

Analýza teplotních změn povrchu po provedených ekologických opatřeních

Ing. Jana Seidlová,
Mgr. Jiří Kvapil,
RNDr. Pavel Doubrava,
Česká informační agentura
životního prostředí

Abstrakt

Projekt ATEZ byl podpořen z Programu na podporu projektů ke zlepšení stavu životního prostředí hl. m. Prahy. Hlavním cílem projektu bylo zjištění vlivu ekologických opatření na teplotu povrchu (klimatickou adaptaci) zájmových lokalit pomocí satelitních dat dálkového průzkumu Země, která byla realizována v uplynulých letech v hlavním městě České republiky v Praze. Jedná se především o zatravnění holých ploch, vytváření nektarodárných biopásů a plošek, rozptýlenou výsadbu, částečné zalesnění, prořezání sadů nebo změny plodin. Základem projektu jsou satelitní data dálkového průzkumu Země, která umožňují získání spojitých hodnot povrchových teplot (LST – Land Surface Temperature) a jejich změn v čase na definovaném území. Pro zpracování výsledků jsou využita multispektrální data z družice Sentinel-2 pro analýzu povrchu i zeleně, a dále termální data z družice Landsat 8 pro hodnocení teplotních změn. Tým Laboratoře dálkového průzkumu CENIA zkoumal vliv provedených opatření na změny povrchové teploty daných lokalit jak lokálně, tak ve vztahu k jejich vnějšímu okolí. Plochy byly pro přesnější informace také rozděleny do jednotlivých kategorií podle typu krajinného pokryvu (zástavba, les, pole a ostatní nízká zeleně). Průměrné hodnoty povrchových teplot a jejich vzájemné vztahy byly sledovány v období před i po provedení ekologických opatření. Výstupem spolupráce jsou podklady pro Magistrát hl. m. Prahy k hodnocení efektivnosti jednotlivých opatření a k využití při realizaci dalších ekologických opatření.

Analysis of Surface Temperature Changes after Ecological Measures

Abstract

The ATEZ project was supported by the Program for the Support of Projects to Improve the State of the Environment of the Capital City of Prague. The main goal of the project was to determine the influence of ecological measures on the surface temperature (climate adaptation) at localities of interest using remote sensing satellite data based on the implemented ecological measures in the capital of Czechia in Prague taken in recent years. In particular it deals with the grassing of bare areas, the creation of nectar bearing biozones and plots, scattered planting, partial afforestation, pruning of orchards or crop changes. Remote sensing satellite data are a fundamental data source of this project. Thanks to this, it is possible to obtain continuous values of surface temperatures (LST – Land Surface Temperature) and their changes over time in a defined area. Multispectral satellite data from the Sentinel-2 satellites were used for surface and vegetation analysis, and thermal satellite data from the Landsat 8 satellite were used for the evaluation of land surface temperature changes. Remote Sensing Laboratory team at CENIA examined the influence of the implemented measures on changes in the surface temperature of the given localities, both locally and in relation to their external surroundings. For more accurate information, the areas were divided into individual categories according to the type of land cover (artificial areas, forest, fields and other low vegetation). Average values of surface temperatures and their mutual relations were monitored in the period before and after the implementation of ecological measures. The output of the cooperation are documents evaluating the effectiveness of individual measures and can serve for further use while carrying out other environmental measures.

Keywords: Remote sensing, LST, NDVI, Landsat 8, Sentinel-2, Prague, project

1. Úvod

Tepelná zátěž může vést ke zdravotním potížím až k úmrtí citlivých skupin obyvatel. Města se proto snaží proti dlouhodobému zvyšování průměrné roční teploty vzduchu bojovat [1]. Jednou z možností jsou ekologická opatření neboli v tomto případě přeměna holých nebo pouze nízko strážných homogenních travnatých povrchů v květnaté loučky nebo i částečné zalesnění [2].

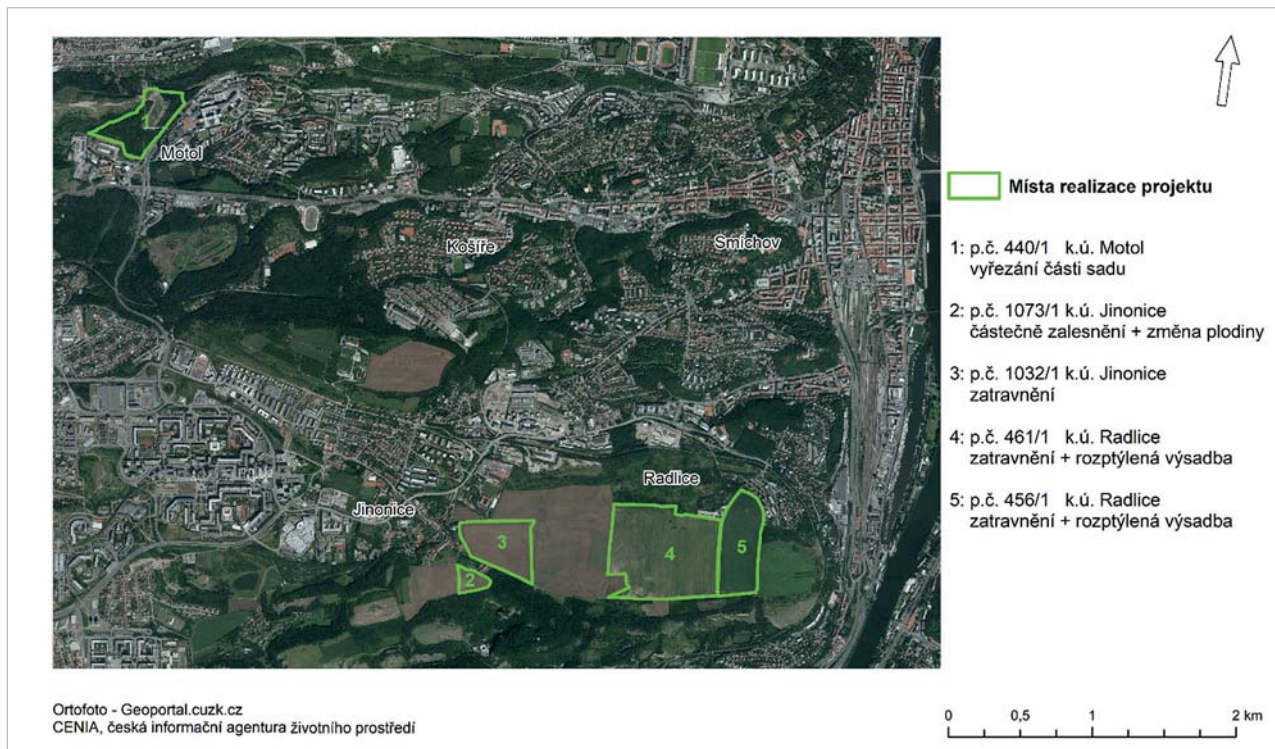
Tento projekt (ATEZ – Analýza teplotních změn povrchu po provedených ekologických opatřeních), z Programu na podporu projektů ke zlepšení stavu životního prostředí hl. m. Prahy od Magistrátu hlavního města (hl. m.) Prahy, sloužil ke zhodnocení účinnosti provedených ekologických opatření, která po správném provedení mohou mít pozitivní vliv na klimatickou adaptaci krajiny a mohou tak předcházet negativním změnám způsobeným změnou klimatu.

Projekt využíval dat dálkového průzkumu Země z komerčních družic. Tímto způsobem lze získat spojitě hodnoty povrchových teplot a jejich změn v čase na definovaném území.

Pro zpracování projektu byla použita jak termální, tak optická družicová data z doby před aplikací ekologického opatření a po následné změně.

2. Cíle výzkumu

Hlavním cílem projektu bylo zjištění vlivu ekologických opatření na klimatickou adaptaci dotčených lokalit pomocí dat dálkového průzkumu Země (DPZ). Byl zkoumán především vliv provedených opatření na změny povrchové teploty daných lokalit jak lokálně, tak ve vztahu k vnější-



Obr. 1 Lokace zájmových parcel

Tab. 1 Přehled zájmových parcel včetně typu opatření

	k. ú.	p.č.	typ opatření	realizace opatření
1	Motol	440/1	vyřezání části sadu	2018 - 2019
2	Jinonice	1073/1	částečně zalesnění, změna plodiny	2019
3	Jinonice	1032/1	zatravnění	2020
4	Radlice	461/1	zatravnění, rozptýlená výsadba	2017 - 2020
5	Radlice	456/1	zatravnění, rozptýlená výsadba	2017

mu okolí. Účelem projektu bylo prověřit efektivitu či nedostatky provedených ekologických opatření na území hl. m. Prahy a seznámit veřejnost s důležitostí těchto opatření. Dále vytvořit mapy a podklady pro Magistrát hl. m. Prahy k hodnocení efektivnosti jednotlivých opatření a podpořit tvorbu nových.

Lokace vybraných lokalit je zobrazena na **obr. 1** a typ opatření v **tab. 1**.

3. Lokalita zájmu

Projekt byl realizován na území hl. m. Prahy na místech, kde byla provedena ekologická opatření. Změny povrchových teplot byly hodnoceny jak lokálně, tak ve vztahu ke svému okolí (nižší/vyšší).

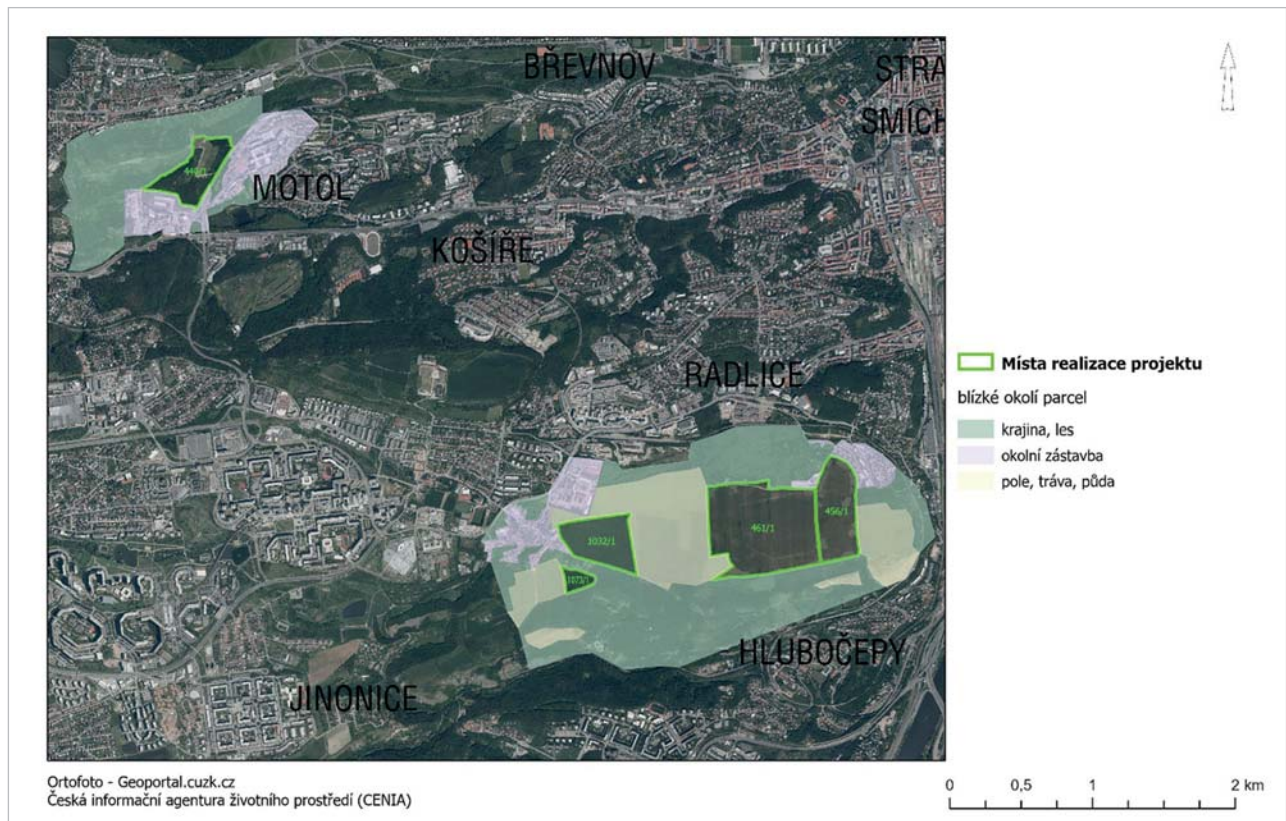
4. Metodika

Pro zkoumání teplotních změn bylo vybráno celkem 78 vhodných bezoblačných snímků družice Landsat 7 a 8 v rozmezí let 2013–2021. Podrobný rozpis dostupných snímků v jednotlivých letech je vyčíslen v **tab. 2**. Počet snímků v každém roce je závislý na dostupnosti dat a zejména na oblačnosti v daném roce na daných lokalitách. V případě některých let byly snímky dostupné v průběhu celého roku, v některých letech byly dostupné pouze snímky z letního období.

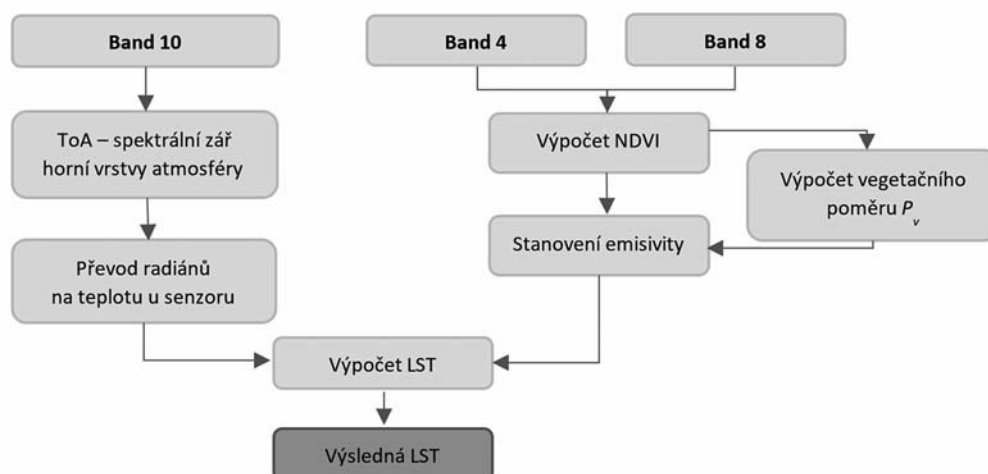
Aby mohly být průměrné povrchové teploty jednotlivých ploch, na kterých došlo k realizaci nějakého opatření, vztahovány k průměrným teplotám ploch ve svém okolí, byl kolem nich vytvořen rádius cca 500 metrů. Plochy v tomto rozsahu byly pro přesnější informace dále rozděleny do jednotlivých kategorií podle typu krajinného po-

Tab. 2 Počet dostupných bezoblačných snímků v jednotlivých letech

Rok	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	celkem
Počet snímků	8	1	10	10	11	11	8	12	7	78



Obr. 2 Blízké okolí parcel rozdělené podle kategorií pokryvu



Obr. 3 Workflow výpočtu povrchové teploty LST

kryvu (obr. 2). V případě Radlic a Jinonic bylo okolí rozděleno do tří kategorií – krajina a les, okolní zástavba, pole a holá půda. Pro Motolskou parcelu byly rozlišeny pouze dvě kategorie – krajina a les, okolní zástavba. Průměrné hodnoty povrchových teplot a jejich vzájemná

by byly sledovány v období před i po provedení ekologických opatření.

Pro získané termální a optické snímky byl vytvořen algoritmus (obr. 3) pro výpočet povrchové teploty (LST – Land Surface Temperature) a vegetačního indexu NDVI

(Normalizovaný diferenční vegetační index [3]). Zpracování dat probíhalo v software ENVI a QGIS. Výsledné hodnoty povrchových teplot tvořily spojitou mapu. Tyto hodnoty byly použity pro další zpracování jak samostatně, tak byly dále průměrovány podle jednotlivých parcel a typů krajinné kategorie.

5. Výsledky

Pro všechny snímky byla vypočítána průměrná hodnota povrchové teploty v rámci každé zájmové parcely a jednotlivých kategorií blízkého okolí. A dále byly pro jednotlivé parcely spočítány rozdíly teplot vůči blízkému okolí

(**tab. 3, 4, 5, 6 a 7**) v roce 2016, 2020 a 2021, který odpovídá období před provedením opatření a poté (v roce 2021 nebyl dostatek bezoblačných snímků, které by se časově shodovaly se staršími snímky). Tyto výsledky ukazují relativní vztah povrchové teploty zájmových parcel vůči jejich blízkému okolí.

V **tab. 8** je přehled srpnových snímků v letech 2016 až 2021, kde je vypočítán rozdíl průměrné teploty na zájmové parcele vůči jejímu blízkému okolí. Kladné hodnoty představují vyšší teplotu, než je průměrná teplota parcely, záporné hodnoty představují nižší teplotu. Podle těchto rozdílů je vidět, že rozdíl teploty zkoumaných parcel se často po provedených opatřeních vůči teplotě polí a zástavbě zvyšuje a u lesů a krajiny dochází ke snížení teplotního rozdílu.

Tab. 3 Rozdíl průměrné povrchové teploty parcely a blízkého okolí; kladné hodnoty představují vyšší teplotu, než je průměrná teplota parcely, záporné hodnoty představují chladnější teplotu

Motol 440/1		rozdíl teplot [°C]	
datum	průměr LST [°C]	krajina, les	okolní zástavba
10.07.2016	18,79	0,57	2,34
04.08.2016	27,05	0,31	2,17
12.09.2016	27,37	-0,53	0,53
14.07.2020	25,67	0,17	3,18
06.08.2020	24,15	-0,34	1,95
16.09.2020	24,67	-0,53	0,71
10.09.2021	21,81	-0,39	1,15

Tab. 4 Rozdíl průměrné povrchové teploty parcely a blízkého okolí; kladné hodnoty představují vyšší teplotu, než je průměrná teplota parcely, záporné hodnoty představují chladnější teplotu

Jinonice 1032/1		rozdíl teplot [°C]		
datum	průměr LST [°C]	krajina, les	okolní zástavba	pole, tráva, půda
10.07.2016	18,6	0,38	1,84	1,34
04.08.2016	28,82	-4,08	-1,55	-1,02
12.09.2016	30,44	-3,69	-2,75	-0,03
14.07.2020	27,8	-3,02	1,01	-1,44
06.08.2020	25,04	-2,2	0,36	-0,26
16.09.2020	25,54	-1,66	-0,62	1,21
10.09.2021	22,95	-2	-0,28	0,36

Tab. 5 Rozdíl průměrné povrchové teploty parcely a blízkého okolí; kladné hodnoty představují vyšší teplotu, než je průměrná teplota parcely, záporné hodnoty představují chladnější teplotu

Jinonice 1073/1		rozdíl teplot [°C]		
datum	průměr LST [°C]	krajina, les	okolní zástavba	pole, tráva, půda
10.07.2016	18,6	0,06	1,51	1,02
04.08.2016	28,82	-1,3	1,23	1,76
12.09.2016	30,44	-2,37	-1,43	1,28
14.07.2020	27,8	-0,12	3,91	1,46
06.08.2020	25,04	-0,87	1,69	1,07
16.09.2020	25,54	-0,48	0,56	2,39
10.09.2021	21,75	-0,8	0,92	1,56

Tab. 6 Rozdíl průměrné povrchové teploty parcely a blízkého okolí; kladné hodnoty představují vyšší teplotu, než je průměrná teplota parcely, záporné hodnoty představují chladnější teplotu

Radlice 456/1		rozdíl teplot [°C]		
datum	průměr LST [°C]	krajina, les	okolní zástavba	pole, tráva, půda
10.07.2016	18,6	-0,33	1,12	0,63
04.08.2016	28,82	-3,35	-0,81	-0,28
12.09.2016	30,44	-2,3	-1,36	1,35
14.07.2020	27,8	-2,93	1,1	-1,35
06.08.2020	25,04	-2,52	0,03	-0,58
16.09.2020	25,54	-1,27	-0,23	1,6
10.09.2021	22,23	-1,29	0,44	1,08

Tab. 7 Rozdíl průměrné povrchové teploty parcely a blízkého okolí; kladné hodnoty představují vyšší teplotu, než je průměrná teplota parcely, záporné hodnoty představují chladnější teplotu

Radlice 461/1		rozdíl teplot [°C]		
datum	průměr LST [°C]	krajina, les	okolní zástavba	pole, tráva, půda
10.07.2016	18,6	-0,22	1,23	0,74
04.08.2016	28,82	-3,45	-0,92	-0,39
12.09.2016	30,44	-3,13	-2,19	0,52
14.07.2020	27,8	-2,34	1,69	-0,76
06.08.2020	25,04	-2,14	0,42	-0,2
16.09.2020	25,54	-1,23	-0,19	1,64
10.09.2021	22,41	-1,46	0,26	0,9

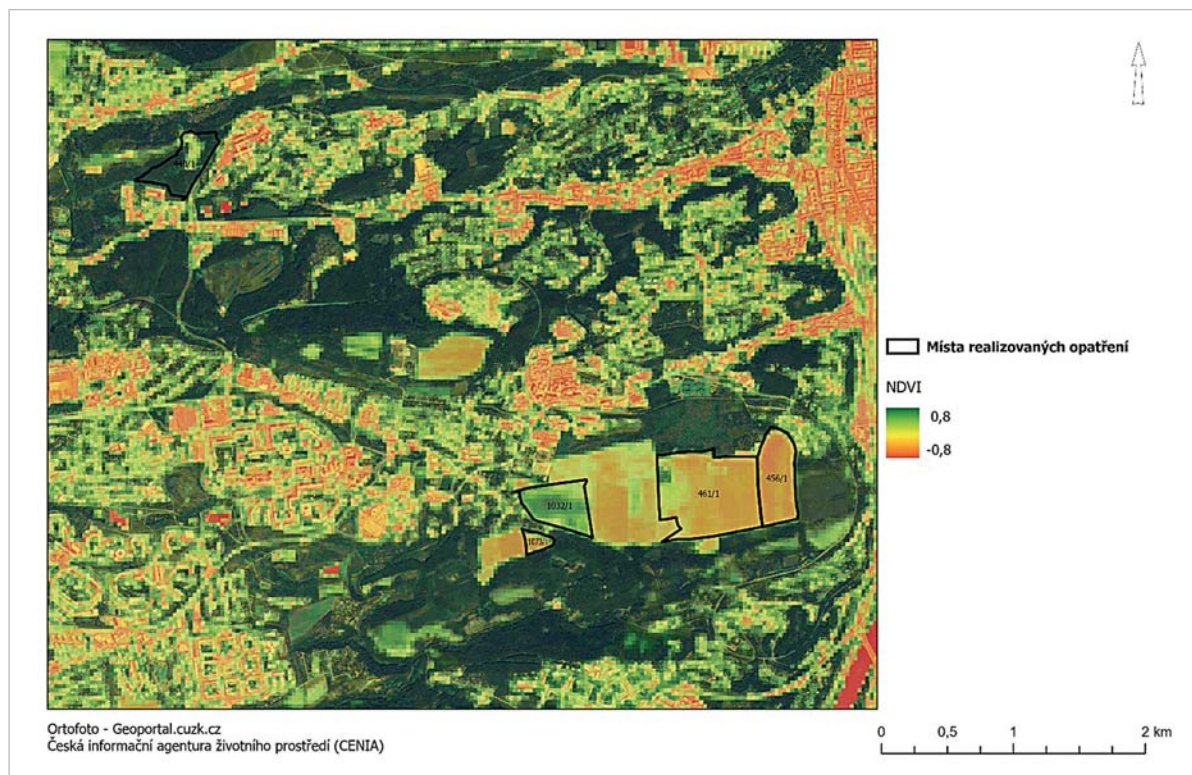
Tab. 8 Porovnání srpnových snímků; záporné hodnoty představují nižší teplotu, než je průměrná teplota parcely, kladné hodnoty představují vyšší teplotu

	parcels	průměrná teplota ve °C	změna průměrné teploty v %		
			krajina, les	okolní zástavba	pole, tráva, půda
2016	1032/1	28,82	-16,51	-5,67	-3,65
	1073/1	26,04	-5,27	4,52	6,34
	440/1	27,05	-9,35	0,82	2,72
	456/1	28,09	-13,54	-2,98	-1,02
	461/1	28,19	-13,97	-3,36	-1,39
2017	1032/1	30,01	-18,64	-10,97	-3,28
	1073/1	28,92	-14,34	-6,94	0,46
	440/1	26,3	-3,99	2,74	9,48
	456/1	26,78	-5,88	0,97	7,83
	461/1	26,66	-5,39	1,42	8,25
2018	1032/1	34,48	-10,79	-4,19	1,57
	1073/1	33,52	-7,71	-1,3	4,3
	440/1	32,5	-4,42	1,79	7,22
	456/1	34,43	-10,63	-4,05	1,7
	461/1	34,62	-11,26	-4,64	1,15
2019	1032/1	30,39	1,82	9,49	5,05
	1073/1	30,61	1,11	8,83	4,35
	440/1	32,49	-4,97	3,22	-1,53
	456/1	33,38	-7,82	0,59	-4,29
	461/1	33,48	-8,16	0,28	-4,62
2020	1032/1	25,04	-9,61	1,4	-1,06
	1073/1	23,71	-3,79	6,64	4,3
	440/1	24,15	-5,71	4,91	2,53
	456/1	25,37	-11,02	0,13	-2,36
	461/1	24,99	-9,35	1,64	-0,82
2021	1032/1	21,62	-2,5	7,73	7,38
	1073/1	22	-4,32	6,1	5,74
	440/1	21,22	-0,63	9,42	9,07
	456/1	22,81	-8,17	2,63	2,26
	461/1	23,24	-10,21	0,79	0,42

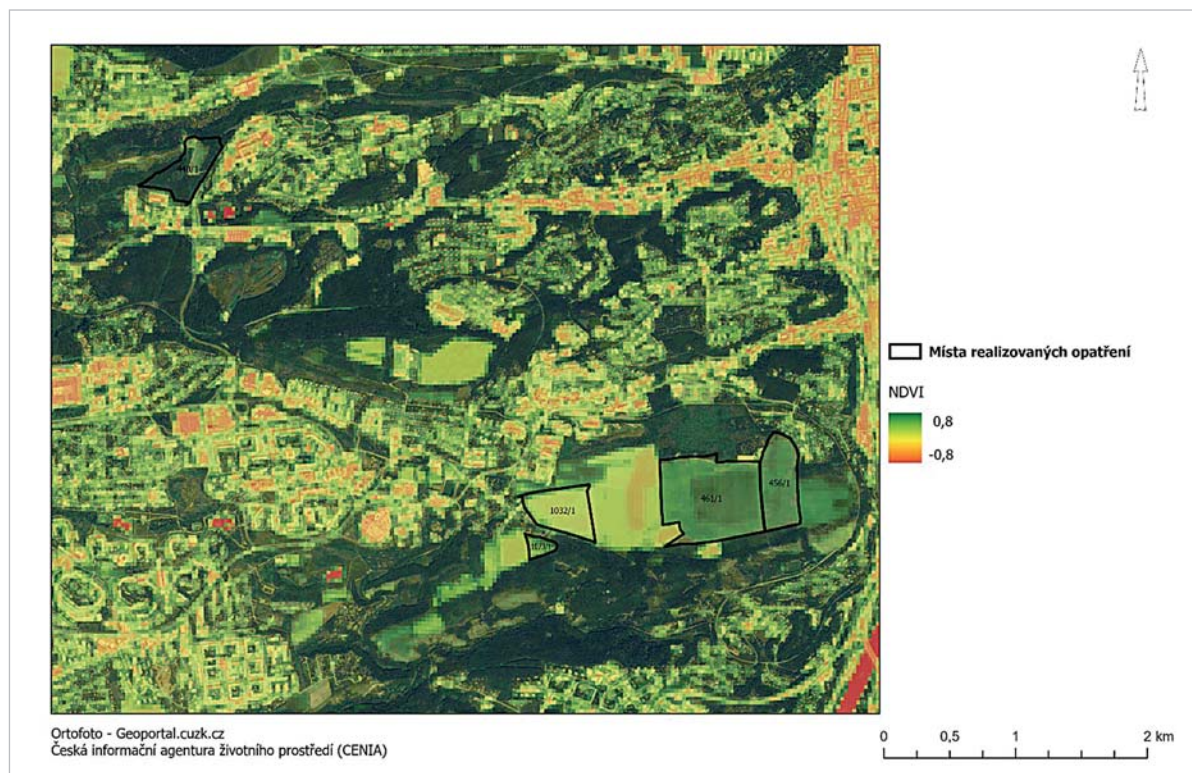
5.1 Porovnání vegetačního indexu NDVI

Porovnáním vegetačního indexu NDVI, který poukazuje na přítomnost a zdravotní stav vegetace, ze stejného měsíce

v roce 2016 a 2020 (obr. 4 a 5) je lépe patrná změna, ke které došlo v důsledku nových ekologických opatření. Především v lokalitě Dívčích hradů, kde je nyní například výběh koně Převalského, je patrný rozdíl v NDVI.



Obr. 4 Mapa vegetačního indexu NDVI z 4. 8. 2016



Obr. 5 Mapa vegetačního indexu NDVI z 6. 8. 2020

6. Diskuse

Analýza povrchových teplot, získaných z termálních satelitních dat zájmových lokalit, přinesla příznivé výsledky, přestože analýzou optických dat a výpočtem NDVI byla u některých parcel pouze potvrzena pozitivní změna v kvalitě a množství vegetace. U některých parcel došlo k relativní změně rozdílu teploty vůči blízkému okolí, nicméně tato změna není kvantifikovatelná už jen díky časové a množství nerovnoměrnosti dostupných snímků. Dalším faktorem jsou také rozdílné teplotní podmínky v jednotlivých letech, například v letech s extrémnějšími teplotami jsou více patrné rozdíly mezi jednotlivými typy krajinného pokryvu [4].

Opatření, která byla zkoumána pomocí metod DPZ, byla poměrně čerstvá, avšak ne dost razantního charakteru na to, aby byl v takto krátkém časovém intervalu znatelný přímočarý výsledek. Na družicových snímcích lze jasně vidět, že rozsáhlé plochy zeleně v podobě lesů a parků dosahují výrazně nižších povrchových teplot než jejich okolí a například zástavba nebo holá pole dosahují naopak výrazně vysokých teplot.

7. Závěr

Na zkoumaných parcelách se vliv ekologických opatření u povrchových teplot jasně projevil. Nejlépe dopadla největší zkoumaná lokalita 461/1 Radlice s nehomogenním zatravněním a rozptýlenou výsadbou. Výsledky tohoto projektu slouží k popularizaci a souhrnná data jsou přínosem také pro Magistrát hl. m. Prahy.

A jako zajímavost na konec, na lokalitách Jinonice a Radlice (Dívčí hrady) proběhla ve stejném dotačním programu předchozích ročníků reintrodukce modráška vičencového (*Polyommatus thersites*). Tento vzácný druh motýla potřebuje pro úspěšné dokončení larválního vývoje živ-

nou rostlinu vičencec ligrus (*Onobrychis viciifolia*). Kromě vičencových plošek se na lokalitě vyskytují i další nektarodárné rostliny pro jiné druhy opylujícího hmyzu. V popsáném příkladu lze hezky demonstrovat, jak se za reintrodukční program ohroženého motýla (deštníkový druh) schovají i další důležité skupiny opylovačů, například samotářské včely a pestřenky. Kromě zvyšující se lokální biodiverzity opylovačů přispívá takto zatravněný povrch také k ochlazení přehřátých ploch uvnitř města.

Na další části řešeného území Dívčích hradů se dokonce pasou koně Převalského, pro veřejnost atraktivní a pro ochránáře vlajkový druh. Koně fungují jako prostředek přirozené obnovy porostu, pomáhají lokalitu spásat a hnojit, a tím podporují růst vzácných druhů rostlin, které na sebe mohou vázat další propojené potravní sítě.

Děkujeme za tyto úžasné a úspěšné projekty!

LITERATURA:

- [1] DUDOROVA, N. V.-BELAN, B. D.: The Energy Model of Urban Heat Island. *Atmosphere*, 13, 2022, 3, p. 1-18.
- [2] HOFRAJTR, M.-SEIDLOVÁ, J.-BATRLOVÁ, I.-KVAPIL, J.-DOUBRAVA, P.: Spatial-Temporal Changes of Land Surface Temperature in Dependence on Land Cover, Altitude and NDVI in Selected Areas of Czechia. *Exploration Geophysics. Remote Sensing and Environment*, 27, 2020, 2, p. 33-46.
- [3] ROUSE, J. W.-HAAS, R. H.-SCHELL, J. A.-DEERING, D. W.: Monitoring Vegetation Systems in the Great Plains with ERTS. *Third ERTS Symposium, NASA*, 1973, p. 309-317.
- [4] GREŠLOVÁ, P.-HORÁKOVÁ, K.-DASTYCHOVÁ, V.-HLOUŠEK, L.-SEIDLOVÁ, J.-LAŠTOVIČKA, J.-HAVRÁNEK, M.-KOBLIŽKOVÁ, E.-KOCHOVÁ, T.: Tvář české krajiny v prostoru a čase. Praha, CENIA, 2021, 133 s.

Do redakce došlo: 25. 7. 2022

Lektoroval:
Ing. Václav Šafář, Ph.D.,
Hornicko-geologická fakulta,
Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava