VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STAVEBNÍ
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

ÚSTAV VODNÍHO HOSPODÁŘSTVÍ KRAJINY
INSTITUTE OF LANDSCAPE WATER MANAGEMENT

ADAPTACE MĚSTSKÉHO PROSTŘEDÍ NA KLIMATICKÉ ZMĚNY

ADAPTATION OF THE URBAN ENVIRONMENT TO CLIMATE CHANGES

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE — Kateřina Kührová
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — Ing. Michal Kriška, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO 2019

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
FAKULTA STAVEBNÍ

Studijní program	B3656 Městské inženýrství
Typ studijního programu	Bakalářský studijní program
Studijní obor	3647R025 Městské inženýrství
Pracoviště	Ústav vodního hospodářství krajiny

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Student	Kateřina Kührová
Název	Adaptace městského prostředí na klimatické změny
Vedoucí práce	Ing. Michal Kriška, Ph.D.
Datum zadání	30. 11. 2018
Datum odevzdání	24. 5. 2019

V Brně dne 30. 11. 2018

prof. Ing. Miloš Starý, CSc. Vedoucí ústavu	prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc. Děkan Fakulty stavební VUT

PODKLADY A LITERATURA

1) Morgan Scoville-Simonds, Climate, the Earth, and God - Entangled narratives of cultural and climatic change in the Peruvian Andes, World Development,
Volume 110,2018,Pages 345-359,ISSN 0305-750X, https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2018.06.012.
2) Karoliina Pilli-Sihvola, Atte Harjanne, Riina Haavisto, Adaptation by the least vulnerable: Managing climate and disaster risks in Finland, International Journal of Disaster Risk Reduction, Volume 31, 2018, Pages 1266-1275, ISSN 2212-4209, https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2017.12.004.
3) David Castells-Quintana, Maria del Pilar Lopez-Uribe, Thomas K.J. McDermott,
Adaptation to climate change: A review through a development economics lens,
World Development, Volume 104, 2018, Pages 183-196, ISSN 0305-750X,
https://doi.org/10.1016/j.worlddev.2017.11.016.
4) Edward Ng, Chao Ren, China's adaptation to climate & urban climatic changes: A critical review,
Urban Climate, Volume 23, 2018, Pages 352-372, ISSN 2212-0955, https://doi.org/10.1016/j.uclim.2017.07.006.
5) Malcolm Araos, Lea Berrang-Ford, James D. Ford, Stephanie E. Austin, Robbert Biesbroek, Alexandra Lesnikowski, Climate change adaptation planning in large cities: A systematic global assessment, Environmental Science & Policy, Volume 66, 2016, Pages 375-382, ISSN 1462-9011, https://doi.org/10.1016/j.envsci.2016.06.009.
6) Francisca C. Aguiar, Julia Bentz, Joao M.N. Silva, Ana L. Fonseca, Rob Swart, Filipe Duarte Santos, Gil Penha-Lopes, Adaptation to climate change at local level in Europe: An overview, Environmental Science & Policy, Volume 86,
2018, Pages 38-63, ISSN 1462-9011, https://doi.org/10.1016/j.envsci.2018.04.010.

ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Práce se bude soustředit na zpracování teoretické části, zahrnující zejména literární rešerši v oblasti klimatických změn v souvislosti s městskou krajinou. Cílem rešerše je zaměření se na adaptační opatření, která se ve světě vyskytují a realizují.
V praktické části se práce zaměří na vybraný prvek, resp. jedno konkrétní opatření, které bylo realizované ve městě Brně. Cílem práce bude kromě vyhodnocení části meteorologických dat i sociální průzkum ohledně povědomí obyvatel nebo turistů, které toto opatření může ovlivnit.

STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:
1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

Ing. Michal Kriška, Ph.D.
Vedoucí bakalářské práce

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá tématem adaptace městského prostředí na klimatické změny. Konkrétně se zaměřuje na adaptační prvky a strategie, u nichž je coby faktor pozitivně ovlivňující prostředí ve městě v co největší míře použita zeleň. Práce je rozdělena na dvě části. V první části je provedena rešerše tuzemských i zahraničních zdrojů, zabývajících se problematikou klimatických změn a jejich vlivu na městské prostředí. Jsou uvedeny poznatky a možnosti částečné adaptace těchto prostředí na klimatické změny a také konkrétní příklady používaných opatření. Pozornost je věnována i psychologickému vlivu adaptačních opatření na obyvatele. V této souvislosti byl proveden sociologický průzkum. Druhá část se zabývá analýzou vlivu dvou adaptačních opatření realizovaných na území města Brna – stávající zelené střechy v Otevřené zahradě Nadace Partnerství na Obilním trhu a prototypu městské buňky City Cell Prototype – dočasné stavby umístěné na Malinovského náměstí v Brně. V této části jsou analyzována data, nasbíraná ve sledovaném období (srpen-říjen/září-říjen 2018) teplotními a vlhkostními čidly na obou opatřeních a na meteorologické stanici ÚVHK FAST VUT.

KLÍČOVÁ SLOVA
Klimatické změny, zelená střecha, městská zeleň, adaptační opatření

ABSTRACT
Submitted bachelor thesis deals with adaptations of the urban environment to climate change, with special focus on adaptation strategies using greenery as the element of positive influence on the urban environment. The thesis is divided into two sections. In the first section the problematic of climate change and its effects and consequences for the urban environment is introduced, using both domestic and foreign sources. Scientific findings and adaptation options are listed with some examples of applied adaptation measures. The psychological effect on the city population is also considered as also a sociological research was conducted. The second part deals with analysis of the impact of two adaptation measures, both realized in the city of Brno – the existing green roof in Otevřená zahrada at Obilní trh and the City Cell Prototype – the temporary installation realised on Malinovského náměstí. The temperature and humidity data collected in the reference period (August – October/September – October 2018) are analysed together with the data recorded by meteorological station of the Institute of Landscape Water Management at the Brno University of Technology – Faculty of Civil Engineering.

KEY WORDS
Climate Change, Green roof, Urban Greenery, Adaptation Measures

Bibliografická citace VŠKP

Kateřina Kührová *Adaptace městského prostředí na klimatické změny.* Brno, 2019. 67s. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodního hospodářství krajiny. Vedoucí práce Ing. Michal Kriška, Ph.D.

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne

……

podpis autora

Kateřina Kührová

Poděkování
Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu mé práce, panu Ing. Michalovi Kriškovi, Ph.D., za odborné konzultace, rady a podnětné připomínky. Dále bych ráda vyjádřila poděkování pánům RNDr. Miroslavovi Kundratovi a Ing. Vlastimilovi Riegerovi z Nadace Partnerství, za jejich ochotu při poskytování dat pro praktickou část mé práce a za cenné rady ohledně jejich zpracování. V neposlední řadě bych ráda poděkovala své rodině za umožnění studia, za vytvoření podmínek k němu a za neutuchající podporu v něm.

Obsah

1 Úvod a cíle 10
2 Problematika klimatických změn 11
2.1 Dopady klimatických změn na městské prostředí 11
2.1.1 Městský tepelný ostrov – Urban Heat Island (UHI) 12
2.2 Adaptace a zmírňování dopadů klimatických změn 13
2.3 Redukce městského tepelného ostrova pomocí adaptačních opatření 13
3 Adaptační opatření v ČR i v zahraničí 14
3.1 Systémy vertikální zeleně 14
3.2 Městský strom CityTree 16
3.3 Zelené střechy 20
4 Adaptační opatření na území města Brna 25
4.1 Zelená střecha – Otevřená zahrada Nadace Partnerství 25
4.1.1 Vzdělávací a poradenské centrum Otevřená zahrada Nadace Partnerství v Brně 25
4.1.2 Zelená střecha na budově C 25
4.2 Městská buňka City Cell Prototype 27
4.2.1 Dispoziční řešení 28
4.2.2 Použité technologie 29
4.2.3 Realizace městské buňky CCP v září a říjnu 2018 30
5 Vztah veřejnosti k adaptačním opatřením – sociologický průzkum 32
6 Měření meteorologických veličin 34
6.1 Meteorologická stanice Fakulty stavební VUT v Brně 34
6.2 Zelená střecha v Otevřené zahradě Nadace Partnerství 35
6.3 Městská buňka City Cell Prototype 36
7 Výsledky 37
7.1 Zelená střecha v Otevřené zahradě Nadace Partnerství 37
7.1.1 Srpen 2018 37
7.1.2 Září 2018 43
7.1.3 Říjen 2018 49
7.2 Městská buňka City Cell Prototype 54
7.2.1 Září 2018 54

7.2.2 Říjen 2018 57
8 Diskuze a závěr 60
9 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ 64

1 Úvod a cíle

Problematika klimatických změn, spojená s nepříznivým vývojem dosud poměrně stabilního prostředí, je v poslední době velice často zmiňovaným tématem nejen v odborných kruzích, ale dotýká se většiny obyvatel České republiky. Tato bakalářská práce vznikla na základě požadavku z praxe v souvislosti s hledáním vhodných řešení, týkajících se změn klimatu. Konkrétněji se zabývá problematikou vlivu klimatických změn na městské prostředí, uvádí problémy, kterým městské oblasti v rámci působení klimatických změn čelí a předkládá způsoby, jakými lze město částečně adaptovat na účinky klimatických změn.

První část práce poskytuje obecný vhled do problematiky klimatických změn. Jsou nastíněna specifika městského prostředí oproti venkovským a zemědělským oblastem a také to, jak tato specifika ovlivňují působení klimatických změn na městská prostředí konkrétně. Jsou uvedena základní rizika a problémy, se kterými se městská prostředí potýkají, jako je zvyšování znečištění ovzduší a prašnosti, nebo zvyšování teploty vzduchu. Zvláštní pozornost je věnována fenoménu městského tepelného ostrova a možnostem redukování jeho efektů pomocí vhodných opatření.

V další části jsou uvedeny příklady adaptačních opatření využívaných v České republice i v zahraničí, s popisem výhod a limitů jednotlivých opatření. S použitím tuzemských i zahraničních zdrojů jsou nastíněny výstupy studií a experimentů zabývajících se efekty a účinností uvedených opatření. Pozornost je věnována i psychologickému efektu opatření a jejich vlivu na kvalitu života a spokojenost obyvatel. V této souvislosti byl vypracován sociologický výzkum mapující reakce veřejnosti na instalaci městské buňky City Cell Prototype.

V praktické části této práce jsou zpracována a vyhodnocena data, nasbíraná na dvou adaptačních opatřeních realizovaných na území města Brna. Prvním je zelená střecha v Otevřené zahradě Nadace Partnerství na Obilním trhu a druhým prototyp městské buňky City Cell Prototype, realizovaný v září a říjnu 2018 na Malinovského náměstí v Brně. Údaje o teplotě vzduchu a (v případě zelené střechy) o vlhkosti vzduchu byly poté porovnávány s daty zaznamenanými ve stejném období na meteorologické stanici Fakulty stavební VUT v Brně.

Cílem teoretické části práce je poukázat na problémy, kterým městská prostředí v návaznosti na změny klimatu čelí a představit možná řešení ke zmírňování efektů klimatických změn v městských lokalitách. Dále si klade za cíl popsat výhody a nevýhody těchto řešení a poskytnout informace o jejich využívání v našich i zahraničních podmínkách.

Cílem praktické části práce je analyzovat vliv, jaký mohou dvě konkrétní realizovaná adaptační opatření mít na okolní prostředí v klimatických podmínkách města Brna a to konkrétně na teplotu a (v případě zelené střechy) vlhkost vzduchu.

2 Problematika klimatických změn

Změny klimatu jsou pro naši společnost v současné době jedním z nejpalčivějších problémů a zároveň jednou z největších výzev pro současnou a následující generace. Globální oteplení v důsledku lidské činnosti dosáhlo v roce 2017 1,0°C oproti předindustriální době, přičemž jeho další nárůst se odhaduje na 0,2°C za desetiletí (IPCC,2018). Důsledky těchto změn můžeme pozorovat ve všech světových regionech – od tání ledovců a zvyšování hladiny moří, přes záplavy a sesuvy půdy, až ke stále častějším a extrémnějším vlnám veder a sucha v letních měsících. Tyto jevy pak způsobují problémy jak na venkově a v zemědělských oblastech, tak i v městském prostředí.

2.1 Dopady klimatických změn na městské prostředí

V roce 2011 žila ve městech již polovina světové populace, a dle predikcí OECD (Organization for Economic Cooperation and Development - Organizace pro hospodářskou spolupráci a rozvoj) by množství lidí žijících ve městech mělo do roku 2030 vzrůst na 60% světové populace (OECD, 2008). V rámci evropských států žije ve městech dokonce 75% všech obyvatel, a toto procento stále vzrůstá (Schröder et al., 2013). Města jsou také obchodními a mocenskými centry civilizace. Z těchto a dalších důvodů je adaptace městských prostředí klíčová pro zajištění budoucího udržitelného rozvoje společnosti.

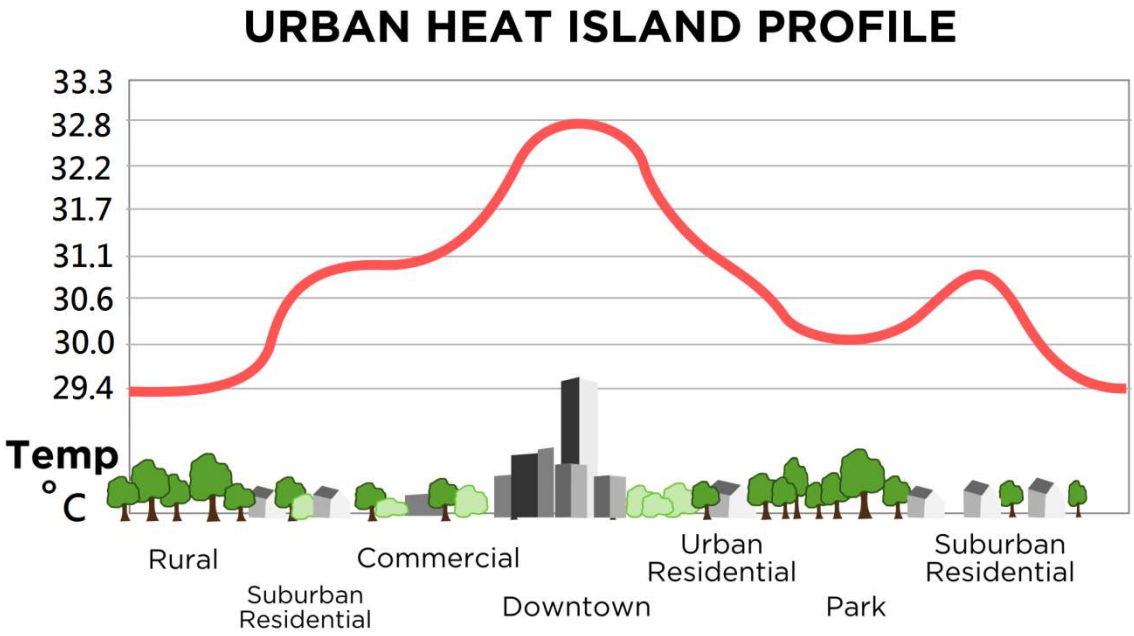
Městská prostředí jsou z hlediska zmírňování i adaptace na klimatické změny unikátním typem prostředí. Ačkoli klimatické změny jsou bezesporu globálním problémem, města sama čelí specifickým lokálním rizikům – extrémní vlny veder, fenomén městského tepelného ostrova, záplavy, přívalové deště a další (Dohetry et al., 2016). Tradiční umisťování městských sídel na pobřeží a podél koryt řek činí města velmi zranitelnými vůči efektům klimatických změn, jako jsou například povodně a zvyšování mořské hladiny (Mi et al. 2018).

Městská sídla jsou vůči extrémním projevům počasí citlivá i z dalších důvodů, mezi něž patří značná závislost městských systémů na technologiích, vysoká hustota osídlení a často chybějící infrastruktura, která by pomohla zvládat dopady extrémních jevů (Filho et al. 2017).

Je očekáváno, že intenzita a četnost extrémních jevů, jako jsou vlny veder a sucha, přívalové deště, nebo povodně, se bude v budoucnosti dále zvyšovat a lze tedy přepokládat, že míra adaptace na tyto podmínky bude určující pro budoucí udržitelnost městských sídel (Mi et al. 2018).

2.1.1 Městský tepelný ostrov – Urban Heat Island (UHI)

Jedním z významných efektů klimatických změn na městská prostředí je fenomén městského tepelného ostrova. Městský tepelný ostrov výrazně ovlivňuje teplotu vzduchu ve městech, jeho vliv je tudíž ve středu zájmu této bakalářské práce.
Jako městský tepelný ostrov označujeme stav, kdy je teplota v městském prostředí výrazně vyšší než ta v okolním venkovském prostředí (Filho et al. 2017). Primární příčinou je rozdílné působení slunečního záření na povrchy ve městě a na venkově. Nejvýraznější oteplení v porovnání s průměrnými teplotami v zelených a obytných zónách pozorujeme na silnicích a v rámci komerčních a industriálních oblastí.
Městský tepelný ostrov se nejvíce projevuje v noci. V městských oblastech je většina povrchů tvořena materiály s nízkým albedem, tedy s nízkou schopností odrazivosti slunečního záření, jako je beton nebo asfalt (Daemei et al., 2018). Tyto materiály odrazí pouze nízké procento slunečního záření a zbylé absorbují, na rozdíl od povrchů s albedem vysokým, které se častěji vyskytují ve venkovských oblastech. Ty většinu záření odrazí a absorbují pouze malou část, což zapříčiňuje, že v mimoměstských oblastech je v noci, kdy na povrchy žádné záření nepůsobí, výrazně chladněji než v oblastech městských, kde přítomné povrchy s nízkým albedem oteplují prostředí díky absorbované energii nashromážděné během denních hodin.
Na zvýšení teplot navazují další změny prostředí – mění se množství a průběh srážek, zvyšuje se znečištění ovzduší a produkce skleníkových plynů, způsobená zejména vyššími energetickými nároky na klimatizování budov (Filho et al. 2017).



Obrázek 1: Profil městského tepelného ostrova dle oblasti a naznačené průměrné rozdíly teplot vzduchu. Zdroj: Wikimedia Commons, the free media repository

S extrémně zvýšenými teplotami je spojeno množství negativních důsledků efektu městského tepelného ostrova. Se zvyšující se teplotou vzduchu se zvyšuje i četnost a intenzita letních vln veder, které mohou být příčinou zdravotních komplikací v důsledku vystavení organismu vysoké teplotě – přehřátí, jež může způsobit lidskému organismu újmu o různé závažnosti, například vyčerpání z horka, úžeh, úpal, nebo dehydratace. Zejména u starších a nemocných obyvatel měst pak zdravotní komplikace v důsledku vln veder mohou vést až ke zvýšené úmrtnosti (Filho et al. 2017).

2.2 Adaptace a zmírňování dopadů klimatických změn

Termín „Adaptace na klimatické změny“ („Climate Change Adaptation“) byl poprvé použit v 90. letech a v posledních dvaceti letech je na něj, v reakci na zvyšující se rizika, která jsou s těmito změnami spojena, zaměřeno stále více pozornosti. (Dohetry et al., 2016) Dle IPCC (Intergovernmental Panel for Climate Change) lze adaptaci na klimatické změny definovat jako přizpůsobení přírodních, či lidských systémů v reakci na skutečné, nebo očekávané klimatické podněty, nebo jejich efekty, které zmírňují újmu, nebo využívají vhodných příležitostí (IPCC, 2007).
Míru zranitelnosti území vůči klimatickým změnám lze dle IPCC označit za míru náchylnosti systému na nepříznivé účinky změn klimatu, včetně variability klimatu a extrémů počasí, či míru, do jaké se s nimi tento systém nedokáže vyrovnat. Míra zranitelnosti území závisí dle této definice na míře vystavení extrémním vlivům, citlivosti a adaptační kapacitě.
Adaptační kapacitu lze ve zkratce shrnout jako schopnost zvládat negativní účinky klimatických změn a to prostřednictvím předběžných a preventivních opatření. Závisí na faktorech, jako je veřejné mínění, politická vůle, lidské a finanční zdroje apod. (Filho et al. 2017).
Citlivost je pak míra, do které prostředí reaguje na účinky klimatických změn a je to zároveň faktor, na který se zaměřují adaptační strategie. Lze tedy říci, že adaptace městského prostředí na klimatické změny je v podstatě snížením citlivosti tohoto prostředí vůči extrémním povětrnostním vlivům v důsledku klimatických změn vznikajícím.

2.3 Redukce městského tepelného ostrova pomocí adaptačních opatření

Problematika městského tepelného ostrova a možnosti zmírňování a redukce jeho efektů byla již v minulosti tématem množství vědeckých studií a experimentů. Jejich výsledky ukazují, že zvyšování množství městské zeleně je jedním z nejefektivnějších nástrojů vedoucích ke zlepšování mikroklimatu ve městech a k redukci efektů městského tepelného ostrova (Chun et Guldmann, 2018; Li et Zhou, 2019).
Důvodem, proč jsou zelené plochy v jakékoli podobě klíčové pro zmírňování efektů městského tepelného ostrova, je evapotranspirace neboli výpar. Při ní zelené plochy přeměňují energii přijatou ze slunečního záření na latentní teplo. To snižuje množství

energie vydané na výrobu sálavého tepla, které by pak způsobovalo zvyšování teploty v okolním prostředí (Filho et al. 2017).
Proto je vhodné bojovat v městských oblastech proti důsledkům působení městského tepelného ostrova zvyšováním množství zelených ploch a zeleně obecně. Plochy parků se vzrostlými stromy jsou výhodné i z psychologických důvodů. Tyto plochy v městských oblastech prokazatelně zvyšují kvalitu života obyvatel, stejně jako přítomnost zeleně v uličním profilu. Dle studie provedené univerzitou ve Wageningenu (Nizozemí) je přítomnost zelených ploch oceňovaná obyvateli nejen pro svou estetickou hodnotu (ačkoli ta je samozřejmě také významná, co se týče vlivu na kvalitu života a spokojenost obyvatel), ale i v rámci subjektivního vnímání teploty prostředí (Klemm et al., 2015).
Vzrostlé stromy navíc poskytují stín, kdy 10% zastínění ulice korunami stromů může snížit průměrnou teplotu způsobenou tepelnou energií vyzářenou povrchem (z anglického *mean radiant temperature*) až o 1°C.
Ačkoliv jsou stromy a pouliční zeleň efektivním řešením, které má zároveň pozitivní psychologický vliv na obyvatele města, v mnoha městech, a především v jejich centrech, se velmi těžko hledají volné plochy k realizaci nových parků či stromořadí (Daemei et al., 2018). V současné době se tudíž objevují snahy o nalezení alternativních způsobů implementace zeleně.

3 Adaptační opatření v ČR i v zahraničí

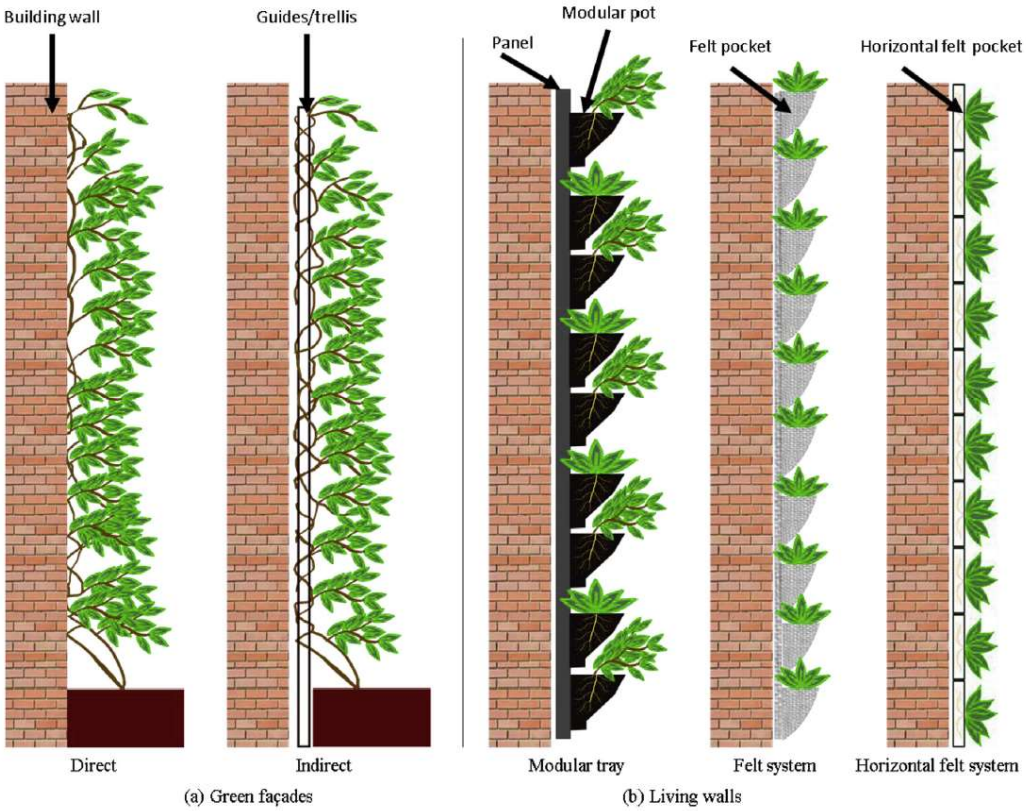
Způsobů, jak do městských center dostat zeleň bez nutnosti využití volné nezastavěné plochy, které je ve městech nedostatek, byla nalezena celá řada. Velmi oblíbenými způsoby je využívání ploch na již postavených budovách, a to jak vertikálních, kde dostávají příležitost systémy vertikální zeleně, tak horizontálních v podobě zelených střech. Objevují se také snahy instalovat adaptační opatření obsahující zeleň na náměstí a jiné vydlážděné, či vybetonované plochy s malým zastíněním, vystavené množství slunečního záření, tím pádem náchylné k dopadům vlivu městského tepelného ostrova. Příkladem může být jednak městský strom City Tree vyvinutý berlínskou společností Green City Solutions, nebo městská buňka City Cell Prototype realizovaná na území města Brna, na které bylo zároveň uskutečněno měření k praktické části bakalářské práce.

3.1 Systémy vertikální zeleně

Systémy vertikální zeleně (Vertical Greenery Systems – VGS) jsou jedním z oblíbených způsobů implementace zeleně do městských center a uličních profilů. Jedná se o pokrývání fasád budov zelenými rostlinami.
Systémy vertikální zeleně mají v lidské společnosti dlouhou historii. Za první známý příklad vertikální zeleně by se daly považovat slavné visuté zahrady královny Semiramis v Babylonské říši. Před dvěma tisíci let pak byla při prvních snahách o

ozeleňování fasád budov ve středomořských oblastech používána vinná réva – poskytovala fasádám zastínění, ochlazení a navíc byla využívána k produkci ovoce (Medl et al., 2017). V současné době se v rámci snah o zvýšení množství zeleně na území měst dostává systémům vertikální zeleně čím dál větší pozornosti (Bustami et al., 2018).

Existuje velké množství systémů vertikální zeleně, pro které se používají názvy jako zelená stěna, zelená fasáda, vertikální zahrada, nebo živá stěna. Největším rozdílem v těchto systémech je jejich konstrukční princip.



Obrázek 2: Schematický nákres konstrukčních systémů vertikální zeleně (zdroj: Bustami et al., 2018)

Prvním konstrukčním typem systému vertikální zeleně je fasáda porostlá popínavou rostlinou zakořeněnou přímo v půdě, nebo v květináčích v úrovni země. Tento typ je v zahraničí nazýván „zelenou fasádou“ a může se jednat buď o tradiční typ, kdy se rostlina popíná přímo po fasádě, nebo o takzvaný „nepřímý“ typ, kdy se rostlina popíná po vodící konstrukci či mřížce (Bustami et al., 2018). V našich podmínkách se ale termínem „zelená fasáda“ nazývají systémy označované v zahraničí jako „vertikální zahrada“ a výše popsaný typ ozelenění je označován jako „fasáda pokrytá popínavou rostlinou“, přičemž pojmy „zelená fasáda“ a „vertikální zahrada“ jsou vnímány jako synonyma (Vrbas, 2015).

Jako „vertikální zahrada“, nebo „živá stěna“ (u nás i „zelená fasáda“) je označován typ systému vertikální zeleně, kdy jsou rostliny umístěny v květináčích, kazetách, porézních površích či plstěných kapsách bez kontaktu s volnou půdou. Tyto systémy využívají

mechanizovaných systémů závlahy. Jsou variabilnější, než systémy s popínavými rostlinami a poskytují návrhářům a architektům širší možnosti, jsou ale výrazně nákladnější a náročnější na instalaci. Bývají proto instalovány jen na určitých typech budov zejména v rozvinutých zemích (Bustami et al., 2018; Vrbas, 2015).

Výhodami systémů vertikální zeleně je jak jejich pozitivní vliv na redukci efektu městského tepelného ostrova, tak poskytování zastínění fasádám a jejich ochrana před výkyvy teplot. Míra redukce povrchové teploty fasády záleží na konstrukčním typu systému vertikální zeleně a na povětrnostních podmínkách. Studie se ale shodují na tom, že systémy vertikální zeleně mají na fasády ochlazující vliv a jejich instalace napomáhá snižování energetických nároků na klimatizování budov (Afshari, 2017). Výhodou také je, že na rozdíl od zelených střech jsou zelené fasády a vertikální zahrady přímou součástí uličního profilu a mají tudíž bezprostřední vliv na pocitový teplotní komfort chodců. Jednoznačně pozitivní vliv na kvalitu veřejného prostoru pak má také jejich estetická hodnota (Daemei, 2018).

Největší nevýhodou a zároveň bariérou v instalaci systémů vertikální zeleně je jejich vysoká finanční a technologická náročnost, velké nároky na údržbu a také zranitelnost celého systému (Bustami et al., 2018). V oblastech, ve kterých se vyskytují tužší zimy, může v zimním období dojít k vymrznutí a úhynu vegetace (Vrbas, 2015).

Obrázek 3: Detail systému vertikální zahrady s rostlinami umístěnými v květináčích. Zdroj: Wikimedia Commons

3.2 Městský strom CityTree

Městský strom CityTree je technologie vyvinutá berlínskou společností Green City Solutions. Společnost byla založena roku 2014 a byla přijata do akceleračního programu pro mladé start-upy podporovaného iniciativou Evropského institutu pro inovace a technologie Climate-KIC, ze kterého vyšla roku 2015 jako úspěšně zavedená společnost (EIT Climate-KIC, 2019).

CityTree je 4 metry vysoký, 3 metry široký a 0,6 metrů hluboký samostatně stojící rám, vyplnění specifickou kombinací mechů, lišejníků a cévnatých rostlin. Jeden CityTree by

měl být schopen zachytit tolik znečištění, jako 275 běžných stromů a to právě díky vlastnostem použitého mechu. Kromě toho je schopen také ochlazovat okolní prostředí a pohlcovat hluk (Green in future PTE LTD, 2017; https://greencitysolutions.de/en/).

Obrázek 4: Městský strom CityTree, model 2018, instalovaný před Galerií moderního umění v Glasgow. (Zdroj: David Smith, geograph.org.uk/p/5483925)

Dle tvůrců projektu je koncept CityTree výhodný i z hlediska nákladů na údržbu. Ačkoli by měl naplnit funkci 275 běžných stromů, potřebuje o 99% méně místa a náklady na jeho údržbu jsou pětiprocentní oproti nákladům na odpovídající množství běžných stromů. (Green in future PTE LTD, 2017).

CityTree je vyroben z recyklovatelných materiálu a při jeho designu a výrobě byl kladen důraz na udržitelnost celého výrobku. Systém je zcela energeticky soběstačný díky energii dodávané ze solárních panelů, které jsou součástí rámu a retenčnímu systému na zadržování dešťové vody. Energií ze solárních panelů je pak mimo jiné zásobován ventilační systém, který v případě absence přirozeného pohybu vzduchu jej může zastoupit a zvýšit tak efektivitu instalace v čištění vzduchu a zmírňování efektů městského tepelného ostrova (https://greencitysolutions.de/en/).

Součástí instalace CityTree je napojení na technologii Internet of Things (IoT), která umožňuje ovládání a optimalizaci funkcí městského stromu pomocí senzorů, sledujících nejrůznější veličiny, které dále vyhodnocuje přidružený software (Hloušek, 2017).

Možnosti instalace mohou být rozšířeny na městský mobiliář pomocí přidaných laviček, hotspotů wifi, stanovišť na nabíjení telefonů nebo elektrokol. Větší finanční výnosnost projektu může být zajištěna využitím CityTree jako marketingového nástroje, například

pomocí digitálních tabulí implementovaných do rámu CityTree (Green in future PTE LTD, 2017).
V současné době je instalováno více než 30 městských stromů CityTree ve více než 10 zemích světa (https://greencitysolutions.de/en/).

Obrázky 5 a 6: Příklady instalovaných objektů CityTree. (Zdroj: Green City Solutions, https://greencitysolutions.de)

Obrázek 7: CityTree, model 2019 samostatně. (Zdroj: Green City Solutions, https://greencitysolutions.de)

Obrázek 8: CityTree, model 2019 – modulová kombinace. (Zdroj: Green City Solutions, https://greencitysolutions.de)

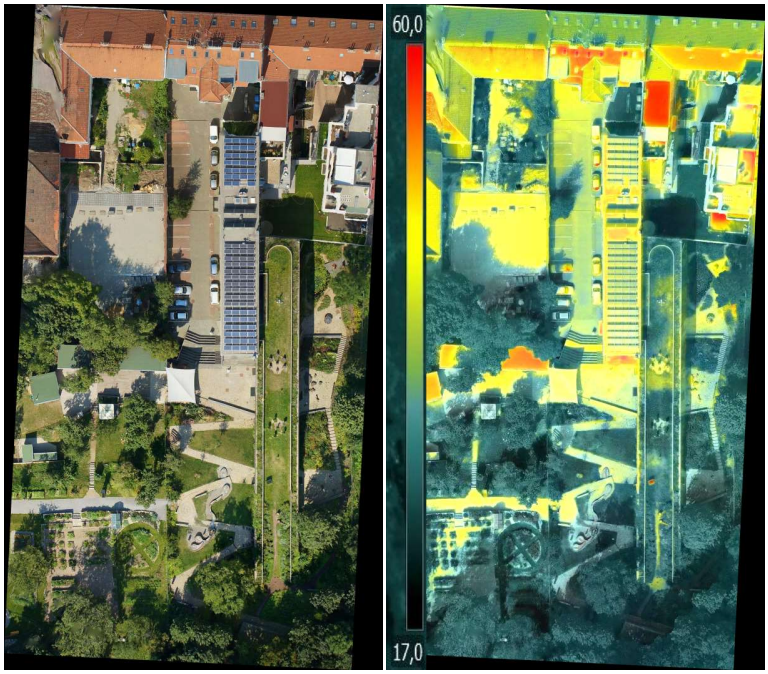
3.3 Zelené střechy

Zelená střecha (také střešní zahrada, nebo vegetační střecha) je střešní konstrukce, kterou pokrývá vegetační souvrství s vegetací (Burian et al., 2016).
Koncept ozeleněných střech je znám již po staletí. Počátek jejich vývoje lze vysledovat u již dříve zmíněných Visutých zahrad Semiramidiných ve starověké Babylonské říši (Shafique et al., 2018). Na Islandu jsou travnaté střechy součástí tradičních rašelinových domů, kde byly využity jejich výborné tepelně akumulační a izolační vlastnosti (Minke, 2001). Rašelinové domy se objevují i ve Skandinávských zemích, kde je stavěli Vikingové okolo roku 1000 našeho letopočtu (Jim, 2017). Naopak izolačních vlastností travnatých střech využívaly jako ochrany proti horkému klimatu domorodé kmeny v Tanzanii (Minke, 2001).
Ve středověku se začaly zelené střechy objevovat i v městských oblastech – jedním z nejstarších příkladů může být benediktinské opatství Le Mont Saint Michel v Normandii, kde byla střešní zahrada s trávníkem a keři umístěna na budovu již ve 13. století (Jim, 2017). Podobné terasové střešní zahrady se pak staly součástí některých exkluzivních sídel – například Vila Medici v toskánské Careggi z 15. století, jež disponovala terasovou zahradou s lichoběžníkovým dvorem, květinami a ovocnými stromy, nebo Palazzo Piccolomini v taktéž toskánské Pienze, letní sídlo tehdejšího papeže Pia II., jež dodnes zůstává jedním z nejkrásnějších příkladů italských renesančních střešních zahrad.
Rozvoj betonových konstrukcí v polovině 19. století a jejich aplikace v podobě plochých střech pak dovedla zelené střechy k nové éře rozvoje – na Světové výstavě v Paříži byl vystaven prototyp zelené střechy na betonové ploché střešní konstrukci (což je prvním doloženým příkladem takovéto konstrukce), vegetační střechy byly zahrnuty i do Le Corbusierových Pěti bodů moderní architektury a mezi příznivce zelených střech patřili i další významní architekti té doby (Jim, 2017).
V současné době, spolu s pokročilejšími technologiemi a s čím dál většími problémy spojenými s nárůstem teplot a znečištěním ovzduší ve městech, zažívají zelené střechy opět velký rozvoj a nabývají značné popularity (Shafique et al., 2018).

Zelené střechy mají pro městské prostředí mnoho prospěšných funkcí, mezi něž nesporně patří funkce urbanistické – například zvýšení podílu zeleně ve městech a zlepšení kvality života, případně pracovního prostředí obyvatel (Burian et al., 2016). Zelené střechy umožňují opticky vrátit zeleň na již zastavěné plochy a vytvářet na těchto plochách venkovní obytné a veřejné prostory.

Obrázky 9 a 10: Příklad využití ozeleněné střechy jako veřejného prostoru – Garden at 120, Fenchurch Street, Londýn. Zdroj: archiv autorky.

Další významnou skupinou funkcí jsou funkce environmentální. Zelené střechy pomáhají vyrovnávat extrémní teploty a přispívají k redukci vlivu městského tepelného ostrova v letních měsících, napomáhají zvyšování vlhkosti vzduchu, snížení prašnosti a pohlcování hluku. Významným přínosem je také zachycování dešťové vody a tím pádem ulehčení kanalizačnímu systému. Zelené střechy také podporují biodiverzitu městských prostředí tím, že poskytují prostor pro život fauny a flóry (Burian et al., 2016; Shafique et al., 2018).



Obrázek 11: Dronový pohled na zelenou střechu a okolní zástavbu.
Obrázek 12: Pohled na zelenou střechu a okolní zástavbu z termokamery.
Zdroj: Vlastimil Rieger, Nadace Partnerství.

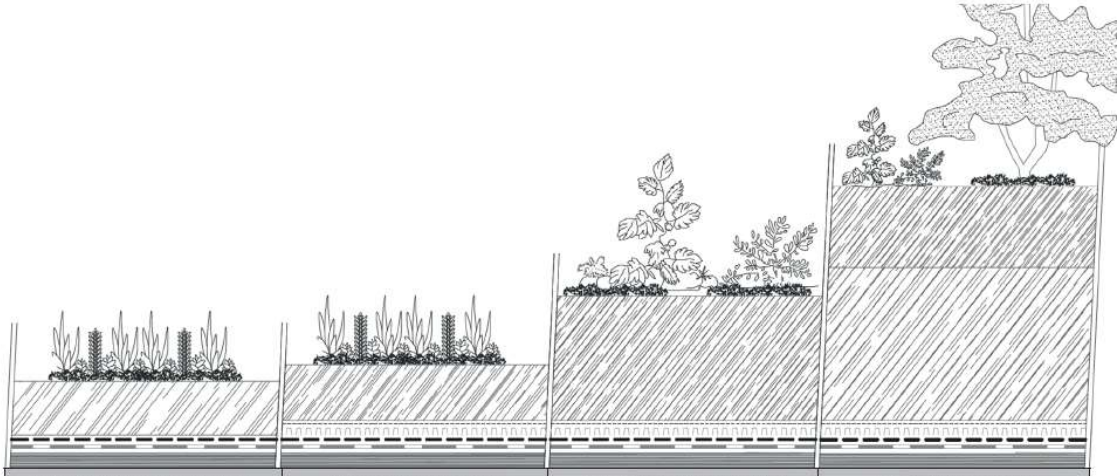
Obrázky 11 a 12 zobrazují pohled na zelenou střechu a okolní zástavbu běžnou čočkou a čočkou termokamery. Lze na nich ilustrovat vliv zelených střech na snižování teploty povrchů a míru jejich přispívání k redukci městského tepelného ostrova. Termosnímek byl pořízen 29. 8. 2016 ve 14 hodin v Brně, při venkovní teplotě 28°C a vlhkosti vzduchu 36%. Šikmé střechy pokryté pálenými taškami, nebo ploché betonové střechy jsou na termosnímku vyznačené červenými barvami, což znamená, že vykazují hodnoty teplot mezi 60 a 65°C. Žluto-zelené odstíny, které mají na termosnímku například betonové plochy, označují teploty okolo 50°C. Zelená střecha, stejně jako zelené a vodní plochy v jejím okolí, mají na termosnímku barvu tmavě zelenou, což značí teplotu okolo 25°C (Nadace Partnerství, 2018).

Kromě pozitivního vlivu na okolní prostředí přinášejí zelené střechy řadu výhod i samotné budově, na které jsou instalovány. Ozelenění snižuje teplotní rozdíly, kterým musí krytina střechy během roku čelit (u běžné střechy je to zhruba 100°C – od mínus 20°C do 80°C, u střechy s extenzivním ozeleněním je teplotní rozdíl redukován na zhruba 30°C), čímž přispívají k výrazně delší životnosti střech. Střechy chrání i před působením UV záření a mechanickým poškozením (Minke, 2001).
Zelené střechy poskytují budovám také dodatečnou tepelnou izolaci. V zimě zlepšují izolační vlastnosti budovy, napomáhají kumulaci tepla a tím snižují nároky na energii potřebnou k vytápění. Ještě významnější je pak působení zelených střech v létě, a to především pro byty v nejvyšších patrech přímo pod střechou. Zelená střecha absorbuje díky vegetaci a substrátu méně slunečního záření, než střechy neozeleněné, čímž pomáhá vytvářet mnohem příjemnější klima uvnitř budovy a snižovat energetické

nároky na klimatizování (Minke, 2001; Shafique et al., 2018). Pozitivní vliv instalace zelených střech na energetickou náročnost budov byl prokázán řadou studií. Jedna z nich, popisující experiment uskutečněný v roce 2018 ve městě Katánie na Sicílii, ukázala, že extenzivní zelená střecha instalovaná v těchto klimatických podmínkách snížila spotřebu energie na vytápění budovy v zimě o 2-10% a na klimatizování v létě o 31-35%. Z ekonomického hlediska se pak doba návratnosti nákladů na takovou zelenou střechu pohybuje okolo 13-18 let (Cascone et al., 2018).

Zelené střechy můžeme dělit dle druhu vegetace, přístupnosti, jejich převažující funkce, skladby vegetačního souvrství, sklonu, či jejich polohy a prostorové vazby na okolní terén (Burian et al., 2016).
Dle druhu vegetace dělíme zelené střechy na intenzivní, polointenzivní a extenzivní.
Intenzivní ozelenění obsahuje dřeviny, travnaté plochy a křoviny tak, jak je to typické v přírodě. Takto ozeleněná střecha může být realizována pouze na plochých střechách, vyžaduje tloušťku substrátu více než 30 cm a je velmi nákladná jak na realizaci, tak na údržbu. Lze po ní ale chodit a využívat ji jako střešní zahradu (Minke, 2001).
Extenzivní zelené střechy oproti tomu nevyžadují umělé dodávky vody a živin, stačí jim substrát o tloušťce 3 – 15 cm a jejich vegetaci běžně tvoří mechy, sukulenty a ty druhy trav a bylin, které nevyžadují péči a jsou odolné proti mrazům a extrémním podmínkám.
Polointenzivní (neboli jednoduché intenzivní) ozelenění pak stojí na pomezí předchozích dvou druhů ozelenění – substrát má výšku 15 až 30 cm a vegetaci tvoří tráva, trvalky a dřeviny. Oproti intenzivnímu ozelenění je tento druh méně nákladný na realizaci a údržbu a vyžaduje méně péče.
Podle přístupnosti dělíme zelené střechy na nepochozí, pochozí a pobytové. Nepochozí střechy nejsou určeny k pobytu osob a vstupuje se na ně pouze za účelem kontroly nebo údržby. Pochozí střechy jsou přístupné poučeným osobám v omezeném rozsahu, například k obsluze nějakého zařízení. Pro tento účel jsou na takových střechách vybudovány chodníčky. Pobytové střechy jsou typicky intenzivní zelené střechy využívané jako střešní zahrady. Jsou určeny k pobytu osob, jejichž bezpečnost je zajištěna zábradlím, či jinou zábranou (Burian et al., 2016).
Podle funkce rozlišujeme zelené střechy retenční (určené k zadržování maximálního množství dešťové vody), podporující biodiverzitu (důraz je kladen na velkou rozmanitost rostlinných a živočišných druhů), fotovoltaické (ozelenění je kombinováno s fotovoltaickými panely) a pěstební (využívané k soukromé nebo komerční pěstitelské činnosti).
Podle sklonu můžeme zelené střechy rozdělit na ploché (sklon <5°), šikmé (5 – 45°) a strmé (45 – 90°).
Dle polohy rozlišujeme zelené střechy v úrovni parteru, v dotyku s parterem a bez dotyku s parterem. Zelené střechy v úrovni parteru jsou typicky na objektech podzemních garáží, stanic metra atd. Tyto střešní zahrady jsou významnými prvky veřejného prostoru a jsou tudíž navrhovány jako intenzivní pochozí zelené střechy. Zelené střechy v dotyku s parterem zase představují možnost začlenit budovu do okolní

krajiny a jsou nejčastěji zakládány jako extenzivní, příp. polointenzivní zelené střechy. Zelené střechy bez dotyku s parterem jsou střešní zahrady plnící rozmanité funkce a požadavky, od nichž se také odvíjí způsob jejich zakládání.
Dle vegetačního souvrství rozlišujeme zelené střechy se souvrstvím jednovrstvým, nebo dvouvrstvým.



Jednovrstvé extenzivní souvrství	Extenzivní souvrství	Polointenzivní souvrství	Intenzivní souvrství
extenzivní vegetace	extenzivní vegetace	polointenzivní vegetace	intenzivní vegetace
vegetační vrstva s velmi zvýšenou vodopropustností	vegetační vrstva lehká	vegetační vrstva těžká	vegetační vrstva tvořena z 1/3 z těžké a ze 2/3 z lehké části, spodní část může být doplněna o hydroakumulační vrstvu s definovanou nasákavostí a vodopropustností
	filtrační vrstva		
	drenážní vrstva		
ochranná a separační vrstva			
hydroizolace odolná proti prorůstání kořenů			
plošná hmotnost souvrství < 100 mm	plošná hmotnost souvrství 60–150 mm	plošná hmotnost souvrství 150–350 mm	plošná hmotnost souvrství > 300 mm
80–150 kg·m^{-2}	90–200 kg·m^{-2}	200–400 kg·m^{-2}	> 400 kg·m^{-2}

Obrázek 13: Rozdělení zelených střech podle druhu vegetace a skladby souvrství.
Zdroj: Burian et al., 2016

Při volbě vhodného typu vegetace a vegetačního souvrství je třeba pamatovat na mnoho faktorů (Burian et al., 2016). Patří mezi ně jak přepokládaný způsob využití a podmínky konkrétního stanoviště, tak stavebně-technické podmínky, jako je nosnost stavební konstrukce, způsob odvádění srážkové vody, skladba střešního pláště, nebo použité materiály.
Kromě navrhování zelených střech na nově budovaných objektech lze zelené střechy instalovat i na již existující budovy. V těchto případech je nutné brát v úvahu nosnost stavební konstrukce a navrhnout budoucí konstrukci vegetační střechy tak, aby nedošlo k přetížení a aby (v ideálním případě) nebyly nutné drahé stavební úpravy existujících konstrukcí. V naprosté většině případů se proto volí extenzivní konstrukce zelené střechy, která způsobuje minimální nárůst zatížení na nosné konstrukce oproti ostatním druhům zelených střech a její výhodou je i nenáročná údržba bez nutnosti zavlažování.

Intenzivní zelené střechy lze většinou instalovat pouze na budovách, u kterých se s nárůstem zatížení jimi způsobeným počítalo již při návrhu nosných konstrukcí (Cascone et al., 2018).

4 Adaptační opatření na území města Brna

4.1 Zelená střecha – Otevřená zahrada Nadace Partnerství

4.1.1 Vzdělávací a poradenské centrum Otevřená zahrada Nadace Partnerství v Brně

Otevřená zahrada Nadace Partnerství je veřejně přístupná environmentálně vzdělávací zahrada přiléhající k Centru pro ekologické poradenství. Celý komplex se nachází na úpatí severního svahu Špilberku a je součástí soustavy zahrad přiléhající k zástavbě domů na ulici Údolní. Tvoří jej dva objekty vybudované v pasivním standartu (budova C a budova B) a zahrada o ploše 2200m^2 (plus 425,5 m^2 střešní zahrada).
Budova C, na jejíž střeše je umístěna pochozí zelená střecha, je unikátním pasivním domem, v němž sídlí poradenské centrum. Při její výstavbě bylo cílem „vytvořit modelovou zelenou budovu, která bude inspirací pro investory z veřejného i soukromého sektoru“ (Miroslav Kundrata, ředitel Nadace Partnerství). Při návrhu objektu byl kladen důraz na vysoký pasivní standart stavby, stejně jako na šetrné hospodaření s vodou nebo používání co největšího podílu obnovitelných materiálů. V současné době se jedná podle ředitele p. Kundraty o jednu z nejlepších ukázek zeleného stavění v ČR.

4.1.2 Zelená střecha na budově C

Jedná se o intenzivní pochozí zelenou střechu o ploše 425,5 m^2. Je plynule začleněna do zbytku zahrady, čímž opticky „navrací“ zastavěnou plochu do zahrady. Jsou na ní umístěna herní stanoviště a meteorologická stanice, z níž jsem čerpala datové podklady pro praktickou část této bakalářské práce.

Obrázek 14: Pohled na Otevřenou zahradu s patrnou zelenou střechou nad budovou C. Zdroj: Vlastimil Rieger, Nadace Partnerství

Obrázek 15: Pohled na herní stanoviště na zelené střeše NP. Zdroj: Vlastimil Rieger, Nadace Partnerství

Obrázek 16: Pohled na zelenou střechu na budově C. Zdroj: Vlastimil Rieger, Nadace Partnerství

Tabulka 1: Skladba souvrství zelené střechy nad budovou C:

Popis vrstvy	Tloušťka [mm]
Substrát vícevrstvý intenzivní	140 - 300
Filtrační geotextilie 150g/m^2	2
Drenážní a akumulační vrstva PE nopová fólie perforovaná	25
Separační geotextilie 200g/m2	2
Ochranná vrstva hydroizolace z extrudovaného polystyrenu	
Separační geotextilie 200g/m 2	2
Hydroizolační kaučuková fólie EPDM	1,5
Separační geotextilie 200g/m 2	2
Tepelná izolace z desek stabilizovaného pěnového polystyrenu	160
Spádové klíny z tepelné izolace z desek stabilizovaného pěnového polystyre	20 - 180
Pásy asfaltové parozábrany a pojistné hydroizolace beze spádu	3,5
Lehčený beton plněný recyklovaným odpadním polystyrenem	60
Železobetonová stropní deska	

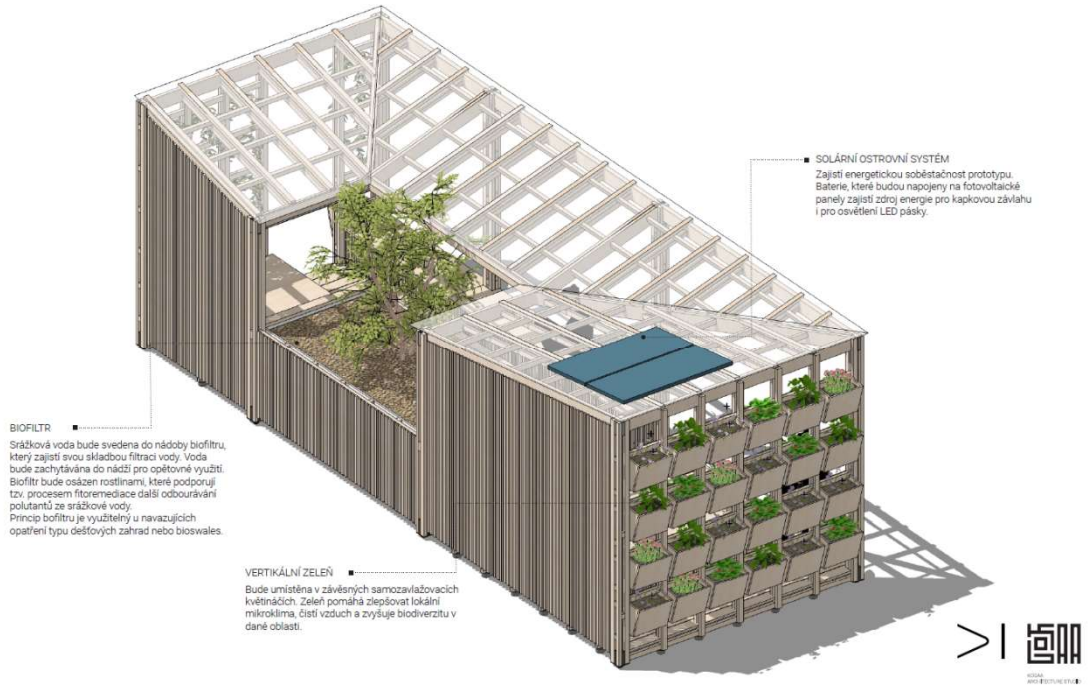
4.2 Městská buňka City Cell Prototype

Prototyp adaptačního opatření City Cell Prototype (dále i CCP) byl navržen platformou NEXT Institute a architektonickou kanceláří KOGAA Studio s.r.o. Jelikož se jednalo o prototyp, vyžadovala situace nejprve montáž na provizorní lokalitě (pro tento účel byla použita venkovní plocha výzkumného centra Admas). Finální montáž na Malinovského náměstí v Brně proběhla ve druhé polovině srpna 2018, přičemž demontáž byla naplánována na říjen 2018. Jednou z výhod řešení, jak už sám název objektu napovídá (cell = buňka, tělo je tvořeno buňkami, buňky se navzájem propojují a vytváří kompaktní celek), je možnost demontáže objektu, jeho přesun a umístění na příhodných místech zvláště v městském centru. Optimálním prostorem pro umístění buňky jsou zpevněné plochy s minimálním množstvím zeleně, nedostatečným odstíněním a s koncentrací čekajících lidí – ať už náhodně procházejících turistů, hledající místo k odpočinku, nebo cíleně se zastavujících lidí přímo v objektu CPP.

Jedním z hlavních cílů bylo vytvořit opatření, které by bylo schopno vhodně doplnit infrastrukturu města Brna v reakci na ohrožení vlnami veder a sucha a přívalovými dešti, a v malém měřítku jej otestovat pro případné použití ve větších projektech. Prototyp má integrovaný systém práce s dešťovou vodou a její úpravy pomocí biofiltru. Dále představuje příklad integrace vertikální zeleně a způsob její mechanické závlahy. Objekt je energeticky soběstačný díky solárnímu ostrovnímu systému. Použité materiály byly navrženy s maximálním ohledem na životní prostředí – např. konstrukční materiál je smrkové dřevo bez nátěrových hmot.

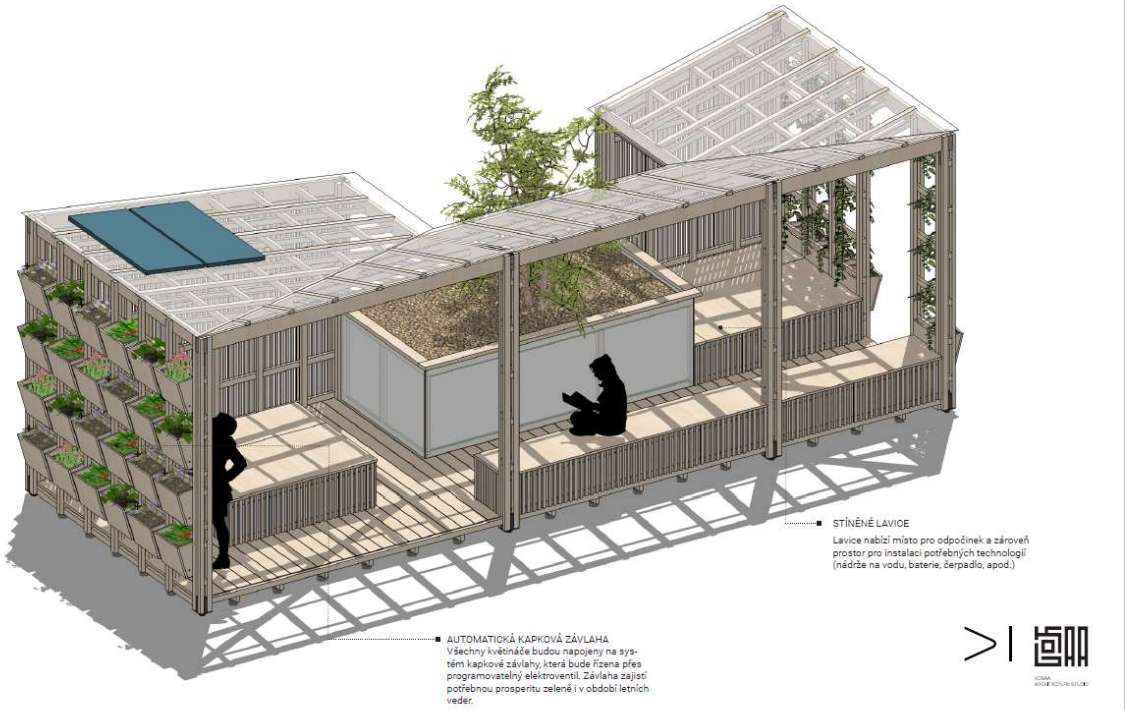
Jedním z hlavních úkolů projektu bylo také informovat širokou veřejnost o problematice adaptací na klimatickou změnu a představit možná řešení – v rámci vnitřního prostoru bylo umístěno několik informačních textů v souvislosti s klimatem, deštěm, zapojením vegetace, apod.

4.2.1 Dispoziční řešení



Obrázek 17: Axonometrický pohled na buňku CCP ze severovýchodu, zdroj: KOGAA Architecture Studio s.r.o.

Na axonometrickém pohledu na City Cell Prototype ze severovýchodní strany je zobrazena stěna s vertikální zelení ve 24 závěsných květináčích, které jsou zavlažovány kapkovou závlahou. Do kapkové závlahy je použita dešťová voda svedená pomocí systému šikmých střech do biofiltru a odtud pak pro přefiltrování odtéká samospádem do akumulačních nádrží na vodu. Solární ostrovní systém naznačený v návrhu byl nakonec při realizaci umístěn na protější střechu (směrem na východ).



Obrázek 18: Axonometrický pohled na buňku CCP ze severozápadu, zdroj: KOGAA Architecture Studio s.r.o.

Severozápadní pohled na CCP nám ukazuje hlavní „obytný“ prostor buňky se stíněnými lavicemi k posezení. Lavice byly otevíratelné a byly v nich uzamčeny nádrže na vodu, čidla a baterie nabíjená solárním systémem. Na povrchu lavic a nádoby na biofiltr byly umístěny tištěné texty informující veřejnost o účelu adaptačního opatření a o použitých technologiích a přibližující celou tematiku adaptace na klimatické změny.

4.2.2 Použité technologie

Vegetační stěna

Na severní straně objektu CCP je umístěna stěna s vertikální zelení ve 24 závěsných samozavlažovacích květináčích. Květináče jsou vyrobeny na míru se zásobníkem na vodu vytvořeným v dolní části plechové vložky květináče. Květináče jsou proti přeplnění chráněny přepadem. Ke každému květináči je umístěn kapkovač s průtokem 2 litry/hod napojený na malou vodárnu. Celý systém kapkové závlahy je řízen elektroventilem s časovačem, vše fungující na napětí 12 V.

Biofiltr

Nádoba na biofiltr je z UV stabilního plastu o tloušťce stěny 15 mm. Nádrž je usazena na vyrovnávací pískové lože. Proti přeplnění je biofiltr chráněn vývodem DN 100, který je napojen na akumulační nádrže o celkovém objemu 400 litrů, do kterých by v případě přeplnění biofiltru odtékala přebytečná dešťová voda. Tato skutečnost však ve

sledovaném období nenastala – vzhledem k jeho krátkodobé instalaci v období, kdy byly srážkové úhrny minimální.

Skladba biofiltru je následující:

- 50 mm vrstva pohledového kačírku frakce 4 – 8 mm
- 700 mm kompostový substrát (1/3 kompost + 2/3 katrovaný substrát)
- Netkaná geotextilie 300 g/m^2
- 200 mm drenážní vrstva z drceného štěrku frakce 4 – 8 mm

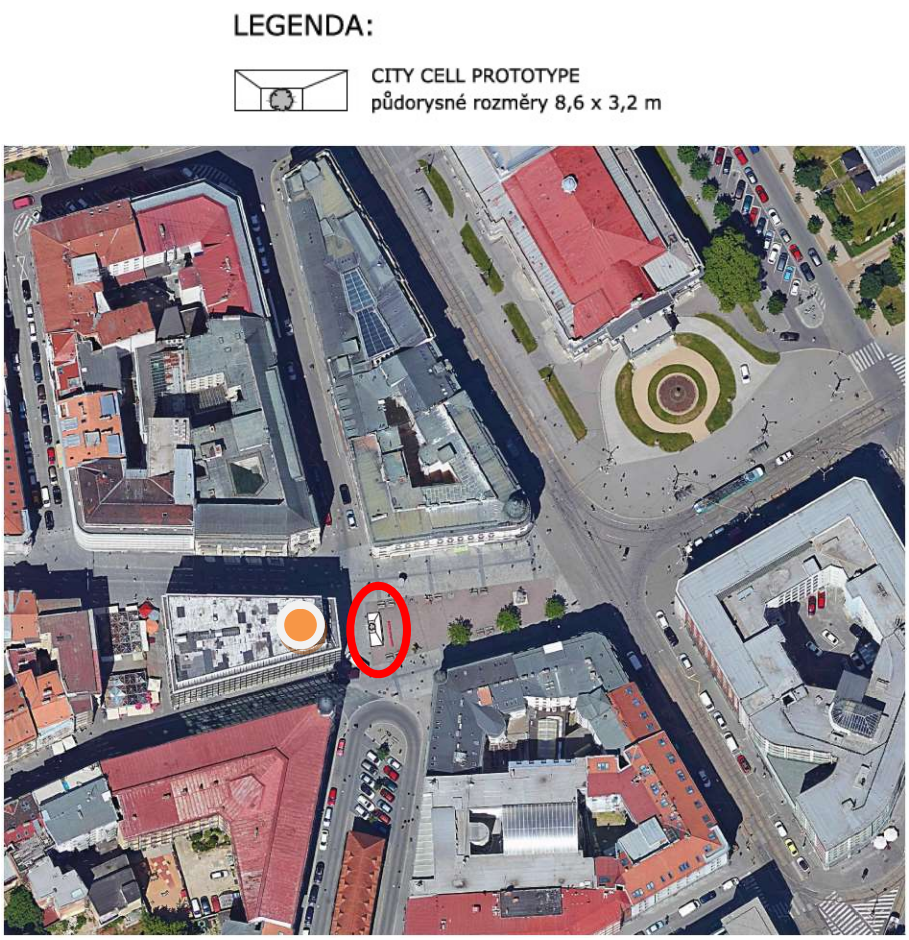
Horní okraj pohledového kačírku je zároveň o 100mm pod horním okrajem biofiltru. Celková výška biofiltru byla 1050 mm.

Solární ostrovní systém

Jako zdroj elektřiny, resp. pro účely ostrovního systému, byly použity 2 solární panely o výkonu 160 W připojené přes regulátor napětí na 12V (150 Ah) akumulátorem. Solárním systémem je napájena jak kapková závlaha (vodárna 12V a elektroventil s časovačem), tak osvětlení LED pásky umístěnými pod horními okraji střechy, lavic a biofiltru (vytvářející příjemné prostředí pro večerní posezení).

4.2.3 Realizace městské buňky CCP v září a říjnu 2018

Jako testovací stanoviště prototypu byl zvolen západní okraj Malinovského náměstí v Brně. Buňka byla umístěna tak, že stěna s vertikální zelení směřovala na sever.



Obrázek 19: Umístění městské buňky CCP na Malinovského náměstí v Brně. Zdroj: KOGAA Architecture Studio s.r.o.

V blízkosti buňky se nacházela výšková budova o osmi patrech (na mapce naznačena oranžovým bodem). Tato budova v odpoledních hodinách vrhala stín na buňku, což ovlivnilo výsledky měření teplot.

Obrázek 20: City Cell Prototype v průběhu výstavby. Zdroj: ConWe s.r.o

Obrázek 21: Dokončený objekt City Cell Prototype – pohled z východu. Zdroj: ConWe s.r.o

Obrázek 22: City Cell Prototype s nočním osvětlením. Zdroj: www.archiweb.cz, fotograf: BoysPlayNice

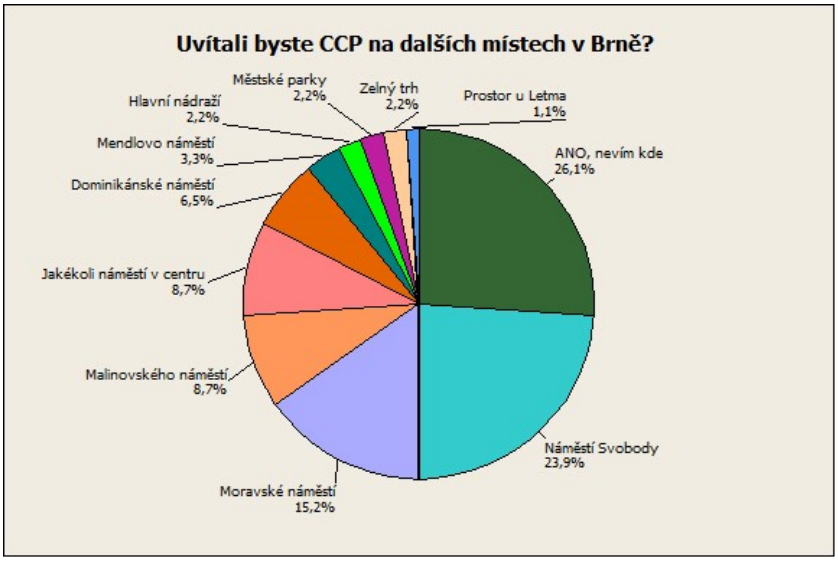
5 Vztah veřejnosti k adaptačním opatřením – sociologický průzkum

Jelikož realizace adaptačních opatření ve městech musí být většinou realizována z rozpočtu konkrétního města, samotná výstavba obdobných řešení, jako je výše uvedené CCP, je do značné míry otázkou politických rozhodnutí. Je tudíž účelné zjišťovat, jaké plynou výhody z podpory takových projektů pro politické subjekty, ať už samosprávné, či vládní. Je již mnohokrát ověřeným faktem, že klasická městská zeleň působí na obyvatele pozitivním dojmem a že města disponující dostatkem zelených ploch poskytují svým obyvatelům subjektivně vyšší kvalitu života a příjemnější prostředí (Klemm et al., 2015). U alternativních způsobů ozelenění ale tento předpoklad nemusí být zcela naplněn, jelikož novátorské nápady mají často jak příznivce, tak řadu

odpůrců. U inovativních technologií ozeleňování také přichází na přetřes jejich investiční náklady, které může nezasvěcená veřejnost často vnímat jako neopodstatněné a příliš vysoké.
Z těchto důvodů byl v době instalace městské buňky City Cell Prototype v jejím okolí uskutečněn sociologický průzkum na 70 respondentech ve věku od 17 do 64 let. Respondenti odpovídali na následující otázky:

1. Líbí se Vám městská buňka na Malinovského náměstí?
2. Víte, k čemu slouží?
3. Strávili jste v prostoru městské buňky v průběhu léta nějaký čas? Pokud ANO, jak na Vás její prostředí působilo? Pokud NE, láká Vás na pohled její využití?
4. Uvítal(a) byste další buňky tohoto typu na dalších místech v centru Brna? Kde?
5. Při jaké příležitosti využíváte / byste využíval(a) prostor buňky?
    - Obědová pauza
    - Četba
    - Posezení s přáteli
    - Sraz / čekání
    - Využití wifi signálu
6. Jak byste nápad magistrátu na výstavbu městské buňky ohodnotil(a) na stupnici 1 až 5 – jako ve škole?
7. Zde byl respondentům ponechán prostor pro názory, poznámky a náměty ke zlepšení.

Na první otázku odpovědělo 100% respondentů ANO. U druhé otázky nevědělo, k čemu CCP slouží 71% respondentů. V prostoru buňky strávilo nějaký čas 45,2% dotázaných, na něž prostředí buňky působilo příjemným, či útulným dojmem. Z 54,8% respondentů, kteří v městské buňce žádný čas nestrávili, by její využití nelákalo pouhých 6,3%.
Na otázku, zda by uvítali další podobné buňky na jiných místech v centru Brna, odpovědělo 100% respondentů ANO. Místa, na něž by občané buňky umístili, jsou vidět na následujícím koláčovém grafu:



Graf 1: Znázornění odpovědí veřejnosti na otázku, kde by uvítali umístění dalších buněk CCP.

Dotazovaní nejčastěji uváděli velká městská náměstí, jmenovitě náměstí Svobody a Moravské náměstí (v okolí Místodržitelského paláce). Oba prostory charakterizuje velká vydlážděná plocha, malé zastínění a nedostatečné množství zeleně.
Na otázku číslo 5 byla nejčastější odpovědí sraz, nebo čekání (27,8%), posezení s přáteli (22,5%) a obědová pauza (21,2%). Průměrná známka udělená respondenty byla 1,48. V prostoru pro poznámky dotázaní nejčastěji uváděli nespokojenost s nedostatečným úklidem prostoru buňky, krátkou dobou osvětlení přes noc, nebo větší množství zeleně uvnitř buňky a ne jen zvenčí.

6 Měření meteorologických veličin

Pro účely ověření hypotézy funkčnosti objektu CPP a zelené střechy v Otevřené zahradě bylo zajištěno měření teplot ve stejném období na třech různých místech v rámci Brna.
Data naměřená na čidlech na meteorologické stanici na zelené střeše v Otevřené zahradě Nadace Partnerství a na čidlech umístěných na městské buňce City Cell Prototype byla porovnávána s údaji naměřenými ve stejném časovém období na meteorologické stanici na střeše budovy C Fakulty stavební VUT v Brně.

6.1 Meteorologická stanice Fakulty stavební VUT v Brně

Meteorologická stanice se nachází v nadmořské výšce 255,5 m. n. m. Teplotní čidlo se nachází v uzavřeném stínícím boxu 2 m nad povrchem střechy – v takzvané meteorologické budce, chránící teplotní čidlo bíle natřenými žaluziemi. Čidlo měřící vlhkost vzduchu je umístěno v ochranném boxu 1,5 m nad povrchem střechy. Budova, na které je meteorologická stanice umístěna, je vysoká 25,5 m.

Obrázek 23: Meteorologická budka na střeše budovy C, FAST VUT v Brně.
Obrázek 24: Detail teplotního čidla v ochranném boxu meteorologické budky.

6.2 Zelená střecha v Otevřené zahradě Nadace Partnerství

Data z druhé sledované lokality byla sbírána prostřednictvím senzorů s automatickým záznamem, které jsou součástí meteorologické stanice, umístěné na zelené střeše v nadmořské výšce 239 m. n. m. Použity byly údaje o teplotě a vlhkosti vzduchu. Teplotní čidla jsou umístěna na povrchu zelené střechy, v substrátu 0,1 m pod povrchem, 0,5 m nad povrchem a 2 m nad povrchem. Čidla vlhkosti vzduchu jsou umístěna 0,5 m nad povrchem a 2 m nad povrchem.

Obrázek 25: Meteorologická stanice na zelené střeše nad budovou C. Zdroj: Vlastimil Rieger, Nadace Partnerství

Údaje o teplotě a vlhkosti vzduchu jsem pak porovnala s hodnotami naměřenými na meteorologické stanici na střeše Fakulty stavební VUT v Brně.

6.3 Městská buňka City Cell Prototype

Městská buňka City Cell Prototype se během sběru dat nacházela na Malinovského náměstí v nadmořské výšce 207,2 m. n. m.
V prostoru městské buňky byla umístěna dvě teplotní čidla. První z nich, čidlo „strom“ bylo připevněno ke kmeni stromu vyrůstajícího z biofiltru ve výšce 3,1 m nad zemí, druhé, čidlo „podlaha“, bylo uzamčeno v prostoru lavice vedle vegetační stěny. Obě čidla během sledovaného období (září – říjen 2018) měřila teplotu a tlak vzduchu.

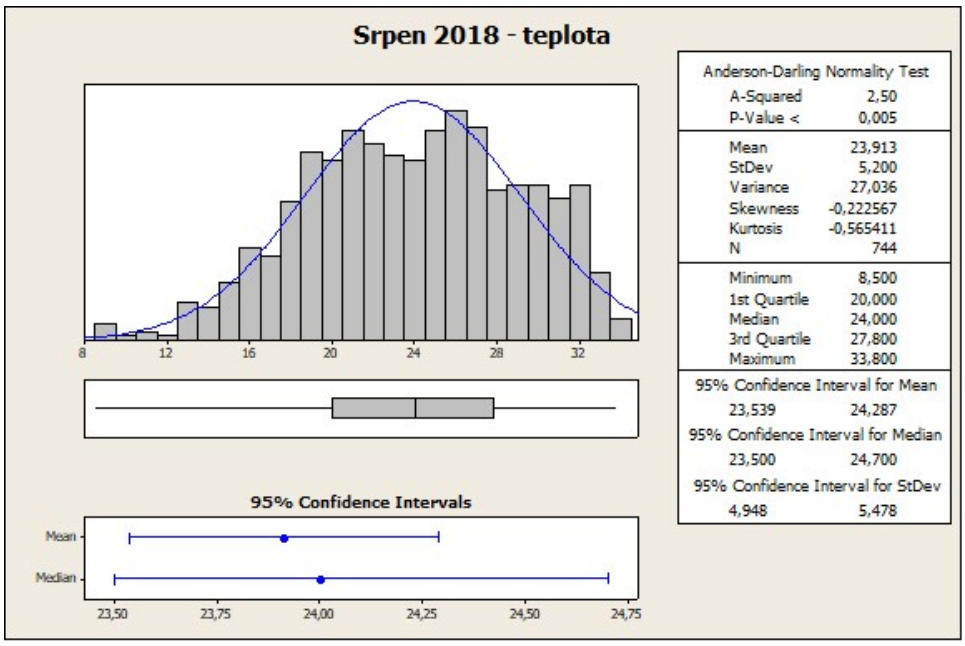
Obrázek 26: Čidlo „strom“ – umístění. Zdroj: ConWe s.r.o

7 Výsledky

7.1 Zelená střecha v Otevřené zahradě Nadace Partnerství

7.1.1 Srpen 2018

Teploty vzduchu – meteorologická stanice FAST

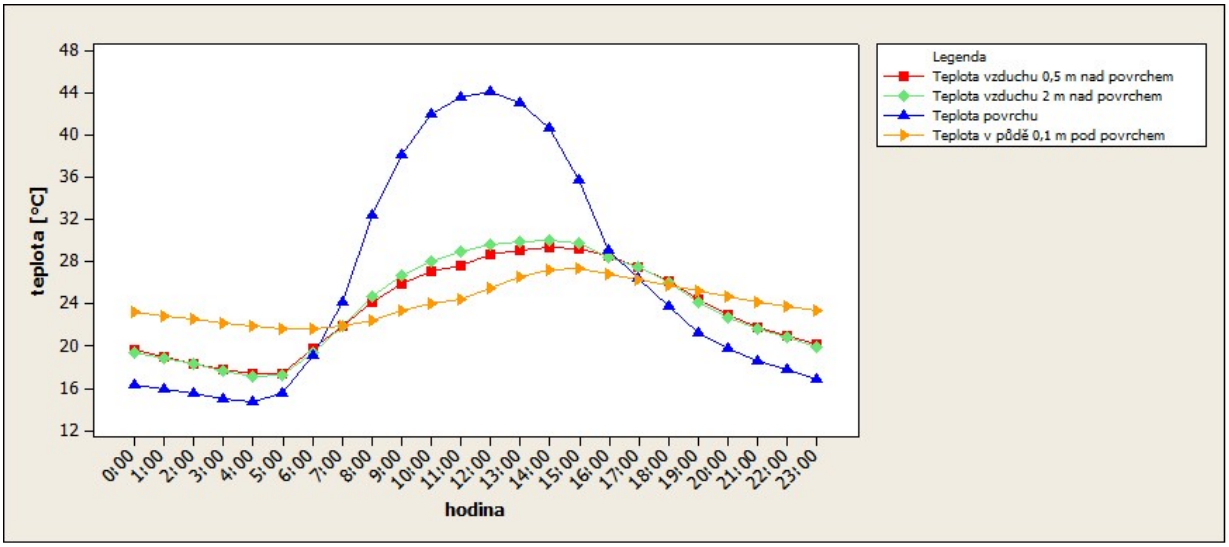


Graf 2: Statistické vyhodnocení záznamu teplot naměřených v srpnu 2018 na meteorologické stanici FAST VUT.

V grafu 2 vidíme sumarizaci teplot naměřených během srpna 2018 na meteorologické stanici FAST VUT.

Srpen 2018 byl typicky teplý. Maximální naměřená teplota byla 33,8 °C, přičemž průměrná teplota byla 23,9°C. Průměrná teplota v denních hodinách (od 6 do 20 hodin – v době mezi východem a západem Slunce) byla v srpnu 26,24°C, v nočních hodinách (od 20 do 6 hodin) pak 20,64°C. Během měsíce srpna bylo zaznamenáno 8 tropických nocí. Nejnižší teplota naměřená v tomto měsíci byla 8,5°C.

Teploty na čidlech na zelené střeše:



Graf 3: Průběh teplot naměřených na zelené střeše během průměrného srpnového dne.

Pro názorný průběh teplot byla data upravena tak, že z jednotlivých záznamů byl zpracován průměrný den – ve stejných časových záznamech byly hodnoty naměřených teplot v měsíci srpnu zprůměrovány a vytvořen byl fiktivní „průměrný srpnový den“. Takto bylo postupováno i při tvorbě „průměrných dnů“ v ostatních měsících, i při úpravě dat získaných z čidel City Cell Prototype.

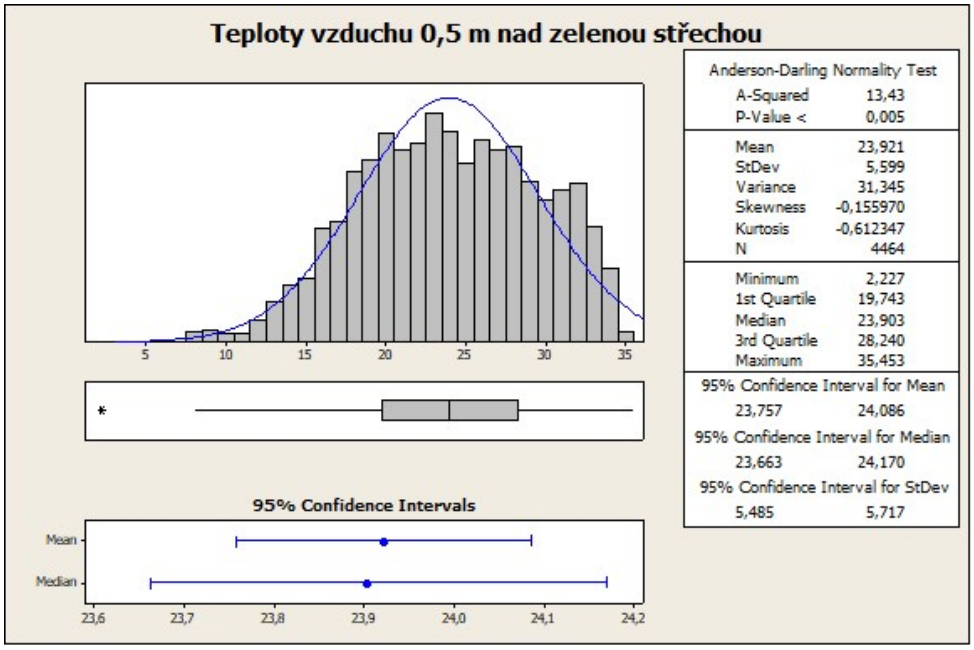
Během denních hodin se povrch zelené střechy zahřál až na 55,9°C (maximální naměřená hodnota), jeho průměrná teplota byla v těchto hodinách 33,42°C. V nočních hodinách se pak povrch naopak ochladil, jeho průměrná teplota pak činila 16,97°C. Celková průměrná teplota během dne byla na povrchu zelené střechy 26,6°C.

Průměrná teplota vzduchu naměřená v denních hodinách 0,5 metru nad povrchem zelené střechy byla 26,8°C, 2 metry nad povrchem pak 27,2°C. Průměrná teplota vzduchu nad zelenou střechou v nočních hodinách byla 0,5 metru nad povrchem 19,89°C, 2 metry nad povrchem 19,70°C.

Průměrná teplota za celý den byla 0,5 metru nad povrchem 23,92°C, 2 metry nad povrchem pak 24,09°C.

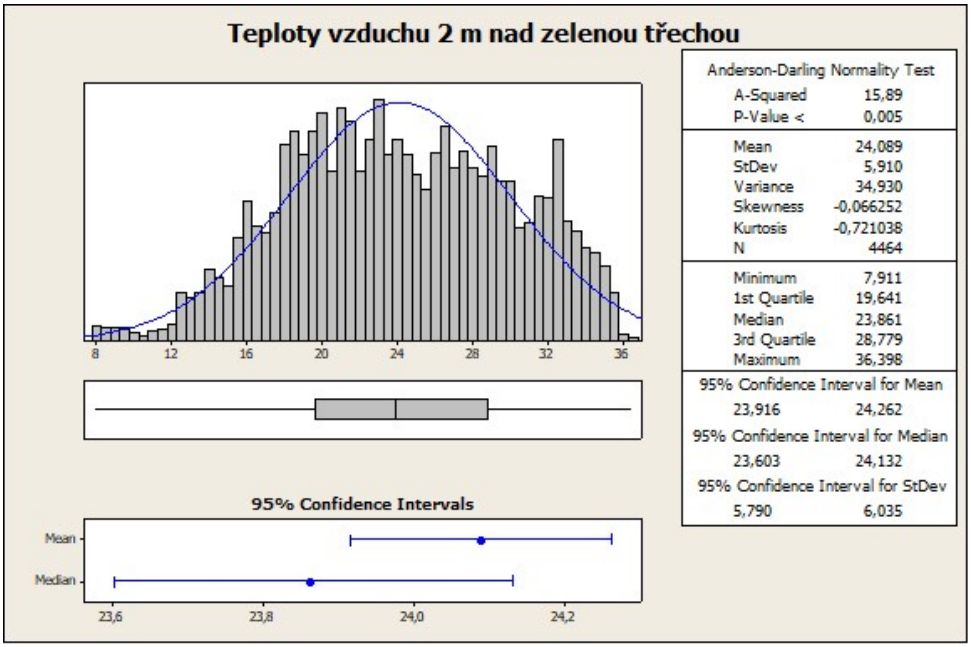
Maximální hodnota neměřená v půdě 0,1 metru pod povrchem byla 31,89°C a minimální hodnota 13,67°C. Když se podíváme na průměrné hodnoty, ukazuje se, že teplota v půdě během srpna nevykazuje větší rozdíly mezi dnem a nocí. Průměrná teplota v denních hodinách byla 25,09°C, v nočních hodinách pak 23,24°C. Průměrná teplota za celý den byla naměřena 24,32°C.

Teploty vzduchu:



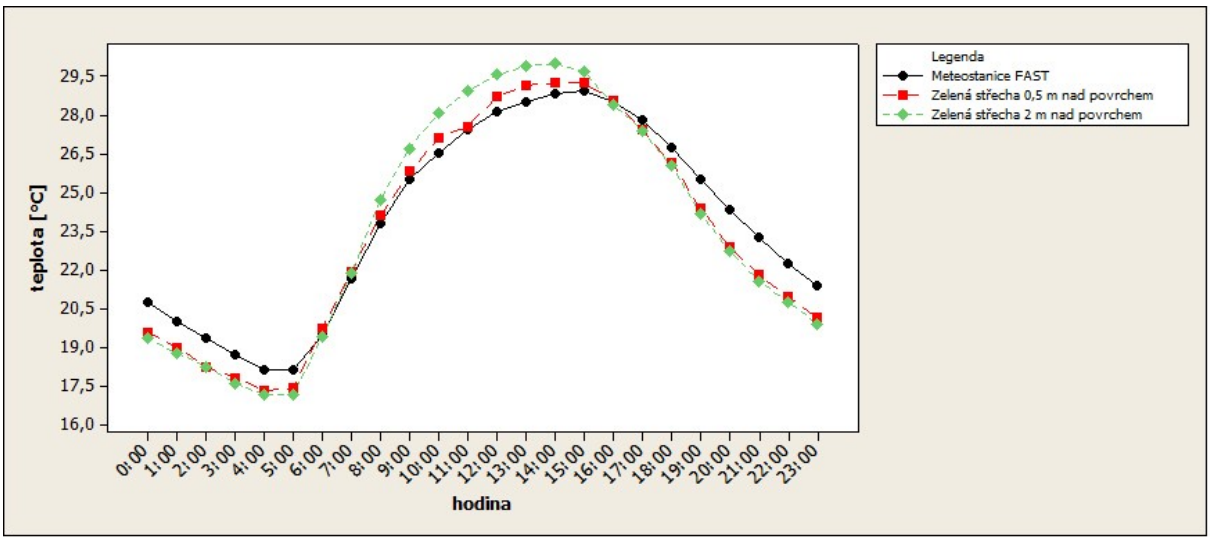
Graf 4: Statistické vyhodnocení záznamu teplot vzduchu naměřených během srpna 2018 0,5 metru nad zelenou střechou.

Maximální teplota naměřená na čidle 0,5 m nad povrchem zelené střechy byla 35,453°C, což je o 1,653°C více, než na čidle na meteorologické stanici FAST. Nejnižší teplota byla 2,227°C. To je o 6,273°C méně než nejnižší teplota naměřená na meteorologické stanici FAST. Průměrná teplota za měsíc srpen byla 0,5 m nad povrchem zelené střechy 23,921°C, což je o 0,008°C více než průměrná teplota vzduchu nad střechou FAST.



Graf 5: Statistické vyhodnocení záznamu teplot vzduchu naměřených během srpna 2018 2 metry nad zelenou střechou.

Průměrná teplota na čidle 2 m nad povrchem zelené střechy byla v srpnu 2018 24,089°C, což je o 0,168°C více než na čidle 0,5 m nad zelenou střechou a zároveň o 0,176°C více než nad střechou FAST VUT. Maximální teplota 2 m nad zelenou střechou byla naměřena 36,398 °C, minimální 7,911°C. Maximální teplota byla tedy o 2,598°C nižší než maximum zaznamenané na meteorologické stanici FAST, minimální teplota pak o 0,589°C nižní než minimum zaznamenané tamtéž.

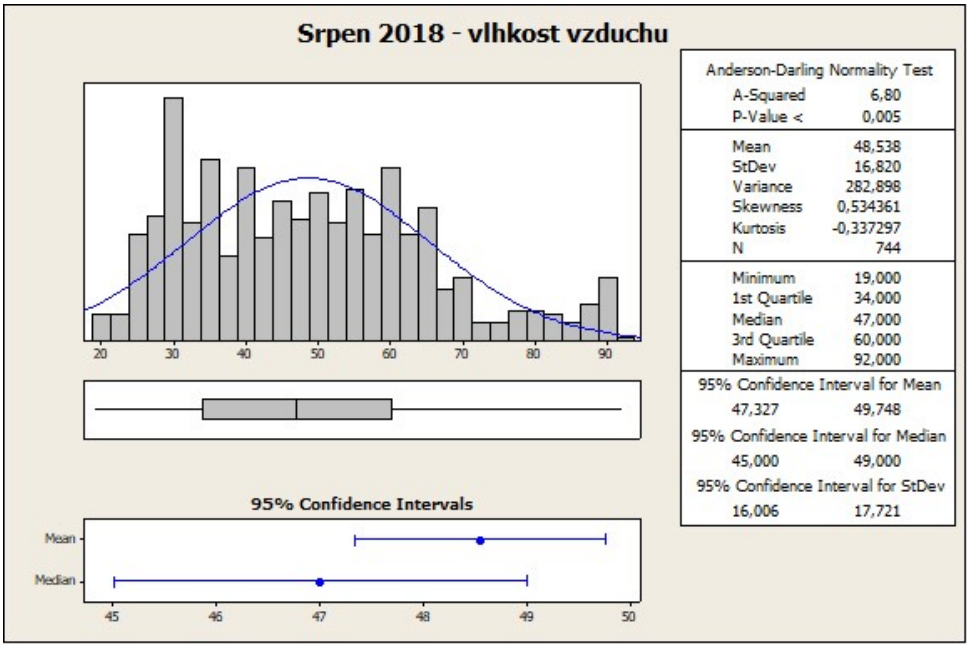


Graf 6: Průběh teplot vzduchu během průměrného srpnového dne na čidlech zelené střechy a meteostanice FAST.

Graf 6 zobrazuje data o teplotě vzduchu naměřená na čidlech zelené střechy a na meteorologické stanici FAST VUT, upravená do podoby průměrného srpnového dne.

V nočních hodinách (od 20 do 6 hodin – v době mezi západem a východem slunce) je vidět zřetelné ochlazení vzduchu nad zelenou střechou oproti vzduchu nad střechou Fakulty stavební. Ve výšce 0,5 m nad povrchem zelené střechy byla během nočních hodin průměrná teplota 19,897°C, ve výšce 2 m nad povrchem pak 19,707°C. Na meteorologické stanici FAST byla průměrná naměřená teplota během nočních hodin 20,64°C. Během nočních hodin tedy nad zelenou střechou pozorujeme ochlazení oproti meteorologické stanici FAST v průměru o 0,743°C ve výšce 0,5 m nad povrchem a o 0,933°C ve výšce 2 m nad povrchem.
Naopak v denních hodinách byla ve výšce 0,5 m nad povrchem zelené střechy průměrná teplota 26,796°C, 2 m nad povrchem pak 27,219°C. Oproti průměrné teplotě vzduchu naměřené na meteorologické stanici Fakulty stavební, která byla v srpnových denních hodinách 26,24°C, pozorujeme nárůst teploty, a to o 0,556°C (0,5 m nad povrchem zelené střechy) až o 0,979°C (2 m nad povrchem zelené střechy).

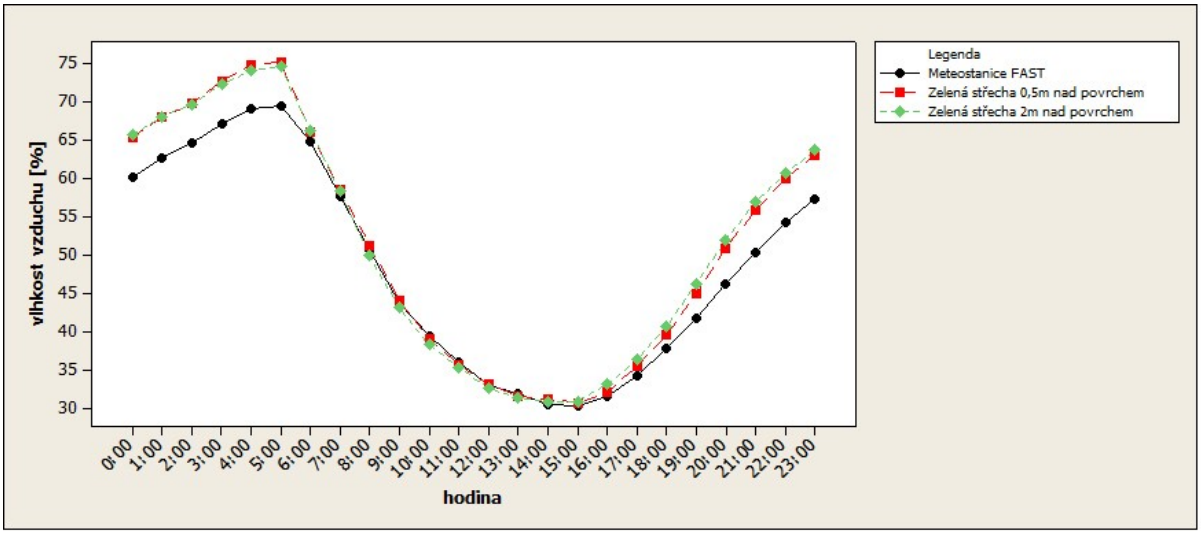
Vlhkost vzduchu – meteorologická stanice FAST:



Graf 7: Statistické vyhodnocení záznamu vlhkostí vzduchu naměřených v srpnu 2018 na meteorologické stanici FAST VUT.

Průměrná vlhkost vzduchu naměřená na meteorologické stanici Fakulty stavební byla 48,538%, nejčastěji se naměřená vlhkost vzduchu pohybovala okolo 30%. Minimální zaznamenaná vlhkost vzduchu byla 19%, maximální pak 92%.

Vlhkosti vzduchu nad zelenou střechou:



Graf 8: Průběh vlhkosti vzduchu během průměrného srpnového dne na čidlech zelené střechy a meteorologické stanice FAST.

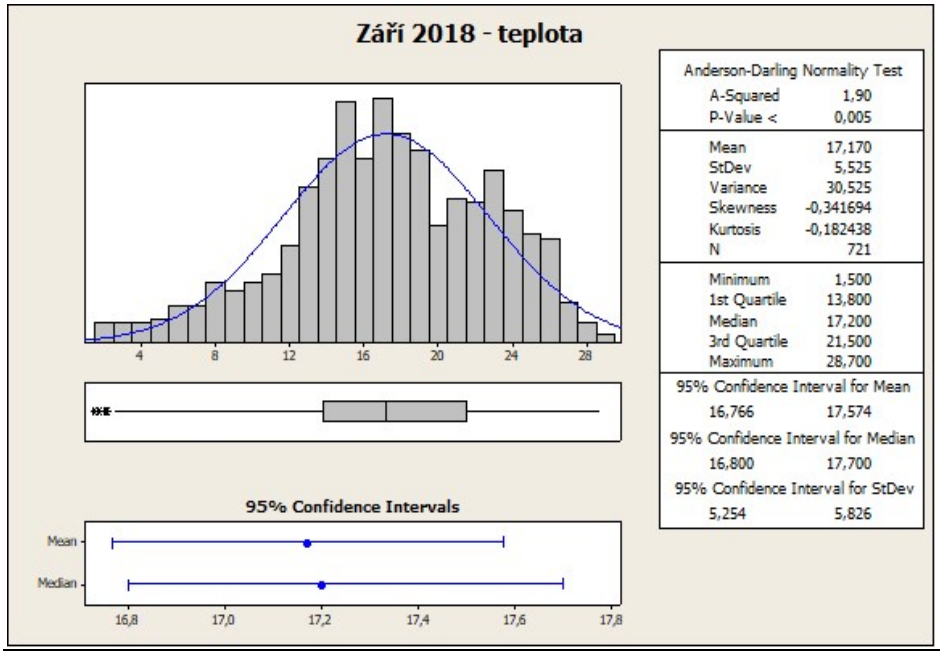
V nočních hodinách byla průměrná vlhkost 0,5 m nad povrchem zelené střechy 65,77%, 2 m nad povrchem pak 66,0%. Průměrná vlhkost vzduchu zaznamenaná v nočních hodinách na meteorologické stanici FAST byla 60,12%, vlhkosti nad zelenou střechou byly tedy o 5,65 – 5,88% vyšší.

V denních hodinách nejsou rozdíly tak velké – 0,5 m nad povrchem zelené střechy byla vlhkost v průměru 40,84%, 2 m nad povrchem pak 40,88. Na meteorologické stanici FAST byla průměrná vlhkost v denních hodinách zaznamenána 40,26%. Nad zelenou střechou tedy byla vlhkost vzduchu v průměru o 0,58 – 0,62% vyšší.

Celkově byla průměrná vlhkost vzduchu nad zelenou střechou 51,23% ve výšce 0,5 m nad povrchem a 51,35% ve výšce 2 m nad povrchem. Oproti meteorologické stanici FAST, kde byla naměřená vlhkost vzduchu v průměru 48,538% byla vlhkost vzduchu nad zelenou střechou o 2,692 – 2,812% vyšší.

7.1.2 Září 2018

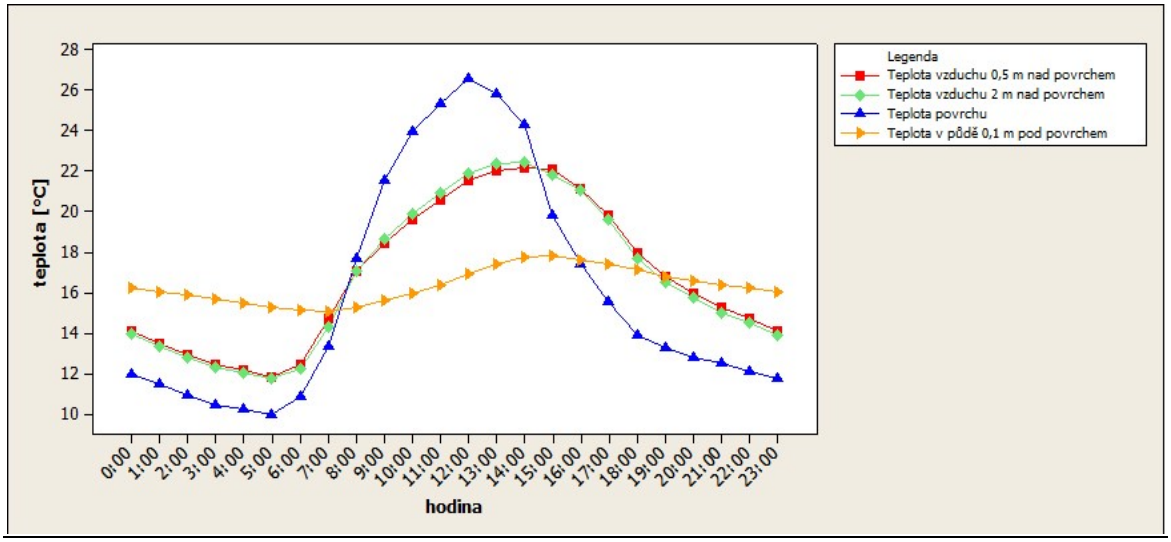
Teploty vzduchu – meteorologická stanice FAST:



Graf 9: Statistické vyhodnocení záznamu teplot naměřených v září 2018 na meteorologické stanici FAST VUT.

Teploty v září byly nižší než ty srpnové. Nejvyšší teplota zaznamenaná na meteorologické stanici FAST byla 28,7°C, nejnižší pak 1,5°C. Průměrná teplota v denních hodinách (od 6 do 19 hodin) byla 19,21°C, v nočních hodinách (od 19 do 6 hodin) pak 14,75°C. Celková průměrná teplota byla 17,17°C. Tropické noci se nevyskytly.

Teploty na čidlech na zelené střeše:



Graf 10: Průběh teplot naměřených na zelené střeše během průměrného zářijového dne.

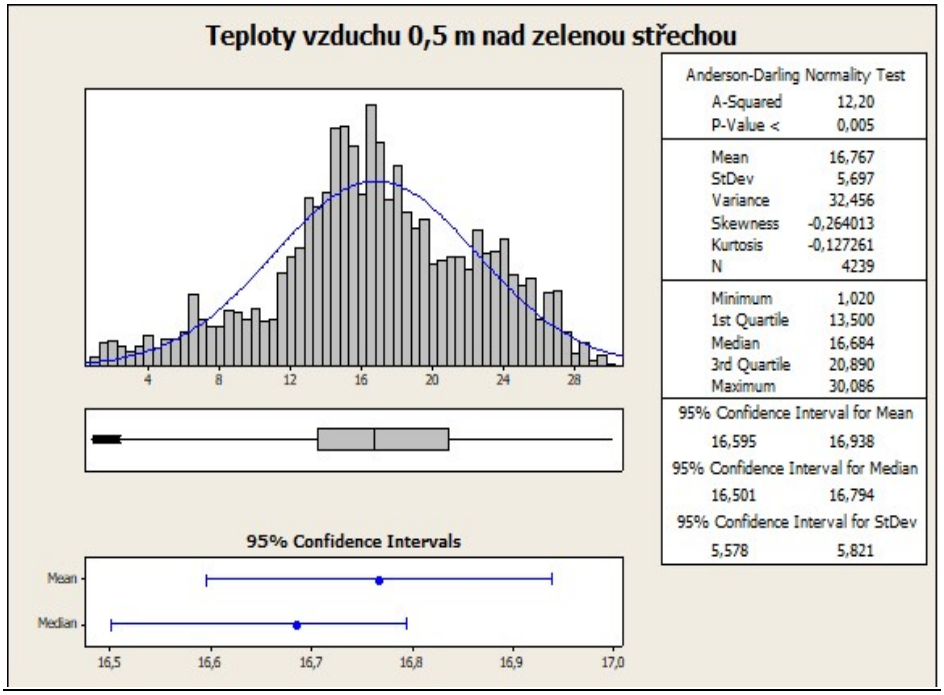
Data zaznamenaná na čidlech zelené střechy byla, obdobně jako ta srpnová, upravena do podoby průměrného zářijového dne.

Nejvyšší teploty zaznamenalo opět čidlo na povrchu zelené střechy. Maximální hodnota naměřená tímto čidlem byla 37,73°C. Průměrná teplota na povrchu zelené střechy byla v denních hodinách 19,69°C, v nočních hodinách pak 11,55°C. Celková průměrná teplota povrchu zelené střechy byla v září 15,92°C.

Teplota v půdě 0,1 m pod povrchem se ve dne i v noci pohybovala v obdobných hodnotách. Minimální teplota v nočních hodinách byla 6,165°C, maximální 21,079°C. V denních hodinách byla minimální teplota 6,117°C, maximální 21,606°C. Průměrná teplota v denních hodinách činila 16,57°C, v nočních hodinách 16,047.

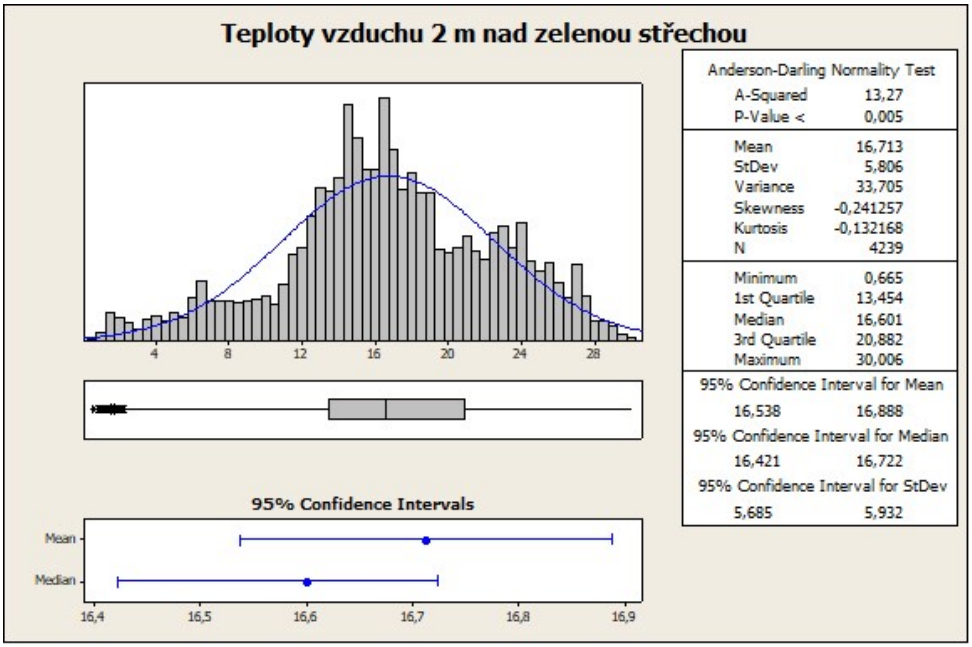
Průměrná teplota vzduchu 0,5 m nad zelenou střechou byla v září 16,767°C, maximální teplota na tomto čidle byla 30,086°C, minimální 1,02°C. 2 m nad zelenou střechou byla zaznamenána průměrná teplota vzduchu 16,713°C, nejvyšší naměřená byla teplota 30,006°C, nejnižší 0,665°C.

Teploty vzduchu:



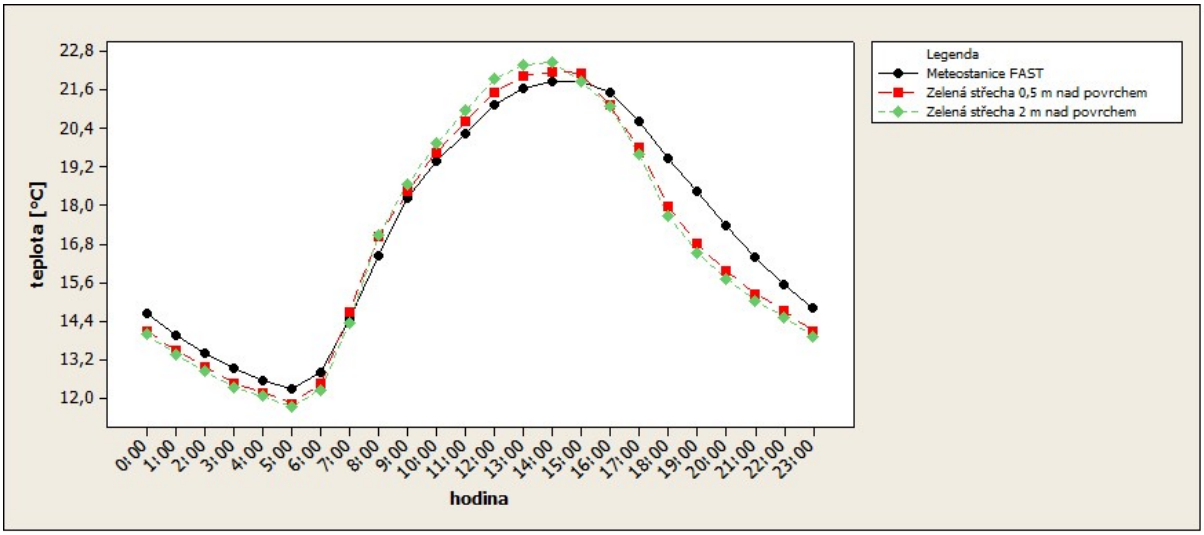
Graf 11: Statistické vyhodnocení záznamu teplot vzduchu naměřených během září 2018 0,5 metru nad zelenou střechou.

Maximální teplota naměřená na čidle 0,5 m nad povrchem zelené střechy byla 30,086°C, což je o 1,386°C více, než nejvyšší teplota na čidle na meteorologické stanici FAST (28,7°C). Nejnižší teplota byla 1,02°C, což je o 0,48°C méně než nejnižší teplota z meteorologické stanice FAST. Průměrná teplota v září 2018 byla 0,5 m nad povrchem zelené střechy 16,767°C, což je o 0,403°C méně než průměrná teplota vzduchu nad střechou FAST, která činila 17,17°C.



Graf 12: Statistické vyhodnocení záznamu teplot vzduchu naměřených během září 2018 2 metry nad zelenou střechou.

Průměrná teplota na čidle 2 m nad povrchem zelené střechy byla v září 2018 16,713°C, což je o 0,054°C méně než na čidle 0,5 m nad zelenou střechou a zároveň o 0,403°C více než nad střechou FAST VUT. Maximální teplota 2 m nad zelenou střechou byla naměřena 30,006 °C, a minimální 0,665°C. Maximální teplota byla tedy o 1,306°C vyšší než maximum zaznamenané na meteorologické stanici FAST, minimální teplota pak o 0,835°C nižní než minimum zaznamenané tamtéž.



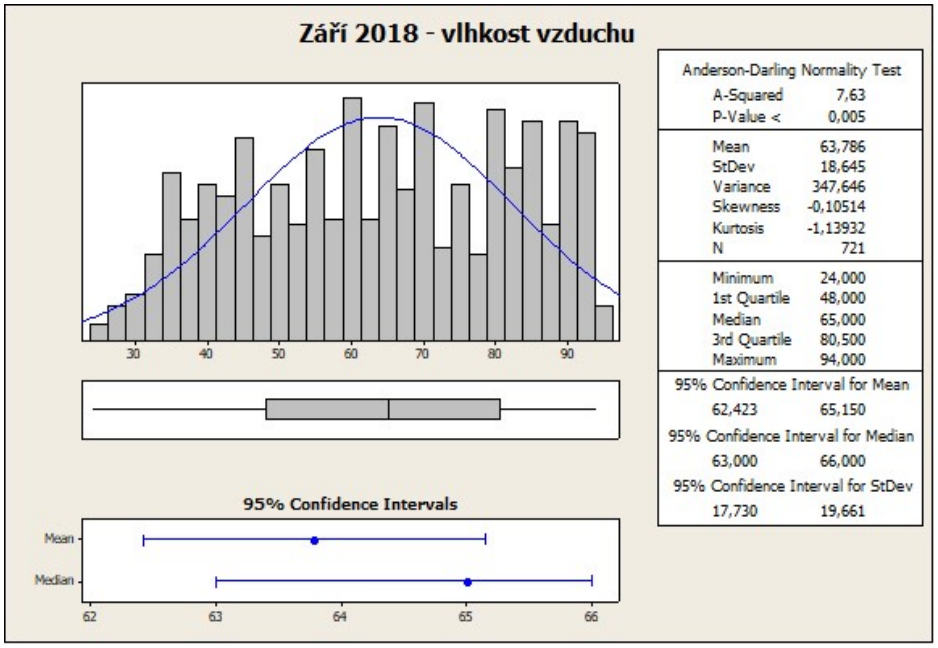
Graf 13: Průběh teplot vzduchu během průměrného zářijového dne na čidlech zelené střechy a na meteostanici FAST.

Graf 13 zobrazuje srovnání teplot vzduchu naměřených čidly nad zelenou střechou a nad střechou Fakulty stavební VUT v Brně v září 2018, upravených do podoby průměrného zářijového dne.

V nočních hodinách pozorujeme opět nižší teploty vzduchu nad zelenou střechou oproti těm, neměřeným na meteorologické stanici FAST VUT. Průměrná teplota na čidle 0,5 m nad zelenou střechou byla v nočních hodinách 13,96°C, 2 m nad zelenou střechou pak 13,797°C. Oproti průměrné teplotě na meteorologické stanici FAST VUT, která byla v nočních hodinách 14,75°C, byla teplota vzduchu nad zelenou střechou nižší 0,5 m nad povrchem o 0,79°C a 2 m nad povrchem o 0,953°C.

V denních hodinách byla průměrná teplota naměřená na meteorologické stanici FAST 19,209°C. Průměrná teplota zaznamenaná v denních hodinách na čidle 0,5 m nad povrchem zelené střechy byla 19,176°C, tudíž o 0,033°C nižší. Na čidle 2 m nad povrchem zelené střechy byla v denních hodinách naměřena průměrná teplota 19,216°C, což je o 0,007°C vyšší než na meteorologické stanici FAST.

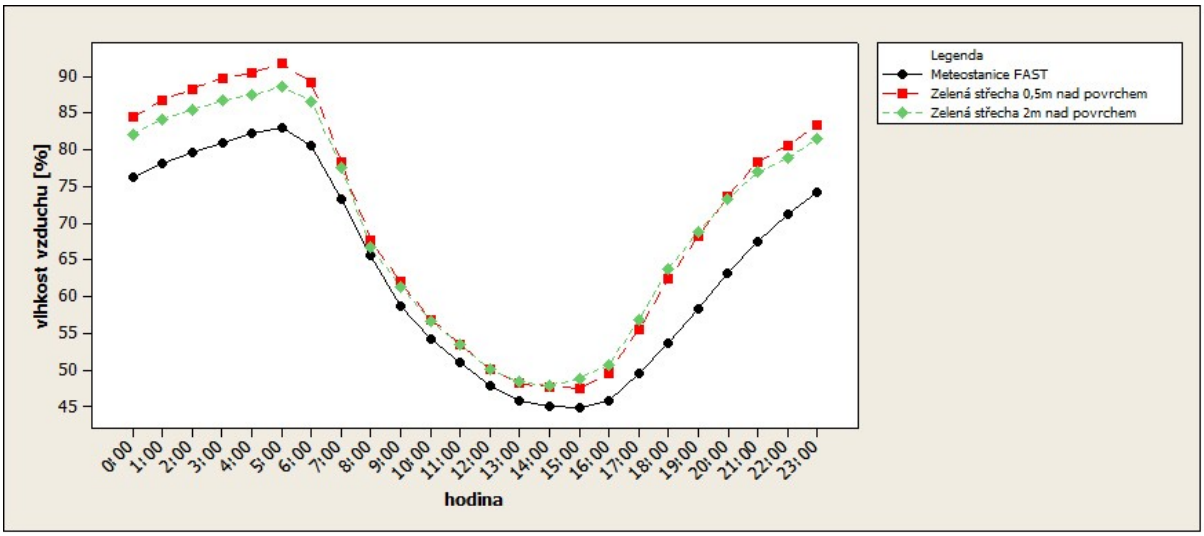
Vlhkost vzduchu – meteorologická stanice FAST:



Graf 14: Statistické vyhodnocení záznamu vlhkostí vzduchu naměřených v září 2018 na meteorologické stanici FAST VUT.

Průměrná vlhkost vzduchu naměřená na meteorologické stanici Fakulty stavební byla 63,786% se směrodatnou odchylkou 18,645. Minimální zaznamenaná vlhkost vzduchu byla 24%, maximální pak 94%.

Vlhkosti vzduchu nad zelenou střechou:

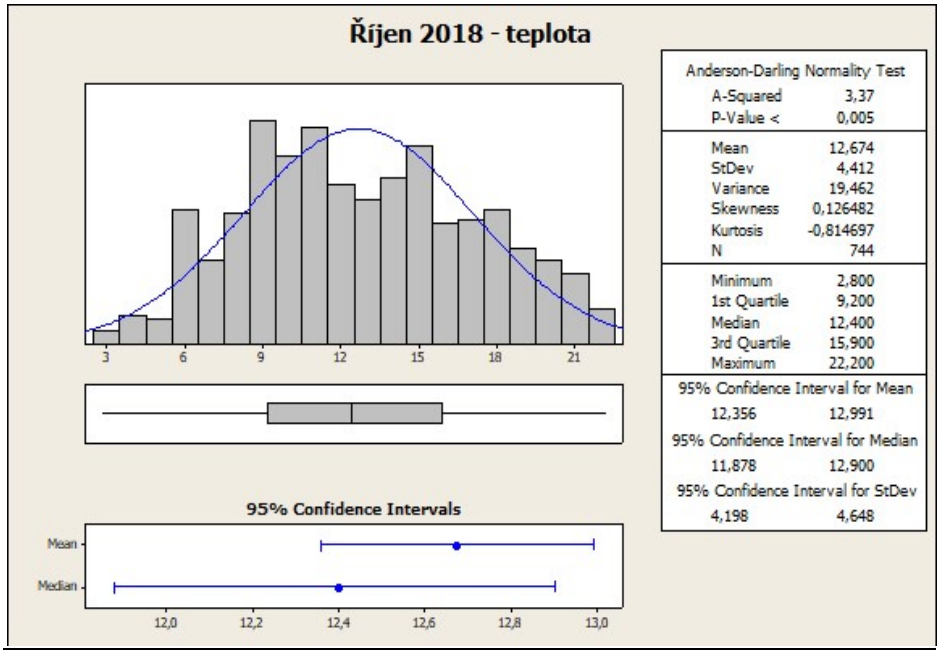


Graf 15: Průběh vlhkostí vzduchu během průměrného zářijového dne na čidlech zelené střechy a meteorologické stanice FAST.

V nočních hodinách byla průměrná vlhkost 0,5 m nad povrchem zelené střechy 83,413%, 2 m nad povrchem pak 81,389%. Průměrná vlhkost vzduchu zaznamenaná v nočních hodinách na meteorologické stanici FAST byla 74,091%, vlhkosti nad zelenou střechou byly tedy o 7,298 – 9,322% vyšší.
V denních hodinách jsou rozdíly opět méně výrazné, avšak větší než v srpnu – 0,5 m nad povrchem zelené střechy byla vlhkost v průměru 59,278%, 2 m nad povrchem pak 59,274%. Na meteorologické stanici FAST byla průměrná vlhkost v denních hodinách zaznamenána 55,089%. Vlhkost nad zelenou střechou byla ve výšce 0,5 m nad povrchem vyšší o 4,189%, 2 m nad povrchem o 4,185%.
Celkově byla průměrná vlhkost vzduchu nad zelenou střechou 70,426% ve výšce 0,5 m nad povrchem a 69,489% ve výšce 2 m nad povrchem. Oproti meteorologické stanici FAST, kde bylo naměřeno průměrně 63,786%, byla vlhkost vzduchu nad zelenou střechou o 5,703 – 6,64% vyšší. Pozorujeme tedy větší rozdíly v naměřených hodnotách, než v měsíci srpnu.

7.1.3 Říjen 2018

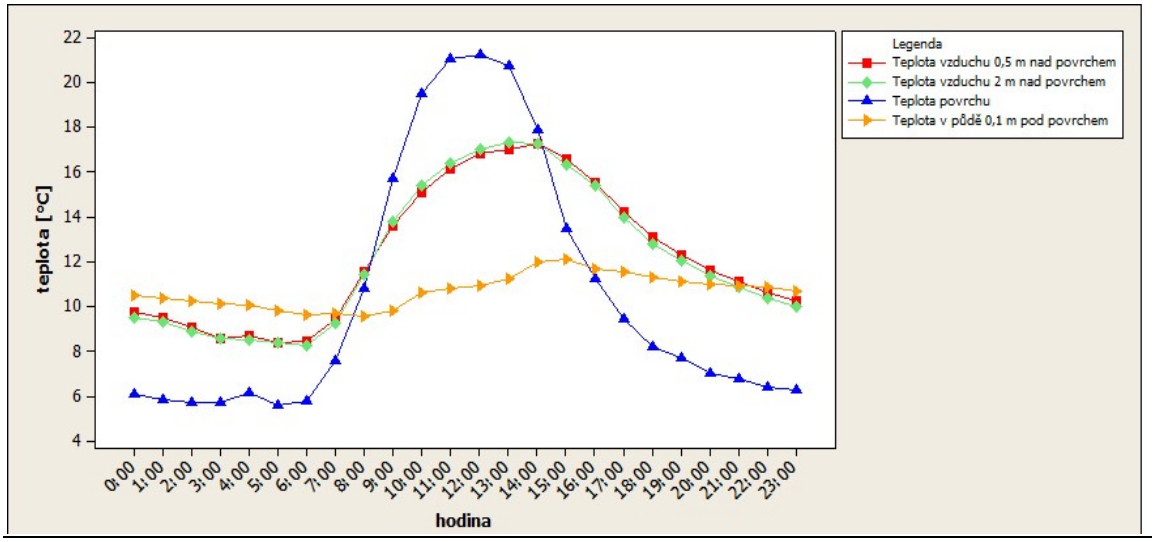
Teploty vzduchu – meteorologická stanice FAST:



Graf 16: Statistické vyhodnocení záznamu teplot naměřených v říjnu 2018 na meteorologické stanici FAST VUT.

Oproti srpnu a září teploty opět klesly, průměrná teplota byla v říjnu 12,647°C. Maximální naměřená teplota byla 22,2°C, minimální 2,8°C. Průměrná teplota v denních hodinách (od 7 do 18 hodin) byla 14,711°C, v nočních hodinách (od 18 do 7 hodin) 10,636°C. Nejčastěji se naměřené teploty pohybovaly mezi 9 a 12°C.

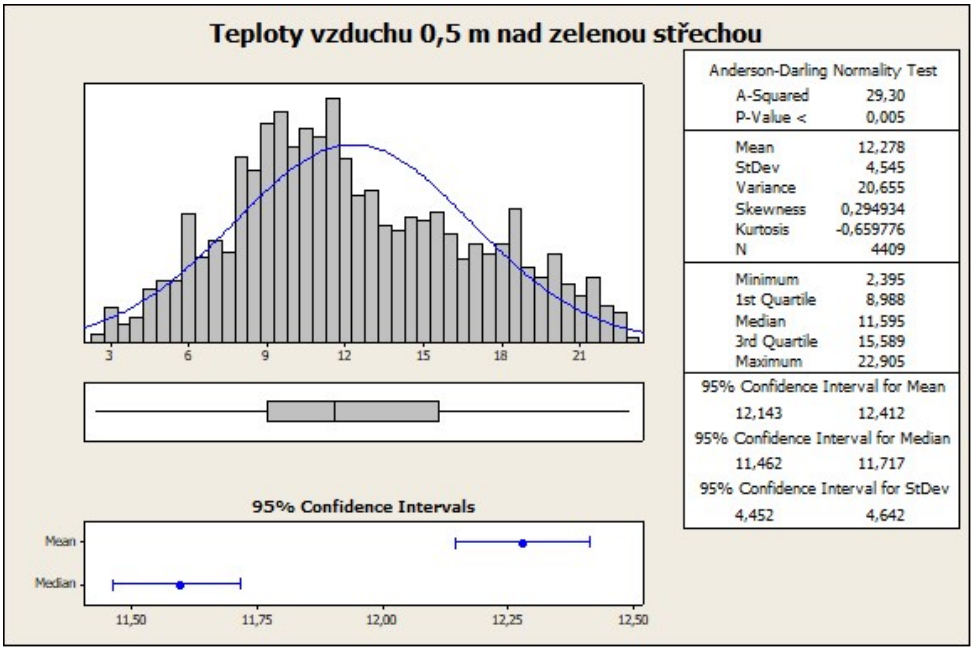
Teploty na čidlech na zelené střeše:



Graf 17: Průběh teplot naměřených na zelené střeše během průměrného říjnového dne.

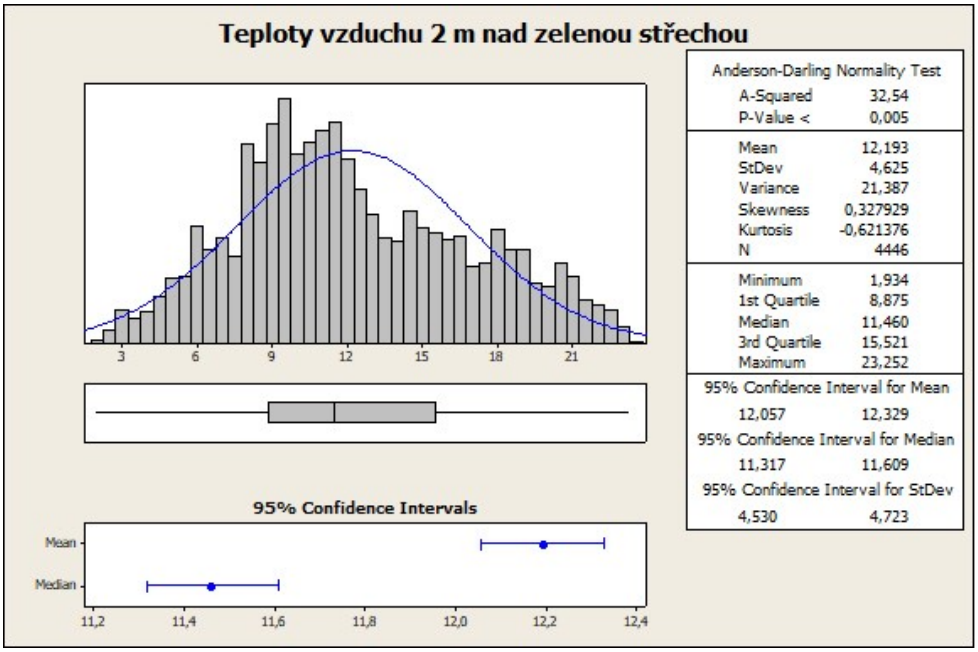
Průměrná teplota na povrchu zelené střechy byla v říjnu 10,354°C. V denních hodinách opět pozorujeme nárůst – průměrná teplota mezi 7 a 18 hodinou byla 15,243°C, v nočních hodinách (tj. od 18 do 7 hodin) pak 6,382°C. Maximální teplota zaznamenaná v říjnu 2018 čidlem na povrchu zelené střechy byla 29,4°C, minimální -1,9°C.
Teplota v půdě se během října pohybovala v průměru okolo 10,16°C. Teplota v půdě nevykazovala větší rozdíly mezi denními a nočními hodnotami – v denních hodinách byla průměrná teplota 10,45°C, v nočních 9,92°C. Nejvyšší teplota zaznamenaná v říjnu čidlem v půdě zelené střechy byla 24,56°C, nejnižší 5,92°C.
Průměrná teplota vzduchu 0,5 m nad povrchem zelené střechy byla v říjnu 12,278°C. Nejnižší teplota zaznamenaná na tomto čidle byla 2,395°C, nejvyšší 22,905°C. Ve výšce 2 m nad povrchem zelené střechy byla průměrná teplota vzduchu 12,193°C. Nejnižší teplota zde naměřená byla 1,934°C, nejvyšší 23,252°C.

Teploty vzduchu:



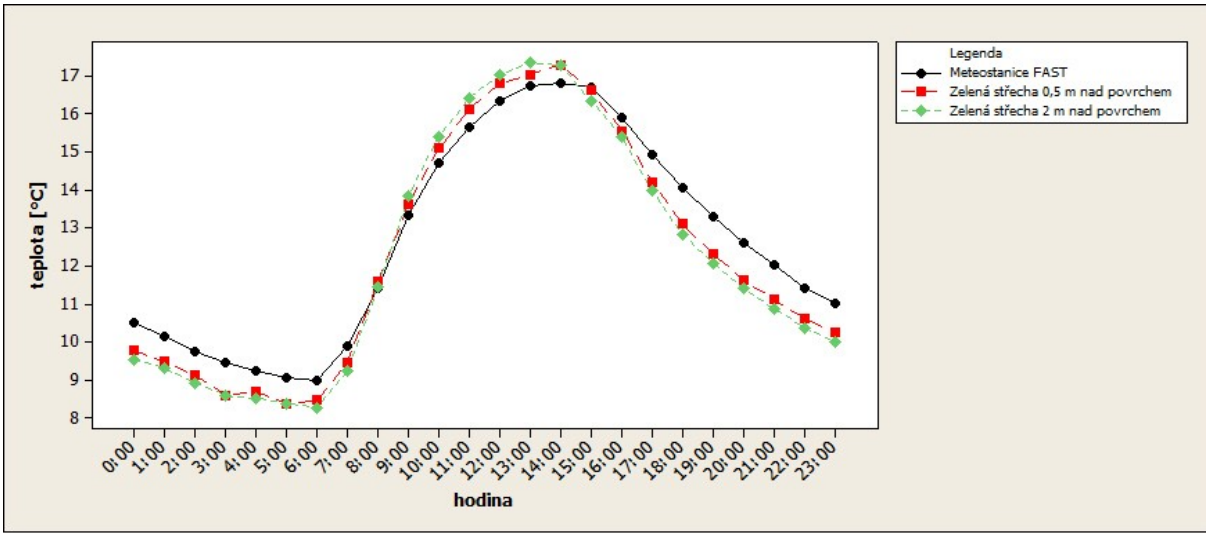
Graf 18: Statistické vyhodnocení záznamu teplot vzduchu naměřených během října 2018 0,5 metru nad zelenou střechou.

Ve výšce 0,5 m nad zelenou střechou byla průměrná teplota vzduchu 12,278°C. V nočních hodinách byla průměrná teplota na tomto čidle 10,097°C, denních hodinách průměrná teplota stoupla na 14,854°C. Nejčastěji se naměřené hodnoty pohybovaly mezi 9 a 12°C.



Graf 19: Statistické vyhodnocení záznamu teplot vzduchu naměřených během října 2018 2 metry nad zelenou střechou.

Ve výšce 2 m nad povrchem zelené střechy byla průměrná říjnová teplota 12,193°C. V nočních hodinách byl průměr teplot 9,927°C, v denních hodinách 14,882°C. Naměřené hodnoty se nejčastěji pohybovaly mezi 8 a 11°C.



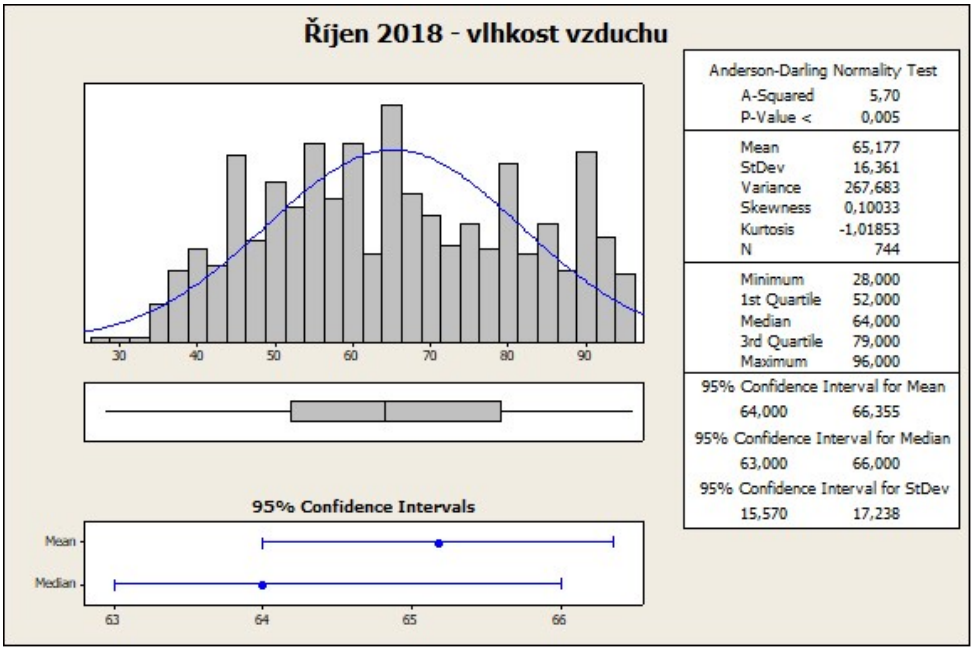
Graf 20: Průběh teplot vzduchu na čidlech zelené střechy a meteorologické stanici FAST během průměrného říjnového dne.

I mezi říjnovými teplotami vzduchu nad povrchem zelené střechy a na meteorologické stanici FAST VUT je znatelný rozdíl v denních a nočních hodinách.

V denních hodinách byla nad střechou Fakulty stavební průměrná teplota 14,71°C, což je o 0,114°C méně, než průměrná teplota 0,5 m nad zelenou střechou a o 0,142°C méně, než průměrná teplota ve výšce 2 m nad zelenou střechou.

Naopak v nočních hodinách byla průměrná teplota nad střechou Fakulty stavební 10,64°C, byla tedy o 0,543°C vyšší než průměrná teplota 0,5 m nad zelenou střechou a o 0,713°C vyšší než průměrná teplota ve 2 m nad zelenou střechou.

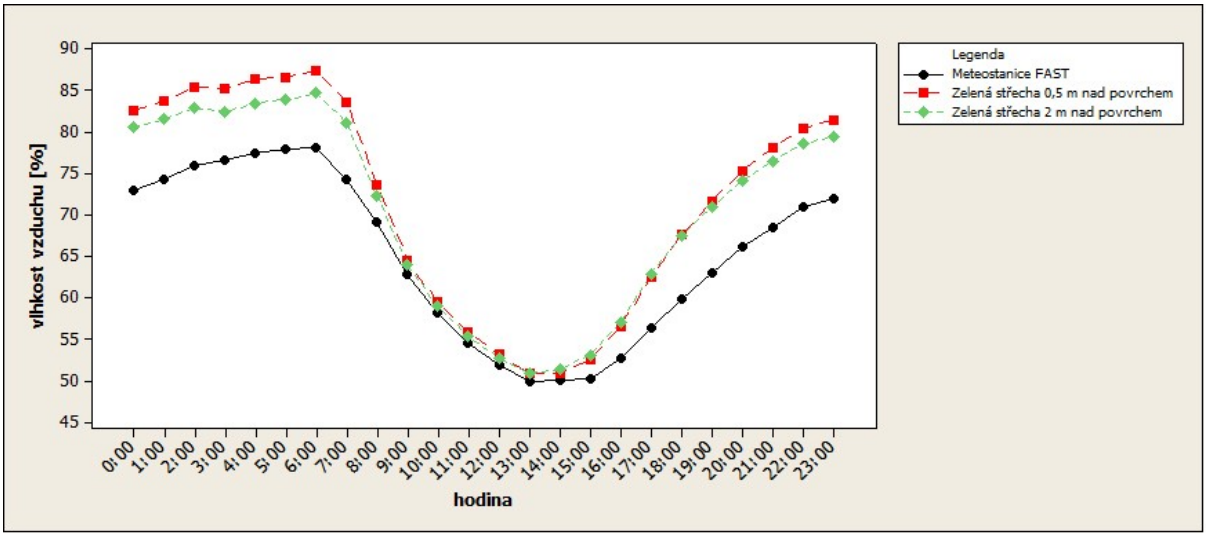
Vlhkost vzduchu – meteorologická stanice FAST:



Graf 21: Statistické vyhodnocení záznamu vlhkostí vzduchu naměřených v říjnu 2018 na meteorologické stanici FAST VUT.

Průměrná vlhkost vzduchu naměřená na meteorologické stanici Fakulty stavební byla v říjnu 2018 65,177% se směrodatnou odchylkou 16,361. Nejnižší naměřená hodnota v tomto měsíci činila 28%, nejvyšší pak 96%.

Vlhkosti vzduchu nad zelenou střechou:



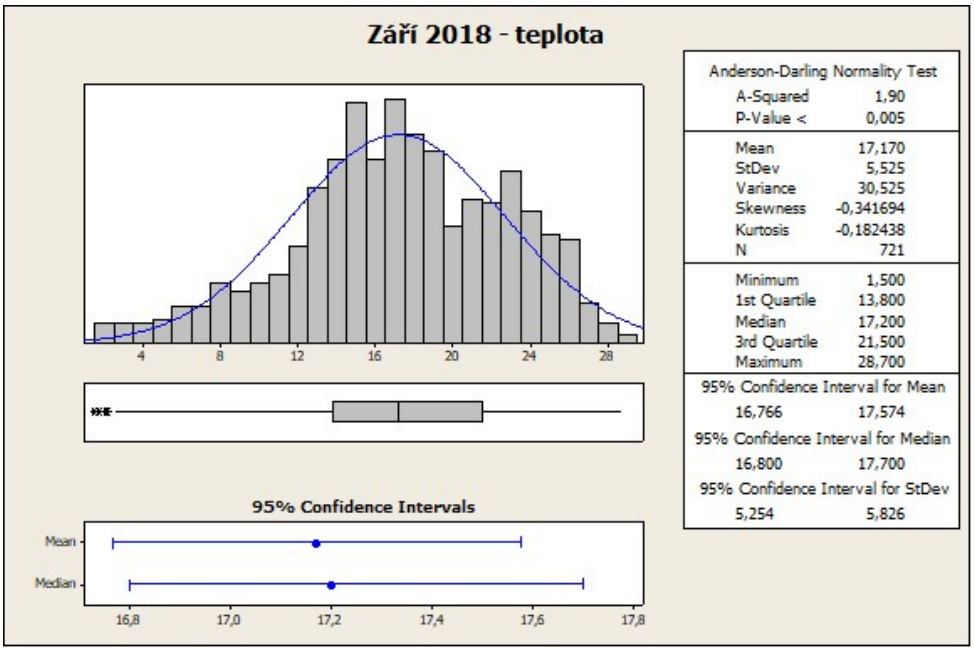
Graf 22: Průběh vlhkostí vzduchu během průměrného říjnového dne na čidlech zelené střechy a meteorologické stanice FAST.

V nočních hodinách byla průměrná vlhkost vzduchu 0,5 m nad zelenou střechou 81,07%, 2 m nad zelenou střechou pak 79,05%. Průměrná vlhkost vzduchu zaznamenaná v nočních hodinách na meteorologické stanici FAST byla 72,84%. Vlhkost vzduchu 0,5 nad zelenou střechou byla vyšší o 7,21%, 2 m nad zelenou střechou o 9,23%.
V denních hodinách byla průměrná vlhkost vzduchu 0,5 m nad zelenou střechou 60,375%, 2 m nad zelenou střechou pak 60,043%. Průměrná vlhkost vzduchu na meteorologické stanici FAST VUT byla v denních hodinách 57,52%. Hodnoty zaznamenané nad povrchem zelené střechy jsou tedy o 2,855 – 2,523% vyšší.
Celková průměrná vlhkost vzduchu byla 0,5 m nad povrchem zelené střechy 71,56%, 2 m nad povrchem pak 70,343%. Oproti průměrné vlhkosti vzduchu naměřené na meteorologické stanici FAST (65,177%) se jedná o hodnoty v průměru o 5,166 – 6,383% vyšší.

7.2 Městská buňka City Cell Prototype

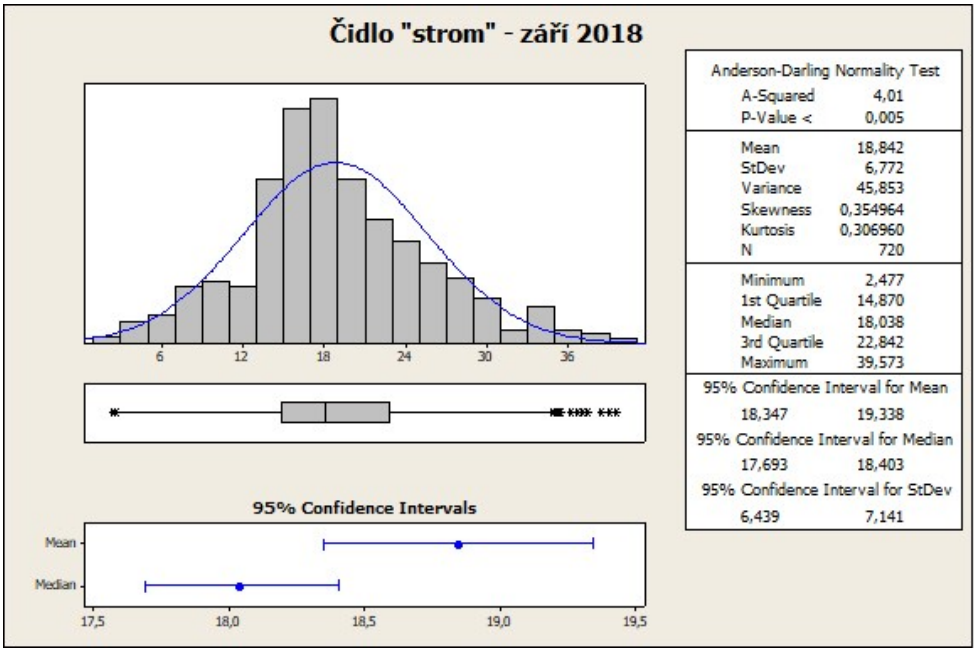
7.2.1 Září 2018

Teploty vzduchu



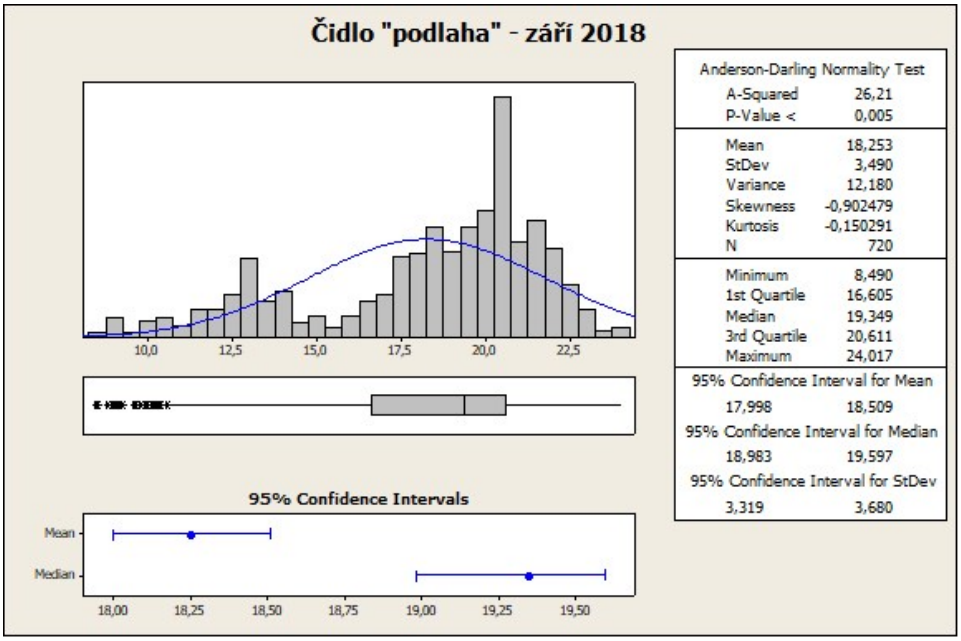
Graf 9: Statistické vyhodnocení záznamu teplot naměřených během září 2018 na meteorologické stanici FAST VUT.

Pro přehlednost uvádím ještě jednou shrnutí teplot naměřených v září 2018 na meteorologické stanici FAST VUT v Brně. I pro městskou buňku City Cell prototype použiji tyto hodnoty jako referenční k hodnotám, které zaznamenaly teplotní čidla umístěná v prostoru městské buňky.



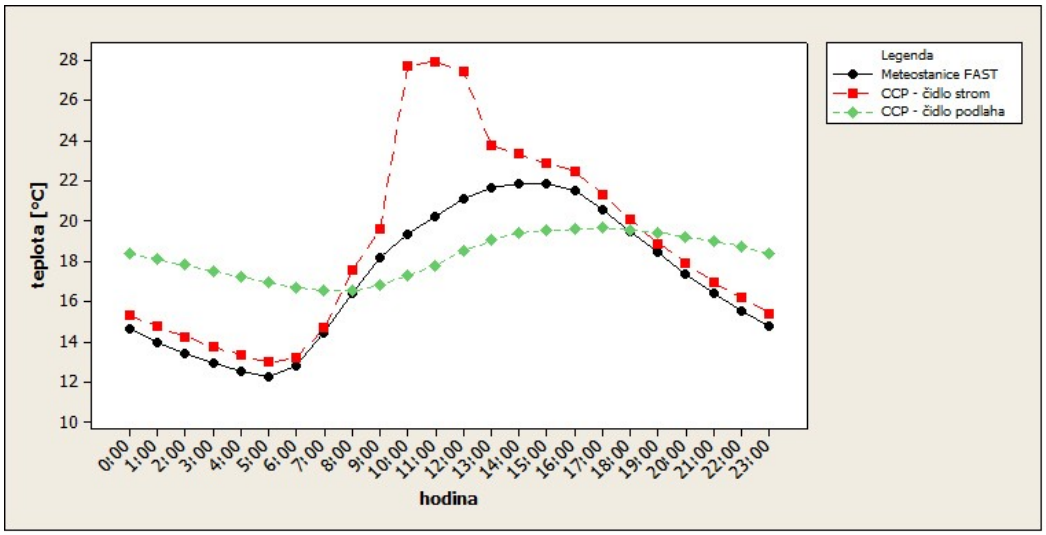
Graf 23: Statistické vyhodnocení záznamu teplot naměřených během září 2018 na čidle „strom“ umístěném na CCP.

Čidlo „strom“ bylo umístěno na kmeni stromu vsazeného do nádrže s biofiltrem a během dne na něj často působilo sluneční záření. Nejvyšší teplota naměřená na tomto čidle byla 39,57°C, nejnižší pak 2,477°C. Průměrná teplota v denních hodinách byla na čidle „strom“ 21,51°C, v nočních hodinách byla průměrná teplota na tomto čidle 15,11°C. Celková průměrná teplota na čidle „strom“ byla 18,842°C. Nejčastěji se zaznamenané hodnoty pohybovaly mezi 15 a 19°C.



Graf 24: Statistické vyhodnocení záznamu teplot naměřených během září 2018 na čidle „podlaha“ umístěném na CCP.

Čidlo „podlaha“ se během měření nacházelo na podlaze městské buňky v uzamykatelné bedně, která sloužila jako lavice k posezení. Tato bedna byla umístěna v blízkosti vegetační stěny a byla většinu dne chráněna před slunečním zářením. Hodnoty naměřené tímto čidlem nám tedy ukazují teploty, které panovaly uvnitř prostoru městské buňky.
Nejvyšší teplota naměřená čidlem „podlaha“ byla v září 24,017°C, nejnižší pak 8,49°C. V denních hodinách byla průměrná teplota 18,331°C, v nočních hodinách byl průměr teplot 18,144°C. Celkově byla průměrná teplota na čidle „podlaha“ 18,25°C. Nejčastější zaznamenané teploty se pohybovaly okolo 20°C.

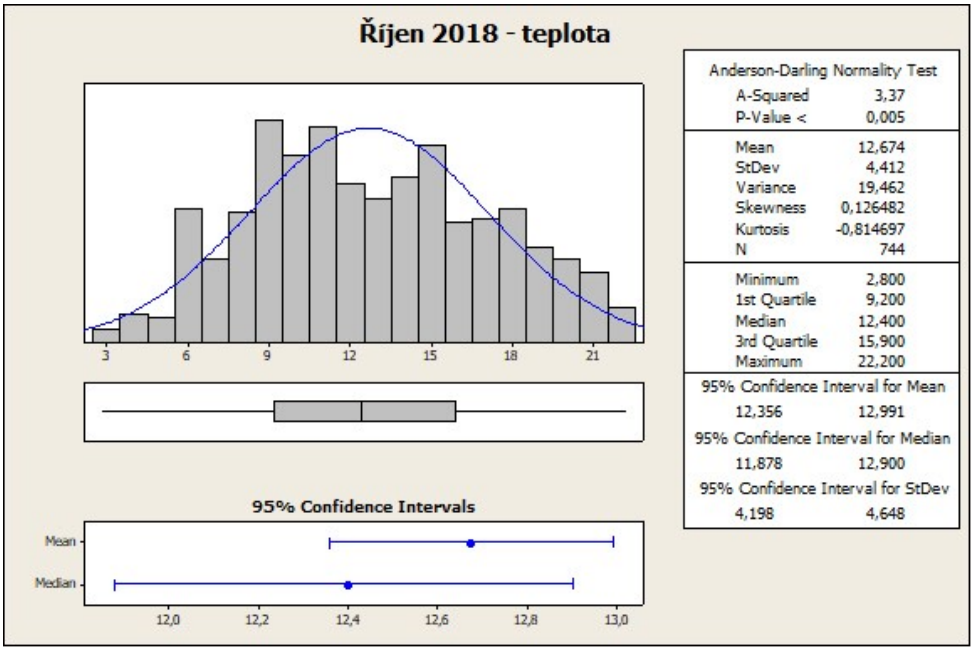


Graf 25: Vývoj teplot naměřených během průměrného zářijového dne na čidlech umístěných na CCP a na meteorologické stanici FAST.

Graf 25 nám ukazuje vývoj teplot zaznamenaných na čidlech umístěných na City Cell Prototype a na meteorologické stanici Fakulty stavební VUT v Brně, upravených do podoby průměrného zářijového dne.
Čidlo „strom“ vykazuje významný nárůst teploty v dopoledních hodinách, kdy na něj působilo větší množství slunečního záření. Po dvanácté hodině slunce zacházelo za výškovou budovu v blízkosti městské buňky, což se projevilo na poklesu teplot zaznamenaných na tomto čidle, stále byly ale mírně vyšší než ty, zaznamenané na meteorologické stanici FAST VUT.
Čidlo „podlaha“ během denních a nočních hodin nevykazovalo výrazné výkyvy, což je patrné již z průměrných teplot v denních a nočních hodinách, zmíněných výše. V nočních hodinách byly na čidle umístěném uvnitř městské buňky naměřeny vyšší teploty než na tom, umístěném na stromě i než na meteorologické stanici FAST. V denních hodinách byly teploty naměřené čidlem uvnitř buňky výrazně nižší.

7.2.2 Říjen 2018

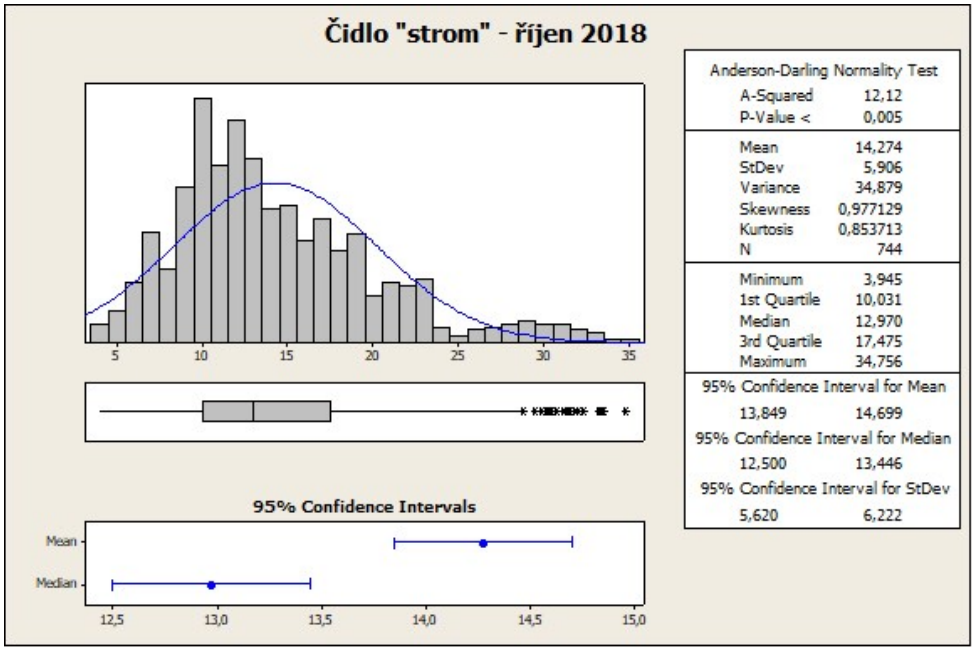
Teploty vzduchu



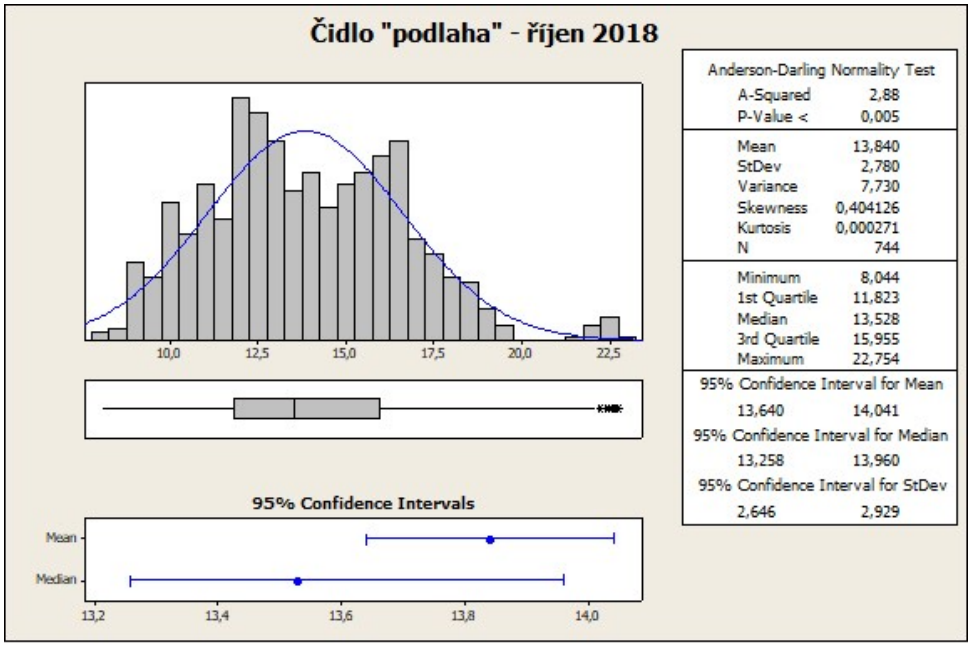
Graf 16: Statistické vyhodnocení záznamu teplot naměřených během října 2018 na meteorologické stanici FAST VUT v Brně.

Opět pro větší názornost poslouží grafické zobrazení výskytu teplot, zaznamenaných v říjnu 2018 meteorologickou stanicí na Fakultě stavební VUT v Brně. Tato data posloužila jako referenční k teplotám, zaznamenaných na čidlech umístěných na městské buňce City Cell Prototype (umístění obou čidel na CCP je popsáno v kapitole 6.3).

V měsíci říjnu se na čidle „strom“ dostáváme k maximální teplotě 34,756°C. Minimální teplota naměřená tímto čidlem byla 3,945°C. V denních hodinách byla průměrná teplota na čidle „strom“ 17,324°C, v nočních hodinách 11,225°C. Celková průměrná teplota zaznamenaná byla 14,274°C. Z grafu 26 je patrné, že nejčastěji se naměřené teploty pohybovaly mezi 10 a 12°C.



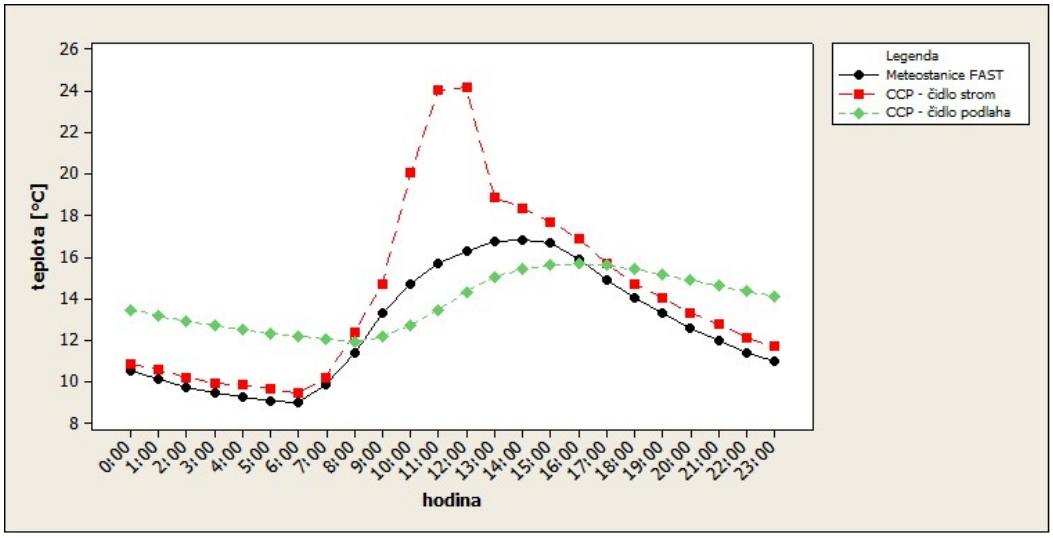
Graf 26: Statistické vyhodnocení záznamu teplot během října 2018 na čidle „strom“ na City Cell Prototype.



Graf 27: Statistické vyhodnocení záznamu teplot během října 2018 na čidle „podlaha“ na City Cell Prototype.

Čidlo „podlaha“ vykazovalo dle očekávání odlišné hodnoty ve srovnání s čidlem „strom“, které bylo vystaveno přímému slunečnímu svitu. Průměrná říjnová teplota byla na čidle „podlaha“ naměřena 13,84°C, což je o 0,4°C nižší hodnota ve srovnání s čidlem „strom“. Větších rozdílů dosahují čidla při rozdělení naměřených hodnot na denní a noční. V denních hodinách byla průměrná teplota na čidle „podlaha“ 14,13°C, tj. o 3,2°C nižší, než hodnota na čidle „strom“. V nočních hodinách byla teplota na čidle

„podlaha“ naopak vyšší, přesněji 13,55°C, tzn. o 2,3°C vyšší než u čidla „strom“. Maximální teplota na čidle „podlaha“ činila 22,754°C, minimální 8,004°C. Nejčastěji se naměřené hodnoty pohybovaly okolo 12°C.



Graf 28: Vývoj teplot naměřených během průměrného říjnového dne na čidlech umístěných na CCP a na meteorologické stanici FAST.

V grafu 28 je zobrazen vývoj teplot zaznamenaných na čidlech na městské buňce City Cell Prototype a na meteorologické stanici Fakulty stavební VUT v Brně a upravených do podoby průměrného říjnového dne.

Opět je možné pozorovat prudký nárůst teplot na čidle „strom“ v dopoledních hodinách, kdy na čidlo působilo přímé sluneční záření, a jejich pokles po dvanácté hodině, kdy slunce zašlo za výškovou budovu a přestalo mít na teplotu zaznamenanou na čidle takový vliv.

Teploty zaznamenané na čidle „podlaha“ se opět pohybují ve víceméně konstantních hodnotách během dne i noci. Zatímco v nočních hodinách byly teploty zaznamenané čidlem „podlaha“ vyšší, než ty na čidle „strom“, nebo ty na meteorologické stanici FAST VUT, během denních hodin pozorujeme teploty nižší, což je dáno důkladným zastíněním a nejspíše blízkostí vodních prvků (související s tepelnou kapacitou vody a určitou setrvačností průběhu teploty).

8 Diskuze a závěr

Bakalářská práce se zaměřuje na klimatické změny, jejich vliv na městské prostředí a možnosti adaptace měst na tyto vlivy – se zaměřením na přírodně-technické prvky, u nichž je možné v co možná nejvyšší míře zapojit vegetaci jako přirozený prvek, pozitivně ovlivňující nepříznivý vývoj klimatu.

V teoretické části práce byla nejprve provedena rešerše tuzemských i zahraničních zdrojů, zabývajících se obdobnou problematikou. Detailněji byly uvedeny vybrané druhy používaných adaptačních opatření a nastíněny jejich zmiňované výhody a nevýhody.

Na teoretickou část navazuje praktická, zaměřující se na dvě vybraná adaptační opatření, která byla realizována na území města Brna. Praktický úkol zahrnuje zpracování naměřených dat pomocí teplotních a vlhkostních čidel, přičemž samotná data jsou srovnávána s hodnotami naměřenými ve stejném období na meteorologické stanici ÚVHK Fakulty stavební VUT v Brně.

Prvním vybraným adaptačním opatřením byla stávající zelená střecha v Otevřené zahradě Nadace Partnerství na Obilním trhu. Druhým objektem je dočasná stavba tzv. prototypu městské buňky „City Cell Prototype“ realizovaná v průběhu září až října 2018 na Malinovského náměstí v Brně.

Data ze zelené střechy byla analyzována pro období srpen – říjen 2018. Byly porovnány teploty zaznamenané jednotlivými čidly na meteorologické stanici umístěné na zelené střeše. Čidla zaznamenávala teplotu povrchu, teplotu v zemině (0,1 m pod povrchem) a teploty vzduchu ve dvou výškách – 0,5 m a 2 m nad povrchem.

Výsledky ukázaly, že největší výkyvy teplot byly zaznamenány na povrchu zelené střechy. V nočních hodinách byly průměrné teploty zaznamenané na tomto čidle nejnižší a v denních hodinách naopak nejvyšší. Rozdíly se od srpna do října snižovaly spolu se snižující se průměrnou teplotou vzduchu a s intenzitou slunečního záření. V srpnu – nejteplejším měsíci – byl rozdíl mezi průměrnou teplotou v denních a nočních hodinách na povrchu zelené střechy 16,45°C, což znamená, že se teplota z denních 33,42°C snížila téměř o polovinu – na nočních 16,97°C. I v září a říjnu byl pokles průměrné teploty ze dne na noc téměř poloviční, rozdíly byly ale daleko méně extrémní než u srpnových hodnot. Rozdíl průměrných denních a nočních teplot byl v září 8,3°C a v říjnu 8,8°C. Prudký nárůst teploty v denních hodinách můžeme přikládat působení slunečního záření na povrch zelené střechy, která byla víceméně suchá, vegetace byla vystavena stresovému stavu a nepříliš se zapojovala do termodynamických procesů (výpar vody z listů rostlin ochlazuje rostliny, ale pokud jsou vysušené, mají zanedbatelný vliv na ovlivnění okolní teploty). Ačkoliv je průměrná teplota naměřená na povrchu zelené střechy na první pohled překvapivě vysoká, a to zvláště v měsíci srpnu, kdy bylo působení slunečního záření nejvýraznější, je třeba mít

na paměti, že střešní povrchy z jiných materiálů jsou schopny se za působení přímého slunečního záření zahřát výrazně více.

Teploty naměřené v zemině v hloubce 0,1 m pod povrchem zelené střechy vykazovaly naopak nejmenší rozdíly mezi denními a nočními hodnotami. Nejvýraznější výkyv byl zaznamenán v měsíci srpnu, kdy byl rozdíl mezi průměrnou teplotou v denních a v nočních hodinách 1,85°C. Teploty naměřené v půdě v tomto měsíci se pohybovaly v průměru mezi 23 – 25°C. V denních hodinách byla průměrná teplota zaznamenaná v zemině o 8,33°C nižší než teplota na povrchu zelené střechy, což odpovídá hypotéze o tepelně-izolačních vlastnostech zelené střechy. V září a říjnu pak byly rozdíly teplot v zemině ještě nižší – pohybovaly se okolo 0,5°C. Průměrná teplota v denních hodinách byla vždy o 3 – 5°C nižší než ta na povrchu zelené střechy, naopak v nočních hodinách byla průměrná teplota v substrátu oproti povrchu o 4 – 5°C vyšší.

Teploty vzduchu naměřené na čidlech 0,5 m a 2 m nad povrchem zelené střechy byly porovnány s teplotami naměřenými na meteorologické stanici Fakulty stavební VUT v Brně. V srpnu byla průměrná teplota vzduchu naměřená nad zelenou střechou srovnatelná a mírně vyšší (asi o 0,1°C), než na meteostanici FAST. V září a říjnu pak byly průměrné teploty vzduchu nad zelenou střechou nižší než na meteostanici FAST, a to o 0,4 až 0,5°C.

Zajímavý byl nicméně vývoj průměrných teplot v denních a nočních hodinách. V srpnu byly průměrné teploty vzduchu nad zelenou střechou 26,8°C pro výšku 0,5 m nad povrchem a 27,2°C pro výšku 2 m nad povrchem. Průměrná teplota naměřená v denních hodinách v srpnu na meteorologické stanici FAST byla 26,24°C. To znamená, že teplota vzduchu nad zelenou střechou byla zhruba o 0,6 – 1°C vyšší než na meteostanici FAST. Stejných výsledků se nám u teplot v denních hodinách dostává i v září a říjnu, ačkoliv rozdíly jsou mnohem menší – teploty jsou vyšší v průměru zhruba o 0,1°C. V nočních hodinách naopak pozorujeme pokles průměrných teplot vzduchu nad zelenou střechou oproti těm naměřeným na meteorologické stanici FAST – v srpnu a září byly průměrné noční teploty vzduchu nad zelenou střechou o zhruba 1°C nižší než na meteostanici FAST, v říjnu je pak tento rozdíl menší, zhruba 0,5 – 0,7°C. Dá se tedy říct, že zelená střecha vzduch ve svém okolí chladí v noci, kdy je vliv městského tepelného ostrova nejvýraznější, zatímco ve dne má tendenci vzduch naopak mírně oteplovat. Toto zjištění, ač je překvapivé, koresponduje s výsledky experimentu uskutečněného v rámci výzkumného projektu Blue-Green Dream organizace Climate-KIC v nizozemském Utrechtu v letech 2010 až 2015 (Solcerova et al., 2016).

V případě zelené střechy v Otevřené zahradě byla analyzována i data o vlhkosti vzduchu, a to ve výšce 0,5 m a 2 m nad povrchem. Průměrné vlhkosti vzduchu nad zelenou střechou byly vždy vyšší než hodnoty naměřené na meteorologické stanici FAST. V srpnu tento průměrný rozdíl činil asi 2%, v září už byl zhruba 4% a v říjnu se pohyboval okolo 6 – 7%. Průměrné vlhkosti vzduchu nad zelenou střechou byly v nočních hodinách ve všech třech měsících vyšší než v hodinách denních. Nejvýraznější rozdíl mezi průměrnou denní a noční vlhkostí vzduchu byl v měsíci

srpnu, kdy činil okolo 25%, nejméně výrazný rozdíl pak byl v říjnu, kdy se pohyboval okolo 20%.

Městská buňka City Cell Prototype byla na svém stanovišti na Malinovského náměstí v Brně umístěna v období od září do října 2018 a po celou dobu na ní byla umístěna teplotní čidla, jimiž zaznamenaná data byla vyhodnocena a porovnána jak mezi sebou, tak s daty zjištěnými na meteorologické stanici FAST.
Čidlo „strom“ bylo umístěno na kmeni stromu vyrůstajícího z biofiltru ve výšce 3,1 m nad zemí. Toto čidlo nebylo nijak chráněno před povětrnostními vlivy, ani před slunečním zářením, neboť koruna zmíněného stromu nebyla dostatečně hustá na to, aby poskytla nějaké zastínění. Průměrná teplota na čidle „strom“ byla v září i v říjnu vyšší než na meteorologické stanici FAST – v září o 1°C, v říjnu pak o 2°C. Byla také vyšší na čidle „podlaha“, umístěném v prostoru městské buňky uvnitř dřevěné lavice vedle vegetační stěny – v září o 0,6°C, v říjnu o 0,4°C.
O velkém vlivu působení slunečního záření na teploty naměřené na čidle „strom“ vypovídají grafy vývoje teplot v průměrných zářijových a říjnových dnech. Teploty zaznamenané na čidle „strom“ během dopoledních hodin vždy prudce stoupají, aby po dvanácté hodině, kdy slunce zacházelo za výškovou budovu v blízkosti buňky, opět výrazně klesly. Dá se předpokládat, že nebýt tohoto zastínění, byly by teploty naměřené na čidle „strom“ ještě vyšší.
Průměrné teploty zaznamenané čidlem „podlaha“ v prostoru městské buňky byly méně rozkolísané. Výsledné hodnoty měly tendenci se držet okolo stejné teploty ve dne i v noci – v září to bylo okolo 18°C, v říjnu pak okolo 16°C. Průměrné teploty v denních hodinách byly na čidle „podlaha“ výrazně nižší než na čidle „strom“ – v září i říjnu tento rozdíl činil více než 3°C. V nočních hodinách bylo v prostoru městské buňky naopak asi o 3°C tepleji, než v prostoru mimo něj a to jak v září, tak v říjnu.

V okolí umístění městské buňky byl proveden i sociologický výzkum, který ukázal, že toto adaptační opatření bylo veřejností vnímáno jednoznačně pozitivně a že by občané měli zájem o instalaci podobných buněk i na jiných místech v centru města. Jediné výtky mířily směrem k občas nedostatečnému úklidu prostoru, za což ale nemůže samotná stavba, ale neukázněnost některých občanů.

Adaptační opatření mají na městské prostředí v mnoha směrech pozitivní vliv a měla by být součástí městské infrastruktury. I v klimatických podmínkách Střední Evropy se ukazuje pozitivní vliv těchto opatření na teplotu, případně vlhkost vzduchu, přičemž tato dvě kritéria jsou pouze zlomkem ze všech pozitivních vlivů, které adaptační opatření na městské prostředí mají. Zvýšení komfortu prostředí, resp. pozitivní vliv na vnímání prostředí člověkem, je jednoznačný. Vzhledem k omezené nezastavěné ploše v městských centrech jsou instalace, jako jsou zelené střechy, nebo City Cell Prototype, vhodným řešením bojujícím s nedostatkem zeleně. Jelikož jsou realizace adaptačních opatření zejména otázkou politických rozhodnutí, je důležité uvést i to, že jsou opatření

vnášející do měst nové plochy zeleně u veřejnosti oblíbená a jsou vnímána převážně pozitivně. Tento aspekt, spolu se zvyšující se potřebou adaptovat město převážně na letní extrémní vedra a sucha, by mohl vést ke snadnějšímu schvalování a častější implementaci rozličných adaptačních opatření do městských center.

9 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

AFSHARI, Afshin. A new model of urban cooling demand and heat island—application to vertical greenery systems (VGS). *Energy and Buildings* [online]. 2017, (157) [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.01.008

BURIAN, Samuel, Jitka DOSTALOVÁ, Martin DUBSKÝ, et al. *Vegetační souvrství zelených střech: Standardy pro navrhování, provádění a údržbu*. Brno: Odborná sekce Zelené střechy při Svazu zakládání a údržby zeleně, 2016.

BUSTAMI, Rosmina A., Martin BELUSKO, James WARD a Simon BEECHAM. Vertical greenery systems: A systematic review of research trends. *Building and Environment* [online]. 2018, (146) [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.09.045

CASCONE, Stefano, Federico CATANIA, Antonio GAGLIANO a Gaetano SCIUTO. A comprehensive study on green roof performance for retrofitting existing buildings. *Building and Environment* [online]. 2018, (136) [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.03.052

CHUN, Bumseok a Jean-Michel GULDMANN. Impact of greening on the urban heat island: Seasonal variations and mitigation strategies. *Computers, Environment and Urban Systems* [online]. 2018, (71) [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.compenvurbsys.2018.05.006

DAEMEI, A. B., M. AZMOODEH, Z. ZAMANI a E. M. KHOTBEHSARA. Experimental and simulation studies on the thermal behavior of vertical greenery system for temperature mitigation in urban spaces. *Journal of Building Engineering* [online]. 2018, **2018**(20) [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.jobe.2018.07.024

DOHETRY, Meghan, Kelly KLIMA a Jessica J. HELLMANN. Climate change in the urban environment: Advancing, measuring and achieving resiliency. *Environmental Science & Policy* [online]. 2016 [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1462901116305834

EIT CLIMATE-KIC. Success stories: Green City Solutions. *EIT Climate-KIC* [online]. 2019 [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: https://www.climate-kic.org/success-stories/green-city-solutions/

FILHO, W. L., L. E. ICAZA, A. NEHT, M. KLAVINS a E. A. MORGAN. Coping with the impacts of urban heat islands. A literature based study on understanding urban heat vulnerability and the need for resilience in cities in a global climate change context. *Journal of Cleaner Production* [online]. 2017 [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.10.086

Green City Solutions [online]. [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: https://greencitysolutions.de/en/

GREEN IN FUTURE PTE LTD. CityTree by Green City Solutions: Clean and Cool Air for the Urban Environment. *Green Pulse* [online]. 2017, (5), 5-8 [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: http://greeninfuture.com/pdf/greenPulseAugust2017.pdf

HLOUŠEK, Jiří. CityTree: mechy a lišejníky připojené na internet čistí městský vzduch. In: *ArchSpace* [online]. 2017 [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: http://www.archspace.cz/citytree/

IPCC, 2007: Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, M.L. Parry, O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson, Eds., Cambridge University Press, Cambridge, UK, 976pp.

IPCC [Intergovernmental Panel on Climate Change]. *Global warming of 1.5°C: An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty*. **IPCC, 2018**. ISBN 978-92-9169-151-7.

JIM, C.Y. Green roof evolution through exemplars: Germinal prototypes to modern variants. *Sustainable Cities and Society* [online]. 2017 [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.08.001

KLEMM, Wiebke, Bert G. HEUSINKVELD, Sanda LENZHOLZER a Bert VAN HOVE. Street greenery and its physical and psychological impact on thermal

comfort. *Landscape and Urban Planning* [online]. 2015, 2015, (138) [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.landurbplan.2015.02.009

LI, Xiaoma a Weiqi ZHOU. Optimizing urban greenspace spatial pattern to mitigate urban heat island effects: Extending understanding from local to the city scale. *Urban Forestry & Urban Greening* [online]. 2019, (41) [cit. 2019-05-11]. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.ufug.2019.04.008

MEDL, Alexandra, Rosemarie STANGL a Florin FLORINETH. Vertical greening systems – A review on recent technologies and research advancement. *Building and Environment* [online]. 2017, (125) [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.08.054

MI, Zhifu, Dabo GUAN, Zhu LIU, Jingru LIU, Vincent VIGUIÉ, Neil FORMER a Yutao WANG. Cities: The core of climate change mitigation. *Journal of Cleaner Production* [online]. 2018, (207) [cit. 2019-05-10]. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.10.034

MINKE, Gernot. *Zelené střechy: plánování, realizace, příklady z praxe*. Ostrava: HEL, 2001. ISBN 80-861-6717-8.

NADACE PARTNERSTVÍ. *Otevřená zahrada: Průvodce chytrými technologiemi*. Brno. 2018.

OECD [Organization for Economic Cooperation and Development], 2008. OECD Environmental Outlook to 2030. OECD, Paris.

SCHRÖDER, C., E. MANCOSU a G. ROERINK. *Methodology proposal for estimation of carbon storage in urban green areas: Final report of task Task 262-5-6 "Carbon sequestration in urban green infrastructure"*. European Environment Agency, 2013.

SHAFIQUE, Muhammad, Reeho KIM a Muhammad RAFIQ. Green roof benefits, opportunities and challenges – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* [online]. 2018, (90) [cit. 2019-05-13]. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.04.006

SOLCEROVA, Anna, Frans VAN DE VEN, Mengyu WANG, Michiel RIJSDIJK a Nick VAN DE GIESEN. Do green roofs cool the air?. *Building and Environment* [online]. 2016, (111) [cit. 2019-05-15]. Dostupné z: https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.10.021

VRBAS, Filip. *Vertikální zahrady ve Střední Evropě*. Lednice, 2015. Diplomová práce. Mendelova univerzita v Brně, Zahradnická fakulta.