



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

Časové změny vlivu vegetačního krytu na místní klima
intravilánu obce pomocí metod dálkového průzkumu Země

Autor práce: Bc. Václav Nárovec

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

České Budějovice
2022

Prohlášení

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

V Českých Budějovicích dne

.....

Bc. Václav Nárovec

Abstrakt

Diplomová práce se zabývá změnami hodnot vegetačních indexů a povrchových teplot dříve nezastavěných okrajových ploch města České Budějovice a jeho blízkého okolí, které byly zastavěny po roce 1990. Do diplomové práce byly jako studované plochy vybrány plochy, které byly před rokem 1990 nezastavěné a rozprostíraly se na nich buďto trvalé travní porosty, či orná půda se zemědělskými plodinami. Tyto plochy jsou rozděleny do 4 typů – průmyslové plochy, obslužné plochy, rezidenční plochy vícebytových domů a rezidenční plochy soliterních rodinných domů. V práci jsou použity satelitní snímky Landsat za roky 1990, 1993, 1999, 2006, 2010, 2015 a 2020. Studované plochy byly zkoumány v době před výstavbou, těsně po výstavbě a s odstupem po výstavbě. V období před transformací (rok 1990) byly na většině studovaných ploch vysoké hodnoty vegetačních indexů NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) a NDMI (Normalized Difference Moisture Index) a nízké hodnoty povrchových teplot. Při výstavbě však vegetace ubývala a tím docházelo ke snižování hodnot vegetačních indexů a k navýšení povrchových teplot. Následné zlepšení bylo pozorováno na plochách s vícebytovými a rodinnými domy, kde se po určité době rozrostla vegetace parčíků a přídomních zahrad. V okolí průmyslové plochy a obslužných ploch, kde se vegetace nerozrůstala, zůstávaly hodnoty sledovaných indexů nízké.

Klíčová slova: Městský tepelný ostrov, teplota povrchu, vegetační pokryv, Landsat

Abstract

The diploma thesis deals with changes in vegetation indices and surface temperatures of previously undeveloped peripheral areas of České Budějovice and its immediate surroundings, which were built up after 1990. Areas that were undeveloped before 1990 and spread over either permanent grassland or arable land with agricultural crops. These areas are divided into four types – industrial areas, service areas, residential areas of multi-apartment houses and residential areas of solitary family houses. The work uses Landsat satellite images for the years 1990, 1993, 1999, 2006, 2010, 2015 and 2020. The studied areas were examined in the period before construction, just after construction and with a distance after construction. In the period before the transformation (1990), there were high values of vegetation indices NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) and NDMI (Normalized Difference Moisture Index) and low values of surface temperatures in most of the studied areas. However, during the construction, the vegetation decreased and thus the values of vegetation indices decreased and the surface temperatures increased. Subsequent improvements were observed in areas with multi-apartment and family houses, where the vegetation of parks and residential gardens grew after a certain time. In the vicinity of the industrial area and service areas, where vegetation did not grow, the values of the monitored indices remained low.

Keywords: Urban heat island, surface temperature, vegetation cover, Landsat

Poděkování

Rád bych poděkoval panu doc. Ing. Jakobovi Bromovi, Ph.D. za vedení mé diplomové práce, trpělivost, ochotu a cenné rady, které mi věnoval v průběhu zpracování. V neposlední řadě také děkuji své rodině za podporu při studiu.

Obsah

Úvod	6
1 Cíle a hypotézy práce	7
2 Literární přehled řešené problematiky	8
2.1 Tepelný ostrov města	8
2.2 Oteplující vliv budov a dalších zpevněných ploch	10
2.3 Ochlazující vliv vegetace	11
2.4 Ochlazující vliv vodních ploch	12
3 Popis zájmového území a studovaných ploch	14
4 Metodika	17
4.1 Použité snímky a jejich úprava	17
4.2 Zpracování snímků Landsat	18
4.2.1 Spektrální vegetační indexy	18
4.2.2 Teplota povrchu a její výpočet	20
4.2.3 Standardizace povrchových teplot	21
4.3 Statistická analýza dat	21
4.4 Tvorba grafických a mapových výstupů diplomové práce	22
5 Výsledky	23
6 Diskuse	29
Závěr	34
Seznam použitých zdrojů	36
Seznam obrázků	42
Seznam tabulek	44

Úvod

Rozšiřování kompaktně zastavěného území měst bylo po roce 1989 vyvoláno potřebou výstavby nových bytů ve městech. Vyvstala také potřeba výstavby hal super- a hypermarketů pro zahraniční obchodní řetězce přinášející nový styl nakupování. Dále i výstavba průmyslových, průmyslově-obslužných a velko-skladových hal v této poloze kvůli vymísťování průmyslu a dalších ekonomických aktivit z vnitřních měst (Sýkora a Ouředníček, 2007). Nová výstavba byla nejintenzivnější na okrajích velkých českých měst (Prahy, Brna a krajských měst), ale v poslední době se uskutečňuje i na okrajích menších měst.

Významnou součástí expanze velkých měst byla intenzivní suburbanizace v blízkém zázemí měst, kterou je možné definovat jako stěhování obyvatel, vymísťování bydlení i komerčních a výrobních aktivit z kompaktních měst do sídel v jejich blízkém zázemí. Také suburbánní výstavba přispívá k rozšiřování tepelného ostrova v suburbánně vymezených aglomeracích. Nová výstavba vzniká většinou na zemědělské půdě, nejčastěji orné půdě. Jedná se o značně nepříznivý vývoj, protože Česká republika má poměrně nízkou rozlohu zemědělské a orné půdy připadající na jednoho obyvatele (Věžník a Konečný, 2011).

Rozšiřování kompaktních českých měst o nové rodinné a vícebytové domy a o komerční a průmyslové haly (včetně zpevněných ploch v jejich okolí) na okrajích měst po roce 1989 (Sýkora a Ouředníček, 2007) mělo za důsledek změnu místního klimatu. Dochází ke zmenšování ploch vegetace na těchto plochách, ke snižování dostupnosti vody pro výpar a v důsledku k přehřívání prostředí. Výsledkem je rozšiřování tzv. tepelného ostrova města (Stewart a Oke, 2012; Ward et al., 2016). Projev zastavěných ploch samozřejmě závisí na charakteru povrchů a střech nových stavebních objektů. Pokud kolem objektů postupně vyrostla rozsáhlejší dřevinná zeleň, potom nebyl nárůst teplot ve městech tak vysoký.

Výše uvedené změny se projeví také na okraji a v okolí kompaktních Českých Budějovic (Kubeš, 2009). Po roce 1989 zde vzniklo několik nových zón zástavby rodinných domů, například směrem ke Včelné, na okraji Suchého Vrbného a vícebytových domů, například na jihozápadním okraji sídliště Máj a v okolí Stromovky. Především na severním okraji města se po roce 1989 rozvinula zóna super- a hypermarketů (s jádrem v hypermarketu Globus a s jádrem okolo velkoprodejny Möbelix). U Kněžských Dvorů pak vznikl nový rozsáhlý průmyslový areál firmy Bosch. V blízkém zázemí Českých Budějovic proběhla silná rezidenční suburbanizace rozšiřující zde rezidenční plochy suburbánních rodinných domů (Kubeš a Nováček, 2019).

Je nutno poukázat na rozšiřování měst vlivem suburbanizace a její důsledky. Například narůstání zpevněných povrchů, úbytek zeleně a vody pro výpar v plochách zasažených suburbanizací. S tím souvisí nárůst povrchových teplot, rozšiřování tepelného ostrova a zhoršující se mikroklima. Cílem práce bylo vyhodnotit vliv vývoje uvedených ploch na místní klima.

1 Cíle a hypotézy práce

Hlavním cílem diplomové práce je analyzovat teplotní změny v okrajových plochách kompaktního města České Budějovice zasažených po roce 1989 novou výstavbou různého typu. Byl srovnán stav před výstavbou, těsně po výstavbě a v době po rozvinutí zeleně u této výstavby. Současně bude sledován rozsah zeleně pomocí indexů NDVI a SAVI vyjadřujících množství chlorofylu a vlhkost povrchu pomocí indexu NDMI, vše v uvedených vývojových fázích.

První hypotéza diplomové práce vychází ze zjištění, že bylinná a zvláště vzrostlá dřevinná vegetace, která se na studovaných plochách nacházela před výstavbou nových objektů, ovlivňovala mikroklima dané plochy lépe díky ochlazující funkci. Předpokladem je, že po výstavbě se zde mikroklima značně zhoršilo (Kuang et al., 2015; Peng et al., 2016).

Druhá hypotéza je založena na tom, že na plochách s nově vystavěnými průmyslovými a komerčními halami a zpevněnými plochami kolem nich budou vyšší povrchové teploty než na plochách s obytnými domy, zvláště s menšími soliterními rodinnými domy, protože v okolí těchto domů většinou zůstane nějaká zezeň (parčíky a zahrady), resp. nedojde k vytvoření spojitých zastavěných a zpevněných ploch (Stewart a Oke, 2012).

Ve třetí hypotéze lze předpokládat, že po určité době může v okolí nových objektů vzniknout nová vegetace, která přinese částečné zlepšení mikroklimatu.

2 Literární přehled řešené problematiky

2.1 Tepelný ostrov města

Městský tepelný ostrov je území se zvýšenou teplotou nad městem oproti okolní venkovské až přírodní krajině (Rizwan et al., 2008). Města, charakteristická vyšším podílem zpevněných ploch, mají vysokou tepelnou kapacitu, a tudíž i vhodné podmínky ke vzniku městského tepelného ostrova (Gunawardena et al., 2017; Oke, 1973). Městské materiály jsou většinou nepropustné. V důsledku nepropustných materiálů není k dispozici vlhkost, která by odváděla teplo ze slunečního záření. Navíc tmavé materiály silně zastoupené ve městech zachycují více sluneční energie (Shahmohamadi et al., 2011). Teplota je ve městech navyšována průmyslovou výrobou, dopravou, vytápěním, i přítomností množství lidí. Jak již bylo uvedeno výše, města se vyznačují sušším prostředím. Je to způsobeno také menším zastoupením vzrostlé dřevinné vegetace (Rizwan et al., 2008; Santamouris, 2013).

Kromě sezónního vlivu (tepelný ostrov města období jara, léta, podzimu a zimy) je tepelný ostrov města ovlivněn také změnami v průběhu dne a noci (Deilami et al., 2018). Tepelný ostrov města sice existuje v kteroukoli denní i noční dobu, ale jeho intenzita se mění mezi dnem a nocí. Po západu slunce je proces ochlazování ve městech pomalejší než na venkově. Je to způsobeno existencí vysoké tepelné kapacity materiálů používaných v městských oblastech (např. beton, asfalt). V průběhu dne tedy města absorbují velké množství tepla, které pak uvolňují pomalu přes noc (Deilami et al., 2018).

Tepelné ostrovy se nacházejí nad malými i velkými městy, v podnebí teplém, ale i v chladném (Stewart a Oke, 2012). Města v odlišných zeměpisných šířkách mají poněkud odlišně fungující městské tepelné ostrovy, a to díky rozdílné intenzitě slunečního záření, rozdílné oblačnosti, rozdílnému větrnému proudění atp. Městům ležícím v oblastech s relativně chladným podnebím mohou zvýšené teploty způsobené tepelným ostrovem přinést levnější náklady na vytápění budov, lepší venkovní komfort, dokonce i méně nebezpečí na silnicích kvůli námraze na povrchu nebo mlze. Tepelné ostrovy nad městy v relativně horkém podnebí mohou zvyšovat nepohodlí obyvatelům města a zvyšovat náklady na potřebnou klimatizaci (Stewart a Oke, 2012). Podle Battista et al. (2016) v letních měsících městský tepelný ostrov značně snižuje kvalitu venkovního vzduchu zintenzivněním koncentrace znečišťujících látek. Na druhou stranu, také v době zimní inverze roste ve městech množství znečišťujících látek.

Efekt městského tepelného ostrova se rozvíjí, když se města rozšiřují o další zpevněné povrchy, zejména budovami, parkovišti a komunikacemi (Liu a Weng, 2008; Sun a Chen, 2012). Hlavními důvody rozvoje tepelného ostrova města jsou specifické tepelné vlastnosti povrchových materiálů použitých ve městě a nedostatek evapotranspirace v důsledku ne-

dostatku vzrostlé dřevinné vegetace a vodních ploch ve městě. Negativní dopady tepelného ostrova města jsou dobře známé. Jde například o zvýšení spotřeby energie nadměrným používáním klimatizací, ohrožení zdraví a pohodlí obyvatel města příliš vysokými teplotami a zintenzivněním emisí oxidu uhličitého (Sun a Chen, 2012; Xu, 2009). Stále důležitější je hledání postupů omezování tepelných ostrovů měst pomocí plánování městského designu. Městské mikroklima totiž úzce koreluje s typy a vzory prostorové mozaiky městského prostředí (Deilami et al., 2018). Podle Deilami et al. (2018) existence tepelných ostrovů měst přispívá ke globálnímu oteplení (EPA, 2022).

I když výzkumy městských tepelných ostrovů v posledních několika desetiletích exponenciálně narostly, systematický přehled faktorů přispívajících k efektu městského tepelného ostrova nebyl v literatuře dostatečně popsán (Deilami et al., 2018). Je třeba identifikovat časoprostorové faktory, které přispívají k (nebo zmírňují) efektu městského tepelného ostrova a porozumět jejich kauzálním mechanismům tak, aby byly uplatnitelné v rámci městského plánování (Deilami et al., 2018). Plánování území města musí integrovat vstupy z krajinné ekologie a městského designu (Sun a Chen, 2012).

Zvýšené teploty spojené s městským tepelným ostrovem mohou zhoršovat lidské zdraví a lidskou pohodu díky tepelnému stresu (Tan et al., 2010). Během vln veder je úmrtnost ve městech vyšší než ve venkovských oblastech. Buechley et al. (1972) zjistili exponenciální nárůst úmrtnosti v souvislosti s nárůstem teploty v průběhu vlny veder. Tato úmrtnost souvisí hlavně s respiračním selháním a selháním oběhového systému v důsledku srdečního infarktu nebo mrtvice. Dlouhodobé vystavení teplu v období delší vlny veder je pro lidské zdraví více stresující, než krátkodobé vystavení v izolovaných horkých dnech (Tan et al., 2010).

Stagnující atmosférické podmínky, které jsou časté v průběhu vln veder, mohou zadržet znečišťující látky v městských oblastech a ještě zhoršit negativní dopady tepelného ostrova města. Znečištění ovzduší v podobě zvýšené koncentrace ozónu a PM10 (hrubých prachových částic) se také podílí na nárůstu úmrtnosti. Asi 21 až 38 % nadměrných úmrtí pozorovaných při evropské vlně veder v létě 2003 se podle (Tan et al., 2010) dá připsat znečišťujícím látkám.

Tepelný ostrov města lze vyhodnocovat měřeními na meteorologických stanicích ve městě a v jeho okolí, v současné době se ale používají především metody dálkového průzkumu Země na základě leteckých a družicových snímků. Důležité je, aby nad snímkaným územím nebyla zvýšená oblačnost. Důležitá je také velikost města a jeho charakter, např. podíl a uspořádání vzrostlé zeleně a vodních ploch. Konkrétní druh pokryvu ovlivňuje albedo, vlhkost a ohřívací respektive chladicí potenciál (Stewart a Oke, 2012).

Typy ploch města jsou území s relativně homogenním povrchovým krytem, homogenními povrchovými materiály a s podobnou lidskou činností. Každá taková plocha má charakteristický teplotní režim. Stewart a Oke (2012) ve svém článku zkoumajícím roli různých typů ploch v tepelném ostrovu města rozlišili 17 typů ploch města. Celkem 15 z nich bylo definováno strukturou povrchu a vegetačním krytem a zbylé 2 konstrukčními materiály a antropogenními emisemi tepla. Na základě takto popsaných typů ploch je pak podle autorů možné vytvořit mapu městského tepelného ostrova.

Mezi sousedními studovanými plochami se prolíná teplota vzduchu přízemní vrstvy. Překročí-li při proudění vzduch o určitých vlastnostech hranici se sousední studovanou plochou, začne se postupně přizpůsobovat novému souboru vnitřních podmínek (Stewart

a Oke, 2012). Stewart a Oke (2012) odvozují, že každá studovaná plocha při výzkumu tepelného ostrova města by měla mít minimální průměr 400 – 1000 m.

Proti nárůstu teplot ve městech se dá do určité míry bojovat, například zvýšením albeda použitých venkovních stavebních materiálů, zvýšením povrchové vlhkosti, zvýšením zastoupení vzrostlé dřevinné vegetace a vodních ploch, případně také snižováním uvolňování antropogenního tepla vytvářeného uvnitř obytných, průmyslových a dalších budov (Mirzaei a Haghghat, 2010). Další výstavba budov a zpevněných povrchů, ať už uvnitř města nebo na jeho okrajích, je pokládána za hlavní příčinu rozvoje městského tepelného ostrova (Mirzaei a Haghghat, 2010). Kromě toho autoři zdůrazňují potřebu rozšiřování městské vzrostlé zeleně a vodních ploch.

Donedávna nebylo zapojování znalostí o městském tepelném ostrově do městského plánování shledáváno užitečným. Zčásti také proto, že městská klimatologie nebyla nosnou disciplínou (Mills, 2006; Oke, 1984, 2006b). Vyhodnocování tepelných a dalších charakteristik různých typů studovaných ploch města by mohlo napomoci znalostem o vzniku, rozvoji a změnách tepelného ostrova města a zapojení těchto znalostí do městského plánování (Stewart a Oke, 2012).

2.2 Oteplující vliv budov a dalších zpevněných ploch

Urbanizace ve světě stále narůstá, zvláště v méně rozvinutých zemích Latinské Ameriky, Afriky a jihovýchodní Asie. V roce 2014 bydlelo ve světě ve městech přibližně 54 % obyvatel, v roce 2020 asi 56 %, v roce 2050 se předpokládá nárůst na 66 % (UN, DESA, 2015). Rostou také průměrné teploty na Zemi díky globálnímu oteplování (Harvey, 2016). Oba trendy mají množství nežádoucích vedlejších dopadů. Jedním z těchto dopadů je vznik a rozvoj tepelných ostrovů měst (Stewart a Oke, 2012).

Městské prostředí je složeno z různých povrchů, jako je beton, sklo, kov, jiné stavební materiály, asphalt, dlažba, obnažená půda, půda s vegetací (vzrostlou dřevinnou, bylinnou) a vodní plochy. Vlastnosti těchto povrchů ve značné míře ovlivňují mikroklima města. U kovových a betonových povrchů se teplota pohybuje v podobných hodnotách. Rozdíl však nastane při ochlazování, kdy ochlazování kovu je rychlejší, zatímco betonový povrch si teplo udržuje po delší dobu (Dwivedi a Mohan, 2018). Dwivedi a Mohan (2018) naměřili v Mumbai (Bombaj, Indie) ve stejnou dobu teplotu povrchu s vegetací 30–33 °C a betonového povrchu 55–58,6 °C. Rozdíly jsou tedy velmi velké a působí na mikroklima města. Obnažené půdní povrchy bez vegetace vyzařují obdobné či stejné záření jako betonové povrchy (Dwivedi a Mohan, 2018). Pro analýzy tepelného ostrov města se sluneční záření a teplota zpravidla analyzuje v době jasné a klidné oblohy (Arnfield, 2003).

Důležitý je také charakter střech. Okolní teplota vzduchu na betonových terasách a na stejných terasách s vegetací je rozdílná, rozdíly představují 3–4 °C (Dwivedi a Mohan, 2018). Dojde-li k vybudování terasových zahrad na střechách domů, klesne teplota uvnitř domů. Klimatizace pak nemusí být nutná, nebo bude pracovat s nižší spotřebou. Terasové zahrady, i nižší výkon klimatizace pak sníží celkovou tepelnou zátěž ve městě (Dwivedi a Mohan, 2018). Také z tohoto důvodu současní architekti navrhují ozelenění střech nových budov, případně i ozelenění jejich pláště (Wang et al., 2016). Ozeleněné střechy a stěny budov jsou schopny snížit účinek tepelného ostrova absorpcí tepla a odpařováním, a také zachytit znečišťující látky a hluk (Dwivedi a Mohan, 2018).

Za klidných a jasných večerů jsou tepelné rozdíly u jednotlivých typů povrchů ovlivňovány geometrií budov. Rozdíly mezi budovami s odlišnou geometrií mohou přesáhnout 5 kelvinů (Stewart a Oke, 2012). Ve velkých amerických městech s mnohapatlažními budovami je metodickým problémem výstupné teplo vystupující podél budov směrem vzhůru a specifické lokální proudění vzduchu mezi bloky budov (Mirzaei a Haghghat, 2010).

2.3 Ochlazující vliv vegetace

Povrchová teplota jednotlivých typů vegetačního pokryvu se shoduje s různými schopnostmi těchto vegetačních pokryvů transformovat dopadající sluneční záření (Hesslerová et al., 2013). Především vzrostlá dřevinná vegetace má významný vliv na snižování povrchové teploty, naopak zastavěné plochy ve městě mívají vyšší povrchové teploty (Kuang et al., 2015; Peng et al., 2016). Podobně příznivý vliv jako vzrostlá dřevinná vegetace mají také vodní plochy vodních nádrží a řek (viz další kapitola). Rozdíl povrchové teploty mezi místem pokrytým vzrostlou dřevinnou zelení a asfaltovým povrchem může nabývat 12-15 °C v závislosti na matematicko-geografické, resp. klimatické poloze města (Dwivedi a Mohan, 2018; Hesslerová et al., 2013).

V zeleni, především ve vzrostlé dřevinné zeleni s velkou biomasou, je při fotosyntéze využívána energie ze Slunce a spotřebováván oxid uhličitý k výrobě sacharidů potřebných k růstu. Spotřebováváním oxidu uhličitého, který je jedním ze skleníkových plynů, tak rostliny zpomalují oteplování Země (Geiger et al., 2009).

Z hlediska řešeného problému je třeba ve městě rozlišovat kompaktní vzrostlou stromovou vegetaci, její rozvolněnou formu, křovinnou vegetaci, rozmanitou vegetaci přídomních zahrad, většinou chudou vegetaci vnitrobloků či vegetaci často zastoupených městských travních povrchů. Městská zeleň má řadu funkcí, vedle funkce estetické, hygienické, biotické, i výše zmíněnou funkci ochlazující. Vzrostlá dřevinná zeleň vykazuje relativně dobře vyváženou dynamiku denních teplot s nízkými teplotními extrémy a pomalým zvyšováním teplot od ranních do večerních hodin (Hesslerová et al., 2013). Pomalejší nárůst povrchových teplot během dne je patrný na plochách s hustou vzrostlou dřevinnou vegetací a dobrým zásobením vodou, například v břehových porostech na březích vodních toků a nádrží, také v zapojeném lese, dokonce i na vlhkých loukách (Hesslerová et al., 2013; Kuang et al., 2015; Příbáň a Ondok, 1985).

Zapojená stromová vegetace má velký vliv na teplotu zemského povrchu, jakož i na chemické a biologické procesy v příslušných městských ekosystémech (Hesslerová et al., 2013). Bowler et al. (2010) zjistili zjevné chladící efekty enkláv parků ve městech. Chang et al. (2007) nebo Cao et al. (2010) objevili, že velikost a tvar parku jsou ovlivňujícími faktory. Parky se složitými tvary poskytovaly silnější efekty chlazení. Vliv měl také typ zeleně parku (Chen et al., 2014; Kong et al., 2014). Schopnost ochlazovat své okolí pomocí evapotranspirace se u jednotlivých druhů stromů a keřů, resp. u jednotlivých forem dřevinné vegetace, liší. Závisí to na hustotě korun stromů a keřů, na hustotě listů v korunách, na velikosti korun a na optických vlastnostech listů stromů a keřů (Kong et al., 2016). Větší evapotranspirace dosahují malolisté druhy dřevin než velkolisté druhy (Kong et al., 2016).

Má-li vzrostlá stromová vegetace dostatek půdní vody, případně dosáhne-li na vodu spodní, tak díky schopnosti evaporace a transpirace může snižovat teplotu (Hesslerová et al., 2013). Evaporace a transpirace ve vzrostlé dřevinné vegetaci je ovlivněna množstvím

slunečního záření, vlhkostí vzduchu, dostupností vody, atmosférickým tlakem a příslušnými biologickými faktory (Huryna et al., 2014).

Další výhodou vzrostlé dřevinné vegetace je její nízká tepelná vodivost a tendence energii uvolňovat pomalu, což také vede k nižším teplotám (Kuang et al., 2015). Plochy pokryté vyšší dřevinnou vegetací, i jednotlivé stromy, navíc vytvářejí stín, který zabraňuje přímému ohřevu okolního povrchu ze slunečního záření (Estoque et al., 2017). Vzrostlá dřevinná vegetace má díky zastínění a evapotranspiraci schopnost ochlazovat své vnitřní prostředí, které je pak příznivě pocítováno (Gage a Cooper, 2017).

Z hlediska řešené problematiky je důležitá fragmentace ploch vzrostlé dřevinné zeleně ve městě. Ovšem v tomto případě nejsou názory odborníků konzistentní. Peng et al. (2016) uvádějí, že kompaktnější, méně rozptýlená dřevinná zeleň může být výhodná pro snížení povrchových teplot. Ve studii Ward et al. (2016) se naopak uvádí, že malé plochy dřevinné zeleně roztroušené uprostřed zástavby mohou mít větší a lepší vliv než velké ucelené plochy dřevinné vegetace.

Odstraněním stromové a keřové vegetace při výstavbě nových domů, neobytných objektů a jiných zpevněných ploch se výrazně mění vlastnosti příslušných povrchů. Je-li území s odstraněnou vzrostlou dřevinnou vegetací rozsáhlé, změněná tepelná a vodní rovnováha může vést ke změnám klimatu a hydrologie území. Půda bez vegetace má menší schopnost vsaku a nepůsobí na ní evapotranspirace. Eliminováním vegetace dochází ke změnám hodnot albeda (Oke, 2006a). Nižšímu efektu tepelného ostrova města tedy významně napomáhá větší rozsah vzrostlé stromové a keřové zeleně ve městě – větší rozsah městských parků, další veřejné zeleně, alejí, břehové zeleně, zahrad atp., stejně tak přítomnost vodních ploch rybníků a vodních hladin větších toků.

Při velkém slunečním ozáření holých umělých povrchů střech budov, ulic, parkovišť a dalších zpevněných ploch ve městě dochází díky ohřevu těchto ploch k turbulenci ve vzdušnině nad těmito plochami (Huryna et al., 2014).

2.4 Ochlazující vliv vodních ploch

Vodní útvary ve městě tvoří městské chladicí enklávy zmírňující účinky městského tepelného ostrova (Du et al., 2016; Sun a Chen, 2012). Konkretizace těchto účinků může pomoci urbanistům a plánovačům města při rozhodování, jak dosáhnout optimálních návrhů designu městské krajiny při hledání ekologičtějšího a příjemnějšího životního prostředí ve městě (Sun a Chen, 2012).

Primární význam vodních útvarů pro městské klima je v jejich vlivu na přeměnu citelných a latentních tepelných toků. Na jednu stranu vysoká tepelná kapacita vodních útvarů ve srovnání s okolními povrchy vytváří „termostatické efekty“ (Spronken-Smith et al., 2000). Na druhou stranu vysoký výpar vede ke zjevným „oázovým efektům“ vodních útvarů a hraje důležitou roli při snižování okolní teploty povrchového vzduchu (Oke, 2006a). Vodní útvary tak fungují jako chladicí ostrovy ve městech, hlavně v létě (Bowler et al., 2010; Sun a Chen, 2012). Existující studie zabývající se tepelným ostrovem města se zatím málo zaměřovaly na ochlazovací účinky vodních útvarů (Sun a Chen, 2012).

Při stejné celkové ploše vodních útvarů může více malých vodních útvarů nabídnout příznivější chladicí účinky. Důležitá je také poloha vodních útvarů vůči okolním plochám města. Pokud je v okolí vodního útvaru hustá zástavba, potom to vede k vyšší intenzitě a účinnosti chlazení (Sun a Chen, 2012). Naopak, existence husté zástavby v těsném okolí

vodního útvaru může zvýšit teplotu vody. Vodní útvary mohou na jedné straně absorbovat citelné teplo a současně ochlazovat okolní teplotu vysokým výparným teplem. Úzký vodní útvar (menší řeka) vytváří na rozdíl od velké vodní plochy či větší řeky malý gradient vlhkosti a teploty mezi vodním útvarem a okolním prostředím (Sun a Chen, 2012).

K regulaci městské teploty používají urbanisté a architekti vodní útvary nacházející se ve městech již delší dobu (Coutts et al., 2013; Steeneveld et al., 2014). V zimě mohou vodní útvary hrát roli tepelného zdroje v důsledku „efektu termostatu“ (Spronken-Smith et al., 2000). Lze také uvést, že vyšší výpar díky přítomnosti vodních ploch zvyšuje tvorbu oblačnosti, a tato oblačnost pak snižuje míru dopadajícího slunečního záření, zvyšuje množství srážek, a to také přispívá k ochlazení města (Brom et al., 2012). Kromě odpařovacího efektu má voda také poměrně vysokou tepelnou kapacitu. V důsledku toho je rozsah denních teplot vody vodních útvarů ve městech menší ve srovnání s běžnými městskými plochami (Heusinkveld et al., 2010). Tepelný režim vodních ploch ve městech má příznivý dopad na obyvatele města, na jejich tepelný komfort. Ten je důležitý pro zdravý spánek obyvatel města i pro jejich denní aktivitu (Steeneveld et al., 2014).

Vodní útvary mají vysokou tepelnou setrvačnost a kapacitu, nízkou tepelnou vodivost a nízkou zářivost (Du et al., 2016; Wilson et al., 2003). Kromě toho, vodní útvary absorbují méně tepla než budovy, protože mají méně povrchů (budovy mají kromě střechy i vnější kolmé stěny osvětlované sluncem) (Zhou a Shu, 1994). Vodní útvar ve městě ovlivňuje i teplotu okolního městského prostředí. Adams a Dove (1989) zjistili, že 35 m široká řeka způsobila pokles okolní teploty o 1–1,5 °C. Většího poklesu teploty by bylo možné dosáhnout, kdyby byla řeka doplněna pobřežními dřevinami. Geometrie vodních útvarů má také významný vliv. Členitější a protažené vodní útvary mají delší kontaktní zónu, takže je jejich působení rozsáhlejší. Velké zpevněné plochy a rozsáhlé zastavěné plochy kolem vodního útvaru nejen zvyšují teplotu uvedených ploch, ale také zvyšují teplotu samotného vodního útvaru. Účinky vodních ploch charakteru jezer, rybníků a vodních nádrží jsou podle (Du et al., 2016) výrazně silnější, než účinky užších řek.

3 Popis zájmového území a studovaných ploch

Studované plochy leží převážně v intravilánu Českých Budějovic, některé studované plochy se nacházejí v intravilánech suburbií v blízkém okolí Českých Budějovic. Řešené město je metropolí jižních Čech, v současnosti má něco přes 94 tisíc obyvatel. Leží na řece Vltavě, v nadmořské výšce 387 m, okrajové části intravilánu Českých Budějovic jsou situovány o něco výše (přibližně 420 m). České Budějovice leží přibližně uprostřed jižních Čech, na dopravní trase Praha – Linec.

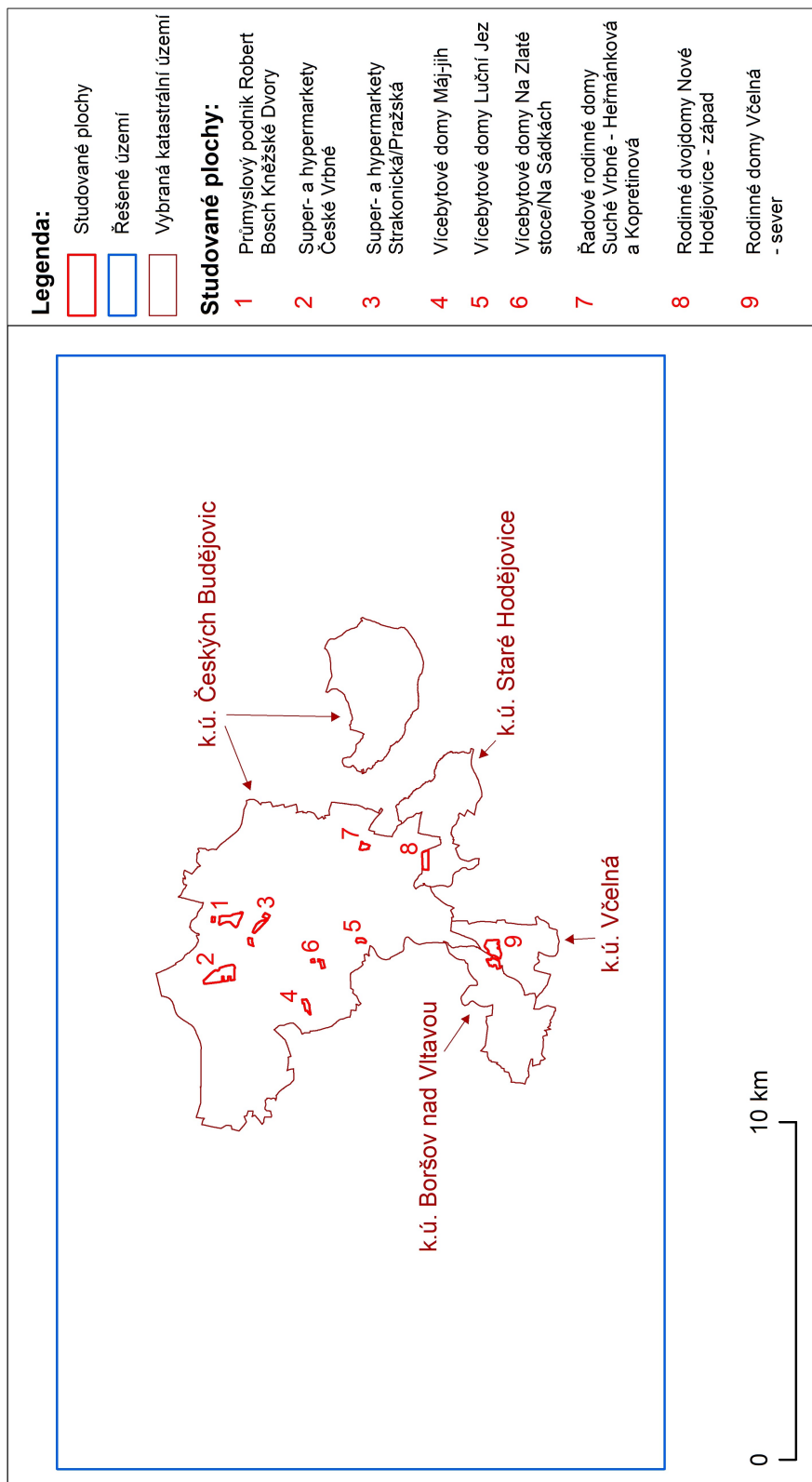
Studované plochy jsou nové vzniklé (zastavěné) plochy města, případně nejbližších suburbií. Všechny vznikly po roce 1989 na nezastavěném povrchu (případně zde byly drobné provizorní stavby). Studované plochy spadají do tří funkčních typů, jedná se o plochy průmyslové, oblužné a rezidenční. Rezidenční studované plochy jsou pak rozčleněny na vícebytové a plochy rodinných domů. Všechny zmíněné studované plochy jsou vyznačeny v Obrázku 3.1 (katastrální území – ARCDATA Praha (2022)).

Mezi studované průmyslové plochy byl zařazen průmyslový podnik Robert Bosch Kněžské Dvory v městské části Kněžské Dvory. Leží v severním výběžku intravilánu Českých Budějovic. Tato nová průmyslová plocha je složena z plošně rozsáhlých hal s plechovou střechou, mezi halami jsou úzké manipulační zpevněné plochy (asfalt) využívané především pro vnitropodnikový transport. Pouze na obvodu průmyslové plochy se ojediněle vyskytují drobné skupiny stromů a navazující trávníky. Součástí uvedené plochy je ještě nová územně oddělená obdélníková plocha s asfaltovým povrchem a patrovými garážemi. V minulosti byly na studované průmyslové ploše travní porosty (ve střední a severní části) a starší průmyslové budovy (v jižní části) – zjištěno na základě rozmanitých archivních ortofotomap a topografických map.

Byly vybrány dvě oblužné plochy a to super- a hypermarkety České Vrbné a super- a hypermarkety Strakonická/Pražská. První zmíněná plocha se nachází na severozápadním okraji Českých Budějovic, severně od sídliště Vltava. Zatímco, druhá plocha leží v severní části města České Budějovice, na jižním okraji Kněžských Dvorů, poblíž řeky Vltavy. Obchodní plochy jsou konglomerát velkých plechových hal hypermarketů a menších hal supermarketů a retail parků, které jsou obklopeny rozsáhlými parkovišti. V zadních traktech hal jsou přístupové komunikace pro kamiony přivážející zboží. Také ony mají asfaltový povrch. Uvnitř parkovišť pro osobní automobily a podél některých vnitřních komunikací byly vysázeny okrasné stromy, mezi komunikacemi a halami jsou někde úzké pruhy trávníků. V minulosti byla na obchodních plochách zemědělská půda polí a luk, jen v prostoru hypermarketu UNI HOBBY Market byla rozmanitá stará zástavba a menší zemědělské plochy zahradního typu (zjištěno na základě rozmanitých archivních ortofotomap a topografických map).

Dále byly do diplomové práce zahrnuty rezidenční plochy vícebytových domů, jedná se o vícebytové domy Máj – jih, vícebytové domy Luční Jez, vícebytové domy Na Zlaté stoce/Na Sádkách. Studovaná plocha vícebytové domy Máj – jih se nachází v západní části města České Budějovice, na jižním okraji sídliště Máj, podél ulice Branišovská. Vícebytové domy Luční Jez leží v jihozápadní části města České Budějovice, na levém břehu řeky Vltavy. Poslední plocha vícebytových domů se nachází v západní části města České Budějovice, nedaleko areálu Jihočeské univerzity. Tyto studované plochy jsou zastavěny vícebytovými domy. V okolí jednotlivých domů vznikla zpevněná dlážděná parkoviště, zbylé volné plochy pokrývají trávníky a ojediněle keře a nižší stromy rozčleněné chodníky. Na ploše vícebytové domy Máj – jih byla v minulosti zemědělská půda (louky a orná půda). Na druhé studované ploše se nacházely různé objekty vojenského útvaru a navazující parkoviště vojenské techniky, v 90. letech zde byl vojenský brownfield. V severní části poslední jmenované studované plochy byla v minulosti stará zástavba, v jižní části studované plochy se rozprostírala plocha s trvalým travním porostem – zjištěno na základě rozmanitých archivních ortofotomap, topografických map a vzpomínek pamětníků.

Mezi rezidenční plochy rodinných domů autor diplomové práce vybral řadové rodinné domy Suché Vrbné – Heřmánková a Kopretinová, rodinné dvojdomy Nové Hodějovice – západ a rodinné domy Včelná - sever. První rezidenční plocha rodinných domů leží v jihovýchodní části města České Budějovice. Druhá studovaná plocha se nachází na jižním okraji Českých Budějovic. Třetí plocha pak leží jihozápadně od města České Budějovice, v severní části obce Včelná. Zástavbu tvoří řadové rodinné domy, rodinné dvojdomy a solitérní rodinné domy s garážemi, případně i menšími zahradními stavbami na zahrádkách za domy. Zeleň okolo domů a v zahrádkách je tvořena hlavně okrasnými či ovocnými stromy a keři s trávníky. Před výstavbou se na studovaných plochách rozprostíraly trvalé travní porosty a pole orné půdy – zjištěno na základě rozmanitých archivních ortofotomap, topografických map a vzpomínek pamětníků.



Nárovec (2021), Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta zemědělská a technologická, Katedra aplikované ekologie.

Zdroj: ArcČR 500

Souřadnicový systém: WGS 1984 UTM Zone 33N

Obrázek 3.1: České Budějovice a okolí

4 Metodika

4.1 Použité snímky a jejich úprava

Výzkum tepelného ostrova města vyžaduje konzistentní a spolehlivý datový soubor pro odvození jak intenzity tepelného ostrova města, tak základních změn krajinného pokryvu, aby bylo možné zkoumat vliv časoprostorových faktorů na tepelný ostrov města (Deilami et al., 2018). Při těchto výzkumech se používají družicové nebo letecké snímky. Nejčastěji se jedná o snímky pořízené družicí Landsat. Podle Deilami et al. (2018) lze popularitu snímků Landsat pro studie tepelného ostrova města přičíst čtyřem faktorům: snímky jsou volně dostupné, mají celosvětové pokrytí s přiměřeným prostorovým rozlišením 30×30 m, jsou k dispozici za dlouhé období (od roku 1972) a od roku 1982 umožňují zkoumat tepelná a tematická spektrální pásma nezbytná k provádění analýz tepelného ostrova města. Získání snímků bez oblačnosti ale může být pro některé regiony v určitém období roku náročné (Deilami et al., 2018).

Při výzkumu vlivu vegetačního krytu na místní klima vybraných studovaných ploch ležících v intravilánu Českých Budějovic a okolních suburbii bylo postupováno následujícím způsobem. Nejprve byly vymezeny studované plochy v ortofotomapách. Pomocí internetové aplikace EO Browser (Sentinelhub, 2021) a historických ortofotomap byl sledován land use před transformací studovaných ploch, krátce po jejich transformaci, a současný stav. Historické ortofotomapy byly získány z mapového portálu Českého úřadu zeměměřického a katastrálního (CUZK, 2021) a z Historického atlasu Českých Budějovic (Sak et al., 1996).

Následoval další krok – získání družicových snímků Landsat, zobrazujících studované plochy v několika časových řezech pro zjištění hodnot vegetačních indexů a výpočet povrchových teplot. Výběr vhodných snímků Landsat byl proveden pomocí Earth Exploreru (USGS, 2021a). Zde byla vybrána území a časové období. Důležité bylo vybrat snímky s nízkým procentem oblačnosti. Snímky pak byly staženy ze stránek United States Geological Survey (USGS, 2021b), a byla k nim vybrána i potřebná metadata. Stažené snímky byly upraveny v programu QGIS (verze 3.18). Pomocí rozšíření Cloud Masking byla odstraněna oblačnost a její stíny, neboť v místech, kde se nacházela oblačnost, byla data zkeslená. Kromě toho musela být data přepočítána na spektrální reflektanci.

Následně byly vypočítány zonální statistiky, kde byla získána data pro tvorbu spojnicových grafů. Bylo potřeba vektorovou vrstvu se studovanými plochami rasterizovat. Do konzole Python v programu QGIS byl vložen skript pro náhodný výběr prvků ze studovaných ploch (Brom, 2022). Ve skriptu byla zadána cesta ke snímkům s rastrem se studovanými plochami. Dále pak byl zadán název rastru se studovanými plochami a počet pixelů, které má skript náhodně vybrat. Skript náhodně vybíral 30 pixelů z každé studované

plochy (podle velikosti studované plochy Luční Jez). Výsledkem byl soubor ve formátu CSV. Data z výsledného souboru byla použita pro statistické analýzy.

V diplomové práci bylo sledováno postsocialistické období transformace původně většinou nezastavěných ploch s trvalými travními porosty, ornou půdou, výjimečně i s ojedinelou rozvolněnou starou zástavbou (studovaná plocha Luční Jez) na plochy zastavěné budovami. První snímky pocházejí z roku 1990 (z července). Poslední snímky pocházejí ze současnosti, tedy z roku 2020 (rovněž z července), kdy již byly studované plochy s budovami v různé míře znovu ozeleněny v podobě trávníků, někde i dřevinné zeleně. Do sledovaného období byly zařazovány ještě další snímky podle toho, kdy byla studovaná plocha zastavována (Tabulka 4.1). Ve všech případech byly použity snímky z měsíce červenec, kdy vrcholí léto. Snímky z června byly často nepoužitelné kvůli vysokému procentu oblačnosti nad studovanými plochami. Vzhledem k průletu družice Landsat nad řešeným územím, snímky zobrazují Českobudějovicko v dopoledních hodinách, mezi 11:00 a 12:00.

4.2 Zpracování snímků Landsat

4.2.1 Spektrální vegetační indexy

Spektrální vegetační indexy jsou vytvářeny kombinací dat z více spektrálních pásem do jediné hodnoty. Účelem spektrálních vegetačních indexů je zesílení vegetačního signálu v dálkově snímaných datech a poskytnout přibližné měření množství živé zelené vegetace (CCPO, 2022; Deilami et al., 2018; Perry a Lautenschlager, 1984). Mezi indexy vegetačního pokryvu je nejznámějším, a také široce používaným, normalizovaný rozdílový vegetační index NDVI (Normalized Difference Vegetation Index) (Jiang et al., 2006; Montandon a Small, 2008; Tucker, 1979).

NDVI byl navržen pro monitorování fotosyntetické aktivní biomasy a využívá silný odraz vegetace v blízké infračervené oblasti a její odlišnosti od červeného spektra (Tucker, 1979). Hodnota NDVI se pohybuje mezi -1 a +1. Hodnoty menší než nula znamenají oblačnost, sníh a vodu. Hodnoty -1 značí hluboké vodní útvary. Hodnoty okolo +1 značí hustou vegetaci. Vysoké hodnoty NDVI označují zdravou vegetaci, nízké hodnoty NDVI označují buď nepřítomnost, nebo vegetaci s nízkou pokryvností (Choubin et al., 2017). Tento vegetační index je ve studiích analýz tepelného ostrova města často používán, viz DeVries et al. (2015); Verbesselt et al. (2010, 2012) a mnozí další. Index NDVI se vypočítá takto:

$$NDVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED)}, \quad (4.1)$$

kde:

NIR – blízké infračervené záření,

RED – záření v červené oblasti spektra.

V diplomové práci byl použit také vegetační index SAVI (Soil Adjusted Vegetation Index) (Allen et al., 2007). SAVI se používá ke změkčení efektů půdního pozadí (Allen et al., 2007). SAVI se vypočítává pomocí dvou pásem červeného a blízkého infračerveného

Tabulka 4.1: Doba pořízení analyzovaných snímků Landsat pro jednotlivé studované plochy

Typ studované plochy	Den, měsíc a rok pořízení snímku	Stav land-use v době pořízení snímku
Studovaná plocha		
Průmyslové plochy		
Průmyslový podnik	12. 07. 1990	bez zástavby a stará prům. zástavba
Robert Bosch	04. 07. 1993	1. hala v jižní části studované plochy
Kněžské Dvory	24. 07. 2006	2. hala a parkoviště v areálu prům. p.
	17. 07. 2015	3. hala a parkoviště severně od areálu
	30. 07. 2020	stav zastavění dnes
Obslužné plochy		
Super- a hypermarkety České Vrbné	12. 07. 1990	bez zástavby
	24. 07. 2006	Globus a Géčko - po jeho výstavbě
	03. 07. 2010	Bauhaus a menší obchodní haly
	17. 07. 2015	Asko
	30. 07. 2020	stav zastavění dnes
Super- a hypermarkety Strakonická/Pražská	12. 07. 1990	bez zástavby a stará zástavba
	05. 07. 1999	Albert, Möbelix, Uni Hobby Market
	03. 07. 2010	Sconto
	30. 07. 2020	stav zastavění dnes
Rezidenční plochy – vícebytové domy		
Vícebytové domy Máj – jih	12. 07. 1990	bez zástavby
	24. 07. 2006	východní a střední část
	17. 07. 2015	zbytek - západní část
	30. 07. 2020	stav zastavění dnes
Vícebytové domy Luční Jez	12. 07. 1990	stará zástavba
	03. 07. 2010	větší část dnešní zástavby
	30. 07. 2020	stav zastavění dnes
Vícebytové domy Na Zlaté stoce/ Na Sádkách	12. 07. 1990	bez zástavby a stará zástavba
	24. 07. 2006	severní část
	30. 07. 2020	stav zastavění dnes
Rezidenční plochy – rodinné domy		
Řadové rodinné domy Suché Vrbné – Heřmánková a Kopretinová	12. 07. 1990	bez zástavby
	24. 07. 2006	severní část studované plochy
	17. 07. 2015	jižní část studované plochy
	30. 07. 2020	stav zastavění dnes
R. dvojdomy Nové Hodějovice – západ	12. 07. 1990	bez zástavby
	30. 07. 2020	stav zastavění dnes
Rodinné domy Včelná – sever	12. 07. 1990	bez zástavby
	03. 07. 2010 30. 07. 2020	západní a malá část východní části stud. p. stav zastavění dnes

záření z družicových snímků následujícím způsobem:

$$SAVI = \frac{(NIR - RED)}{(NIR + RED + L)} \cdot (1 + L), \quad (4.2)$$

kde:

NIR – blízké infračervené záření,

RED – záření v červené oblasti spektra,

L – korekční konstanta (nabývá hodnot od 0 do 1),

$L = 0$ – pro místa s bohatou vegetací,

$L = 1$ – pro místa bez vegetace,

$L = 0,5$ – standardní konstanta.

Posledním vegetačním indexem použitým v diplomové práci byl vegetační index NDMI (Normalized Difference Moisture Index) (Choubin et al., 2017). NDMI je index, který se používá ke studiu vlhkosti povrchu. Identifikuje odchylky v obsahu vlhkosti na úrovni krajinných prvků, zejména pro vegetaci nepokrytou půdu a pro různou vegetaci (Choubin et al., 2017). NDMI se vypočítává pomocí blízkého infračerveného a krátkovlnného záření následujícím způsobem:

$$NDMI = \frac{(NIR - SWIR)}{(NIR + SWIR)}, \quad (4.3)$$

kde:

NIR – blízké infračervené záření,

$SWIR$ – krátkovlnné záření.

Hodnoty NDMI se pohybují od -1 do +1, kde kladné hodnoty znamenají vysokou úroveň vlhkosti a záporné hodnoty znamenají nízkou úroveň vlhkosti (Choubin et al., 2017).

4.2.2 Teplota povrchu a její výpočet

Teplota zemského povrchu (Land Surface Temperature – LST) vyjadřuje kynetický stav povrchu prostřednictvím vyzařování dlouhovlnné radiace podle Stefan-Boltzmannova zákona. Vypočítává se z intenzity dlouhovlnného záření emitovaného povrchem jako jasová teplota povrchu. Odhad teploty povrchu země závisí též na albedu, vegetačním krytu a vlhkosti půdy (Copernicus, 2021). Teplota povrchu země zjištěná z družic je odrazem teploty vegetace a půdy a je výsledkem energetických přeměn na povrchu (Copernicus, 2021).

Teplota povrchu (T) byla vypočítána podle vzorce:

$$T = \frac{K_2}{\ln \frac{K_1}{(L_\lambda)} + 1}, \quad (4.4)$$

kde:

L_λ – spektrální záření v horní vrstvě atmosféry [$W/(m^2 \cdot srad \cdot \mu m)$]

K_1 – konstanta tepelné konverze specifické pro pásmo 10 z metadat,

K_2 – konstanta tepelné konverze specifické pro pásmo 10 z metadat.

V prvním kroku je třeba vypočítat L_λ podle vzorce:

$$L_\lambda = (RAMB \cdot DN) + RAAB, \quad (4.5)$$

kde:

L_λ – spektrální záření v horní vrstvě atmosféry [$W/(m^2 \cdot srad \cdot \mu m)$],

DN – vrstva snímku (tepelné pásmo 10),

$RAMB$ – RADIANCE MULTI BAND 10, což je přístrojová konstanta,

$RAAB$ – RADIANCE ADD BAND 10, což je přístrojová konstanta.

Výsledná teplota byla převedena z hodnot Kelvina na stupně Celsia.

4.2.3 Standardizace povrchových teplot

Standardizace povrchových teplot (z) byla provedena pomocí standardizace směrodatnou odchylkou. Účelem standardizace povrchových teplot je odstranění dat s velkým rozptylem hodnot, které by ovlivňovaly výsledek. Pro výpočet byla použita plocha širší oblasti zájmového území o celkové výměře 594 km^2 . Standardizace teploty povrchu byla provedena podle vztahu:

$$z = \frac{(x - \bar{x})}{\sigma} \quad (4.6)$$

kde:

z – standardizovaná hodnota teploty povrchu,

x – hodnota pixelu,

\bar{x} – průměrná hodnota teploty povrchu v rámci snímku,

σ – směrodatná odchylka.

4.3 Statistická analýza dat

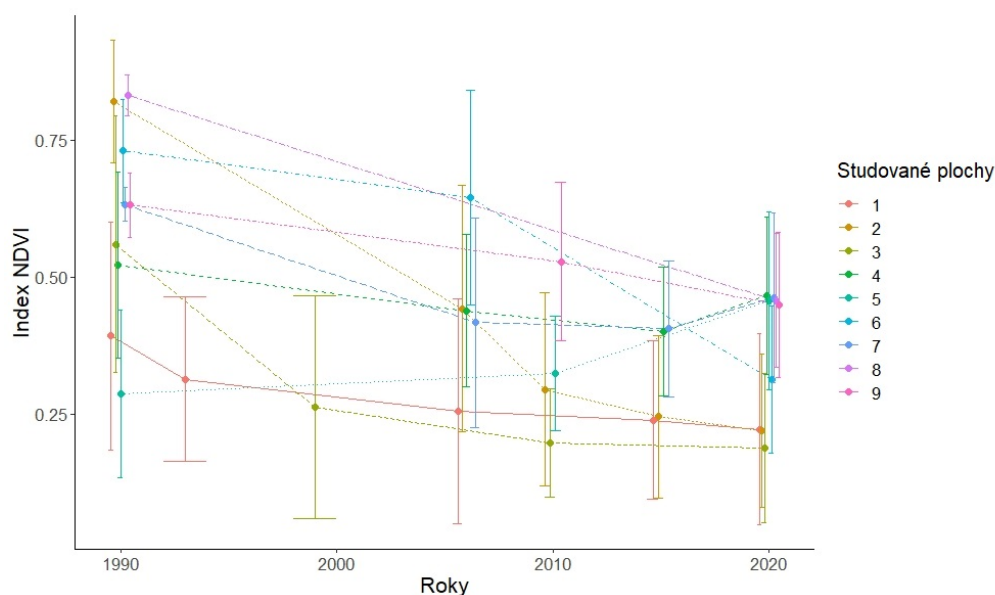
Rozdíly sledovaných parametrů mezi jednotlivými lokalitami byly testovány pomocí analýzy testování hypotéz. Pro hodnocení normality dat byl použit Shapirův-Wilkův test. Protože ve všech případech bylo zjištěno, že se rozdělení dat statisticky významně liší od normálního rozdělení, byl pro testování rozdílů mezi lokalitami použit Kruskal-Wallisův test. Pro statistickou analýzu byl použit jazyk R (R Core Team, 2021) v programu RStudio. Testování bylo provedeno na hladině pravděpodobnosti $\alpha = 95 \%$.

4.4 Tvorba grafických a mapových výstupů diplomové práce

Mapové výstupy byly vytvořeny v programech ArcMap a QGIS. Grafy byly vytvořeny v programu v R.

5 Výsledky

Statistické porovnání sledovaných veličin (NDVI, SAVI, NDMI a povrchových teplot) vykázalo ve všech případech statisticky významné rozdíly mezi sledovanými lokalitami, viz Tabulka 5.1.

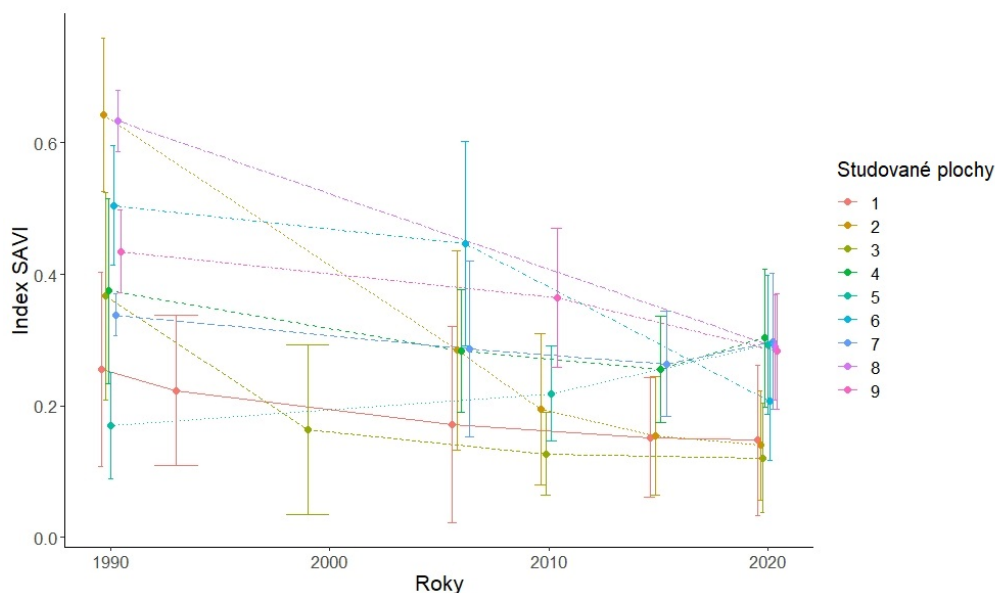


Obrázek 5.1: Graf průměrných hodnot indexu NDVI na studovaných plochách v průběhu sledovaných let (1 – Průmyslový podnik Robert Bosch Kněžské Dvory, 2 – Super- a hypermarkety České Vrbné, 3 – Super- a hypermarkety Strakonická/Pražská, 4 – Vícebytové domy Máj – jih, 5 – Vícebytové domy Luční Jez, 6 – Vícebytové domy Na Zlaté stoce/Na Sádkách, 7 – Řadové rodinné domy Suché Vrbné – Heřmánková a Kopretinová, 8 – Rodinné dvojdomy Nové Hodějovice – západ, 9 – Rodinné domy Včelná – sever)

Studovaná plocha s průmyslovou zástavbou měla ve všech sledovaných časech hodnoty indexu NDVI převážně menší než 0,5 (Obrázek 5.1), což jsou hodnoty typické hlavně pro zástavbu a půdu bez vegetace. V průběhu sledovaných let docházelo k odstranění vzrostlé dřevinné vegetace, ale i travních ploch v enklávách uvnitř řešené plochy (Obrázek 5.2), v jejích rozích a na okrajích, tak jak se na studované ploše rozvíjela zástavba průmyslových hal a zpevněných povrchů. S odstupem času po výstavbě, v období 2015 až 2020, došlo k jistému posílení vzrostlé dřevinné vegetace na hranicích studované plochy. Vyšší vlhkost je situována v místech, kde se na studované ploše nacházela vegetace. Jak byla postupně studovaná plocha zastavována zpevněnými povrchy, klesaly hodnoty indexu NDMI (Obrázek 5.3). S úbytkem vegetace a narůstáním zástavby došlo ke zvyšování povrchových teplot na studované ploše (Obrázek 5.4 a 5.5). V roce 1990 se povrchové teploty na studované

ploše pohybovaly okolo 23 °C. Extrémní vedra v roce 2015 způsobily nárůst povrchových teplot na studované ploše přes hodnoty 37 °C.

Na studovaných plochách s komeční zástavbou docházelo během let díky zástavbě k úbytku zeleně (Obrázek 5.1 a 5.2). V roce 1990 byly hodnoty vegetačního indexu NDVI na studované ploše Super- a hypermarkety České Vrbné okolo 0,90. Po výstavbě obchodních hal vznikaly drobné plochy trávníků s občas menšími okrasnými dřevinami v okolí hal i parkovišť. V roce 2020 byly hodnoty vegetačního indexu NDVI na studované ploše Super- a hypermarkety České Vrbné velmi nízké, hodnoty indexu NDVI se blížily hodnotě 0,25. Obdobně tomu bylo i na studované ploše Super- a hypermarkety Strakonická/Pražská. S úbytkem travnatých ploch a ploch orné půdy s polními kulturami, které nahradily haly a asfaltová parkoviště, úzce souvisí i pokles vlhkosti (Obrázek 5.3). V roce 2020 se na obou obslužných plochách hodnoty indexu NDMI přibližovaly nule. Postupným mizením zeleně se na studovaných plochách postupně navyšovaly hodnoty povrchových teplot (Obrázek 5.4 a 5.5). V roce 2020 na obou obslužných plochách dosahovaly povrchové teploty 34 °C.



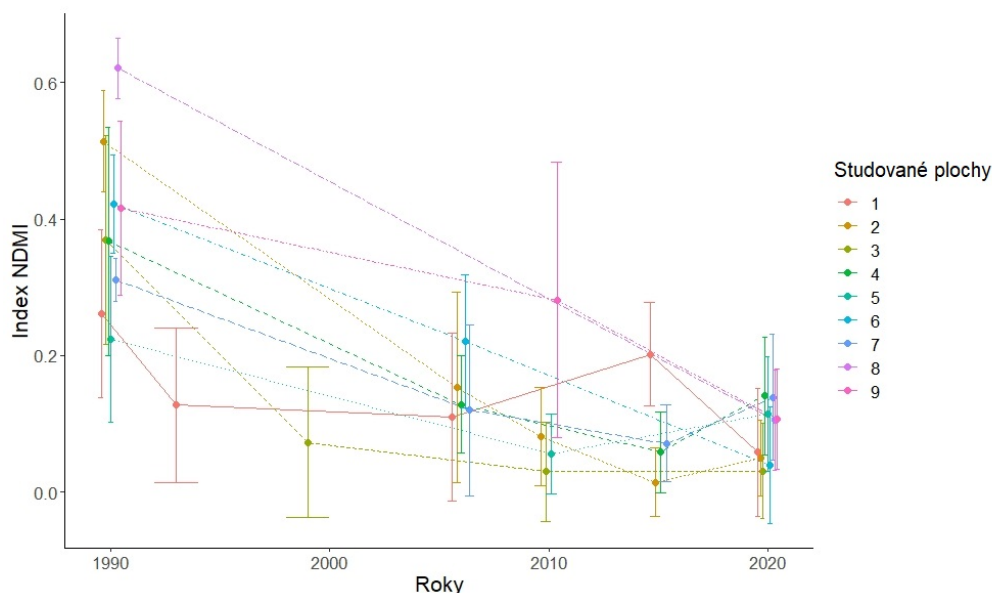
Obrázek 5.2: Graf průměrných hodnot indexu SAVI na studovaných plochách v průběhu sledovaných let (1 – Průmyslový podnik Robert Bosch Kněžské Dvory, 2 – Super- a hypermarkety České Vrbné, 3 – Super- a hypermarkety Strakonická/Pražská, 4 – Vícebytové domy Máj – jih, 5 – Vícebytové domy Luční Jez, 6 – Vícebytové domy Na Zlaté stoce/Na Sádkách, 7 – Řadové rodinné domy Suché Vrbné – Heřmáňková a Kopretinová, 8 – Rodinné dvojdomy Nové Hodějovice – západ, 9 – Rodinné domy Včelná – sever)

Na studovaných plochách, díky zastavování vícebytovými domy, docházelo k úbytku travnatých ploch (Obrázek 5.1 a 5.2). Na studované ploše Vícebytové domy Luční Jez, před výstavbou domů, bylo méně vegetace, neboť se na studované ploše nacházela stará zástavba vojenského brownfieldu. Na studovaných plochách, vlivem úbytku vegetace, se snižovaly hodnoty vlhkosti (Obrázek 5.3). Po výstavbě vícebytových domů se na studovaných plochách zvyšovaly hodnoty povrchových teplot (Obrázek 5.4 a 5.5). V roce 1990 se těchto studovaných plochách pohybovaly povrchové teploty mezi 21 až 24 °C. V roce 2020 byly povrchové teploty mezi 29 až 31 °C. Na rozdíl od průmyslové plochy a obslužných

Tabulka 5.1: Testování studovaných ploch pomocí Kruskal-Wallisova neparametrického testu (KS test) s Chi-kvadrát rozdělením (χ^2) a stupni volnosti (df) ve sledovaných letech se statisticky významně liší

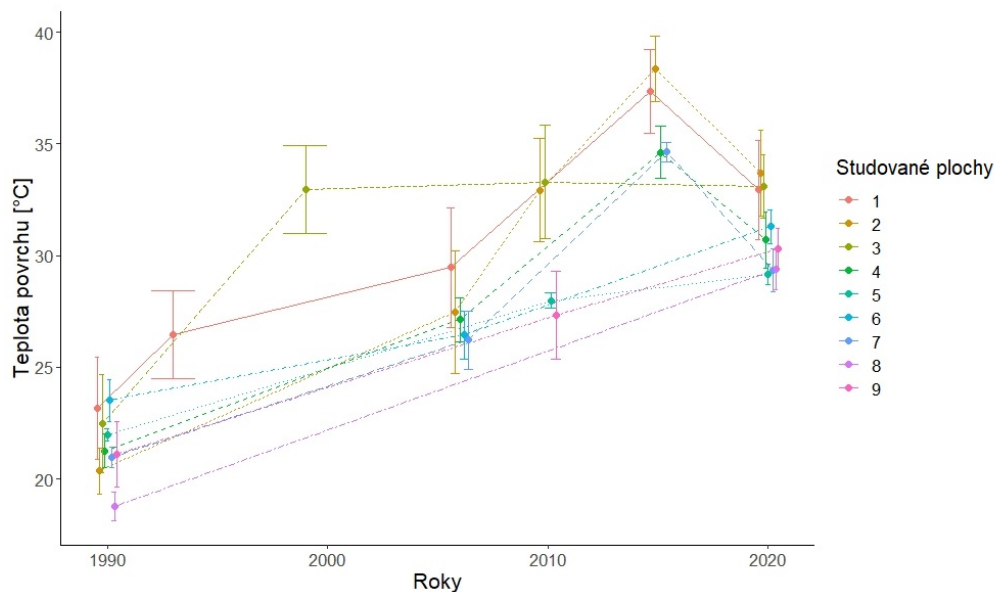
Ukazatel	Rok	χ^2 (df = 9)	p	Celkový počet hodnot
NDVI	1990	192,600	< 0,05	270
	1993	182,370	< 0,05	270
	1999	124,940	< 0,05	270
	2003	95,452	< 0,05	270
	2006	105,160	< 0,05	270
	2010	134,680	< 0,05	270
	2015	129,590	< 0,05	270
	2020	120,570	< 0,05	270
SAVI	1990	197,830	< 0,05	270
	1993	167,390	< 0,05	270
	1999	119,740	< 0,05	270
	2003	82,739	< 0,05	270
	2006	96,923	< 0,05	270
	2010	127,460	< 0,05	270
	2015	127,410	< 0,05	270
	2020	115,130	< 0,05	270
NDMI	1990	163,570	< 0,05	270
	1993	180,040	< 0,05	270
	1999	127,580	< 0,05	270
	2003	54,564	< 0,05	270
	2006	93,013	< 0,05	270
	2010	99,734	< 0,05	270
	2015	94,651	< 0,05	270
	2020	82,041	< 0,05	270
Povrchová teplota	1990	176,370	< 0,05	270
	1993	219,710	< 0,05	270
	1999	244,460	< 0,05	270
	2003	208,780	< 0,05	270
	2006	223,660	< 0,05	270
	2010	223,760	< 0,05	270
	2015	246,210	< 0,05	270
	2020	216,810	< 0,05	270

ploch se hodnoty indexů NDVI, SAVI a NDMI, včetně povrchových teplot, v roce 2020 zlepšují. Neboť se do tohoto roku rozrostla vegetace v okolí domů. Část studované plochy Vícebytové domy Luční Jez a jižní část studované plochy Vícebytové domy Na Zlaté stoce/Na Sádkách je stále poznamenána výstavbou vícebytových domů, které zde byly postaveny před rokem 2020.

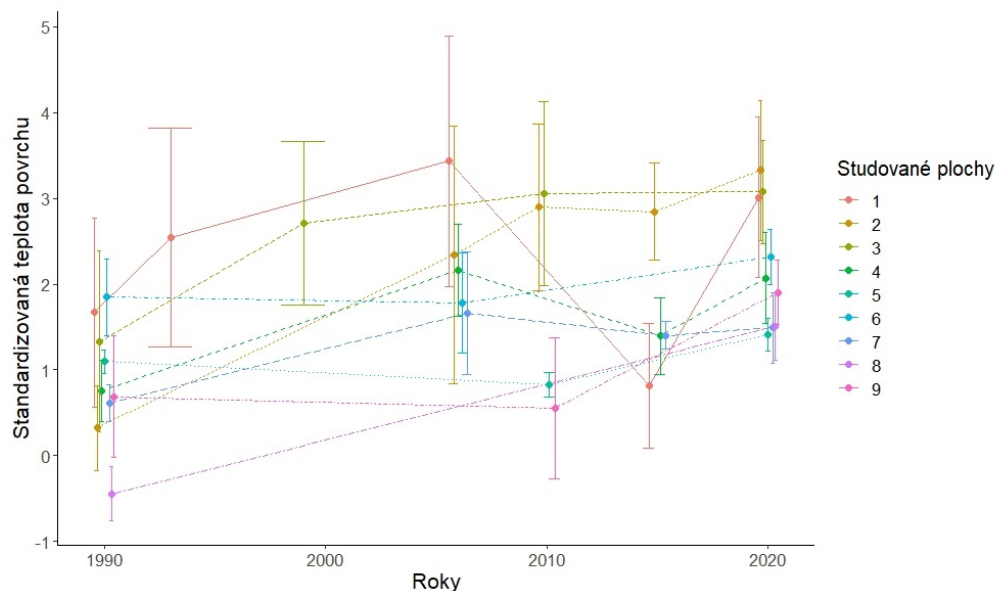


Obrázek 5.3: Graf průměrných hodnot indexu NDMI na studovaných plochách v průběhu sledovaných let (1 – Průmyslový podnik Robert Bosch Kněžské Dvory, 2 – Super- a hypermarkety České Vrbné, 3 – Super- a hypermarkety Strakonická/Pražská, 4 – Vícebytové domy Máj – jih, 5 – Vícebytové domy Luční Jez, 6 – Vícebytové domy Na Zlaté stoce/Na Sádkách, 7 – Řadové rodinné domy Suché Vrbné – Heřmánková a Kopretinová, 8 – Rodinné dvojdomy Nové Hodějovice – západ, 9 – Rodinné domy Včelná – sever)

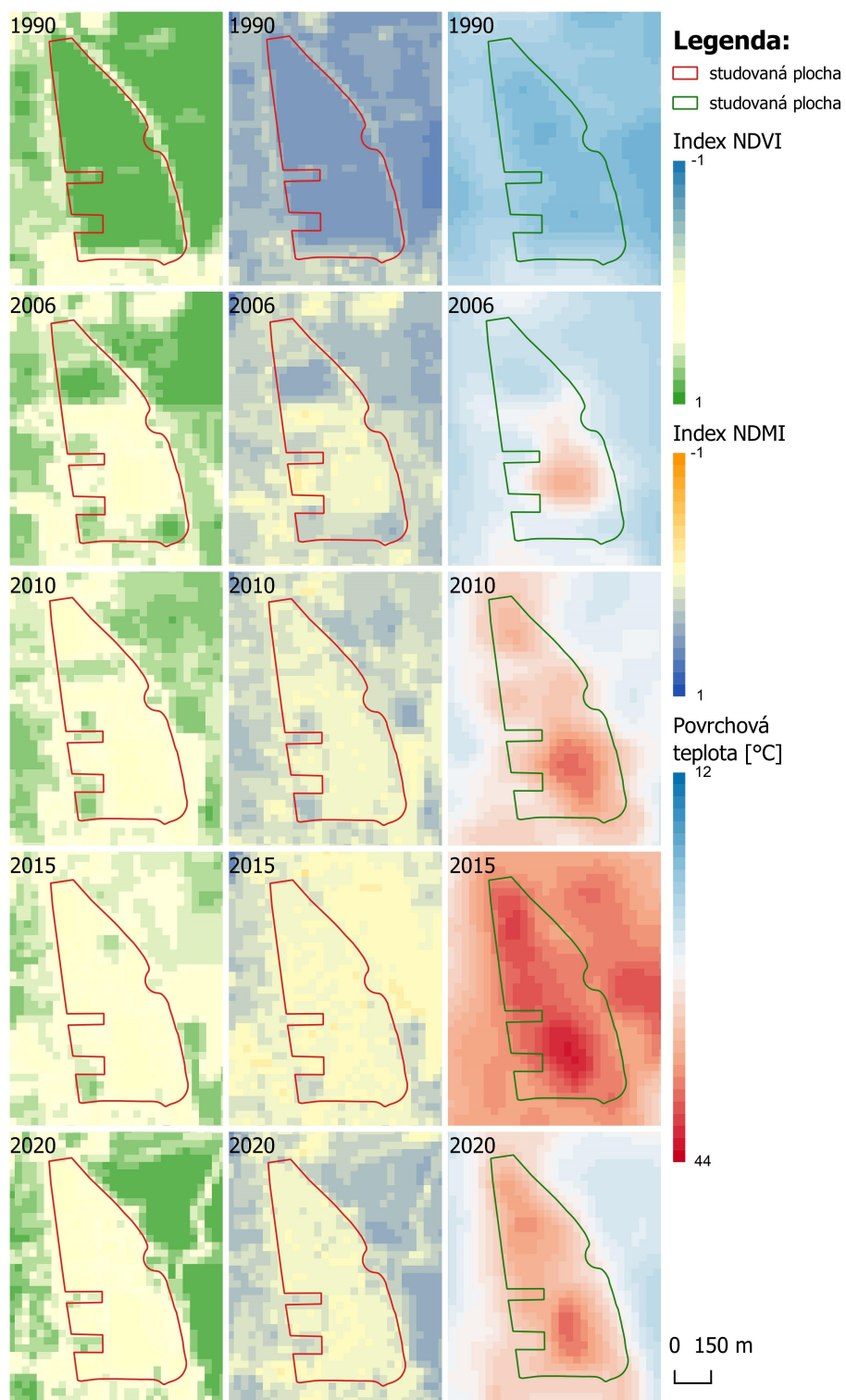
Postupnou výstavbou rodinných domů docházelo na studované ploše k ničení trvalých travních porostů a polí. Zástavba studované plochy Rodinné dvojdomy Nové Hodějovice – západ proběhla před rokem 2020 a v současnosti jsou zde ještě rozestavěné domy a prázdné parcely. Současně se určitou dobu po výstavbě rodinných domů projevuje příznivý efekt postupného růstu zeleně zahrad (Obrázek 5.1 a 5.2). Také v případě vývoje hodnot NDMI se uplatňuje vliv postupné zástavby studovaných ploch a následný rozvoj vegetace v okolí nově vystavěných rodinných domů (Obrázek 5.3). S postupnou výstavbou rodinných domů a úbytkem hlavně trvalých travních porostů stoupaly hodnoty povrchových teplot na studovaných plochách (Obrázek 5.4 a 5.5). V roce 1990 byly na studovaných plochách rodinných domů hodnoty povrchových teplot okolo 21 °C, přičemž na studované ploše Rodinné dvojdomy Nové Hodějovice – západ se povrchové teploty dostaly přibližně k 18 °C. V roce 2020 se povrchové teploty na studovaných plochách s rodinnými domy pohybovaly mezi 28 až 30 °C.



Obrázek 5.4: Graf průměrných hodnot povrchových teplot na studovaných plochách v průběhu sledovaných let (1 – Průmyslový podnik Robert Bosch Kněžské Dvory, 2 – Super- a hypermarkety České Vrbné, 3 – Super- a hypermarkety Strakonická/Pražská, 4 – Vícebytové domy Máj – jih, 5 – Vícebytové domy Luční Jez, 6 – Vícebytové domy Na Zlaté stoce/Na Sádkách, 7 – Řadové rodinné domy Suché Vrbné – Heřmánková a Kopretinová, 8 – Rodinné dvojdomy Nové Hodějovice – západ, 9 – Rodinné domy Včelná – sever)



Obrázek 5.5: Graf průměrných hodnot standardizovaných povrchových teplot na studovaných plochách v průběhu sledovaných let (1 – Průmyslový podnik Robert Bosch Kněžské Dvory, 2 – Super- a hypermarkety České Vrbné, 3 – Super- a hypermarkety Strakonická/Pražská, 4 – Vícebytové domy Máj – jih, 5 – Vícebytové domy Luční Jez, 6 – Vícebytové domy Na Zlaté stoce/Na Sádkách, 7 – Řadové rodinné domy Suché Vrbné – Heřmánková a Kopretinová, 8 – Rodinné dvojdomy Nové Hodějovice – západ, 9 – Rodinné domy Včelná – sever)



Nárovec (2022), Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Fakulta zemědělská a technologická, Katedra aplikované ekologie.
Souřadnicový systém: WGS 1984 UTM Zone 33N

Obrázek 5.6: Mapa indexů NDVI, NDMI a povrchových teplot na studované ploše Super- a hypermarkety České Vrbné v letech 1990, 2006, 2010, 2015 a 2020

6 Diskuse

Analýzy tepelného ostrova města jsou metodicky a datově náročné, jak o tom nakonec vypovídají i jednotliví autoři citovaných studií zmíněných v literárním přehledu řešené problematiky. Také předložená diplomová práce se potýkala s řadou datových a metodických problémů.

Stewart a Oke (2012) ve své studii odvodili, že každá studovaná plocha při výzkumu tepelného ostrova města by měla mít minimální průměr 400 – 1000 m. V diplomové práci však byly vybrány některé studované plochy menší (například Vícebytové domy Luční Jez). Obtížně se vybíraly vhodné typově rozmanité studované plochy tak, aby byly dostatečně rozsáhlé a vnitřně homogenní. Průmyslová plocha byla vybrána pouze jedna, zatímco u dalších typů ploch bylo více zástupců. Některé z vybraných ploch neměly úplnou homogenitu před jejich zastavěním (v části byla louka a v další části pole s plodinou; na okraji studované plochy byla nějaká menší starší zástavba). Také výstavba u některých ploch neprobíhala najednou, ale etapovitě, zvláště u rezidenčních ploch. U několika studovaných ploch proběhla výstavba těsně před rokem 2020, takže nebyly k dispozici snímky z dalšího období, které by dokumentovaly možný růst vegetace.

Snímky pocházejí z konkrétního dne a hodiny měsíce července určitého roku. Použitý metodický postup nemohl zhodnotit chod počasí před pořízením snímku. Před pořízením snímku mohlo vydatně pršet nebo naopak mohlo trvat delší období sucha. Tento chod počasí pak ovlivnil hodnoty sledovaných indexů a povrchových teplot. Je ale třeba doplnit, že všechny snímky byly vybrány tak, aby v daném okamžiku panovala slunečná obloha, stejně jako Arnfield (2003).

Vedle zjištěných povrchových teplot byla provedena standardizace těchto teplot na základě povrchových teplot širšího okolí Českých Budějovic. Pro rok 2015 byly pro dané lokality zjištěny nepravděpodobně nízké průměrné hodnoty. Nejspíše se jedná o chybu při standardizaci, nebo při zpracování dat. Mohla to být i otázka termínu nebo celkově velmi suchého období.

Z výsledků je patrný vztah mezi hodnotami indexů NDVI, SAVI, NDMI a povrchových teplot. Tento trend potvrzují práce řady autorů (Deilami et al., 2018; Dwivedi a Mohan, 2018; Rizwan et al., 2008; Santamouris, 2013) Následkem úbytku vegetace (při poklesu hodnot NDVI) na studovaných plochách se také snižuje vlhkost (a dochází k poklesu hodnot NDMI) na těchto plochách a zároveň se zde zvyšují povrchové teploty. U řešených rezidenčních ploch vícebytových domů a rezidenčních ploch solitérních rodinných domů se hodnoty uvedených indexů a povrchové teploty postupně částečně zlepšovaly díky rozrůstání vegetace okolo nových domů.

Z dat je vidět postupná přeměna studovaných ploch, kdy byly nezastavěné plochy s převážně trvalými travními porosty nebo vzrostlými polními kulturami postupně zastavovány. To mělo za následek pokles hodnot indexu NDVI. Po výstavbě mohlo někde

docházet k novému ozelenění řešených ploch. To ale platí především pro rezidenční plochy vícebytových a rodinných domů, ne tolik pro plochy průmyslové a obslužné.

S úbytkem vegetace a souvisejícím indexem NDVI je spojen úbytek vlhkosti s hodnotami indexu NDMI. Nejnižší hodnoty měla řešená průmyslová plocha a obě řešené obslužné plochy, neboť po zástavbě těchto ploch zde nejsou větší útvary zeleně, nanejvýš po okrajích, výjimečně i uvnitř studovaných ploch. Potvrzují ve svých studiích i Rizwan et al. (2008); Santamouris (2013). Navíc průmyslovou výrobou, dopravou, vytápěním, i přítomností množství lidí je navyšována teplota ve městě (Rizwan et al., 2008; Santamouris, 2013), protože velké množství lidí a i doprava se koncentruje právě na řešené průmyslové ploše a na obou řešených obslužných plochách. Vývoj hodnot indexu NDMI se zlepšil na rezidenčních plochách vícebytových domů a na rezidenčních plochách solitérních rodinných domů, kde se po zastavění studovaných ploch rozrůstala vegetace v okolí domů. U zavlažovaných trávníků kolem rodinných domů jsou hodnoty indexu NDMI vyšší. V tomto případě nelze potvrdit tvrzení, že se města vyznačují sušším prostředím, což je mimo jiné způsobeno menším zastoupením vzrostlé dřevinné vegetace (Rizwan et al., 2008; Santamouris, 2013). Je nutno dodat, že studované plochy Rodinné domy Včelná – sever a Rodinné dvojdomy Nové Hodějovice – západ neleží přímo ve městě, nýbrž na okraji obcí v blízkosti města České Budějovice.

Deilami et al. (2018) ve své práci uvedli, že městské mikroklima úzce koreluje s typy a vzory prostorové mozaiky městského prostředí. Ubývání vegetace a současné narůstání nepropustných povrchů přineslo i zvyšování povrchových teplot a s tím související zhoršování mikroklimatu na studovaných plochách. Podle (Gunawardena et al., 2017; Oke, 1973) mají města vhodné podmínky ke vzniku městského tepelného ostrova, protože jsou charakteristická vyšším podílem zpevněných ploch. Navíc podle Shahmohamadi et al. (2011) jsou ve městě silně zastoupeny tmavé materiály, což platí i pro studované plochy v Českých Budějovicích a jeho blízkém okolí. Jak bylo zmíněno výše, nejvyšší nárůst povrchových teplot měla průmyslová plocha a obslužné plochy, které jsou téměř celé pokryté nepropustnými povrchy. Na studovaných plochách se zástavbou komerčních hal významně schází vzrostlá dřevinná vegetace, která by zde plnila potřebnou ochlazující funkci. Na studované ploše Super- a hypermarkety Strakonická/Pražská může určitou ochlazující funkci sehrát potok Dobrovodská stoka procházející podél severovýchodního okraje studované plochy. Zmiňovaná stoka je drobný potok, proto i jak ve své práci zmiňují Du et al. (2016), bude mít potok nižší ochlazující účinky. Nárůst povrchových teplot byl i na studovaných rezidenčních plochách. Později, po vzrůstu vegetace v okolí domů, byl zde zaznamenán pokles povrchových teplot. Západní cíp studované plochy Vícebytové domy Máj – jih příznivě ovlivňuje navazující lesní porost. Obdobně jako uvádějí ve své práci Hesslerová et al. (2013); Kuang et al. (2015); Peng et al. (2016). Avšak zmiňovaný lesní porost se nachází mimo studovanou plochu a tudíž ovlivňuje pouze část studované plochy. Ke snižování povrchových teplot ve východní části studované plochy Vícebytové domy Luční Jez napomáhá nedaleká řeka a dřevinná vegetace na jejím břehu, což potvrzují ve svých pracích i Adams a Dove (1989); Hesslerová et al. (2013); Kuang et al. (2015); Oke (2006a). Rizwan et al. (2008) ve své práci popsali městský tepelný ostrov jako území se zvýšenou teplotou nad městem oproti okolní venkovské až přírodní krajině, proto významný vliv na hodnoty povrchových teplot mají louky s trvalými travními porosty a pole s polními kulturami v okolí studovaných ploch s rodinnými domy. Například na studovanou plochu Řadové rodinné domy Suché Vrbné – Heřmánková a Kopretinová má vliv rozvoj ruděrální vegetace na okraji jižní části nebo jižní okraj studované plochy Rodinné dvojdomy

Nové Hodějovice – západ je chladnější než zbytek studované plochy. Důvodem může být blízkost pole se vzrostlou kulturou jižně od studované plochy. Studované plochy Rodinné domy Včelná – sever a Rodinné dvojdomy Nové Hodějovice – západ se nacházejí na okraji obcí Včelná a Nové Hodějovice, které se prozatím nacházejí mimo kompaktní městskou zástavbu. S postupným rozrůstáním Českých Budějovic dojde k začlenění obcí Včelná a Nové Hodějovice a vybudování nové zástavby okolo studovaných ploch. Efekt městského tepelného ostrova se rozvíjí rozšiřováním města o další zpevněné povrchy, zejména budovami, parkovišti a komunikacemi, jak zmiňovali ve svých pracích Liu a Weng (2008); Mirzaei a Haghighat (2010); Sun a Chen (2012). Na studovaných plochách se uplatňoval vliv vysokých letních teplot a nízkých letních srážek. Na těchto plochách slunce významně ohřívá střechy i pláště nových rodinných domů, stejně tak zpevněné plochy kolem domů. Také často sečené trávníky na zahradách kolem domů mají vysokou povrchovou teplotu.

Nejhorší hodnoty vegetačního indexu NDVI, SAVI (Graf indexu NDVI a SAVI) měla za rok 2020 průmyslová plocha (1 – Průmyslový podnik Robert Bosch Kněžské Dvory) a obchodní plochy (2 – Super- a hypermarkety České Vrbné, 3 – Super- a hypermarkety Strakonická/Pražská). V okolí těchto ploch je minimum vegetace a uvnitř ploch převažují rozsáhlá vyasfaltovaná parkoviště a objekty velkých hal. Mnohem lépe na tom v roce 2020 byly rezidenční plochy vícebytových domů (4 – Vícebytové domy Máj-jih, 5 – Vícebytové domy Luční Jez, 6 – Vícebytové domy Na Zlaté stoce/Na Sádkách) a ještě lépe rezidenční plochy soliterních rodinných domů (7 – Řadové rodinné domy Suché Vrbné – Heřmánková a Kopretinová, 8 – Rodinné dvojdomy Nové Hodějovice – západ, 9 – Rodinné domy Včelná – sever). V okolí vícebytových domů vznikly parčíky s vegetací (trávníky, keře a stromy), okolo jednotlivých soliterních rodinných domů se rozvinuly zahrady s trávníky, keři a stromy.

Všechny studované plochy vykazovaly v roce 2020 poměrně nízké hodnoty vegetačního indexu NDMI (Graf indexu NDMI). Příčinou může být nižší úhrn srážek v létě (červenec) daného roku. Ale i tak lze vidět, že nejhůře jsou na tom průmyslová plocha (1) a oblužné plochy (2, 3), kde se většina hodnot pohybuje blízko nuly a některé jsou i záporné. Relativně vysoké hodnoty indexu NDMI v roce 2020 měly rezidenční plochy soliterních rodinných domů (7, 8, 9), o málo nižší hodnoty pak měly rezidenční plochy vícebytových domů (4, 5, 6).

Nejvyšší povrchové teploty lze pozorovat na průmyslové ploše (1) a na oblužných plochách (2, 3), viz Graf povrchových teplot (Obrázek 5.4). Důvodem je nízké zastoupení dřevinné vegetace a vysoké zastoupení plechových střech a plášťů hal. Toto potvrzuje ve svém článku i Pelíšek (2022). Naopak relativně nízké povrchové teploty byly na plochách soliterních rodinných domů (7, 8, 9). Příčinou je nižší zastoupení nepropustných ploch a vyšší zastoupení vegetace na zahradách v okolí rodinných domů. Obdobné tendence ve svých pracích prezentovali Kuang et al. (2015); Peng et al. (2016). Obdobné hodnoty povrchových teplot měla rezidenční plocha Vícebytové domy Na Zlaté stoce/Na Sádkách (6). Další dvě rezidenční plochy vícebytových domů (4, 5) pak měly povrchové teploty vysoké. Obdobný trend ve své práci popisovali Deilami et al. (2018); Dwivedi a Mohan (2018).

V posledních letech se intenzivně řeší environmentální dopady oteplování na Zemi. Strategie územního rozvoje měst by tyto dopady měly řešit, měly by se zaměřovat na zmírnění městského tepelného ostrova (Deilami et al., 2018). Při výstavbě městských budov se doporučuje použití materiálů s vyšší hodnotou albeda (Mirzaei a Haghighat, 2010). Takové materiály mohou podstatně tlumit efekt tepelného ostrova města odražením slunečního

tepla zpět do atmosféry. Lze je uplatnit na střechy, pláště budov, dokonce i na chodníky a povrchy silnic (Deilami et al., 2018).

Důležité je také zvyšování podílu vzrostlé dřevinné zeleně ve městě, protože tato zeleň má významný vliv na snižování povrchové teploty (Kuang et al., 2015; Mirzaei a Haghghat, 2010; Peng et al., 2016). Strategie ozelenění měst nejsou nic nového. Na přelomu 19. a 20. století vznikaly v našich městech rozsáhlé městské parky, později byly některé ulice doplněny alejemi stromů. Právě v souvislosti s oteplováním a potřebou snížit hodnoty tepelného ostrova města vznikají nové zelené strategie měst. Opět se jedná o rozšiřování městských parků, pouličních alejí, nově se důraz také klade na rozvoj soukromé zeleně zahrad vilových čtvrtí a novějších čtvrtí rodinných domů. Dalším trendem je rozšiřování zelených střech či ozeleněných fasád (Kleerekoper et al., 2012). Pozornost je věnována také zachování a rozšiřování vodních ploch, které příznivě ovlivňují pobřežní části měst (Nishimura et al., 1998).

Jedním z možných řešení tlumení městského tepelného ostrova je využití fotovoltaických panelů na střechách budov. Napomáhají řešení snižování emisí uhlíku využíváním obnovitelných energetických zdrojů a zlepšení interiérového mikroklimatu budov. Tyto panely střechu zastíňují a sluneční záření pohlcují. Je však nutné nastavit dostatečnou vzdálenost panelů od střechy, jinak budou vysoké teploty pod panelem svedeny do vnitřního prostoru budov (Qi et al., 2019).

V diplomové práci byly řešeny pouze vybrané zastavěné plochy na území města České Budějovice a jeho bezprostředního okolí. Nemůže být tedy navrhována celková strategie snižování tepelného ostrova města. Mohou být ale uvedeny některé návrhy týkající se řešených typů ploch, případně i konkrétních studovaných ploch.

Zastavěné průmyslové plochy s velkými halami a rozsáhlými zpevněnými povrchy (většinou vyasfaltovaná parkoviště) mají minimum vzrostlé dřevinné zeleně. Územní plánování a územní a stavební řízení by mělo přijít s takovými regulativy, které v těchto prostorech zásadně zvýší podíl dřevinné zeleně, případně i vodních ploch (například nádrží na požární vodu). Na okrajích těchto ploch by měl být pás stromů a keřů, který by také bránil pohybu průmyslových škodlivin a hluku do okolního prostředí. Shluky dřevin by měly být i na vhodných místech uvnitř ploch.

Výsadba mladých, či dokonce vzrostlých stromů uvnitř průmyslových areálů může ovlivnit podzemní vedení elektrických kabelů a další technické infrastruktury. Stromy postupně mohou svými kořeny narušovat tato vedení. Méně využívané odstavné plochy by mohly mít podobu ploch se zatravněvacími tvárnici. Samostatnou kapitolou je ozelenění střech průmyslových hal, případně i stěn těchto hal. Této problematice se v posledních letech věnuje ve vyspělých zemích velká pozornost, viz například Alexandri a Jones (2008); Cuce (2017); Niachou et al. (2001); Shafique et al. (2018).

Mnohá z výše uvedených opatření snižování tepelného ostrova města platí i pro další typ studovaných ploch – pro plochy super- a hypermarketů v Českých Budějovicích. U těchto ploch je třeba trvat na uplatnění zatravněvacích tvárnici na rozsáhlých parkovištích pro osobní automobily a na výsadbu vyšších stromů v pásech mezi jednotlivými částmi parkovišť.

Plochy nových vícebytových domů v Českých Budějovicích by měly být ošetřeny regulačními plány tak, aby byly hned zpočátku osázeny stromy a keři vyššího výsadbového věku. Kromě soliterních stromů a keřů je třeba v rozích ploch vytvářet shluky dřevin. Samostatnou kapitolou je ozelenění střech vícebytových domů nebo osazení těchto střech fotovoltaickými panely.

Zeleň ploch nových rodinných domů v Českých Budějovicích je většinou navrhována samotnými majiteli domů. Někteří majitelé volí bezúdržbové plochy s velkým zastoupením betonových povrchů (lítý beton, betonová dlažba). To není dobré řešení z hlediska řešené problematiky. Příznivějším řešením je výsadba ovocné a neovocné zeleně kolem rodinných domů, příznivým fenoménem je také budování zahradních bazénů a jezírek. Příznivě lze hodnotit umístování fotovoltaických panelů na střechy rodinných domů.

Rodinné domy na okraji Českých Budějovic a v okolí suburbíí vznikaly buď individuální výstavbou, nebo jako developerské projekty v rámci ploch soustředěné výstavby rodinných domů. Ve druhém případě se developeři podíleli na rozparcelování pozemků ploch, vybudování sítí technické infrastruktury, případně nechávali vystavět i jednotlivé domy, zvláště v případě řadových domů. Developeři se snažili co nejvíc ekonomicky zhodnotit své pozemky. Jako veřejné plochy vymezili pouze nezbytné komunikace. Pouze pokud byli donuceni představiteli obce, územně plánovacími nebo stavebními úředníky, potom v navrhovaných plochách vymezili plošky a linie veřejné dřevinné zeleně (Kubeš, 2015). Proto je v plochách nových rodinných domů zeleně málo, a pokud tam je, tak se jedná o keře (nejčastěji konifery) a ojediněle ovocné stromky.

Závěr

Diplomová práce se zabývala problematikou časových změn vlivu vegetačního krytu na místní klima intravilánu obce využitím metod dálkového průzkumu Země. Byly sledovány teplotní změny v okrajových plochách kompaktního města České Budějovice, zasažených po roce 1989 novou výstavbou různého typu, pomocí spektrálních vegetačních indexů NDVI, SAVI, NDMI a pomocí povrchových teplot. Srovnávány byly funkčně a obsahově rozdílné plochy průmyslu, nákupních služeb a bydlení ve vícebytových či solitérních rodinných domech. Pro analýzy byly vybrány družicové snímky družice Landsat z doby před výstavbou, krátce po výstavbě a s určitým odstupem po výstavbě, aby bylo možné zachytit změny, a určitou stabilizaci po výstavbě. Z výsledků je patrná postupná transformace studovaných ploch, kdy byly plochy s převážně trvalými travními porosty nebo vzrostlými polními kulturami postupně zastavovány, což mělo za následek pokles hodnot indexu NDVI, ale také NDMI. Po výstavbě budov mohlo někde docházet k novému ozelenění řešených ploch. Především to platí pro rezidenční plochy vícebytových a rodinných domů, ne tolik pro plochy průmyslové a obslužné. Na průmyslové ploše a obou řešených obslužných plochách nejsou větší útvary zeleně, nanejvýš po okrajích, výjimečně i uvnitř studovaných ploch. Na rezidenčních plochách vícebytových domů a solitérních rodinných domů se po zastavění rozrůstala vegetace v okolí domů. Ubývání vegetace a současné zastavování ploch přineslo zvyšování povrchových teplot na studovaných plochách. Zde opět významnou roli hrálo množství vegetace, která vznikla a rozrůstala se na studovaných plochách.

Bylinná a zvláště vzrostlá dřevinná vegetace existující před výstavbou nových objektů plnila na studovaných plochách ochlazující funkci a udržovala dobré mikroklima. Při výstavbě objektů byla značná část této zeleně odstraněna a tím došlo ke zhoršení mikroklimatu a ke ztrátě výše uvedené ochlazující funkce (pokles hodnot indexů NDVI, SAVI a NDMI a zvýšení povrchových teplot).

Plochy s právě nově vystavěnými průmyslovými a obslužnými halami budou mít vyšší teplotu než plochy s právě nově vystavěnými obytnými domy, zvláště se solitérními rodinnými domy, protože v okolí těchto domů většinou zůstane nějaká zezeň. Tento předpoklad lze potvrdit pouze v případě, kdy výstavba domů postupovala po etapách a kdy v části studované plochy původní vegetace přetrvávala.

Plochy s průmyslovými a obslužnými halami (a zpevněnými parkovišti) budou mít vyšší povrchové teploty než plochy s obytnými domy, protože v okolí těchto domů se postupně rozvine zezeň trávníků, keřů a stromů, a dojde k částečnému zlepšení mikroklimatu. Tento předpoklad se potvrdil. V případě obslužných a zvláště průmyslových ploch ke snížení povrchových teplot tolik nedocházelo. Vegetace se na těchto plochách v současnosti nachází jen na okrajích, nebo v malých ostrůvcích uvnitř, kde pak v letních měsících strádá.

Další pokračování práce by si mohlo všimnout změn studovaných ploch, zejména ve vztahu k případnému rozšiřování zeleně na studovaných plochách a ve vztahu ke změnám v okolí studovaných ploch (jejich případným transformováním), vše v souvislosti s tepelným ostrovem města.

Seznam použitých zdrojů

- Adams, L. W. a Dove, L. E. (1989). *Wildlife reserves and corridors in the urban environment: a guide to ecological landscape planning and resource conservation*. National Institute for Urban Wildlife, Columbia, Md.
- Alexandri, E. a Jones, P. (2008). Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates. *Building and Environment*, 43(4):480–493.
- Allen, R. G., Tasumi, M., a Trezza, R. (2007). Satellite-Based Energy Balance for Mapping Evapotranspiration with Internalized Calibration (METRIC)—Model. *Journal of Irrigation and Drainage Engineering*, 133(4):380–394.
- ARCDATA Praha (2022). ArcČR 500. [online]. [cit. 31. 3. 2022]. Dostupné z: <https://www.arcdata.cz/produkty/geograficka-data/arccr-4-0>.
- Arnfield, A. J. (2003). Two decades of urban climate research: a review of turbulence, exchanges of energy and water, and the urban heat island. *International Journal of Climatology*, 23(1):1–26.
- Battista, G., Carnielo, E., a De Lieto Vollaro, R. (2016). Thermal impact of a redeveloped area on localized urban microclimate: A case study in Rome. *Energy and Buildings*, 133:446–454.
- Bowler, D. E., Buyung-Ali, L., Knight, T. M., a Pullin, A. S. (2010). Urban greening to cool towns and cities: A systematic review of the empirical evidence. *Landscape and Urban Planning*, 97(3):147–155.
- 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. Nепublikováno.
- 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.
- Buechley, R. W., Van Bruggen, J., a Truppi, L. E. (1972). Heat island = death island? *Environmental Research*, 5(1):85–92.
- Cao, X., Onishi, A., Chen, J., a Imura, H. (2010). Quantifying the cool island intensity of urban parks using ASTER and IKONOS data. *Landscape and Urban Planning*, 96(4):224–231.

- CCPO (2022). 5 – SPECTRAL VEGETATION INDICES. [online], Center for Coastal Physical Oceanography. [cit. 31. 3. 2022]. Dostupné z: http://www.ccpo.odu.edu/SEES/veget/class/Chap_4/4_5.htm.
- Chang, C.-R., Li, M.-H., a Chang, S.-D. (2007). A preliminary study on the local cool-island intensity of Taipei city parks. *Landscape and Urban Planning*, 80(4):386–395.
- Chen, A., Yao, X. A., Sun, R., a Chen, L. (2014). Effect of urban green patterns on surface urban cool islands and its seasonal variations. *Urban Forestry & Urban Greening*, 13(4):646–654.
- Choubin, B., Solaimani, K., Habibnejad Roshan, M., a Malekian, A. (2017). Watershed classification by remote sensing indices: A fuzzy c-means clustering approach. *Journal of Mountain Science*, 14(10):2053–2063.
- Copernicus (2021). Land Surface Temperature. [online]. [cit. 10. 12. 2021]. Dostupné z: <https://land.copernicus.eu/global/products/lst>.
- Coutts, A. M., Tapper, N. J., Beringer, J., Loughnan, M., a Demuzere, M. (2013). Watering our cities: The capacity for Water Sensitive Urban Design to support urban cooling and improve human thermal comfort in the Australian context. *Progress in Physical Geography: Earth and Environment*, 37(1):2–28.
- Cuce, E. (2017). Thermal regulation impact of green walls: An experimental and numerical investigation. *Applied Energy*, 194:247–254.
- CUZK (2021). Archivní ortofoto. [online]. [cit. 10. 12. 2021]. Dostupné z: <https://ags.cuzk.cz/geoprohlizec/>.
- Deilami, K., Kamruzzaman, M., a Liu, Y. (2018). Urban heat island effect: A systematic review of spatio-temporal factors, data, methods, and mitigation measures. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 67:30–42.
- DeVries, B., Verbesselt, J., Kooistra, L., a Herold, M. (2015). Robust monitoring of small-scale forest disturbances in a tropical montane forest using Landsat time series. *Remote Sensing of Environment*, 161:107–121.
- Du, H., Song, X., Jiang, H., Kan, Z., Wang, Z., a Cai, Y. (2016). Research on the cooling island effects of water body: A case study of Shanghai, China. *Ecological Indicators*, 67:31–38.
- Dwivedi, A. a Mohan, B. (2018). Impact of green roof on micro climate to reduce Urban Heat Island. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 10:56–69.
- EPA (2022). Heat Island Impacts. [online]. [cit. 31. 3. 2022]. Dostupné z: <https://www.epa.gov/heatislands/heat-island-impacts>.
- Estoque, R. C., Murayama, Y., a Myint, S. W. (2017). Effects of landscape composition and pattern on land surface temperature: An urban heat island study in the megacities of Southeast Asia. *Science of The Total Environment*, 577:349–359.

- Gage, E. A. a Cooper, D. J. (2017). Urban forest structure and land cover composition effects on land surface temperature in a semi-arid suburban area. *Urban Forestry & Urban Greening*, 28:28–35.
- Geiger, R., Aron, R. H., a Todhunter, P. (2009). *The climate near the ground*. Rowman & Littlefield Pub. Group, Lanham, Md, 7th ed edition.
- Gunawardena, K., Wells, M., a Kershaw, T. (2017). Utilising green and bluespace to mitigate urban heat island intensity. *Science of The Total Environment*, 584-585:1040–1055.
- Harvey, L. D. D. (2016). *Global Warming*. Routledge, London.
- 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.
- Heusinkveld, B. G., Van Hove, L. W. A., Jacobs, C. M. J., Steeneveld, G. J., Elbers, J. A., Moors, E. J., a Holtslag, A. A. M. (2010). Use of a mobile platform for assessing urban heat stress in Rotterdam. In *Proceedings of the 7th Conference on Biometeorology*, pp. 433–438.
- Huryňa, H., Brom, J., a Pokorný, J. (2014). The importance of wetlands in the energy balance of an agricultural landscape. *Wetlands Ecology and Management*, 22(4):363–381.
- Jiang, Z., Huete, A. R., Chen, J., Chen, Y., Li, J., Yan, G., a Zhang, X. (2006). Analysis of NDVI and scaled difference vegetation index retrievals of vegetation fraction. *Remote Sensing of Environment*, 101(3):366–378.
- Kleerekoper, L., van Esch, M., a Salcedo, T. B. (2012). How to make a city climate-proof, addressing the urban heat island effect. *Resources, Conservation and Recycling*, 64:30–38.
- Kong, F., Yan, W., Zheng, G., Yin, H., Cavan, G., Zhan, W., Zhang, N., a Cheng, L. (2016). Retrieval of three-dimensional tree canopy and shade using terrestrial laser scanning (TLS) data to analyze the cooling effect of vegetation. *Agricultural and Forest Meteorology*, 217:22–34.
- Kong, F., Yin, H., James, P., Hutrya, L. R., a He, H. S. (2014). Effects of spatial pattern of greenspace on urban cooling in a large metropolitan area of eastern China. *Landscape and Urban Planning*, 128:35–47.
- Kuang, W., Liu, Y., Dou, Y., Chi, W., Chen, G., Gao, C., Yang, T., Liu, J., a Zhang, R. (2015). What are hot and what are not in an urban landscape: quantifying and explaining the land surface temperature pattern in Beijing, China. *Landscape Ecology*, 30(2):357–373.
- Kubeš, J. (2009). Územní, stavební a populační vývoj Českých Budějovic mezi lety 1265–2007 v historicko-geografických souvislostech. In: *Kubeš, J., Švec, P., Hajíčková, J. Urbánní geografie Českých Budějovic a Českobudějovické aglomerace I. Ústav vědy a výskumu Univerzity Mateja Bela v Banskej Bystrici*.

- Kubeš, J. (2015). Analysis of Regulation of Residential Suburbanisation in Hinterland of Post-socialist 'One Hundred Thousands' City of České Budějovice. *Bulletin of Geography. Socio-economic Series*, 27(27):109–131.
- Kubeš, J. a Nováček, A. (2019). Suburbs around the Czech provincial city of České Budějovice – territorial arrangement and problems. *Hungarian Geographical Bulletin*, pp. 65–78.
- Liu, H. a Weng, Q. (2008). Seasonal variations in the relationship between landscape pattern and land surface temperature in Indianapolis, USA. *Environmental Monitoring and Assessment*, 144(1-3):199–219.
- Mills, G. (2006). Progress toward sustainable settlements: a role for urban climatology. *Theoretical and Applied Climatology*, 84(1-3):69–76.
- Mirzaei, P. A. a Haghghat, F. (2010). Approaches to study Urban Heat Island – Abilities and limitations. *Building and Environment*, 45(10):2192–2201.
- Montandon, L. a Small, E. (2008). The impact of soil reflectance on the quantification of the green vegetation fraction from NDVI. *Remote Sensing of Environment*, 112(4):1835–1845.
- Niachou, A., Papakonstantinou, K., Santamouris, M., Tsangrassoulis, A., a Mihalakakou, G. (2001). Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance. *Energy and Buildings*, 33(7):719–729.
- Nishimura, N., Nomura, T., Iyota, H., a Kimoto, S. (1998). Novel water facilities for creation of comfortable urban micrometeorology. *Solar Energy*, 64(4-6):197–207.
- Oke, T. (1973). City size and the urban heat island. *Atmospheric Environment (1967)*, 7(8):769–779.
- Oke, T. (1984). Towards a prescription for the greater use of climatic principles in settlement planning. *Energy and Buildings*, 7(1):1–10.
- Oke, T. R. (2006a). *Boundary layer climates*. Routledge, London, 2nd ed edition.
- Oke, T. R. (2006b). Towards better scientific communication in urban climate. *Theoretical and Applied Climatology*, 84(1-3):179–190.
- Pelíšek, A. (2022). České Budějovice se přehřívají, do budoucna by mělo přibýt více zeleně. [online], iDnes.cz. [cit. 13. 4. 2022]. Dostupné z: https://www.idnes.cz/ceske-budejovice/zpravy/adaptacni-strategie-radnice-zelen-prehrivani.A220214_161119_budejovice-zpravy_khr.
- Peng, J., Xie, P., Liu, Y., a Ma, J. (2016). Urban thermal environment dynamics and associated landscape pattern factors: A case study in the Beijing metropolitan region. *Remote Sensing of Environment*, 173:145–155.
- Perry, C. R. a Lautenschlager, L. F. (1984). Functional equivalence of spectral vegetation indices. *Remote Sensing of Environment*, 14(1-3):169–182.

- Příbáň, K. a Ondok, J. P. (1985). Heat balance components and evapotranspiration from a sedge-grass marsh. *Folia Geobotanica et Phytotaxonomica*, 20(1):41–56.
- Qi, J.-D., He, B.-J., Wang, M., Zhu, J., a Fu, W.-C. (2019). Do grey infrastructures always elevate urban temperature? No, utilizing grey infrastructures to mitigate urban heat island effects. *Sustainable Cities and Society*, 46:101392.
- R Core Team (2021). *R: A Language and Environment for Statistical Computing*. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Rizwan, A. M., Dennis, L. Y., a Liu, C. (2008). A review on the generation, determination and mitigation of Urban Heat Island. *Journal of Environmental Sciences*, 20(1):120–128.
- Sak, R., Dvořák, J., Semotanová, E., Rameš, V., Žemlička, J., Bůžek, V., a Novotný, M. (1996). *Historický atlas měst České republiky (3.) – České Budějovice*. Historický ústav Akademie věd České republiky, Praha.
- Santamouris, M. (2013). Using cool pavements as a mitigation strategy to fight urban heat island—A review of the actual developments. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 26:224–240.
- Sentinelhub (2021). EO Browser. [online]. [cit. 10. 12. 2021]. Dostupné z: <https://apps.sentinel-hub.com/eo-browser/>.
- Shafique, M., Kim, R., a Rafiq, M. (2018). Green roof benefits, opportunities and challenges – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 90:757–773.
- Shahmohamadi, P., Che-Ani, A. I., Maulud, K. N. A., Tawil, N. M., a Abdullah, N. A. G. (2011). The Impact of Anthropogenic Heat on Formation of Urban Heat Island and Energy Consumption Balance. *Urban Studies Research*, 2011:1–9.
- Spronken-Smith, R. A., Oke, T. R., a Lowry, W. P. (2000). Advection and the surface energy balance across an irrigated urban park. *International Journal of Climatology*, 20(9):1033–1047.
- Steenefeld, G., Koopmans, S., Heusinkveld, B., a Theeuwes, N. (2014). Refreshing the role of open water surfaces on mitigating the maximum urban heat island effect. *Landscape and Urban Planning*, 121:92–96.
- Stewart, I. D. a Oke, T. R. (2012). Local Climate Zones for Urban Temperature Studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 93(12):1879–1900.
- Sun, R. a Chen, L. (2012). How can urban water bodies be designed for climate adaptation? *Landscape and Urban Planning*, 105(1-2):27–33.
- Sýkora, L. a Ouředníček, M. (2007). Sprawling post-communist metropolis: Commercial and residential suburbanization in Prague and Brno, the Czech Republic. In Razin, E., Dijst, M., a Vázquez, C., eds., *Employment Deconcentration in European Metropolitan Areas*, volume 91, pp. 209–233. Springer Netherlands, Dordrecht. Series Title: The GeoJournal Library.

- Tan, J., Zheng, Y., Tang, X., Guo, C., Li, L., Song, G., Zhen, X., Yuan, D., Kalkstein, A. J., Li, F., a Chen, H. (2010). The urban heat island and its impact on heat waves and human health in Shanghai. *International Journal of Biometeorology*, 54(1):75–84.
- Tucker, C. J. (1979). Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8(2):127–150.
- UN, DESA (2015). World urbanization prospects: The 2014 revision. *United Nations Department of Economics and Social Affairs, Population Division: New York, NY, USA*, 41.
- USGS (2021a). EarthExplorer. [online]. [cit. 10. 12. 2021]. Dostupné z: <https://earthexplorer.usgs.gov/>.
- USGS (2021b). EROS Science Processing Architecture On Demand Interface. [online]. [cit. 10. 12. 2021]. Dostupné z: <https://espa.cr.usgs.gov/ordering/new/>.
- Verbesselt, J., Hyndman, R., Zeileis, A., a Culvenor, D. (2010). Phenological change detection while accounting for abrupt and gradual trends in satellite image time series. *Remote Sensing of Environment*, 114(12):2970–2980.
- Verbesselt, J., Zeileis, A., a Herold, M. (2012). Near real-time disturbance detection using satellite image time series. *Remote Sensing of Environment*, 123:98–108.
- Věžník, A. a Konečný, O. (2011). Agriculture of the Czech Republic after accession to the EU: regional differentiation. *Moravian Geographical Reports*, 19(1):50–60. ISBN: 1210-8812.
- Wang, Z.-H., Zhao, X., Yang, J., a Song, J. (2016). Cooling and energy saving potentials of shade trees and urban lawns in a desert city. *Applied Energy*, 161:437–444.
- Ward, K., Lauf, S., Kleinschmit, B., a Endlicher, W. (2016). Heat waves and urban heat islands in Europe: A review of relevant drivers. *Science of The Total Environment*, 569-570:527–539.
- Wilson, J. S., Clay, M., Martin, E., Stuckey, D., a Vedder-Risch, K. (2003). Evaluating environmental influences of zoning in urban ecosystems with remote sensing. *Remote Sensing of Environment*, 86(3):303–321.
- Xu, S. (2009). An approach to analyzing the intensity of the daytime surface urban heat island effect at a local scale. *Environmental Monitoring and Assessment*, 151(1-4):289–300.
- Zhou, S. Z. a Shu, J. (1994). *Urban climatology*. China Meteorological Press, Beijing.

Seznam obrázků

3.1	České Budějovice a okolí	16
5.1	Graf průměrných hodnot indexu NDVI na studovaných plochách v průběhu sledovaných let (1 – Průmyslový podnik Robert Bosch Kněžské Dvory, 2 – Super- a hypermarkety České Vrbné, 3 – Super- a hypermarkety Strakonická/Pražská, 4 – Vícebytové domy Máj – jih, 5 – Vícebytové domy Luční Jez, 6 – Vícebytové domy Na Zlaté stoce/Na Sádkách, 7 – Řadové rodinné domy Suché Vrbné – Heřmánková a Kopretinová, 8 – Rodinné dvojdomy Nové Hodějovice – západ, 9 – Rodinné domy Včelná – sever)	23
5.2	Graf průměrných hodnot indexu SAVI na studovaných plochách v průběhu sledovaných let (1 – Průmyslový podnik Robert Bosch Kněžské Dvory, 2 – Super- a hypermarkety České Vrbné, 3 – Super- a hypermarkety Strakonická/Pražská, 4 – Vícebytové domy Máj – jih, 5 – Vícebytové domy Luční Jez, 6 – Vícebytové domy Na Zlaté stoce/Na Sádkách, 7 – Řadové rodinné domy Suché Vrbné – Heřmánková a Kopretinová, 8 – Rodinné dvojdomy Nové Hodějovice – západ, 9 – Rodinné domy Včelná – sever)	24
5.3	Graf průměrných hodnot indexu NDMI na studovaných plochách v průběhu sledovaných let (1 – Průmyslový podnik Robert Bosch Kněžské Dvory, 2 – Super- a hypermarkety České Vrbné, 3 – Super- a hypermarkety Strakonická/Pražská, 4 – Vícebytové domy Máj – jih, 5 – Vícebytové domy Luční Jez, 6 – Vícebytové domy Na Zlaté stoce/Na Sádkách, 7 – Řadové rodinné domy Suché Vrbné – Heřmánková a Kopretinová, 8 – Rodinné dvojdomy Nové Hodějovice – západ, 9 – Rodinné domy Včelná – sever)	26
5.4	Graf průměrných hodnot povrchových teplot na studovaných plochách v průběhu sledovaných let (1 – Průmyslový podnik Robert Bosch Kněžské Dvory, 2 – Super- a hypermarkety České Vrbné, 3 – Super- a hypermarkety Strakonická/Pražská, 4 – Vícebytové domy Máj – jih, 5 – Vícebytové domy Luční Jez, 6 – Vícebytové domy Na Zlaté stoce/Na Sádkách, 7 – Řadové rodinné domy Suché Vrbné – Heřmánková a Kopretinová, 8 – Rodinné dvojdomy Nové Hodějovice – západ, 9 – Rodinné domy Včelná – sever)	27

- 5.5 Graf průměrných hodnot standardizovaných povrchových teplot na studovaných plochách v průběhu sledovaných let (1 – Průmyslový podnik Robert Bosch Kněžské Dvory, 2 – Super- a hypermarkety České Vrbné, 3 – Super- a hypermarkety Strakonická/Pražská, 4 – Vícebytové domy Máj – jih, 5 – Vícebytové domy Luční Jez, 6 – Vícebytové domy Na Zlaté stoce/Na Sádkách, 7 – Řadové rodinné domy Suché Vrbné – Heřmánková a Kopretinová, 8 – Rodinné dvojdomy Nové Hodějovice – západ, 9 – Rodinné domy Včelná – sever) 27
- 5.6 Mapa indexů NDVI, NDMI a povrchových teplot na studované ploše Super- a hypermarkety České Vrbné v letech 1990, 2006, 2010, 2015 a 2020 28

Seznam tabulek

4.1	Doba pořízení analyzovaných snímků Landsat pro jednotlivé studované plochy	19
5.1	Testování studovaných ploch pomocí Kruskal-Wallisova neparametrického testu (KS test) s Chí-kvadrát rozdělením (χ^2) a stupni volnosti (df) ve sledovaných letech se statisticky významně liší	25