

Analýza zranitelnosti hl.m. Prahy – mapové výstupy

I. etapa „Doplnění analytických podkladů a prostorová analýza zranitelnosti“ řešení v rámci veřejné zakázky „Vyhotovení podkladů pro přípravu Implementačního plánu Strategie adaptace HMP na klimatickou změnu“, dle smlouvy INO/54/09/012713/2017

Zpracoval:

Ústav výzkumu globální změny AV ČR, v.v.i.

Oddělení společenského rozměru globální změny

Listopad 2017



Obsah zprávy

1. Úvod	4
2. Metodologický přístup k hodnocení zranitelnosti a použitá data	5
3. Simulace horkých dní na území hl.m. Prahy	9
3.1 Tepelný ostrov hl.m. Prahy	9
3.2 Modelování teploty vzduchu	10
3.3 Výsledky simulací	17
4. Prostorové hodnocení zranitelnosti	41
4.1 Hodnocení zranitelnosti vůči teplotním extrémům	41
4.2 Expozice zranitelné populace vůči teplotním extrémům	45
4.3 Hodnocení zranitelnosti vůči extrémním srážkám a nedostatečnému zasakování	53
5. Shrnutí	57
Použitá literatura:	58

Seznam tabulek:

Tabulka 1: Datové zdroje použité pro hodnocení zranitelnosti hl.m. Prahy vůči teplotním extrémům	6
Tabulka 2: Datové zdroje použité pro hodnocení zranitelnosti hl.m. Prahy vůči nedostatečnému zasakování a extrémním srážkám	7
Tabulka 3: Přehled základních vlastností vybraných tříd	17

Seznam obrázků:

Obrázek 1: Metodický rámec hodnocení zranitelnosti	5
Obrázek 2: Podíl plochy „buňky“ o velikosti 100 × 100 m zastavěný budovami v %	11
Obrázek 3: Podíl plochy „buňky“ o velikosti 100 × 100 m pokrytý nepropustnými povrchy v %	12
Obrázek 4: Hustota plochy listů (tzv. Tree Cover Density) v „buňce“ o velikosti 100 × 100 m; v %	13
Obrázek 5: Podíl plochy stěn budovy a plochy půdorysu v „buňce“ o velikosti 100 × 100 m	14
Obrázek 6: Průměrná výška budov v „buňce“ o velikosti 100 × 100 m; v m	15
Obrázek 7: Průměrná výška stromů a keřů v „buňce“ o velikosti 100 × 100 m; v m	16
Obrázek 8: Časová variabilita chodu teploty vzduchu v LC01	18
Obrázek 9: Průměrná teplota vzduchu ve vybraných třídách 1.8.2017 ve 12:00 CEST	19
Obrázek 10: Časová variabilita chodu teploty vzduchu v LC03	20
Obrázek 11: Průměrná teplota vzduchu ve vybraných třídách 1.8.2017 ve 24:00 CEST (00:00 2.8.2017)	20
Obrázek 12: Časová variabilita chodu teploty vzduchu v LC04	21
Obrázek 13: Časová variabilita chodu teploty vzduchu v LC05	22
Obrázek 14: Časová variabilita chodu teploty vzduchu v LC08	23
Obrázek 15: Časová variabilita chodu teploty vzduchu v LC10	24
Obrázek 16: Časová variabilita chodu teploty vzduchu v LC12	25
Obrázek 17: Časová variabilita chodu teploty vzduchu v LC26	26
Obrázek 18: Časová variabilita chodu teploty vzduchu v LC35	27

Obrázek 19: Časová variabilita chodu teploty vzduchu v LC42	28
Obrázek 20: Časová variabilita chodu teploty vzduchu v LC45	29
Obrázek 21: Prostorové rozložení teploty vzduchu na území hl.m. Prahy v 16:00 CEST (1.8.2017)	30
Obrázek 22: Prostorové rozložení teploty vzduchu na území hl.m. Prahy v 17:00 CEST (1.8.2017)	31
Obrázek 23: Prostorové rozložení teploty vzduchu na území hl.m. Prahy v 18:00 CEST (1.8.2017)	32
Obrázek 24: Prostorové rozložení teploty vzduchu na území hl.m. Prahy v 19:00 CEST (1.8.2017)	33
Obrázek 25: Prostorové rozložení teploty vzduchu na území hl.m. Prahy v 20:00 CEST (1.8.2017)	34
Obrázek 26: Prostorové rozložení teploty vzduchu na území hl.m. Prahy v 21:00 CEST (1.8.2017)	35
Obrázek 27: Prostorové rozložení teploty vzduchu na území hl.m. Prahy v 22:00 CEST (1.8.2017)	36
Obrázek 28: Prostorové rozložení teploty vzduchu na území hl.m. Prahy v 23:00 CEST (1.8.2017)	37
Obrázek 29: Prostorové rozložení teploty vzduchu na území hl.m. Prahy v 00:00 CEST (2.8.2017)	38
Obrázek 30: Prostorové rozložení teploty vzduchu na území hl.m. Prahy v 01:00 CEST (2.8.2017)	39
Obrázek 31: Prostorové rozložení teploty vzduchu na území hl.m. Prahy v 02:00 CEST (2.8.2017)	40
Obrázek 32: Zranitelná populace (do 14 let a nad 65 let) – současný stav a prognóza pro rok 2030	41
Obrázek 33: Celkové potenciální dopady – vlny horka (současnost a RCP 4.5 a RCP 8.5 - 2030)	42
Obrázek 34: Zranitelnost – vlny horka (současnost)	43
Obrázek 35: Zastoupení tříd zranitelnosti - vlny horka (současný stav a RCP 4.5, RCP 8.5 pro 2030.	44
Obrázek 36: Zranitelnost – vlny horka (RCP 4.5, 2030)	44
Obrázek 37: Zranitelnost – vlny horka (RCP 8.5, 2030)	45
Obrázek 38: Zranitelná populace 0-14 let	46
Obrázek 39: Zranitelná populace 65+ let	46
Obrázek 40: Expozice zranitelné populace v průběhu horkého dne (1.8.2017, 16:00 CEST)	47
Obrázek 41: Expozice zranitelné populace v průběhu horkého dne (1.8.2017, 17:00 CEST)	48
Obrázek 42: Expozice zranitelné populace v průběhu horkého dne (1.8.2017, 18:00 CEST)	48
Obrázek 43: Expozice zranitelné populace v průběhu horkého dne (1.8.2017, 19:00 CEST)	49
Obrázek 44: Expozice zranitelné populace v průběhu horkého dne (1.8.2017, 20:00 CEST)	49
Obrázek 45: Expozice zranitelné populace v průběhu horkého dne (1.8.2017, 21:00 CEST)	50
Obrázek 46: Expozice zranitelné populace v průběhu horkého dne (1.8.2017, 22:00 CEST)	50
Obrázek 47: Expozice zranitelné populace v průběhu horkého dne (1.8.2017, 23:00 CEST)	51
Obrázek 48: Expozice zranitelné populace v průběhu horkého dne (2.8.2017, 0:00 CEST)	51
Obrázek 49: Expozice zranitelné populace v průběhu horkého dne (2.8.2017, 1:00 CEST)	52
Obrázek 50: Expozice zranitelné populace v průběhu horkého dne (2.8.2017, 2:00 CEST)	52
Obrázek 51: Celkové potenciální dopady – extrémní srážky (současnost a RCP 4.5 a RCP 8.5 - 2030)	53
Obrázek 52: Zranitelnost – extrémní srážky a nedostatečné zasakování (současnost)	54
Obrázek 53: Zastoupení tříd zranitelnosti – extrémní srážky (současnost, RCP 4.5 a RCP 8.5 pro 2030)	55
Obrázek 54: Zranitelnost – extrémní srážky a nedostatečné zasakování (RCP 4.5, 2030)	55
Obrázek 55: Zranitelnost – extrémní srážky a nedostatečné zasakování (RCP 8.5, 2030)	56

1. Úvod

Tato zpráva přináší shrnutí výstupů realizovaných v rámci 1. etapy s názvem „Doplnění analytických podkladů a prostorová analýza zranitelnosti“ veřejné zakázky „Vyhotovení podkladů pro přípravu Implementačního plánu Strategie adaptace HMP na klimatickou změnu“, dle smlouvy INO/54/09/012713/2017.

První etapa „Doplnění analytických podkladů a analýzy zranitelnosti“ zahrnovala následující aktivity:

- A1.1 Rešerše odborné metodické literatury
- A1.2 Doplnění analytických podkladů
- A1.3 Kompilace socio-ekonomických dat
- A1.4 Downscale analýzy zranitelnosti - sběr dat
- A1.5 Downscale analýzy zranitelnosti - ArcGIS prostorová analýza

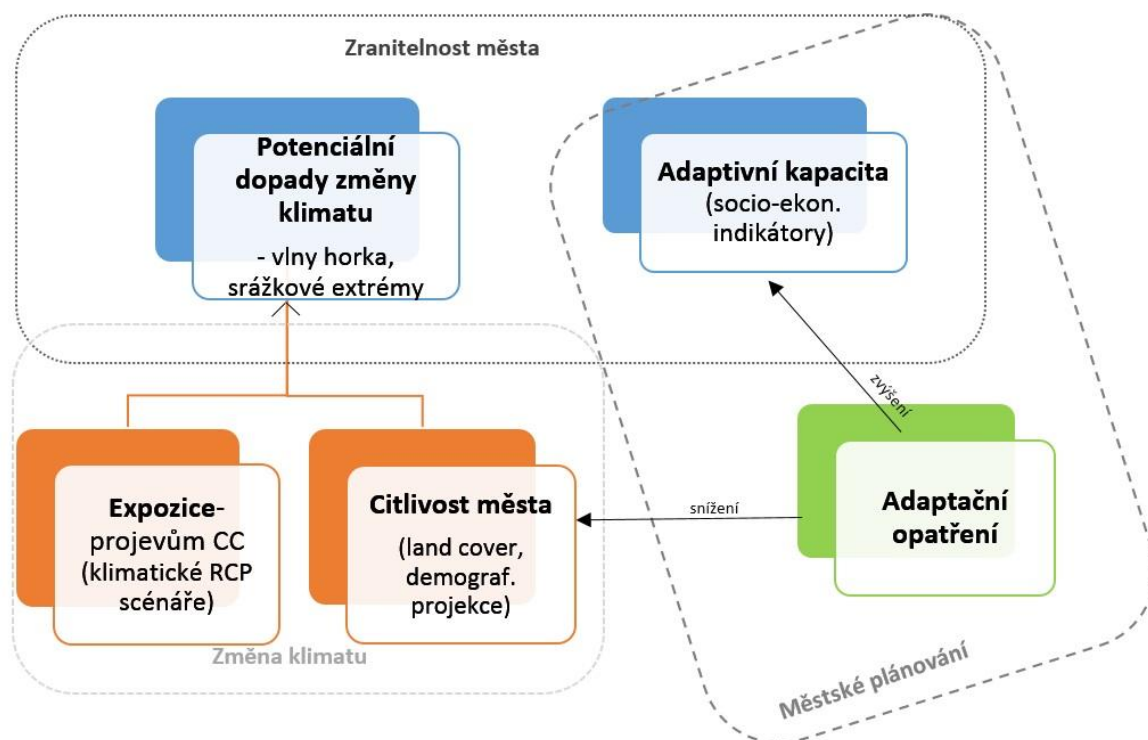
V rámci této aktivity byla zpracována podrobnější prostorová analýza zranitelnosti hl.m. Prahy se zaměřením na rizika spojená s: (i) teplotními extrémy – vlnami horka, (ii) nedostatečným zasakováním srážkové vody.

Simulce horkých dní na území hl.m. Prahy byly zpracovány v měřítku celoměstského modelu, s rozlišením 100 m a doplněny o syntézu výsledků modelování vzhledem k povrchovým charakteristikám území hl.m. Prahy. Výstupy simulace horkých dní byly využity jako vstupní dat pro analýzu expozice zranitelné populace hl.m. Prahy vůči vlnám horka.

2. Metodologický přístup k hodnocení zranitelnosti a použitá data

Metodologický přístup k hodnocení zranitelnosti vůči možným dopadům změny zahrnuje prostorově explicitní analýzu města, která byla zpracována v prostředí ArcGIS. Hodnocení zranitelnosti vychází z tématického rámce (podle Swart et al., 2012, Fussel a Klein 2006, Luckenkotter et al., 2013) (viz obr. 1), který zahrnuje tři hlavní komponenty. Pro příklad vln horka se jedná o tyto komponenty: (i) expozici vůči projevům změny klimatu (zahrnující klimatické scénáře RCP – Representative Concentration Pathways), (ii) sensitivitu, tedy citlivost města vůči dopadům změny klimatu (zastoupenou daty o využití území, demografickými daty z hlediska zranitelné populace) a (iii) adaptivní kapacitu (socio-ekonomické indikátory popisující schopnost společnosti reagovat na měnící se klima).

Oproti hodnocení zranitelnosti, které bylo zpracováno v rámci analytické části adaptační strategie, byla analýza pro účely přípravy implementačního plánu zpřesněna. Jedná se zejména o podrobnější prostorové měřítko hodnocení s rozlišením 10 x 10 metrů (původní analýza, byla pouze v měřítku městských částí hl.m. Prahy) a doplnění datové základny o další dostupné analytické podklady (zejména socio-demografická data, indikátory expozice, apod.).



Obrázek 1: Metodický rámec hodnocení zranitelnosti

Hodnocení zranitelnosti hl.m. Prahy bylo zpracováno pro dvě tématické oblasti (dopady změny klimatu):

1. **Teplotní extrémny ve městě – vlny horka** (výstupy uvedeny v kapitole 4.1 a 4.2)
2. **Nedostatečné zasakování a extrémní srážky** (výstupy uvedeny v kapitole 4.3)

Všechny hodnocené indikátory (viz Tabulka 1 a Tabulka 2) nejprve prošly lineární standardizací na škálu od 0 do 1 (podle minimální a maximální hodnoty charakterizující daný jev). Standardizované hodnoty blíží se 0 vždy značí špatný stav daného jevu (velké celkové potenciální dopady změny klimatu či naopak nízkou adaptivní kapacitu, tedy velkou zranitelnost), zatímco hodnoty blíží se 1 naopak dobrý stav. Pro účel výpočtu zranitelnosti území byl formát všech hodnotících indikátorů převeden do rastru s jednotným prostorovým rozlišením 10 x 10 m.

Následně byla provedena syntéza indikátorů do složek *expozice*, *citlivosti* a *adaptivní kapacity* (viz Tabulka 1 a 2) aplikací multikriteriálního součinu funkce *fuzzy overlay* (Araya-Munoz et al., 2016). Celková zranitelnost území vůči vlnám horka a dopadům extrémních srážek byla poté provedena váženým průměrem výše uvedených složek (dle Kumar et al., 2016):

$$zranitelnost = (0,3 * expozice) + (0,45 * citlivost) + (0,25 * adaptivní kapacita)$$

Tabulka 1: Datové zdroje použité pro hodnocení zranitelnosti hl.m. Prahy vůči teplotním extrémům

	Indikátor	Zdroj	Rozlišení
Expozice (0.30)	Indikátor vln horka	EURO CORDEX scénáře: referenční stav (1981-2010), scénáře RCP4.5 a RCP8.5 pro období blízké budoucnosti (2021-2040)	500 m
	Hustota populace	ČSÚ, Statistický lexikon obcí ČR 2013 Budoucnost: Prognóza počtu obyvatel v roce 2030	Základní sídelní jednotka Základní sídelní jednotka
Citlivost (0.45)	Populace nad 65 let (%)	ČSÚ, Statistický lexikon obcí ČR 2013 Budoucnost: Prognóza počtu obyvatel v roce 2030 (IPR Praha)	Základní sídelní jednotka Základní sídelní jednotka

	Populace 0-14 let (%)	ČSÚ, Statistický lexikon obcí ČR 2013 Budoucnost: Prognóza počtu obyvatel v roce 2030 (IPR Praha)	Základní sídelní jednotka Základní sídelní jednotka
	Zastavěnost území a zelené plochy	Současný stav využití území	1:5 000
Adaptivní kapacita (0.25)	Podíl ekonomicky aktivních obyvatel (%)	ČSÚ, Statistický lexikon obcí ČR 2013	Základní sídelní jednotka
	Podíl zaměstnaných (%)	ČSÚ, Statistický lexikon obcí ČR 2013	Základní sídelní jednotka

Prezentované analýzy zohledňují budoucí demografický vývoj obyvatelstva hl.m. Prahy do roku 2030 (vývoj hustoty zalidnění, počtu dětí mladších 14 let a osob starších 65 let), naproti tomu budoucí socio-ekonomický vývoj (indikátory adaptivní kapacity) z důvodu nedostupnosti dat, analýzy nezohledňují. Demografické indikátory byly v tomto hodnocení rozšířeny o děti mladší 14 let, které společně se seniory, tvoří zranitelnou populaci (Reischl et al., 2018).

Pro hodnocení byly využity nejaktuálnější dostupné scénáře budoucího vývoje klimatu RCP 4.5 (stabilizace koncentrací emisí CO₂ na nižších hodnotách) a RCP 8.5 (vysoko-emisní scénář) pro období blízké budoucnosti (se středním rokem 2030, respektive 2021-2040). Do celkového hodnocení zranitelnosti byla zahrnuta také adaptivní kapacita města vyjádřená socio-ekonomickými indikátory (Tabulka 1, Tabulka 2), které popisují schopnost společnosti přizpůsobit se měnícímu se prostředí.

Tabulka 2: Datové zdroje použité pro hodnocení zranitelnosti hl.m. Prahy vůči nedostatečnému zasakování a extrémním srážkám

	Indikátor	Zdroj	Rozlišení
Expozice (0.30)	Zvýšení počtu dní za rok se silným deštěm (> 20 mm)	EURO CORDEX scénáře: referenční stav (1981-2010), scénáře RCP4.5 a RCP8.5 (2021-2040)	500 m
	Průměrné roční srážky	EURO CORDEX scénáře: referenční stav (1981-2010), scénáře RCP4.5 a RCP8.5 (2021-2040)	500 m

	Zátopová území 5, 20 a 100leté povodně a území aktivní zóny 100leté povodně	Digitální báze vodohospodářských dat, VÚV T.G.M.	Grid 10 x 10 m
	Akumulace povrchového odtoku	DMR 4G	Grid 10 x 10 m
Citlivost (0.45)	Zastavěnost území a podíl zeleně (%)	Územně analytické podklady - Současný stav využití území	Grid 10 x 10 m
Adaptivní kapacita (0.25)	Podíl ekonomicky aktivních obyvatel (%)	ČSÚ, Statistický lexikon obcí ČR 2013	Základní sídelní jednotka
	Podíl zaměstnaných (%)	ČSÚ, Statistický lexikon obcí ČR 2013	Základní sídelní jednotka
	Populace nad 65 let (%)	ČSÚ, Statistický lexikon obcí ČR 2013 Budoucnost: Prognóza počtu obyvatel v roce 2030 (IPR Praha)	Základní sídelní jednotka Základní sídelní jednotka
	Populace 0-14 let (%)	ČSÚ, Statistický lexikon obcí ČR 2013 Budoucnost: Prognóza počtu obyvatel v roce 2030 (IPR Praha)	Základní sídelní jednotka Základní sídelní jednotka

3. Simulace horkých dní na území hl.m. Prahy

Hodnocení zranitelnosti bylo doplněno o simulaci horkých dní na území hl.m. Prahy, jedná se o modelování s využitím termodynamického modelu MUKLIMO_3.

3.1 Tepelný ostrov hl.m. Prahy

Jedním z projevů klimatické změny ve střední Evropě je častější výskyt horkých vln. Města tak potřebují hledat opatření ke snížení dopadů teplotních extrémů na obyvatelstvo. Při studiu teplotních poměrů města a plánování adaptačních opatření je prvním krokem identifikace lokalit, které mají vzhledem ke své fyzické struktuře předpoklad k výskytu vyšších teplot vzduchu. Důsledky horkých vln, které podle zprávy Mezivládního panelu pro změnu klimatu, budou mít v blízké budoucnosti výrazný vliv na kvalitu života obyvatel měst (IPCC, 2014). Extrémní projevy počasí budou, s vysokou pravděpodobností, zaznamenávány stále častěji a s větší intenzitou než doposud, v prostředí měst budou navíc umocněny efektem tzv. tepelného ostrova města (Urban Heat Island; UHI). Nejvýrazněji se UHI projevuje ve velkých městech, aglomeracích a tzv. „megapolis“. Základním rysem UHI jsou vyšší teploty vzduchu v hustě zastavěném centru města než na jeho okraji nebo v okolní, venkovské, krajině. Hlavní příčinou vzniku UHI je změna aktivního povrchu, který je ve městě tvořen převážně umělými povrchy. Asfalt a beton v centrech měst ve dne absorbují sluneční záření, čímž dochází k akumulaci energie aktivním povrchem, který se v období pozitivní energetické bilance zahřívá. V období negativní energetické bilance, tedy ve večerních a nočních hodinách, se naakumulovaná tepelná energie zpětně uvolňuje, čímž dochází k oteplování vzduchu v blízkosti aktivního povrchu. Teplotu vzduchu ve městech dále ve velké míře ovlivňuje přítomnost zdrojů tzv. odpadního tepla (např. z vytápění budov, klimatizací, dopravy nebo průmyslu). Intenzita městského tepelného ostrova se liší v závislosti na charakteru převládajícího regionálního počasí, ročním období a na podílu zastavěných ploch města. Značný vliv může mít i horizontální a vertikální členitost města.

Dnes, na konci roku 2017, žije ve všech českých městech více než polovina všech obyvatel ČR. Přes 12 % obyvatel celé České republiky žije přímo v Praze (ČSÚ 2011). Skalák a kol. (2015) uvádějí, že průměrná intenzita pražského tepelného ostrova činí zhruba 1 °C; o tolik je tedy centrum Prahy z hlediska průměrné teploty vzduchu teplejší, než kdyby se vliv města neuplatňoval. Vzhledem k zesilování projevů pražského tepelného ostrova (dochází k zahušťování zástavby, zvětšení zastavěné plochy, ale i zesílení dopravy a zdrojů antropogenního tepla) a vzhledem k důsledkům změny klimatu ve střední Evropě, dochází (nejen) v centru Prahy dlouhodobě k nárůstu teploty.

Pražský tepelný ostrov sice „zesiluje“ a to o necelou desetinu stupně Celsia za 10 let. Celkově se ale v Praze otepluje více v důsledku změny klimatu (cca 0,28 °C/10 let). Podle současných prognóz nás přitom v budoucnu čeká další zvýšení teplot, nárůst extremity.

Jak je detailně popsáno výše, vliv města na teplotu vzduchu je zřejmý. Veškeré analýzy jsou nejčastěji založené na bodových měření pomocí meteorologických stanic. To je do jisté míry limitující, protože

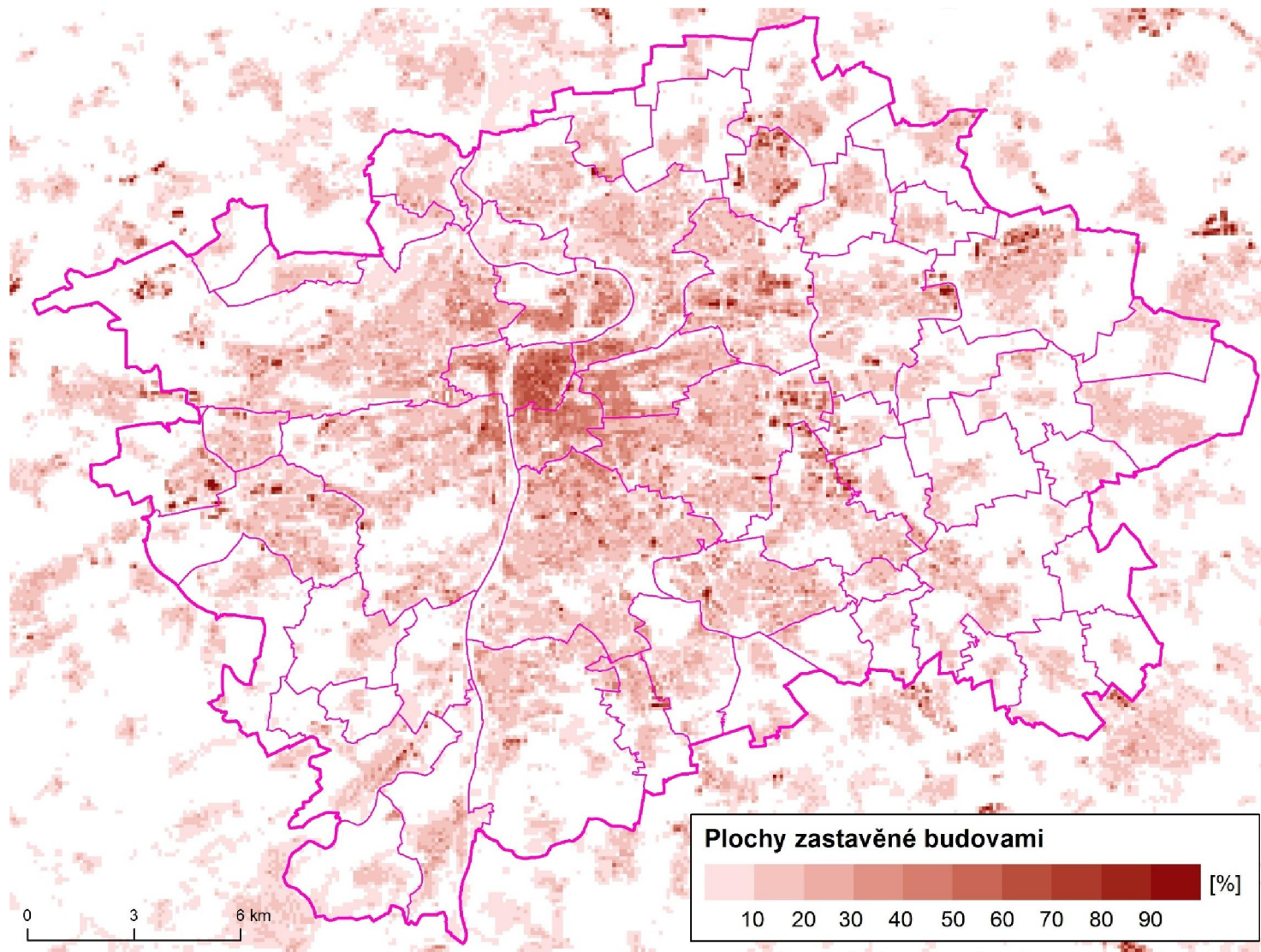
stanice kontinuálně nepokrývají celé území města. Z toho důvodu je výhodné použít pro prostorou interpretaci termodynamických modelů.

3.2 Modelování teploty vzduchu

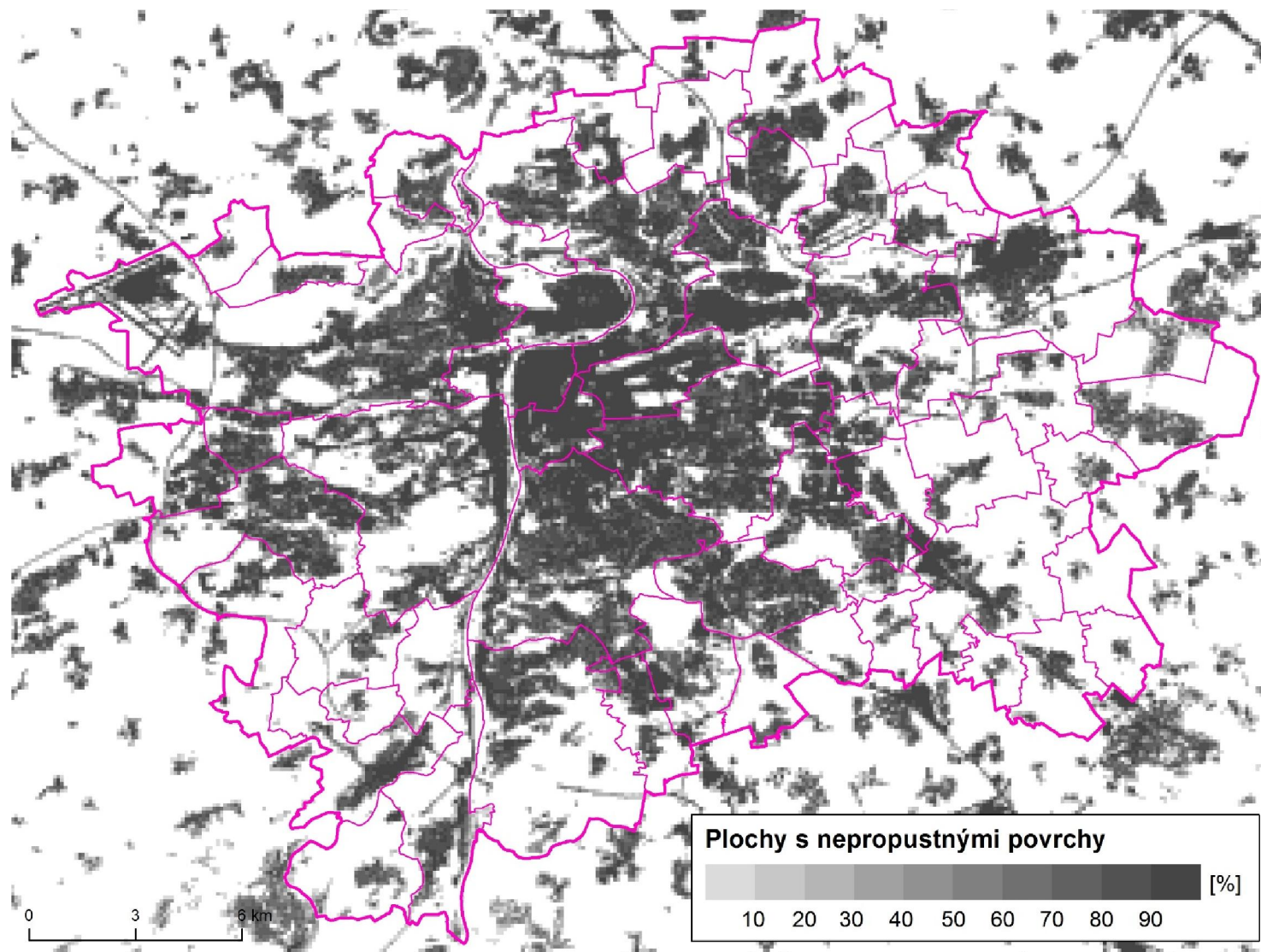
Vymezení pojmu „horká vlna“ je podle Českého hydrometeorologického institutu (ČHMÚ) a Světové meteorologické organizace (WMO) nejednoznačné. Jako horká vlna je v této analýze myšleno období alespoň 3 po sobě jdoucích dnů, kdy teplota vzduchu ve 2 m nad zemí byla rovna nebo vyšší než 30 °C. Zároveň musel charakter počasí odpovídat tzv. radiačnímu režimu počasí (bez srážek, minimum oblačnosti, rychlost větru nižší než 4 ms⁻¹; Geletič a kol., 2016a). V roce 2017 byly na území Prahy (referenční stanice Praha-Libuš) zaznamenány 2 horké vlny: 19.7. – 21.7. a 30.7. – 2.8.

Pro simulaci prostorového rozložení pole teploty vzduchu v Praze během horkých vln v roce 2017 byl použit termodynamický model MUKLIMO_3 (Sivers, 1995; Sievers, 2016) vyvíjený Německou meteorologickou službou (Deutscher Wetterdienst; DWD). Jedná se o model založený na principu řešení Navier–Stokesových rovnic pomocí Reynoldsovy metody časového středování (Reynolds-Averaged Navier–Stokes; RANS). Model pro simulaci vlivu města na meteorologické veličiny pracuje s prostorovým rozlišením desítek, maximálně jednotek stovek metrů. Tato studie prezentuje výstupy modelu s rozlišením buňky 100 × 100 metrů. Vlastnosti povrchu města jsou rozděleny na základě vlastností jednotlivých buněk do tříd. Vlastnosti buňky jsou například procento povrchu zastavěné budovami [%], procento povrchu pokrytého propustnými povrchy [%], procento pokrytí povrchu listovou plochou [%], průměrná výška budov [m], průměrná výška vegetace [m] atd. V případě Prahy se jedná celkem o 25 tříd zastavěných povrchů, které popisují převážně charakter zástavby, a 20 tříd propustných povrchů, které popisují primárně vegetační kryt. Prostorová diferenciacce vybraných vlastností buněk pro hl.m. Prahu je znázorněna na Obr. 2-7.

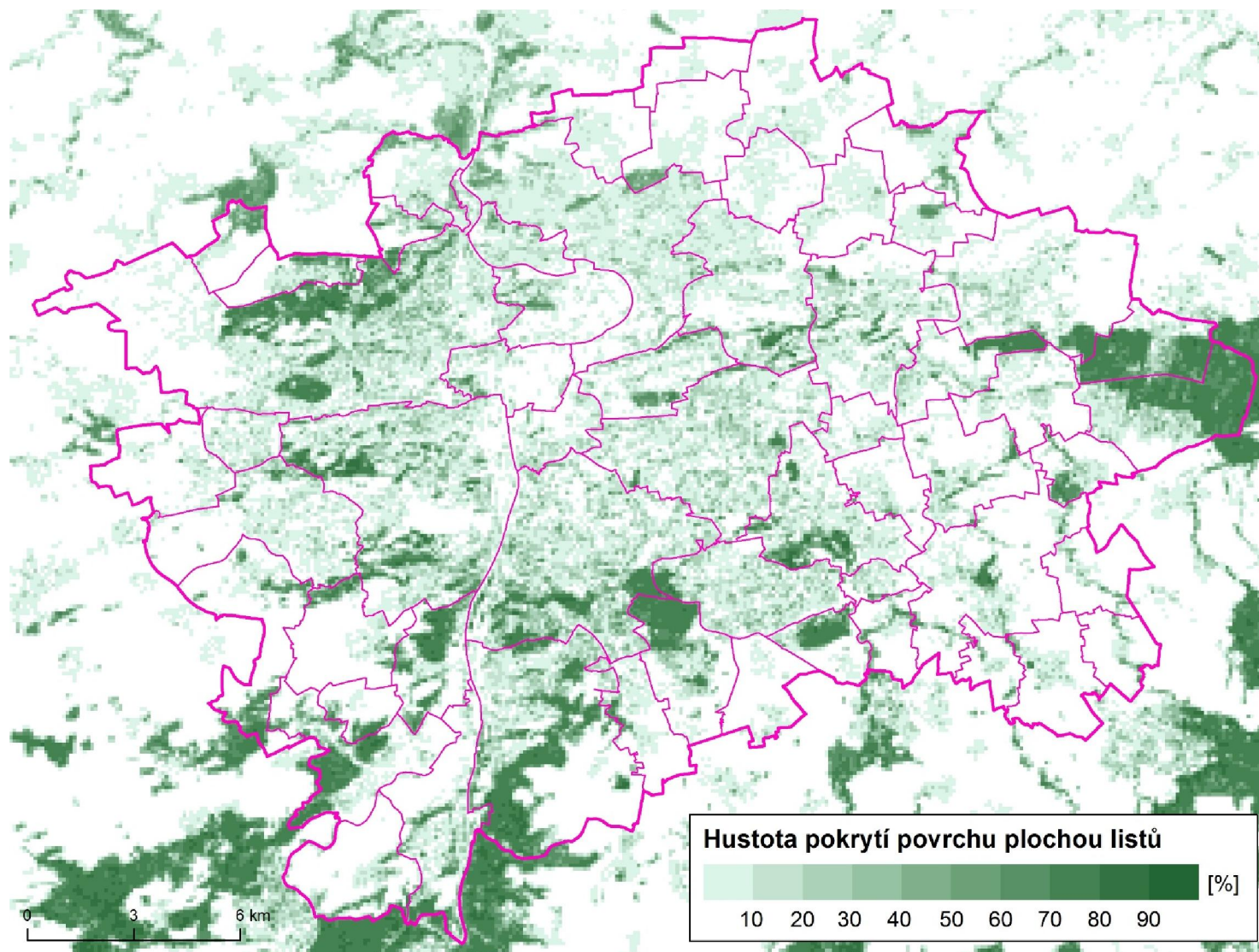
Prezentované výstupy modelu, který simuluje časoprostorové rozložení teploty vzduchu na území města Prahy, zobrazuje výsledky během nejteplejšího dne roku 2017, 1. srpna (ČHMÚ).



Obrázek 2: Podíl plochy „buňky“ o velikosti 100 × 100 m zastavěný budovami v %



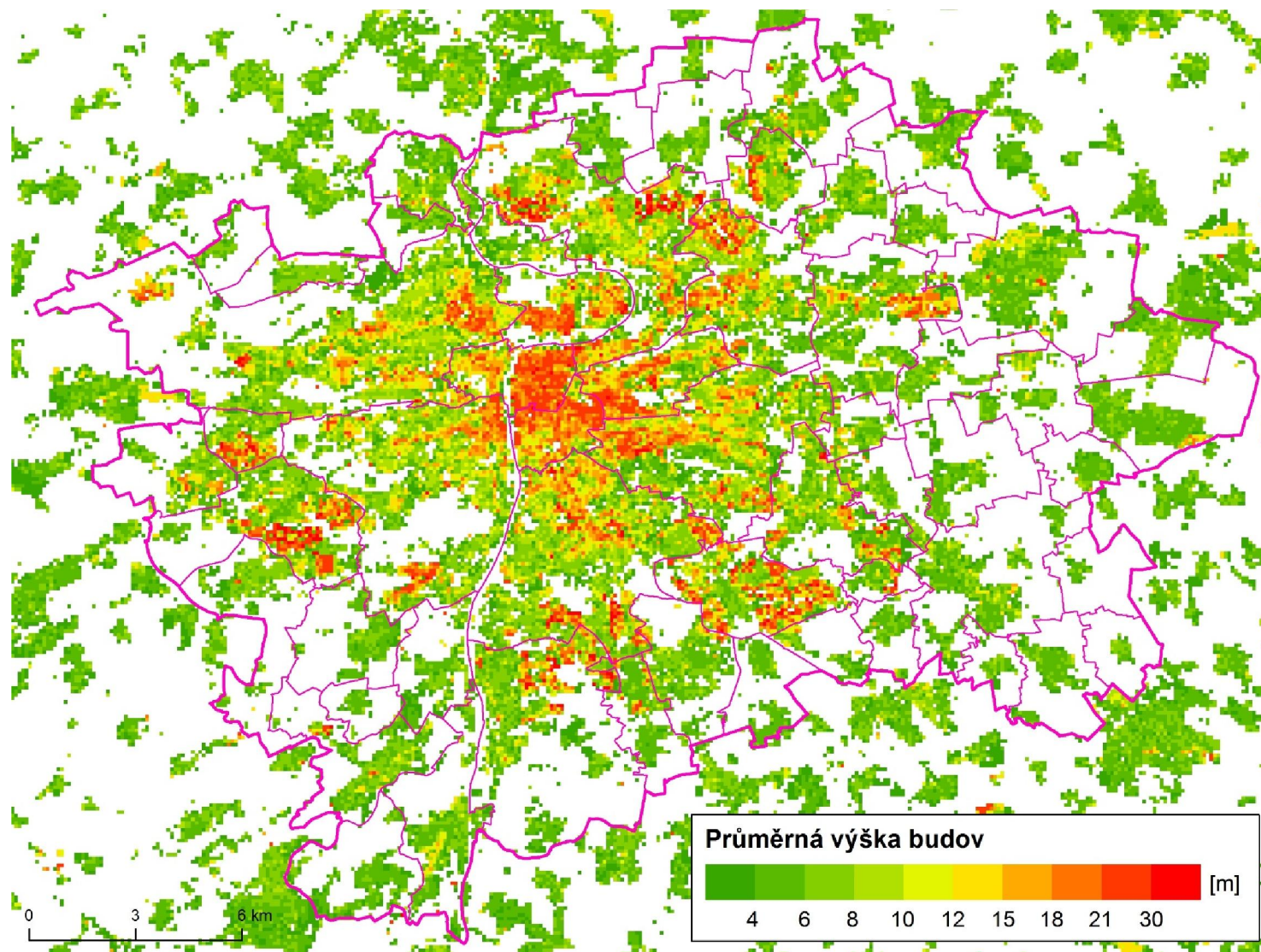
Obrázek 3: Podíl plochy „buňky“ o velikosti 100 × 100 m pokrytý nepropustnými povrchy, mimo budov; v %



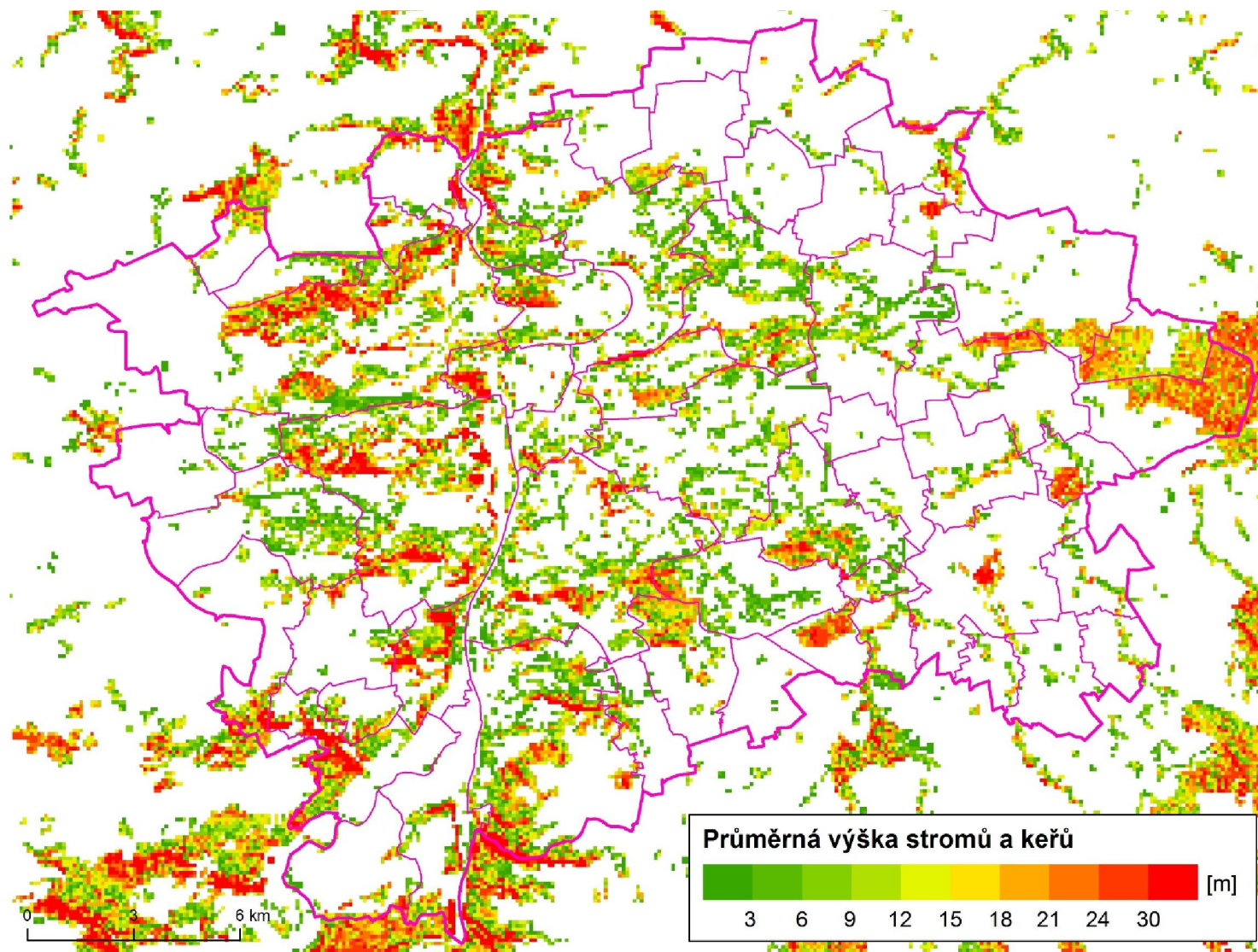
Obrázek 4: Hustota plochy listů (tzv. Tree Cover Density) v „buňce“ o velikosti 100 × 100 m; v %



Obrázek 5: Podíl plochy stěn budovy a plochy půdorysu (tzv. Wall Area Index) v „buňce“ o velikosti 100 × 100 m



Obrázek 6: Průměrná výška budov v „buňce“ o velikosti 100 × 100 m; v m



Obrázek 7: Průměrná výška stromů a keřů v „buňce“ o velikosti 100 × 100 m; v m

3.3 Výsledky simulací

Termodynamický model MUKLIMO_3 simuloval denní chod teploty vzduchu ve 2-vteřinovém kroku, výstupy byly zprůměrovány pro každou celou hodinu. Mimo teplotu vzduchu byly simulovány i další meteorologické veličiny, které mají vliv na teplotní pole (relativní vlhkost vzduchu, rychlost a směr větru).

Simulace horkých dní na území města Prahy byla modelována s využitím modelu MUKLIMO_3 (viz předchozí kapitola). Obecně lze pozorovat významné rozdíly mezi třídami povrchu v časoprostorové diferenciaci teplotního pole Prahy. Pro názornost bylo vybráno 11 tříd, které jsou charakteristické pro území hlavního města Prahy. Přehled základních vlastností vybraných tříd je uvedený v Tab. 3.

Tabulka 3: Přehled základních vlastností vybraných tříd

Třída	Popis	BSF	ISF	TCD	WAI	BH	TH
LC01	Hustá a vysoká zástavba v centrech měst	45,7	98,4	3,5	4,7	18,2	11,2
LC03	Rozptýlená nižší zástavba v centrech měst	19,5	85,6	9,9	3,8	17,4	8,5
LC04	Vyšší, hustě osídlená, zástavba	14,8	71,2	12,5	2,6	7,3	10,4
LC05	Vyšší, řídké osídlená, zástavba	6,5	43,7	17,0	2,4	6,2	12,3
LC08	Rozptýlená nízká zástavba	8,3	41,7	7,8	1,5	4,3	6,3
LC10	Hustě zastavěné průmyslové plochy	58,3	95,3	4,1	1,3	11,3	8,8
LC12	Průmyslová a obchodní centra s halami	16,3	57,7	11,6	1,3	7,7	10,5
LC26*	Hustá městská zeleň	2,6	14,0	67,6	2,3	8,0	17,8
LC35*	Trvalé travní porosty	3,5	14,5	3,7	1,2	3,7	10,6
LC42*	Smíšené lesy	2,9	17,2	62,3	2,5	6,6	19,1
LC45*	Vodní toky a plochy	3,1	26,0	11,9	1,7	6,9	14,2

Vysvětlivky:

BSF – procento plochy zastavěné budovami [%];

ISF – procento plochy pokryté nepropustnými povrchy [%];

TCD – procento plochy pokryté listy (TCD) [%];

WAI – poměr mezi plochou stěn budovy a plochou půdorysu;

BH – průměrná výška budovami [m];

TH – průměrná výška vegetace [m];

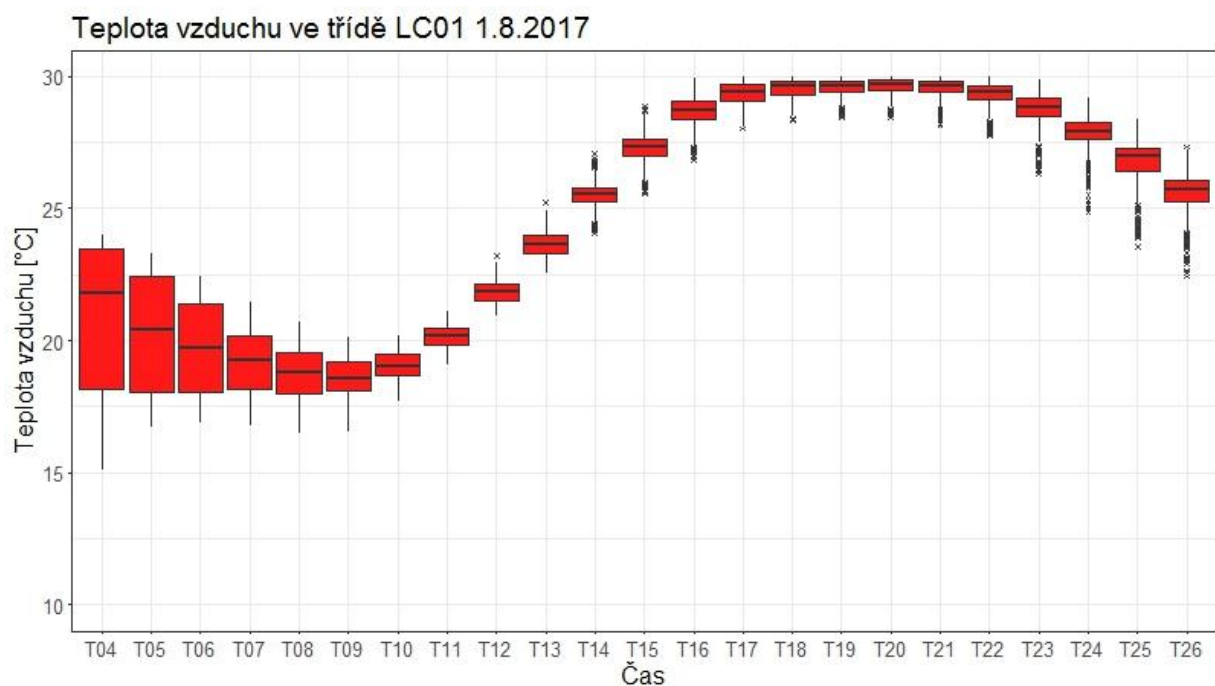
* - hodnoty uvedené v tabulce jsou ovlivněny charakterem buněk; buňka klasifikovaná jako LC45 může být ve skutečnosti například 20 % LC01 a 80 % LC45.

Časová diferenciací tříd je znázorněna pomocí boxplotů. Časové kroky jsou uvedeny v CEST (středoevropský letní čas) s předponou „T“ označující čas. Simulace zahrnuje i období po půlnoci druhého dne, tzn. popisek T26 označuje čas 02:00 dne 2.8.2017. Prostorové rozložení teplot vzduchu je prezentováno pomocí mapových výstupů. Níže uvedené mapové výstupy zahrnují období od 16:00 1.8.2017 do 02:00 2.8.2017 CEST. Zvolené období názorně zobrazuje vliv UHI na obyvatele Prahy jak v odpoledních, tak v nočních hodinách, kdy se UHI projevuje nejvýrazněji.

Hustá a vysoká zástavba v centrech měst (LC01)

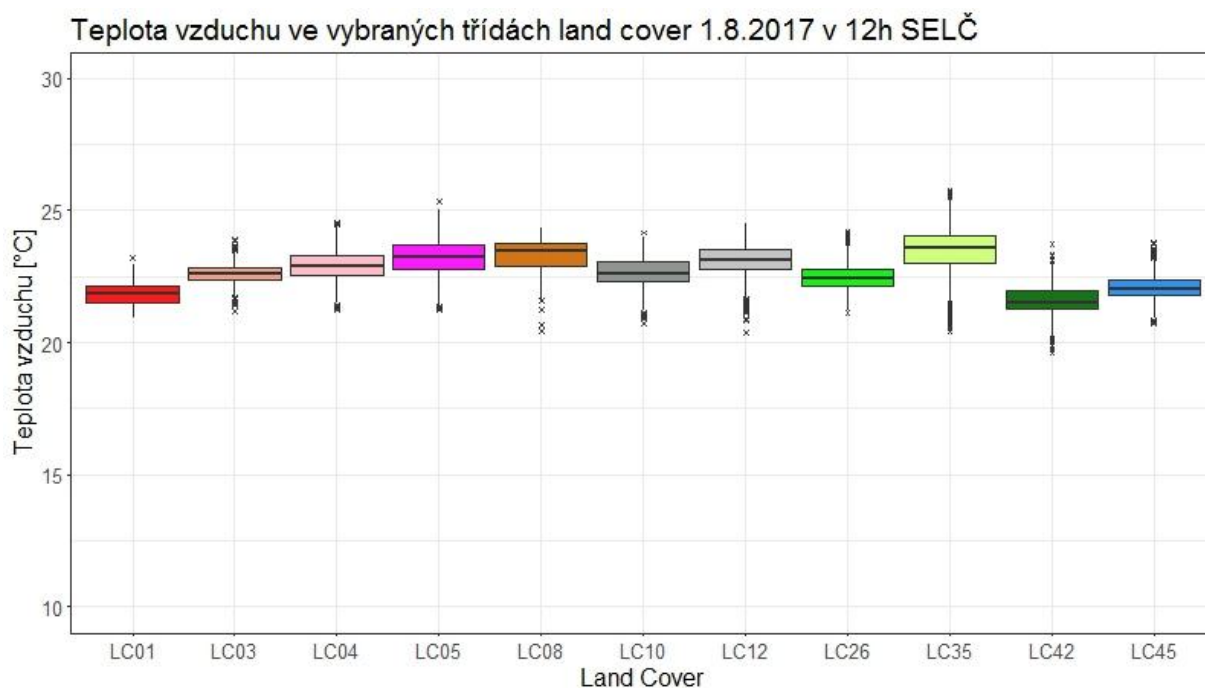
Třída LC01 je charakteristická vysokým poměrem ploch zastavěných vysokými budovami (15 a více metrů), vysokým procentem nepropustných povrchů, velmi nízkým procentem propustných povrchů a vysokým indexem plochy stěn (viz Tab. 3). Propustné povrchy a vyšší vegetace jsou v těchto lokalitách soustředěny primárně do vnitro-bloků.

Maximální teploty vzduchu během horkých vln jsou prakticky ve všech případech situovány do středu města s hustou historickou zástavbou (např. Staré město, Josefov, Malá Strana, Karlín, Žižkov, Vinohrady). Denní chod teploty vzduchu v těchto lokalitách je typický relativně velkou variabilitou, která je způsobena různou intenzitou provětrávání ulic. Dalším charakteristickým rysem je pozvolný růst teploty vzduchu s maximem v pozdních odpoledních hodinách, nejčastěji mezi 18 a 21 h (viz Obr. 8).



Obrázek 8: Časová variabilita chodu teploty vzduchu v LC01

V pravé poledne bývá centrum města naopak chladnější než jeho okolí – díky vysokým budovám je zde větší množství stínu než v nižší zástavbě na okrajích měst (Obr. 9).



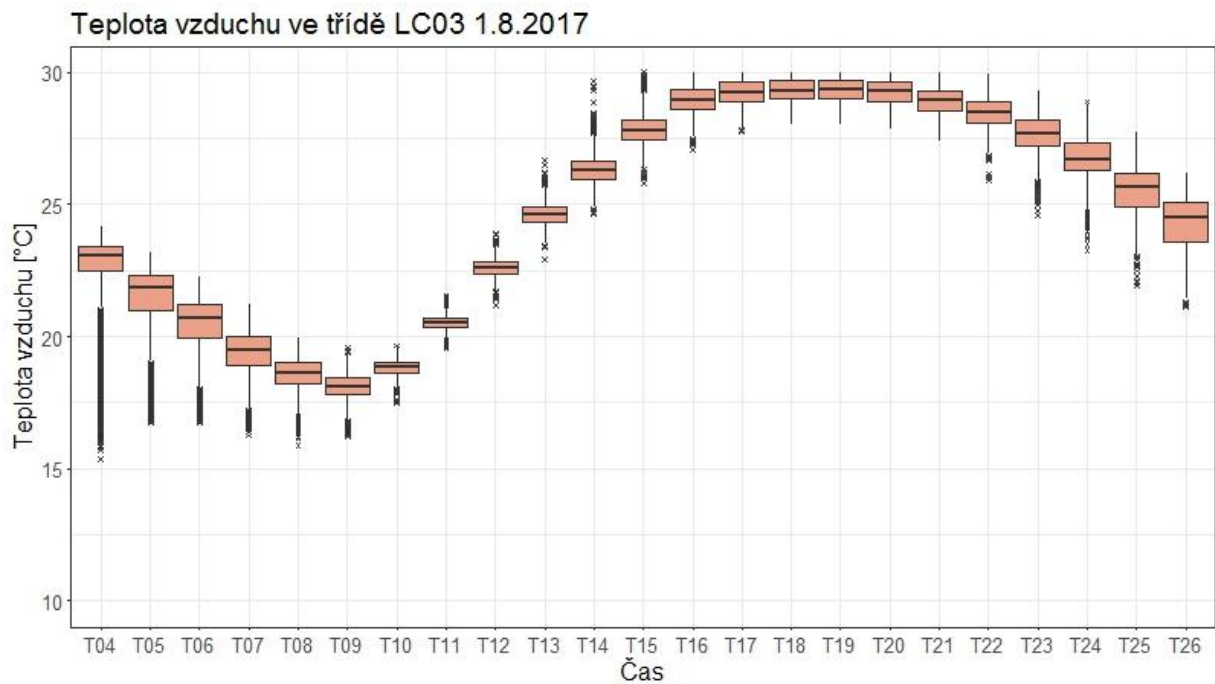
Obrázek 9: Průměrná teplota vzduchu ve vybraných třídách 1.8.2017 ve 12:00 CEST

Centrum města je také typické nižší amplitudou teploty vzduchu, zato vyšší minimální a průměrnou teplotou vzduchu. Další významné, byť izolovanější, lokality LC01 (tzv. „hotspoty“) se nachází např. ve Vysočanech nebo v Dejvicích. V těchto místech je intenzita UHI velmi vysoká, teploty vzduchu jsou zde během horkých vln o několik stupňů vyšší, prakticky až do ranních hodin (viz Obr. 9). Do východu slunce se zpravidla povrch nestihne dostatečně ochladit, čímž dochází k další akumulaci energie a zvyšování teplot již v ranních hodinách druhého dne. Během letního období nemusí teplota vzduchu v LC01 i několik dní po sobě klesnout pod 20 °C. Důkazem výše uvedených výsledků je výrazně vyšší výskyt dnů s tropickou nocí v centrech měst (Bokwa a Limanówka, 2014; Skarbit a Gál, 2016; Kiejar a kol, 2017). Hustě zastavěná místa se navíc, díky vysoké zástavbě, velmi obtížně provětrávají, což v důsledku snižuje tepelný komfort obyvatel (Elzafarany a kol. 2017). Déle trvající horké vlny tedy mohou pro obyvatele představovat značné riziko.

Rozptýlená nižší zástavba v centrech měst (LC03)

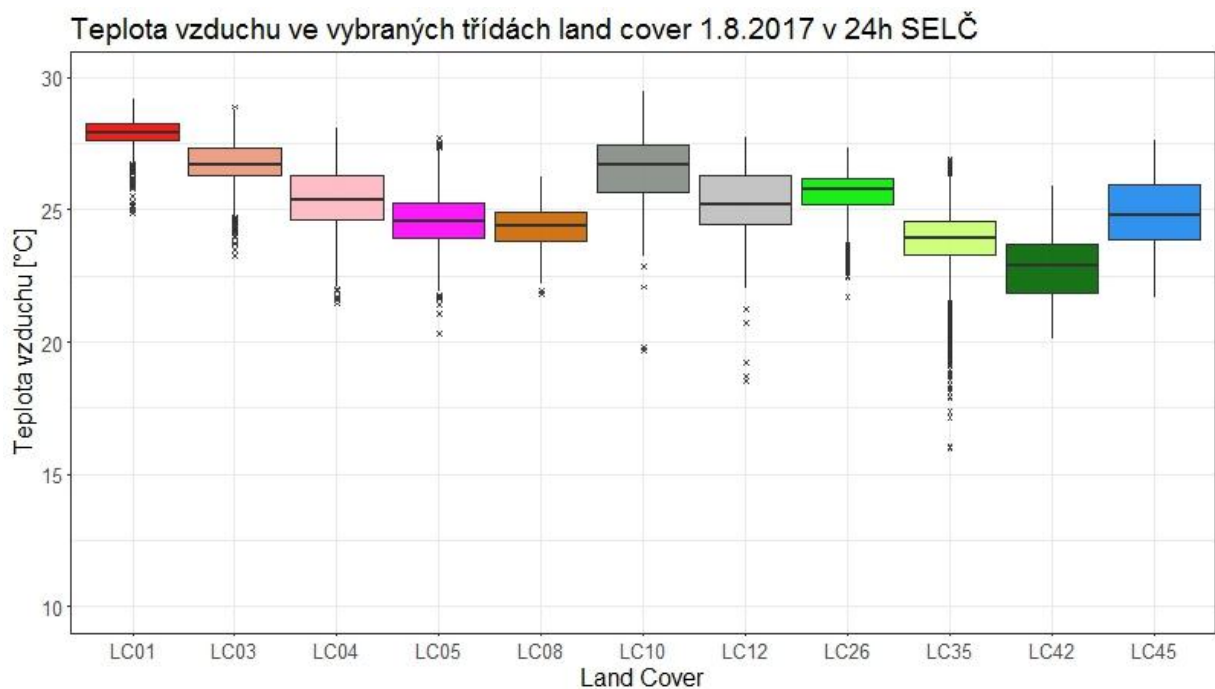
Třída LC03 je charakteristická nižším poměrem ploch zastavěných budovami (zpravidla do 25 %), vysokým procentem nepropustných povrchů, nízkým procentem propustných povrchů a vysokým indexem plochy stěn (viz Tab. 3). Propustné povrchy a vyšší vegetace jsou v těchto lokalitách soustředěny primárně do parků a prostranství mezi bloky budov. Nejčastěji tato zóna navazuje na LC01, případně tvoří samostatné izolované plochy v centrech okolních sídel nebo v místech velkých panelových sídlišť (např. Vršovice, Břevnov, Opatov, Horní Měcholupy, Černý most, Letňany, Řepy, Barrandov). Místa se u budov vyskytují i zahrady s ovocnými stromy.

Z pohledu teplotních vlastností je třída daleko více homogenní než LC01. Homogenita je dána menší variabilitou šířky ulic a okolními buňkami (na rozdíl od LC01 zřídka navazuje na vodní plochy). Nástup maxima je opět nejčastěji mezi 18 a 20 h, pozdější nástupy maxim jsou jen výjimečné.



Obrázek 10: Časová variabilita chodu teploty vzduchu v LC03

Teplota v pravé poledne je díky nižším budovám a vyššímu procentu vegetace mírně vyšší (Obr. 10). Došlo ale ke snížení minimální teploty, která zejména v nočních hodinách klesá níže než u LC01 (Obr. 11).



Obrázek 11: Průměrná teplota vzduchu ve vybraných třídách 1.8.2017 ve 24:00 CEST (00:00 2.8.2017)

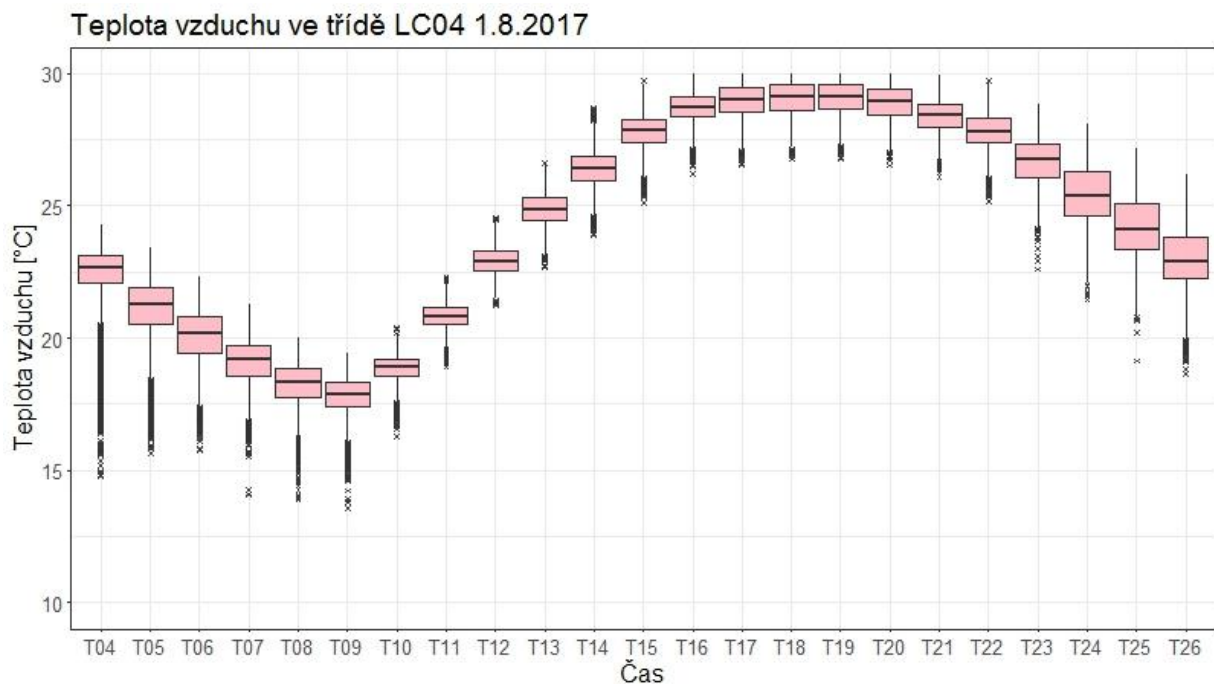
V případě rozlehlých panelových sídlišť se jedná o velmi hustě obydlené plochy, které mohou mít významný vliv na tepelný komfort obyvatel (Stewart a kol., 2014; Thomas a kol., 2017; Geletič a kol., 2018).

Velmi často jsou v sídlištích vysázeny pouze nižší dřeviny, jako jsou okrasné keře a stromy. Parků se vzrostlými stromy je v této kategorii velmi malé množství, převládají travnaté plochy.

Vyšší, hustě osídlená, zástavba (LC04)

Třída LC04 je charakteristická nízkým poměrem ploch zastavěných budovami (zpravidla do 20 %), vysokým procentem nepropustných povrchů, vzhledem k zastavěným plochám vyšším procentem propustných povrchů a nižším indexem plochy stěn (viz Tab. 3). Propustné povrchy a vyšší vegetace jsou v těchto lokalitách soustředěny primárně do parků a prostranství mezi bloky budov. LC04 tvoří samostatné izolované plochy na okrajích sídel, v místech nižších panelových sídlišť nebo ve středech větších okolních městských částí (např. Horní Počernice, Kobylisy, Dejvice, Malešice, Braník, Kunratice, Hloubětín). Mezi budovami se často vyskytují vzrostlé stromy. U budov v okolí se zpravidla nachází zahrady s ovocnými stromy.

Maximální teploty se zde vyskytují zpravidla mezi 16 a 18 hodinou (viz Obr. 12), minimální teploty v nočních hodinách klesají pod hodnoty u LC01 a LC03 (viz Obr. 8, Obr. 10). V období negativní energetické bilance je patný vliv většího množství vegetace a menší procento antropogenních povrchů (Tab. 3).



Obrázek 12: Časová variabilita chodu teploty vzduchu v LC04

Zástavba třídy LC04 má velmi často 3-5 pater a jedná se o relativně hustě osídlené části měst a obcí. Z hlediska teplotního rizika pro obyvatele je nutné pracovat zejména s rozlohou těchto ploch, která by měla být protkána širokými ulicemi, které by umožnily dobré provětrávání lokalit.

Vyšší, řídké osídlená, zástavba (LC05)

Třída LC05 je typologicky podobná třídě LC04. Avšak odlišuje se zejména vyšším podílem nepropustných ploch a nižším procentem nepropustných povrchů, obojí ve prospěch LC05 (viz Tab. 3). Prakticky by se dalo říci, že se jedná o rozptýlenou zástavbu LC04 vyplněnou propustnými povrchy. LC05 tvoří ve městech samostatné izolované plochy, rozlehlější plochy jsou charakteristické primárně pro okolní obce (např. Šestajovice, Říčany, Černovice, Tuchoměřice, Řež). Mezi budovami se často vyskytují zahrady se vzrostlými ovocnými stromy, případně se nachází v blízkosti lesních porostů.

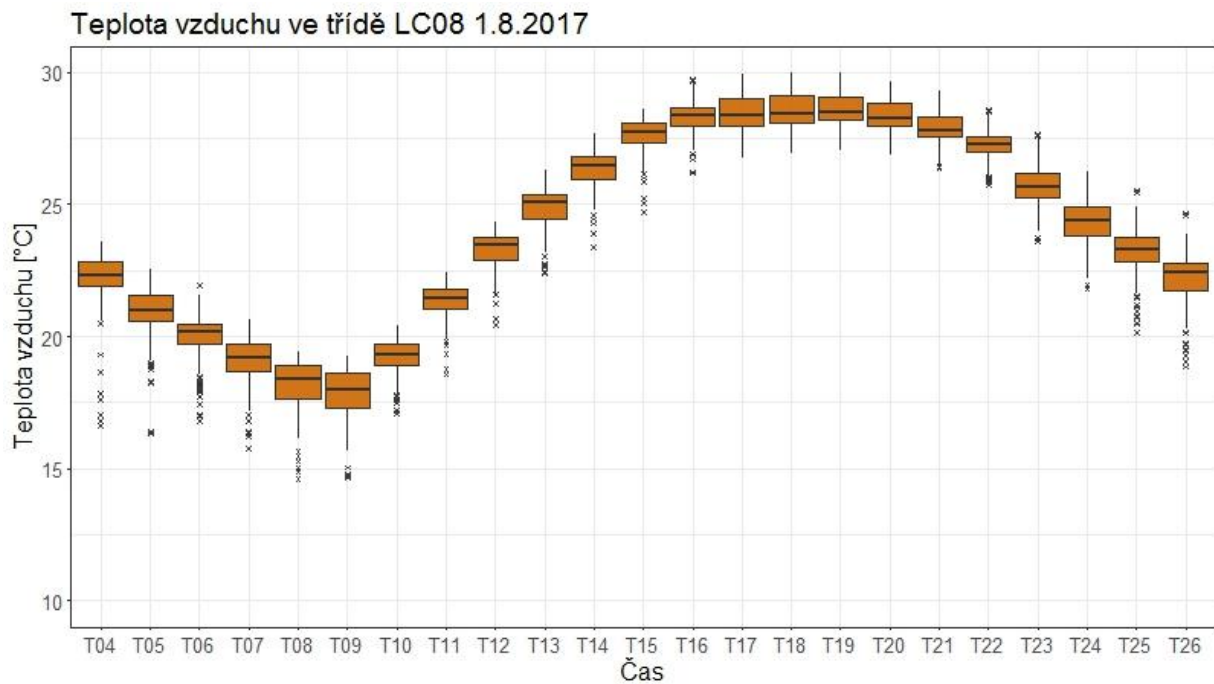


Obrázek 13: Časová variabilita chodu teploty vzduchu v LC05

Maximální teploty se v LC05 vyskytují nejčastěji mezi 16 a 18 h. Díky vyššímu podílu nepropustných povrchů a vyšším stromům jsou pro třídu charakteristické vyšší amplitudy teploty vzduchu. Povrch se sice přes den ohřeje na vysoké teploty, po západu slunce ale rychle ztrácí energii a ochlazuje se (viz Obr. 13).

Rozptýlená nízká zástavba (LC08)

Posledním typickým povrchem jsou okrajové části měst a vesnic (LC08), které jsou charakteristické nižší zástavbou a WAI, nízkou průměrnou výškou vegetace a množstvím nepropustných povrchů. Jedná se o okrajové části měst a navazujících obcí, které jsou velmi výrazně ovlivněny okolními navazujícími plochami, zejména intenzivně zemědělsky využívanými. Charakteristické jsou nižší teploty vzduchu než v centrech měst (až v jednotkách stupňů, viz Obr. 14). Teplotu vzduchu zde primárně utváří „večerní“ proudění, které není ovlivněné drsností terénu, ale lokálním charakterem počasí (Stewart a kol., 2014; Geletič a kol., 2018).

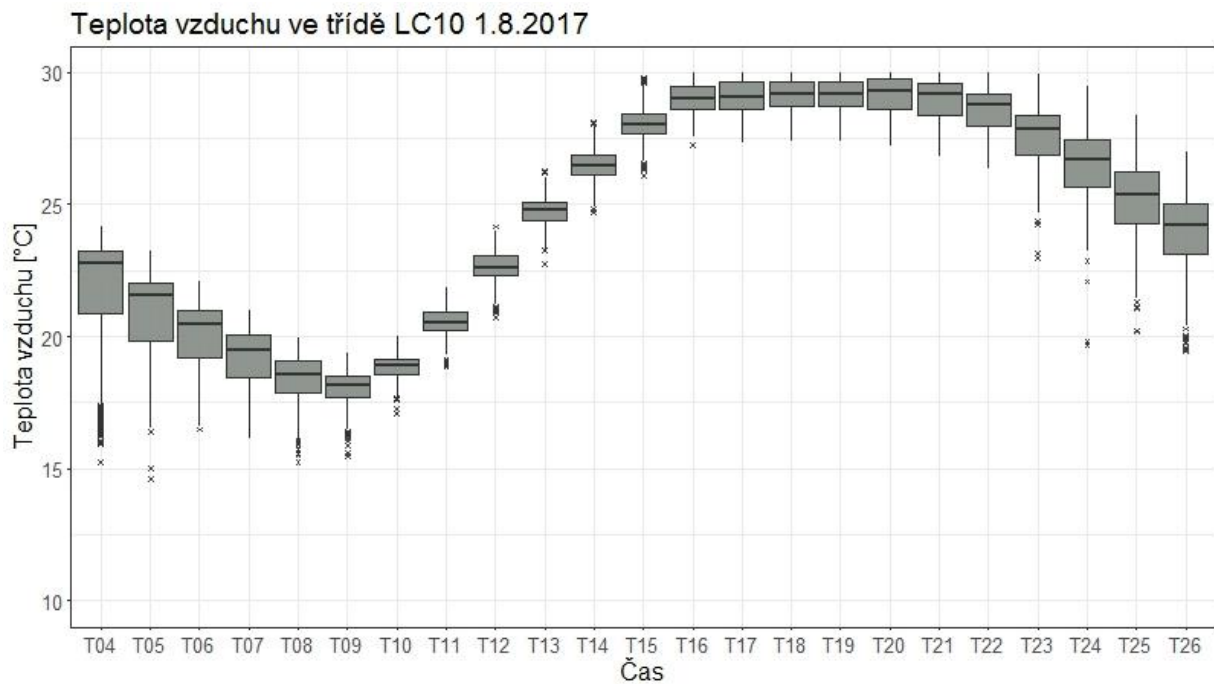


Obrázek 14: Časová variabilita chodu teploty vzduchu v LC08

Hustě zastavěné průmyslové plochy (LC10)

Typickým povrchem pro česká města jsou historické průmyslové plochy, dnes velmi často definované jako tzv. „brownfieldy“. Tyto povrchy jsou často definovány jako plochy s vyšší zástavbou (10–20 m), vyšším indexem WAI, vysokou hodnotou nepropustných povrchů a nízkou hodnotou propustných povrchů, které často tvoří náletové porosty nebo středně vysoká (10–15 m) vegetace. V současnosti tyto plochy velmi často podléhají sukcesi, tzn. vykazují vyšší procento propustných povrchů, nebo se jedná o tzv. transformační plochy, které jsou využity pro účely z developerských projektů.

Teplota vzduchu je zde primárně utvářena antropogenními povrchy s případným vlivem vegetace. Díky podobným vlastnostem, jako má LC01 je LC10 velmi často druhou nejteplejší třídou. Nejen co se týká teploty vzduchu (Stewart a kol., 2014; Geletič a kol. 2018), tak co se týká povrchové teploty (Stewart a Oke, 2014; Geletič a kol., 2016b).

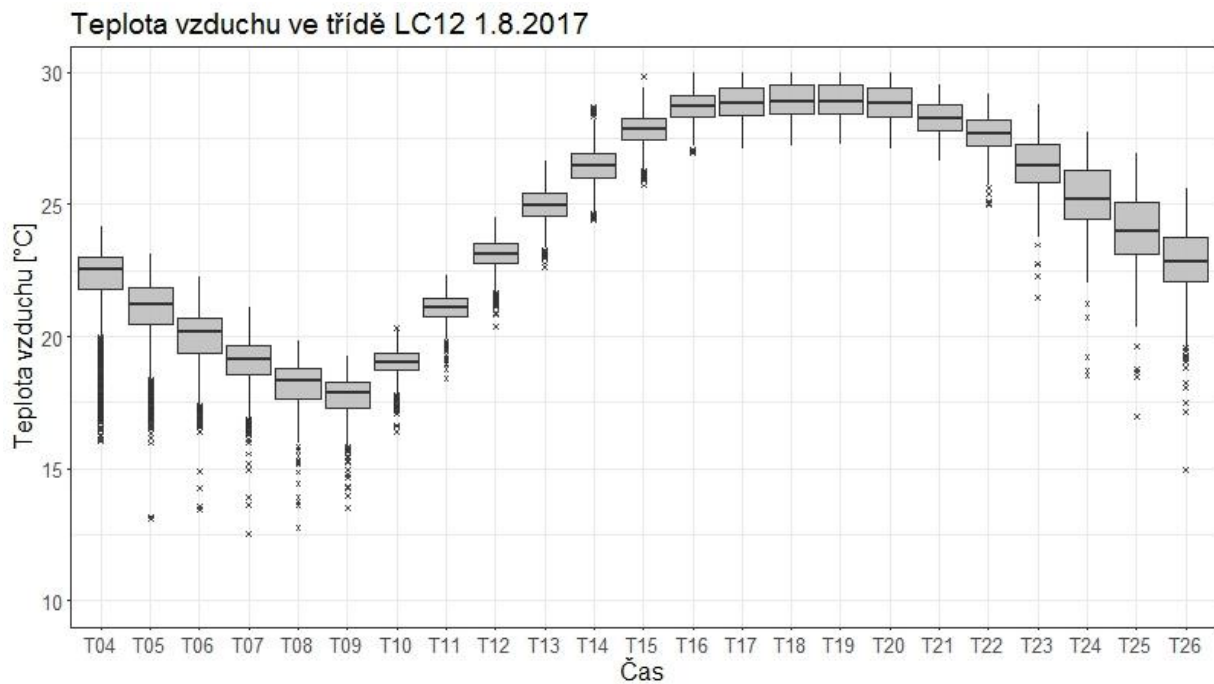


Obrázek 15: Časová variabilita chodu teploty vzduchu v LC10

Průmyslová a obchodní centra s halami (LC12)

Z pohledu klasifikovaných tříd se jedná o „nejmladší kategorii“. Definována je podobně jako LC10, liší se nižším procentem zastavěných ploch a nepropustných povrchů. Velmi často se vyskytuje na okrajích sídel, mezery mezi budovami jsou vyplněny travnatými plochami, remízky stromů nebo parkovacími plochami. Jedná se o nejrychleji rozšiřující typ zástavby od roku 1995.

Z teplotního hlediska má proti LC10 výhodu ve své lokalizaci – díky okrajům měst je zde patrný vliv převládajícího charakteru počasí. Proto se tyto zóny nepřehřívají tak intenzivně jako LC10. Navíc mají i nižší průměrnou výšku budov, takže dochází k lepšímu provětrávání. Na druhou stranu představují, díky akumulaci velkého množství obyvatel, riziko např. z pohledu vyšších koncentrací troposférického ozónu.



Obrázek 16: Časová variabilita chodu teploty vzduchu v LC12

Hustá městská zeleň (LC26)

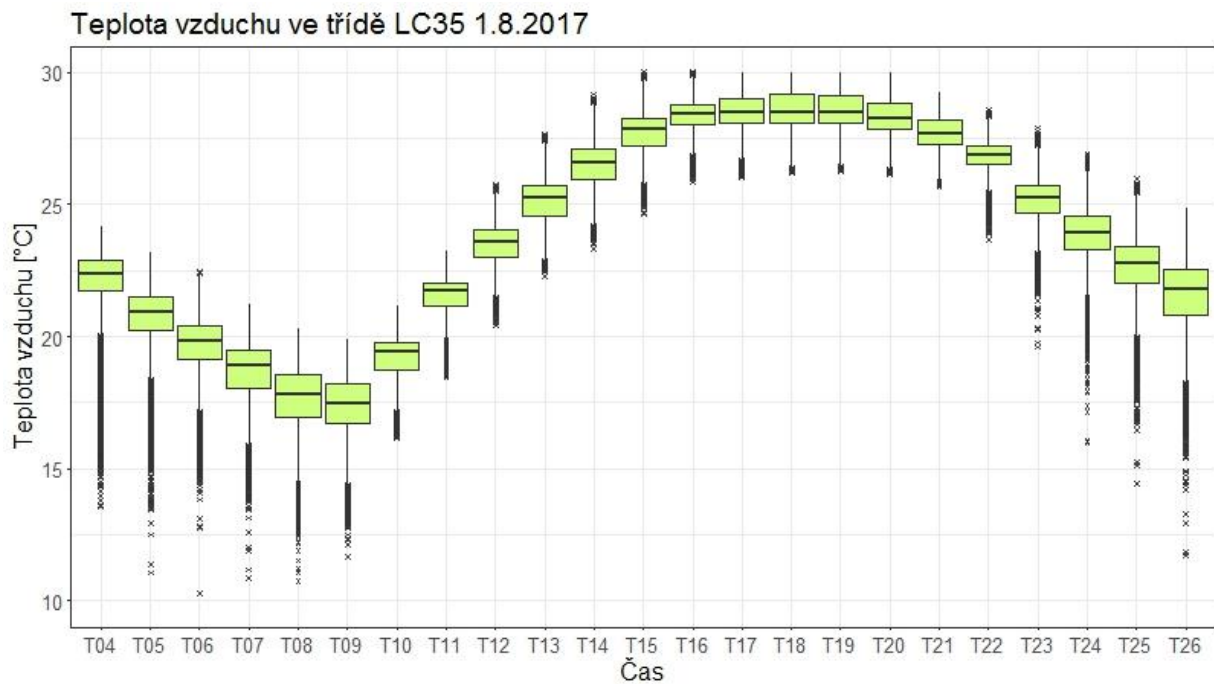
Třída LC26 prakticky odpovídá městským parkům se vzrostlými stromy (Petřín, Stromovka, Vítkov, Riegrovy sady apod.). Do výčtu byla uvedena primárně pro srovnání se zastavěnými plochami a z důvodu, že v těchto místech hledají obyvatelé měst zázemí během vln veder. LC26 se během dne drží několik stupňů pod zastavěnými třídami (viz Obr. 17). Nicméně během nočních hodin zde díky tepelnému stresu, kterým stromy během horkých vln trpí, a špatnému provětrávání, nedochází k výraznějšímu ochlazení. Během déle trvajících vln veder tedy budou parky teplejší než např. třídy s vyšší procentem vegetace a nízkou drsností (LC05) nebo okraje sídel (LC08).



Obrázek 17: Časová variabilita chodu teploty vzduchu v LC26

Trvalé travní porosty (LC35)

Třída s trvalými travními porosty je zde uvedena primárně pro srovnání se zastavěnými plochami. Tato třída se vyznačuje velmi vysokou teplotní amplitudou, jednou z nejvyšších mezi všemi třídami. Je to dáno vlastnostmi povrchu: v době pozitivní energetické bilance se povrchy rychle prohřejí, v době negativní energetické bilance naopak rychle energii uvolňují a ochlazují se. Důležitým faktorem je také vegetační období. Na jaře má zelená tráva jiné vlastnosti než v létě, kdy může díky nedostatku vody v půdě usychat.

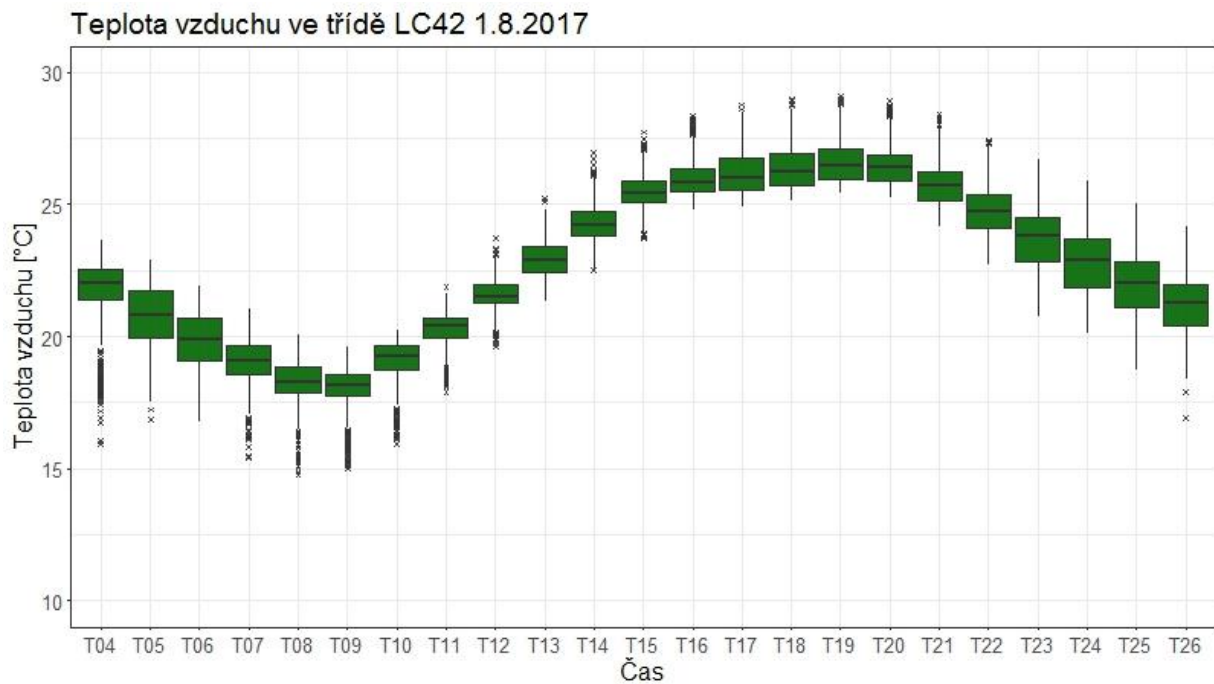


Obrázek 18: Časová variabilita chodu teploty vzduchu v LC35

Smíšené lesy (LC42)

Třída LC42 je zde uvedena primárně pro srovnání se zastavěnými plochami. Její vlastnosti jsou podobné jako u LC26 s tím rozdílem, že se jedná o souvislé lesní plochy, nikoli o parky nebo lesoparky v prostředí měst. LC42 ve většině případů vykazuje nejnižší teplotní amplitudu a zároveň nejnižší průměrné teploty vůbec (neuvažujeme-li vodní toky).

LC42 se během dne drží, stejně jako LC26, několik stupňů pod zastavěnými třídami (viz Obr. 19). Nicméně během nočních hodin zde díky tepelnému stresu, kterým stromy během horkých vln trpí, a špatnému provětrávání, nedochází k výraznějšímu ochlazení. Během déle trvajících vln veder tedy budou parky teplejší než např. třídy s vyšší procentem vegetace a nízkou drsností (LC05) nebo okraje sídel (LC08).

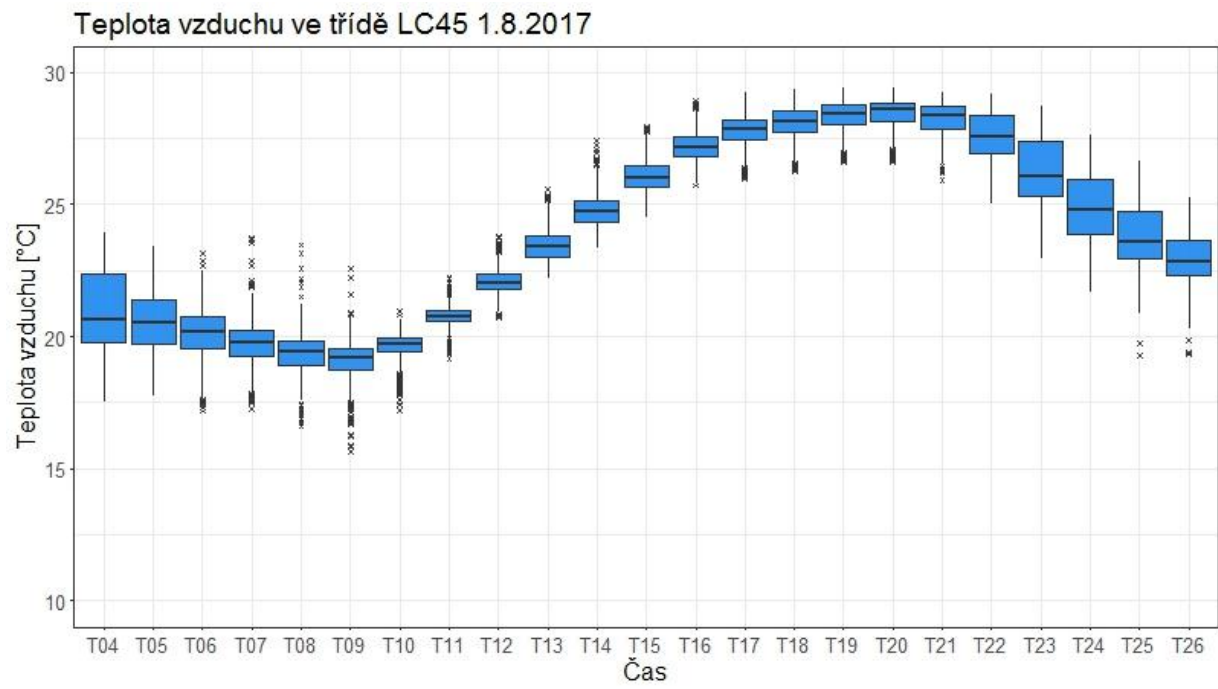


Obrázek 19: Časová variabilita chodu teploty vzduchu v LC42

Vodní toky a plochy (LC45)

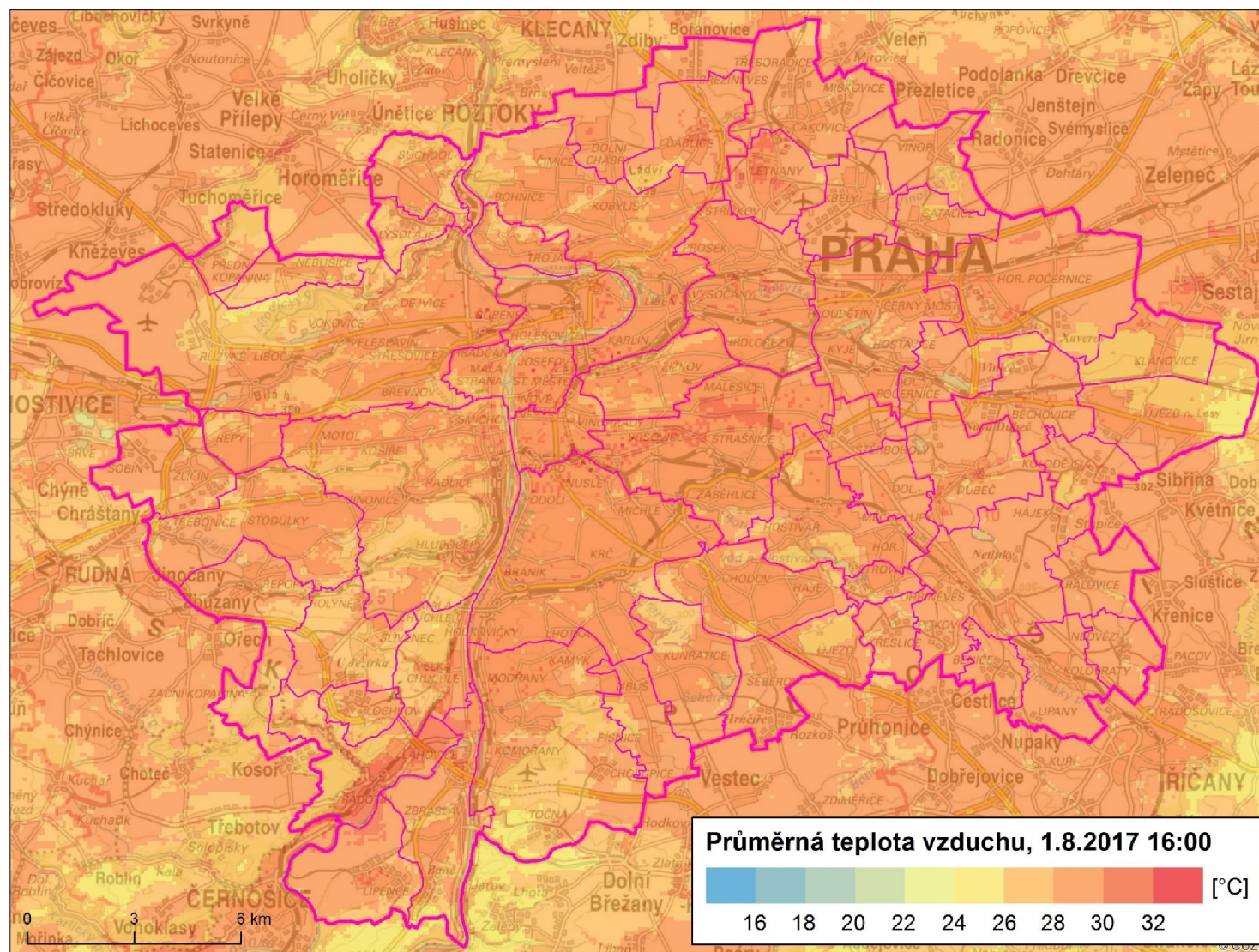
Teplota vzduchu ve 2 metrech nad vodním povrchem je zde uvedena primárně pro srovnání se zastavěnými plochami. Blízkost rozlehlých vodních toků, jako je řeka Vltava nebo Berounka, případně vodních ploch, může ovlivnit okolí až do vzdálenosti jednotek stovek metrů. Menší vodní toky utvářejí mikroklima jejich bezprostředního okolí. Velmi často jsou v okolí vodních toků lokalizována místa s minimálními teplotami.

Minimální teploty jsou obvykle lokalizovány v blízkosti řeky Vltavy, případně v členitém terénu (např. Šárecké údolí, Prokopské údolí, Údolí Kunratického potoka, Břežanské údolí, Károvské údolí, Járovské údolí) v blízkosti vodních toků nebo navazují na rozlehlé lesní plochy (např. Klánovice, Kunratice, Obora Hvězda). Na rozdíl od hustě zastavěných území tyto plochy rychle uvolňují přes den akumulované teplo a během noci se rychle ochlazují. Na území města Prahy je patrný zejména vliv hluboce „zaříznutých“ údolí, jejichž severně-ukloněná část je v době pozitivní energetické bilance „přehřátá“ (např. Šárecké údolí). Většina těchto údolí je navíc významně exponovaných a tvoří je vyšší vzrostlá vegetace.

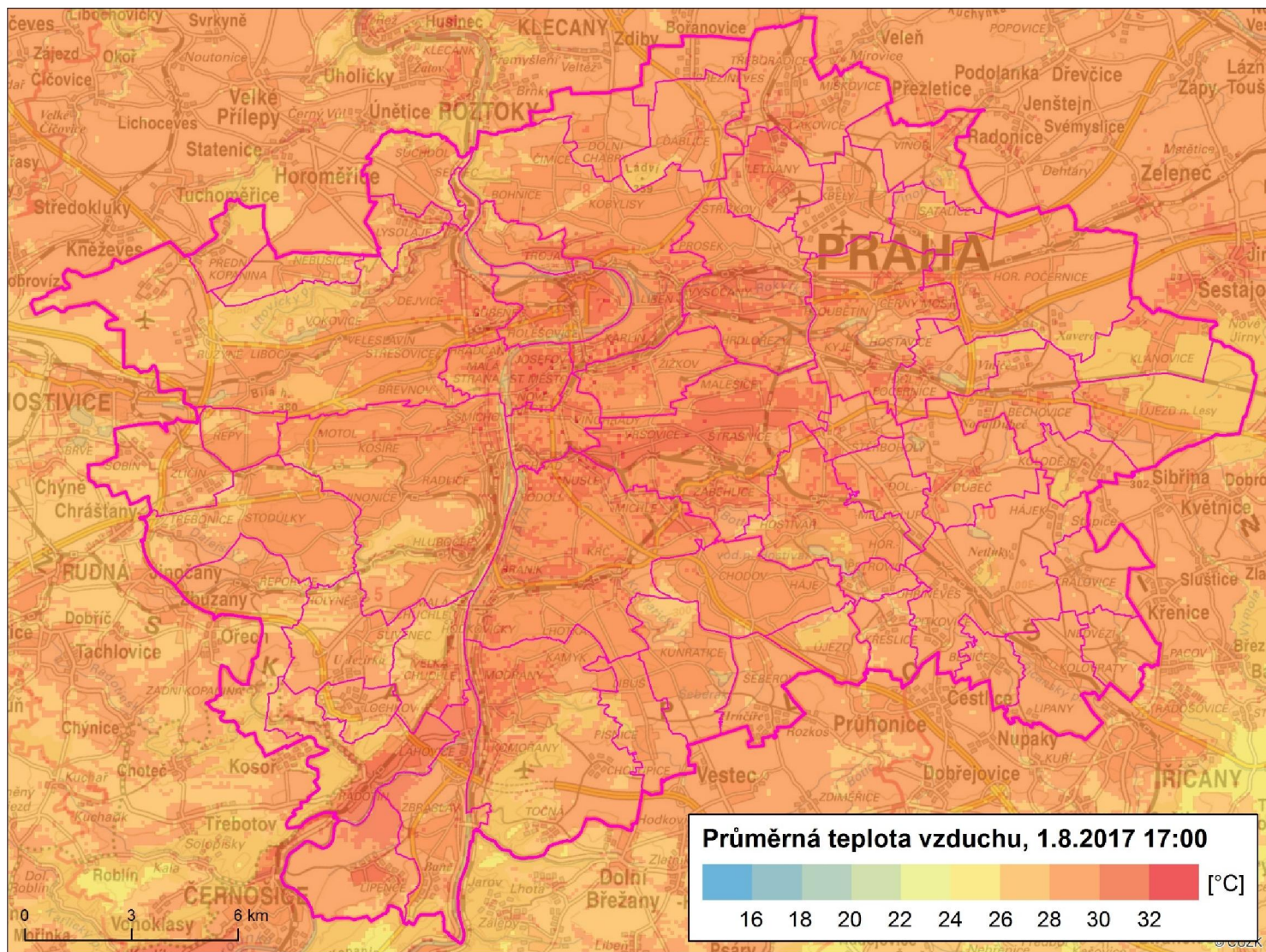


Obrázek 20: Časová variabilita chodu teploty vzduchu v LC45

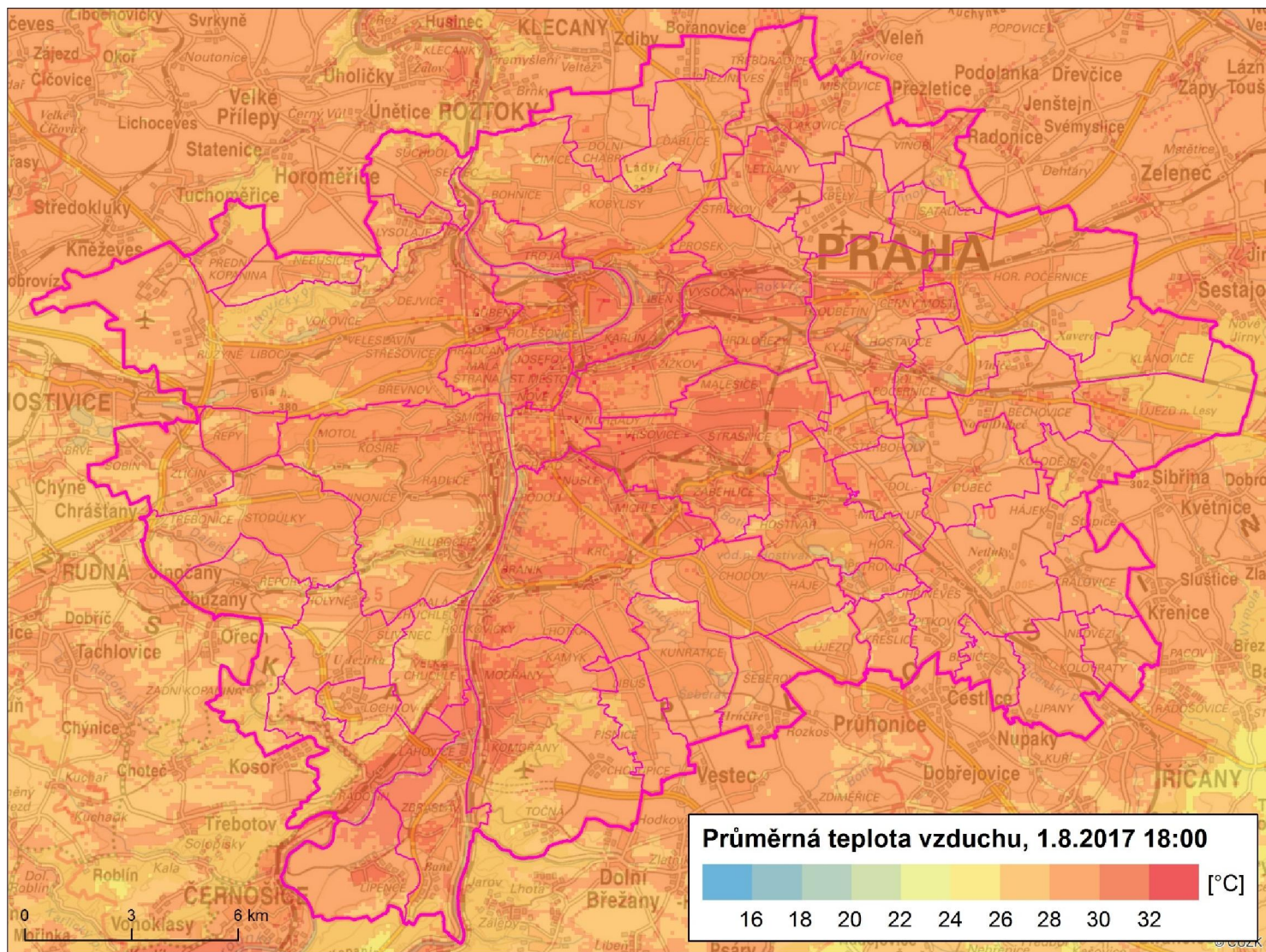
Prostorové rozložení teploty vzduchu na území hl.m. Prahy



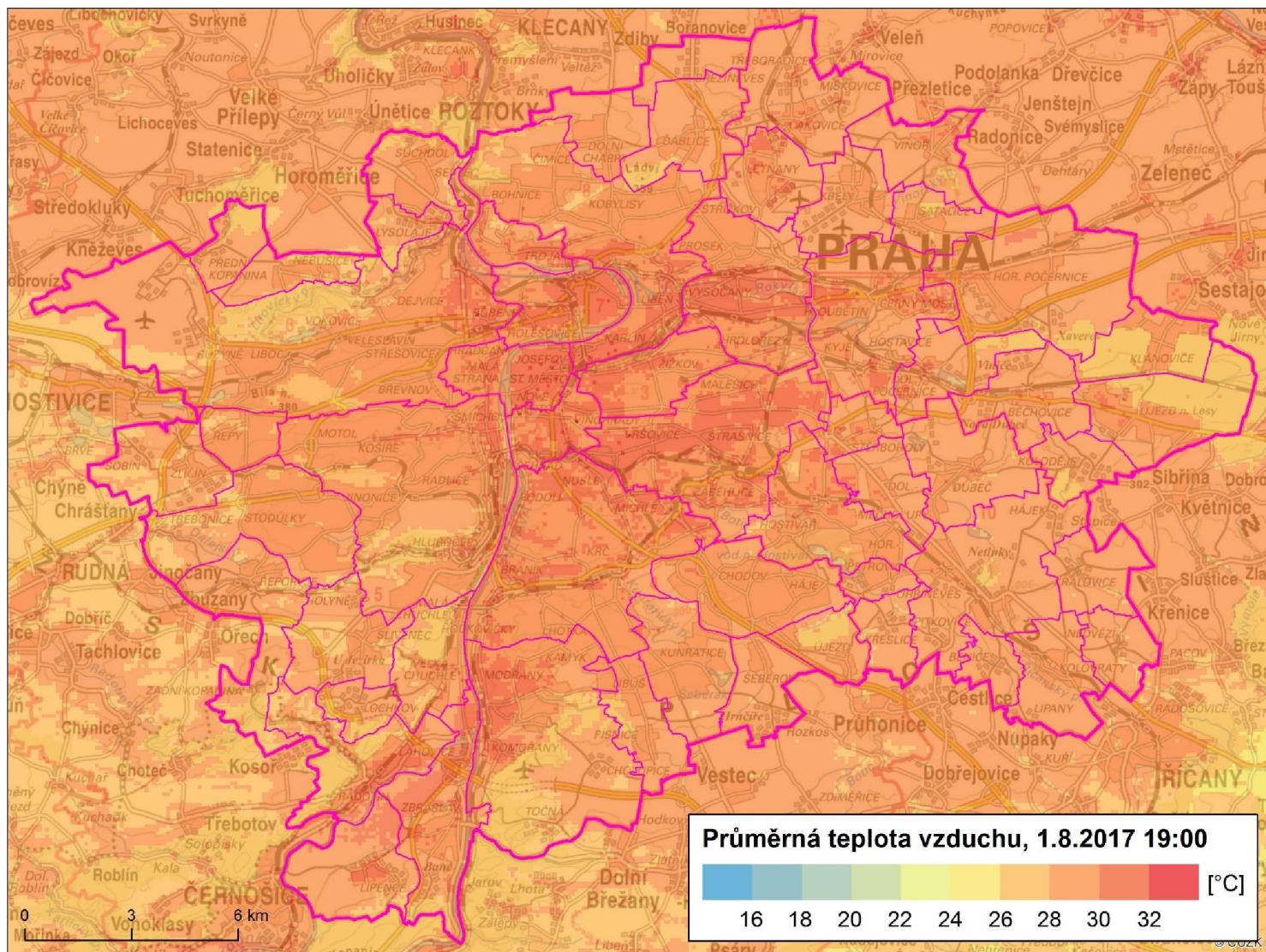
Obrázek 21: Prostorové rozložení teploty vzduchu na území hl.m. Prahy v 16:00 CEST (1.8.2017)



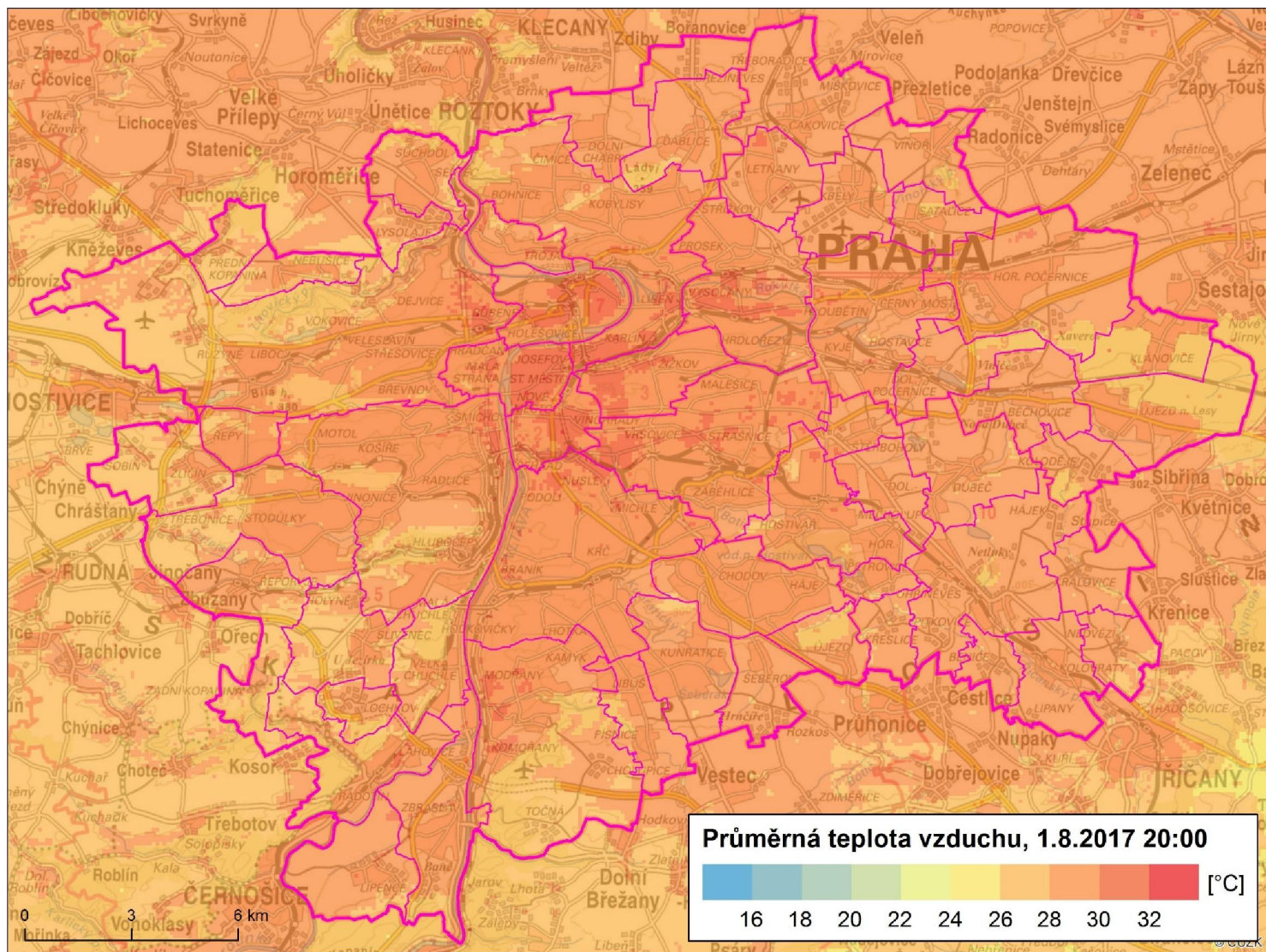
Obrázek 22: Prostorové rozložení teploty vzduchu na území hl.m. Prahy v 17:00 CEST (1.8.2017)



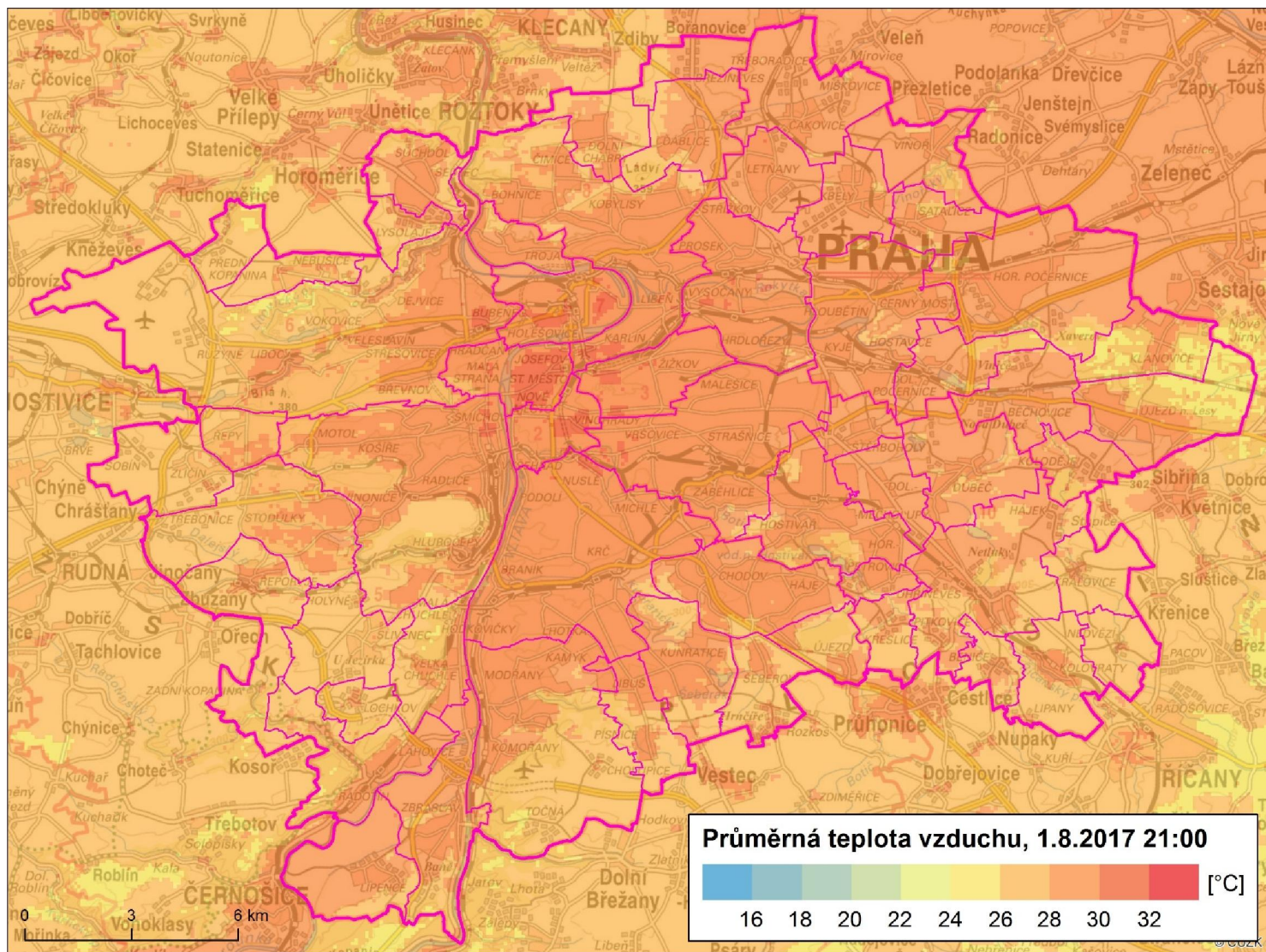
Obrázek 23: Prostorové rozložení teploty vzduchu na území hl.m. Prahy v 18:00 CEST (1.8.2017)



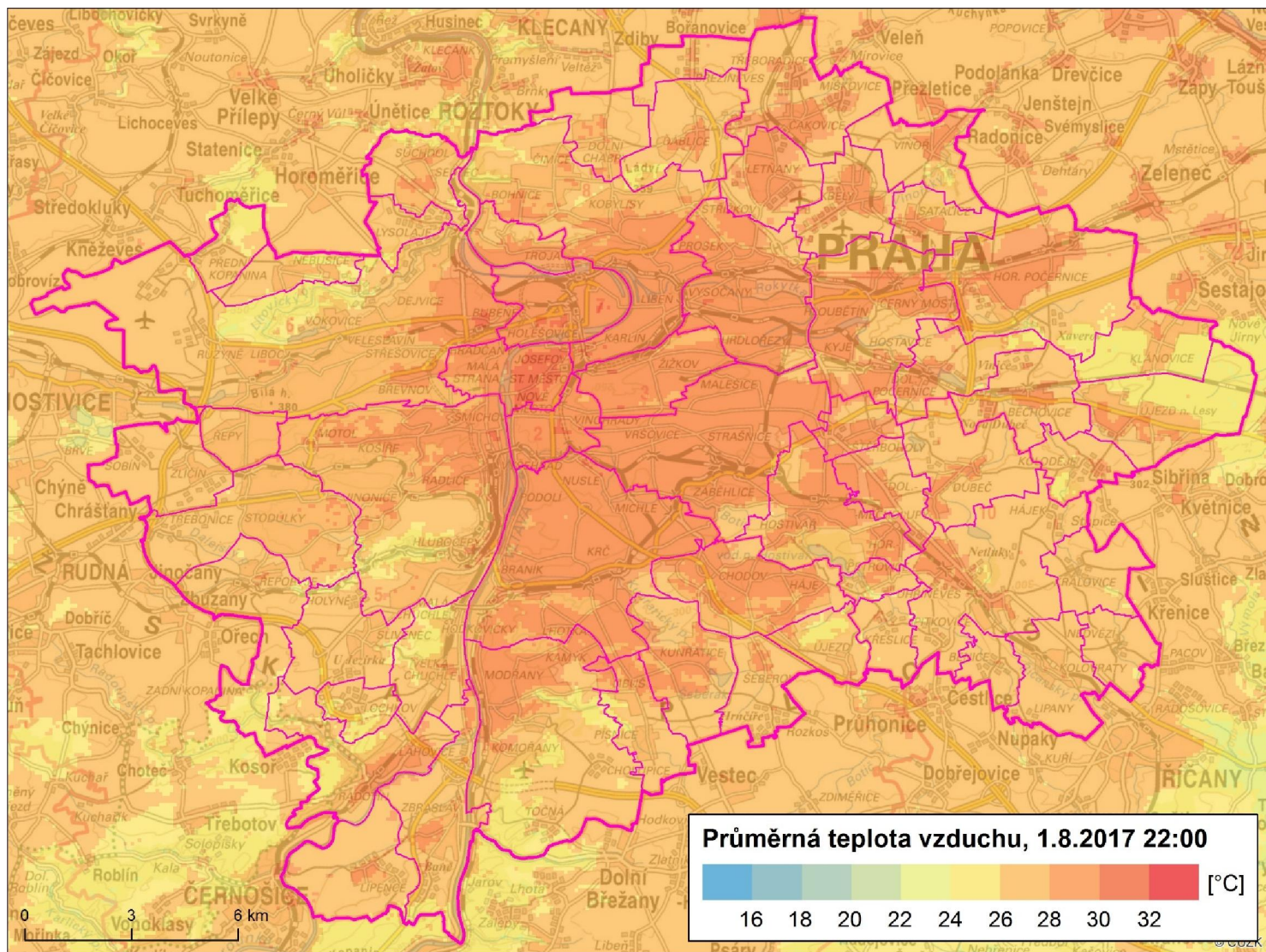
Obrázek 24: Prostorové rozložení teploty vzduchu na území hl.m. Prahy v 19:00 CEST (1.8.2017)



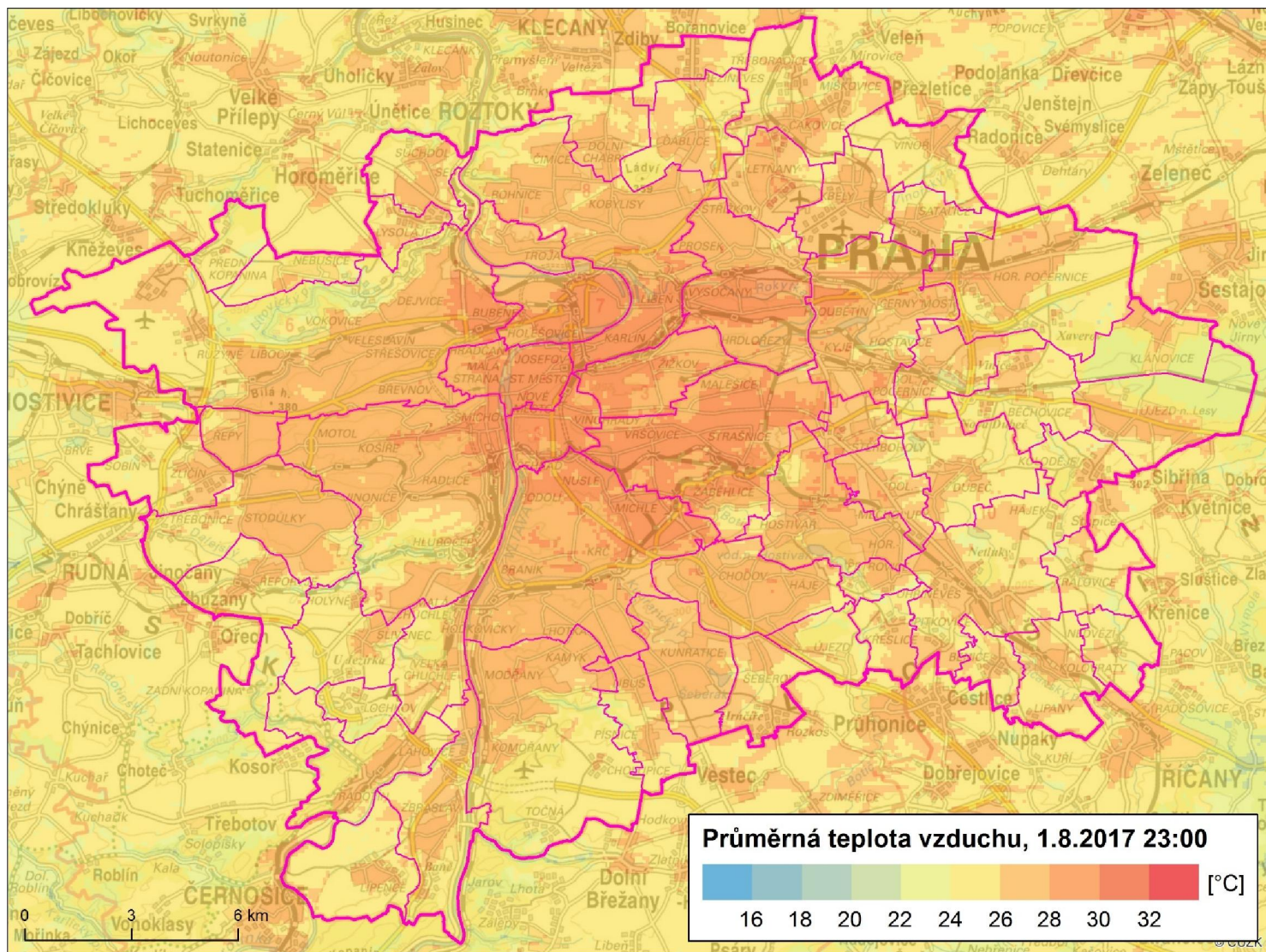
Obrázek 25: Prostorové rozložení teploty vzduchu na území hl.m. Prahy v 20:00 CEST (1.8.2017)



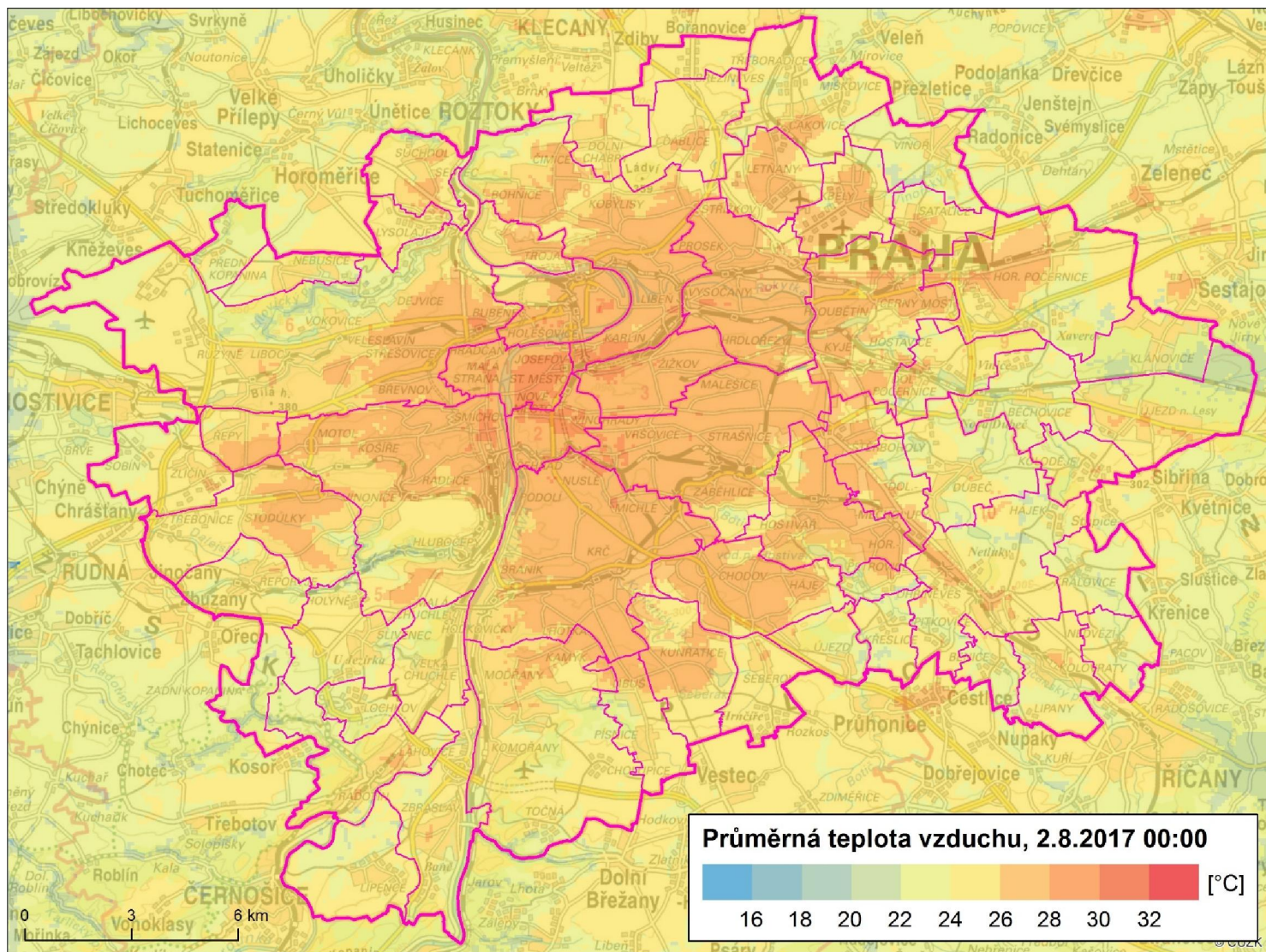
Obrázek 26: Prostorové rozložení teploty vzduchu na území hl.m. Prahy v 21:00 CEST (1.8.2017)



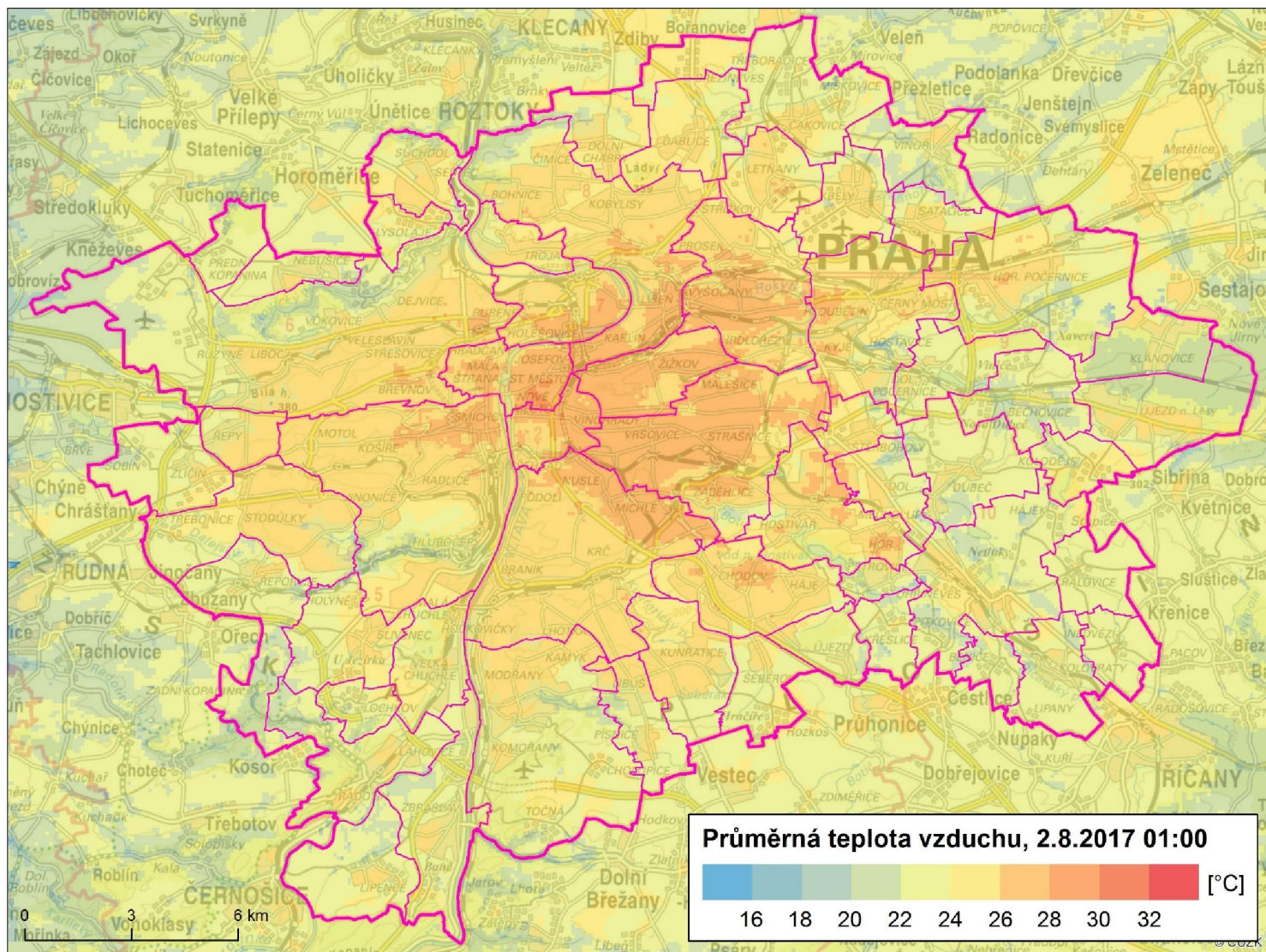
Obrázek 27: Prostorové rozložení teploty vzduchu na území hl.m. Prahy v 22:00 CEST (1.8.2017)



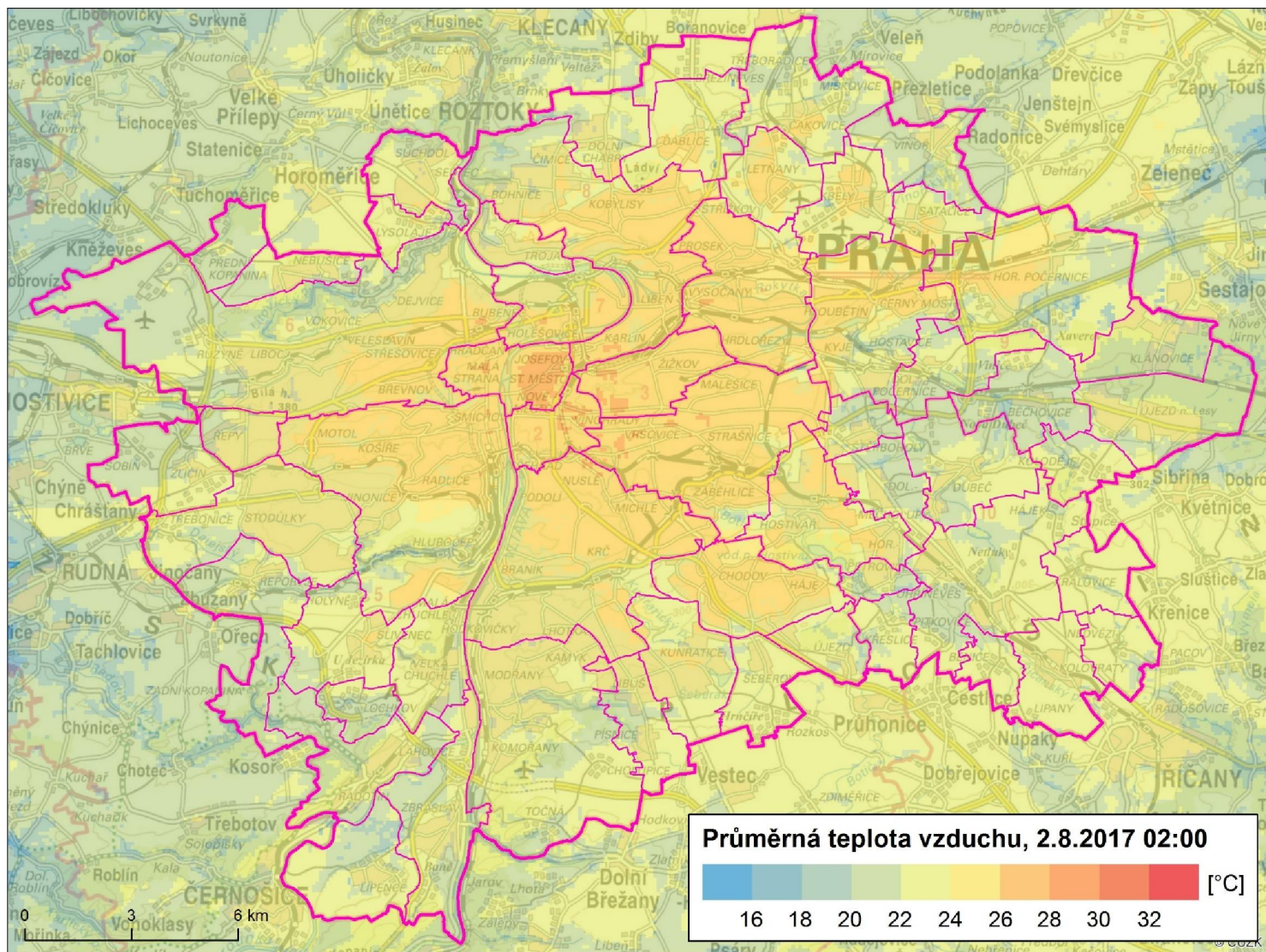
Obrázek 28: Prostorové rozložení teploty vzduchu na území hl.m. Prahy v 23:00 CEST (1.8.2017)



Obrázek 29: Prostorové rozložení teploty vzduchu na území hl.m. Prahy v 00:00 CEST (2.8.2017)



Obrázek 30: Prostorové rozložení teploty vzduchu na území hl.m. Prahy v 01:00 CEST (2.8.2017)

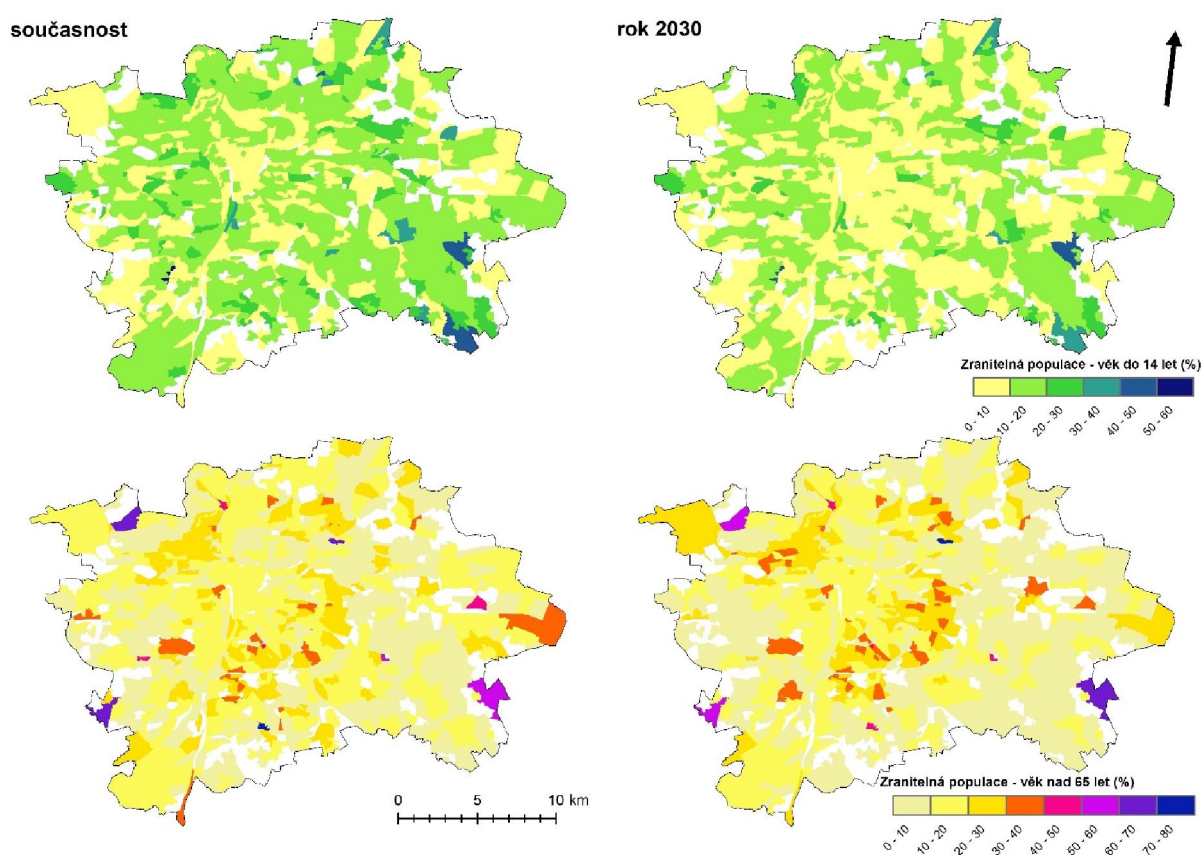


Obrázek 31: Prostorové rozložení teploty vzduchu na území hl.m. Prahy v 02:00 CEST (2.8.2017).

4. Prostorové hodnocení zranitelnosti

4.1 Hodnocení zranitelnosti vůči teplotním extrémům

Hodnocení vůči teplotním extrémům bylo zpracováno pro současný stav (tzv. baseline) a období blízké budoucnosti – rok 2030 (pro klimatické scénáře RCP 4.5 a RCP 8.5). Do analýzy pro období blízké budoucnosti byly také zahrnuty demografické prognózy hl.m. Prahy z hlediska počtu obyvatel a věkové struktury (viz Obr. 32).

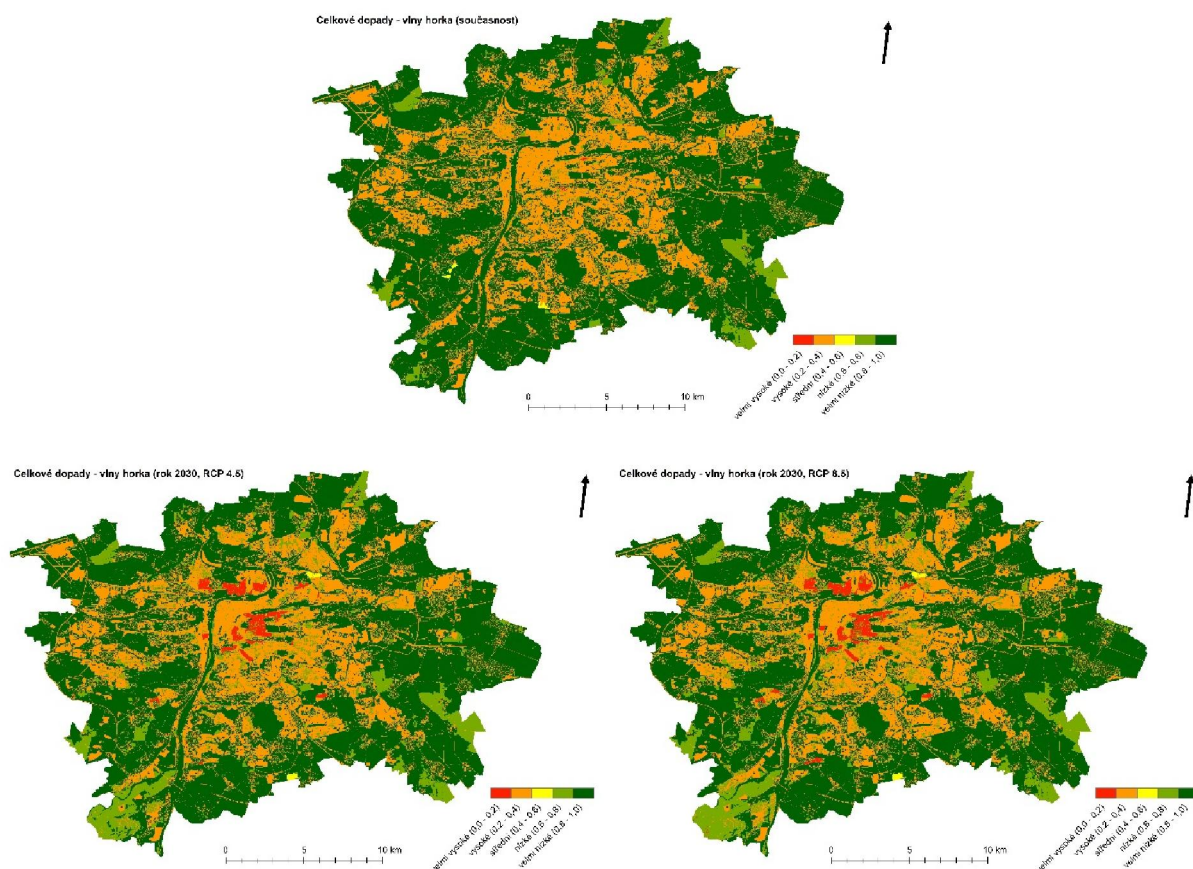


Obrázek 32: Zranitelná populace (do 14 let a nad 65 let) – současný stav a prognóza pro rok 2030

Potenciální dopady teplotních extrémů - vlny horka

Celkové potencionální dopady vln horka jsou dle metodického rámce vyhodnoceny jako suma expozice a citlivosti. Expozice území vůči vlnám horka je vyjádřena pomocí klimatických a demografických indikátorů, jejichž přehled je uveden v Tabulce 1. Z hlediska zranitelné populace byl do analýzy zahrnut podíl osob starších 65 let a podíl populace do 14 let (za jednotlivé základní sídelní jednotky). Volba tohoto indikátoru reflektuje zvýšenou citlivost starší populace a dětí vůči déle trvajícímu horku a vysokým teplotám. Další indikátor - míra zastavěnosti území - má přímý vliv na množství a akumulaci tepelného záření, čímž ovlivňuje výslednou teplotu v jednotlivých částech města. Je zřejmé, že v

budoucnu u scénářů RCP 4.5 a RCP 8.5 dochází zejména ve středu města k nárůstu oblastí (červené plochy) s nejvyššími dopady (viz Obr. 33).



Obrázek 33: Celkové potenciální dopady – vlny horka (současnost a RCP 4.5 a RCP 8.5 - 2030)

Celková zranitelnost vůči teplotním extrémům – vlny horka

Analýza zranitelnosti byla zpracována pro současný stav (tzv. baseline) a pro období blízké budoucnosti 2021-2040 (respektive rok 2030). Do hodnocení budoucího vývoje vstupovaly jak klimatické scénáře, tak demografické prognózy vývoje populace města. Jednotlivé segmenty hodnocení zranitelnosti byly váženy (podle Kumar et al., 2016).

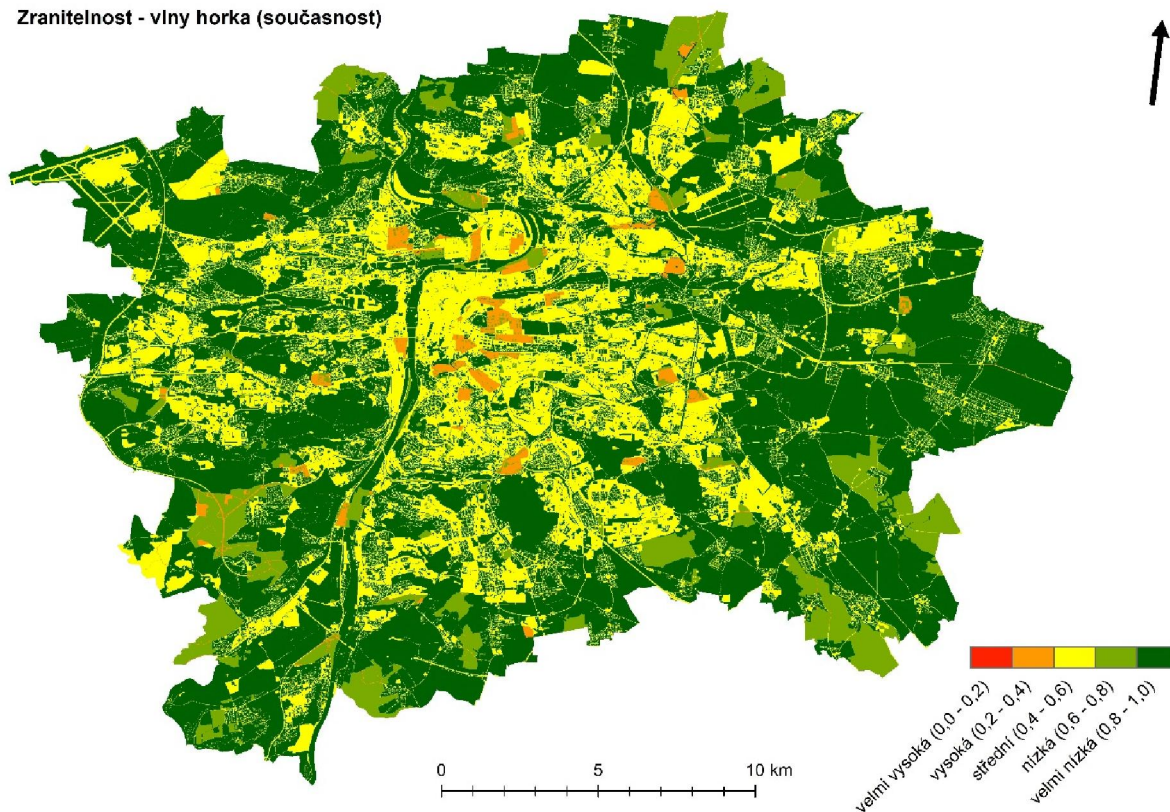
Současnou zranitelnost hl.m. Prahy vůči teplotním extrémům – vlnám horka ukazuje Obr. 34. V současné době jsou z hlediska zranitelnosti vůči vlnám horka nejvíce zasaženy oblasti v centru města, což je dáno zejména nízkou adaptivní kapacitou a vyššími celkovými dopady. Z hlediska podílu oblastí s nejvyšší zranitelností se jedná zejména o oblast MČ Praha 2, MČ Praha 3, MČ Praha 6, MČ Praha 7, MČ Praha 1 a dále také některé okrajové části Prahy, např. Libeň, či Štěrboholy.

Obr. 35 ukazuje zastoupení tříd zranitelnosti pro současný stav (baseline) a scénáře RCP 4.5 a RCP 8.5 pro 2030 (kde 0-0,2 je třída velmi vysoké zranitelnosti, naproti tomu 0,8-1 je velmi nízká třída zranitelnosti). Nejvyšší třídy zranitelnosti není dosaženo v žádném z hodnocených scénářů. Což je dáno zejména tím, že nejvyšší celkové dopady vln horka pro hl.m. Prahu (tedy oblasti s maximální expozicí a

zároveň maximální senzitivitou) pokrývají relativně malou část území hl.m. Prahy - 0,03 % (současný stav) a 1,07 %, respektive 1,24 % (2030; RCP 4.5 a RCP 8.5).

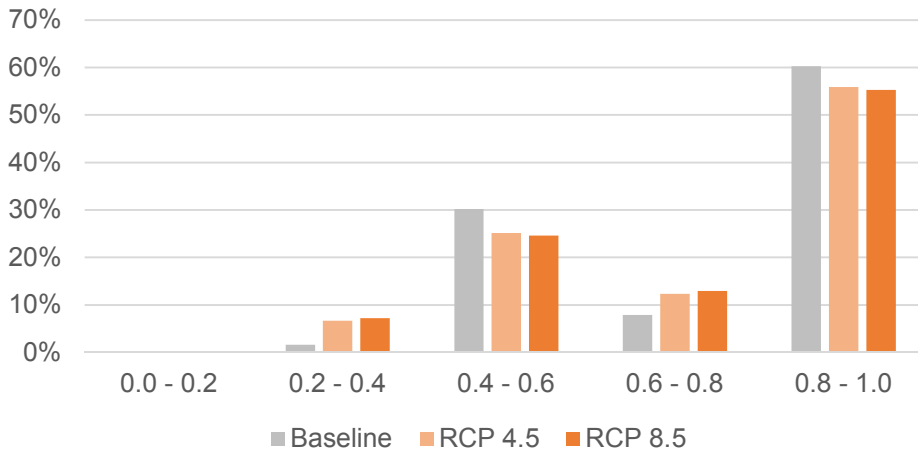
Naproti tomu u druhé nejvyšší třídy zranitelnosti - vysoké třídy (0,2-0,4) dochází k nárůstu o plochy 5 procentních bodů pro RCP 4.5 a až o 5,5 procentních bodů pro RCP 8.5. Zároveň u obou RCP scénářů dochází k poklesu zastoupení ploch se střední (0,4-0,6) a velmi nízkou zranitelností (0,8-1). Mírný nárůst je zaznamenán u oblastí s nízkou zranitelností (0,6-0,8).

Zranitelnost - vlny horka (současnost)



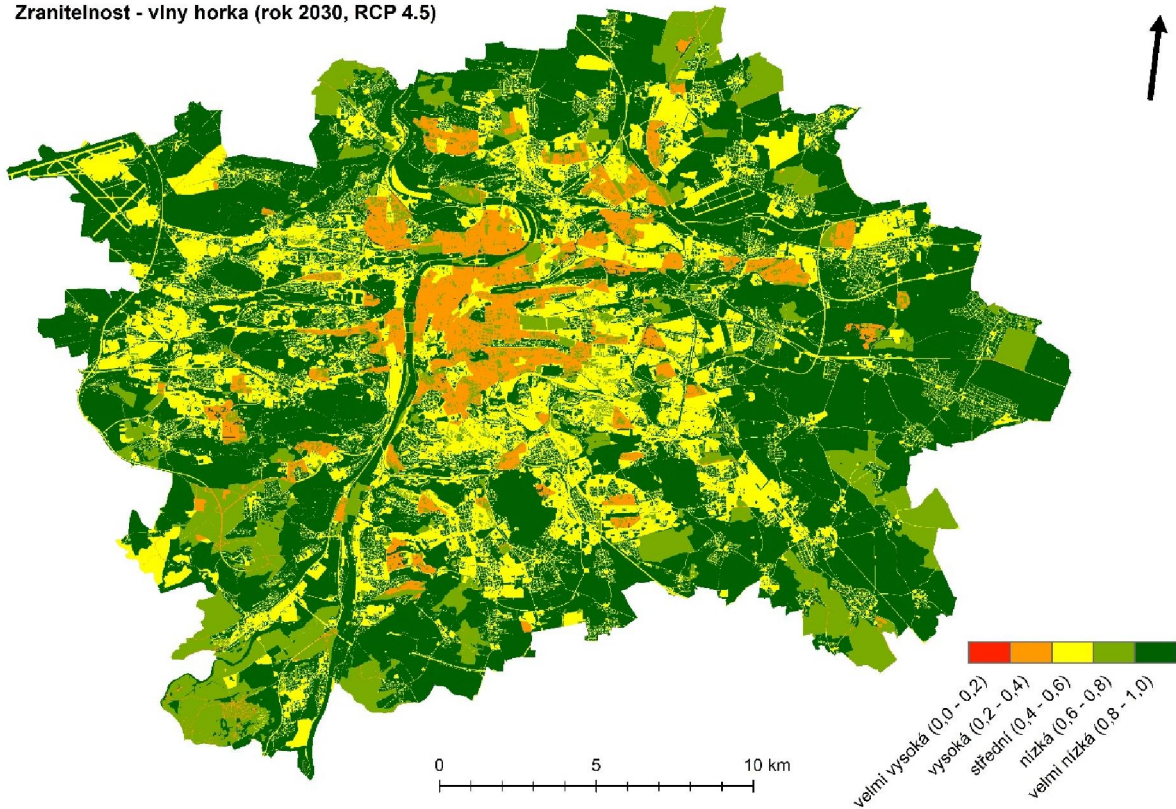
Obrázek 34: Zranitelnost – vlny horka (současnost)

Zranitelnost - vlny horka



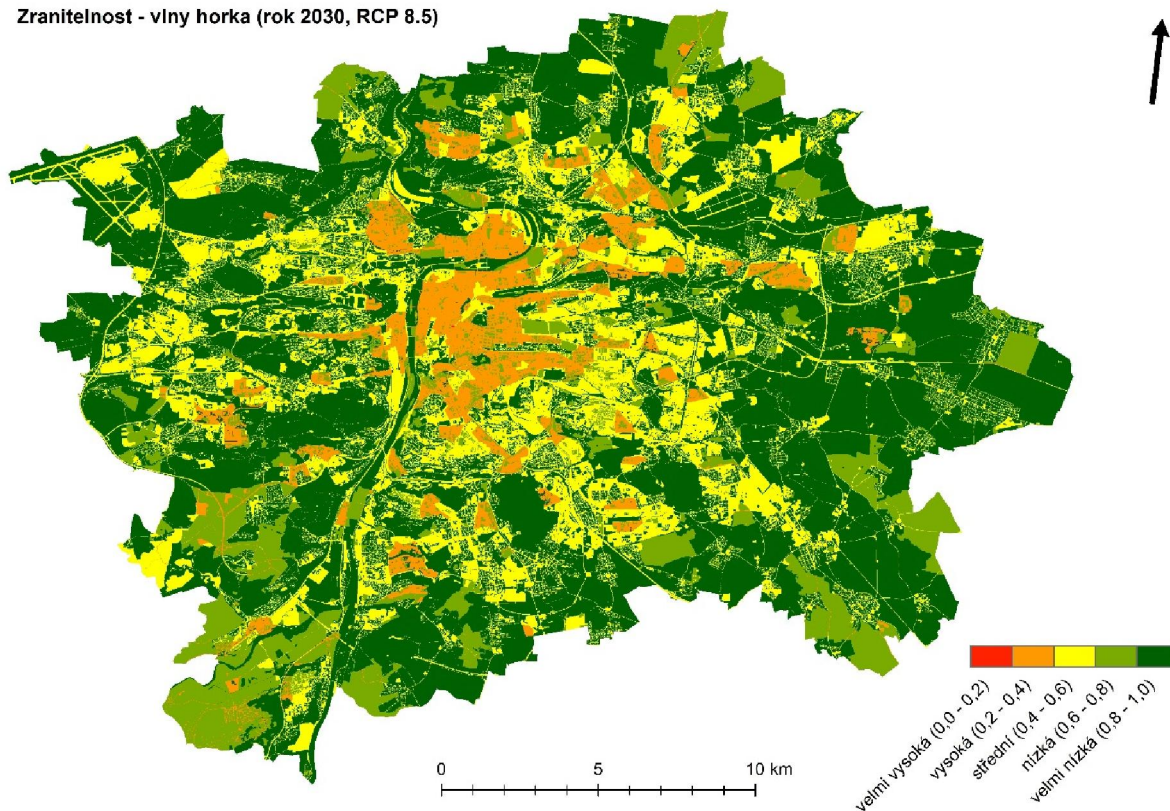
Obrázek 35: Zastoupení tříd zranitelnosti - vlny horka (současný stav a RCP 4.5, RCP 8.5 pro 2030. Třídy zranitelnosti: 0-0,2: velmi vysoká; 0,2-0,4: vysoká; 0,4-0,6: střední; 0,6-0,8: nízká; 0,8-1: velmi nízká)

Zranitelnost - vlny horka (rok 2030, RCP 4.5)



Obrázek 36: Zranitelnost – vlny horka (RCP 4.5, 2030)

Zranitelnost - vlny horka (rok 2030, RCP 8.5)

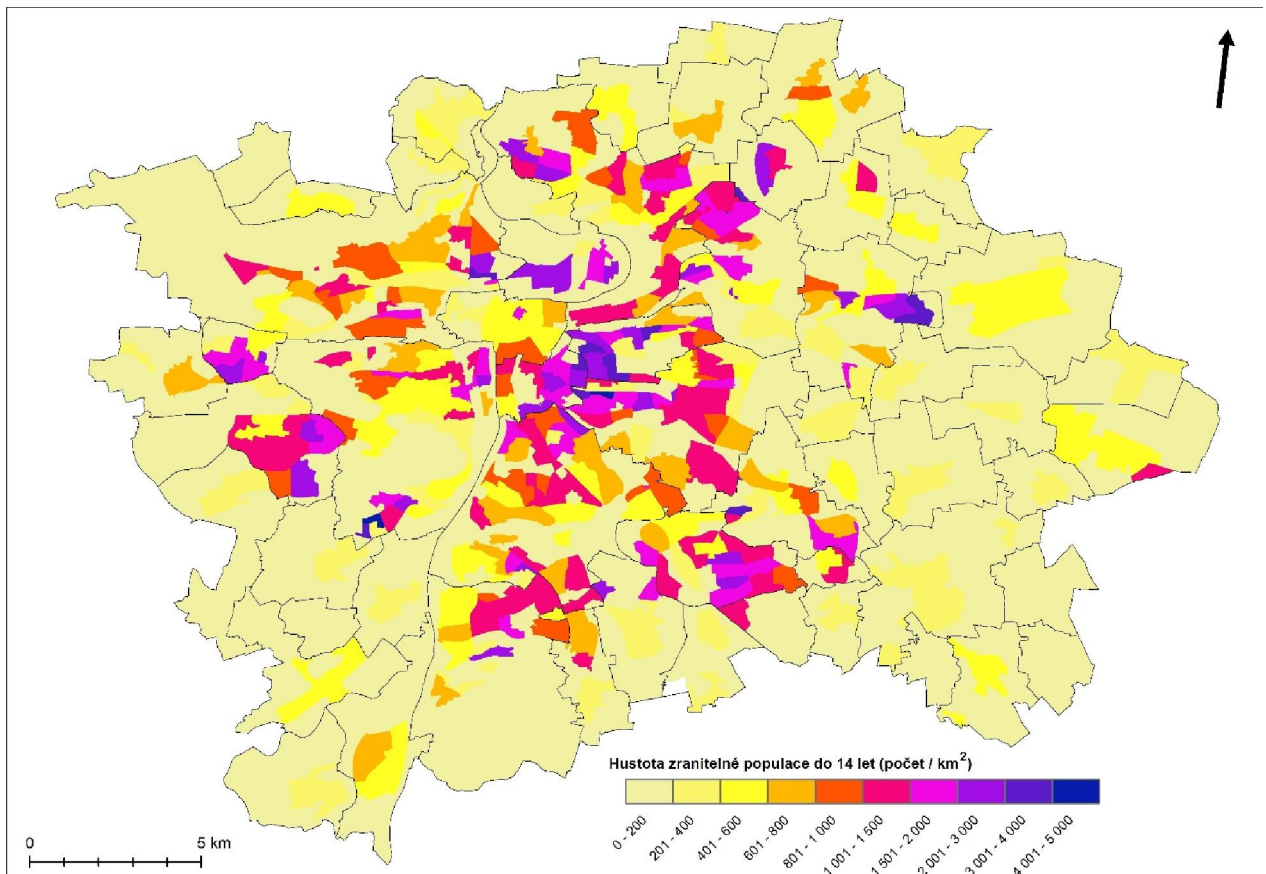


Obrázek 37: Zranitelnost – vlny horka (RCP 8.5, 2030)

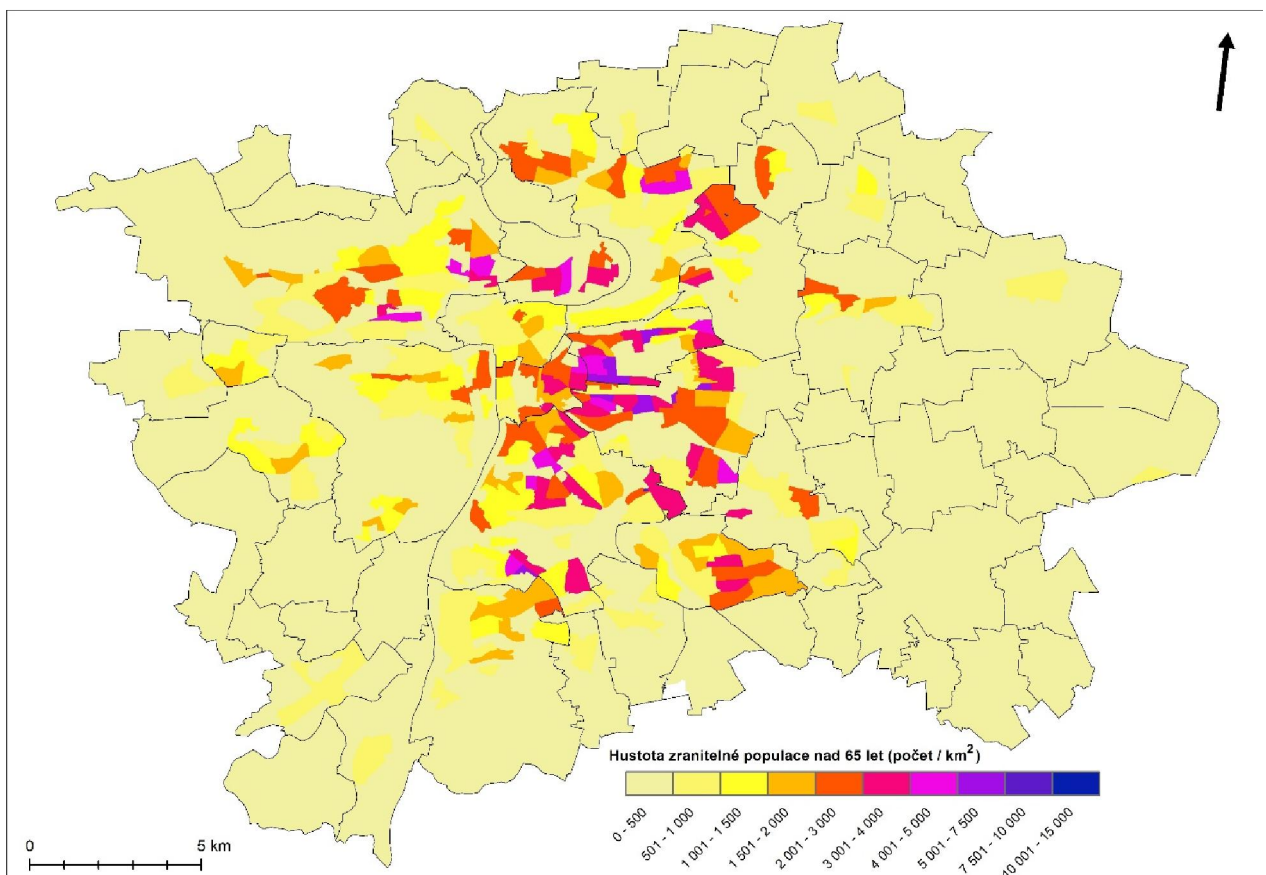
Celková zranitelnost hl.m. Prahy vůči vlnám horka pro rok 2030, scénář RCP 4.5 (stabilizace koncentrací emisí CO₂ na nižších hodnotách) je zobrazena na Obr. 36. Oproti současnému stavu dochází k nárůstu vysoké třídy zranitelnosti (0,2-0,4) zejména v oblasti centra města – MČ Praha 1, MČ Praha 2, MČ Praha 3 a MČ Praha 6, ale také u Prahy 9 a na některých plochách v jižních a severnějších částech města. Podobný nárůst oblastí s vysokou zranitelností (0,2-0,4) ukazuje i scénář RCP 8.5 pro rok 2030 (viz Obr. 37). Obdobně, jako u RCP 4.5, jsou oblasti s vysokou zranitelností koncentrovány zejména v centru hl.m. Prahy – MČ Praha 1, MČ Praha 2, MČ Praha 3 a MČ Praha 6, ale také na menších ploškách v jižních a severnějších částech města.

4.2 Expozice zranitelné populace vůči teplotním extrémům

Série následujících obrázků (Obr. 40-50) zobrazuje expozici zranitelné populace mladší 14 let (Obr. 38) a starší 65 let (Obr. 39) vůči dopadům tepelného ostrova města v časovém chodu průběhu teplotního extrému. Jako vstupní data pro podchycení zranitelné populace (dětí a seniorů), sloužila vrstva hustoty populace 0-14 let a vrstva hustoty populace starší 65 let (v obou případech počet osob/km²). Dále byly využity výstupy simulace vývoje teplot vzduchu na území Hlavního města Prahy (viz Kapitola 3), v časovém rozmezí od 16:00 1.8.2017 do 2:00 2.8.2017 CEST.



Obrázek 38: Zranitelná populace 0-14 let

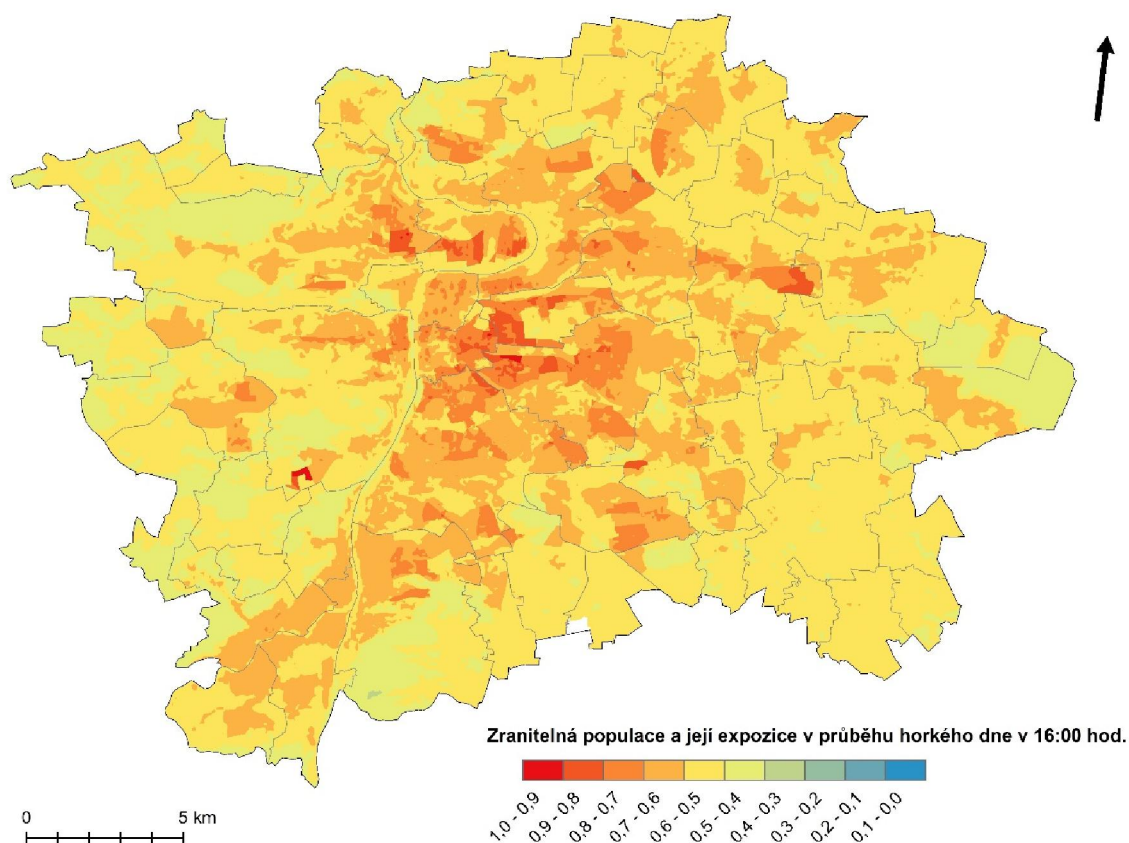


Obrázek 39: Zranitelná populace 65+ let

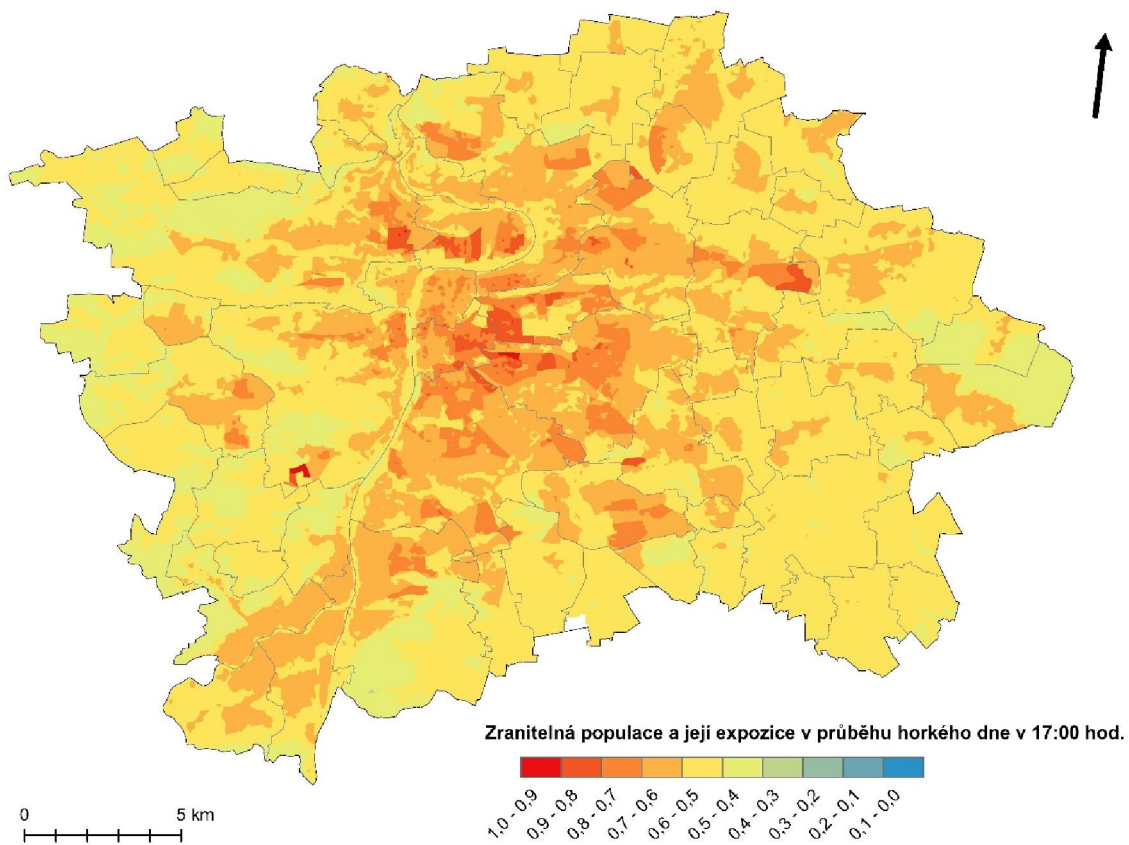
Datové vstupy byly standardizovány stejným způsobem, jako v případě hodnocení zranitelnosti. Hodnocené indikátory nejprve prošly lineární standardizací na škálu od 0 do 1 (podle minimální a maximální hodnoty charakterizující daný jev). Pro syntézu těchto tří vrstev do celkové expozice byla použita funkce fuzzy overlay v Esri ArcGIS, která byla aplikována rovněž u hodnocení celkové zranitelnosti vůči dopadům klimatické změny. Standardizované hodnoty blíží se 1 vždy značí špatný stav daného jevu (červená barva), zatímco hodnoty blíží se 0 (modrá barva) naopak dobrý stav.

K největší expozici obecně dochází mezi 16. a 19. hodinou. K nejvíce postiženým oblastem patří historické centrum města (Praha 1, Praha 2) a přilehlé městské části (Praha 3, Holešovice, Karlín, Žižkov, Vinohrady, Dejvice). Podobné situace jsou vystaveny Vysočany, Hloubětín a oblasti velkých panelových sídlišť, zejména Černý Most, Jižní Město, sídliště Bohnice, Kobylisy, Střížkov a Letňany.

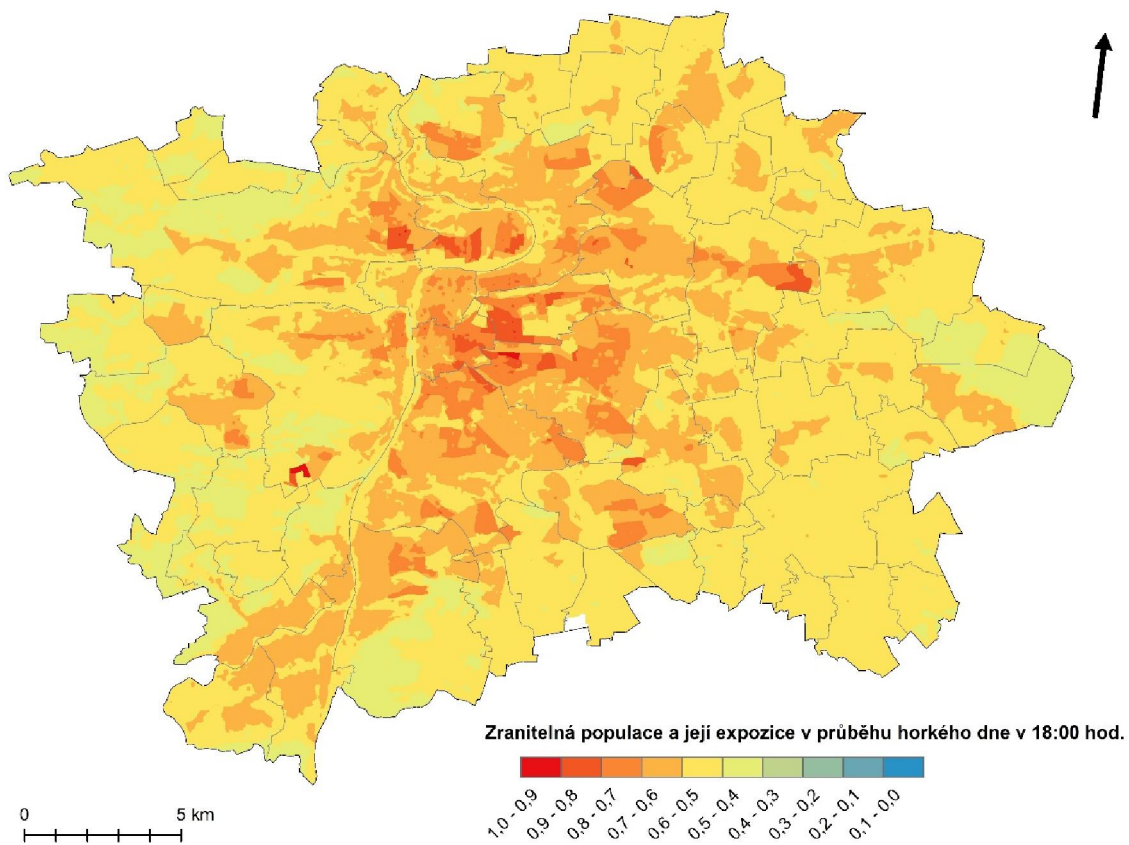
Vysoká expozice obecně koreluje s vysokým podílem zástavby, na níž je vázána také nepoměrně větší hustota zranitelné populace (viz Obr. 38 a 39). Zastavěnost území je zde klíčovým faktorem. Naopak oblasti s vyšším zastoupením zelených ploch daleko lépe odolávají vlnám horka a s nástupem večerních hodin se i rychleji ochlazují. Zatímco v centru města setrvává zvýšená expozice vůči vysokým teplotám do pozdních nočních hodin, při okrajích města se expozice dostává na minimální úroveň.



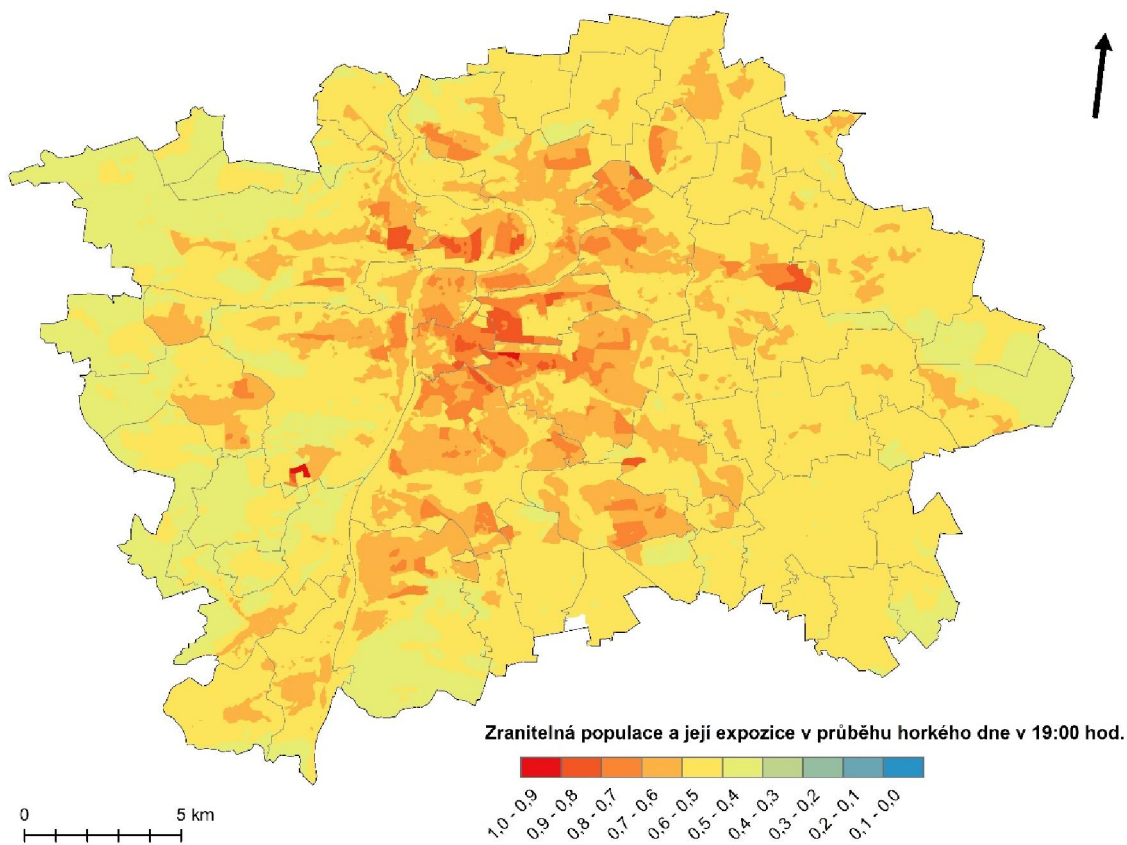
Obrázek 40: Expozice zranitelné populace v průběhu horkého dne (1.8.2017, 16:00 CEST)



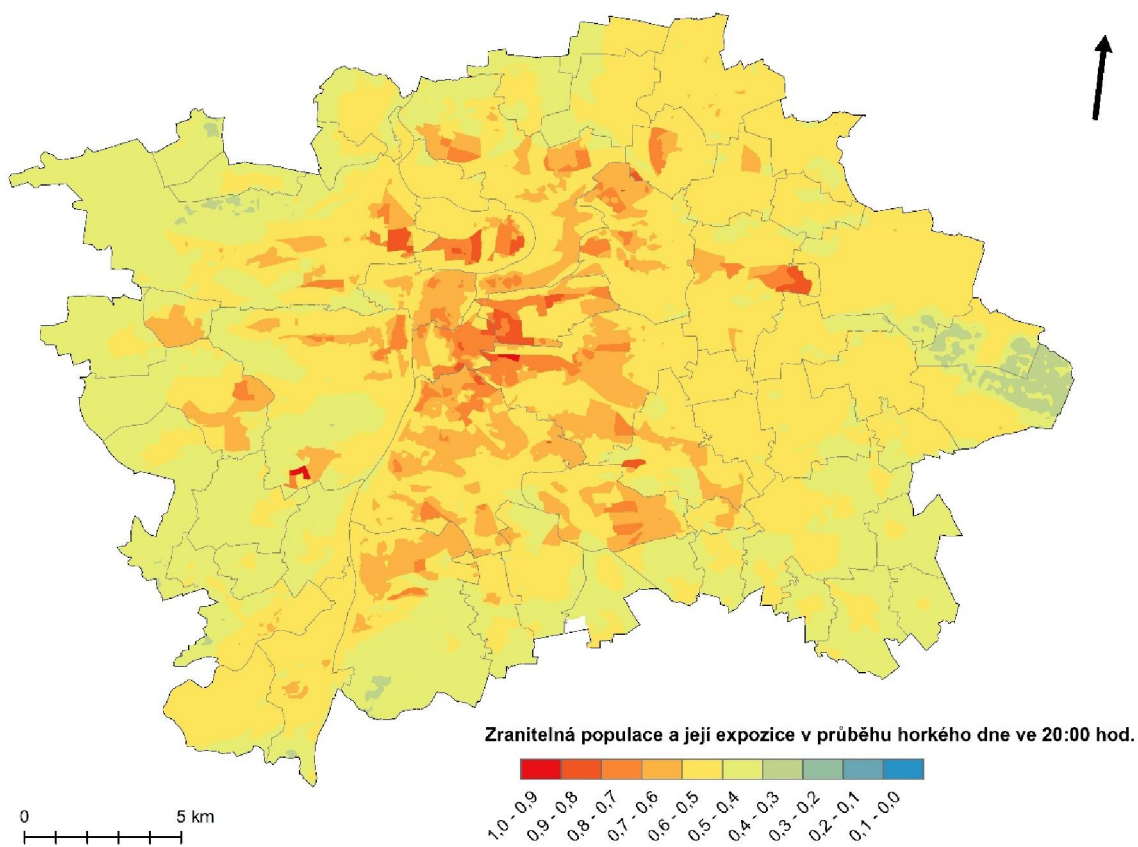
Obrázek 41: Expozice zranitelné populace v průběhu horkého dne (1.8.2017, 17:00 CEST)



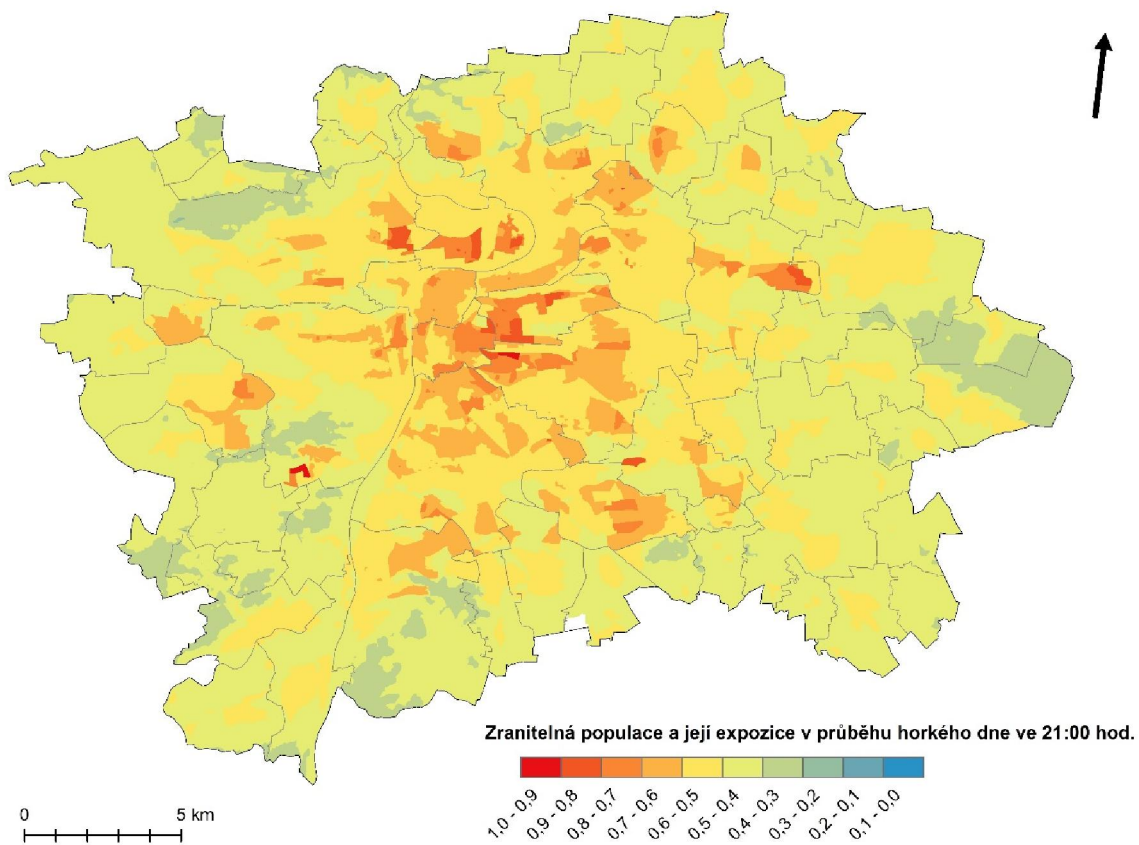
Obrázek 42: Expozice zranitelné populace v průběhu horkého dne (1.8.2017, 18:00 CEST)



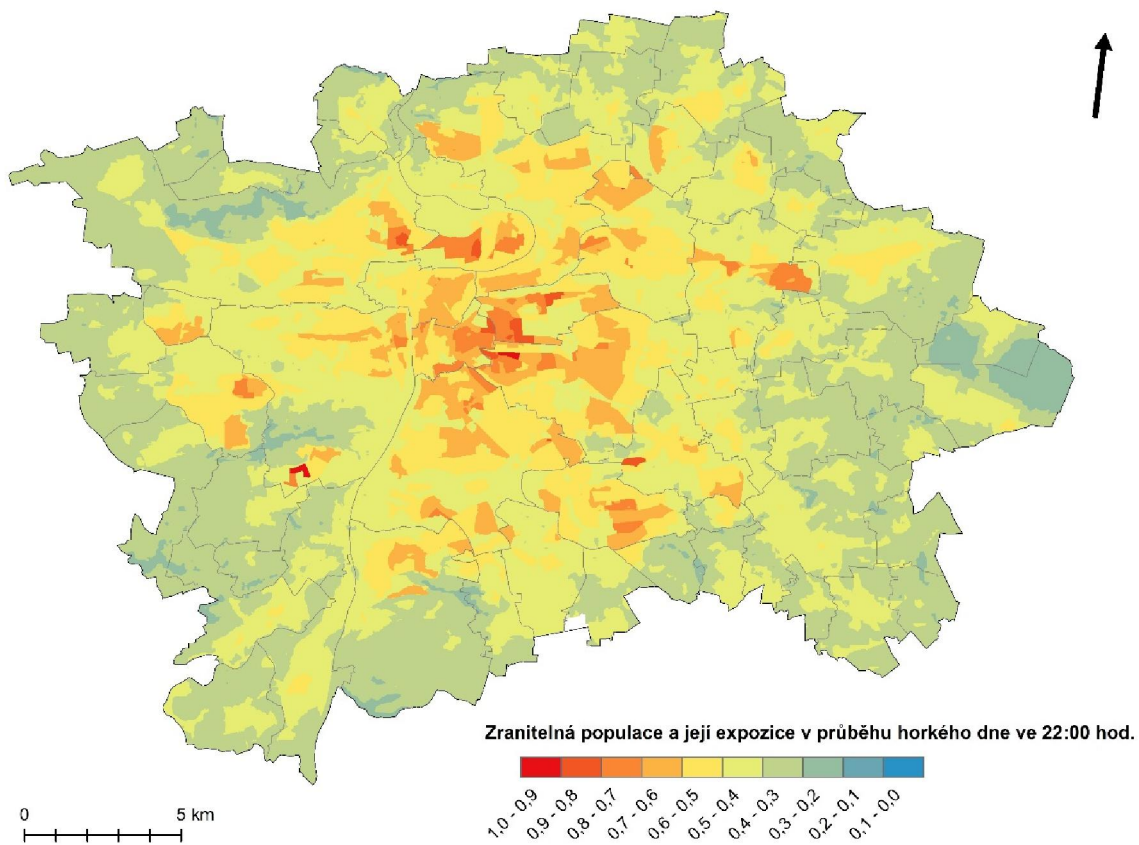
Obrázek 43: Expozice zranitelné populace v průběhu horkého dne (1.8.2017, 19:00 CEST)



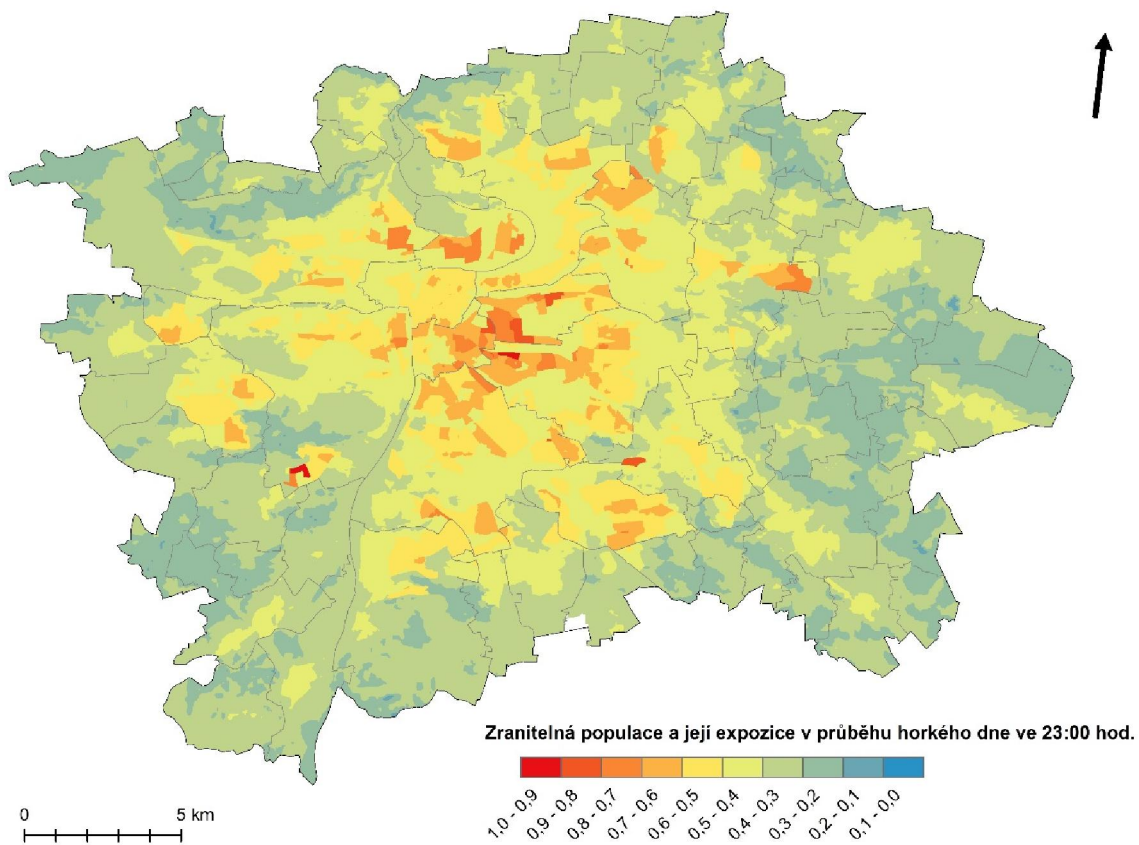
Obrázek 44: Expozice zranitelné populace v průběhu horkého dne (1.8.2017, 20:00 CEST)



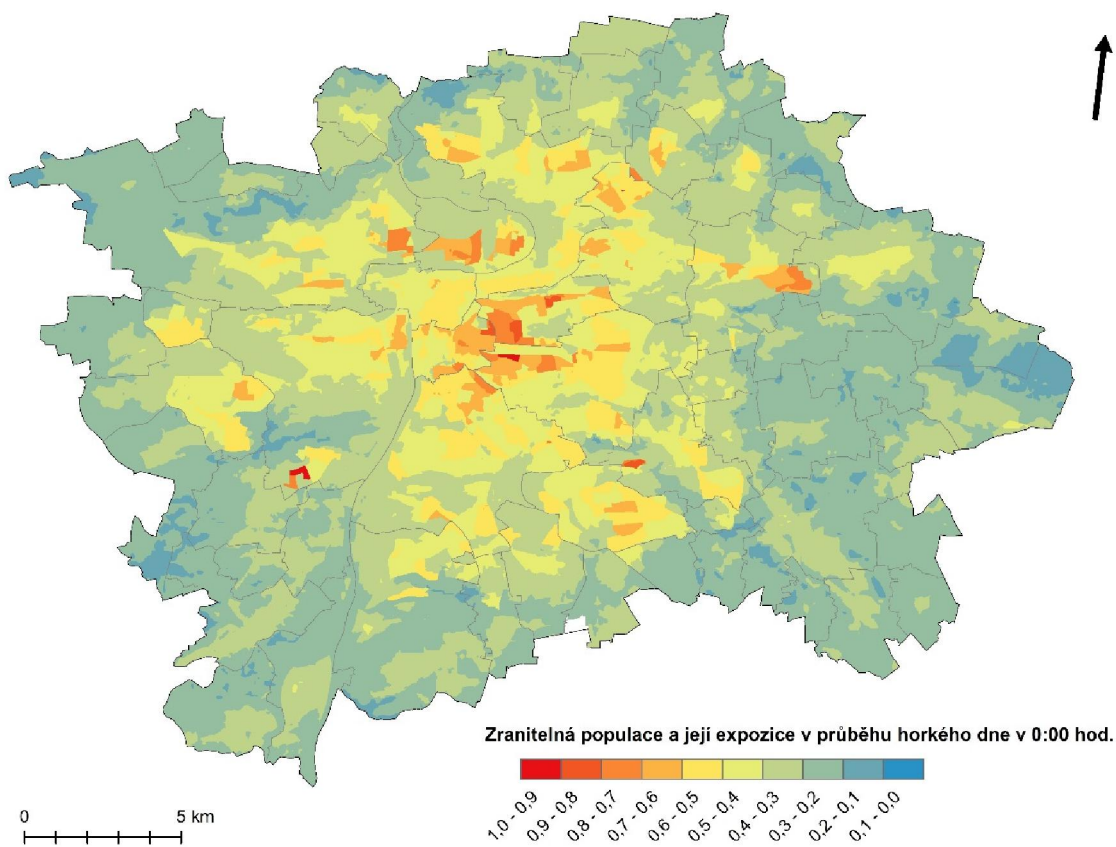
Obrázek 45: Expozice zranitelné populace v průběhu horkého dne (1.8.2017, 21:00 CEST)



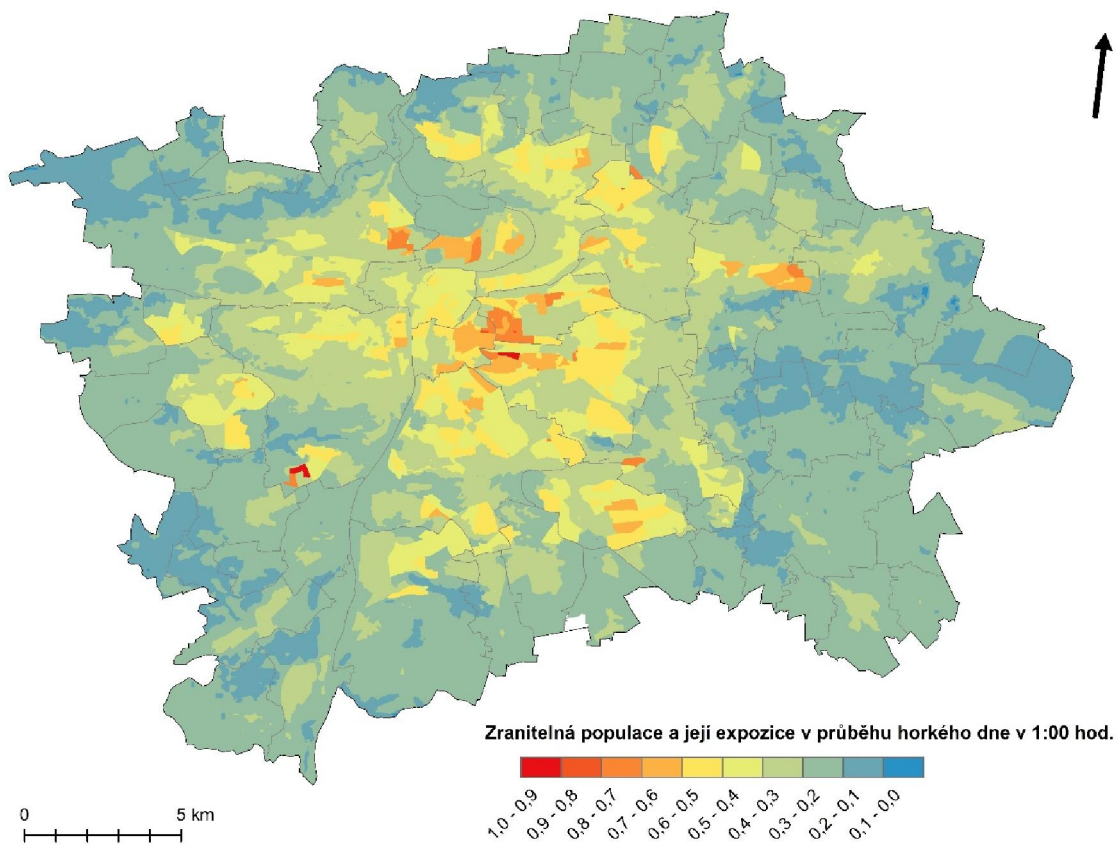
Obrázek 46: Expozice zranitelné populace v průběhu horkého dne (1.8.2017, 22:00 CEST)



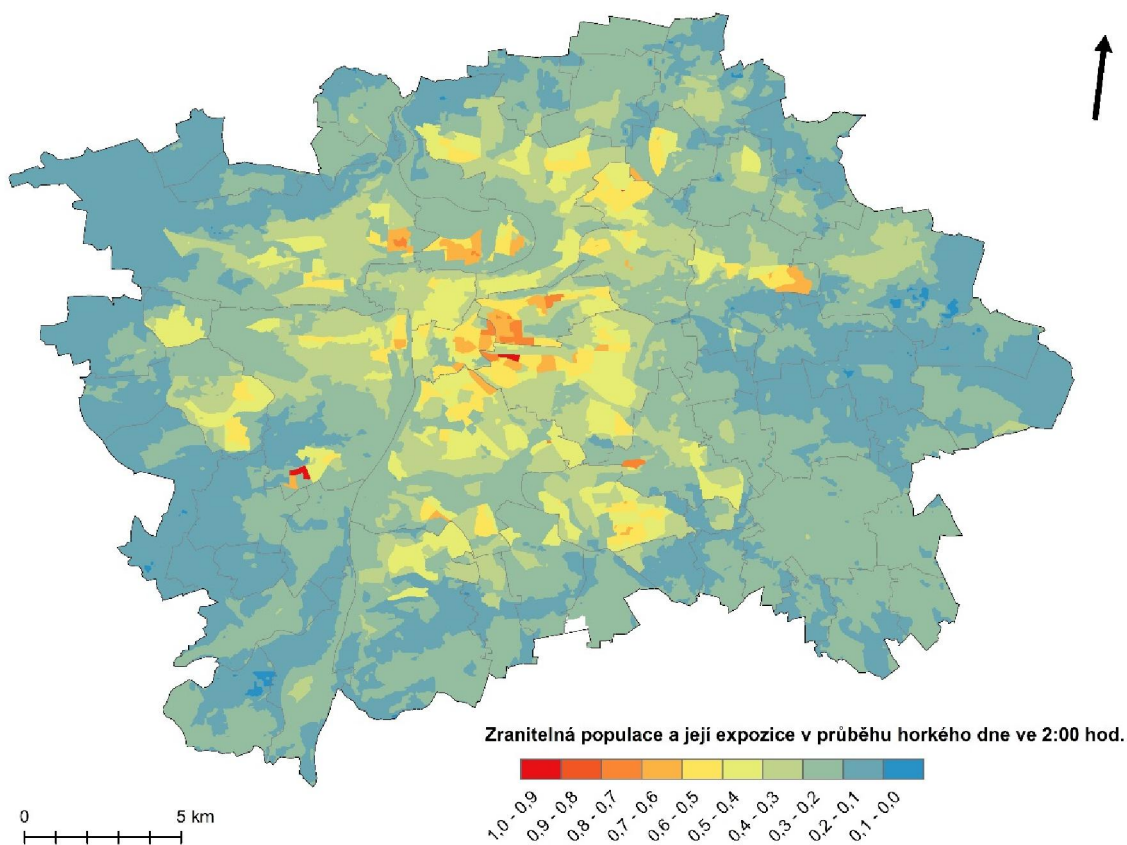
Obrázek 47: Expozice zranitelné populace v průběhu horkého dne (1.8.2017, 23:00 CEST)



Obrázek 48: Expozice zranitelné populace v průběhu horkého dne (2.8.2017, 0:00 CEST)



Obrázek 49: Expozice zranitelné populace v průběhu horkého dne (2.8.2017, 1:00 CEST)



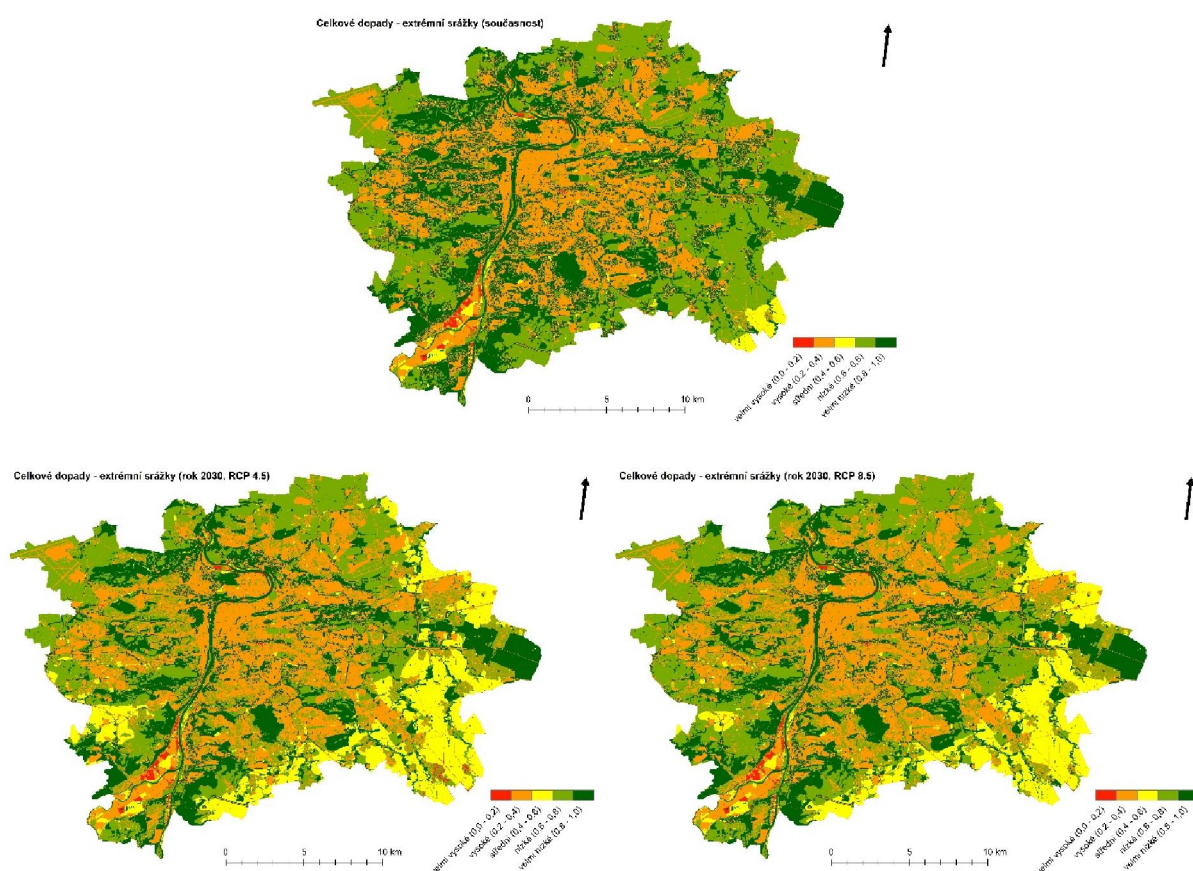
Obrázek 50: Expozice zranitelné populace v průběhu horkého dne (2.8.2017, 2:00 CEST)

4.3 Hodnocení zranitelnosti vůči extrémním srážkám a nedostatečnému zasakování

Analýza zranitelnosti hl.m. Prahy vůči extrémním srážkám a nedostatečnému zasakování srážkové vody vychází z metodického rámce (viz Kapitola 2) a indikátorů pro hodnocení zranitelnosti vůči extrémním srážkám a nedostatečnému zasakování (viz Tab. 2). V případě všech tří scénářů extrémních srážek a nedostatečného zasakování srážkové vody vstupuje do analýzy kromě klimatických, urbanistických a demografických ukazatelů, také indikátor záplavových území.

Potenciální dopady extrémních srážek a nedostatečného zasakování

Celkové potenciální dopady extrémních srážek a nedostatečného zasakování srážkové vody jsou dle metodického rámce vyhodnoceny jako suma expozice a citlivosti (viz Tab. 2). Celkové potenciální dopady jsou nejvyšší zejména okolo Vltavy – oblast Troja, MČ Praha 7, Velká Chuchle, Praha 16, Zbraslav a Lipence (viz Obr. 51). V případě scénářů RCP 4.5 a RCP 8.5 roste podíl ploch se střední třídou dopadů (0,4-0,6) o cca 12 procentních bodů, respektive 9 procentních bodů, patrné je to zejména v oblasti jihovýchodního okraje města (Praha 20, Praha 22, Královice, Nedvězí, Kolovraty, Křeslice, Koloděje, Běchovice). Oproti současnému stavu klesá podíl ploch s velmi nízkými dopady (0,8-1), u obou scénářů cca o 10 procentních bodů.



Obrázek 51: Celkové potenciální dopady – extrémní srážky (současnost a RCP 4.5 a RCP 8.5 - 2030)

Celková zranitelnost vůči extrémním srážkám a nedostatečnému zasakování

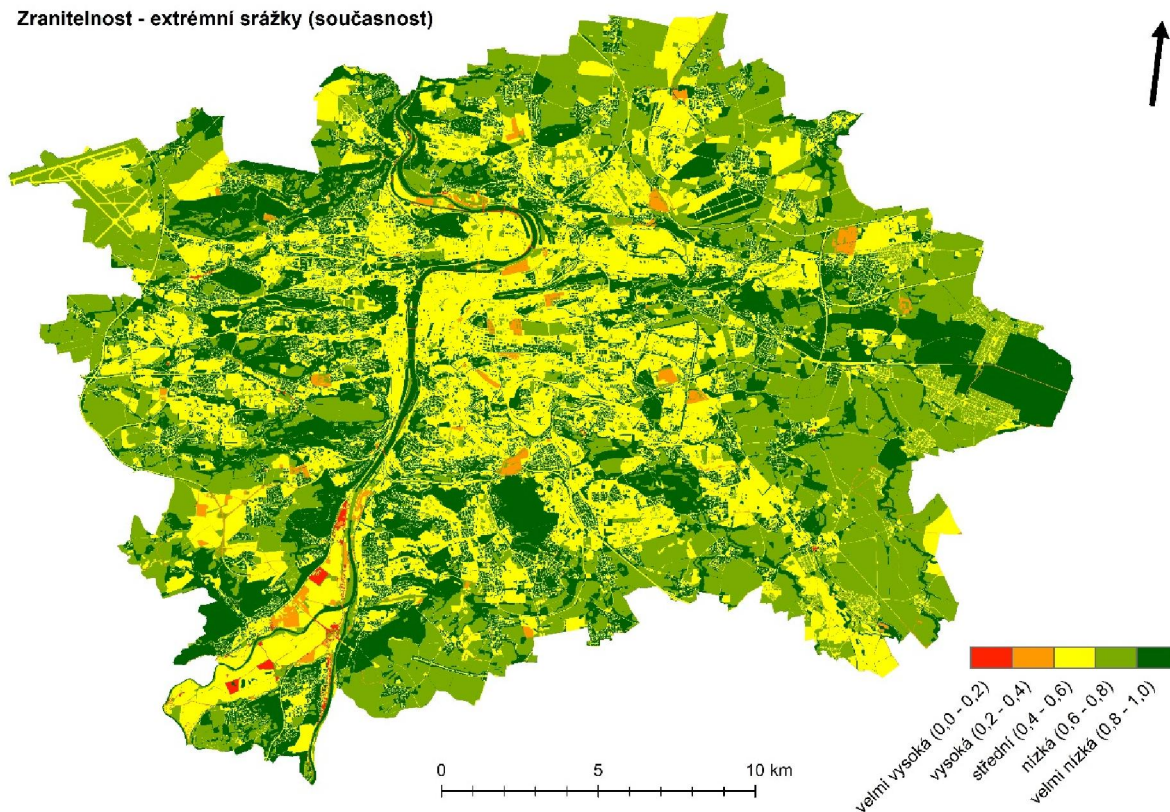
Analýza zranitelnosti byla zpracována pro současný stav (tzv. baseline) a pro období blízké budoucnosti 2021-2040 (respektive rok 2030), kam z hlediska budoucího vývoje vstupovaly jak klimatické scénáře, tak demografické prognózy (v případě zasakování pro oblast indikátorů adaptivní kapacity; viz Kapitola 2). Jednotlivé segmenty hodnocení zranitelnosti byly váženy (podle Kumar et al., 2017).

Obr. 52 ukazuje celkovou zranitelnost vůči extrémním srážkám a nedostatečnému zasakování pro současný stav. Oblasti s nejvyšší zranitelností (0-0,2) jsou zejména v oblasti soutoku Vltavy a Berounky – Velká Chuchle, Praha 16, Zbraslav a Lipence. Vysoká zranitelnost se váže zejména k území aktivní zóny Q100 Vltavy, Botiče a Rokytky, a dále k hustě zastavěným plochám Prahy 2, Prahy 3 a Vysočan pod Klíčovem. Největší plochu zaujímá střední třída zranitelnosti - přibližně 35 % rozlohy města.

Zastoupení jednotlivých tříd zranitelnosti pro současný stav (baseline) a scénáře RCP 4.5 a RCP 8.5 zobrazuje Obr. 53. Velmi vysoká třída zranitelnosti (0-0,2), tedy maximální hodnoty jak u indikátorů expozice, tak citlivosti, pokrývají u baseline a RCP scénářů přibližně 0,3 % plochy. Jedná se zejména o oblast soutoku Vltavy a Berounky - Velká Chuchle, Praha 16, Zbraslav a Lipence.

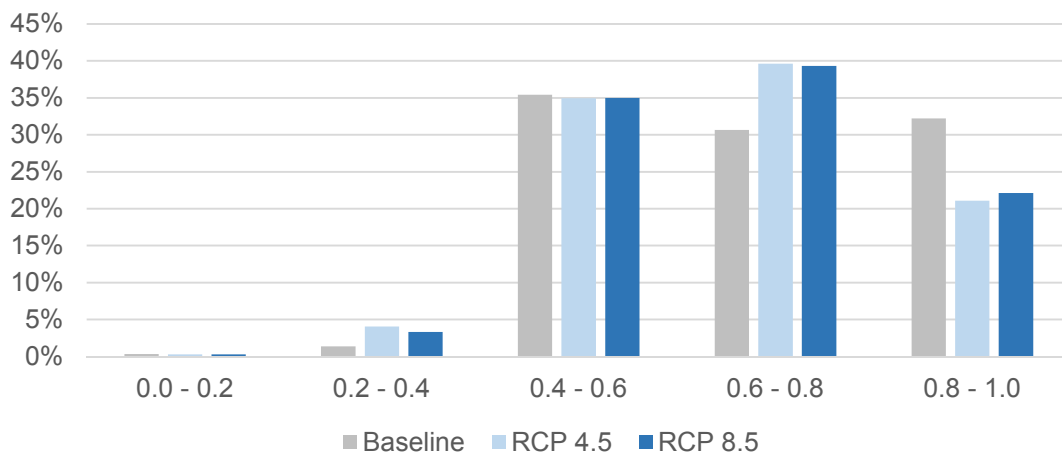
U scénářů RCP 4.5 a RCP 8.5 dochází k mírnému nárůstu vysoké třídy zranitelnosti (0,2-0,4) o 2,7 procentního bodu, respektive 1,9 procentního bodu. Zároveň u scénářů RCP dochází k nárůstu nízké třídy zranitelnosti (0,6-0,8) přibližně o 9 procentních bodů a poklesu velmi nízké třídy zranitelnosti (0,8-1) přibližně o 10 procentních bodů.

Zranitelnost - extrémní srážky (současnost)



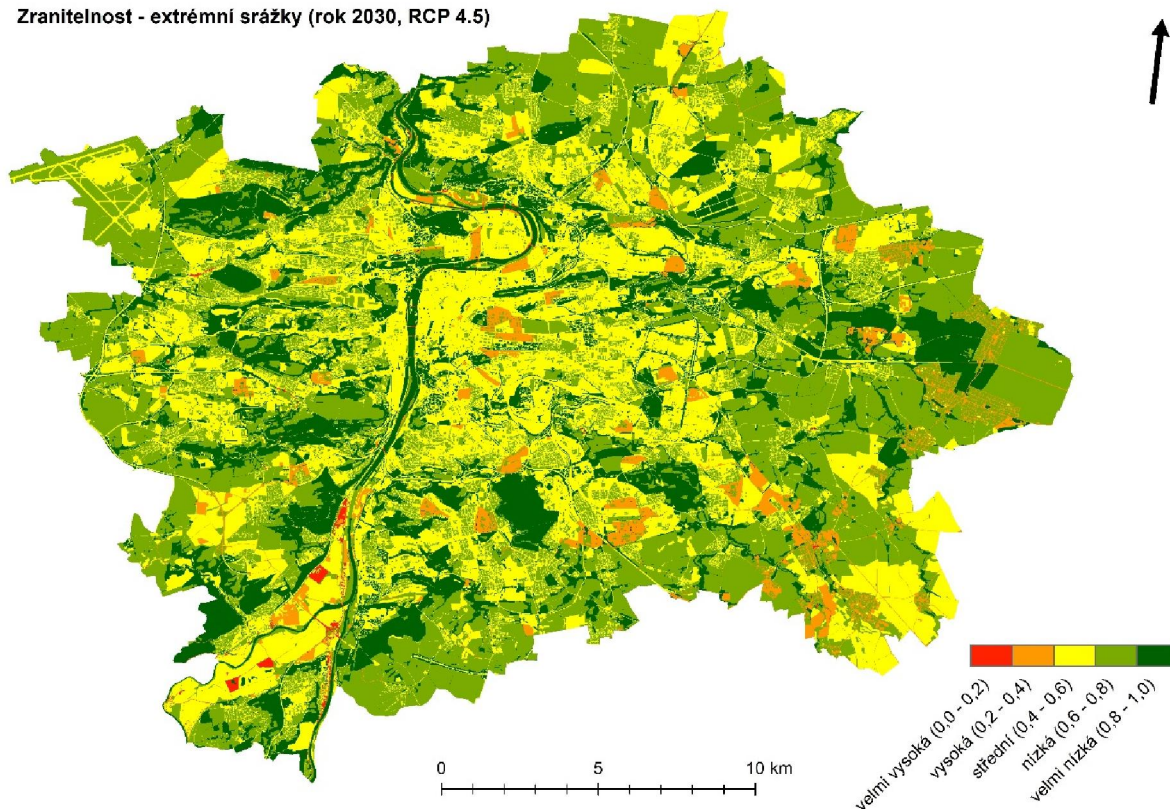
Obrázek 52: Zranitelnost – extrémní srážky a nedostatečné zasakování (současnost)

Zranitelnost - extrémní srážky



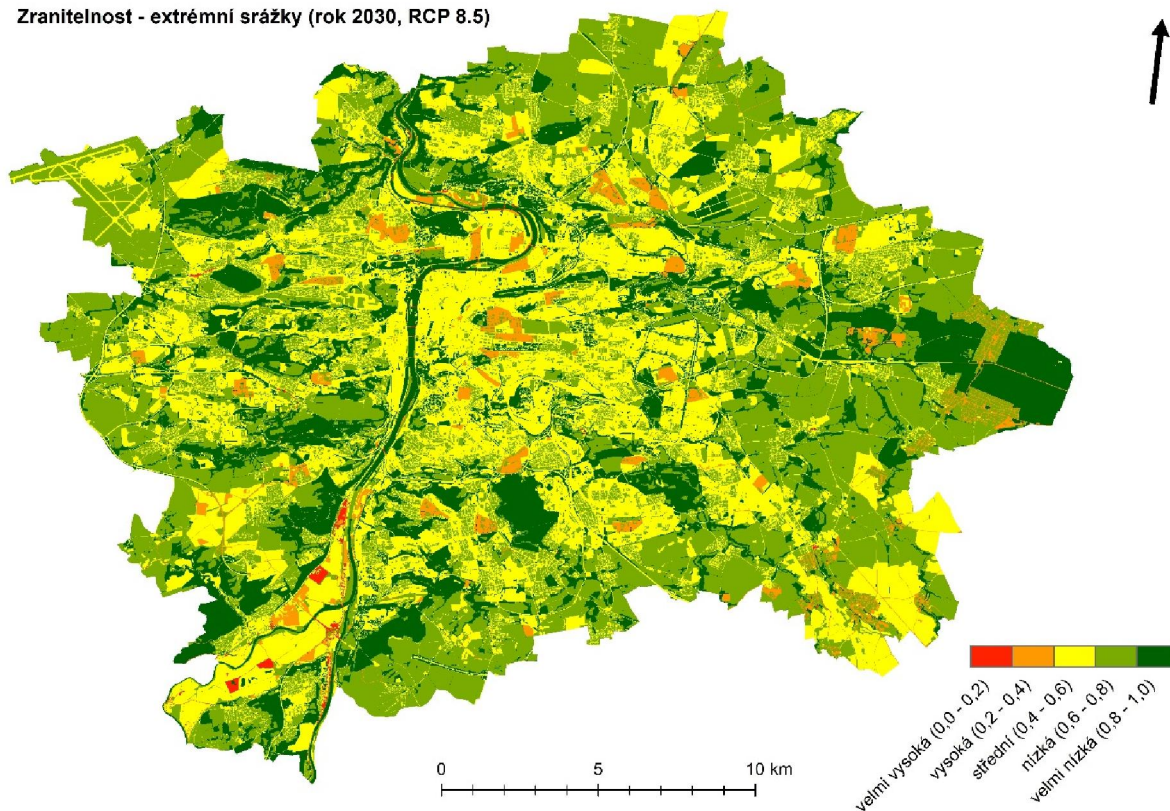
Obrázek 53: Zastoupení tříd zranitelnosti – extrémní srážky (současnost, RCP 4.5 a RCP 8.5 pro 2030). Třídy zranitelnosti: 0-0,2: velmi vysoká; 0,2-0,4: vysoká; 0,4-0,6: střední; 0,6-0,8: nízká; 0,8-1: velmi nízká.

Zranitelnost - extrémní srážky (rok 2030, RCP 4.5)



Obrázek 54: Zranitelnost – extrémní srážky a nedostatečné zasakování (RCP 4.5, 2030)

Zranitelnost - extrémní srážky (rok 2030, RCP 8.5)



Obrázek 55: Zranitelnost – extrémní srážky a nedostatečné zasakování (RCP 8.5, 2030)

Obr. 54 ukazuje celkovou zranitelnost hl.m. Prahy vůči extrémním srážkám a nedostatečnému zasakování pro rok 2030, scénář RCP 4.5. Podobně jako v případě současného stavu, je nejvyšší třída zranitelnosti (0,0-0,2) v okolí soutoku Vltavy a Berounky. Plochy s vysokou zranitelností (0,2-0,4) se mozaikovitě vyskytují napříč územím města (a zabírají 4 % z celkové plochy). Plochy zeleně zpravidla mají velmi nízkou až nízkou zranitelnost.

Scénář RCP 8.5 pro rok 2030 ukazuje velmi podobný trend jako scénář RCP 4.5. Nejvyšší třída zranitelnosti (0-0,2) je v okolí soutoku Vltavy a Berounky, drobnější plochy s vysokou zranitelností (0,2-0,4) jsou mozaikovitě rozptřené napříč městem. Střední třída zranitelnosti (0,4-0,6) zaujímá přibližně 35 % rozlohy města. Nízké (0,6-0,8) a velmi nízké (0,8-1) třídy zranitelnosti jsou zejména v okrajových částech města.

5. Shrnutí

V rámci 1. etapy bylo zpracováno Hodnocení zranitelnosti hl.m. Prahy v podrobnějším měřítku pro dvě tématické oblasti (dopady změny klimatu):

i. Teplotní extrémny ve městě – vlny horka (výstupy uvedeny v kapitolách 3.3, 4.1 a 4.2)

ii. Nedostatečné zasakování a extrémní srážky (výstupy uvedeny v kapitole 4.3)

Z hlediska **zranitelnosti vůči teplotním extrémům - vlnám horka** jsou v současné době nejvíce zasaženy oblasti v centru města. Podíl území s nejvyšší zranitelností je zastoupen zejména v oblastech MČ Praha 2, MČ Praha 3, MČ Praha 6, MČ Praha 7, MČ Praha 1 a dále také v některých okrajových částech Prahy s průmyslovou zástavbou, např. Libeň, či Štěrboholy. V případě vysoké třídy zranitelnosti (0,2-0,4) dochází k nárůstu o 5 % plochy pro budoucí scénář RCP 4.5 a až o 5,5 % pro RCP 8.5. Zároveň u obou RCP scénářů dochází k poklesu zastoupení ploch se střední (0,4-0,6) a velmi nízkou zranitelností (0,8-1). Mírný nárůst je zaznamenán u oblastí s nízkou zranitelností (0,6-0,8).

V rámci této etapy zároveň proběhly **simulace prostorového rozložení teplot** vzduchu na území hl.m. Prahy během horkých vln, pro které byl použit termodynamický model MUKLIMO_3. Výstupy modelování zahrnují období od 16:00 1.8. do 2:00 2.8. CEST. Cílem zvoleného období je názorně ilustrovat prostorové rozmístění tepelného ostrova města (UHI) a jeho vliv na obyvatele hl. m. Prahy, jak v denních, tak v nočních hodinách. Obecně lze pozorovat výrazné rozdíly v rozložení teploty vzduchu na území hl.m. Prahy. Maximální teploty vzduchu jsou prakticky ve všech případech situovány do středu města s hustou historickou zástavbou (např. Staré město, Josefov, Malá Strana) nebo oblastí se starší průmyslovou zástavbou. Další významné, byť izolovanější lokality (tzv. hotspots) se nachází např. ve Vysočanech nebo v Dejvicích. Dále bylo z hlediska průběhu rozložení teplot analyzováno 11 tříd využití území, které jsou charakteristické pro hl.m. Prahu.

Následně byla hodnocena **expozice zranitelné populace** (děti mladší 14 let a senioři starší 65 let) **vůči teplotním extrémům**, v návaznosti na zpracované simulace prostorového rozložení teplot ve městě. K největší expozici zranitelné populace obecně dochází mezi 16. a 19. hodinou. K nejvíce postiženým oblastem patří historické centrum města (Praha 1, Praha 2) a přilehlé městské části (Praha 3, Holešovice, Karlín, Žižkov, Vinohrady, Dejvice). Podobné situaci jsou vystaveny Vysočany, Hloubětín a oblasti velkých panelových sídlišť, zejména Černý Most, Jižní Město, sídliště Bohnice, Kobylisy, Střížkov a Letňany.

Další tématická oblast hodnocení zranitelnosti se zaměřovala na **zranitelnost vůči extrémním srážkám a nedostatečnému zasakování srážkové vody**. Nejvyšší zranitelnost (0-0,2) vůči extrémním srážkám a nedostatečnému zasakování je v současnosti zejména v oblasti soutoku Vltavy a Berounky – Velká Chuchle, Praha 16, Zbraslav a Lipence. Vysoká zranitelnost se váže zejména k území aktivní zóny Q100 Vltavy, Botiče a Rokytka, a dále k hustě zastavěným plochám Prahy 2, Prahy 3 a Vysočan pod Klíčovem. Největší plochu zaujímá střední třída zranitelnosti (0,4-0,6) - přibližně 35 % rozlohy města.

U budoucích scénářů RCP 4.5 a RCP 8.5 (2030) dochází k mírnému nárůstu vysoké třídy zranitelnosti (0,2-0,4) o 2,7 procentního bodu, respektive 1,9 procentního bodu. Zároveň u scénářů RCP dochází k nárůstu nízké třídy zranitelnosti (0,6-0,8) přibližně o 9 procentních bodů a poklesu velmi nízké třídy zranitelnosti (0,8-1) přibližně o 10 procentních bodů. Výstupy těchto podrobnějších analýz poslouží pro účely přípravy implementačního plánu a návrh vhodných adaptačních opatření.

Použitá literatura:

Araya-Munoz, D., Metzger, M.J., Stuart, N., Meriwether, A., Wilson, W., Alvarez, L. 2016. Assessing urban adaptive capacity to climate change. *Journal of Environmental Management* 183, 314-324.

Bokwa, A., Limanówka, D., 2014. Effect of relief and land use on heat stress in Kraków, Poland. *Die Erde—Journal of the Geographical Society of Berlin*, 145, 34–48.

Elzafarany, A., Abouelseoud, T., Ashraf, H., Sodoudi, S., 2017. Estimate of climate change impacts on urban heat island using an urban climate modelling in Desert City case study, "Greater Cairo" Egypt, in: Buchholz, S., Noppel, H. Žuvela-Aloise, M., Hollósi, B. (Eds.), 1st MUKLIMO_3 Users Workshop May 9-10, 2017 Vienna, Austria, Deutscher Wetterdienst & Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik.

Fussler, H.-M. and Klein, R.J.T. 2006. Climate change vulnerability assessments: An evolution of conceptual thinking. *Climate Change* 75, 301-329.

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

Geletič, J., Lehnert, M., Dobrovolný, P., 2016b. Land Surface Temperature Differences within Local Climate Zones, Based on Two Central European Cities. *Remote Sensing*, 8, 788.

Geletič, J., Lehnert, M., Savić, S., Milošević, D., 2018. Modelled spatiotemporal variability of outdoor thermal comfort in local climate zones of the city of Brno, Czech Republic. *Science of Total Environment*, 624, 385–395.

IPCC (2014) *Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 p.

IPCC, 2014. *Climate Change 2014. Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 p.

Kielar, R., Ostapowicz, K., Bokwa, A., 2017. MUKLIMO_3 results verification for Kraków, Poland. Buchholz, S., Noppel, H. Žuvela-Aloise, M., Hollósi, B. (Eds.), 1st MUKLIMO_3 Users Workshop May 9-10, 2017 Vienna, Austria, Deutscher Wetterdienst & Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik.

Kumar, P., Geneletti, D., Nagendraba, H. 2016. Spatial assessment of climate change vulnerability at city scale: A study in Bangalore, India. *Land Use Policy* 58, 514-522.

Luckenkotter, J., Lindner, C., Greiving, S. 2013. Methodology for an integrated climate change vulnerability assessment. In: *European climate vulnerabilities and adaptation: a spatial planning perspective*. Schmidt-Thomé, P., Greiving, S. (ed.).

Reischl, C., Rauter, R., Posch, A. 2016. Urban vulnerability and adaptation to heatwaves: a case study of Graz (Austria), *Climate Policy*, DOI: 10.1080/14693062.2016.1227953

- Sievers, U., 1995. Verallgemeinerung der Strom-funktionsmethode auf drei Dimensionen. *Meteorologische Zeitschrift*, 4, 3–15.
- Sievers, U., 2016. Das kleinskalige Strömungsmodell MUKLIMO_3 Teil 2: Thermodynamische Erweiterungen. *Berichte des Deutschen Wetterdienstes Band 248*, Offenbach am Main, Germany.
- Sievers, U., 2012. Das kleinskalige Strömungsmodell MUKLIMO_3 Teil 1: Theoretische Grundlagen, PC-Basisversion und Validierung, *Berichte des Deutschen Wetterdienstes 240*, Offenbach am Main, Germany.
- Skalák, P., Žák, M., Zahradníček, P., Helman, K., 2015. Příspěvek projektu UHI k poznání klimatu Prahy. *Meteorologické zprávy*. 68, 18–23.
- Skarbit, N., Gál, T. M., 2016. Projection of intra-urban modification of night-time climate indices during the 21st century. *Hungarian Geographical Bulletin*, 65, 181–193.
- Stewart, I.D., Oke, T.R., 2015. Local climate zones and urban climatic mapping. In: NG E, Ren C (eds) *The Urban Climatic Map: a Methodology for Sustainable Urban Planning*. Routledge, p 397–401
- Stewart, I.D., Oke, T.R., Krayenhoff, E.S., 2014. Evaluation of the 'local climate zone'scheme using temperature observations and model simulations. *International Journal of Climatology*, 34, 1062–1080.
- Swart, R., Fons, J., Geertsema, W. 2012. *Urban Vulnerability Indicators: A joint report of ETC-CCA and ETC-SIA*. ETC-CCA and ETC-SIA Technical Report 01/2012, European Environmental Agency, Copenhagen.
- Thomas, G., Sherin, A.P., Ansar, S., Zachariah, E.J., 2014. Analysis of urban heat island in Kochi, India, using a modified local climate zone classification. *Procedia Environmental Sciences*, 21, 3–13.