

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA APLIKOVANÉ GEOINFORMATIKY A ÚZEMNÍHO PLÁNOVÁNÍ

Posouzení vlivu zelených střech na regulaci teplot
mikroklimatu za využití satelitních snímků

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vedoucí práce: Ing. David Moravec, Ph.D.

Autorka: Bc. Anna Beková

2019

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Bc. Anna Beková

Krajinné a pozemkové úpravy

Název práce

Posouzení vlivu zelených střech na regulaci teplot mikroklimatu za využití satelitních snímků

Název anglicky

Assessing the green roofs impact on the regulation of microclimate temperatures through remote sensing

Cíle práce

Zelené střechy představují jednu z možností navýšení zastoupení ploch zeleně v husté zástavbě, což by mohlo vést k pasivnímu chlazení měst a zároveň k předcházení růstu efektu městského tepelného ostrova. Cílem této práce je vyhodnotit vliv vybraných zelených střech na teplotu.

Metodika

S prudkým rozvojem dálkového průzkumu Země a současnou dostupností kvalitních satelitních snímků v infračerveném spektru lze získat informace o teplotě povrchu na rozsáhlých územích. Autorka zpracuje literární rešerši z oblasti satelitního snímkování se zaměřením na tepelné pásmo. Z vhodných satelitů získá data potřebná k vytvoření map teplot řešených území. Vypočtené hodnoty následně porovná v rámci vybraných kategorií.

Doporučený rozsah práce

40 stran

Klíčová slova

Dálkový průzkum Země, městský tepelný ostrov, městská zeleň, termální snímání

Doporučené zdroje informací

- Akbari, H., Menon, S., & Rosenfeld, A. (2009). Global cooling: increasing world-wide urban albedos to offset CO 2. *Climatic change*, 94(3-4), 275-286.
- Berardi, U. (2016). The outdoor microclimate benefits and energy saving resulting from green roofs retrofits. *Energy and Buildings*, 121, 217-229.
- Onmura, S., Matsumoto, M., & Hokoi, S. (2001). Study on evaporative cooling effect of roof lawn gardens. *Energy and buildings*, 33(7), 653-666.
- Peng, L., & Jim, C. (2013). Green-roof effects on neighborhood microclimate and human thermal sensation. *Energies*, 6(2), 598-618.
- Santamouris, M. (2014). Cooling the cities—a review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. *Solar energy*, 103, 682-703.
- Speak, A. F., Rothwell, J. J., Lindley, S. J., & Smith, C. L. (2013). Reduction of the urban cooling effects of an intensive green roof due to vegetation damage. *Urban Climate*, 3, 40-55.

Předběžný termín obhajoby

2018/19 LS – FŽP

Vedoucí práce

Ing. David Moravec, Ph.D.

Garantující pracoviště

Katedra aplikované geoinformatiky a územního plánování

Elektronicky schváleno dne 25. 3. 2019

doc. Ing. Petra Šímová, Ph.D.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 26. 3. 2019

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 30. 03. 2019

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracovala samostatně, pod vedením Ing. Davida Moravce, Ph.D., a že jsem uvedla veškeré literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpala.

V Praze dne:

Podpis:

Poděkování

Děkuji Ing. Davidu Moravcovi, Ph.D za vedení diplomové práce, za jeho cenné rady a konzultace. Dále bych chtěla poděkovat mé rodině a přátelům, kteří mě během studií podporovali a umožnili mi je. V neposlední řadě také přátelům, kteří mi poskytovali oporu.

Abstrakt

Zelené střechy představují jednu z možností adaptace zastavěného prostředí na změnu klimatu, kdy navýšením ploch zeleně v zastavěných oblastech přispívají k chlazení měst. Cílem této práce je vyhodnotit vliv vybraných extenzivních zelených střech na regulaci teplot okolí. K vypočtení povrchové teploty byly využity volně dostupné satelitní snímky družice Sentinel 2 a Landsat 8. Na základě snímků družice Sentinel 2 došlo k výpočtu hodnot emisivity objektů a následně při kombinaci s termálním pásmem družice Landsat 8 k vytvoření map povrchové teploty. Řešené zelené střechy jsou čtyři a nalézají se v San Franciscu, v městě New York, v Praze a v Pekingu. Pro porovnání teplot na povrchu zelených střech bylo vybráno šest srovnávacích ploch, které byly rozděleny do dvou skupin na základě převládajícího materiálu. První srovnávací skupinou byly plochy zeleně s odlišným zastoupením vzrostlé vegetace, které zastupovaly kategorie tvořené především bylinnou vegetací s označením 'tráva', kombinací bylinné a dřevinné vegetace s označením 'park' a samotným zastoupením dřevin s označením 'stromy'. Druhá skupina lišící se typem zástavby byla také tvořena třemi kategoriemi, a to rozsáhlou plochou střechou bez vegetačního pokryvu, hustou zástavbou bez vegetace a zástavbou se zelení v ulicích. Teplota zelených střech a srovnávacích ploch byla hodnocena v průběhu roku se zaměřením na letní období. Zelená střecha se svým teplotním chováním nejvíce přibližovala travnaté ploše na uliční úrovni. V letním období byl chladicí efekt skupiny zeleně vyšší pro všechna studijní území a s rostoucím zastoupením dřevinné vegetace se zvyšoval. Naopak rozsáhlá plochá střecha byla ve všech případech teplejší než zelená střecha, a to jak v ročním průměru, tak i v letním období, kdy byla její teplota vyšší o (sestupně) o +15,7 °C pro Peking, o +11,3 °C pro město New York, o +6,2 °C pro Prahu a o +4,4 °C pro San Francisco. Kategorie zástavba se zelení stejně jako celá skupina zeleně prokázala efekt pouliční vegetace, kdy byla v letním období pro dvě ze čtyř studijních oblastí chladnější než zelená střecha. Zelená střecha je na základě výsledků nedostatečná náhrada za park či skupiny stromů, ale při instalaci na rozsáhlé střeše obchodních center či skladů má výrazný efekt na snížení povrchové teploty střechy, a to především v letních měsících, které jsou z hlediska teplotního komfortu lidí nejvýznamnější.

Klíčová slova: Dálkový průzkum Země, městský tepelný ostrov, městská zeleň, termální snímání

Abstract

Green roofs represent one of the options to adapt cities to climate change. By increasing greenery in built-up areas, they contribute to urban cooling. The aim of this work is to evaluate the influence of selected extensive green roofs on temperature regulation. Currently available satellite images of Sentinel 2 and Landsat 8 were used to calculate the land surface temperature. The observed green roofs are four and they are in San Francisco, New York City, Prague and Beijing. To evaluate the impact of the green roof on surrounding microclimate the surface temperatures were compared to specific close areas. Selected areas were divided into two groups based on the prevailing material. The first comparative group was greenery with a different proportion of mature vegetation, which represented categories consisting mainly of herbaceous vegetation marked 'grass', a combination of herbal and woody vegetation with the designation 'park' and the woody vegetation with the designation 'trees'. The second group, which differed in the type of district, was also made up of three categories, namely a large flat roof without vegetation cover, dense buildings without vegetation and buildings with greenery in the streets. The temperature of green roofs and reference areas was evaluated over the year with a focus on summer months. The thermal behaviour of the green roof was the closest to the grass area on the street level. The cooling effect of the greenery group was higher than the green roof's for all study areas in the summer months. With a higher proportion of woody vegetation the effect grew bigger. On the contrary, the large flat roof was in all cases warmer than the green roof, both on an annual average and in the summer, when its temperature was higher by +15.7 ° C for Beijing, +11.3 ° C for New York City, + 6.2 ° C for Prague and +4.4 ° C for San Francisco. The category of buildings with greenery in the streets also proved the cooling effect of the vegetation as it was colder than the green roof for two of the four study areas during the summer. Based on the results, the green roof is not a sufficient substitute for a park or group of trees, but when it is installed on a large roof of shopping centres or warehouses, it has a significant effect on reducing the roof's surface temperature, especially during the summer months, which are most important in terms of thermal comfort.

Keywords: Remote sensing, urban heat island, urban greenery, thermal sensing

Obsah

1 Úvod	10
2 Cíle práce	11
3 Literární rešerše	12
3.1 Zelené střechy.....	12
3.1.1 Vývoj.....	12
3.1.2 Typy zelených střech	13
3.1.3 Význam	14
3.1.4 Legislativa.....	15
3.1.5 Způsob podpory zelených střech	16
3.1.6 Státní podpora výstavby v ČR.....	16
3.2 Dálkový průzkum Země.....	17
3.2.1 Vývoj DPZ.....	17
3.2.2 Princip DPZ	18
3.2.3 Metody DPZ.....	21
3.2.4 Satelitní snímkování	21
4 Charakteristika studijního území	26
4.1 Jacob K. Javits Convention Center ve městě New York	26
4.2 OC Nový Smíchov v Praze	27
4.3 California Academy of Sciences v San Franciscu.....	28
4.4 Mezinárodní letiště Peking	29
5 Metodika	30
5.1 Použité zdroje dat	30
5.1.1 Satelitní snímky	31
5.1.2 Atmosférické korekce	32
5.2 Zpracování dat	32
5.2.1 Mapa emisivity	34
5.2.2 Mapa teplot.....	35
5.2.3 Porovnání výsledků	38
6 Současný stav řešené problematiky	40

7 Výsledky práce	42
7.1 Vývoj teplot v průběhu roku dle studijní oblasti	42
7.1.1 New York	42
7.1.2 Praha	45
7.1.3 San Francisco	47
7.1.4 Peking	49
7.2 Chování povrchů v letním období	51
7.2.1 New York	51
7.2.2 Praha	51
7.2.3 San Francisco	52
7.2.4 Peking	52
8 Diskuze	54
9 Závěr	57
Přehled literatury a použitých zdrojů	59
Seznam obrázků	64
Seznam tabulek	65
Přílohy	66

1 Úvod

V rámci územního rozvoje dochází k nárůstu zájmu o porozumění následkům klimatických změn a požadovaným úpravám, které by je napomohly zmírnit a současně by podpořily odolnost měst (Alcazar et al., 2016). Jejich vývoj bude zásadní, protože města jsou v současné době domovem pro více než 3 miliardy lidí a dle očekávaného vývoje přibudou během příštích 30 let další 2 miliardy lidí v městských oblastech rozvojového světa (Cohen, 2006). Tím se adaptace zastavěného prostředí na změnu klimatu stává stejně důležitou jako samotné zmírňování změny (Gupta et Gregg, 2012). Zvýšené množství zeleně v zastavěném prostředí poskytuje pasivní chlazení, které je stále častěji považované za příznivou adaptační techniku na zvyšující se teploty (Speak et al., 2013). Další z opatření na snížení teplot je zlepšení povrchového krytu budov, které vede ke zmírnění fenoménu městského tepelného ostrova (Takebayashi et Moriyama, 2007). Efekt městského tepelného ostrova je typický zvýšenou teplotou v městských oblastech ve srovnání s okolím. Je způsoben vysokým výskytem nepropustných ploch a úbytkem zeleně spolu se vznikem tepla způsobeného lidskou činností (Kato et Yamaguchi, 2007). Vyšší městské teploty mají velmi významný dopad na lidský komfort a zdraví a také na spotřebu elektrické energie. Jejich výskyt totiž vyvolává potřebu umělého ochlazování sídel pomocí klimatizace (Santamouris et al., 2001). Možnou adaptací na zvyšující se teploty je zachování a podpora stávajících ploch zeleně a jejich rozšiřování. Významné navýšení zelených ploch však není v rámci existujících zastavěných ploch možné, a proto bude nutné přidávat zeleň tvořivě za maximálního využití prostoru (Gill et al., 2007). Střechy ve městech zaujímají 20-25 % ploch (Akbari et al., 2009) a jsou často nevyužívané. Z toho důvodu je ozeleňování střech považováno za důležitý nástroj ke zlepšení podmínek mikroklimatu. Zelené střechy díky schopnosti snižovat podíl infračerveného záření odraženého od povrchu zamezují přehřívání vzduchu a pomáhají tak vytvořit komfortní podmínky (Alcazar et al., 2016). Pro posouzení vlivu zelených střech na regulaci teplot mikroklimatu byly využity volně dostupné satelitní snímky. Satelitní údaje jsou velmi užitečné pro studium klimatu na povrchu země (Jin et Dickinson, 2010), neboť díky tepelným infračerveným sensorům na palubě družic je možné získat informace o povrchové teplotě rozsáhlé části země relativně efektivně a levně (Zhan et al., 2016). Tato práce je zaměřena na identifikaci ročního vývoje teploty povrchu zelených střech a porovnání s reprezentativními plochami v okolí, jelikož obdobná studie v dostupné literatuře stále chybí.

2 Cíle práce

Předkládaná diplomová práce si klade za cíl zhodnotit vliv zelených střech na regulaci teplot v mikroklimatu čtyř studijních území pomocí dálkového průzkumu Země. Hlavním cílem je vypočtení povrchové teploty z volně dostupných satelitních snímků ve vybraných studijních oblastech. Teplota na povrchu zelených střech bude následně porovnána s blízkými plochami dle zvolených kategorií. Součástí diplomové práce je literární rešerše odborné literatury, charakteristika studijních oblastí, metodika a vyhodnocení výsledků práce. Mezi hlavní úkoly práce patřilo:

- Výběr vhodných studijních území a získání potřebných satelitních snímků pro jejich analýzu
- Vytvoření mapy emisivity na základě satelitního snímku družice Sentinel 2
- Vytvoření mapy teploty na základě mapy emisivity a termálního spektrálního pásma 10 družice Landsat 8
- Porovnání získaných teplot v rámci zvolených kategorií

3 Literární rešerše

3.1 Zelené střechy

Zelené střechy označují střešní zahrady (Grant et al., 2003), neboli střechy jejichž povrch je pokryt vegetací se substrátem (Oberndorfer et al., 2007).

3.1.1 Vývoj

Z historického hlediska není zeleň na střechách ničím neobvyklým, neboť se vyskytovala již na prvotních obydlích lidí, poté co opustili přírodní jeskynní útvary. Střechy přístřešků tvořily původně nahromaděné větve a splétané proutí, později u chatrčí byly střechy zpevňovány drny a jílem, na kterých z náletových semen vyrostla zeleň, která zlepšila izolační funkci (Šimečková et Večeřová, 2010). V případě teplých oblastí poskytovaly střechy chladnější vnitřní prostředí, zatímco ve studených oblastech docházelo k hromadění tepla (Čermáková et Mužíková, 2009). Postupem času probíhalo nahrazování zelených částí domu a namísto nutné součásti obydlí se zelené střechy stávaly symbolem bohatství panovníků. Poprvé se dle dochovaných záznamů objevily zelené střechy na Blízkém východě v podobě střešních sadů, místy původu jsou tedy zřejmě Asýrie a Babylon (Čermáková et Mužíková, 2009). I když přesné údaje o jejich umístění a vzhledu nejsou zaznamenány, předpokládá se, že Visuté zahrady Semiramidiny, které byly postaveny někdy mezi osmým až šestým stoletím před naším letopočtem v Mezopotámii, byly vyvýšené zavlažované terasy osázené skupinami stromů (Grant et al., 2003). Po pádu Mezopotámie se zelené střechy přesunuly do Evropy do řecké a římské říše. Dokladem jsou ozeleněné plochy a terasy objevené při vykopávkách v Pompejích, ale i jejich zobrazení v byzantském evangeliu a modlitebních knihách. Od poloviny 11. století vznikaly střešní a terasové zahrady hlavně v Itálii (například u pálce Medicejských) a ve Francii, později i v Německu a v Anglii (Čermáková et Mužíková, 2009). Usilovně byl výzkum a s ním spojené aplikace zelených střech ve městech prováděn především v Německu, které se díky šíření výsledků provedených výzkumů stalo hlavním světovým propagátorem (Dostál et al., 2016).

V České republice je historický výskyt zelených střech spjat především s panovnickými sídly. Nejstarší střešní zahrada v ČR se nachází na střeše bývalých stájí v zámeckém areálu Lipník nad Bečvou, následována je zahradou terasy na zámku Konopiště. Budova se střechou pokrytou zelení je Písecká brána, která původně tvořila součást barokního opevnění Prahy. Od 60. let 20. století se nachází

střešní zahrada také na Skleněném paláci v Praze. V roce 2001 došlo k realizaci největší zelené střechy v ČR, kdy byla ozeleněna střecha Kulturního a obchodního centra Nový Smíchov (Čermáková et Mužíková, 2009). Mezi další větší stavby se zelenou střechou v hlavním městě patří například Central park, Obchodní centrum Chodov a budova ČSOB Radlická. V Brně se jedná třeba o administrativní komplex Titanium a campus Masarykovy univerzity. V Moravskoslezském kraji jde například o Svět techniky v Ostravě-Vítkovicích a Tenis Hotel v Třinci. Dle Svazu zakládání a údržby zeleně vzrostla plocha nově vybudovaných ozeleněných střech od roku 2016 do roku 2017 o polovinu, a to na 195 000 m² (Ekolist, 2018).

3.1.2 Typy zelených střech

Typ vegetace vykazuje významný vliv na chlazení zelené střechy a účinky tepelné pohody (Peng et Jim, 2013). Obecně existují dva typy moderních systémů zelených střech podle typu vegetace, a to intenzivní a extenzivní. Intenzivní ozelenění střech se vyznačují hluboko kořenícími rostlinami (> 15 cm) a příležitostmi pro různorodé rostlinné patro na střeše, ale také vysokými náklady a náročnou údržbou. Extenzivní zelené střechy jsou naopak navrženy tak, aby byly lehké, s hmotností nižší než 160 kg/m² (Šimečková, 2005), a nepožadovaly navýšení nosnosti střešní konstrukce (Carter et Keeler, 2008). K ozelenění je využívána vegetace s vysokou schopností autoregulace, která dokáže dostatečně prosperovat v omezeném stavu vody a živin s minimální péčí člověka, zahrnující pouze (půl)roční kontrolu s odstraněním nežádoucích jedinců a případným přihnojením substrátu (Burian et al., 2016). Převážně se jedná o sucho tolerantní druhy s mělkým zakořeněním (5-15 cm), které se umějí přizpůsobit extrémním podmínkám (Carter et Keeler, 2008). Chladicí efekt intenzivních zelených střech v místě střechy i v jejím okolí významně překonává extenzivní zelené střechy a to jak na úrovni střechy, tak i na uliční úrovni (Peng et Jim, 2013). Kumar et Kaushik (2004) potvrzují, že s narůstajícím množstvím vegetace dochází v letním období k poklesu teploty.

Dále je možné střechy rozlišovat dle přístupnosti na nepochozí, pochozí a pobytové či dle převažující funkce na retenční, podporující biodiverzitu, kombinované s fotovoltaikou nebo pěšební. Dle sklonu se jedná o ploché, šikmé a strmé a konečně dle skladby vegetačního souvrství na jednovrstvé a vícevrstvé (Šimečková, 2005). Pro účely práce je hlavním parametrem rozdělení typ vegetace.

3.1.3 Význam

Přehřívání měst má za následek stoupaní ohřátého vzduchu, které současně zvedá prach, nečistoty a škodliviny, a tím přispívá k vdechování škodlivých látek lidmi. Naproti tomu rostliny jsou v prašném prostředí měst schopné zachytit prachové částice přítomné ve vzduchu, absorbovat plynné škodliviny a aerosoly a v případě zatížených oblastí i těžké kovy (Čermáková et Mužíková, 2009). Ozeleněné střechy v horkém prostředí snižují povrchové teploty střech a mohou přispět i ke snížení teploty uvnitř místnosti pod nimi (Kumar et Kaushik, 2005). Mimo snížení elektrické spotřeby budovy může dojít i ke snížení tepelných ztrát budovy, a to o 10-30 % (Čermáková et Mužíková, 2009). Ovlivnění mikroklima zelených střech je dáno schopností vegetace stínit budovu, poskytovat chlazení pomocí evapotranspirace a zvýšit míru odrazivosti ploch ve srovnání s běžnými stavebními materiály (Grant et al., 2003).

Kromě zlepšení stavu ovzduší a tepelného komfortu dochází díky zeleným střechám k zadržování dešťové vody nejčastějších dešťových srážek až drobných bouřek. V momentu, kdy dojde k nasycení půdní vrstvy, poté k dalšímu zadržení srážek nedochází a voda odtéká (Carter et Rasmussen, 2007). Zadržením vody a navazujícím odpařováním dochází k ochlazení a zvlhčování okolního vzduchu, který je schopný na sebe navázat prachové částice (Čermáková et Mužíková, 2009). Dalším nesporným významem zelených střech je zvyšování biologické rozmanitosti, neboť poskytují cenná stanoviště v městské krajině, která do značné míry postrádá vegetaci (Partridge et Clark 2018). Akční plány pro biologickou rozmanitost identifikují několik druhů, které mohou mít prospěch ze zelených střech a to včetně netopýrů, několika ptáků, brouků, much, včel, vos a pavouků (Grant et al., 2003). Zpevněné povrchy také s větší pravděpodobností odrazí zvuk (Getter et Rowe, 2006), zatímco zelené střechy pohlcují zvuky a přispívají k tlumení hluku především o vyšších frekvencích (Čermáková et Mužíková, 2009). Zelené střechy vegetací na střeše budovy nahrazují vegetační ztrátu, kterou stavba svým vznikem způsobila (Getter et Rowe, 2006). V tomto směru je ale nutné mít na paměti fakt, že hloubka substrátu je velmi omezená. Proto z hlediska půdních podmínek a i menších rozměrů není toto nahrazení zcela kompenzační (Grant et al., 2003). Zelené střechy bez ohledu na hloubku substrátu přidávají estetickou hodnotu nevyužívaným střešním plochám, které se vyskytují ve většině měst (Liu et Bass, 2005). Kromě výše vyjmenovaného dochází vegetací zelených střech k produkci kyslíku a spotřebě oxidu uhličitého (Čermáková et Mužíková, 2009).

Naopak nevýhodou zelených střech je nutnost pečlivé hydroizolace k zamezení poškození staveb a vyšší cena, která je způsobena především náklady na nosnou konstrukci a provedení všech nutných vrstev (Čermáková et Mužíková, 2009).

3.1.4 Legislativa

Tato kapitola vychází z publikace autorů Dostál et al. (2017). Zelené střechy jsou v české legislativě zmiňovány pouze okrajově a na jejich oporu v zákonech lze usuzovat podle uznávaných výhod staveb. V zákoně č. 183/2006 sb., o územním plánování a stavebním řádu (stavební zákon) je zmíněn cíl územního plánování vytvářet novou výstavbou udržitelný rozvoj území a podmínky pro ochranu území a pro snižování nebezpečí ekologických a přírodních katastrof. Dle zákona č. 114/1992 sb., o ochraně přírody a krajiny se zajišťuje ochrana přírody a krajiny spoluúčastí v procesu územního plánování a stavebního řízení s cílem prosazovat vytváření ekologicky vyvážené a esteticky hodnotné krajiny. Zákon č. 254/2001 sb., o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon) se týká především nutnosti vyřešit odtokové poměry navrhovaných staveb, ale uvádí příslib státního příspěvku na opatření ve veřejném zájmu, která by vedla k vsakování, zadržování a odvádění srážkových vod.

Kromě samotných zákonů je při projektování zelených střech nutné pohlížet na technické normy, nicméně vlastní normu zelené střechy zatím nemají. Následuje výčet norem, které se problematiky zelených střech týkají. Jedná se především o ČSN 73 1901 Navrhování střech – základní ustanovení, ve které je uveden sklon střech, provedení hydroizolace, zajištění vstupu na střechu, bezpečnostní požadavky a další. Doplněním zmíněné normy je TNV 95 9011 Hospodaření se srážkovými vodami. Dále se může jednat o ČSN 75 6760 Vnitřní kanalizace, ČSN 73 0540 Tepelná ochrana budov, ČSN EN 13948 Hydroizolační pásy a fólie – asfaltové, plastové a pryžové pásy a fólie pro hydroizolaci střech – stanovení odolnosti proti prorůstání kořenů rostlin a ČSN EN 1991-1-1 Zatížení konstrukcí – část 1-1: Obecná zatížení.

Samostatným dokumentem, který shrnuje požadavky při navrhování jsou Standardy pro navrhování, provádění a údržbu – Vegetační souvrství zelených střech vydané Svazem zakládání a údržby zeleně.

3.1.5 Způsob podpory zelených střech

Základním způsobem podpory jsou přímé finanční pobídky prostřednictvím podpory či dotace. Další možností je motivační snížení platby za odpadní vody z dešťových srážek či regulační opatření v rámci místních rozvojových plánů (Šimečková et Večeřová, 2010). Dotace jsou možné na státní či lokální úrovni. V minulosti například vláda v Pekingu podpořila výstavbu zelených střech před pořádáním olympijských her v roce 2008, díky čemuž došlo k vytvoření více než 100 000 m² zelených střech od roku 2005 (Lohry, 2013). V rakouském Linci byla na základě sníženého stavu městské zeleně již v roce 1985 zavedena opatření vedoucí k nárůstu ozelenování střech, kdy město až do roku 2005 přispívalo na výstavbu zelených střech až 30 % její ceny, od roku 2005 byla podpora omezena na 5 % ceny do maximální výše 7500 EUR. Zavedená podpora napomohla výstavbě a v roce 2010 byla evidována plocha zelených střech ve městě 400 000 m² (Šimečková et Večeřová, 2010). U našeho dalšího souseda došlo k velkému rozvoji zelených střech a v roce 2016 byla sestavena první komplexní strategie pro zelené střechy pro Hamburg. Město chce během příštího roku ozelenit střechy o rozloze 100 ha, a proto poskytuje dotace ve výši až 60 % ceny instalace. Současně budou majitelé budov zvýhodněni polovičním snížením poplatků za odtok dešťové vody (Ministry for Environment and Energy, 2016). S účinností od 1. ledna 2017 se San Francisco stalo prvním americkým městem, které požaduje solární (a) nebo zelené střechy na 15-30 % střešní plochy většině nových staveb (San Francisco Planning, 2019). V roce 2017 došlo k zavedení zákona, který vymáhal instalaci zelených střech na budovách s střechou větší než 2323 m² v Denveru. Následující rok ale došlo z důvodu protestů stavebních společností a majitelů ploch k přepracování zákona. V současnosti jsou požadovány světlé střechy a investoři si mohou vybrat, zda stavbu ozelení, vybaví obnovitelnými zdroji nebo zaplatí poplatek odvíjející se od rozlohy plochy, ze kterého budou hrazeny instalace na jiném místě (Pyzyk, 2018).

3.1.6 Státní podpora výstavby v ČR

V České republice je podpora výstavby zelených střech aplikována pouze na státní úrovni prostřednictvím programu Ministerstva životního prostředí Nová zelená úsporám (Dostál et al., 2016). V rámci tohoto programu je od roku 2017 možné žádat o dotaci na výstavbu zelené střechy, která spadá do kategorie Rodinné domy – zateplení. O dotaci musí žádat vlastník rodinného domu elektronicky, a to před zahájením, v průběhu nebo po dokončení prací. V případě, že nebudou vymezené finance vyčerpány dříve, dojde k ukončení příjmu žádostí 31. prosince 2021. Nárok

na dotaci mají pouze stavby s uděleným stavebním povolením před 1. červencem 2007 a od září roku 2018 je možné stavbu provést svépomocí. Celková výše podpory při dodržení stanovených podmínek je aktuálně 500 Kč/m² (Státní fond životního prostředí ČR, 2019).

3.2 Dálkový průzkum Země

Jako dálkový průzkum Země (DPZ) je označována metoda vedoucí k získu informací o objektech a jevech bez přímého kontaktu s nimi (Halounová et Pavelka, 2005).

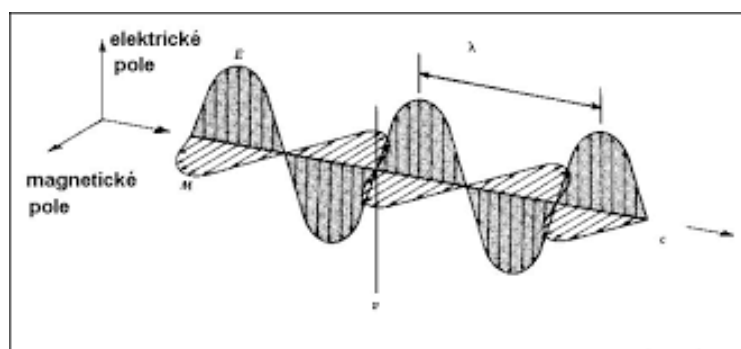
3.2.1 Vývoj DPZ

Dálkový průzkum Země vděčí svému rozvoji především za rychlost, operativnost a opakovatelnost, kterou umožňuje získání informací o zemském povrchu. Díky technologickému rozvoji jsou překážky využití v podobě neoptimálního prostorového rozlišení překonávány (Dobrovolný, 1998). Anglický ekvivalent pojmu „dálkový průzkum Země“ byl poprvé představen v roce 1960 Evelyn L. Pruitt z Úřadu pro námořní výzkum v USA. Ten zahrnuje i letecké snímkování, které jako první přineslo snímek povrchu Země z dálky, a to již v roce 1858 (Baumann, 2014), kdy francouzský fotograf pořídil fotografii z výšky 80 metrů při letu balónem (Dobrovolný, 1998). Kromě balónů docházelo i k experimentování s využitím holubů či papírových draků (Dobrovolný, 1998), ale širší využití přineslo až využití letadel za první světové války a rozvoj letecké fotogrammetrie (Dornič, 1992). Snímkování pro vojenské účely za druhé světové války pokračovalo a k jejímu konci se pojí začátek vývoje letů do vesmíru, vynález radaru a využívání mikrovlnných vlnových délek (Halounová et Pavelka, 2005).

První snímek zemského povrchu z družice byl pořízen družicí Explorer v roce 1958. Dva roky poté následovala první meteorologická družice TIROS-1, která jako první pozorovala změny počasí. Zpočátku byly družice vybaveny kamerami, které zaznamenávaly jevy ve viditelné části záření. Později došlo k vylepšení a doplnění nosičů systémy schopnými záznamu i jiných vlnových délek. Za zlomový okamžik vývoje satelitních systémů je považováno vypuštění družice ERTS-1 v roce 1972, která byla později přejmenována na Landsat 1 (Halounová et Pavelka, 2005).

3.2.2 Princip DPZ

Dálkový průzkum využívá odlišných vlastností objektů na zemském povrchu, kdy přístroje instalované na leteckých nebo satelitních nosičích měří intenzitu odraženého záření nebo energie. Intenzita je závislá na schopnosti pozorovaného objektu odrazet, pohlcovat nebo vyzařovat elektromagnetickou energii (Dornič, 1992). Zdrojem elektromagnetického záření může být Slunce nebo Země a vyzařují ho nebo odrážejí všechny objekty, které mají vyšší teplotu než je absolutní nula, tedy $-273,15\text{ }^{\circ}\text{C}$ (Dobrovolný, 1998). Elektromagnetické záření se pohybuje rychlostí světla a jak název napovídá, skládá se z elektrického a magnetického pole, viz obrázek 1.

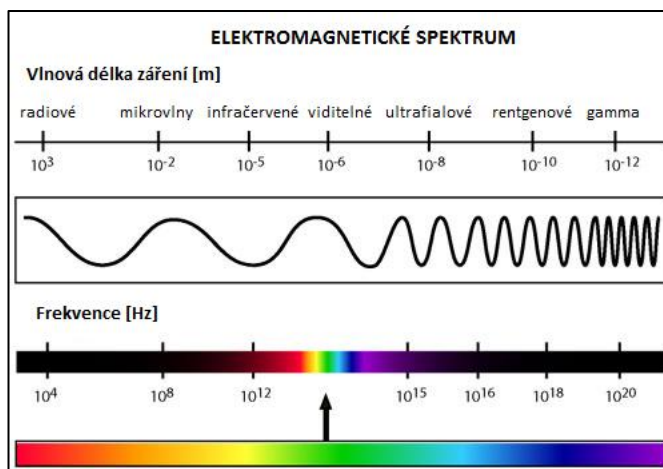


Obr. 1 Elektromagnetické záření (Dobrovolný, 1998)

Kromě základních složek jsou na obr. 1 označeny i základní charakteristiky elektromagnetického záření vlnová délka (α) a frekvence (ν). Vlnová délka značí vzdálenost mezi dvěma sousedícími vrcholy vln, zatímco frekvence počet vrcholů vlny za jednotku času. Vzájemně jsou tyto charakteristiky nepřímo úměrné, neboť rychlost šíření $c = \alpha \cdot \nu$.

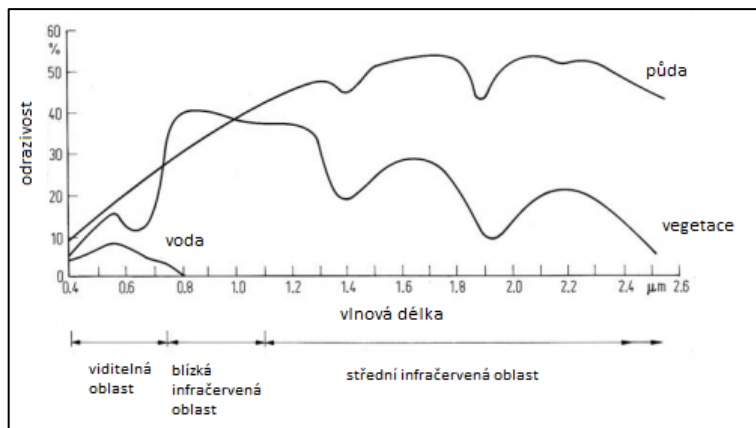
Záření je při průchodu atmosférou ovlivňováno především jejím pohlcováním a rozptylem, nicméně vliv atmosféry se mění v závislosti na vlnové délce záření, délce dráhy záření a také na aktuálních atmosférických podmínkách. Oblasti, které jsou charakteristické minimálním pohlcováním a rozptylem se nazývají atmosférická okna (Dobrovolný, 1998). V rámci těchto oken je možné snímat minimálně ovlivněnou intenzitu odrazu, a proto jsou v rozpětí vlnových délek atmosférických oken nastavované senzory. Celkový rozsah vlnových délek elektromagnetického záření je označován jako elektromagnetické spektrum a dle velikosti vlnových délek

ho lze rozdělit na základní oblasti, které uvádí následující obrázek od nejdelších vlnových délek až po ty nejkratší.



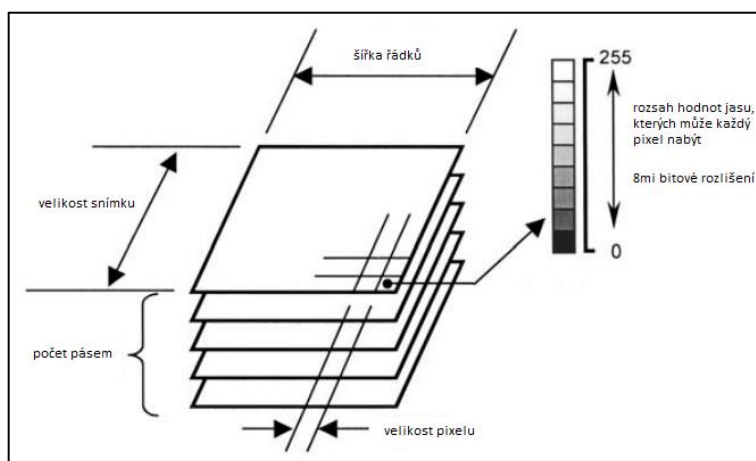
Obr. 2 Elektromagnetické spektrum (CENIA, 2016)

Oblast označená na obr. 2 hodnotou 10^{-6} je viditelná část spektra, která nabývá hodnot vlnových délek od 380 do 720 nm. Tato oblast je lidskému vnímání nejbližší, neboť ji registrujeme zrakem. Právě v této části spektra začalo snímání povrchu země a následně došlo k pokroku jak v poznání výhod ostatních pásem, tak i v technologickém pokroku, který je umožnil využívat (CENIA, 2016). Pomocí dalších skupin spektra se lze zaměřit na detekci různých prvků. To je dáno odlišnou interakcí povrchů objektů s jednotlivými částmi spektra. Na základě spektrálních vlastností lze tedy rozlišit různé objekty na zemi a stanovit jejich charakteristiku (Dornič, 1992). Často využívaným prvkem je například chování vegetace v infračerveném pásmu, neboť je na nich díky své spektrální křivce snadno odlišitelná, viz obr. 3 (CENIA, 2016). Pro vojenské účely byl již v roce 1956 používán barevný infračervený film (Camouflage detecton film), který pomohl Robertu Cowellovi mapovat zdravotní stav vegetace (Halounová et Pavelka, 2005).



Obr. 3 Spektrální odrazivost (Richards et Jia, 2006; upraveno)

Intenzita odraženého záření je zaznamenávána v podobě hodnot jasu. Vyjádření rozsahu dostupných hodnot jasu je počtem binárních číslic nebo bitů. Data s 8bitovým radiometrickým rozlišením mají 256 úrovní jasu, viz obr. 4 (Richards et Jia, 1999).



Obr. 4 Technické charakteristiky digitálního snímku, (Richards et Jia, 2006; upraveno)

Oblast elektromagnetického spektra, která následuje po infračerveném záření s vlnovou délkou nad 3 mikrometry, se označuje jako tepelná nebo termální. Specifikem této oblasti delších vlnových délek je převaha záření vycházejících z objektů samotných nad jeho odrazem. Díky tomu je možné sledovat tepelné vlastnosti objektů. Míra vyzařovací schopnosti tělesa se nazývá emisivita (Dobrovolný, 1998).

Emisivita je tedy schopnost objektů vydávat elektromagnetické záření, které je závislé na teplotě povrchu. Jedná se o podíl intenzity vyzařování sledovaného

objektu a intenzity vyzařování takzvaného černého tělesa za shodné teploty. Pro černé těleso dosahuje hodnota emisivity své maximální hranice, tedy 1. Většina ploch nedosahuje hodnot černého tělesa a mají emisivitu nižší než 1. Na rozdíl od černého tělesa, které dopadající elektromagnetické záření pohlcuje, ho běžné povrchy část odráží (Šťastník et al., 2006). Vzhledem k vysoké heterogenitě povrchu země je povrchová emisivita z velké části neznámá (Jin et Dickinson, 2010).

3.2.3 Metody DPZ

Podle zdroje elektromagnetického záření lze metody dálkového průzkumu rozdělit na aktivní a pasivní. Zdrojem informace u pasivní metody je odražené záření od zemského povrchu. Dle původu odraženého záření je rozlišováno záření přímé, které bylo vyzářeno Sluncem a záření nepřímé, které pochází z objektů na zemském povrchu. Typickým představitelem přímé pasivní metody je letecká fotografie, v případě nepřímé se jedná o termovizi. Zatímco pasivní metody využívají přítomného zdroje, aktivní metody používají uměle generovaného zdroje záření, které je vysíláno z nosiče, na kterém je i po zpětném odrazu zachycováno. Takovým způsobem získávají informace radarové systémy (Dobrovolný, 1998).

3.2.4 Satelitní snímkování

Jak již bylo zmíněno, za nejdůležitější okamžik vývoje satelitního snímkování je považováno vypuštění první družice Landsat (Halounová et Pavelka, 2005). Satelitní družice se z hlediska charakteristik snímání vzájemně liší rozlišovací schopností, kde se liší časové, spektrální, prostorové a radiometrické rozlišení. Časové rozlišení se odvíjí od oběžné dráhy a udává, jak často družice pořídí snímek shodné oblasti. Spektrální rozlišení udává šířku rozsahu vlnových délek elektromagnetické záření, které senzor zaznamenává. Velikost pixelu odpovídá prostorovému rozlišení a citlivost senzoru na sílu signálu určuje radiometrické rozlišení (Dobrovolný, 1998). V této práci byly využity satelitní snímky pořízené družicemi Landsat a Sentinel. Následující text představuje jejich základní charakteristiky se zaměřením na použitou řadu.

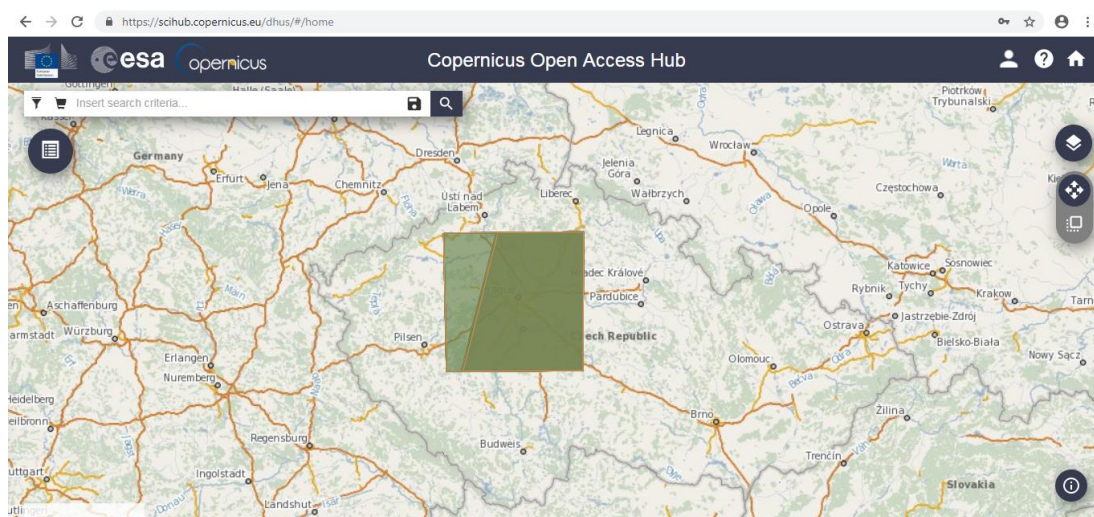
Sentinel

Družice Sentinel patří do evropského programu Copernicus (dříve GMES), který se zaměřuje na monitorování životního prostředí a bezpečnosti. Data o zemském povrchu získaná v rámci programu jsou volně poskytována v plné šíři.

Družice Sentinel jsou v současnosti zastoupeny třemi řadami družic Sentinel 1-3 s párovým snímáním satelity A a B, a Sentinel 5P. V roce 2020 je plánováno vyslat v rámci stávajících řad druhý pár družic C a D, který by nahradil stávající pár a zajistil návaznost snímání (Copernicus, 2019).

Družice Sentinel 2 se zaměřují hlavně na pozorování krajinného pokryvu a jeho proměn. To je možné díky multispektrálnímu senzoru, který vychází z misí Landsat a SPOT. Oproti svým předchůdcům má senzor rozšířený počet spektrálních pásem v červeném okraji viditelném spektru na tři, což činí senzor vhodným pro pozorování a hodnocení stavu vegetace. Senzor odražené sluneční záření od povrchu Země rozděluje dle vlnové délky do třinácti spektrálních pásem. Jednotlivá pásma se liší nejen vlnovou délkou, ale i prostorovým rozlišením, které se je pro čtyři kanály 10 m, pro šest 20 m a pro tři 60 m. První vyslanou družicí v rámci druhé řady byl Sentinel 2A, který snímá zemský povrch od 23. června 2015. Od července roku 2016 snímá společně s družicí Sentinel 2B. Životnost je plánována na 7 let, s tím, že maximální odhadovaná může být až 12 let. Družice Sentinel 2 mají větší šířku záběru než družice z misí Landsat a SPOT s šířkou záběru 290 km (Žubrietovský et al., 2017).

Snímky získané družicemi Sentinel 2 jsou zpracovávány v rámci třech úrovní, Level-0 až Level-2. Nultá úroveň (Level-0) představuje nezpracovaná surová data, která jsou komprimovaná a tvoří základ pro vytvoření produktu první úrovně. V rámci té je rozlišována úroveň L1A (Level-1A), kde jsou data dekomprimována a jednotlivé pixely jsou lokalizovány. V navazující úrovni L1B (Level-1B) produkty procházejí atmosférickou korekcí a korekcí geometrie senzoru. Produkty úrovně L1C vychází z úrovně L1B, jsou tvořeny snímky v geografické projekci UTM/WGS84 a jsou převzorkovány metodou Ground Sampling Distance (GSD) na výsledné prostorové rozlišení dle jednotlivých kanálů. Oproti přechozím úrovním jsou od úrovně L1C souřadnice pixelů vztaženy místo ke středům k jejich vrchnímu levému rohu. Posledním stupněm je produkt úrovně L2A, který je vytvářen provedením atmosférické korekce na produktu L1C. Jeho zpracování není systematické a u produktů, u kterých neproběhlo je možné tuto skutečnost napravit a úroveň vytvořit za využití modulu Sen2Cor z Sentinel 2 toolboxu. Produkty od úrovně L1B jsou poskytovány volně (Žubrietovský et al., 2017). Satelitní snímky družice jsou dostupné po jednoduché registraci na webové adrese <https://scihub.copernicus.eu/>. Ukázka prostředí spolu s pokrytím jednoho satelitního snímku pro oblast Prahy viz obr. 5.



Obr. 5 Pokrytí satelitního snímku Sentinel 2 na příkladu Prahy

Landsat

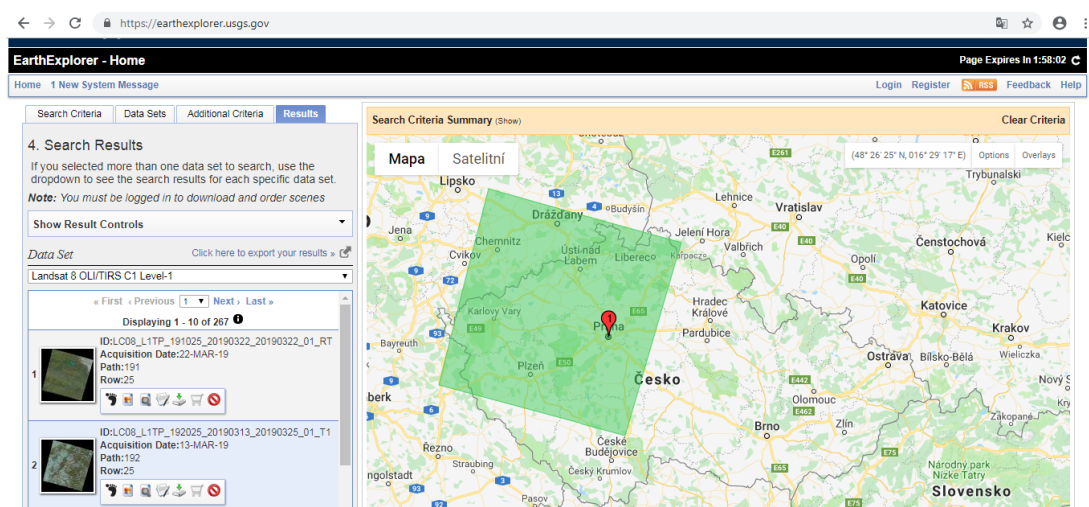
Program Landsat probíhá již od roku 1972 a jedná se o nejdéle probíhající projekt s nepřerušovanou řadou snímkování probíhající ve spolupráci agentury NASA a USGS. Data získané z družic Landsat představují nejvýznamnější zdroj informací o přírodních zdrojích Země (Dobrovolný, 1998)

Družice Landsat 8 je poslední z vyslaných družic v rámci programu Landsat. Družice byla vynesena na oběžnou dráhu 11.3.2013, kdy navázala na stále funkční družici Landsat 7, která je na oběžné dráze od roku 1999, nicméně od roku 2003 s drobnou poruchou, díky které je vhodně zobrazen pouze středový pás o šířce 22 km. Přístroje Landsat 8 určené k mapování zemského povrchu tvoří *Operational Land Imager (OLI)* a *Thermal InfraRed Sensor (TIRS)*. Díky přístroji OLI došlo k vylepšení nového satelitu rozšířením poskytovaných spektrálních pásem. Oproti Landsatu 7 došlo k přidání hloubkového modrého viditelného pásma a krátkovlnného infračerveného pásma. Stejně tak i přístroj TIRS představuje zlepšení, protože namísto předchozího jednoho pásma pokrývá stejný rozsah dvěma spektrálními pásmy (USGS, 2018)

Datové produkty Landsat 8 jsou dostupné ve dvou úrovních. V případě úrovně 1 produkty sestávají z radiometricky kalibrovaných dat odrazivosti *Top of Atmosphere*, které jsou volně dostupné k okamžitému stažení. Nej kvalitnější produkt v rámci první úrovně je skupina L1TP (Level 1 Terrain Precision), kterou představují ortorektifikované snímky, které ke zpřesnění využily pozemní kontrolní body nebo digitální model terénu. V případě, že není možné použít dostatečné množství pozemních kontrolních bodů pro zpřesnění se jedná o skupinu L1GT. Poslední skupina je označována jako L1GS a je systematicky geometricky korigována na

základě pozice nosiče (USGS, 2017). Druhá úroveň je k dispozici na požádání. Takto dostupné produkty jsou atmosféricky korigované na data o povrchové odrazivosti (Bottom of Atmosphere) a obsahují také masku oblačnosti či již vypočtené indexy.

Stejně jako snímky družice Sentinel, i snímky z družice Landsat jsou dostupné po jednoduché registraci na webové adrese <https://earthexplorer.usgs.gov/>. Vzhled prostředí spolu s příkladem pokrytí satelitního snímku na příkladu Prahy zobrazuje obrázek 6.



Obr. 6 Pokrytí satelitního snímku Landsat 8 na příkladu Prahy

Porovnání

Jak je z výše uvedených informací patrné, jednotlivé satelity se neliší pouze zařazením do programu a jeho historií, ale i senzory a opakováním snímání, spektrálními pásmy a dalším. Následující tabulky popisují technické parametry využitých satelitů.

Tab. 1 Obecné porovnání využitých družic (USGS, 2018; Žubrietovský et al., 2017)

	Landsat 8	Sentinel 2
Trvání mise	2013 – současnost	2014 – současnost
Princip snímacího nástroje	“Pushbroom“	“Pushbroom“
Časové rozlišení (dny)	16	5*
Šířka záběru (km)	185	290
Počet spektrálních pásem	11	13
Prostorové rozlišení (m)	15; 30; 100	10; 20; 60
Čas přeletu rovníku	10:11	10:30

* časové rozlišení 5 dní od roku 2017, kdy byl vypuštěna Sentinel 2B

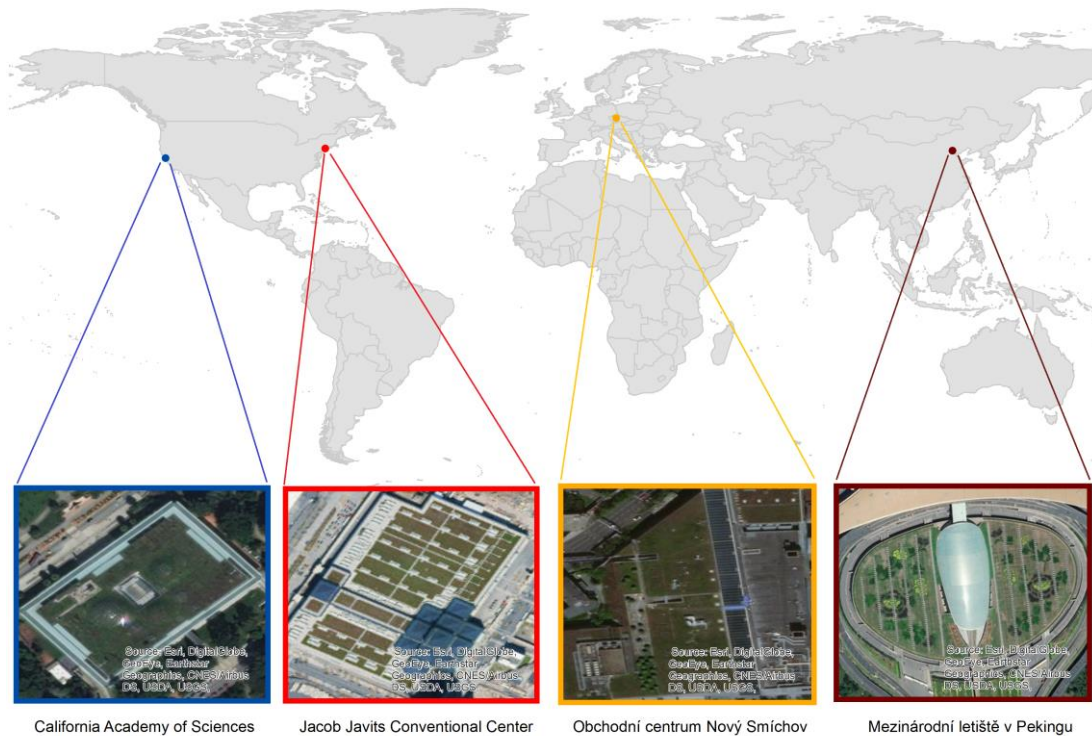
Jediným shodným bodem v tabulce 1 je princip snímacího nástroje. Pushbroom představuje snímač, který používá dopředný pohyb nosiče pro postupný záznam skenovacích řádků, snímá tedy podél dráhy letu. Označení pushbroom je odvozené od obdobného pohybu koštěte při zametání, kdy jsou jeho štětiny tlačeny podél podlahy (Natural Resources Canada, 2007). Předposlední dva řádky tabulky uvádí počet spektrálních pásem a jejich prostorové rozlišení. To je dále rozvedeno v tabulce 2 s uvedením vlnových délek daného rozlišení a jeho prostorového rozlišení.

Tab. 2 Spektrální a prostorové rozlišení (USGS, 2018; Žubrietovský et al., 2017)

Spektrální rozlišení	Landsat 8		Sentinel 2	
	Rozsah vlnových délek	Prostorové rozlišení	Střední vlnová délka	Prostorové rozlišení
panchromatické	503-676 nm	15 m	-	-
pobřežní	435-451 nm	30 m	444 nm	60 m
viditelné modré	452-512 nm	30 m	497 nm	10 m
viditelné zelené	533-590 nm	30 m	560 nm	10 m
viditelné červené	636-673 nm	30 m	665 nm	10 m
červený okraj viditelného spektra	-		704 nm	20 m
červený okraj viditelného spektra	-	-	740 nm	20 m
červený okraj viditelného spektra	-	-	783 nm	20 m
blízké infračervené	851-879 nm	30 m	835 nm	10 m
blízké infračervené	-	-	865 nm	20 m
vodní pára z ang. „water vapour“	-	-	945 nm	60 m
infračervené I	1363-1384 nm	30 m	1373,5 nm	60 m
infračervené II	1566-1651 nm	30 m	1613,7 nm	20 m
infračervené III	2107-2294 nm	-	2202,4 nm	20 m
tepelné I	1060-1119 nm	100 m	-	-
tepelné II	1150-1251 nm	100 m	-	-

4 Charakteristika studijního území

Studijní území jsou čtyři, z toho jedna se nachází v České republice, dvě ve Spojených státech amerických a jedna v Číně, viz obrázek 7. Studijní lokality byly vybrány na základě vhodných rozměrů pro vyhodnocení teploty skrze satelitní snímky.

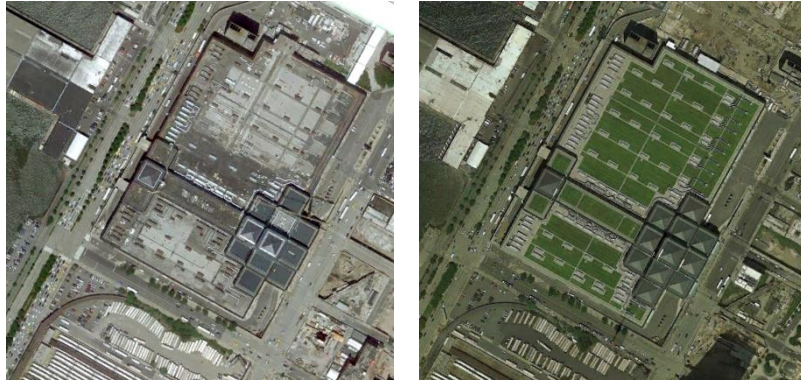


Obr. 7 Umístění studijních území jejich detail

4.1 Jacob K. Javits Convention Center ve městě New York

Jacob K. Javits Convention Center (Javits Center) se nachází na břehu řeky Hudson v západní části čtvrti Manhattan v městě New York City ve státě New York. Jedná se o budovu kongresového centra, která byla postavena roku 1986. Je jednou z nejužívanějších a současně dvanáctou největší kongresovou budovou ve Spojených státech amerických. V letech 2008 až 2013 došlo k rozšíření a rekonstrukci budovy, kdy došlo k instalaci zelené střechy o rozloze 27 316 m². V době svého vzniku šlo o druhou největší zelenou střechu svého druhu v zemi. Zelená střecha měla za cíl snížit množství odtékající vody a snížit tepelné ztráty budovy (Javits Center, 2019a). V současné době je možné se na střechu podívat v rámci pořádaných exkurzí. Zelená střecha se totiž stala domovem 26-ti druhů

ptáků, 5-ti druhů netopýrů a tisíce včel (Javits Center, 2019b). Střecha je extenzivní s hloubkou půdy 2,5 cm. V průběhu zakládání vegetace byla střecha zavlažována, ale v červenci 2014 již byly postřikovače odstraněny (Alvizuri et al., 2017). Střecha kongresového centra před a po instalaci zelené střechy je zobrazena na obr. 8.



Obr. 8 Střecha Javits Center před (vlevo) a po (vpravo) instalaci zelené střechy (Google Earth Pro)

Pro New York City je typické teplé a mírné klima s nejteplejším měsícem červencem, kdy průměrná teplota dosahuje 24.5 °C. Červenec je po květnu druhým nejdeštivějším měsícem (Climate-Data.org, 2019a).

4.2 OC Nový Smíchov v Praze

Obchodní centrum Nový Smíchov se nachází v Praze na Smíchově v blízkosti křižovatky Anděl. Od roku 2001 se obchodní centrum pyšní ozeleněnými 24 000 m² střešního pláště, viz obr. 9. Kromě rozlehlé plochy, která činí zelenou střechu největší v České republice, je ozeleněná část specifická i vysokým sklonem zatravněné části (58 %) a také kombinací vegetace. Ta je z části extenzivní, z části intenzivní a z části tvořena travními porosty (Čermáková et Mužíková, 2009). Substrát střechy je lehký a vysoký 10 cm, i přes to je velmi vododržný. Extenzivní část střechy je tvořena trvalkami *Festuca ovina*, *Festuca palens*, *Festuca rupicola*, *Thymus serpyllum*, *Thymus pulegioides*, *Allium schoenoprasum*, *Sedum album* a *Sedum acre*. Na střeše se současně nachází i 33 kusů platanů (*Platanus acerifolia*), pod kterými je trávník, který je jako jediný zavlažován (Jiva, 2002). Pro potřeby práce byla hodnocená část střechy omezena pouze na oblast extenzivní plochy. Při stavbě obchodního centra nebyl dodržen limit zachování 30 % zeleně

pozemku, a proto došlo k umístění vegetace na střechu obchodního centra (Jiva, 2002).



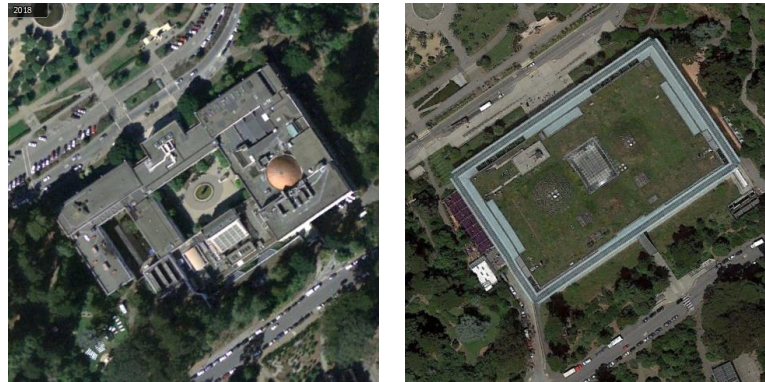
Obr. 9 Zelená střecha obchodního centra Nový Smíchov (Google Earth Pro)

Podnebí v Praze je obdobné jako na celém území České republiky mírné s charakteristickým západním prouděním. Nejteplejším měsícem roku je červenec, kdy může hlavně na území Prahy docházet k tropickým nocím. Ty jsou způsobené vyzařováním tepla z budov, které se během dne nahromadilo (InMeteo, 2017).

4.3 California Academy of Sciences v San Franciscu

Budova California Academy of Sciences se nachází ve východní části Golden Gate parku v San Franciscu. Samotná budova byla postavena v roce 2008 a klade důraz na ekologii a udržitelnost. Při její stavbě bylo využito materiálu z demolice původních budov akademie, obnovitelných zdrojů a recyklovaných materiálů včetně popílku. U veškerého materiálu byl preferován regionální původ a současně byla hodnocena uhlíková stopa zahrnující dopravu prvků. Stavbu korunuje zelená střecha o rozloze 10 117 m², kterou stejně jako zbytek budovy navrhl architekt Renzo Piano. Dle jeho slov bylo myšlenkou „vzdvihnout část parku, a umístit pod něj budovu“ (California Academy of Sciences, 2019a). Střecha má podobu sedmi kopců a dle odhadů se na ní vyskytuje 1,7 mil. rostlin, které poskytují prostředí pro život mnoha ptákům, hmyzu ale i lidem. Na střeše se kromě přirozených obyvatel (které místní vědci monitorují, naposledy byl učiněn soupis původních druhů rostlin v srpnu roku 2014) nachází i přístroje na monitorování počasí a na okraji střechy jsou i solární panely (California Academy of Sciences, 2019b). Střecha je uváděna jako polointenzivní, ale hloubka substrátu je 15 cm (Greenroofs.com, 2019) a typově

pro potřeby práce spíše odpovídá střeše extenzivní. Vzhled střechy před a po rekonstrukci poničené budovy viz obr. 10.



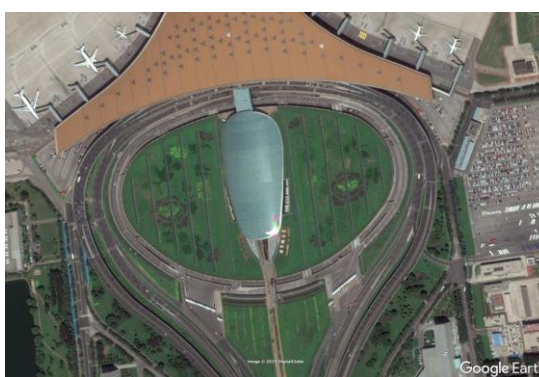
Obr. 10 Střeška California Academy of Science před (vlevo) a po (vpravo) rekonstrukci a instalaci zelené střechy (Google Earth Pro)

Podnebí v San Franciscu je středozevního typu a je charakteristické teplým a suchým létem a mírnými zimami. Výrazný vliv na klima má poloha města, které je ze tří stran obklopené Tichým oceánem, a přítomný kalifornský studený proud. Roční teploty jsou poměrně vyrovnané s charakteristickou mlhou v letním období, kdy se teplota pohybuje průměrně okolo 21,1 °C, zatímco v zimě teplota klesá na 7,2 °C (Weather Atlas, 2019).

4.4 Mezinárodní letiště Peking

Letiště v hlavním městě Číny, oficiálním názvem Pekingské mezinárodní letiště, bylo rozšířeno výstavbou třetího terminálu s očekávaným zvýšeným zatížením před olympijskými hrami v roce 2008 (Foster + Partners, 2019). Právě v blízkosti třetího terminálu se nachází čtyřpatrové kryté parkoviště, na kterém je umístěna zelená střecha. Kromě 4 300 parkovacích míst pro osobní automobily se v budově nachází i parkoviště autobusů a zastávka letištního vlakového expresu (Beijing-airport.com, 2019). Uprostřed střechy se nachází prosklená část, která umožňuje přívod denního světla do nejvyššího patra budovy. Podrobné informace o typu střechy, pěstovaných rostlinách a hloubce půdy bohužel nebyly nalezeny, a tak byl pokryv hodnocen převážně na základě dostupných fotografií. Základem ozelenění je nízká vegetace, která je od roku 2014 doplněna vyššími rostlinami formovanými do ozdobných celků, viz obr. 11. Celkově je střecha hodnocena jako extenzivní s prvky střechy intenzivní a z hodnocených studijních území se nejvíce

přibližuje střeše intenzivní. Současně se jedná o nejrozsáhlejší střechu, kde rozloha ozeleněné plochy přesahuje 100 000 m². Na historických snímcích dostupných v programu Google Earth Pro je patrná změna barvy vegetace během roku, která odpovídá změně u okolní zeleně, a je tedy přepokládáno, že střecha není zavlažována.



Obr. 11 Zelená střecha na terminále mezinárodního letiště v Pekingu (Google Earth Pro)

Průměrné roční teploty a srážky jsou v Pekingu obdobné jako v San Franciscu. Nicméně zimy jsou oproti kalifornskému městu chladnější a léta zase teplejší, ačkoliv jsou deštivým obdobím (National Geographic Society, 2019). Nejteplejším měsícem stejně jako nejdeštivějším je červenec, kdy průměrné teploty dosahují 26,3 °C (Climate-Data.org, 2019b).

5 Metodika

V této kapitole jsou popsány použité data a provedené kroky vedoucí k vyhodnocení cílů práce.

5.1 Použité zdroje dat

Pro získání teploty povrchu v požadované kvalitě bylo nutné využít dvou typů satelitních snímků, a to ze satelitů Landsat 8 a Sentinel 2 z rozmezí let 2015–2019. Roky byly vybrány na základě dostupnosti satelitních snímků ze zmíněných satelitů. Vzhledem k současnému trendu oteplování planety jsou vybrané roky k pozorování chování zelených střech vhodnými, neboť právě poslední tři hodnocené roky byli z globálního hlediska potvrzeny, jako ty nejteplejší zaznamenané (WMO, 2018).

5.1.1 Satelitní snímky

Satelitní snímky z obou družic byly použity pro porovnání vlivu zelených střech na regulaci teploty v okolním mikroklimatu. Z důvodu odlišných vlastností spektrálních pásem bylo pro zhodnocení emisivity použito satelitních snímků úrovně L1C družice Sentinel 2A, zatímco samotná mapa teplot byla vytvořena kombinací mapy emisivity a pásma 10 satelitních snímků družice Landsat 8 úrovně zpracování L1TP. Pro zhodnocení chování teploty na povrchu zelených střech byly vybrány vhodné satelitní snímky reprezentující každý měsíc. Satelitní snímky ze Sentinelu 2 a Landsatu 8 byly pro stejný měsíc vybrány v co nejbližším termínu snímání. V některých případech bylo nutné zkombinovat snímky z odlišných let, aby bylo dosaženo co největší možné shody dle dne v měsíci. Snímky jsou limitovány opakováním snímání satelitu, ale také podmínkami atmosféry v čase snímání. Celkově bylo tedy cílem dvanáct párů snímků na každou studijní oblast. Následující tabulka uvádí použité satelitní snímky dle družice a dne pořízení snímku pro všechny studijní oblasti.

Tab. 3 Datum pořízení satelitních snímků dle družice a studijní lokality

	San Francisco		New York		Praha		Peking	
	Sentinel 2	Landsat 8	Sentinel 2	Landsat 8	Sentinel 2	Landsat 8	Sentinel 2	Landsat 8
Leden	31.12.2018	5.1.2017	26.1.2018	31.1.2018	6.1.2018	18.1.2017	28.1.2018	31.1.2017
Únor	19.2.2019	25.2.2018	27.2.2018	20.2.2016	15.2.2019	22.2.2018	12.2.2018	14.2.2016
Březen	26.3.2016	23.3.2016	24.3.2018	30.3.2016	17.3.2016	16.3.2017	9.3.2017	4.3.2017
Duben	30.4.2017	27.4.2017	18.4.2016	15.4.2016	19.4.2018	21.4.2016	10.4.2016	8.4.2018
Květen	15.5.2016	26.5.2016	1.5.2018	4.5.2017	21.5.2018	19.5.2017	3.5.2016	4.5.2016
Červen	24.6.2016	27.6.2016	10.6.2016	9.6.2016	20.6.2017	24.6.2016	22.6.2016	27.6.2018
Červenec	19.7.2017	16.7.2017	20.7.2016	20.7.2016	3.7.2018	17.7.2015	7.7.2017	10.7.2017
Srpen	-	-	16.8.2018	12.8.2016	27.8.2016	27.8.2016	21.8.2016	22.8.2015
Září	17.9.2017	2.9.2017	25.9.2016	22.9.2016	13.9.2016	12.9.2016	13.9.2015	12.9.2018
Říjen	7.10.2017	1.10.2016	15.10.2016	15.10.2016	16.10.2018	17.10.2017	30.10.2017	30.10.2017
Listopad	11.11.2018	18.11.2016	7.11.2016	16.11.2016	17.11.2018	11.11.2017	24.11.2017	28.11.2016
Prosinec	6.12.2017	7.12.2016	7.12.2017	8.12.2018	-	-	9.12.2016	14.12.2016

Nakonec došlo ke zpracování 92 satelitních snímků, pro měsíc srpen v lokalitě San Francisca a pro prosinec pro Prahu nebylo možné získat snímky s požadovanými prostoriemi bez oblačnosti, viz tabulka 3.

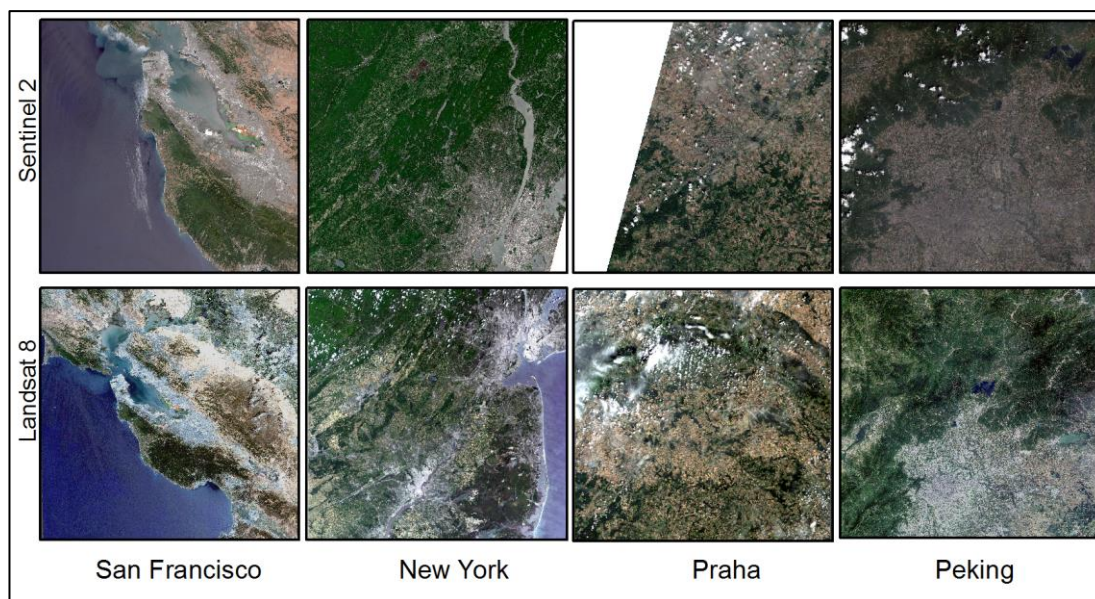
5.1.2 Atmosférické korekce

Aby bylo možné vzájemně mezi sebou jednotlivé snímky porovnat, bylo nutné provést atmosférické korekce založené na podmínkách, které panovaly ve dni snímání. Ty je možné získat pomocí kalkulatoru *Atmospheric Correction Parameter Calculator*, který je dostupný na webové adrese <https://atmcorr.gsfc.nasa.gov/>. Kalkulátor vychází z práce Barsi et al. (2005). Pro získání potřebných charakteristik je nutné vyplnit rok, měsíc a den snímání, spolu s hodinou a minutou a parametry zeměpisné šířky a délky. Dále je nutné vybrat pro jaký typ družice Landsat je hodnota počítána (zde Landsat 8). Ostatní parametry byly ponechány ve výchozím nastavení (Use interpolated atmospheric profile for given lat/long, Use mid-latitude winter standard atmosphere for upper atmospheric profile). Získané atmosférické korekce pro každý snímek z družice Landsat viz Přílohy 1,3,5 a 7.

5.2 Zpracování dat

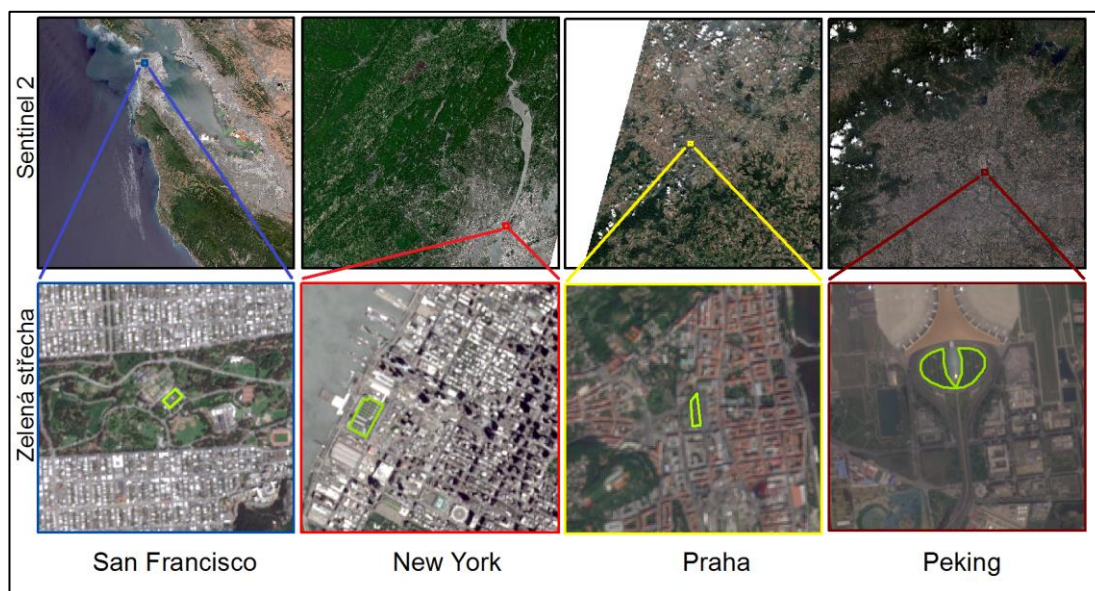
Zpracování satelitních snímků bylo provedeno pomocí toolboxů v prostředí Sentinel Application Platform (SNAP) 6.0.0 a dále byly mapy zpracovány v aplikaci ArcMap 10.6.1., který je součástí platformy ArcGIS od společnosti ESRI. SNAP je software poskytující prostředí pro Sentinel a SMOS toolboxy, a je určen ke zpracování dat z družic Sentinel a dalších. SNAP spolu s toolboxy byl vytvořen Evropskou kosmickou agenturou, v originálním znění European Space Agency (ESA) a jsou volně dostupné ke stažení na webových stránkách ESA v rámci komunitní platformy Science toolbox exploitation platform (Žubrietovský et al., 2017).

Samotnému zpracování předcházelo prohlédnutí snímků se zaměřením na zájmovou oblast. Při výběru satelitních snímků byla hodnocena viditelnost v okolí zájmové oblasti. V případě, že oblačnost nezasahovala do blízkého okolí sledované oblasti, byl snímek vybrán. V případě družice Sentinel 2 byly stáhnuty produkty úrovně L1C a v případě družice Landsat 8 úrovně L1TP (viz podkapitola 3.2.4). Vizualní hodnocení proběhlo na podkladě zobrazení v pravých barvách, kterých je možné dosáhnout kombinací třech pásem viditelné části spektra, a to červené (Red), zelené (Green) a modré (Blue) za vzniku RGB kompozitu, viz dvojice satelitních snímků dle lokality na obr. 12.



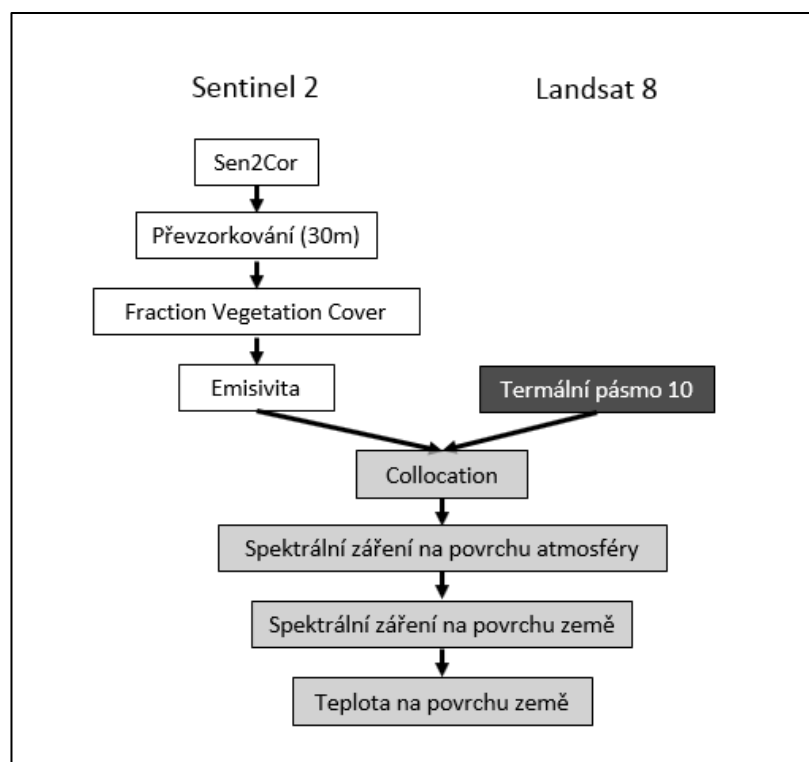
Obr. 12 Sledované lokality v rámci satelitních snímků zobrazených v RGB

Z celého satelitního snímku byla pro zpracování povrchové teploty zelené střechy nutná jen malá část zahrnující zájmovou lokalitu a její blízké okolí. Umístění zelené střechy v rámci satelitního snímku Sentinel 2 uvádí následující obrázek.



Obr. 13 Umístění zelené střechy v rámci snímku Sentinelu 2

V případě, že byly snímky jasné a bez oblačnosti zakrývající zájmové území, byly vybrány pro navazující zpracování. Jeho postup je zobrazen v následujícím obrázku.



Obr. 14 Schéma postupu zpracování satelitních snímků

K potlačení vlivu atmosférických jevů bylo využito modulu Sen2Cor, který provede atmosférické korekce a ze satelitního snímku Sentinel 2 úrovně L1C vytvoří úroveň L2A. Dalším krokem bylo převedení prostorového rozlišení satelitních snímků z družice Sentinel 2 na 30 metrů, kterého bylo docíleno pomocí nástroje *Resampling* za využití metody *Nearest Neighbour*.

5.2.1 Mapa emisivity

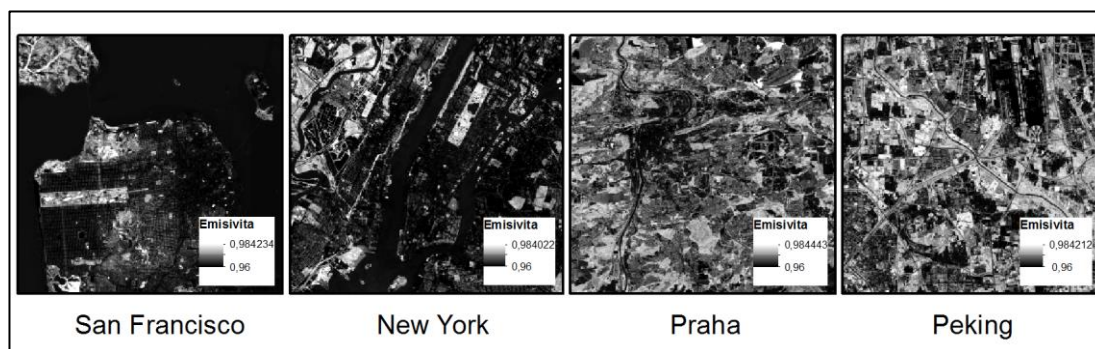
Aby bylo možné spojit teplotu s měřenou hodnotou tepelné infračervené energie vyzařované daným objektem, je nutné znát emisivitu tohoto objektu (Artis et Carnahan, 1982). Proto bylo nutné vytvořit mapu emisivity. Toho bylo docíleno na základě satelitního snímku družice Sentinel 2 za využití toolboxu Sentinel 2 v rámci programu SNAP. Pomocí algoritmu přítomného v nástroji *Biophysical processor* je možné získat biofyzikální proměnné LAI (*Leaf Area Index*), FAPAR (*Fraction of Absorbed Photosynthetically Active Radiation*) a FVC (*Fraction Vegetation Cover*), které jsou uznávanými základními klimatickými proměnnými (Weiss et Baret, 2016).

V této práci bylo využito FVC, který je důležitým parametrem pro odvození emisivity a pro popis procesů probíhajících na povrchu (Kyalo, 2017). Gupta et Pandey (2018) použili FVC při monitorování vegetačního krytu a zhodnotili ho jako přesný a spolehlivý. Parametr odpovídá frakci vegetačního pokryvu a používá se k odlišení vegetace od půdy v procesech energetické rovnováhy, zahrnující teplotu a evapotranspiraci. Algoritmus výpočtu funguje na principu trénované neuronové sítě, která využívá jedenácti vstupních dat, ze kterých osm tvoří spektrální pásma (B3, B4, B5, B6, B7, B8a, B11, B12) senzoru Sentinel 2. Detailní informace o nástroji a biofyzikálních proměnách uvádí ve své práci Wiess et Baret (2016).

Posledním krokem k získání mapy emisivity byla úprava vrstvy FVC, a to dle následujícího vzorce, který odvodil Valor et Caselles (1996). Výpočet vychází z průměrných hodnot emisivity pro holou půdu ($0,985 \pm 0,007$) a pro plně zapojenou vegetaci ($0,960 \pm 0,010$), které jsou přenásobeny hodnotami pixelu z FVC získanými nástrojem *Biophysical processor*.

$$0,985 * FVC + (1 - FVC) * 0,960$$

Dále již byla část satelitního snímku zobrazující studijní oblast a její okolí vybrána a vyexportována do rastru formátu Tagged Image File Format (.tif) pomocí nástroje *Spatial subset from a view*. Vzorové snímky emisivity pro studijní území v červenci zobrazuje obrázek 15.



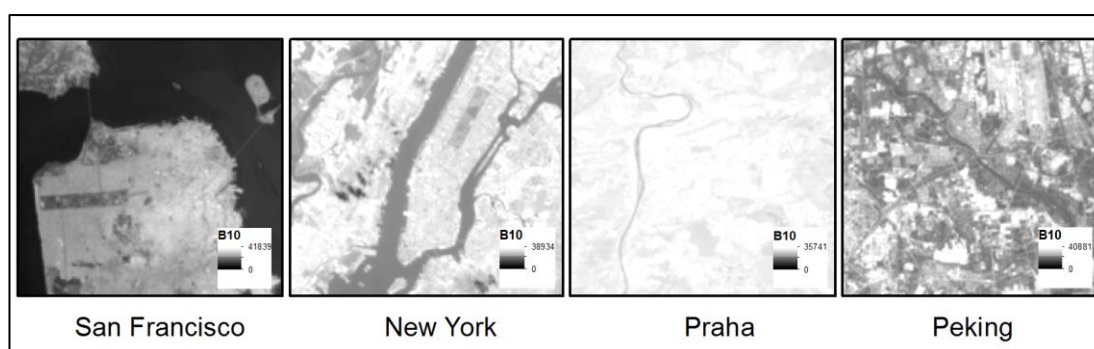
Obr. 15 Emisivita studijních oblastí v červenci

5.2.2 Mapa teplot

Mapa teplot vychází ze spojení získaných hodnot emisivity a termálního pásma 10 z družice Landsat 8. K spojení vstupních snímků byl využit nástroj *Collocation*. Mapa emisivity byla použita jako hlavní vrstva (Master), zatímco vrstva obsahující termální pásmo 10 jako podřízená (Slave). Nástroj umožňuje spojit dvě

překrývající se vrstvy do jedné na základě rozsahu vrstvy hlavní a v případě odlišného rozlišení dochází k převzorkování podřízené vrstvy podle vzoru vrstvy hlavní. Snímek z termálního pásma 10 družice Landsat 8 je již poskytován v prostorovém rozlišení 30 m, tudíž zde k převzorkování nedošlo, ale bylo by za použitého postupu možné.

Snímek z družice Landsat 8 úrovně L1TP obsahuje komprimovanou podobu hodnot, tzn. DN (digital number). Termální snímky studijních území pro měsíc červenec zobrazuje následující obrázek.



Obr. 16 Termální snímek z družice Landsat pro zájmové oblasti v červenci

Pro potřeby odvození povrchové teploty bylo nutné převést hodnoty snímku z hodnot DN na spektrální záření na povrchu atmosféry. To je dle následujícího vzorce možné za pomoci konstant dostupných v metadatech satelitního snímku (USGS, 2018).

$$L_{TOA} = ML * Q_{cal} + AL$$

kde:

L_{TOA} = spektrální záření na povrchu atmosféry ($W/(m^2 * sr * \mu m)$)

ML = hodnota „RADIANCE_MULT_BAND_n“ z metadat

Q_{cal} = hodnota odpovídající množství vyzařené záření z pixelu (DN)

AL = hodnota „RADIANCE_ADD_BAND_n“ z metadat

Pro výpočet teploty bylo nutné vycházet z termálního snímku Landsat 8, který představuje pásmo 10 a tedy odpovídá proměnné Q_{cal} . Navazující zpracování vychází z (Barsi et al., 2005). Nezbytným krokem, který je nutné provést před použitím snímku tepelného pásma je odstranění vlivu atmosféry. Vyzařovaný signál z povrchu Země může být při přenosu na družici atmosférou oslaben i zesílen, a proto je vhodné využít znalosti o atmosféře k získání povrchového záření. Následující vzorec

$$L_{TOA} = \tau \varepsilon LT + Lu + \tau(1 - \varepsilon)Ld$$

, kde:

τ = atmosférický přenos

ε = emisivita povrchu

LT = povrch opouštějící záření

Lu = hodnota „upwelling or atmospheric path radiance“

Ld = hodnota „downwelling or sky radiance“

LTOA = spektrální záření na povrchu atmosféry měřené přístrojem Landsat 8

byl upraven na

$$LT = L_{TOA} - Lu - \tau(1 - \varepsilon)Ld / \tau \varepsilon$$

Hodnota τ , Lu a Ld jsou závislé na atmosférických podmínkách v čase snímání a byly doplněny na základě webového kalkulátoru, viz podkapitola 5.1.2. Údaje pro každý použitý snímek se nachází v Příloze 1,3,5 a 7 u příslušného satelitního snímku družice Landsat 8. Radiace (záření) je v jednotkách $W/m^2 \cdot sr \cdot \mu m$, zatímco atmosférický přenos je stejně jako emisivita jsou bezrozměrné. Konverzi hodnot vyzařování na teplotu lze provést pomocí Planckovy rovnice nebo podle specifického odhadu Planckovy křivky pro družice Landsat (Barsi et al., 2005b) dle vzorce

$$T = K2 / (\ln(K1LT + 1))$$

, kde:

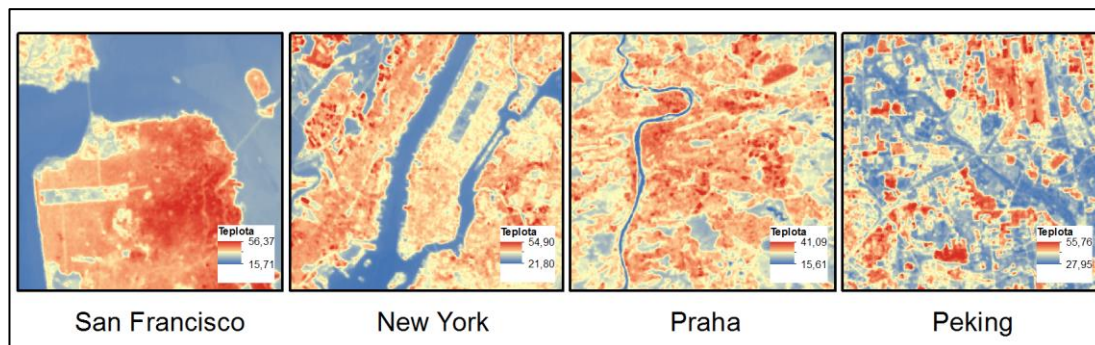
T = teplota v Kelvinech

LA = spektrální záření

K1 = tepelná konstanta „K1_CONSTANT_BAND_n“ z metadat

K2 = tepelná konstanta „K2_CONSTANT_BAND_n“ z metadat

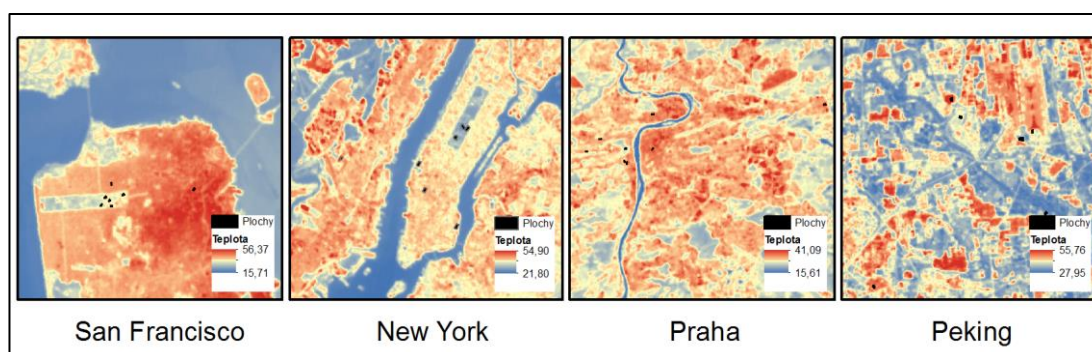
Pro následné vyhodnocení již byla hodnota teploty přepočtena na stupně Celsia (-273,15) a daný snímek byl obdobně jako dříve snímek emisivity vyexportován s koncovkou .tif, viz obr. 17.



Obr. 17 Výsledný teplotní snímek pro studijní oblasti v červenci

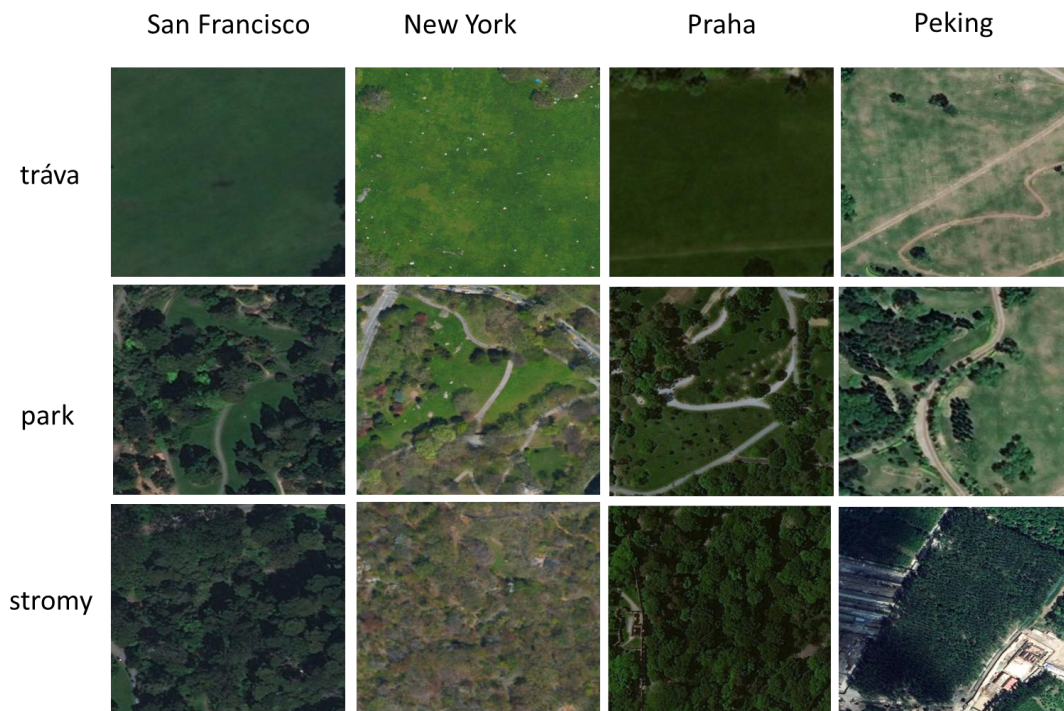
5.2.3 Porovnání výsledků

Pro porovnání teplotního vývoje povrchové teploty zelené střechy byly vybrány okolní plochy, které v rámci studijních území vykazovaly obdobné charakteristiky. Srovnávací plochy byly rozděleny do dvou skupin podle převládajícího povrchu. V rámci skupin došlo k vymezení třech kategorií, pro které byly v okolí zelené střechy nalezeny reprezentativní plochy. První skupinou byly okolní plochy zeleně s odlišným zastoupením vzrostlé vegetace, zatímco pro druhou skupinu byl důležitý typ zástavby. V rámci první skupiny se jednalo o plochy s převažujícím zastoupením bylinné vegetace s označením 'tráva', kombinací bylinné a dřevinné vegetace s označením 'park' a samotným zastoupením dřevin s označením 'stromy'. Druhá skupina je tvořena také třemi kategoriemi, a to rozsáhlou plochou střechou bez vegetačního pokryvu, hustou zástavbou bez vegetace a běžným typem zástavby se zelení v ulicích. Srovnávací plochy byly vymezeny na základě posouzení okolních ploch autorkou a jejich umístění v kontextu města je zobrazeno na obr. 18, kde černé plochy značí srovnávací plochy jednotlivých kategorií a jsou prezentovány na podkladě vytvořené mapy teploty.



Obr. 18 Umístění srovnávacích ploch

K získání statistických údajů o teplotě povrchu v rámci vybraných srovnávacích ploch byl použit nástroj *Zonal statistics as Table*, který je dostupný v aplikaci ArcMap. Jednotlivé plochy použité pro porovnání ve všech studijních oblastech jsou ve viditelném spektru zobrazené pro skupinu zeleně na obr. 19 a pro skupinu dle typu zástavby na obr. 20.



Obr. 19 Srovnávací plochy zeleně s odlišným zastoupením vzrostlé vegetace



Obr. 20 Srovnávací plochy dle typu zástavby

6 Současný stav řešené problematiky

Satelitní údaje jsou velmi užitečné pro studium klimatu na povrchu země (Jin et Dickinson, 2010). Tepelné infračervené snímače na palubě družic představují jedinečný způsob získávání povrchové teploty země efektivně a levně (Zhan et al., 2016), neboť do nástupu satelitů snímajících infračervené záření bylo sledování tepelného stavu rozsáhlých oblastí obtížné až nemožné (Gao et al., 2017). Snímek teploty povrchu země je získáván z tepelných infračervených pásem a představuje termodynamickou teplotu nejsvrchnější vrstvy zemského povrchu (Farhanj et Akhoondzadeh, 2017). Teplota povrchu země je proměnná regulovaná povrchovými fyzikálními vlastnostmi a atmosférickým stavem (Zhan et al., 2016). V současné době je plně funkční pouze spektrální pásmo 10 družice Landsat 8 a díky přijatelné kvalitě je vhodné pro získání povrchové teploty země (Kyalo, 2017).

Mnoho autorů se věnovalo výzkumu dopadu instalace zelených střech na významné (50-100%) části vhodných ploch (Liu et Bass, 2005; Savio et al., 2006). Studii zabývající se vyhodnocením povrchové teploty z termálního pásma družice Landsat 7 provedli autoři Savio et al. (2006). Ti při modelování dopadů rozsáhlé instalace zelených střech na veškeré dostupné ploše (100 %) v New Yorku dospěli k celkovému dennímu teplotnímu ochlazení města o 0,2 °C. Autoři také detailně vyhodnotili dopady na šest městských celků, ze kterých studijní území v této práci spadá do celku středozápadního Manhattanu. Ten díky nejvyšší míře nepropustných povrchů dosáhl nejvyššího modelovaného snížení, a to 0,9 °C v denním průměru. Jako nejúčinnější strategie v boji s teplotním efektem města New York byla zhodnocena maximalizace zeleně za pomoci výsadby stromů v ulicích a budování zelených střech. Liu et Bass (2005) ve své studii na základě ročního monitoringu zelené střechy tělocvičny provedli simulaci, která vycházela z předpokladu, že 50 % dostupných střech v Torontu bude ozeleněno. Z výsledků modelování vyplývá, že by došlo k ochlazení celého města o 0,1 až 0,8 °C.

Berardi (2016) při modelování mikroklimatu zelené střechy v Torontu dospěl k obdobnému závěru. Chladicí efekt ozeleněné střechy může snížit okolní teplotu o 0,4 °C přes den a 0,8 °C v noci. Autor prokázal, že nejdůležitějším parametrem určující chladicí efekt není hustota vegetace, ale hloubka substrátu. Současně se autor věnoval i energetickému modelování, které ukázalo, že s instalací zelené střechy dochází k výrazným energetickým úsporám a to 10 kWh / m² ročně. Autoři Kumar et Kaushik (2005) stanovili vliv zelených střech na teplotu v místnosti pod ní, kdy zhodnotili, že je schopna snížit průměrnou teplotu vnitřního vzduchu o 5,1 °C.

Stejně tak i Onmura et al. (2001) potvrdili chladící efekt zelených střech a jejich schopnost snižovat teplotu vnitřních prostor pomocí evapotranspirace.

Při modelování chladící efektu zelené střechy pro snížení teploty měst autoři vychází ze schopnosti zelených střech vytvářet chladné enklávy různých velikostí, které mají tendenci se z jádra plochy pokryté zelenou střechou rozlévat do vzdálenosti několika metrů od obvodu. Horizontální rozložení chladících efektů výrazně ovlivňuje směr větru. Chladný vzduch vytvářený zelenými střechami se pohybuje směrem dolů, čímž dochází k ovlivňování teploty vzduchu na úrovni chodců. Intenzita chlazení však negativně souvisí s výškou budovy, neboť pokud je výškový rozdíl mezi střechou a ulicí budovy příliš veliký, může dojít k zředění a rozptýlení proudění chladného vzduchu. Bez ohledu na výšku budovy ale mohou zelené střechy zásadně zlepšit úroveň tepelného komfortu na úrovni střech (Peng et Jim, 2013). Kromě výšky budovy uvádí autoři Alcazar et al. (2016) omezení při klesání chladného vzduchu, neboť přímé záření ohřívá povrch budov a ulic a při tom dochází k stoupání ohřátého vzduchu, který současně brání klesání studeného vzduchu ze zelené střechy. I přes to dospěli Peng a Jim (2013) k stanovení chladícího účinku zelených střech pro extenzivní střechy na snížení teploty vzduchu na úrovni chodců na ulici o 0.4–0.7 °C, a v případě intenzivní zelené střechy se jedná o 0.5–1.7 °C. Alcazar et al. (2016) výsledky modelování porovnávali s naměřenou teplotou pomocí infračervené kamery. Dle jejich výsledků měření během jednoho dne v červenci se teplota povrchu mezi 11-17 hodinou chovala vyrovnaně s největším nárůstem okolo 15 hodiny. V průběhu měření došli autoři k závěru, že teplota nad měkkou zavlažovanou půdou je mnohem chladnější než teplota nad pevnými povrchy, a tedy že evapotranspirace je velmi účinná. Mezi takovými lokalitami bylo ve výšce 1 m nad povrchem naměřen rozdíl až 5 °C.

7 Výsledky práce

V rámci vyhodnocení vlivu zelených střech na regulaci teplot došlo k porovnání povrchové teploty na ploše zelené střechy s okolními plochami o stejné velikosti. Vzorové ukázky porovnávaných ploch se nachází v podkapitole 5.2.3. Následující výsledky byly rozděleny do dvou podkapitol dle délky sledovaného období, první hodnotí vývoj v průběhu celého roku a druhá v rámci letního období.

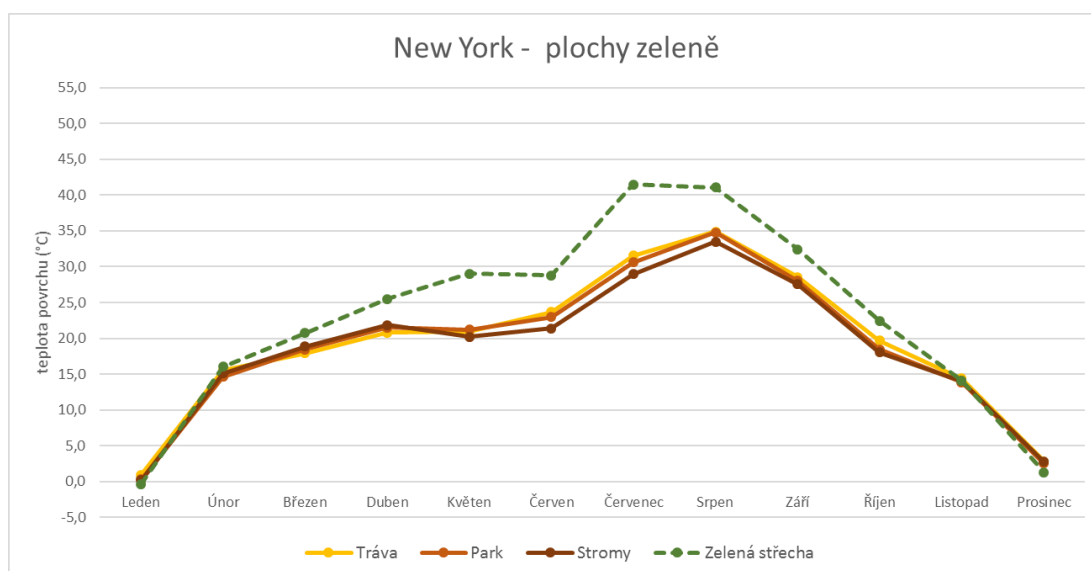
7.1 Vývoj teplot v průběhu roku dle studijní oblasti

Získané hodnoty povrchové teploty jsou v následující kapitole rozděleny dle studijních oblastí, kde jsou následně měsíční teploty v průběhu roku zobrazeny v grafické podobě a poté jsou uvedeny hodnoty teplotního rozdílu mezi zelenou střechou a srovnávací plochou v tabulce. To je vždy provedeno nejprve pro srovnávací plochy zeleně a následně pro srovnávací plochy dle typu zástavby.

7.1.1 New York

Srovnávací plochy zeleně

Teplota zelené plochy na střeše kongresového centra byla nejprve porovnávána s okolními plochami zeleně s odlišným zastoupením vzrostlé vegetace. Ty byly vymezeny v blízkém Central Parku, který tvořil vhodný prostor kvůli dostatečné velikosti. Pro zimní období tvořené měsíci listopad–únor byly hodnoty ozeleněných ploch velmi podobné, viz obr. 21. Konkrétně se v tomto období rozdíl teplot povrchů oproti teplotě povrchu zelené střechy pohyboval v rozmezí $-1,4\text{ °C}$ (park v únoru) až $+1,5\text{ °C}$ (tráva a stromy v prosinci).



Obr. 21 Vývoj ploch zeleně ve městě New York

V prosinci a v lednu byla na zelené střeše Jacob Javits Conventional Center zjištěna chladnější teplota než na ostatních typech vegetace. Ve zbylých měsících byla teplota naopak vyšší, s nejvýznamnějším rozdílem v červenci, kdy byla plocha teplejší o +9,9 °C (oproti teplotě trávy), +10,9 °C (oproti teplotě parku) a +12,5 °C (oproti teplotě stromů), viz tab. 4. Při zprůměrování měsíčních teplot byla průměrně teplota zelené střechy o +3,4 °C teplejší než tráva, o +3,8 °C než park a o +4,2 °C teplejší než skupina stromů.

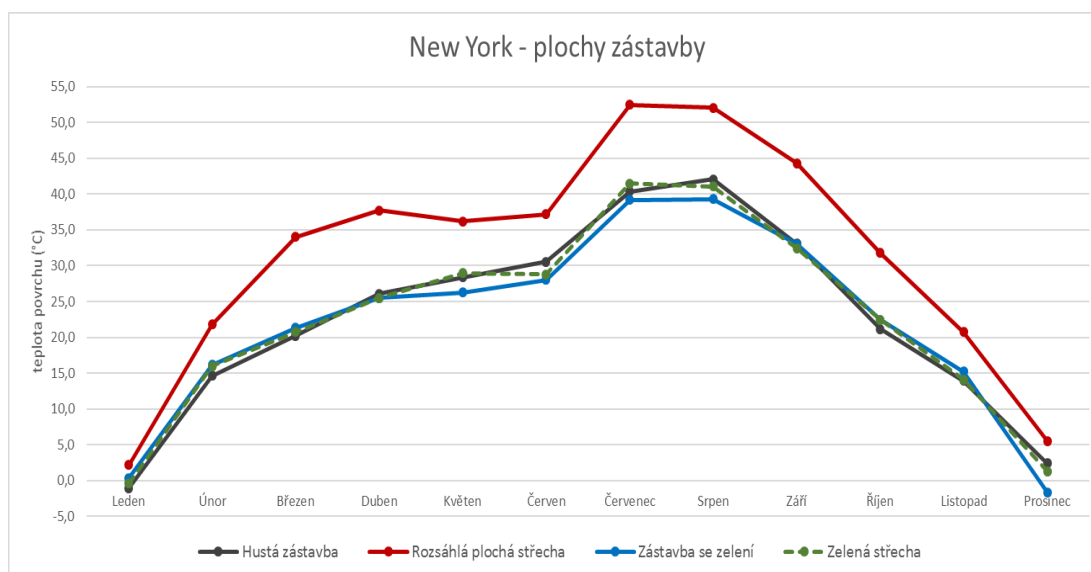
Tab. 4 Rozdíl teplot zeleně oproti teplotě zelené střechy ve městě New York

Typ plochy	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec	Ø
Tráva	+1,3	-0,5	-2,8	-4,7	-8,0	-5,1	-9,9	-6,2	-3,9	-2,8	+0,3	+1,5	-3,4
Park	+0,6	-1,4	-2,3	-4,0	-7,8	-5,8	-10,9	-6,3	-4,4	-4,0	-0,2	+1,2	-3,8
Stromy	+0,6	-0,9	-1,9	-3,7	-8,8	-7,4	-12,5	-7,6	-4,9	-4,4	-0,1	+1,5	-4,2

Srovnávací plochy zástavby

Pro vyhodnocení vlivu zástavby byly vybrány tři typy ploch, a to hustá zástavba s minimálním zastoupením zeleně, rozsáhlá plochá střecha typově podobná střeše, na které je umístěna zelená střecha, a nakonec zástavba méně hustá se zastoupením zeleně v ulicích. V případě města New York tvořila srovnávací rozsáhlou plochu střecha skladu firmy FedEx nacházející se již ve městě Jersey. Nejnižších teplot dosáhla zástavba se zelení v ulicích (obr. 22), která byla

třetinu roku (květen, červenec, srpen a prosinec) chladnější než teplota zelené střechy, průměrně se za celý rok však jednalo o teplotu nižší o $-0,6\text{ }^{\circ}\text{C}$, viz tab. 5.



Obr. 22 Vývoj srovnávacích ploch zástavby ve městě New York

Teplota zelené střechy a husté zástavby se vyvíjela obdobně, s tím že i přes to že dosáhla teplejších hodnot v pěti měsících, byla v celkovém ročním průměru shodná. Nejteplejší plochou byla rozsáhlá plochá střecha skladu FedEx, která dosáhla nejvyšších teplot ve všech měsících, s nejvyšším rozdílem oproti teplotě zelené střechy v březnu ($+13,3\text{ }^{\circ}\text{C}$). V ročním průměru byl její povrch teplejší než povrch zelené střechy o $8,6\text{ }^{\circ}\text{C}$.

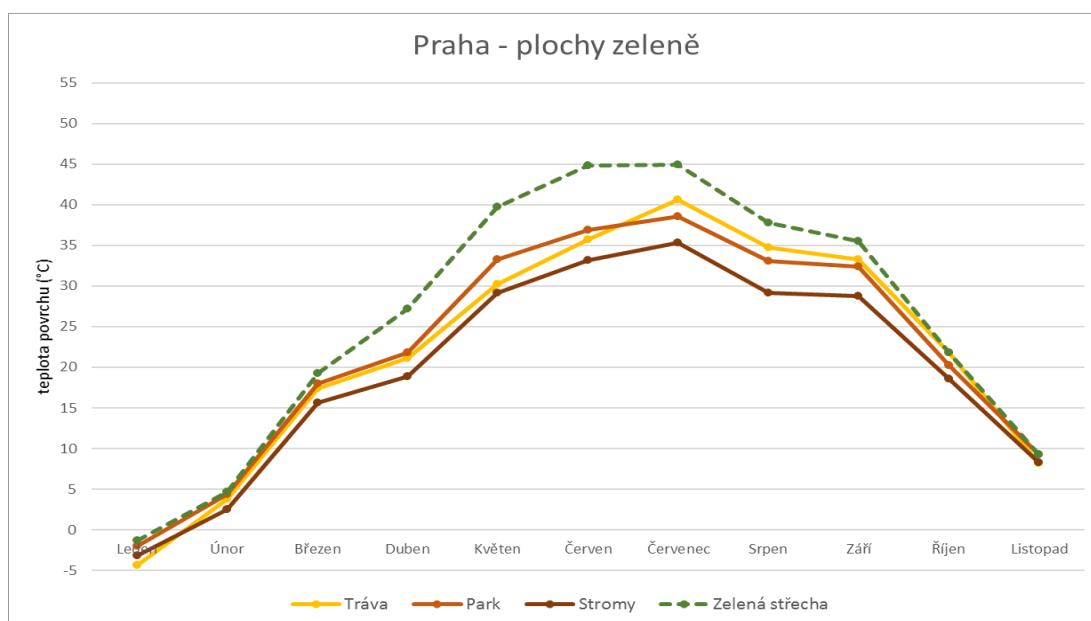
Tab. 5 Rozdíl teplot zástavby oproti teplotě zelené střechy ve městě New York

Typ plochy	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec	Ø
Rozsáhlá plochá střecha	+2,5	+5,8	+13,3	+12,2	+7,2	+8,4	+11,0	+11,0	+11,9	+9,4	+6,7	+4,2	+8,6
Hustá zástavba	-0,7	-1,4	-0,5	+0,5	-0,6	+1,8	-1,1	+1,0	+0,6	-1,3	-0,2	+1,1	0,0
Zástavba se zelení	+0,8	+0,2	+0,6	0,0	-2,7	-0,8	-2,3	-1,8	+0,6	0,0	+1,1	-2,9	-0,6

7.1.2 Praha

Srovnávací plochy zeleně

Hodnocené období pro Prahu tvoří pouze měsíce leden-listopad, a to z důvodu nenalezení vhodného teplotního snímku z družice Landsat 8, které bylo způsobené příliš vysokou oblačností ve dnech snímání satelitu v období 2015-2018. V případě zelené střechy na obchodním centru Nový Smíchov byl teplotní vývoj obdobný zelené střechy na Jacob Javits Conventional Center, viz obr.23. Plocha parku byla vymezena v rámci přilehlého parku Sacre Cour, travnatá plocha je součástí parku Ladronka a stromy byly vybrány v rámci přírodní památky Petřín.



Obr. 23 Vývoj srovnávacích ploch zeleně v Praze

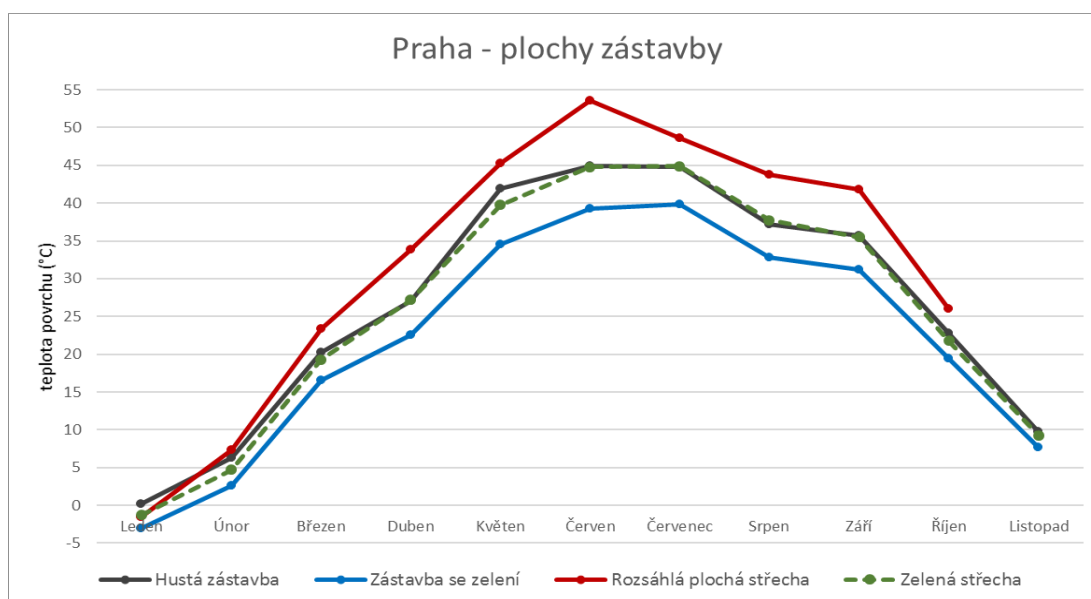
Pro období listopad-březen se teploty zelené střechy nejvíce přibližovaly teplotám ostatních skupin vegetaci, avšak byly po celý rok (s výjimkou pro trávu v říjnu a pro park v listopadu o +0,0 °C) chladnější. Roční průměr rozdílu teplot oproti zelené střechy činil pro trávu -3,7 °C, pro park -3,4 °C a pro skupiny stromů -6,1 °C, viz tab. 6.

Tab. 6 Rozdíl teplot zeleně oproti teplotě zelené střechy v Praze

Typ plochy	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec	Ø
Tráva	-3,1	-1,0	-1,9	-6,1	-9,5	-9,0	-4,3	-3,0	-2,2	0,0	-1,1		-3,7
Park	-0,7	-0,4	-1,3	-5,4	-6,5	-7,9	-6,4	-4,6	-3,1	-1,6	0,0		-3,4
Stromy	-1,9	-2,2	-3,7	-8,3	-10,6	-11,6	-9,6	-8,6	-6,7	-3,2	-1,0		-6,1

Srovnávací plochy zástavby

V případě srovnání teplot dle typu zástavby byla teplotě zelené střechy nejpodobnější hustá zástavba, viz obr. 24, stejně jako v případě města New York. V Praze hustá zástavba představuje budovy okolo paláce Lucerna a její povrchová teplota byla převážně teplejší, s chladnějšími hodnotami pouze v dubnu, červenci a srpnu. V ročním průměru se jednalo o teploty teplejší o - 0,7 °C.



Obr. 24 Vývoj srovnávacích ploch zástavby v Praze

Zástavba se zelení byla ve všech měsících chladnější a v průměru ročních teplot dosáhla hodnot nižších oproti teplotě zelených střech o -3,6 °C. Rozsáhlá plocha na střechě nákupního centra Černý Most byla v devíti z desíti měsíců teplejší než povrch zelené střechy, v průměru celého roku se jednalo o +4,8 °C, viz tab. 7.

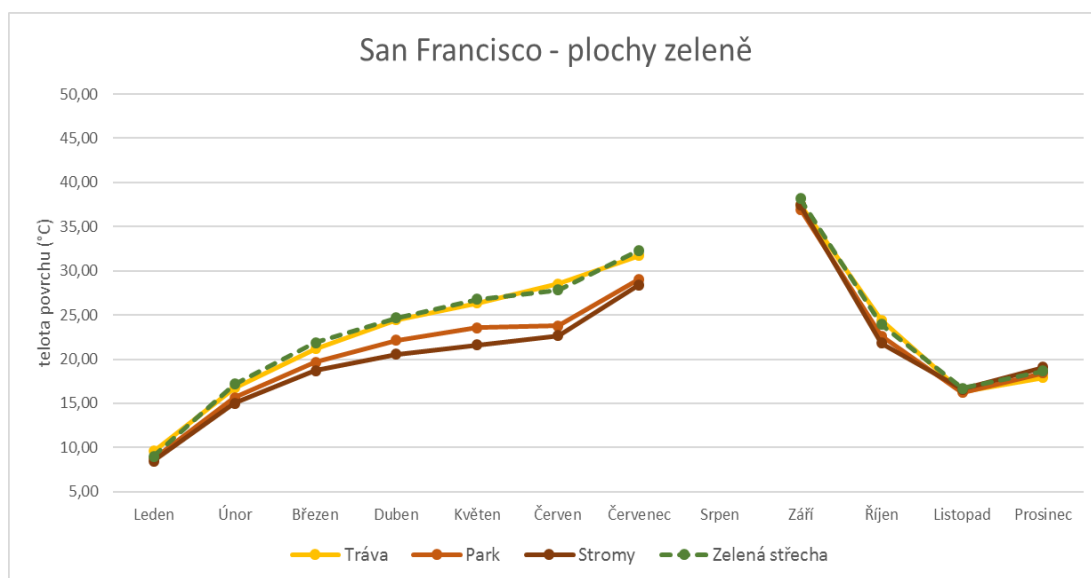
Tab. 7 Rozdíl teplot zástavby oproti teplotě zelené střechy v Praze

Typ plochy	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec	Ø
Rozsáhlá plochá střecha	-0,3	+2,7	+4,1	+6,7	+5,5	+8,8	+3,7	+6,0	+6,4	+4,3			+4,8
Hustá zástavba	+1,5	+1,6	+0,9	-0,1	+2,2	+0,2	-0,1	-0,5	+0,2	+0,9	+0,5		+0,7
Zástavba se zelení	-1,7	-2,1	-2,7	-4,6	-5,3	-5,6	-5,0	-5,0	-4,3	-2,3	-1,6		-3,6

7.1.3 San Francisco

Srovnávací plochy zeleně

Obdobně jako pro studijní území v Praze, i pro oblast San Franciscu nebylo možné získat reprezentativní snímek pro každý měsíc. V kalifornské oblasti se jednalo o snímky za měsíc srpen, kdy byla celá zájmová oblast zahalena mraky. Ozeleněná střecha budovy California Academy of Sciences se nalézá v Golden Gate parku, kde byly vymezeny srovnávací plochy vegetace. Při srovnání jejich teplot se chování povrchu zelené střechy nejvíce blížilo trávě. Park i stromy byly chladnější, nejvýrazněji v období duben-červenec, viz obr. 25.



Obr. 25 Vývoj srovnávacích ploch zeleně v San Franciscu

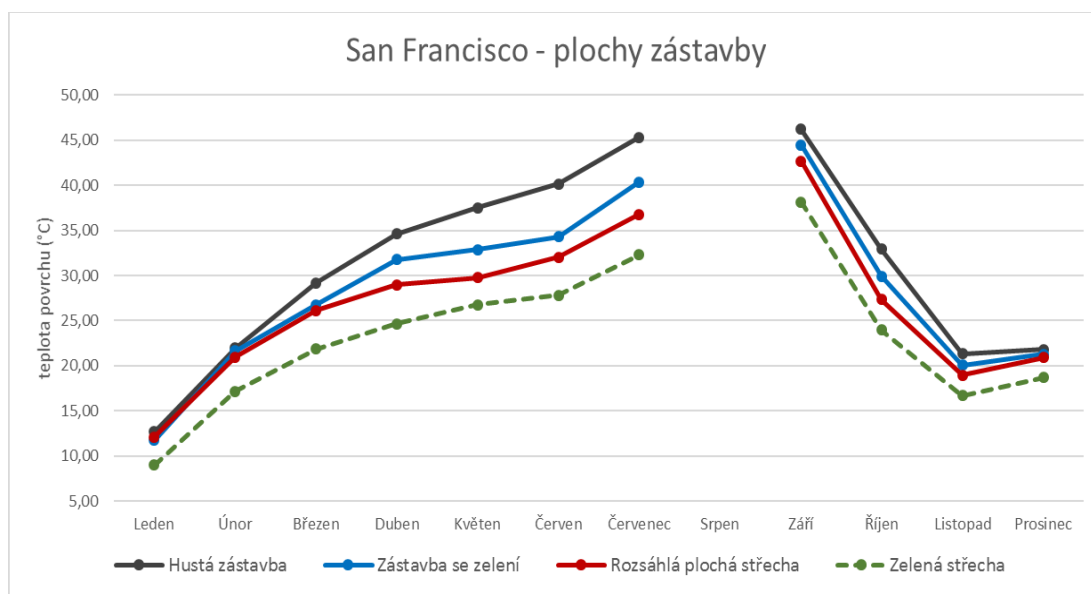
Jak již bylo zmíněno, povrch trávy byl teplotě zelené střechy nejbližší, ve většině měsíců s nižšími teplotami oproti samotné zelené střechě (celoroční průměr pouze o -0,2 nižší), pouze pro leden, červen a říjen byly teploty mírně vyšší, viz tab.8. Plochy parku i stromů byly především chladnější, v celoročním průměru u parku o -1,9 °C a u skupiny stromů o -2,4 °C.

Tab. 8 Rozdíl teplot zeleně oproti teplotě zelené střechy v San Franciscu

Typ plochy	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec	Ø
Tráva	+0,6	-0,4	-0,7	-0,2	-0,4	+0,7	-0,6		-0,7	+0,5	-0,3	-0,8	-0,2
Park	-0,3	-1,5	-2,2	-2,6	-3,3	-4,1	-3,3		-1,2	-1,4	-0,4	-0,2	-1,9
Stromy	-0,5	-2,2	-3,2	-4,1	-5,2	-5,2	-3,9		-0,7	-2,1	-0,1	+0,4	-2,4

Srovnávací plochy zástavby

Při porovnání dle typu zástavby byl vývoj teplot odlišný od předchozích dvou studijních oblastí. Nejvyšších hodnot dosáhla hustá zástavba, zatímco nejchladnějším povrchem byla zelená střecha budovy California Academy of Sciences, viz obr. 26.



Obr. 26 Vývoj srovnávacích ploch zástavby v San Franciscu

Všechny srovnávací plochy zástavby tedy dosáhly vyšších hodnot, průměrný roční rozdíl oproti teplotě zelené střechy tvořil pro rozsáhlou plochou střechu nacházející se přímo naproti budově California Academy of Sciences také v parku Golden Gate +3,6 °C, pro zástavbu se zelení v blízkosti parku +5,3 °C a pro hustou zástavbu dokonce +7,9 °C, viz tab. 9.

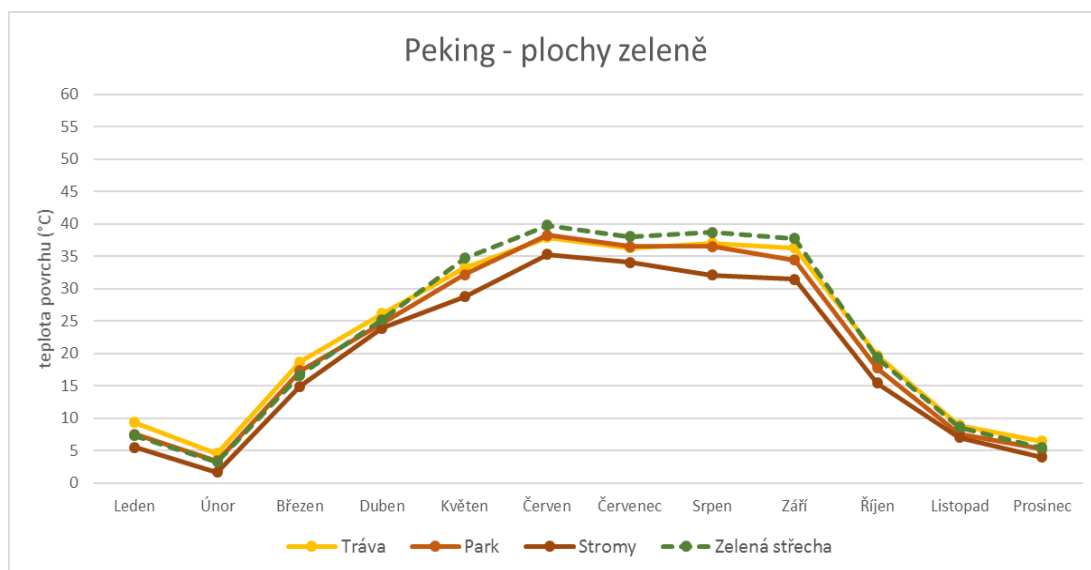
Tab. 9 Rozdíl teplot zástavby oproti teplotě zelené střechy v San Franciscu

Typ plochy	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec	Ø
Rozsáhlá plochá střecha	+3,1	+3,8	+4,2	+4,3	+3,0	+4,2	+4,5		+4,5	+3,4	+2,3	+2,2	+3,6
Hustá zástavba	+3,7	+4,8	+7,3	+9,9	+10,8	+12,3	+13,0		+8,0	+9,0	+4,7	+3,1	+7,9
Zástavba se zelení	+2,7	+4,5	+4,9	+7,1	+6,1	+6,5	+8,0		+6,3	+6,0	+3,4	+2,6	+5,3

7.1.4 Peking

Srovnávací plochy zeleně

Plochy zeleně tvořené především trávou a kombinací trávy a stromů (kategorie park) byly vymezeny v těsné blízkosti terminálu letiště s ozeleněnou střechou. Stejně jako v případě studijního území v San Franciscu, i zde byla teplotě zelené střechy nejpodobnější tráva, která byla ovšem v období říjen-duben dokonce teplejší, viz obr.26.



Obr. 27 Vývoj srovnávacích ploch zeleně v Pekingu

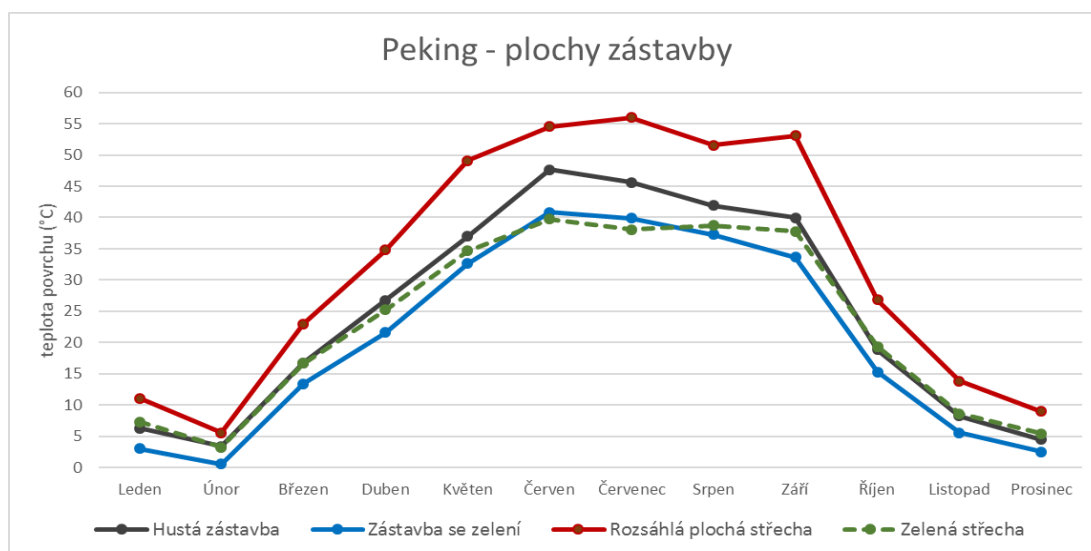
V celoročním průměru byla teplota trávy s teplotou zelené střechy shodná, viz tab. 10. Teplota parku byla teplejší ve třech měsících a v celoročním průměru byla o $-1,1$ °C chladnější než zelená střecha. Srovnávací plocha stromů, která byla od letiště vzdálenější, byla shodně jako ve zbylých studijních oblastech nejchladnější s průměrným ročním rozdílem $-3,4$ °C.

Tab. 10 Rozdíl teplot zeleně oproti teplotě zelené střechy v Pekingu

Typ plochy	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec	Ø
Tráva	+2,0	+1,4	+2,0	+0,9	-1,4	-1,8	-1,8	-1,7	-1,5	+0,3	+0,3	+1,0	0,0
Park	+0,2	+0,2	+0,7	-0,6	-2,5	-1,5	-1,6	-2,2	-3,3	-1,6	-1,0	-0,2	-1,1
Stromy	-1,8	-1,6	-1,7	-1,4	-5,9	-4,5	-4,0	-6,6	-6,3	-3,9	-1,6	-1,4	-3,4

Srovnávací plochy zástavby

Obdobně jako vývoj teplot v rámci skupiny dle typu zástavby ve studijní oblasti města New York a Prahy se chovala zástavba i v oblasti Pekingu, avšak s vyššími teplotními rozdíly. Jediná zástavba, která dosáhla ve většině měsíců nižších hodnot než zelená střecha, byla zástavba se zelení, viz obr. 28. Hustá zástavba již v osmi měsících vykázala teplejší hodnoty než zelená střecha. Nejvyšší rozdíl byl naměřen na rozsáhlé ploché střeše, která se nachází na budově výstavního a obchodního centra s názvem China International Exhibition Center Shunyi New Venue. Povrchová teplota zde byla ve všech měsících vyšší než teplota zelené střechy na blízkém letišti.



Obr. 28 Vývoj srovnávacích ploch zástavby v Pekingu

Rozsáhlá plochá střecha dosáhla nejvyššího rozdílu oproti zelené střeše v Červenci v Pekingu, kdy byl povrch teplejší o +17,9 °C. V ročním průměru byla střecha o +9,5 °C teplejší. Roční průměr byl v případě zástavby se zelení chladnější o -2,4 °C, zatímco hustá zástavba i rozsáhlá plochá střecha již byly teplejší a to o +1,8 °C a o +9,5 °C, viz tab. 11.

Tab. 11 Rozdíl teplot zástavby oproti teplotě zelené střechy v Pekingu

Typ plochy	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec	Ø
Rozsáhlá plochá střecha	+3,8	+2,4	+6,3	+9,5	+14,4	+14,8	+17,9	+12,8	+15,3	+7,5	+5,2	+3,6	+9,5
Hustá zástavba	-1,0	+0,2	+0,1	+1,5	+2,3	+7,9	+7,5	+3,2	+2,2	-0,5	-0,3	-0,9	+1,8
Zástavba se zelení	-4,3	-2,6	-3,3	-3,6	-2,0	+1,1	+1,8	-1,5	-4,1	-4,1	-3,0	-2,9	-2,4

7.2 Chování povrchů v letním období

Městský tepelný ostrov se vyskytuje v průběhu celého roku (Savio et al., 2006), ale z hlediska teplotního stresu a jeho působení na lidské zdraví je důležitý jeho vývoj především v letních měsících (Dang et al., 2018). Nejvyšší teploty se ve studijních oblastech vyskytovaly v letních měsících (viz předcházející podkapitola), nicméně nejteplejší měsíce se pro jednotlivá studijní území lišila. Pro studijní území města New York byly jako nejteplejší měsíce vyhodnoceny červenec, srpen a září, v případě Prahy se jednalo o červen, červenec a srpen, pro Peking o květen, červen a červenec. Z důvodu chybějících dat pro měsíc srpen v lokalitě San Francisca byly hodnoceny měsíce červen, červenec a září.

7.2.1 New York

Porovnání rozdílů průměrných letních teplot s ročním průměrem rozdílů teplot oproti zelené střeše v rámci první porovnávané skupiny zvýraznilo schopnost vegetace ochladit povrchovou teplotu. Tráva vykazala v letním období průměrný rozdíl teploty o $-3,3\text{ °C}$ chladnější než celoroční průměr, park o $-3,4\text{ °C}$ a stromy o $-4,1\text{ °C}$. Rozdíly průměrných letních teplot s ročním průměrem rozdílů teplot oproti zelené střeše v rámci druhé porovnávané skupiny ukázaly obdobný vývoj jako roční průměr, kdy se průměrná letní teplota oproti průměrnému ročnímu rozdílu lišila o $+2,7\text{ °C}$ pro rozsáhlou plochou střechu, o $+0,2\text{ °C}$ pro hustou zástavbu a o $-0,5\text{ °C}$ pro zástavbu se zelení, viz tab.11.

Tab. 12 Průměrné rozdíly teplot povrchů v letním období ve městě New York

Typ plochy	Ø léto*	Ø rok
Tráva	-6,7	-3,4
Park	-7,2	-3,8
Stromy	-8,3	-4,2
Rozsáhlá plochá střecha	+11,3	+8,6
Hustá zástavba	0,2	0,0
Zástavba se zelení	-1,1	-0,6

* červenec, srpen a září

7.2.2 Praha

V rámci Prahy dosáhla skupina vegetace také nižších hodnot, kdy byla tráva v letním období chladnější oproti celoročnímu průměru o $-1,7\text{ °C}$, park o $-2,9\text{ °C}$ a stromy o $-3,8\text{ °C}$. Skupina lišící se typem zástavby byla i v případě Prahy konzistentní při porovnání letního období vůči celoročnímu průměru, kdy rozsáhlá

plochá střecha dosáhla vyšší hodnoty o +1,4 °C, hustá zástavba byla v letním období o – 0,8 °C chladnější a zástavba se zelení o -1,6 °C oproti zelené střеше, viz tab. 13.

Tab. 13 Průměrné rozdíly teplot povrchů v letním období v Praze

Typ plochy	Ø léto*	Ø rok
Tráva	-5,4	-3,7
Park	-6,3	-3,4
Stromy	-9,9	-6,1
Rozsáhlá plochá střecha	6,2	4,8
Hustá zástavba	-0,1	0,7
Zástavba se zelení	-5,2	-3,6

*červen, červenec a srpen

7.2.3 San Francisco

Srovnání rozdílů teplot ploch oproti zelené střеше v rámci letního období a celého roku pro plochy dle typu vegetace vykázalo shodné hodnoty pro trávu, park byl v letním období chladnější o -1,0 °C a skupina stromů o -0,8 °C. Rozsáhla plochá střecha, která se stejně jako zelená střecha nachází v parku, byla v letních měsících teplejší o +0,8 °C, hustá zástavba o +3,2 °C a zástavba se zelení o +1,7 °C oproti ročnímu průměru, viz tab. 14.

Tab. 14 Průměrné rozdíly teplot povrchů v letním období v San Franciscu

Typ plochy	Ø léto*	Ø rok
Tráva	-0,2	-0,2
Park	-2,9	-1,9
Stromy	-3,3	-2,4
Rozsáhlá plochá střecha	4,4	3,6
Hustá zástavba	11,1	7,9
Zástavba se zelení	6,9	5,3

* červen, červenec a září

7.2.4 Peking

Při porovnání průměrných teplot rozdílů ploch oproti teplotě zelené střechy mezi letním obdobím a ročním průměrem již plocha trávy v oblasti Pekingu nevykazovala shodnou hodnotu, ale chladnější teplotu o -1,7 °C oproti ročnímu

průměru, park o $-0,8$ °C a stromy o $-1,5$ °C. Rozsáhlá střecha naopak vykázala teplejší hodnoty než roční průměr a to o $+6,2$ °C a hustá zástavba o $+4,1$ °C. Zástavba se zelení, která byla v ročním průměru chladnější, dosáhla v letním období obdobných teplot jako zelná střecha, kdy byla o $+0,3$ °C teplejší, zatímco v ročním průměru se od zelené střechy lišila o $-2,4$ °C, viz tab. 15.

Tab. 15 Průměrné rozdíly teplot povrchů v letním období v Pekingu

Typ plochy	Ø léto*	Ø rok
Tráva	-1,7	0,0
Park	-1,9	-1,1
Stromy	-4,8	-3,4
Rozsáhlá plochá střecha	15,7	9,5
Hustá zástavba	5,9	1,8
Zástavba se zelení	0,3	-2,4

*květen červen a červenec.

8 Diskuze

V této práci byla hodnocena povrchová teplota vybraných objektů v čase snímání senzoru neseném na satelitním nosiči. Termální snímek družice Landsat 8 vychází ze 100metrového rozlišení, ale je před distribucí převzorkován na 30 metrů. Pro potřeby práce bylo rozhodnuto použít poskytované rozlišení. V průběhu zpracování bylo nutné zkombinovat satelitní snímky obou družic. Bohužel je střed pixelů vzájemně posunutý a bylo nutné je sjednotit. Došlo tedy k přizpůsobení pixelů z družice Landsat 8 pixelům z družice Sentinel 2. Díky takovému postupu by mohlo dojít ke zvýšení prostorového rozlišení na základě vytvořené mapy emisivity, ale je možné, že posun středu pixelu mohl ovlivnit výsledné hodnoty povrchové teploty. Limitace prostorového rozlišení termálního pásma satelitu Landsat 8 byla vyřešena vybráním zelených střech o dostatečném rozměru pro termální snímky vycházející ze stometrového rozlišení. Neodstranitelným omezením satelitních snímků z družice je však jejich časové rozlišení, kdy je nutné respektovat periodicitu snímání, která činí pro Landsat 8 šestnáct dní a pro Sentinel 2 pět dní. Současně nelze vybrat ani čas snímání, který se odvíjí od oběžné dráhy satelitu a času přeletu rovníku. Porovnání zaznamenaných hodnot závisí na opakování snímání daného satelitu, ale časově je záznam nad shodnou lokalitou konzistentní, viz Příloha 1,3,5 a 7, která uvádí přesné časy snímání použitých satelitních snímků. Jeden čas záznamu neumožňuje porovnat denní vývoj sledovaných objektů. Autoři Peng et Jim (2013) při experimentálním měření během jednoho dne pozorovali teplotní vývoj zelené a holé střechy. Dle jejich výsledků byla teplota povrchu nejvyšší mezi první a druhou hodinou odpolední během dne v srpnu. Tento čas není při využití výše popsané metodiky pokryt, a tak je při hodnocení výsledků nutné přihlídnout k faktu, že porovnávané teploty zastupující reprezentativní teplotu měsíce se vždy vztahují k přibližně 12 -té hodině, viz Příloha. Dalším faktorem, se kterým je nutné při posuzování výsledků počítat je, že uvedené teploty byly přítomné na povrchu objektů a to za jasného a slunečného dne, kdy má příchozí krátkovlnné záření přímou cestu k povrchu (Savio et al., 2006) a je atmosférou minimálně rozptylováno. Současně je nutné přihlídnout k odlišnému geografickému umístění studijních území a také rozdílnému datu snímání satelitních snímků, a to jak termálního snímku družice Landsat 8, tak snímku družice Sentinel 2. Je proto vhodné zaměřit se především na rozdílný vývoj teplot v rámci jednotlivých studijních oblastí, než je vzájemně srovnávat s cílem získat jednotný výsledek. Ani srovnávací plochy nebyly shodné, jednak z důvodu praktické nemožnosti najít v blízkém okolí zelené střechy

identické typy budov a jednak s cílem dosáhnout vyšší reprezentativnosti výsledků, neboť žádné město není tvořené pouze omezeným množstvím shodných ploch.

V této práci byla hodnocena teplota v rámci vybraných srovnávacích ploch. Obdobná práce, která by hodnotila vývoj povrchů v průběhu roku nebyla nalezena, ve většině případů se jedná buď o zpracování satelitního snímku za jeden den (Estoque et al., 2017), nebo o ověření výsledků modelování terénním měřením v průběhu jednoho (Alcazar et al., 2016; Peng et Jim, 2013) nebo více dní (Berardi, 2016; DeNardo et al., 2005; Savio et al., 2006) či o modelování podmínek mikroklimatu (Berardi, 2016; Kumar et Kaushik, 2005; Liu et Bass, 2005; Savio et al., 2006)

Porovnání teplot zelené střechy s konvenční střechou je v této práci provedeno v rámci kategorie rozsáhlá plochá střecha. Autoři DeNadro et al. (2005) naměřili na experimentálních střechách maximální teplotní rozdíl mezi zelenou střechou a střechou bez vegetačního pokryvu $-19\text{ }^{\circ}\text{C}$ pro letní období a $+6\text{ }^{\circ}\text{C}$ pro zimní období. Maximální rozdíl mezi zelenou střechou a rozsáhlou plochou střechou byl v této práci naměřen pro město New York v měsíci březnu $-13,3\text{ }^{\circ}\text{C}$, pro Prahu v červnu $-8,8\text{ }^{\circ}\text{C}$, pro San Francisco v červenci $-4,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ a pro Peking také v červenci $-17,9\text{ }^{\circ}\text{C}$. Zjištěná nižší hodnota rozdílu může být způsobena porovnáním teploty v hodinu záznamu satelitu s maximálním rozdílem teploty, který byl získán hodinovým záznamem teploty během dne. Studie provedená v srpnu roku 2001 v Chicagu naměřila rozdíl $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ (U.S. Department of Energy, 2004) a nejvíce odpovídá rozdílu naměřeném na zelené střeše v San Franciscu.

Z výsledků práce vyplývá, že vegetace, která vždy dosáhla chladnějších hodnot, je schopna snížit povrchovou teplotu. Autoři Estoque et al. (2017) vypracovali mapy povrchové teploty z družice Landsat 8 pro tři asijská megaměsta a zjistili, že průměrně byla teplota nepropustného povrchu o $3\text{ }^{\circ}\text{C}$ vyšší než teplota zelených ploch ve městech. Obdobně Alcazar et al. (2016) z výsledků modelování a jeho ověření vyhodnotili, že teplota nad měkkou zavlažovanou půdou je až o $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ chladnější než teplota nad pevnými povrchy. Z důvodu rozdělení kategorií zeleně i zástavby je shodné porovnání pouze při zprůměrování skupin. V takovém případě byla teplota nepropustného povrchu v ročním průměru teplejší o $6,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ pro město New York, o $5,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ pro Prahu, o $7,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ pro San Francisco a o $4,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ pro Peking.

Savio et al. (2006) na základě simulace změny povrchu ze srpna 2002 pro město New York zjistili průměrný rozdíl teplot při nahrazení trávy stromy $1,1\text{ }^{\circ}\text{C}$. Pro měsíc srpen byl ve městě New York mezi zmíněnými kategoriemi v této práci zjištěn

rozdíl 1,4 °C, tudíž bylo pomocí srovnávacích ploch dosaženo obdobných hodnot povrchové teploty. Dále autoři vypočítali průměrný denní rozdíl v simulované teplotě povrchu při nahrazení nepropustných povrchů stromy 1,9 °C, s tím, že maximální rozdíl během celého dne byl 4,8 °C. Za měsíc srpen byl ze satelitního snímku v čase jeho snímání zjištěn rozdíl mezi zástavbou se zelení a stromy 5,8 °C, mezi hustou zástavbou a stromy 8,6 °C a mezi plochou střechou a stromy 18,6 °C. Výsledky se spíše přibližují maximálnímu rozdílu než jeho průměrné denní hodnotě s významným překročením maximálního rozdílu pro rozsáhlou plochou střechu.

Nejvyšší teplotní rozdíl byl v této práci naměřen mezi teplotou stromů a zastavěných ploch, které byly ve všech případech teplejší. K shodnému závěru dospěli i autoři Solecki et al. (2006). Autoři Savio et al. (2006) dále simulovali změnu teploty povrchu při nahrazení nepropustných ploch trávou a naměřili průměrný denní rozdíl 2,5 °C a maximální rozdíl 5,8 °C. V New Yorku by, zjištěný rozdíl vyšší a blížil se maximálnímu rozdílu, který ale i přesahoval. Teplotní rozdíl mezi zástavbou se zelení a trávou byl +4,4 °C, mezi hustou zástavbou a trávou +7,2 °C a rozdíl rozsáhlé ploché střechy byl výrazně vyšší a dosáhl 17,2 °C.

Odlišný projev skupiny dle typu zástavby v případě studijní oblasti San Francisca je pravděpodobně způsobený umístěním budovy se zelenou střechou, která se stejně jako budova s rozsáhlou plochou střechou nachází uvnitř parku. Zdá se, že v tomto případě okolní mikroklima způsobilo chladnější hodnoty střech v parku při porovnání s povrchovou teplotou husté zástavbou a zástavbou s pouliční zelení, která se již nacházela mimo areál parku. Zdá se, že umístění střechy má vliv na její teplotní projev a může její chladicí efekt podpořit, nebo omezit. Jak velký vliv tento jev může být je spolu s identifikací lokalit, kde by byl teplotní efekt zelených střech nejpotřebnější, předmětem pro další studie.

9 Závěr

V předkládané práci byl zhodnocen teplotní vývoj rozsáhlých zelených střech ve čtyřech odlišných studijních oblastech pomocí satelitních snímků z aktuálně aktivní družice Sentinel 2 a Landsat 8. Pro porovnání teplot na povrchu zelených střech byly vybrány okolní plochy, které byly rozděleny do dvou skupin na základě převládajícího materiálu. První srovnávací skupinou byly plochy zeleně s odlišným zastoupením vzrostlé vegetace, které zastupovaly kategorie tvořené především bylinnou vegetací s označením 'tráva', kombinací bylinné a dřevinné vegetace s označením 'park' a samotným zastoupením dřevin s označením 'stromy'. V rámci první skupiny dle typu vegetace se teplotě zelené střechy nejvíce přibližovala teplota trávy, která byla v ročním průměru chladnější (sestupně) o $-0,2$ °C pro San Francisco, o $-3,4$ °C pro město New York a o $-3,7$ °C pro Prahu. Pro studijní oblast Peking se teplota trávy přiblížila nejvíce, byla v ročním průměru shodná. V letním období byly všechny kategorie vegetace v rámci všech studijních lokalit chladnější. Uvnitř skupiny tvořila nejteplejší kategorii tráva, poté park, a nakonec skupina stromů. Skupina stromů dosáhla v letním období nejvyššího rozdílu oproti teplotě zelené střechy, kdy byla chladnější o (sestupně) $-9,9$ °C pro Prahu, $-8,3$ °C pro město New York, $-4,8$ °C pro Peking a $-3,3$ °C pro San Francisco. Se zvyšujícím se zastoupením dřevinné vegetace se povrchová teplota snižovala.

Druhá skupina lišící se typem zástavby byla také tvořena třemi kategoriemi, a to rozsáhlou plochou střechou bez vegetačního pokryvu, hustou zástavbou bez vegetace a běžným typem zástavby se zelení v ulicích. Nejvýrazněji byla skupina zastoupena rozsáhlou plochou střechou, která byla téměř ve všech případech teplejší než zelená střecha, v ročním průměru (sestupně) o $+9,5$ °C pro Peking, o $+8,6$ °C pro město New York, o $+4,8$ °C pro Prahu a o $+3,6$ °C pro San Francisco. Naopak, nejnižších hodnot dosáhla zástavba s pouliční zelení, která byla pro tři ze čtyř studijních oblastí chladnější než zelená střecha. Ochlazení bylo $-0,6$ °C pro New York, o $-2,4$ °C pro Peking a o $-3,6$ °C pro Prahu. V případě San Franciscu byl vývoj odlišný a v ročním průměru byl povrch srovnávací oblasti teplejší o $+5,3$ °C. Poslední ze skupiny je plocha husté zástavby, která byla shodná pro město New York a teplejší o $0,7$ °C pro Prahu, o $+1,8$ °C pro Peking a o $+11,1$ °C pro San Francisco. Stejně jako v ročním průměru, i v letním období byla rozsáhlá plochá střecha nejteplejší, a to ve všech studijních lokalitách. Průměrný rozdíl oproti teplotě zelené střechy byl vyšší (sestupně) o $+15,7$ °C pro Peking, o $+11,3$ °C pro město New York, o $+6,2$ °C pro Prahu a o $+4,4$ °C pro San Francisco. Projev chování vybraných ploch kategorie zástavba se zelení se v letním období lišil dle studijní

oblasti, pro New York a Prahu se chladící efekt prohloubil na $-1,1$ °C a $-5,2$ °C, zatímco pro San Francisco a Peking se snížil. V Pekingu byl efekt potlačen a průměrná teplota povrchu byla v Pekingu o $+0,3$ °C teplejší než povrch zelené střechy a pro San Francisco o $6,9$ °C. Hustá zástavba byla teplejší v Pekingu o $+5,9$ °C a v San Franciscu o $+11,1$ °C, zatímco ve městě New York se teplota povrchu spíše blížila teplotě zelené střechy s mírně vyšší teplotou o $+0,2$ °C a v Praze byla dokonce chladnější o $-0,1$ °C.

Výsledky práce tedy prokázaly, že se teplota zelené střechy odvíjí od jejího typu a pro zkoumané studijní oblasti lze říci, že se svým teplotním chováním nejvíce přibližovala travnaté ploše na uliční úrovni. Při vzrůstajícím zastoupení dřevinné vegetace byla zaznamenána nižší teplota, a tedy vyšší chladící efekt. Zelená střecha je na základě vyhodnocení teploty povrchu v průběhu roku nedostatečná náhrada za park či skupiny stromů. Neměla by tedy být akceptována jako náhrada za existující plochy zeleně či nutnou výsadbu, jako v případě obchodního centra Nový Smíchov v Praze, kde bylo ozelenění střechy podmínkou k povolení zastavění celého pozemku. Obdobně jako teplota trávy se chovaly i plochy označené jako zástavba se zelení, které byly pro tři ze čtyř studijních území chladnější. I zde se prokázal vliv stromů a uliční zeleně, která aktivně ochlazuje své okolí a působí na teplotní komfort obyvatel. Extenzivní zelená střecha, která byla v této práci hodnocena, pouliční vegetaci nedokáže plně nahradit.

I přes to, že je extenzivní zelená střecha z hlediska povrchové teploty nedostatečná náhrada za pouliční zeleň, park či skupiny stromů, má její aplikace smysl při nahrazení nepropustných ploch a umělých povrchů. Na rozdíl od těch totiž kromě snížení teploty poskytuje i ekosystémové služby, kdy zadržuje dešťovou vodu, čistí vzduch a poskytuje prostředí pro volně žijící živočichy, viz podkapitola 3.1.3. Porovnání povrchové teploty zelené střechy s kategoriemi skupiny zástavby jednoznačně prokázalo, že zelená střecha výrazně ovlivňuje okolní mikroklima, které na rozdíl od rozsáhlé ploché střechy ochlazuje. Při nahrazení rozsáhlé ploché střechy obchodních center a skladů či obdobných budov má instalace zelené střechy největší význam. V letním období, které je z hlediska teplotního komfortu lidí nejvýznamnější dosáhla zelená střecha teplot o $4,4$ – $15,7$ °C chladnějších. Takový rozdíl je při předpovídaném oteplování velmi důležitý a předkládaná práce potvrzuje, že aplikace zelených střech může přispět k přizpůsobení měst vyšším teplotám.

Přehled literatury a použitých zdrojů

- Akbari H., Menon S., et Rosenfeld A., 2009: Global cooling: Increasing world-wide urban albedos to offset CO₂. *Climatic Change*, 94(3-4), 275-286.
- Alcazar S.S., Olivieri F., et Neila J., 2016: Green roofs: Experimental and analytical study of its potential for urban microclimate regulation in Mediterranean–continental climates. *Urban Climate*, 17, 304-317.
- Alvizuri J., Cataldo J., Smalls-Mantey L.A., et Montalto F.A., 2017: Green roof thermal buffering: Insights derived from fixed and portable monitoring equipment. *Energy and Buildings*, 151, 455-468.
- Artis D.A., et Carnahan W.H., 1982: Survey of emissivity variability in thermography of urban areas. *Remote Sensing of Environment*, 12(4), 313-329.
- Barsi J.A., Schott J.R., Palluconi F.D., et Hook S.J., 2005a: Validation of a web-based atmospheric correction tool for single thermal band instruments, 5882, 58820E.
- Berardi U., 2016: The outdoor microclimate benefits and energy saving resulting from green roofs retrofits. *Energy and Buildings*, 121, 217-229.
- Burian S., Dostálová J., Dubský M., Halama P., Chaloupka K., Komzák J., Pařava R., Straková M., Šrámek F., Vacek, P. et Vokál J., 2016: Standardy pro navrhování, provádění a údržbu: Vegetační souvrství zelených střech.
- Carter T., et Keeler A., 2008: Life-cycle cost-benefit analysis of extensive vegetated roof systems. *Journal of Environmental Management*, 87(3), 350-363.
- Carter T., et Rasmussen T., 2007: Hfarydrologic behavior of vegetated roofs, 30602, 1261-1274.
- Cohen B., 2006: Urbanization in developing countries: Current trends, future projections, and key challenges for sustainability. *Technology in Society*, 28(1-2), 63-80.
- Čermáková B., et Mužíková R., 2009: *Ozeleněné střechy*. Praha: Grada Publishing a.s.
- Dang T.N., Van D.Q., Kusaka H., Seposo X.T., et Honda Y., 2018: Green Space and Deaths Attributable to the Urban Heat Island Effect in Ho Chi Minh City. *American Journal of Public Health*, 108, e1-e7.
- DeNardo J.C., Jarrett A.R., Manbeck H.B., Beattie D.J., et Berghage R.D., 2005: Stormwater mitigation and surface temperature reduction by green roofs, 48(4), 1491-1496.
- Dobrovolný P., 1998: Dálkový průzkum Země a digitální zpracování obrazu Skriptum MU Brno.
- Dornič J., 1992: Dálkový průzkum Země Praha : Český geologický ústav.
- Dostál P., Macháč J., Dubová L., et Louda J., 2016: Způsoby systémové podpory výstavby zelených střech.

- Estoque R.C., Murayama Y., et Myint S.W., 2017: Effects of landscape composition and pattern on land surface temperature: An urban heat island study in the megacities of Southeast Asia. *Science of the Total Environment*, 577, 349-359.
- Farhanj F., et Akhoondzadeh M., 2017: Fusion of Landsat-8 thermal infrared and visible bands with multi-resolution analysis contourlet methods. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 42(4W4), 77-81.
- Gao L., Zhan W., Huang F., Zhu X., Zhou J., Quan J., ... Li M., 2017: Disaggregation of remotely sensed land surface temperature: A simple yet flexible index (SIFI) to assess method performances. *Remote Sensing of Environment*, 200, 206-219.
- Getter K.L., et Rowe D.B., 2006: The role of extensive green roofs in sustainable development. *HortScience*, 41(5), 1276-1285.
- Gill S.E., Handley J.F., Ennos A.R., et Pauleit S., 2007: Adapting cities for climate change: the role of the green infrastructure, 33(1), 115-133.
- Grant G., Engleback L., Nicholson B., Gedge D., Frith M., et Harvey P., 2003: *Green Roofs: their existing status and potential for conserving biodiversity in urban areas* English Nature (vol. 498) Peterborough, Anglie.
- Gupta R., et Gregg M., 2012: Using UK climate change projections to adapt existing English homes for a warming climate. *Building and Environment*, 55, 20-42.
- Gupta S.K., et Pandey A.C., 2018: Fraction of Vegetation Cover and Its Application in Vegetation Characterization in the Hazaribagh Wildlife Sanctuary , Jharkhand , 7(1), 2560-2573.
- Halounová L., et Pavelka K., 2005: Dálkový průzkum ZeměČVUT.
- Jin M., et Dickinson R.E., 2010: Land surface skin temperature climatology: Benefitting from the strengths of satellite observations. *Environmental Research Letters*, 5(4).
- Kato S., et Yamaguchi Y., 2007: Estimation of storage heat flux in an urban area using ASTER data. *Remote Sensing of Environment*, 110(1), 1-17.
- Kumar R., et Kaushik S.C., 2005: Performance evaluation of green roof and shading for thermal protection of buildings. *Building and Environment*, 40(11), 1505-1511.
- Kyalo D.K., 2017: Sentinel-2 and MODIS land surface temperature-based evapotranspiration for irrigation efficiency calculations, 50.
- Liu K., et Bass B., 2005: Performance of Green Roof Systems. *National Research Council Canada*.
- Oberndorfer E., Lundholm J., Bass B., Coffman R.R., Doshi H., Dunnett N., ... Rowe B., 2007: Green Roofs as Urban Ecosystems: Ecological Structures, Functions, and Services. *BioScience*, 57(10), 823-833.
- Onmura S., Matsumoto M., et Hokoi S., 2001: Study on evaporative cooling effect of roof lawn gardens. *Energy and Buildings*, 33(7), 653-666.
- Partridge D., et Clark, A., 2018: Urban green roofs provide habitat for migrating and breeding birds and their arthropod prey. *PLoS ONE*, 13, 1-23.

- Peng L.L.H., et Jim C.Y., 2013: Green-Roof Effects on Neighborhood Microclimate and Human Thermal Sensation, 598-618.
- Richards J.A., et Jia X., 1999: Remote Sensing Digital Image Analysis. *Springer*, 3, 10-38.
- Santamouris M., Papanikolaou N., Livada I., Koronakis I., Georgakis C., Argiriou A., et Assimakopoulos D.N., 2001: On the impact of urban climate on the energy consumption of building. *Solar Energy*, 70(3), 201-216.
- Savio P., Rosenzweig C., Solecki W.D., et Slosberg R.B., 2006: Mitigating New York City's heat island with urban forestry, living roofs, and light surfaces. *New York City Regional Heat Island Initiative. The New York State Energy Research and Development Authority*.
- Šimečková J., 2005: *Zelené střechy, zelené fasády, zelená parkoviště. Svaz zakládání a údržby zeleně*. Brno.
- Šimečková J., et Večeřová I., 2010: *Zelené střechy - naděje pro budoucnost. Svaz zakládání a údržby zeleně*. Brno.
- Speak A.F., Rothwell J.J., Lindley S.J., et Smith C.L., 2013: Urban Climate Reduction of the urban cooling effects of an intensive green roof due to vegetation damage. *Urban Climate*, 3, 40-55.
- Šťastník S., Hollan J., et Steuer R., 2006: Možnosti určení emisivity materiálů pomocí infračervené termografie.
- Takebayashi H., et Moriyama M., 2007: Surface heat budget on green roof and high reflection roof for mitigation of urban heat island. *Building and Environment*, 42(8), 2971-2979.
- U.S. Department of Energy, 2004: Federal Technology Alert: Green Roofs. *Federal Energy Management Program*, 5(August), 459-476.
- USGS, 2018: LANDSAT 8 DATA USERS HANDBOOK, 8(September), 2018.
- Valor E., et Caselles V., (1996): Mapping land surface emissivity from NDVI: Application to European, African, and South American areas. *Remote Sensing of Environment*, 57, 167-184.
- Weiss M., et Baret F., 2016: Sentinel2 ToolBox Level2 Products, (V1.1.).
- Zhan W., Huang F., Quan J., Zhu X., Gao L., Zhou J., et Ju W., 2016: Disaggregation of remotely sensed land surface temperature: A new dynamic methodology. *Journal of Geophysical Research*, 121(18), 10,538-10,554.
- Žubrietovský L., Švábová L., et Šváb O., 2017: Sentinel 2 – datové specifikace Základní informace Geografické pokrytí.

Internetové zdroje

- Baumann P., 2014: History of remote sensing, aerial photography (online) [cit.2019.03.15], dostupné z <http://employees.oneonta.edu/baumanpr/geosat2/rs%20history%20i/rs-history-part-1.htm>
- Beijing-airport.com, 2019: Beijing Capital Airport Parking (online) [cit.2019.04.15], dostupné z <https://www.beijing-airport.com/parking.php>

- California Academy of Sciences, 2019a: An Architect's Vision (online) [cit.2019.02.10], dostupné z <<https://www.calacademy.org/an-architects-vision>>
- California Academy of Sciences, 2019b: Green Building & Operations (online) [cit.2019.02.10], dostupné z <<https://www.calacademy.org/about-us/sustainability-in-action/green-building-operations>>
- CENIA, 2016: Základní principy DPZ (online) [cit.2019.03.20], dostupné z <<http://copernicus.gov.cz/zakladni-informace-a-princip-dpz>>
- Climate-Data.org, 2019a: Climate New York (online) [cit.2019.04.11], dostupné z <<https://en.climate-data.org/north-america/united-states-of-america/new-york/new-york-1091/>>
- Climate-Data.org, 2019b: Climate Beijing (online) [cit.2019.04.11], dostupné z <<https://en.climate-data.org/asia/china/beijing/beijing-134/>>
- Copernicus, 2019: Sentinel Satellites (online) [cit.2019.02.10], dostupné z <<http://spaceflight101.com/copernicus/sentinel-satellites/>>
- Ekolist, 2018: Plocha nově dokončených zelených střech v ČR vzrostla o polovinu (online) [cit.2019.03.20], dostupné z <<https://ekolist.cz/cz/zpravodajstvi/zpravy/plocha-nove-dokoncenych-zelenych-strech-v-cr-vzrostla-o-polovinu>>
- Foster + Partners, 2019: Beijing Capital International Airport (online) [cit.2019.02.10], dostupné z <<https://www.fosterandpartners.com/projects/beijing-capital-international-airport/>>
- Greenroofs.com, 2019: California Academy of Sciences (CAS) living roof (online) [cit.2019.04.10], dostupné z <<https://www.greenroofs.com/projects/california-academy-of-sciences-cas-living-roof/>>
- Javits Center, 2019a: Setting the sustainability standard (online) [cit.2019.02.10], dostupné z <<https://www.javitscenter.com/sustainability/>>
- Javits Center, 2019b: Javits center's green roof tours (online) [cit.2019.02.10], dostupné z <<https://www.javitscenter.com/sustainability/green-roof-tours/>>
- Jiva, 2002: Střecha – zahrada, park nebo osmý div světa? (online) [cit.2019.02.25], dostupné z <<https://www.zahradaweb.cz/strecha-zahrada-park-nebo-osmy-div-sveta/>>
- InMeteo, 2017: Klima České republiky (online) [cit.2019.02.21], dostupné z <<https://www.in-pocasi.cz/archiv/klima.php>>
- Lohry G., 2013: Beijing needs a green roof revolution (online) [cit.2019.02.21], dostupné z <<https://www.chinadialogue.net/article/show/single/en/5625-Beijing-needs-a-green-roof-revolution->>
- Ministry for Environment and Energy, 2016: Four pillars to Hamburg's Green Roof Strategy: financial incentive, dialogue, regulation and science (online) [cit.2019.04.01], dostupné z <<https://climate-adapt.eea.europa.eu/metadata/case-studies/four-pillars-to-hamburg2019s-green-roof-strategy-financial-incentive-dialogue-regulation-and-science>>
- National Geographic Society, 2019: Climate (online) [cit.2019.03.15], dostupné z <<https://www.nationalgeographic.org/encyclopedia/climate/>>
- San Francisco Planning, 2019: Better Roofs (online) [cit.2019.03.18], dostupné z <<https://sfplanning.org/project/better-roofs>>

- Státní fond životního prostředí ČR, 2019: Rodinné domy – zateplení (online) [cit.2019.03.15], dostupné z <<https://www.novazelenausporam.cz/nabidka-dotaci/rodinne-domy-zatepleni/>>
- Pyzyk K, 2018: Green roof law repealed, replaced in Denver (online) [cit.2019.03.18], dostupné z <<https://www.smartcitiesdive.com/news/green-roof-law-repealed-replaced-in-denver/540904/>>
- USGS, 2017: Landsat Collection 1 Level 1 Product Definition (online) [cit.2019.03.15], dostupné z <https://landsat.usgs.gov/sites/default/files/documents/LSDS-1656_Landsat_Level-1_Product_Collection_Definition.pdf>
- Weather Atlas, 2019: Monthly weather forecast and Climate San Francisco, CA (online) [cit.2019.03.18], dostupné z <<https://www.weather-us.com/en/california-usa/san-francisco-climate>>
- WMO, 2018: The World Meteorological Organization is the United Nations System's authoritative voice on Weather, Climate and Water; (online) [cit.2019.03.12], dostupné z <<https://public.wmo.int/en/media/press-release/wmo-confirms-past-4-years-were-warmest-record>>

Seznam obrázků

Obr. 1	Elektromagnetické záření (Dobrovolný, 1998)	18
Obr. 2	Elektromagnetické spektrum (CENIA, 2016).....	19
Obr. 3	Spektrální odrazivost (Richards et Jia, 2006; upraveno)	20
Obr. 4	Technické charakteristiky digitálního snímku, (Richards et Jia, 2006; upraveno)	20
Obr. 5	Pokrytí satelitního snímku Sentinel 2 na příkladu Prahy	23
Obr. 6	Pokrytí satelitního snímku Landsat 8 na příkladu Prahy.....	24
Obr. 7	Umístění studijních území jejich detail	26
Obr. 8	Střecha Javits Center před (vlevo) a po (vpravo) instalaci zelené střechy (Google Earth Pro)	27
Obr. 9	Zelená střecha obchodního centra Nový Smíchov (Google Earth Pro) .	28
Obr. 10	Střecha California Academy of Science před (vlevo) a po (vpravo) rekonstrukci a instalaci zelené střechy (Google Earth Pro)	29
Obr. 11	Zelená střecha na terminále mezinárodního letiště v Pekingu (Google Earth Pro)	30
Obr. 12	Sledované lokality v rámci satelitních snímků zobrazených v RGB.....	33
Obr. 13	Umístění zelené střechy v rámci snímku Sentinelu 2	33
Obr. 14	Schéma postupu zpracování satelitních snímků	34
Obr. 15	Emisivita studijních oblastí v červenci.....	35
Obr. 16	Termální snímek z družice Landsat pro zájmové oblasti v červenci	36
Obr. 17	Výsledný teplotní snímek pro studijní oblasti v červeneci.....	37
Obr. 18	Umístění srovnávacích ploch.....	38
Obr. 19	Srovnávací plochy zeleně s odlišným zastoupením vzrostlé vegetace..	39
Obr. 20	Srovnávací plochy dle typu zástavby	39
Obr. 21	Vývoj ploch zeleně ve městě New York	43
Obr. 22	Vývoj srovnávacích ploch zástavby ve městě New York.....	44
Obr. 23	Vývoj srovnávacích ploch zeleně v Praze	45
Obr. 24	Vývoj srovnávacích ploch zástavby v Praze	46
Obr. 25	Vývoj srovnávacích ploch zeleně v San Franciscu.....	47
Obr. 26	Vývoj srovnávacích ploch zástavby v San Franciscu	48
Obr. 27	Vývoj srovnávacích ploch zeleně v Pekingu	49
Obr. 28	Vývoj srovnávacích ploch zástavby v Pekingu	50

Seznam tabulek

Tab. 1	Obecné porovnání využitých družic (USGS, 2018; Žubrietovský et al., 2017)	24
Tab. 2	Spektrální a prostorové rozlišení (USGS, 2018; Žubrietovský et al., 2017)	25
Tab. 3	Datum pořízení satelitních snímků dle družice a studijní lokality	31
Tab. 4	Rozdíl teplot zeleně oproti teplotě zelené střechy ve městě New York.....	43
Tab. 5	Rozdíl teplot zástavby oproti teplotě zelené střechy ve městě New York	44
Tab. 6	Rozdíl teplot zeleně oproti teplotě zelené střechy v Praze	45
Tab. 7	Rozdíl teplot zástavby oproti teplotě zelené střechy v Praze	46
Tab. 8	Rozdíl teplot zeleně oproti teplotě zelené střechy v San Franciscu	47
Tab. 9	Rozdíl teplot zástavby oproti teplotě zelené střechy v San Franciscu	48
Tab. 10	Rozdíl teplot zeleně oproti teplotě zelené střechy v Pekingu.....	49
Tab. 11	Rozdíl teplot zástavby oproti teplotě zelené střechy v Pekingu	50
Tab. 12	Průměrné rozdíly teplot povrchů v letním období ve městě New York	51
Tab. 13	Průměrné rozdíly teplot povrchů v letním období v Praze	52
Tab. 14	Průměrné rozdíly teplot povrchů v letním období v San Franciscu.....	52
Tab. 15	Průměrné rozdíly teplot povrchů v letním období v Pekingu	53

Přílohy

Příloha 1 New York A

Podrobnosti o satelitních snímcích a atmosférických korekcích

	Sentinel 2			
	Název snímku	Datum pořízení	Čas pořízení (GMT)	Místní čas
Leden	S2B_MSIL2A_20180126T155519_N0206_R054_T18TWL_20180126T175022	26.1.2018	15:55	10:55*
Únor	S2A_MSIL2A_20180227T154211_N0206_R011_T18TWL_20180227T205009	27.2.2018	15:42	10:42*
Březen	S2B_MSIL2A_20180324T153909_N0206_R011_T18TWL_20180324T192350	24.3.2018	15:39	11:39
Duben	S2A_MSIL2A_20160418T153932_N0201_R011_T18TWL_20160418T154142	18.4.2016	15:39	11:39
Květen	S2A_MSIL2A_20180501T154911_N0206_R054_T18TWL_20180501T211257	1.5.2018	15:49	11:49
Červen	S2A_MSIL2A_20160620T160132_N0204_R054_T18TWL_20160620T160130	10.6.2016	16:01	12:01
Červenec	S2A_MSIL2A_20160720T154912_N0204_R054_T18TWL_20160720T155244	20.7.2016	15:49	11:49
Srpen	S2A_MSIL2A_20180816T153911_N0206_R011_T18TWL_20180816T210002	16.8.2018	15:39	11:39
Září	S2A_MSIL2A_20160925T154002_N0204_R011_T18TWL_20160925T154804	25.9.2016	15:40	11:40
Říjen	S2A_MSIL2A_20161015T154222_N0204_R011_T18TWL_20161015T154519	15.10.2016	15:42	11:42
Listopad	S2A_MSIL2A_20161107T160132_N0204_R054_T18TWL_20161107T160127	7.11.2016	16:01	11:01*
Prosinec	S2B_MSIL2A_20171207T155629_N0206_R054_T18TWL_20171207T191225	7.12.2017	15:56	10:56*

	Landsat 8						
	Název snímku	Datum pořízení	Čas pořízení (GMT)	Místní čas	t	Lu	Ld
Leden	LC08_L1TP_013032_20180131_20180207_01_T1	31.1.2018	15:33	10:33*	0,96	0,20	0,35
Únor	LC08_L1TP_014032_20170220_20170301_01_T1	20.2.2016	15:40	10:40*	0,88	0,78	1,31
Březen	LC08_L1TP_013032_20160330_20170223_01_T1	30.3.2016	15:33	11:33	0,96	0,25	0,43
Duben	LC08_L1TP_013032_20160415_20170223_01_T1	15.4.2016	15:33	11:33	0,93	0,46	0,79
Květen	LC08_L1TP_013032_20170504_20170515_01_T1	4.5.2017	15:33	11:33	0,90	0,62	1,07
Červen	LC08_L1TP_014032_20160609_20180130_01_T1	9.6.2016	15:40	11:40	0,90	0,72	1,22
Červenec	LC08_L1TP_013032_20160720_20170222_01_T1	20.7.2016	15:33	11:33	0,76	1,87	3,06
Srpen	LC08_L1TP_014032_20160812_20170222_01_T1	12.8.2016	15:40	11:40	0,38	5,09	7,39
Září	LC08_L1TP_013032_20160922_20170221_01_T1	22.9.2016	15:33	11:33	0,81	1,53	2,54
Říjen	LC08_L1TP_014032_20161015_20170219_01_T1	15.10.2016	15:40	11:40	0,91	0,64	1,08
Listopad	LC08_L1TP_014032_20161116_20170219_01_T1	16.11.2016	15:40	10:40*	0,88	0,78	1,32
Prosinec	LC08_L1TP_014032_20181208_20181226_01_T1	8.12.2018	15:40	10:40*	0,96	0,19	0,33

* značí zimní čas GMT-5, ostatní časy jsou letní GMT-4

Příloha 2 New York B

Výsledné povrchové teploty a rozdíl oproti teplotě zelené střechy

Povrchová teplota ploch (°C)

Typ plochy	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec	Ø rok	Ø léto
Zelená střecha	-0,4	16,0	20,7	25,5	29,0	28,8	41,5	41,1	32,4	22,4	14,1	1,3	22,7	38,3
Tráva	1,0	15,5	17,9	20,8	21,0	23,7	31,5	34,9	28,6	19,7	14,4	2,8	19,3	31,7
Park	0,3	14,6	18,4	21,5	21,2	22,9	30,6	34,8	28,0	18,5	13,9	2,5	18,9	31,1
Stromy	0,2	15,1	18,9	21,9	20,2	21,4	28,9	33,5	27,6	18,1	14,0	2,8	18,5	30,0
Hustá zástavba	-1,0	14,7	20,2	26,1	28,4	30,6	40,4	42,1	33,1	21,2	13,9	2,4	22,7	38,5
Rozsáhlá plochá střecha	2,2	21,8	34,0	37,7	36,2	37,2	52,5	52,1	44,3	31,8	20,8	5,5	31,3	49,6
Zástavba se zelení	0,4	16,2	21,3	25,5	26,3	28,0	39,2	39,3	33,0	22,4	15,2	-1,6	22,1	37,2

Rozdíl oproti teplotě zelené střechy

Typ plochy	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec	Ø rok	Ø léto
Tráva	1,3	-0,5	-2,8	-4,7	-8,0	-5,1	-9,9	-6,2	-3,9	-2,8	0,3	1,5	-3,4	-6,7
Park	0,6	-1,4	-2,3	-4,0	-7,8	-5,8	-10,9	-6,3	-4,4	-4,0	-0,2	1,2	-3,8	-7,2
Stromy	0,6	-0,9	-1,9	-3,7	-8,8	-7,4	-12,5	-7,6	-4,9	-4,4	-0,1	1,5	-4,2	-8,3
Rozsáhlá plochá střecha	2,5	5,8	13,3	12,2	7,2	8,4	11,0	11,0	11,9	9,4	6,7	4,2	8,6	11,3
Hustá zástavba	-0,7	-1,4	-0,5	0,5	-0,6	1,8	-1,1	1,0	0,6	-1,3	-0,2	1,1	0,0	0,2
Zástavba se zelení	0,8	0,2	0,6	0,0	-2,7	-0,8	-2,3	-1,8	0,6	0,0	1,1	-2,9	-0,6	-1,1

Příloha 3 Praha A

Podrobnosti o satelitních snímcích a atmosférických korekcích

	Sentinel 2			
	Název snímku	Datum pořízení	Čas pořízení (GMT)	Místní čas
Leden	S2A_MSIL2A_20180106T100401_N0206_R122_T33UVR_20180106T120734	6.1.2018	10:04	11:04*
Únor	S2B_MSIL2A_20190215T100109_N0207_R122_T33UVR_20190215T120903	15.2.2019	10:01	11:01*
Březen	S2A_MSIL2A_20160317T100012_N0201_R122_T33UVR_20160317T100011	17.3.2016	10:00	11:00*
Duben	S2A_MSIL2A_20180419T101031_N0206_R022_T33UVR_20180419T111252	19.4.2018	10:10	12:10
Květen	S2B_MSIL2A_20180521T100029_N0206_R122_T33UVR_20180521T115717	21.5.2018	10:00	12:00
Červen	S2A_MSIL2A_20170620T100031_N0205_R122_T33UVR_20170620T100453	20.6.2017	10:00	12:00
Červenec	S2B_MSIL2A_20180703T101029_N0206_R022_T33UVR_20180703T135836	3.7.2018	10:10	12:10
Srpen	S2A_MSIL2A_20160827T101022_N0204_R022_T33UVR_20160827T101025	27.8.2016	10:10	12:10
Září	S2A_MSIL2A_20160913T100022_N0204_R122_T33UVR_20160913T100504	13.9.2016	10:00	12:00
Říjen	S2A_MSIL2A_20181016T101021_N0206_R022_T33UVR_20181016T121930	16.10.2018	10:10	12:10
Listopad	S2B_MSIL2A_20181117T100259_N0207_R122_T33UVR_20181117T120601	17.11.2018	10:02	11:02*
Prosinec	NA	NA	NA	NA

	Landsat 8				t	Lu	Ld
	Název snímku	Datum pořízení	Čas pořízení (GMT)	Místní čas			
Leden	LC08_L1TP_192025_20170118_20170311_01_T1	18.1.2017	9:57	10:57*	0,97	0,16	0,28
Únor	LC08_L1TP_192025_20180222_20180308_01_T1	22.2.2018	9:57	10:57*	0,96	0,17	0,30
Březen	LC08_L1TP_191025_20170316_20170328_01_T1	16.3.2017	9:50	10:50*	0,91	0,58	0,99
Duben	LC08_L1TP_192025_20160421_20170326_01_T1	21.4.2016	9:56	11:56	0,94	0,37	0,63
Květen	LC08_L1TP_191025_20170519_20170525_01_T1	19.5.2017	9:50	11:50	0,77	1,82	2,96
Červen	LC08_L1TP_192025_20160624_20170323_01_T1	24.6.2016	9:57	11:57	0,70	2,60	4,09
Červenec	LC08_L1TP_191025_20150717_20170407_01_T1	17.7.2015	9:50	11:50	0,67	2,65	4,27
Srpen	LC08_L1TP_192025_20160827_20170321_01_T1	27.8.2016	9:57	11:57	0,82	1,54	2,52
Září	LC08_L1TP_192025_20160912_20170321_01_T1	12.9.2016	9:57	11:57	0,74	2,08	3,38
Říjen	LC08_L1TP_192025_20171017_20171024_01_T1	17.10.2017	9:57	11:57	0,86	1,08	1,80
Listopad	LC08_L1TP_191025_20171111_20171121_01_T2	11.11.2017	9:51	10:51*	0,91	0,52	0,89
Prosinec	-	-	-	-	-	-	-

* značí zimní čas GMT-2, ostatní časy jsou letní GMT-1

Příloha 4 Praha B

Výsledné povrchové teploty a rozdíl oproti teplotě zelené střechy

Povrchová teplota ploch (°C)

Typ plochy	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec	Ø rok	Ø léto
Zelená střecha	-1,3	4,7	19,3	27,2	39,8	44,8	44,9	37,8	35,5	21,8	9,3		25,8	42,5
Tráva	-4,4	3,8	17,4	21,1	30,3	35,7	40,6	34,8	33,3	21,8	8,2		22,1	37,1
Park	-2,0	4,3	18,0	21,8	33,3	36,9	38,5	33,1	32,4	20,2	9,3		22,3	36,2
Stromy	-3,2	2,5	15,6	18,8	29,1	33,2	35,3	29,1	28,8	18,6	8,3		19,6	32,5
Rozsáhlá plochá střecha	-1,6	7,4	23,3	33,9	45,2	53,6	48,6	43,8	41,8	26,0			32,2	48,6
Hustá zástavba	0,2	6,3	20,2	27,1	42,0	45,0	44,8	37,2	35,7	22,7	9,8		26,4	42,3
Zástavba se zelení	-3,0	2,6	16,6	22,5	34,5	39,2	39,9	32,8	31,2	19,5	7,7		22,1	37,3

Rozdíl oproti teplotě zelené střechy

Typ plochy	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec	Ø rok	Ø léto
Tráva	-3,1	-1,0	-1,9	-6,1	-9,5	-9,0	-4,3	-3,0	-2,2	0,0	-1,1		-3,7	-5,4
Park	-0,7	-0,4	-1,3	-5,4	-6,5	-7,9	-6,4	-4,6	-3,1	-1,6	0,0		-3,4	-6,3
Stromy	-1,9	-2,2	-3,7	-8,3	-10,6	-11,6	-9,6	-8,6	-6,7	-3,2	-1,0		-6,1	-9,9
Rozsáhlá plochá střecha	-0,3	2,7	4,1	6,7	5,5	8,8	3,7	6,0	6,4	4,3			4,8	6,2
Hustá zástavba	1,5	1,6	0,9	-0,1	2,2	0,2	-0,1	-0,5	0,2	0,9	0,5		0,7	-0,1
Zástavba se zelení	-1,7	-2,1	-2,7	-4,6	-5,3	-5,6	-5,0	-5,0	-4,3	-2,3	-1,6		-3,6	-5,2

Příloha 5 San Francisco A

Podrobnosti o satelitních snímcích a atmosférických korekcích

	Sentinel 2			
	Název snímku	Datum pořízení	Čas pořízení (GMT)	Místní čas
Leden	S2A_MSIL2A_20181231T185801_N0207_R113_T10SEG_20181231T203637	31.12.2018	18:58	10:58*
Únor	S2A_MSIL2A_20190219T185421_N0211_R113_T10SEG_20190219T225124	19.2.2019	18:54	10:54*
Březen	S2A_MSIL2A_20160326T185252_N0201_R113_T10SEG_20160326T185704	26.3.2016	18:53	11:53
Duben	S2A_MSIL2A_20170430T190351_N0205_R113_T10SEG_20170430T190351	30.4.2017	19:03	12:03
Květen	S2A_MSIL2A_20160515T184922_N0202_R113_T10SEG_20160515T185343	15.5.2016	18:49	11:49
Červen	S2A_MSIL2A_20160624T184922_N0204_R113_T10SEG_20160624T190210	24.6.2016	18:49	11:49
Červenec	S2A_MSIL2A_20170719T190351_N0205_R113_T10SEG_20170719T190350	19.7.2017	19:04	12:04
Srpen	NA	NA	NA	NA
Září	S2A_MSIL2A_20170917T190351_N0205_R113_T10SEG_20170917T190345	17.9.2017	19:04	12:04
Říjen	S2A_MSIL2A_20171007T190351_N0205_R113_T10SEG_20171007T190354	7.10.2017	19:04	12:04
Listopad	S2A_MSIL2A_20181111T185621_N0207_R113_T10SEG_20181111T205747	11.11.2018	18:56	10:56*
Prosinec	S2A_MSIL2A_20171206T190341_N0206_R113_T10SEG_20171206T202829	6.12.2017	19:03	11:03*

	Landsat 8				t	Lu	Ld
	Název snímku	Datum pořízení	Čas pořízení (GMT)	Místní čas			
Leden	LC08_L1TP_044034_20170105_20170218_01_T1	5.1.2017	18:46	10:46*	0,69	2,22	3,50
Únor	LC08_L1TP_044034_20180225_20180308_01_T1	25.2.2018	18:45	10:46*	0,93	0,45	0,79
Březen	LC08_L1TP_044034_20160323_20170224_01_T1	23.3.2016	18:46	11:46	0,91	0,67	1,16
Duben	LC08_L1TP_044034_20170427_20170515_01_T1	27.4.2017	18:45	11:45	0,85	1,05	1,79
Květen	LC08_L1TP_044034_20160526_20170223_01_T1	26.5.2016	18:46	11:46	0,80	1,55	2,53
Červen	LC08_L1TP_044034_20160627_20180201_01_T1	27.6.2016	18:46	11:46	0,88	1,05	1,80
Červenec	LC08_L1TP_044034_20170716_20180201_01_T1	16.7.2017	18:46	11:46	0,88	1,02	1,76
Srpen	-	-	-	-	-	-	-
Září	LC08_L1TP_044034_20170902_20170916_01_T1	2.9.2017	18:46	11:46	0,83	1,45	2,47
Říjen	LC08_L1TP_044034_20161001_20170220_01_T1	1.10.2016	18:46	11:46	0,88	0,87	1,48
Listopad	LC08_L1TP_044034_20161118_20170219_01_T1	18.11.2016	18:46	10:46*	0,91	0,61	1,04
Prosinec	LC08_L1TP_044034_20171207_20171223_01_T1	7.12.2016	18:46	10:46*	0,87	0,76	1,28

* značí zimní čas GMT-8, ostatní časy jsou letní GMT-7

Příloha 6 San Francisco B

Výsledné povrchové teploty a rozdíl oproti teplotě zelené střechy

Povrchová teplota ploch (°C)

Typ plochy	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec	Ø rok	Ø léto
Zelená střecha	9,0	17,2	21,9	24,7	26,8	27,8	32,3		38,2	24,0	16,7	18,7	23,4	32,8
Tráva	9,6	16,8	21,2	24,5	26,4	28,5	31,7		37,5	24,4	16,3	17,9	23,2	32,6
Park	8,7	15,7	19,6	22,1	23,5	23,8	29,0		36,9	22,6	16,3	18,5	21,5	29,9
Stromy	8,5	15,0	18,7	20,6	21,6	22,7	28,4		37,4	21,8	16,6	19,1	20,9	29,5
Rozsáhlá plochá střecha	12,1	20,9	26,1	29,0	29,8	32,1	36,8		42,7	27,4	19,0	20,9	27,0	37,2
Hustá zástavba	12,7	22,0	29,2	34,6	37,5	40,2	45,3		46,2	32,9	21,3	21,8	31,3	43,9
Zástavba se zelení	11,7	21,6	26,8	31,8	32,9	34,3	40,4		44,5	29,9	20,0	21,3	28,7	39,7

Rozdíl oproti teplotě zelené střechy

Typ plochy	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec	Ø rok	Ø léto
Tráva	0,6	-0,4	-0,7	-0,2	-0,4	0,7	-0,6		-0,7	0,5	-0,3	-0,8	-0,2	-0,2
Park	-0,3	-1,5	-2,2	-2,6	-3,3	-4,1	-3,3		-1,2	-1,4	-0,4	-0,2	-1,9	-2,9
Stromy	-0,5	-2,2	-3,2	-4,1	-5,2	-5,2	-3,9		-0,7	-2,1	-0,1	0,4	-2,4	-3,3
Rozsáhlá plochá střecha	3,1	3,8	4,2	4,3	3,0	4,2	4,5		4,5	3,4	2,3	2,2	3,6	4,4
Hustá zástavba	3,7	4,8	7,3	9,9	10,8	12,3	13,0		8,0	9,0	4,7	3,1	7,9	11,1
Zástavba se zelení	2,7	4,5	4,9	7,1	6,1	6,5	8,0		6,3	6,0	3,4	2,6	5,3	6,9

Příloha 7 Peking A

Podrobnosti o satelitních snímcích a atmosférických korekcích

	Sentinel 2			
	Název snímku	Datum pořízení	Čas pořízení (GMT)	Místní čas*
Leden	S2B_MSIL2A_20180128T030959_N0206_R075_T50TMK_20180128T064234	28.1.2018	3:10	11:10
Únor	S2A_MSIL2A_20180212T030831_N0206_R075_T50TMK_20180212T055714	12.2.2018	3:08	11:08
Březen	S2A_MSIL2A_20170309T031621_N0204_R075_T50TMK_20170309T031619	9.3.2017	3:16	11:16
Duben	S2A_MSIL2A_20160410T030632_N0201_R032_T50TMK_20160410T030629	10.4.2016	3:06	11:06
Květen	S2A_MSIL2A_20160503T031632_N0201_R075_T50TMK_20160503T031631	3.5.2016	3:16	11:16
Červen	S2A_MSIL2A_20160622T030542_N0204_R075_T50TMK_20160622T031517	22.6.2016	3:05	11:05
Červenec	S2A_MSIL2A_20170707T031631_N0205_R075_T50TMK_20170707T031626	7.7.2017	3:16	11:16
Srpen	S2A_MSIL2A_20160821T030542_N0204_R075_T50TMK_20160821T031304	21.8.2016	3:05	11:05
Září	S2A_MSIL2A_20150913T030636_N0204_R032_T50TMK_20150913T030632	13.9.2015	3:06	11:06
Říjen	S2B_MSIL2A_20171030T030829_N0206_R075_T50TMK_20171030T060149	30.10.2017	3:08	11:08
Listopad	S2A_MSIL2A_20171124T031621_N0206_R075_T50TMK_20171124T063952	24.11.2017	3:16	11:16
Prosinec	S2A_MSIL2A_20161209T031122_N0204_R075_T50TMK_20161209T031514	9.12.2016	3:11	11:11

	Landsat 8						
	Název snímku	Datum pořízení	Čas pořízení (GMT)	Místní čas*	t	Lu	Ld
Leden	LC08_L1TP_123032_20170131_20170215_01_T1	31.1.2017	2:53	10:53	0,98	0,1	0,19
Únor	LC08_L1TP_123032_20160214_20170329_01_T1	14.2.2016	2:53	10:53	0,98	0,1	0,18
Březen	LC08_L1TP_123032_20170304_20170316_01_T1	4.3.2017	2:53	10:53	0,95	0,26	0,47
Duben	LC08_L1TP_123032_20180408_20180417_01_T1	8.4.2018	2:53	10:53	0,95	0,33	0,59
Květen	LC08_L1TP_123032_20160504_20170325_01_T1	4.5.2016	2:53	10:53	0,94	0,39	0,72
Červen	LC08_L1TP_123032_20180627_20180704_01_T1	27.6.2018	2:52	10:52	0,8	1,68	2,84
Červenec	LC08_L1TP_123032_20170710_20170725_01_T1	10.7.2017	2:53	10:53	0,85	1,32	2,26
Srpen	LC08_L1TP_123032_20150822_20170405_01_T1	22.8.2015	2:53	10:53	0,64	2,82	4,52
Září	LC08_L1TP_123032_20170912_20170927_01_T1	12.9.2018	2:53	10:53	0,68	2,45	3,9
Říjen	LC08_L1TP_123032_20171030_20171109_01_T1	30.10.2017	2:53	10:53	0,97	0,17	0,3
Listopad	LC08_L1TP_123032_20161128_20180523_01_T1	28.11.2016	2:53	10:53	0,96	0,19	0,34
Prosinec	LC08_L1TP_123032_20161214_20170316_01_T1	14.12.2016	2:53	10:53	0,98	0,1	0,18

* značí čas GMT+8, čas se nemění

Příloha 8 Peking B

Výsledné povrchové teploty a rozdíl oproti teplotě zelené střechy

Povrchová teplota ploch (°C)

Typ plochy	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec	Ø rok	Ø léto
Zelená střecha	7,4	3,2	16,7	25,3	34,7	39,8	38,1	38,7	37,8	19,4	8,6	5,5	22,9	37,5
Tráva	9,4	4,6	18,7	26,2	33,3	37,9	36,3	37,0	36,3	19,7	8,9	6,5	22,9	35,8
Park	7,6	3,5	17,4	24,7	32,2	38,3	36,5	36,5	34,5	17,8	7,7	5,3	21,8	35,6
Stromy	5,5	1,7	15,0	23,9	28,8	35,3	34,1	32,1	31,5	15,5	7,0	4,0	19,5	32,7
Rozsáhlá plochá střecha	11,1	5,6	23,0	34,8	49,1	54,5	56,0	51,6	53,1	26,8	13,9	9,0	32,4	53,2
Hustá zástavba	6,3	3,5	16,8	26,8	37,0	47,7	45,6	41,9	40,0	18,9	8,3	4,5	24,8	43,4
Zástavba se zelení	3,1	0,6	13,4	21,6	32,7	40,8	39,9	37,3	33,7	15,3	5,6	2,6	20,5	37,8

Rozdíl oproti teplotě zelené střechy

Typ plochy	Leden	Únor	Březen	Duben	Květen	Červen	Červenec	Srpen	Září	Říjen	Listopad	Prosinec	Ø rok	Ø léto
Tráva	2,0	1,4	2,0	0,9	-1,4	-1,8	-1,8	-1,7	-1,5	0,3	0,3	1,0	0,0	-1,7
Park	0,2	0,2	0,7	-0,6	-2,5	-1,5	-1,6	-2,2	-3,3	-1,6	-1,0	-0,2	-1,1	-1,9
Stromy	-1,8	-1,6	-1,7	-1,4	-5,9	-4,5	-4,0	-6,6	-6,3	-3,9	-1,6	-1,4	-3,4	-4,8
Rozsáhlá plochá střecha	3,8	2,4	6,3	9,5	14,4	14,8	17,9	12,8	15,3	7,5	5,2	3,6	9,5	15,7
Hustá zástavba	-1,0	0,2	0,1	1,5	2,3	7,9	7,5	3,2	2,2	-0,5	-0,3	-0,9	1,8	5,9
Zástavba se zelení	-4,3	-2,6	-3,3	-3,6	-2,0	1,1	1,8	-1,5	-4,1	-4,1	-3,0	-2,9	-2,4	0,3