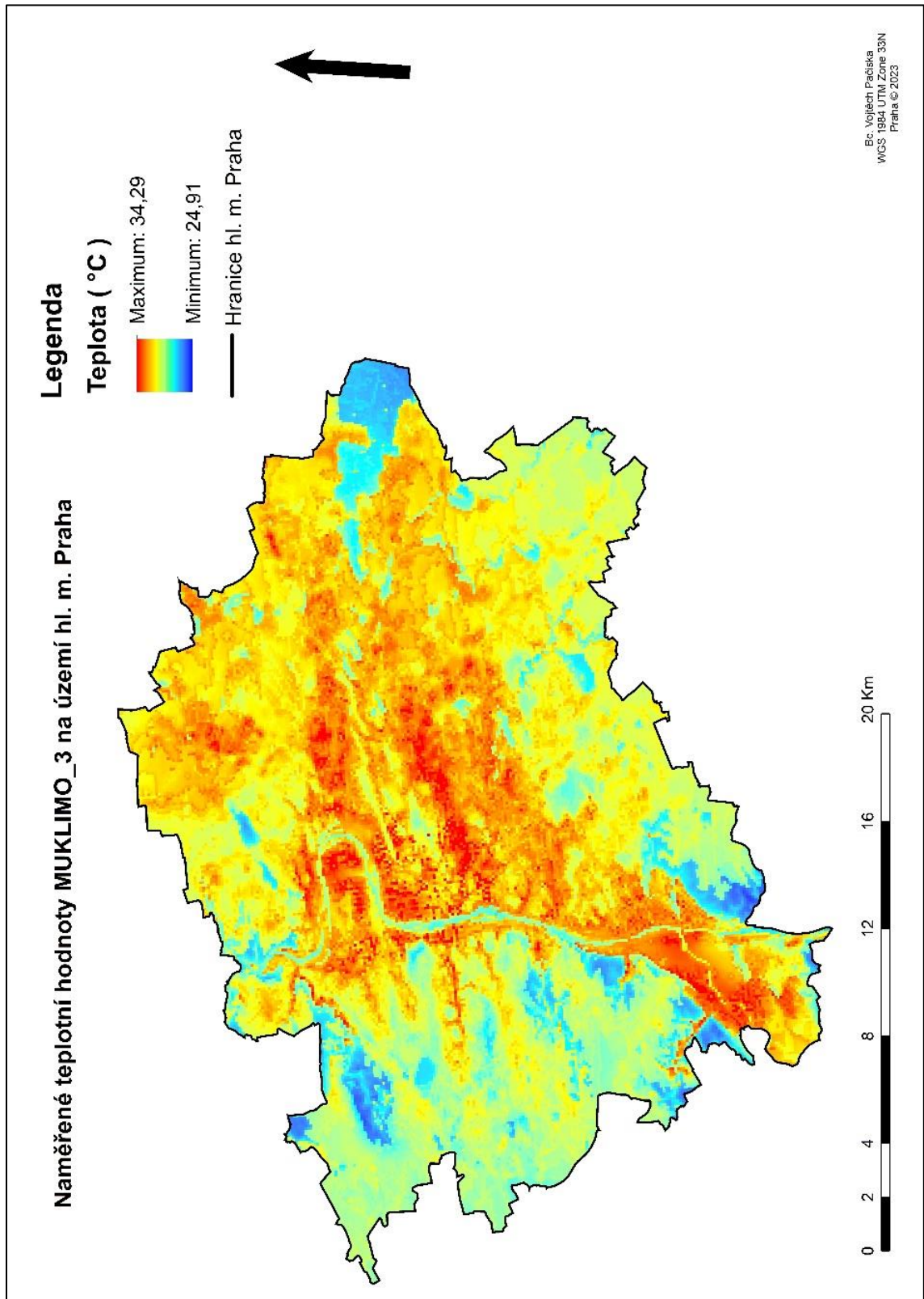
Příloha č. 12 Naměřené hodnoty teplot vzduchu z modelu MUKLIMO_3 ve 12:00 (autor).



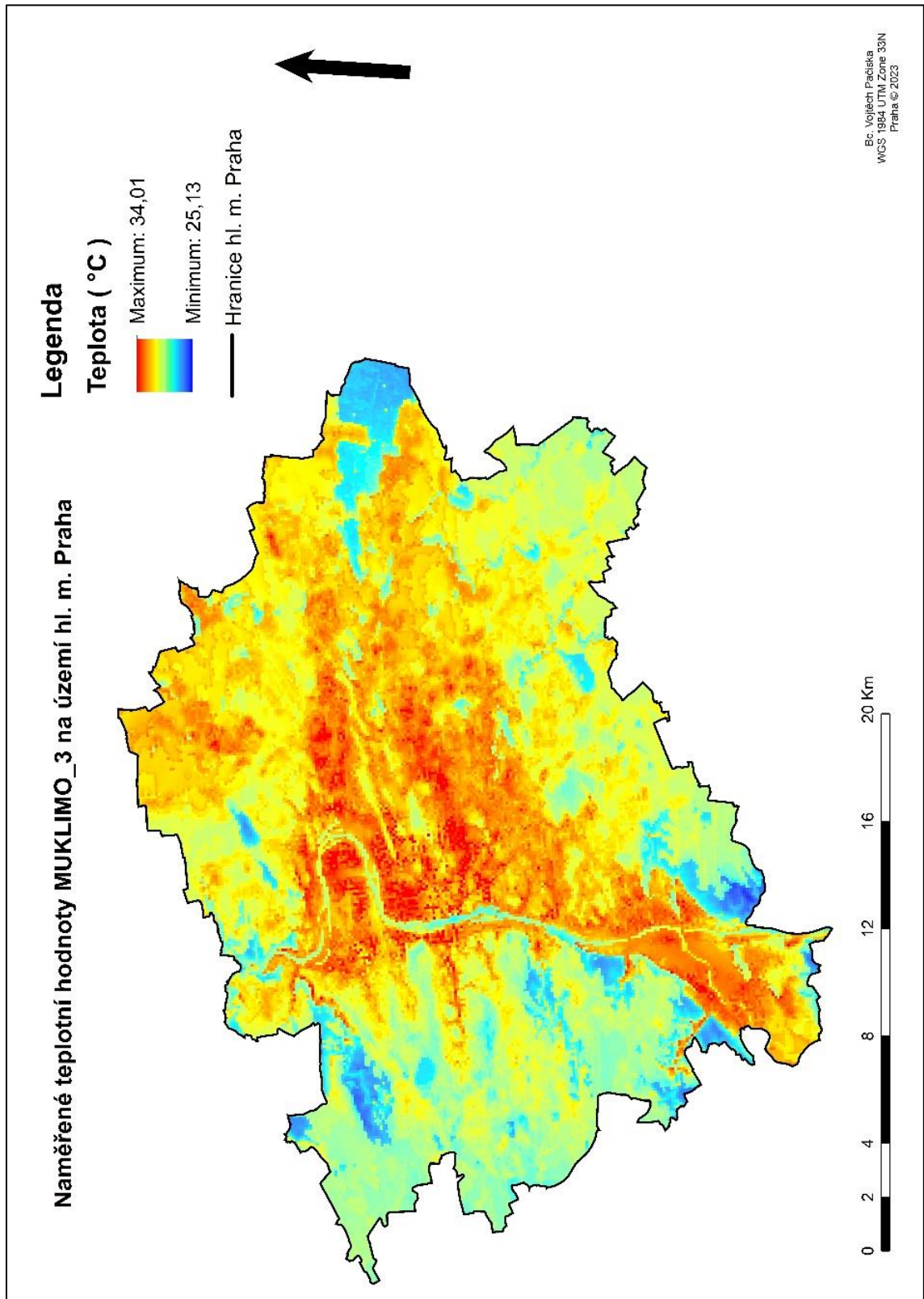
Příloha č. 13 Naměřené hodnoty teplot vzduchu z modelu MUKLIMO_3 ve 13:00 (autor).



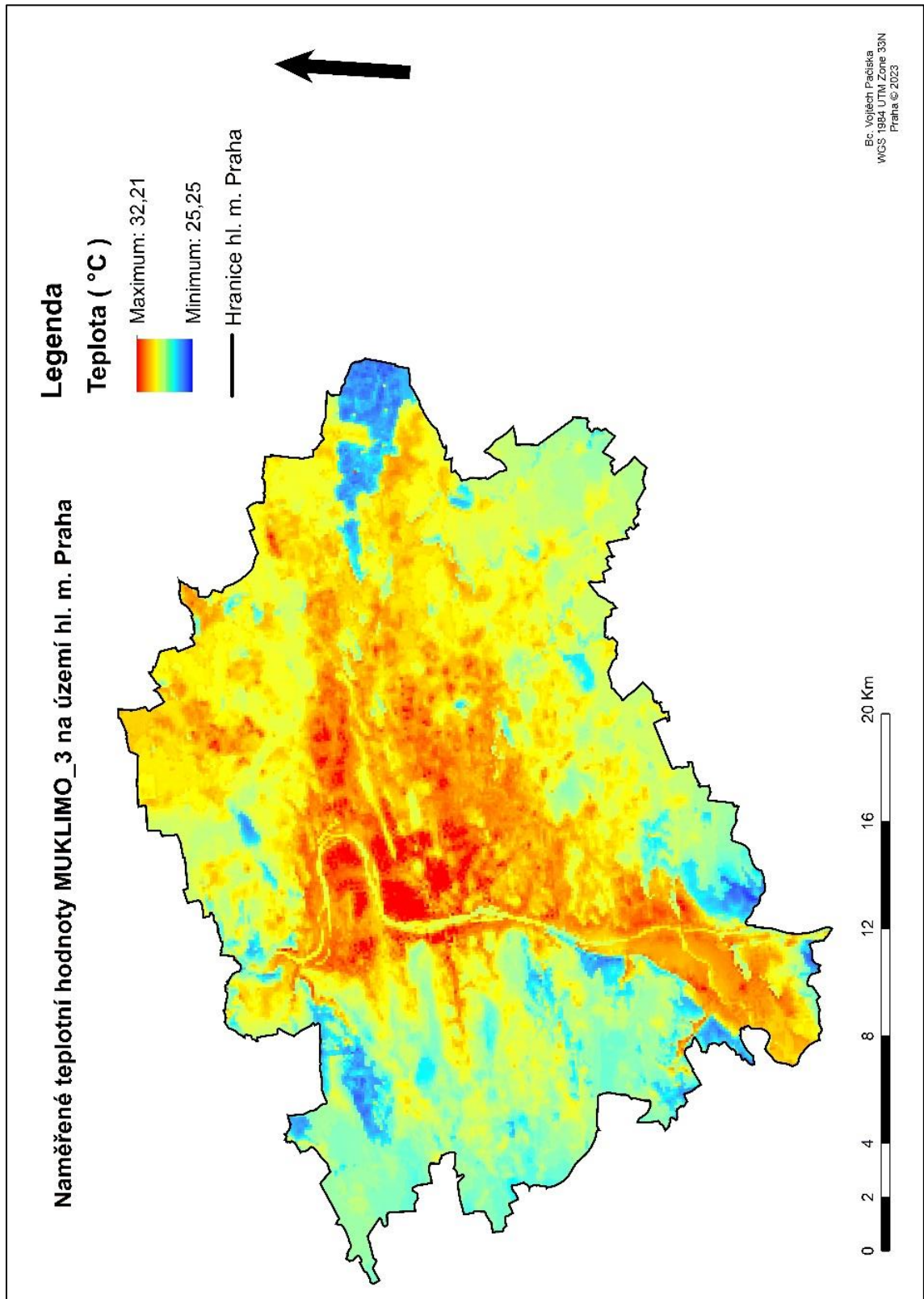
Příloha č. 14 Naměřené hodnoty teplot vzduchu z modelu MUKLIMO_3 ve 14:00 (autor).



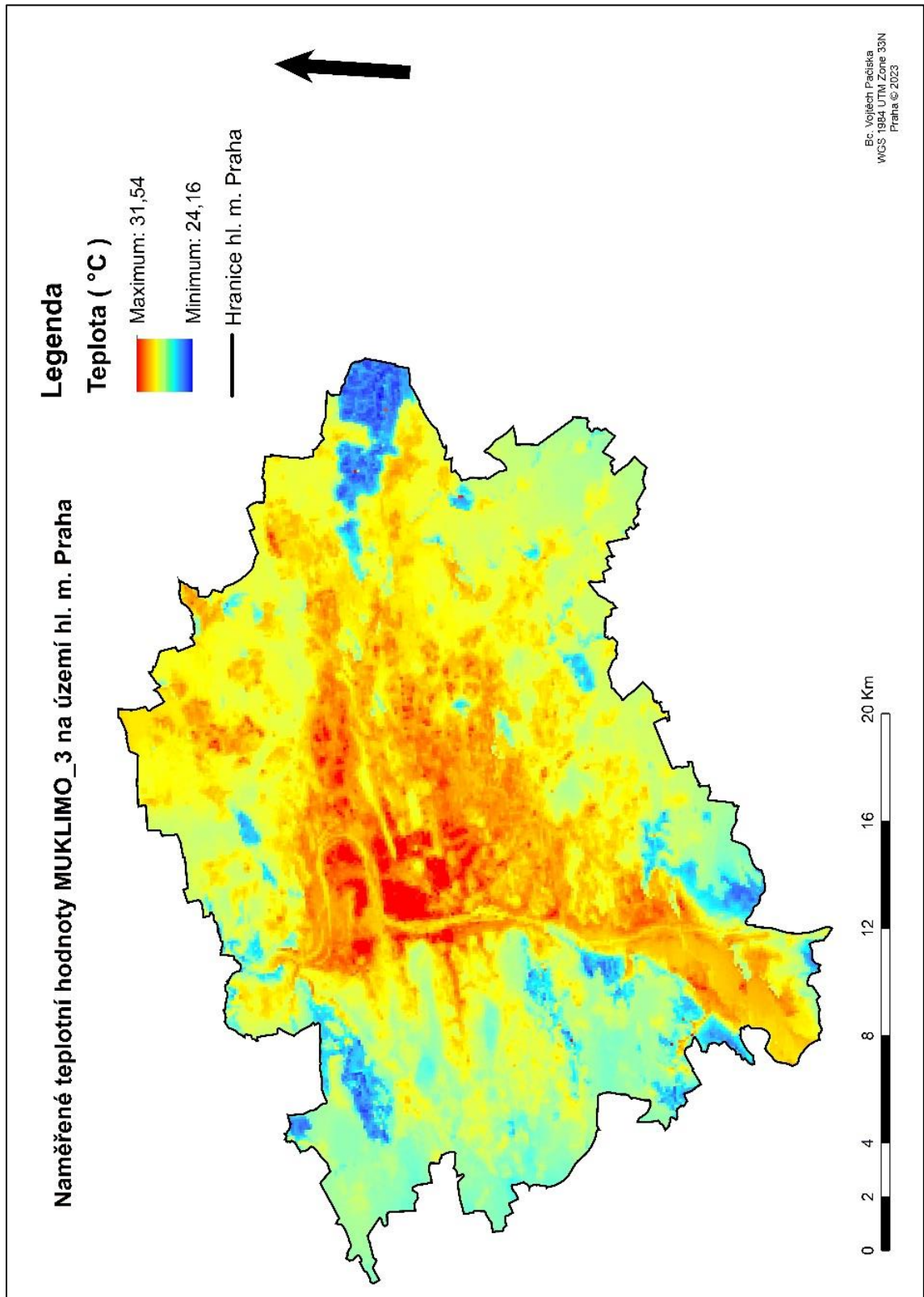
Příloha č. 15 Naměřené hodnoty teplot vzduchu z modelu MUKLIMO_3 v 15:00 (autor).



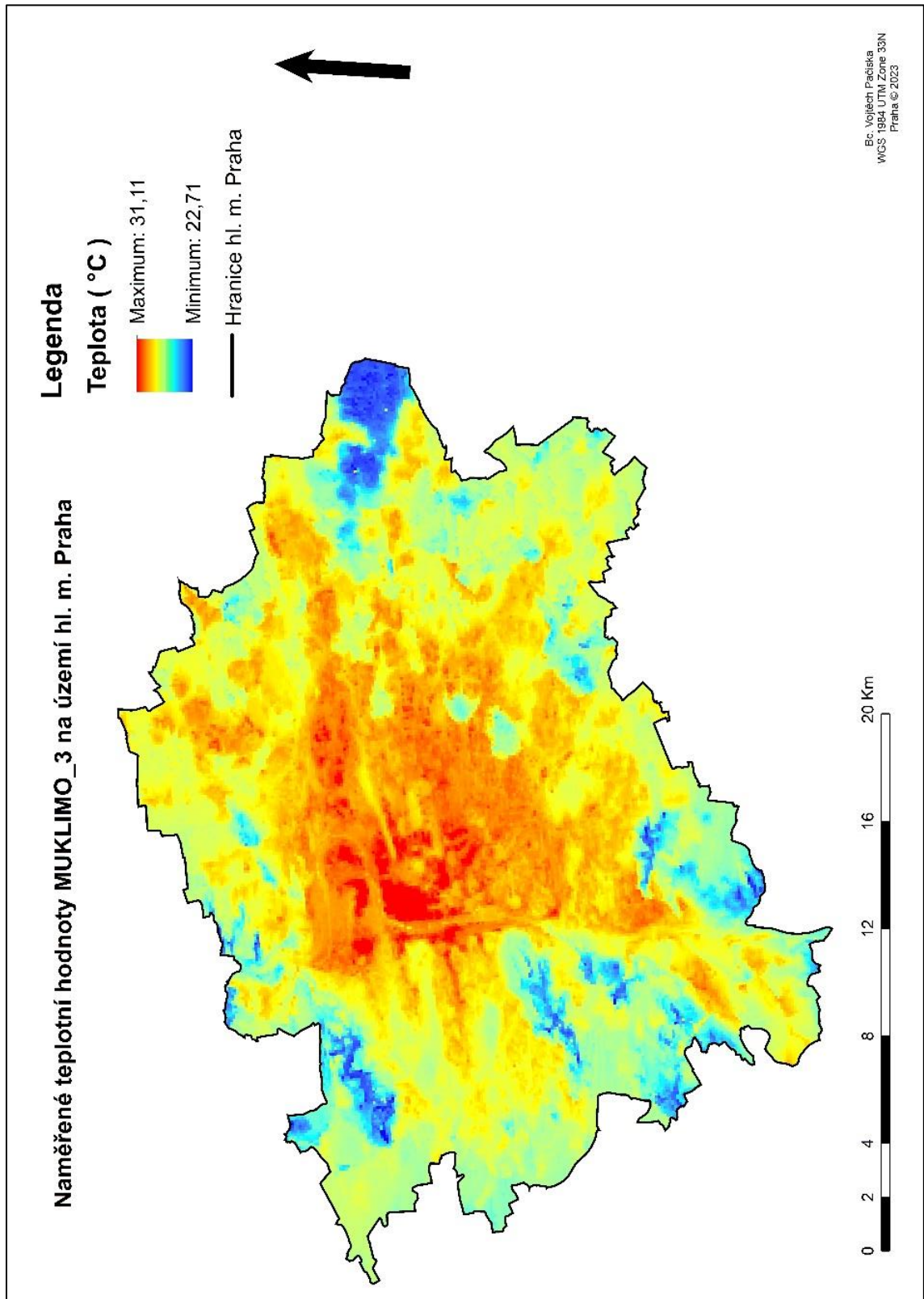
Příloha č. 16 Naměřené hodnoty teplot vzduchu z modelu MUKLIMO_3 v 16:00 (autor).



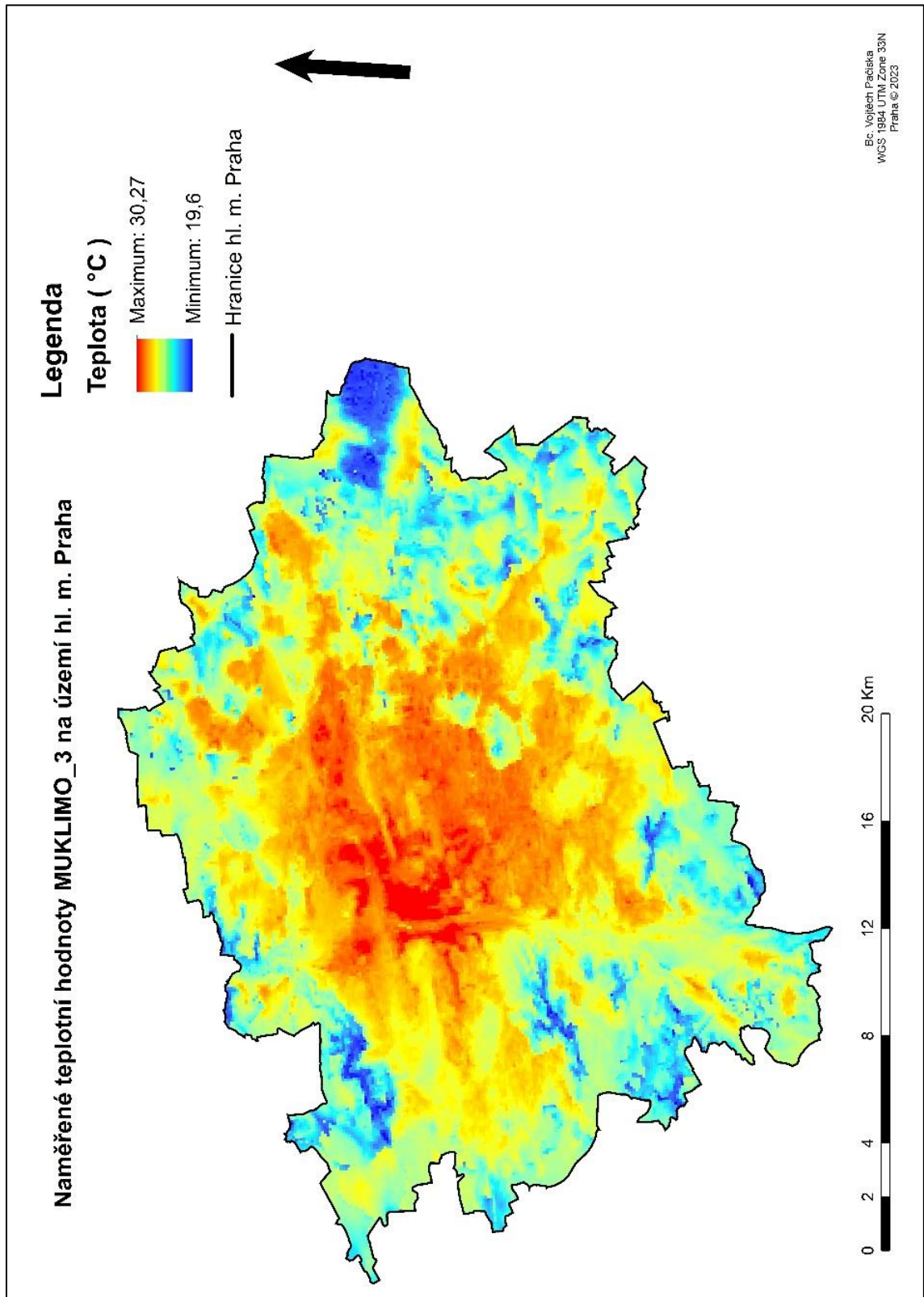
Příloha č. 17 Naměřené hodnoty teplot vzduchu z modelu MUKLIMO_3 v 18:00 (autor).



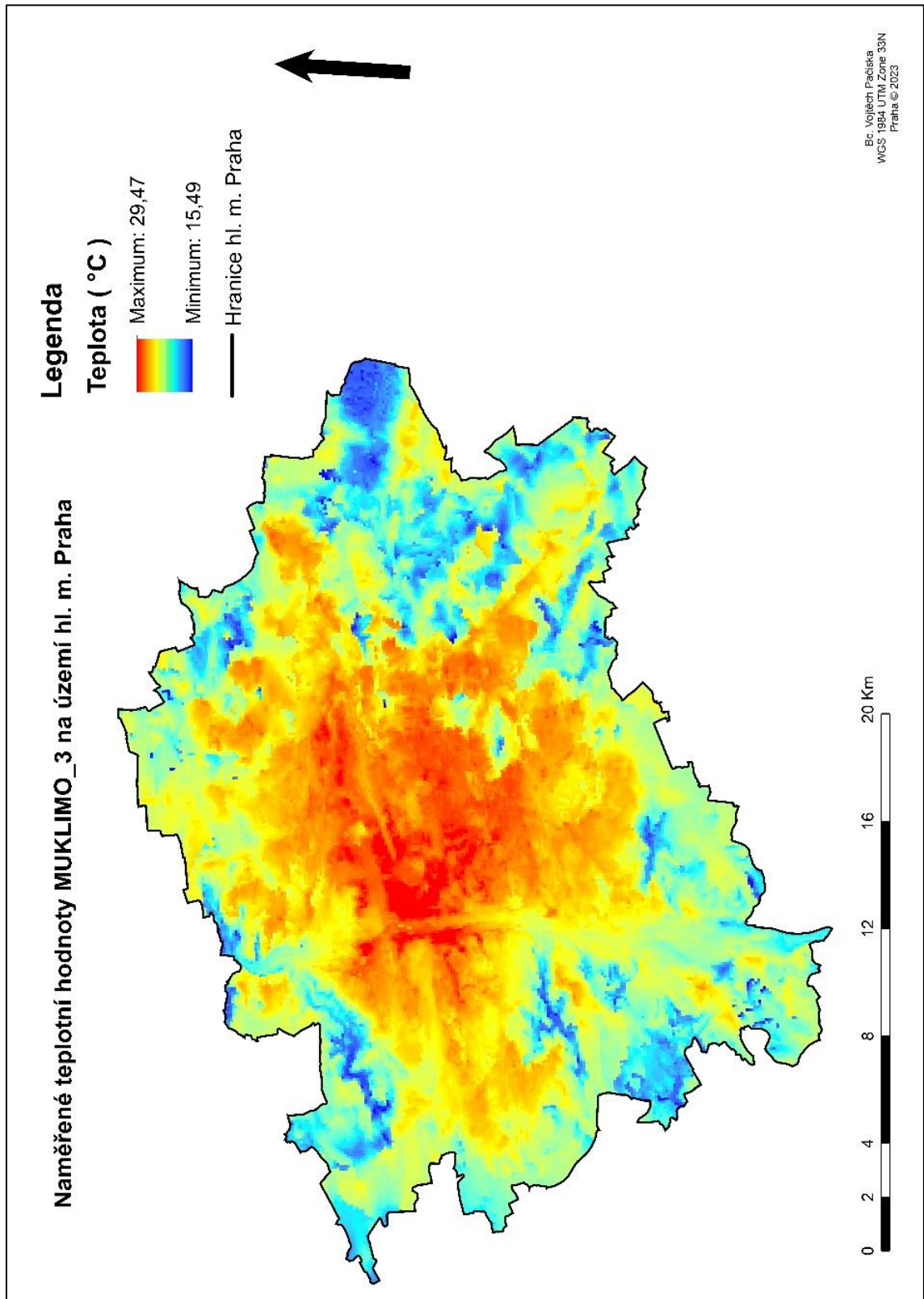
Příloha č. 18 Naměřené hodnoty teplot vzduchu z modelu MUKLIMO_3 v 19:00 (autor).



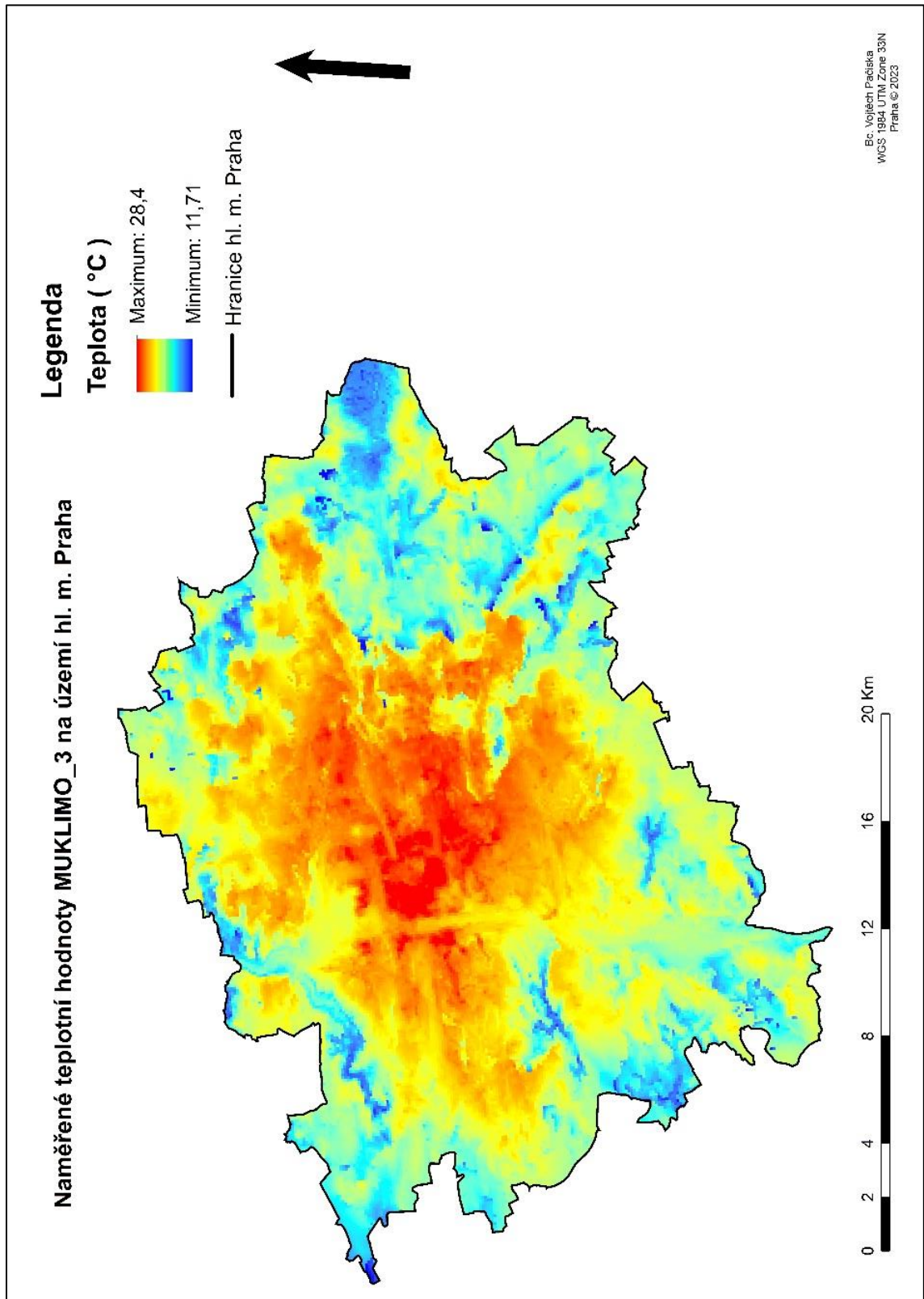
Příloha č. 19 Naměřené hodnoty teplot vzduchu z modelu MUKLIMO_3 ve 20:00 (autor).



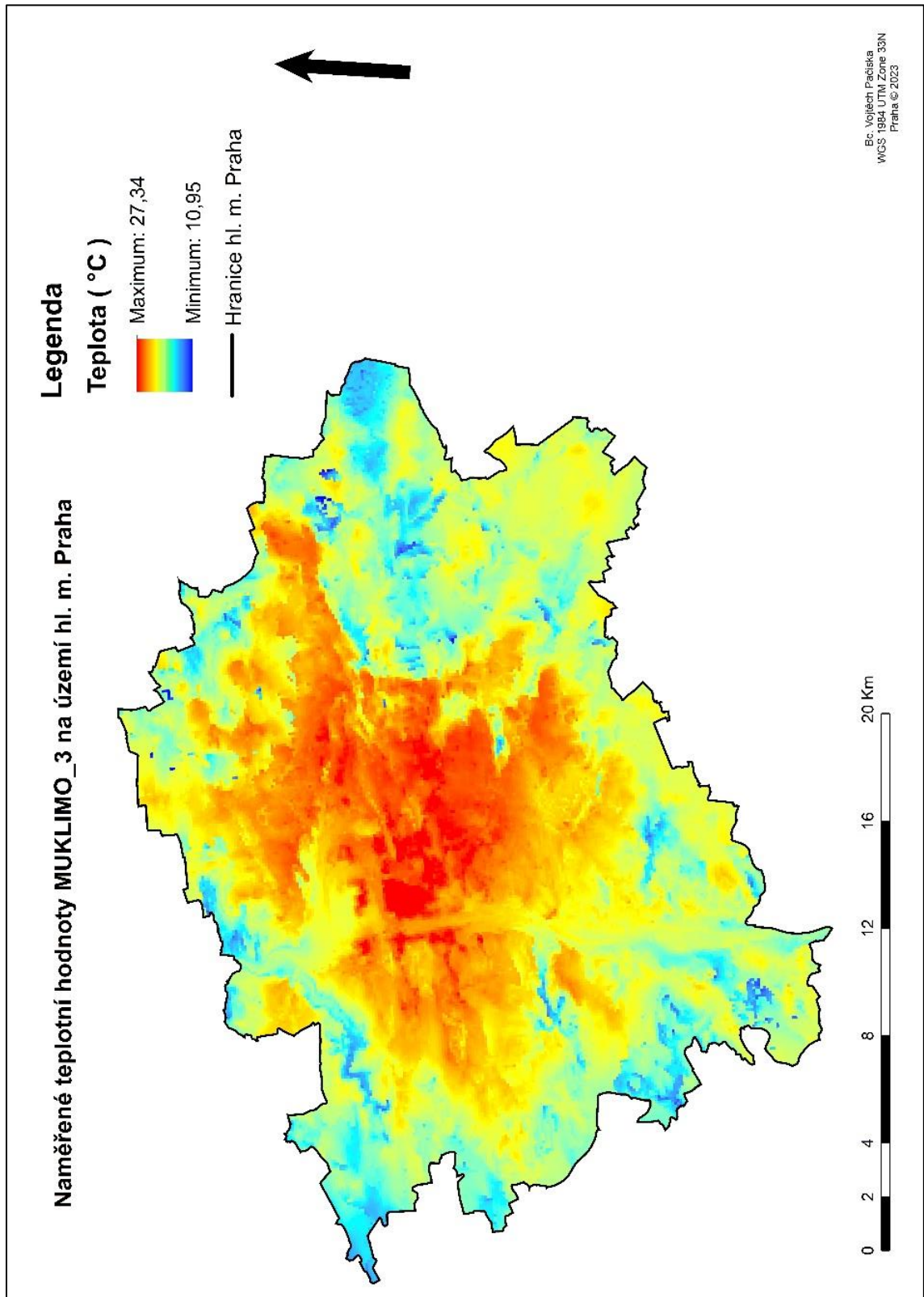
Příloha č. 20 Naměřené hodnoty teploty vzduchu z modelu MUKLIMO_3 ve 21:00 (autor).



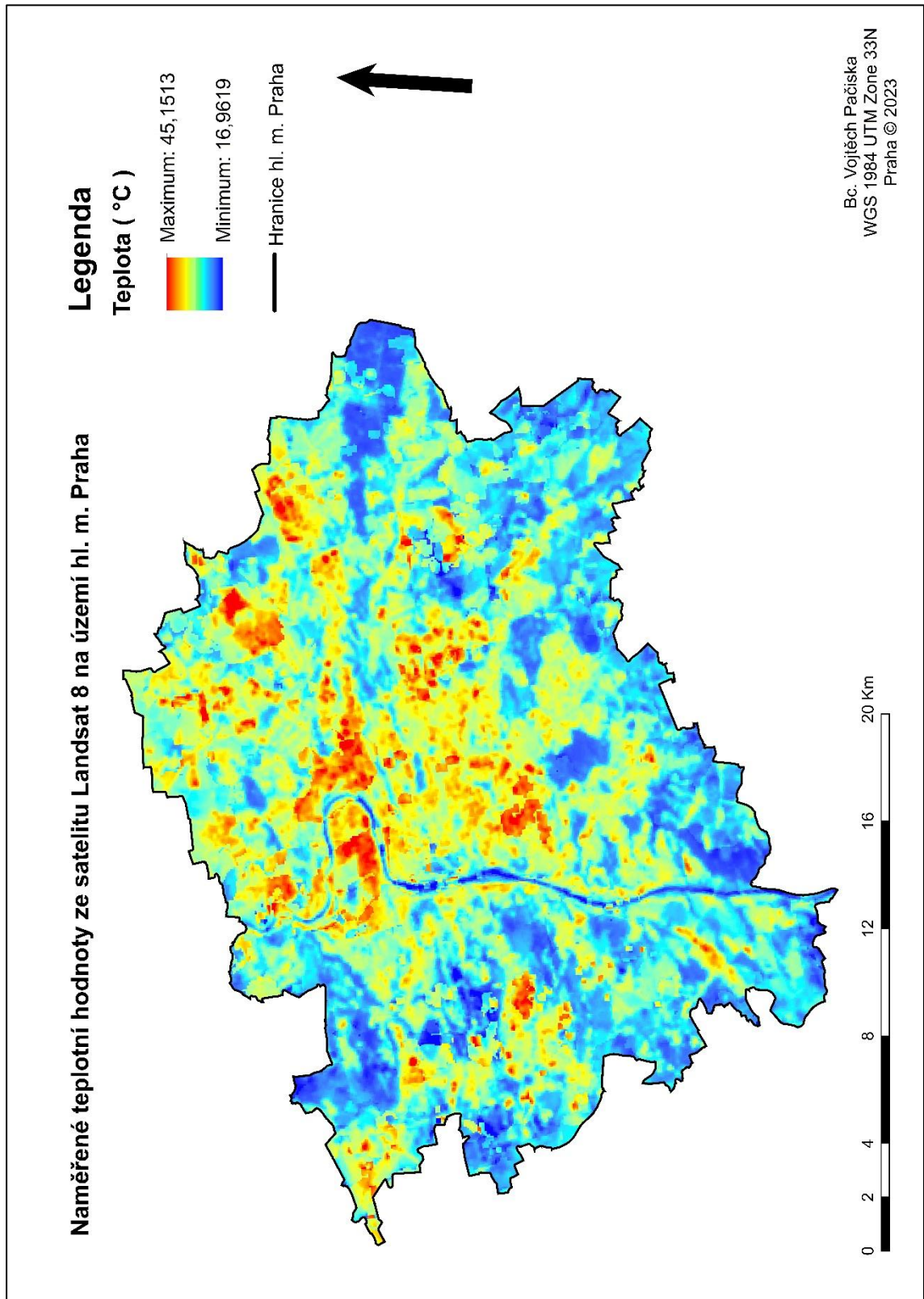
Příloha č. 21 Naměřené hodnoty teplot vzduchu z modelu MUKLIMO_3 ve 22:00 (autor).



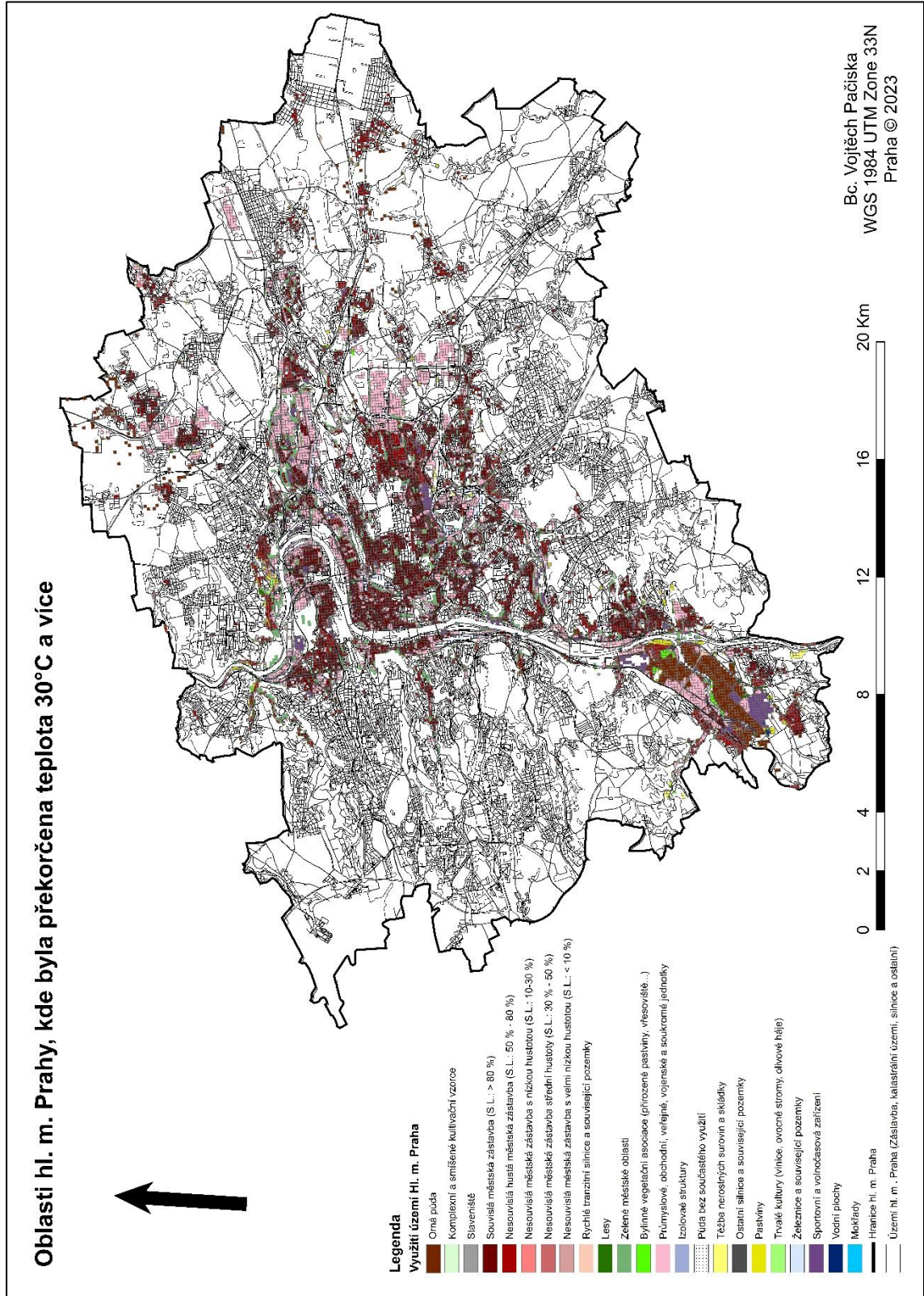
Příloha č. 22 Naměřené hodnoty teplot vzduchu z modelu MUKLIMO_3 ve 23:00 (autor).



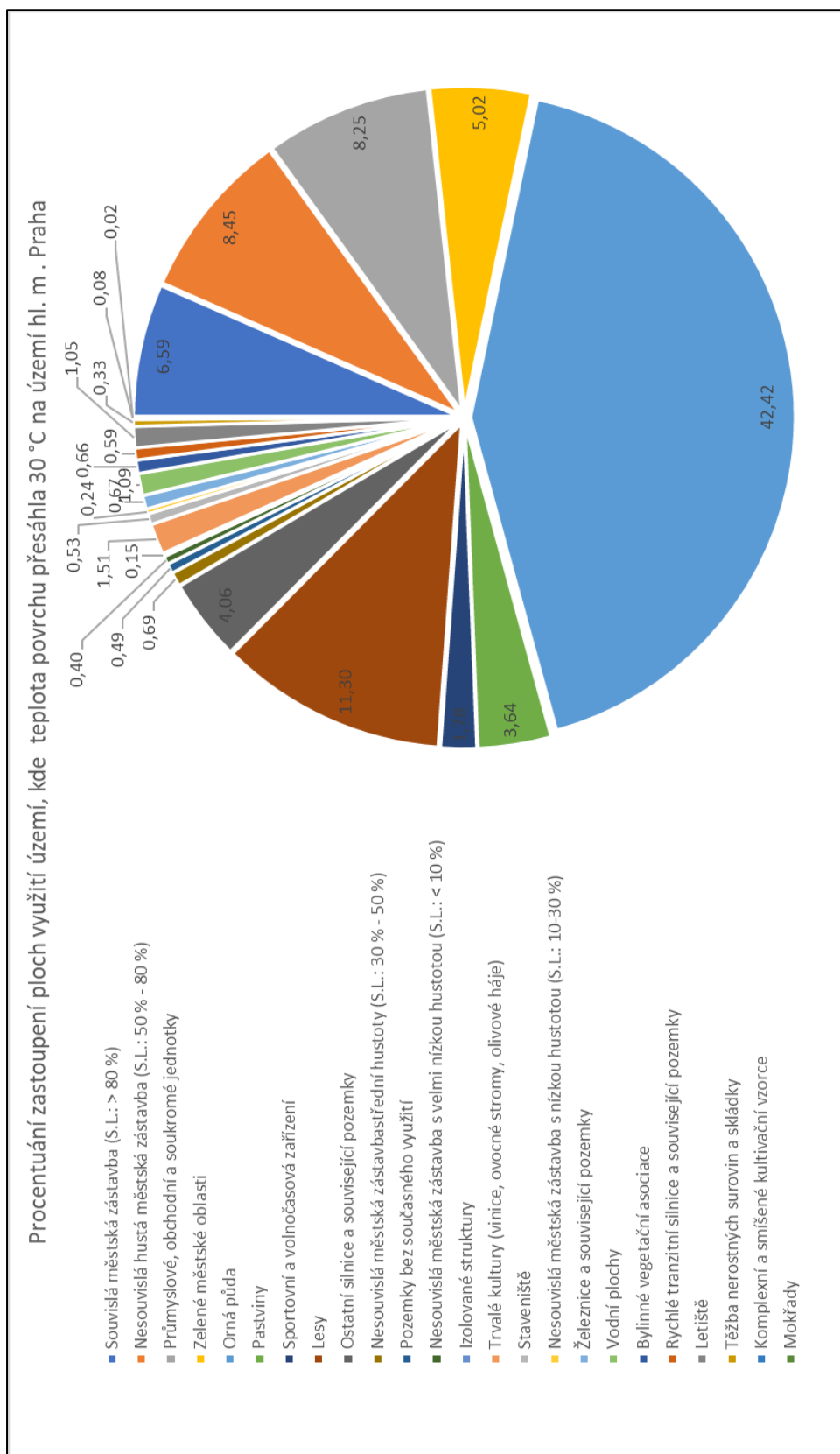
Příloha č. 23 Naměřené hodnoty teplot vzduchu z modelu MUKLIMO_3 ve 23:59 (autor).



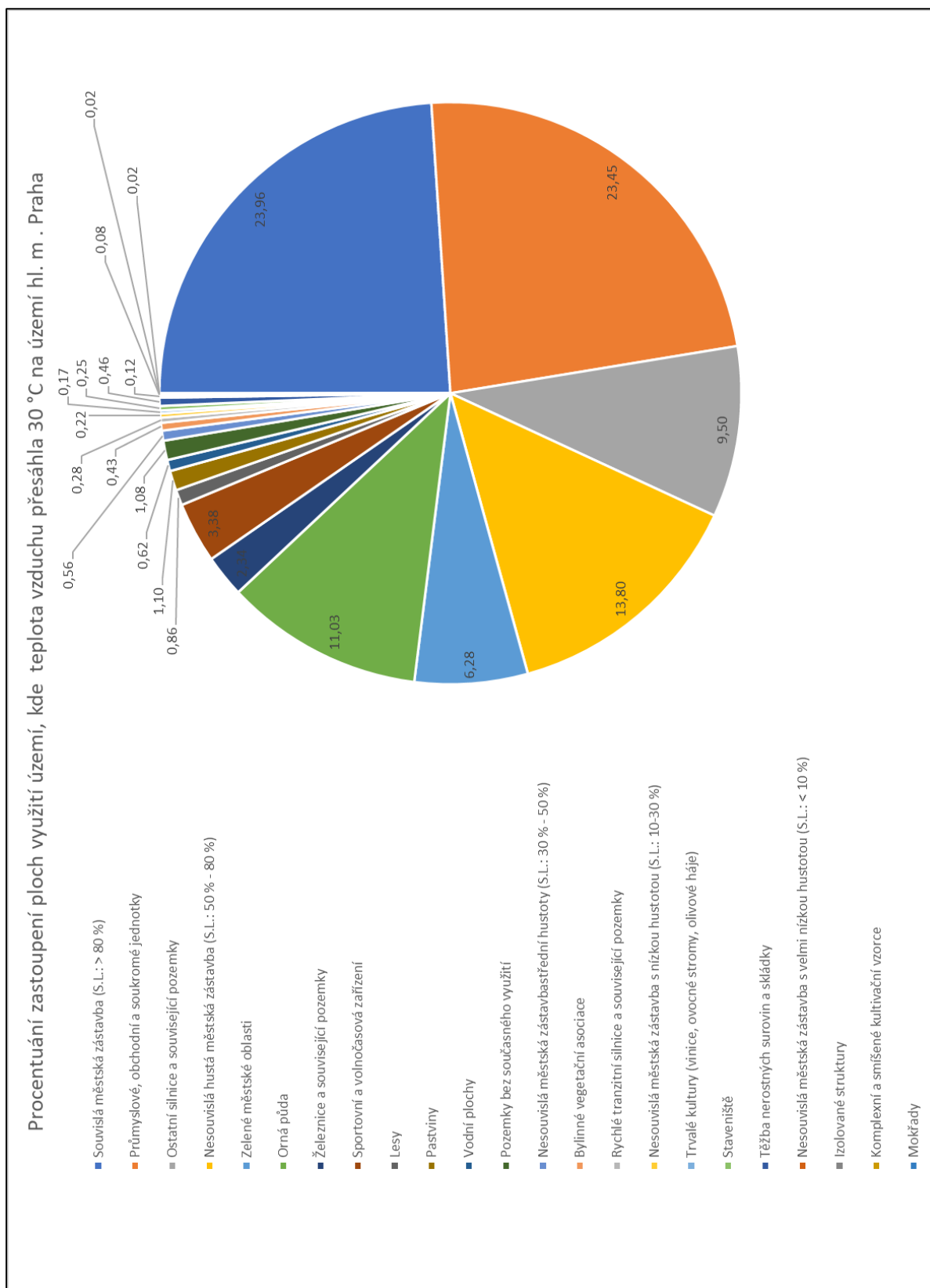
Příloha č. 24 Naměřené vstupní teplotní hodnoty ze satelitního snímku Landsat 8 na území hl. m. Praha (autor).



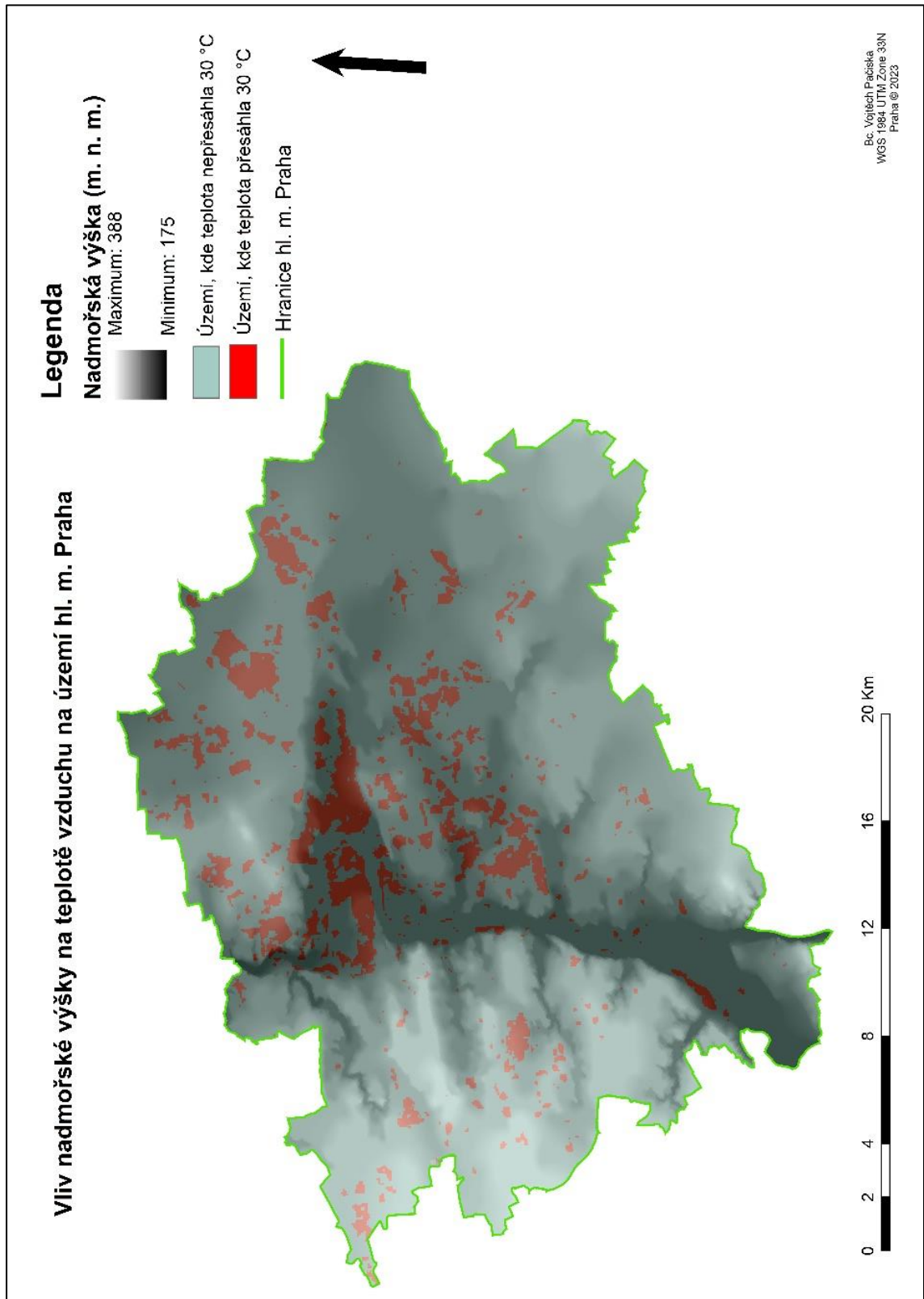
Příloha č. 25 Oblasti hl. m. Prahy, kde byla překročena teplota vzduchu 30°C a více (autor).



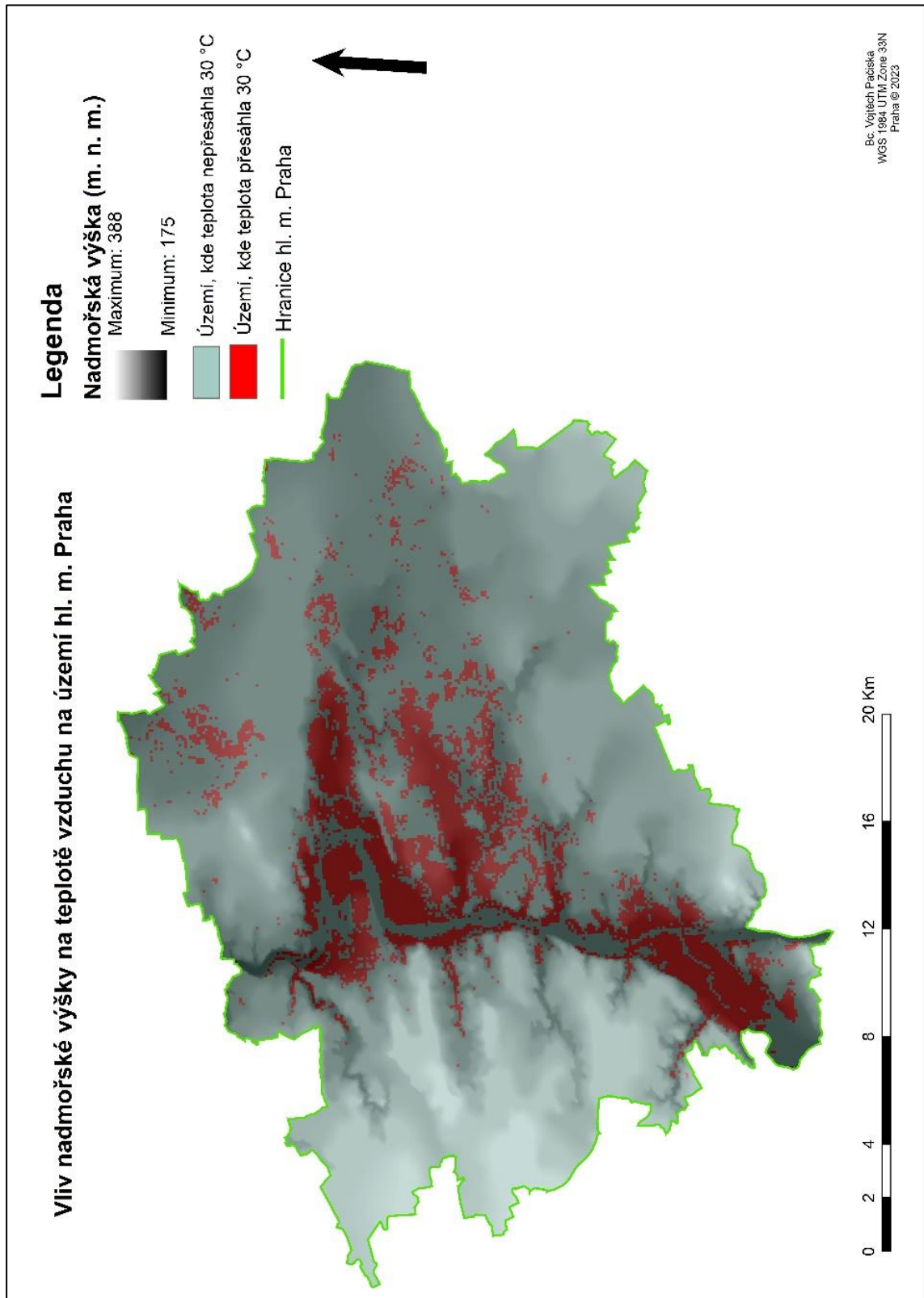
Příloha č. 26 Procentuální zastoupení ploch využití území, kde teplota povrchu přesáhla 30 °C na území Prahy (autor).



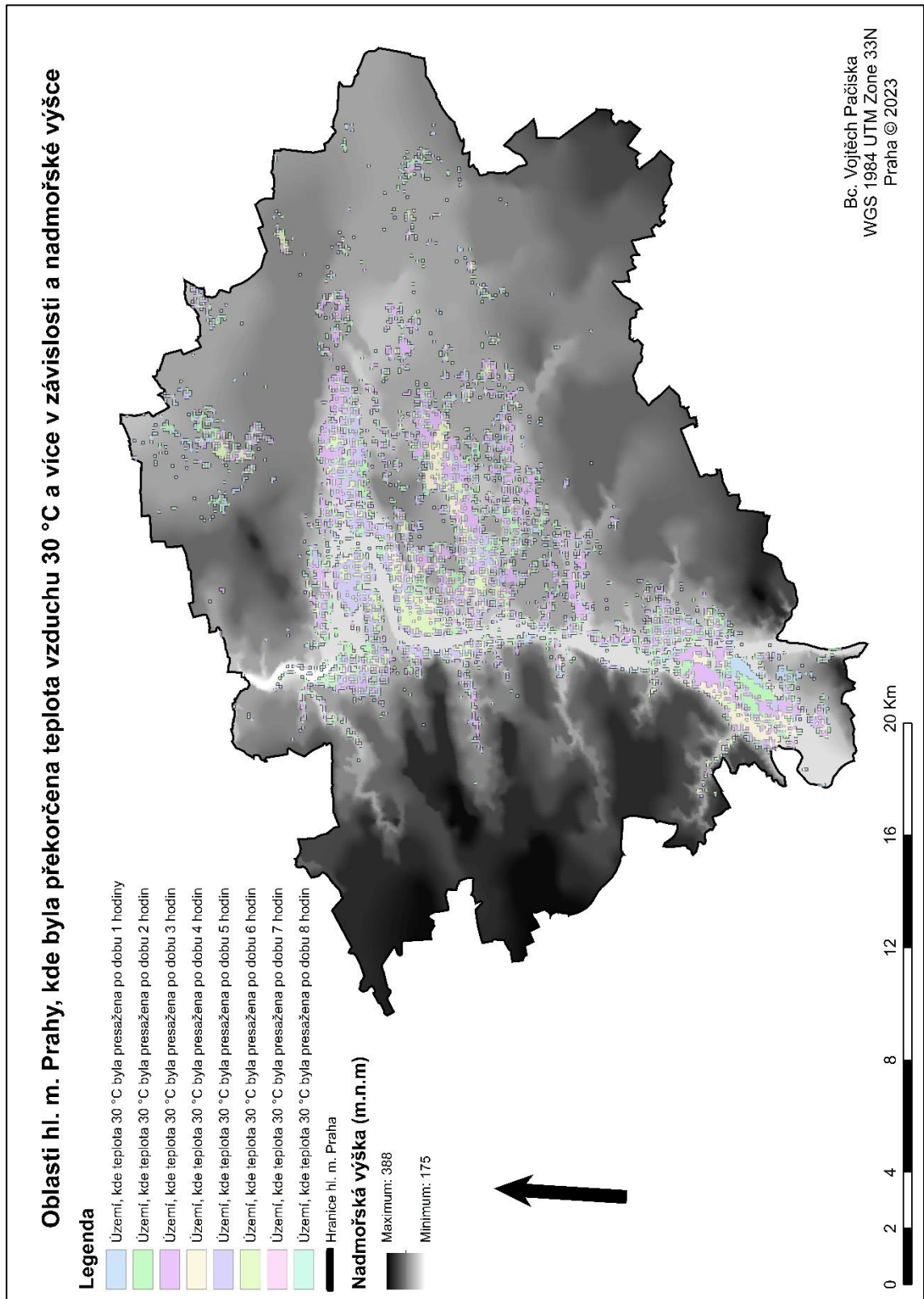
Příloha č. 27 Procentuální zastoupení ploch využití území, kde teplota vzduchu přesáhla 30 °C na území Prahy (autor).



Příloha č. 28 Vliv nadmořské výšky na teplotě povrchu na území hl. m. Praha (autor).



Příloha č. 29 Vliv nadmořské výšky na teplotě vzduchu na území hl. m. Praha (autor).



Příloha č. 30 Oblasti hl. m. Prahy, kde byla překročena teplota vzduchu 30°C a více v závislosti a nadmořské výšce (autor).

Třída využití území	Průmětná teplota (°C)	Maximální teplota (°C)	Minimální teplota (°C)
Souvislá městská zástavba (s hustotou zástavby > 80 %)	29,22	34,29	24,05
Nesouvislá hustá městská zástavba (s hustotou zástavby 50 % - 80 %)	29,04	34,14	23,11
Ostatní sílnice a související pozemky	29,64	34,86	22,29
Orná půda	28,21	31,26	22,41
Lesy	28,23	31,04	22,06
Trvalé kultury	28,25	31,6	21,13

Příloha č. 31 Výběr dat sledovaných teplotních průměrů, maxim a minim na vybraných třídách využití území (autor).