



Fakulta zemědělská
a technologická
Faculty of Agriculture
and Technology

Jihočeská univerzita
v Českých Budějovicích
University of South Bohemia
in České Budějovice

JIHOČESKÁ UNIVERZITA V ČESKÝCH BUDĚJOVICÍCH FAKULTA ZEMĚDĚLSKÁ A TECHNOLOGICKÁ

Katedra aplikované ekologie

Diplomová práce

Tepelný ostrov města – analýza stavu a možnosti zlepšení

Autor práce: Bc. Aneta Chvojková

Vedoucí práce: doc. Ing. Jakub Brom, Ph.D.

České Budějovice
2022

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem autorem této kvalifikační práce a že jsem ji vypracovala pouze s použitím pramenů a literatury uvedených v seznamu použitých zdrojů.

V Českých Budějovicích dne

.....

Bc. Aneta Chvojková

Abstrakt

Růst teploty povrchu v městském prostředí a tvorba tepelných ostrovů je jedním z nejvíce viditelných jevů zhoršujícího se klimatu obecně. Tento jev je neodmyslitelně spojený s rostoucí mírou urbanizace a s rozvojem měst. Tepelné ostrovy ve městech vznikají kumulací vysokých hodnot teploty povrchu a výrazně se odlišují od oblastí v jejich venkovském okolí. Teplota povrchu závisí na několika faktorech. Jedná se například o barvu, propustnost nebo materiál, jakým je povrch tvořen, dále o zastoupení vegetačního porostu v daném prostoru nebo rozvržení ulic. Velký vliv na teplotu v městském prostředí má také antropogenní činnost ve formě spalování fosilních paliv nebo dopravy. Jedním z nástrojů, jak co nejeftivněji zmírňovat nárůst teplot je především kvalitní vegetační porost a snaha o zadržování vody v městském prostředí a v krajině obecně.

Zájmovým územím této práce, která se zabývá výše popsanou problematikou, je město Kardašova Řečice, kde bylo vymezeno dvanáct zkoumaných lokalit. Pomocí analýzy satelitních dat byly identifikovány problémové oblasti z hlediska teploty povrchu a několik menších tepelných ostrovů. Výsledky analýzy spektrálních vegetačních indexů ukázaly vzájemnou korelaci mezi teplotou povrchu a zastoupením vegetace, což bylo analyzováno pomocí dat spektrálních vegetačních indexů NDVI a NDMI. Nejvyšší teploty a nejmenší povrchová vlhkost byla zjištěna na plochách s nejmenším zastoupením vegetace (zeleně). Na plochách, kde byl dostatek vegetačního krytu a vody pro evapotranspiraci byla situace opačná.

Jelikož byl prokázán významný pozitivní vliv vegetace na zmírňování růstu teploty povrchu v městském prostředí, byla navržena strategie na zlepšení podmínek pro život ve městě pomocí realizace vhodně zvolené zelené a zeleno-modré infrastruktury.

Klíčová slova: tepelný ostrov města; NDVI; NDMI; vegetace; teplota povrchu; dálkový průzkum Země

Abstract

Increasing surface temperature in urban environments along with the creation of heat islands is one of the most visible phenomena of a worsening climate in general. This phenomenon is inherently linked to the increasing rate of urbanisation and urban development. Heat islands in cities are formed by an accumulation of high surface temperatures and differ significantly from areas in their rural surroundings. The surface temperature depends on several factors. These include, including but not limited to, colour, permeability or material of the surface, as well as the presence of vegetation in the given area or the layout of the streets. Anthropogenic activity caused by fossil fuel combustion or transport also has a significant impact on the temperature in urban environments. One of the most efficient tools to reduce the rise in temperatures is in particular high-quality vegetation and water retention in urban environments and the landscape in general.

The area of interest of this work, which deals with the topic described above, is Kar-dašova Řečice with twelve determined locations. Using satellite data analysis, problematic areas in terms of surface temperature and several smaller heat islands were identified. The results of the spectral vegetation indices analysis showed a mutual correlation between the surface temperature and the presence of vegetation, which was analysed by NDVI and NDMI spectral vegetation indices data. The highest temperatures and the lowest surface humidity were found in areas with the least vegetation (greenery). The situation was the opposite in areas with sufficient vegetation cover and water for evapotranspiration.

Since vegetation has been proved to have a significant positive impact on reducing the surface temperature in urban environments, a strategy was suggested to improve the urban living conditions by implementing a suitably selected green and green-blue infrastructure.

Keywords: urban heat island; NDVI; NDMI; vegetation; surface temperature, remote sensing

Poděkování

Chtěla bych poděkovat panu doc. Ing. Jakubu Bromovi, Ph.D., za odborné vedení mé diplomové práce, za obohacující rady, návody na zpracování dat, trpělivost a ochotu, kterou mi věnoval v průběhu tvorby této diplomové práce.

Na závěr bych ráda poděkovala své rodině a blízkým za jejich podporu po dobu mého studia na Fakultě zemědělské a technologické Jihočeské univerzity v Českých Budějovicích.

Obsah

Úvod	8
1 Literární rešerše	9
1.1 Mikroklima měst	9
1.2 Tepelný ostrov města	10
1.2.1 Příčiny vzniku tepelného ostrova města	10
1.2.2 Snížení efektu tepelného ostrova města	12
1.2.3 Povrch v městském prostředí	12
1.3 Funkce vegetace v městském prostředí	13
1.3.1 Plánování městské zeleně	15
1.4 Využití dálkového průzkumu země při identifikaci tepelného ostrova města	17
2 Cíle práce a hypotézy	18
3 Metodika	19
3.1 Zájmové území	19
3.1.1 Klimatické poměry	19
3.1.2 Hydrologické poměry	19
3.2 Vymezení zkoumaných lokalit	20
3.3 Použitá data a software	23
3.4 Zpracování dat	23
3.4.1 Vegetační index NDVI	23
3.4.2 Vegetační index NDMI	24
3.4.3 Teplota povrchu	25
3.5 Statistické zpracování dat	26
4 Výsledky	27
4.1 Vyhodnocení snímků	27
4.1.1 Kategorie 1. - Nejhorší	30
4.1.2 Kategorie 2. - Nedostačující	34
4.1.3 Kategorie 3. - Dostačující	37
4.1.4 Kategorie 4. - Nejlepší	38
4.2 Identifikované tepelné ostrovy	39
5 Diskuze	41
5.1 Městská strategie	43
5.1.1 Zhodnocení dosavadních kroků	43

5.1.2	Návrh strategie	46
5.2	Strategie soukromých vlastníků	50
5.3	Dotační programy	50
	Závěr	53
	Seznam použitých zdrojů	54
	Seznam obrázků	61
	Seznam tabulek	63

Úvod

” *Jakákoli těžce vybojovaná vítězství nad klimatickou změnou v globálním měřítku by mohla být zničena účinky nekontrolovaných městských tepelných ostrovů.*

Richard S.J. Tol

(profesor ekonomie na univerzitě v Sussexu)

V posledních letech čím dál tím více začíná ve veřejném prostoru rezonovat téma klimatické změny a jejích následků. Vědecká obec však tuto problematiku zkoumá již desítky let a přináší celou řadu paradigmat s ní spojených. Obecně platí, že veřejnost se o dané téma začne více zajímat až v momentě, kdy s ním začne přicházet do výraznějšího kontaktu. Stejně tak to platí o rostoucí teplotě, která v posledních letech v letních měsících sužuje téměř všechna města. S klimatickou změnou je velmi úzce propojený fenomén tepelných ostrovů identifikovatelných v městském prostředí (Hakner, 2017), který značně ovlivňuje život obyvatel zde žijících (Shahmohamadi et al., 2011). Efekt výskytu teplotních extrémů ve městech se dostává do popředí veřejné diskuze především kvůli rostoucí míře urbanizace, jelikož tyto dva faktory spolu velmi úzce korelují (Landsberg, 1981). Urbanizace s sebou přináší tlak na změny ve využití území a zabírání přírodních ploch za účelem rozšiřování měst, což se dříve nebo později projevuje zásadní změnou mikroklimatu měst (Toparlar et al., 2017). Městské mikroklima má nepopíratelný vliv na kvalitu života obyvatel měst nebo na energetickou náročnost měst a proto je žádoucí zabývat se jeho projevy a hledat možná řešení pro zmírnění efektu tepelných ostrovů, jelikož ty se více či méně projevují ve všech městech na Zemi (Dorer et al., 2013; Erell et al., 2012; Landsberg, 1981). Existuje celá řada přístupů a strategií v boji proti rozrůstání tepelných ostrovů a zlepšování městského mikroklimatu. Mezi nejúčinnější opatření patří ozeleňování měst a snaha o udržení vody ve městech - například Aniello et al. (1995); Kravčík et al. (2007); Pokorný (2009) atd.

Cílem této práce je analyzovat v rámci výše zmíněné problematiky tepelné ostrovy ve městě Kardašova Řečice pomocí metod dálkového průzkumu Země. Cílem je identifikovat v Kardašově Řečici oblasti, které by mohly být potencionálně charakterizovány jako tepelné ostrovy, odhalit příčiny tohoto stavu a navrhnout taková opatření, která by mohla snížit jejich intenzitu, čímž by se měla zlepšit životní úroveň obyvatel města. Pokud se prokáže pozitivní vliv zeleně na městské mikroklima, je cílem této práce také zlepšit povědomí občanů o důležitosti jejího vysazování a péče o stávající zeleň ve městě.

1 Literární rešerše

1.1 Mikroklima měst

Pojmem mikroklima je označováno podnebí oblastí o velikosti do 1 km². Jedná se o velmi malé oblasti, které jsou většinou charakteristické aktivním homogenním povrchem a mají odlišné vlastnosti než jejich okolí (Cmes.cz, 2021). Právě aktivní povrch nejčastěji utváří dané mikroklima, a to díky procesu přeměny zářivé energie na tepelnou energii (Hesslerová et al., 2013; Středová et al., 2011).

Městské mikroklima neboli urban microclimate (UMC) se velmi výrazně odlišuje od klima v sousedních venkovských oblastech, a to především kvůli efektu tepelného ostrova měst (UHI), který zvyšuje teplotu v městských oblastech (Dorer et al., 2013). Nejčastěji se UMC projevuje právě tepelným ostrovem města, což bylo zaznamenáno ve většině velkých měst napříč celým světem. Efekt UHI lze v rámci UMC pozorovat především ve specifických lokalitách, které jsou svým charakterem náchylné k akumulaci tepelné energie. Jedná se o rozlehlejší plochy s tmavým, nepropustným povrchem jako jsou například asfaltová parkoviště a komunikace, průmyslové areály a podobně. Tyto plochy lze označit jako „micro urban heat islands“ (MUHI) (Středová et al., 2011).

Studium mikroklimatu měst získává čím dál tím větší pozornost především kvůli stále rychlejšímu procesům urbanizace a světové organizace (například OSN) se na tuto problematiku snaží zacílit v rámci politiky udržitelného rozvoje a udržet „města a lidská sídla klimaticky odolná a udržitelná“ (Toparlar et al., 2017).

Mikroklima v městském prostředí značně modifikuje sluneční záření, teplota vzduchu a půdy, srážky, vlhkost vzduchu a vítr (Aussenac, 2000). Dále také solární záření, odrazivost záření, povrchové teploty budov (Dorer et al., 2013), charakter aktivního povrchu, znečištění atmosféry nebo produkce antropogenního tepla (Středová et al., 2011). Mikroklima ve městě má výrazný vliv na kvalitu života jeho obyvatel a mělo by být nezanebatelnou součástí při územním plánování (Erell et al., 2012). Znalost problematiky UMC je tedy důležitým vstupním předpokladem pro architekty a projektanty při navrhování a plánování městské zástavby (Toparlar et al., 2017).

Mikroklima ve městě má vliv na energetickou náročnost zde stojících budov, a to především kvůli efektu UHI. Jedná se o velkou spotřebu energie na ochlazení těchto budov pomocí klimatizace (Dorer et al., 2013). Mikroklima v určité oblasti ve městě lze ovlivnit už při prvotním návrhu budov a jejich okolí, například instalací solárního vytápění budov nebo vhodným umístěním stínících prvků. Těmi mohou být jak antropogenní prvky ve formě látkového stínění nebo pergol, tak i vegetační ve formě stromů a keřů. Dobrý ochlazující efekt mají také instalace vodních zařízení jako jsou fontány, vodní koryta nebo rozstřikovače (Erell et al., 2012). Dalším možným řešením je vhodný geometrický návrh staveb. Například tak, že jižní fasády jsou realizované jako adiabatické, tedy tepelně

izolované (Dorer et al., 2013). Významný vliv na mikroklima ve městě má zeleň, která je schopna pozitivně ovlivňovat jeho charakter (Pokorný, 2009). Jedná se o efekt stínění, ochlazování teploty povrchu i vzduchu pomocí výparu. Zeleň má také vliv na vlhkost a kvalitu vzduchu ve městě (Vorel et al., 2006).

1.2 Tepelný ostrov města

Efekt tepelného ostrova města je zkoumán již velmi dlouhou dobu. Řeší se nejen důvody jeho vzniku, ale i eliminace následků jeho působení. Tepelné ostrovy města, neboli UHI (urban heat islands), lze popsat jako oblasti ve městech, které mají vyšší teploty povrchu než oblasti ve venkovském prostředí (Aniello et al., 1995). Ve městech dochází díky specifickým faktorům k vyšší tepelné absorpci slunečního záření a teploty jsou zde vyšší než v jejich příměstském a venkovském okolí (Tiwari et al., 2021). UHI lze popsat také jako efekt, kdy je během dne nahromaděné teplo v městském prostředí (například budovy nebo silnice) v noci znovu vyzařováno. Tím vznikají vysoké teplotní rozdíly mezi městskými a venkovskými oblastmi (Shahmohamadi et al., 2011). UHI se nejvíce projevuje v noci, za klidného a jasného počasí, kdy jsou patrné největší rozdíly v radiačním ochlazování městských a venkovských oblastí (Voogt a Oke, 2003). Podle Oke (2006) lze charakterizovat dva druhy tepelných ostrovů v závislosti na jejich formování a umístění – atmosférický (Atmospheric Urban Heat Island – AUHI) a povrchový (Surface Urban Heat Island – SUHI), při kterém dochází v aktivním povrchu k přeměně zářivé energie na tepelnou.

Velký vliv na intenzitu UHI efektu má rostoucí míra urbanizace. Při tomto procesu, kdy dochází k přesunu obyvatelstva do měst, a tím i k rozšiřování měst, jsou přírodní oblasti nahrazovány městskou infrastrukturou (Johnston, 2000; Tiwari et al., 2021). UHI je přítomen v každém městě a je nejvýraznějším klimatickým projevem urbanizace (Landsberg, 1981).

Mnoho vědeckých prací odhaluje dopad působení UHI na kvalitu života ve městě a zdravotní rizika jeho obyvatel s tím spojená. Teplota vzduchu ve městech neustále roste, a proto je potřeba hledat strategie na snížení UHI efektu. Vliv intenzity UHI může mít za následek rozdíl teplot mezi venkovským a městským prostředím dosahující až 10 °C, průměrně je dnes většina měst asi o 2 °C teplejší než jejich venkovské okolí (Shahmohamadi et al., 2011).

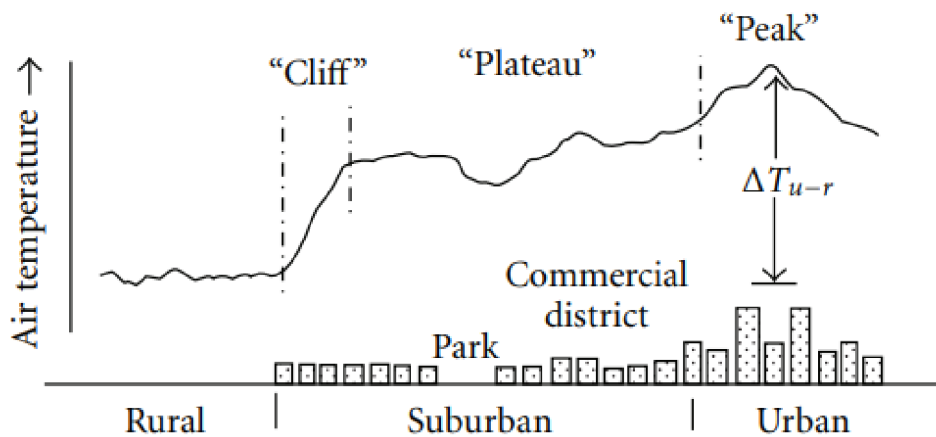
1.2.1 Příčiny vzniku tepelného ostrova města

Jako hlavní příčiny vzniku UHI lze uvést zvýšenou hustotu zástavby, rozvržení ulic a tím sníženou schopnost cirkulace vzduchu, malé zastoupení zeleně, což inhibuje proces evapotranspirace, a také výrazné zdroje tepla antropogenního původu (například klimatizace budov, dopravní provoz atd) (Tiwari et al., 2021). Přítomnost a kvalita vegetace hrají důležitou roli při identifikaci problémového povrchu ve vztahu k příčině vzniku UHI. Prostředí s povrchem bez vegetace nebo bez vegetace funkční, se chová velmi podobně jako prostředí se zpevněným povrchem (například asfalt) a vykazuje vysoké denní teplotní rozdíly. Oproti tomu je prostředí s hustým vegetačním pokryvem schopné dynamičtěji zvládat nárůst teploty, tedy bez větších teplotních rozdílů (Hesslerová et al., 2013). Původcem UHI efektu jsou také antropogenní zásahy do struktury povrchu, spotřeba energie a produkce odpadního tepla, snížená funkce odpařování, zvýšená akumulace tepla, vyšší čistě

záření a snížená konvekce. Růst teploty vzduchu ve městech jde mimo jiné ruku v ruce s růstem potřeby uměle ochlazovat městské budovy. V blízké budoucnosti bude potřeba se s tímto negativním trendem vypořádat pomocí strategie jak na snížení UHI efektu, tak i na snížení spotřeby energie ve městech. Vznik tepelného ostrova města lze podle několika faktorů rozdělit do dvou kategorií a) meteorologický faktor a b) faktor struktury města. Do kategorie meteorologických faktorů řadíme například oblačnost, rychlost větru nebo vlhkost. Faktory struktury města jsou hydroizolace povrchu, tepelné vlastnosti budov nebo geometrie povrchu a zástavby. Obě kategorie faktorů jsou vzájemně propojeny tím, že například antropogenní činnost jako spalování fosilních paliv, automobilová doprava a podobně vedou ke zhoršení atmosférických podmínek nebo tím, že geometrie městské zástavby značně ovlivňuje možnosti proudění vzduchu ve městě. Významným faktorem vzniku UHI efektu jsou také nepropustnost a vodotěsnost stavebních materiálů vedoucí k absenci možného rozptýlení slunečního tepla pomocí vypařování a tmavá barva stavebních materiálů v kombinaci s geometrickou vlastností městských ulic vedoucí k vysoké absorpci krátkovlnného slunečního záření (Shahmohamadi et al., 2011).

Výše popsanou problematiku zkoumá celá řada vědeckých prací a obecně lze říci, že jako nejteplejší se ve městech ukazují oblasti velkých skladových čtvrtí, prvky dopravní infrastruktury jako jsou parkoviště a silnice s asfaltovým povrchem a obytné komplexy. U obytných čtvrtí lze vidět zajímavý rozdíl mezi starší a novější obytnou zástavbou. Nová zástavba je v porovnání s tou starší výrazně teplejší, především kvůli absenci stromů v jejím blízkém okolí. Naopak jako nejchladnější vycházejí oblasti s hustým porostem stromů, tedy parky a blízké okolí starších obytných čtvrtí. Tyto oblasti bývají například až o 5-11 °C chladnější než vymezené oblasti UHI (Aniello et al., 1995). Růst teploty v městském prostředí může být také následkem procesu odvodňování měst a s ním spojeným poklesem hladiny podzemní vody (Kravčík et al., 2007). Tento proces také vede k uvolňování zjevného tepla do atmosféry (Pokorný, 2009). Městské prostředí ve svém centru vykazuje mnoho rozlehlých ploch s nepropustným povrchem (chodníky, silnice, parkoviště, budovy obchodních center nebo průmyslové výroby a podobně), někdy až o 50 % více než v jeho okrajových částech. Ideální podmínky nevykazují ani menší zelené plochy ve městech (například travnaté povrchy v parku), jejichž povrch bývá často „upěchovaný“, což snižuje rychlost absorpce vodních srážek (Perkins, 2004). Voda je z měst odváděna pomocí podzemní kanalizace, do které jsou zaústěny například střešní okapy zachycující dešťovou vodu nebo užitková i pitná voda z domácností. Tato voda pak chybí v městském prostředí pro potřeby zásobování vegetace ale i ochlazování klimatu pomocí výparu. Odvodňování ve spojení s dalšími faktory jako je například odlesňování tak přispívají k výrazným změnám mikroklimatu měst (Kravčík et al., 2007). Úbytek vody a její nedostatek v urbanizované krajině následně vede ke vzniku fenoménu městských tepelných ostrovů (Perkins, 2004).

Městské prostředí při zkoumání efektu UHI můžeme připodobnit efektu „náhorní plošiny“, kdy hranice venkovské a městské oblasti vykazují velké teplotní rozdíly, směrem k centru města teplota vzduchu postupně roste, a nakonec v samotném centru přechází v teplotní vrchol. Tuto jednotnost „rozbíjí“ vliv lokalit s rozdílným charakterem. Ochlazení přinášejí oblasti s větším zastoupením městské zeleně jako jsou parky nebo vodní plochy a otevřené plochy. Naopak oteplení přinášejí oblasti průmyslové zástavby a husté obytné zástavby (Avisar, 1996; Shahmohamadi et al., 2011) – viz Obrázek 3.1. Městské tepelné ostrovy mohou pozvolna přeměňovat proudění oblačnosti a větru nad svým i okolním územím. To se může například projevat tím, že v létě vytlačují dešťové srážky do chladnějších oblastí (Kravčík et al., 2007).



Obrázek 1.1: Zobecněný průřez typického UHI (Shahmohamadi et al., 2011)

1.2.2 Snížení efektu tepelného ostrova města

Existuje mnoho strategií a návrhů, jak eliminovat vliv UHI. Záleží však na jejich správné a kvalitní implementaci. Jedním z nástrojů, jak efektivně čelit klimatickým změnám, je obnova funkční ekologické krajiny, tedy krajiny bohaté na vodu a vegetaci. Důležité je začít s touto obnovou již na místní úrovni. Při dobré implementaci na větších územích, můžeme v budoucnu pozorovat i globální klimatické změny (Kravčík et al., 2007; Pokorný, 2009). V rámci strategie pro eliminaci efektu tepelných ostrovů ve městech se nejčastěji mluví o tzv. zelené a modré infrastruktuře (Wu et al., 2019).

1.2.3 Povrch v městském prostředí

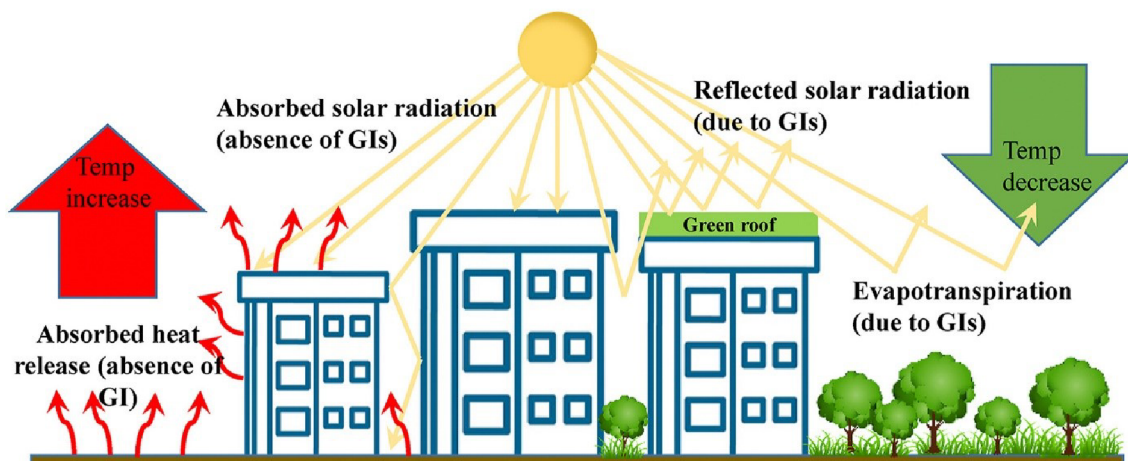
Vliv UHI lze snížit úpravou vlastností povrchu ve městech, tedy použitím vhodnějších materiálů na vnější konstrukce budov, chodníků nebo silnic. Jedná se o materiály se světlejším povrchem, které mají schopnost udržet se chladnější. Takové budovy a povrchy s nižší teplotou pak mohou pozitivně ovlivnit i teplotu okolního vzduchu, jelikož povrchy s tmavší barvou absorbují sluneční záření více než ty světlejší s vyšší hodnotou albeda. Například při realizaci bílého chodníku namísto tmavého asfaltového, může být rozdíl v teplotě těchto dvou materiálů až 18 °C (Shahmohamadi et al., 2011). Poměrně dobré výsledky vykazují studie také u střech s bílým povrchem, který má vysokou odrazivost. Povrchová teplota bílých střech je průměrně nižší než u tmavých střech (Susca et al., 2011). Dalším podpůrným řešením pro zmírnění efektu UHI jsou realizace zelených střech a fasád u budov (Pokorný et al., 2018). Zajímavé výsledky vykazují také tzv. modrá infrastruktura (blue infrastructure) - BI. Jedná se o uměle vytvořené i přírodní povrchové vodní útvary v městském prostředí. Například řeky, potoky, vodní kanály, fontány, jezera, nádrže nebo rybníky. Vodní povrch disponuje vysokou emisivitou a dokáže efektivně přeměňovat krátkovlnné záření na výpar a tím i ochlazovat zemský povrch. Záleží však na velikosti či tvaru vodního útvaru (Wu et al., 2019). Některé vědecké přístupy naznačují důležitost nových řešení při terénních úpravách a architektonice v rámci snahy o udržení vody ve městech. Inovace v těchto odvětvích by mohly zmírnit negativní účinky, které

odvodňování měst přináší, a zpomalit tak rozrůstání UHI (Perkins, 2004; Pokorný et al., 2018).

1.3 Funkce vegetace v městském prostředí

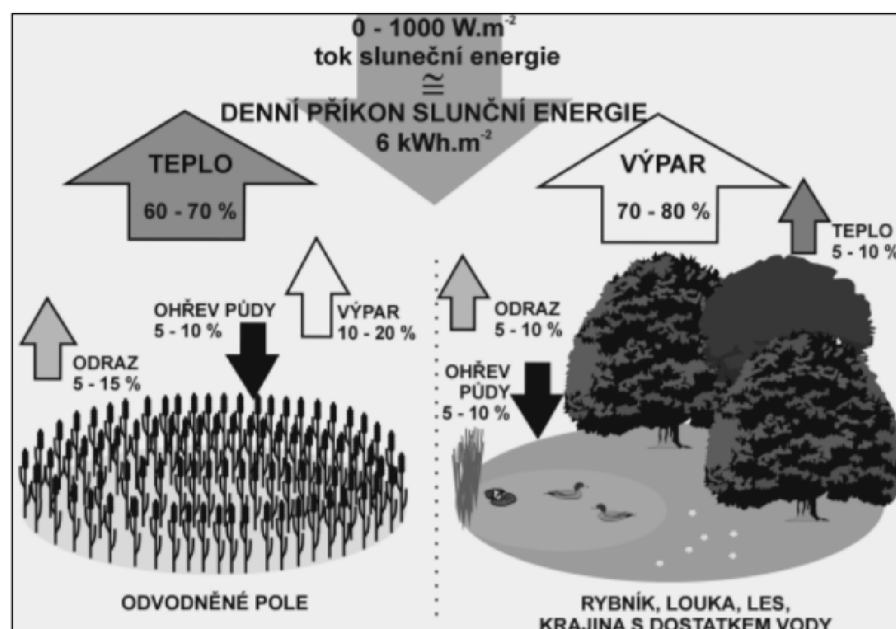
Za klíčovou strategii při snaze o zmírnění efektu UHI, je realizace kvalitnějšího vegetačního pokrytí ve městech, především vyšší zastoupení stromů v problémových oblastech (Aniello et al., 1995; Pokorný et al., 2018). Městská vegetace zastoupená v potřebném množství dokáže vytvořit ve městě podmínky, které jsou velmi podobné jeho venkovskému okolí (Avisar, 1996; Shahmohamadi et al., 2011). Vegetace má velmi silnou schopnost potlačovat vysoké teploty povrchu, i proto je důležité soustředit se na její kvalitu, uchování a obnovu (Pokorný, 2009; Pokorný a Hesslerová, 2011). Existuje výše zmíněná strategie tzv. zelené infrastruktury (green infrastructure) – GI, pomocí které by se mohly zmírňovat dopady UHI - viz Obrázek 1.2. GI vykazuje podobné účinky jako BI, její efekt je však více vědecky prozkoumaný (Wu et al., 2019). Někdy se také hovoří o tzv. zeleno-modré infrastruktuře, což je propojený a flexibilní systém vegetace a vody (Berg et al., 2013). Příkladem GI, které by mohly pomoci s eliminací tepelných ostrovů měst jsou stromy, zelené střechy a stěny a větší zelené plochy (parky, zahrady). Větší zastoupení zelené infrastruktury by mělo vést k tomu, že se dané lokality více ochladí, zaznamená se stínový efekt stromů a zvýší se evapotranspirace z vegetace. Rychlost evapotranspirace však může být rozdílná v závislosti na charakteristice GI (drsnot povrchu, rychlost odpařování a povrchové zastínění). Jako nejvhodnější GI pro zmírnění vlivů UHI se jeví stromy, které mimo jiné disponují funkcí zastínění povrchu a mají vyšší schopnost evapotranspirace (Pokorný et al., 2018; Tiwari et al., 2021). Proces evapotranspirace lze popsat jako výpar vody porostem. Je to hlavní děj, který probíhá ve vegetaci při přeměně sluneční energie a má velký vliv na vyrovnávání teploty v krajině (Pokorný, 2009; Pokorný a Hesslerová, 2011). Jelikož v hustě zabydlených městech je těžké najít vhodné volné plochy k ozelenění, jednou z možností je instalace tzv. zelených střech namísto tradičních tmavých. Střechy průměrně tvoří asi 1/4 městského povrchu a jejich přeměna na zelené střechy (případně bílé) by se mohla pozitivně projevit při snaze o eliminaci působení UHI (Susca et al., 2011). Zelené střechy mohou fungovat jako doplňující zmírňující opatření, pokud budou pokrývat větší oblasti (Tiwari et al., 2021).

Role rostlin při přeměně sluneční energie je velmi významná – například albedo (poměr odraženého záření od povrchu k celkovému záření, které dopadne na zemský povrch) u rostlin funguje tak, že vegetace odráží 5–15 % krátkovlnného slunečního záření (Kravčík et al., 2007). Při slunečném dni se z průměrného stromu odpaří 1460 kg vody a takový strom na toto množství odpařené vody spotřebuje asi 860 MJ energie, což je stejně jako spotřeba pěti průměrných klimatizačních zařízení (Santamouris et al., 2001). Pokud se má voda přeměnit na vodní páru, snižovat teplotu povrchu a vyrovnávat teplotní rozdíly, je nezbytné, aby byla voda v potřebném množství v krajině zastoupena (ve formě vodních ploch, ve vegetaci, v půdě). Pokud není, většinová část slunečního záření se přetvoří na energii tepelnou a prostředí se rychle ohřívá (Hesslerová et al., 2013). Krajina, která je dostatečně zásobena vodou, je schopná až 80 % slunečního záření převést na vodní výpar. Jak je popsáno výše, je důležité, jak dostatečně je vegetace (například strom) zásobena vodou - viz Obrázek 1.3. Pokud je strom zásobený dobře, je schopný v našem prostředí vypařit až 400 l vody denně. Vegetace s dostatečnou zásobou vody účinně ochlazuje



Obrázek 1.2: Analýza vlivu vegetačního zastoupení na utváření UHI. Vlevo oblast s absencí zelené infrastruktury (absence of GIs), vpravo oblast se zelenou infrastrukturou (due to GIs) (Tiwari et al., 2021)

teplotu povrchu a také vykazuje větší teplotní konzistenci v průběhu dne. Například stromy vycházejí z porovnání s klimatizačními zařízeními jako mnohem výkonnější, ekologičtější a celkově efektivnější ochlazující mechanismus. Rozdíl naměřených teplot při konkrétním zkoumání ve městě Třeboň byl až 13 °C ve prospěch měření v parku, kde vegetační kryt ochlazuje místní prostředí právě pomocí vodního výparu (Hesslerová et al., 2013; Kravčík et al., 2007; Pokorný, 2009).



Obrázek 1.3: Rozdíl v přeměně sluneční energie mezi suchým, odvodněným povrchem a porostem s dostatečnou zásobou vody (Pokorný et al., 2018)

1.3.1 Plánování městské zeleně

Pro účely snižování efektu UHI lze použít existující přístupy a strategie plánování městské zeleně. Pro účely plánování městské zeleně můžeme plochy zeleně definovat jako *"vymezené části území se souborem prvků přirozeně vzniklých nebo záměrně založených a uspořádaných podle zahradně architektonických a krajinářských zásad"* (Vorel et al., 2006). Z kategorie sídelní zeleně je pro eliminaci UHI zásadní městská zeleň, která například dle výzkumu Pokorný et al. (2018), má nepopíratelnou chladicí funkci, ovlivňuje proudění větru, teplotu povrchu i vzduchu a vlhkost v městském prostředí (Avisar, 1996). Výraznější, ale pečlivě naplánované zastoupení vegetace v podmínkách problémového městského prostředí, může také přispět ke zmírňování dopadů antropogenních vlivů při rozrůstání měst, a tím i tedy klimatických změn (Avisar, 1996; Hesslerová et al., 2013). Zeleň ve městech nabývá několika různých podob. Může mít formu parků (s travnatým porostem, stromy a keři nebo kombinací obou prvků), stromových alejí, zahrad, menších lesíků nebo menších pásů (záhonů) s travnatým, keřovým a květinovým porostem (Šerá, 2015). Je však nezbytné podotknout, že zeleň ve formě travních, květinových nebo keřových porostů nedosahuje svou chladicí schopností takové kvality, jako vzrostlé stromy. Důvodem je především schopnost stromů ve větší míře vypařovat vodu (Pokorný et al., 2018). Dalším příkladem může být rozdíl mezi posekaným travním porostem a lesním porostem, jak ho analyzoval Brom et al. (2009). Posekané louky vykazovaly mnohem vyšší teplotu povrchu a odrazivost tepla než lesní prostředí, které se navíc vyznačovalo nejvyšší vlhkostí. Rozdíl mezi trávnickovým a stromovým porostem popisuje Pokorný et al. (2018) několika faktory:

- kořenový systém stromů dosahuje větší hloubky a je schopný zadržet větší zásoby vody,
- stromy jsou chladnější, kulminují uvolněnou vodní páru a zvyšují vlhkost vzduchu, jsou schopné recyklovat vodu pomocí evapotranspirace,
- půda v okolí stromů má vysokou schopnost zachytávat vodu, jelikož drobné kořeny a vlákna dobře pohlcují a zadržují vodu.

Výše popsané podoby městské zeleně lze rozdělit do několika kategorií podle jejich blízkosti k přírodě a vlivu člověka na jejich existenci (Šerá, 2015). Jako zeleň bližší přírodě můžeme označit například menší lesíky uvnitř měst, následované parky. Naopak jako zeleň více blízkou člověku můžeme označit například záhony a aleje, které jsou přímo vysazeny a obhospodařovány člověkem. Sídelní zeleň obecně však nelze považovat za přirozenou přírodu, nýbrž jako uměle vytvořenou přírodu v městském prostředí. Zeleň v městském prostředí můžeme podle Vorel et al. (2006) rozdělit do třech kategorií :

- plochy (parky, lesíky, historické zahrady, zahrady obytných domů a podobně),
- linie (stromořadí v ulicích, zeleň podél vodních toků nebo dopravní infrastruktury),
- body (solitérní stromy u staveb nebo u míst významných událostí, menší skupiny stromů na veřejných prostranstvích).

Hlavním úkolem městské zeleně je, mimo jiné, zlepšovat životní prostředí sídel a poskytovat možnosti rekreace. Množství zeleně je pak také jedním z faktorů hodnoty životního

prostředí ve městech. Obecným pravidlem je, že kvantitativněji i kvalitativněji je zeleň zastoupena především v okrajových částech sídel. Centra měst s hustou zástavbou a rozlehlými plochami dopravní infrastruktury a veřejných prostranství mají zeleně mnohem méně, v některých případech může zcela chybět. Jedním z důvodů je například nedostatek prostoru pro její výsadbu nebo tlak na změnu využití ploch zeleně na plochy určené k zástavbě (Vorel et al., 2006).

Existuje několik hrozeb, které ovlivňují množství i kvalitu (zdraví) městské zeleně. Jak uvádí Pokorný et al. (2018), optimální určitě není přeměna ploch se vzrostlými stromy plochami se zahradnický udržovaným trávníkem, okrasnými keři nebo květinami. V případě realizace takového druhu městské zeleně nelze uvažovat o jejím větším vlivu na zmírnění efektu UHI. Zeleň ve městech se také například potýká s problémy ohledně jejího vlastnictví. Obecní úřady často pečují pouze o zeleň, která je v jejich vlastnictví – tedy stojí na obecním pozemku nebo zeleň, jež pomohly financovat (Pondělíček, 2012). Pozorovat můžeme také snahu o eliminaci ploch zahrádkářských kolonií nebo změnu jejich využití na plochy pro trvalé bydlení. Ústav územního rozvoje (Vorel et al., 2006) nastiňuje několik možností, jak zlepšit stav této problematiky. Jedná se například o:

- revitalizaci industriálních a jiných městských brownfieldů na plochy zeleně,
- vytváření přírodních koridorů propojujících okrajové a centrální části měst (například pomocí linií cyklostezek, naučných stezek, alejí),
- ochranu stávající zeleně,
- uplatňování ekologických a krajinářských zásad v územním plánování.

Výběr vhodných druhů zeleně a jejich správné umístění do městského prostoru a následná péče o ně může výrazně napomoci při zmírňování efektu oteplování měst. Vegetaci je zapotřebí zajistit především dostatek prostoru a vláhy. (Vorel et al., 2006) uvádí několik opatření, která by se měla při výsadbě stromů ve městech dodržovat:

- vhodné umístění stromu (z hlediska stromu i obyvatel města),
- vhodný druh stromu,
- dostatečný prostor pro kořeny stromu (přibližně 1/10 objemu koruny, hloubka až 1 m pod zemí),
- dostatek vody (lze řešit pravidelným zalíváním, instalací podzemních lapačů vody a podobně)
- kvalita půdy (odvzdušňování a ochrana proti znečištění nebezpečnými látkami)
- ochrana proti poškozování stromu (zejména od projíždějících aut nebo lidí či stavební činnosti)
- kvalifikovaná údržba (prořezávání, zalévání, ochrana proti škůdcům a podobně).

1.4 Využití dálkového průzkumu země při identifikaci tepelného ostrova města

Technologie dálkového průzkumu Země (DPZ) a jím získaná termální data se stala důležitým zdrojem informací při studiu efektu tepelného ostrova města. Teplota zemského povrchu se mění v závislosti na energetické povrchové bilanci a toto lze sledovat pomocí tepelného dálkového snímání teplot zemského povrchu (Voogt a Oke, 2003). Pro odhalení UHI je potřeba identifikovat oblasti s rozdílnou charakteristikou aktivního povrchu pomocí povrchové teploty země při analýze družicových snímků. Nejčastěji jsou využívána data z družice Landsat 8, která poskytuje kvalitní prostorové rozlišení a tím i konkrétnější informace při lokalizaci UHI (Sidiqui et al., 2016). UHI lze odhalit v oblastech se zvýšenou akumulací tepla v městském prostředí (Zemek, 2014). Z dat získaných z družice Landsat 8 můžeme vygenerovat informace nejen o teplotě povrchu, ale i o spektrálních vegetačních indexech - tedy například o vlhkosti a kvalitě vegetace (Pokorný et al., 2018). Mnoho vědeckých prací, které se zaměřují na studium efektu UHI, hovoří o korelaci mezi rozšiřováním ploch s vegetací a snižováním teploty ve městech (Susca et al., 2011).

Pomocí dat z družice Landsat, konkrétně tepelného infračerveného záření a spektrálního vegetačního indexu NDVI, monitorovali UHI například Zhang et al. (2012) v čínském Wuhanu, když zkoumali vztah mezi vegetačním indexem a povrchovou radiační teplotou a analyzovali prostorové rozložení tepelného ostrova. Jejich studie přinesla výsledky, které říkají, že NDVI a povrchová radiační teplota má obrácenou korelaci. NDVI je výrazně nižší v městských centrech než v okrajových oblastech města, zatímco povrchová radiační teplota je v centru mnohem vyšší než v okrajových oblastech. Důvodem mimo jiné bylo právě i to, že tam, kde je pokryvnost vegetace vyšší, je povrchová teplota nižší.

Vzájemně propojený vztah mezi teplotou povrchu a indexem NDVI při zkoumání efektu UHI popsal také Weng et al. (2004). Výrazně vyšší teploty povrchu byly pozorovány v průmyslových, komerčních a obytných oblastech s nepropustnými povrchy (asfalt, beton, kámen, atd.) - tedy tam, kde je jasná absence přírodního prostředí s kvalitním vegetačním pokrytím, což se projevilo v nízkých hodnotách NDVI indexu. Naopak v oblastech s hustějším vegetačním krytem hodnota NDVI indexu roste a povrchová teplota nabývá nižších hodnot (například les, pastviny s travním porostem, atd.). Lze tedy hovořit i o významné negativní korelaci mezi hodnotou NDVI a efektem UHI. Oblasti, které mají nízké hodnoty NDVI vykazují vyšší náchylnost ke vzniku UHI. Jedná se o zastavěné městské oblasti s minimálním zastoupením vegetace, kde dochází k větší akumulaci tepla (Grover a Singh, 2015). Významnou pozitivní roli při zmírňování efektu UHI hrají dostatek vody a hustá vegetace (Zhang et al., 2012).

Další vědecká práce, ve které autoři zkoumali závislost teploty povrchu a zastoupení vegetace s výsledkem opačného trendu je například článek Brom et al. (2012) (pomocí spektrálních vegetačních indexů NDVI a NDMI) nebo Hesslerová et al. (2013), Marvalová (2007) a Avissar (1996). Obecně tedy platí, že teplota povrchu je nižší v oblastech bohatých na vegetaci.

2 Cíle práce a hypotézy

Cíle práce

Hlavním cílem této práce je **analyzovat tepelné ostrovy ve městě Kardašova Řečice** pomocí zpracování a vyhodnocení dat z dálkového průzkumu Země, konkrétně z družice Landsat 8, a na základě výsledků této analýzy **navrhnout případná opatření pro zlepšení současného stavu**.

Dílním cílem práce je v zájmovém území vymezit lokality s rozdílnou charakteristikou a následně vypracovat přehledové mapy o teplotě povrchu a spektrálních vegetačních indexech. Cílem je popsat korelaci mezi jednotlivými analyzovanými prvky, tedy teplotou povrchu a stavem a hustotou vegetace, pomocí dat o teplotě povrchu, indexu NDVI a NDMI, a odhalit tak příčiny vzniku tepelných ostrovů.

Hypotézy

1. Jelikož zastoupení kvalitního a hustého vegetačního porostu v městském prostředí bývá velmi malé a povrch měst je převážně tvořen zastavěným územím s nepropustnými povrchy, lze očekávat, že se v zájmové lokalitě, která vykazuje výše popsané charakteristiky, vyskytne několik tepelných ostrovů s vyššími hodnotami teploty povrchu, než jaké bude vykazovat její venkovské okolí.
2. Řada vědeckých prací popisuje vzájemně propojený vztah mezi teplotou povrchu a výskytem vegetace ve městech. Lze předpokládat, že teplota povrchu bude v zájmové oblasti dosahovat nejvyšších hodnot v lokalitách s nejmenším zastoupením vegetace a naopak nejnižších hodnot v lokalitách s hustým vegetačním porostem.
3. Vliv na teplotu svého okolí mají také vodní plochy. V zájmovém území najdeme několik vodních ploch, které by mohly pozitivně ovlivnit výsledné teploty povrchu jejich blízkého okolí.

3 Metodika

3.1 Zájmové území

Zájmovým územím je město Kardašova Řečice, respektive jeho intravilán. Kardašova Řečice leží v Jihočeském kraji, v severozápadní části okresu Jindřichův Hradec. Katastrální území Kardašova Řečice má rozlohu 45,83 km² a je tvořeno třemi částmi obce. Rozloha zastavěné části obce je přibližně 1,5 km² (Risy.cz, 2022). Kardašova Řečice leží v průměrné nadmořské výšce 439 m n.m. Počet obyvatel k 1. 1. 2021 byl 2232 (Czso.cz, 2021). Jedná se o malé město s tradičními jihočeskými rysy. Částečně leží v Chráněné krajinné oblasti Třeboňsko, v krajině bohaté na rybníční soustavy a rozlehlé borové i smíšené lesy.

3.1.1 Klimatické poměry

Vybraná lokalita se podle členění do klimatických regionů podle Quitt (1971) nachází v oblasti MT9 – mírně teplá klimatická oblast. Tato klimatická oblast je charakteristická krátkým a mírně teplým jarem, dlouhým, teplým a suchým létem, krátkým a teplým podzimem a krátkou, mírnou a suchou zimou. Průměrná letní teplota (červenec) se pohybuje okolo 17-18 °C. Přehled klimatických charakteristik zájmového území ukazuje Tabulka 3.1.

3.1.2 Hydrologické poměry

V řešeném území se nachází několik malých vodních toků, jedná se převážně o upravená koryta, opevněná betonovými panely. Některé úseky vodních toků jsou také vedeny pod povrchem. Hlavním vodním tokem ve městě je Řečický potok, který intravilánem města protéká v délce přibližně 2,5 km. Dále Kardašský potok o délce asi 500 m a Plešský potok taktéž o délce asi 500 m. Oba tyto kratší toky se ve středu města vlévají do Řečického potoka. Příslušnost povodí Řečického potoka k povodí většího vodního toku je následující: Řečický potok – Nežárka – Lužnice – Vltava – Labe (Heis.vuv.cz, 2022).

Největší vodní nádrž v intravilánu města je rybník Obecný v jeho severní části. Dalšími významnými vodními plochami jsou rybníky Pichovský a Nový v jihovýchodním okraji intravilánu města. Menší vodní plocha, místně označovaná Kuchyňka, se nachází ve středu města, druhou menší vodní plochu, místně označovanou jako Žabák, najdeme v severozápadní části města.

Tabulka 3.1: Vybrané charakteristiky klimatické oblasti MT 9 (Quitt, 1971)

Charakteristiky	MT 9
Počet letních dní	40-50
Počet dní s průměrnou teplotou 10 °C a více	140-160
Počet ledových dní	30-40
Průměrná lednová teplota	-3 až -4 °C
Průměrná červencová teplota	17-18 °C
Průměrná dubnová teplota	6-7 °C
Průměrná říjnová teplota	7-8 °C
Prům. počet dní se srážkami 1 mm a více	100-120
Suma srážek ve vegetačním období	400-450 mm
Suma srážek v letním období	650-750 mm
Počet zatažených dní	120-150
Počet jasných dní	40-50

3.2 Vymezení zkoumaných lokalit

V intravilánu obce bylo vymezeno dvanáct lokalit, ve kterých byly zkoumány aspekty tepelného ostrova města – Obrázek 3.1 . Jedná se o specifické oblasti s odlišnou charakteristikou – různé druhy zástavby, převažujícího povrchu a zastoupení vegetace - viz Tabulka 3.2. Sledovány byly následující lokality:

1. *Zahrádky* se nachází na východním okraji intravilánu obce a je tvořena zahrádkářskou kolonií a novou zástavbou rodinných domů. Tato lokalita leží v těsné blízkosti rybníka Velký Řečický, jež je ohraničen alejovým stromovým porostem. V této lokalitě je poměrně velké zastoupení vegetačního porostu, především listnatých a ovocných druhů stromů a travnatého porostu na zahrádkářských pozemcích.
2. *Husova ulice*. Jde o území na severovýchodním okraji intravilánu obce, které je tvořeno výrobními areály s průmyslovým a zemědělským zaměřením. Výrobní areály jsou charakteristické velkými plochami s nepropustným povrchem, především asfaltovým a rozlehlými budovami. Uprostřed vymezeného území se nachází pozemek tvořený ovocným sadem a sousedící pozemek s trvalým travním porostem.
3. *Zámek* leží v pomyslném centru města a je tvořena zámeckým areálem, tedy samotným řečickým zámekem a jeho přílehlým, rozsáhlým parkem s hustým stromovým porostem, který tvoří především několik desítek let staré stromy, z nichž některé jsou zařazeny v seznamu památných stromů vyhlášených dle § 46 zákona č. 114/1992 Sb (Kášová, 2009). Jedná se celkem o třináct památných stromů (buky a duby).

4. *Centrum* leží ve středu obce a je tvořena náměstím s kamenným povrchem a několika stromy, asfaltovou silnicí a obytnou zástavbou a zástavbou veřejných institucí a služeb. Zeleň je zde zastoupena pouze v malém množství, místy spíše soliterně anebo v zahradách rodinných domů.
5. *Háječek* leží na jihovýchodním okraji města a je tvořena rybníky Pichovský a Nový a na ně navazujícími menšími parky, které jsou místně pojmenované jako Háječek. V této lokalitě je poměrně široce zastoupen vegetační porost tvořený stromy a nízkými keři a také velké vodní plochy.
6. *Bioplynka* se nachází v jihozápadním okraji intravilánu a je tvořena zemědělským areálem s bioplynovou elektrárnou. Povrch areálu je zpevněný betonovo-asfaltový, téměř bez vegetace. Najdeme zde pouze několik malých travních pásů okolo budov. Velký prostor zabírají samotné zemědělské budovy.
7. *Skalka* je pojmenována po bývalé firmě, která působila ve výrobním areálu, který leží ve zkoumané lokalitě v jižní části obce, dále areálem firmy Tupa a přílehlou starší obytnou zástavbou. Vegetační porost je zde zastoupen pouze v zahradách rodinných domů nebo jako soliterní stromy podél silnice. Povrch lokality je tvořen především rozlehlými budovami ve výrobních areálech a na ně navazujícími manipulačními plochami.
8. *Kulturní dům* leží na jihovýchodním okraji intravilánu města a je tvořena areálem kulturního domu, přílehlým parkem s hustým stromovým porostem a dvěma městskými hřbitovy. Na novém hřbitově najdeme spíše soliterní vegetaci, starý hřbitov je tvořen hustým porostem listnatých stromů.
9. *Sídliště* se nachází na západním okraji zastavěného území a je tvořena zástavbou panelových, bytových a rodinných domů. Stromy jsou zde zastoupeny pouze jako solitéry, okolo obytných budov jsou poměrně rozlehlé travní porosty. Převažujícím povrchem jsou zpevněné asfaltové cesty, parkoviště a betonové chodníky.
10. *Neva* se nachází v severní části obce a je pojmenovaná podle firmy, která v této lokalitě působí ve dřevo-výrobě. Lokalita je tvořena rozlehlým výrobním a skladovým areálem této firmy a navazující starší obytnou zástavbu se zahradami. Vegetační porost je nejvíce zastoupen právě v části s obytnou zástavbou, na kterou navazují velké zahrady. Zbytek lokality je tvořen výrobními budovami a skladovou a manipulační plochou s nepropustným povrchem.
11. *Ulice Míru* se nachází na západním okraji intravilánu města a je tvořena starší obytnou zástavbou podél dvouproudové komunikace a přílehlými rozsáhlými zahradami navazujícími na obytnou zástavbu. Vegetace je zde zastoupena ve formě travních porostů, nízkých keřů a ovocných i listnatých stromů.
12. *Hradecká ulice* leží na jihovýchodním okraji města a je tvořena starší obytnou zástavbou podél dvouproudové komunikace a přílehlými menšími zahradami navazujícími na obytnou zástavbu. Vegetace je zde zastoupena poměrně málo, pouze v zahradách ve formě travního porostu a soliterních ovocných nebo listnatých stromů.

Tabulka 3.2: Charakteristika vymezených lokalit a jejich rozloha v m²

Lokalita	Rozloha	Převládající povrch
1. Zahrádky	52093,3	vegetace, obytná zástavba
2. Husova ulice	58043,2	zpevněný povrch (výrobní areál)
3. Zámek	43516,7	vegetace
4. Centrum	36531,1	zpevněný povrch
5. Háječek	68517,2	vegetace, vodní plochy
6. Bioplynka	83399,2	zpevněný povrch (výrobní areál)
7. Skalka	29112,3	zpevněný povrch (výrobní areál)
8. Kulturní dům	30335,9	vegetace
9. Sídliště	22215,7	obytná zástavba
10. Neva	59665,7	zpevněný povrch (výrobní areál)
11. ulice Míru	46010	obytná zástavba, vegetace
12. Hradecká ulice	30591,7	obytná zástavba



Obrázek 3.1: Zkoumané lokality ve městě Kardašova Řečice. Podkladová mapa Cuzk.cz (2021), vlastní tvorba

3.3 Použitá data a software

Pro účely této práce je vyhodnocován snímek z družice *Landsat 8* ze dne 14. 7. 2020 v 9:51 (UTC). Družice *Landsat 8* patří mezi nejvhodnější při zkoumání klimatických charakteristik zemského povrchu, a především efektu UHI (Sidiqi et al., 2016). Vlastnosti počasí v den pořízení snímku byly následující: počasí bylo jasné až polojasné, teplota vzduchu dosahovala minimálně 8,6 a maximálně 22,1 °C. Družicový snímek LC81910262020196LGN00 byl pořízen z webové stránky www.earthexplorer.usgs.gov provozovanou společností United States Geological Survey (EarthExplorer, 2021). Z důvodu zajištění kvality dat, byl vybrán snímek bez oblačnosti. Byla použita data v úrovni zpracování C2L2 - snímek tedy zahrnoval geometrické i radiometrické korekce provedené ze strany USGS.

3.4 Zpracování dat

Veškeré zpracování získaných dat z *Landsat* probíhalo v programu ArcGIS Pro a QGIS za využití podpůrných datových sad od Českého úřadu zeměměřičského a katastrálního (Cuzk.cz, 2021) (ortofoto) a z Územního plánu města Kardašova Řečice (Hudcová, 2014) (zastavěné území obce).

Pro analýzu důvodů vzniku UHI je zásadní korelace mezi teplotou povrchu a množstvím a kvalitou vegetace. Kvalita vegetačního pokryvu má vliv na teplotu povrchu (Weng et al., 2004). Vegetační kryt bude posuzován pomocí indexů NDVI (množství vegetace) a NDMI (vlhkost povrchu). Z dat z družice *Landsat*, která prošla korekcí, byla vypočtena pomocí rastrové kalkulačky teplota povrchu a spektrální vegetační indexy NDVI a NDMI. Následně byly pomocí zonální statistiky vyhodnoceny potřebné informace v rámci vymezených studovaných oblastí, které byly následně analyzovány v programu Excel a Statistica.

3.4.1 Vegetační index NDVI

Index NDVI (Normalized Difference Vegetated Index; Tucker (1979)) je tvořen vztahem mezi vegetací odráženým NIR (blízké infračervené záření) a VIS (viditelné červené záření) a představuje množství a kondici vegetace. Zdravá a hustá vegetace je schopná pohltit více VIS a odrážet velkou část NIR. Naopak nezdravá a řídká vegetace pohlcuje více NIR a odráží více VIS. NDVI nabývá hodnot od -1 do +1, přičemž čím vyšší hodnota, tím vyšší hustota zelených listů a čím nižší hodnota, tím nižší hustota vegetace. Nejnižší hodnoty vykazuje například holá půda nebo voda, která nabývá záporných hodnot (Weier a Herring, 2000). Přehled shrnuje Tabulka 3.3. Pro výpočet indexu NDVI z dat *Landsat 8* byly použity hodnoty spektrální reflektance pro čtvrté (band4) a páté (band5) pásmo. Vztah mezi NIR a VIS pro výpočet indexu NDVI je dán vzorcem:

$$NDVI = \frac{NIR - VIS}{NIR + VIS} \quad (3.1)$$

kde:

NIR - near-infrared radiation (blízké infračervené záření) – band5

VIS - visible radiation (viditelné záření) – band4

Tabulka 3.3: Hodnoty indexu NDVI a popis jejich charakteristik (Antognelli, 2018)

Hodnoty indexu	Popis
<0,1	holá půda
0,1 - 0,2	téměř bez vegetačního krytu
0,2 - 0,3	velmi řídká vegetace
0,3 - 0,4	řídká vegetace s nízkou vitalitou, velmi řídká vegetace s vysokou vitalitou
0,4 - 0,5	středně řídká vegetace s nízkou vitalitou, řídká vegetace s vysokou vitalitou
0,5 - 0,6	průměrný vegetační pokryv s nízkou vitalitou, středně řídká vegetace s vysokou vitalitou
0,6 - 0,7	středně hustá vegetace s nízkou vitalitou, průměrný vegetační pokryv s vysokou vitalitou
0,7 - 0,8	hustá vegetace s vysokou vitalitou
0,8 - 0,9	velmi hustá vegetace s velmi vysokou vitalitou
0,9 - 1,0	úplný vegetační pokryv s velmi vysokou vitalitou

3.4.2 Vegetační index NDMI

Index NDMI (Normalized Difference Moisture Index; Jin a Sader (2005)) slouží k indikaci obsahu vody ve vegetaci. Vypočítá se jako poměr mezi hodnotami NIR (blízké infračervené záření) a SWIR (krátkovlnné infračervené záření). Pro výpočet indexu NDMI z dat Landsat 8 bylo použito páté (band5) a šesté pásmo (band6). NDMI nabývá hodnot od -1 do +1, přičemž čím vyšší hodnota, tím vyšší je vlhkost ve vegetaci (EarthExplorer, 2022). Hodnoty vyšší jak 0,4 většinou představují hustou vegetaci bez nedostatku vody nebo i podmáčené půdy (Antognelli, 2018). Vegetaci s nízkými hodnotami indexu (pod 0,4) lze popsat jako vegetaci s velkým či malým vodním stresem - viz Tabulka 3.4. Index NDMI velmi silně koreluje s indexem NDVI. I proto jsou tyto dva indexy jedny z nejvhodnějších pro monitorování hustoty a stavu vegetace v území (Karan et al., 2016). Vztah mezi NIR a SWIR pro výpočet indexu NDMI je dán vzorcem:

$$NDMI = \frac{NIR - SWIR}{NIR + SWIR} \quad (3.2)$$

kde:

NIR - near-infrared radiation (blízké infračervené záření) – band5

SWIR - shortwave infrared radiation (krátkovlnné infračervené záření) – band6

Tabulka 3.4: Hodnoty indexu NDMI a popis jejich charakteristik (Antognelli, 2018)

Hodnoty indexu	Popis
-1 - -0,8	holá půda
-0,8 - -0,6	téměř bez vegetačního krytu
-0,6 - -0,4	velmi řídká vegetace
-0,4 - -0,2	řídká vegetace suchá, velmi řídká vegetace vlhká
-0,2 - 0	středně řídká vegetace s vysokým nedostatkem vody, řídká vegetace s malým nedostatkem vody
0 - 0,2	průměrný vegetační pokryv s vysokým nedostatkem vody, středně řídká vegetace s malým nedostatkem vody
0,2 - 0,4	středně hustá vegetace s vysokým nedostatkem vody, průměrný vegetační pokryv s malým nedostatkem vody
0,4 - 0,6	hustá vegetace bez nedostatku vody
0,6 - 0,8	velmi hustá vegetace bez nedostatku vody
0,8 - 1,0	úplný vegetační pokryv bez nedostatku vody, podmáčená půda

3.4.3 Teplota povrchu

Teplotu povrchu lze popsat jako teplotu kteréhokoliv místa na povrchu Země tzv. „na dotek“. Povrchová teplota je ovlivňována energetickými ději (například výpar), které do povrchu vstupují nebo z něj odcházejí. Teplotu povrchu utváří především sluneční záření, vlastnosti daného povrchu a proudění vzduchu. Satelit snímá povrch jako vše, co je viditelné přes atmosféru na zemském povrchu, může se tedy jednat například o trávu v travním porostu, střechu budovy, listy v koruně stromu nebo vodní povrch. Teplota povrchu není stejná jako teplota vzduchu (EarthObservatory, 2022; Zemek, 2014).

Pro výpočet teploty povrchu z dat Landsat 8 bylo použito desáté pásmo (band10) s údaji o tepelném infračerveném záření, jehož data byla přepočítána pomocí multiplikativního faktoru a aditivního posunu. Teplota povrchu byla spočítána v rastrové kalkulačce pomocí vzorce od Cahyono et al. (2017):

$$T_{sK} = \text{band10} \cdot 0.00341802 + 149 \quad (3.3)$$

kde:

band10 - thermal infrared radiation (termální pásmo)

Výsledek tohoto matematického výpočtu bude teplota povrchu v Kelvinech. Pro další analýzy byla použita teplota v °C.

3.5 Statistické zpracování dat

Pro hodnocení vzájemného vztahu jednotlivých pozorovaných charakteristik (NDVI a NDMI, NDVI a Ts) v zájmovém území byla použita metoda lineární regrese.

V programu ArcGIS Pro byla pomocí nástroje Zonální statistika vypočítána statistika pro předem definovanou oblast na základě definovaných rastrových dat. Tabulka s výslednými statistickými hodnotami ukáže minimální a maximální hodnoty, průměr a rozdíl mezi minimální a maximální hodnotou. Pro potřeby diplomové práce byla zonální statistika provedena v jedenácti vymezených zkoumaných lokalitách z hodnot teploty povrchu a indexu NDVI a NDMI.

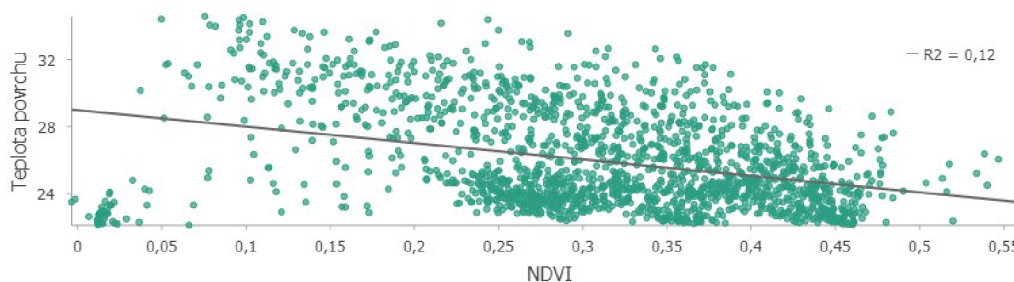
V programu QGIS bylo pro porovnávací statistiky pomocí náhodného výběru hodnot z rastrů, s využitím skriptu `rasters.samples2csv.py` od Brom (2022), vygenerováno 20 náhodných dat pro každou sledovanou lokalitu. Tato data byla následně zpracována v programu Statistica. Dále byla posuzována normalita pomocí Shapiro-Wilk testu. Proměnné NDVI a NDMI nesplňovaly požadavek na normalitu (NDVI - $p = 0,00046$; NDMI - $p = 0,0015$), a proto byl pro porovnání sledovaných lokalit použit Kruskal-Wallis (KW) test. Teplota povrchu byla z hlediska normality v pořádku (Ts - $p = 0,218$), proto byla použita analýza ANOVA. Jednotlivé lokality pak byly porovnány pomocí *post hoc* testů. NDVI a NDMI pomocí KW vícenásobného porovnání, teplota povrchu pomocí Tukey HSD testu.

4 Výsledky

4.1 Vyhodnocení snímků

Analýza teploty povrchu vymezených lokalit ukázala následující výsledky. Teplota povrchu nabývala nejnižší hodnoty v okrajových částech intravilánu města Kardašova Řečice, což odpovídá vyššímu zastoupení hustějšího a vitálnějšího vegetačního krytu bez většího vodního stresu a lepším povětrnostním podmínkám, které mají nepopiratelný vliv na teplotu povrchu. Směrem od okrajových částí intravilánu města do jeho centra teplota narůstá. Nejvyšší teploty povrchu byly zaznamenány především právě v samotném centru města a dále v průmyslových a zemědělských areálech. Z Obrázku 4.4 je patrný razantní rozdíl mezi intravilánem města Kardašova Řečice a jeho blízkým venkovským okolím. Rozdíl místy dosahuje téměř až 12 °C ve prospěch venkovské krajiny.

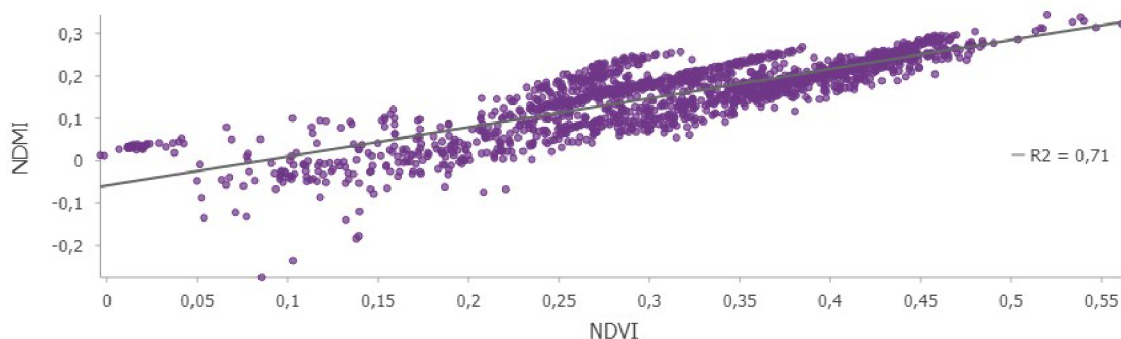
Analýza spektrálních vegetačních indexů ukázala vliv vegetace na teplotu povrchu. Z mapového výstupu – Obrázek 4.6 vyplývá, že nejvyšší hodnoty dosahoval NDVI index v okrajových částech intravilánu města Kardašova Řečice, a to v místech, kde se ve větší míře vyskytuje hustá a zdravá vegetace. Naopak nejnižší hodnoty nabýval ve středu města, ve výrobních areálech a nejzřetelněji na vodních plochách, tedy tam, kde je minimální nebo žádný výskyt funkčního vegetačního porostu. Mezi teplotou povrchu a indexem NDVI byla zjištěna slabá negativní korelace ($R^2 = 0,12$; $t = -15,6$; $df = 1718$; $p < 0,05$), to znamená, že s množstvím rostlinné biomasy na povrchu teplota povrchu klesá. Vztah ukazuje Obrázek 4.1.



Obrázek 4.1: Graf znázorňující vztah mezi teplotou povrchu a indexem NDVI v zájmovém území, vlastní tvorba

Index NDMI nabýval v zájmovém území nejvyšších hodnot především v okrajových částech intravilánu města a v místech, kde dosahoval nejvyšších hodnot index NDVI. Z mapového výstupu - viz Obrázek 4.8 je patrné, že nejhorší hodnoty NDMI indexu kopírují především rozvržení hlavních ulic města a plochy, které mají minimální nebo

žádné pokrytí vegetací. Mezi indexy NDVI a NDMI byla zjištěna pozitivní korelace ($R^2 = 0,71$, $t = 64,97$; $df = 1718$; $p < 0,05$), což ukazuje Obrázek 4.2.



Obrázek 4.2: Graf znázorňující vztah mezi indexem NDVI a NDMI v zájmovém území, vlastní tvorba

Pro lepší orientaci byly lokality v rámci hodnocení teploty povrchu rozděleny do čtyř kategorií: 1. nejhorší (nad 30 °C), 2. nedostačující (do 30 °C), 3. dostačující (do 28 °C) a 4. nejlepší (do 27 °C). Hranice těchto kategorií byly určeny pomocí rozdílů mezi průměrnou teplotou povrchu v jednotlivých lokalitách. Přehled zkoumaných lokalit rozdělených do čtyř kategorií podle výsledných hodnot teploty povrchu uvádí Obrázek 4.3.

Statistická analýza ukázala, že se lokality statisticky významně liší v případě všech sledovaných ukazatelů. Porovnání teploty povrchu ukázalo statisticky významné rozdíly mezi některými lokalitami (one-way ANOVA: $F = 1,66$; $df = 11, 228$; $p < 0,05$). *Post-hoc* porovnání ukazuje tabulka 4.1. Obdobně pro spektrální vegetační indexy byly zjištěny statisticky průkazné rozdíly mezi lokalitami (NDVI - KW test: $H = 103,44$; $df = 11, 228$; $p < 0,05$; NDMI - KW test: $H = 125,95$; $df = 11, 228$; $p < 0,05$). *Post-hoc* porovnání ukazují tabulky 4.2 a 4.3. Krabicové grafy zobrazující rozdíly mezi jednotlivými lokalitami pro indexy NDVI, NDMI a teplotu povrchu jsou zobrazeny v Obrázcích 4.5, 4.7 a 4.9.

Tabulka 4.1: Tabulka s uvedením průkaznosti v rámci jednotlivých lokalit u teploty povrchu.

Lokal.	č. 2	č. 3	č. 4	č. 5	č. 6	č. 7	č. 8	č. 9	č. 10	č. 11	č. 12
č. 1	**	n.s.	***	***	***	***	n.s.	***	***	***	***
č. 2		***	***	***	n.s.	n.s.	***	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
č. 3			***	***	***	***	n.s.	***	***	***	***
č. 4				***	***	***	***	***	***	***	***
č. 5					***	***	.	***	***	***	***
č. 6						n.s.	***	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
č. 7							***	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
č. 8								***	***	***	***
č. 9									n.s.	n.s.	n.s.
č. 10										n.s.	n.s.
č. 11											n.s.

Pozn. 1: č. 1 – Zahradky; č. 2 – Husova ul., č. 3 – Zámek, č. 4 – Centrum, č. 5 – Háječek, č. 6 – Bioplynka, č. 7 – Skalka, č. 8 – KD, č. 9 – Sídliště, č. 10 – Neva, č. 11 – ul. Míru, č. 12 – Hradecká ul.

Pozn. 2: n.s. – neprůkazný výsledek; . – $p < 0,1$; * – $p < 0,05$; ** – $p < 0,01$; *** – $p < 0,001$

Tabulka 4.2: Tabulka s uvedením průkaznosti v rámci jednotlivých lokalit u indexu NDMI.

Lokal.	č. 2	č. 3	č. 4	č. 5	č. 6	č. 7	č. 8	č. 9	č. 10	č. 11	č. 12
č. 1	**	n.s.	***	n.s.	***	**	n.s.	n.s.	***	n.s.	*
č. 2		***	n.s.	***	n.s.	n.s.	**	n.s.	n.s.	.	n.s.
č. 3			***	n.s.	***	***	n.s.	*	***	n.s.	***
č. 4				***	n.s.	n.s.	***	n.s.	n.s.	**	n.s.
č. 5					***	***	n.s.	n.s.	***	n.s.	**
č. 6						n.s.	***	*	n.s.	***	n.s.
č. 7							*	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
č. 8								n.s.	**	n.s.	*
č. 9									n.s.	n.s.	n.s.
č. 10										*	n.s.
č. 11											n.s.

Pozn. 1: č. 1 – Zahradky; č. 2 – Husova ul., č. 3 – Zámek, č. 4 – Centrum, č. 5 – Háječek, č. 6 – Bioplynka, č. 7 – Skalka, č. 8 – KD, č. 9 – Sídliště, č. 10 – Neva, č. 11 – ul. Míru, č. 12 – Hradecká ul.

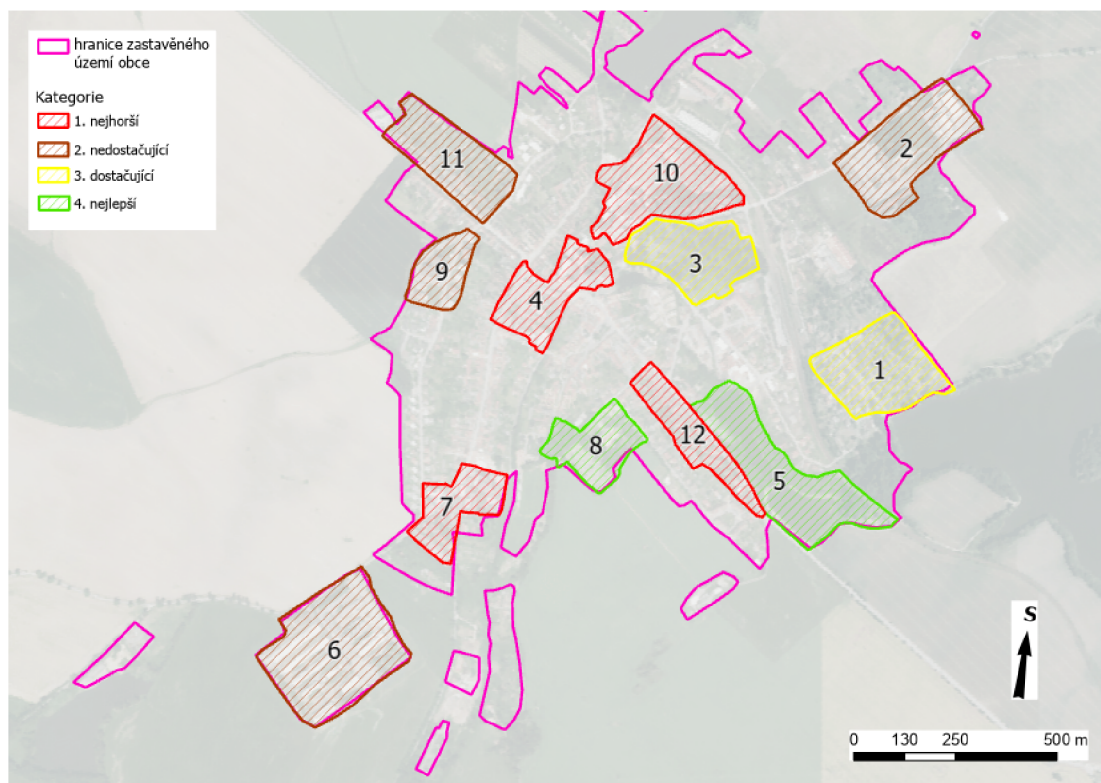
Pozn. 2: n.s. – neprůkazný výsledek; . – $p < 0.1$; * – $p < 0.05$; ** – $p < 0.01$; *** – $p < 0.001$

Tabulka 4.3: Tabulka s uvedením průkaznosti v rámci jednotlivých lokalit u indexu NDVI.

Lokal.	č. 2	č. 3	č. 4	č. 5	č. 6	č. 7	č. 8	č. 9	č. 10	č. 11	č. 12
č. 1	***	n.s.	***	n.s.	***	**	n.s.	n.s.	*	n.s.	*
č. 2		***	n.s.	.	n.s.	n.s.	*	n.s.	n.s.	*	n.s.
č. 3			***	n.s.	***	***	n.s.	*	***	n.s.	**
č. 4				***	n.s.	n.s.	***	n.s.	n.s.	***	n.s.
č. 5					**	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
č. 6						n.s.	**	n.s.	n.s.	***	n.s.
č. 7							n.s.	n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
č. 8								n.s.	n.s.	n.s.	n.s.
č. 9									n.s.	n.s.	n.s.
č. 10										n.s.	n.s.
č. 11											n.s.

Pozn. 1: č. 1 – Zahradky; č. 2 – Husova ul., č. 3 – Zámek, č. 4 – Centrum, č. 5 – Háječek, č. 6 – Bioplynka, č. 7 – Skalka, č. 8 – KD, č. 9 – Sídliště, č. 10 – Neva, č. 11 – ul. Míru, č. 12 – Hradecká ul.

Pozn. 2: n.s. – neprůkazný výsledek; . – $p < 0.1$; * – $p < 0.05$; ** – $p < 0.01$; *** – $p < 0.001$



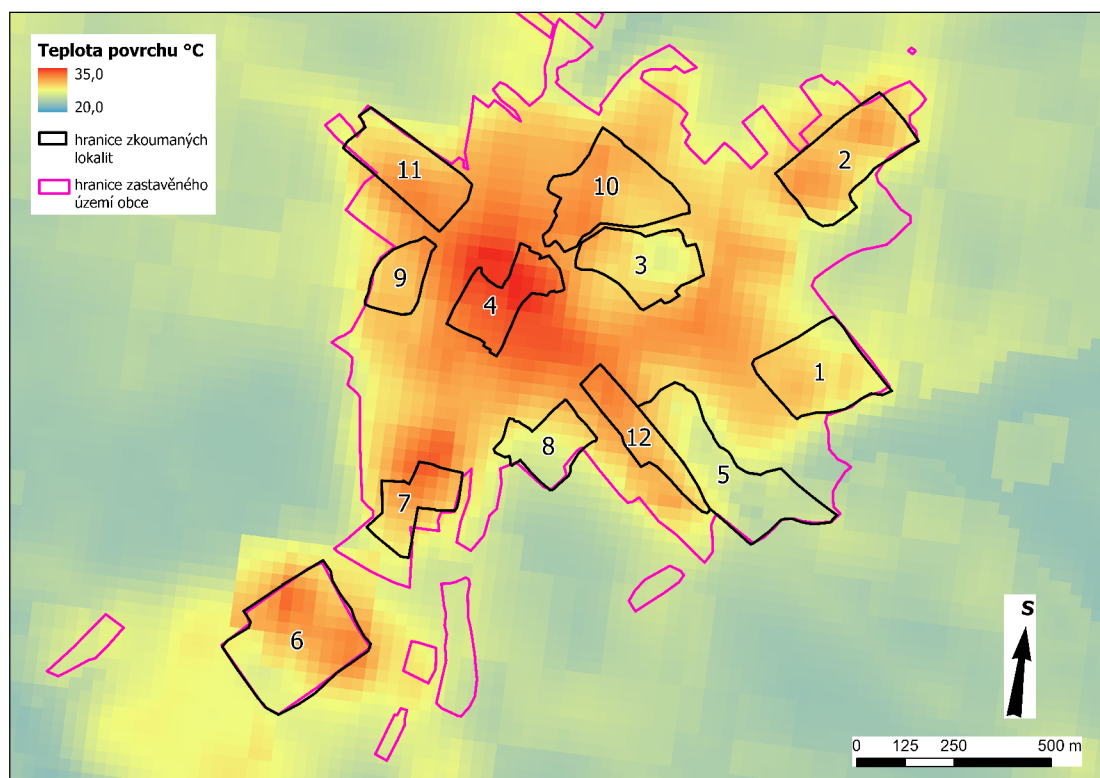
Obrázek 4.3: Přehled kategorií podle hodnocení teploty povrchu v jednotlivých lokalitách, vlastní tvorba

4.1.1 Kategorie 1. - Nejhorší

V kategorii s nejhoršími výslednými teplotami povrchu jsou čtyři lokality, jejichž průměrná teplota se pohybovala od 30 do téměř 34 °C, což znamená oproti nejchladnějším lokalitám rozdíl až 8 °C. V těchto čtyřech lokalitách se hodnoty spektrálních vegetačních indexů pohybovaly průměrně okolo 0,2 u NDVI a 0,01 - 0,06 u NDMI indexu, což charakterizuje prostředí téměř bez vegetačního krytu s vegetací s nedostatkem vody. Ve všech čtyřech lokalitách lze pozorovat silnou absenci kvalitní a vitální vegetace, která by mohla pozitivně ovlivňovat výsledné hodnoty teploty povrchu. Povrch je u všech čtyř lokalit charakteristický velkými, nepropustnými plochami (nejčastěji asfaltové, betonové), které jsou vysoce náchylné k absorpci a akumulaci tepelné energie, kterou vyzařují.

Prokazatelně nejvyšší naměřené teploty povrchu vykazovala lokalita č. 4 - **Centrum** s průměrnou teplotou pohybující se okolo 33,3 °C. V samotném centru města, které je tvořeno náměstím se zpevněným kamenným povrchem, asfaltovými komunikacemi a hustou zástavbou rodinných domů, budov veřejných služeb a jiných, je pozorována velká akumulace tepelné energie. Povrch zde dosahuje maximálních teplot až 34,7 °C a vytváří spolu se svým nejbližším okolím citelný tepelný ostrov. Povrchová teplota je vysoce konzistentní s rozdílem mezi nejnižší a nejvyšší naměřenou hodnotou pouze 3 °C, což jen potvrzuje fakt, že tato lokalita je z pohledu teploty problémová v celé své rozloze. Nejnižší naměřená teplota 31,6 °C, byla pozorována v severním cípu této lokality v prostoru kostela a farní zahrady, kde alespoň částečně ochlazujícím efektem působí solitérní stromy. V této lokalitě je výrazná absence kvalitního vegetačního porostu, který by mohl částečně zmírnit

extrémní teploty. Index NDVI v těchto dosahuje vyšších hodnot pouze v místech, které by se daly označit jako malé zelené ostrůvky. Jedná se o zeleň v zahradách obytných domů (až 0,3) a skupinku stromů na náměstí Jaromíra Hrubého, které jsou obklopeny menšími travními pásy. Jedná se o řídkou vegetaci.

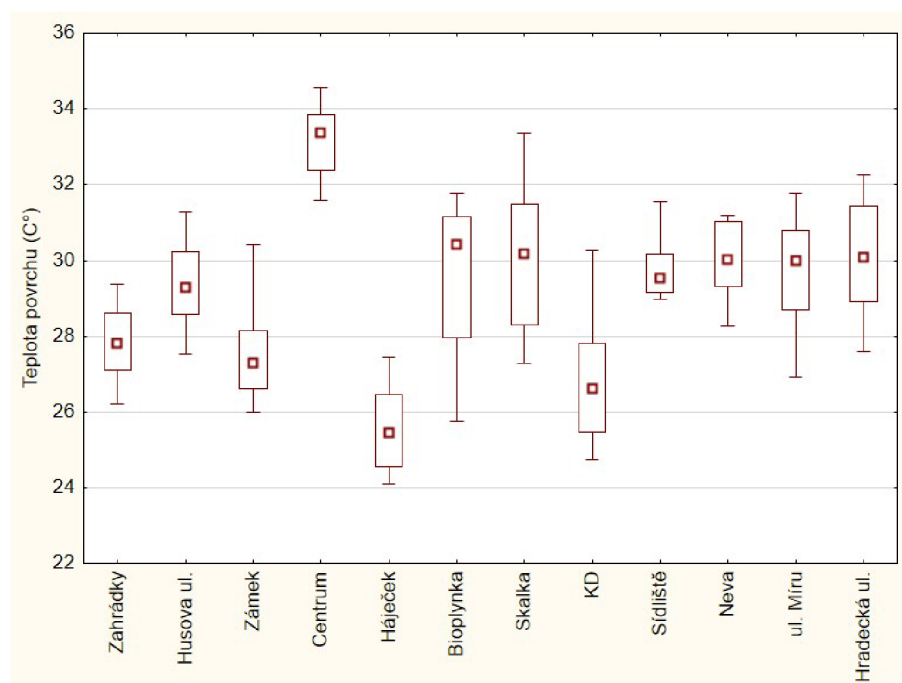


Obrázek 4.4: Teplota povrchu na území města Kardašova Řečice s vymezenými zkoumanými lokalitami. Zdroj dat: EarthExplorer (2021), vlastní tvorba

Nejhorší situace je v místě křižovatky u budovy školy a obchodního domu s asfaltovým parkovištěm. Zde je hodnota indexu NDVI místy pouze 0,04. Průměrná hodnota indexu NDMI v této lokalitě je 0,01, což odpovídá tomu, že tato lokalita je dle NDVI indexu téměř bez vegetačního krytu. Nejvyšší hodnoty indexu NDMI (0,09) lze pozorovat v prostoru zahrad rodinných domů. I tak jsou velmi nízké a zde rostoucí vegetace pravděpodobně trpí vysokým nedostatkem vody, jelikož se nachází v území, které je převážně tvořeno nepropustným povrchem a zavlažování rostlin je na velmi nízké úrovni. Mladé stromy na náměstí Jaromíra Hrubého, které mají mít v budoucnosti jak okrasnou, tak i ochlazující funkci, musí být pravidelně udržovány a zavlažovány, aby se podpořila jejich vitalita a správný vývoj.

Druhou nejhorší lokalitou z hlediska naměřené teploty povrchu byla **č. 12 - Hradecká ulice** v jihovýchodní části intravilánu města. Průměrná teplota povrchu zde dosahovala 30,2 °C a v celé své délce se chovala poměrně konzistentně. Nejnižší teploty (27,1 °C) byly naměřeny v místech sousedících s lokalitou č. 5 (Háječek), kde se chladícím efektem projevuje poměrně hustý a kvalitní vegetační kryt zdejšího parku. Jinak teplota povrchu povolna narůstá směrem do centra města a v části, kde je povrch tvořen hustou a kompaktní zástavbou rodinných domů a asfaltovou komunikací, dosahuje hodnot až 32,3 °C. Uliční rozvržení je v této části poměrně úzké, uzavřené a proudění větru tím velmi omezené.

Povrch (převážně asfaltová komunikace a rodinné domy) zde je velmi náchylný k akumulaci teploty a z hlediska vegetace je zde pozorován její pouze omezený ochlazující vliv v prostoru zahrad rodinných domů. Charakter této lokality předurčuje k nízké hodnotě indexu NDVI, což se také projevuje ve výsledných hodnotách v části podél výše zmíněné komunikace. Nejnižší hodnotu (0,08) můžeme pozorovat v severozápadním cípu této lokality, kde je největší seskupení rodinných domů bez jediného prvku vegetace. Vyšší hodnoty dosahuje index v části tvořené zahradami, kde je vegetační pokryv zastoupen poměrně kvalitně. Vůbec nejvyšší hodnoty (až 0,37) lze identifikovat v jihovýchodní části této lokality, kde obytné budovy nejsou tak nahuštěné na sebe a jsou obklopeny rozlehlějšími zahradami s hustější vegetací. Hodnoty NDVI indexu zde značně narůstají směrem od středu města. Nejvyšší hodnoty indexu NDMI (0,17) kopírují výskyt nejhustší vegetace podle indexu NDMI v jihovýchodním cípu lokality. Vegetace, která se zde vyskytuje, trpí vodním stresem.

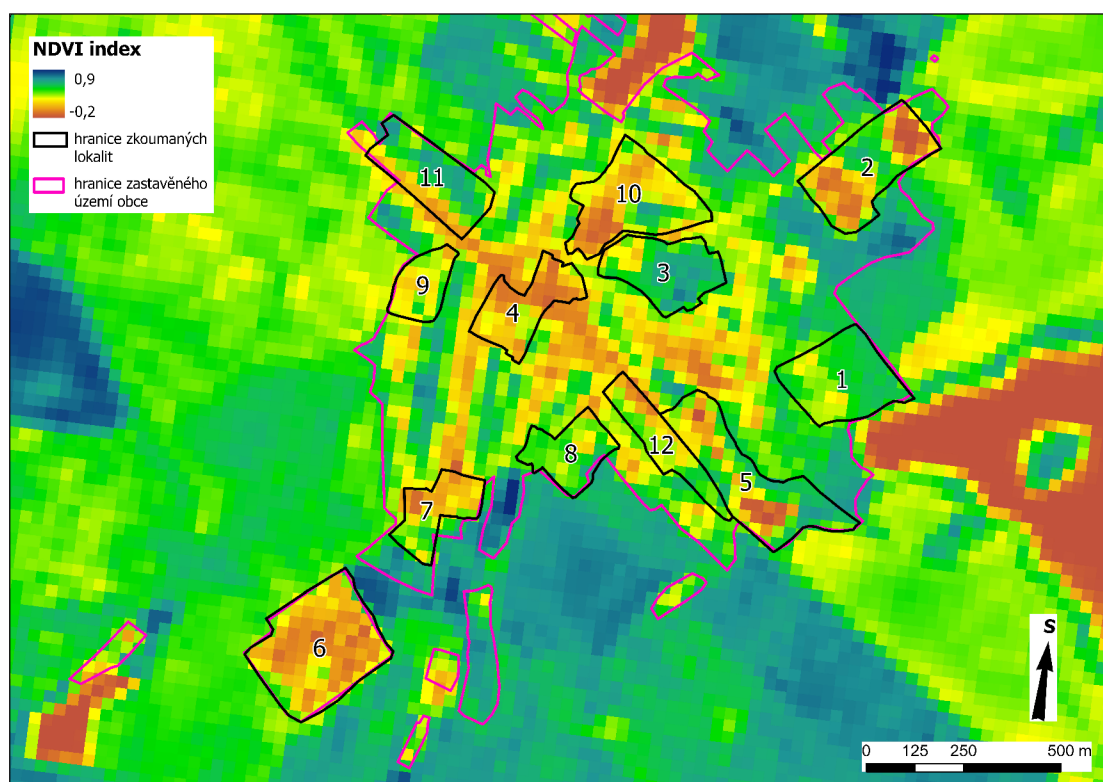


Obrázek 4.5: Krabicový graf teploty povrchu v jednotlivých lokalitách, vlastní tvorba

Třetí nejhorší lokalitou podle průměrné teploty povrchu (30,1 °C) je **č. 7 - Skalka**, která sice leží v okrajové části intravilánu, ale přesto dosahuje vyšších teplot povrchu než její nejbližší okolí a vytváří tak poměrně dobře identifikovatelný tepelný ostrov. Nejvyšší teplota (33,4 °C) byla naměřena právě na severním okraji této lokality, kde je povrch tvořen asfaltovou komunikací s parkovištěm a výrobními halami bývalé firmy Skalka a také hustou zástavbou rodinných domů. Tento povrch velmi účinně akumuluje tepelnou energii ze slunečního záření. Nejnižší hodnoty (27,3 °C) byly naměřeny v jižní části této lokality, kde je povrch tvořen převážně zahradami rodinných domů se zastoupením vegetace a pozvolna přechází ve stromový porost a zemědělsky využívanou půdu. Vegetace zde poměrně dobře pomáhá ochlazovat povrchovou teplotu.

Lokalitu č. 7 lze pomocí NDVI indexu rozdělit na dvě poměrně rozdílné části. Severní část, která je tvořena zástavbou obytných domů, asfaltovou komunikací, odstavnou plochou a výrobním areálem, vykazuje velmi nízké hodnoty NDVI indexu oproti průměrné hodnotě

v této lokalitě. Nejnižší hodnotu (0,07) nabývá index v části, kde stojí výrobní hala firmy Tupa. Jižní část lokality, která je tvořena převážně zahradami obytných domů, vykazuje poměrně lepší výsledky indexu NDVI - až 0,36 a lze pozorovat, že hodnoty indexu zde rostou i díky tomu, že se zde zastavěná část města přelívá do nezastavěné části s hustější vegetací. Řídká vegetace v jižní části lokality trpí malým nedostatkem vody, což je znatelné z hodnoty indexu NDMI v této části – až 0,16. Průměrná hodnota NDMI je 0,04.



Obrázek 4.6: Hodnoty indexu NDVI na území města Kardašova Řečice s vymezenými zkoumanými lokalitami. Zdroj dat: EarthExplorer (2021), vlastní tvorba

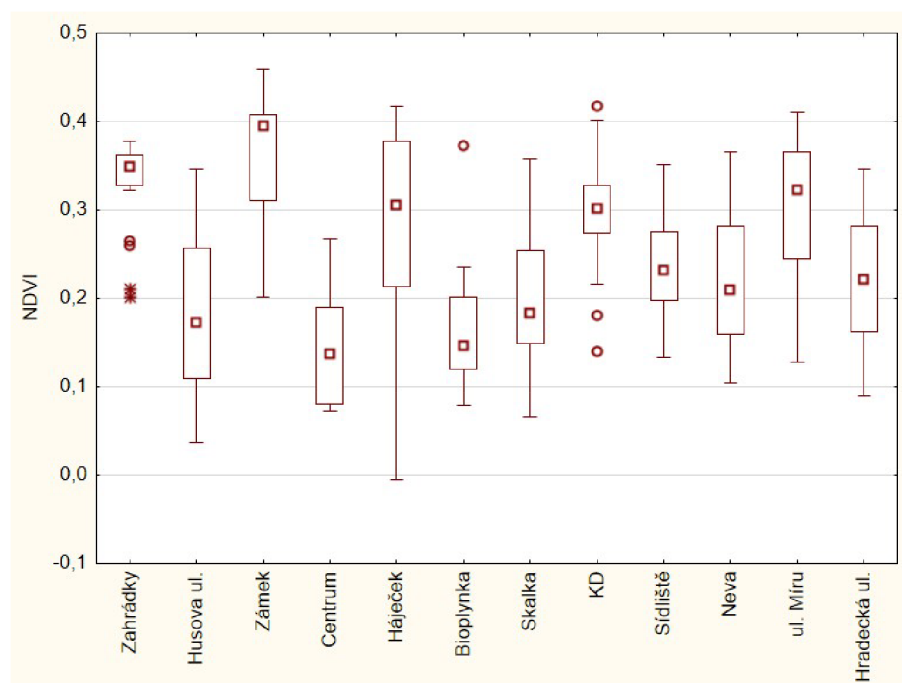
Čtvrtou nejhorší hodnocenou lokalitou je **č. 10 - Neva**, která se nachází uvnitř zastavěného území města a průměrná teplota povrchu se zde pohybovala okolo 30,1 °C. I v této lokalitě můžeme pozorovat částečně pozvolný nárůst teploty (až o 3,7 °C) směrem k centru města. Nejnižší hodnoty (28,3 °C) byly naměřeny v jihovýchodní části lokality, kde je nejvyšší koncentrace vegetace v zahradách rodinných domů, což pozitivně ovlivňuje výsledné teploty povrchu, jelikož vegetace zde má viditelný ochlazující efekt. Nejvyšších teplot (až 32 °C) dosahoval povrch ve své západní části, kde je tvořen převážně zpevněnými manipulačními plochami, skladovými plochami a výrobními halami dřevozpracující firmy. Takový povrch je náchylný k akumulaci tepelné energie. Ochlazující efekt zeleně není téměř zaznamenán, jelikož vegetační kryt zde dosahuje jen velmi malého zastoupení.

Nejnižší hodnoty indexu NDVI (0,05) lze pozorovat v jihozápadní části lokality, kde je největší koncentrace výrobních hal. V této části nejsou přítomny téměř žádné prvky vegetace. Zde rostoucí solitérní stromy a křoviny pravděpodobně trpí vodním stresem, jelikož mají nedostatečné zásobování vodou. Hodnoty indexu NDVI narůstají v jihovýchodní části lokality, kde se nachází rodinné domy s velkými zahradami, které jsou bohaté na různé druhy vegetace. V nejhustěji vegetací pokryté části nabývají hodnoty indexu až

0,42. Průměrná hodnota NDMI indexu pro lokalitu č. 10 je 0,01, jelikož se zde vegetace vyskytuje ve větší míře pouze na malé části území v zahradách rodinných domů. Zde index dosahuje hodnot až 0,22, což značí středně hustou vegetaci s vysokým nedostatkem vody.

4.1.2 Kategorie 2. - Nedostačující

V této kategorii jsou celkem čtyři lokality, jejichž průměrná teplota povrchu je poměrně vyrovnaná a pohybuje se od 29 do 30 °C. Zde už je jasně patrná změna trendu, kdy lokality na okraji intravilánu města vykazovaly průměrně nejnižší hodnoty teploty povrchu. Všechny čtyři lokality leží na okraji zastavěného území, které zde přechází ve venkovskou zemědělskou krajinu. I přesto je zde průměrná teplota poměrně vysoká, což odpovídá naměřeným nízkým hodnotám spektrálních vegetačních indexů, tedy minimálnímu kvalitnímu vegetačního pokryvu.



Obrázek 4.7: Krabicevý graf indexu NDVI v jednotlivých lokalitách, vlastní tvorba

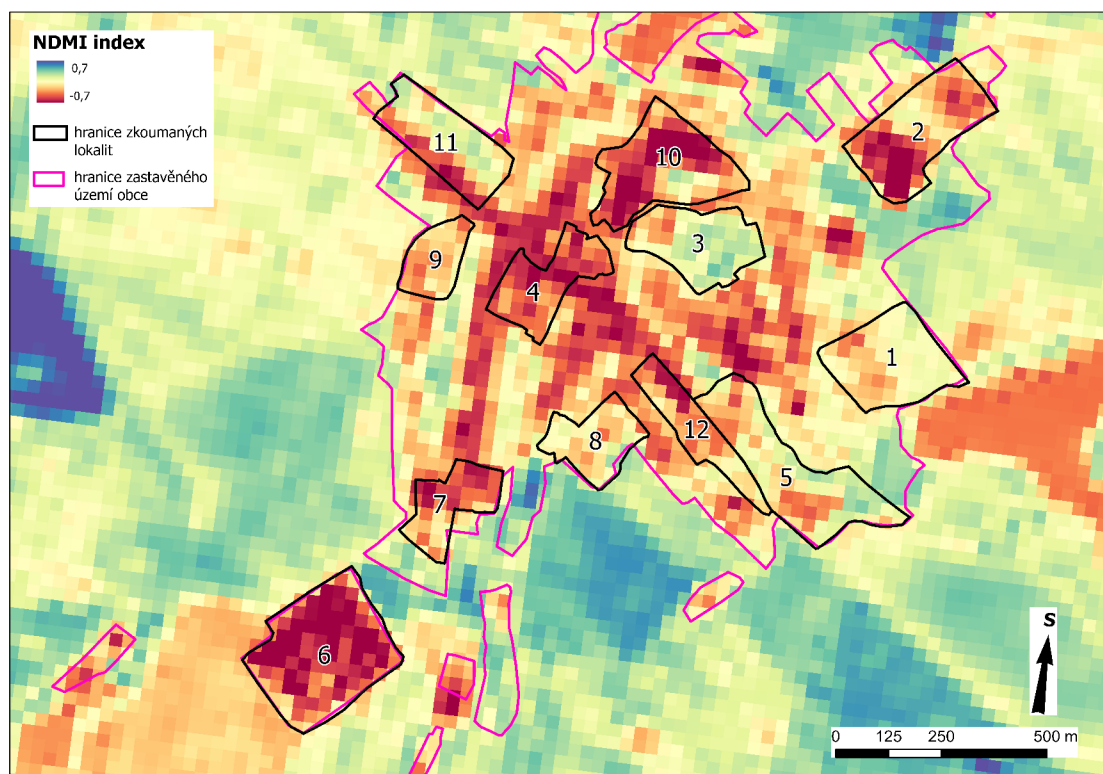
Nejhorší výsledky v této kategorii byly naměřeny u lokality č. 9 - Sídliště s průměrnou teplotou povrchu 29,7 °C. I když tato lokalita leží na okraji zastavěného území města, teplota povrchu je zde poměrně vyrovnaná v celé její rozloze a rozdíl mezi nejnižší a nejvyšší naměřenou teplotou je pouze 3,3 °C. Trend nárůstu teploty je opět směrem od okraje intravilánu města k jeho centru. Vliv vegetace na teplotu zde není příliš výrazný. Index NDVI vykazuje nejvyšší hodnoty (až 0,35) na východní hranici lokality, jedná se o prostor s travním porostem navazujícím na zahrady patřící k obytné zástavbě, která s touto lokalitou sousedí. Vyšší hodnotu (0,34) lze identifikovat i v jižní části této lokality, kde se projevuje větší pozemek s travním porostem. Je ovšem nezbytné podotknout, že na tomto pozemku probíhá v současné době (leden 2022) příprava na výstavbu řadových rodinných domů a lze předpokládat, že v budoucnosti v tomto prostoru hodnota indexu NDVI výrazněji klesne. Nejnižší hodnoty indexu (0,13) lze pozorovat v prostoru, kde stojí bytové a panelové domy, které jsou obklopeny asfaltovou komunikací a plochami parkovišť.

Nejvyšší hodnoty (0,16) indexu NDMI kopírují nejvyšší hodnoty indexu NDVI ve východním okraji této lokality. Zde rostoucí vegetace, která je už tak velmi řídká, trpí vodním stresem. V místech s nejvyššími hodnotami vegetačních indexů je teplota povrchu naopak jedna z nejvyšších. V severovýchodním cípu lokality, kde převažuje zpevněný povrch bez vegetačního krytu a zástavba rodinných domů, dosahuje teplota povrchu až 31,6 °C. Naopak nejnižší hodnoty (28,2 °C) byly naměřeny při západním okraji lokality u hranic intravilánu, kde zástavba bytových domů a zpevněný povrch (asfaltové parkoviště, komunikace) přecházejí v zemědělsky využívanou plochu s kvalitnějším vegetačním krytem.

Následuje lokalita č. 11 - **ulice Míru** s průměrnou teplotou povrchu 29,6 °C. Teplota zde narůstá pozvolna směrem od severozápadního okraje k centru města až o 6,4 °C na maximální hodnotu až 32 °C, v místech nejhustší zástavby obytných domů okolo asfaltové komunikace. Výskyt vegetace, která by mohla zmírnit teplotu povrchu, je zde omezený a v některých místech zcela chybí. Lokalita č. 11 je ze dvou třetin tvořena zahradami rodinných domů s bohatým zastoupením vegetace, kde NDVI index dosahuje hodnot až 0,43. Najdeme zde převážně travní porost s ovocnými stromy a menšími keři, ale i listnaté stromy. Skrz lokalitu protéká v zahradní části Plešský potok, který má pozitivní vliv na zdravý zde rostoucí vegetace. Nejnižší hodnoty (0,12) můžeme pozorovat v části tvořené obytnou zástavbou starších rodinných domů podél hlavní silnice, kde je vytvořen shluk tmavších, nepropustných povrchů bez zastoupení vegetace. Index NDMI se pohybuje průměrně okolo 0,12. Nejvyšších hodnot (až 0,22) nabývá v prostoru zahrad za rodinnými domy, tuto část lze popsat jako středně hustou vegetaci s vysokým nedostatkem vody. Lepší vodní podmínky má pruh vegetace podél Plešského potoka. Vegetaci v těchto lokalitách lze popsat jako řídkou s nízkou vitalitou, místy středně řídkou s nízkou vitalitou. V této lokalitě můžeme tedy pozorovat tradiční trend, kdy teplota narůstá směrem od okraje intravilánu do centra města spolu s tím, jak houstne zástavba rodinných domů.

Nejnižší hodnoty (25,5 °C) v této lokalitě lze pozorovat v okrajové části intravilánu města, kde zahrady rodinných domů pozvolna přecházejí v zemědělsky využívanou půdu (pole). Zde je vegetace zastoupena poměrně hustěji a vykazuje známky dobrého zásobení vodou. Pozitivní vliv na vegetační porost v těchto místech má také zde protékající Plešský potok. Takto hustá a vitální vegetace má znatelný ochlazující vliv na teplotu povrchu v této části lokality.

Třetí lokalitou v této kategorii je č. 2 - **Husova ulice**, která se z pohledu teploty povrchu chová relativně odlišně od svého nejbližšího okolí, které i směrem k centru města vykazuje nižší teploty, než tato lokalita. Teplota povrchu se zde průměrně pohybuje okolo 29,5 °C s relativně nízkým rozdílem mezi nejnižší a nejvyšší naměřenou teplotou (pouze 3,8 °C). Lze ji tedy považovat za poměrně konzistentní. Největší plocha s vegetací (ovocný sad a louka), která odděluje dva zde stojící výrobní a skladové areály firmy ALK Marek s.r.o., podle analýzy spektrálních vegetačních indexů nemá dostatečnou vitalitu a zásobení vodou, takže její chladicí efekt je pouze minimální. Index NDVI dosahuje v tomto prostoru nejvyšších hodnot (až 0,4) a jedná se o vegetaci s nízkou vitalitou a podle indexu NDMI (0,17) tato vegetace pravděpodobně trpí vodním stresem. Tato část lokality by se dala označit jako "zelený most" mezi dvěma výše zmíněnými areály, které naopak vykazují jedny z nejhorších hodnot indexu NDVI ze všech zkoumaných lokalit. Hodnoty indexu se v části s manipulačními plochami a sklady pohybují okolo 0,06 a vůbec nejhorší výsledek je zaznamenán v severní části této lokality, v prostoru s výrobní halou a to 0,02. Tyto části jsou téměř naprosto bez výskytu vegetace a jsou charakteristické rozlehlými plochami s asfaltovým povrchem a velkými výrobními budovami, které se chovají z pohledu teploty



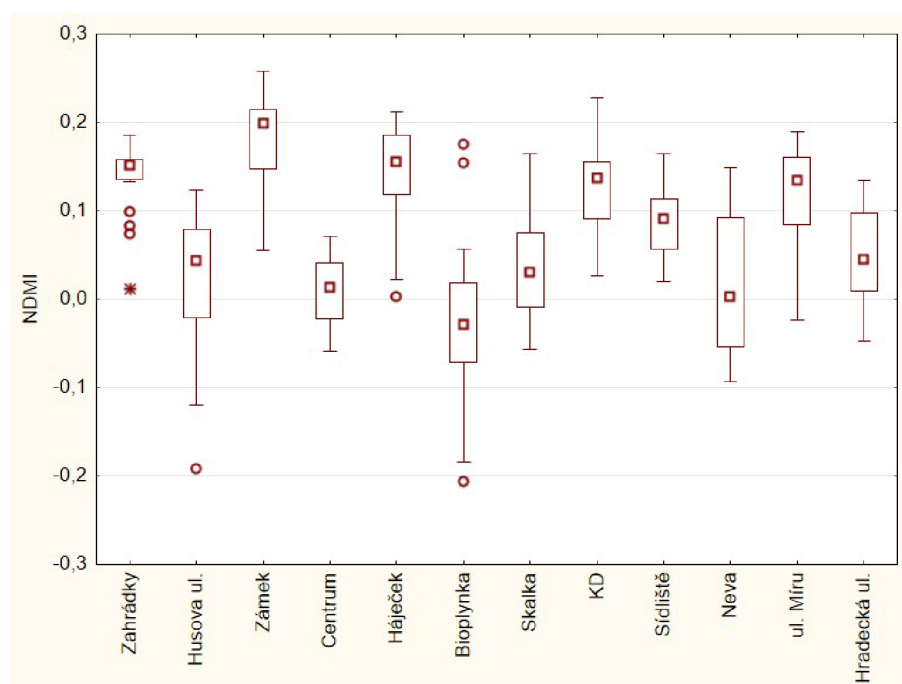
Obrázek 4.8: Hodnoty NDMI indexu na území města Kardašova Řečice s vymezenými zkoumanými lokalitami. Zdroj dat: EarthExplorer (2021), vlastní tvorba

povrchu velmi jistě. Dopadající sluneční záření přeměňují na teplo, které zdatně vyzařují. Teplota povrchu dosahovala ve výrobním areálu až 31,3 °C.

Naopak nejnižší hodnoty (27,5 °C) byly naměřeny na východní hranici této lokality, kde zastavěné území přechází do venkovské krajiny se zemědělsky využívanou půdou a menším lesíkem. Zvýšený nárůst vegetace má pozitivní ochlazující vliv.

V této kategorii dopadlo měření nejlépe paradoxně v **lokality č. 6 (Bioplynka)** v jihozápadní části intravilánu města. Tato lokalita zahrnuje areál bioplynové elektrárny a zemědělské výroby. Povrch je v této lokalitě tvořen převážně zemědělskými a výrobními budovami, sklady a manipulačními plochami s asfaltovým povrchem. Tato lokalita nabývala nejhorší hodnoty u indexu NDMI a druhé nejhorší hodnoty NDVI. Index NDVI dosahuje nejvyšších hodnot (až 0,39) i NDMI (0,2) v okrajové části této lokality s travními pásy, menšími keři a soliterně stojícími stromy, kde výrobní areál pozvolna přechází v zemědělsky využívanou půdu (pastviny pro zde chovaný skot). Jedná se o řídkou vegetaci s nízkou vitalitou a nedostatkem vody. Velmi nízké hodnoty indexu NDVI se pohybují okolo 0,1 v téměř celé délce této lokality. Nejhorší výsledek (0,05) je zaznamenán téměř uprostřed lokality, kde je pozorován nulový výskyt vegetace, což odpovídá i hodnotě indexu NDMI, který se v této lokalitě průměrně pohybuje okolo -0,01. Zde rostoucí soliterní stromy a menší plochy travnatého porostu mohou trpět vodním stresem, jelikož jejich blízké okolí je tvořeno zpevněnými povrchy bez větší možnosti vsakování srážkové vody. I přesto, že vegetace zde není téměř vůbec zastoupena a pokud ano, tak trpí vodním stresem, teplota povrchu v jihozápadní části této lokality je 25,8 °C, průměrně v celé lokalitě pak 29,3 °C. Ochlazení patrně přichází směrem od zemědělsky využívané půdy, která je z pohledu vegetace více

funkční. Lokalitu č. 6 lze podle výsledných hodnot teploty povrchu rozdělit na dvě části s relativně radikálním přechodem, který je způsoben kumulací zemědělských a výrobních hal a manipulačních ploch s povrchem náchylným k absorpci a vyzařování tepelné energie. Teplota povrchu zde nabývá vysokých hodnot – až 32,8 °C. Jedná se tedy o nárůst až 7 °C, který je ze všech pozorovaných lokalit nejvyšší. V tomto místě lze pozorovat viditelný tepelný ostrov, jelikož nejbližší okolí této lokality vykazuje výrazně nižší teploty povrchu.



Obrázek 4.9: Krabicový graf indexu NDMI v jednotlivých lokalitách, vlastní tvorba

4.1.3 Kategorie 3. - Dostačující

Do této kategorie spadají dvě lokality, jejichž průměrná teplota povrchu se pohybovala od 27,0 °C a do 29,0 °C. Jedna z nich leží v okrajové části intravilánu, a právě i poloha ovlivňuje její průměrnou teplotu povrchu. Druhá lokalita se vymyká dosavadnímu trendu, kdy nejnižší teploty povrchu byly zaznamenávány v lokalitách ležících na okraji intravilánu města, jelikož leží v centrální části města.

První lokalitou v této kategorii je **lokalita č. 1 - Zahrádky**, která, jak je uvedeno výše, leží na samém okraji zastavěného území města a je tvořena převážně zahrádkářskými pozemky s menšími chatkami. Průměrná teplota povrchu zde dosahuje hodnoty 27,9 °C, je však v celé své rozloze více konzistentní, co se rozdílu teplot týče (4,3 °C). Nejnižší teplota (25,5 °C) byla naměřena v severním cípu této lokality. Zde je vegetace z pohledu spektrálních vegetačních indexů nejkvalitnější (NDVI až 0,39, NDMI až 0,22). Jedná se o středně hustou vegetaci (především vzrostlé stromy) s vysokým nedostatkem vody, která znatelně pomáhá ochlazovat zdejší povrch. Směrem od okraje zastavěného území teplota opět narůstá vlivem poklesu hustoty vegetačního krytu, který pozvolna přechází v zástavbu rodinných domů. Nejvyšší teplota (až 29,8 °C) byla naměřena právě v místech, kde je zástavba nejhustější, s absencí výraznější vegetace (NDVI 0,2).

V **lokality č. 3 (Zámek)**, byla naměřena třetí nejnižší průměrná teplota - 27,9 °C. Nejnižší teplota povrchu (25,9 °C) byla zaznamenána v části zámeckého parku s největším shlukem stromového porostu. Tento "ochlazující ostrov" viditelně narušuje souvislý nárůst teploty směrem ke středu města. Pozitivní vliv na teplotu povrchu má jednoznačně zde rostoucí, poměrně hustá vegetace, která příliš netrpí vodním stresem a která tvoří v intravilánu města ojedinělý "vegetační ostrov" s většími shluky vzrostlých a vitálních stromů (duby a buky), z nichž některé jsou i na seznamu památných stromů České republiky. V jižní části lokality jsou pak převážně travní a nízké keřové porosty a užitkové záhony. Index NDVI (0,34) i NDMI (0,16) zde dosahuje celkově nejvyšších průměrných hodnot ze všech zkoumaných lokalit. Vegetace v této lokalitě se průměrně řadí do kategorie řídké vegetace s nízkou vitalitou, v některých místech i do řídké vegetace s vysokou vitalitou, a trpí pouze malým nedostatkem vody. Směrem od hlavní části parku k centru města můžeme opět pozorovat pozvolný nárůst teploty povrchu až o 4,5 °C, kdy nejvyšší hodnoty (až 30,5 °C) byly zaznamenány v prostoru jedné ze zámeckých budov na hranicích této lokality, kde park obklopující zámek přechází do souvislé a husté uliční zástavby a vegetační pokryv je zde zastoupen pouze minimálně. Index NDVI dosahuje nejnižších hodnot (0,16) v prostoru samotné budovy řečického zámku.

4.1.4 Kategorie 4. - Nejlepší

Lokality v této kategorii nabývaly průměrné teploty povrchu pohybující se od 25,0 do 27,0 °C, čímž se blíží teplotám povrchu venkovského okolí města. Současně zde dosahovaly vysokých hodnot spektrální vegetační indexy, pomineme-li vliv vodní plochy v lokalitě č. 5.

Druhou nejlepší lokalitou, podle průměrných hodnot teploty povrchu, byla **lokality č. 8 (Kulturní dům)**. Stejně jako lokalita č. 5 (Háječek) leží na okraji intravilánu města a tvoří přechod mezi venkovskou zemědělskou krajinou a zastavěným územím města. Teplota povrchu se zde pohybovala průměrně okolo 27 °C. Je zde velmi patrný chladící vliv relativně hustého stromového porostu (vzrostlé listnaté stromy), který je i poměrně dobře zásobený vodou (NDMI až 0,23). V těchto místech dosahuje index NDVI hodnot až 0,42. Nejnižší naměřená teplota byla 24,7 °C - u jižní hranice této lokality v místech, kde má stromový porost nejvyšší hustotu a kde krajina přechází do venkovské podoby. Nejvyšších teplot (až 30,3 °C) dosahoval povrch v místě, kde stromový porost přechází v souvislou zástavbu rodinných domů (NDVI index okolo 0,14). I v této lokalitě, vzhledem k její poloze, lze pozorovat pozvolný nárůst teploty povrchu (až o 5,5 °C) směrem od kraje intravilánu k centru města.

Nejlepších výsledků dosáhla **lokality č. 5 (Háječek)**, kde byla průměrná teplota vzduchu 25,7 °C. Tuto část intravilánu města lze považovat za absolutně nejchladnější. Na nízkou teplotu povrchu má vliv především charakteristika místní krajiny, která je velmi blízká přírodě. Lokalita leží na samotném okraji intravilánu a je tvořena převážně rozlehlým parkem s hustým a vodou dobře zásobeným vegetačním porostem a dvěma většími vodními plochami. Hodnoty NDVI indexu zde nejvíce ovlivňují tyto dvě vodní plochy, jejichž hladina vykazuje nejnižší hodnoty indexu (-0,005), jelikož vodní hladina má vysokou schopnost absorpce infračerveného záření. V břehové části se nad vodní hladinou tyčí koruny stromů, které rostou v její těsné blízkosti, a proto směrem od středu vodní plochy hodnota indexu stoupá a nejvyšších hodnot dosahuje v hustém vegetačním porostu, který vodní plochy obklopuje. Vegetačně nej kvalitnější je jihovýchodní část lokality, která je

tvořena menším, hustým lesem s podmáčenou půdou. Index NDVI zde dosahuje hodnot až 0,44 a index NDMI až 0,25. Z pohledu vegetace tato lokalita patří mezi vegetačně nejvitálnější a nejméně problémové, co se zásobení vodou týče. Právě vegetace a voda zde mají nepopíratelnou ochlazující funkci.

Nejnižší teploty (minimálně 23,3 °C) v této lokalitě lze identifikovat v její jižní části – v prostoru rybníka Nový a s ním sousedícího parku. Teplota 23,3 °C je zároveň vůbec nejnižší teplotou povrchu, která byla ve sledovaných lokalitách zaznamenána a jednou z nejnižších teplot v celém intravilánu města. Směrem k centru města teplota povrchu pozvolna narůstá až o téměř 7 °C. Povrch dosahoval nejvyšších teplot (30,2 °C) v severozápadním cípu sledovaného území, kde klesá hustota vegetačního porostu a přírodě blízké krajina zde přechází v souvislou městskou zástavbu.

4.2 Identifikované tepelné ostrovy

Analýza výsledků měření teploty povrchu v intravilánu města Kardašova Řečice přinesla několik možných identifikovatelných oblastí, které vykazovaly větší akumulaci vyšších teplot, než jejich blízké okolí - viz Obrázek 4.10. Přehled o teplotách a rozloze jednotlivých ostrovů (označeny podle lokalit) je uveden v tabulce 4.4.

Nejvýraznější tepelný ostrov se tvořil v centru města, tedy v prostoru sledované lokality č. 4 a jejím blízkém okolí. V tepelném ostrově se teplota pohybovala průměrně okolo 33,4 °C, což bylo asi o 3 °C více, než jaká byla naměřena v jeho blízkém, chladnějším okolí. Rozloha ostrova je přibližně 0,09 km².

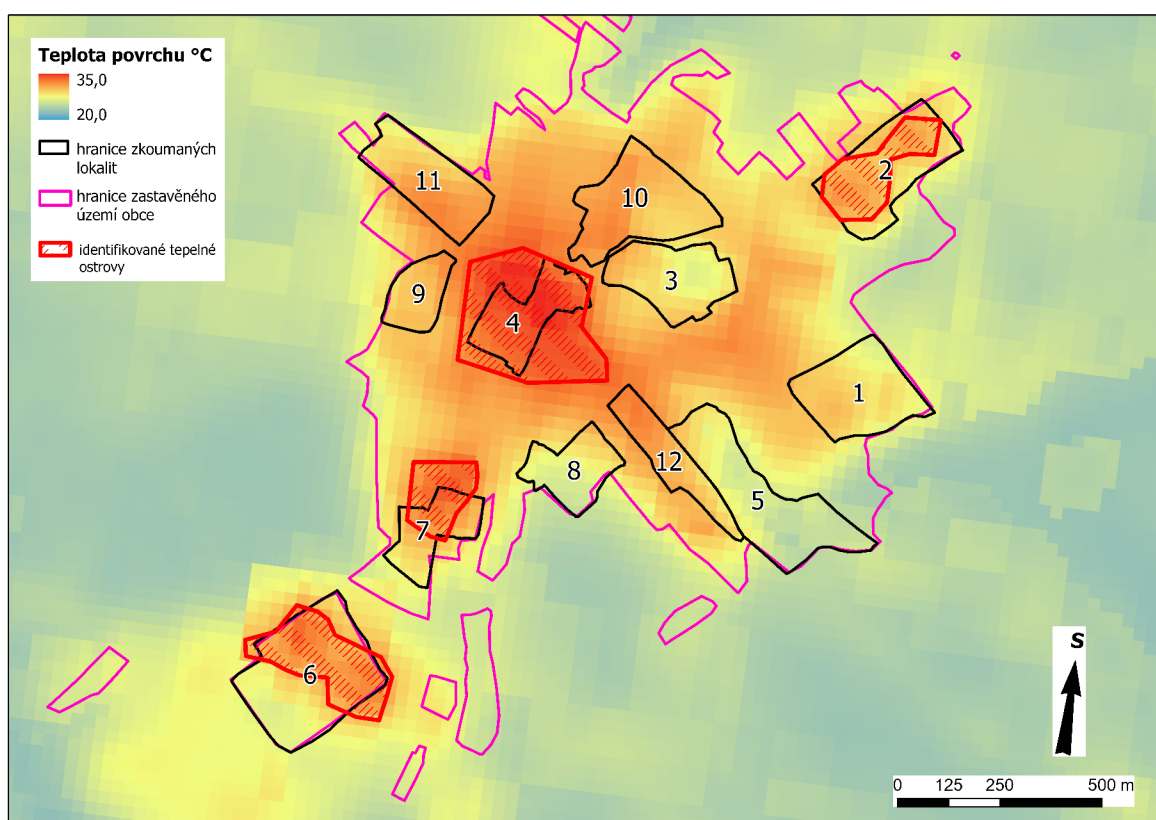
Druhý tepelný ostrov se tvořil v jižní části města, částečně v prostoru lokality č. 7 a severně od ní. V ostrově se teplota povrchu průměrně pohybovala okolo 32,1 °C, což bylo asi o 3 °C více, než kolik bylo naměřeno v jeho blízkém okolí. Rozloha tohoto tepelného ostrova je přibližně 0,02 km².

Třetí identifikovatelný tepelný ostrov se tvořil na severu města v prostoru lokality č. 2, kde se průměrná teplota povrchu pohybovala okolo 31 °C, což bylo opět přibližně o 3 °C více, než v jeho blízkém okolí. Rozloha tepelného ostrova je 0,05 km².

Čtvrtý výraznější tepelný ostrov byl identifikován v jihozápadní části města, v prostoru lokality č.6, v areálu bioplynové elektrárny a zemědělského podniku. Průměrná teplota se zde pohybovala okolo 30,1 °C, což bylo opět o více jak 3 °C než v jejím blízkém okolí. Rozloha tepelného ostrova je přibližně 0,03 km².

Tabulka 4.4: Tepelné ostrovy ve městě Kardašova Řečice. Rozloha v km², teplota v °C.

Lokalita	rozloha	teplota průměr	teplota max	teplota min
č. 4	0,09	33,4	34,6	30,8
č. 7	0,02	32,1	33,4	30,3
č. 2	0,05	31,0	32,8	29,3
č. 6	0,03	30,1	31,3	28,8



Obrázek 4.10: Identifikované tepelné ostrovy na území města Kardašova Řečice. Zdroj dat: EarthExplorer (2021), vlastní tvorba

5 Diskuze

Rostoucí míra urbanizace a rozrůstání měst, zábor venkovské krajiny za účelem výstavby průmyslové, dopravní či obytné infrastruktury vede ke zhoršování mikroklimatu měst (Jenerette et al., 2007). S rozrůstáním měst bývá spojeno vynucené odstraňování vegetace a její nahrazování nepropustnými povrchy nebo zástavbou, tím dochází ke snížení možnosti výparu a ochlazování prostředí (Owen et al., 1998). Podobný trend můžeme vidět i v zájmovém území, kde je v okrajových částech města krajina zastavěna a do budoucna se s další výstavbou v územním plánu počítá. V některých částech města došlo v minulosti k vykácení stromů za účelem uvolnění místa pro novou výstavbu. Tento trend se v posledních letech snaží město Kardašova Řečice omezit i s pomocí výkladu opatření v Územním plánu města a s postupnou obnovou vegetačního porostu.

V zájmovém území byl zjištěn trend změny teploty a vlhkosti povrchu v závislosti na množství vegetace (Fan et al., 2015). Pomocí výparu vody pomáhají stromy v hustém zastoupení ochlazovat a vyrovnávat teplotu ve svém okolí (Kravčík et al., 2007; Pokorný et al., 2018). Obecně platí, že nejhroší teplotní podmínky jsou v místech s nejhustší zástavbou, s velkými plochami tvořenými zpevněným a nepropustným povrchem (komunikace, parkoviště, manipulační plochy), jak uvádí například Yuan a Bauer (2007). Tato zákonitost byla pozorována i v zájmovém území.

Nejvyšší naměřené teploty byly zaznamenány v místech tvořených velkými, nepropustnými plochami (s tmavým povrchem) a v prostoru husté zástavby (obytné i průmyslové). Tento trend lze pozorovat v lokalitě č. 4, 2, 6, 7 nebo 12. Zde jsou plochy charakteristické tmavou barvou jejich povrchu, vodotěsností a náchylností k vysoké absorpci krátkovlnného slunečního záření (Aniello et al., 1995; Avissar, 1996; Herb et al., 2008; Perkins, 2004). Vymezené zkoumané lokality ve městě Kardašova Řečice vykazovaly odlišné výsledky v měření teploty povrchu v závislosti na charakteristice povrchu a vegetačního krytu. V lokalitách č. 6, 12, 2 nebo 4, tedy v lokalitách s nejvyššími naměřenými teplotami povrchu, lze zřetelně pozorovat absenci kvalitního a vitálního vegetačního porostu. Povrch těchto lokalit je tvořen především asfaltem a betonem, rozlehlými obytnými či průmyslovými budovami a až na solitérní stromy zde zcela chybí funkční vegetace. Povrch s touto charakteristikou ve vysoké míře akumuluje tepelnou energii a může vést k tvorbě UHI (Mohajerani et al., 2017). Pokud je v prostředí dostatečné zastoupení funkční vegetace, dokáže tato vegetace částečně oslabit působení UHI (Liu a Zhang, 2011). Tento trend můžeme vidět i v zájmovém území, kde lze identifikovat pouze čtyři, rozlohou menší, tepelné ostrovy.

Schopnost vegetace ochlazovat své okolí zkoumala s přesvědčivým výsledkem již celá řada autorů. Například Aniello et al. (1995), Shahmohamadi et al. (2011), Hesslerová et al. (2013), Tiwari et al. (2021) nebo Pokorný et al. (2018). Tato práce přinesla podobné výsledky. V lokalitách, kde byla vegetace zastoupena poměrně hustě a s dostatečným

množstvím závlahy, bylo možné pozorovat její pozitivní vliv na výsledné hodnoty teploty povrchu. Městská zeleň ve formě vzrostlých listnatých stromů má vysokou schopnost evapotranspirace (Li a Liu, 2021; Meili et al., 2021). V místech, kde spektrální vegetační indexy dosahovaly nejvyšších hodnot, byl pozorován ochlazující vliv vegetace a teplota povrchu zde nabývala průměrně nižších hodnot. Jasný ochlazující efekt vegetačního porostu byl pozorován například v lokalitě č. 3 (Zámek) nebo č. 5 (Háječek). V těchto částech města se hustě vyskytuje vegetace, kterou lze podle naměřených hodnot indexů NDVI a NDMI považovat za velmi funkční. Jedná se především o vzrostlé listnaté stromy a keře, které zvyšují vlhkost svého okolí a tím snižují teplotu povrchu. Z analýzy indexu NDVI a teploty povrchu byl zjištěn slabší korelační vztah mezi těmito dvěma proměnnými. Oblasti s vyššími hodnotami indexu NDVI vykazovaly průměrně nižší hodnoty teploty povrchu. Shodný trend tohoto lineárního vztahu zjistili například Kaufmann et al. (2003), Weng et al. (2004), Marvalová (2007), Brom et al. (2012), Zhang et al. (2012) nebo Hesslerová et al. (2013). Uvedený trend lze dobře pozorovat například v lokalitách č. 5, 8 nebo 3, které jsou bohaté na funkční a hustou vegetaci. Lokality č. 8 a 3 jsou tvořeny parkem s vzrostlými listnatými stromy. Významný vliv na snižování teploty povrchu byl zjištěn na lokalitě č. 5, kde se nachází dvě větší vodní plochy a rozlehlý hustý park tvořený vitálním stromovým porostem. Ochlazující efekt vodních ploch popisuje například Wu et al. (2019) nebo Lin et al. (2020). Vlhkost povrchu (index NDMI) souvisí s vegetačním pokryvem povrchu (index NDVI). Vlhkost vegetace, tedy index NDMI, ovlivňuje hodnoty teploty povrchu a působení UHI (Chen et al., 2006). Sušší oblasti v zájmovém území vykazovaly vyšší teploty povrchu než oblasti s vyššími hodnotami indexu NDMI.

Na základě výsledků byly vymezeny čtyři tepelné ostrovy, které představují nejproblémovější oblasti ve městě Kardašova Řečice. Výskyt tepelných ostrovů odpovídá zvýšené akumulaci vysokých teplot povrchu ve zkoumané lokalitě (Yang et al., 2016; Zemek, 2014). Prostorové rozložení tepelných ostrovů ve městě závisí na charakteru a využití povrchu. Nejvíce náchylná bývá holá půda, nepropustný povrch nebo hustá zástavba (Chen et al., 2006; Hart a Sailor, 2009; Roth et al., 1989). Pro tepelné ostrovy v zájmovém území je charakteristický podobný typ povrchu (převážně asfalt a beton), absence funkčního vegetačního krytu i využití půdy jako průmyslové či obytné areály s hustou zástavbou. Největší tepelný ostrov (odpovídá lokalitě č.4) se nachází v centru města, v prostoru náměstí s kamennou dlažbou, asfaltovými komunikacemi a hustou zástavbou obytných budov. Takový povrch, doplněný o uzavřené geometrické rozvržení této lokality, je náchylný k akumulaci tepelné energie. Vegetace je zde zastoupena pouze několika osamocenými stromy a nemá větší ochlazující schopnost. Tepelné ostrovy v lokalitách č. 2 (Husova ul.) a č. 7 (Skalka) vykazují podobné faktory pro jejich vznik. Povrch těchto lokalit je tvořen hustou průmyslovou nebo obytnou zástavbou, zpevněným (převážně asfaltovým) povrchem a rozlehlými výrobními budovami, které navazují na obytnou zástavbu. Výskyt vegetace je zde zcela minimální. Čtvrtý tepelný ostrov (lokalita č. 6 - Bioplynka) byl identifikován na okraji zájmového území a svým charakterem je podobný UHI v lokalitách č. 2 a č. 7. Je ale tvořen pouze průmyslovým areálem se zpevněnými manipulačními plochami a výrobními budovami, ve kterém zcela chybí vegetační kryt.

Teplotu povrchu v zájmovém území tedy značně ovlivňuje přítomnost husté a vitální vegetace. Se stejným závěrem přišel například Lo et al. (1997). Rozdíl v hodnotách indexu NDVI odpovídá rozdílným vlastnostem povrchu a naměřených teplot povrchu (schopnost vypařování, akumulační tepelná kapacita) v různých částech města nebo v jeho venkovském okolí (Gallo et al., 1993). Lokality s výrazným zastoupením městské zeleně a menších

lesíků vykazovaly velký kontrast s lokalitami s průmyslovou nebo obytnou zástavbou a s nepropustným tmavým povrchem. Byly zjištěny statisticky průkazné rozdíly mezi jednotlivými lokalitami u všech zkoumaných faktorů. Největší rozdíly v teplotě povrchu byly mezi lokalitou č. 4 - Centrum města (max. 34,7 °C, min. 31,6 °C, průměrně 33,3 °C) a lokalitou č. 5 - (max. 30,2 °C, min. 23,3 °C, průměrně 25,7 °C). U indexu NDVI mezi lokalitou č. 3 - Zámek a lokalitou č. 2 - Husova ulice (lokalita č. 5 měla hodnoty indexu ovlivněné přítomností velké vodní plochy). U indexu NDMI byly největší rozdíly mezi lokalitou č. 3 - Zámek a lokalitou č. 6 - Bioplynka.

Lokality s hustou zástavbou a zpevněnými plochami jsou náchylné na vznik tepelných ostrovů, jelikož vykazují průměrně vyšší teplotu povrchu než "zelené" lokality. Jako nejvhodnější opatření pro zmírnění extrémních teplot a UHI se dle výsledků této práce, i dalších vědeckých prací (Avissar, 1996; Berg et al., 2013; Hesslerová et al., 2013; Nuruz-zaman, 2015; Pokorný et al., 2018), jeví realizace tzv. zelené nebo zeleno-modré infrastruktury. V zájmovém území lze nejlépe aplikovat městskou zeleň ve formě výsadby vhodných listnatých stromů v nejproblémovějších lokalitách. Důležitá je i údržba stávající zeleně. Účinné zavedení těchto opatření by mělo v budoucnosti pomoci eliminovat působení UHI a zlepšit životní podmínky v zájmovém území (Li a Weng, 2007; McPherson, 1994). Řada dosud publikovaných vědeckých prací, například Yuan a Bauer (2007) zabývajících se tématem UHI, pracuje s rozdílnými výsledky měření teploty povrchu (a vztahem k indexu NDVI) v rámci různých ročních období.

5.1 Městská strategie

5.1.1 Zhodnocení dosavadních kroků

Pro účely snižování efektu UHI je zásadní správa městské zeleně. Pečlivě naplánovaná výsadba a údržba vegetace, v podmínkách problémového městského prostředí, může přispět ke zmírňování negativních dopadů vysokých teplot na městské mikroklima (Avissar, 1996).

Z historie stavu a péče o zeleň ve městě Kardašova Řečice díky Místopisu od Jaromíra Hrubého (Hrubý, 2013) víme, že v průběhu 19. století mizely poslední háje, stromoví a křoví v blízkém okolí města i ve městě samotném. *"Po roce 1860 nebylo v celém údolí řečickém stromu kromě košatého smrku na židovském hřbitově, starého dubu na hrázi rybníka Velkého a několika stromů u Erární ulice"*. Výraznější pozitivní změna započala v 60. letech 19. století, a to především díky iniciativě řečického kaplana Pavla Fortunáta, který v lokalitě Amerika na severovýchodě města přetvořil staré lomy na zahradu a podporoval výsadbu stromů. Dalším výraznou osobností byl kníže Karel Paar, který inicioval výsadbu stromů (především dubů) v prostoru stráně nad rybníkem Pichovský, což položilo základ dnešnímu Háječku. Dále na hrázi rybníka Velký, ale i v okolní krajině Kardašovy Řečice. V 80. letech 19. století byl zalesněn prostor na jižním okraji města, kde stával řečický hrad. Dále bylo zalesněno například okolí rybníka Žabova (na okraji dnešního sídliště TGM) nebo do té doby pustý vrch Hůrka, kde vznikl březový háj. V historii péče o zeleň ve městě Kardašova Řečice lze ještě vyzdvihnout realizaci rozsáhlého parku řečického zámku na přelomu 17. a 18. století. Větší výsadba stromů v minulosti poté probíhala především při oslavách významných národních událostí, jako například vznik Československa, výročí tělocvičné jednoty Sokol a podobně. Při této příležitosti byly vysazeny stromy v parku u Sokolovny v Hradecké ulici. Z dobových fotografií a pohlednic lze pozorovat určité

změny v zastoupení zeleně v některých částech města. Například v ulici Benátky, podél Řečického potoka, bylo v minulosti listnaté stromořadí. V současné době, po rozšíření a zpevnění koryta potoka v 80. letech 20. století, zde není jediný strom, což lze vidět z Obrázku 5.1. Právě tato oblast platí z pohledu teploty povrchu ve městě za jednu z nejproblémovějších. Podobná situace byla v první polovině 20. století také v Jablonského třídě u budovy základní školy. Zde stály dva velké stromy, které byly v následujících letech při terénních úpravách pokáceny. V současnosti došlo k vysazení několika menších stromů právě v této části města, které by v budoucnosti mohly pomoci ke zmírnění vysokých teplot povrchu. Možnosti další výsadby v této lokalitě jsou však prostorově velmi omezené.



Obrázek 5.1: Porovnání ulice Benátky z pohledu vegetačního porostu v polovině 20. století a v roce 2022. Zdroj fotografií: vlastní.

Město Kardašova Řečice se v posledních letech začalo intenzivněji zabývat problematikou zastoupení zeleně ve městě a realizovalo několik projektů, které vedly k jejímu zlepšení. Na řadu výsadeb stromů město využívá podporu ve formě dotací, které jsou schopné pokrýt náklady téměř do výše 100 %. Tyto dotace se vztahují jak na samotný strom, tak i na podpůrné konstrukce (vysazovací kůly), zavlažovací vaky, následnou údržbu a podobně. Drobnou zeleň ve formě keřů a okrasných květin město financuje výhradně ze svých zdrojů. Ozelenování města probíhá jak přímo v Kardašově Řečici, tak i v jejích místních částech Nítovice a Mních.

Významným krokem byla výsadba stromořadí v ulici Palackého a Smetanova (viz Obrázek 5.2). Další výsadba proběhla na podzim roku 2021 v prostoru bytových domů a u rybníka Kuchyňka v Nádražní ulici. Zde byla nutná spolupráce se soukromým vlastníkem, na jehož pozemcích výsadba proběhla. Velké úpravy a obnovy stromového porostu proběhly v parku starého hřbitova v ulici Hradní. Město také věnuje zvýšenou pozornost péči o již vysazené, vzrostlé stromy a zodpovědně provádí jejich údržbu jak z pohledu bezpečnosti, tak i kvůli správné vitalitě těchto stromů. Město v této činnosti spolupracuje se specializovanou zahradnickou firmou, která provádí odborné práce jako je prořezávání,

zastřihávání stromů a keřů, ale také se podílí na výběru vhodných druhů stromů, které by se měly ve městě vysadit (podle vlhkosti, osvětlení lokality a podobně). Starosta města Kardašova Řečice Petr Nekut k tomuto tématu uvedl: *"Péče o městskou zeleň, zejména v poslední době, se neustále rozšiřuje a zkvalitňuje a je to na vzhledu města znát. Není to věc jednoduchá ani laciná, ale rozhodně to nejsou zbytečně vyhozené peníze a v péči o městskou zeleň budeme i nadále pokračovat"* (Nekut, 2021a). Nově vysazená zeleň po celém městě potřebuje zejména v letních horkých měsících zvýšenou péči v podobě umělého zavlažování. Za tímto účelem město pořídilo menší cisternu a využívá také zavlažovací vaky, které postupně uvolňují vodu a zavlažují vysazené stromy. Při výsadbě stromů v ulicích města někdy dochází ke střetu s místními obyvateli, kterým se například nelíbí, že stromy budou stát před jejich okny. K této problematice město přistupuje individuálně a snaží se občanům vysvětlit pozitiva, která zeleň ve městě přináší a vysazovat takové druhy stromů, které se do ulic více hodí (tedy vzrůstem nižší stromy). Nekut k tomuto tématu uvedl: *"To, že stromy způsobí nepořádek ve formě listů nebo budou stínit, není důvod k tomu, aby se nevysazovaly."*



Obrázek 5.2: Nová výsadba zeleně ve městě Kardašova Řečice v posledních letech. Zdroj fotografií: vlastní, Kardasova-recice.cz (2022)

Podle Nekuta je město obeznámeno i s praxí ohledně sečení travnatých ploch ve městě. Vitální a vyšší travní porost má schopnost zmírňovat svou povrchovou teplotu (Armson et al., 2012). Většina travnatých ploch ve městě je však malé rozlohy a slouží primárně k volnočasovým aktivitám místních občanů a není jednoduché omezit jejich sečení. *"Sečení jsme omezili, ale střetáváme se s tlakem občanů, kteří berou neposečené plochy jako nedbalost města. Dříve jsme v letním období sekli travnaté pozemky 6x až 7x, současně provádíme sečení 5x za léto."*

Město disponuje určitou strategií výsadby zeleně, kterou se snaží postupně realizovat. Jedná se o pracovní verzi s názvem Systém zeleně v Kardašově Řečici od zahradní a krajinářské architektky M. Cibůrkové (Cimbůrková, 2020). Tato strategie není závazná a v některých bodech bude skutečnost odlišná od té plánované. Jedná se však o důležitý dokument, který přináší vizi a návod k lepší a promyšlené péči o zeleň v Kardašově Řečici. Strategie obsahuje vybrané lokality, které se zdají být vhodné k ozelenění a mohly by sloužit jako místo odpočinku a relaxace pro občany města. Jak uvedl Nekut: *"Některé projekty je nutné koordinovat s vlastníky pozemků, také je nutné v každém projektu vytyčit síť a kontrolovat vedení kanalizace, vodovodu nebo elektřiny."* Na jaře roku 2022 se

aktuálně řeší především výsadba zeleně v prostoru parkoviště v křižovatce ulic Hradecká a Veselého, což by mohlo v budoucnosti částečně zmírnit vysoké teploty povrchu, které byly v této části města naměřeny.

V červnu 2021 postihla město větrná kalamita, která měla za následek vyvrácení a fatální poničení několika desítek stromů po celém městě i v jeho okolí. Nejhůře byly postiženy okolní lesy, ve kterých vlivem silného větru spadlo okolo 50 000 m³ dřeva (Nekut, 2021b). V prostoru města byly nejcitlivější ztráty na náměstí Svobody, kde padly dvě vzrostlé lípy, v areálu parku u kulturního domu nebo v prostoru fotbalového hřiště, kde byla poničena alej vzrostlých listnatých stromů. V závěru roku 2021 došlo k zahájení výsadby nových stromů jak v poškozených městských lesích, tak i v samotném městě (Nekut, 2021c). Na náměstí Svobody byly vysazeny nové stromy (lípy) v prostoru původních, jak je vidět z Obrázku 5.3. Park u kulturního domu byl doplněn novou výsadbou, alej u fotbalového hřiště byla ošetřena a nejvíce poničené stromy taktéž nahrazeny novou výsadbou. *"Naším plánem je co nejrychleji nahradit poškozené nebo zničené stromy novou výsadbou a obnovit tak tuto část zeleně,"* uvedl Nekut.



Obrázek 5.3: Porovnání vegetačního porostu na náměstí Svobody: rok 1958, rok 2020 (před větrnou kalamitou) a rok 2021 (po větrné kalamitě). Zdroj fotografií: vlastní, Kardasova-recice.cz (2022)

5.1.2 Návrh strategie

Město Kardašova Řečice disponuje pracovní verzí strategického plánu na ozelenění města. V této kapitole bude navrženo několik opatření, která se zaměří na problémové lokality ve městě za účelem zmírnění účinků tepelného ostrova města a vysokých teplot povrchu. Tato opatření budou následně porovnána se strategickým plánem - Systémem zeleně, který

zpracovala Cimbůrková (2020). Systém zeleně popisuje snahu o zapojení občanů města do tvorby a údržby nejen vysazených stromů, ale i okrasných keřů a dalších rostlin. Cílem je edukace obyvatel města o důležitosti ozeleňovacích opatření, spolupráce se soukromými vlastníky a především vytvoření zelených zón vhodných pro rekreaci. Systém zeleně nelze považovat za závazný a úplný. Jedná se pouze o nástin možných projektů, které by se mohly v budoucnosti realizovat. Je však nutné ocenit, že i tak malé město, jako je Kardašova Řečice, disponuje alespoň touto strategií a soustředí se tak i na problematiku životního prostředí a mikroklimatu ve městě. Přesto je možné tento strategický plán rozšířit o další opatření, která by mohla zlepšit současný stav mikroklimatu ve městě.

Závazným dokumentem je Územní plán Města Kardašova Řečice (Hudcová, 2014), který citlivě pracuje s již stávající zelení, ale navrhuje také nové plochy, kde by měla být zezeň při budoucím rozvoji města zastoupena. V jižní části města, která spadá do CHKO Třeboňsko, má být dbáno na *"dostatek zeleně jak na veřejných prostranstvích, tak v zastavěných a zastavitelných plochách."* Plochy sídelní zeleně, které jsou vymezeny, nelze v žádném případě likvidovat a nahrazovat např. zpevněnými plochami nebo plochami pro parkování vozidel. Sídelní zezeň dělí územní plán na zezeň sídelní, ochrannou, travní a aleje. Zezeň sídelní obsahuje veřejnou, soukromou a přírodní zezeň a je vymezena například v lokalitě č. 3 - Zámek (zámecký park), v parku na starém hřbitově, v parku v lokalitě "Na Kopečku", částečně také v lokalitě č. 7 - Skalka (u Řečického potoka) a navržena je v prostoru za novým hřbitovem. Pásky a plochy ochranné zezeň (*"jedná se o zezeň se speciálními požadavky na krycí ochrannou funkci, neplní funkci parku"*) jsou vymezeny například v lokalitě Háječek, okolo bioplynové elektrárny, u benzínové pumpy v ulici Míru, u rybníka Žabák na sídlišti nebo okolo výrobního areálu v ulici Husova. Zezeň travní je vymezena ve formě zelených pásů podél vodních toků (Plešský potok a Řečický potok). V UP jsou vymezeny zastavitelné plochy bydlení, které obsahují minimální plochu, na které má být umístěna veřejná zezeň nebo plochy, kde má být zezeň ochranná (například za účelem ochrany proti hluku) a aleje (Hudcová, 2014).

Návrh na ozelenění nejvíce problémových lokalit (z hlediska teploty povrchu) je velmi složitý z důvodu nedostatku místa pro výsadbu většího počtu stromů. Například centrum města je tvořeno převážně zpevněným povrchem (kamenná dlažba, asfalt) a většina volných zelených ploch již byla osazena stromy nebo keři. Pro tuto lokalitu se jako jedna z nejvhodnějších možností jeví realizace zelených střech nebo fasád budov, což popisuje například Pokorný et al. (2018) nebo Tiwari et al. (2021), a také bílých střech (Susca et al., 2011). Zelené (případně bílé) střechy by mohlo město aplikovat na nemovitosti ve svém vlastnictví. Tato strategie je však spíše otázkou budoucnosti a závisela by na možné dotační podpoře těchto aktivit, jelikož je poměrně nákladná a závisí na možné únosnosti střešní konstrukce (Zelenestrechy.info, 2022). Další možností je realizace světlejšího povrchu dopravních komunikací, chodníků, parkovišť a odstavných nebo manipulačních ploch namísto tmavého, jak uvádí například Shahmohamadi et al. (2011). Toto opatření by město mohlo aplikovat na místní komunikace, které spadají do jeho majetku. V nejvíce problémových lokalitách (č. 12 - Hradecká ulice, č. 11 - ulice Míru) je však většina komunikací v majetku Jihočeského kraje nebo Ředitelství silnic a dálnic České republiky (Cuzk.cz, 2022). Větší manipulační plochy, které spadají do problémových lokalit (například lokalita č. 10, 7, 2 nebo 6) jsou pak v soukromém vlastnictví. U případné realizace těchto opatření by byla nezbytná spolupráce mezi výše zmíněnými subjekty či individuální řešení ze strany vlastníků těchto objektů. Lokality s nejhorsšími výsledky se vyznačují také velkou mírou odvodnění, což přispívá k růstu teploty povrchu (Kravčík et al., 2007; Perkins, 2004; Pokorný, 2009).

Problematiku odvodnění by město mohlo řešit realizací menších vodních tůní, rybníčků a sběrných nádrží v prostoru města, do kterých by ústila například dešťová voda stékající z okapů nebo komunikací. Tato strategie je však vhodnější pro individuální využití na pozemcích v soukromém vlastnictví občanů města. Menší vodní útvar, doplněný vhodnou výsadbou zeleně, by se například mohl realizovat v prostoru sídliště TGM (lokality č. 9). Zde je v těsné blízkosti bytových domů přibližně 500 m² velká plocha s travnatým porostem, která by mohla být pro tyto účely využita a doplněna vhodnou výsadbou listnatých stromů i v prostoru okolo panelových domů. To by mohlo vést ke kvalitnějšímu zastínění zde stojících budov a zlepšení mikroklimatu v této lokalitě. Městská strategie (Cimbůrková, 2020) v prostoru sídliště uvažuje pouze výsadbě několika vyšších dřevin.

Jednou z priorit Městské strategie je výsadba a údržba stávající zeleně na starém hřbitově. Park starého hřbitova již prošel rekultivací, která skončila v roce 2021. V rámci ní byl park osázen novými listnatými stromy. Došlo také k umístění různých prvků mobiliáře, díky tomu zde vznikl funkční prostor pro odpočinek a městská zeleň zde plní jak funkci ekologickou, tak i rekreační (Vorel et al., 2006). Podobný přístup by mohl být zvolen i v prostoru nového hřbitova. Zde je možné uvažovat o doplnění listnatých stromů jak uvnitř areálu, tak i okolo obvodových zdí hřbitova, jelikož je zde dostatečný prostor pro výsadbu. Na nový hřbitov přímo navazuje alej u fotbalového hřiště a park u Kulturního domu. Celý tento komplex by mohl v budoucnu vytvořit vzájemně propojený prostor husté a vitální zeleně, která by mohla pozitivně ovlivňovat své okolí při eliminaci vysokých teplot povrchu. Došlo by také ke zkvalitnění životních podmínek v této části města, kde se do budoucna, dle ÚP, počítá s výstavbou rodinných domů. V prostoru parku u Kulturního domu (lokality č. 8) je aktuálně důležitá péče o zde rostoucí stromy a průběžná výsadba stromů nových. Bylo by možné uvažovat i o realizaci menšího, přírodě blízkého vodního útvaru, který by v této lokalitě přispěl k zlepšení mikroklimatických podmínek.

Další prioritou je podle Cimbůrková (2020) areál bytových domů "Zámeček" v Nádražní ulici. Zde strategie navrhuje především vhodnější ošetření stávajících dřevin. V roce 2021 provedlo město v této lokalitě doplňující výsadbu nižších stromů. Jelikož je zde v bytových domech poměrně vysoká koncentrace obyvatel, mělo by se jednat o jednu z hlavních priorit výsadby vegetace za účelem zmírnění negativních důsledků vysokých teplot povrchu (teplota povrchu se zde pohybuje okolo 31 °C), a tím zlepšení mikroklimatu a životních podmínek (Erell et al., 2012). Pro zlepšení životních podmínek v této lokalitě navrhuji provést detailnější analýzu možností další výsadby vyšších listnatých stromů především v těsné blízkosti bytových domů a na veřejném prostranství, které tyto domy obklopují. Podobné řešení by mohlo být realizováno také v prostoru bytových domů v ulici Smetanova, místně označovaném jako "Moravské pole". Zde je však většina pozemků sousedících s bytovými domy v soukromém vlastnictví a záleželo by tak na iniciativě majitelů těchto bytových domů.

Strategie městské zeleně se zabývá také jednou z lokalit s nejlepšími výsledky co se měření teploty povrchu týče. Jedná se o lokalitu č. 5 - Háječek, která vykazovala průměrnou hodnotu teploty povrchu 25,6 °C. Strategie města popisuje tuto lokalitu jako hodnotný prostor s velkým potenciálem a doporučuje inventarizaci dřevin, jejich prořezávání a údržbu. Zároveň je tato lokalita považována za jednu z možných, kde by se dal vytvořit atraktivní, přírodě velmi blízký prostor pro rekreaci. Tato část města by se dala, vzhledem ke zjištěným výsledkům měření teploty povrchu a hodnot spektrálních vegetačních indexů, označit jako velmi funkční z hlediska vegetačního porostu. Je ale nutné se zaměřit na udržitelnost tohoto stavu a případnou obnovu a doplňování zeleně na místech,

kde dojde k jejich poškození nebo vykácení. Pouze část pozemků v této lokalitě patří městu a bude tedy nezbytné na případných plánech o další výsadbě a úpravách spolupracovat se soukromým vlastníkem. Podobná je situace také v lokalitě zvané "Kopeček" na severozápadním okraji města. Tato lokalita sice nebyla ve výběru zkoumaných lokalit této práce, ale údaje o teplotě povrchu napovídají, že prostor parku s hustým stromovým porostem pod hrází rybníka Obecný vykazuje poměrně nízké teploty (okolo 27 °C). Zde by bylo vhodné se zaměřit na péči o stávající zeleň a hledat možnosti pro novou výsadbu. I zde však pouze část pozemků patří městu a možnosti výsadby z pohledu města jsou odkázané na užší spolupráci se soukromými vlastníky.



Obrázek 5.4: *Prostor vhodný k možné výsadbě stromů v ulici Míru. Zdroj: vlastní foto*

Město Kardašova Řečice by mělo pokračovat v zavedeném trendu výsadby zeleně v lokalitách, které to svým svým charakterem umožňují, ale zároveň hledat způsoby jak ozelenit i méně vhodné části města, které trpí nedostatkem zeleně. Pro zajištění kvalitní a vhodné výsadby bude nezbytná spolupráce s odborníky, jelikož pro výsadbu v lokalitách s nevhodným charakterem, bude muset být pečlivě zvolen vhodný druh stromu, aby nedošlo k jeho znehodnocení nebo uhynutí. Je nutné se zaměřit především na hrozby v podobě nedostatku vláhy nebo kořenového prostoru, vlivu dopravního provozu a také místních klimatických podmínek. Do zájmového území, především do jeho ulic a menších prostor, se jako nejvíce vhodné k výsadbě jeví stromy menšího vzrůstu s kulovitou korunou, například javor mléč "globosum" nebo trnovník akát "umbraculifera" a podobně (Málek, 2012). Tyto druhy byly již v některých ulicích vysazeny (ulice Palackého nebo Smetanova) a z dosavadní praxe je vidět, že tato volba byla vhodná. Další lokalitou, kde by mohla být realizována výsadba nižších stromů s menší korunou, je například ulice Míru, která je součástí jedné ze zkoumaných lokalit této práce a byla zde naměřena průměrně vysoká teplota povrchu. V ulici Míru je po obou stranách ulice dostatek prostoru mezi obytnými domy a silnicí, jak je vidět na Obrázku 5.4, kde by v rozumné míře mohlo dojít k vysazení menších stromů. Je ale nezbytné brát ohled na zachování dostatečného místa pro parkování aut zdejších obyvatel a pracovat s rozmístěním technické infrastruktury vedoucí pod povrchem ulice. Ulice Hradní, s širokým uliční rozvržením a travními pásy okolo domů, je také vhodná pro realizaci uliční aleje. V této části města se teplota povrchu pohybuje okolo

31 °C, což by v budoucnosti mohly vzrostlé stromy, plynule navazující na park starého hřbitova, postupně zmírňovat. Další ulice, u které by se dalo využít její šířky a volného prostoru, je Tyršova. Zde se dle informací z městského úřadu počítá s výsadbou stromů ve formě uliční aleje po dokončení prací na technické infrastruktuře.

V rozlohou větších prostorech s vhodnějšími podmínkami (parky nebo větší prostranství s travnatým porostem), je nejvhodnější výsadba vyšších listnatých stromů (například duby, buky nebo lípy), jelikož je zde více prostoru i vláhy pro jejich správný vývoj. Takto by se dalo využít veřejné prostranství u kostela a školy (doplnění stávajících stromů), u obchodního domu a zdravotního střediska (výsadba skupinky menších stromů) nebo v prostoru sídliště (výsadba menších i větších listnatých stromů).

5.2 Strategie soukromých vlastníků

Jelikož je ve městě Kardašova Řečice nezanedbatelná část pozemků vhodných k výsadbě stromů v soukromém vlastnictví (jak fyzických tak i právnických osob), jsou možnosti samosprávného celku při snaze o ozelenění omezeny pouze na městské pozemky anebo diskuzi a spolupráci s majiteli pozemků v soukromém vlastnictví. Nabízí se proto vyvinout pozitivní tlak na jednotlivce a motivovat je k výsadbě nové zeleně, udržování a péči o stávající nebo k realizaci, například, zelených střech či světlejších povrchů na manipulačních plochách. Jednou z možností jsou dotační programy, které by podporovaly výsadbu stromů v zahradách obytných domů nebo ve výrobních areálech průmyslových a zemědělských podniků. Ty patří z hlediska teploty povrchu mezi nejvíce problémové, což by mohla zmírnit právě výsadba většího počtu vyšších listnatých stromů, které budou mít zajištěno dostatečné zásobování vodou. Pro výrobní areály se také jeví jako velmi vhodná instalace zelených střech na jejich rozsáhlé skladové a výrobní haly.

5.3 Dotační programy

Jak bylo uvedeno v předchozích kapitolách, iniciativa výsadby a rozšiřování zeleně v městském prostředí závisí, mimo jiné, na možnosti čerpat dotace na takovéto aktivity. Dotační programy jsou jedním z neefektivnějších nástrojů pro ozelenování měst, jelikož samosprávné celky nebo jednotlivci často nedisponují dostatečnými vlastními zdroji na realizaci větší výsadby a její následnou údržbu. Níže jsou uvedeny dva příklady aktuálních a vhodných dotačních programů, které mohou využívat jak samosprávné celky, tak i soukromé osoby pro své projekty ozelenění a zlepšení životního prostředí v obcích.

Výzva č. 4/2021: Výsadba stromů - individuální projekty

V roce 2021 vyhlásilo Ministerstvo životního prostředí České republiky (MŽP), prostřednictvím Státního fondu životního prostředí ČR (SF ŽP) výzvu (č. 4/2021 Výsadba stromů - individuální projekty) k podání žádostí o poskytnutí podpory na výsadbu stromů. Cílem této výzvy je *"zlepšení životního prostředí v obcích a jejich okolí prostřednictvím výsadby stromů, která přispěje k vytvoření kvalitního veřejného prostoru, k vyrovnání teplotních extrémů, ke zlepšení kvality ovzduší a k zadržování vody..."* (Narodniprogramzp.cz, 2021a). Příjemci, mezi něž by měly patřit všechny subjekty, které mají prokazatelný vztah k místu

výsadby, získají podporu na výsadbu vhodných druhů listnatých stromů, zajištění závlahy nebo odborný dohled na péči o vysazené stromy.

Výše dílčí podpory se odvíjí od kategorie stromu (například podle obvodu kmínku) a to od 1 050 Kč/ks do 5 000 Kč/ks, závlaha pak na 1000 Kč/ks. Minimální výše podpory na jeden projekt je 151 000 Kč, maximální 250 000 Kč. Celkově bylo na tuto výzvu alokováno 200 000 000 Kč. Více informací je uvedeno v tabulce na Obrázku 5.5.

Číslo výzvy	4/2021
Prioritní oblast	5. Životní prostředí ve městech a obcích
Podoblast	5.4 Zlepšení funkčního stavu zeleně ve městech a obcích
Podporované aktivity	5.4.A – Zakládání a obnova ploch zeleně včetně doprovodných vodních prvků přírodě blízkého charakteru a realizace opatření k zajištění podmínek pro existenci volně žijících živočichů v sídlech
Oprávnění příjemci podpory	Všechny typy subjektů s prokazatelným vztahem k místu realizace projektu, s výjimkou politických stran a hnutí a organizačních složek státu.
Termíny výzvy	Žádost je možné podat v období od 2. 8. 2021 10:00 do 30. 12. 2023 14:00 , nejpozději však do vyčerpání alokace
Výše podpory	Minimální výše podpory na jeden projekt činí 151 tis. Kč Maximální výše podpory na jeden projekt činí 250 tis. Kč Maximální míra podpory je stanovena na 100 % ze způsobilých výdajů . Vzor výpočtu výše podpory je uveden v čl. 4
Alokace	200 mil. Kč

Obrázek 5.5: Základní informace k dotačnímu programu č. 4/2021 Výsadba stromů - individuální projekty. Zdroj dat: Narodniprogramzp.cz (2021a).

Výzva č. 5/2021: Výsadba stromů - grantové schéma

Dalším možným nástrojem je Výzva č.5/2021: Výsadba stromů - grantové schéma od SF ŽP a MŽP (Narodniprogramzp.cz, 2021b). Zde je na výsadbu listnatých stromů na veřejných prostranstvích alokováno 150 000 000 Kč. O podporu mohou zažádat místní akční skupiny (MAS) nebo nestátní neziskové organizace. Tito příjemci pak mohou finanční prostředky rozdělit pomocí grantů mezi další koncové příjemce. Podpora je limitována spoluúčastí v poměru 1:1 a pohybuje se od 300 000 do 5 000 000 Kč pro příjemce grantu a od 150 000 Kč pro koncového příjemce finanční podpory.

Z rozhovoru se starostou Nekutem plyne, že právě tyto dotační programy město Karlova Řečice úspěšně využívá při realizaci některých projektů na ozelenění. Tyto dotační programy by mohly využívat i jednotlivci z řad občanů nebo místních podnikatelů za účelem zkvalitnění a zahuštění vegetačního porostu v problémových oblastech. Je však nutné zvýšit mezi lidmi informovanost o tomto typu dotací, aby se zvýšila frekvence jejich využívání. Jde o jeden z možných nástrojů boje proti vysokým teplotám povrchu a zhoršujícího

se mikroklimatu ve městě. Dotační pobídky a podpory při boji proti klimatickým změnám na místní úrovni tvoří důležitý základ k pozitivní změně vnímání občanů i samosprávných jednotek při vynakládání finančních prostředků na výsadbu a údržbu městské zeleně. Je velmi důležité, aby dotační programy na ozeleňování byly vyhlašovány v čím dál větší míře i v budoucnosti, spolu se zvýšenou snahou o edukaci v problematice vztahu mezi zvyšující se teplotou ve městech a zastoupením kvalitní a vitální vegetace.

Závěr

Město Kardašova Řečice, ve kterém bylo vymezeno celkem dvanáct zkoumaných lokalit, vykázalo z celkového hlediska neuspokojivý stav městského mikroklimatu a teploty povrchu v nejhustěji obydlených částech města. Výsledné teploty povrchu se lišily především podle charakteristiky povrchu a množství zastoupení vitální vegetace, což dává jasný návod na možná řešení této problematiky. Primární pozornost by se v rámci strategie boje proti rostoucím teplotám povrchu ve městě měla zaměřit na plochy, které jsou vhodné k vysázení vegetačního porostu a v současné době takovým porostem nedisponují. A také na hledání možností, jak ozelenit plochy, které jsou k výsadbě méně vhodné. Tyto plochy zeleně by mohly v budoucnosti pozitivně ovlivnit teploty povrchu v nejproblémovějších lokalitách. Tyto lokality vytvářejí průkazné, menší tepelné ostrovy, jejichž teplota je průměrně o 3 °C vyšší než v jejich blízkém okolí, což potvrzuje hypotézu č. 1. Dále by se měla zaměřit pozornost na již stávající plochy zeleně za účelem jejich udržitelnosti, obnovy a kvalitní a odborné péče, jelikož se prokázal jasný ochlazující vliv kvalitního vegetačního porostu v některých sledovaných lokalitách s průměrně nižšími teplotami povrchu, což potvrzuje hypotézu č. 2. V závěru je také nutné zmínit vliv vodních ploch, které mají v intravilánu města poměrně vysoké zastoupení a byl pozorován jejich ochlazující vliv na své blízké okolí, jak předpokládala hypotéza č. 3.

Cíle této práce se podařilo naplnit. Ve městě Kardašova Řečice bylo identifikováno několik tepelných ostrovů a problémových oblastí. Byla také navržena možná opatření pro zlepšení nepříznivého stavu.

Důležitým úkolem v nejbližší budoucnosti nejen samotného města Kardašova Řečice, ale i dalších samosprávných celků a především státu a evropských institucí, bude finanční podpora ozeleňovacích aktivit a kvalitní edukace občanů a firem o problémech spojených se zhoršováním klimatických a mikroklimatických podmínek, které by mohly vést ke zhoršení kvality života nás všech. Pokud má být život v městském prostředí udržitelný a kvalitní, je potřeba řešit tyto změny včas, s nejvyšší pozorností a důsledností.

Seznam použitých zdrojů

- Aniello, C., Morgan, K., Busbey, A., a Newland, L. (1995). Mapping micro-urban heat islands using Landsat TM and a GIS. *Computers & Geosciences*, 21(8):965–969.
- Antognelli, S. (2018). NDVI and NDMI vegetation indices: instructions for use. [online]. Agricolus [cit. 2022-03-02]. Dostupné z :<https://www.agricolus.com/en/vegetation-indices-ndvi-ndmi>.
- Armson, D., Stringer, P., a Ennos, A. (2012). The effect of tree shade and grass on surface and globe temperatures in an urban area. *Urban Forestry & Urban Greening*, 11(3):245–255.
- Aussenac, G. (2000). Interactions between forest stands and microclimate: ecophysiological aspects and consequences for silviculture. *Annals of forest science*, 57(3):287–301.
- Avissar, R. (1996). Potential effects of vegetation on the urban thermal environment. *Atmospheric environment*, 30(3):437–448.
- Berg, P. G., Ignatieva, M., Granvik, M., a Hedfors, P. (2013). Green-Blue Infrastructure in Urban-Rural Landscapes-Introducing Resilient Citylands. *Nordic Journal of Architectural Research*, 25(2):11–42.
- Brom, J. (2022). Python skript raster_samples2csv.py pro náhodný výběr hodnot z rastru podle definovaných kategorií. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta zemědělská a technologická. Nepublikováno.
- Brom, J., Nedbal, V., Procházka, J., a Pecharová, E. (2012). Changes in vegetation cover, moisture properties and surface temperature of a brown coal dump from 1984 to 2009 using satellite data analysis. *Ecological Engineering*, 43:45–52.
- Brom, J., Procházka, J., Rejšková, A., et al. (2009). Evaluation of functional properties of various types of vegetation cover using remotely sensed data analysis. *Soil and Water Research*, 4(Special Issue 2):49–58.
- Cahyono, A. B., Saptarini, D., Priyadi, C. B., a Armono, H. D. (2017). Estimation of sea surface temperature (SST) using split window methods for monitoring industrial activity in coastal area. *Applied Mechanics and Materials*, 862:90–95.
- Chen, X.-L., Zhao, H.-M., Li, P.-X., a Yin, Z.-Y. (2006). Remote sensing image-based analysis of the relationship between urban heat island and land use/cover changes. *Remote sensing of environment*, 104(2):133–146.

- Cimbůrková, M. (2020). Systém zeleně v Kardašově Řečici. Město Kardašova Řečice.
- Cmes.cz (2021). Slovník. Česká meteorologická společnost. [online]. [cit. 2022-01-15], Dostupné z: <http://slovník.cmes.cz/heslo/2044>.
- Cuzk.cz (2021). Služby Esri ArcGIS Server. [online]. [cit. 2021-12-02], Dostupné z: <https://geoportal.cuzk.cz/>.
- Cuzk.cz (2022). Nahlížení do KN. [online]. [cit. 2022-03-02], Dostupné z: <https://nahliznidokn.cuzk.cz/>.
- Czso.cz (2021). Počet obyvatel v obcích České republiky k 1. 1. 2021. [online]. [cit. 2022-01-15], Dostupné z: <https://www.czso.cz/csu/czso/pocet-obyvatel-v-obcich-k-1-1-2021>.
- Dorer, V., Allegrini, J., Orehounig, K., Moonen, P., Upadhyay, G., Kämpf, J., a Carmeliet, J. (2013). Modelling the urban microclimate and its impact on the energy demand of buildings and building clusters. *Proceedings of BS*, 2013:3483–3489.
- EarthExplorer (2021). Earth Explorer. [online]. [cit. 2021-12-02], Dostupné z: <https://earthexplorer.usgs.gov/>.
- EarthExplorer (2022). Landsat Missions. [online]. [cit. 2022-26-01], Dostupné z: <https://www.usgs.gov/landsat-missions/normalized-difference-moisture-index>.
- EarthObservatory (2022). Land surface temperature. [online]. [cit. 2022-01-14], Dostupné z: https://earthobservatory.nasa.gov/global-maps/MOD_LSTD_M.
- Erell, E., Pearlmutter, D., a Williamson, T. (2012). *Urban microclimate: designing the spaces between buildings*. 1st edition. Routledge, Negev. ISBN 978-1844074679.
- Fan, C., Myint, S. W., a Zheng, B. (2015). Measuring the spatial arrangement of urban vegetation and its impacts on seasonal surface temperatures. *Progress in physical geography*, 39(2):199–219.
- Gallo, K., McNab, A., Karl, T. R., Brown, J. F., Hood, J., a Tarpley, J. (1993). The use of a vegetation index for assessment of the urban heat island effect. *Remote Sensing*, 14(11):2223–2230.
- Grover, A. a Singh, R. B. (2015). Analysis of urban heat island (UHI) in relation to normalized difference vegetation index (NDVI): A comparative study of Delhi and Mumbai. *Environments*, 2(4):125–138.
- Hakner, J. (2017). Heat island effect could double climate change costs for world's cities. [online]. University of Sussex [cit. 2022-03-02]. Dostupné z: <https://www.sussex.ac.uk/broadcast/read/40429>.
- Hart, M. A. a Sailor, D. J. (2009). Quantifying the influence of land-use and surface characteristics on spatial variability in the urban heat island. *Theoretical and applied climatology*, 95(3):397–406.
- Heis.vuv.cz (2022). Hydroekologický informační systém VUV TGM. Mapa. [online]. [cit. 2022-01-15]. Dostupné z: <https://heis.vuv.cz/data/webmap>.

- Herb, W. R., Janke, B., Mohseni, O., a Stefan, H. G. (2008). Ground surface temperature simulation for different land covers. *Journal of Hydrology*, 356(3-4):327–343.
- Hesslerová, P., Pokorný, J., Brom, J., a Rejšková-Procházková, A. (2013). Daily dynamics of radiation surface temperature of different land cover types in a temperate cultural landscape: Consequences for the local climate. *Ecological engineering*, 54:145–154.
- Hrubý, J. (2013). *Místopis Řečice Kardašovy I*. 1. vydání. GARN, Brno. ISBN (Váz.).
- Hudcová, Z. (2014). Územní plán Kardašova Řečice. [online]. Město Kardašova Řečice [cit. 2022-01-10], Dostupné z: <https://www.kardasova-recice.cz/mesto/informace-o-meste/uzemni-plan>.
- Jenerette, G. D., Harlan, S. L., Brazel, A., Jones, N., Larsen, L., a Stefanov, W. L. (2007). Regional relationships between surface temperature, vegetation, and human settlement in a rapidly urbanizing ecosystem. *Landscape ecology*, 22(3):353–365.
- Jin, S. a Sader, S. (2005). Comparison of time series tasseled cap wetness and the normalized difference moisture index in detecting forest disturbances. *Remote Sensing of Environment*, 94(3):364–372.
- Johnston, R., J. (2000). *The Dictionary of Human Geography*. 4th edition. Blackwell Publishers, Oxford. ISBN 9780631205616.
- Karan, S. K., Samadder, S. R., a Maiti, S. K. (2016). Assessment of the capability of remote sensing and GIS techniques for monitoring reclamation success in coal mine degraded lands. *Journal of environmental management*, 182:272–283.
- Kardasova-recice.cz (2022). Fotogalerie. [online]. [cit. 2022-03-02]. Dostupné z: <https://www.kardasova-recice.cz/fotogalerie-1/>.
- Kaufmann, R. K., Zhou, L., Myneni, R., Tucker, C. J., Slayback, D., Shabanov, N., a Pinzon, J. (2003). The effect of vegetation on surface temperature: A statistical analysis of NDVI and climate data. *Geophysical research letters*, 30(22).
- Kravčík, M., Pokorný, J., Kohutiar, J., Kováč, M., a Tóth, E. (2007). *Voda pre ozdravenie klímy – Nová vodná paradigma*. 1. vydání. Krupa Print, Žilina. ISBN 978-80-969766-5-2.
- Kášová, E. (2009). Právní režim ochrany dřevin podle zákona č. 114/1992 Sb., o ochraně přírody a krajiny, ve znění pozdějších předpisů. *Právo–časopis pro právní teorii a praxi*, 2:27–52.
- Landsberg, H. E. (1981). *The urban climate*. 1st edition. Academic press, New York. ISBN 0080924190.
- Li, G. a Weng, Q. (2007). Measuring the quality of life in city of Indianapolis by integration of remote sensing and census data. *International Journal of Remote Sensing*, 28(2):249–267.
- Li, X.-X. a Liu, X. (2021). Effect of tree evapotranspiration and hydrological processes on urban microclimate in a tropical city: A WRF/SLUCM study. *Urban Climate*, 40:1–15.

- Lin, Y., Wang, Z., Jim, C. Y., Li, J., Deng, J., a Liu, J. (2020). Water as an urban heat sink: Blue infrastructure alleviates urban heat island effect in mega-city agglomeration. *Journal of Cleaner Production*, 262:1–8.
- Liu, L. a Zhang, Y. (2011). Urban heat island analysis using the Landsat TM data and ASTER data: A case study in Hong Kong. *Remote sensing*, 3(7):1535–1552.
- Lo, C. P., Quattrochi, D. A., a Luvall, J. C. (1997). Application of high-resolution thermal infrared remote sensing and GIS to assess the urban heat island effect. *International journal of Remote sensing*, 18(2):287–304.
- Marvalová, J. (2007). *Význam vegetace v utváření klimatických charakteristik v městské zástavbě*. Diplomová práce, Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zemědělská fakulta.
- McPherson, E. G. (1994). Cooling urban heat islands with sustainable landscapes. In: Platt, Rutherford H.; Rowntree, Rowan A.; Muick, Pamela C.; (Eds.). *The ecological city: preserving and restoring urban biodiversity. 1st edition. Amherst, MA: University of Massachusetts Press, Amherst*, pp. 151–171. ISBN 0870238841.
- Meili, N., Manoli, G., Burlando, P., Carmeliet, J., Chow, W. T., Coutts, A. M., Roth, M., Velasco, E., Vivoni, E. R., a Fatichi, S. (2021). Tree effects on urban microclimate: Diurnal, seasonal, and climatic temperature differences explained by separating radiation, evapotranspiration, and roughness effects. *Urban Forestry & Urban Greening*, 58:1–13.
- Mohajerani, A., Bakaric, J., a Jeffrey-Bailey, T. (2017). The urban heat island effect, its causes, and mitigation, with reference to the thermal properties of asphalt concrete. *Journal of environmental management*, 197:522–538.
- Málek, Z. (2012). Zeleň - symbol moderní obce. [online]. Envi web [cit. 2022-04-03], Dostupné z: <https://www.enviweb.cz/90159>.
- Narodniprogramzp.cz (2021a). Výzva č. 4/2021: Výsadba stromů - individuální projekty. [online]. [cit. 2022-03-06], Dostupné z: <https://www.narodniprogramzp.cz/>.
- Narodniprogramzp.cz (2021b). Výzva č. 5/2021: Výsadba stromů - grantové schéma. [online]. [cit. 2022-03-06], Dostupné z: <https://www.narodniprogramzp.cz/>.
- Nekut, P. (2021a). Jaro je za dveřmi. [online]. Město Kardašova Řečice [cit. 2022-01-15], Dostupné z: <https://www.kardasova-recice.cz/urad/recicke-zajimavosti/?page=all>.
- Nekut, P. (2021b). Kalamita postihla Řečici. [online]. Město Kardašova Řečice [cit. 2022-01-15], Dostupné z: <https://www.kardasova-recice.cz/urad/recicke-zajimavosti/?page=all>.
- Nekut, P. (2021c). Likvidace následků větrné kalamity pokračovala i na podzim. [online]. Město Kardašova Řečice [cit. 2022-01-15], Dostupné z: <https://www.kardasova-recice.cz/urad/recicke-zajimavosti/?page=all>.
- Nuruzzaman, M. (2015). Urban heat island: causes, effects and mitigation measures-a review. *International Journal of Environmental Monitoring and Analysis*, 3(2):67–73.

- Oke, T. R. (2006). Initial guidance to obtain representative meteorological observations at urban sites. In :*Instrument and Observing Methods(IOM)*. World Meteorological Organization, Geneva, 47, p.
- Owen, T., Carlson, T., a Gillies, R. (1998). An assessment of satellite remotely-sensed land cover parameters in quantitatively describing the climatic effect of urbanization. *International journal of remote sensing*, 19(9):1663–1681.
- Perkins, S. (2004). Paved paradise? Impervious surfaces affect a region's hydrology, ecosystems-even its climate. *Science News*, 166(10):152–153.
- Pokorný, J. (2009). Význam vegetace a vody pro zmírňování klimatické změny. *Ekozemědělní přírodě*, 5:18–19.
- Pokorný, J. a Hesslerová, P. (2011). Úloha vegetace v kulturní krajině ve vztahu k disipaci sluneční energie. *Geografické rozhledy*, 1:28–29.
- Pokorný, J., Hesslerová, P., Jirka, V., Huryna, H., a Seják, J. (2018). Význam zeleně pro klima města a možnosti využití termálních dat v městském prostředí. *Urbanismus a územní rozvoj*, 21(1):1–12.
- Pondělíček, M. (2012). *Zeleň v urbánním prostoru jako indikátor kvality života města*. Doktorská práce, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta architektury.
- Quitt, E. (1971). *Klimatické oblasti Československa*. Geografický ústav ČSAV, Brno.
- Risy.cz (2022). Regionální informační systém - Kardašova Řečice. [online]. [cit. 2022-01-15], Dostupné z: <https://www.risy.cz/cs/vyhledavace/obce/546542-kardasova-recice>.
- Roth, M., Oke, T. R., a Emery, W. J. (1989). Satellite-derived urban heat islands from three coastal cities and the utilization of such data in urban climatology. *International Journal of Remote Sensing*, 10(11):1699–1720.
- Santamouris, M., Papanikolaou, N., Livada, I., Koronakis, I., Georgakis, C., Argiriou, A., a Assimakopoulos, D. (2001). On the impact of urban climate on the energy consumption of buildings. *Solar energy*, 70(3):201–216.
- Šerá, B. (2015). Pozitivní vliv zeleně na uživatele městských sídlišť. *Životné prostredie*, 49(2):100–105.
- Shahmohamadi, P., Che-Ani, A., Maulud, K., Tawil, N., a Abdullah, N. (2011). The impact of anthropogenic heat on formation of urban heat island and energy consumption balance. *Urban Studies Research*, 2011:1–9.
- Sidiqui, P., Huete, A., a Devadas, R. (2016). Spatio-temporal mapping and monitoring of Urban Heat Island patterns over Sydney, Australia using MODIS and Landsat-8. In *2016 4th International Workshop on Earth Observation and Remote Sensing Applications, IEEE, Guangzhou*, pp. 217–221.

- Středová, H., Bokwa, A., Dobrovolný, P., Krédl, Z., Krahula, L., Litschmann, T., Pokorný, R., Rožnovský, J., Středa, T., Vysoudil, M., et al. (2011). *Mikroklima a mezoklima měst, mikroklima porostů*. Český hydrometeorologický ústav, Praha. ISBN 978-80-86690-90-2.
- Susca, T., Gaffin, S. R., a Dell’Osso, G. (2011). Positive effects of vegetation: Urban heat island and green roofs. *Environmental pollution*, 159(8-9):2119–2126.
- Tiwari, A., Kumar, P., Kalaiarasan, G., a Ottosen, T.-B. (2021). The impacts of existing and hypothetical green infrastructure scenarios on urban heat island formation. *Environmental Pollution*, 274:1–14.
- Toparlar, Y., Blocken, B., Maiheu, B., a Van Heijst, G. (2017). A review on the CFD analysis of urban microclimate. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 80:1613–1640.
- Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(2):127–150.
- Voogt, J. A. a Oke, T. R. (2003). Thermal remote sensing of urban climates. *Remote sensing of environment*, 86(3):370–384.
- Vorel, I., Balabánová, P., a Kyselka, I. (2006). Pravidla územního plánování-C. 5 Zeleň. Principy a pravidla územního plánování. [online]. Ústav územního rozvoje [cit. 2022-01-15], Dostupné z: <http://www.uur.cz/default.asp?ID=2571>.
- Weier, J. a Herring, D. (2000). Measuring vegetation (ndvi & evi). [online]. NASA Earth Observatory [cit. 2022-01-10], Dostupné z: <https://earthobservatory.nasa.gov/features/MeasuringVegetation>.
- Weng, Q., Lu, D., a Schubring, J. (2004). Estimation of land surface temperature–vegetation abundance relationship for urban heat island studies. *Remote sensing of Environment*, 89(4):467–483.
- Wu, C., Li, J., Wang, C., Song, C., Chen, Y., Finka, M., a La Rosa, D. (2019). Understanding the relationship between urban blue infrastructure and land surface temperature. *Science of the Total Environment*, 694:1–12.
- Yang, L., Qian, F., Song, D.-X., a Zheng, K.-J. (2016). Research on urban heat-island effect. *Procedia engineering*, 169:11–18.
- Yuan, F. a Bauer, M. E. (2007). Comparison of impervious surface area and normalized difference vegetation index as indicators of surface urban heat island effects in Landsat imagery. *Remote Sensing of environment*, 106(3):375–386.
- Zelenestrechy.info (2022). Zelené střechy. [online]. [cit. 2022-03-02], Dostupné z: <https://www.zelenestrechy.info/pozadavky-na-konstrukci-stresniho-plaste>.
- Zemek, F. (2014). *Letecký dálkový průzkum Země: teorie a příklady hodnocení terestrických ekosystémů*. 1. vydání. Centrum výzkumu globální změny AV ČR, Brno. ISBN 8087902076.

Zhang, Y., Yiyun, C., Qing, D., a Jiang, P. (2012). Study on urban heat island effect based on normalized difference vegetated index: a case study of Wuhan City. *Procedia environmental sciences*, 13:574–581.

Seznam obrázků

1.1	Zobecněný průřez typického UHI (Shahmohamadi et al., 2011)	12
1.2	Analýza vlivu vegetačního zastoupení na utváření UHI. Vlevo oblast s absencí zelené infrastruktury (absence of GIs), vpravo oblast se zelenou infrastrukturou (due to GIs) (Tiwari et al., 2021)	14
1.3	Rozdíl v přeměně sluneční energie mezi suchým, odvodněným povrchem a porostem s dostatečnou zásobou vody (Pokorný et al., 2018)	14
3.1	Zkoumané lokality ve městě Kardašova Řečice. Podkladová mapa Cuzk.cz (2021), vlastní tvorba	22
4.1	Graf znázorňující vztah mezi teplotou povrchu a indexem NDVI v zájmovém území, vlastní tvorba	27
4.2	Graf znázorňující vztah mezi indexem NDVI a NDMI v zájmovém území, vlastní tvorba	28
4.3	Přehled kategorií podle hodnocení teploty povrchu v jednotlivých lokalitách, vlastní tvorba	30
4.4	Teplota povrchu na území města Kardašova Řečice s vymezenými zkoumanými lokalitami. Zdroj dat: EarthExplorer (2021), vlastní tvorba	31
4.5	Krabicový graf teploty povrchu v jednotlivých lokalitách, vlastní tvorba	32
4.6	Hodnoty indexu NDVI na území města Kardašova Řečice s vymezenými zkoumanými lokalitami. Zdroj dat: EarthExplorer (2021), vlastní tvorba	33
4.7	Krabicový graf indexu NDVI v jednotlivých lokalitách, vlastní tvorba	34
4.8	Hodnoty NDMI indexu na území města Kardašova Řečice s vymezenými zkoumanými lokalitami. Zdroj dat: EarthExplorer (2021), vlastní tvorba	36
4.9	Krabicový graf indexu NDMI v jednotlivých lokalitách, vlastní tvorba	37
4.10	Identifikované tepelné ostrovy na území města Kardašova Řečice. Zdroj dat: EarthExplorer (2021), vlastní tvorba	40
5.1	Porovnání ulice Benátky z pohledu vegetačního porostu v polovině 20. století a v roce 2022. Zdroj fotografií: vlastní.	44
5.2	Nová výsadba zeleně ve městě Kardašova Řečice v posledních letech. Zdroj fotografií: vlastní, Kardasova-recice.cz (2022)	45
5.3	Porovnání vegetačního porostu na náměstí Svobody: rok 1958, rok 2020 (před větrnou kalamitou) a rok 2021 (po větrné kalamitě). Zdroj fotografií: vlastní, Kardasova-recice.cz (2022)	46
5.4	Prostor vhodný k možné výsadbě stromů v ulici Míru. Zdroj: vlastní foto	49

5.5	Základní informace k dotačnímu programu č. 4/2021 Výsadba stromů - individuální projekty. Zdroj dat: Narodniprogramzp.cz (2021a).	51
-----	--	----

Seznam tabulek

3.1	Vybrané charakteristiky klimatické oblasti MT 9 (Quitt, 1971)	20
3.2	Charakteristika vymezených lokalit a jejich rozloha v m ²	22
3.3	Hodnoty indexu NDVI a popis jejich charakteristik (Antognelli, 2018) . .	24
3.4	Hodnoty indexu NDMI a popis jejich charakteristik (Antognelli, 2018) . .	25
4.1	Tabulka s uvedením průkaznosti v rámci jednotlivých lokalit u teploty povrchu.	28
4.2	Tabulka s uvedením průkaznosti v rámci jednotlivých lokalit u indexu NDMI.	29
4.3	Tabulka s uvedením průkaznosti v rámci jednotlivých lokalit u indexu NDVI.	29
4.4	Tepelné ostrovy ve městě Kardašova Řečice. Rozloha v km ² , teplota v °C.	39