

České vysoké učení technické v Praze

Fakulta stavební

Katedra hydrauliky a hydrologie



Bakalářská práce

**Studie teplotního efektu vodních útvarů
v městských ostrovech tepla**

Autor práce: Martin Pilař

Vedoucí práce: Ing. Petr Sklenář Ph.D.

Praha 2022



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: Pilař

Jméno: Martin

Osobní číslo: 477198

Zadávací katedra: Katedra hydrauliky a hydrologie

Studijní program: Stavební inženýrství -B3651

Studijní obor: Inženýrství životního prostředí (3904R007)

II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce: Studie teplotního efektu vodních útvarů v městských ostrovech tepla.

Název bakalářské práce anglicky: Study of the thermal effect of water bodies in urban heat islands.

Pokyny pro vypracování:

Seznamte se problematikou ostrovů tepla v urbanizovaném území a významu ochlazovacího účinku městské zeleně a útvarů povrchových vod. Rovněž se seznamte se strategií v rámci mitigačních a adaptačních opatření v městském prostředí, zejména využití přírodě blízkých úprav městských vodních toků. Zvolte vhodné území, na kterém by bylo možné ochlazovací efekt podrobněji studovat, např. pomocí metod dálkového průzkumu Země. Na základě příkladových studií z řady lokalit v zahraničí i v tuzemsku se pokuste posoudit význam ochlazovacího účinku městských vodních útvarů v porovnání s dalšími adaptačními a mitigačními opatřeními v rámci městských ostrovů tepla.

Seznam doporučené literatury:

- Strategie adaptace hl. m. Prahy na klimatickou změnu (IPR Praha)
- Soo-Gon Han, Sun-Hye Mun, Jung-Ho Huh: Changes of the Micro-Climature and Building cooling load due to the green effect of restored stream in Seoul, Korea. Proceedings: Building simulation 2007.
- Yen-Chang Chen, Chih-Hung Tan, Chiang Wei, Zi-Wen Su: Cooling Effect of Rivers on Metropolitan Taipei Using Remote Sensing. International Journal of Environmental and Research and Public Health, 2014.

Jméno vedoucího bakalářské práce:

Ing. Petr Sklenář, Ph.D.

Datum zadání bakalářské práce: 14.2.2022

Termín odevzdání bakalářské práce: 15.5.2022

Údaj uveďte v souladu s datem v časovém plánu příslušného ak. roku

Podpis vedoucího práce

Podpis vedoucího katedry

III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Beru na vědomí, že jsem povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je nutné uvést v bakalářské práci a při citování postupovat v souladu s metodickou příručkou ČVUT „Jak psát vysokoškolské závěrečné práce“ a metodickým pokynem ČVUT „O dodržování etických principů při přípravě vysokoškolských závěrečných prací“.

16.2.2022

Datum převzetí zadání

Podpis studenta(ky)

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně a veškerou odbornou literaturu a zdroje informací jsem uvedl v seznamu použité literatury na konci práce. Elektronická podoba práce je identická s její tištěnou verzí.

V Praze dne 16.5.2022

Martin Pilař

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé práce Ing. Petru Sklenářovi Ph.D. za jeho ochotu, čas, věcné poznámky a možnost osobních konzultací po celou dobu věnovanou této práci.

Abstrakt

Bakalářská práce se věnuje problematice městských tepelných ostrovů, jejich zvýšené intenzitě v důsledku klimatických změn a možnostem jejich ochlazování. Jsou shrnuty závěry vybraných zahraničních publikací zabývajících se ochlazovacím účinkem vodních ploch. Dále je zkoumán ochlazovací účinek ve čtyřech profilech řeky Vltavy a vodní nádrži Jiviny v Praze. Zdrojovými daty jsou mapy povrchových teplot vytvořené na základě dat z dálkového průzkumu Země družice Landsat-8. Ochlazovací účinek je posuzován pomocí metody lineární regrese. Ochlazovací účinek je prokázán ve všech řešených situacích. Jeho dosah se ale liší v závislosti na mnoha vnějších faktorech.

Klíčová slova

Adaptační a mitigační opatření, městský ostrov tepla, vodní plochy, ochlazovací účinek, dálkový průzkum Země

Abstract

The bachelor's thesis deals with the issue of urban heat islands, their increased intensity due to climate change and the possibilities of their cooling. The cooling effect of water bodies is examined in various situation scenarios. The conclusions of selected foreign publications dealing with the cooling effects of water surfaces are summarized. Furthermore, the cooling effect is investigated on four profiles of the river Vltava and the pond Jiviny in Prague. The source data are surface temperature maps created from remote sensing data from the Landsat-8 satellite. The cooling effect is assessed using the linear regression method. The cooling effect is proven in all solved situations. However, its reach varies depending on many external factors.

Key words

Adaptation and mitigation measures, urban heat island, water bodies, cooling effect, remote sensing of Earth

Obsah

Úvod	9
Literární rešerše	10
1 Adaptace a mitigace klimatické změny	10
1.1 Strategie plánování.....	11
1.2 Změny klimatu a jejich projevy.....	11
1.3 Identifikace hrozeb	13
1.3.1 Obecná charakteristika a dopady jednotlivých projevů	14
1.4 Členění adaptačních opatření	16
1.4.1 Dle typu dopadů změny klimatu	16
1.4.2 Dle typu hrozby	16
1.4.3 Dle typu realizace	17
1.4.4 Dle realizujícího subjektu	18
1.4.5 Dle sektorů zranitelnosti	18
1.5 Přírodě blízká adaptační opatření	18
1.5.1 Revitalizace vodních toků.....	18
1.5.2 Biotechnická opatření	20
1.6 Adaptační vize a specifické cíle na příkladu města Praha	21
1.7 Ukázky revitalizačních opatření.....	23
2 Tepelné ostrovy v urbanizovaném prostředí.....	26
2.1 Příčiny vzniku UHI	26
2.2 Dopady UHI.....	28
2.3 Možnosti měření UHI	29
2.3.1 Pevné stanice	29
2.3.2 Mobilní stanice.....	30
2.3.3 Dálkový průzkum.....	30
2.3.4 Vertikální snímání.....	32
2.3.5 Energetická bilance povrchu	32
2.4 Fyziologicky ekvivalentní teplota	32
2.5 Ochlazování UHI	32
2.5.1 Ochlazování pomocí vegetace	33
2.5.2 Ochlazování od vodních ploch	34

Analytická část.....	35
3 Posouzení významu ochlazovacích účinků	35
3.1 Výběr zahraničních publikací a jejich závěry	35
3.2 Diskuse významnosti vodních ploch.....	38
4 Výběr vhodné lokality k podrobnějšímu studiu ochlazovacího účinku	40
4.1 Lokalita	40
4.2 Metodika	41
4.2.1 Tvorba map povrchových teplot pomocí ArcGIS	42
4.2.2 Netatmo	43
4.3 Scénář I – Teplotní efekt stávajícího vodního toku	45
4.3.1 Situace	45
4.3.2 Metodika zpracování dat	45
4.3.3 Výsledky	47
4.4 Scénář II – Změna využití území	63
4.4.1 Situace	63
4.4.2 Výsledky	64
4.5 Scénář III – Další neřešené varianty	67
4.5.1 Změny ochlazovacího účinku v průběhu dne.....	67
4.5.2 Porovnání mezi letním a zimním obdobím	67
5 Závěr	68
Použité zdroje:.....	69
Seznam obrázků:	74
Seznam tabulek:	75
Přílohy:	75
Mapy povrchových teplot Jiviny	75
Mapy povrchových teplot profil A.....	83
Mapy povrchových teplot profil B.....	84
Mapy povrchových teplot profil C.....	85
Mapy povrchových teplot profil D.....	87

Úvod

Městská sídla a vodní plochy patří k základním prvkům krajiny. Jejich historický vývoj mohl být nezávislý, často však mezi těmito prvky byly různé vazby. Požadavky a nároky jednoho prvku na druhý se postupně mění. Velké změny s sebou přináší klimatická změna, která zásadním způsobem ovlivňuje počasí a přináší hrozby. Z těchto důvodů vznikají adaptační strategie, které mají za cíl přizpůsobit se změnám a snížit možné škody.

Kombinace zvyšující se průměrné teploty vzduchu, velkého množství málo odrazivých materiálů s minimálním množstvím ploch s vegetačním krytem a stromy vede k tvorbě městských tepelných ostrovů. Tento problém ovlivňuje přes polovinu populace a podle předpokladů se množství dotčených lidí bude zvyšovat. Tepelné ostrovy způsobují nekomfortní podmínky pro pobyt člověka ve městě a zároveň ho mohou ohrožovat na zdraví. Z těchto důvodů se hledají způsoby, jak zmírnit efekt tepelného ostrova.

Potoky, řeky, jezera, rybníky, obecně vodní plochy představují skupinu, u které současné vědecké poznání nepředstavuje jednoznačné závěry. Často se udává, že mohou poskytovat ochlazovací účinek na tepelný ostrov.

Cílem této práce je shrnout na základě provedených studií současné poznání o ochlazovacím účinku vodních ploch na městské ostrovy tepla a identifikovat možné vlivy na tento účinek. Dílčím cílem je také vybrat vhodnou lokalitu k dalšímu studiu ochlazovacího efektu.

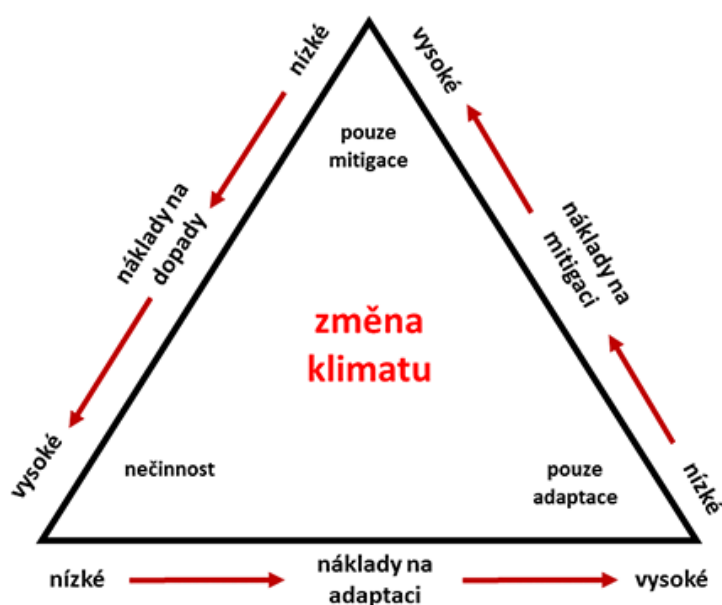
Literární rešerše

1 Adaptace a mitigace klimatické změny

V dnešní moderní vyspělé době je stále velká část lidské činnosti vázána na klimatické podmínky. Jejich změny mohou mít za následek negativní vývoj v různých oblastech od zemědělství, cestovního ruchu až po zajištění základních potřeb jako je voda a energie. K těmto změnám existují dva základní přístupy: adaptace a mitigace [1].

Mitigace, z anglického slova *mitigation*, znamená zmírnění. Jedná se o snahu o zpomalení, zmírnění změny klimatu. Nejčastěji se jedná o snížení produkce skleníkových plynů pomocí technologických opatření a inovací, které snižují množství emisí vypouštěných do ovzduší [2].

Adaptace je proces přizpůsobení se aktuálním nebo očekávaným změnám klimatu. Hlavním cílem je snížení možných škod. Kvalitní a dobře provedená adaptace snižuje riziko zranitelnosti vůči dopadům změn klimatu a zároveň nesnižuje kvalitu životního prostředí a potenciál společenského rozvoje [3].



Obrázek 1: Trojúhelníkový diagram [2] dostupný na [4]

Na trojúhelníkovém diagramu vytvořeného Mezivládním panelem pro změnu klimatu jsou vidět vztahy mezi přístupy ke změně klimatu. Je z něj patrné, že zaměřit se pouze na jednu skupinu opatření by byla chyba. Nelze zastavit všechny změny pouze pomocí mitigace a proto je i nutné se adaptovat. Obecně platí, že důležité je se zaměřit na obě cesty současně v různých úrovních od jednotlivců, přes místní a národní plány, po globální strategie [2].

1.1 Strategie plánování

Celkový koncept plánování v oblasti adaptací a mitigací klimatických změn vychází z mezinárodně stanovených cílů, s kterými jsou spojeny závazky jednotlivých zemí. Jedním z nejvýznamnějších orgánů zabývajících se změnou klimatu je **Mezinárodní panel pro změnu klimatu (IPCC)** [5]. Uskupení, které se skládá z vědců z celého světa bylo založeno v roce 1988 z důvodu objektivního hodnocení změn klimatu. IPCC pravidelně připravuje hodnotící zprávy, technické zprávy a další dokumenty, které se věnují nejaktuálnějším problémům v oblasti změn klimatu. V tuto chvíli je již dostupná šestá hodnotící zpráva, která poskytuje nejnovější vědecké poznatky [5][6].

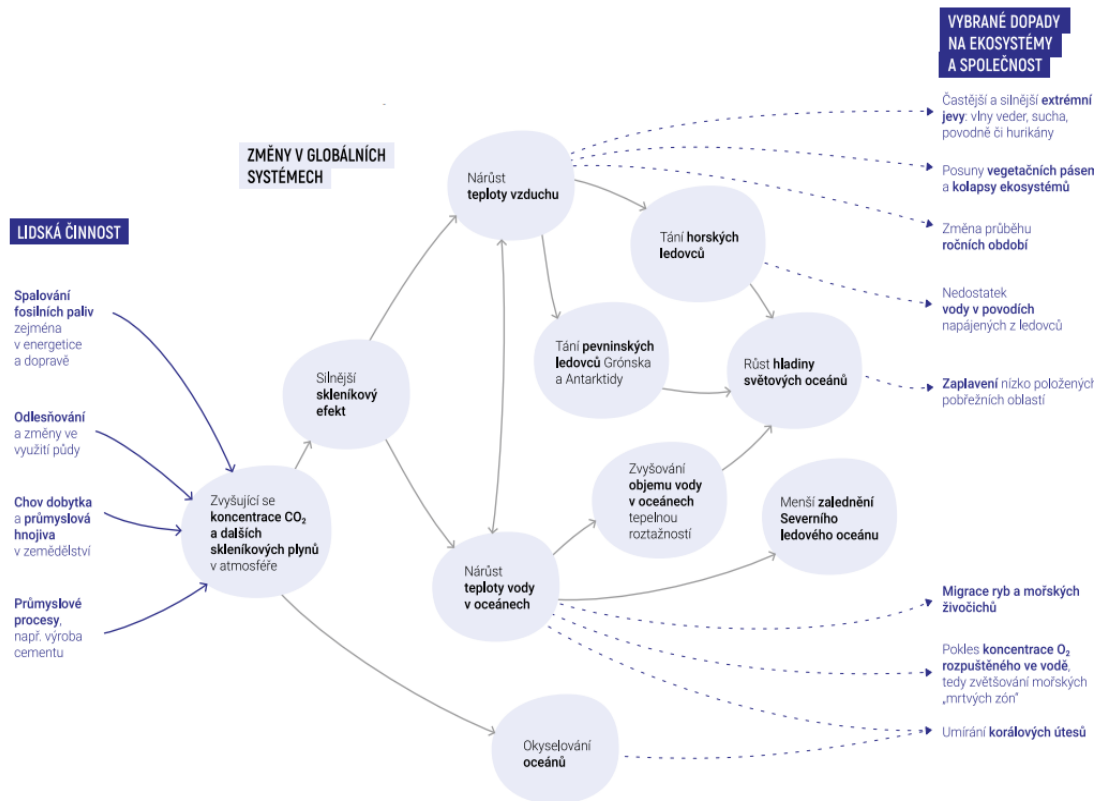
Na úrovni České republiky je strategie adaptace řešena dokumentem **Strategie přizpůsobení se změně klimatu**. Ten byl vytvořen meziresortní skupinou na půdě Ministerstva životního prostředí a je v souladu s nadnárodním dokumentem **Adaptační strategií EU**. Implementačním dokumentem Strategie přizpůsobení se změně klimatu je poté **Národní akční plán adaptace na změnu klimatu** [7]. Dalším významným dokumentem u nás je **Politika ochrany klimatu v České republice**. Tato politika reflektuje problematiku emisí skleníkových plynů a určuje cíle v oblasti ochrany klimatu do roku 2030 a představuje strategii nízkoe emisního rozvoje do roku 2050 [8].

Současným trendem je tvorba adaptačních strategií jednotlivých měst. Za tímto účelem vznikla **Metodika tvorby adaptační strategie sídel na změnu klimatu**. Cílem metodiky je přiblížit městům problematiku spojenou s klimatickou změnou, ukázat odzkoušené strategie a plány a připravit na všechny návaznosti spojené se společenskými požadavky [9]. Dokumenty strategie měst mají vždy podobnou strukturu a hlavní strategický cíl, kterým je udržet dlouhodobou odolnost sídla vůči projevům klimatické změny. Mohou se lišit se pouze v konkrétních opatřeních, jak tohoto cíle dosáhnout. Na začátku strategií je vždy popis problému se změnou klimatu, s nimi spojená rizika a hrozby a poté plán adaptací podle oblastí dopadu. Jako příklad mohou sloužit: Strategie adaptace hlavního města Prahy na změnu klimatu, Adaptační strategie města Chrudim na změnu klimatu, Adaptační strategie na změnu klimatu pro Nový Bor [10][11].

1.2 Změny klimatu a jejich projevy

Klimatický systém Země zahrnuje atmosféru, hydrosféru, kryosféru, svrchní část litosféry a biosféru. Tyto složky jsou neustále ve vzájemné interakci pomocí fyzikálních, chemických nebo biologických procesů. Dochází mezi nimi k výměně energie a látek. Z toho je patrné, že celý systém je velmi dynamický a náchylný na změny [12]. Hlavní příčinou změn klimatického systému je globální oteplování, které vzniká nárůstem skleníkových plynů v atmosféře. Změna teploty není jediným důsledkem změn klimatu. Podrobnější vztahy jsou vidět na obrázku č.2. Za normálních okolností skleníkové plyny udržují teplotu na Zemi vhodnou k životu, ale jejich zvětšující se množství zvyšuje skleníkový efekt a tím se zvyšuje mimo jiné i teplota na Zemi. Hlavním důvodem

zvětšujícího skleníkového efektu je lidská činnost v podobě spalování fosilních paliv a produkce oxidu uhličitého. Mezi další skleníkové plyny patří také metan, oxid dusný a dále také některé freony [13].

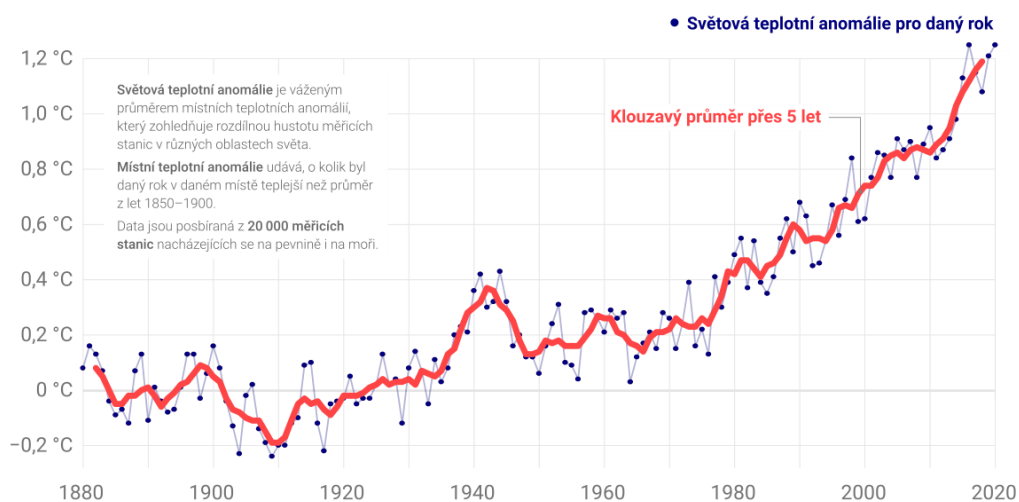


Obrázek 2: Vlivy na změny klimatu [13]

Rychlost růstu teploty není všude na zemi stejná. Existují oblasti, kde k růstu dochází rychleji a jinde pomaleji oproti globálnímu průměru, a to má za následek různou intenzitu projevů změny [12]. Na obrázku číslo 3 můžeme vidět vývoj teplotní anomálie po dobu 140 let. „Teplotní anomálie pro daný rok udává, o kolik byl svět teplejší než průměrná teplota ve vybraném referenčním období“ [13]. V tomto případě bylo jako referenční období 1850-1900. Pět nejvyšších měření bylo provedeno v posledních pěti letech. To nám dává jasný signál, že stoupající trend bude dále pokračovat a projevy mohou být intenzivnější a častější například v podobě extrémních projevů počasí. Změny klimatu s sebou nesou hrozby a rizika, kterým bude podrobněji věnována další podkapitola této práce.

VÝVOJ SVĚTOVÉ TEPLOTNÍ ANOMÁLIE

Svět je nyní o 1,2 °C teplejší než v letech 1850–1900.



VERZE 2021-02-22 LICENCE CC BY 4.0
více info na faktaoklimatu.cz/teplotni-anomalie

zdroj dat: NASA Goddard Institute for Space Studies

Obrázek 3: Vývoj teplotní anomálie [13]

1.3 Identifikace hrozeb

Charakter a závažnost dopadů změny klimatu nezávisí pouze na samotných projevech, ale svoji roli má i expozice, odolnost a zranitelnost systémů, které se navzájem neustále ovlivňují. Projevy se mohou navzájem ovlivňovat a jejich intenzita a doba trvání je těžko předvídatelná [8]. Adaptační strategie ČR zmiňuje 7 základních projevů změn klimatu v ČR:

1. Dlouhodobé sucho
2. Povodně a přívalové povodně
3. Vydatné srážky
4. Zvyšování teplot
5. Extrémně vysoké teploty
6. Extrémní vítr
7. Požáry vegetace

Společně s projevy adaptační strategie určuje i hlavní oblasti dopadů:

1. Lesní hospodářství
2. Zemědělství
3. Vodní režim v krajině a vodní hospodářství
4. Biodiverzita a ekosystémové služby
5. Zdraví a hygiena
6. Urbanizovaná krajina
7. Cestovní ruch

8. Průmysl a energetika
9. Doprava
10. Kulturní dědictví
11. Bezpečnostní riziko

1.3.1 Obecná charakteristika a dopady jednotlivých projevů

Tato práce je zaměřena na vodní plochy v městském prostředí, proto se budou další odstavce této práce primárně zabývat dopady v oblastech vodního hospodářství a urbanizované krajiny.

Dlouhodobé sucho

Dlouhodobé sucho je způsobeno nedostatkem srážek, který vede k poklesu vody v různých částech hydrologického cyklu. Kombinace vysokých teplot a nižší vlhkosti vede k většímu výparu a prohlubování nedostatku vody. Sucho je obvykle děleno do čtyř základních typů: meteorologické, půdní, hydrologické a socioekonomické (někdy uváděno jako zemědělské) [8].

Největším faktorem ovlivňujícím hydrologickou bilanci a zároveň podporující vznik sucha je nerovnoměrnost srážkového režimu. Velikost ročního srážkového úhrnu je v dlouhodobém trendu přibližně stejná, ale mění se rozložení srážek v čase. Stále častěji jsou vydatnější deště, mezi kterými jsou dlouhá období bez srážek. V těchto obdobích zároveň bývá vyšší teplota a zvětšuje se potenciální evapotranspirace. To umocňuje nedostatek vody v částech hydrologického systému. Zvýšená teplota v zimním období snižuje zásoby vody ve sněhové pokrývce, a proto nedochází k dostatečnému zásobení mělkých podzemních zvodní. Důsledkem je snížení průtoků ve vodních tocích. Nedostatek vody v tocích, kromě možného periodického vysychání menších toků, přináší další ekologické a hygienické problémy. Hlavními dopady dlouhodobého sucha na vodní hospodářství jsou změny odtoku vody, úbytek vody ve vodních tocích a nádržích, zhoršení kvality vody a nebezpečí porušení funkce vodohospodářské infrastruktury [8].

V urbanizovaném prostředí sucho představuje hrozbu nedostatku pitné vody, vody pro průmysl a energetiku nebo vody pro sídelní zeleň, která přestává fungovat jako prvek zelené infrastruktury [8].

Povodně

Povodně nastávají ve chvílích, kdy se zvýší hladina vodních toků a kapacita koryta je nedostatečná a dojde k zaplavení okolního území, při kterém mohou vzniknout škody. Povodně mají svoje specifické charakteristiky, kterými jsou hodnota kulminačního průtoku, tvar a objem povodňové vlny a roční období výskytu. Povodně můžeme rozlišovat na zimní a jarní, zimní ledové, letní anebo přívalové [8].

Hlavním problémem povodní ve vodním hospodářství jsou škody na infrastruktuře. Větší podíl zpevněných ploch a nepropustného povrchu v říčních nivách zvyšuje riziko povodní v oblastech městských sídel. Povodně mohou mít i pozitivní vliv

na doplnění podzemních zdrojů, morfologii vodních toků a splaveninový režim toku. V městském prostředí je největší hrozbou povodní ohrožení lidských životů, poškození infrastruktury a majetku. Zranitelnost sídel povodněmi je závislá na jejich umístění a okolním terénu. Při povodňových situacích také hrozí znečištění vod a poškození ekosystémů [8].

Vydatné srážky

Vydatné srážky jsou charakterizovány vysokou intenzitou a úhrnem v krátkém časovém období. V kombinaci s nepropustným podložím mohou vytvářet přívalové povodně. Nejčastěji se tyto jevy odehrávají v letním bouřkovém období. S postupnou změnou klimatu roste výskyt extrémních srážkových událostí [8].

Hlavním problémem vydatných srážek je odtok v urbanizovaném území. Může docházet k překročení kapacity stokových sítí a následnému snížení bezpečnosti a záplavám. Rizikové jsou také erozně ohrožené plochy, kde může docházet k odplavování živin nebo organické hmoty z půdy. Problémem mohou být i sněhové srážky v horských a podhorských oblastech [8].

Zvyšování teplot

Zvyšování teplot je základní charakteristikou změny klimatu. Tyto změny mají za následek zvyšování intenzity dalších jevů, jako je například sucho nebo vlny veder. V různých prognózních scénářích se liší předpokládaná rychlost růstu teplot. Do roku 2059 se očekává růst průměrné roční teploty o 1,1 až 1,8°C. Výraznější oteplení je očekáváno hlavně v zimním a jarním období. V letním období se zvýšení teplot projeví nárustem počtu tropických dní. I když se růst týká celého území ČR, nejteplejší místa zůstanou stejná. Změny se očekávají i v četnosti mrazových dnů kterých ubude, naopak přibude letních dnů. Na základě těchto změn se může měnit vegetační období a druhová skladba rostlin [8]

Dopady zvyšování teplot byly částečně zmíněny u problémů způsobených suchem, srážkami i povodněmi. Dále se bude zintenzivňovat efekt tepelného ostrova. Této problematice je věnována samostatně následující kapitola. Z dosud nezmíněných dopadů stojí za zmínku riziko šíření nepůvodních invazních druhů, přenašečů infekcí a škodlivých organismů pro místní ekosystémy. Nejenom sucho, částečně způsobené zvyšováním teploty, ale i samotné zvyšování teplot má přímý negativní vliv na fungování prvků zelené infrastruktury [8]

Extrémně vysoké teploty

Extrémně vysoké teploty na území ČR znamenají překročení maximální denní teploty vzduchu 30 °C. To může nejčastěji nastat v letním období mezi červnem a srpnem. Doba trvání extrémních teplot se může lišit v různých polohách ČR, trvat může mezi několika dny až týdny. Problémem jsou z nich plynoucí tropické noci, kdy se hlavně urbanizované prostředí nestihne dostatečně ochladit a zvětšuje se intenzita tepelného ostrova. Extrémně vysoké teploty jsou jedním z faktorů, při kterém dochází k eutrofizaci vod. Dále se podílejí na tvorbě sucha a mohou způsobovat problémy se zajištěním

ekologických průtoků ve vodních tocích. Výrazně negativní efekt mohou mít na lidské zdraví a někteří citlivější jedinci mohou být přímo ohroženi na životě [8].

Extrémní vítr

Vítr je jedním z nejvíce proměnlivých ukazatelů počasí. Charakterizován je směrem a rychlostí. Průměrná rychlost se mění společně s charakterem terénu a nadmořskou výškou. Nižší průměrná rychlost je zaznamenávána v nižších polohách v údolích řek a dosahuje hodnot 2-4 m/s. Maximální nárazy nejčastěji v polohách nad 1000 m mohou výjimečně dosahovat hodnot až 45 m/s. Rychlost a nebezpečnost větru je spojena s pohybem tlakových níží [8].

Ve vodním hospodářství vítr významně ovlivňuje velikost výparu. Dále může způsobit zanesení koryt řek nebo vodních nádrží zbytky vegetace. Pády stromů, ulámaní větví může způsobit sníženou kapacitu mostních objektů a způsobit vylití řek z koryt a následné povodně. V městském prostředí může extrémní vítr způsobit velké škody, které mohou dále vést k ohrožení lidí na zdraví a životech [8].

Požáry

Požáry vegetace jsou spojeny s dlouhodobým suchem a vysokými teplotami. Pro hašení těchto požárů je nutné velké množství vody. Zdrojem často bývají vodní plochy v okolí požárů a tím může být ohroženo vodní hospodářství. Na urbanizované prostředí mají negativní vliv hlavně emise vzniklé požárem a kontaminace ovzduší [8].

1.4 Členění adaptačních opatření

Z důvodu velkého množství různých adaptačních opatření napříč literaturou je důležité stanovit základní členění podle společných charakteristik opatření [12].

1.4.1 Dle typu dopadů změny klimatu

Změny klimatu, v tuto chvíli zaznamenané nebo v budoucnu očekávané, mohou mít na společnost v základním přístupu dva efekty. Spíše pozitivní nebo spíše negativní.

Pozitivní dopady mohou znamenat nové příležitosti. Opatření na tuto skupinu se soustředí na možnost efektivně využívat těchto změn z finančního pohledu za účelem zisku. Negativní dopady představují hrozby. Cílem opatření je eliminace finančních, hmotných a dalších škod. Vzhledem k převládajícímu množství hrozeb je většina aktivit spojených s adaptačními opatřeními zaměřena právě na tuto skupinu opatření [12].

1.4.2 Dle typu hrozby

Členění adaptačních opatření podle hrozby je podkategorií základního členění negativních dopadů. Konkrétní opatření jsou vždy navržena na danou hrozbu, příkladem mohou být extrémní srážky a vítr, vlny veder apod. V ČR je dlouhá tradice v adaptaci na povodně, ale klimatická změna přináší nové hrozby, na které jsou adaptační opatření v počátečním rozvoji.

Povodně jsou pravděpodobně v ČR, ale i v celé Evropě, nejvýznamnější hydro-meteorologickou hrozbou. Historicky jsou s povodněmi spjaté ztráty na životech i

největší materiální škody. V dřívějších dobách byla opatření vůči povodním řešena primárně pomocí šedých stavebně-technických opatření (opevňování koryt, budování hrází, napřimování toků). V dnešní době je kladen důraz na ekosystémově založená opatření (revitalizace břehových porostů, obnova mokřadů, využití retenčního potenciálu niv) za účelem snížení kulminačního průtoku. Hlavním cílem by měla být rovnováha v používání technických opatření zejména v městském prostředí a přírodě blízkých opatření ve volné krajině [12].

Vlny veder oproti povodním představují hrozbu, na kterou v dobách minulých žádná adaptační opatření nebyla řešena. Vlny veder představují hrozbu zejména v urbanizovaném městském prostředí, kde jsou umocněna intenzitou tepelných ostrovů. Adaptační opatření mohou být z kategorie šedých stavebně-technických nebo ekosystémově založených. Šedá představují různé úpravy budov, například jejich architektonický design, povrchy s nižší absorpční schopností slunečního záření nebo pasivní chlazení. Ekosystémová opatření s vyšším podílem ozeleněných ploch nebo vodních prvků, často poskytují široký záběr přínosů jako je podpora biologické rozmanitosti, snížení povodňového rizika, zlepšení kvality vody a ovzduší nebo snížení efektu tepelného ostrova města [12].

Každý typ hrozby představuje specifické nároky na adaptaci. Kromě opatření, která jsou zaměřená na eliminaci konkrétní hrozby, jsou často používána šedo-zelená opatření, která často poskytují i vedlejší benefity [12].

1.4.3 Dle typu realizace

Podle typu realizace lze opatření rozdělit na strukturální a nestrukturální. Strukturální lze definovat jako opatření, která jsou fyzicky prováděna. Mohou to být konstrukční, stavebně-technická opatření nebo různé úpravy ploch. Nestrukturální oproti tomu nevyžadují fyzickou realizaci. Jedná se o preventivní opatření. Příkladem mohou být systémy včasného varování, informační kampaně, stimulační nástroje, legislativní nástroje. Nestrukturální opatření jsou efektivní na eliminaci ztrát na životech během katastrof. Místo strukturálních a nestrukturálních někdy bývá uváděno dělení na tvrdá a měkká opatření [12].

Strukturální opatření mají velmi široký záběr, a proto je lze dále dělit na šedá, zelená, modrá a jejich kombinace. Šedá opatření jsou stavebně-technická opatření, pomocí kterých lze realizovat adaptace na úrovních od jednotlivých budov až po celá města. Výhodou těchto opatření je uplatnění na omezeném prostoru, díky čemuž mají využití hlavně v urbanizovaných oblastech sídel. Nevýhodou je jejich jednostrannost. Často jsou tato opatření zaměřena na konkrétní eliminaci hrozby bez přesahu do dalších oblastí zranitelnosti, proto je vhodné využívat šedá opatření v kombinaci se zelenými a modrými [12].

Zelená a modrá opatření, často označována jako zelená a modrá infrastruktura, jsou veškerá opatření, kde hlavním funkčním prvkem je vegetace a/nebo vodní prvek. Tento typ opatření je v současné době nejvíce podporovaný a realizovaný typ opatření v ČR i zahraničí. Příkladem mohou být zelené střechy a zelené stěny, které přispívají ke

snížení intenzity tepelného ostrova, zpomalování plošného odtoku. Zároveň oproti šedým opatřením mají i vedlejší pozitivní účinky. Zvyšují atraktivitu městského prostředí, mohou snižovat náklady na vytápění nebo chlazení budov. Obecně zelená a modrá opatření mají často velmi pozitivní vliv na životní prostředí v sídlech [12].

1.4.4 Dle realizujícího subjektu

Základní dva typy členění dle realizujícího subjektu jsou opatření realizovaná jednotlivci a opatření realizovaná institucemi. Individuální adaptační opatření jsou implementována jednotlivci. Jedná se převážně o měkká opatření, například úspora vody během sucha. Realizace těchto opatření eliminuje škody dopadu změn zejména v soukromém sektoru s částečným přesahem do sektoru komerčního. Opatření jsou realizovaná institucemi, kterými mohou být jak veřejné (město, kraj, stát), tak soukromé instituce. V těchto případech se často jedná o strukturální, tvrdá opatření. S tím souvisí i dělení na opatření realizovaná soukromým sektorem a opatření realizovaná veřejným sektorem [12].

1.4.5 Dle sektorů zranitelnosti

Poslední ze základních členění je podle sektorů zranitelnosti. Toto členění je důležité a často uplatňované při tvorbě adaptačních plánů a strategií [12]. Národní adaptační strategie uvádí jedenáct oblastí zranitelnosti jako hlavní oblasti dopadu klimatických změn [8].

1.5 Přírodě blízká adaptační opatření

Tato kapitola vychází z dokumentu **Přírodě blízká opatření-katalog adaptačních opatření**. Katalog vznikl jako součást projektu Urban Nature Lab, Horizon 2020. V katalogu je vymezeno osm kategorií, které jsou postupně definovány [14].

1. Ozeleňování městských ploch
2. Veřejná zeleň
3. Vertikální zahrady
4. Zelené střechy
5. Opatření pro šetrné hospodaření s vodou v urbanizovaném prostoru
6. Revitalizace vodních toků
7. Biotechnická opatření
8. Jiná přírodě blízká opatření

1.5.1 Revitalizace vodních toků

Agentura ochrany přírody a krajiny České republiky pojmem revitalizace označuje „*přestavění technicky upraveného koryta potoka nebo řeky do přírodě blízkého stavu, případně vybudování nového, přírodě blízkého koryta, kterým bude koryto staré nahrazeno*“ [15].

Revitalizace může být úplná nebo částečná. Úplná znamená plnohodnotné zpřírodnění toku, zatímco částečná představuje pouze dílčí úpravy jednotlivých částí

toku [16]. „Částečná revitalizace je méně přírodě blízká než revitalizace úplná. Ve výsledku je rozvoj fauny a flory omezený“ [14].

Cílem revitalizací je přiblížení se co nejvíce přirozenému stavu koryt, která budou opět plnit funkce pro své okolí. Revitalizované řeky se vyznačují dynamickými vodními proudy a pohybem sedimentů. Přínosem po provedení revitalizačních zásahů může být snížení povodňového rizika, regulace vody, tvorba biotopů, rekreační potenciál jako součást veřejného prostoru. Revitalizace mohou zasahovat prostor řek v malých i větších měřítkách, zároveň mohou měnit pouze některé části řek, jako jsou koryta a břehy, anebo mohou být řešeny komplexně pro celou říční nivu [14].

1.5.1.1 Odtrubnění vodních toků

První revitalizační možností je odkrývání zakrytých nebo zahloubených vodních toků formou odstraňování betonových vrstev nebo zatrubnění. Přínosem je větší vodní plocha a retenční kapacita koryta. Následný přirozený vývoj koryta a nivy může vést ke zlepšenému hospodaření s dešťovou vodou, které může znamenat snížení povodňového rizika. Dalšími benefity jsou environmentální a estetické přínosy a zlepšení kvality biotopu. Hlavním problémem realizace těchto opatření mohou být prostorové podmínky v urbanizovaném území [14].

1.5.1.2 Rozšíření říčního prostoru – upravení říční nivy

Vyhroubení příčného profilu koryta zajišťuje možnost a dodatečný prostor pro zaplavování nivy s cílem řídit průtok a regulovat tak povodně. Podmínkou realizace je dostatek prostoru v okolí koryta řeky. Nejčastější překážkou může být okolní využívání půdy nebo infrastruktura. Přínosem mimo snížení povodňového rizika je zvýšení retenčního prostoru a přirozená filtrace vody, prostor pro vznik nových ekosystémů, estetická hodnota, rekreace a jiné [14].

Druhou možností úpravy říční nivy je vytvoření nového koryta řeky, které zajišťuje dodatečný prostor pro rozlévání toku a pomáhá rozdělit přebytečnou vodu do obou ramen. Hlavním cílem je opět regulace a řízení povodňového rizika. Mezi další benefity tohoto řešení patří vytvoření plochých a dostupných břehů a další ekologické přínosy [14].

1.5.1.3 Rozšíření říčního prostoru – rozšiřování/rozvolňování koryt

K rozvolňování je potřeba rozšíření koryta po stranách. Opatření vede ke změnám průtoku a rychlostem proudění, což má za následek ukládání sedimentů podél břehů. Výsledkem je meandrující trasa, která je v porovnání s původním korytem delší a vizuálně připomíná přirozený tok. Meandrující koryta vytvářejí jeseptní a výseptní břehy. K rozvolnění mohou být použity i podpůrné prvky k břehům koryta. Hlavním přínosem je snížené povodňové riziko. Problémem pro realizaci může být nedostatečný prostor [14].

1.5.1.4 Revitalizace příčného profilu koryta

Cílem tohoto opatření je nastartovat přirozené dynamické procesy v korytu řeky. Pomocí posunu substrátu v říčním korytě a zahlubování břehů dojde k rozšíření koryta, vzniku proláclin a mělkých úseků a tvorbě oblastí s pomalým a rychlým průtokem. Přínosem je zvýšená kapacita pro odvod povodňových průtoků, tím tedy snížení povodňového rizika a tvorba biotopů [14].

1.5.1.5 Usměrňující a diverzifikační prvky

Umístováním prvků do koryta řeky bude dosaženo změn v dynamice toku a rozrůznění proudu. Diverzifikační prvky mohou být umístovány přímo do koryta řeky nebo podél břehů. Tyto prvky ovlivňují morfologii koryta a vedou ke změnám proudu a akumulaci sedimentů. Může se jednat o větší balvany uspořádané do skupin nebo ve formě několika samostatných kamenů [14].

Dalším často používaným diverzifikačním prvkem jsou kmeny stromů. Mohou být použity kmeny s větvemi i bez, umístěny po směru nebo proti směru proudění podle požadovaného efektu. Upevněny mohou být pomocí lan na pevně, nebo v jednom bodě, kdy je jim umožněn částečný pohyb v korytě. Další možností je částečné zakopání do břehů [14].

Umístováním usměrňujících a diverzifikačních prvků je dosaženo mnoha přínosů. Hlavním motivem je snížení povodňové hrozby a zlepšení stavu biotopů pro organismy, ptáky a vodní živočichy. Prvky mohou zároveň fungovat jako nášlapné plochy, a tak sloužit veřejnosti. Celkovým plusem je ztraktivnění a zvýšení rekreačního potenciálu lokality [14].

1.5.1.6 Vegetační opevnění

Rostliny nebo stromy mohou být vysazovány podél říčních břehů za účelem stabilizace a zpevnění břehů, díky kterým je bráněno erozi. Výhodou tohoto opatření je jeho jednoduchost a nenáročnost provádění. Nevýhodou je ovšem časová doba, než vegetace vzroste a začne plnit svou funkci v plné míře. Dalšími přínosy jsou filtrace vody, hospodaření s dešťovou vodou a tvorba biotopů [14].

1.5.2 Biotechnická opatření

Biotechnické konstrukce jsou zaměřeny primárně na ochranu říčních břehů a svahů se středním až vysokým sklonem před vodní a větrnou erozí. Dále budou řešeny tři základní koncepty, které využívají živých či suchých větví stromů pro konstrukci [14].

1.5.2.1 Živé opevnění břehů

Svazky větví a proutků, označované jako haťové válce, jsou šetrným a přirozeným opatřením. Svazky z živého dřeva, které může být doplněno mrtvým až do 50 %, jsou svazovány ocelovými lany. Svazky jsou kladeny mezi připravené kůly z tvrdého dřeva, které slouží pro upevnění. Takto vytvořené opevnění po zakořenění zajišťuje stabilizaci

břehu a snižuje riziko eroze. Pro tyto konstrukce jsou nejčastěji používány větve vrb nebo lísek. Důležité je správné načasování realizace. Nízká hladina vody a žádný déšť [14].

1.5.2.2 Vegetační opevnění z řízků

Oproti svazkům jsou nejčastěji vrbové řízky kladeny kolmo na osu koryta na povrchy břehů. Používají se větve keřového porostu 2 až 5 let staré do výšky 1,5 m. K počáteční stabilitě se používají kůly 3 až 5 m dlouhé o průměru 4 až 8 cm. Hlavním cílem je zabránit erozi holých břehů [14].

1.5.2.3 Vegetační rohože

Rohože z kokosových vláken v kombinaci s rostlinami jsou rychlým ozeleněním a zpevněním břehové zóny. Výhodou tohoto opatření je rychlá instalace i požadovaná funkce ochrany proti erozi a zpevnění břehu. Zároveň je možné rohože kombinovat spolu se svazky větví. Tímto opatřením vzniká nový biotop pro volně žijící živočichy [14].

1.6 Adaptační vize a specifické cíle na příkladu města Praha

Cílem strategie města Prahy je dlouhodobé zvýšení odolnosti a snížení zranitelnosti vůči dopadům změny klimatu. K dosažení tohoto cíle by mělo být primárně využíváno ekosystémově založených adaptačních opatření v kombinaci s technickými a nestrukturálními opatřeními [10].

Na území Prahy jsou identifikovány změny teplot a srážek jako nejvýznamnější změny klimatu. Podle měření v meteorologické stanici Klementinum lze doložit trend zvyšující se průměrné denní teploty. Podle modelových scénářů vývoje emisí CO₂ se bude zvětšovat množství tropických dní, kde se maximální denní teplota dostane přes 30 °C a tropických nocí, kde minimální teplota neklesne pod 20°C. Těmto scénářům pomáhá i skutečná situace z ulic města, kde v některých zastavěných částech je velké množství asfaltových nebo betonových povrchů, které se mohou během tropických letních dní ohřát na teploty přesahující 50 °C. Rozdíl povrchových teplot mezi takto rozpálenými plochami a například vodní hladinou může dosahovat až několik desítek stupňů Celsia. Vlivem akumulace tepla do materiálů během dne a následným uvolňováním během noci je podpořena tvorba městského tepelného ostrova [10].

Změny spojené se srážkami se netýkají celkových ročních úhrnů, ty by podle předpokladů měly zůstat přibližně stejné. Změny se budou projevovat rozložením srážek v čase a prostoru. Očekává se méně srážkových událostí, zato ale více intenzivních. Intenzivní přívalové srážky na malých územích mohou způsobovat bleskové povodně na menších vodních tocích. Efekt bleskových povodní je posílen v urbanizovaném území s velkým podílem zpevnění ploch bez retence, odvodněných systémem kanalizace do drobných vodních toků [10].

Kombinace delších období bez srážkových událostí a vysokých průměrných denních teplot způsobuje zrod sucha. Sucho představuje hrozbu napříč všemi oblastmi. Dopady sucha mohou znamenat:

- Pokles hladin podzemní vody, vysychání pramenů
- Zvýšením celkového výparu vysychání půdy a mokřadů
- Vysychání vodních toků, zhoršení jakosti vody, vadnutí rostlin
- Eutrofizace, zhoršené podmínky pro život vodních živočichů, snížené schopnosti vodních toků z hlediska ředění odpadních vod
- Prohřívání povrchových vod
- Zvýšené nároky na spotřebu vody v zemědělství, zalévání zahrad
- Snížený rekreačních potenciál [10]

Ve strategii města jsou definovány specifické cíle a návrhy opatření pro jejich dosažení. V následující tabulce jsou vybrány dva specifické cíle z oblastí, kterým se tato práce věnuje.

Tabulka 1: Specifické cíle a opatření na území Prahy

NAVRH. OPATŘENÍ	Specifický cíl	
	A. Zlepšovat mikroklimatické podmínky v Praze a snižovat negativní vliv extrémních teplot, vln horka a městského tepelného ostrova na obyvatele	B. Snižovat dopady extrémních hydrologických jevů- přívalových dešťů, povodní a dlouhodobého sucha
1.	Zlepšovat mikroklimatické podmínky města prostřednictvím víceúčelové zelené infrastruktury	Ochrana před povodněmi na Vltavě, Berounce a dalších tocích na území Prahy
2.	Brát ohled na adaptaci na klimatickou změnu v plánování a podkladových studiích	Zlepšování hospodaření se srážkovými vodami
3.	Zakládat a revitalizovat vegetační prvky a plochy ve městě	Realizace opatření na zpomalení povrchového odtoku vody z krajiny a protierozní ochranu
4.	Zajistit jednotný management péče o uliční zeleň a stromořadí	Zavádění a postupná změna zpevněných nepropustných ploch na plochy s propustným nebo polopropustným povrchem
5.	Vytvářet podmínky pro rozvoj příměstského a městského zemědělství jako adaptačního opatření	Pokračování v integrované revitalizaci údolních niv, vodních toků a ploch
6.	Posilovat ekologickou stabilitu a regenerační schopnost krajiny	Prověřené možnosti stávající vodohospodářské infrastruktury a způsobu zabezpečení dodávek pitné vody pro obyvatele
7.	Využít technologické a ekosystémové postupy pro snižování akumulace slunečního záření v zastavěném území	Zlepšení prostupnosti krajiny a její využitelnosti pro rekreaci

Navrhovaná opatření pro specifický cíl A jsou vzájemně provázána a mají pozitivní vliv i na dosažení specifického cíle B [10].

1.7 Ukázky revitalizačních opatření

Provedené revitalizace přibývají jak v České republice, tak ve světě. Množství provedených revitalizací v městském prostředí se dá dohledat na webových stránkách Unie pro řeku Moravu [17]. Dobrým zdrojem ukázek provedených revitalizačních opatření jsou webové stránky Agentury ochrany přírody a krajiny České republiky, konkrétně pracoviště Střední Čechy [18]. Pramenem informací o revitalizacích na území Prahy je web Pražská příroda [19]. Za zmínku stojí i projekt **ADAPTRegion AT-CZ**. Díky tomuto projektu a spojení České republiky a Rakouska vzniklo mnoho adaptačních opatření nejen z oblasti vodních toků [20].

Revitalizace městského náhonu v Chrudimi



Obrázek 4: Část revitalizovaného koryta v Chrudimi [17] (foto: Lukáš Krejčí, 2009)



Obrázek 5: Chrudim-úsek přírodního charakteru [17] (foto: Lukáš Krejčí, 2009)

Revitalizace koryta Botiče před Fidlovačkou – Praha



Obrázek 6: Nově rozvlněná kyneta Botiče [18] (foto: Jiří Karnecki, 2008)

Bad Staffelstein-Německo



Obrázek 7: Přírodě blízké řešení v intravilánu [18]

Rokytkta – revitalizace nad Hořejším rybníkem



Obrázek 8: Vytvoření nového meandrující koryta v původní nivě [19]

Schwertberg-Rakousko

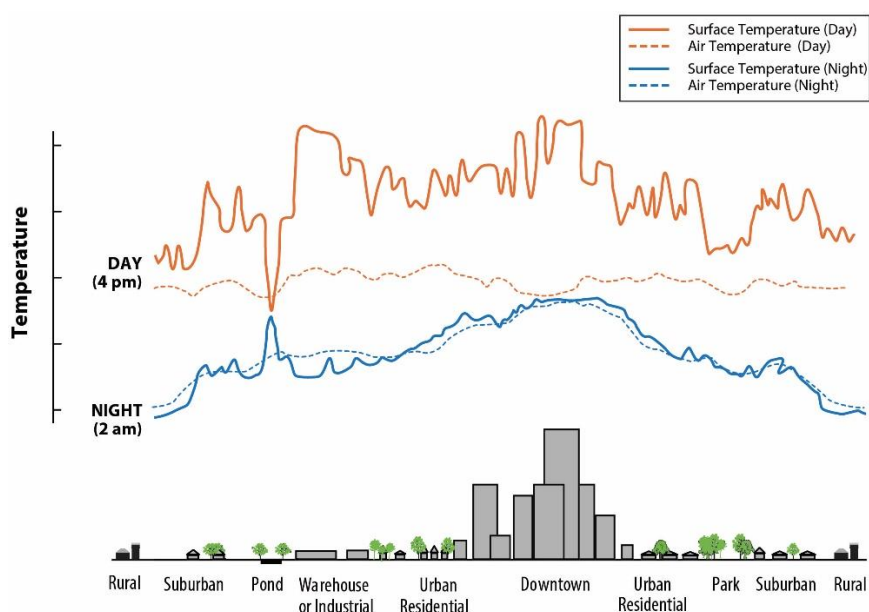


Obrázek 9: Retenční nádrž-ochrana před přívalovou vodou [20]

2 Tepelné ostrovy v urbanizovaném prostředí

Pojem tepelný ostrov měst, v zahraniční literatuře (angl. - *Urban heat island*, UHI) je v dnešní době v různých podobách znám široké veřejnosti. Důvodem je prostý pocit většího tepla ve městech než v jejich okolí. V roce 1950 žilo přibližně 30 % lidí v urbanizovaném prostředí, v roce 2014 54 % a pro rok 2050 je předpoklad 66 % [21]. Z těchto čísel je patrné, že více jak polovina lidí na planetě má osobní zkušenost s nějakými důsledky tepelného ostrova.

UHI je často vysvětlován různými způsoby. Gartland připodobňuje UHI k obrácené oáze [22]. Některé zdroje uvádí, že se jedná o rozdíl teploty vzduchu ve městě a jeho rurálním okolí. UHI má svoje základní charakteristiky. Vyšší průměrné teploty vzduchu, vyšší okamžité teploty ve večerních hodinách po západu Slunce, více umělých zpevněných ploch, které mají tendenci se zahřívat a méně vegetace na plochách nezpevněných. UHI se zvýšenou teplotou projevuje až do výšky 2000 m, kde vzniká teplotní inverze [22]. Právě rozdíl teplot okamžitých nebo průměrných mezi urbánním a rurálním prostředím je definován jako intenzita UHI. Podle US EPA můžeme UHI dělit na povrchové a atmosférické. Povrchové ostrovy bývají nejintenzivnější přes den během slunečných dní, atmosférické dosahují daleko menší intenzity než povrchové [23].



Obrázek 10: Změna teplot v závislosti na prostředí ve 2 hodiny ráno a ve 4 hodiny odpoledne [23]

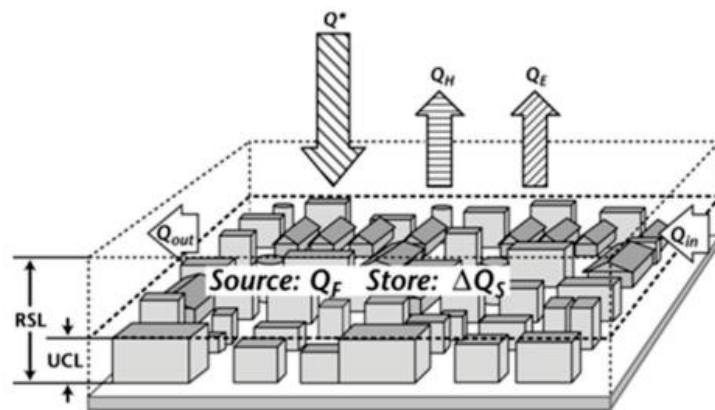
2.1 Příčiny vzniku UHI

Za vznikem UHI není pouze jedna lehce vysvětlitelná příčina. Jedná se o komplexní problém tvořený několika různými faktory. Snížená evaporace, zvýšená tepelná kapacita materiálů, zvýšená čistá radiace, snížená konvekce a zvýšená produkce

antropogenního tepla [22]. K pochopení fyzikálních vztahů je důležitá rovnice energetické bilance povrchu v rámci měst, kterou doporučuje Oke [24]:

$$Q^* + Q_F = Q_H + Q_E + \Delta Q_S + \Delta Q_A \text{ [W.m}^{-2}\text{]}$$

Kde Q^* : čistá bilance záření, Q_F : tepelný tok způsobený antropogenní činností, Q_E : turbulentní latentní tepelný tok, Q_H : tok zjevného tepla, ΔQ_A : čistý advektivní tepelný tok, ΔQ_S : čistá změna tepla v objemu v přízemní vrstvě atmosféry (včetně toku do půdy). Čistá bilance záření je dána součtem hodnot krátkovlnného záření (S) a dlouhovlnného záření (L). Krátkovlnné záření je složeno z přímého slunečního záření, odraženého slunečního záření a rozptýleného záření. Hodnota celkového dlouhovlnného záření je dána rozdílem mezi dlouhovlnným zářením zemského povrchu a dlouhovlnným zpětným zářením od atmosféry. Hodnoty ΔQ_S a ΔQ_A jsou často zanedbatelné, a proto dochází k jejich redukcii.



Obrázek 11: Energetická bilance [25]

Na následujícím obrázku č.12 jsou vidět všechny významné složky, které zásadními způsoby mění fyzikální veličiny představené v předchozích odstavcích. Snížená evaporace v důsledku velkého množství zpevněných ploch v kombinaci se sníženým množstvím vegetace a vodních ploch. Zvýšené množství antropogenního tepla z budov a dopravy. Zvýšený přenos tepla z povrchu do vzduchu. Větší množství odraženého záření z důvodu množství povrchů s nižším albedem. Velké množství materiálů s vysokou tepelnou vodivostí a kapacitou.

Příčinami vzniku UHI, které uvádí US EPA, jsou prostorové uspořádání měst, počasí a geografie. Rozměry a rozestupy budov ovlivňují proudění vzduchu a schopnost absorbovat a uvolňovat teplo. Města s vysokými budovami, které mezi sebou mají úzké uličky, mohou mít problém uvolňovat absorbované teplo a mohou blokovat přirozené proudění vzduchu, který by přinášel ochlazovací efekt. Vliv počasí má primárně vliv na intenzitu UHI. Klidné a jasné povětrnostní podmínky přispívají k větší intenzitě UHI z důvodu maximálního množství energie dopadající na povrchy a minimální schopností

Pokud jsme tvrdili, že v zimě dochází k nižší spotřebě energie, v letním období je tento trend obrácený. Důvodem větší spotřeby energie v letních měsících je hlavně chlazení vnitřních prostor budov pomocí klimatizací nebo větráků. Problémem není jen celkové množství energie, ale i okamžitá tzv. špičková spotřeba energie. Kombinace klimatizací, světel a jiných elektrických spotřebičů může způsobovat problémy s napětím v síti [23].

Zvýšené denní teploty, snížené noční ochlazování, celkové teplotní nepohodlí jsou samy o sobě dostatečné důvody k závažným onemocněním lidského organismu v podobě dýchacích problémů, vyčerpání, dehydratace a dalších. Ohrožené skupiny jsou hlavně děti a senioři, osoby s dalšími zdravotními problémy a specifickou skupinou jsou pracující venku [27].

V důsledku rozpálených povrchů dochází k ohřevu povrchového odtoku vody. Takto ohřátá voda může po vypuštění do řek, rybníků, jezer a dalších vodních útvarů způsobovat tepelné znečištění a negativně ovlivňovat vodní ekosystémy [23].

Pokud jsme zmínili vodní ekosystémy, musíme zmínit i ostatní živočichy a organismy. V důsledku UHI se může snížit dostupnost potravy a vody, některé druhy mohou mít problém regulovat tělesnou teplotu. Zároveň změny teplot mohou změnit přirozený výskyt druhů a narušit fungování přirozených ekosystémů [28].

Kromě vysokých teplot může UHI způsobovat různé změny v mikroklimatu. Změny proudění vzduchu, tvorby mlh a oblačností. Vzestupné teplé proudění může způsobovat bouřkovou aktivitu. Dále se také tvoří nízkotlaké oblasti, což způsobuje souběh studenějších mas z okolí, které vyvolávají tvorbu mraků a deště [28].

2.3 Možnosti měření UHI

Ideálním způsobem, jak měřit UHI, by bylo zkoumat lokální klimatické podmínky s přítomností města a poté bez něj. Této skutečnosti je nemožné dosáhnout, a proto bylo zavedeno pět základních způsobů, jak měřit UHI [22].

- pevné meteorologické stanice
- mobilní meteorologické stanice
- dálkový průzkum
- vertikální snímání
- energetická bilance

2.3.1 Pevné stanice

Nejjednodušší a nejpoužívanější metodou, jak detekovat UHI, je porovnání teplot z meteorologických stanic v urbanizovaném prostředí a v jeho rurálním okolí. Meteorologické stanice v městech i mimo ně po celém světě měří a ukládají informace o teplotách, rychlostech a směru větru, vlhkosti, srážkách a některé měří i solární radiaci.

V dnešní době moderních technologií je často velmi snadný přístup k historickým datům měření. K dispozici mohou být i detailní měření například v hodinových krocích [22].

V České republice provozuje největší síť meteorologických stanic Český hydrometeorologický ústav (dále jen ČHMÚ). Celkově je v síti 802 stanic (stav z roku 2011). Stanice jsou spravovány regionálními pobočkami ČHMÚ, které zároveň vyřizují žádosti o data a informace, které jsou poskytovány většinou za peněžní úhradu [29].

Při metodě porovnávání teplot je podstatné mít komplexní informace o umístění meteorologických stanic. Stanice mimo urbanizované území by měla reprezentovat stav, který byl i v místě nynější zástavby před rozvojem. Stanice v urbanizovaném území by měla být umístěna v typickém konstrukčním prostředí. Ideálně by obě stanice měly být ve stejné nadmořské výšce a terénu. Častým problémem bývá špatné umístění stanic v urbanizovaném prostředí, kde jsou stanice umísťovány na střechy budov vysoko nad povrchem a nereprezentují podmínky, které pociťují lidé v ulicích. Vhodným prostorem, kde měřit teplotu pro identifikaci UHI, je tzv. „baldachýnová vrstva“. Tato vrstva je definována jako prostor pod vrcholy budov a stromů. Z výškové hlediska je nejlepší měřit teplotu v úrovni hrudníku dospělého člověka, 1,5 m nad zemí. Pokud je teplota měřena v této výšce, je důležité mít na paměti, že teploty se mohou výrazně měnit ulici od ulice z důvodu zastínění budovami nebo větrným prouděním. Pokud jsou správně zvoleny stanice uvnitř i mimo urbanizované území, poté lze jednoduše porovnávat naměřené teploty a určit intenzitu a výskyt UHI. Pokud je k dispozici dlouhá řada měření, je možné pozorovat i změnu intenzity v čase [22].

2.3.2 Mobilní stanice

Častokrát je nedostatek vhodně umístěných pevných stanic v požadovaných lokalitách a jejich vytvoření a umístění je dlouhodobě nemožné nebo finančně velmi nákladné. Z této příčiny vznikla metoda mobilních stanic, která spočívá v procestování lokality po připravené trase, na které jsou vytyčena reprezentativní místa, na kterých je zastaveno a provedeno měření pomocí jediné sady meteorologických přístrojů. Možnosti cestování jsou různé, od chůze, přes jízdu na kole po využití hromadné dopravy nebo auta. Tato metoda umožňuje měření v kteroukoliv denní dobu, cíleně se měření provádí v noci, kdy intenzita UHI dosahuje největších hodnot. Nevýhodou této metody je nemožnost provést měření na všech reprezentativních místech v jeden čas. Procestování předem připravené trasy trvá nějakou dobu, a i když se může provést poměrně rychle, povětrnostní podmínky se mohou změnit ještě rychleji. Teploty je nutné porovnávat s měřením v pevné stanici. Pozor se také musí dát při samotném měření, aby teplota nebyla ovlivněna nějakým lokálním faktorem, jako je třeba doprava a musí se dát přístroji dostatek času, aby se dostal do rovnováhy s okolím. Pozor je důležité dávat i při cestování, aby přístroje nebyly vystaveny nějakému zdroji tepla [22].

2.3.3 Dálkový průzkum

Pevné a mobilní stanice měří teplotu vzduchu v určitých místech ve městě nebo mimo něj. Dálkový průzkum může být použit k určení teploty povrchů chodníků, vegetace nebo vodních ploch pomocí měření z nich vyzářené energie. Speciální přístroje,

kteře mohou být umístěny na letadlech nebo satelitech, měří viditelná i další spektra elektromagnetického záření. Vzhledem k tomu, že se satelity neustále pohybují kolem Země, nepřináší průběžné informace z konkrétního místa, ale pouze informace v čase přeletu. Podle frekvence přeletů nad konkrétními místy je možné porovnávat situace mezi jednotlivými dny, v některých případech i mezi dnem a nocí. Pro identifikaci UHI je důležité pracovat s daty, která byla pořízena za jasného podnebí bez oblačnosti. Pro podrobnější informace v průběhu dne je možné využít specializovaných letů nebo přelety dronů. U těchto variant může být problém získat potřebné povolení pro lety v nízkých výškách nad urbanizovaným územím [22].

Teplotě povrchu odpovídá tzv. jasová teplota. *„Každé těleso, jehož teplota je vyšší než absolutní 0 (-273,15 °C) emituje záření jehož intenzita a spektrální složení jsou funkcí jeho kinetické teploty (tato teplota je interním projevem energie molekul tvořících těleso) a materiálu, z něhož se těleso skládá“* [31]. Teplota povrchu je ukazatelem, který vypovídá o změně sluneční energie na zemském povrchu a lze z ní odvodit, která složka tepla bude převažovat. Zjevné teplo, které ohřívá okolí, bude mít na snímcích vysokou teplotu, zatímco teplo latentní, které se spotřebovává na výpar vody a prostředí ochlazuje bude mít teplotu nízkou [31]. Měření povrchové teploty probíhá bezkontaktně, pro zachycení prostorové informace jsou využívány systémy infračerveného zobrazování v termální části spektra dvojího typu: A) Maticové zobrazovací systémy (termovizní kamery) B) Skenovací systémy (na leteckých a družicových nosičích). *„Informace o teplotě povrchu je založena na snímání elektromagnetického záření objektu ve vlnových délkách 3–5 μm, nejčastěji však 7,5–14 μm.“* V hodnotách z prvního intervalu je zahrnuto i odražené sluneční záření, proto se v tomto intervalu měří zejména v noci, kdy je tato složka minimalizována. Druhý interval je vhodný pro získávání denních teplotních dat, protože maximum emitované energie zemským povrchem je situováno do této části elektromagnetického spektra. Snímky jsou pořizovány širokospektrální termovizní kamerou představující matici hodnot, ve které každý bod (pixel) zaznamenává pouze jednu hodnotu intenzity toku tepelné radiace v daném místě. Důležitou charakteristikou dat je jejich prostorové rozlišení, což znamená, jak velkou oblast reprezentuje jeden pixel nesoucí informaci o průměrné hodnotě teploty na daném snímku [31].

Termální snímky jsou pořizovány většinou z meteorologických družic, ale jejich prostorové rozlišení v řádu stovek metrů až kilometrů není vhodné pro detailní monitoring měst. Nejpoužívanější jsou data z generací družic Landsat, která umožňují i zpětné hodnocení. Podle generace družice lze získat informace o teplotě s prostorovým rozlišením 120, 60, 100 metrů. Data jsou zdarma dostupná na webových stránkách United States Geological Survey (USGS). Družice má pokrytí téměř po celém světě a na stejné místo se vrací vždy za 16 dní. Další data, která jsou k dispozici zdarma, pocházejí z družice Sentinel-3. Rozlišení těchto dat je ovšem 500 nebo 1000 m, což je nevhodné pro detailnější popis [31].

2.3.4 Vertikální snímání

Teploty pro tzv. „baldachýnovou vrstvu“ jsou měřeny pevnými a mobilními stanicemi. UHI ovlivňuje teploty v celé troposféře, kde největší efekt má na mezní vrstvu. V nočních hodinách mají povrchy tendenci se ochlazovat a být chladnější než atmosféra. Vědci pomocí různých měření teploty v různých výškách přišli na to, že průběh teplot se liší mezi urbanizovaným a rurálním prostředím. Během dne je mezní vrstva nad urbanizovaným prostředím tlustší než mimo něj. V nočních hodinách povrchy v rurálním prostředí jsou chladnější než vzduch nad nimi a vytváří plynulý přechod teplot. V urbanizovaném prostředí z důvodu pomalého ochlazování povrchů vzniká teplotní inverze nad baldachýnovou vrstvou [22].

2.3.5 Energetická bilance povrchu

K energetické bilanci povrchu lze použít rovnici uvedenou v kapitole 2.1 Příčiny vzniku UHI, nebo použít zjednodušenou formu, kterou uvádí Gartland [22]:

Konvekce + vypařování a evapotranspirace + akumulace tepla v povrchu = antropogenní teplo + čistá radiace.

Teplo, které dopadá na zemský povrch může pocházet ze dvou zdrojů, od slunečního záření zastoupené v rovnici složkou čisté radiace, nebo může být zdrojem lidská činnost zastoupená složkou antropogenního tepla. Teplo může být odvedeno konvekčním prouděním, přeměněno výparem vody z povrchu nebo evapotranspirací z rostlin [22].

2.4 Fyziologicky ekvivalentní teplota

Při různých možnostech, jak UHI měřit, je nutné zmínit i pojem fyziologicky ekvivalentní teplota (angl. - Physiological equivalent temperature, PET). Tento teplotní index byl odvozen z modelu tepelné bilance člověka v kombinaci s povětrnostními a termofyziologickými parametry jako jsou pohlaví člověka, vliv oblečení, výška a další [30]. Používá se k měření tepelného komfortu člověka v dané situaci porovnáním jeho fyziologických reakcí s těmi, které by měl v referenčním prostředí, ve kterém se cítí příjemně.[3] „*Od 26 °C začíná mírný tepelný stres, nad 34 °C silný a nad 43 °C extrémní stres z tepla*“ [27].

2.5 Ochlazování UHI

K redukci intenzity UHI EPA uvádí pět základních strategií. První je zvýšit pokryv povrchů pomocí vegetace a stromů. Vegetace a stromy poskytují stín, díky kterému se povrch tolik neohřeje. Druhým způsobem, jak vegetace ochlazuje prostředí, je evapotranspirace. Vegetace zároveň přináší vedlejší efekty, například zpomalení povrchového odtoku. Druhou strategií je tvorba zelených střech. Pěstování vegetace snižuje teplotu povrchu střechy a okolního vzduchu stejným principem pomocí stínů a evapotranspirace, jako vegetace na zemi. Třetí možností je použití odrazivých materiálů nebo nátěrů na střechy, které odráží sluneční záření. Čtvrtou možností je používání

jiných materiálů na chodníky, které zůstávají chladnější než klasické chodníky tím, že odrážejí více slunečního záření. Poslední možností je takzvaný „inteligentní růst“. Jde o celkový přístup k rozvoji, který podporuje kombinace typů a využití budov, rozmanité možnosti bydlení a dopravy, rozvoj v rámci stávajících čtvrtí a silného zapojení komunit.

2.5.1 Ochlazování pomocí vegetace

Nedostatek vegetačního krytu je ukazatelem vysoce rozvinuté městské oblasti. Je také přispěvatelem k tvorbě UHI prostřednictvím snížené evapotranspirace ve městech. Proto je zvyšování množství městské vegetace hlavním způsobem, jak ochlazovat UHI [33]. Zeleň ve městech je vnímána jako základní prvek a její vlastnosti jsou považovány automaticky za pozitivní. Mnozí urbanisté nekladou důraz na jiná negativa městské zeleně kromě alergií [34]. Stromy a vegetace ochlazují dvěma základními způsoby. První je pomocí stínění. Stíny zabraňují dopadu slunečního záření na povrchy, budovy i samotné lidi. To způsobuje menší ohřátí povrchů a jejich následné nižší vrácení tepla zpátky do vzduchu nad nimi. Druhým způsobem je proces evapotranspirace, který udržuje rostliny chladnější během fotosyntézy [22].

Množství energie spotřebované na fotosyntézu a ohřev porostu je v celkové bilanci zanedbatelné. V prostředí s nedostatkem nebo absencí zeleně je dopadající záření přeměněno na zjevné teplo, které zvyšuje teplotu prostředí. Pokud záření dopadá do prostředí s dobře vodou zásobenou vegetací, je toto záření pomocí evapotranspirace transformováno do latentní složky tepla. Ve vodou zásobené vegetaci se sluneční záření váže do vodní páry. Během dne chladí své okolí, v noci se skupenské teplo vodní páry uvolňuje a tím se vyrovnávají místní teplotní rozdíly a rozdíly tlaků, což způsobuje zmírnění proudění vzduchu. Vázání sluneční energie do vodní páry v místech s přebytkem energie a následné uvolňování v místech chladných při kondenzaci vody je podstatou přirozené klimatizace pomocí vody a rostlin [31].

Vegetace a zejména vzrostlé stromy mohou snižovat rychlosti proudění vzduchu. Tato vlastnost může být žádoucí v zimě, kde blokuje chladné proudění. Opačně je tomu ale v teplých letních dnech, kdy stromy mohou zabraňovat proudění, které ochlazuje prostředí. Nižší rychlosti proudění způsobují menší odvádění tepla pomocí konvekce a zároveň nižší přívod chladnějšího vzduchu, který mohl vzniknout nad velkým prostranstvím s vegetací nebo nad vodní plochou [22].

Mnoho studií se zabývalo vlivem stromů a vegetace na spotřebu energie v budovách. Jedním z výsledků bylo snížení spotřeby energie o 7-40 %, při variantě pěstování stromů v kontejnerech v okolí budovy, které zastíňovaly okna. K největšímu snížení spotřeby energie došlo v případě, kdy stromy byly situovány na západní a jihozápadní stranu budovy. Závěrem jiné studie, při které bylo identifikováno snížení spotřeby energie, je fakt, že efekt snížení rychlosti proudění převažoval nad efektem přidaného stínu v zimním období [22].

Stromy a vegetace mají v městském prostředí mnoho dalších benefitů. Schopnost pohlcovat hlučnost, zachytávat mikroskopické částice prachu nebo plyných sloučenin, zpomalovat povrchový odtok a další [34]. Po zmínění pozitivních funkcí zeleně

je důležité zmínit také negativní. Samotná výsadba a následná údržba stojí peníze. Úměrně s větším požadavkem na množství zeleně v městském prostředí budou růst náklady pro městské rozpočty. Náklady spojené s údržbou se budou velmi lišit u různých druhů stromů [22]. Stromy mohou mít zásadní vliv na infrastrukturu a bezpečnost ve městech. Při změnách počasí, které vedou k extrémním jevům jako jsou bouře, nárazový vítr, přívalový déšť a další nepředpověditelné jevy může docházet k pádům stromů, lámání a hromadění větví, které budou způsobovat překážky na cestách [34].

2.5.2 Ochlazování od vodních ploch

Voda potřebuje energii ke změně z kapalné fáze do plynné. Tento fyzikální jev odpařování může být využíván k odvodu tepla z atmosféry. Chlazení pomocí odpařování může být v pasivních nebo aktivních systémech ve veřejném prostoru [33].

Vodní plochy, přestože mají nízkou tepelnou odezvu, jsou známy jako nejlepší absorbér záření a poskytují chlazení odpařováním. Zvýšená dostupnost vodních ploch zvyšuje odpařování a tím posiluje ochlazování. Vodní plochy jsou z hlediska přeměny zjevného a latentního tepla významné v městském prostředí. Vysoké odpařování přináší oázový efekt vodních prvků a hraje významnou roli při snižování okolních teplot povrchu a vzduchu [36].

Teplotní stres lidí lze snížit přivedením do kontaktu s vodou. Voda ochlazuje pouze tehdy, když se odpařuje z pokožky nebo ve formě chladného vlhkého vánku. Povrchová voda stojatá nebo tekoucí má minimální chladicí účinek. Povrchová voda ve formě rybníků nebo kanálů a řek snižuje teplotu maximálně o 1 °C. Chladicí účinek vody je mnohem větší, pokud je voda rozprášena, protože kapičky vody poskytují mnohem větší plochu pro odpařování. Fontány mohou snižovat teplotu vzduchu v průměru o 0,7 až 3 °C. Tento efekt je však extrémně lokální a fontány jako takové nepřispívají k ochlazování na úrovni měst. Fontány nebo kašny ochlazují pouze na malé ploše na závětrné straně [37].

Velké vodní plochy v městských oblastech nebo v jejich blízkosti mohou mít znatelný vliv na teploty vzduchu – až 4 °C. V horkém letním dni mohou chladné vody jezera IJmeer na východě Amsterdamu způsobit, že teploty budou o několik stupňů nižší až několik stovek metrů ve vnitrozemí [37].

Vnímané teploty v blízkosti městské povrchové vody jsou určovány především urbanistickým řešením kolem ní. Když jsou vodní plochy z velké části zastíněny stromy, teploty u vody jsou vnímány jako nižší než v okolních oblastech. Prostedí kolem povrchových vody je důležitým faktorem pro snižování městských teplot [37].

Analytická část

3 Posouzení významu ochlazovacích účinků

3.1 Výběr zahraničních publikací a jejich závěry

CHANGES OF THE MICRO-CLIMATE AND BUILDING COOLING LOAD DUE TO THE GREEN EFFECT OF A RESTORED STREAM IN SEOUL, KOREA

Studie je zaměřená na změny mikroklimatu po obnovení vodního toku Cheonggye v Soulu. Koryto vodního toku bylo zakryto betonem při budování městské infrastruktury. Mnoho budov a velké množství dopravy způsobovalo větší ohřívání této oblasti než okolních oblastí. Z tohoto důvodu bylo v roce 2004 5,84 km vodního toku obnoveno. V této studii je využito modelu ENVI-met, který simuluje interakce mezi povrchem, rostlinami a vzduchem. Obnovení vodního koryta spolu s doprovodným zeleným pásem vegetace přineslo snížení intenzity tepelného ostrova a snížení spotřeby energie na chlazení budov v blízkosti obnoveného toku. Přes poměrně nízkou šířku koryta, která v nejširším místě dosahuje 84 m, studie prokázala ve studované lokalitě snížení průměrné denní teploty o 0,31 °C a zvýšení průměrné denní vlhkosti o 0,89 %. Dílčím výsledkem je také snížení spotřebované energie na chlazení budov v pozorované oblasti během měsíce srpna o 89 Mwh. To je snížení o 2,14 %. Ve studii je uvedeno toto snížení jako velmi nevýznamné, ale očekává se obrovské snížení spotřeby energie vzhledem k celému okolí obnoveného vodního toku. Tento závěr naznačuje možné snížení nákladů na elektřinu v letním období [35].

ANALYSIS OF COOLING EFFECT WATER BODIES ON LAND SURFACE TEMPERATURE IN NEARBY REGION: A CASE STUDY OF AHMEDABAD AND CHANDIGARH CITIES IN INDIA

Nesystematický rozvoj v Indii způsobuje hrozbu pro prostředí. Snížování zelené infrastruktury a zvyšování emisí z továren a dopravy způsobuje v mnoha Indických městech problémy s tvorbou tepelných ostrovů. Z tohoto důvodu vznikla studie zabývající se ochlazovacím účinkem vodních ploch. Pozorovány byly 2 lokality. Jezero Sukhna u města Chandigarh a řeka Sabarmati ve městě Ahmedabad. Pozorování bylo prováděno pomocí dálkového průzkumu Země s využitím snímků z družice Landsat. Bylo použito dvanáct různých datových souborů pořízených v letech 2009-2011 v letním i zimním období. Poblíž jezera bylo zjištěno snížení teploty v průměru o 7,51 °C v letním a 3,12 °C v zimním období. Na pravém břehu řeky Sabarmati bylo zaznamenáno snížení v průměru o 1,57 °C v létě a o 1,71 °C v zimě. Na levém břehu 0,69 °C v létě a o 0,65 °C v zimě. Dosah ochlazovacího účinku je odhadován na 200-300 m. Z těchto závěrů je patrné, že ochlazovací účinek je pozorován vždy na určité vzdálenosti od vodních útvarů a pravděpodobně bude vidět větší v létě než v zimě [36].

COLING EFFECT OF RIVERS ON METROPOLITAN TAIPEI USING REMOTE SENSING

Studie prováděná na Taiwanu ve městě Taipei zkoumá faktory ovlivňující povrchovou teplotu v blízkosti vodních útvarů. K výzkumu byly použity snímky z družice Landsat-7 pro určení povrchových teplot a snímky z družice Formosat-2 ke kategorizaci využití území. Studie zjistila, že dosah ochlazovacího účinku řeky může být až 300 m mimo zastavěnou oblast. Efekt tepelného ostrova způsobuje větší rozdíly pro povrchové teploty v zastavěné oblasti. Výškové budovy ve městech izolují horizontální rozptyl tepla a způsobují šíření nahoru, což má za následek menší dosah ochlazovacího účinku ve městech ve srovnání s přírodní oblastí. Pokud je v pobřežní nárazníkové zóně mezi břehem řeky a budovami plocha mokřadu, rozsah účinku je větší, než pokud je pobřežní nárazníková zóna pouze záplavovou oblastí. Obecně také platí, že čím větší je nárazníková zóna, tím větší je dosah účinku [38].

ARE URBAN WATER BODIES REALLY COOLING?

Studie zkoumá tepelné účinky typických nizozemských vodních útvarů pomocí softwaru ENVI-met. Cílem studie je potvrdit nebo vyvrátit předpoklad ochlazovacího účinku malých vodních útvarů. Řešeny jsou čtyři typy útvarů: rybníky, kanály, příkopy, „singel“ (slovo nemá vhodný překlad). Simulace naznačují, že místní tepelné účinky malých vodních útvarů lze považovat za zanedbatelné pro návrhovou praxi. Odpolední teploty vzduchu v okolních prostorech byly sníženy typicky o 0,2 °C a maximální chladící účinek byl 0,6 °C. Snížení PET bylo 0,6 °C a maximálně o 1,9 °C. Noční teplotní efekty jsou ještě menší. V nočních hodinách docházelo u některých útvarů k ohřívání okolí namísto ochlazování. Dochází se k závěru, že malé vodní útvary jsou příliš malé na to, aby měly relevantní chladící účinky prostřednictvím vody. Totéž platí pro možné účinky oteplování, což znamená, že možné noční oteplování malými vodními útvary může být také zanedbáno. Příčinnou pro tyto závěry je konstatování faktu, že ochlazování je cítit pouze do výšky 0,5 m při účinku bočního větru. Tato výška není relevantní pro lidský vjem. I když nedochází k významnému ochlazování pomocí vody, implementace malých vodních útvarů může vytvořit chladnější městské prostředí. Otevřenost prostředí umožňuje lepší přirozené proudění vzduchu a prostor pro stromy poskytující stín vede k příznivým změnám v denním PET. Z tohoto důvodu lze návrh malých vodních ploch považovat za vhodný pro zlepšení mikroklimatických podmínek [39].

ANALYSES WATER BODIES EFFECT IN MITIGATION OF URBAN HEAT EFFECT: CASE STUDY SMALL SIZE CITIES KUCHING, SARAWAK

Studie pocházející z Malajsie, konkrétně z města Kuching řeší vývoj tepelného ostrova města a dosah ochlazovacího efektu řeky Sarawak. Data byla získána z družic Landsat-5 a Landsat-8. Bylo zkoumáno 200 hodnot povrchových teplot, 100 hodnot na sever a 100 hodnot na jih od koryta řeky po 100 metrech do vzdálenosti 1000 metrů od břehu. Studie nepotvrzuje přímou korelaci mezi vzdáleností od vodního útvaru a povrchovou teplotou. Způsob využití půdy a typ krajinného pokryvu má aktivní vliv na strukturu povrchových teplot. Nicméně do vzdálenosti 200 metrů byl prokázán silný

korelační vztah mezi vzdáleností a teplotou. Ochlazovací účinek byl zaznamenán do vzdálenosti 200 metrů. Vodní plocha může snížit teplotu o 1,00 až 1,03 °C. Studie doporučuje vodní plochy stejně jako zelené vegetační prostory ke snižování teplot v městských prostředích [40].

INTERACTION OF URBAN RIVERS AND GREEN SPACE MORPHOLOGY TO MITIGATE THE URBAN HEAT ISLAND EFFECT: CASE-BASED COMPARATIVE ANALYSIS

Prostorová morfologie nábřežních zelených ploch pomáhá vytvářet chladící efekty v metropolitních oblastech. V této studii je řešen prostor pobřežního nárazníku podél 18 říčních kanálů ve městě Šanghaj. Údaje o prostorovém rozložení teploty zemského povrchu ve studované oblasti byly získány pomocí snímků dálkového průzkumu Země. Závěry studie uvádí výraznější příspěvek ochlazovacího účinku pro řeky širší než 30 m. Velké zelené plochy s největší hodnotou konektivity, vysokým pokrytím zelení, které jsou zároveň umístěné na závětrné straně, vykazovaly nejnižší hodnoty povrchové teploty [41].

URBAN HEAT ISLAND EFFECTS OF THE PEARL RIVER DELTA CITY CLUSTERS-THEIR INTERACTIONS AND SEASONAL VARIATION

Dříve prováděné studie ukázaly, že urbanizace v oblasti delty Perlové řeky v jižní Číně může mít významný vliv na cirkulaci suchozemského a mořského vánku v regionu. V této studii jsou zkoumány pomocí idealizovaných numerických experimentů tři aspekty UHI. Interakce UHI spojená s různými shluky měst v regionu delty, efekt UHI v závislosti na větru a sezónní variace UHI efektu. Výsledky naznačují zanedbatelnou interakci UHI v důsledku těsné rozmístěných shluků měst v oblasti. Výsledky dále ukazují, že rychlost a směr větru jsou skutečně důležité. Zejména v zimě je pravděpodobnější, že západní mořský vánek směrem k Hongkongu prochází přes ústí Perlové řeky, což znamená, že vítr je zásadním faktorem intenzity UHI [42].

EXPERIMENTAL STUDY ON THE INFLUENCE OF URBAN WATER BODY ON THERMAL ENVIRONMENT AT OUTDOOR SCALE MODEL

Ve skutečných městských podmínkách heterogenita ztěžuje posouzení přínosů chlazení a izolování účinků jednotlivých parametrů jako je tvar terénu, plocha povrchu, stav větru nebo slunečního záření v rámci složitého fyzikálního procesu, který je součástí městské meteorologie. Jako alternativní metoda bylo v létě provedeno venkovní měření na fyzicky zmenšeném modelu. Model ve venkovním měřítku se skládá z řady 1,5m betonových krychlí a je schopen vytvořit vzor skutečným podmínkám. Rybník, atypický pro běžně vyskytující se vodní útvary v městských oblastech byl instalován do zmenšeného modelu, aby bylo možné lépe porozumět potenciálnímu přínosu vodních útvarů v městském prostředí. Ochlazovací efekt přesahuje oblast vodních útvarů, zejména ovlivňuje oblast po větru. Maximální teplotní rozdíl je zjištěn až o 2,6 °C během nejteplejšího období dne. V období nejchladnější části dne je rozdíl teplot 0,7°C. Dalším klíčovým zjištěním je obecně, že při správné rychlosti větru a dostatečném slunečním záření je vodní útvar schopen účinně snižovat okolní teplotu vzduchu. Využití vodních ploch v městském prostředí proto může být jedním z praktických způsobů zlepšení tepelného prostředí měst [43].

RESEARCH ON WATER THERMAL EFFECT ON SURROUNDING ENVIRONMENT IN SUMMER

Tento článek si klade za cíl zkoumat termální vlivy vody na teplotu vzduchu a rychlost větru v létě. Je zde použita metoda RANS CFD simulace, která byla ověřena terénním měřením a zároveň byly ověřeny vstupní hodnoty. Závěry článků uvádí zvýšení rychlosti větru o 65,2 % v oblasti s vodou ve srovnání s okolím. To je způsobeno hlavně rozdílem teplot mezi rybníkem a zpevněnou plochou okolí. Teplota vody je nižší než okolí asi o 0,5 %, což představuje 2 °C. Na základě výsledků výzkumu v tomto článku, se doporučuje umístit umělé jezero nebo rybník do centrální polohy skupiny budov v obytných oblastech. Takto umístěná vodní plocha by mohla účinně napomáhat vytvářet pohodlné mikroklimatické podmínky [44].

RESEARCH ON THE COOLING ISLAND EFFECT OF WATER BODY: A CASE STUDY OF SHANGHAI, CHINA

Vodní chladicí ostrov je důležitý pro zmírnění účinků městského tepelného ostrova. V této studii se řeší tři ukazatele ke zkoumání ochlazovacího účinku vodních útvarů. Dosah ochlazovacího účinku, pokles teploty a teplotní gradient. Data jsou získána z Landsat-8. Výzkum se zabývá osmnácti jezery a třemi řekami v rámci vnějšího městského okruhu Šanghaje v Číně. Výsledky ukazují, že vodní útvary mají střední dosah ochlazovacího účinku 0,74 km, maximální rozdíl teplot 3,32 °C a gradient 5,15 °C/km. Ochlazovací účinky jezer jsou podstatně silnější než u řek. Výsledky odhalují vztah mezi ochlazovacím účinkem a čtyřmi funkcemi: plochou vodního útvaru, index tvaru krajiny, podíl zeleně, podíl nepropustných povrchů. Kromě plochy, všechny ostatní funkce mají významný vliv na ochlazovací účinky. Podíl zeleně pozitivně koreluje s dosahem a maximálním rozdílem teplot. Index tvaru krajiny a podíl nepropustných povrchů koreluje negativně. K většímu ochlazení pomocí vodních ploch by se měl zvýšit podíl vegetace, podíl nepropustných povrchů by měl být snížen. Tato studie by mohla sloužit jako dobrá reference pro plánování městské krajiny [45].

3.2 Diskuse významnosti vodních ploch

Závěry vybraných zahraničních publikací zabývajících se řešeným tématem potvrzují předpokládaný ochlazovací účinek vodních ploch na městské tepelné ostrovy. Pouze jedna publikace zabývajících se malými vodními plochami považuje ochlazovací účinky za nevýznamné. Závěry publikací se liší hlavně ve velikosti a dosahu ochlazovacího účinku. Tyto atributy jsou ovlivněny řadou faktorů.

Vítr, jakožto jeden z hlavních faktorů, má silný vliv na intenzitu i dosah ochlazovacího účinku. Bylo prokázáno, že největší snížení povrchové teploty vykazovaly oblasti po směru větru. Rychlost a směr větru ovlivňuje přesun ochlazených vzduchových hmot, s větší rychlostí větru se může zvyšovat dosah ochlazovacího účinku. Pokud má vítr prokazatelný vliv na ochlazovací účinek, svoji roli budou mít i faktory, které ovlivňují proudění vzduchu. Do této kategorie patří výška budov, hustota zástavby, celková otevřenost prostranství, množství vegetace. Obecně se dá říci, že vše, co nějakým

způsobem ovlivňuje rychlost a směr větru, může mít vliv na ochlazovací účinek vodních ploch.

Některé studie naznačují vliv velikosti vodního útvaru na ochlazovací účinek. V Čínském městě Šanghaj připisují větší příspěvek ochlazovacího účinku pro řeky širší než 30 m. Studie zabývající se typickými vodními útvary v Nizozemsku uvádí nevýznamný ochlazovací účinek malých vodních ploch. Z těchto dvou závěrů může vznikat předpoklad pro větší ochlazovací účinek u velkých vodních útvarů. Nelze ale stanovit závislost mezi velikostí vodní plochy a ochlazovacím účinkem.

Ve vybraných publikacích je pouze naznačena problematika zabývající se změnou ochlazovacích účinků během dne a noci. Konkrétně některé malé vodní prvky v Nizozemsku v nočních hodinách zanedbatelně ohřívají okolí. Pokud by se tento fakt prokázal při dalších výzkumech, mohl by negativně ovlivnit přínos vodních ploch v městského prostředí.

Velikost ochlazovacího účinku se mění v závislosti na ročním období. Během letních měsíců je účinek větší z důvodu většího rozdílu teplot vody na povrchu a vzduchu.

V důsledku ochlazovacího účinku bylo také prokázáno snížení spotřeby elektrické energie na ochlazování budov v okolí.

Velikost a dosah ochlazovacího účinku vodních ploch mají závislost na mnoha faktorech. Potvrzeno bylo snížení povrchové teploty i teploty okolního vzduchu v řádu jednotek stupňů Celsia. Dosahy ochlazování byly prokázány do vzdálenosti v řádech stovek metrů od okrajů vodních ploch. V porovnání s jinými adaptačními opatřeními vodní plochy ochlazují největší prostor v závislosti na jejich samotné velikosti. Oproti tomu adaptační opatření v podobě stromů nebo více odrazivých povrchů mohou snižovat povrchovou teplotu až několikanásobně. Přítomnost vodních ploch s sebou do městského prostředí mimo ochlazovacího účinku přináší další výhody. Otevřenost prostranství, zlepšuje estetickou i ekologickou hodnotu, zdroj vody mimo jiné i pro stromy a další vegetaci, která svou přítomností také pomáhá k ochlazování městských tepelných ostrovů. Existují jasné důkazy o přínosech vodních ploch v městském prostředí, proto by se na základě těchto skutečností mělo pracovat s vodními plochami jako s jednou z variant adaptačních opatření, která povede k celkovému snížení intenzity tepelných ostrovů měst. Ochlazovací účinek vodních ploch může být posílen dalšími typy adaptačních opatření, proto by při řešení problematiky tepelných ostrovů měla být navrhována kombinace různých adaptačních opatření.

4 Výběr vhodné lokality k podrobnějšímu studiu ochlazovacího účinku

Při výběru lokality pro zkoumání ochlazovacího účinku pomocí dálkového průzkumu Země rozhodovaly dva základní faktory. Prokázaná přítomnost městského tepelného ostrova a přítomnost různých vodních ploch. S přihlédnutím k dalším faktorům, jako je osobní zkušenost s pobytem v tomto městě, byla vybrána Praha. Konkrétní pozorování ochlazovacích účinků byla řešena ve formě různých situačních scénářů.

4.1 Lokalita

Praha, hlavní město České republiky, má přibližně 1 262 000 obyvatel a rozlohu 496 km². Střed města se nachází na 50° 05' 19" severní šířky a 14° 25' 17" východní délky. Průměrná nadmořská výška je 235 m n. m. [46] Mezi lety 1981-2010 byla průměrná roční teplota na území Prahy mezi 9 °C a 10 °C. Pro stejné časové rozmezí byl průměrný roční srážkový úhrn mezi hodnotami 500-550 mm [47][48].

Tabulka 2: Průměrné měsíční teploty v Praze

	Průměrná měsíční teplota [°C]
Leden	-2,0
Únor	-0,6
Březen	3,1
Duben	7,9
Květen	12,9
Červen	16,0
Červenec	17,6
Srpen	17,3
Září	13,3
Říjen	8,2
Listopad	2,9
Prosinec	-0,5



Obchodní podmínky Zeměměřického úřadu

Obrázek 13: Praha [54]

4.2 Metodika

Tato práce využívá dat z dálkového průzkumu Země družice Landsat-8. Data jsou k dispozici ke stažení na webové adrese <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Data z družice Landsat-8 jsou k dispozici každých 16 dní, tak dlouho trvá družici dostat se znovu na stejné místo během snímání celé Země. Na družici jsou připevněny senzory OLI (Operational land imager) a TIRS (Thermal infrared sensor). Tyto senzory snímají 11 spektrálních pásem. Senzor OLI v rozlišení 30x30m pro jeden pixel. Senzor TIRS v rozlišení 100x100m. Z důvodu lepší kompatibility jsou data ze senzoru TIRS pře vzorkována na rozlišení 30x30m pomocí metody kubické konvoluce. Tato metoda počítá s 16 nejbližšími pixely. Celý balíček dat je poskytován pře vzorkovaný na rozlišení 30x30m pro jeden pixel. K tvorbě povrchových map byla použita data ze tří snímaných pásem. Pásmo 4 a 5 k výpočtu podílu vegetace a pásmo 10 pro jasovou teplotu. Data byla vybírána s požadavkem nižšího výskytu oblačnosti než 20 %. Hladina tohoto filtru nevychází z pevně stanovených pravidel. Počáteční filtr dat má za cíl vyhnout se práci s daty, která s vysokou pravděpodobností nebudou přinášet vhodný výsledek. Přítomnost oblačnosti zakrývá zemský povrch, čidla připevněná na družici tak snímají emisivitu oblak, místo požadovaného zemského povrchu. I při použití tohoto filtru může nastat situace, kdy se oblačnost bude vyskytovat na zájmovém územím. Tuto možnost je třeba prověřit po vytvoření každé mapy. Na první pohled by v mapě byly oblasti, které by měly velmi nízkou teplotu a zároveň by tyto oblasti byly odděleny velkým teplotním skokem. Po ověření byla vybrána data uvedená v následující tabulce 3.

Band	Wavelength	Useful for mapping
Band 1 – coastal aerosol	0.43-0.45	coastal and aerosol studies
Band 2 – blue	0.45-0.51	Bathymetric mapping, distinguishing soil from vegetation and deciduous from coniferous vegetation
Band 3 - green	0.53-0.59	Emphasizes peak vegetation, which is useful for assessing plant vigor
Band 4 - red	0.64-0.67	Discriminates vegetation slopes
Band 5 - Near Infrared (NIR)	0.85-0.88	Emphasizes biomass content and shorelines
Band 6 - Short-wave Infrared (SWIR) 1	1.57-1.65	Discriminates moisture content of soil and vegetation; penetrates thin clouds
Band 7 - Short-wave Infrared (SWIR) 2	2.11-2.29	Improved moisture content of soil and vegetation and thin cloud penetration
Band 8 - Panchromatic	.50-.68	15 meter resolution, sharper image definition
Band 9 – Cirrus	1.36 -1.38	Improved detection of cirrus cloud contamination
Band 10 – TIRS 1	10.60 – 11.19	100 meter resolution, thermal mapping and estimated soil moisture
Band 11 – TIRS 2	11.5-12.51	100 meter resolution, Improved thermal mapping and estimated soil moisture

Obrázek 14: Spektrální pásma TIRS a OLI [49]

Tabulka 3: Vybraná data

Družice	Datum pořízení snímku	Čas pořízení snímku	Rozlišení pixelu [m]
Landsat-8	26.6.2019	9:51	30x30
Landsat-8	14.7.2020	9:51	30x30
Landsat-8	30.7.2020	9:51	30x30
Landsat-8	6.8.2020	9:57	30x30
Landsat-8	15.6.2021	9:51	30x30
Landsat-8	24.7.2021	9:57	30x30
Landsat-8	26.9.2021	9:57	30x30

4.2.1 Tvorba map povrchových teplot pomocí ArcGIS

Postup tvorby map povrchových teplot byl převzat z vědeckého článku **Algorithm for Automated Mapping of Land Surface Temperature Using LANDSAT 8 Satellite Data** [50]. Mapy byly vytvářeny pomocí softwaru ArcGIS Pro s využitím nástroje Raster Calculator.

4.2.1.1 Záření na okraji atmosféry (TOA)

$$L\lambda = M_L * Q_{cal} + A_L - O_i$$

$L\lambda$ =spektrální záře na okraji atmosféry; M_L =multiplikativní faktor změny měřítka specifický pro pásmo; Q_{cal} = pásmo 10; A_L =aditivní faktor změny měřítka specifický pro pásmo; O_i =korekce pro pásmo 10

Hodnoty konstant jsou součástí celkové datové složky v souboru s metadaty.

4.2.1.2 Převod záření na jasovou teplotu (BT)

$$BT = \frac{K_2}{\ln \left[\left(\frac{K_1}{L\lambda} \right) + 1 \right]} - 273,15$$

BT=jasová teplota; K_1 a K_2 jsou konstanty pro převod specifické pro každé pásmo. Pro práci ve stupnicích Celsia je radiační teplota revidována přidáním absolutní nuly.

4.2.1.3 Normalizovaný diferenční vegetační index (NDVI)

$$NDVI = \frac{NIR (pásmo 5) - R (pásmo 4)}{NIR (pásmo 5) + R (pásmo 4)}$$

4.2.1.4 Podíl vegetace (Pv)

$$P_v = \left(\frac{NDVI - NDVI_{min}}{NDVI_{max} - NDVI_{min}} \right)^2$$

Hodnoty $NDVI_{max}$ a $NDVI_{min}$ jsou zobrazeny ve vytvořené vrstvě NDVI.

4.2.1.5 Povrchová emisivita (LSE=E)

$$E = m * Pv + n$$

$$m = e_v - e_s - (1 - e_s) * F * e_v$$

$$n = e_s + (1 - e_s) * F * e_v$$

Kde m a n jsou koeficienty emisivity, e_v vyjadřuje emisivitu vegetace, e_s emisivitu holé půdy, F tvarový faktor. Jako hodnota emisivity vegetace byla autory zvolena hodnota 0,99, kterou považují za průměrnou. Podobně byla zvolena hodnota emisivity holé půdy $e_s=0,973$ a hodnota tvarového faktoru $F=0,55$. Po dopočtení jsou hodnoty koeficientů emisivity $m=0,004$ a $n= 0,986$ [51].

4.2.1.6 Povrchová teplota ($T_s=LST$)

$$LST = \frac{BT}{(1 + (\frac{\lambda * BT}{c2}) * \ln(E))}$$

$$c2 = (\frac{h * c}{k})$$

Kde λ vyjadřuje vlnovou délku pásma senzoru (pro pásmo 10; $\lambda = 10,895$), h je Planckova konstanta $6,626 \times 10^{-34} \text{ J*s}$, c je rychlost světla rovna $2,998 \times 10^8 \text{ m/s}$, k je Boltzmannova konstanta rovna $1,38 \times 10^{-23} \text{ J/K}$.

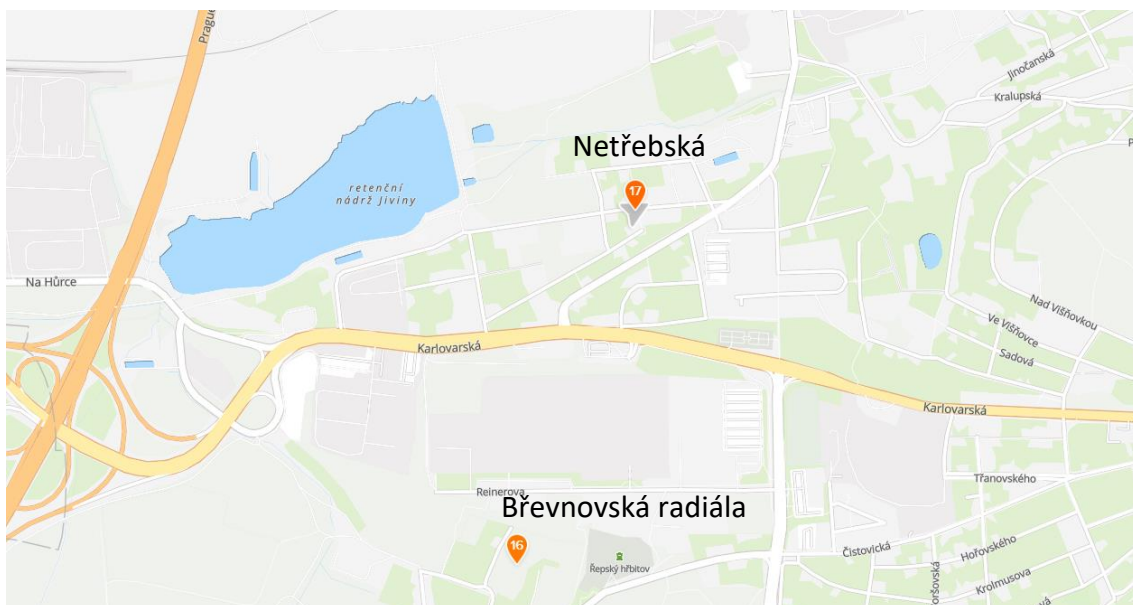
Po dopočtení vyjde hodnota $c2=1,438 \times 10^{-2} \text{ mK}$.

4.2.2 Netatmo

Společnost Netatmo sdružuje množství amatérských nadšenců, kteří měří základní meteorologické veličiny. Společnost prodává inteligentní domácí meteostanice, které je velmi jednoduché zapojit do systému Netatmo. Množství takovýchto stanic vytváří síť měření, která je veřejně dostupná na webových stránkách společnosti.

Na těchto stránkách je možné vidět aktuální údaje a také historická měření. Podle typu meteostanice jsou k dispozici měření různých veličin. Nejčastěji teploty, tlaku, srážek, vlhkosti, méně časté je měření rychlosti a směru větru. Měření veličin je prováděno každých 5 minut.

V této práci jsou dále využita data měření vlhkosti ze dvou stanic, Netřebská a Břevnovská radiála. Jak už bylo zmíněno, jedná se o síť amatérských měření, proto nelze považovat naměřené hodnoty za zcela správné. Z tohoto důvodu jsou data využita pouze jako možný indikátor změn podmínek.



Obrázek 15: Umístění stanic v síti Netatmo

Jak ukazuje následující tabulka, nelze prokázat užší vazbu mezi teplotami naměřenými stanicemi v síti Netatmo a povrchovými teplotami pixelů, na kterých se stanice nachází. Příčinou může být různá emisivita povrchů v rámci plochy jednoho pixelu, která může ovlivňovat i měření meteostanice. Rozdíly mezi hodnotami z map a stanic jsou jak kladné, tak záporné, a to do velikosti až 7,4 °C.

Tabulka 4: Porovnání hodnot teplot z map a stanic sítě Netatmo

Datum	Naměřená teplota na stanici		Teplota pixelu na mapě povrchové teploty		Rozdíl	
	Netřebská	Břevnovská radiála	Netřebská	Břevnovská radiála	Netřebská	Břevnovská radiála
30.07.2020	21,9	24,7	28,2	28,3	-6,3	-3,6
06.08.2020	21,0	23,2	23,3	22,7	-2,3	0,5
14.07.2020	20,7	21,5	26,5	26,3	-5,8	-4,8
15.06.2021	22,0	23,6	16,6	16,2	5,4	7,4
26.09.2021	15,7	19,7	16,5	16,6	-0,8	3,1
24.07.2021	-	24,5	26,0	25,3	-	-0,8

4.3 Scénář I – Teplotní efekt stávajícího vodního toku

Při pohledu na mapu Prahy je vidět mnoho vodních toků, první otázkou tedy je, jakým způsobem ovlivňují teplotní režim města stávající vodní toky. Při hledání konkrétní lokality byly uvažovány vodní toky různých velikostí. Při studování menších vodních toků typu Rokytka nebo Botič nebylo možné pozorovat relevantní výsledky z důvodu nízkého rozlišení mapy povrchové teploty, kde jeden pixel představuje celou šířku koryta i s doprovodnou vegetací na obou březích. Tento fakt způsobuje možnost pozorovat pouze ochlazovací účinek řeky Vltavy. Pro studium ochlazovacího účinku menších vodních toků na základě dálkového průzkumu Země by bylo potřeba pracovat s mnohem vyšším rozlišením mapy povrchových teplot.

4.3.1 Situace

Teplotní efekt v podobě ochlazovacího účinku způsobený Vltavou je studován ve čtyřech různých profilech označených písmeny A, B, C, D. Každý profil reprezentuje specifické okolní podmínky. Profil A je umístěn v jednom z nejužších profilů řeky v Praze, kde zároveň tvar příčného profilu připomíná kaňon. Profil B se nachází v historickém centru, v blízkosti míst hojně navštěvovaných turisty. Profily C a D jsou specifické profily údolí. Profil C je umístěn do úzkého hlubokého údolí mezi Zlíchovem a Podolím. Profil D je umístěn do širokého mělkého údolí poblíž Libeňského mostu. Profily jsou vytvořeny ze sousedních bodů. Jeden bod v profilu udává průměrnou povrchovou teplotu pro pixel o rozměru 30x30m. Vzdálenost bodů je osovou vzdáleností středů pixelů. Pro profily A, B, D je vzdálenost bodů 30 m. Pro profil D je vzdáleností úhlopříčka čtverce o délce strany 30 m, tedy 42,43m.

4.3.2 Metodika zpracování dat

Pro každý profil byl vytvořen graf závislosti povrchové teploty v jednotlivých studovaných dnech na vzdálenosti v profilu. Z grafů jsou patrné dosahy ochlazovacího účinku v jednotlivých profilech. Dosah ochlazovacího účinku je posuzován pomocí lineární regrese. Metoda lineární regrese byla taktéž použita v zahraniční publikaci **Analyses water bodies effect in mitigation of urban heat effect** [40]. Vysoká lineární závislost mezi vzdáleností od břehu a teplotou představuje prokazatelný dosah ochlazovacího účinku, který není ovlivněn vnějšími vlivy. Celkový dosah ochlazovacího účinku může být vyšší i při nižší závislosti mezi teplotou a vzdáleností, avšak takový dosah nelze prokázat zvolenou metodou. Za nedostatek této metody lze považovat polohu prvního bodu od břehové hrany. Pokud je bod velmi blízko vodní hladině, jeho teplota je nižší a teplotní gradient mezi prvními dvěma body je vysoký. Vysoký gradient mezi prvními body ovlivňuje směrnici přímky, a to může mít za následek nižší dosah ochlazovacího účinku. Každý typ povrchu ve sledovaném profilu se může zahřát na jinou hodnotu teploty. Pokud se typy povrchů mění, může nastat odklon od rovnoměrného ochlazování. Pro prokazatelný dosah ochlazovacího účinku byl stanoven požadavek koeficientu determinace $R^2 > 0,9$. Takto vysoká hodnota reprezentuje vysokou lineární závislost mezi vzdáleností a teplotou. Při zvolení nižší hodnoty by mohl dosah ochlazovacího účinku v některých případech vzrůst.



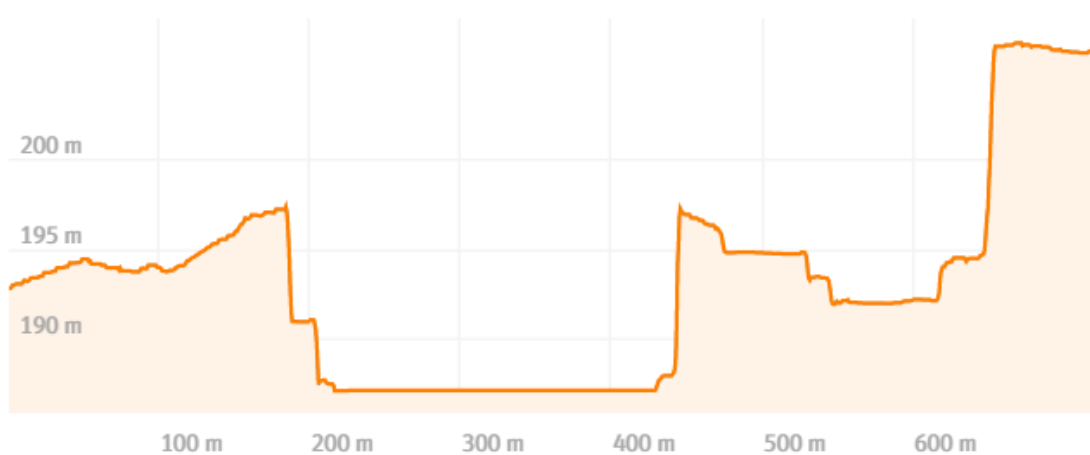
Obrázek 16: Situace profilů

4.3.3 Výsledky

4.3.3.1 Profil A

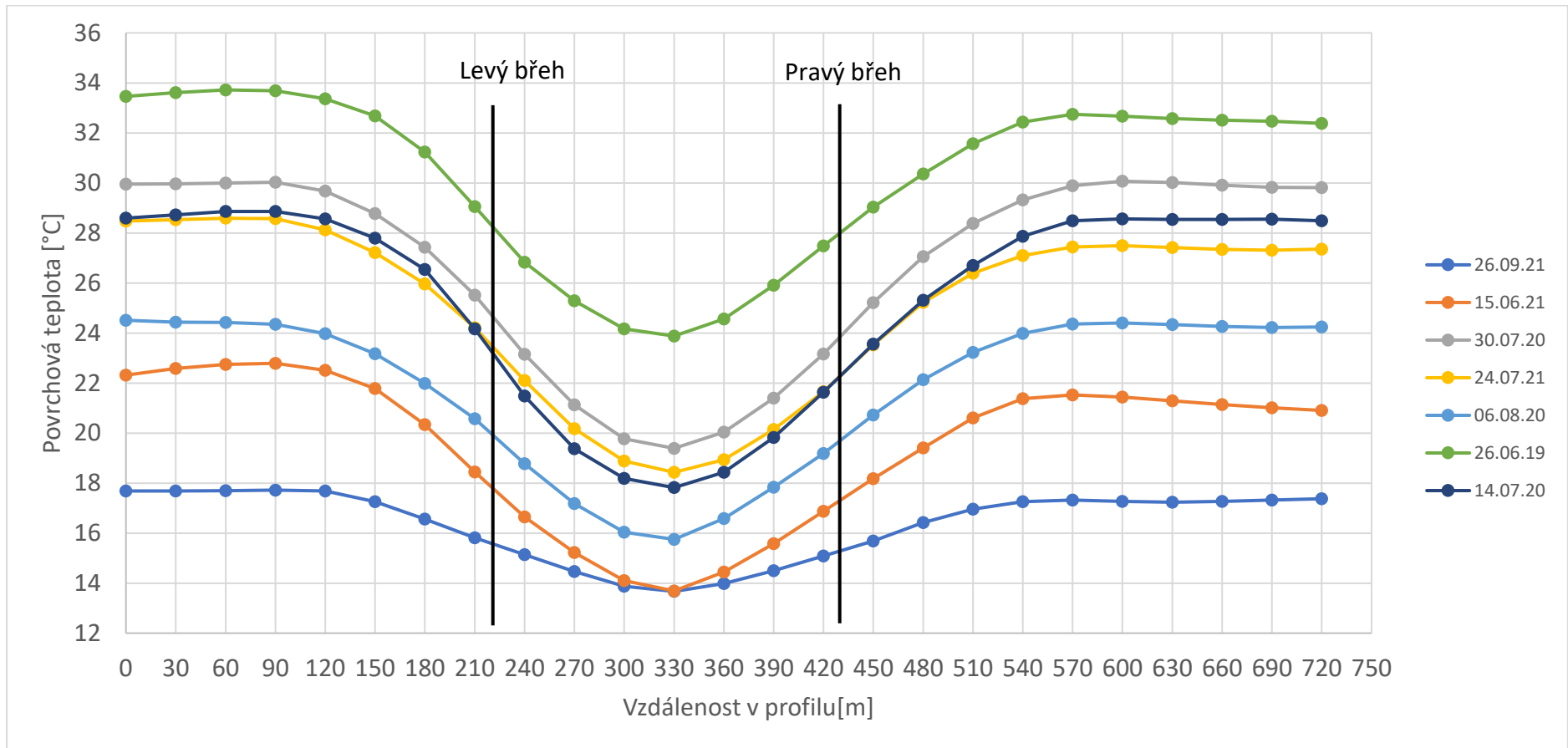


Obrázek 17: Detailní pohled na profil A [53]

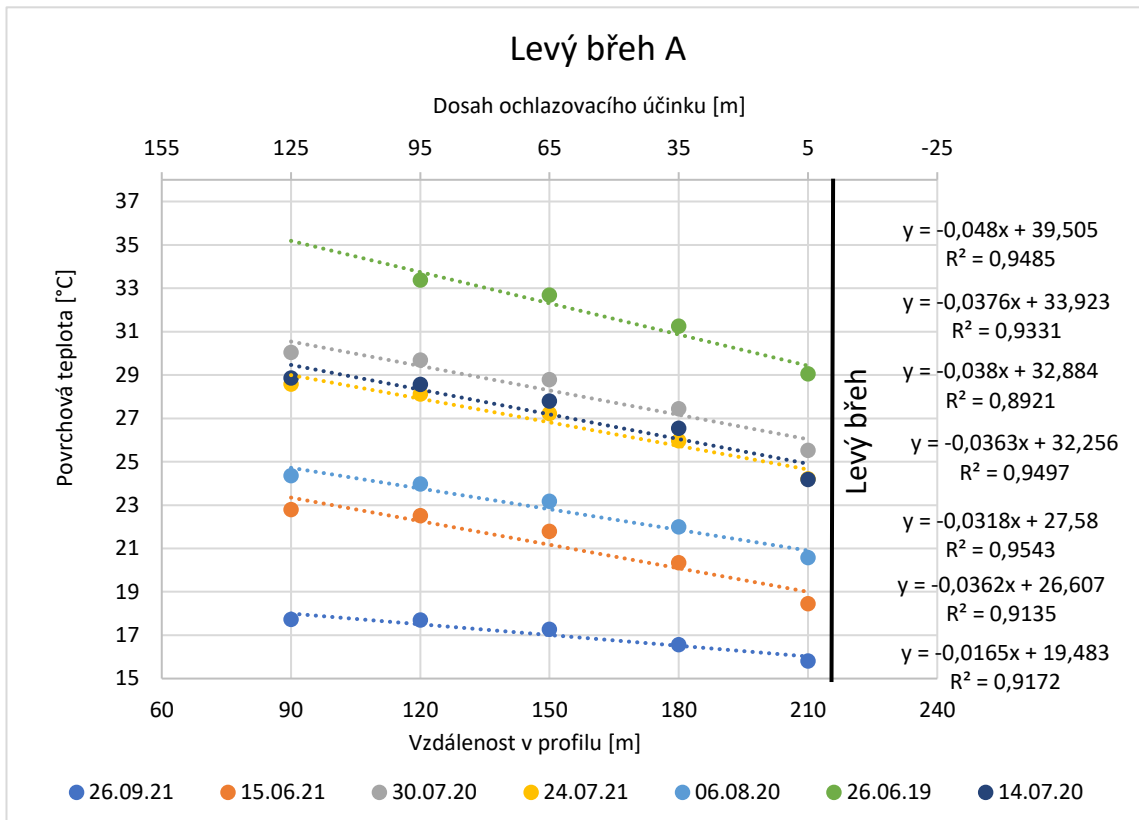


Obrázek 18: Výškový profil A [53]

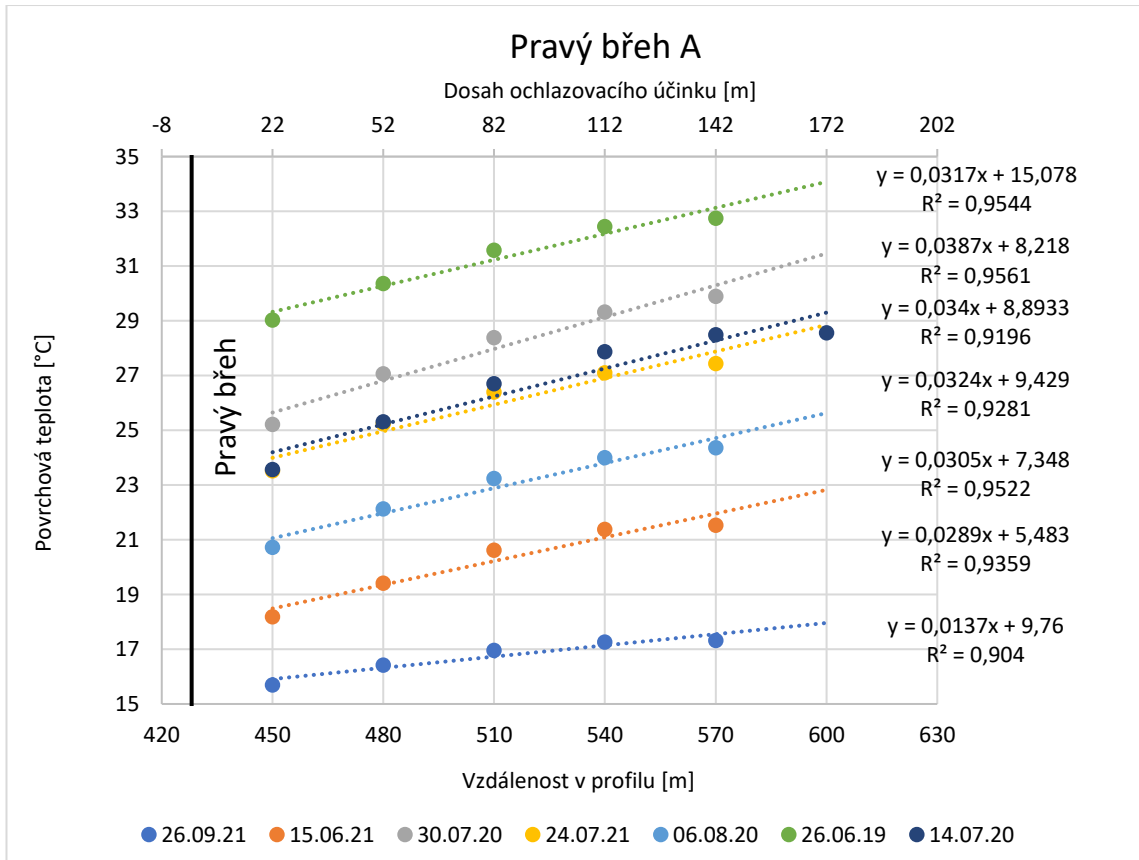
Šířka vodní hladiny v profilu A je přibližně 215 m. Levý břeh je ve vzdálenosti 215 m od levého okraje profilu, pravý břeh je ve vzdálenosti 428 m od levého okraje profilu.



Obrázek 19: Teplotní efekt profil A



Obrázek 20: Dosah ochlazovacího účinku na levém břehu



Obrázek 21: Dosah ochlazovacího účinku na pravém břehu

Na levém břehu profilu A je dosah ochlazovacího účinku prokázán do vzdálenosti 95-125 m.

Na pravém břehu profilu A je dosah ochlazovacího účinku prokázán do vzdálenosti 140-175 m od břehu.

V následující tabulce je zobrazen přehled dosahu ochlazovacího účinku. Na pravém břehu byl prokázán větší dosah ochlazovacího účinku. Tento fakt může být zapříčiněn několika důvody nebo jejich kombinací. Příčinnou může být způsob získávání povrchových teplot z mapy. Pokud by síť pixelů o rozlišení 30x30m byla posunuta libovolným směrem, mohl by být dosah ochlazovacího účinku jiný. Na dosah ochlazovacího účinku může mít vliv vzdálenost prvního bodu od břehu. Pokud je bod vzdálený, bude mít vyšší teplotu než bod těsně za břehovou hranou. Hodnoty prvních bodů jsou důležité pro směrnici přímky. Zjištěný rozdíl v dosahu ochlazovacího účinku vzhledem k použitým metodám nelze považovat za významný.

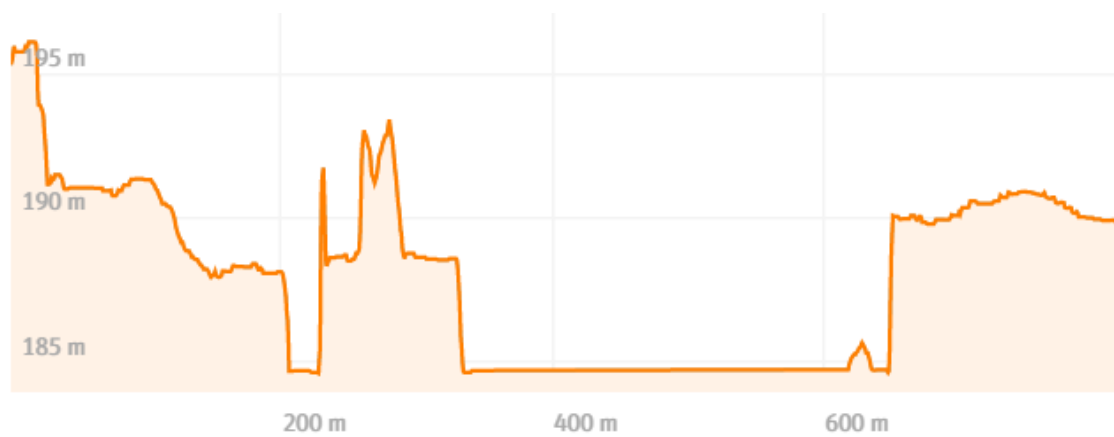
Tabulka 5: Dosah ochlazovacího účinku v profilu A

Datum	Dosah ochlazovacího účinku	
	Levý břeh[m]	Pravý břeh[m]
26.09.2021	95	142
15.06.2021	125	142
30.07.2020	125	142
24.07.2021	125	142
06.08.2020	125	142
26.06.2019	125	142
14.07.2020	125	172

4.3.3.2 Profil B

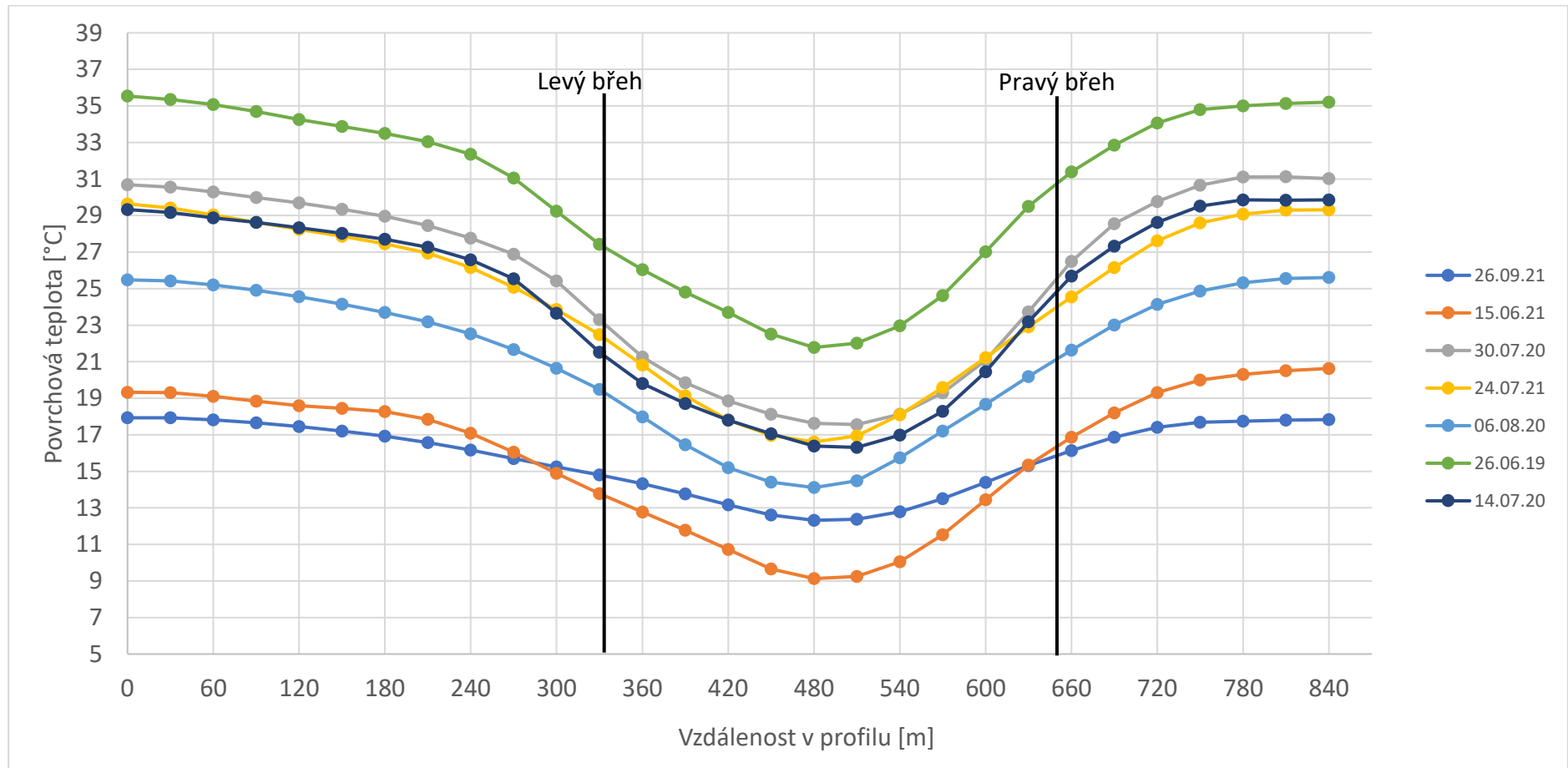


Obrázek 22: Detailní pohled na profil B [53]

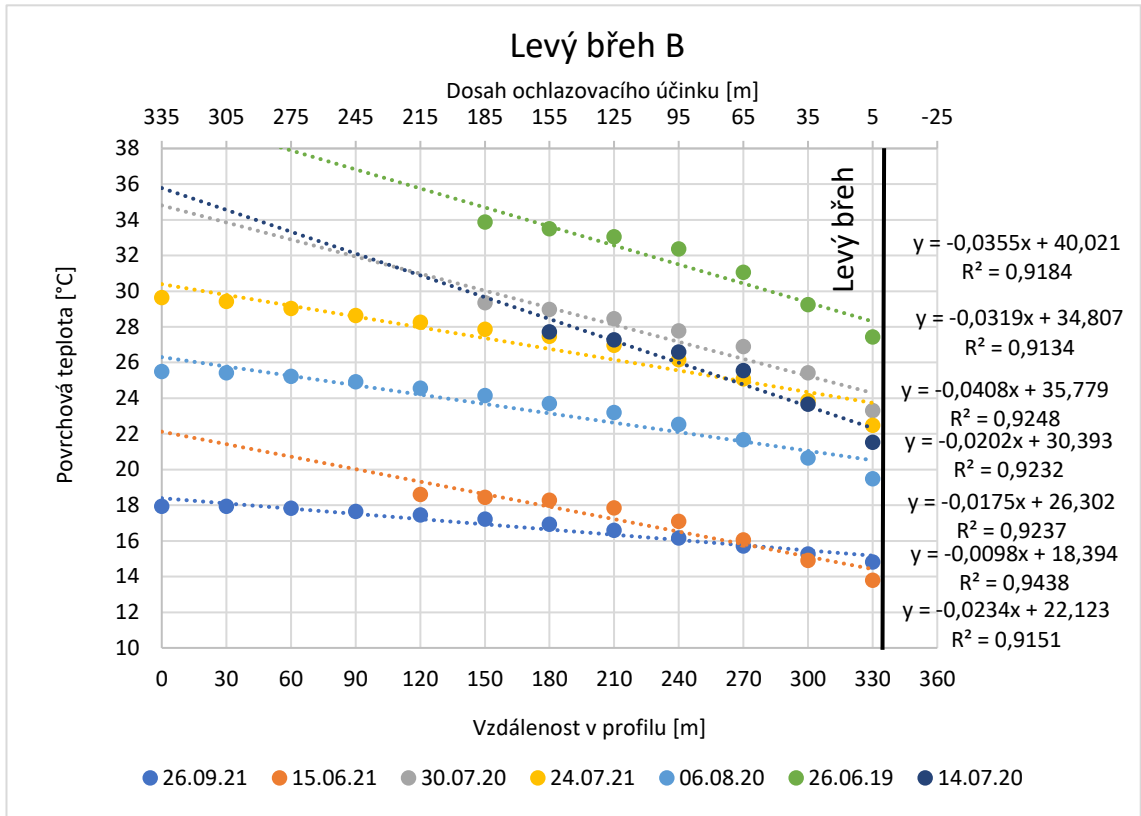


Obrázek 23: Výškový profil B [53]

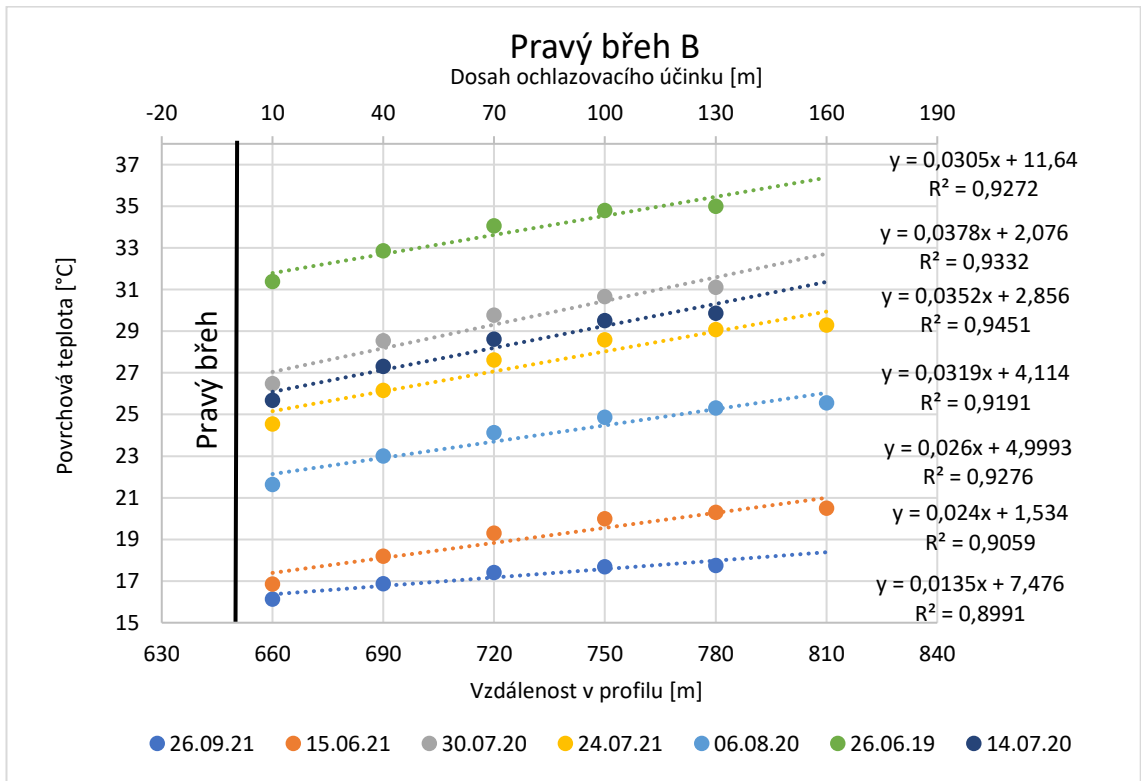
Šířka vodní hladiny je v profilu B přibližně 315 m. Levý břeh je ve vzdálenosti 335 m od levého okraje profilu, pravý břeh je ve vzdálenosti 650 m od levého okraje profilu.



Obrázek 24: Teplotní efekt profil B [53]



Obrázek 25: Dosah ochlazovacího účinku na levém břehu



Obrázek 26: Dosah ochlazovacího účinku na pravém břehu

Na levém břehu profilu B je dosah ochlazovacího účinku prokázán do vzdálenosti 155-335 m.

Na pravém břehu profilu B je dosah ochlazovacího účinku prokázán do vzdálenosti 130-160 m od břehu.

V následující tabulce je zobrazen přehled dosahu ochlazovacího účinku. Na levém břehu byl prokázán větší dosah ochlazovacího účinku s velkými rozdíly v jednotlivé dny.

Z obrázku výškového profilu je vidět přítomnost dalšího vodního toku v profilu. Jedná se o vodní kanál Čertovka, který je v profilu ve vzdálenosti přibližně 205 m od levého okraje profilu s šířkou přibližně 20 m. Tento vodní tok může způsobovat samostatný ochlazovací účinek, tím pádem ochlazený vzduch v prostoru Vltavy nepřijde do styku s tolik ohřátým povrchem na levém břehu a ochlazovací schopnost může dosahovat větších vzdáleností.

Tabulka 6: Dosah ochlazovacího účinku v profilu B

Datum	Dosah ochlazovacího účinku	
	Levý břeh[m]	Pravý břeh[m]
26.09.2021	185	130
15.06.2021	215	160
30.07.2020	185	130
24.07.2021	335	160
06.08.2020	335	160
26.06.2019	335	130
14.07.2020	155	130

4.3.3.3 Profil C

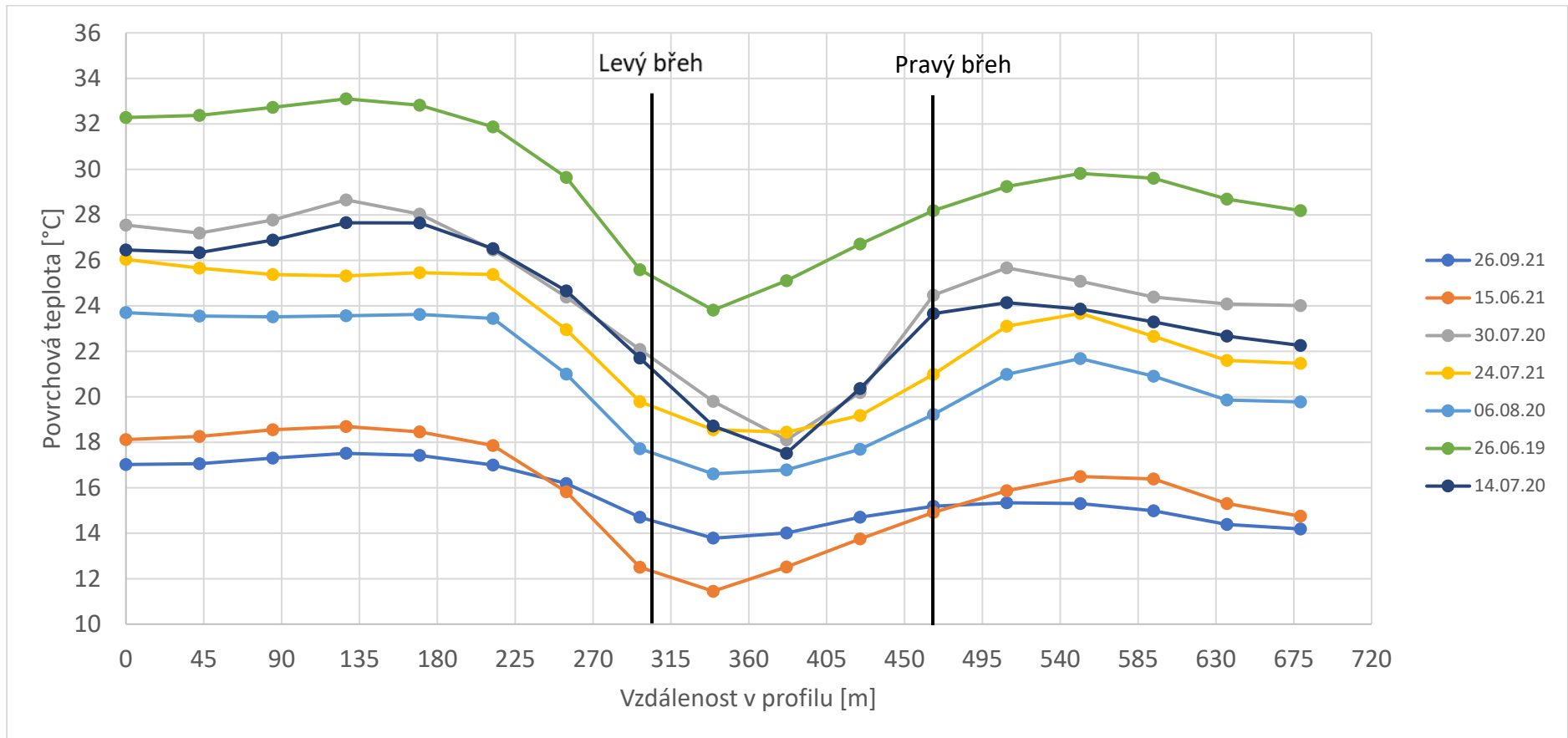


Obrázek 27: Detailní pohled na profil C [53]

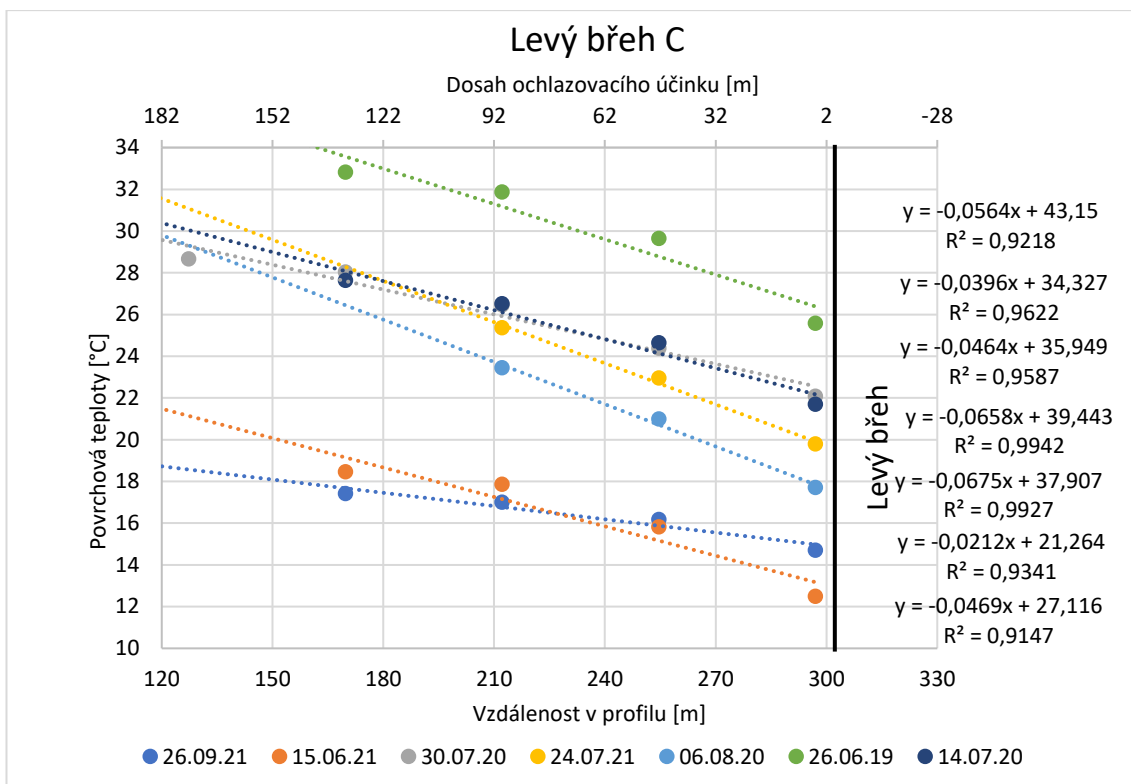


Obrázek 28: Výškový profil C [53]

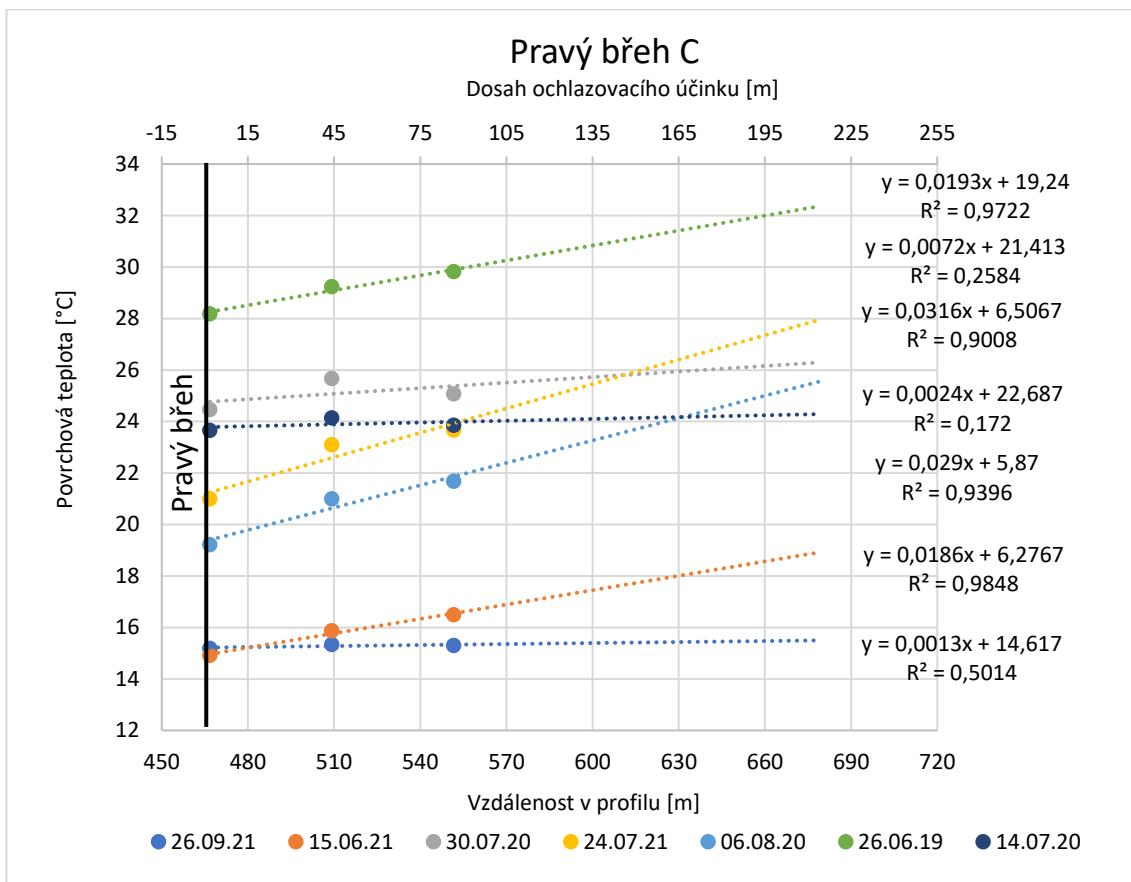
Šířka vodní hladiny je v profilu C přibližně 170 m. Levý břeh je ve vzdálenosti 302 m od levého okraje profilu, pravý břeh je ve vzdálenosti 465 m od levého okraje profilu.



Obrázek 29: Teplotní efekt profil C



Obrázek 30: Dosah ochlazovacího účinku na levém břehu



Obrázek 31: Dosah ochlazovacího účinku na pravém břehu

Na levém břehu profilu C je dosah ochlazovacího účinku prokázán do vzdálenosti 89-175 m.

Na pravém břehu profilu C je dosah ochlazovacího účinku prokázán do vzdálenosti 79 m od břehu, a to pouze v některé sledované dny.

Tabulka 7: Dosah ochlazovacího účinku v profilu C

Datum	Dosah ochlazovacího účinku	
	Levý břeh[m]	Pravý břeh[m]
26.09.2021	132	0
15.06.2021	132	79
30.07.2020	174	0
24.07.2021	89	79
06.08.2020	89	79
26.06.2019	132	79
14.07.2020	132	0

Profil C je velmi specifický svým umístěním, nachází se mimo centrum města. Jak je patrné z výškového profilu, vodní tok zde protéká úzkým údolím. Nepotvrzený ochlazovací účinek na pravém břehu je způsoben nízkým podílem zpevněných ploch v profilu a zároveň vysokým podílem ploch s vegetačním krytem a stromy. Pro lepší popsání situace by bylo vhodné provést přesnou analýzu využití území. Nižší dosah ochlazovacího účinku lze vysvětlit i sevřením v kaňonovitém údolí, kde se dá předpokládat proudění vzduchu převážně ve směru vodního toku.

Na levém břehu byl prokázán ochlazovací účinek do různých vzdáleností. Vzhledem k větší ploše zpevněné plochy v profilu v podobě zástavby a také široké silnice je zde větší předpoklad pro ohřívání povrchů a následné ochlazovací od vodní plochy. Dosah vzhledem k použité metodě opět nelze považovat za velmi přesný, ale spíše orientační.

4.3.3.4 Profil D

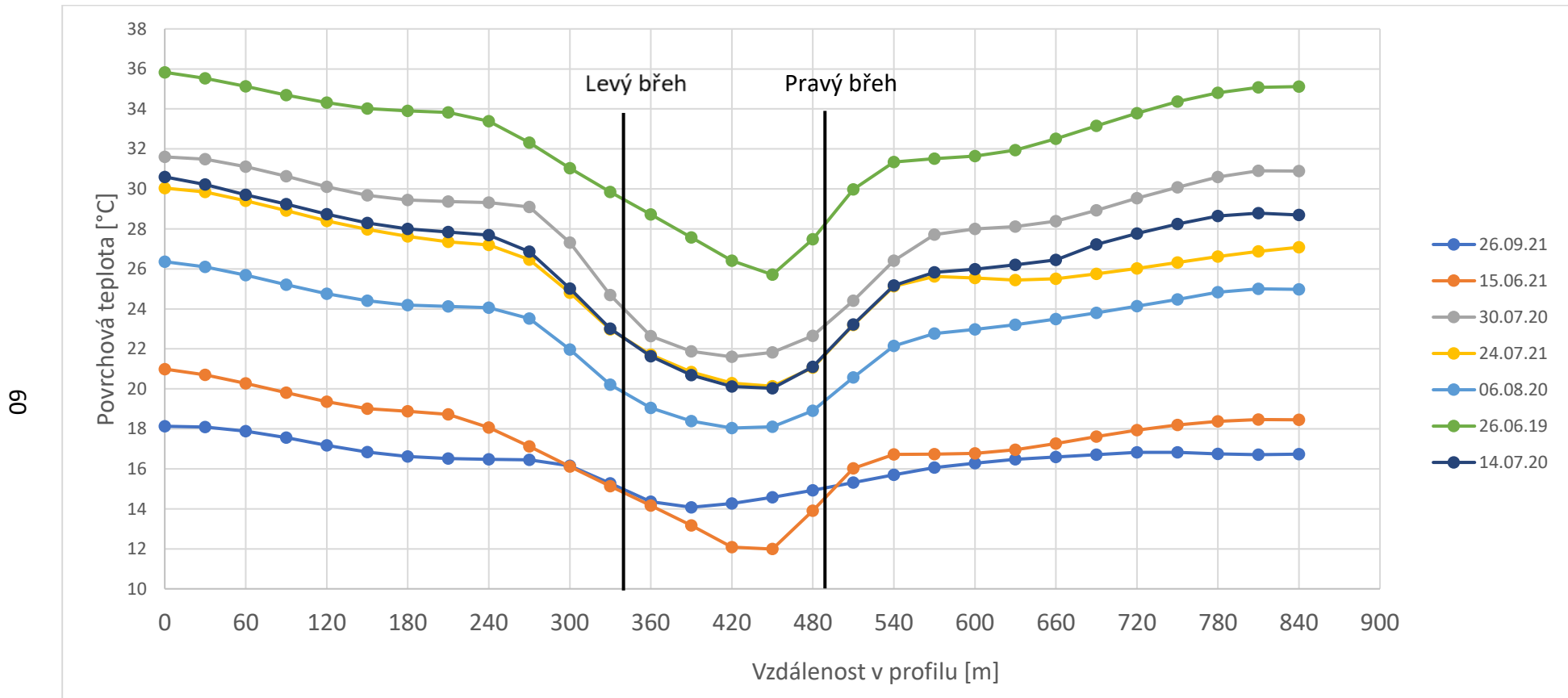


Obrázek 32: Detailní pohled profil D [53]

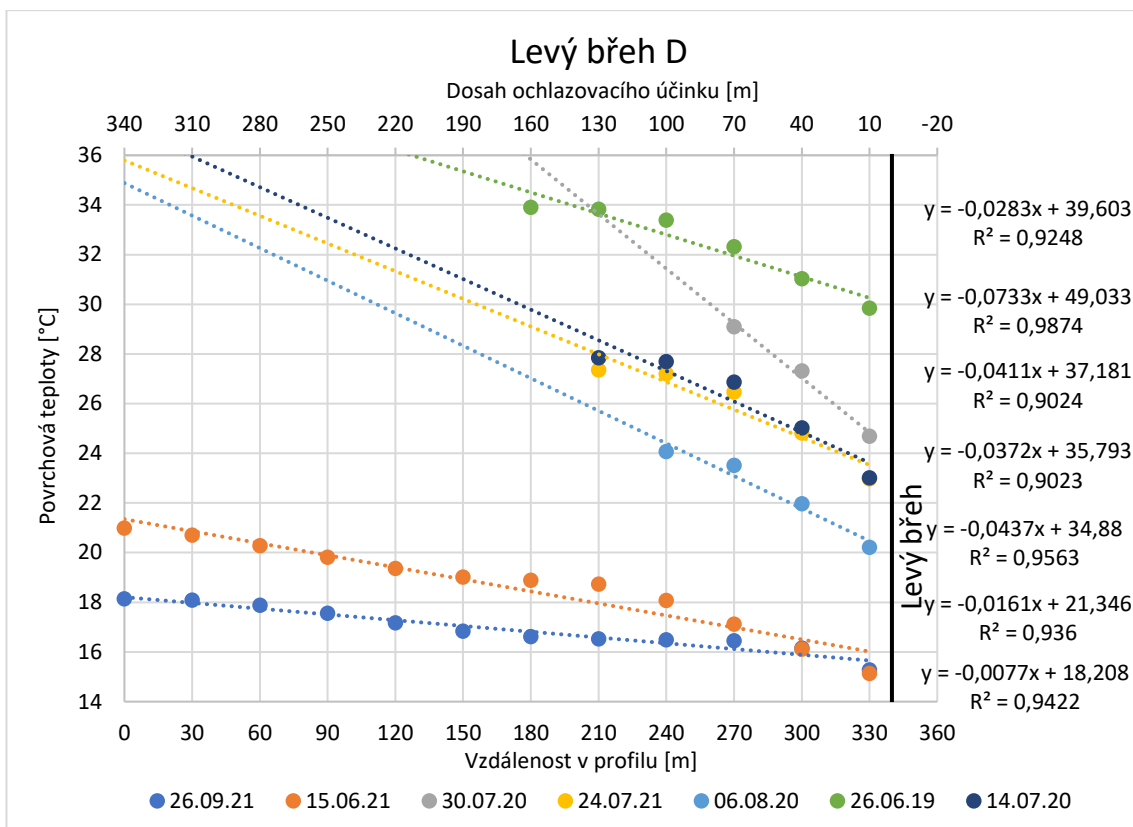


Obrázek 33: Výškový profil D [53]

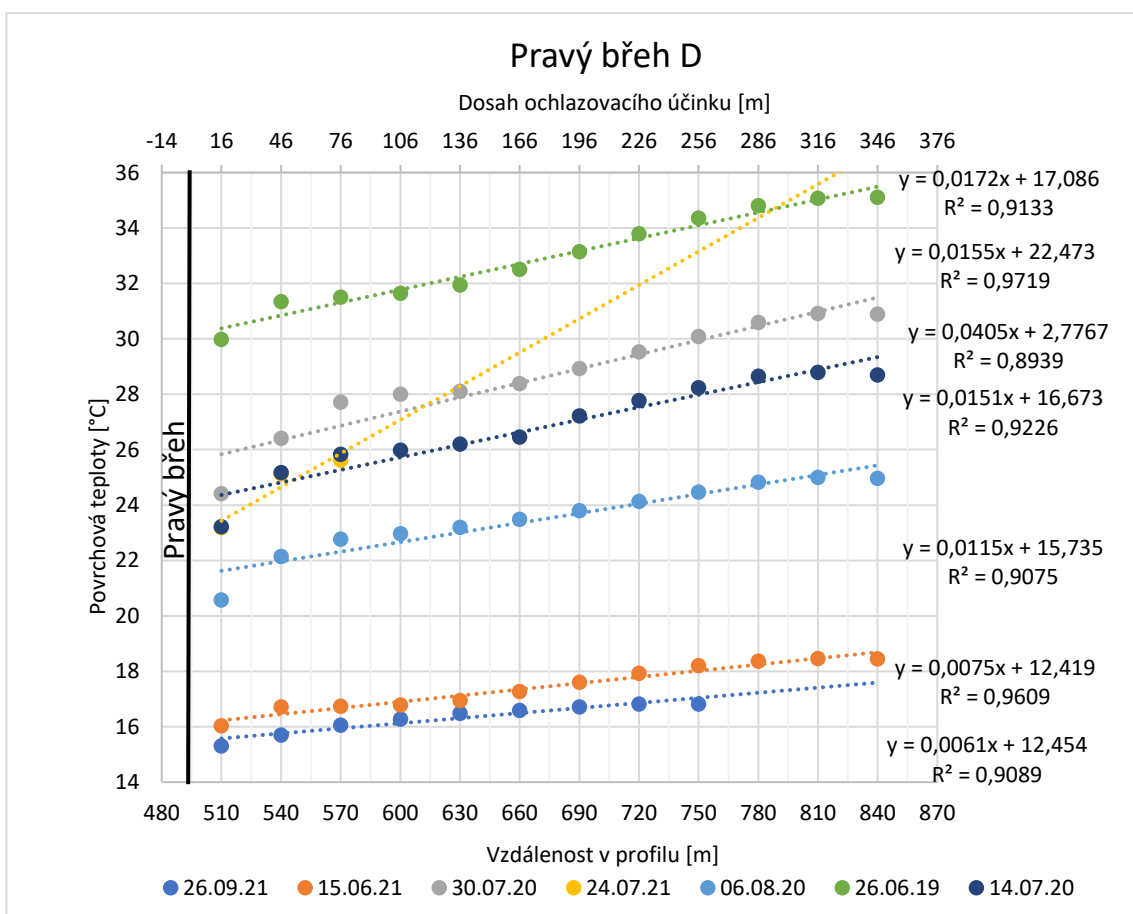
Šířka vodní hladiny je v profilu D přibližně 154 m. Levý břeh je ve vzdálenosti 340 m od levého okraje profilu, pravý břeh je ve vzdálenosti 494 m od levého okraje profilu.



Obrázek 34: Teplotní efekt profil D



Obrázek 35: Dosah ochlazovacího účinku na levém břehu



Obrázek 36: Dosah ochlazovacího účinku na pravém břehu

Na pravém břehu profilu D je dosah ochlazovacího účinku prokázán od 76 do 346 m od břehu.

Na pravém břehu je v těsné blízkosti řeky zpevněná plocha. Za ní navazuje plocha s vegetací. V některých případech ohřátí této zpevněné plochy způsobuje vyšší povrchové teploty než dalších ploch v profilu. To má za následek nelineární chlazení způsobené vodním tokem. Tento fakt může způsobovat nižší dosah ochlazovacího účinku ve dvou sledovaných dnech.

Levý břeh má stejný začátek jako pravý. Zpevněná plocha je využívána jako parkoviště. Na rozdíl od pravého břehu za touto plochou následuje zástavba a velké množství zpevněných ploch. Rychlejší nárůst povrchové teploty od břehů koryta představuje omezený dosah ochlazovacího účinku vodní plochy.

Tabulka 8: Dosah ochlazovacího účinku v profilu D

Datum	Dosah ochlazovacího účinku	
	Levý břeh[m]	Pravý břeh[m]
26.09.2021	340	256
15.06.2021	340	346
30.07.2020	70	346
24.07.2021	130	76
06.08.2020	100	346
26.06.2019	160	346
14.07.2020	130	346

4.3.3.5 Diskuse výsledků

Metoda lineární regrese se ukázala vhodná k určování dosahu ochlazovacího účinku v profilech s vysokou mírou homogenity prostředí a povrchu. Naopak tato metoda není vhodná k použití pro velmi heterogenních plochy z hlediska prostředí a povrchů. Homogenní prostředí dobře reprezentuje profil A na obou březích, nebo profil B na pravém břehu. S narůstající vzdáleností od vodní plochy se snižuje chladicí potenciál a lineárně narůstá teplota. Zatímco u heterogenních profilů se vyskytují plochy, které jsou různě zahřáté a není zde chladicí potenciál spotřebováván lineárně.

V hustě zastavěných oblastech je velké množství ploch, jak vodorovných, tak svislých, které rychle spotřebovávají chladicí potenciál vodní plochy, a proto dosah chladicího účinku v těchto místech dosahuje nejnižších hodnot. Tento fakt je také podpořen nižší možností proudění vzduchu v takovýchto místech.

Ve více otevřených prostranstvích, v méně zastavěných oblastech, s větší přítomností zeleně není ohříváno takové množství ploch, jako v hustě zastavěných oblastech. Tato skutečnost způsobuje delší dosah ochlazovacího účinku. Chladicí potenciál, který představuje vodní plocha, není spotřebován v blízkosti řeky a může se dostat do více vzdálených míst.

Na pravém břehu profilu C je poměr zpevněných ploch k ploše vegetace natolik nízký, že vegetace pomocí stínu a evapotranspirace způsobuje dostatečné chlazení

ploch, a tak nebyl prokázán vliv vodních ploch. V tomto případě zůstává ochlazovací potenciál vodních ploch nevyužitý.

Pro přesnější popis ochlazovacího účinku by bylo vhodné pracovat s lepším rozlišením dat a zabývat se podrobně využitím území a typy ploch v jednotlivých profilech.

Zjištěné závěry ve sledovaných profilech pomocí použitých metod nejsou dostatečně přesné pro stanovení jasných závěrů. Závěrem jsou pouze náznaky možných souvislostí mezi dosahem ochlazovacího účinku, druhem okolních ploch a prostředím. Prostředí reprezentuje zejména hustota zástavby, výška budov a terénní reliéf. Tyto předpoklady je nutné dále prověřit pomocí jiných metod nebo prací s podrobnějšími vstupními daty.

4.4 Scénář II – Změna využití území

Ve scénáři II. je řešena situace změny využití území. Mezi vodní plochy, mimo tekoucích vod v korytech toků, se řadí také stojaté vody v rybnících, jezerech, nádržích nebo přehradách. Změna využití území a vytvoření vodní nádrže, bude mít vliv na místní mikroklima. Při hledání vhodné lokality pro druhý scénář byly zvažovány nově budované retenční nádrže (RN Kotlářka), upravované plochy parků s vodními plochami (Park Maxe Van Der Stoela, Stromovka) a vodní nádrže, které byly na nějakou dobu vypuštěny z důvodu technických úprav, oprav nebo odbahnění. (Šeberák, Jiviny, Hořejší rybník). Mnoho vodních ploch se nachází mimo hustě urbanizované území a je doprovázeno velkými plochami vegetace nebo lesních porostů. U těchto ploch nelze prokazovat ochlazovací účinek způsobený vodní plochou, z důvodu nemožnosti oddělit ochlazování způsobené vodními plochami od ochlazování vlivem vegetace. Vodní nádrž Jiviny byla vybrána z důvodu kombinace vhodných podmínek. V blízkosti nádrže nejsou rozlehlé stromové porosty, zároveň se nádrž nachází v blízkosti zástavby, ve které se dají stanovit pozorovaná místa v různých vzdálenostech od vodní plochy. Plocha hladiny má 90 000 m² [52], což umožňuje využít data z družice Landsat-8 o rozlišení 30x30 m.

4.4.1 Situace

Vodní nádrž Jiviny se nachází na okraji západní části Prahy, na hranici se Středočeským krajem. V roce 2020 zde probíhalo celkové odbahnění nádrže [52]. Během této akce byla nádrž vypuštěná, a proto bylo možné sledovat změny povrchových teplot v okolí v různých letech. Pro sledování bylo zvoleno šest referenčních míst. Místa byla volena v různých vzdálenostech a směrech od nádrže. Bod 1 reprezentuje plochu vodní nádrže, bod 2 byl umístěn do těsné blízkosti vodní plochy na zpevněnou plochu. Bod 3 je střecha prodejny automobilů, bod 4 střecha garáží dopravního podniku, bod 5 plocha dálnice a bod 6 křižovatka v zastavěné oblasti. Do těchto míst byly body umístěny z důvodu požadavku na stabilitu okolí. Stabilita okolí představuje takové podmínky, při kterých bude působit minimum vlivů na povrchovou teplotu. Příkladem je bod 4, který se nachází na ploše, kterou tvoří z velké části stejný materiál, který bude mít stejnou emisivitu.

Tabulka 9: Vzdálenost bodů od vodní plochy

Bod	Vzdálenost od okraje vodní plochy [m]
1	0
2	27
3	240
4	510
5	50
6	150



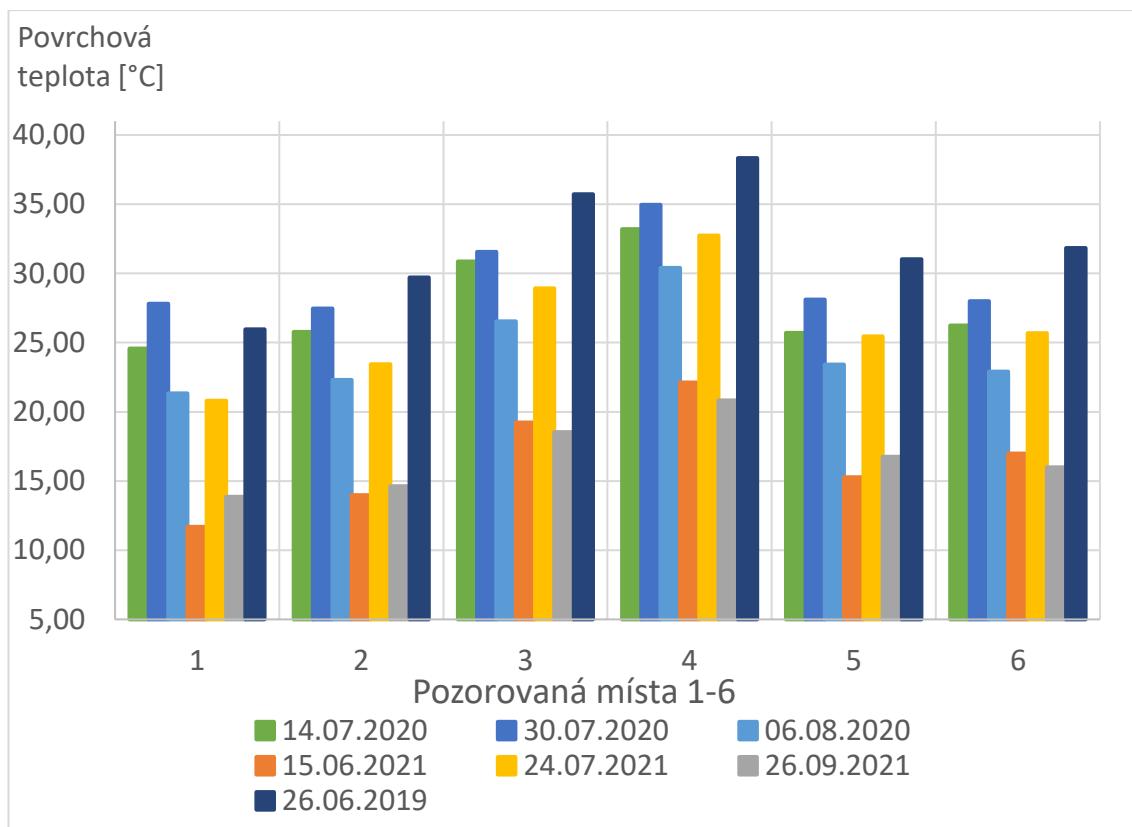
Obrázek 37: Situace sledovaných míst [55]

4.4.2 Výsledky

Z map povrchových teplot byly převzaty hodnoty v pixelech, na kterých se nachází pozorovaná místa.

Tabulka 10: Povrchové teploty sledovaných bodů ve stupních Celsia

	1	2	3	4	5	6
30.07.2020	27,81	27,47	31,55	34,96	28,10	27,99
06.08.2020	21,33	22,30	26,54	30,40	23,42	22,91
14.07.2020	24,57	25,77	30,87	33,20	25,70	26,24
26.06.2019	25,96	29,70	35,73	38,33	31,03	31,83
15.06.2021	11,69	13,97	19,22	22,12	15,27	16,99
26.09.2021	13,86	14,63	18,54	20,83	16,75	15,98
24.07.2021	20,80	23,44	28,91	32,74	25,44	25,67



Obrázek 38: Graf povrchových teplot sledovaných bodů

Na první pohled je zřejmé, že hodnoty v bodě 4 dosahují maxima pro každý sledovaný den. U bodu 4, vzhledem ke vzdálenosti od vodní plochy, není předpoklad ochlazení vlivem vodní plochy. Bod 4 je dále použit jako vztažný při pozorování rozdílu teplot mezi tímto bodem a body ostatními.

Tabulka 11: Rozdíl teplot mezi bodem 4 a ostatními body

	Rozdíl 4-1	Rozdíl 4-2	Rozdíl 4-3	Rozdíl 4-5	Rozdíl 4-6
Bez vody					
30.07.2020	7,15	7,49	3,41	6,86	6,97
06.08.2020	9,07	8,10	3,86	6,98	7,49
14.07.2020	8,63	7,43	2,33	7,50	6,96
Průměr	8,28	7,67	3,20	7,11	7,14
S vodou					
26.06.2019	12,37	8,63	2,60	7,30	6,50
15.06.2021	10,43	8,15	2,90	6,85	5,13
26.09.2021	6,97	6,20	2,29	4,08	4,85
24.07.2021	11,94	9,30	3,83	7,30	7,07
Průměr	10,43	8,07	2,91	6,38	5,89

V tabulce s rozdíly teplot vybočují hodnoty 4-1,4-2,4-5 pro den 26.9.2021. Při detailním studiu těchto výkyvů byly zvažovány následující faktory. Rychlost a směr větru, vlhkost vzduchu, intenzita slunečního záření. Data o větru ze stanic sítě Netatmo nebyla

dostatečně přesná a prokazatelná pro stanovení jakýchkoliv závěrů. Intenzita slunečního záření se dá pro datum 26.9. předpokládat nižší než během kalendářního léta, nejsou však k dispozici žádné hodnoty měření ze studované lokality. Jsou zde však dostupná alespoň data o vlhkosti ze stanic v síti Netatmo (tab.11), která naznačují možné ovlivnění dané meteorologické situace.

Tabulka 12: Vlhkosti ve stanicích sítě Netatmo

	Vlhkost [%]	
	Netřebská	Břevnovská radiála
30.07.2020	48	40
06.08.2020	61	50
14.07.2020	48	43
26.06.2019	-	-
15.06.2021	55	49
26.09.2021	83	72
24.07.2021	-	54

Z tabulky je patrné, že devět hodnot vlhkosti se pohybuje v rozmezí 40-61 %. Pouze 2 hodnoty z data 26.6.2021 jsou vyšší než toto rozmezí. Kombinace vyšší vlhkost a datum mimo letní období, může způsobovat odlišné podmínky od ostatních pozorování a proto den 26.9.2021 nebude zahrnut do výsledků.

Při pohledu na tabulku rozdílů (tab.12) po vyjmutí údajů ze dne 26.6.2021 lze shrnout několik závěrů.

Tabulka 13: Rozdíl teplot mezi bodem 4 a ostatními body po vyjmutí 26.6.2021

	Rozdíl 4-1	Rozdíl 4-2	Rozdíl 4-3	Rozdíl 4-5	Rozdíl 4-6
	Bez vody				
30.07.2020	7,15	7,49	3,41	6,86	6,97
06.08.2020	9,07	8,10	3,86	6,98	7,49
14.07.2020	8,63	7,43	2,33	7,50	6,96
Průměr	8,28	7,67	3,20	7,11	7,14
	S vodou				
26.06.2019	12,37	8,63	2,60	7,30	6,50
15.06.2021	10,43	8,15	2,90	6,85	5,13
24.07.2021	11,94	9,30	3,83	7,30	7,07
Průměr	11,58	8,69	3,11	7,15	6,23

Přítomnost vody v nádrži způsobuje v průměru větší rozdíl mezi body 1 a 4. Povrch vodní hladiny nedosahuje tak vysokých teplot jako povrch dna nádrže bez vody. Samotný výskyt vodní plochy tedy způsobuje výskyt plochy chladnějších teplot.

Druhým patrným závěrem je rozdíl mezi body 4 a 2. S přítomností vody je rozdíl o 1,02 °C vyšší. To naznačuje možné ochlazování bodu 2 vlivem vodní plochy. Tento předpoklad lze podpořit i rozdíly teplot mezi body 2 a 6.

Tabulka 14: Rozdíl teplot mezi body 6-2

	Rozdíl teplot 6-2
	Bez vody
30.07.2020	0,52
06.08.2020	0,61
14.07.2020	0,47
Průměr	0,53
	S vodou
26.06.2019	-2,13
15.06.2021	-3,02
24.07.2021	-1,35
Průměr	-2,17

S přítomností vody je bod 2 v průměru o 2,17 °C chladnější než bod 6. V situaci bez vody je dokonce bod 2, který leží pouze 30 m od vodní nádrže, teplejší v průměru o 0,53 °C než bod 6.

Pro potvrzení předpokladu je nutné vyloučit možnost ohřívání bodu 4 nebo 6 které by způsobovalo větší rozdíly. K tomu může sloužit tabulka 12, konkrétně vztah mezi body 4-3, kde se průměrné rozdíly teploty mezi těmito body s vodou a bez vody liší pouze o 0,04 °C. Lze tedy tvrdit, že voda v nádrži způsobuje ochlazení v místě bodu 2.

4.5 Scénář III – Další neřešené varianty

Mimo dvou řešených variant existuje mnoho dalších scénářů, při kterých se lze zabývat ochlazovacím účinkem.

4.5.1 Změny ochlazovacího účinku v průběhu dne

Zajímavou variantou by mohlo být pozorování změn ochlazovacího účinku během dne. Pro tuto situaci by byla potřeba data s krátkým časovým krokem v řádu desítek minut, nebo využití jiných metod než dálkového průzkumu Země. Kromě družice Landsat-8 je možné získat data například z družice Sentinel-3, kde jsou k dispozici i 4 různá měření z jediného dne. Nevýhodou těchto dat je jejich nízké rozlišení. Jeden pixel představuje plochu 1000 x 1000 m.

4.5.2 Porovnání mezi letním a zimním obdobím

Dalším scénářem, který nebyl řešen z časových důvodů a může být námětem pro další práce, je změna ochlazovacího účinku v různých ročních obdobích.

5 Závěr

Práce vychází z problematiky spojené s klimatickými změnami. Většina těchto změn má negativní dopad na lidskou společnost. Městské tepelné ostrovy, jejichž intenzita roste v důsledku klimatických změn, jsou jedním z hlavních problémů městského prostředí. V rámci městského plánování jsou vytvářeny strategie, které mají za cíl zmírnit dopady klimatických změn. Strategie obsahují dva hlavní způsoby, jakými lze dosáhnout zlepšení. Adaptační a mitigační opatření.

Závěry zahraničních studií potvrzují ochlazovací účinek vodních ploch na městské tepelné ostrovy. Liší se ovšem zásadně v dosahu ochlazovacího účinku. Dosah je závislý na řadě dalších faktorů jako je rychlost a směr proudění, výška a hustota okolní zástavby, velikost vodní plochy, přítomnost vegetace v okolí a dalších. Dosah a intenzita se liší v letním a zimním období a také během dne a noci. Existují náznaky možného ohřívání okolí v nočním období. Takovýto stav by výrazně snižoval významnost vodních ploch v městském prostředí. Jiná adaptační a mitigační opatření mohou mít výrazně vyšší lokální vliv na snižování intenzity tepelného ostrova, přesto přítomnost vodních ploch, která s sebou přináší i pozitivní vedlejší efekty, lze považovat za dostatečně užitečnou. Vodní plochy by měly být zvažovány jako jedna z variant v rámci adaptačních opatření.

V části práce zabývající se hledáním vhodné lokality k dalšímu studiu byly vytvořeny mapy povrchové teploty z dat dálkového průzkumu Země družice Landsat-8. Hledání vhodné lokality k dalšímu studiu bylo prováděno pomocí jednotlivých situačních scénářů. V prvním scénáři byly řešeny čtyři profily na řece Vltavě v Praze. Pro stanovení dosahu ochlazovacího účinku byla použita metoda lineární regrese. Tato metoda se ukázala jako vhodná pro situace, kdy je okolí vodní plochy co nejvíce homogenní. Naopak pro situace, kde je vysoká proměnlivost okolních podmínek jako je využití území, přítomnost vegetace, se metoda ukázala jako méně vhodná až nevhodná. Dosah ochlazovacího účinku se lišil jak mezi samotnými profily, tak v rámci jednotlivých profilů na levém a pravém břehu. Nižší dosahy ochlazovacího účinku byly prokázány v místech, kde na březích byla hustá zástavba. V takových prostorech jsou zhoršené podmínky pro proudění ochlazeného vzduchu od vodní plochy a zároveň je zde vysoký podíl ohřátých ploch. V méně zastavěných oblastech, s větším podílem vegetace, není ohříváno takové množství ploch a zároveň jsou zde lepší podmínky pro proudění ochlazeného vzduchu. V takových situacích je dosah ochlazovacího účinku větší. Vzhledem k použitým metodám nelze považovat dosahy ochlazovacího účinku za přesné, spíše se jedná o náznaky souvislostí mezi dosahem ochlazovacího účinku a vnějších vlivů.

Druhým řešeným scénářem byla vodní nádrž Jiviny během vypuštění z důvodu odbahnění v roce 2020. Zvoleno byl šest sledovaných míst v různých vzdálenost od vodní nádrže. Samotná přítomnost vody v nádrži způsobila nižší povrchové teploty v prostorách nádrže než v jejím okolí. Druhým dílčím závěrem je prokázané ochlazení bodu 2 s přítomností vody v nádrži.

Použité zdroje:

[1] *Co jsou adaptace na změny klimatu* [online] [vid. 2022-02-28]. Dostupné z: <http://www.regio-adaptace.cz/cs/adaptacni-strategie/11.co-jsou-adaptace-na-zmeny-klimatu/>

[2] *Mitigace a adaptační možnosti na změnu klimatu pro ČR | Klimatická změna v České Republice* [online] [vid. 2022-02-28]. Dostupné z: <https://www.klimatickazmena.cz/cs/vse-o-klimaticke-zmene/mitigace-a-adaptacni-moznosti-na-zmenu-klimatu-pro-cr/>

[3] *Mitigace a adaptační možnosti na změnu klimatu pro ČR | Klimatická změna v České Republice* [online] [vid. 2022-02-28]. Dostupné z: <https://www.klimatickazmena.cz/cs/vse-o-klimaticke-zmene/mitigace-a-adaptacni-moznosti-na-zmenu-klimatu-pro-cr/>

[4] *IPCC — Intergovernmental Panel on Climate Change* [online] [vid. 2022-02-28]. Dostupné z: <https://www.ipcc.ch/report/ar4/wg2/inter-relationships-between-adaptation-and-mitigation/fig-18-1>

[5] *Mezivládní panel pro změnu klimatu (IPCC) - Ministerstvo životního prostředí* [online] [vid. 2022-02-28]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/mezivladni_panel_pro_zmenu_klimatu

[6] *History IPCC* [online] [vid. 2022-02-28]. Dostupné z: <https://www.ipcc.ch/about/history/>

[7] *Adaptace na změnu klimatu - Ministerstvo životního prostředí* [online] [vid. 2022-02-28]. Dostupné z: https://www.mzp.cz/cz/adaptace_na_zmenu_klimatu

[8] *Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR.* [online] [vid. 2022-02-28]. Dostupné z: [https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/zmena_klimatu_adaptacni_strategie/\\$FILE/OEOK_Narodni_adaptacni_strategie-aktualizace_20212610.pdf](https://www.mzp.cz/C1257458002F0DC7/cz/zmena_klimatu_adaptacni_strategie/$FILE/OEOK_Narodni_adaptacni_strategie-aktualizace_20212610.pdf)

[9] PONDĚLÍČEK, Michael, Adam EMMER a Vladimíra ŠILHÁNKOVÁ, 2016. *METODIKA TVORBY ADAPTAČNÍ STRATEGIE SÍDEL NA ZMĚNU KLIMATU* [online] [vid. 2022-02-28]. Dostupné z: http://www.adaptacesidel.cz/data/upload/2016/06/metodika_adaptace-mest_verze1.pdf

[10] *STRATEGIE ADAPTACE HLAVNÍHO MĚSTA PRAHY NA ZMĚNU KLIMATU KLIMATU* [online] [vid. 2022-03-11]. Dostupné z: https://iprpraha.cz/uploads/assets/dokumenty/ssp/Adaptacni%20strategie/adaptacni_strategie_7o17.pdf

[11] *ADAPTAČNÍ STRATEGIE MĚSTA CHRUDIM NA KLIMATICKOU ZMĚNU* [online] [vid. 2022-03-11]. Dostupné

z: https://www.dataplan.info/img_upload/7bdb1584e3b8a53d337518d988763f8d/adaptacni-strategie-mesta-chrudim-na-klimatickou-zmenu.pdf

[12] PONDĚLÍČEK, Michael., Vladislav BÍZEK, Adam. EMMER, Aleš. FARDA, Alice. KONČINSKÁ, Eliška LORENCOVÁ, David. KUNSSBERGER, Miroslav LUPAČ, Martin MAŠTÁLKA, Ladislav METELKA, Pavel STRUHA, Miroslav. ŠAFARÍK, Vladimíra ŠILHÁNKOVÁ, Petr ŠTĚPÁNEK, Radim TOLASZ, Miroslav. TRNKA, David VAČKÁŘ a Pavel ZAHRADNÍČEK, [2016]. *Adaptace na změny klimatu*. ISBN 9788087756096.

[13] O.PŘIBYLA, K. ZÁKOPČANOVÁ a O. PECHNÍK, Atlas klimatické změny: Změny v atmosféře a rizika oteplování. Brno: Lipka – školské zařízení pro environmentální vzdělávání Brno, příspěvková organizace, 2020. ISBN 978-80-88212-36-2

[14] Přírodě blízká řešení Katalog adaptačních opatření [online] [vid. 2022-03-22]. Dostupné z: https://adaptacepraha.cz/wp-content/uploads/2021/03/Priode_blizka_reseni_katalog_cesky_web.pdf

[15] *Revitalizace vodních toků* [online] [vid. 2022-03-22]. Dostupné z: <https://strednicechy.ochranaprirody.cz/pece-o-vodni-rezim-krajiny/revitalizace-vodnich-toku/>

[16] Revitalizace povodí Písečné a řeky Moravy u Štěpánova a řeky Moravy u Štěpánova. [online] [vid. 2022-03-22]. Dostupné z: http://www.uprm.cz/data/docs/pismor_studie_na_web/pismor-web.pdf

[17] REURIS-příklady dobré praxe-revitalizací vodních toků v urbanizovaném prostředí na území ČR Unie pro řeku Moravu [online]. [vid. 2022-03-22]. Dostupné z: http://www.uprm.cz/data/docs/projekty/reuris/reuris_studie_7mb.pdf

[18] *Vodní toky v intravilánech* [online] [vid. 2022-03-22]. Dostupné z: <https://strednicechy.ochranaprirody.cz/pece-o-vodni-rezim-krajiny/vodni-toky-v-intravilanech/>

[19] *Rokytky | Pražská příroda* [online] [vid. 2022-03-22]. Dostupné z: <http://www.praha-priroda.cz/vodni-plochy-a-potoky/vodni-toky/rokytky/>

[20] *Projekt – Adapterra Awards* [online] [vid. 2022-03-22]. Dostupné z: <https://www.adapterraawards.eu/Databaze-prikladu/Hangwasserschutz-in-Schwertberg>

[21] NATIONS, United, 2014. World urbanization prospects: The 2014 revision - highlights [online]. Statistical Papers - United Nations (Ser. A), Population and Vital Statistics Report [vid. 2022-04-01]. Dostupné z: doi:10.18356/527E5125-EN

[22] GARTLAND, Lisa, 2012. *Heat Islands: Understanding and mitigating heat in urban areas* [online]. Dostupné z: doi:10.4324/9781849771559

[23] *Learn About Heat Islands | US EPA* [online] [vid. 2022-04-01]. Dostupné z: <https://www.epa.gov/heatislands/learn-about-heat-islands>

- [24] OKE, T. R., 2016. The urban energy balance: <http://dx.doi.org/10.1177/030913338801200401> [online]. **12**(4), 471–508 [vid. 2022-03-15]. ISSN 03091333. Dostupné z: doi:10.1177/030913338801200401
- [25] CALLEJAS, Ivan J. Apolonio, Marta C. J. A. NOGUEIRA, Marcelo Sacardi BIUDES a Luciane Cleonice DURANTE, 2016. SEASONAL VARIATION OF SURFACE ENERGY BALANCE OF A CENTRAL BRAZIL CITY. *Mercator* [online]. **15**(3). Dostupné z: doi:10.4215/rm2016.1503.0006
- [26] YAMAMOTO, Yoshika. *Measures to mitigate urban heat islands*. NISTEP Science & Technology Foresight Center, 2006. [online] [vid. 2022-05-09]. Dostupné z: <https://coolrooftoolkit.org/wp-content/uploads/2012/04/Measures-to-Mitigate-UHI-Yamamoto.pdf>
- [27] ŽÁK, Michal and Pavel ZAHRADNÍČEK, 2017. Tepelný ostrov v Praze a možnosti zmírnění jeho negativních dopadů. [online] [vid. 2022-04-03]. Dostupné z: https://portalzp.praha.eu/public/41/bf/ab/2498938_800079_Tepelny_ostrov_vPraze_MZak.pdf
- [28] *Causes, Effects and Solutions To Urban Heat Island - Conserve Energy Future* [online] [vid. 2022-04-03]. Dostupné z: <https://www.conserve-energy-future.com/effects-solutions-urban-heat-island.php>
- [29] *Portál ČHMÚ: Historická data: Počasí: Mapy stanic* [online] [vid. 2022-04-03]. Dostupné z: <https://www.chmi.cz/historicka-data/pocasi/mapy-stanic>
- [30] PET index: a revised model for improved thermal comfort | ENS-PARIS-SACLAY [online] [vid. 2022-04-03]. Dostupné z: <https://ens-paris-saclay.fr/en/actualite/pet-index-revised-model-improved-thermal-comfort>
- [31] Jan Pokorný, Petra Hesslerová, Vladimír Jirka, Hanna Huryna, Josef Seják *Význam zeleně pro klima města a možnost využití termálních dat v městském prostředí* [online] [vid. 2022-05-09]. Dostupné z: <http://www.uur.cz/images/5-publikacni-cinnost-a-knihovna/casopis/2018/2018-01/04-vyznam-zelene.pdf>
- [32] *Heat Island Cooling Strategies | US EPA* [online] [vid. 2022-04-03]. Dostupné z: <https://www.epa.gov/heatislands/heat-island-cooling-strategies>
- [33] OSMOND, Paul, Ehsan SHARIFI, Gertrud HATVANI-KOVACS, Judy BUSH a Jonathan FOX, 2017. Title Guide to Urban Cooling Strategies.
- [34] PONDĚLÍČEK, Mgr Michael, ZELEŇ MĚST A JEJÍ ÚLOHA VE SVĚTLE KLIMATICKÉ ZMĚNY CITY GREENERY AND ITS ROLE IN THE CLIME CHANGE. [online] [vid. 2022-04-06]. Dostupné z: http://www.regionalnirozvoj.eu/sites/regionalnirozvoj.eu/files/06_zelen_mest_a_jej_i_uloha_f.pdf
- [35] HAN, Soo-Gon, Sun-Hye MUN a Jung-Ho HUH, 2007. *CHANGES OF THE MICRO-CLIMATE AND BUILDING COOLING LOAD DUE TO THE GREEN EFFECT OF A RESTORED*

STREAM IN SEOUL, KOREA [online]. Dostupné

z: http://employees.oneonta.edu/baumanpr/geosat2/Urban_

[36] GUPTA, Neha, Aneesh MATHEW a Sumit KHANDELWAL, 2018. Analysis of cooling effect of water bodies on land surface temperature in nearby region: A case study of Ahmedabad and Chandigarh cities in India [online]. [vid. 2022-04-18]. Dostupné z: [doi:10.1016/j.ejrs.2018.03.007](https://doi.org/10.1016/j.ejrs.2018.03.007)

[37] *Reducing heat with water | Urban green-blue grids* [online] [vid. 2022-04-18]. Dostupné z: <https://www.urbangreenbluegrids.com/heat/reducing-heat-with-water/>

[38] CHEN, Yen Chang, Chih Hung TAN, Chiang WEI a Zi Wen SU, 2014. Cooling effect of rivers on metropolitan Taipei using remote sensing. *International Journal of Environmental Research and Public Health* [online]. **11**(2), 1195–1210. ISSN 16604601. Dostupné z: [doi:10.3390/ijerph110201195](https://doi.org/10.3390/ijerph110201195)

[39] JACOBS, Cor, Lisette KLOK, Michael BRUSE, João CORTESÃO, Sanda LENZHOLZER a Jeroen KLUCK, 2020. Are urban water bodies really cooling? *Urban Climate* [online]. **32**. ISSN 22120955. Dostupné z: [doi:10.1016/j.uclim.2020.100607](https://doi.org/10.1016/j.uclim.2020.100607)

[40] KEMARAU, Ricky Anak a Oliver Valentine EBOY, 2020. Analyses Water Bodies Effect in Mitigation of Urban Heat Effect: Case Study Small Size Cities Kuching, Sarawak. In: *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* [online]. B.m.: Institute of Physics Publishing. ISSN 17551315. Dostupné z: [doi:10.1088/1755-1315/540/1/012010](https://doi.org/10.1088/1755-1315/540/1/012010)

[41] JIANG, Yunfang, Jing HUANG, Tiemao SHI a Hongxiang WANG, 2021. Interaction of urban rivers and green space morphology to mitigate the urban heat island effect: Case-based comparative analysis. *International Journal of Environmental Research and Public Health* [online]. **18**(21). ISSN 16604601. Dostupné z: [doi:10.3390/ijerph182111404](https://doi.org/10.3390/ijerph182111404)

[42] WU, Jian Bin, Kim Chiu CHOW, Jimmy C.H. FUNG, Alexis K.H. LAU a Teng YAO, 2011. Urban heat island effects of the Pearl River Delta city clusters-their interactions and seasonal variation. *Theoretical and Applied Climatology* [online]. **103**(3–4), 489–499. ISSN 14344483. Dostupné z: [doi:10.1007/s00704-010-0323-6](https://doi.org/10.1007/s00704-010-0323-6)

[43] SYAFII, Nedyomukti Imam, Masayuki ICHINOSE, Nyuk Hien WONG, Eiko KUMAKURA, Steve Kardinal JUSUF a Kohei CHIGUSA, 2016. Experimental Study on the Influence of Urban Water Body on Thermal Environment at Outdoor Scale Model. *Procedia Engineering* [online]. **169**, 191–198. ISSN 1877-7058. Dostupné z: [doi:10.1016/J.PROENG.2016.10.023](https://doi.org/10.1016/J.PROENG.2016.10.023)

[44] YANG, Li, Xiaodong LIU a Feng QIAN, 2020. Research on water thermal effect on surrounding environment in summer. *Energy and Buildings* [online]. **207**, 109613 [vid. 2022-03-09]. ISSN 03787788. Dostupné z: [doi:10.1016/J.ENBUILD.2019.109613](https://doi.org/10.1016/J.ENBUILD.2019.109613)

[45] DU, Hongyu, Xuejun SONG, Hong JIANG, Zenghui KAN, Zhibao WANG a Yongli CAI, 2016. Research on the cooling island effects of water body: A case study of Shanghai,

China. *Ecological Indicators* [online]. **67**, 31–38 [vid. 2022-04-19]. ISSN 1470160X. Dostupné z: doi:10.1016/J.ECOLIND.2016.02.040

[46] *Portál hlavního města Prahy* [online] [vid. 2022-04-05]. Dostupné z: https://www.praha.eu/jnp/cz/co_delat_v_praze/o_praze/zakladni_informace/index.html

[47] *Portál ČHMÚ : Historická data : Počasí : Mapy charakteristik klimatu* [online] [vid. 2022-04-05]. Dostupné z: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/charakteristiky_klimatu/img/SRA8110.gif

[48] *Portál ČHMÚ : Historická data : Počasí : Mapy charakteristik klimatu* [online] [vid. 2022-04-05]. Dostupné z: https://www.chmi.cz/files/portal/docs/meteo/ok/charakteristiky_klimatu/img/T8110.gif

[49] *Landsat 8 OLI and TIRS and their uses | U.S. Geological Survey* [online] [vid. 2022-04-05]. Dostupné z: <https://www.usgs.gov/media/images/landsat-8-oli-and-tirs-and-their-uses>

[50] AVDAN, Ugur a Gordana JOVANOVSKA, 2016. Algorithm for Automated Mapping of Land Surface Temperature Using LANDSAT 8 Satellite Data [online]. [vid. 2022-04-06]. Dostupné z: doi:10.1155/2016/1480307

[51] Bc. Martin Hofrajtr. VYUŽITÍ DÁLKOVÉHO PRŮZKUMU ZEMĚ PRO ZKOUMÁNÍ TEPLOTNÍCH CHARAKTERISTIK POVRCHU. Praha, 2019. Diplomová práce. Univerzita Karlova. Přírodověcká fakulta. Katedra aplikované geoinformatiky a kartografie

[52] *VD Jiviny | Pražská příroda* [online] [vid. 2022-04-14]. Dostupné z: <http://www.praha-priroda.cz/vodni-plochy-a-potoky/vodni-plochy-dle-katastru/ruzyne/vd-jiviny/>

[53] *3D model Prahy* [online] [vid. 2022-04-24]. Dostupné z: <https://app.iprpraha.cz/apl/app/model3d/>

[54] Český úřad zeměměřický a katastrální: Prohlížeč služba Esri ArcGIS Server - Základní mapy ČR [online]. Praha [vid. 2022-04-24]. Dostupné z: <https://ags.cuzk.cz/arcgis/services>

[55] Český úřad zeměměřický a katastrální, nedatováno: Prohlížeč služba Esri ArcGIS Server – Ortofotomapa ČR [online]. Praha [vid. 2022-04-24]. Dostupné z: <https://ags.cuzk.cz/arcgis/services>

Seznam obrázků:

Obrázek 1: Trojúhelníkový diagram [2] dostupný na [4]	10
Obrázek 2: Vlivy na změny klimatu [13].....	12
Obrázek 3: Vývoj teplotní anomálie [13]	13
Obrázek 4: Část revitalizovaného koryta v Chrudimi [17] (foto:Lukáš Krejčí, 2009)	23
Obrázek 5: Chrudim-úsek přírodního charakteru [17] (foto:Lukáš Krejčí, 2009)	23
Obrázek 6:Nově rozvlněná kyneta Botiče [18] (foto: Jiří Karnecki, 2008)	24
Obrázek 7: Přírodě blízké řešení v intravilánu [18].....	24
Obrázek 8: Vytvoření nového meandrující koryta v původní nivě [19]	25
Obrázek 9: Retenční nádrž-ochrana před přívalem vodou [20]	25
Obrázek 10: Změna teplot v závislosti na prostředí ve 2 hodiny ráno a ve 4 hodiny odpoledne [23].....	26
Obrázek 11: Energetická bilance [25]	27
Obrázek 12: Příčiny vzniku UHI [26].....	28
Obrázek 13: Praha [54].....	40
Obrázek 14: Spektrální pásma TIRS a OLI [49]	41
Obrázek 15: Umístění stanic v síti Netatmo.....	44
Obrázek 16: Situace profilů	46
Obrázek 17: Detailní pohled na profil A [53]	47
Obrázek 18: Výškový profil A [53]	47
Obrázek 19: Teplotní efekt profil A.....	48
Obrázek 20: Dosah ochlazovacího účinku na levém břehu	49
Obrázek 21: Dosah ochlazovacího účinku na pravém břehu.....	49
Obrázek 22: Detailní pohled na profil B [53].....	51
Obrázek 23: Výškový profil B [53]	51
Obrázek 24: Teplotní efekt profil B [53].....	52
Obrázek 25: Dosah ochlazovacího účinku na levém břehu	53
Obrázek 26: Dosah ochlazovacího účinku na pravém břehu	53
Obrázek 27: Detailní pohled na profil C [53].....	55
Obrázek 28: Výškový profil C [53]	55
Obrázek 29:Teplotní efekt profil C.....	56
Obrázek 30: Dosah ochlazovacího účinku na levém břehu	57
Obrázek 31: Dosah ochlazovacího účinku na pravém břehu	57
Obrázek 32: Detailní pohled profil D [53]	59
Obrázek 33: Výškový profil D [53].....	59
Obrázek 34:Teplotní efekt profil D.....	60
Obrázek 35: Dosah ochlazovacího účinku na levém břehu	61
Obrázek 36: Dosah ochlazovacího účinku na pravém břehu	61
Obrázek 37: Situace sledovaných míst [55]	64
Obrázek 38: Graf povrchových teplot sledovaných bodů.....	65
Obrázek 39: Teplotní mapa Jiviny 26.9.2021	76
Obrázek 40: Teplotní mapa Jiviny 15.6.2021	77
Obrázek 41: Teplotní mapa Jiviny 30.7.2020	78

Obrázek 42: Teplotní mapa Jiviny 24.7.2021	79
Obrázek 43: Teplotní mapa Jiviny 6.8.2020	80
Obrázek 44: Teplotní mapa Jiviny 26.6.2019	81
Obrázek 45: Teplotní mapa Jiviny 14.7.2020	82

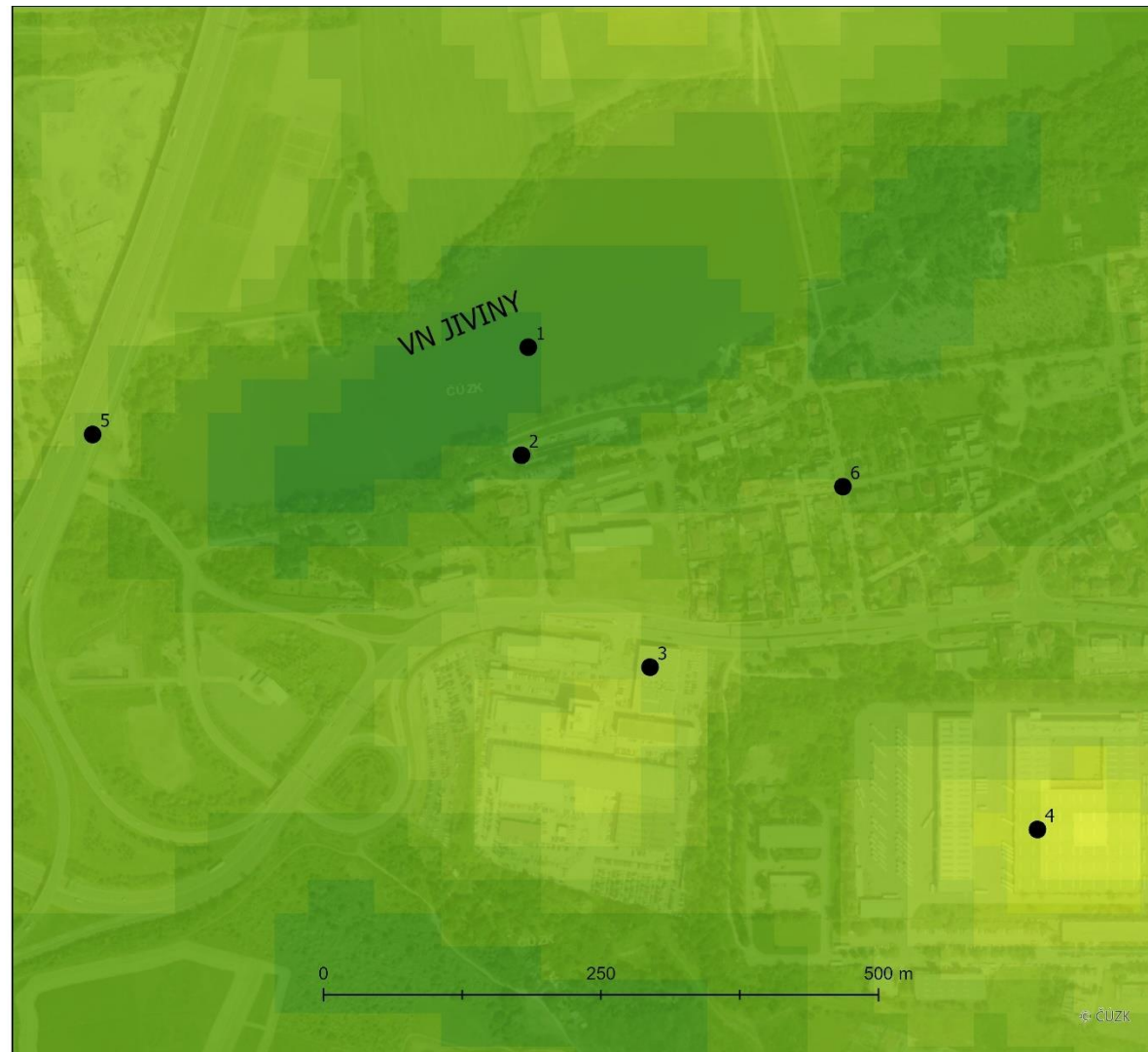
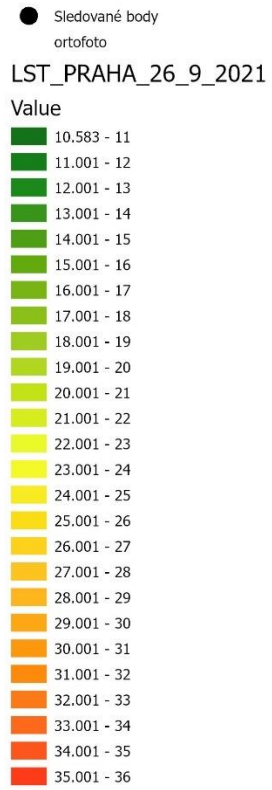
Seznam tabulek:

Tabulka 1: Specifické cíle a opatření na území Prahy	22
Tabulka 2: Průměrné měsíční teploty v Praze	40
Tabulka 3: Vybraná data	42
Tabulka 4: Porovnání hodnot teplot z map a stanic sítě Netatmo	44
Tabulka 5: Dosah ochlazovacího účinku v profilu A	50
Tabulka 6: Dosah ochlazovacího účinku v profilu B	54
Tabulka 7: Dosah ochlazovacího účinku v profilu C	58
Tabulka 8: Dosah ochlazovacího účinku v profilu D	62
Tabulka 9: Vzdálenost bodů od vodní plochy	64
Tabulka 10: Povrchové teploty sledovaných bodů ve stupních Celsia	64
Tabulka 11: Rozdíl teplot mezi bodem 4 a ostatními body	65
Tabulka 12: Vlhkosti ve stanicích sítě Netatmo	66
Tabulka 13: Rozdíl teplot mezi bodem 4 a ostatními body po vyjmutí 26.6.2021	66
Tabulka 14: Rozdíl teplot mezi body 6-2	67

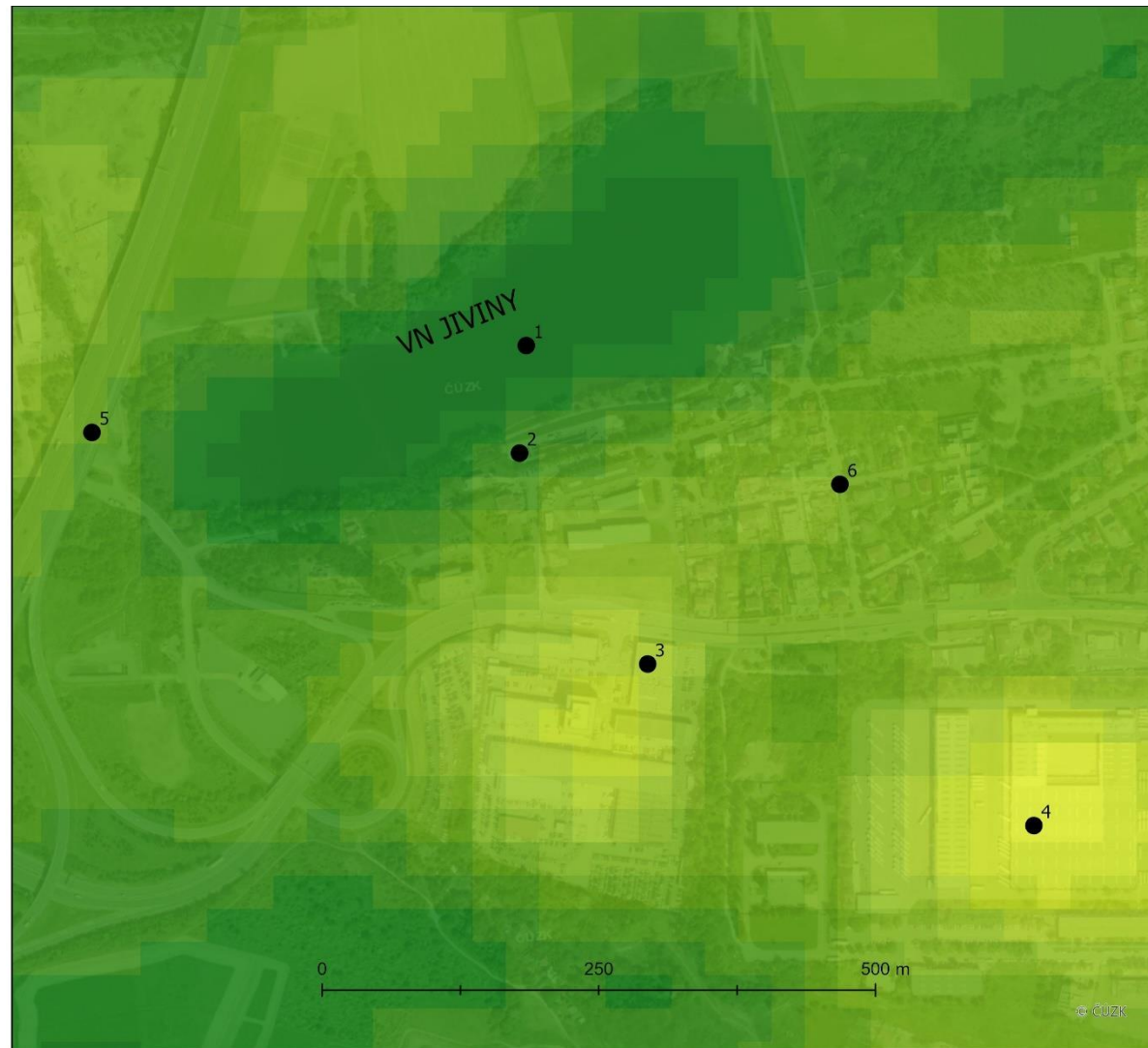
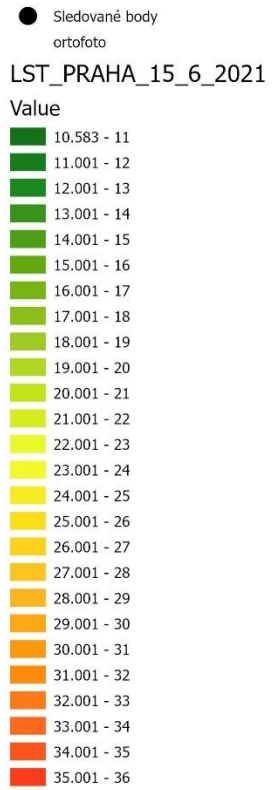
Přílohy:

Pro teplotní mapy jednotlivých profilů je použita stejná stupnice jako u map situace Jiviny.

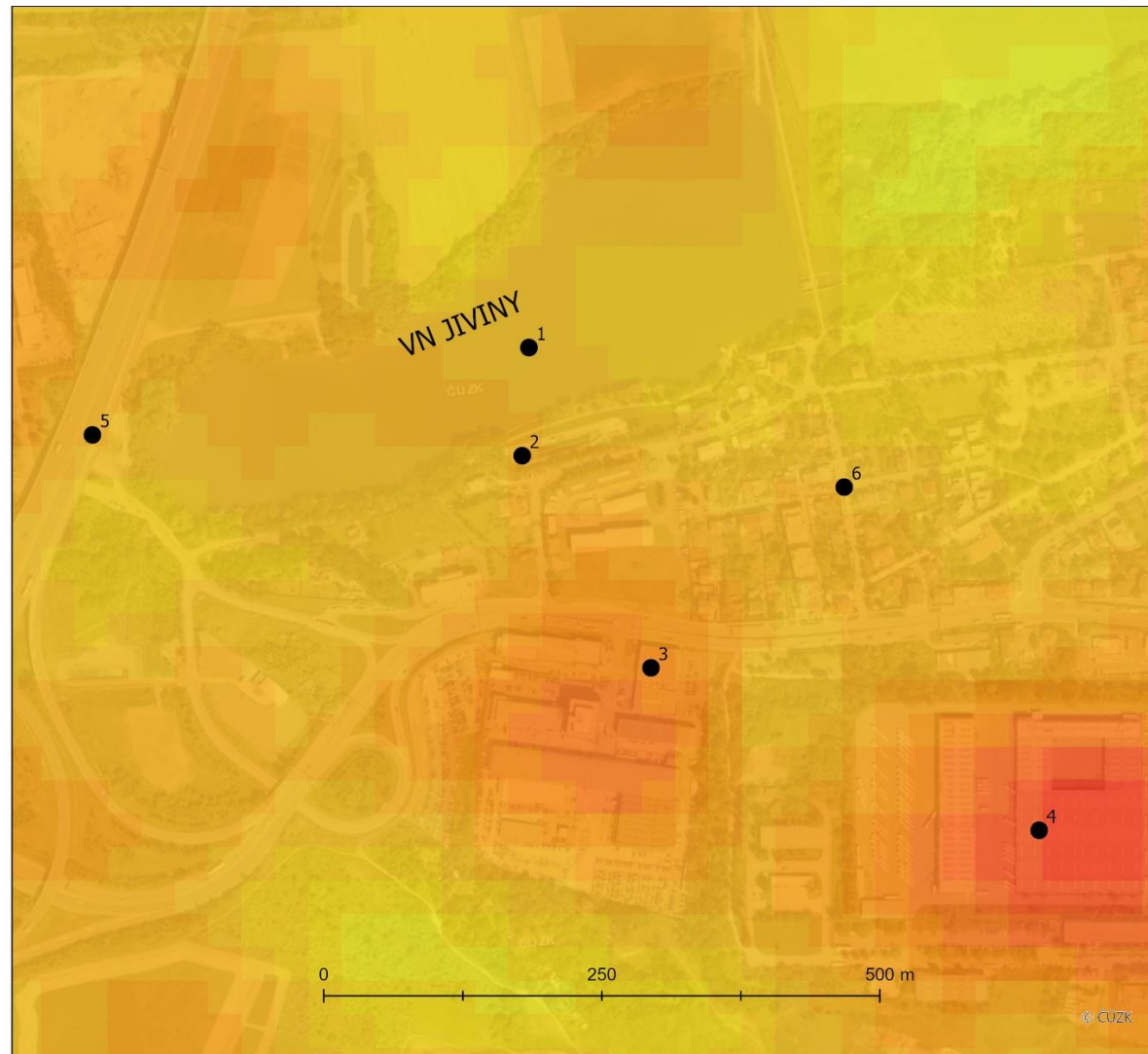
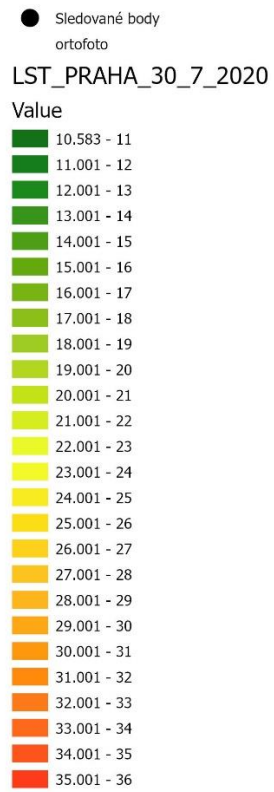
Mapy povrchových teplot Jiviny:



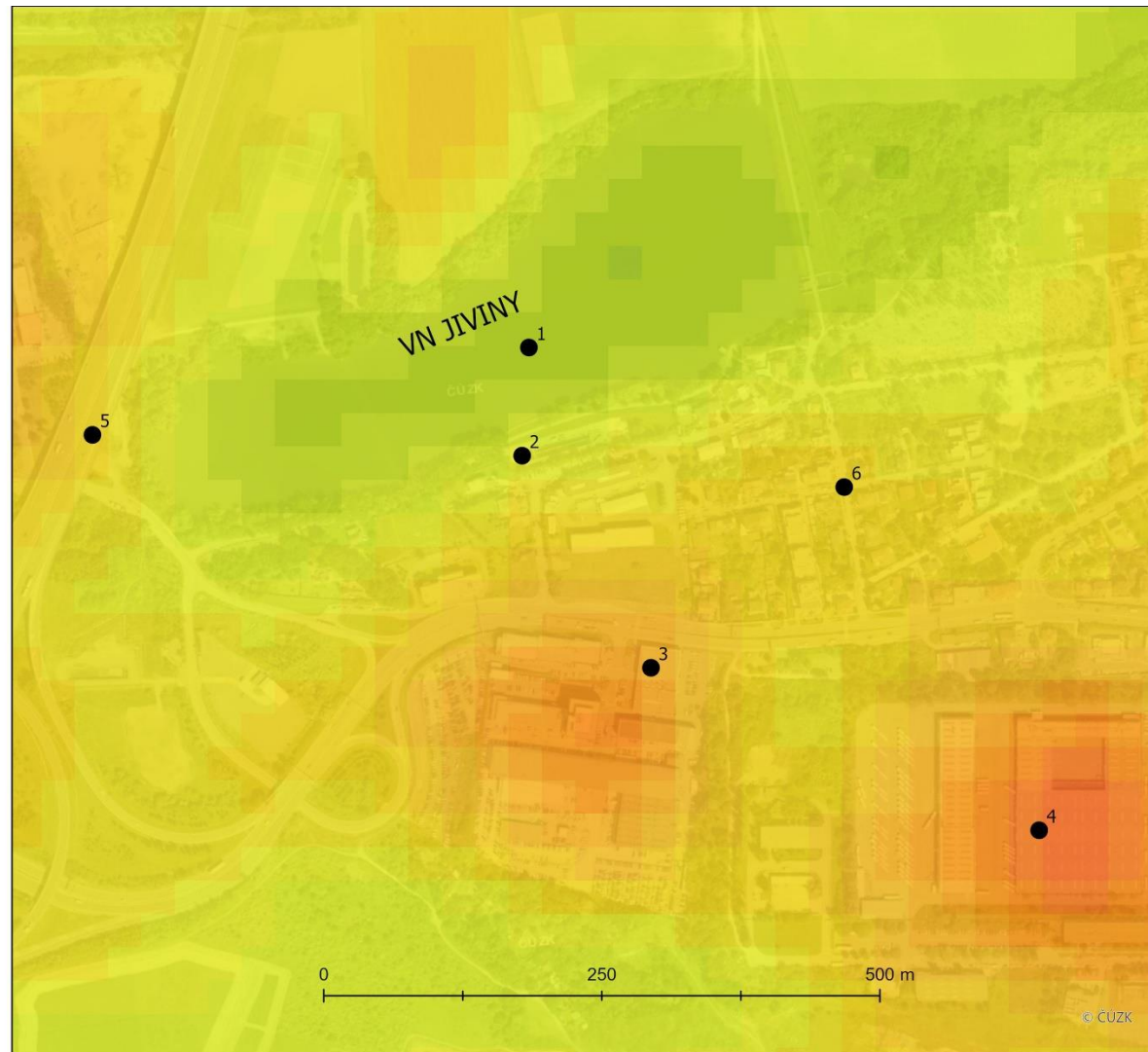
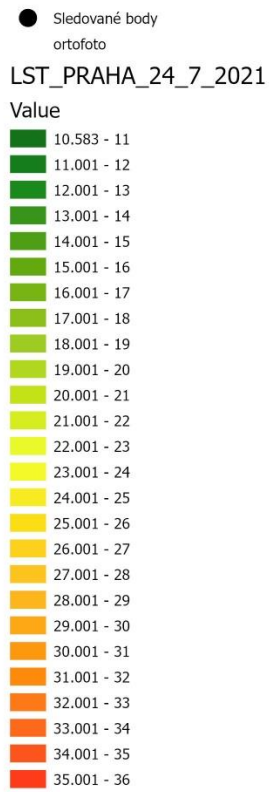
Obrázek 39: Teplotní mapa Jiviny 26.9.2021



Obrázek 40: Teplotní mapa Jiviny 15.6.2021



Obrázek 41: Teplotní mapa Jiviny 30.7.2020

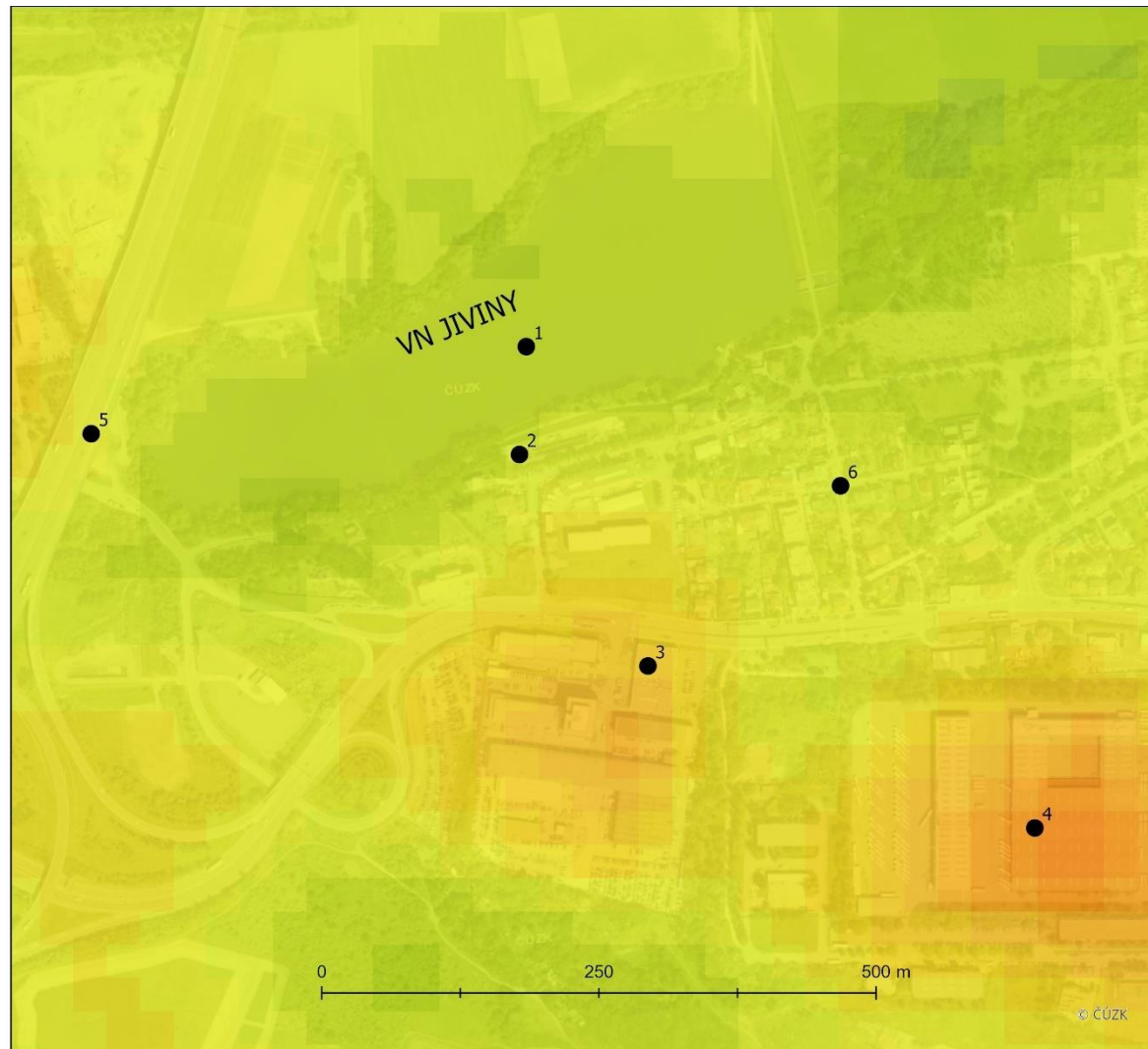
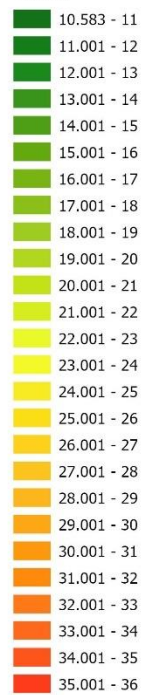


Obrázek 42: Teplotní mapa Jiviny 24.7.2021

● Sledované body
ortofoto

LST_PRAHA_6_8_2020

Value

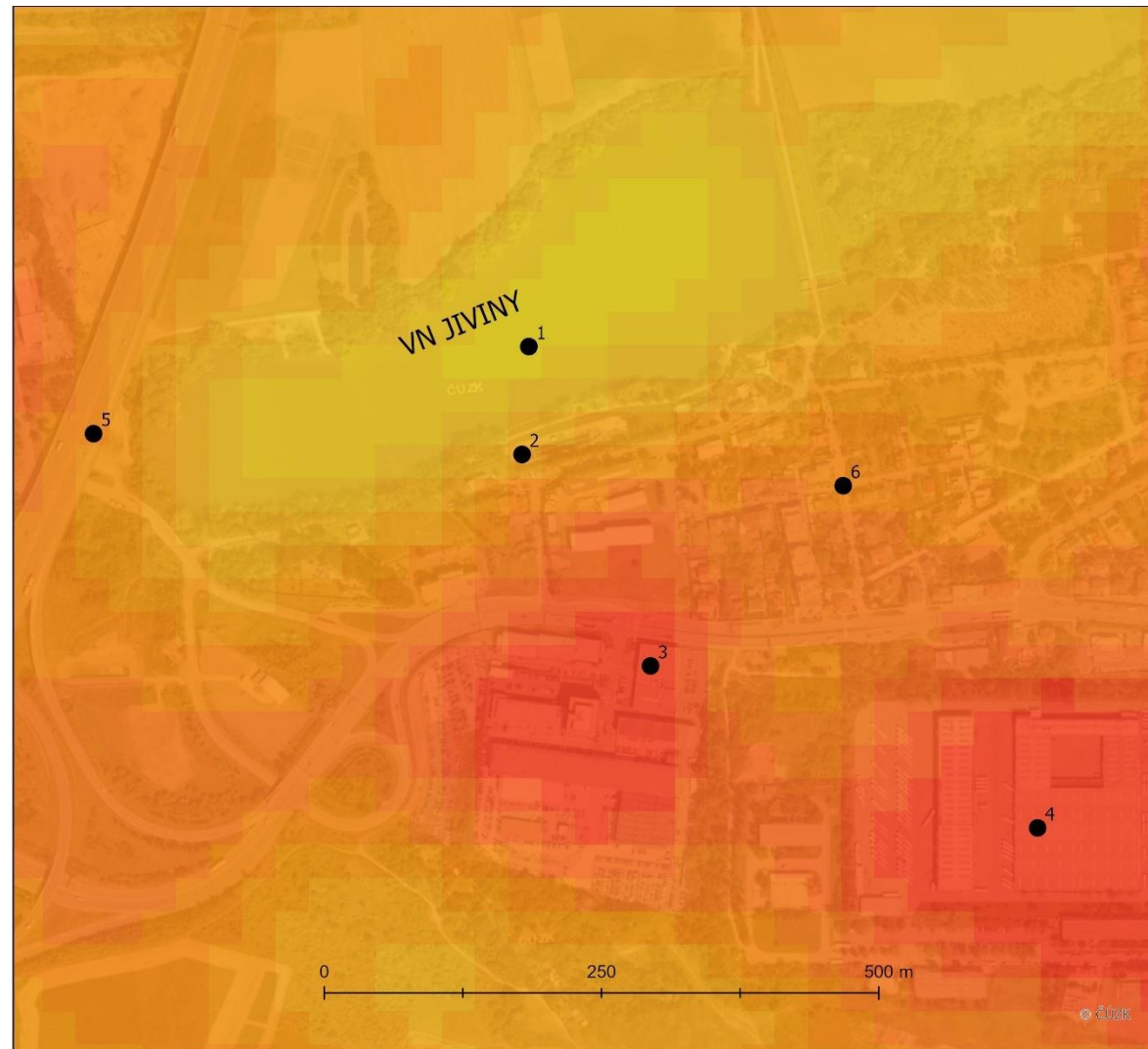
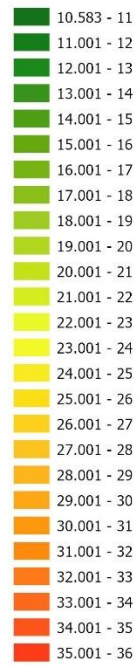


Obrázek 43: Teplotní mapa Jiviny 6.8.2020

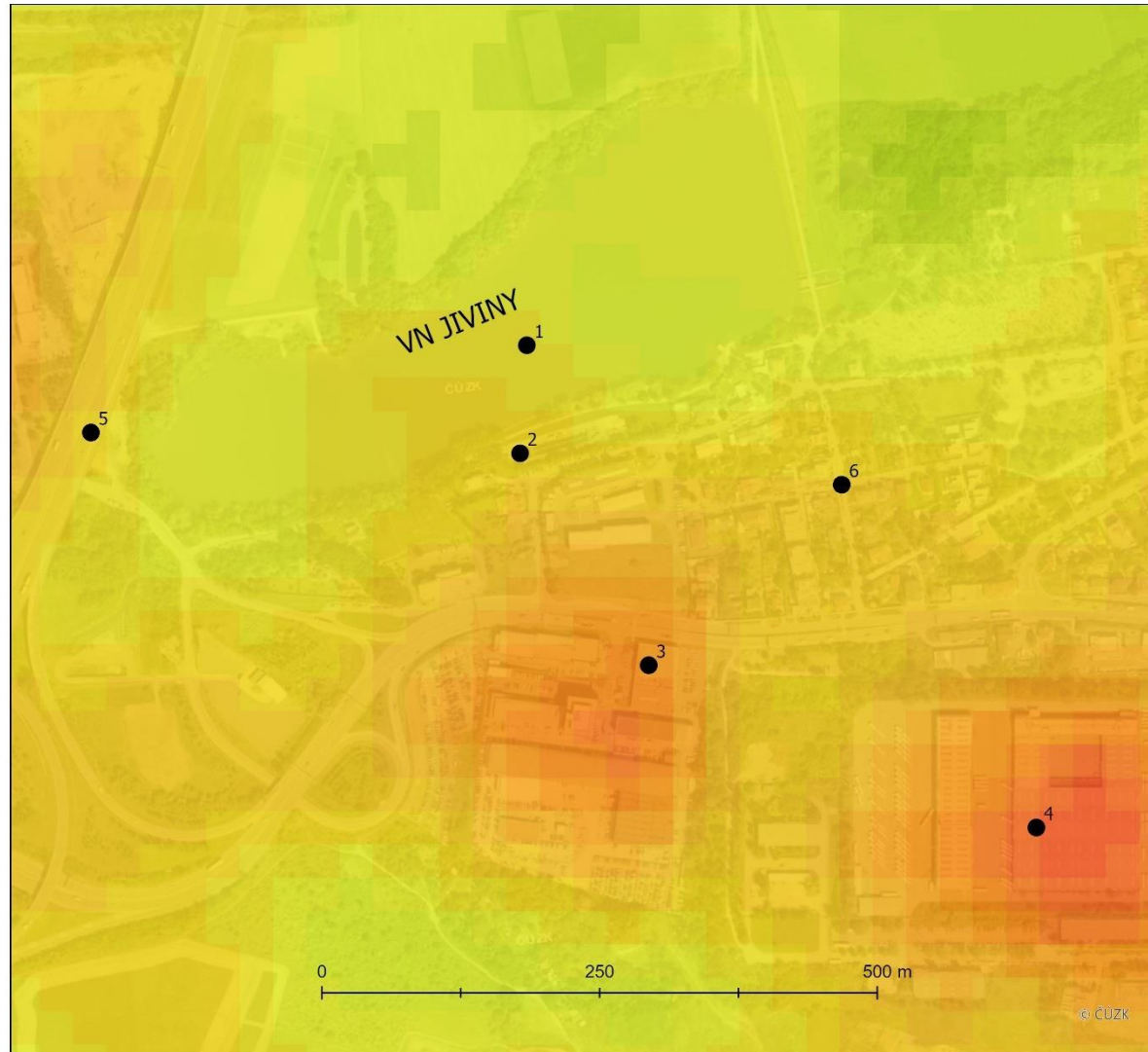
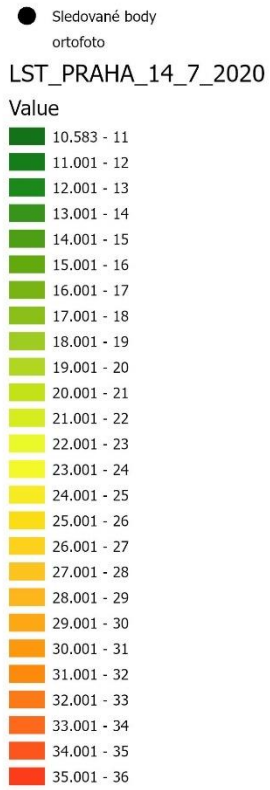
● Sledované body
ortofoto

LST_PRAHA_26_6_2019

Value

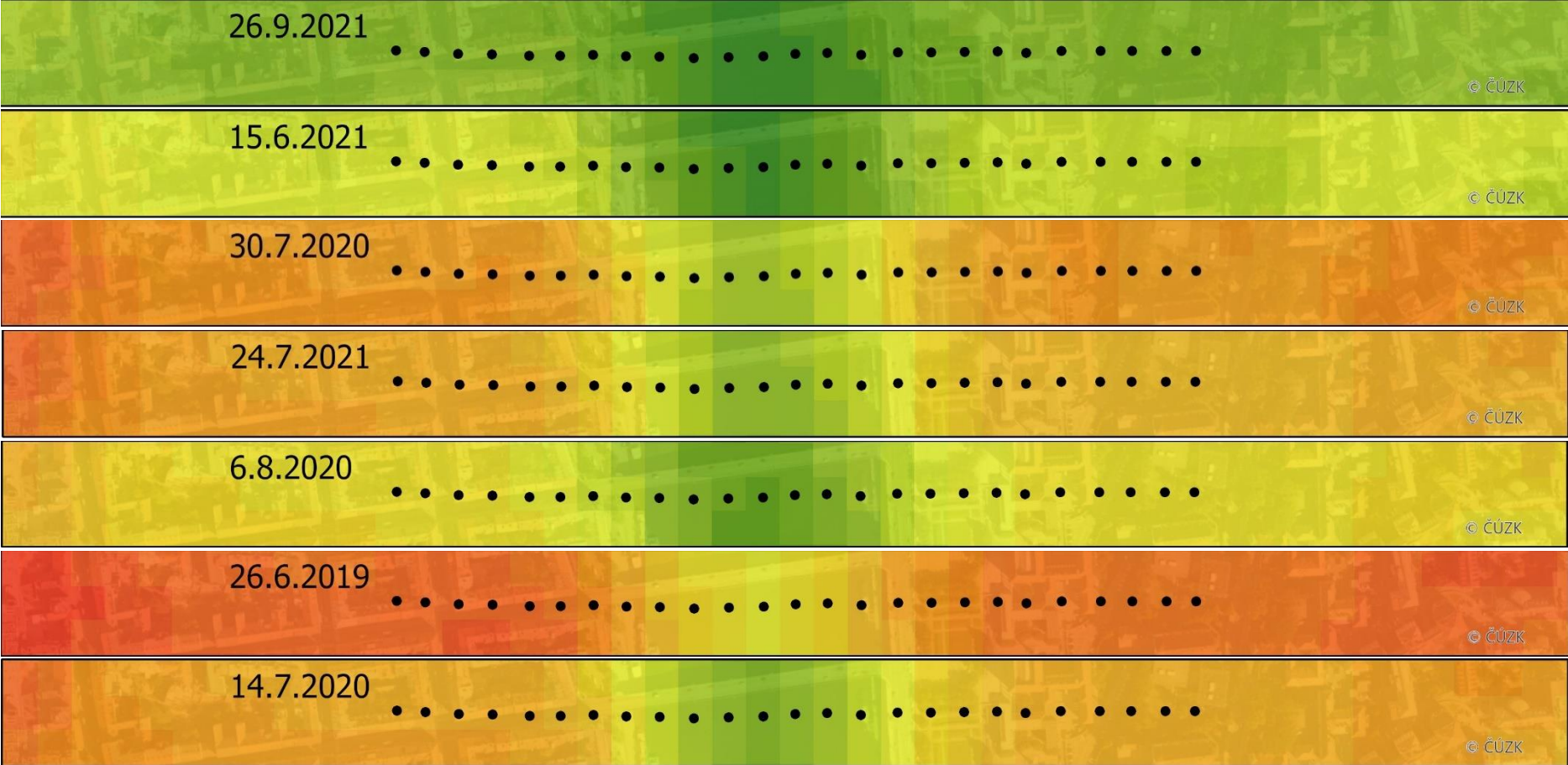


Obrázek 44: Teplotní mapa Jiviny 26.6.2019

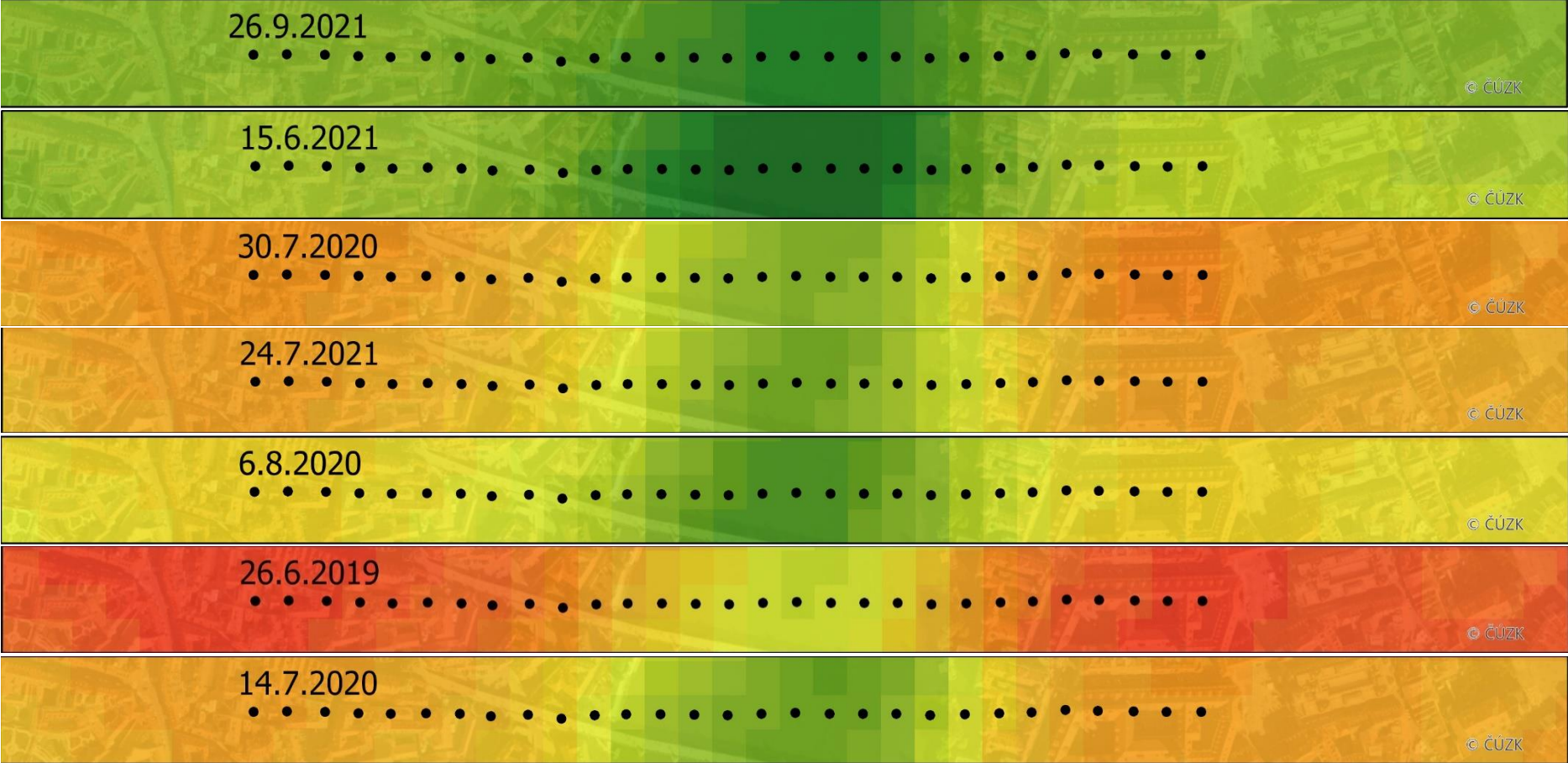


Obrázek 45: Teplotní mapa Jiviny 14.7.2020

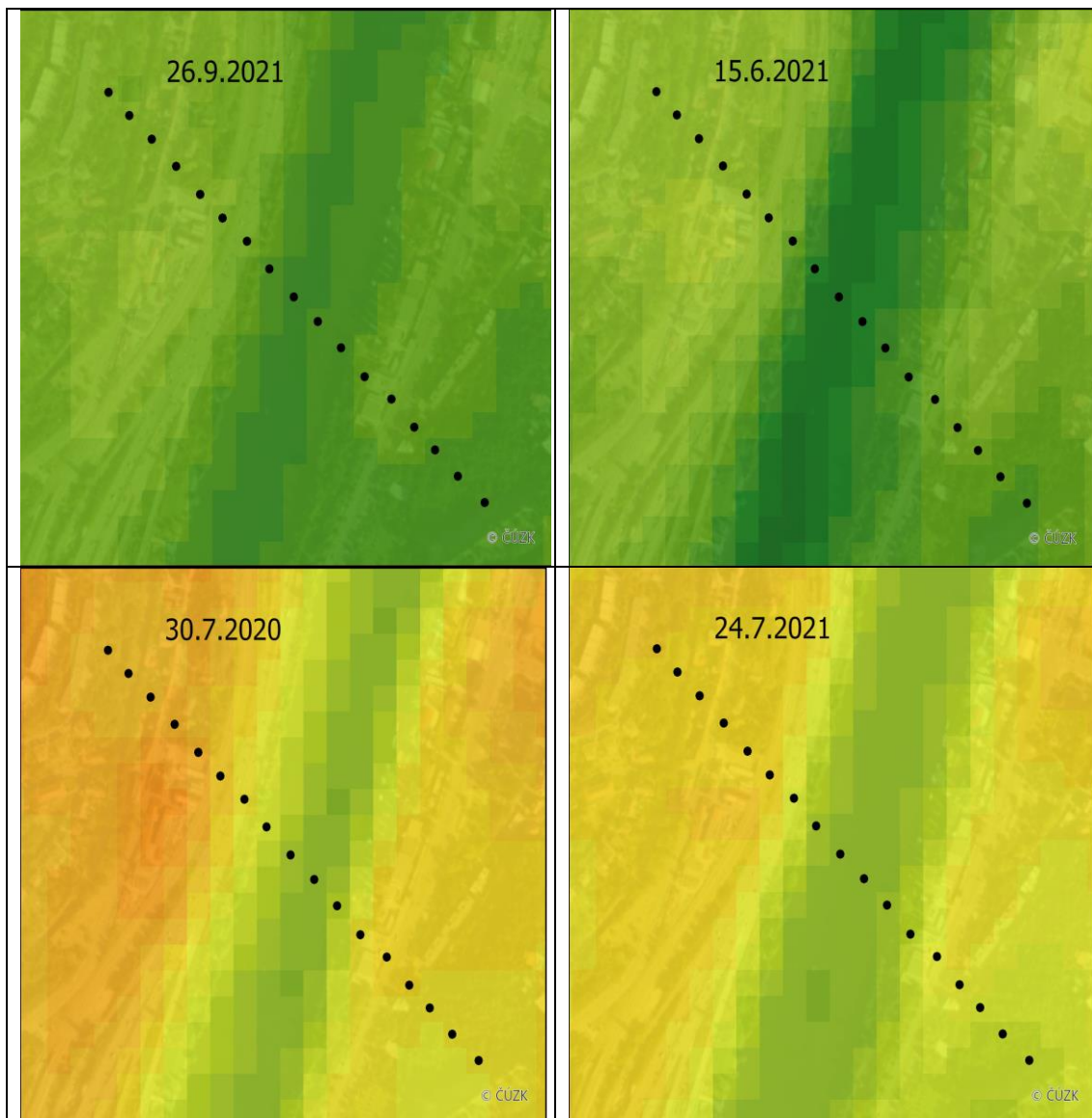
Mapy povrchových teplot-profil A

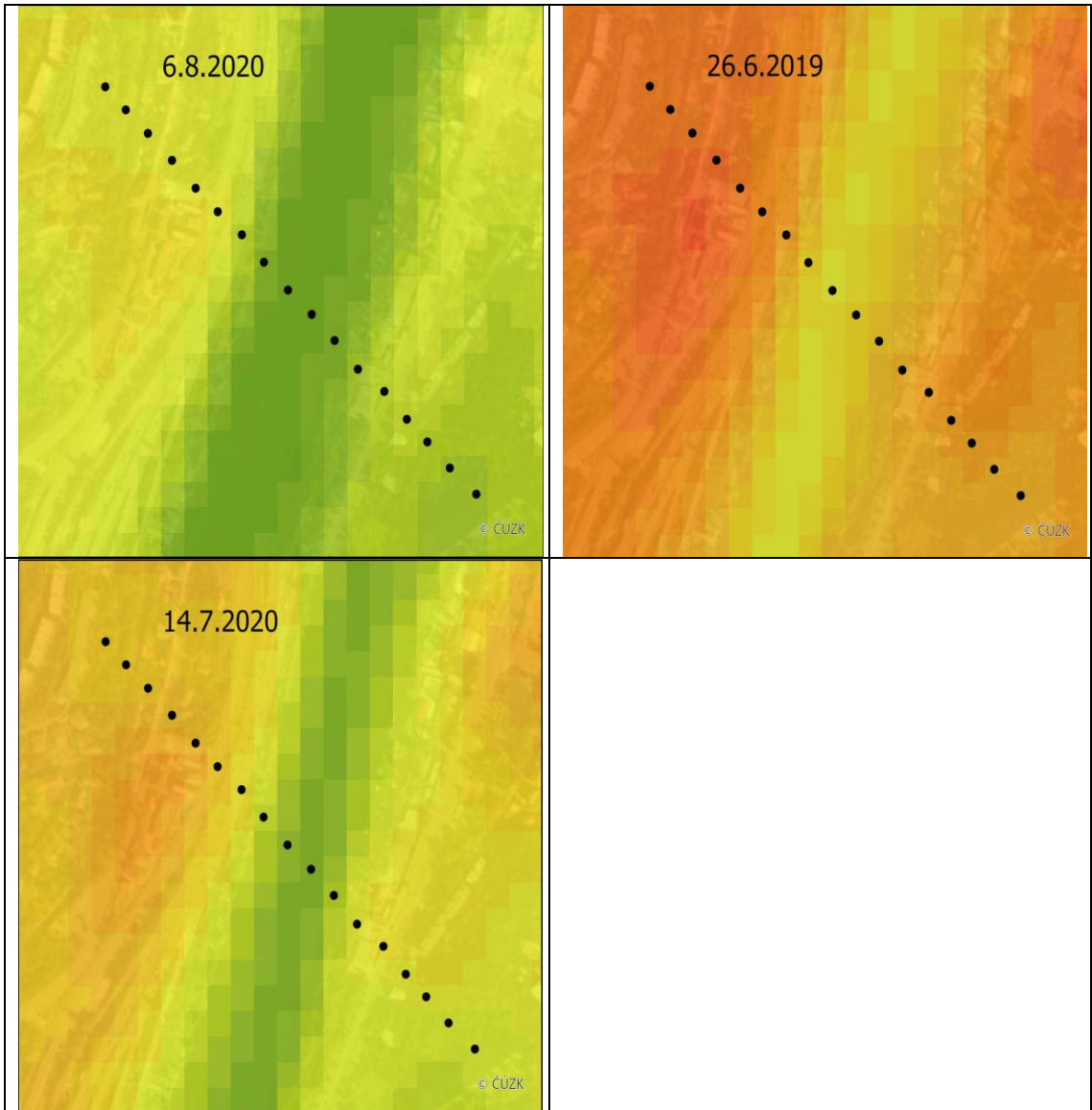


Mapy povrchových teplot-profil B



Mapy povrchových teplot-profil C





Mapy povrchových teplot-profil D

