

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE
FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ
KATEDRA APLIKOVANÉ EKOLOGIE



**Vliv stínu uličních stromů na teplotu
městského prostředí v Kuřimi u Brna**

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Mgr. et Mgr. Eva Horváthová, Ph.D.

Diplomant: Bc. Miloslav Kučka

© 2022 ČZU v Praze

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Miloslav Kučka

Krajinné inženýrství
Regionální environmentální správa

Název práce:

Vliv stínu uličních stromů na teplotu městského prostředí v Kuřimi u Brna

Název anglicky:

The impact of street trees' shade on the urban temperatures in Kuřim, Czech Republic

Cíle práce

V rámci zpracování literární rešerše bude zhodnocena problematika mikroklimatu městského prostředí a charakterizován význam jednotlivých benefitů ekosystémových služeb městské zeleně. Zaměření se také dotkne negativního vlivu městských tepelných ostrovů, a to v návaznosti na aktuální vývoj klimatických změn.

V praktické části bude v modelovém území posouzen vliv stínu uličních stromů na mikroklima městského prostředí. Prostřednictvím měření teploty a vlhkosti vzduchu na stanovišti vybraných uličních stromů, bude zpracována detailní analýza získaných dat a výsledky porovnány s daty uvedenými i v jiných studiích. Získané informace budou zobecněny a bude definováno jejich využití v rámci adaptační strategie klimatických změn.

Metodika

Podkladem pro diplomovou práci je studie (ARMSON et al. 2013) „A Comparison of the Shading Effectiveness of Five Different Street Tree Species in Manchester, UK“ a její ověření v našich podmínkách. Základem teoretické části bude utřídění benefitů městské zeleně a posouzení jejich významu v rámci adaptace na změnu klimatu. Praktická část bude zaměřena na období letních měsíců, kdy budou realizována opakovaná měření teploty a vlhkosti vzduchu (ve stínu i na slunci) na stanovištích vybraných uličních stromů v Kuřimi u Brna.

Doporučený rozsah práce

40-50 stran textu, tabulky, grafické přílohy, fotodokumentace

Klíčová slova

Městská zeleň, mikroklima, stín stromů, teplotní komfort, adaptační opatření

Doporučené zdroje informací

1. ARMSON, D., RAHMAN, M. A., ENNOS, A. R., 2013: A Comparison of the Shading Effectiveness of Five Different Street Tree Species in Manchester, UK. *Arboriculture & Urban Forestry* 39(4): July 2013. P. 157-164.
2. ARMSON, D., STRINGER, P., ENNOS, A.R., 2012. The effect of tree shade and grass on surface and globe temperatures in an urban area. *Urban For. Urban Green.* 11, 245–255. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2012.05.002>
3. TAKÁCS, Á., KISS, M., HOF, A., TANÁCS, E., GULYÁS, Á., KÁNTOR, N., 2016. Microclimate Modification by Urban Shade Trees – An Integrated Approach to Aid Ecosystem Service Based Decision-making. *Procedia Environ. Sci.* 32, 97–109. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.03.015>
4. AKBARI, H., POMERANTZ, M., and TAHA, H., 2001. Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. *Solar Energy* 70:295–310.

Předběžný termín obhajoby

2021/22 LS - FŽP

Vedoucí práce

Mgr. et Mgr. Eva Horváthová, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra aplikované ekologie

Elektronicky schváleno: 11.10.2021

prof. Ing. Jan Vymazal, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno: 24.11.2021

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 17.03.2022

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Vliv stínu uličních stromů na teplotu městského prostředí v Kuřimi u Brna** vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

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

Jsem si vědom, že odevzdáním 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 práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne 17.03.2022

.....

Bc. Miloslav Kučka

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval Mgr. et Mgr. Evě Horváthové, Ph.D., za její vstřícnost, trpělivost, cenné rady a odborné vedení této diplomové práce. Také děkuji doc. Ing. Václavu Brantovi, Ph.D., za poskytnutí přístrojů pro jednotlivá měření a Bc. Sáře Scheinflugové za pomoc při statistickém zpracování dat.

Abstrakt

Stín městských stromů patří mezi jeden z hlavních přínosů zeleně, který je obyvatelům městských aglomerací poskytován v období horkých letních dnů a který zvyšuje jejich pohodlí. Tento benefit má také významnou roli v problematice aktuálních změn klimatu a je důležitým nástrojem v rámci adaptačních opatření na tuto výzvu pro městské oblasti. Z toho důvodu tato práce porovnává účinnost přístínění uličních stromů v městském prostředí, konkrétně v Kuřimi u Brna. Jedná se o ověření britské studie (ARMSON et al. 2013) „A Comparison of the Shading Effectiveness of Five Different Street Tree Species in Manchester, UK“, v podmínkách České republiky. K získání výsledků bylo zvoleno šest stanovišť, zahrnujících tři běžné zástupce městských dřevin v ulici s oboustranným stromořadím a typickými městskými povrchy. Samotné účinky přístínění jednotlivými stromy byly posuzovány z pohledu snížení vysokých letních teplot a redukování akumulace tepla v rámci několika druhů městských povrchů. Dále byl posuzován vliv stínu na mikroklima, intenzitu přístínění a celkovou plochu stínu, kterou dokáží jednotlivé stromy pokrýt během dne. Před samotným měřením teplot byla provedena morfologická měření každého z vybraných jedinců. Jednotlivá měření následně probíhala v letních měsících, od června do srpna a bylo zjištěno, že stín stromů snížil teploty v průměru o 4,9 °C. Větší přínos v intenzitě a délce přístínění měli zástupci disponující širokou a hustou korunou, než jiné druhy, což odpovídalo i nižším naměřeným teplotám u těchto jedinců. Výsledky z našich podmínek a získaná data byla porovnána s britskou studií a význam přístínění městských stromů byl potvrzen.

Tato práce dokládá význam a opodstatnění stromů v ulicích, jejich přínos v případě zlepšení tepelného komfortu člověka a také ve snížení teplot nad povrchy městských oblastí. Dále potvrzuje důležitost výběru vhodných taxonů z pohledu jejich habitu a hustoty olistění tak, aby benefity, které poskytují, byly maximalizovány.

Klíčová slova

Městská zeleň, mikroklima, stín stromů, tepelný komfort, adaptační opatření.

Abstract

The shade of urban trees is one of the main benefits of greenery, which is provided to the inhabitants of urban agglomerations during hot summer days and increases their comfort. This benefit also plays an important role in the current climate change and is an important tool in adapting measures to this challenge for urban areas. For this reason, this work compares the efficiency of shading street trees in the urban environment, specifically in Kurim near Brno. This is a verification of the British study (ARMSON et al. 2013) "A Comparison of the Shading Effectiveness of Five Different Street Tree Species in Manchester, UK", in the conditions of the Czech Republic. To obtain the results, six habitats were selected, including three common representatives of urban trees in a street with bilateral tree lines and typical urban surfaces. The effects of shading individual trees were assessed in terms of reducing high summer temperatures and reducing heat accumulation within several types of urban surfaces. Furthermore, the effect of shade on the microclimate, shading intensity and the total area of shade that individual trees provide, during a day were assessed. Morphological measurements of each of the selected individuals were performed before the actual temperature measurement. The temperature measurements took place in the summer months, from June to August, and it was found that the shade of the trees reduced the temperatures by an average of 4.9 °C. Trees with a wide and dense crown had a greater contribution in terms of intensity and length of shading than other species, which corresponded to the lower measured temperatures under these individuals. The results from our conditions and the data obtained were compared with the British study and the importance of urban tree shading was confirmed.

This work demonstrates the importance and justification of trees in the streets, their contribution to improving the thermal comfort of man and also reducing above the surface temperatures of urban areas. It further confirms the importance of selecting suitable taxa in terms of their habit and foliage density to maximize the benefits of street trees.

Keywords

Urban greenery, microclimate, trees shadow, thermal comfort, adaptation measures.

SEZNAM OBRÁZKŮ, TABULEK A GRAFŮ

Seznam obrázků:

- Obr. 1.** Příklad EMS 33H v terénu (autor).
- Obr. 2.** Produktový list přístroje EMS 33H (emsbrno.cz).
- Obr. 3.** Rovnice plochy stínu a koeficient habitu (MONTEITH, UNSWORTH, 1990; ARMSON et al. 2013).
- Obr. 4.** Simulace pohybu stínu pro *Acer platanoides*, *Tilia cordata* a *Picea omorika* (aplikace GIS).
- Obr. 5.** Foto prostupnosti slunečního záření koruny, stanoviště č. 1. *Acer platanoides* (autor).
- Obr. 6.** Analýza snímku v aplikaci Matlab - *Acer platanoides* (mathworks.com).
- Obr. 7.** Foto prostupnosti slunečního záření koruny, stanoviště č. 2. *Tilia cordata* (autor).
- Obr. 8.** Analýza snímku v aplikaci Matlab - *Tilia cordata* (mathworks.com).
- Obr. 9.** Foto prostupnosti slunečního záření koruny, stanoviště č. 3. *Picea omorika* (autor).
- Obr. 10.** Analýza snímku v aplikaci Matlab - *Picea omorika* (mathworks.com).
- Obr. 11.** Model nárůstu počtu tropických dnů pro roky 2021-2040 a roky 2081-2100 s využitím scénářů RCP4.5 a RCP8.5, kdy RCP4.5 je stabilizace koncentrací CO₂ na nízké úrovni a RCP8.5 je varianta bez omezování emisí CO₂. To vše je konfrontováno s výchozím stavem z let 1981-2010 (CZECHGLOBE, ©2017).
- Obr. 12.** Přehled ploch ohrožených přehříváním v nejteplejších dnech na území mikroregionu Kuřimsko (ASITIS, ©2021 na základě družicových dat Landsat 8 z let 2015-2020).
- Obr. 13.** Znázornění propustnosti povrchů na území mikroregionu Kuřimsko v roce 2020 (ASITIS, ©2021 na základě dat Sentinel 2, Open Street Maps a Urban Atlas).
- Obr. 14.** Příklad městského tepelného ostrova (EPA, 2008 - U.S. Environmental Protection Agency. 2008. Reducing urban heat islands: Compendium of strategies. <https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-compendium>).

- Obr. 15.** Rozdělení na sedm zón dle intenzity zeleně vůči zastavěným plochám, kde T1 je přírodní zóna, T2 venkovská zóna, T3 předměstská zóna, T4 městská zóna, T5 centrální zóna, T6 jádro centrální zóny, SD speciální okrsek (ROUSE, 2013).
- Obr. 16.** Příklad zelené stěny (pinterest.com).
- Obr. 17.** Příklad průřezu listem znázorňující prostupnost záření UVB (středněvlnné) a UVA (dlouhovlnné) v porovnání s prostupností modrého a červeného světla (NOWAK, HEISLER 2010).
- Obr. 18.** Průběh intenzity LAI smrku rozdělený do jednotlivých období. A - vegetační klid, B - vyrašení pupenů, C - dosažení maximálních hodnot růstu, D – postupný úbytek pokrytí. Vhodné období k určení LAI je označeno zeleným blokem (POKORNÝ, 2015).
- Obr. 19.** Přehled průměrných teplot v mikroregionu Kuřimsko v průběhu letních měsíců (ASITIS, ©2021 na základě družicových dat Landsat 8 z let 2015-2020).
- Obr. 20.** Plochy ohrožené bleskovými povodněmi v mikroregionu Kuřimsko (ASITIS, ©2021).
- Obr. 21.** Znázornění zranitelné populace v intravilánu města Kuřimi (ASITIS, ©2021).
- Obr. 22.** Příklad zelené střechy (zinco-greenroof.com).
- Obr. 23.** Lokalizace území v rámci České republiky (zsmezibori.com).
- Obr. 24.** Geomorfologické uspořádání krajiny (geoportal.cuzk.cz).
- Obr. 25.** Plochy ohrožené suchem v mikroregionu Kuřimsko (ASITIS, ©2021 na základě družicových dat Sentinel 1 a Sentinel 2 z let 2017-2020).
- Obr. 26.** Letecký snímek katastrálního území Kuřimi (ags.cuzk.cz/geoprohlizec).
- Obr. 27.** Lokalizace zájmového území v rámci města Kuřimi (geoportal.cuzk.cz).
- Obr. 28.** Lokalizace stanovišť jednotlivých stromů v rámci ulice Jungmannova (geoportal.cuzk.cz).
- Obr. 29.** Vymezené zájmové území na přehledu zranitelnosti města Kuřimi proti vlnám veder (ASITIS, ©2021).
- Obr. 30.** Stanoviště č. 1. *Acer platanoides* (autor).
- Obr. 31.** Stanoviště č. 2. *Tilia cordata* (autor).
- Obr. 32.** Stanoviště č. 3. *Picea omorika* (autor).
- Obr. 33.** Stanoviště č. 4. *Acer platanoides* (autor).
- Obr. 34.** Stanoviště č. 5. *Acer platanoides* (autor).
- Obr. 35.** Stanoviště č. 6. *Tilia cordata* (autor).

Seznam tabulek:

- Tab. 1.** Rozdělení adaptačních opatření a aktivit (CZECHGLOBE, ©2016).
- Tab. 2.** Srovnání jednotlivých stanovišť (autor).
- Tab. 3.** Plocha stínu poskytovaná jednotlivými druhy (autor).
- Tab. 4.** P-hodnoty teplota (autor).
- Tab. 5.** P-hodnoty vzdušná vlhkost (autor).
- Tab. 6.** Celkový přehled teploty dle jednotlivých stanovišť (autor).
- Tab. 7.** Celkový přehled vzdušné vlhkosti dle jednotlivých stanovišť (autor).

Seznam grafů:

- Graf 1.** Průměrná roční teplota v České republice v období 1960 – 2020 (www.chmi.cz).
- Graf 2.** Nárůst tropických dní v České republice mezi lety 2011 až 2100 (ASITIS, ©2021 dle EURO-CORDEX model SMHI RCA4, scénář RCP8.5).
- Graf 3.** Vývoj narůstajících teplot v České republice dle měsíců (chmi.cz).
- Graf 4.** Teploty měřené na slunci dle jednotlivých období (autor).
- Graf 5.** Teploty měřené ve stínu dle jednotlivých období (autor).
- Graf 6.** Teploty měřené na slunci dle druhového zastoupení (autor).
- Graf 7.** Teploty měřené ve stínu dle druhového zastoupení (autor).
- Graf 8.** Vzdušná vlhkost měřená na slunci dle jednotlivých období (autor).
- Graf 9.** Vzdušná vlhkost měřená ve stínu dle jednotlivých období (autor).
- Graf 10.** Vzdušná vlhkost měřená na slunci dle druhového zastoupení (autor).
- Graf 11.** Vzdušná vlhkost měřená ve stínu dle druhového zastoupení (autor).

SEZNAM ZKRATEK

ALBEDO	Je poměr odraženého elektromagnetického záření ku množství dopadajícího záření.
EPA	Agentura pro ochranu životního prostředí. (<i>U. S. Environmental Protection Agency</i>).
GPS	Globální družicový polohový systém (<i>Global Positioning System</i>).
IPCC	Mezivládní panel pro změnu klimatu (<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>).
LAI	Index listové plochy (<i>Leaf Area Index</i>).
PET	Fyziologický ekvivalent teploty (<i>Physiological equivalent temperature</i>).
RCP4.5	Reprezentativní směry vývoje koncentrací skleníkových plynů přijatých IPCC. (<i>Representative Concentration Pathway</i>) Emise v RCP 4.5 dosahují vrcholu kolem roku 2040, poté klesají.
RCP8.5	Reprezentativní směry vývoje koncentrací skleníkových plynů přijatých IPCC. (<i>Representative Concentration Pathway</i>) Emise v RCP 8.5 nadále rostou po celé 21. století.
UHI	Městský tepelný ostrov (<i>Urban Heat Island</i>).
ÚSES	Územní systém ekologické stability.

OBSAH

1. ÚVOD	13
2. CÍL PRÁCE	14
3. METODIKA	15
3.1 MORFOLOGICKÁ MĚŘENÍ	15
3.2 MĚŘENÍ TEPLoty A VZDUŠNÉ VLHKOSTI	16
3.3 METEOROLOGICKÝ PŘÍSTROJ EMS 33H	17
3.4 ANALÝZA OBLASTI STÍNU	18
3.5 ANALÝZA POKRYVNOSTI KORUN STROMŮ.....	20
3.6 ANALÝZA A METODY ZPRACOVÁNÍ DAT	24
4. LITERÁRNÍ PŘEHLED	25
4.1 KLIMATICKÁ ZMĚNA CELOSVĚTOVĚ A V ČR.....	25
4.2 VLIV ZMĚNY KLIMATU NA MĚSTSKÁ PROSTŘEDÍ V ČR.....	27
4.3 TEPELNÉ OSTROVY MĚSTSKÝCH AGLOMERACÍ	30
4.3.1 TEPELNÝ KOMFORT	37
4.3.2 ZELENÁ INFRASTRUKTURA.....	38
4.3.3 BENEFITY MĚSTSKÉ ZELENĚ.....	40
4.4 STÍN STROMŮ A INDEX LISTOVÉ PLOCHY	42
4.5 OPATŘENÍ NA ZMĚNU KLIMATU	45
4.5.1 ZELENÁ ADAPTAČNÍ OPATŘENÍ.....	51
5. PRAKTICKÁ ČÁST	54
5.1 CHARAKTERISTIKA ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ	54
5.2 STANOVIŠTĚ VYBRANÝCH STROMŮ	58
6. SHRNU TÍ VÝSLEDKŮ	67
6.1 MEZIDRUHOVÉ SROVNÁNÍ	67
6.2 VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT.....	69
7. DISKUZE	77
7.1 SROVNÁNÍ VLASTNÍ METODIKY A BRITSKÉ	78
8. ZÁVĚR	80
9. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	82

1. ÚVOD

Klimatické změny jsou již realitou našeho světa, na čemž se dlouhodobě shoduje většina vědců zabývajících se globální změnou klimatu (IPCC, ©2021). Tyto změny budou mít mimo jiné i velký dopad na život ve městech, kde žije většina obyvatel, pro něž jsou projevy klimatických změn velmi patrné již dnes, a to v podobě opakujících se vln veder. (např. SCOTT et. al., 2001; REVI et al., 2014).

V souvislosti s tímto faktem vznikají nejrůznější adaptační opatření využívající např. benefity městské zeleně. Jedním z těchto pozitivních vlivů na městské mikroklima je také stín stromů.

V rámci studií ARMSON et al., (2013); AKBARI et. al., (2001); TAKÁCS et al., (2016); NOWAK, HEISLER (2010) zaměřených na regulaci vysokých teplot městského prostředí byl potvrzen přínos přístínění městskými stromy, které dle druhového zastoupení a morfologie listů dokáží snížit teplotu vzduchu o 4,6 až 7 °C. V případě studie NOWAK, HEISLER (2010) bylo potvrzeno, že na základě přístínění různých druhů městských povrchů, dochází ke snížení povrchových teplot, což má za následek redukci nežádoucích účinků městského tepelného ostrova. TAKÁCS et al., (2016) porovnávali mezidruhové rozdíly městských stromů v propustnosti slunečního záření prostřednictvím jejich korun. I když mezidruhové rozdíly byly zanedbatelné, tak účinek v pohlcení středněvlňného a dlouhovlnného záření byl významný. ARMSON et al., (2013); AKBARI et. al., (2001) dospěli k závěru, že každý městský strom, i ten nejmenší, svým stínem přináší významné meteorologické výhody a může vytvářet útočiště pro obyvatele během horkých dnů.

Aktuální studie z Velké Británie, USA a Maďarska zabývající se přístíněním jednotlivých městských stromů s ohledem na jejich mezidruhové rozdíly jsou zatím ojedinělé a mimo Českou republiku. Ověření, jak velký je vliv přístínění stromů na městské mikroklima v podmínkách České republiky, je záměrem této diplomové práce.

Poznatky obsažené v této práci týkající se ekosystémových služeb, benefitů městské zeleně a zelené infrastruktury, vychází z méj bakalářské práce a jsou zde aktualizovány.

2. CÍL PRÁCE

Prostřednictvím praktické části bude analyzován vliv stínu stromů na teplotu vzduchu ve městech. Přínos přístínění městskými stromy bude posouzen v rámci menšího města v Kuřimi u Brna. Jelikož podobný výzkum nebyl v České republice doposud prováděn, budou výsledky porovnány s obdobnou studií britských vědců (ARMSON et al. 2013).

V rámci literární rešerše je cílem porovnání a vyhodnocení dostupných údajů o vlivu městské zeleně na mikroklima městského prostředí. Dále kategorizace benefitů a ekosystémových služeb městské zeleně.

Získaná data z praktické části a informace z literární rešerše budou zobecněna a bude definován jejich význam a přínos v problematice změny klimatu a s tím souvisejících negativních vlivů městských tepelných ostrovů. Dále bude doporučeno jejich využití v rámci adaptačních strategií klimatických změn.

3. METODIKA

Výchozím podkladem ke zpracování této diplomové práce je studie (ARMSON et al. 2013) „A Comparison of the Shading Effectiveness of Five Different Street Tree Species in Manchester, UK“ a její ověření v našich podmínkách. Metodologie britské studie je blíže popsána v závěrečné diskuzi, včetně porovnání dosažených výsledků.

V následujících kapitolách je uveden postup získávání dat v rámci praktické části, která byla v první fázi zaměřena na morfologická měření každého z vybraných stromů. Dále byla měřena teplota a vzdušná vlhkost nad třemi druhy zcela odlišných městských povrchů. Byl také proveden výpočet celkové plochy stínu poskytovaného konkrétními stromy a v neposlední řadě byla dle druhového zastoupení stromů určena hustota koruny z pohledu prostupnosti slunečního záření. Následovala analýza a statistické vyhodnocení získaných dat.

Těmto měřením předcházela výběr vhodné městské ulice a stanovišť tak, aby vše v maximální možné míře odpovídalo podmínkám v britské studii. Vhodnost výběru včetně popisu zájmového území a jednotlivých stanovišť jsou podrobně popsány v kapitole č. 5.1 „Charakteristika zájmového území“ a č. 5.2 „Stanoviště vybraných stromů“.

3.1 MORFOLOGICKÁ MĚŘENÍ

Každý z vybraných stromů byl rodově a druhově identifikován, byla určena jeho poloha pomocí GPS a dále byl posouzen na základě dendrometrických parametrů dle KOLAŘÍKA (2005), se zaměřením na základní hodnoty, jako je celková výška stromu (použit výškoměr Silva), výška nasazení koruny, šířka koruny, obvod a průměr kmene (použit svinovací ocelový metr). Ve výšce 130 cm byl měřen obvod kmene a šířka koruny byla změřena pod korunou stromu z více na sebe kolmých směrů.

3.2 MĚŘENÍ TEPLoty A VZDUŠNÉ VLHKOSTI

V rámci měření teploty a vzdušné vlhkosti probíhala srovnávací měření na všech třech typech městských povrchů a to jak na slunci, tak ve stínu. Jednalo se o TRÁVNÍK (travnatý pás mezi chodníkem a silnicí, ve kterém je situováno celé stromořadí v ulici Jungmannova), CHODNÍK (betonové chodníkové dlaždice) a SILNICI (klasický asfaltový povrch).

Mezi jednotlivými stanovišti, byla zvolena maximální vzdálenost do 120 m tak, aby bylo reálné provést všechna měření v čase nejvyšších denních teplot, tedy v intervalu 4 hodin a v rozmezí od 11,30h do 15,30h. Časová náročnost každého stanoviště vycházela na 30 minut, kdy teplota a vzdušná vlhkost nad každým ze tří sledovaných povrchů byla měřena 5 minut (vždy ve stínu 5 min. a na slunci 5 min. betonový chodník, trávník 5+5 min, asfaltová silnice 5+5 min). Měřicí přístroj zaznamenával data v minutových intervalech, která byla na konci pětiminutového měření zprůměrována. Přesun mezi stanovišti zabíral 1,5 minuty a necelé 2 minuty byly určeny k ustálení přístroje mezi každým měřením. Teplota a vzdušná vlhkost byla měřena nad povrchem ve výšce 1,1 m za pomoci stativu, přímo ve stínu a potom na slunci ve vzdálenosti 5 m od stínu.

V případě stínu, bylo důležité měřit teplotu a vzdušnou vlhkost na místě, kde se stín zdržel během jeho pohybu co nejdéle, aby teplota a vzdušná vlhkost nebyly ovlivněny zahřátým povrchem.

Jednotlivá měření probíhala, jen pokud bylo bezvětří, a to z důvodu nežádoucího promíchání ochlazeného vzduchu ze stínu s horkým vzduchem ze slunce. Této podmínce napomáhalo také umístění ulice, kdy se jednalo o boční ulici s minimální frekvencí automobilového provozu. Dále bylo důležité, aby všechny taxony zvolené pro měření byly již v plném olistění a výsledky vlivu přístínění, tak nebyly zkreslovány postupným houstnutím koruny.

Měření probíhalo prostřednictvím meteorologického přístroje **EMS 33H** (Obr. 1. Přístroj EMS 33H v terénu) od výrobce EMS Brno, ve variantě bezdrátové sondy s vlastní pamětí. Po kompletním měření na všech stanovištích byla data z přístroje exportována do počítače, prostřednictvím IrDA/USB kabelu a aplikace **Mini32**. Analýza takto získaných dat je blíže popsána v kapitole č. 3.6 „Analýza a metody zpracování dat“.

Jelikož nebylo možné umístit drahý měřicí přístroj v ulici trvale kvůli případné krádeži, měření probíhalo jen v omezeném počtu dní. Tedy v období, kdy byla nejvyšší vedra (denní teploty od 11,30h do 15,30h neklesaly pod 29 °C) a byl tak v těchto dnech

nejvíce markantní vliv přístínění stromů. Měření byla provedena 8x v červnu (17., 18., 19., 20., 21., 24., 28., 29.06.), 9x v červenci (6., 8., 13., 16., 24., 26., 27., 28., 30.07.) a 4x v srpnu (10., 14., 15., 16.08.) v celkovém rozmezí od 17.06.2021 do 16.08.2021 a to na šesti stanovištích v jedné ulici. Stanoviště stromů byla velmi podobná, vždy podél řadových domů v ulici se stromořadím a běžnou asfaltovou silnicí. Stromy byly v dobré kondici a jejich vzdálenost od domů nebyla menší jak 2 m.

3.3 METEOROLOGICKÝ PŘÍSTROJ EMS 33H

Měřicí přístroj (*Obr. 1: Přístroj EMS 33H v terénu a Obr. 2: Produktový list přístroje EMS 33H*), jehož senzor je založený na snímacích prvcích společnosti Honeywell a je určen pro měření ve standardních meteostanicích. Z meteo dat zaznamenává teplotu ve stupních Celsia a vzdušnou vlhkost v procentech. Export dat probíhá za pomoci aplikace Mini32 a datového kabelu IrDA/USB. Časové intervaly jednotlivých měření se dají nastavit už od jedné minuty. Měřicí přístroj se vyrábí i ve variantě bezdrátové sondy s vlastní pamětí, což je velmi vhodné pro terénní měření, kde se často přechází mezi jednotlivými stanovišti. Měřicí set obsahuje senzor EMS 33H, radiační kryt a bezdrátový snímač s datovým kabelem IrDA/USB.



Obr. 1: Přístroj EMS 33H v terénu (autor).

Air temperature and humidity probe EMS 33H

Main features:

- Sensor replacement by customer on site – cheaper than recalibration
- Normalized outputs 0 to 1 V
- Stainless steel mesh
- Economy solution
- Made by EMS



Specification:

- Temperature:
 - range -40 to 60 deg.C
 - output sensitivity 10 mV/deg.C
 - accuracy better than ± 0.15 K
- Air Humidity
 - range 0 to 100 %
 - output sensitivity 10 mV/%
 - accuracy better than ± 2 %
- Power supplying 4.5 to 16 V; 3 mA
- Start-up time 2 sec
- Size: $\varnothing 20 \times 81$ mm



www.emsbrno.cz

Obr. 2: Produktový list přístroje EMS 33H (emsbrno.cz).

3.4 ANALÝZA OBLASTI STÍNU

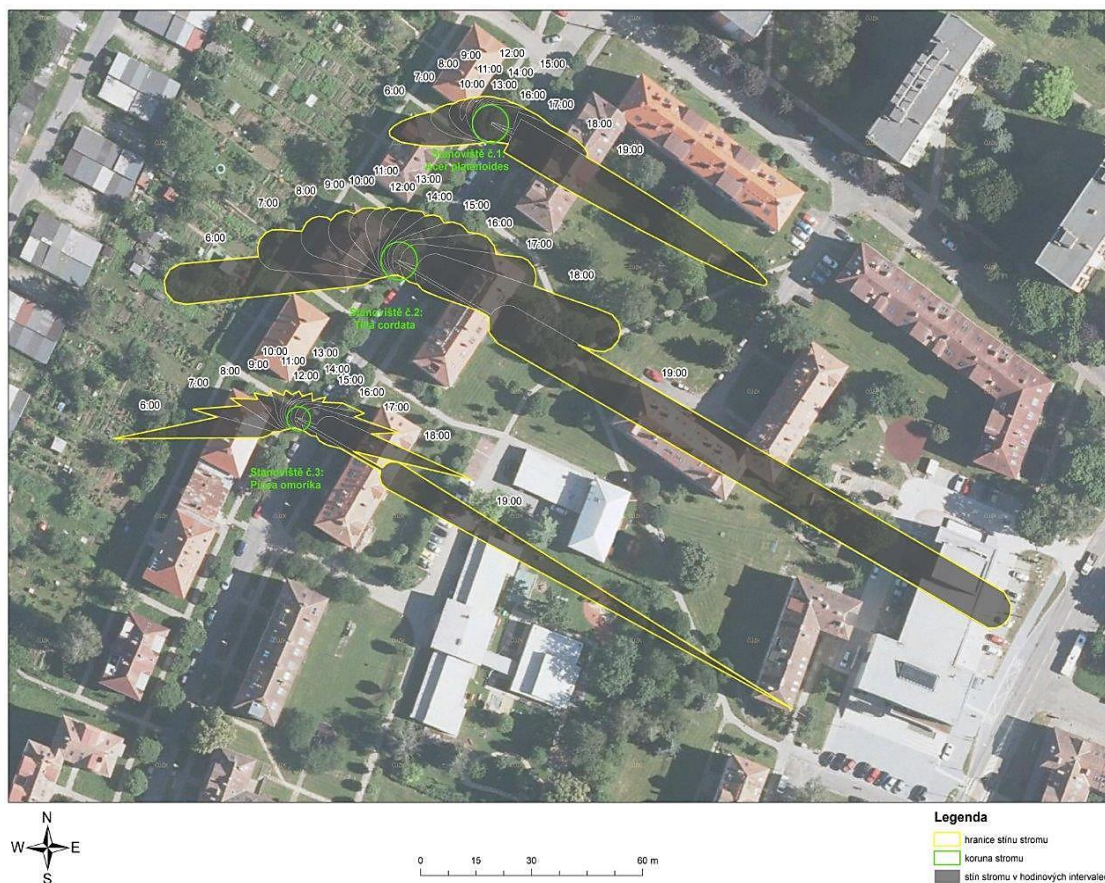
Pro výpočet celkové plochy stínu byla využita data získaná z terénních morfologických měření konkrétních jedinců, a to vložení do rovnice MONTEITH, UNSWORTH (1990) uvedené na (Obr. 3: Rovnice plochy stínu a koeficient habitu), zahrnující elipsoid koruny, s využitím úhlu slunce. Kde A_h je plocha stínu, b^2 šířka koruny, a^2 výška koruny, β úhel slunce uprostřed léta 56,2 °C.

Dále byl vypočítán koeficient poměru výšky a šířky korun dle ARMSON et al., (2013) z důvodu porovnání rozdílů v habitu zastoupených druhů, kde ar je poměr výšky a šířky koruny, a je výška koruny a b je šířka koruny.

$$A_h = \pi b^2 \left(1 + \frac{a^2}{b^2 \tan^2 \beta} \right)^{0,5} \quad a_r = \frac{a}{b}$$

Obr. 3: Rovnice plochy stínu a koeficient habitu (MONTEITH, UNSWORTH, 1990; ARMSON et al. 2013).

Pro přesnější představu o pohybu stínu uprostřed léta a také v samotném průběhu dne, byla použita simulace v aplikaci ArcGIS Pro. Tato aplikace do svých výpočtů zahrnuje výšku stromů, plochu a tvar koruny, polohu slunce v hodinových intervalech vztaženou k určitému měsíci v roce, a to nad konkrétním jedincem v ulici. Simulace nezahrnuje do svých výpočtů přiléhající budovy v okolí stromů. Jednotlivé simulace dle druhového zastoupení v rámci stanoviště č. 1, 2 a 3, jsou graficky znázorněny níže na (Obr. 4: Simulace pohybu stínu pro *Acer platanoides*, *Tilia cordata* a *Picea omorika*) a jsou vztaženy k letnímu datu 1. srpna 2021 v čase od 6:00 do 19:00hod.

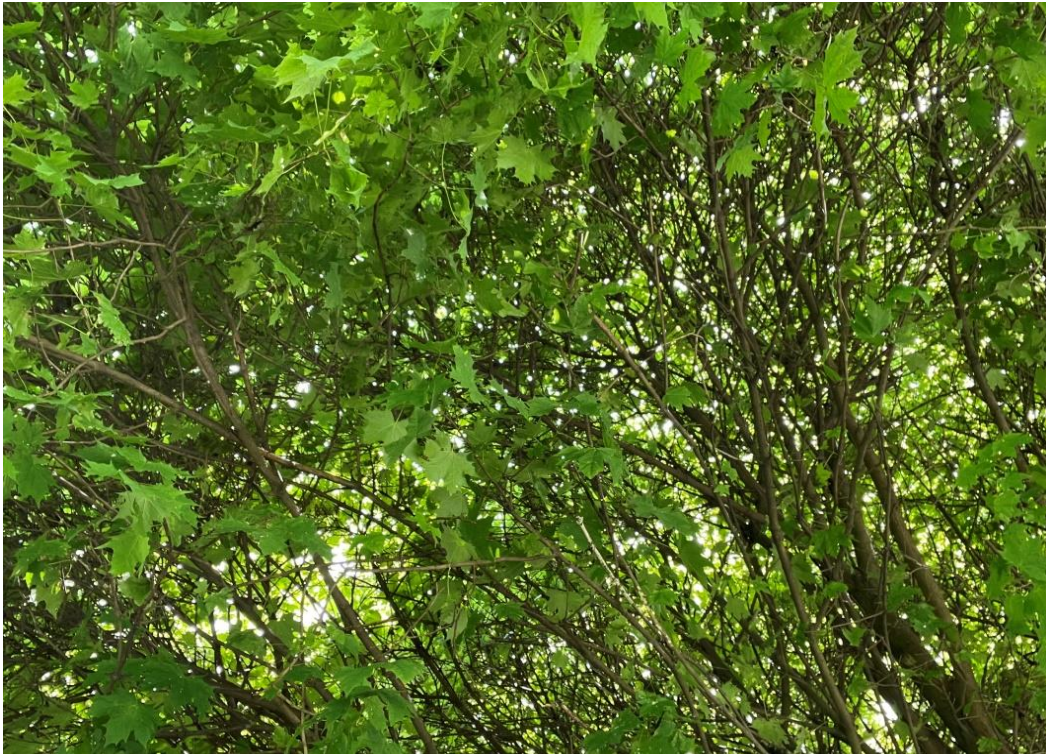


Obr. 4: Simulace pohybu stínu pro *Acer platanoides*, *Tilia cordata* a *Picea omorika* (aplikace GIS).

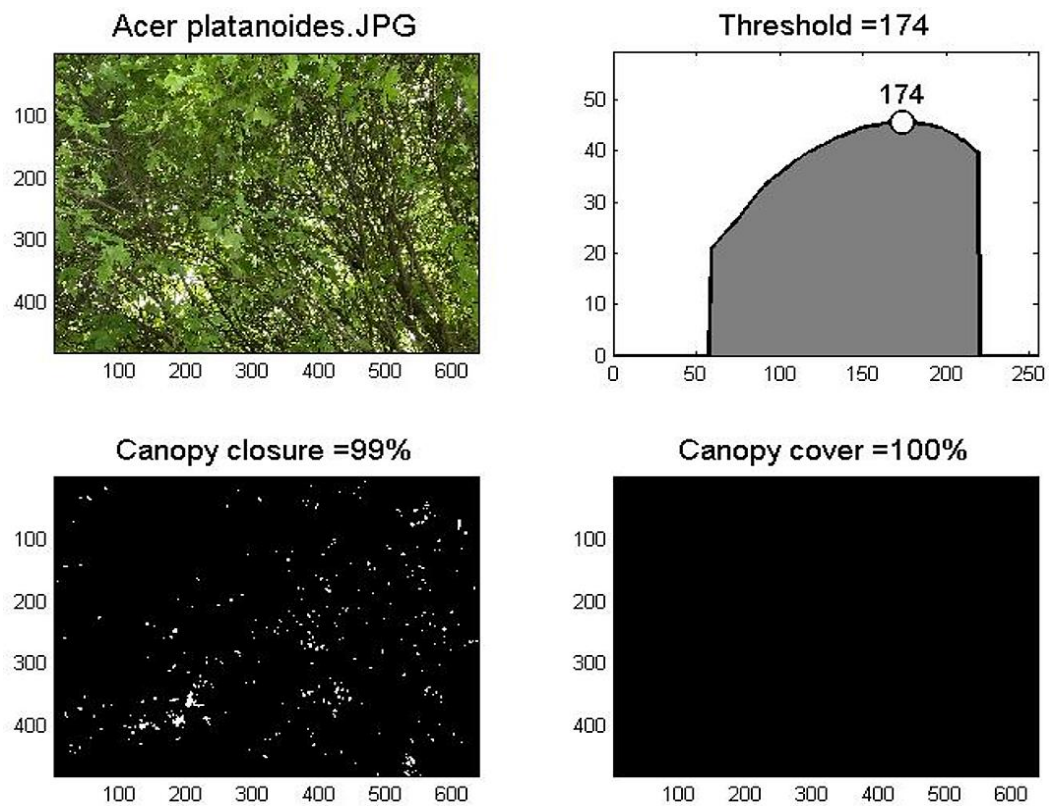
3.5 ANALÝZA POKRYVNOSTI KORUN STROMŮ

V rámci určení rozdílů v intenzitě přístínění mezi jednotlivými druhy stromů byla v zájmovém území posouzena pokrývnost korun (hustota olistění koruny a prostupnost slunečního záření korunami) konkrétních stromů. U každého druhového zástupce (*Acer platanoides* - Javor mléč, *Tilia cordata* - Lípa malolistá, *Picea omorika* - Smrk omorika) bylo provedeno fotografování ze spodní strany jeho koruny a získané fotografie hustoty olistění koruny byly následně analyzovány pomocí aplikace **Matlab**, která určila míru hodnoty pokrývnosti vybraných korun. Pořízení fotografií hustoty listového pokryvu stromů probíhalo v červenci, tedy v období plného olistění korun.

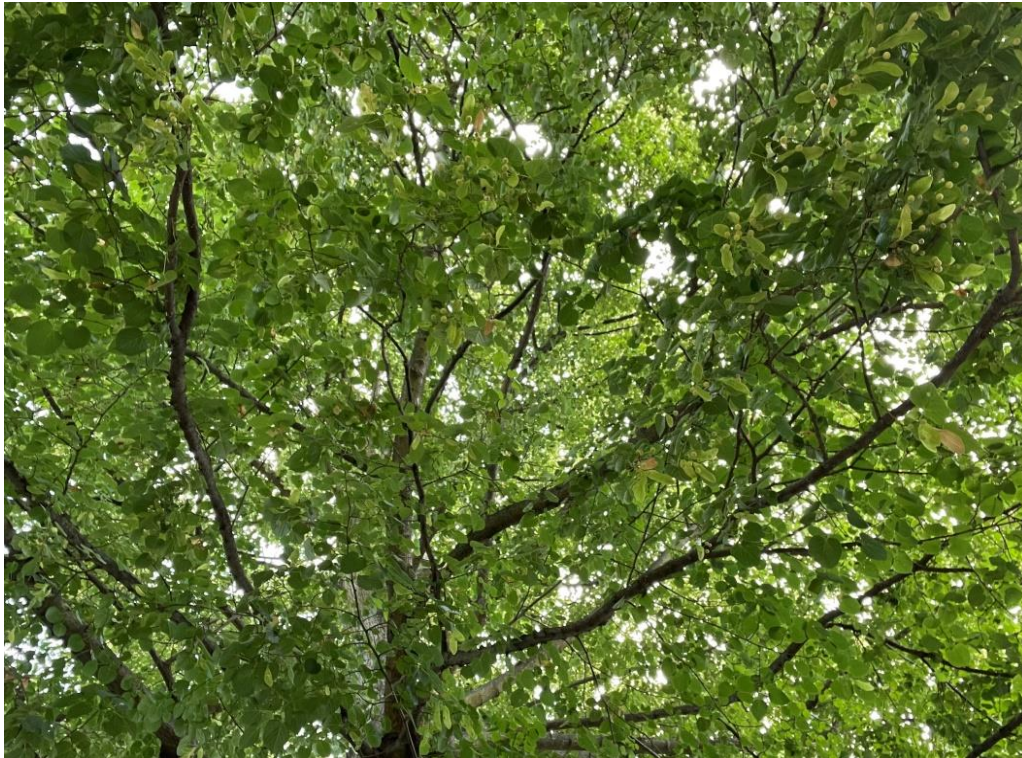
Na níže uvedených snímcích (Obr. 5 až 10), jsou fotografie korun stromů ze stanoviště č. 1, 2 a 3 a k nim je vždy přiřazena analýza pokrývnosti korun v podobě čtyř snímků z aplikace Matlab. Analýza znázorňuje výslednou prahovou hodnotu hustoty koruny (Threshold), dále také vstupní snímek s názvem posuzovaného taxonu, vypočítanou míru pokrývnosti koruny v procentech (Canopy closure) a srovnávací snímek plně nepropustné koruny v procentech (Canopy cover). Vstupní skript potřebný k analýze hustoty olistění koruny v aplikaci Matlab, byl použit ze studie KORHONEN, HEIKKINEN (2009), zaměřené na automatizovanou analýzu pokrytí korun.



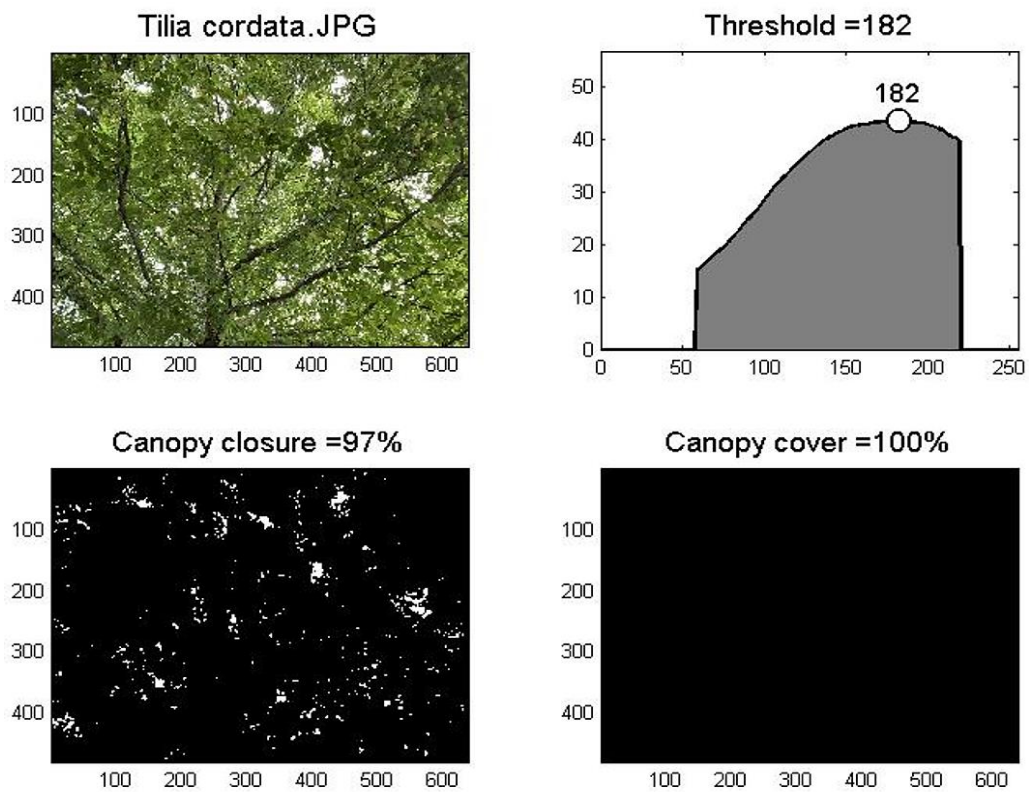
Obr. 5: Foto prostupnosti slunečního záření koruny, stanoviště č. 1. *Acer platanoides* (autor).



Obr. 6: Analýza snímku v aplikaci Matlab - *Acer platanoides* (mathworks.com).



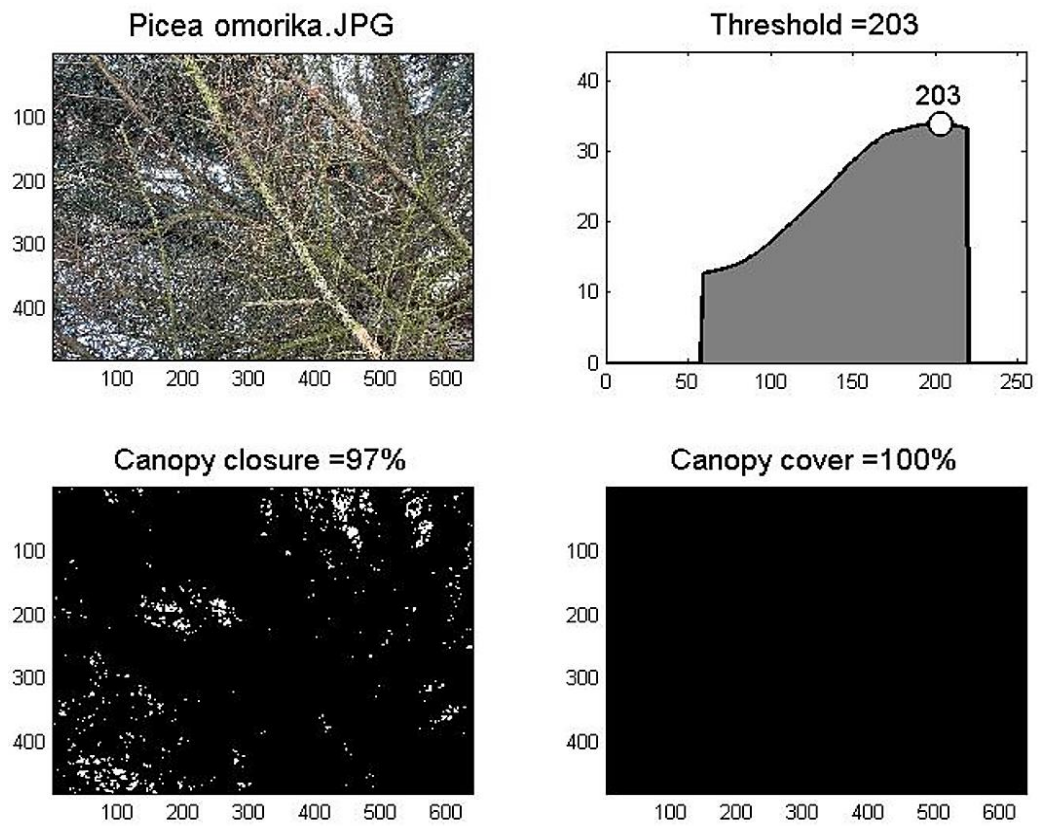
Obr. 7: Foto prostupnosti slunečního záření koruny, stanoviště č. 2 *Tilia cordata* (autor).



Obr. 8: Analýza snímku v aplikaci Matlab - *Tilia cordata* (mathworks.com).



Obr. 9: Foto prostupnosti slunečního záření koruny, stanoviště č. 3 Picea omorika (autor).



Obr. 10: Analýza snímku v aplikaci Matlab - Picea omorika (mathworks.com).

3.6 ANALÝZA A METODY ZPRACOVÁNÍ DAT

Data získaná terénním hodnocením byla z měřicího zařízení exportována prostřednictvím IrDA/USB kabelu a dále zpracována pomocí freeware aplikace Mini32 (teplota a vzdušná vlhkost). Freeware aplikace Matlab byla použita pro analýzu fotografií olistění korun vybraných jedinců z terénu a pro určení propustnosti slunečního záření. Pro zpracování dat o pohybu a celkové ploše stínu, byl využit software ArcGIS Pro, kde byla klíčová extenze 3D Analyst s využitím těchto dalších nástrojů: Layer 3D To Feature Class, 3D Buffr, 3D Multipatch, Sun Shadow Volume 3D Stíny, Intersect 3D, Multipatch Footprint.

Výsledná data byla statisticky vyhodnocena prostřednictvím aplikace RStudio. Bylo tak provedeno porovnání rozdílů v rámci jednotlivých stanovišť, vývoje teplot a vlhkosti v konkrétních měsících. Získaná data byla dále využita pro vyjádření morfologických mezidruhových rozdílů, benefitu přístínění a také k následnému určení celkové plochy stínu poskytované vybranými taxony. Grafické znázornění bylo provedeno prostřednictvím grafů a tabulek, zpracovaných v Microsoft Office Excel verze 2010, licence pro Českou zemědělskou univerzitu.

4. LITERÁRNÍ PŘEHLED

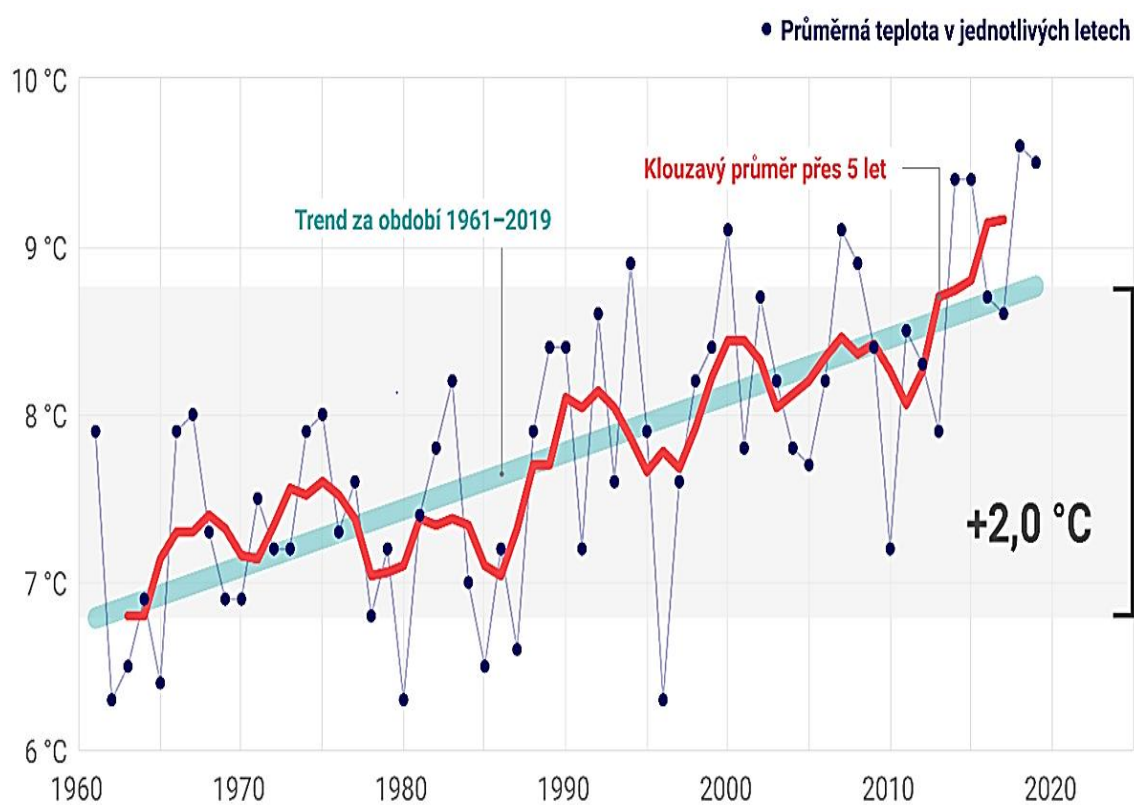
4.1 KLIMATICKÁ ZMĚNA CELOSVĚTOVĚ A V ČR

Provázaným celkem globálních změn životního prostředí jsou ovlivněny oceány a jiné vodní zdroje, ovzduší, ekologické systémy a produktivita krajiny, ale i změna klimatu. Klima je složitý systém, jenž v sobě propojuje mnoho podstatných podmínek pro lidský život. Klimatickou změnou není tedy pouze zvyšování teploty, ale jde o komplexní pojem pro celou řadu navzájem propojených jevů. A v případě změny některého z faktorů, např. navýšení koncentrace CO₂ je spuštěn sled dopadů nejen v regionálním, ale i v celosvětovém měřítku (IPCC, ©2014; CZECHGLOBE, ©2016).

CZECHGLOBE, (©2016); IPCC, (©2001) o celosvětových dopadech klimatické změny uvádí, že tyto změny způsobí proměnlivost klimatu spojenou s extrémními projevy počasí, jako jsou zkracující se chladná období, silné srážky, nebo naopak vlny veder a sucha. Tyto projevy také budou mít zásadní vliv na migraci populace z důvodu rozpadu ekonomiky a špatných životních podmínek. Dojde tak k nárůstu neobyvatelných oblastí vlivem sucha, nebo zvyšování hladin moří. Výrazné dopady se také projeví v podobě ekonomických ztrát a přerušení sociálních aktivit a to v sektorech propojených s vodním hospodářstvím, zemědělstvím, potravinářstvím, lesnictvím a turismu. U většiny subtropických regionů vlivem změny klimatu dojde k zásadnímu zintenzivnění soutěživosti uvedených sektorů o vodní zdroje. Dle IPCC (©2001) je rozhodující rychlost klimatické změny, která tak může mít negativní vliv na přizpůsobení se nebo migraci jednotlivých ekosystémů v čase, což zkomplikuje některá adaptační opatření.

V případě dopadů klimatické změny na Českou republiku si obyvatelé aktuální změny klimatu uvědomují a uznávají je. Spojují je s narůstajícím výskytem extrémního počasí a vnímají budoucí komplikace s nedostatkem pitné vody, nebo samotném udržení vody v krajině, vlivem vzrůstajících teplot a sucha s ohledem na předešlou historii.

Za předchozích šedesát roků se v České republice teplota zvýšila průměrně o 2 °C (Graf 1: Průměrná roční teplota v České republice v období 1960 - 2020), a v průběhu následujících 20ti let se zvýší pravděpodobně ještě o 1 °C. Městské aglomerace ale na tyto změny nejsou aktuálně připraveny (TRÁVNÍČKOVÁ a kol. 2021).



Graf 1: Průměrná roční teplota v České republice v období 1960 – 2020 (www.chmi.cz).

4.2 VLIV ZMĚNY KLIMATU NA MĚSTSKÁ PROSTŘEDÍ V ČR

Díky většímu podílu společensky a ekonomicky zajímavých aktivit se tendence přesídlení obyvatelstva z venkova do městského prostředí projevuje i v rámci České republiky, kdy v současnosti žije ve městech 74 % naší populace a s výhledem ke konci století tento nárůst bude pokračovat až k hranici 90 % (CZECHGLOBE, ©2016).

Globální klimatická rizika jsou soustředěna převážně do městských oblastí. Města tak budou v následujících letech pod stále intenzivnějším vlivem dopadů změn klimatu. Z tohoto důvodu je nutné přistoupit k vhodným a dlouhodobým řešením v rámci integrace adaptačních opatření na změny klimatu, které jsou zcela zřejmé a aktuálně se projevují změnami v zaběhnutých rytmech přírody a počasí (SCOTT et. al., 2001; REVI et al., 2014; IPCC, ©2014; CZECHGLOBE, ©2016). V tomto trendu globálního oteplování je již zcela patrné umírání lesů, způsobené vlivem déle trvajících sucha, což je v poslední době také spouštěčem kůrovcové kalamity. Čelíme tak na celém území České republiky reálným dopadům sucha nejen na lesní vegetaci (TRÁVNÍČKOVÁ a kol. 2021).

SCOTT et. al., (2001); REVI et al., (2014); IPCC, (©2014); CZECHGLOBE, (©2016); LÍBALOVÁ a kol. (2019) se shodují na měnícím se rozložení a četnosti dešťových srážek, přívalem dešťů a s tím spojených povodní. Vše je tak doprovázeno dalšími extrémními hydrometeorologickými jevy v podobě bouřek, vichřic a krupobití. LÍBALOVÁ a kol. (2019) také v této problematice nedostatku vody způsobeném vysycháním vodních nádrží, anebo naopak negativními vlivy bleskových povodní zhoršující kvalitu povrchových vod upozorňuje na snížení rekreačního potenciálu městského prostředí.

Zranitelnost obyvatel městských aglomerací se tak nejvíce projeví dopadem extrémních jevů v podobě vln veder a dlouhotrvajícího sucha (SCOTT et. al., 2001; REVI et al., 2014; IPCC, ©2014). Již dnes obyvatelé městského prostředí pociťují v období letních měsíců narůstající počet vln veder a s tím spojený teplotní nekomfort. Tento teplotní nekomfort je způsobený přehříváním městského ovzduší, jež umocňuje přítomnost městských tepelných ostrovů (HUNT A WATKISS, 2011; PATZ et al., 2005; ZHAO et al., 2018).

TAKÁCS et al., (2016); LÍBALOVÁ a kol. (2019) upozorňují na regionální klimatické modely pro střední Evropu, které vychází ze zvyšující se průměrné roční teploty doprovázené extrémními výkyvy teplot v podání tropických dnů, kdy teplota přes den běžně přesahuje hranici 30 °C a v noci neklesá pod 20 °C. Tyto modely jsou aktuálními indikátory nárůstu intenzity déle trvajících a častějšího tepelného stresu.

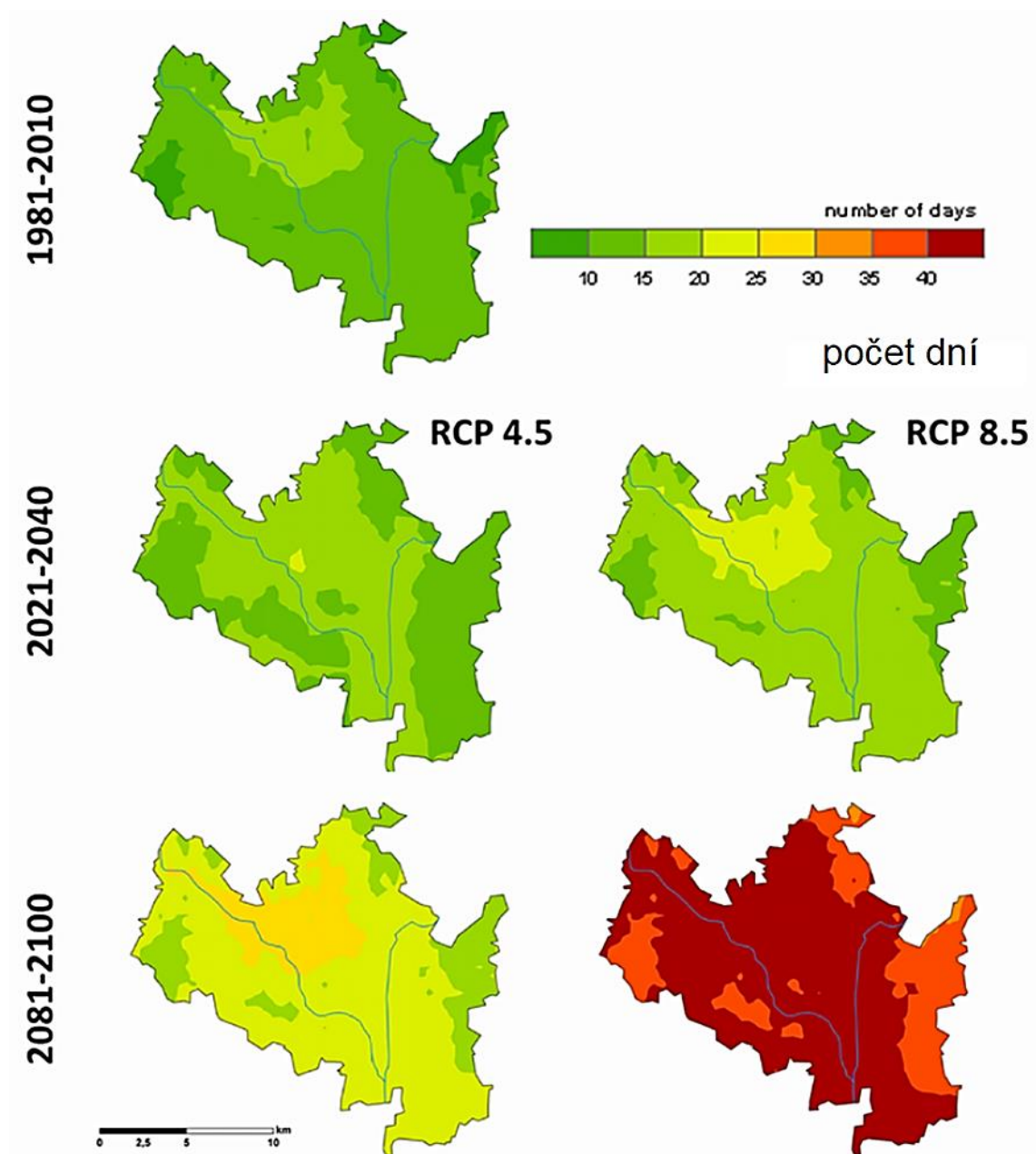
TAKÁCS et al. (2016) dále uvádí, že extrémní výkyvy teplot povedou v budoucnu ke zvýšené úmrtnosti především u populace citlivější na teplo, mezi které patří kojenci, malé děti a lidé staršího věku. S ohledem na narůstající urbanizaci a předpokládané dopady změn klimatu, je velmi důležité ve strategii městského plánování tyto klimatické změny zohlednit. Autoři studií KENDROVSKI a kol. (2017); DESSAI (2003); KIRSHEN a kol. (2008) zabývajícími se teplotními dopady na lidské zdraví se v rámci navýšení úmrtnosti spojeného se změnami klimatu také shodují.

Zdraví obyvatel je ovlivňováno také zvyšující se koncentrací přízemního ozonu, jehož expanze je umocněna přehříváním městského ovzduší (KNOWLTON a kol. 2004). Teplotní extrémny jsou spouštěčem dalších zdravotních potíží, neboť výrazně ovlivňují psychiku lidí a vedou k déle přetrvávajícímu stresu (TUNSTALL et al., 2006). V případě teplotních extrémů byl také v rámci Evropy zaznamenán nárůst infekčních onemocnění spojených s patogenem Salmonella, nebo neobvyklé prodloužení vegetačního působení některých druhů alergenů a s tím spojených obtíží (KOVATS et al., 2004; MENNE A BERTOLLINI, 2005).

Dle LÍBALOVÉ a kol. (2019) dochází také vlivem horka ke snížení pracovní efektivity a ekonomické výkonnosti a dále také k nižší pozornosti řidičů.

NOWAK, HEISLER (2010); AKBARI (2005) uvádí, že lze očekávat nárůst spotřeby energie v letních měsících na klimatizování až o 2 % a to při každém nárůstu oteplení o 0,6 °C a případný pokles spotřeby energie na vytápění během nadprůměrně teplých zimních měsíců.

Příklad modelu globálního oteplování ovlivňujícího městské prostředí v rámci katastrálního území města Brna je na *(Obr. 11: Model nárůstu počtu tropických dnů pro roky 2021-2040 a roky 2081-2100 s využitím scénářů RCP4.5 a RCP8.5)*. Dle CZECHGLOBE (©2017) bude počet tropických dnů v následujícím období neustále narůstat. Intenzita nárůstu je ovlivněna mírou koncentrace emisí CO₂ a dalších skleníkových plynů v ovzduší.



Obr. 11: Model nárůstu počtu tropických dnů pro roky 2021-2040 a roky 2081-2100 s využitím scénářů RCP4.5 a RCP8.5, kdy RCP4.5 je stabilizace koncentrací CO_2 na nízké úrovni a RCP8.5 je varianta bez omezování emisí CO_2 . To vše je konfrontováno s výchozím stavem z let 1981-2010 (CZECHGLOBE, ©2017).

Uvedení autoři tedy spatřují v dopadech klimatických změn na urbanizovaná území hlavní rizika v podobě častějších vln veder a s tím spojeného efektu tepelného ostrova a jistých zdravotních rizik. Dále nerovnoměrné rozložení dešťových srážek vedoucí k bleskovým povodním, projevy častějších období sucha spojených s úbytkem vody a městské zeleně, nutných k ochlazení městského prostředí.

4.3 TEPELNÉ OSTROVY MĚSTSKÝCH AGLOMERACÍ

Nežádoucí jev v podobě přehřívání prostředí městských aglomerací se projevuje již s příchodem stavebních materiálů v podobě betonu a asfaltu, tedy od počátku moderní urbanizace krajiny. V tomto duchu trpí i malá města, která využívají také stavební materiály, jejichž **tepelná vodivost** je vysoká a přispívá tak v letním období k dalšímu zvýšení teplot a lokálnímu přehřívání městského prostředí. Tyto oblasti s velkým zastoupením nevhodných stavebních materiálů a výrazným nárůstem teplot jsou označovány jako **městské tepelné ostrovy**, nebo také **UHI - Urban Heat Island** (ŠTEFL 2014; NOWAK, HEISLER 2010; KATZCHNER 2011).

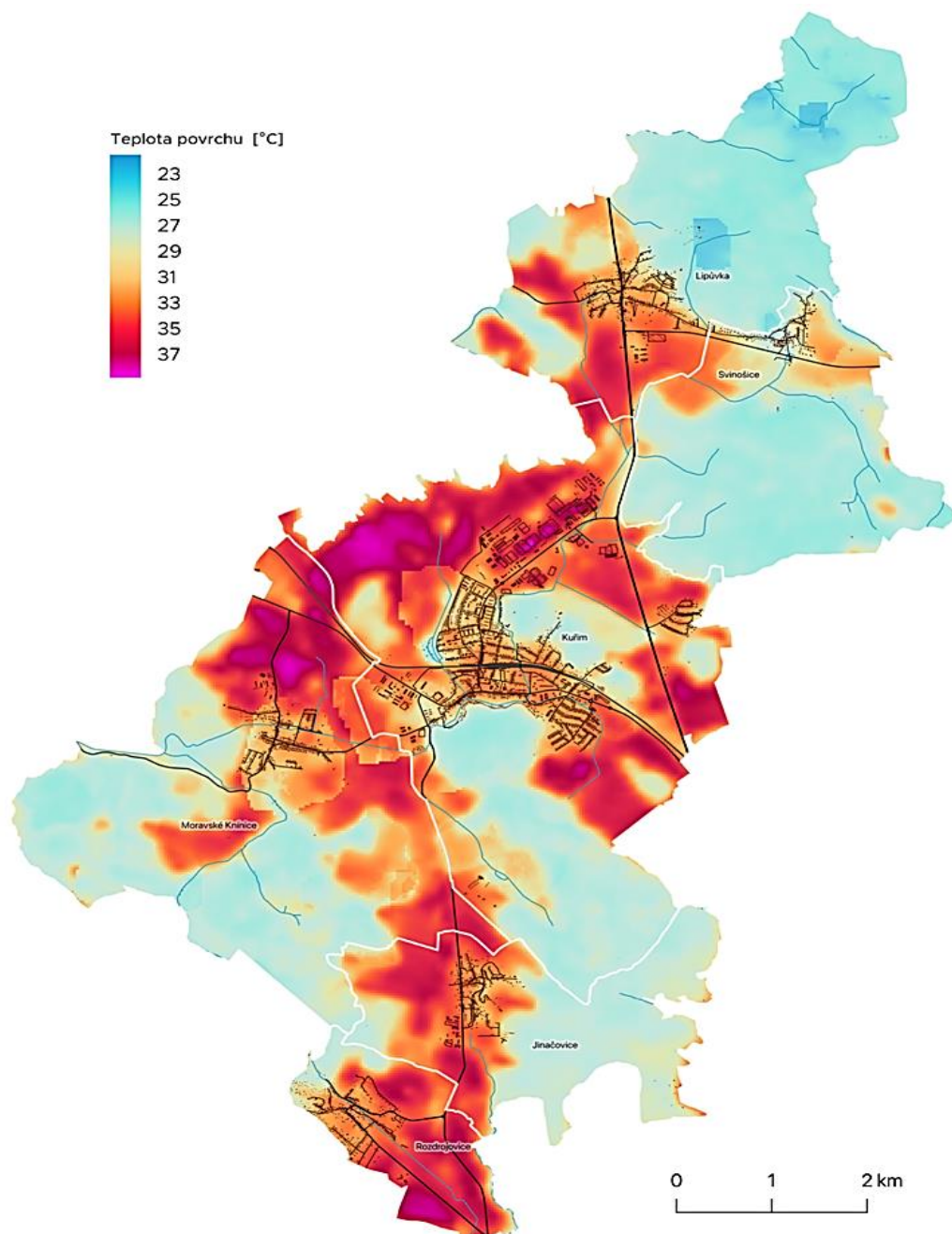
Jak uvádí OKE (1982), efekt městského tepelného ostrova je tepelným úkazem s časovým, vertikálním a horizontálním rozsahem, který je možné pozorovat jak u malých, tak i velkých měst. Tedy je ovlivněn ročním obdobím a také uspořádáním městské zástavby. Tento nežádoucí efekt je umocňován používáním nevhodných stavebních materiálů, akumulujících teplo, které pak v nočních hodinách teplo zpětně uvolňují do ovzduší.

NURUZZAMAN, (2015) poukazuje, že na přehřívání městských aglomerací má také velký vliv samotné rozmístění budov, které mnohdy snižuje proudění vzduchu, díky příliš úzkým ulicím, nebo výškou zástavby.

Dle ARMSONA et. al., (2012) se problémy s městskými tepelnými ostrovy v rámci projevujících se změn klimatu budou s největší pravděpodobností ještě zhoršovat, a to s narůstající frekvencí vln veder a každoročně stoupajícími průměrnými teplotami. LEUZINGER et al. (2010) prostřednictvím leteckého snímkování poledních letních teplot jednotlivých ploch švýcarské Basileje, naměřili u některých povrchů teploty v rozmezí 37 až 60 °C. Tyto povrchy tedy vykazovaly teplotní rozdíly oproti okolnímu vzduchu o 12 až 35 °C, zatímco u listí stromů se tento rozdíl teploty projevil pouze v rozmezí 1 až 4 °C. GILL, (2006) ve svých měřeních letní maximální povrchové teploty dospěl k hodnotě 12,8 °C, jež vyjadřovala rozdíl mezi centrem města a okolní krajinou. U nepropustných povrchů městské zástavby (beton), naměřili maximální teplotu 43 °C a u propustných povrchů v okolní krajině (tráva, lesy) byla maximální teplota 18 °C. Dle AKBARI et. al., (2001) v období jasných letních dnů je teplota vzduchu v typické městské zástavbě až o 2,58 °C vyšší, než v přilehlém venkově.

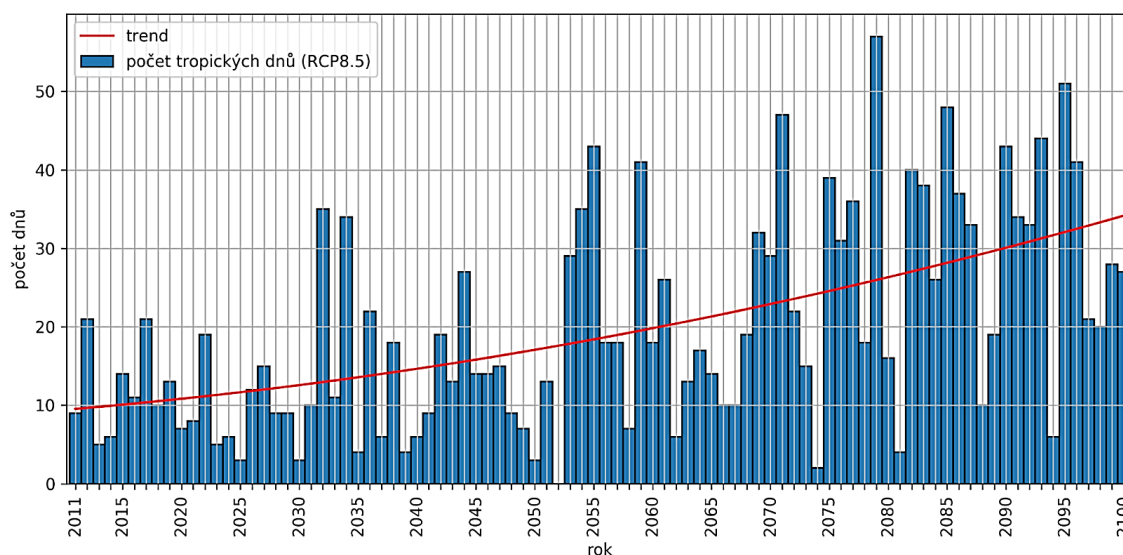
Jako příklad teplotních problémů městského prostředí v České republice, poskytuje (*Obr. 12: Přehled ploch ohrožených přehříváním v nejteplejších dnech na území mikroregionu Kuřimsko*). Z obrázku viditelné přehřívání průmyslového areálu je

typické pro betonovou a asfaltovou zdlážděnost jeho ploch, ale citlivé k přehřívání jsou i zemědělské plochy nacházející se mimo intravilán města. Zvláště pak v období po sklizni, které vlivem narůstajících počtů tropických dní přicházejí dříve, než v předchozích letech (TRÁVNÍČKOVÁ a kol. 2021).



Obr. 12: Přehled ploch ohrožených přehříváním v nejteplejších dnech na území mikroregionu Kuřimsko (ASITIS, ©2021 na základě družicových dat Landsat 8 z let 2015-2020).

Dle TRÁVNÍČKOVÉ a kol. (2021) budou obyvatelé České republiky v roce 2050 mnohem častěji čelit několikanásobným až týdenním vlnám veder. A tropických dnů překračujících teplotu 30 °C bude v ročním průměru mezi 15 a 20, jak ukazují historická data a modelové výpočty vývoje teplot mezi lety 2011 až 2100 (vizte *Graf 2: Nárůst tropických dní v České republice mezi lety 2011 až 2100*).

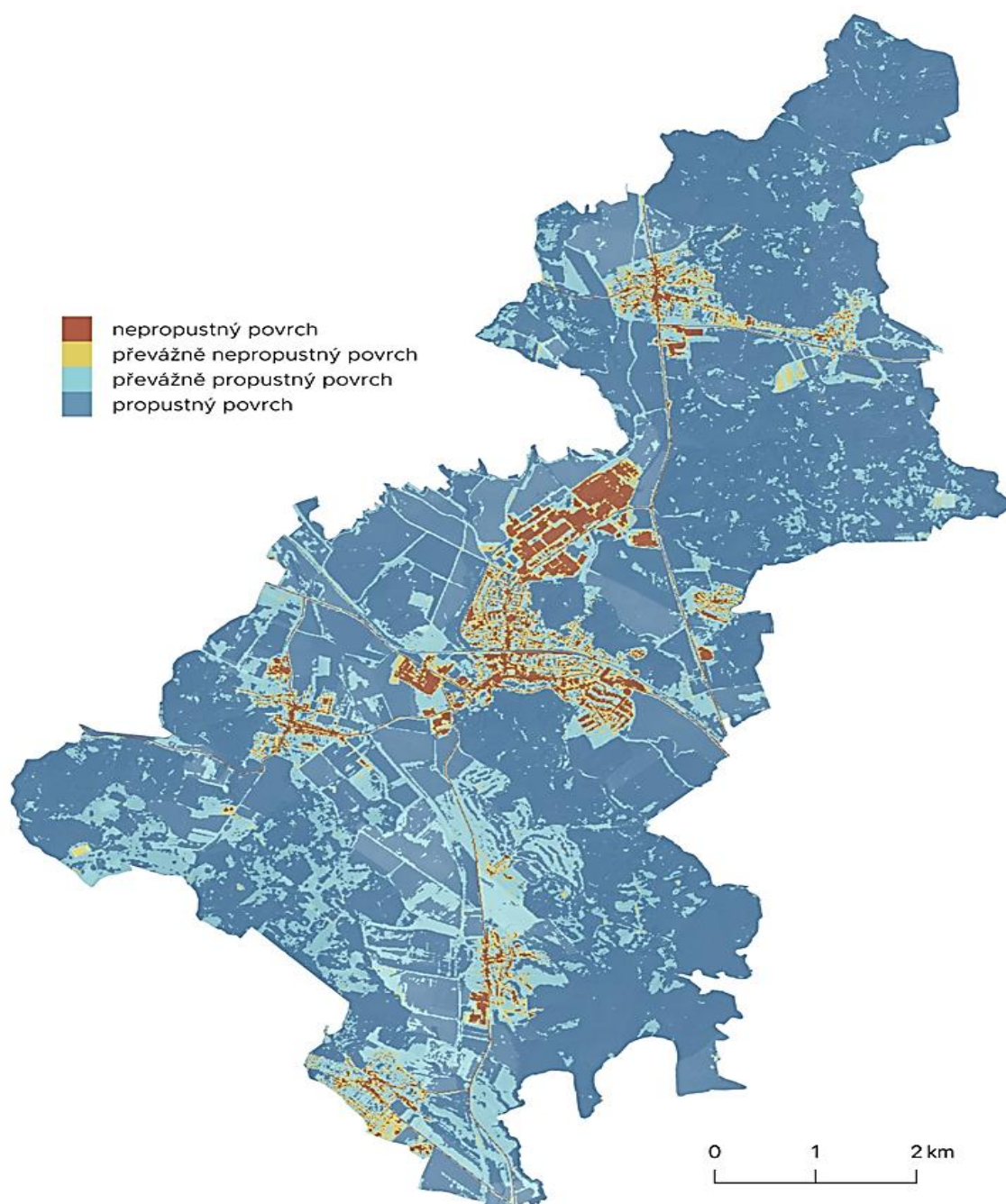


Graf 2: Nárůst tropických dní v České republice mezi lety 2011 až 2100 (ASITIS, ©2021 dle EURO-CORDEX model SMHI RCA4, scénář RCP8.5).

BOUYER (2011) uvádí, že k akumulaci tepla ze slunečního záření dochází především v případě, kdy je městská zástavba tvořena ve větší míře betonem a asfaltem, tedy materiály s nízkým albedem, s nízkou schopností teplo odrazit. Teplo je tak těmito povrchy absorbováno a následně v nočních hodinách uvolňováno zpět do ovzduší, čímž negativně ovlivňuje městské mikroklima i v době, kdy slunce nesvítí. SOUKUPOVÁ (2014) definuje albedo jako poměr mezi odraženým a dopadajícím slunečním zářením, jež je ovlivněný druhem povrchu. Podle vědců GAFFIN et al. (2006); BERARDI et al. (2014); KOTAK a kol. (2015) se výše albeda dle jednotlivých druhů povrchů liší. V případě zelených střech je jeho hodnota v rozpětí 0,7 - 0,85. U asfaltových povrchů v hodnotách 0,05 - 0,2 a betonové dlažby se albedo pohybuje 0,25 - 0,7. Albedo tak každého města může být postupně zvýšeno při minimálních nákladech, prostřednictvím rekonstrukcí a údržby střech, chodníků a komunikací. Také již existují programy na podporu výsadby stromů za účelem zvyšování povrchového albeda.

V rámci příkladu ujasnění si míry zastoupení nepropustných povrchů v urbanizovaném prostředí lze využít níže uvedený obrázek (*Obr. 13: Znázornění*

propustnosti povrchů na území mikroregionu Kuřimsko v roce 2020), kde nepropustné povrchy zaujímají z posuzovaného regionu 4 %, jež jsou tvořena komunikacemi, chodníky, parkovišti, pochozími plochami a budovami. Naopak zastoupení plně propustných ploch na tomto území je zastoupeno 70 % a tvoří ho lesní a zemědělské plochy. Zbývajících 26 % tvoří tzv. převážně propustné povrchy, které představují smíšené plochy v podobě vegetace, nacházející se v rámci vnitrobloků, podél komunikací, nebo průmyslových areálů.



Obr. 13: Znárodnění propustnosti povrchů na území mikroregionu Kuřimsko v roce 2020 (ASITIS, ©2021 na základě dat Sentinel 2, Open Street Maps a Urban Atlas).

Za účelem retence vody a protipovodňových opatření jsou v městském prostředí stále více využívány technologie propustných povrchů v podobě zatravnovacích dlaždic, porézních chodníků apod., umožňujících dostatečné zadržení vody důležité pro okolní zelené plochy, městskou vegetaci a mikroklima (LI et al., 2013; QIN et al., 2018).

Městské zelené nezadlážděné plochy s dostatečnou vegetací umožňují vsakování srážkové vody (efekt zadržených srážek), čímž dochází ke snížení a zpomalení odtoku a tím pak i ke zmírnění následků prudkých lijáků. Tyto plochy mají schopnost vsáknout velký objem vody sloužící následně jako významná vodní rezerva pro vznik příjemného městského mikroklima (ŠTEFL 2014; CHEN, JIM, 2008).

Na základě výsledků více studií prokazujících jednoznačné přínosy zelených ploch v ochlazování městského prostředí bylo potvrzeno, že stromy dokáží zajistit účinné místní ochlazení vzduchu a travnaté povrchy ochlazují ovzduší v regionálním měřítku, což výrazně přispívá ke zmírnění efektu městských tepelných ostrovů (ARMSON et al, 2012).

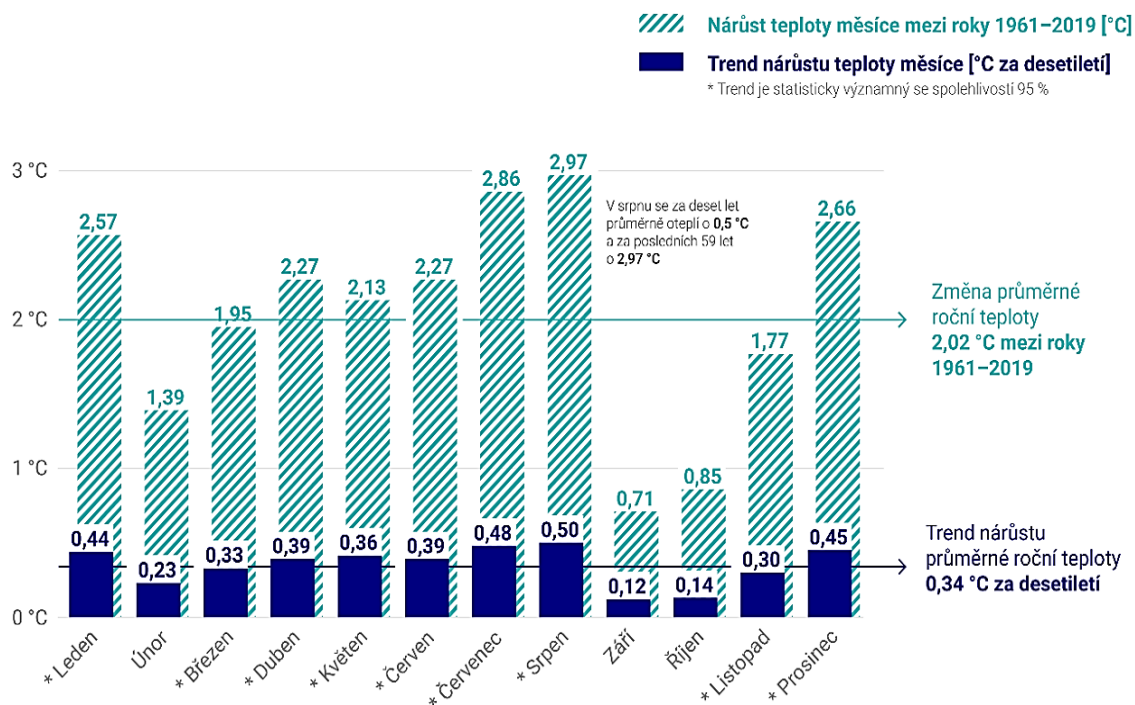
Nedostatek městské zeleně nebo její ztráta vlivem nové zástavby výrazně snižuje odraz krátkovlnného záření (albedo) a také v tomto důsledku dochází ke snížení evapotranspirace, chlazení přenosem latentního tepla (OKE, 1982; KUTTLER, 2008).

Přítomnost zelených ploch ve městech je schopna měnit všechny tepelné parametry ovzduší. Zejména přínos městských lesů významně přispívá k redukci městských tepelných ostrovů a to prostřednictvím evapotranspirace. Evapotranspirace je součtem transpiračního procesu a odpařování. Odpařováním je myšlen odpar vody do ovzduší z nejrůznějších vlhkých povrchů a transpirace je procesem pohybu vody rostlinou, jež je přeměněna na páru a prostřednictvím prúdů uvolněna do atmosféry. Tyto procesy jsou zásadní pro ochlazování městského prostředí (TAKÁCS et al., 2016).

AKBARI et. al. (2001) dává význam dostatečnému zastoupení městských stromů a povrchů s vysokým albedem, které mohou výrazným způsobem zmírnit efekt městského tepelného ostrova a snížit tak spotřebu energie na ochlazování až o 20 %, což by například v USA vedlo k úspoře více jak 10 miliard dolarů ročně, a také by se to pozitivně projevilo na zlepšení kvality ovzduší ve městech.

Analýza teplotního vývoje městského prostředí v letním období prováděná v několika velkých městech USA v posledních 100 letech potvrzuje nárůst teploty v městských oblastech od roku 1940 až o 3,08 °C. V rámci této analýzy je pozorována zvýšená spotřeba elektřiny vynaložené na chlazení budov a to až o 4 %. Lze tedy předpokládat, že nárůst spotřeby elektrické energie na klimatizace bude stoupat přímo úměrně s globálním oteplováním (AKBARI et. al., 1992, 2001; GOODRIDGE, 1987). Dle ADINNA et al., (2009) se díky zvyšování spotřeby energie na klimatizace zvýší také produkce elektráren, které tak vyprodukují další nežádoucí navýšení emisí skleníkových plynů přispívajících ke změnám klimatu.

Předpovědi vývoje klimatu do budoucna jsou určovány na základě komplexního klimatického modelování, ve kterém je počítáno s tzv. vyšším emisním scénářem (RCP8,5). Tedy globálním nárůstem emisí oxidu uhličitého, které jsou ale aktuálně překračovány, díky čemu lze očekávat další navýšení rozsahu změn. Jak uvádí (*Graf 3: Vývoj narůstajících teplot v České republice dle měsíců*), tak v České republice do roku 2030 bude navýšena průměrná teplota vzduchu přibližně o 0,34 °C (TRÁVNÍČKOVÁ a kol. 2021).



Graf 3: Vývoj narůstajících teplot v České republice dle měsíců (chmi.cz).

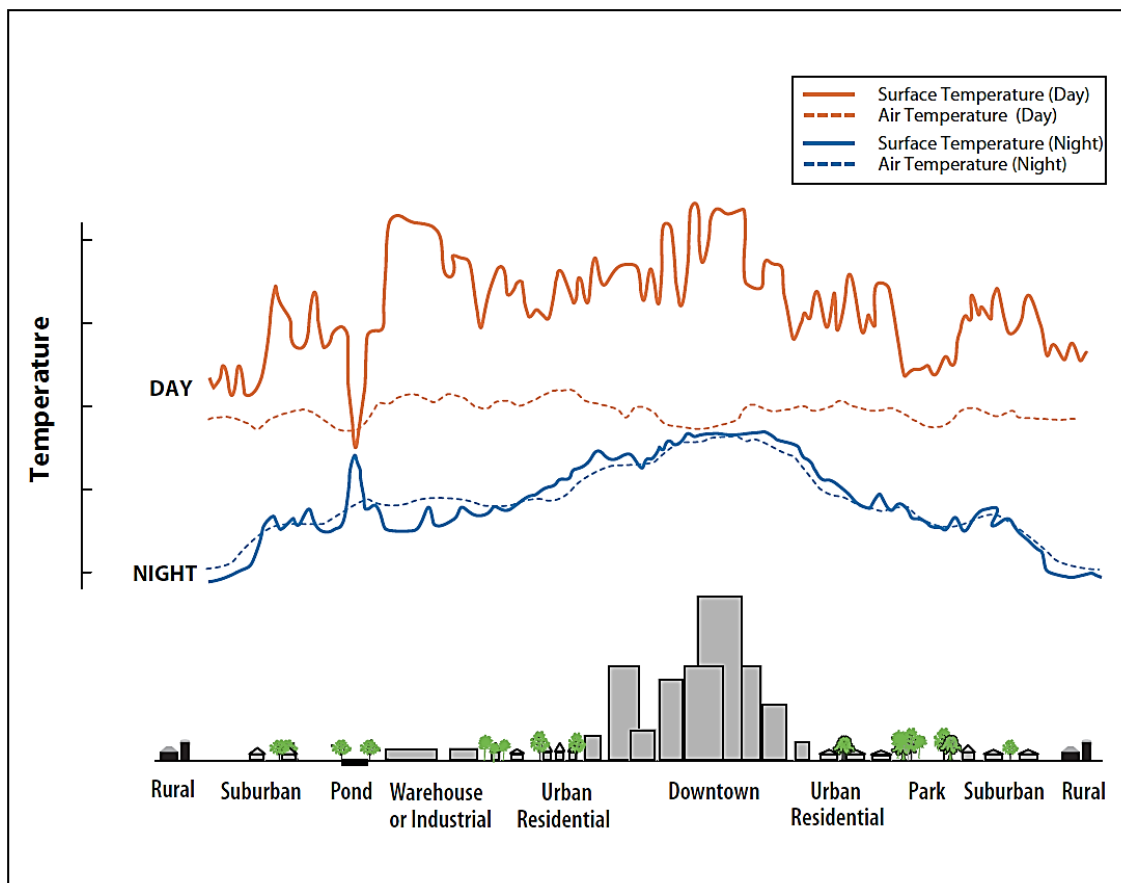
TAKÁCS et al. (2016) upozorňuje na potřebu adekvátních strategií spojených s plánováním městské krajiny a to v zájmu redukování vysoké úrovně tepelného stresu v letním období, který narůstá čím dál více. Tyto strategie a s nimi související vládní rozhodování hrají významnou roli v řízení urbanizace po celém světě. TAKÁCS et al. (2016) dále uvádí, že v konkrétních krocích je potřeba zintenzivnit realizace zelených ploch společně s masivní výsadbou stromů a dalších druhů vegetace v městském prostředí. Zakládat více vodních prvků a využívat materiály s vysokým albedem. Dle DUNCANA et al., (2019) je takovým řešením rozvoj zelené infrastruktury, jejíž plánování je potřeba podrobit počítačovým simulacím, aby efekt chladicího účinku a ochrana obyvatel před vlivem přehřátého městského prostředí byla co nejúčinnější.

Absence nedostatku městské zeleně, vodních ploch a celkového systému zelené infrastruktury teplotní rizika dále umocňují. Obyvatelé městských aglomerací jsou tak vystaveni těmto teplotním extrémům, které mají významný vliv na jejich tepelný komfort a zdraví v podobě dýchacích a srdečních potíží (TRÁVNÍČKOVÁ a kol. 2021).

Bylo prokázáno, že extrémní teploty a nízká vlhkost vzduchu v městském prostředí jsou nežádoucí kombinací způsobující obyvatelstvu evropských měst tak zvaný stres z vysokých teplot (DUNNE et al., 2013). Tyto stresové situace mohou vést k vyšší náchylnosti k zdravotním komplikacím a zvýšené úmrtnosti. Spouštěčem stresu, tak může být po sobě jdoucích několik horkých dnů a nocí (TAHA et al. 2004). TAKÁCS et al. (2016) také potvrzují vyšší náchylnost ke stresu z přehřátí v městském prostředí, než ve venkovských a přírodních oblastech. KOSATSKY, (2005) uvádí, že s častějšími vlnami veder se může zvyšovat zejména u starších osob počet případů nemocí a úmrtí souvisejících s teplem. Takové dopady již byly zaznamenány v rámci evropské vlny veder, která proběhla v roce 2003 a kdy kvůli teplu došlo k 35.000 úmrtím, zpravidla v městském prostředí.

Dle EPA (©2008) je na níže uvedeném (*Obr. 14: Příklad městského tepelného ostrova*), znázorněn výskyt vyšších teplot v centru města oproti přilehlé periférii disponující větším zastoupením zeleně. Z této variace povrchových a atmosférických teplot je patrné, že vzduch v atmosféře je již promíchaný s okolním ovzduším, a tedy teplotní rozdíly nejsou tak velké, jako níže nad městskou oblastí. Rozdíly jsou zřejmé především v místech s odlišným využitím půdy. Vliv na tyto rozdílné teploty mají také další faktory, jako jsou roční období, povětrnostní podmínky a intenzita slunečního záření. Zajímavá je také výrazná podobnost teplot městského povrchu a okolního vzduchu v nočních hodinách na rozdíl od denního režimu, kdy teploty vzduchu

u jednotlivých městských povrchů jsou diametrálně rozdílné. V případě znázorněného jezírka je průběh teplot ve dne i v noci konstantní díky vysoké tepelné kapacitě vody.



Obr. 14: Příklad městského tepelného ostrova (EPA, 2008 - U.S. Environmental Protection Agency. 2008. Reducing urban heat islands: Compendium of strategies. <https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-compendium>).

4.3.1 TEPELNÝ KOMFORT

Tepelným komfortem se rozumí stav, ve kterém se člověk po tepelné stránce cítí dobře, tedy okamžik, kdy netrpí zvýšeným pocením nebo naopak zimou. Vzhledem k tomu, že u každého člověka neprobíhají termoregulační (fyziologické a behaviorální) procesy stejně, je tepelný komfort subjektivním pocitem (EPSTEIN, MORAN, 2006).

Pokud se má člověk cítit dobře, je důležité, aby jeho tělesná teplota byla konstantní a to kolem 37 °C. V případě velkého tepla nebo chladna nastává tak zvaný tepelný stres, který může být způsobený teplotou a vlhkostí vzduchu (OKE et al., 2017).

Tepelnou pohodu a zdraví neovlivňuje pouze teplota vzduchu, ale i další atmosférické tepelné parametry vycházející z hustoty toku slunečního záření krátkých a dlouhých vln a rychlosti větru (TAKÁCS et al., 2016).

Jako mezinárodně známý tepelný index pro kvantifikaci vnímání tepelných podmínek lidmi žijícími v městském prostředí se používá fyziologický ekvivalent teploty (komfortní teplota člověka), neboli PET (MEEHL, TEBALDI, 2004). MATZARAKIS et al. (1999) uvádí, že PET se pohybuje v rozmezí mezi 18 °C až 23 °C.

V případě městského prostředí je PET v letním období velmi ovlivňován sálavým teplem z povrchů s nízkým albedem. Na základě výsledků regionálních klimatických modelů pro Centrální Evropu, vznikají pro obyvatele městských aglomerací programy zaměřené na biometeorologii a na optimalizaci lidského tepelného komfortu. Vzhledem k předpovědím častějších a intenzivnějších vln veder, se jejich význam stává čím dál více důležitější (MEEHL, TEBALDI, 2004; SVENSSON, ELIASSON, 2002; MILLS, 2006). Takovéto programy a strategie si žádají kvantitativní informace k faktorům určujícím tepelný komfort člověka v nejrůznějších částech městských čtvrtí. K jednomu z takovýchto programů patří i německý výzkumný projekt KLIMES 2007, realizovaný v jihozápadním Freiburgu, financovaný ministerstvem školství a výzkumu (MAYER et al., 2008). Jedním z cílů projektu KLIMES je aktualizace vnímání tepla obyvateli městského prostředí za současných i budoucích klimatických podmínek, prostřednictvím human biometeorologických metod v různých městských čtvrtích. Z výsledků vyplynulo časté zřetelné tepelné napětí (hodnoty PET nad 40 °C), převažující v odpoledních hodinách za bezmračných letních dnů. Na základě výsledných dat jsou realizovány pokyny pro městské plánování zaměřené na aktuální výzvy v rámci regionálních změn klimatu ve střední Evropě (ALI-TOUDERT, MAYER, 2007a).

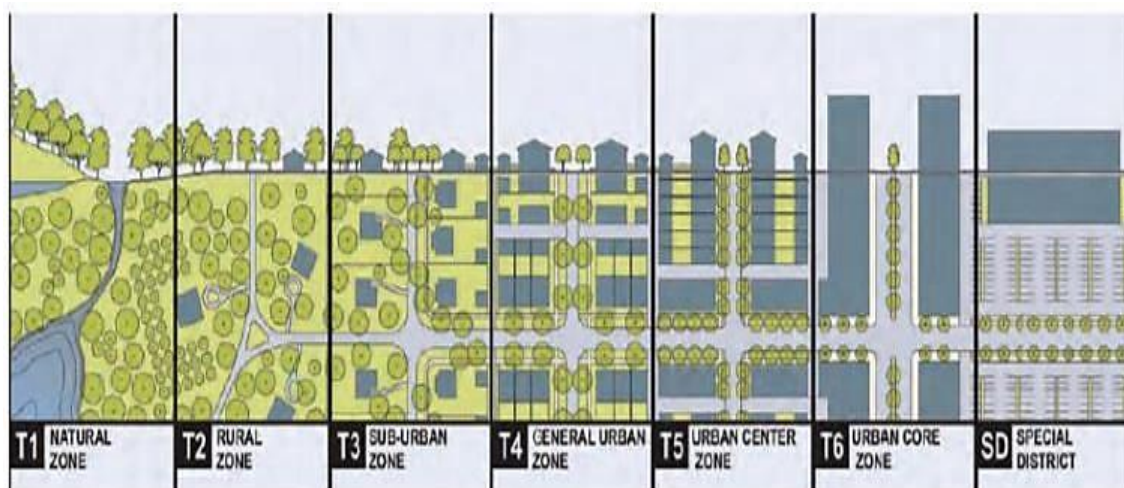
4.3.2 ZELENÁ INFRASTRUKTURA

Přítomností zelené infrastruktury, která v rámci své sítě disponuje zelenými plochami a přírodními prvky je vneseno do urbánního prostředí mnoho benefitů a ekosystémových služeb vycházejících z ekologických procesů, jež jsou klíčové pro adaptovanou faunu a flóru v městském prostředí a její obyvatele (CARREIRO et al., 2008). Smyslem zelené infrastruktury je vzájemné propojení okolní krajiny s plochami urbánního prostředí a uvědomění si jejího ekologického a ekonomického významu,

spojením rozmanitých ekosystémů a jejich víceúčelové využívání obyvateli v rámci odpočinku (HLAVÁČEK, 2015).

ŘÍHOVÁ (2015) dává zelené infrastruktuře kromě ekologického významu také funkci estetickou a hygienickou v podobě městských parků a vyzdvihuje její důležitost v propojování příměstských a městských oblastí.

ROUSE (2013) vnímá zelenou infrastrukturu jako základ pro vznik významných biokoridorů prolínajících se krajinou, venkovem a městským prostředím a upozorňuje na potřebu redukovat nevhodné prvky městského a venkovského prostředí, které brání v intenzitě propojenosti mezi zastavěnými plochami. Tuto intenzitu zastoupení zeleně rozděluje do několika zón, jak je znázorněno na (Obr. 15: Rozdělení na sedm zón dle intenzity zeleně vůči zastavěným plochám).



Obr. 15: Rozdělení na sedm zón dle intenzity zeleně vůči zastavěným plochám, kde T1 je přírodní zóna, T2 venkovská zóna, T3 předměstská zóna, T4 městská zóna, T5 centrální zóna, T6 jádro centrální zóny, SD speciální okresek (ROUSE, 2013).

MIKO (2015) vidí jako důležitý přínos zelené infrastruktury v podobě ekonomických benefitů a z nich vyplývající například úsporu za snížený provoz klimatizací vlivem přístínění budov v letním období. Také upozorňuje na určité mezery a pasivitu České republiky v této problematice, která spočívá v nedostatečné zažitosti **Územního systému ekologické stability (ÚSES)**, případně je vnímán jako složitý, nebo nadbytečný. Díky tomu je tato problematika řešena pouze pro lokální biokoridory, nikoliv však pro nadregionální.

BUČEK (2015) je pro zajištění prostředků a cílevědomé správy za účelem tvorby dalších biocenter a biokoridorů a péči o ně. Dojde tak k zajištění migrace a výskytu přirozeného společenstva, stabilního ekosystému a přirozeného geofundu krajiny.

Podporou biodiverzity prostřednictvím rozvoje městské zeleně dojde k zajištění životních podmínek například pro opylovače, kteří mají zásadní vliv na rozmanitost rostlinných druhů (CLARKE, JANERETTE 2015; HEIDT, NEFF, 2008). Důležitým přínosem v rámci podpory biodiverzity je také vzájemné propojení zahrádkářských kolonií, soukromých zahrad, zeleně vnitrobloků, zelených střech a stěn, jež ve své návaznosti tvoří důležité biokoridory (GIBAS, 2013).

Na základě mnoha vědeckých výsledků zaměřených na ekosystémové služby vycházející z propojenosti městských zelených ploch bylo prokázáno, že každá i malá plocha městské zeleně by měla být vnímána jako důležitá součást zelené infrastruktury a nepřehlížena v procesech regionálního plánování a rozvoje (TAKÁCS et al., 2016).

Z výše uvedených poznatků jednotlivých autorů je přínos ekosystémových služeb a funkcí zelené infrastruktury podporující biodiverzitu a lepší život ve městech zcela opodstatněný.

4.3.3 BENEFITY MĚSTSKÉ ZELENĚ

Míra přínosu a pozitivního vlivu městské zeleně na člověka v případě **sociálních a zdravotních benefitů** je dána její dostupností a nepřehlédnutelnou přítomností, která je vnímána i podvědomě. Díky všem estetickým, rekreačním, psychologickým a zdravotním působením zeleně je odbouráván stres a podporováno duševní zdraví obyvatel. Zeleň poskytuje v horkých dnech příjemné mikroklima a stín, který je vyhledáván obyvateli k setkávání a odpočinku. Tato skutečnost tak zásadním způsobem usnadňuje sociální kontakt, posiluje sousedské vztahy, pocity sounáležitosti a umožňuje identifikaci s komunitou a celkovou spokojenost s prostředím bydliště (KUBÍNOVÁ, PUKLOVÁ, 2017).

S přítomností městské zeleně je již počítáno v případě územního plánování, jak je uvedeno ve studii CHEN, JIM (2008); TYRVÄINEN et. al. (2005), kde jsou zachovány a plánovány zelené plochy právě pro jejich sociální a zdravotní funkci. Dostatečné zastoupení zelených ploch také umožňuje přítomnost nejrůznějších živočišných druhů ve městech, jež pozitivně ovlivňují myšlenky a náladu obyvatel.

Variace textur, barev a prvků tvořených městskou zelení narušují pozitivním způsobem mnohdy monotónní a neestetický ráz městské zástavby a prostřednictvím živých plotů a stromořadí směřují obyvatele do prostředí s vyšší estetickou hodnotou. (STEWART et. al., 2011).

Jedním z případů zdravotních rizik městských aglomerací je dlouhodobě zvýšený hluk způsobený silným automobilovým provozem, jež je redukován protihlukovými stěnami v podobě zelených bariér. Tyto zelené bariéry tvořené vegetačními prvky jsou upřednostňovány před betonovými stěnami právě pro jejich estetickou funkci a schopnost strukturálním uspořádáním větví a listů pohltit a odklonit nejen hluk, ale také pro naše zdraví nebezpečné prachové částice. Tato opatření tak předchází i dalším negativním zdravotním jevům jako je nespavost, podrážděnost a celkové psychické rozladění (SUPUKA A KOL. 1991; KREJSOVÁ, 2008).

Energetická náročnost staveb a spotřeba energie jsou v rámci **ekonomických benefitů** ovlivňovány počtem a druhem stromů v ulicích mající vliv svým přístíněním na ochlazení městských budov v letním období a tedy na úsporu energie u klimatizací, tak i na jejich přínos v případě hustšího zápoje v podobě větrné bariéry vedoucí ke snížení nadměrného ochlazování budov v zimním období a úspory energie za vytápění (McPHERSON, SIMPSON 2003). Tuto skutečnost a systematické postupy pro výsadbu městské zeleně dokládají ve své studii i KADIR, OTHMAN (2012).

Dalším z ekonomických benefitů městské zeleně je zvyšující se hodnota nemovitostí obklopených dostatečným množstvím zelených ploch a parků, kterým potenciální zájemci o koupi domu dávají přednost a jsou ochotni si za tento benefit připlatit, jak ve své studii popisuje (TYRVÄINEN et. al., 2005). Tento jev v podobě nárůstu ceny nemovitostí byl také ověřen u pražských nemovitostí. (MELICHAR, KAPROVÁ, 2013). CROMPTON (2007) staví ekonomickou hodnotu městské zeleně především na velkých městských parcích, které vyhledávají turisté, což je další zdroj financí pro město.

Efektivním řešením pro ochlazení městských budov vedoucím k úspoře energie jsou zelené fasády (*Obr. 16: Příklad zelené stěny*), jejichž základem je nosná konstrukce a úspora energie v tomto případě přesahuje 40 % (PERINI, OTELLÉ, RAITERI, 2011).

V případě **ekologických a environmentálních benefitů** městské zeleně z pohledu městského mikroklima, chladícího efektu a druhové diverzity vedou městské parky, jež dokáží výrazným způsobem ochladit vzduch ve svém blízkém okolí o 4,6 °C až 7 °C (NOWAK, HEISLER 2010).

Efektu maximálního ochlazení a pozitivního ovlivnění městského mikroklima dosahuje městská zeleň především v období bohaté závlahy prostřednictvím transpirace (TONNEIJCK, BADE, 2011). Lokální efekt ochlazování městského prostředí je dán hlavně přístíněním městských stromů. Regionálního účinku chlazení je dosahováno evapotranspirací, jejíž míra účinnosti je přímo úměrná množství zastoupení městské zeleně (RAHMANN, ENNOS, 2016; RAHMANN et al. 2018).



Obr. 16: Příklad zelené stěny (pinterest.com).

4.4 STÍN STROMŮ A INDEX LISTOVÉ PLOCHY

V návaznosti na městské mikroklima nám městská zeleň a především stromy poskytují mnoho benefitů. Mezi hlavní přínosy městských stromů patří jejich stín, který je během horkých letních dnů pro městské obyvatelstvo více než důležitý. Ochlazováním přístíněných betonových a asfaltových povrchů, tak brání akumulaci tepla v těchto stavebních materiálech a tedy výrazně snižuje tepelné zatížení obyvatel. Tento přínos městských stromů lze znásobit vhodným výběrem druhů stromů s vysokým LAI (Leaf Area Index - Index listové plochy) (PAULEIT, DUHME 2000; LEUZINGER et al. 2010).

Efekt stínu je maximalizován v letním období, kdy jsou stromy v plném olistění a dokáží redukovat sluneční záření až o 90 %. Účinnost v přístínění a tedy v ochlazování se liší převážně v jednotlivých druzích stromů. Stromy, které snášejí městská extrémní stanoviště a jsou tedy tolerantnější k suchu mají méně husté koruny a rostou pomaleji, než druhy stromů rychle rostoucí s hustší korunou, které jsou ale náročnější na závlahu. (HEISLER 1986a; HEISLER 1986b; SHASHUA-BAR, HOFFMAN 2000).

Podle vědců ARMSONA et al., (2012); MATZARAKIS et al., (2007) přístínění uličních stromů jednoznačně ovlivňuje lidské pohodlí, a to jak se cítíme, záleží více na teplotě našeho bezprostředního okolí, než na teplotě vzduchu.

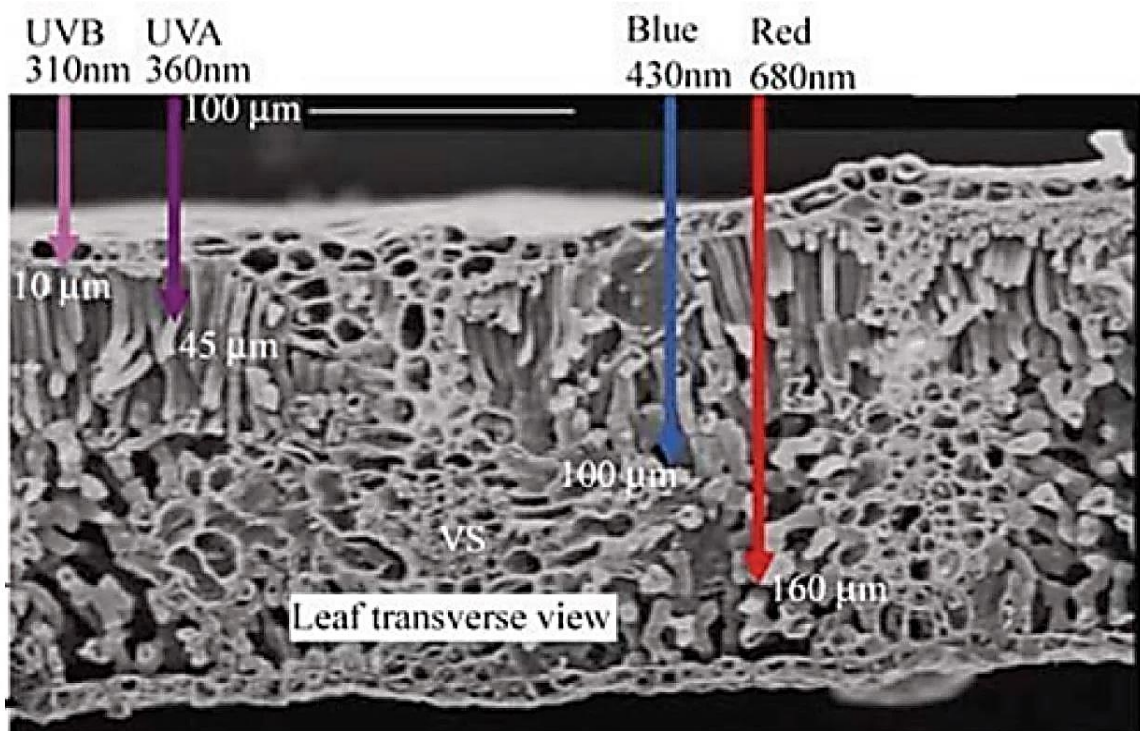
TAKÁCS et al. (2016) považuje regulaci městského mikroklimatu za jednu z nejdůležitějších služeb městské vegetace, kterou obyvatelé města přímo vnímají.

Dle KONARSKÉ et al. (2014) mohou městské stromy výrazně ovlivnit venkovní tepelnou pohodu redukcí přímého krátkovlnného záření. Jak uvádí AKBARI et al. (2001) ve stínu stromů není pohlcováno jen krátkovlnné, ale také dlouhovlnné radiční záření.

Dle KONARSKÉ et al. (2014) nám koruny stromů poskytující stín mohou vydat důležité informace v případě klimatického plánování a modelování tepelných podmínek městského prostředí. Proto je důležitá znalost skutečných hodnot transmisivity (propustnosti) přímého slunečního záření procházejícího korunami stromů. A to jak u jednotlivých druhů stromů, tak i v rámci ročních období.

NOWAK, HEISLER (2010); ŠTEFL (2014) vnímají sluneční ultrafialové záření v jisté části jako přínos na lidské zdraví přísunem vitamínu D, ale také jako riziko v podobě tepelného stresu a rakovinových onemocnění kůže. Dále uvádí, že účinnost absorpce a propustnosti slunečního záření je ovlivněna plochou koruny, hustotou olistění, počtem a druhovým zastoupením stromů. Příklad absorpce a propustnosti slunečního záření prostřednictvím listů je uveden na (*Obr. 17: Příklad průřezu listem znázorňující prostupnost záření UVB (středněvlnné) a UVA (dlouhovlnné) v porovnání s prostupností modrého a červeného světla*).

V případě míry absorpce slunečního záření je rozhodující index listové plochy, tedy indikátor zápoje a pokrytí určité plochy listy porostu zeleně jako celku (SCHOLBERG et al., 2000). LAI určuje množství listové plochy nacházející se nad konkrétním místem povrchu půdy. S jeho pomocí je možné určit zastoupení listové plochy pro jednotlivé rostliny nebo celé porosty (POKORNÝ, 2015).

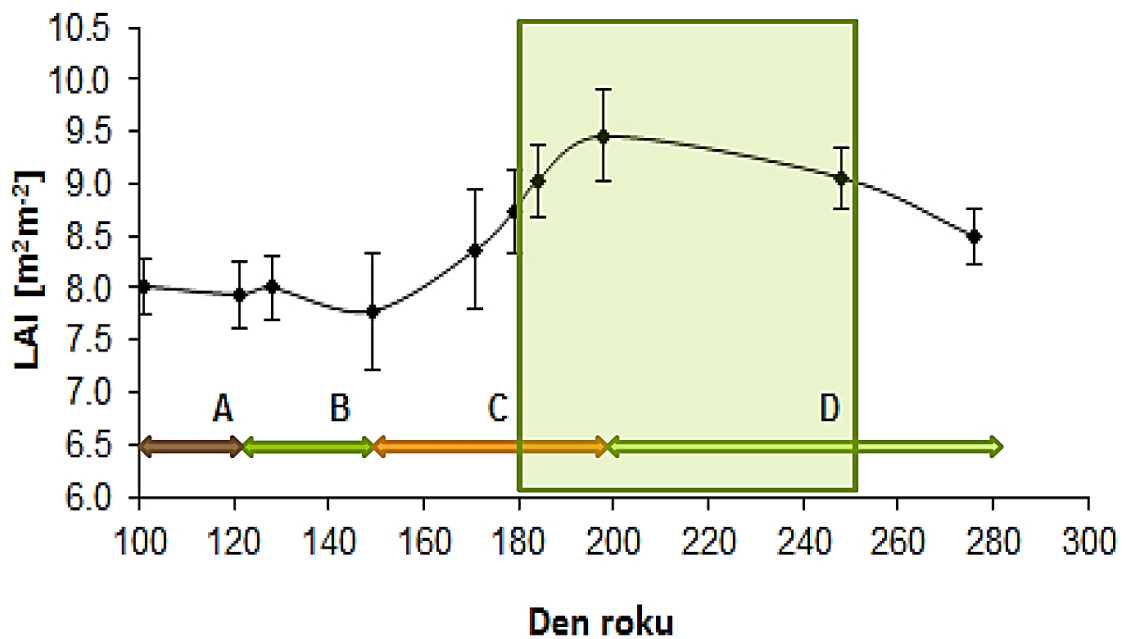


Obr. 17: Příklad průřezu listem znázorňující prostupnost záření UVB (středněvlnné) a UVA (dlouhovlnné) v porovnání s prostupností modrého a červeného světla (NOWAK, HEISLER 2010).

Jak dále POKORNÝ (2015) uvádí, propustnost listových ploch je dána jejich velikostí a umocněna samotnou pokrývností jednotlivých listů, tedy indexem listové plochy - LAI a jednotku LAI definuje v m^2/m^2 (bezrozměrná veličina).

Hodnoty LAI jsou ovlivňovány více faktory, jako jsou například vývojová fáze jedince, jeho stanoviště, roční období a změna klimatu. Jde tedy o parametr měnící se v čase (MYNENI et al., 1997). Z praxe je známo, že pomocí LAI je také určován zdravotní stav dřevin a jejich produkční potenciál. Dále je často využíván v rámci modelů klimatických změn (POKORNÝ, 2015).

Intenzita LAI je během vegetačního období proměnlivá. Hodnoty jsou také rozdílné v případě, že se jedná o listnaté, nebo jehličnaté dřeviny. Na (Obr. 18: *Průběh intenzity LAI smrku rozdělený do jednotlivých období*) je znázorněn vývoj intenzity olistění v růstové sezóně a také období, kdy jsou hodnoty LAI nejvyšší, což bývá zpravidla ke konci července (POKORNÝ, 2015).



Obr. 18: Průběh intenzity LAI smrku rozdělený do jednotlivých období. A - vegetační klid, B - vyrašení pupenů, C - dosažení maximálních hodnot růstu, D – postupný úbytek pokrytí. Vhodné období k určení LAI je označeno zeleným blokem (POKORNÝ, 2015).

Hodnoty LAI lze zjistit přímými nebo nepřímými metodami. Tedy konkrétním měřením na stanovišti jedince nebo destruktivními metodami a analýzou v laboratořích SCHOLBERG et al. (2000). Přímá terénní měření pomocí přístrojů analyzují distribuci světla procházející plochou zápoje (JONCKHEERE et al. 2004).

4.5 OPATŘENÍ NA ZMĚNU KLIMATU

Přizpůsobování se změnám klimatu představuje specifické výzvy pro městské oblasti, kde aktuální a historické investice do infrastruktury s očekávanou dlouhou životností mohou omezovat snahu o nutná adaptační opatření (WILSON et al., 2008). Jak uvádí KABISHCH A KOL. (2017) adaptační opatření jsou důležité nástroje napomáhající snižování rizik plynoucích z negativních dopadů klimatických změn a umožňují lidem se těmto nově vznikajícím podmínkám přizpůsobit.

V případě klimatických opatření jsou uváděny dva pojmy. Opatření bránící změně klimatu např. snížení emisí skleníkových plynů označována jako **mitigační**, která nelze podceňovat, nebo upozadit před aktuálními dopady, protože jejich význam pro budoucnost je zásadní. A opatření určená pro již probíhající klimatické změny

v podobě environmentálních, hospodářských a sociálních dopadů, nazývaná jako **adaptační**, určená k úpravě území (TRÁVNÍČKOVÁ a kol. 2021).

Adaptační opatření jsou rozdělována dle charakteru zaměření. V rámci technických a stavebních opatření jsou označována jako **šedá** a je zde využíváno moderních technologií včetně materiálů propustných pro vodu a neakumulujících sluneční záření. V případě přírodě blízkých adaptačních opatření **modrá** a **zelená**, postavené na zelené a modré městské infrastruktuře a z pohledu změn v přístupu společnosti jsou nazývána jako **měkká** opatření (CZECHGLOBE, ©2016).

<i>Kategorie adaptačních opatření</i>	<i>Hlavní cíle adaptací</i>	<i>Příklady konkrétních aktivit</i>
ZELENÁ A MODRÁ	Snižít rizika spojená s vlnami horka	Revitalizace existujících ploch veřejné zeleně, brownfieldů apod.
		Vytváření nových prvků zelené infrastruktury, zejména parky a parkově upravené plochy, stromořadí, aleje, ale i prvky modré infrastruktury (tůně a jezírka)
		Využívat existující plochy jako jsou střechy a fasády budov, parkovacích domů apod., pro vytváření zelených střech a stěn, zohlednění této možnosti při nové výstavbě
	Zvýšit efektivitu hospodaření se srážkovou vodou ve smyslu „zadržet a využít“	Nárůst propustných ploch, budování propustných parkovišť, vnitrobloků, vegetačních a infiltračních pásů
		Budování tzv. udržitelných odvodňovacích systémů a dešťových zahrádek, retenčních jezírek
		Výstavba retenčních nádrží pro sběr srážkové vody v blízkosti budov a její opětovné využití jako vody užitkové
Revitalizace úseků vybraných říčních toků, obnova vybraných břehových porostů, úprava vegetace, obnova a zřizování postranních ramen, tůň, mokřadů.		
ŠEDÁ	Minimalizovat zdroje antropogenního zahřívání	Využívat materiály s nízkou akumulací a vysokou odrazivostí slunečního záření
		Využívat techniky a materiály pro vytvoření pasivního chlazení budov
		Podpořit využití alternativních forem dopravy – hromadná, cyklo doprava a pěší doprava
MĚKKÁ	Podpořit osvětu a environmentální povědomí veřejnosti o změně klimatu	Vypracovat komunikační strategii, která umožní zapojit a oslovit širokou veřejnost (také odbornou veřejnost, podnikatele a investory) a obyvatele města a jeho metropolitní oblasti
		Vypracovat komunikační program pro zvýšení environmentálního povědomí obyvatel a ekologicky šetrnému chování, např. preferování udržitelných forem dopravy, úspory vody, využívání srážkových vod apod.
	Snižít zranitelnost obyvatel v obdobích vln horka	Vypracovat komunikační program zaměřený na zvyšování povědomí obyvatel o správných vzorcích chování v obdobích vln horka
		Vybudovat systém včasného varování před vlnami horka, s informacemi o dostupnosti zdravotnické pomoci

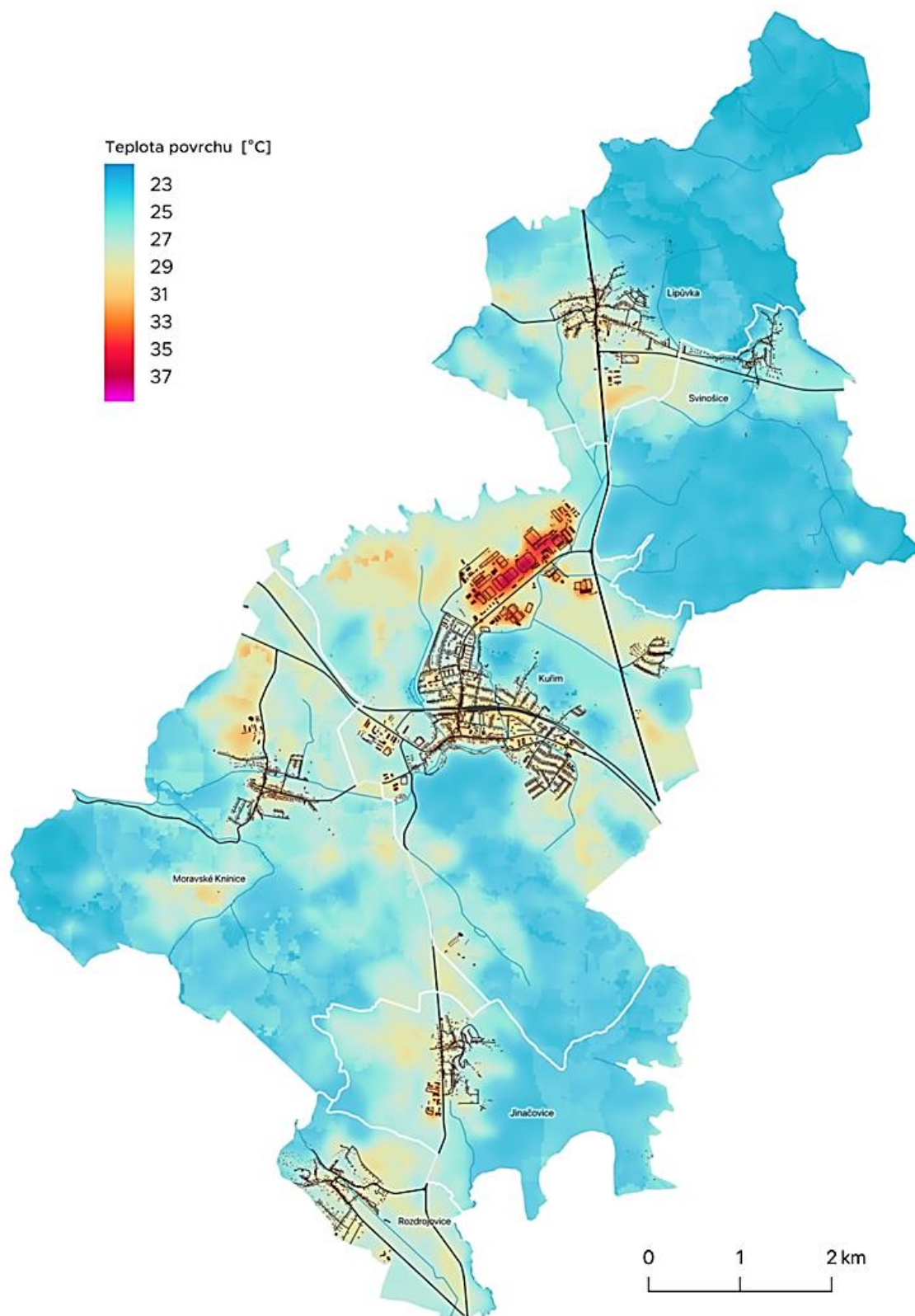
Tab. 1: Rozdělení adaptačních opatření a aktivit (CZECHGLOBE, ©2016).

(Tab. 1: Rozdělení adaptačních opatření a aktivit) znázorňuje hlavní cíle těchto adaptací a jednotlivé příklady konkrétních aktivit (CZECHGLOBE, ©2016). Pro redukci dopadů a přizpůsobování se klimatickým změnám jsou nejvhodnější opatření vycházející ze vzájemné kombinace benefitů modré a zelené infrastruktury s šedými a měkkými variantami adaptačních opatření. K této variantě adaptačních opatření se přiklání i světové organizace (EUROPEAN COMMISSION, ©2015, ©2019; LÍBALOVÁ a kol. 2019).

V otázce adaptačních opatření nutných k předejití ohrožení lidského zdraví v případě klimatických změn je potřeba rozlišit základní pojmy jako **zranitelnost** a **odolnost**. Zranitelnost lze vnímat jako neschopnost reakce na aktuální situaci a odolností se rozumí schopnost rychlého vypořádání se se situací a v případě škod rychlý návrat do normálního stavu. Cílem adaptačních opatření na změnu klimatu je tedy snížení zranitelnosti městského a přírodního prostředí a navýšení jejich odolnosti proti riziku (TRÁVNÍČKOVÁ a kol. 2021).

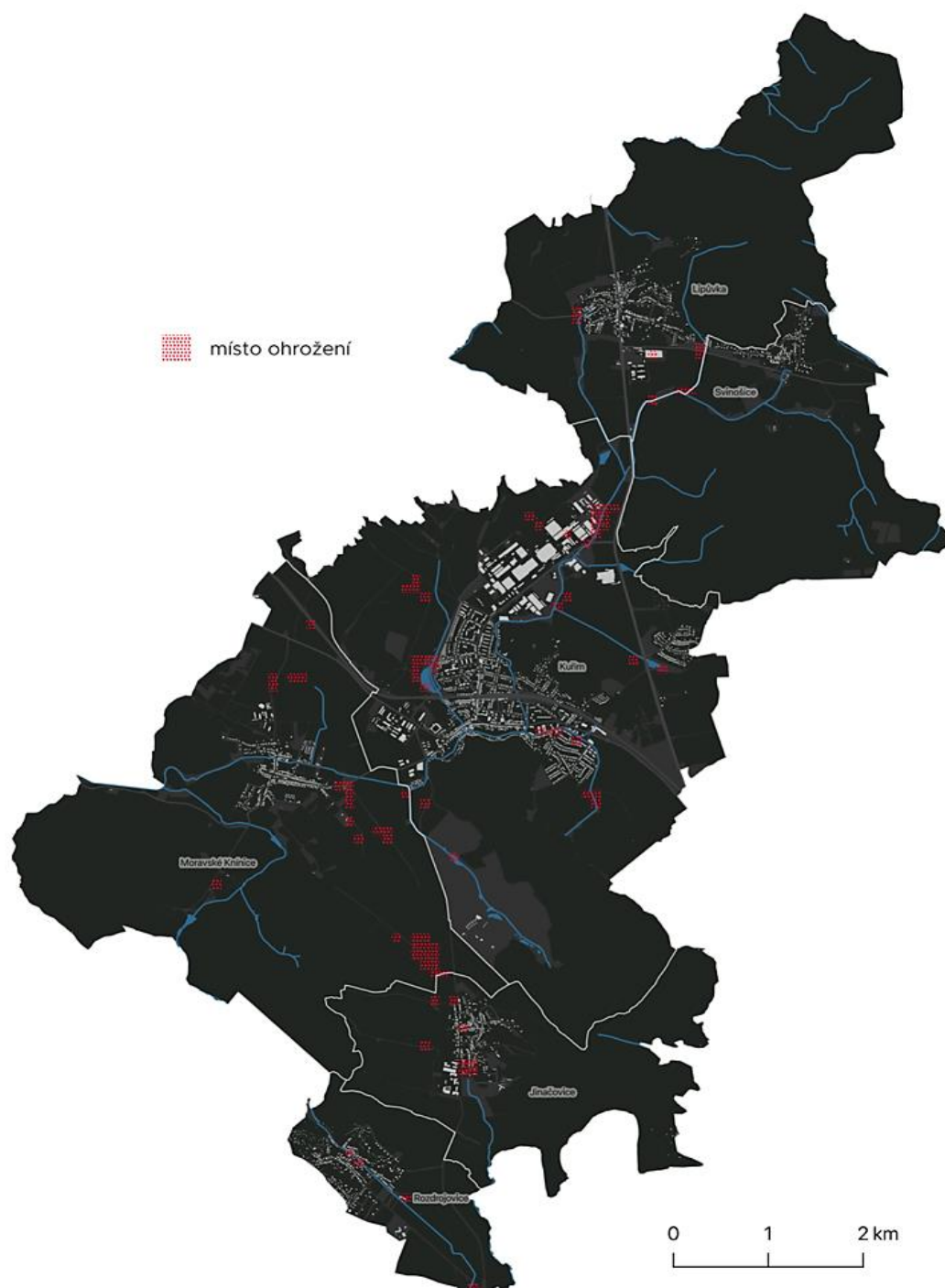
V rámci České republiky vnímá CZECHGLOBE (©2017) problematiku zranitelnosti jako tři spojené části v podobě expozice, citlivosti a adaptační kapacity, jež vyjadřuje vzorcem: **Zranitelnost = expozice + citlivost – adaptační kapacita**, kdy expozicí se rozumí místa vystavená přehřátí nebo bleskovým povodním, citlivostí je vyjádřena míra reakce přírody, obyvatel a hmotných statků s nejhorším dopadem změn klimatu a adaptační kapacitou je popsána schopnost zvládnutí negativních dopadů klimatických změn v podobě ochlazování prostředí nebo vsakování vody.

Aktuální adaptační opatření jsou spíše zaměřována na snižování citlivosti (stárnutí populace) a adaptační kapacity (modrozelená infrastruktura), než na změny expozice, které vyžadují řadu prostorových změn na území města, ovlivněných územním a regulačním plánem a stavebním zákonem, jež se projeví až v horizontu několika let (TRÁVNÍČKOVÁ a kol. 2021). Příklady expozice znázorňují (Obr. 19 až 21), které se týkají zranitelnosti populace, ohrožení bleskovými povodněmi a vysokých teplot, ke kterým TRÁVNÍČKOVÁ a kol. (2021) uvádí, že až o 10 °C vyšší teplotu v období letních veder dosahují městské husté zástavby a obzvláště pak plochy průmyslových areálů. A to oproti obydlené městské periferii, která disponuje výrazně vyšším zastoupením zelených ploch. Nižší teploty se pak vztahují k vodním tokům a lesním plochám, což je také patrné z příkladu na (Obr. 19: Přehled průměrných teplot v mikroregionu Kuřimsko v průběhu letních měsíců), který znázorňuje výše uvedený pojem expozice a dokládá uvedená fakta na příkladu mikroregionu Kuřimsko.



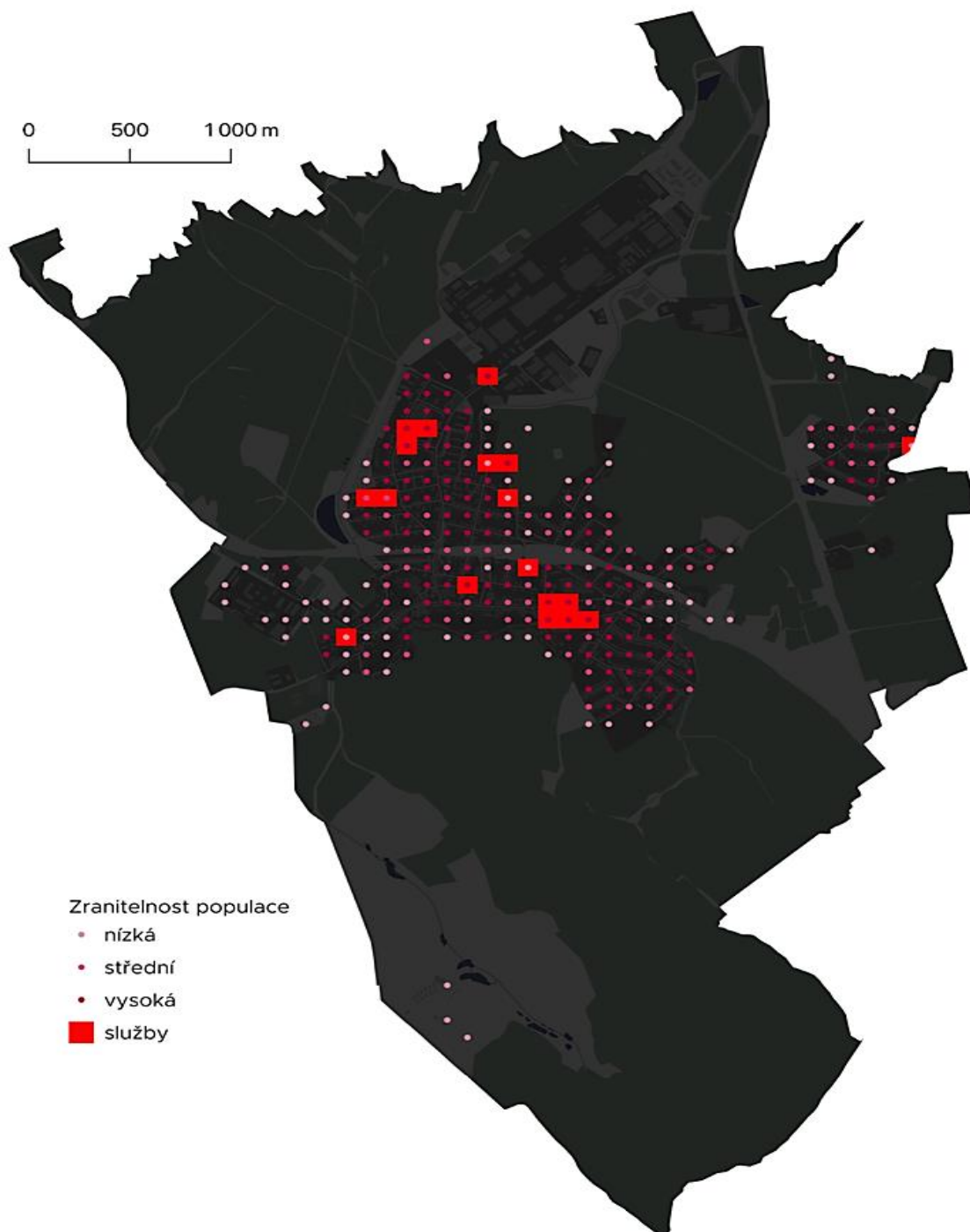
Obr. 19: Přehled průměrných teplot v mikroregionu Kuřimsko v průběhu letních měsíců (ASITIS, ©2021 na základě družicových dat Landsat 8 z let 2015-2020).

Jako příklad další varianty pojmu expozice v podobě bleskových povodní, lze uvést mikroregion Kuřimsko (Obr. 20: *Plochy ohrožené bleskovými povodněmi v mikroregionu Kuřimsko*). I když Kuřimí neprotéká žádná větší řeka lze na modelové situaci identifikovat plochy potenciálně ohrožené přívalovým deštěm neboli bleskovými povodněmi. Tomuto zjištění předchází terénní analýza zastoupení vodní sítě a krajinného rázu v oblasti (TRÁVNÍČKOVÁ a kol. 2021).



Obr. 20: *Plochy ohrožené bleskovými povodněmi v mikroregionu Kuřimsko* (ASITIS, ©2021).

Na (Obr. 21: Znáznornění zranitelné populace v intravilánu města Kuřimi) lze pozorovat úroveň možného ohrožení obyvatelstva města Kuřimi v rámci bleskových povodní a vln veder. Znáznorněná úroveň zranitelnosti obyvatel vyjadřuje místa osídlená rizikovými skupinami, tedy dětmi ve věku do 14ti let a seniory od 65 let a také místa zvaná jako služby, jež představují domy pro seniory, základní a mateřské školy (TRÁVNÍČKOVÁ a kol. 2021).



Obr. 21: Znáznornění zranitelné populace v intravilánu města Kuřimi (ASITIS, ©2021).

4.5.1 ZELENÁ ADAPTAČNÍ OPATŘENÍ

Ekosystémová zelená adaptační opatření jsou pro městská prostředí založena především na přínosech propustných a polopropustných povrchů, městské zeleni, zelených střeších a stěnách, městských parcích a lesoparcích, zahrádkářských koloniích a komunitních zahradách, vodních plochách, obnově říčních ramen a břehových porostů, ale také na udržitelnosti městských odvodňovacích systémů (CZECHGLOBE, ©2017).

TAKÁCS et al. (2016) řadí městskou zeleň mezi základní prvky městského plánování pro její vysoký potenciál v případě zelených adaptačních opatření, optimalizujících pohodlí člověka v podobě redukce tepelného stresu. Pokud je systém městských menších a větších zelených ploch správně zkombinován, umožňuje občanům využívat v široké míře ekologických služeb a funkcí těchto vegetačních ploch.

Hlavním benefitem je přístínění uličních a parkových stromů umožňujících regulaci mikroklimatu. GEHL (2012) vnímá mikroklima tvořené městskou zelení jako nejdůležitější faktor ovlivňující tepelný komfort a životní pohodu obyvatel městského prostředí. MOLDAN (2015) uvádí, že jednotlivé stromy v letních měsících dokáží transpirovat zhruba 450L vody a v rámci evapotranspirace odčerpát z blízkého okolí teplo v podobě 1000MJ energie. Městské stromy tedy nevytváří příjemné mikroklima jen přístíněním, ale také přeměnou tepelné energie.

Mezi další zelená adaptační opatření v rámci strategie redukce městských tepelných ostrovů patří ozeleňování střech a stěn městských budov, na jejichž podporu a rozvoj jsou poskytovány dotační programy (BESIR a CUCE, 2018). Zelené střechy (*Obr. 22: Příklad zelené střechy*) se dělí dle druhu použité vegetace na extenzivní a intenzivní. Extenzivní způsob je využíván v případech, kdy není žádoucí navýšení zátěže střechy mocností substrátu a odvodňovacím systémem a také je-li požadavek na nízkou péči o střešní vegetaci. Naopak intenzivní ozeleňování střech je dáno různorodější skladbou hluboko kořenících rostlin a počítá se s vyššími náklady na realizaci a náročností údržby. Střechy a stěny budov jsou extrémní stanoviště a z tohoto důvodu jsou zde především využívány rostliny schopné autoregulace (BURIAN et al., 2016; CARTER et KEELER, 2008).

Jak uvádí rakouský projekt (GrünStadtKlima), jehož výstupy potvrzují mnohem příznivější mikroklima v blízkosti zelených střech a stěn, jejichž účinnost a vliv ochlazovacího efektu na samotnou budovu a její okolní teplotu je dána hustotou zeleně a mocností substrátu a dále také vhodným výběrem druhů. Průměrné snížení teploty

zelené fasády, tak může být až o 20 °C oproti nekryté fasádě vystavené slunečnímu záření (MANN, 2014; SOOKHAN et al., 2018; NIACHOU et al., 2001).

Zelené střechy v horkých dnech také přispívají k izolaci budov svojí zelenou vegetací, což má za následek snižování úniků tepla a úsporu energií na vytápění nebo klimatizování vnitřních prostorů (KUMAR et KAUSHIK, 2005). Mnozí autoři (např. AKBARI a KOLOKOTSA, 2016; YILDIRIM a OZDEN, 2018; CASTLETON et al., 2010; ČERMÁKOVÁ et MUŽÍKOVÁ, 2009) se shodují, že u budov pokrytých zelenou vegetací dochází k výrazné úspoře energií, což ale není způsobeno jen zelenou izolací střechy, ale také průběžným ovlivňováním mikroklima blízkého okolí budovy touto vegetací. Jak uvádí GRANT et al. (2003) chlazení okolního mikroklima zelených střech probíhá prostřednictvím evapotranspirace, přístíněním a zvýšenou mírou odrazu slunečního záření od stěn budov pokrytých vegetací.

Přínosem ozeleněných budov je také schopnost vegetace na sebe vázat značné množství prachových částic a přispívat tak k čištění městského ovzduší (ČERMÁKOVÁ et MUŽÍKOVÁ, 2009).



Obr. 22: Příklad zelené střechy (zinco-greenroof.com).

V případě zelených střech dochází k zadržování dešťových srážek a to jak v substrátu, tak i na povrchu jednotlivých rostlin. Toto zadržení vody pomáhá ke zmírnění nežádoucího záplavového efektu přívalových dešťů v městském prostředí. Zadržené množství vody se následně odpařuje do ovzduší, což má vliv na příjemné mikroklima (CARTER et RASMUSSEN, 2007).

Dalším benefitem zelených budov je pohlcení hluku vegetací a snížení jeho odrazu od budov a jeho dalšího šíření. Výrazný efekt má vegetace v utlumení zvuků na vysoké frekvenci (ČERMÁKOVÁ et MUŽÍKOVÁ, 2009; AKBARI a KOLOKOTSA, 2016; YILDIRIM a OZDEN, 2018; CASTLETON et al., 2010).

Ozelenováním městských budov dochází k tvorbě přírodních stanovišť v urbanizované krajině a ke zvýšení biodiverzity. Pokrytí šedých nevyužitých střech mění estetickou hodnotu betonové zástavby a zvyšuje atraktivitu těchto městských částí (PARTRIDGE et CLARK 2018; LIU et BASS, 2005).

5. PRAKTICKÁ ČÁST

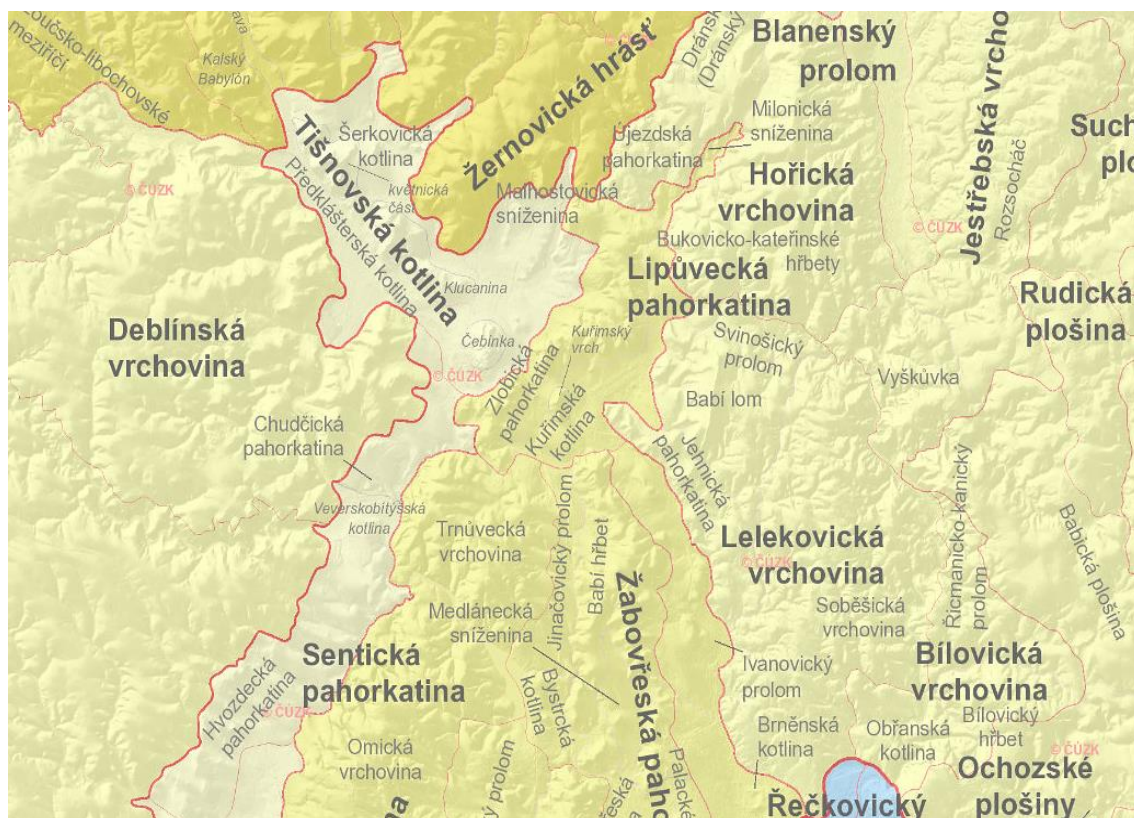
5.1 CHARAKTERISTIKA ZÁJMOVÉHO ÚZEMÍ

Kuřim je obec s rozšířenou působností a její správní obvod čítá 10 obcí. Nachází se 14 km severozápadně od Brna v části územního celku Brno-venkov. (Obr. 23: Lokalizace území v rámci České republiky a Obr. 27: Lokalizace zájmového území v rámci města Kuřimi). Celková rozloha města je 17,20 km² a počet obyvatel je 10 993. Kuřim je z hlediska rozlohy i počtu obyvatel největší město v okrese Brno-venkov v Jihomoravském kraji. Rozsah zástavby v intravilánu obce se nachází v rozmezí nadmořské výšky 270 - 335 m n. m. (ČHMÚ, ©2007).



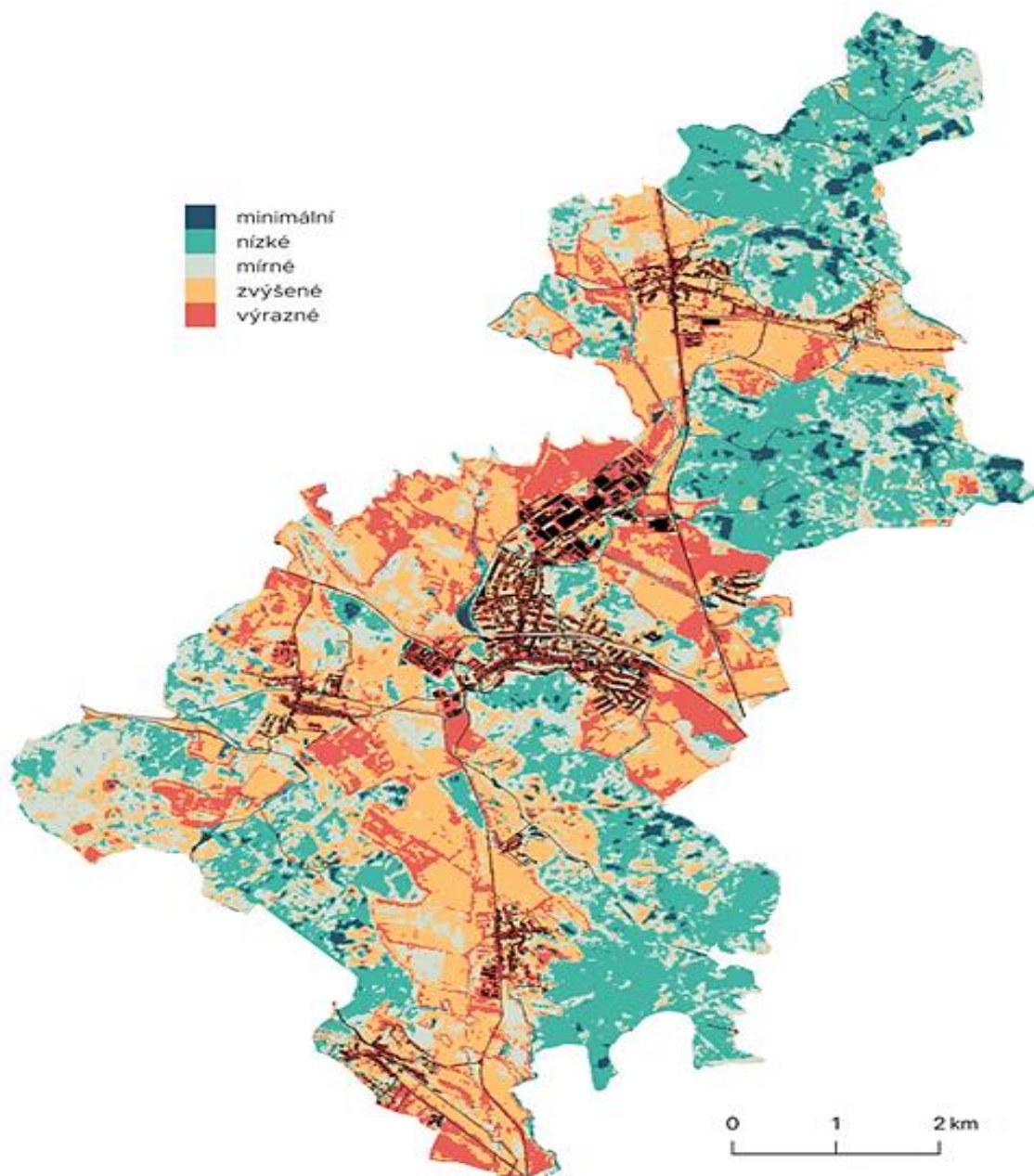
Obr. 23: Lokalizace území v rámci České republiky (zsmezibori.com).

Z pohledu geomorfologického členění se Kuřim rozkládá v Bobravské vrchovině na okraji přírodního parku Baba, tedy na samém okraji České vysočiny. (Obr. 24: *Geomorfologické uspořádání krajiny*). Do oblasti zasahuje nejvýznamnější tektonický zlom České vysočiny, Boskovická brázda. Ta odděluje Hornosvrateckou vrchovinu na severozápadě od Bobravské a Drahanské. Kuřimí protékají dva potoky - Kuřimka a Luční potok, který se do ní vlévá (KLEČKA, 1973).



Obr. 24: Geomorfologické uspořádání krajiny (geoportal.cuzk.cz).

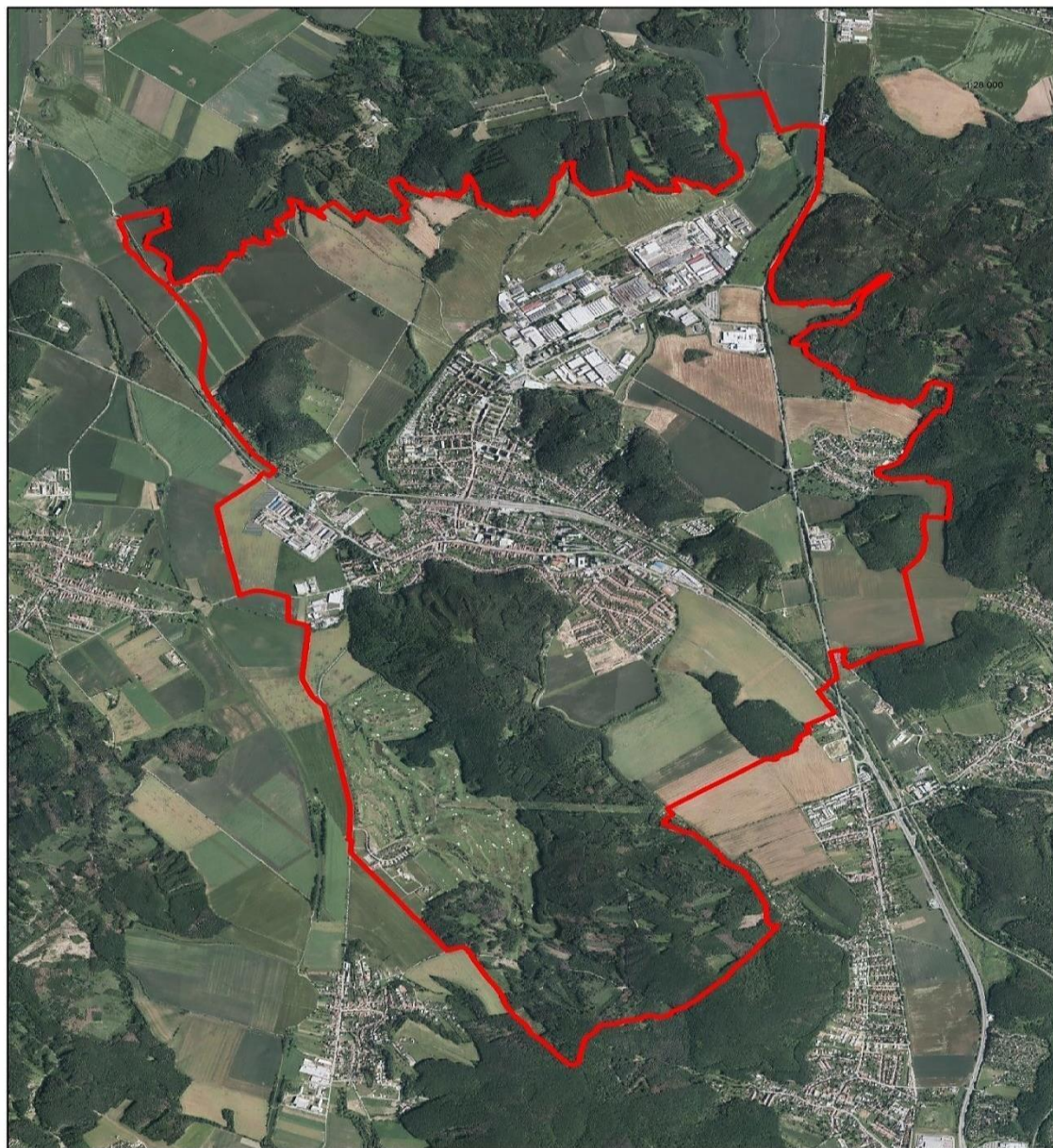
Klimatický charakter regionu je teplý, mírně vlhký s průměrnou roční teplotou 9 °C a ročním úhrnem srážek 525 – 645 mm (ČHMÚ, ©2007). Region Kuřimsko je ale dlouhodobě v množství ročních srážek podprůměrný. V porovnání s ročním celorepublikovým průměrem (764 mm) z roku 2020, který byl výjimečně nadnormální a s porovnáním dlouhodobého srážkového průměru za období 1981 až 2010 (686 mm) je srážkový deficit zcela evidentní (ČHMÚ, ©2021). Tento fakt je ale také zároveň příkladný, jak se období sucha mohou aktuálně projevovat i v jednotlivých mikroregionech České republiky. Názorný příklad je na (Obr. 25: *Plochy ohrožené suchem v mikroregionu Kuřimsko*), kde se jedná o příklad katastrálního území města Kuřimi, ze kterého je patrný rozsah případného ohrožení vegetace suchem. To se výrazným způsobem projevuje v zastavěné oblasti a obzvláště pak na území průmyslové zóny. Suchem jsou ale ohroženy i přilehlé polnosti, které utváří nestabilní skupinu vegetace, měnící se během roku dle jednotlivých pěstebních opatření.



Obr. 25: Plochy ohrožené suchem v mikroregionu Kuřimsko (ASITIS, ©2021 na základě družicových dat Sentinel 1 a Sentinel 2 z let 2017-2020).

Svahy ploch v kategorii **zvýšeného** a **výrazného** ohrožení suchem jsou převážně situovány na jihovýchod, ale v případě zemědělských ploch zde může být rozhodující také druh pěstovaných plodin a samotný sklon svahu. Svahy situované na severozápad jsou mnohem méně exponovány slunečnímu záření, a proto si dokážou lépe udržet vlhkost v půdě.

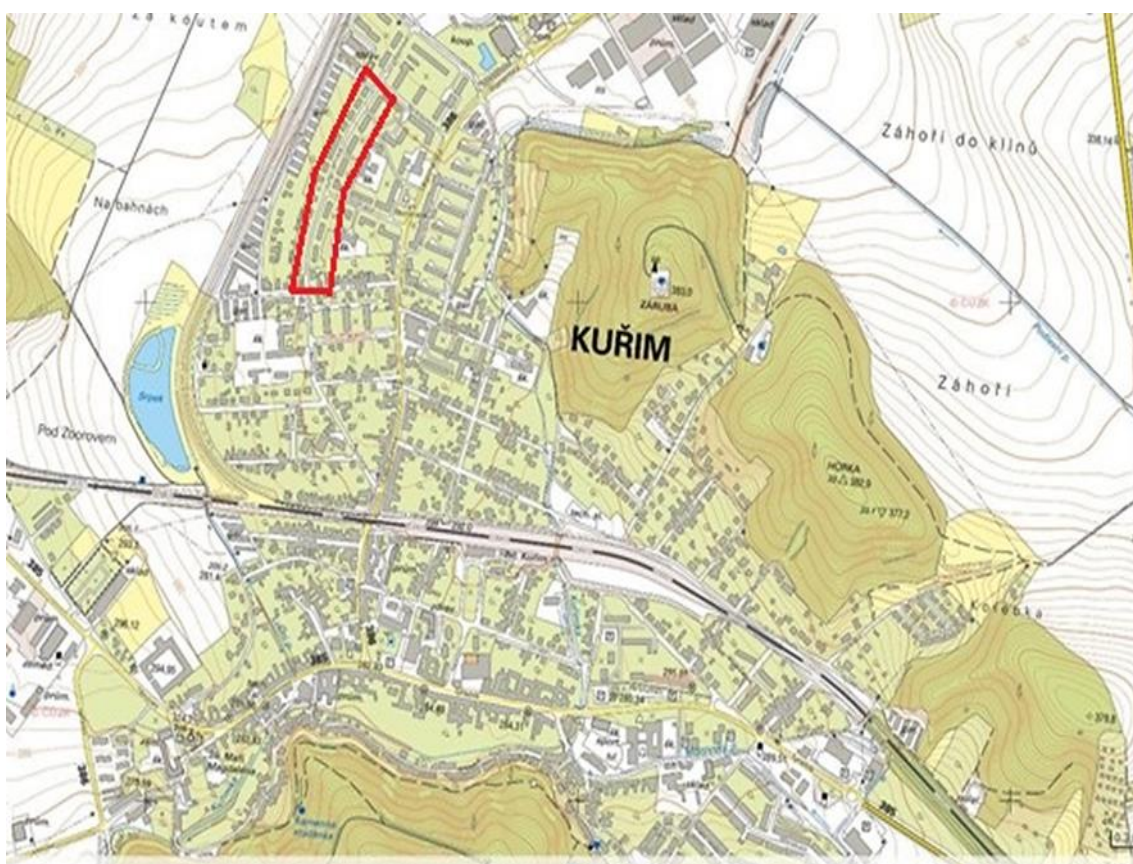
S přihlédnutím k rozloze zemědělských ploch v zájmovém území a k velikosti katastru města Kuřimi je přijetí adaptačních opatření k vyřešení potenciálních hrozeb způsobených suchem a udržení vody v krajině zcela zásadní. Srovnání a lepší orientaci mezi městskými, lesními a zemědělskými plochami poskytuje letecký snímek katastrálního území Kuřimi (*Obr. 26: Letecký snímek katastrálního území Kuřimi*).



Obr. 26: Letecký snímek katastrálního území Kuřimi (ags.cuzk.cz/geoprohlizec).

5.2 STANOVIŠTĚ VYBRANÝCH STROMŮ

Terénní průzkum a zdokumentování vybraných taxonů v ulicích Kuřimi bylo prováděno na základě vyhodnocení a fotografování jednotlivých stromořadí a soliterních stromů v intravilánu města. Rozhodujícími faktory při výběru byl typ stanoviště a možnost pohybu stínu v jeho bezprostřední blízkosti, prostorové uspořádání konkrétní ulice s přihlédnutím na frekvenci provozu vozidel a samotná morfologie stromů. Cílem tedy bylo vymezení a identifikace vhodných jedinců pro měření, odpovídajících britské studii.



Obr. 27: Lokalizace zájmového území v rámci města Kuřimi (geoportal.cuzk.cz).

Jako nejvhodnější byla zvolena ulice Jungmannova (Obr. 28: Lokalizace stanovišť jednotlivých stromů v rámci ulice Jungmannova) a to především její šířkou a disponibilitou více druhového složení jejího stromořadí, s rozdílným věkem taxonů.

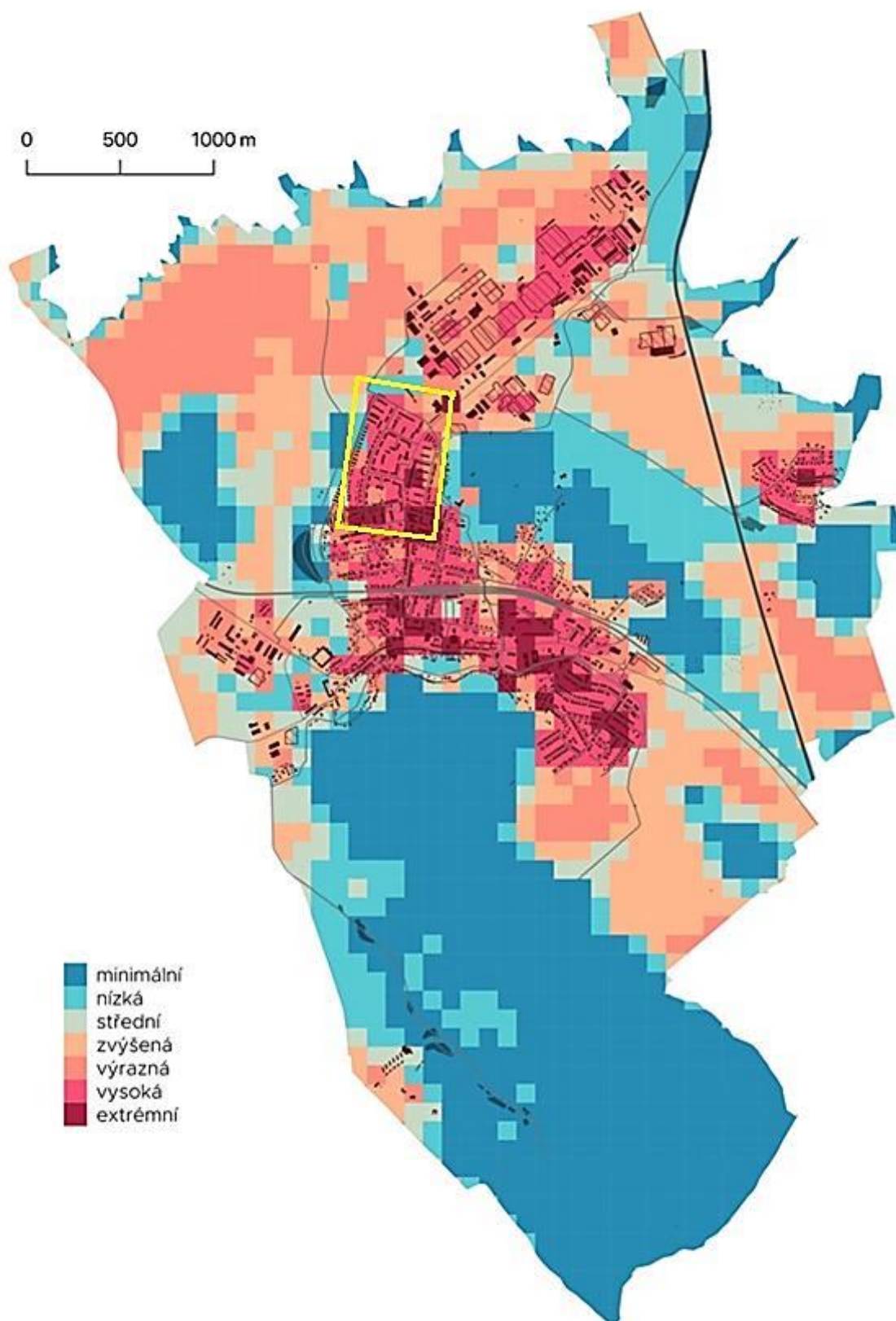
Charakter této boční ulice také splňuje požadavek na nízký provoz vozidel, čímž se předešlo nežádoucímu promíchávání vzduchu během jednotlivých měření, vlivem projíždějících vozidel.

Dále tato ulice svým uspořádáním nabízí všechny tři typy požadovaných povrchů (trávník, betonový chodník, asfalt) a to v dosahu koruny každého jedince ve stromořadí. Tyto povrchy jsou uspořádány do jednotlivých pásů s absencí keřového patra. Také zde nedochází k jevu permanentního přístínění vlivem vysokých budov a stín je tak neustále v pohybu.



Obr. 28: Lokalizace stanovišť jednotlivých stromů v rámci ulice Jungmannova (geoportal.cuzk.cz).

Ulice Jungmannova byla také zvolena na základě studie ASITIS (©2021), zaměřené na zranitelnost města Kuřimi vůči vlnám veder a kde na (Obr. 29: Vymezené zájmové území na přehledu zranitelnosti města Kuřimi proti vlnám veder) jsou jasně patrné městské části, jejichž ulice trpí v letním období na přehřívání. V sektoru označeném žlutým obdélníkem se nachází i ulice Jungmannova.



Obr. 29: Vymezené zájmové území na přehledu zranitelnosti města Kuřimi proti vlnám veder (ASITIS, ©2021).

STANOVIŠTĚ Č. 1

Pro stanoviště č. 1. byl vybrán *Acer platanooides*, jehož zastoupení výrazně převažuje druhové složení celého stromořadí ulice Jungmannova. Báze stromu vychází z travnatého pásu, na který z jedné strany přiléhá asfaltový povrch vozovky a z druhé strany ho lemuje chodník z betonových dlaždic, což je typickým stanovištním charakterem stromů celé ulice.

Dendrometrické hodnoty:

Výška: 6,5m

Šířka koruny: 10m

Nasazení a výška koruny: 2,1m /4,4m

Obvod kmene: 124cm

Průměr kmene: 62cm

GPS: N 49°18.51398', E 16°31.76448'



Obr. 30: Stanoviště č. 1. *Acer platanooides* (autor).

STANOVIŠTĚ Č. 2

V případě stanoviště č. 2., které se nachází také v horní části ulice Jungmannova, byla zvolena *Tilia cordata* pro její výšku a rozdílný habitus oproti javorům. Lípa je vzdálená 62 m od stanoviště č. 1 a její okolí je srovnatelné se stanovištěm č. 1.

Dendrometrické hodnoty:

Výška: 14m

Šířka koruny: 10,5m

Nasazení a výška koruny: 2,6m /11,4m

Obvod kmene: 146cm

Průměr kmene: 73cm

GPS: N 49°18.49330', E 16°31.74630'



Obr. 31: Stanoviště č. 2. *Tilia cordata* (autor).

STANOVIŠTĚ Č. 3

Na stanovišti č. 3. se nachází *Picea omorika* vzdálený 64 m od stanoviště č. 2. Smrk byl vybrán v rámci druhové pestrosti měřených jedinců. Ráz okolí tohoto stanoviště se nijak výrazně neliší od předchozích dvou.

Dendrometrické hodnoty:

Výška: 12m

Šířka koruny: 7,5m

Nasazení a výška koruny: 2,3m /9,7m

Obvod kmene: 164cm

Průměr kmene: 82cm

GPS: N 49°18.47033', E 16°31.72763'



Obr. 32: Stanoviště č. 3. *Picea omorika* (autor).

STANOVIŠTĚ Č. 4

V rámci stanoviště č. 4. byl vybrán opět *Acer platanoides*, jehož stanoviště je v polovině ulice Jungmannova a je vzdálený 86 m od stanoviště č. 3. Javory jsou v ulici Jungmannova převládajícím druhem, a proto také jejich přínos v ochlazování této oblasti je nejvýraznější.

Dendrometrické hodnoty:

Výška: 6m

Šířka koruny: 10,5m

Nasazení a výška koruny: 1,9m /4,1m

Obvod kmene: 128cm

Průměr kmene: 64cm

GPS: N 49°18.42972', E 16°31.70527'



Obr. 33: Stanoviště č. 4. *Acer platanoides* (autor).

STANOVIŠTĚ Č. 5

Stanoviště č. 5. zastupuje další jedinec *Acer platanoides*, nacházející se již v dolní části zájmového území s typickým okolím pro tuto ulici. Od stanoviště č. 4. je vzdálený 91 m.

Dendrometrické hodnoty:

Výška: 6m

Šířka koruny: 9m

Nasazení a výška koruny: 1,8m /4,2m

Obvod kmene: 114cm

Průměr kmene: 57cm

GPS: N 49°18.38660', E 16°31.68837'



Obr. 34: Stanoviště č. 5. *Acer platanoides* (autor).

STANOVIŠTĚ Č. 6

Jako poslední je stanoviště č. 6. nacházející se na samém konci dolní části ulice Jungmannova, které zastupuje další *Tilia cordata* vzdálená 117 m od stanoviště č. 5. Až na obvod kmene má tato lípa podobné proporce, jako stejný taxon na stanovišti č. 2.

Dendrometrické hodnoty:

Výška: 14m

Šířka koruny: 12m

Nasazení a výška koruny: 1,8m /12,2m

Obvod kmene: 238cm

Průměr kmene: 119cm

GPS: N 49°18.34168', E 16°31.68080'



Obr. 35: Stanoviště č. 6. *Tilia cordata* (autor).

6. SHRNUÍ VÝSLEDKŮ

6.1 MEZIDRUHOVÉ SROVNÁNÍ

Zájmovému území dominovalo druhové zastoupení *Acer platanoides*, ale pro porovnání přínosů přistínění mezi druhy byla do měření zahrnuta i *Tilia cordata* a *Picea omorika* pro jejich zcela odlišný habitus. Tedy ve skupině vybraných šesti jedinců byly tři druhy se zcela rozdílnou celkovou morfologií (*Acer platanoides*, *Tilia cordata*, *Picea omorika*). Rozdílly byly především ve tvaru a celkové ploše koruny, v hustotě olistění a v jejich celkové výšce.

Koruny *Acer platanoides* byly velmi nízké a měly kulovitou a velmi hustou korunu a nepřesahovaly výšku 7 m. Zástupci *Tilia cordata* měli mohutné koruny ve tvaru válce a jejich olistění nebylo tak husté jako u *Acer platanoides*, ale svou mohutnou korunou poskytovaly mnohem větší plochu k přistínění, než ostatní druhy stromů. Jejich celková výška se pohybovala mezi 12 a 14 m. *Picea omorika* měl kuželový úzký tvar koruny, která vlivem jehličí nebyla tak hustá jako u předchozích dvou druhů a dosahoval výšky 12 m (*Tab. 2: Srovnání jednotlivých stanovišť*).

SROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH STANOVIŠŤ							
STANOVIŠŤE	DENDROMETRICKÉ HODNOTY						
	VÝŠKA STROMU V METRECH	ŠÍŘKA KORUNY V METRECH	VÝŠKA KORUNY V METRECH	NASAZENÍ KORUNY V METRECH	OBVOD KMENE V CENTIMETRECH	PRŮMĚR KMENE V CENTIMETRECH	TVAR KORUNY
STANOVIŠŤE Č. 1 <i>Acer platanoides</i>	6,5	10	4,4	2,1	124	62	o
STANOVIŠŤE Č. 2 <i>Tilia cordata</i>	14	10,5	11,4	2,6	146	73	π
STANOVIŠŤE Č. 3 <i>Picea omorika</i>	12	7,5	9,7	2,3	164	82	Δ
STANOVIŠŤE Č. 4 <i>Acer platanoides</i>	6	10,5	4,1	1,9	128	64	o
STANOVIŠŤE Č. 5 <i>Acer platanoides</i>	6	9	4,2	1,8	114	57	o
STANOVIŠŤE Č. 6 <i>Tilia cordata</i>	14	12	12,2	1,8	238	119	π

Tab. 2: Srovnání jednotlivých stanovišť (autor).

V rámci posouzení, jaké množství stínu produkují rozdílné tvary habitu, byly provedeny výpočty mezidruhových poměrů v šířce a výšce koruny (koeficient habitu). Výsledkem bylo, že u všech posuzovaných druhů měl *Acer platanoides* nejnižší poměrový koeficient stran koruny díky jeho nízké koruně. *Tilia cordata* měla korunu nejširší a nejvyšší a *Picea omorika* měl korunu nejužší. Rozdíly v poměru stran korun byly tedy významné.

Pokryvnost korun nebyla také stejná. Analýza ukázala, že existují významné rozdíly mezi druhy. Tedy, že *Acer platanoides* měl jednoznačně nejhustší korunu a *Picea omorika* nejjednodušší. Míra pokrytí koruny *Acer platanoides* byla z 99 %. Pokrytí korun *Tilia cordata* a *Picea omorika* bylo shodné na 97 %, ale *Picea omorika* měl hodnoty prahové prostupnosti světla horší. Na tyto rozdíly měl největší vliv tvar a velikost listů (jehličí) a také uspořádání větví.

Aby bylo možné posoudit pozitivní vliv stromů na místní prostředí bylo nejprve nutné zjistit množství stínu, které vybraný jedinec vyprodukoval. Bylo tedy důležité zaměřit se na pohyb stínu, který koruny stromů poskytovaly ve směru na východ a na západ, tedy v době, kdy plocha přistínění byla nejdelší. Plocha stínu poskytovaná jednotlivými druhy se výrazně lišila. Největší přistíněnou plochu dokázali během dne pokrýt zástupci *Tilia cordata* díky vysoké a mohutné koruně ve tvaru válce. Naopak nejmenší plochu pokrýval zástupce *Picea omorika* svojí kuželovitou korunou. U výpočtů plochy stínu pomocí rovnice MONTEITH, UNSWORTH (1990) s použitím úhlu 56,2° vyšla výsledná plocha stínu pro *Acer platanoides* 328 m², pro *Tilia cordata* 428 m² a pro *Picea omorika* 234 m². Tyto rozdíly také potvrzují provedené simulace, jež jsou velmi zřetelné na (Obr. 4: Simulace pohybu stínu pro *Acer platanoides*, *Tilia cordata* a *Picea omorika*), kde součet pokryté plochy stínem **za celý den** v případě jednotlivých druhů vychází pro *Acer platanoides* 1076 m², pro *Tilia cordata* 3415 m² a pro *Picea omorika* 1014 m² vizte (Tab. 3: Plocha stínu poskytovaná jednotlivými druhy).

PLOCHA STÍNU POSKYTOVANÁ JEDNOTLIVÝMI DRUHY		
DRUHOVÉ ZASTOUPENÍ	PLOCHA STÍNU VÝŘEZ m²	PLOCHA STÍNU ZA CELÝ DEN m²
STANOVIŠTĚ Č. 1 <i>Acer platanoides</i>	328	1076
STANOVIŠTĚ Č. 2 <i>Tilia cordata</i>	428	3415
STANOVIŠTĚ Č. 3 <i>Picea omorika</i>	234	1014

Tab. 3: Plocha stínu poskytovaná jednotlivými druhy (autor).

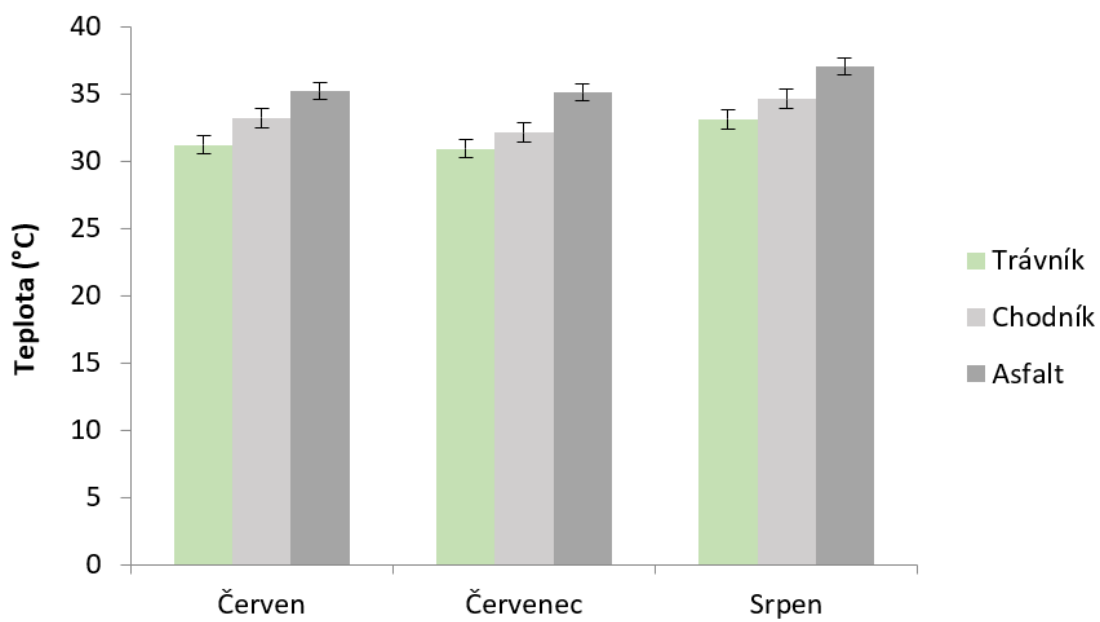
6.2 VYHODNOCENÍ NAMĚŘENÝCH HODNOT

Nejvyšší hodnoty teploty byly naměřeny v srpnu u asfaltového povrchu a to na přímém slunci v rozpětí od 36,8 °C do 37,2 °C. U tohoto povrchu byly naměřeny také nejvyšší hodnoty teploty ve stínu a to v rozmezí od 35,4 °C do 35,9 °C. Výsledný průměrný rozdíl teploty mezi stínem a sluncem u asfaltového povrchu byl 1,3 °C. Asfaltový povrch v nejvyšších teplotách dominoval nad ostatními povrchy také v měsíci červnu a červenci.

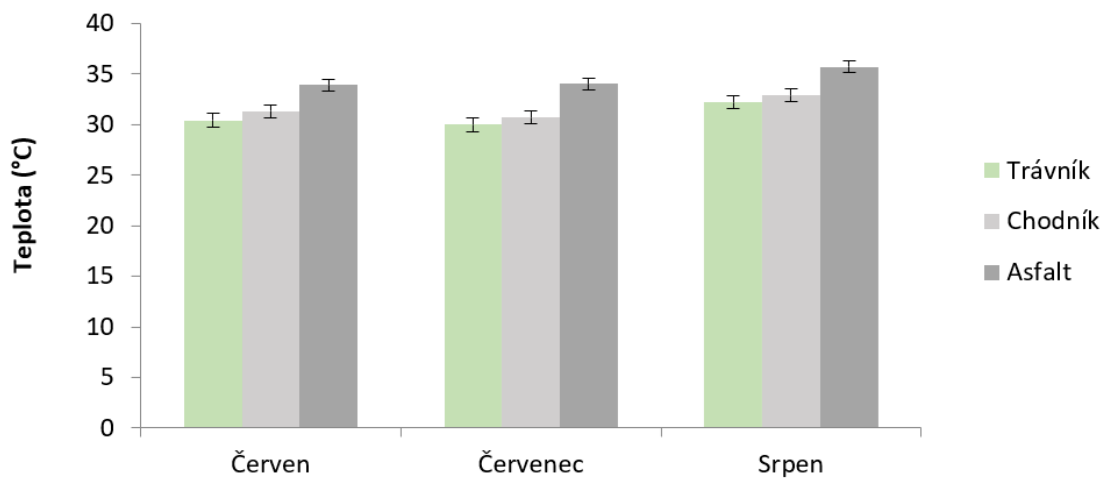
Celkově během celého období měření vykazovaly teploty nad umělými povrchy (beton, asfalt) vždy vyšší hodnoty, než povrch přírodní (tráva). Zatímco se u travnatého povrchu maximální průměrné teploty na slunci držely na hodnotě 31,8 °C a ve stínu 30,9 °C, tak v případě betonu to bylo na slunci 33,3 °C, ve stínu 31,6 °C, a u asfaltu na slunci 35,8 °C, ve stínu 34,5 °C.

Získané hodnoty naměřených teplot tedy potvrdily výrazné rozdíly v působení na teplotu vzduchu v blízkosti těchto povrchů. I když mezi přistíněným a osluněným povrchem stejného typu (např. chodník na slunci a ve stínu) nebyly až tak výrazné rozdíly (rozmezí 0,9 až 1,7 °C), tak naměřené hodnoty mezi čistě přírodním a umělým povrchem, tedy trávníkem ve stínu a asfaltem na slunci dosahovaly průměrně 4,9 °C rozdílu, jak dokládá (*Tab. 6: Celkový přehled teploty dle jednotlivých stanovišť*).

Následující grafy č. 4 a č. 5 zobrazují statistické vyhodnocení průměrných teplot naměřených ve stínu a na slunci v rámci jednotlivých povrchů a období, ve kterých probíhalo měření. V rámci všech vyhodnocení se v první řadě jednalo o zjištění, zdali mají jednotlivé druhy povrchů rozdílný vliv na teplotu ovzduší v jejich blízkosti. Prostřednictvím programu RStudio byl zadán předpoklad pro H_0 – teplota nad povrchem se neliší a H_A - teplota nad povrchem se liší. Normalita dat byla potvrzena pomocí Shapiro testu na hladině významnosti 1 %, ($p=0,003$). Vzhledem k tomu, že homogenita rozptylu byla zamítnuta použitím Bartlett testu ($p=0,395$), k testování byl použit Kruskal-Wallis test, který na hladině významnosti 1 % zamítnul H_0 ($p=0,000$) a potvrdil, že teplota nad jednotlivými povrchy se od sebe statisticky významně liší.



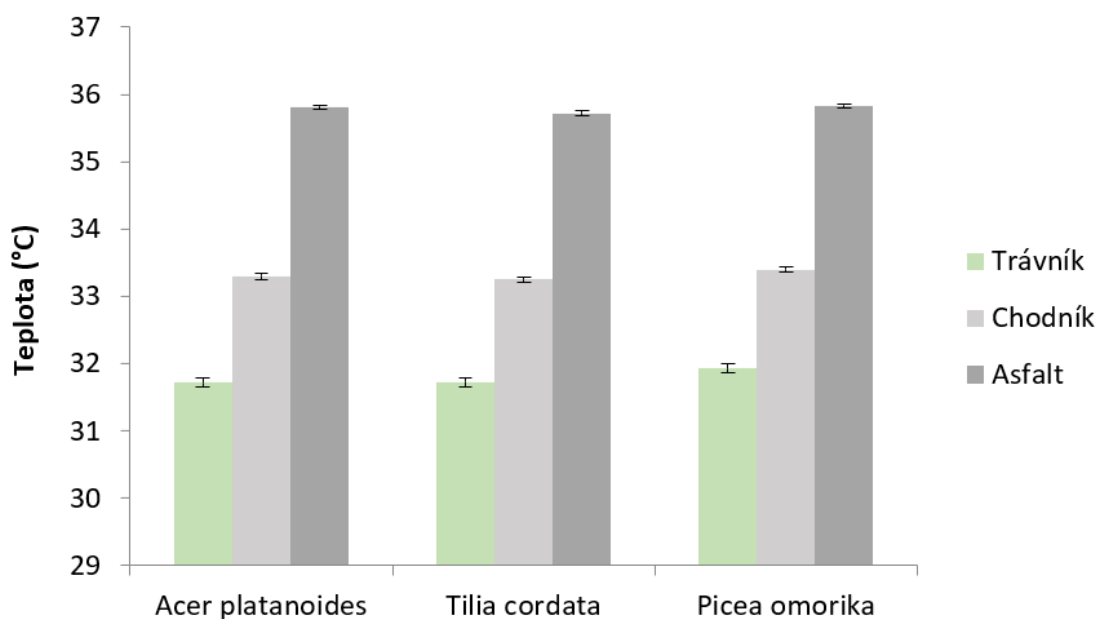
Graf 4: Teploty měřené na slunci dle jednotlivých období (autor).



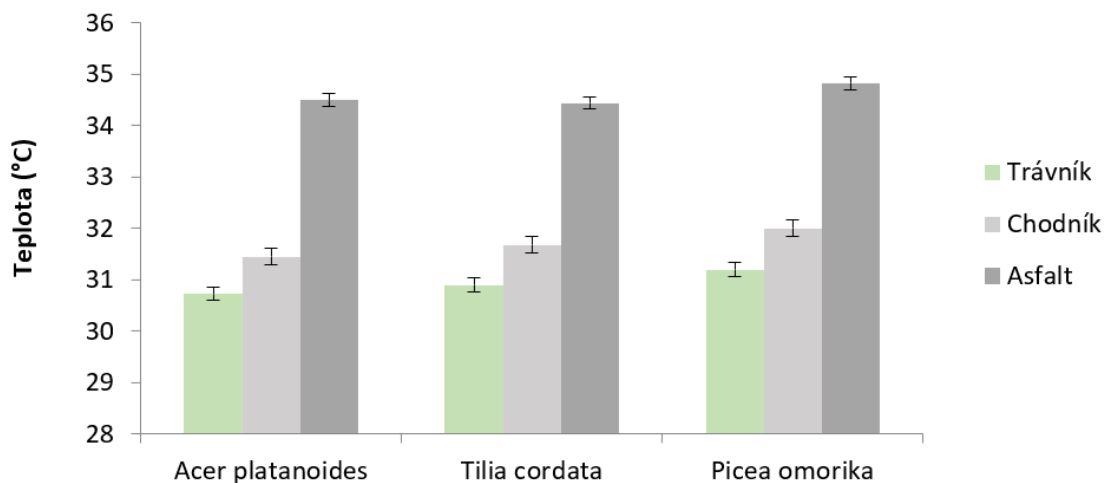
Graf 5: Teploty měřené ve stínu dle jednotlivých období (autor).

Dále jsem testoval, zda se liší teplota ve stínu a na slunci, tedy předpoklad H_0 – teplota ve stínu a na slunci se neliší a H_A – teplota se ve stínu a na slunci liší. Normalita dat byla ověřena pomocí Shapiro testu ($p=0,003$). Homogenita rovnosti rozptylu byla zamítnuta prostřednictvím Bartlett testu ($p=0,722$), proto bylo nutné použít Kruskal-Wallis test, který na hladině významnosti 1 % zamítnul H_0 ($p=0,000$) a potvrdil, že teplota ve stínu a na slunci se liší.

Prostřednictvím následujících grafů č. 6 a č. 7 jsou znázorněna porovnání průměrných teplot ve stínu a na slunci dle jednotlivých městských povrchů a druhu stromů. V tomto případě statistického vyhodnocení byl předpoklad H_0 – teplota se neliší v souvislosti s druhem stromu a H_A – teplota se liší v souvislosti s druhem stromu. Pomocí Shapiro testu byla na hladině významnosti 1 % ($p=0,003$) potvrzena normalita dat. Použitím Bartlett testu ($p=0,965$) byla zamítnuta homogenita rozptylu a proto byl využit Kruskal-Wallis test, který na hladině významnosti 1 % potvrdil H_0 ($p=0,474$), že teplota se neliší v souvislosti s druhem stromu (p -hodnota byla vyšší než 0,05, tudíž nebylo možné zamítnout předpoklad H_0).



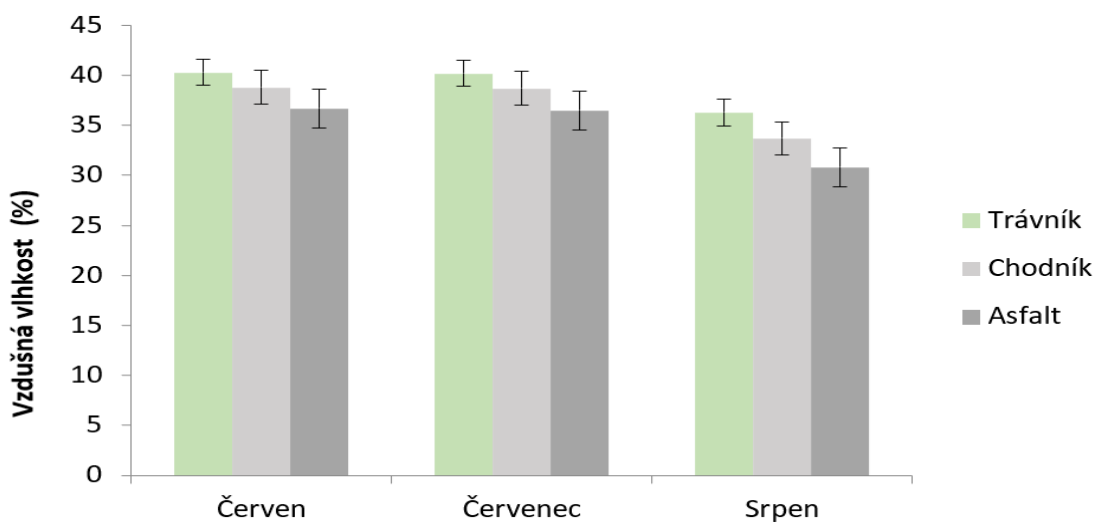
Graf 6: Teploty měřené na slunci dle druhového zastoupení (autor).



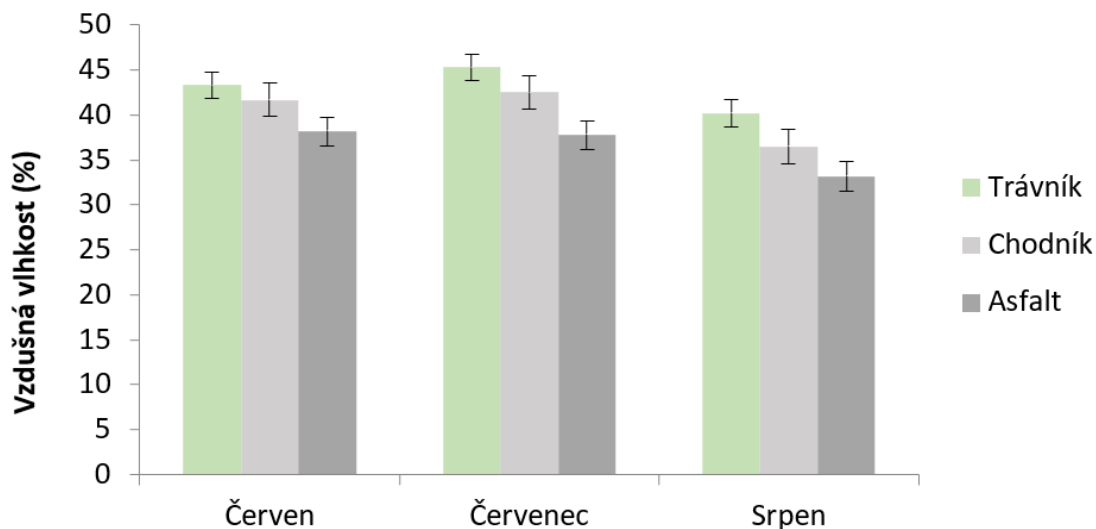
Graf 7: Teploty měřené ve stínu dle druhového zastoupení (autor).

V případě vzdušné vlhkosti byly nejvyšší hodnoty naměřeny nad travnatým povrchem, a to v červenci ve stínu v rozmezí od 45 % do 46 %. Na slunci u stejného povrchu se vzdušná vlhkost držela v rozmezí od 40 % do 41 %. Nejnižší vzdušná vlhkost byla naměřena v měsíci srpnu, a to v případě všech posuzovaných povrchů, kdy letní teploty dosahovaly nejvyšších hodnot.

Průměrný rozdíl vzdušné vlhkosti tak dosahoval 8,3 % mezi trávníkem ve stínu a asfaltem na slunci a u přistínění a oslunění v rámci povrchu stejného typu se rozdíl pohyboval v rozmezí 2,4 až 4 %, jak je uvedeno v (Tab. 7: Celkový přehled vzdušné vlhkosti dle jednotlivých stanovišť).



Graf 8: Vzdušná vlhkost měřená na slunci dle jednotlivých období (autor).



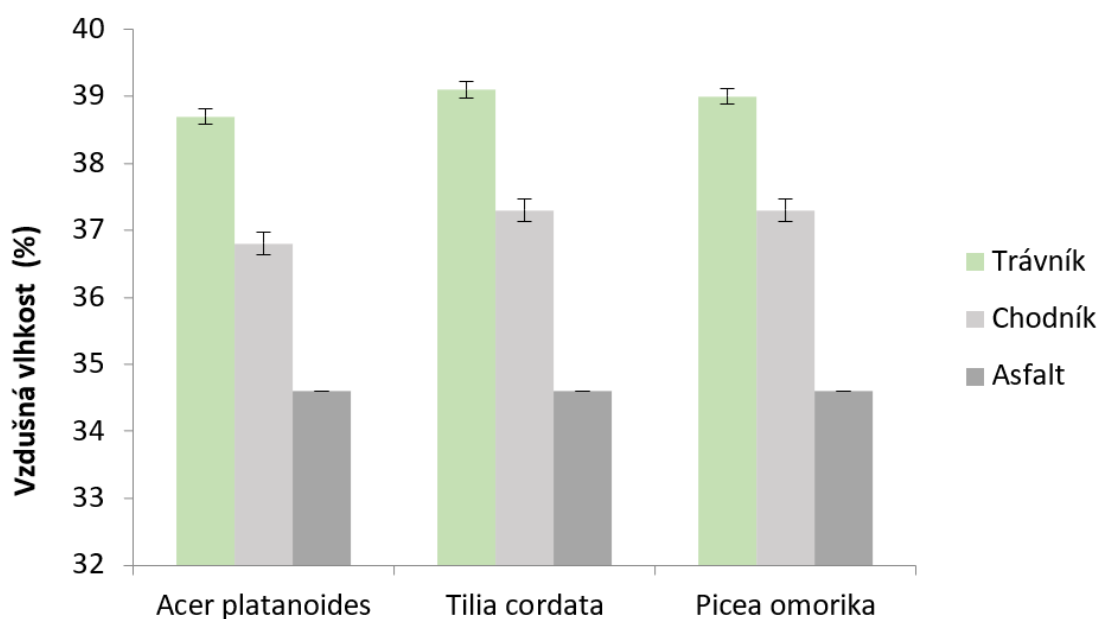
Graf 9: Vzdušná vlhkost měřená ve stínu dle jednotlivých období (autor).

Posouzení se také týkalo skutečnosti, zda je vzdušná vlhkost ovlivňována městskými povrchy. Toto vyhodnocení znázorňují grafy č. 8 až č. 11. Předpokladem statistického vyhodnocení v případě zjištění rozdílného vlivu jednotlivých druhů povrchů na vzdušnou vlhkost v jejich blízkosti bylo H_0 - vlhkost se neliší na základě povrchu a H_A - vlhkost se liší na základě povrchu. Normalita dat byla potvrzena pomocí Shapiro testu na hladině významnosti 1 %, ($p=0,080$). Jelikož homogenita rozptylu byla zamítnuta Bartlett testem ($p=0,819$), byl k dalšímu testování použit Kruskal-Wallis test, který na hladině významnosti 1 % zamítnul H_0 ($p=0,000$) a z výsledku vyšlo, že vzdušná vlhkost je závislá na povrchu.

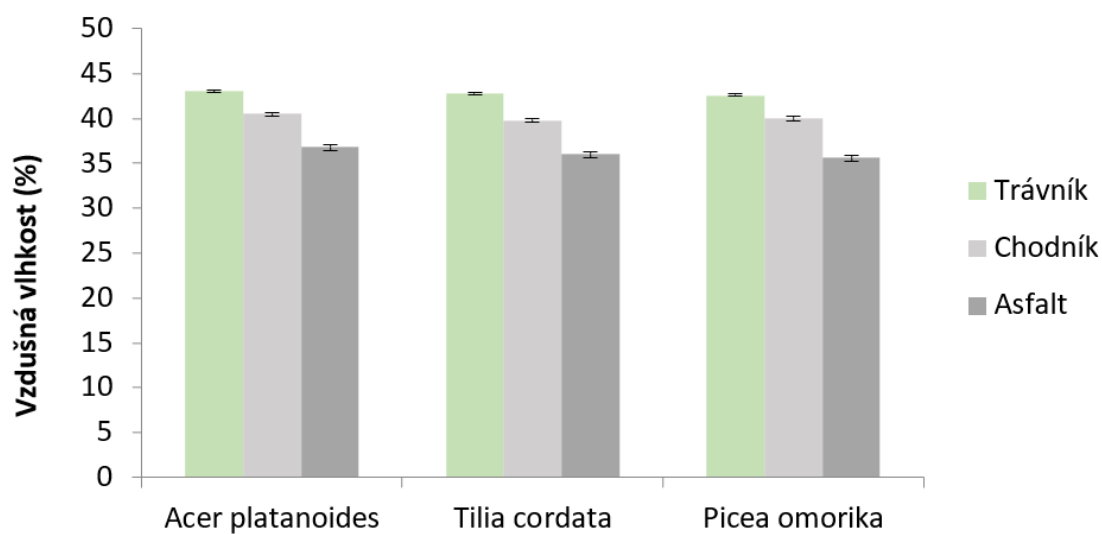
Dalším hodnoticím kritériem byl také vliv vzdušné vlhkosti v případě měření na slunci a ve stínu. V rámci tohoto statistického vyhodnocení byl předpoklad H_0 – vzdušná vlhkost se neliší na základě slunce a stínu a H_A – vzdušná vlhkost se liší na základě slunce a stínu. Test normality dat byl potvrzen pomocí Shapiro testu na hladině významnosti 1 %, ($p=0,080$). Homogenita rovnosti rozptylu byla zamítnuta Bartlett testem ($p=0,144$), a proto byl použit Kruskal-Wallis test, který na hladině významnosti 1 % předpoklad H_0 zamítnul ($p=0,000$) a potvrdil, že se vzdušná vlhkost liší ve stínu a na slunci.

V následujících grafech č. 10 a č. 11 je znázorněn vliv druhu stromů na vzdušnou vlhkost. V rámci statistického vyhodnocení byl předpoklad H_0 – vzdušná vlhkost se neliší v souvislosti s druhem stromu a H_A – vzdušná vlhkost se liší v souvislosti s druhem stromu. Potvrzení normality dat bylo provedeno prostřednictvím

Shapiro testu na hladině významnosti 1 %, ($p=0,015$). Bartlett testem byla zamítnuta homogenita rozptylu ($p=0,968$), a proto byl proveden Kruskal-Wallis test, který na hladině významnosti 1 % potvrdil H_0 ($p=0,912$), tedy vlhkost se neliší v souvislosti s druhem stromu.



Graf 10: Vzdušná vlhkost měřená na slunci dle druhového zastoupení (autor).



Graf 11: Vzdušná vlhkost měřená ve stínu dle druhového zastoupení (autor).

Níže uvedené tabulky č. 4 a č. 5 znázorňují celkový přehled jednotlivých p-hodnot získaných na základě statistického vyhodnocení teploty a vzdušné vlhkosti.

P-HODNOTY TEPLOTA			
	TEPLOTA x POVRCH	TEPLOTA: SLUNCE x STÍN	TEPLOTA x DRUH
SHAPIRO TEST	p=0,003	p=0,003	p=0,003
BARTLETT TEST	p=0,395	p=0,722	p=0,965
KRUSKAL-WALLIS TEST	p=0,000	p=0,000	p=0,474

Tab. 4: P-hodnoty teplota (autor).

P-HODNOTY VZDUŠNÁ VLHKOST			
	VZDUŠNÁ VLHKOST x POVRCH	VZDUŠNÁ VLHKOST SLUNCE x STÍN	VZDUŠNÁ VLHKOST x DRUH
SHAPIRO TEST	p=0,080	p=0,080	p=0,015
BARTLETT TEST	p=0,819	p=0,144	p=0,968
KRUSKAL-WALLIS TEST	p=0,000	p=0,000	p=0,912

Tab. 5: P-hodnoty vzdušná vlhkost (autor).

Městským povrchem schopným nejvíce akumulovat teplo se tak jeví asfalt, který nad svojí plochou vykazoval nejvyšší naměřené teploty a nejnižší vzdušnou vlhkost.

V případě teplotních rozdílů v rámci všech období, během kterých probíhalo měření, byl zaznamenán výraznější rozdíl mezi začátkem léta a jeho koncem, tedy měsícem červnem a srpnem, a to například u povrchu asfalt slunce, byly průměrné teploty v srpnu o 1,8 °C vyšší. Tedy průměrná teplota vzduchu nad výše zmíněným povrchem byla v červnu na slunci 35,2 °C a ve stínu 33,9 °C a průměrná teplota v srpnu byla na slunci již 37,0 °C a ve stínu 35,7 °C.

Posuzována byla také míra snížení teploty přistíněním dle zastoupených druhů. Z výsledků však v tomto případě nejsou patrné nějaké větší rozdíly v teplotě, nebo ve vzdušné vlhkosti, i když jisté očekávání lepších hodnot bylo u jedinců *Acer platanoides*, jejichž nízké koruny a husté olistění mohly udržet alespoň vyšší vzdušnou vlhkost, což se však nepotvrdilo.

CELKOVÝ PŘEHLED PRŮMĚRNÝCH HODNOT TEPLoty ZE VŠECH STANOVIŠŤ							
OBDOBÍ	JEDNOTLIVÉ DRUHY MĚŘENÝCH POVRCHŮ						NEJVYŠŠÍ ROZDÍLY
	TRÁVNÍK SLUNCE	TRÁVNÍK STÍN	CHODNÍK SLUNCE	CHODNÍK STÍN	ASFALT SLUNCE	ASFALT STÍN	SLUNCE ASFALT VERSUS STÍN TRÁVNÍK
ČERVEN	°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C
STANOVIŠŤ Č. 1 <i>Acer platanoides</i>	31,5	30,3	33,4	31,1	35,5	34,1	5,2
STANOVIŠŤ Č. 2 <i>Tilia cordata</i>	31,2	30,6	33,1	31,5	35,1	33,9	4,5
STANOVIŠŤ Č. 3 <i>Picea omorika</i>	31,4	30,9	33,3	31,8	35,3	34,2	4,4
STANOVIŠŤ Č. 4 <i>Acer platanoides</i>	30,9	29,8	32,8	30,2	34,9	33,7	5,1
STANOVIŠŤ Č. 5 <i>Acer platanoides</i>	31,2	30,4	33,7	31,5	35,3	33,9	4,9
STANOVIŠŤ Č. 6 <i>Tilia cordata</i>	31,1	30,5	32,9	31,6	35,1	33,8	4,6
PRŮMĚRNÉ HODNOTY ZA ČERVEN	31,2	30,4	33,2	31,3	35,2	33,9	4,8
ČERVENEC							
STANOVIŠŤ Č. 1 <i>Acer platanoides</i>	30,7	29,8	31,9	30,6	34,8	33,2	5
STANOVIŠŤ Č. 2 <i>Tilia cordata</i>	30,9	29,9	32,1	30,5	35,1	33,9	5,2
STANOVIŠŤ Č. 3 <i>Picea omorika</i>	31,1	30,2	32,3	31,1	35,1	34,4	4,9
STANOVIŠŤ Č. 4 <i>Acer platanoides</i>	30,8	30,1	31,8	30,9	35,2	34,1	5,1
STANOVIŠŤ Č. 5 <i>Acer platanoides</i>	30,9	29,9	32,1	30,4	35,4	34,3	5,5
STANOVIŠŤ Č. 6 <i>Tilia cordata</i>	31,2	30,1	32,3	30,9	35,1	34,1	5
PRŮMĚRNÉ HODNOTY ZA ČERVENEC	30,9	30,0	32,1	30,7	35,1	34,0	5,1
SRPEN							
STANOVIŠŤ Č. 1 <i>Acer platanoides</i>	33,2	32,1	34,8	32,9	37,1	35,7	5
STANOVIŠŤ Č. 2 <i>Tilia cordata</i>	32,9	32,1	34,5	32,7	36,8	35,4	4,7
STANOVIŠŤ Č. 3 <i>Picea omorika</i>	33,3	32,5	34,6	33,1	37,1	35,9	4,6
STANOVIŠŤ Č. 4 <i>Acer platanoides</i>	32,9	32,1	34,5	32,7	36,9	35,6	4,8
STANOVIŠŤ Č. 5 <i>Acer platanoides</i>	33,4	32,2	34,7	32,8	37,2	35,9	5
STANOVIŠŤ Č. 6 <i>Tilia cordata</i>	33,1	32,2	34,6	32,9	37,1	35,6	4,9
PRŮMĚRNÉ HODNOTY ZA SRPEN	33,1	32,2	34,6	32,9	37,0	35,7	4,8

Tab. 6: Celkový přehled teploty dle jednotlivých stanovišť (autor).

CELKOVÝ PŘEHLED PRŮMĚRNÝCH HODNOT VZDUŠNÉ VLHKOSTI ZE VŠECH STANOVIŠŤ							
OBDOBÍ	JEDNOTLIVÉ DRUHY MĚŘENÝCH POVRCHŮ						NEJVYŠŠÍ ROZDÍLY
	TRÁVNÍK SLUNCE	TRÁVNÍK STÍN	CHODNÍK SLUNCE	CHODNÍK STÍN	ASFALT SLUNCE	ASFALT STÍN	SLUNCE ASFALT VERSUS STÍN TRÁVNÍK
ČERVEN	vlhkost %	vlhkost %	vlhkost %	vlhkost %	vlhkost %	vlhkost %	vlhkost %
STANOVIŠŤ Č. 1 <i>Acer platanoides</i>	40	43	39	42	37	39	6
STANOVIŠŤ Č. 2 <i>Tilia cordata</i>	41	43	39	41	36	38	7
STANOVIŠŤ Č. 3 <i>Picea omorika</i>	40	43	39	42	37	37	6
STANOVIŠŤ Č. 4 <i>Acer platanoides</i>	41	44	39	41	37	39	7
STANOVIŠŤ Č. 5 <i>Acer platanoides</i>	40	44	38	42	36	39	8
STANOVIŠŤ Č. 6 <i>Tilia cordata</i>	40	43	39	42	37	37	6
PRŮMĚRNÉ HODNOTY ZA ČERVEN	40,3	43,3	38,8	41,7	36,7	38,2	6,7
ČERVENEC							
STANOVIŠŤ Č. 1 <i>Acer platanoides</i>	40	45	39	43	37	39	8
STANOVIŠŤ Č. 2 <i>Tilia cordata</i>	40	46	39	42	37	38	9
STANOVIŠŤ Č. 3 <i>Picea omorika</i>	41	45	38	42	36	37	9
STANOVIŠŤ Č. 4 <i>Acer platanoides</i>	40	45	38	43	36	38	9
STANOVIŠŤ Č. 5 <i>Acer platanoides</i>	40	46	39	43	36	38	10
STANOVIŠŤ Č. 6 <i>Tilia cordata</i>	40	45	39	42	37	37	8
PRŮMĚRNÉ HODNOTY ZA ČERVENEC	40,2	45,3	38,7	42,5	36,5	37,8	8,8
SRPEN							
STANOVIŠŤ Č. 1 <i>Acer platanoides</i>	36	41	33	37	31	33	10
STANOVIŠŤ Č. 2 <i>Tilia cordata</i>	37	40	34	36	31	33	9
STANOVIŠŤ Č. 3 <i>Picea omorika</i>	36	40	34	36	31	33	9
STANOVIŠŤ Č. 4 <i>Acer platanoides</i>	36	40	34	37	31	34	9
STANOVIŠŤ Č. 5 <i>Acer platanoides</i>	36	40	33	37	31	33	9
STANOVIŠŤ Č. 6 <i>Tilia cordata</i>	37	40	34	36	30	33	10
PRŮMĚRNÉ HODNOTY ZA SRPEN	36,3	40,2	33,7	36,5	30,8	33,2	9,3

Tab. 7: Celkový přehled vzdušné vlhkosti dle jednotlivých stanovišť (autor).

7. DISKUZE

I když terénní měření provázela technická a externí omezení (nemožnost měření všech stromů současně a nonstop z důvodu nedostatku adekvátního množství dražších měřicích přístrojů a případných krádeží), tak vybraná stanoviště jednotlivých stromů přesně odpovídala zaměření experimentu. Tedy podmínkám pro růst dřevin v nepříznivém městském prostředí, které je typickým stanovištěm pro mnoho městských stromů v českých městech.

Měření probíhala jen v časech největších veder a za plného oslunění, kdy se nejvíce projevoval maximální přínos přistínění vybraných stromů. Z důvodu eliminace nežádoucího proudění vzduchu při měření a dodržení prostorového uspořádání domů a stromů dle britské studie, byla zvolena jen jedna konkrétní ulice. Posuzované stromy měly tedy stejné půdní podmínky a také shodné typy městských povrchů ve svém blízkém okolí.

Navzdory uvedeným omezením sběr dat a jejich následná analýza prokázala jasné benefity uličních stromů v rámci efektu jejich přistínění. Aby bylo možné posoudit pozitivní vliv stromů na místní prostředí, bylo nejprve nutné zjistit množství stínu, které vybraný jedinec vyprodukoval. Bylo tedy důležité zaměřit se na pohyb stínu, který koruny stromů poskytovaly ve směru na východ a na západ, tedy v době, kdy plocha přistínění byla nejdelší. Míra efektu přistínění se také odvíjela od velikosti, tvaru a hustoty koruny. Z tohoto pohledu byly zaznamenány mezi posuzovanými jedinci velké rozdíly, kdy poměr stran (koeficient habitu) se pohyboval v rozpětí 0,44 až 1,29. Stromy s vyšším koeficientem poměru stran koruny, tak celkově poskytovaly mnohem větší plochu stínu, zvláště pak když bylo slunce pod nižším úhlem (ráno a večer). Tyto plochy stínu, které jedinci vykazovali, také potvrdily provedené simulace v případě pohybu stínu během celého dne. Uvážíme-li, jak velký počet stromů ve vybrané ulici je a jakou celkovou plochu stínu dokáží společně poskytnout, tak přínos přistínění a význam stromů v ulicích je zcela zřejmý.

V případě posouzení vlivu přistínění na lidský tepelný komfort byly teploty ve stínu sníženy oproti slunci průměrně o 4,9 °C, a to především v porovnání přírodního a umělého povrchu. U shodných městských povrchů se rozdíl mezi stínem a sluncem držel v rozmezí 0,9 až 1,7 °C. I když se naměřené hodnoty ve stínu nepřiblížily komfortní teplotě člověka, která se pohybuje dle MATZARAKIS et al. (1999) v rozmezí 18 °C až 23 °C, tak vliv stínu a jeho prostředí s vyšší vzdušnou vlhkostí může vytvářet pro člověka příjemné mikroklima a také pozitivně ovlivnit jeho psychiku. Toto snížení

teploty, které se celkově pohybovalo v průměrných hodnotách od 0,9 až 4,9 °C, mohlo ovlivnit také mikroklima v celé ulici, což by přispělo k redukci městských tepelných ostrovů. Rozdílné teploty byly také zjištěny v rámci druhového zastoupení, kdy jedinci *Acer platanoides* vykazovali největší pokrytí koruny a jejich hustým olistěním dokázali snížit teplotu ve stínu nejvíce. Z tohoto důvodu se taxony s hustým olistěním jeví jako nejvhodnější pro výsadbu do ulic v rámci adaptačních opatření oproti jehličnanům, kdy právě zástupce *Picea omorika* dosáhl horších výsledků díky vyšší propustnosti koruny.

7.1 SROVNÁNÍ VLASTNÍ METODIKY A BRITSKÉ

V rámci porovnání výchozí metodiky britské studie a postupu měření v našich podmínkách, tedy v lokalitě města Kuřimi, se získaná data téměř shodují. Postup při sběru dat byl také totožný. Rozdíly se týkají pouze použitého měřicího přístroje, druhového a věkového zastoupení posuzovaných stromů a analýzy prostupnosti korun.

Jelikož v Manchesteru nebyla lokalita umožňující provádět jednotlivá měření na opravdu vzrostlých stromech (využili mladé zástupce 4-5 let rodu *Crataegus*, *Sorbus*, *Prunus*, *Pyrus* a *Malus*), jejichž přínos přístínění by byl dle předpokladů britských vědců větší, byly tedy v mém případě cíleně vybrány pouze dospělé stromy (stáří 20+) a to maximálního vzrůstu a v dobré kondici. Pro širší možnosti vzájemného porovnání byl do mého výběru zahrnut také jeden jehličnan, přičemž celkový počet posuzovaných stromů v rámci britské studie byl 51 a v mém případě se jednalo z časových a personálních důvodů o 6 stromů.

Intenzita přístínění byla posuzována z hustoty olistění koruny, kdy v případě britské studie byl tento údaj získán prostřednictvím indexu listové plochy LAI, tedy byla zkoumána prostupnost slunečního záření listem konkrétního druhu za pomoci přístroje AccuPAR model LP - 80 Ceptometr PAR/LAI. Jelikož jsem uvedený přístroj neměl k dispozici, byla prostupnost koruny určena prostřednictvím aplikace Matlab, která analyzovala fotografie části olistěné koruny, fotografované zespodu koruny.

Měření teploty probíhalo stejně jako v britské studii, tedy ve výšce 1,1 m nad posuzovaným povrchem. Rozdíl byl v použitých přístrojích. Britští vědci použili teploměr Digitron 2084T a v mém případě se jednalo o meteorologický přístroj EMS 33H. Dále ze strany britských vědců byly měřeny i průměrné radiační teploty, což mnou použitý přístroj neumožňoval, proto tato data neuvádím. Součástí projektu také bylo porovnání rozdílu teplot u krátkodobého přístínění, tedy pohybujícího se stínu, od kterého jsem upustil, jelikož teplotní rozdíly mezi nepohyblivým stínem a sluncem

v rámci stejného povrchu se pohybovaly v rozmezí pouze 0,8 °C, tedy odchylka v případě pohybujícího se stínu by byla minimální, nezajímavá.

Sběr dat v případě britské studie probíhal na začátku léta, tedy 25.05. a 03.06. 2011 a po té pouze 3 dny v průběhu léta, tedy 14., 15. a 25.07.2011. Jelikož počátkem léta (květen) nejsou dřeviny v plném olistění a tedy intenzita přístínění není nejvyšší, což Britové ve své studii také podotýkají, zaměřil jsem své měření teplot výhradně na letní měsíce (červen, červenec, srpen) a sběr dat prováděl v častějších intervalech.

Jednotlivá stanoviště odpovídala britským podmínkám, tedy ulice složená z řadových domů s asfaltovou silnicí o šířce 4,5 m až 7 m a dlážděným chodníkem. Stromy vysazeny ve stejných podmínkách zakořenění, tedy v travnatém pásu coby stromořadí lemující silnici, přičemž žádný strom nebyl blíže jak 2 m od domu. Stromy byly bez poškození a v dobré kondici.

Morfologická měření byla provedena u každého z vybraných stromů a dle britské studie se tedy jednalo o měření celkové výšky stromu, výšky nasazení koruny, šířky a výšky koruny, průměru kmene a lokalizace jedince dle GPS. Celková výška stromu byla v případě Britů měřena pomocí přístroje Suunto Clinometer, v mém případě byl použit výškoměr Silva. Na změření průměru kmene a šířky koruny byl použit běžný svinovací metr stejně jako v britské studii.

U analýzy oblasti stínu bylo postupováno stejně s britskými vědci. Z časových důvodů nebylo možné fyzicky změřit celkové množství produkovaného stínu u každého z vybraných stromů, a proto byla využita data získaná z morfologických měření a dosazena do rovnice MONTEITH, UNSWORTH (1990) s využitím úhlu slunce. V rámci analýzy plochy přístínění produkované vybranými jedinci jsem pro jasnější představu o pohybu a celkové ploše stínu využil simulace v aplikaci ArcGIS Pro.

Závěrečné zpracování získaných dat prostřednictvím statistického vyhodnocení bylo provedeno jak v britské studii, tak i v rámci mého postupu.

Výsledky své studie porovnávali britští vědci také se studií BOWLER et al. (2010), ve které byly naměřeny vyšší teplotní rozdíly především u ovzduší pod korunami stromů. Tento nesoulad Britové přisuzují jejich nevhodnému výběru velikosti stromů (malé koruny), odchylce teploměru a také zhoršeným podmínkám při měření, kdy došlo k občasnému promíchání horkého vzduchu se vzduchem ve stínu. Výběrem dospělých stromů a vhodné ulice s minimálním automobilovým provozem jsem výše uvedeným nedostatkům předešel. Mnou získané poznatky tak byly i v intencích studie BOWLER et al. (2010).

8. ZÁVĚR

Z literární části této práce vychází evidentní shoda poznatků a názorů většiny autorů zaměřených na dopady klimatických změn. V jejich pozornosti jsou především rizika spojená s urbanizovaným prostředím v podobě nežádoucího efektu městských tepelných ostrovů, s tím spojená zdravotní rizika a evidentní potřeba městské zeleně coby redukujícího nástroje nutného k ochlazování městského prostředí. V tomto smyslu je pak jednotlivými autory kladen důraz na potřebu nových realizací městských parků, střešních zahrad, zelených a vodních ploch a využívání jejich ekosystémových služeb.

Výsledky praktické části potvrdily významný přínos městské zeleně na ochlazování urbanizovaného prostředí. Jednotlivé analýzy ukázaly velmi dobré výsledky ve snížení teploty vlivem přistínění a také v rozloze oblasti, kterou jednotlivé stromy dokáží pokrýt stínem a redukovat tak akumulaci tepla i mimo jejich bezprostřední stanoviště.

V případě přistínění zvládly koruny stromů v některých případech snížit teplotu u svého stanoviště v průměru o 4,9 °C, čímž vytvořily nejen „útočiště“ pro obyvatele v případě letních vln veder, ale také výrazně snížily teplotu tvrdých povrchů (beton, asfalt), což přispívá k redukcí efektu městského tepelného ostrova.

Identická charakteristika jednotlivých stanovišť nevykazovala žádné výrazné rozdíly v relativní vlhkosti mezi stanovišti. Vzdušná vlhkost byla ovlivňována spíše aktuálním stavem počasí. Každopádně i malé zvýšení vlhkosti vlivem přírodního druhu povrchu nebo přistínění ovlivňuje mikroklima v dané městské části.

Zajímavé výsledky z pohledu plošné výměry se ukázaly v případě oblasti stínu, kterou jednotlivé stromy dokázaly během celého dne pokrýt. Výsledné plochy pohybujícího se stínu mnohonásobně převýšily skutečnou plochu jednotlivých korun stromů a to i v poledne, kdy je stín nejkratší. Největší plochu pokrytou stínem poskytovali zástupci *Tilia cordata* jejich mohutnými korunami. Pohybující se stín je tak jednoznačnou aktivní výhodou městských stromů na rozdíl od travnatých ploch, které jsou v případě ochlazování vzduchu spíše pasivní, neboť jejich přínos nelze přenést i na okolní městské povrchy.

Rozdíly byly potvrzeny i v prostupnosti slunečního záření vybraných korun stromů. Dominantním druhem v tomto případě byli zástupci *Acer platanoides*, jejichž husté křížení větví, velikost a struktura listů vykazovali nejnižší prostupnost a tedy nejefektivnější nejhustší stín a tedy i největší snížení povrchových teplot. K těmto výsledkům přispěl také nízký poměr stran koruny tohoto druhu, neboť na rozdíl od jedince *Picea omorika*, jehož habitus měl kuželový a ne kulový tvar, jeho stín během dne ochlazoval podobnou plochu (určitý bod na zemi) mnohem kratší čas vlivem úzkého pruhu stínu. I když přínosem v přistínění je každý strom i ten úzký, z poznatků vyplývá, že pro získání maximálního efektu přistínění městských stromů je potřeba vysazovat stromy, které mají co nejširší a nejhustší koruny. Dále je také důležitá pravidelná péče o stávající městské stromy a tedy zájem o co nejdelší zachování stromů na jejich stanovišti, neboť starší stromy s větší korunou mají jednoznačně vyšší přínos v přistínění. Při poškození nebo vykácení takto vzrostlých stromů dochází k mnohaleté ztrátě tohoto benefitu.

Zaměření této práce se týká velmi aktuálního vědeckého tématu v problematice klimatických změn. Práce nese potenciál pro další náměty v oblasti adaptačních opatření. Její význam spočívá v provedeném ověření vlivu městské zeleně na teplotu v ulicích menšího města v našich podmínkách, z čehož vyplynulo, že podpora ozeleňování měst je cesta správným směrem a to nejen ve smyslu adaptačních opatření a redukce tepelných ostrovů, ale také v podpoře biodiverzity, filtrace škodlivin ze vzduchu a celkové podpory lidského zdraví a psychiky. Regulace teplot městského prostředí prostřednictvím stromů v ulicích má i jasné ekonomické výhody, které převyšují náklady. Toto ověření může být podkladem v případě strategií rozvoje městských částí, územního plánování, ochrany zelených ploch v rámci adaptačních opatření s přesahem do oborů regionální environmentální správy a správy zeleně.

9. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

ADINNA E. N., ENETE I. C., OKOLIE T., 2009: Assesment of urban heat island and possible adaptations in Enugu Urgan usind landsat-ETM. *Journal of Geography and regional planning* 2, P. 30-36.

AKBARI, H., DAVIS, S., DORSANO, S., HUANG, J. and WINNETT, S. (1992). *Cooling Our Communities: A Guidebook on Tree Planting Light-Colored Surfacing*. U.S. Environmental Protection Agency, Office of Policy Analysis, Climate Change Division.

AKBARI, H., POMERANTZ, M., and TAHA, H., 2001. Cool surfaces and shade trees to reduce energy use and improve air quality in urban areas. *Solar Energy* 70:295–310.

AKBARI, HASHEM. 2005 "Energy Saving Potentials and Air Quality Benefits of Urban Heat Island Mitigation". United States. <https://www.osti.gov/servlets/purl/860475>.

AKBARI, H., and KOLOKOTSA, D. 2016. Three decades of urban heat islands and mitigation technologies research. *Energy and Buildings*, 133(1):834-842.

ALI-TOUDERT F., H. MAYER, 2007a: Thermal comfort in an east-west oriented street canyon in Freiburg (Germany) under hot summer conditions. – *Theor. Appl. Climatol.* 87, 223–237.

ARMSON, D., STRINGER, P., ENNOS, A.R., 2012. The effect of tree shade and grass on surface and globe temperatures in an urban area. *Urban For. Urban Green.* 11, 245–255. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2012.05.002>

ARMSON, D., RAHMAN, M. A., ENNOS, A. R., 2013: A Comparison of the Shading Effectiveness of Five Different Street Tree Species in Manchester, UK. *Arboriculture & Urban Forestry* 39(4): July 2013. P. 157-164.

ASITIS, ©2021. Projekt „Adaptační strategie na klimatickou změnu regionu Kuřimska" 2021, registrační číslo projektu: 3194100022.

BERARDI U., GHAFFARIANHOSEINI A. 2014. State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs. *Appl Energy* 2014;115:411–28. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2013.10.047>

BESIR, A., B., and CUCE, E. 2018. Green roofs and facades: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82:915-939.

BOUYER J., MUSY M., HUANG Y., ATHAMENA K., 2011: Mitigating Urban Heat Island Effect by Urban Design: Forms and Materials. The Worldbank, Washington DC, 164-181 p.

BOWLER, D.E., L. BUYUNG-ALI, T.M. KNIGHT, and A.S. PULLIN. 2010. Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landscape & Urban Planning* 97(3):147–155.

BUČEK, A., Bulletin ČKA 2/2015 – Téma: zelená infrastruktura. Praha: Česká komora architektů, 2015. ISSN 1804-2066.

BURIAN S., DOSTÁLOVÁ J., DUBSKÝ M., HALAMA P., CHALOUPKA K., KOMZÁK J., PAŤAVA R., STRAKOVÁ M., ŠRÁMEK F., VACEK, P. et VOKÁL J., 2016: Standardy pro navrhování, provádění a údržbu: Vegetační souvrství zelených střech.

CARREIRO, M., Y. SONG a J. WU. (eds). 2008. *Ecology, planning, and management of urban forests: international perspectives*. New York: Springer, 467 p. ISBN 978-0-387-71424-0.

CARTER T., et RASMUSSEN T., 2007: Hfarydrologic behavior of vegetated roofs, *30602*, 1261-1274.

CARTER T., et KEELER A., 2008: Life-cycle cost-benefit analysis of extensive vegetated roof systems. *Journal of Environmental Management*, 87(3), 350-363.

CASTLETON, H., F., STOVIN, V., BECK, S., B., M., and DAVISON, J., B. 2010. Green roofs: building energy savings and the potential for retrofit. *Energy and Buildings*, 42:1582-1592.

CLARKE, L., W., JENERETTE, G., D., 2015: *Biodiversity and direct ecosystem service regulation in the community gardens of Los Angeles, CA*. *Landscape Ecol* (2015) 30:637–653.

CROMPTON, J. L. 2007. „The Role of the Proximate Principle in the Emergence of Urban Parks in the United Kingdom and in the United States.“ *Leisure Studies* [online] 26 (2), 213-234 [cit. 2017-11-20] Dostupné z: <http://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/02614360500521457>

CZECHGLOBE - ÚSTAV VÝZKUMU GLOBÁLNÍ ZMĚNY AV ČR a UNIVERZITA JANA EVANGELISTY PURKYNĚ a NADACE PARTNERSTVÍ, ©2016. Zásady pro rozvoj adaptací na změnu klimatu ve městě Brně s využitím ekosystémově založených přístupů. Východiska pro zpracování Strategie pro Brno 2050. 2016. B. m.: Ústav výzkumu globální změny AV ČR.

CZECHGLOBE, ©2017: Vysvětlení pojmů (online) [cit. 2019.09.29], dostupné z <<http://www.opatreni-adaptace.cz/vysvetleni-pojmu/>>

ČERMÁKOVÁ, B. a MUŽÍKOVÁ, R., 2009: *Ozeleněné Střechy*. Garda Publishing, a. s., Praha, 248 s.

ČHMÚ, ©2007. *Atlas podnebí Česka: Climate atlas of Czechia*. 1. vyd. Praha: Český hydrometeorologický ústav, 255 s. ISBN 978-80-86690-26-1.

ČHMÚ, ©2021. *Meteorologické zprávy. Meteorological Bulletin*. 1(74–2021). ISSN 0026-1173.

DESSAI, S., 2003: Heat stress and mortality in Lisbon. Part II. An assessment of the potential impacts of climate change. *International Journal of Biometeorology*, 48, 37-44.

DUNCAN, J., M., A., BORUFF, B., SAUNDERS, A., SUN, Q., HURLEY, J., and AMATI, M. 2019. Turning down the heat: An enhanced understanding of the relationship between urban vegetation and surface temperature at the city scale. *Science of the Total Environment*, 656:118-128.

DUNNE, J.P. et al. 2015. *GFDL's ESM2 global coupled climate-carbon Earth system Models. Part II: Carbon system formation and baseline simulation characteristics.* (2013). In: TRNKA, Miroslav a kol. *Změna klimatu.* Brno: Mendelova univerzita, 184 s.

EPA, ©2008. U.S. Environmental Protection Agency. Reducing urban heat islands: Compendium of strategies. Draft. <https://www.epa.gov/heat-islands/heat-island-compendium>.

EUROPEAN COMMISSION, ©2015 Towards an EU Research and Innovation Policy Agenda for Nature-based Solutions & Re-naturing Cities. (Brussels, Belgium).

EUROPEAN COMMISSION, ©2019: Ecosystem services and Green Infrastructure (online) [cit.2019.09.28], dostupné z https://ec.europa.eu/environment/nature/ecosystems/index_en.htm

EPSTEIN, Y., MORAN, D. 2006: Thermal comfort and the heat stress indices. *Industrial Health* 44. 388–398.

GAFFIN, S., PARSHALL, L., O'KEEFFE, G., BRAMAN, D., BEATTIE, D., BERGHAGE, R, 2006. Energy balance modeling applied to a comparison of white and green roof cooling efficiency. Green roofs in the New York Metropolitan region research report. Retrieved March 19 2014 from <http://www.statisticstutors.com/articles/debrat-green-roofs.pdf#page=17>.

GEHL, Jan, 2012. *Města pro lidi.* Brno: Partnerství. ISBN 978-802-6020-806.

GIBAS, P., a kol., 2013: *Zahrádkové osady: stíny minulosti, nebo záblesky budoucnosti?* Fakulta humanitních studií UK, Praha.

GILL, S.E., 2006. *Climate Change and Urban Greenspace.* University of Manchester, Manchester.

GOODRIDGE, J., 1987. Population and temperature trends in California. *Proceedings of the Pacific Climate Workshop,* Pacific Grove CA, March 22–26.

GRANT G., ENGLEBACK L., NICHOLSON B., GEDGE D., FRITH M., et HARVEY P., 2003: *Green Roofs: their existing status and potential for conserving biodiversity in urban areas* *English Nature* (vol. 498) Peterborough, Anglie.

HEIDT, V. a M. NEEF. 2008. Benefits of Urban Green Space for Improving Urban Climate. In: CARREIRO, M., Y. SONG a J. WU (eds). *Ecology, planning, and management of urban forests: international perspectives*. New York: Springer, p. 84-96. ISBN 978-0-387-71424-0.

HEISLER, G.M. 1986a. Effects of individual trees on the solar radiation climate of small buildings. *Urban Ecology* 9:337–359.

HEISLER, G.M. 1986b. Energy savings with trees. *Journal of Arboriculture* 12(5):113–125.

HLAVÁČEK, P., Bulletin ČKA 2/2015 – Téma: zelená infrastruktura. Praha: Česká komora architektů, 2015. ISSN 1804-2066.

HUNT, A. and WATKISS, P., 2011. Climate change impacts and adaptation in cities: a review of the literature. *Climatic Change*, 104 (1), pp. 13-49.

CHEN S. S. a C.Y. JIM. 2008. The Urban Forest of Nanjing City: Key Characteristics and Management Assessment. In: CARREIRO, M., Y. SONG a J. WU (eds). *Ecology, planning, and management of urban forests: international perspectives*. New York: Springer, p. 259-278. ISBN 978-0-387- 71424-0.

IPCC, ©2014: *Climate Change: 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 pp.

IPCC, ©2021: *Climate Change: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Masson-Delmotte, V., P. Zhai, A. Pirani, S. L. Connors, C. Péan, S. Berger, N. Caud, Y. Chen, L. Goldfarb, M.I. Gomis, M. Huang, K. Leitzell, E. Lonnoy, J.B.R. Matthews, T.K. Maycock, T. Waterfield, O. Yelekçi, R. Yu, and B. Zhou (eds.)]. Cambridge University Press. In Press.

JONCKHEERE I., FLECK S., NACKAERTS K., MUYS B., COPPIN P., WEISS M., BARET F. 2004. Review of methods for in situ leaf area index determination. Part I. Theories, sensors and hemispherical photography. *Agricultural and Forest Meteorology*, 121: 19–35.

KABISHCH N., KORN H., STADLER J., BONN A., 2017: *Nature-based Solutions to Climate Change Adaptation in Urban Areas*. SpringerOpen, Switzerland, 358 p.

KADIR, M. A. A. a N. OTHMAN. 2012. Towards a Better Tomorrow: Street Trees and Their Values in Urban Areas. *Procedia - Social and Behavioral Sciences.*, vol. 35, p. 267-274. ISSN 1877-0428.

KATZSCHNER, Lutz. 2011. Urban climate and Urban green. In: *ELCA Research Workshop: Green City Europe - for a better life in European cities*. Bad Honnef, s. 22-24. Dostupné z: <http://die-gruenestadt.de/wp-content/uploads/2011/09/ELCA-Tagungsband-in-englischer-Sprache.pdf>.

KENDROVSKI, V., BACCINI, M. MARTINEZ, G. S., WOLF, T., PAUNOVIC, E., and MENNE, B. (2017). Quantifying Projected Heat Mortality Impacts under 21st-Century Warming Conditions for Selected European Countries. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2017, 14(7), 729; doi:10.3390.

KIRSHEN, P., KNEE, K. and RUTH, M. (2008) Climate change and coastal flooding in Metro Boston: impacts and adaptation strategies. *Climatic Change* 90, 453-473.

KLEČKA, M., KORBINÍ, J. 1973. Bonitace zemědělského půdního fondu ČSSR: Závěrečná zpráva. PrahaBratislava: VÚEZVŽ a VÚEPP. 51 s.

KNOWLTON, K., J., E. ROSENTHAL, C. HOGREFE, B. LYNN, S. GAFFIN, R. GOLDBERG, C. ROSENZWEIG, K. CIVEROLO, J. Y. KU, and P. L. KINNEY. 2004: Assessing ozone-related health impacts under a changing climate, *Environmental Health Perspectives* 112: 1557-1563.

KOLAŘÍK, Jaroslav. 2005. *Péče o dřeviny rostoucí mimo les*. 2. doplněné vydání. Vlašim: ČSOP Vlašim, 696 s. ISBN 80-863-2744-2.

KONARSKA, J., LINDBERG, F., LARSSON, A., et al., 2014. Transmissivity of solar radiation through crowns of single urban trees-application for outdoor thermal comfort modelling. *Theor. Appl. Climatol.* 117, 363e376.

KORHONEN, L. & HEIKKINEN, J. 2009. Automated analysis of in situ canopy images for the estimation of forest canopy cover *Forest Science* 55(4), s. 323-334.

KOSATSKY, T., 2005. The 2003 European heat waves. *Eurosurveillance* 10 (7–9), 148–149.

KOTAK, Y., GUL, M.S., MUNEER, T., IVANOVA, S. M. IVANOVA 2015 Investigating the Impact of Ground Albedo on the Performance of PV Systems. Conference Paper. Apr 2015 CIBSE Technical Symposium 2015.

KOVATS, R. S., EDWARDS, S.J., HAJAT, S., B. G. ARMSTRONG, B.G., EBI, K.L., MENNE, B., and THE COLLABORATING GROUP. (2004). The effect of temperature on food poisoning: a time-series analysis of salmonellosis in ten European countries. *Epidemiol. Infect.* 132, 443–453.

KREJSOVÁ, Jana. 2008. Působení hluku na zdraví člověka. *Littera scripta.*, roč. 1, č. 2, s. 183-189. ISSN 1802-503X.

KUBÍNOVÁ A PUKLOVÁ 2017 – státní zdravotní ústav. Dostupné z: <http://www.szu.cz/uploads/documents/szu/akce/materialy/10.10.2017/Kubinova.pdf>

KUMAR R., et KAUSHIK S.C., 2005: Performance evaluation of green roof and shading for thermal protection of buildings. *Building and Environment*, 40(11), 1505-1511.

KUTTLER, W., 2008. The urban climate – basic and applied aspects. In: *Urban Ecology – An International Perspective on the Interaction Between Humans and Nature*. Springer, New York, pp. 233–248 (Chapter 3).

LEUZINGER, S., VOGT, R., KÖRNER, C., 2010. Tree surface temperature in an urban environment. *Agriculture and Forest Meteorology* 150 (1), 56–62.

LI, H., HARVEY, J., T., and KAYAHANIAN, M., 2013. Corrigendum: The use of reflective and permeable pavement as a potential practice for heat island mitigation and stormwater management. *Environmental Research Letters*, 8:015023.

LIU K., et BASS B., 2005: Performance of Green Roof Systems. *National Research Council Canada*.

LÍBALOVÁ Tereza, SCHÖN Kateřina, ZUBROVÁ Tereza, 2019. Implementační plán 2020-2024 strategie adaptace na změnu klimatu v hlavním městě Praze. 2019. B. m.: Pracovní skupina pro adaptaci Komise RHMP pro udržitelnou energetiku a klima.

MANN, GUNTER, 2014. Dach und Fassadenbegrünungen: Schutz, Dämmung, Kühlung und Verbesserung des Kleinklimas. 25-29 2014. B.m.: Neue Landschaft.

MATZARAKIS, A., H. MAYER, and M.G. IZIOMON. 1999. Applications of a universal thermal index: Physiological equivalent temperature. *International Journal of Biometeorology* 43:76–84.

MATZARAKIS, A., RUTZ, F., MAYER, H., 2007. Modelling radiation fluxes in simple and complex environments – application of the RayMan model. *International Journal of Biometeorology* 51 (4), 323–334.

MAYER H, HOLST J, DOSTAL P, IMBERY F, SCHINDLER D. 2008. Human thermal comfort in summer within an urban street canyon in Central Europe. *Meteorol Z;* 17:241–250.

McPHERSON, E. G. a J. R. SIMPSON. 2003. Potential energy savings in buildings by an urban tree planting programme in California. *Urban Forestry & Urban Greening.*, vol. 2, iss. 2, p. 73-86. ISSN 1618-8667.

MEEHL, G.A., C. TEBALDI, 2004: More intense, more frequent, and longer lasting heat waves in the 21st century. – *Science* 305, 994–997.

MELICHAR, J., & KAPROVÁ, K. (2013). Revealing preferences of Prague's homebuyers toward greenery amenities: The empirical evidence of distance–size effect. *Landscape and Urban Planning*, 109(1), 56–66. <https://doi.org/10.1016/J.LANDURBPLAN.2012.09.003>.

MENNE B, BERTOLLINI R. 2005. Health and climate change: a call for action. *BMJ*. 2005;331(7528):1283- 4. doi: 10.1136/bmj.38684.496354.DE.

MIKO, L., Bulletin ČKA 2/2015 – Téma: zelená infrastruktura. Praha: Česká komora architektů, 2015. ISSN 1804-2066.

MILLS, G., 2006: Progress toward sustainable settlements: a role for urban climatology. – *Theor. Appl. Climatol.* 84, 69–76.

MOLDAN, B., 2015: Podmaněná planeta. Nakladatelství Karolinum, Praha, 512 s.

MONTEITH, J.L., and **M.H. UNSWORTH**. 1990. *Principles of Environmental Physics*. New York: Edward Arnold.

MYNEMI R.B., NEMANI R.R., RUNNING S.W. 1997. Estimation of global leaf area index and absorbed par using radiative transfer models. *IEEE Transactions on geoscience and remote sensing*, 35 (6): 1380–1393.

NIACHOU, A., PAPAKONSTANTINO, K., SANTAMOURIS, M., TSANGRASSOULIS, A., MIHALAKAKOU, G. 2001. Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance. *Energy and Buildings*, 33:719-729.

NOWAK, D. J. a M. G. HEISLER. 2010. *Air Quality Effects of Urban Trees and Parks - Executive Summary* [online]. Ashburn: National Recreation and Park Association. 44 p. [cit. 2013-01-30]. Dostupné z: http://www.nrpa.org/uploadedFiles/nrpa.org/Publications_and_Research/Research/Papers/Nowak-Heisler-Research-Paper.pdf

NURUZZAMAN Md., 2015: Urban Heat Island: Causes, Effects and Mitigation Measures – A Review. *International Journal of Environmental Monitoring and Analysis* 3, P. 67-73.

OKE T.R., 1982: The energetic basis of the urban heat island. *QUARTERLY JOURNAL OF THE ROYAL METEOROLOGICAL SOCIETY* 108, P. 1-24.

OKE, T.R., MILLS, G., CHRISTEN, A., VOOGT, J.A. 2017: *Urban Climates*. Cambridge University Press, USA. ISBN 978-1-107-42953-6.

PATZ, J.A., CAMPBELL-LENDRUM, D., HOLLOWAY, T., FOLEY, J.A. 2005. Impact of regional climate change on human health. *Nature* 438, pages310–317.

PARTRIDGE D., et CLARK, A., 2018: Urban green roofs provide habitat for migrating and breeding birds and their arthropod prey. *PLoS ONE*, 13, 1-23.

PAULEIT, S., and F. DUHME. 2000. GIS assessment of Munich's urban forest structure for urban planning. *Journal of Arboriculture* 26(3):133–141.

PERINI, Katia, Marc OTTELÉ a Rossana RAITERI. 2011. Greening the building envelope, façade greening and living wall systems. *Open Journal of Ecology.*, roč. 01, č. 01, s. 1-8. ISSN 2162-1985. DOI: 10.4236/oje.2011.11001. Dostupné z: <http://www.scirp.org/journal/PaperDownload.aspx?DOI=10.4236/oje.2011.11001>.

POKORNÝ, R., 2015, Stanovení indexu listové plochy v nesmíšených porostech lesních dřevin. Brno, Centrum výzkumu globální změny AV ČR, 38 s.

QIN, Y., HE, Y., HILLER, J., E., and MEI, G. 2018. A new water-retaining paver block for reducing runoff and cooling pavement. *Journal of Cleaner Production*, 199:948-956.

RAHMANN, M.A., ENNOS, A.R., 2016. What We Know and Don't Know About the Cooling Benefits of Urban Trees. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.5122.2645>.

RAHMANN, M.A., MOSER, A., GOLD, A., RÖTZER, T., PAULEIT, S., 2018. Vertical air temperature gradients under the shade of two contrasting urban tree species during different types of summer days. *Sci. Total Environ.* 633, 100–111. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.03.168>.

REVI, A., D. E. SATTERTHWAIT, F. ARAGÓN-DURAND, J. CORFEE-MORLOT, R.B.R. KIUNSI, M. PELLING, D. C. ROBERTS, and W. SOLECKI, 2014: Urban areas. In: *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Part A: Global and Sectoral Aspects. Contribution of Working Group II to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Field, C.B., V. R. Barros, D. J. Dokken, K.J. Mach, M.D. Mastrandrea, T. E. Bilir, M. Chatterjee, K.L. Ebi, Y. O. Estrada, R.C. Genova, B. Girma, E.S. Kissel, A.N. Levy, S. MacCracken, P.R. Mastrandrea, and L.L.White (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, pp. 535-612.

ROUSE, D. C. 2013. *Green infrastructure: a landscape approach*. Chicago: American Planning Association, s. 141-145. ISBN 978-1-67790-062-0.

ŘÍHOVÁ, J., Bulletin ČKA 2/2015 – Téma: zelená infrastruktura. Praha: Česká komora architektů, 2015. ISSN 1804-2066.

SCOTT, M., GUPTA, S., JÁUREQUI, E., NWAFOR, J., SATTERTHWAITE, D., WANASINGHE, Y.A.D.S., WILBANKS, T., YOSHINO, M. KELKAR, U., MORTSCH, L. and J. SKEA (2001) Human settlements, energy, and industry. *Climate Change 2001: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, J.J. McCarthy, O.F. Canziani, N.A. Leary, D.J. Dokken and K.S. White, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, 381-416.

SHASHUA-BAR, L., and M.E. HOFFMAN. 2000. Vegetation as a climatic component in the design of an urban street: An empirical model for predicting the cooling effect of urban green areas with trees. *Energy and Buildings* 31:221–235.

SCHOLBERG, J., McNEAL, B. L., JONES, J. W., BOOTE, K. J., STANLEY, C. D., OBREZA, T. A. 2000. Growth and canopy characteristics of field-grown tomato. *American society of agronomy*. 92 (1). p. 152 – 159.

STEWART, Amy, Simon BELL, Giovanni SANESI, Rik DE VREESE a Arne ARNBERGER. 2011. *The societal benefits of (peri)-urban forestry in Europe* [online]. European Comission, [cit. 2012-03-15]. Dostupné z: http://ec.europa.eu/agriculture/fore/events/28-01-2011/stewart_en.pdf

SOOKHAN, N., MARGOLIS, L., and MACLVOR, J., S. 2018. Inter-annual thermoregulation of extensive green roofs in warm and cool seasons: Plant selection matters. *Ecological Engineering*, 123:10-18.

SOUKUPOVÁ J., 2014: *ATMOSFÉRICKÉ PROCESY (základy meteorologie a klimatologie)*. Česká zemědělská univerzita v Praze, Praha, 204 s.

SUPUKA, Ján a kol. 1991. *Ekologické princípy tvorby a ochrany zelene*. Bratislava: Veda, 307 s. ISBN 80-224-0128-5.

SVENSSON, M.K., I. ELIASSON, 2002: Diurnal air temperatures in built-up areas in relation to urban planning. – *Landscape Urban Plan*. 61, 37–54.

ŠTEFL, L., 2014. *Návrh indikátorů kvality městského prostředí pro systémy zeleně sídel*. Disertační práce. Lednice: Mendelova univerzita v Brně, Zahradnická fakulta v Lednici. Vedoucí disertační práce ŠIMEK, P., 100s.

TAHA, H. and L.S. KALKSTEIN, S.C. SHERIDAN, and E. WONG. 2004. The Potential of Urban Environmental Controls in Alleviating Heat-wave Health Effects in Five US Regions. Presented at the American Meteorological Society Fifth Conference on Urban Environment. 25 August. See also NOAA. 1995. Natural Disaster Survey Report: July 1995 Heat Wave. Retrieved 20 June 2008 from <<http://www.nws.noaa.gov/om/assessments/pdfs/heat95.pdf>>.

TAKÁCS, Á., KISS, M., HOF, A., TANÁCS, E., GULYÁS, Á., KÁNTOR, N., 2016. Microclimate Modification by Urban Shade Trees – An Integrated Approach to Aid Ecosystem Service Based Decision-making. *Procedia Environ. Sci.* 32, 97–109. <https://doi.org/10.1016/j.proenv.2016.03.015>.

TONNEIJCK, A., BADE, T.: 2011. Modeling the benefits of urban forests for sustainable management. In: *ELCA Research Workshop: Green City Europe - for a better life in European cities*. Bad Honnef, s. 40-43.

TRÁVNÍČKOVÁ Hana, Martin VOKŘÁL, Roman BOHOVIC, Simona BOČKOVÁ, Jan CHYTRÝ, Damián HRUBAN a Mikuláš MUROŇ, 2021. Adaptační strategie na klimatickou změnu regionu Kuřimska. 2021. B. m.: ASITIS, s. r. o.

TUNSTALL S., TAPSELL S, GREEN C, FLOYD P, GEORGE C. 2006. The health effects of flooding: Social research results from England and Wales. *J Water Health.* 2006 Sep;4(3):365-80. doi: 10.2166/wh.2006.031.

TYRVÄINEN, L. et al. 2005. Benefits and Uses of Urban Forests and Trees. In: KONIJNENDIJK, C., K. NILSSON, T. B. RANDRUP a J. SCHIPPERIJN (Eds). *Urban Forests and Trees: A Reference Book*. Springer, p. 81- 114. ISBN 978-3-540-25126-2.

WILSON, E., F. NICOL, L. NANAYAKKARA, and A. UEBERJAHN-Trita. 2008. Public urban open space and human thermal comfort: The implications of alternative climate change and socio-economic scenarios. *Journal of Environmental Policy & Planning* 10(1):31–45.

YILDIRIM, S., and ÖZDEN. Ö. 2018. Positive effects of vegetation: Biodiversity and extensive green roofs for Mediterranean climate. *International Journal of Advanced and Applied Science*, 5(10):87- 92.

ZHAO, L., OPPENHEIMER, M., ZHU, Q., BALDWIN, J. W., EBI, K. L., BOU-ZEID, E., GUAN, K. and LIU, X. 2018 Interactions between urban heat islands and heat waves. *Environ. Res. Lett.* 13 (2018) 034003 <https://doi.org/10.1088/1748-9326/aa9f73>.