

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

Přírodovědecká fakulta

Katedra rozvojových a environmentálních studií

Vertikální zahrady jako způsob ochlazování prostředí městské
zástavby

Barbora Svobodová

Bakalářská práce

v prezenčním studiu oboru Mezinárodní rozvojová a environmentální
studia

Vedoucí práce: Mgr. et Mgr. Tomáš Daněk, Ph.D.

Olomouc 2023

Bibliografický záznam

Autor (osobní číslo): Barbora Svobodová (R190481)

Studijní obor: Mezinárodní rozvojová a environmentální studia

Název práce: Vertikální zahrady jako způsob ochlazování prostředí městské zástavby

Title of the thesis: Vertical gardens as a cooler in urban building environment

Vedoucí práce: Mgr. et Mgr. Tomáš Daněk, Ph.D.

Rozsah práce: 50 stran

Abstrakt: Vertikální zahrady představují rozvíjející se oblast technologií a výzkumu, díky čemuž se mohou stát jedním z důležitých opatření při řešení negativních dopadů změny klimatu. Tato práce poskytuje systematický přehled o současném stavu v oblasti vertikální zeleně, kdy nejprve nastíní historii uplatnění až po současnost, následně popíše a kategorizuje jednotlivé typy pěstebních systémů a rostliny vhodné pro vertikální zahrady. V neposlední řadě se zaměří na vliv vertikálních zahrad na ochlazování městské zástavby a možnou mitigaci městského tepelného ostrova (UHI). Práce dochází k závěru, že ačkoliv se vertikální zahrady zásadně nepodílí na ochlazování okolního vzduchu, přináší mnoho dalších benefitů a jejich přínos v městské infrastruktuře je nezpochybnitelný.

Klíčová slova: vertikální zahrady; zelené fasády; městský tepelný ostrov; benefity vertikální zeleně

Abstract: Vertical gardens are an emerging area of technology and research, which has the potential to become an important measure in addressing the negative impacts of climate change. The thesis provides a systematic overview of the current state of the art in the field of vertical greening, first outlining the history of its application to the present day, then describing and categorizing the different types of growing systems and plants suitable for vertical gardens. Finally, it will focus on the impact of vertical gardens on urban cooling and the possible mitigation of the urban heat island (UHI). The thesis concludes that although vertical gardens do not significantly contribute to the cooling of ambient air, they bring many other benefits and their contribution to urban infrastructure is indisputable.

Keywords: vertical gardens; green facades; urban heat island; vertical greenery systems benefits

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že jsem zadanou bakalářskou práci *Vertikální zahrady jako způsob ochlazování prostředí městské zástavby* vypracovala samostatně pod vedením Mgr. et Mgr. Tomáše Daňka, Ph.D. a také, že jsem uvedla veškerou použitou literaturu a internetové zdroje v seznamu použité literatury.

V Olomouci

Podklad pro zadání BAKALÁŘSKÉ práce studenta

Jméno a příjmení: **Barbora SVOBODOVÁ**
Osobní číslo: **R190481**
Adresa: Neředínká 18, Olomouc – Neředín, 77900 Olomouc 9, Česká republika
Téma práce: Vertikální zahrady jako způsob ochlazování prostředí městské zástavby
Téma práce anglicky: Vertical gardens as a cooler in urban building environment
Vedoucí práce: Mgr. Tomáš Daněk, Ph.D.
Katedra rozvojových a environmentálních studií

Zásady pro vypracování:

Práce bude literární rešerší zabývající se tématem tzv. vertikálních zahrad, konkrétně jejich vlivu na ochlazování v prostředí městské zástavby. Práce bude zaměřena zejména na exteriérové zahrady, avšak nastíní i ochlazovací funkci interiérových vertikálních zahrad. Popíše a definuje základní pojmy problematiky, širší souvislosti, její aktuálnost a vývojové tendence. Nastíní historii uplatnění až po současnost, následně popíše a kategorizuje jednotlivé typy pěstebních systémů, rostliny vhodné pro vertikální zahrady a v neposlední řadě se zaměří na vliv zelených stěn na tepelnou expozici. Cílem práce bude shrnutí a zobecnění aktuálních oborových poznatků této problematiky a následné vyvození závěrů důležitých pro praktické uplatnění a umístění vertikálních zahrad v městské zástavbě.

Seznam doporučené literatury:

- Blanc, P., 2008. Vertical garden from the nature to the city. New York: W.W. Norton.
- Gross, G., 2012. Effects of different vegetation on temperature in an urban building environment. Micro-scale numerical experiments. Meteorologische Zeitschrift (Berlin). 21, 4, 399–412. <https://doi.org/10.1127/0941-2948/2012/0363>.
- Berardi, U., 2016. The outdoor microclimate benefits and energy saving resulting from green roofs retrofits. Energy and Buildings. 121, 217–229. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.03.021>.
- Wong, N.H., Tan, A.Y. K., Chen, Y., Sekar, K., Tan, P.Y., Chan, D., Chiang, K., Wong, N.C., 2010. Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls. Building and environment. 45, 3, 663–672. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.08.005>.
- Maleki, A., Mahdavi, A., 2016. Evaluation of urban heat islands mitigation strategies using 3dimensional urban micro-climate model ENVI-met. Asian journal of civil engineering. 17, 3, 357–371.
- Zölch, T., Maderspacher, J., Wamsler, C., Pauleit, S., 2016. Using green infrastructure for urban climate-proofing: An evaluation of heat mitigation measures at the micro-scale. Urban Forestry & Urban Greening. 20, 305–316. <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2016.09.011>.

Yumino, S., Uchida, T., Sasaki, K., Kobayashi, H., Mochida, A., 2015. Total assessment for various environmentally conscious techniques from three perspectives: Mitigation of global warming, mitigation of UHIs, and adaptation to urban warming. *Sustainable Cities and Society*. 19, 236–249. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2015.05.010>.

Podpis vedoucího práce:

Datum:

Podpis vedoucího pracoviště:

Datum:

Seznam příloh

I. Obrázky

Obrázek 1: Nepřímá zelená fasáda, zdroj: Autor (2023)	19
Obrázek 2: Přímá zelená fasáda, převzato z: Madre et al. (2015)	20
Obrázek 3: Bosco Verticale, převzato z: Archiweb (https://www.archiweb.cz/b/svisly-les-bosco-verticale)	25
Obrázek 4: Ilustrace plošné vertikální zahrady, převzato z: Madre et al. (2015)	25
Obrázek 5: Caixa Forum (Madrid), zdroj: Autor (2021)	26
Obrázek 6: Bližší pohled na plošnou vertikální zahradu (Madrid), zdroj: Autor (2021)	27
Obrázek 7: Ilustrace modulárního systému Graseko, zdroj: Autor (2023)	28
Obrázek 8: Ilustrace BIOTILE, převzato z: Madre et al. (2015)	29
Obrázek 9: Profil městského tepelného ostrova Poznámka: Tento graf zobrazuje rozdíl v teplotách mezi městem a okolní venkovskou krajinou. Ilustrace vytvořená autorem. Data převzata z: The Copernicus Climate Change Service (https://climate.copernicus.eu/demonstrating-heat-stress-european-cities)	31

II. Grafy

Graf 1 a Graf 2: Snížení teploty v uličním kaňonu v případě použití zelených stěn a "all green case", převzato z Alexandri a Jones (2008)	33
Graf 3: Rozdíl mezi teplotou okolního vzduchu 0,15 m od zelené stěny a teploty u kontrolní stěny, převzato z Wong et al. (2010)	34
Graf 4: Rozdíl mezi teplotou okolního vzduchu 0,60 m od zelené stěny a teploty u kontrolní stěny, převzato z Wong et al. (2010)	34

III. Tabulky

Tabulka 1: Vybrané druhy pro zelené fasády; data převzata z: (Burian, 2022; Burian & Ondřej, 1992; Krajčovičová, 2005)	21
Tabulka 2: Vybrané druhy rostlin vhodné pro vertikální zahrady, data převzata z: (Blanc, 2008; Burian, 2022; Graseko, 2023; Pejchal, 2011)	29

Obsah

1. Úvod.....	9
1.1 Cíl práce a metody.....	10
2. Historie uplatnění až po současnost.....	11
2.1. Počátky.....	11
2.2. Stanley Hart White	15
2.3. Patric Blanc	15
2.4. Současnost.....	16
3. Způsoby ozelenění fasád.....	18
3.1. Systémy spojené s půdou – zelené fasády	18
3.1.1. Rozdělení pnoucích dřevin.....	18
3.1.2. Rostliny vhodné pro zelené fasády.....	21
3.2. Systémy nespojené s volnou půdou – vertikální zahrady	22
3.2.1. Zahradní stěny	23
3.2.2. Policové vertikální zahrady.....	24
3.2.3. Plošné vertikální zahrady	25
3.2.4. Modulární vertikální zahrady.....	27
3.3. Rostliny vhodné pro vertikální zahrady.....	29
4. Význam vertikálních zahrad.....	29
4.1. Ochlazení městského prostředí.....	30
4.1.1. Městský tepelný ostrov	30
4.1.2. Zelené stěny jako řešení.....	32
4.2. Význam zelených stěn na úrovni budov	35
4.3. Zlepšení kvality vzduchu	37
4.4. Protihluková bariéra.....	38
4.5. Zvýšení biodiverzity	39
4.6. Estetická hodnota & pozitivní vliv na lidskou psychiku	41
5. Diskuze	43
Závěr	46
Bibliografie.....	47

*„Také příroda by měla žít vlastní život. Neměli bychom ji
ničít barevností našich domů a vnitřního zařízení. Ale měli
bychom se snažit spojit přírodu, domy a lidi ve vyšší
jednotu.“*

-Ludvig Mies van den Rohe

1. Úvod

Přestože má zeleň při tvorbě místního klimatu nezastupitelnou roli, dochází ve městech vlivem neustále se rozšiřující městské zástavby k rozsáhlému úbytku zelených ploch. Ty nejen že plní funkci estetickou, zejména pak plní funkci coby *klimatizační zařízení*, které prostřednictvím evapotranspirace účinně ochlazuje okolí a vyrovnává teploty.

Současně s narůstajícím množstvím automobilové dopravy a dalšími antropogenními činnostmi souvisí zvyšující se podíl polutantů a zjevného tepla v městském prostředí, jež vede ke ztrátě původní funkčnosti místního mikroklimatu a navazujících ekosystémů. V důsledku toho zde dochází ke vzniku specifického jevu tzv. městského tepelného ostrova.

Když není možnost rozšiřovat nadále parky a vysazovat nová stromořadí, je na řadě přinést inovativní řešení. Mezi taková lze zařadit zazeleňování nevyužitých střešních ploch, což je trend s dlouholetou tradicí, který přináší pro městské klima mnoho významných benefitů. Jelikož však zelené střechy nejsou pro obyvatele města vždy přístupné, jejich omezením je, že nevnaší do města estetické a vizuální obohacení, které sebou zeleň obvykle přináší. Nicméně nové technologie daly možnost využívat doposud opomíjené prostory zdí a jiných vertikálních struktur.

Ovšemže popínavé rostliny tu existují již poměrně dlouho, avšak využívání vertikálních zahrad, je něco zcela odlišného. Zaprvé jsou to systémy, jež by bez lidské intervence nemohly vůbec vzniknout, ale hlavně vertikální zahrady sebou přináší něco zcela nového a fascinujícího. Nejen, že mohou pozitivně ovlivňovat místní klima, zvyšují i estetickou hodnotu budovy pro mnoho dalších pozorovatelů. Což je v současnosti stále hlavní motivací pro jejich používání (Riley, 2017).

Estetika umožňuje sdělovat silné sociální a kulturní myšlenky, a díky čemuž mohou být budovy použity jako jazyk pro předávání sdělení; sdělení vstěpující smysl pro místo. Estetika zelených stěn může prostřednictvím měnící se a vyvíjející se povahy rostlin dynamicky vysílat nová a přesvědčivá poselství o tom, co je to *udržitelnost*, tj. uliční kaňony mohou sloužit jako něco víc než jen dopravní koridory (Riley, 2017). Mohou nabízet prostor pro setkání se s přírodou na úrovni, která pro nás není

obvyklá a současně přináší možnosti, jakými dělat město žitelnější, nejen pro lidi, ale i další *živé bytosti*, se kterými městský prostor sdílíme.

1.1 Cíl práce a metody

Cílem práce je srozumitelné představení problematiky vertikálních zahrad a zjistit do jaké míry mohou vertikální zahrady ovlivňovat teplotu v městské zástavbě. Pro tento záměr byly využity různé typy vědecké literatury a dalších zdrojů, jako jsou knihy, recenzované časopisy, vědecké články, výzkumné zprávy, metodiky a ústní sdělení a doporučení od odborníků v daném oboru. Ačkoliv tento poslední zdroj nebyl pro práci stěžejní, dal jí minimálně praktický vhled do fungování firem, jež s touto technologií pracuje již řadu let.

V první fázi zkoumání byla vybrána recenzovaná vědecká literatura, jež byla nalezena pomocí vyhledávání klíčových slov v online databázích (e-zdroje, ScienceDirect, Google Scholar, ResearchGate nebo SpringerLink) s použitím klíčových slov „zelené fasády“ a „vertikální zahrady“. Jelikož doposud neexistuje na toto téma mnoho českých zdrojů, byly přidány klíčová slova jako „vertical greening systems“; „green wall“; „green façade“; „thermal impact“ a také „urban heat island“.

Metodou zpracování je tedy tematická analýza relevantní literatury, kdy na začátku analýzy byly jednotlivé texty rozřizeny podle tematických oblastí na obecné; historický kontext; klasifikace systémů a význam vertikálních zahrad, tak aby se získala počáteční hrubá struktura a vznikl lepší přehled dostupných informací.

Z tohoto rozdělení vychází tři hlavní části textu – v první části je nejprve popsána historie uplatnění až po současnost, druhá část se zaměří na způsoby ozelenění fasád, kde nastíní srozumitelné rozdělení systémů, jež se v současnosti využívají k ozelenění fasád. A v poslední, třetí části je popsán význam vertikálních zahrad. Při analýze významu dochází ke zjištění i dalších důležitých faktorů, ke kterým zelené stěny v městské zástavbě přispívají. Ty jsou dále rozvedeny a popsány. Dohromady je tak představen ucelený přehled shrnující současný stav problematiky vertikálních zahrad se zaměřením na jejich funkci v prostředí městské zástavby.

V závěru práce dochází ke stručné rekapitulaci a shrnutí základních zjištění.

2. Historie uplatnění až po současnost

2.1. Počátky

Historie zelených stěn je spjatá s nejprimitivnějším typem ozelenování fasád – výsadbou popínavých rostlin. První dochované zmínky týkající se pěstování vinné révy na pergolách, pocházejí ze starého Egypta, z doby asi před 3000 let př. n. l. (Köhler, 2008). Ve starověkém Řecku bylo již tehdy velice prosperující vinařství, přičemž i v dnešní době je v této oblasti vinná réva stále oblíbenou plodinou. Vysazována byla nejen za účelem produkce plodin, ale i z důvodu poskytnutí stínu v místech, kde nebylo možné vysadit stromy. Společně s vinnou révou se zde hojně vysazoval i břečťan, který byl uctíván jako posvátná rostlina. Další rostlina, jež se využívala pro obdobné účely již od starověku byla popínavá růže. Ta má své kořeny pěstování ve staré Číně, Egyptě, později i v antickém Řecku (Krajčovičová, 2005). Tehdejší význam zelených stěn byl zejména ochlazovací, jejich stín poskytoval nejen stín pro fasády, ale také díky transpiračnímu chlazení rostlin příjemný chlad, jež lidem umožňoval, jak Diderot en Lambertini podotýká (2007, s. 13) „vychutnat si svěžest uprostřed horkého letního dne“.

Mezi dalšího předchůdce současných vertikálních zahrad by se daly považovat Visuté zahrady Semiramidiny (též Visuté zahrady babylónské), označované za jeden ze Sedmi divů starověkého světa (Besir & Cuce, 2018). Jejich vznik se datuje do 6. století př. n. l., třebaže dodnes existují debaty o jejich existenci, vzhledem k nedostatku dokladů v soudobých babylónských pramenech. Jednou z dalších teorií je, že vznikly špatným překladem, jež je zaměnil za zahrady v Ninive (hlavní město tehdejší Asýrie), přibližně 550 km na sever od starověké říše Babylon¹ (Dalley, 2013).

Nicméně, co se týče Visutých zahrad babylónských, je známo, že je král Nabukadnesar II. nechal vystavit pro svou manželku Amytis, jíž chyběly zelené kopce a údolí z její rodné země – Persie. Nařídil je osázet exotickými stromy, keři a vinnou révou, s čímž souviselo, že některé rostliny nepatřily k místním původním odrudám. „Samotné vytvoření zahrady daleko od svého zdroje a přirozeného

¹ V tomto případě je možné zabřednout do podrobností, jež se této záměny týkají. Pro tuto práci jsou však nerelevantní, a proto bude nadále pracovat s teorií, jež Visuté zahrady Semiramidiny umísťuje na území Babylonu s králem Nabukadnesarem II., jakožto jejich zadavatelem.

prostředí a také obnovení analogických podmínek na terasách v centru města, představovalo značné botanické znalosti a úsilí. Což může naznačovat již tehdy výsadní roli člověka v rámci přírody jako celku“ (Lambertini, 2007, s. 13). Tyto zahrady jsou obvykle považovány za předchůdce střešních zahrad, avšak pro jejich terasovité uspořádání, jež vytvářelo efekt, jako by celá stavba byla zahalená do zeleného závoje, je lze považovat i za pionýra zahrad vertikálních (Burian, 2022).

V období středověku se v klášterních a hradních zahradách vyskytovaly okrasné popínavé růže, břečťan nebo vinná réva (Krajčovičová, 2005). V období mezi 17. a 18. stoletím se zejména ve Velké Británii a střední Evropě značně rozšířilo používání popínavých rostlin k pokrytí fasád. Načež se v 19. století v mnoha evropských a některých severoamerických městech rozšířilo používání popínavých rostlin jakožto okrasných prvků venkovních fasád budov (Manso & Castro-Gomes, 2015).

Průkopníkem v používání zelených stěn byly především německy mluvící země. Přičemž se zde na počátku dvacátého století hojně využívaly popínavé rostliny, jako například přísavník trojcípý (*Parthenocissus tricuspidata*) nebo břečťan popínavý (*Hedera helix*). Jednalo se o součást hnutí směřujícího k integraci domu a zahrady, které v obecné rovině vyrůstalo z hnutí Jugendstil² (Dunnett & Kingsbury, 2008). Analogické hnutí propagující propojení domů a residenčních oblastí se zahradou skrze pergoly a popínavé rostliny se objevilo ve stejné době ve Velké Británii a Severní Americe, jak dokládá vznik zahradních měst³ a první rozvoj předměstí ve Spojených státech amerických (Shaikh et al., 2015).

Pergoly a další konstrukce, které propojovaly architektonické prvky a popínavé rostliny, byly stále častějším elementem zahrad a parků v celé západní Evropě, ale pouze v německy mluvících zemích a do jisté míry ve Francii se popínavé rostliny tak hojně používaly na domech a dalších budovách (Dunnett a Kingsbury, 2008).

² Ve Francii se tento sloh nazýval *Art nouveau*, u nás *secese*.

³ Na přelomu 19. a 20. století bylo české architektonické prostředí ovlivňováno především vídeňskou a německou stavbou měst. Postupně, se ale v českých zemích začaly objevovat urbanistické koncepty i z jiných zemí. Nejznámější koncept *zahradního města* od Ebenezera Howarda se stal oblíbeným i u nás společně s tradiční architekturou anglického domu se zahradou (tzv. *zahradní čtvrti*) a to zejména v oblastech, kde převládalo německy mluvící obyvatelstvo. Příkladem může být město Hradec Králové, Zlín nebo pražské čtvrti Ořechovka, Zahradní Město a Spořilov. Avšak je nutné podotknout, že realizace v českých zemích většinou využívaly pouze některé z prvků, nikoliv realizaci koncepce jako celku (Dostalík, 2015).

V německy mluvících zemích přišli s klíčovými myšlenkami umělci jako Friedrich Hundertwasser (nar. 1928-2000). Ten se díky svému neotřelému uměleckému vyjádření, jehož esencí byly organické formy a smíření člověka s přírodou, snažil dosáhnout změny a zvýšení ekologického povědomí ve společnosti. Současně vedl nespočet ekologických kampaní, vydával manifesty a v sedmdesátých letech dvacátého století přešel k návrhům utopistických staveb. Jak Restany (2004, s. 44) uvádí: „Hundertwasser vypracoval více než padesát projektů a modelů nových staveb, návrhů jejich strukturace i nového designu jejich fasád.“ Avšak ke zlomu v jeho architektonické tvorbě došlo až v roce 1982, kdy mu město Vídeň svěřilo úkol postavit část obecních bytů v ulici Löwengasse:

„Dům se inspiruje všemi náměty vzešlými z dlouhodobých umělcových úvah o prostředí. Má podobu jakési vertikální vesnice, kdy každý byt má svoji individualitu. [...] linie střechy vídeňského domu je zdobena řadou terasovitých zahrad pod sebou, které jsou přímo přístupné z domů a to přes balkony s křovinami, na nichž je místo pro stromy-nájemníky, skleníky a zimní zahrady.“ (Restany, 2004, s. 45–46)

Jeho originalita a sounáležitost s přírodou nebyla vždy architektonickou obcí přijata s oblibou, avšak Hundertwasser se svých ideálů a myšlenkových konceptů nevzdal a zůstal autorem *sui generis*. Součástí jeho tvorby se neoddělitelně stalo odmítání přímých linií (nelineárnost), zalesněné střechy, terasovité zahrady a také hravost, jež se projevovala skrze pestrobarevné fasády nebo sloupy různých barev a tvarů. Jeho architekturu lze nalézt po celém Rakousku, ale i v Německu, Japonsku nebo na Novém Zélandu, kde část svého života pobýval a kde je i pohřbený (Restany, 2004).

Další architekti a projektanti na jeho myšlenky navázali a tím se připojili k následování postupné změny paradigmatu směřující k ekologičtějším a zelenějším stavbám (Köhler, 2008). Například Emilo Ambasz či James Wines, jež v sedmdesátých letech dvacátého století založil organizaci pro architekturu a umění v oblasti životního prostředí, SITE⁴. Jejich cílem bylo vytvářet formu architektury se silným důrazem na ekologické aspekty, taktéž označovanou pojmem *zelená architektura*. V roce 1981 představili provokativní projekt *Highrise of Homes*, který

⁴ Zkratka SITE znamená: „Sculpture in the Environment“, čímž odkazuje na stále větší zájem umělců a architektů o propojení umění s přírodou.

sestával z vertikální konstrukce, v níž každé patro bylo tvořené malými domky rozdílných stylů a vlastní zahradou. Tento projekt nebyl nikdy zrealizován, avšak cílem bylo dát obyvatelům pocit pobytu v přírodě, a čistě teoreticky lze tento systém znásobit skoro až neomezeně skrze celé město (Lambertini, 2007).

Místo výstavby nových čtvrtí na okraji, byla prostřednictvím nových hnutí propagována přestavba již existujících staveb v centru města. Počátkem osmdesátých let začaly vznikat programy na jejich podporu a Berlín byl jedním z *melting pots* těchto myšlenek; díky tomu zde byl vyvinut pobídkový motivační program na podporu výstavby zelených fasád. Výsledkem tohoto programu byla, mezi lety 1983-1997, instalace přes 245,584 m² zelených fasád (Köhler, 2008).

V průběhu druhé poloviny dvacátého století byla činnost mnoha umělců ovlivněna stále častěji se objevujícími ekologickými problémy. S nárůstem rozsáhlé urbanizace a prudkým nárůstem znečištění se umělci stávali mnohem více citlivějšími ohledně ohroženého životního prostředí. Příkladem mohou být ornamentální zahrady a abstraktní objekty tvořené brazilským umělcem Robertem Burlem Marxem (Georgi & Vissilia, 2016), tvorba již zmíněného Friedensreicha Hundertwassera, Patric Blanc a jeho *Mur Végétal* anebo tvorba kanadské umělkyně Francine Larivée (Lambertini, 2007). Spojením botaniky a umění vznikl prostor pro využívání rostlin mimo jejich přirozené prostředí a výzkumy týkající se nových růstových substrátů umožnily umělcům budování vertikálních zahrad pro dvojí účel, nejen estetický, ale i ekologický.

Častokrát se stávalo, že první pokusy o vertikální zahrady, byly přijaty zejména uměleckou obcí. Vezmeme-li v úvahu současný trend vertikálních zahrad, je zřejmé, že svým způsobem zahrnují obdobné estetické prvky jako tradiční formy umění, jako je kresba, malba či sochařství (Blanc, 2008; Lambertini, 2007).

Některé zelené stěny působí jako část krajiny nebo co víc, jako abstraktní dílo, kde jsou různé jejich části uspořádány tak, aby vytvářely rozličné obrazy. Nejedná se o obyčejnou zelenou plochu, člověk má dojem, že zahradník/botanik/umělec (hranice se zde stírají), mění textury, hustotu a tóny rostlinného materiálu stejně, jako by stěna byla klasickou malbou.

2.2. Stanley Hart White

Za jednoho z prvních představitelů současných vertikálních zahrad lze označit profesora zahradní architektury Stanleyho Hart Whitea (nar. 1891-1979). Na universitě Illinois v Urbana Champaign, kde v letech 1922-1959 vyučoval teorii moderní zahradní architektury, byl známý nejen pro svůj inovativní vyučovací styl a kreativitu, kterou inspiroval mnoho dalších amerických zahradních architektů, White je taktéž považován za vynálezce prvních vertikálních zahrad. V dubnu roku 1938 vydal patent pro vertikální zahrady, jež nazval *rostlinné cihly*⁵. Popisuje v něm „metody pro vytvoření struktury jakékoliv velikosti, výšky i tvaru, jejíž povrch může být pokryt trvale rostoucí vegetací“ (Hindle, 2012, s. 99). Rostlinné cihly lze považovat za přímého předchůdce modulárních systémů současných vertikálních zahrad. Prototyp této technologie se nacházel na zahradě jeho rezidence Urbana. Přestože White vydal svůj patent až v roce 1938, koncept zelených stěn, který je dochovaný v jeho zápiscích a nákresech, lze nalézt již na počátku 30. let 20. století, jako reakce na problematiku moderního zahradního designu (Hindle, 2012). S vynálezem první známé vertikální zahrady, lze Whitea považovat za technologického inovátora, jenž konceptualizoval téma nově se objevujících zelených stěn a průkopníka zeleného modernismu.

2.3. Patric Blanc

Za jednoho z hlavních představitelů a propagátorů vertikálních zahrad bývá považován francouzský botanik Patric Blanc (nar. 1958). Původem z městského prostředí pařížského předměstí, kde bydlel se svou rodinou, zajímal se o přírodu již od útlého věku. Nebyla to však příroda, jež náleží do venkovské krajiny, či prostorů zahrad, kromě těch botanických. Patric Blanc miloval velká města a společně s nimi nedotčené kouty panenské přírody. Již v pěti letech ho fascinovalo tropické akvárium u rodinného lékaře. To se mu samotnému podařilo o tři roky později sestavit v domě svých rodičů. Díky tomu mohl začít zkoumat vodní život tropických ryb a akvariálních rostlin.

Na konci 60. let 20. století se do západní Evropy začalo importovat značné množství akvariálních rostlin z jihovýchodní Asie, zejména Bornea a Malajsie. Jeho záliba

⁵ Volně přeloženo z anglického spojení „Botanical Bricks“.

v akvaristice neustala, avšak stále více se začal zaměřovat na tropické rostliny, přičemž jedním z nejzásadnějších rodů se pro Blanca stal *Cryptocoryne*. Díky nim se jeho zájem i budoucí akademická dráha začali ubírat směrem k tropické botanice. Ve věku patnácti let sestavil první prototyp hydroponické vertikální zahrady, kdy použil své staré akvárium, do kterého vložil k zakořenění řízků arónovitých (*Monstera deliciosa* a další), jež svými kořeny dokázaly absorbovat přebytečné dusičnany a tím čistit vodu a vytvářet zdravější prostředí pro ryby. V devatenácti se poprvé vypravil do tropických lesů Thajska a Malajsie, aby zde objevil nejen *Cryptocoryne* ve svém přirozeném prostředí, ale i nespočet druhů epifytů a litofytů. Zde mohl sledovat rozdíl mezi klasickými popínavými rostlinami, které ke svému růstu potřebují půdu a epifyty a litofyty, jež dokážou osídlit jakékoliv příznivé místo na větvi nebo skále bez ohledu na výšce a bez kontaktu s půdou. A zároveň jim k životu stačí pouze organické zbytky a voda s minerály v ní obsažené (Blanc, 2008).

Pro svou celoživotní práci se nechal inspirovat tropickými ekosystémy, a to především vodopády, jeskyněmi, říčními břehy, útesy, lesním podrostem atp. Až na některé domácí pokusy a instalace, které Blanc prováděl u svých přátel, první veřejná interiérová vertikální zahrada byla vytvořena pro Cité des Sciences et de l'Industrie v Paříži v roce 1986. V roce 1988 vydal patent pro zařízení umožňující růst rostlin bez půdy na svislém povrchu. (Blanc, 1988). Teprve po roce 1991 začal s prvními pokusy o vytvoření exteriérových stěn složených z rostlin schopných snášet i klima mírného pásu. Na základě těchto pokusů byl v roce 1994 přizván k účasti na mezinárodním zahradním a krajinném festivalu v Chaumont-sur-Loire. Zde poprvé vzbudil velký zájem veřejnosti a jeho koncept vertikální zahrady se tak stal průlomovým (Blanc, 2008).

2.4. Současnost

V současné době lze ozeleňování fasád považovat za stále rychleji se rozvíjející obor, jež kombinuje ekologii, zahradní architekturu a stavebnictví. Díky němuž je možné adresovat nejedny environmentální problémy související s houstnoucí městskou zástavbou. Vertikální zahrady už nejsou pouze součástí uměleckého projevu jednotlivců, stále častěji se stávají složkou moderní architektury a projektů, které utváří nadčasovou, člověku bližší a zejména pak zelenější podobu městské infrastruktury.

Zvýšení zájmu o vertikální zahrady taktéž v posledních desetiletích vyvolává potřeba dostat do stísněných podmínek měst větší objem vegetace, jež by alespoň částečně mírnila dopady klimatických změn. I ve stísněné městské zástavbě, v místech, kde nelze již pro jiný typ vegetace najít místo, jsou tak zelené fasády schopné vyplnit prostor zelení.

3. Způsoby ozelenění fasád

Autoři používají různé názvy když hovoří o zelených stěnách – *Living Wall Systems* (Pérez et al., 2011; Perini, Ottelé, Haas, et al., 2011; Shaikh et al., 2015), *Vertical Greenery Systems* (Wong, Kwang Tan, Chen, et al., 2010), *Green walls* (Collins et al., 2017) anebo *vertikální zahrady* (Lambertini 2007; Davis a Hirmer 2015; Burian 2022). I přes odlišné názvy, lze zelené stěny souhrnně označit za systémy, které vytváří vegetací pokryté povrchy stěn a fasád.

Podle autorů Perini et al. (2011, s. 2), Köhler (2008, s. 424), Radić (2019, s. 2–6) nebo Manso a Castro-Gomes (2015, s. 864–866) lze zelené stěny rozdělit do dvou hlavních systémů – prvním systémem jsou zelené fasády a druhým jsou vertikální zahrady neboli systémy zelených živých stěn.

3.1. Systémy spojené s půdou – zelené fasády

Zelené fasády lze považovat za tradičnější systém, využívající popínavé rostliny, jež jsou vysazovány v půdě u paty objektu, případně v nádobách⁶ k tomu určených. Než dosáhnou zelené fasády plného pokrytí objektu, trvá rostlinám v řádu desítek let než se plně vyvinou (Manso & Castro-Gomes, 2015), nicméně to poté kompenzují dlouhou životností dosahující mnoha desítek let (Shaikh et al., 2015).

Rostliny či dřeviny využívané pro zelené fasády si nedokážou vytvořit dostatečně pevný kmen, a proto se musí spoléhat na určitou oporu, po níž se budou moci pnout. Díky tomu si vytvořily adaptační mechanismus, jenž jim umožňuje udržet se na fasádě přímo, bez opěrné konstrukce – zelené fasády nazýváme proto přímé (Obr. 2); nebo za pomoci opěrné konstrukce, jež je upevněna k fasádě – zelené fasády nepřímé (Obr. 1).

3.1.1. Rozdělení pnoucích dřevin

Mezi přímé pnoucí dřeviny, které se taktéž označují jako samopnoucí, patří pnoucí

⁶ Při pokrytí vyšších budov popínavými rostlinami, mohou být limitovány svým maximálním vzrůstem. Proto mohou mít vysoké budovy vytvořené modulární systémy, kdy jsou jednotlivé nádoby na rostliny rozmístěny v různých výškách s lehkým substrátem a jsou doplněny automatickým zavlažováním dodávajícím potřebné živiny.

dřeviny s přičepivými kořínky – kořenující a pnoucí dřeviny s úponky opatřenými adhezivními terčíky. Nepřímé pnoucí dřeviny se okolo opory ovíjejí – ovíjivé, přichycují úponky – úponkaté, nebo se dlouhými šlahouny o podklad opírají – vzpěrné. Tyto dřeviny se nemají o fasádu, jak přichytit a potřebují ke svému růstu opěrnou konstrukci. Výjimečně se pro zelené fasády používají dřeviny, které za pnoucí nelze označit, jelikož mají běžný keřový či stromový vzrůst, obvykle se mezi ně řadí ovocné dřeviny. Ty se musí ke konstrukci připevňovat a do plochého tvaru upravovat pomocí vyvazování a zastřihávání (Dunnett & Kingsbury, 2008).

I přesto, že jsou pnoucí dřeviny botanicky nesourodá skupina, jednu vlastnost mají všechny společnou. Tou je jejich *popínavost*, jež se u nich vytvořila coby adaptační mechanismus při boji o světlo, které je pro všechny rostliny tak nezbytné k životu. Pro tento boj si musely přizpůsobit různé orgány, aby se dostaly nad ostatní rostliny do výše položených poloh. Nemají sice dostatečně pevný kmen, avšak své tělo adaptovaly tak, že má slabou rostlinnou osu, což jim umožňuje velmi rychle růst, přičemž pro svou cestu za sluncem využívají opěrných struktur, po kterých se pnou. Nejpodstatnější rozdíly pak vyplývají z nároků na stanoviště a způsobu jakým se přichycují k podkladu. Podle toho je možné rozdělit popínavé rostliny do několika podskupin, což má dále zcela zásadní praktický význam při výběru případné opěrné konstrukce (Burian & Onřej, 1992; Krajčovičová, 2005).

I. Vzpěrné pnoucí dřeviny

Vzpěrné pnoucí dřeviny nejsou pnoucí dřeviny v pravém slova smyslu, jelikož nevytváří žádné specializované orgány, jimiž by se přidržovaly podkladu. Jsou to dřeviny s dlouhými šlahounovitými výhony, kterými se vzpírají o podklad. K zaklesnutí nebo přichycení k podkladu či jiné dřevině někdy používají zahnuté trny, ostny nebo kolce (Burian & Onřej, 1992). Jejich růst, například u pnoucích růží (*Rosa*), je často poněkud nahodilý a obvykle vyžaduje určitou asistenci ve formě vyvazování k opěrným strukturám. Ty jsou nejvhodnější ve formě dřevěné mřížky či vodorovně, nad sebou vedených, napnutých lanek (Dunnett & Kingsbury, 2008).



Obrázek 1: Nepřímá zelená fasáda, zdroj: Autor (2023)

II. Ovívivé pnoucí dřeviny

Ovívivé pnoucí dřeviny rovněž nevytváří žádné specializované orgány, přesto však mají pro tento účel přizpůsobenou celou svou rostlinnou osu, tím že ji ovíjejí kolem podkladu. To jim neumožňuje se přichytit na plochou stěnu a ke svému růstu potřebují opěrnou konstrukci (Dunnett & Kingsbury, 2008). Vhodná je konstrukce ve formě tenkého drátu, kovového či syntetického lana s hrubším povrchem.

III. Úponkaté pnoucí dřeviny

Úponkaté pnoucí dřeviny vytvářejí specializované orgány metamorfózou různých částí rostlinného těla, čímž vznikají specializované úponky, kterými se přichycují k podkladu. Dle Gunkel (2005) se úponkaté rostliny dále dělí podle způsobu vzniku úponků, ty vznikají přeměnou listových řapíků, koncových částí listů nebo článků hlavního stonku. Úponek může být jednoduchý či větvený a rostlinu přidrží ke konstrukci tím, že se spirálovitě obtočí kolem opory.

Jelikož jsou úponky většinou jemné části s poměrně velkou silou je vhodné pro úponkaté rostliny zhotovovat konstrukce ze slabých profilů, tak aby je byly úponky schopny obtočit. Vhodným materiálem jsou kovové mříže, sítě, napnuté šňůry, dráty a drátěná pletiva s velkými oky (Burian, 2022).

IV. Kořenující pnoucí dřeviny.

Kořenující pnoucí dřeviny využívají k přichycení k podkladu jemné výrůstky tzv. adventivní přícepivé kořinky, jež se tvoří po celé délce výhonů rostlin na straně odvrácené od světla (Burian & Onřej, 1992). Pro svůj růst nepotřebují opěrnou konstrukci, přičemž mohou dosahovat značného vzrůstu. Například břečťan popínavý, *Hedera helix*, může dosáhnout výšky až 30 m a pokrýt přitom plochu o rozloze 600 m² (Dunnett & Kingsbury, 2008) . Díky jemným kořinkům, které vnikají do tmavých pórů a prasklin, vyplňují nerovnosti podkladu a tím rostlinu upevňují k podkladu. Ať už přírodní nebo umělý, povrch musí být dostatečně drsný a soudržný, aby se kořeny měly kde zachytit. Na rozdíl od základních kořenů,



Obrázek 2: Přímá zelená fasáda, převzato z: Madre et al. (2015)

jež vyživují rostlinu, přičepivé kořínky plní pouze funkci mechanického uchycení (Krajčovičová, 2005).

V. Pnouce dřeviny s adhezivními terčíky

Pnouce dřeviny s adhezivními terčíky jsou dřeviny vybavené nejsofistikovanějšími orgány k upevňování rostlin k podkladu. Rozvětvené úponky u této skupiny vytvářejí na svých koncích malé zduřeniny („přísavky“) pokryté na vrcholech lepkavou hmotou, jež se chová podobně jako lepidlo. Při styku s podkladem se zduřeniny rozšíří do podoby plochého terčíku, načež se k podkladu přilepí a následně se úponek vlnovitě zprohýbá, čímž se zkrátí a aktivně tak přitáhne rostlinu těsně k podkladu. Na rozdíl od kořenujících pnoucích dřevin se tato skupina rostlin může, díky adhezivním terčíkům, pnout i po hladkých površích (Burian & Ondřej, 1992).

3.1.2. Rostliny vhodné pro zelené fasády

Mezi popínavé rostliny, kterým se daří v mírných klimatických podmínkách lze zařadit tyto druhy.

Latinský název	Český název	Typ pnoucí dřeviny
<i>Akebia quinata / trifoliata</i>	akébie pětičetná / trojlistá	ovíjivá
<i>Aristolochia</i>	podražec	ovíjivá
<i>Campis radicans</i>	trubač kořenující	kořenující
<i>Clematis</i>	plamének	úponkatá
<i>Cobaea scandens</i>	vilec šplhavý	úponkatá
<i>Cotoneaster</i>	skalník	vzpěrná
<i>Euonymus</i>	brslen	vzpěrná
<i>Fallopia aubertii</i>	opletka čínská	ovíjivá
<i>Fuchsia</i>	fuchsie	
<i>Hedera helix</i>	břečťan popínavý	kořenující
<i>Hydrangea petiolaris</i>	hortenzie popínavá	kořenující
<i>Jasminum nudiflorum</i>	jasmín nahokvětý	vzpěrná
<i>Lathyrus odoratus</i>	hrachor vonný	úponkatá
<i>Lonicera nitida</i>	zimolez lesklý	ovíjivá
<i>Lycium halimifolium</i>	kustovnice cizí	vzpěrná
<i>Parthenocissus quinquefolia / tricuspidata</i>	přísavník pětistý / trojcípý	s adhezivními terčíky
<i>Rosa</i>	růže	vzpěrná
<i>Rubus</i>	ostružinník	vzpěrná
<i>Schizophargma</i>	klanostěnka	kořenující
<i>Wisteria sinensis</i>	vistárie čínská	ovíjivá
<i>Cobaea scandens</i>	Vilec šplhavý	úponkatá

Tabulka 1: Vybrané druhy pro zelené fasády; data převzata z: (Burian, 2022; Burian & Ondřej, 1992; Krajčovičová, 2005)

3.2. Systémy nespojené s volnou půdou – vertikální zahrady

Vertikální zahrady neboli systémy živých stěn⁷ jsou druhým možným způsobem, pomocí kterého lze zkonstruovat zelené stěny. Systémy vertikálních zahrad jsou relativně nové odvětví⁸ a od tradičních zelených fasád se liší zejména tím, že nejsou spojené s volnou půdou, nýbrž jsou vertikálně připevněné k fasádě objektu. Příčina jejich vzniku navíc souvisí s možností integrace zeleně a zelených stěn do konstrukcí výškových budov, protože živé stěny umožňují rychlé pokrytí velkých ploch s téměř okamžitým účinkem a rovnoměrnější růst rostlin podél svislého povrchu. Oproti popínavým rostlinám s nimi lze dosáhnout větších výšek a je možné je přizpůsobit všem typům objektů (Manso & Castro-Gomes, 2015). Mezi jejich další vlastnosti lze zařadit schopnost pojmout rozsáhlejší množství rostlinných druhů, jež lze využít nad rámec popínavých rostlin. Vertikální zahrady jsou ve srovnání se zelenými fasádami rozmanitější a také nabízejí mnohem větší kreativní a estetický potenciál.

Lze předpokládat, že z funkčního hlediska vyžaduje většina systémů živých stěn na rozdíl od zelených fasád složitější konstrukci, u které je nutné zohlednit mnoho proměnných (složení jednotlivých vrstev systému, podpůrné materiály, kontrolu vody a přísunu živin atd.) Navíc jsou často velmi nákladné, energeticky náročné a je u nich nutná pravidelná údržba (Perini, Ottelé, Haas, et al., 2011; Shaikh et al., 2015). I přes svou finanční a energetickou náročnost v sobě skrývají vertikální zahrady něco neotřelého a unikátního, díky tomu se stávají stále oblíbenějším prvkem nejen v soukromém sektoru, ale i při městském plánování. Jelikož současné technologie využívané v systémech živých stěn mohou přispět nejen k vyšší estetičnosti a energetické výkonnosti budov, ale také mohou přispět ke zlepšení a obnově městského prostředí.

I proto ve své knize Patric Blanc (2008) píše:

„Proč mají tyto vertikální zahrady, které jsem nainstaloval v různých zemích a v různých kontextech vždy stejný dopad? Možná proto, že každý člověk, který před nimi stojí, bez ohledu na věk, pohlaví, kulturní zázemí nebo společenské postavení, pocítí závan divočiny uprostřed města. Rostliny jsou

⁷ V anglické literatuře se pro ně používá označení Living Wall Systems a zkratka LWS.

⁸ První patent pochází ze 40. let 20. století (Hindle, 2012).

skutečně přítomné, jako by se zde samy rozhodly být. [...] Chlad a čistota vzduchu v blízkosti vertikálních zahrad okamžitě vyvolává imaginární obraz tropického pralesa, krasových jevů a vodopádů. Kupodivu i v evropském mírném podnebí, exteriérové vertikální zahrady evokují tropickou hojnost, i přesto že vystavené rostliny jsou stejné druhy *Berberis*, *Cotoneaster*, *Campanula*, *Heuchera* a *Polystichum* jako ty, jež jsou k vidění v každé městské zahradě.“ (Blanc, 2008, s. 87)

Systémy živých stěn se dělí do dalších podskupin, podle toho, jak jsou konstrukčně řešeny a jakým způsobem jsou v nich rostliny pěstovány. Avšak, problematické je, že mnoho stejných typů systémů živých stěn se v literatuře, se kterou tato práce pracuje, objevuje pod odlišnými názvy. Proto se budu snažit tyto texty shrnout a vytvořit jejich srozumitelné rozdělení.

Autoři Pejchal (2011), Burian (2022), Davis a Hirmer (2015), Mendl et al. (2017), Shaikh a Gunjal (2015), Susorova (2015), Bustami et al. (2018), Manso a Castro-Gomes (2015) a Timur a Karaca (2013) rozlišují dva základní typy vertikálních zahrad – *souvislé/plošné* vertikální zahrady a *modulární* vertikální zahrady. Dále lze v použité literatuře nalézt lineární neboli *policové* vertikální zahrady (Pejchal 2011; Medl et al. 2017; Burian 2022) a takzvané *zahradní stěny* (Dunnett & Kingsbury, 2008; Timur & Karaca, 2013). Pro větší srozumitelnost nejprve popíšu poslední dva zmíněné systémy, jež nejsou mezi konstrukcemi vertikálních zahrad tolik významné a až potom se přesunu k plošným a modulárním systémům živých stěn.

3.2.1. Zahradní stěny

V současnosti jsou zahradní stěny jedním z nejprimitivnějších strategických nástrojů, jakým lze dosáhnout „oživené“ architektury (Timur & Karaca, 2013). Typicky jsou vystavěné pod úhlem a mohou plnit mnoho funkcí. Jednou z podstatných funkcí je tlumení hluku a zabránění eroze půdy. Mohou však dobře posloužit i při stabilizaci a zpevnění svahů podél komunikací.

Za zahradní stěny lze označit vegetací porostlé zdi a zídky s rostlinami vrostlými do skulin a spár. Mohou to být zdi protihlukové, zpevňovací, protierozní či pouze

dekorativní, vzniklé z uměle navršeného materiálu (kameny, beton nebo dřevo). Na kterých se vyskytuje ať už uměle vysázená nebo samovolně zakořeněná vegetace.

3.2.2. Policové vertikální zahrady

Policové vertikální zahrady, nejsou vertikální zahrady v pravém slova smyslu, jelikož použité rostliny rostou v nádobách, obdobně jako „mobilní zeleň“ na pozemní úrovni (Pejchal, 2011). Tento systém je rovněž na pomezí mezi výše zmiňovanými konstrukcemi pro nepřímé zelené fasády s automatickým zavlažováním a systémy živých stěn.

Při využití policových vertikálních zahrad je stěna rozdělena na malé nad sebou uspořádané horizontální plochy, přičemž jde o systém nádob, jež jsou umístěné na policích, římsách či balkonech. Tyto nádoby mívají často větší rozměry, jsou dvouplášťové, aby se snížilo riziko přehřívání substrátu a jsou složeny z trvanlivého, pevného, ale zároveň lehkého materiálu (např. z hliníku nebo plastu – nejčastěji HDPE) (Burian 2022; Medl, Stangl, a Florineth 2017).

Mezi rostliny, jež se nejčastěji používají v rámci policových systémů, lze zařadit keře a dřeviny vyššího (oproti dalším systémům) vzrůstu a častá je kombinace vzpřímeně rostoucích druhů s druhy převislými. Díky tomu lze mnohem lépe docílit dojmu celistvě pokryté stěny. V nádobách lze také efektivně uplatnit pnoucí rostliny a spojit tak výhody vertikální zahrady se schopnostmi pnoucích rostlin. V Česku tento systém pod názvem ‘Hydrowalls’ využívá firma Meandr.

Za příklad stavby využívající policových vertikálních zahrad lze označit projekt architektonického studia Boeri Studio⁹, jež vznikl v milánské čtvrti Porta Nuova, a jež se nazývá *Bosco Verticale* neboli *vertikální les* (Obr. 3). Jde o pár rezidenčních věží, jež byly postaveny mezi lety 2007-2014, majících výšku 80 a 112 m, na kterých je umístěno celkem 800 stromů a 20 000 dalších rostlin a keřů. Půdorys obou objektů zabírá přibližně 3000 m² městské plochy, přičemž samotná vegetace odpovídá ploše 30 000 m² zeleně. Projekt vytváří také prostor, který má omezit rozrůstání města vyvolaného hledáním nové zeleně (Boeri, 2023).

⁹ Architektky tohoto projektu jsou: Stefano Boeri, Gianandrea Barreca, Giovanni La Varra



Obrázek 3: Bosco Verticale, převzato z: Archiweb (<https://www.archiweb.cz/b/svisly-les-bosco-verticale>)

Balkony jsou rozmístěny po věžích tak, aby umožňovaly růst velkých stromů i přes tři podlaží. Tým botaniků začal rostliny pěstovat v roce 2010 ve speciální rostlinné školce a připravoval je na podmínky, jež budou mít na věžích. Finální výsadba funguje jako filtr, který vytváří příjemné vnitřní mikroklima, také produkuje kyslík, pohlcuje CO₂ a jemné prachové částice a zároveň působí jako protihluková bariéra. Potřeby rostliny jsou digitálně monitorovány a voda pro jejich závlahu je čerpána převážně z filtrované odpadní (šedé) vody z věží (Boeri, 2023).

3.2.3. Plošné vertikální zahrady

Plošné vertikální zahrady (Obr. 4) jsou systémy tvořené několika vrstvami. První vrstvou je pevná, nosná ocelová konstrukce, která drží základní panel. Tento ocelový rám může být připevněn k fasádě domu, nebo stát samostatně, přičemž vytváří prostor pro proudění vzduchu mezi vertikální zahradou a fasádou. Druhou důležitou vrstvou je podkladová, nepropustná deska, většinou z PVC, jež chrání stavební materiál před vlhkostí. Poslední částí, která slouží i jako pěstební médium, je ve dvou vrstvách upevněná lehká, pružná a vysoce nasákavá textilie, z nichž vnější vrstva, má



Obrázek 4: Ilustrace plošné vertikální zahrady, převzato z: Madre et al. (2015)

v sobě vyříznuté otvory, do nichž jsou vsazené jednotlivě předpěstované rostliny (Manso a Castro-Gomes 2015; Medl et al. 2017). Rostliny v plošných vertikálních zahradách nejsou omezovány ve svém růstu, tak jak by byly v květináčích, či v jiných systémech nádob vytvářejících vertikální konstrukci.

Mezi plošné, bezsubstrátové vertikální zahrady se řadí i tzv. *Mur Végétal* (Obr. 5), která je jedinečnou formou vertikálních zahrad, jejímž průkopníkem je Patrick Blanc. Skládá se ze dvou vrstev syntetické tkaniny s kapsami, které nesou rostliny a pěstební médium (Obr. 6). Tkaninové vrstvy jsou vloženy do rámu a kvůli vysoké vlhkosti jsou podloženy vodotěsnou membránou, jež chrání fasádu objektu. Voda a živiny jsou distribuovány především prostřednictvím kapkového zavlažovacího systému. Ten je vložen mezi textilie, čímž zelenou stěnu udržuje neustále vlhkou. Dle Blancových návrhů zahrnuje *Mur Végétal* stovky různých rostlinných druhů¹⁰ v jedné stěně, jež jsou uspořádány podél mírně šikmých, téměř vertikálních, linií, které se vytrácí směrem k pravé horní části stěny (Blanc, 2008).



Obrázek 5: Caixa Forum (Madrid), zdroj: Autor (2021)

¹⁰ Při výběru rostlinných druhů záleží velmi na lokaci vertikální zahrady a také dostupnosti rostlinných druhů.

Plošné vertikální zahrady se obvykle vytváří individuálně na místě a mohou být, dle vzoru Patrica Blanca, již bez dalších požadavků na půdní substrát. Přičemž uchycení rostlin a jejich zavlažování je řešeno hydroponicky pomocí vysoce nasákové textilie. Eventuálně může být textilie doplněna lehkým substrátem (Burian, 2022; Pejchal, 2011). Tato hydroponická technologie poskytuje rostlinám veškerou vodu a potřebné živiny. Poněvadž má textilie pouze minimální vodní kapacitu, každý výpadek či chyba v závlahovém systému se okamžitě negativně odrazí na kondici porostu.



Obrázek 6: Bližší pohled na plošnou vertikální zahradu (Madrid), zdroj: Autor (2021)

Jelikož Patric Blanc své zahrady konstruuje většinou v teplejších oblastech, v našich podnebných podmínkách je velkým problémem promrzání systému v zimě. Dle Buriana (2022, s. 50): „voda i v zimě sublimuje a systém vysychá, při tom ale závlaha za mrazu není možná“. S ohledem na naše klima jsou bez substrátové systémy vhodnější spíše pro interiérové realizace, avšak na českém trhu se vyskytuje systém vegetačního pláště od firmy Čarokvěty, jež realizuje i exteriérové plošné vertikální zahrady.

3.2.4. Modulární vertikální zahrady

Posledním typem jsou modulární vertikální zahrady, jež se skládají z předem připravených modulů nejrůznějšího provedení, které se liší svou velikostí, tvarem, použitým substrátem či konstrukcí obalu. Moduly jsou navrženy tak, aby udržely substrát a v něm předpěstované rostliny. Stabilitu celého systému zajišťuje rámová konstrukce ukotvená k fasádě, na kterou jsou jednotlivé moduly upevněny. Tento typ systému živých stěn podporuje velkou rozmanitost rostlinných druhů, včetně směsi půdokryvných rostlin, kapradin, nízkých keřů, trvalek a jedlých bylin.

Většinu živin potřebných pro optimální růst rostlin lze nalézt v pěstebním médiu uvnitř modulů, avšak nutnou součástí systému je i automatická závlaha a přihnojování. Modulární panely v živých stěnách jsou navrženy tak, aby umožňovaly vnitřní, cirkulární proudění vody v rámci celého systému. Nejběžněji se v těchto systémech využívá vrchní kapénkové závlahy, kdy z kapkovačů vytéká malé množství vody, které gravitací postupuje skrze všechny moduly dolů. Nádrž na vodu je připojena k vodnímu čerpadlu, které poskytuje možnost přívodu dalších živin do systému. Ten je celý zautomatizovaný, kontrolován prostřednictvím senzorů a může být ovládán pomocí dálkového ovládání (Burian, 2022; LIKO-S, 2021; Manso & Castro-Gomes, 2015).

Modulární vertikální zahrady lze dále rozdělit do menších podkategorií podle typu nosiče, ve kterém jsou pěstovány. Literatura rozděluje modulární vertikální zahrady na žlabové, kazetové a substrátové systémy, avšak pro větší přehlednost využiji a popíšu pouze systémy, jež nabízí na tomto poli nejvýznamnější české firmy.

I. Vertikální systém Graseko®

Firma Graseko vyvinula na základě dlouholetých zkušeností za pomoci českých odborníků, zcela nový systém – vertikální systém Graseko®. Jedná se o patentovaný systém vyráběný na území České Republiky, jež je díky své jednoduché montáži vhodný pro instalaci jak v interiéru, tak i v exteriéru budov (Graseko, 2023).

Modulární systém (Obr. 7) je tvořen horizontálními nosnými lištami, závěsnými truhlíky, jež jsou naplněné minerálním substrátem (zeolitem) a rostlinami a také automatickým zavlažovacím systémem. Květináče jsou vyrobeny z polypropylenu, díky čemuž jsou odolné vůči vlivům počasí a změnám teplot v průběhu celého roku. Díky vlastnímu integrovanému systému pro distribuci závlahy jsou rostliny rovnoměrně zavlažovány. Zálivka se pravidelně distribuuje pomocí kapkovačů umístěných nad jednotlivými rostlinami, kdy každá rostlina dostává podle potřeby přesné množství vody.



Obrázek 7: Ilustrace modulu vertikálního systému Graseko, zdroj: Autor (2023)

Obdobný systém jako vertikální systém Graseko® nabízí i firma Liko-S pod názvem PlantBox. PlantBox je systém modulů s automatickou zálivkou, přičemž jednotlivé květináče na sebe v horizontálním směru navazují a ve směru vertikálním na sebe navzájem dosedají díky jednoduchým zámčkům (LIKO-S, 2021). Jednotlivé moduly se kotví přímo do nosné zdi nebo mohou být připevněny k samonosné konstrukci.

II. BIOTILE® – Liko-S

Jedná se o hydroponický modulární systém vegetačních panelů vyplněných hydrofilní, minerální (nejčastěji čedičovou) vlnou (Obr. 8), jež díky svým vlastnostem zamezuje změně tvaru panelu, časem minimálně degraduje a poskytuje rostlinám ideální prostředí pro růst kořenů. Navíc je minerální vlna velmi lehká, dokáže pojmout velké množství vody a zároveň si udržet dostatečnou vzdušnost. Díky segmentovému dělení je k osazeným rostlinám rovnoměrně distribuována voda a živiny. Tento systém lze použít jak ve venkovním, tak i ve vnitřním prostředí.



Obrázek 8: Ilustrace BIOTILE, převzato z: Madre et al. (2015)

Díky automatické závlaze a patentovanému systému kapkového zavlažování, jež je zcela schován uvnitř struktury živé stěny, umožňuje systém BioTile® pěstovat rostliny, které vyžadují různou úroveň závlahy, hned vedle sebe (LIKO-S, 2021).

3.3. Rostliny vhodné pro vertikální zahrady

Mezi rostliny vhodné pro vertikální zahrady, kterým se daří v mírných klimatických podmínkách lze zařadit tyto druhy.

Latinský název	Český název	Latinský název	Český název
<i>Achillea</i>	řebříček	<i>Geranium</i>	kakost
<i>Alchemilla</i>	kontryhel	<i>Heuchera</i>	dlužicha
<i>Berberis thunbergii</i>	dřišťál Thunbergův	<i>Iris japonica</i>	kosatec japonský
<i>Campanula sp.</i>	zvonek	<i>Lonicera nitida</i>	zimolez lesklý
<i>Carex sp.</i>	ostřice	<i>Polypodium</i>	osladič
<i>Cotoneaster dammeri</i>	Skalník Dammerův	<i>Polystichum</i>	kapradina
<i>Dianthus</i>	hvozdík	<i>Saxifraga</i>	lomikámen
<i>Fragaria sp.</i>	jahodník	<i>Sedum</i>	rozchodník
<i>Geranium</i>	Kakost	<i>Stachys</i>	čistec

Tabulka 2: Vybrané druhy rostlin vhodné pro vertikální zahrady, data převzata z: (Blanc, 2008; Burian, 2022; Graseko, 2023; Pejchal, 2011)

4. Význam vertikálních zahrad

Není sporu o tom, že zeleň přispívá ke kvalitě městského klimatu a životního prostředí. Zeleň obecně obohacuje vizuální, estetické i sociální aspekty městských oblastí a tvoří přívětivější protiváhu k mase *betonové* zástavby a komunikací.

4.1. Ochlazení městského prostředí

Hlavní význam zelených stěn, na který se tato práce zaměřuje, je jejich vliv na ochlazování v prostředí urbanizovaných částí měst. Lze předpokládat, že čím hustěji obydlené město, tím méně prostoru pro přirozenou vegetaci se v něm nachází (Manso et al., 2018). To může být zapříčiněné i tím, že se stále více prostoru přiděluje budovám, parkovištím, chodníkům a dalším umělým, nepropustným plochám. Ztráta vegetace a vysoké množství zastavěných povrchů má za následek vznik specifického městského klimatu. Tento fenomén se projevuje změnami v místním klimatu, proudění vzduchu a vzniku tzv. městského tepelného ostrova (Urban Heat Island – UHI).

Bez chybějící vegetace, která jinak poskytuje stínění a zajišťuje skrze svá stomata evapotranspiraci¹¹, dochází pouze v omezené míře k přirozenému ochlazování města, což vede ke zvýšeným teplotám uvnitř města oproti okolním venkovským krajinám.

4.1.1. Městský tepelný ostrov

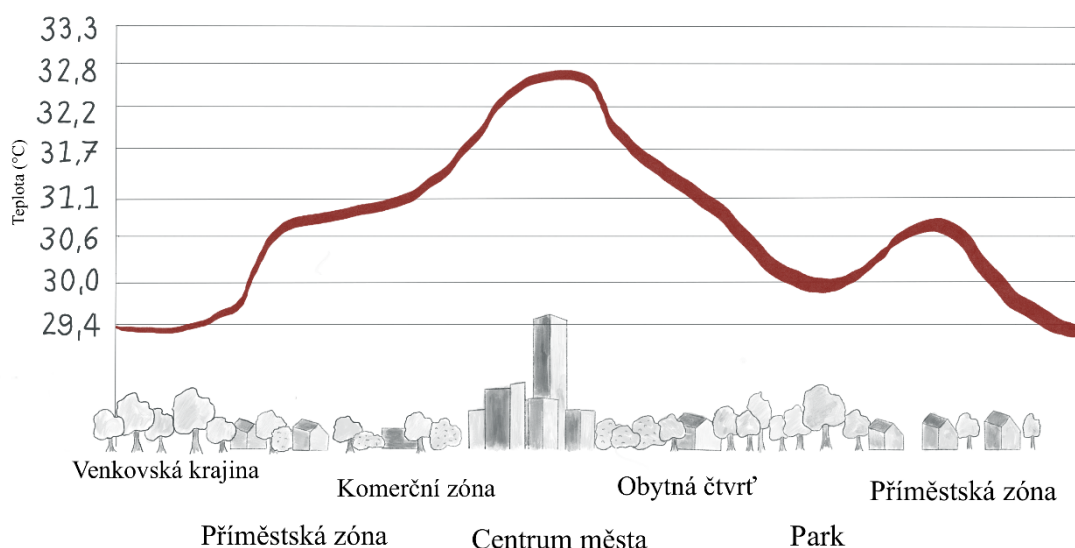
Městský tepelný ostrov je definován jako: „oblast zvýšené teploty vzduchu v mezní a přízemní vrstvě atmosféry nad městem nebo průmyslovou aglomerací ve srovnání s okolní, venkovskou krajinou“. (Meteorologický slovník výkladový a terminologický, 1993) Tepelné ostrovy vznikají v městských a příměstských oblastech, jež mají svou specifickou geometrii, zároveň se v městské atmosféře vyskytuje zvýšené množství aerosolů a většina běžně vyskytujících se stavebních materiálů (asfalt, beton, ...) má vysokou tepelnou kapacitu, která podmiňuje větší akumulaci tepla. Současně jsou tyto materiály nepropustné, a to má za následek rychlý odtok vody, nízkou vlhkost vzduchu a nedostatek vody pro výpar a s tím

¹¹ Evapotranspirace popisuje proces, při kterém rostliny absorbují vodu svými kořeny a vylučují ji svými listy. Tím, že tento proces využívá vzdušné teplo k odpařování vody, přispívají rostliny nejen ke snížení teplot, ale i ke zvlhčování suchého městského vzduchu (Price et al., 2015).

souvisejícího odvádění slunečního tepla. K tomuto fenoménu nepřispívá ani nedostatek propustných zelených ploch a teplo produkované antropogenními činnostmi. S takto zastavěnými povrchy, navíc většinou s nízkým albedem¹², se sluneční energie mění na již dále nevyužitelné, zjevné teplo, jež zvyšuje teplotu městského prostředí. To má evidentní negativní efekt nejenom na životní prostředí, ale i na blahobyt a zdraví obyvatel měst (Burian, 2022; Gartland, 2008; Pokorný et al., 2018).

Pokorný (2018) ve své práci zmiňuje, že i přesto, že se v průběhu roku intenzita UHI mění, zejména díky „změnám intenzity slunečního záření, změnám vlastností povrchu, i v důsledku proměnlivosti povětrnostních charakteristik“ (Pokorný et al., 2018, s. 26), problematika městského klimatu se stává stále palčivějším tématem, jelikož s ním souvisí i častější výskyt extrémně vysokých teplot v období letních měsíců. „Intenzita tepelného ostrova města se hodnotí velikostí rozdílu mezi teplotou vzduchu ve městě a v okolní krajině. Nejvyšší je zpravidla v nočních hodinách, za jasného počasí a bezvětrí.“ (Lehnert et al., 2023, s. 12) V tomto období se může průměrný teplotní rozdíl mezi městem a okolní venkovskou krajinou pohybovat mezi 1 až 4 °C (Obr. 9). Obecně lze tvrdit, že intenzita tepelného ostrova se zvyšuje s velikostí města, avšak záleží při tom na konkrétním charakteru města a okolní krajiny (Lehnert et al., 2023).

Profil městského tepelného ostrova



Obrázek 9: Profil městského tepelného ostrova

Poznámka: Tento graf zobrazuje rozdíl v teplotách mezi městem a okolní venkovskou krajinou. Ilustrace vytvořená autorem. Data převzata z: The Copernicus Climate Change Service (<https://climate.copernicus.eu/demonstrating-heat-stress-european-cities>)

¹² Použití materiálů s vysokým albedem snižuje množství slunečního záření absorbovaného budovami a udržuje jejich povrch chladnější (Price et al., 2015).

4.1.2. Zelené stěny jako řešení

Jedna z nabízejících se možností, jakou lze snížit teplotu ve městských tepelných ostrovech, je větší množství zeleně ve městech. Vegetace je klíčovým aktérem při ovlivnění městského mikroklimatu. Při ozelenění zastavěných ploch nejen, že poskytuje stín, snižuje také odražené teplo a skrze listy dochází k evapotranspiraci. Zároveň je značné množství slunečního záření využito pro růst a další biologické funkce.

„V prostředí s nedostatkem/absencí vegetace a vody, s převahou zpevněných povrchů, je dopadající záření přeměněno především na zjevné teplo, které zvyšuje teplotu prostředí. V případě povrchu s vegetací dostatečně zásobené vodou je naopak sluneční záření transformováno evapotranspirací do latentní složky tepla. Sluneční energie se váže ve vegetaci zásobené vodou prostřednictvím rostlin a vody do vodní páry. Během dne své okolí chladí výparem vody (evapotranspirací) a v noci se skupenské teplo vodní páry uvolňuje.“ (Pokorný et al., 2018, s. 27)

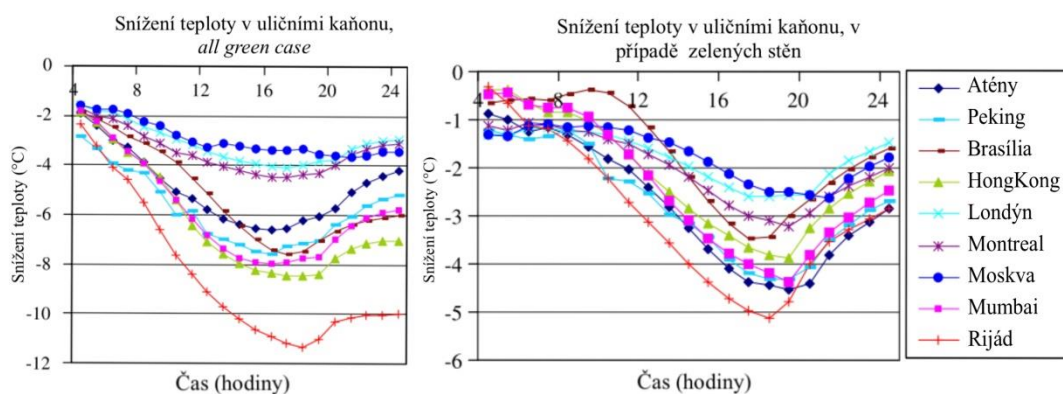
Jelikož ve většině měst chybí plošné rezervy pro zakládání nové zeleně, zelené střechy a fasády nabízí možné řešení tohoto problému. Jejich výhodou jsou „minimální půdorysné nároky, za současné schopnosti vytvořit velkou nadzemní hmotu. I ve stísněné městské zástavbě v místech, kde nelze pro jinou zeleň najít místo, jsou tak zelené fasády schopné vyplnit prostor zelení.“ (Burian, 2022, s. 15) Možnosti, jakými mohou ochlazovat místní teplotu jsou hned dvě. Za první, zdi, jež se skrývají za zelenou stěnou budou absorbovat méně tepelné energie a za druhé, zelené fasády a zelené střechy budou ochlazovat zahřátý vzduch skrze již zmíněnou evapotranspiraci (Ottelé, 2011).

Z výzkumu prováděného Alexandri a Jonesem (2008), za použití dvou dimenzionálního, predikčního modelu¹³ je patrné, že kombinace zelených střech a zelených stěn vede k nejefektivnějšímu snížení teploty uvnitř městského tepelného ostrova. To lze vysvětlit tím, že když jsou vegetací pokryty pouze stěny, vstupuje do přízemních vrstev vzduch ohřátý od tradičních střech, jež pohlcují poměrně velké

¹³ V tomto případě je nutné podotknout, že se při výzkumu použil značně utopistický scénář, jež zavádí zelené střechy a stěny na značnou část města.

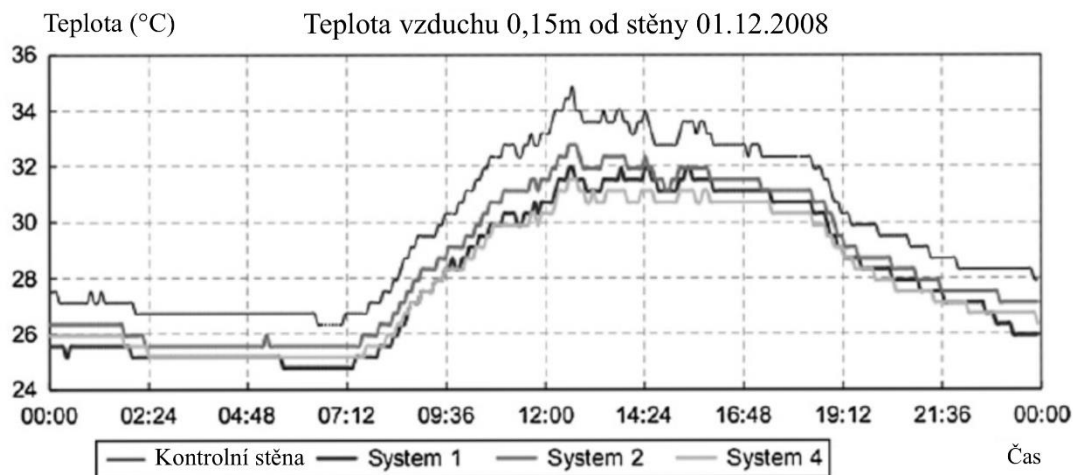
množství letního oslunění. Na druhou stranu, když jsou pokryty vegetací nejen stěny, ale i střechy, do přízemních vrstev vstupuje již mnohem chladnější vzduch, a to právě díky primárnímu ochlazení prostřednictvím zelených střech (Alexandri & Jones, 2008, s. 285–286).

Z naměřených hodnot lze konstatovat (Graf 1 a 2), že čím teplejší a sušší je klima, tím větší vliv má vegetace na teplotu ve městech. Příkladem bylo město Rijád (Saudská Arábie), kde v případě využití vertikálních zahrad byly naměřené teploty v průměru o 9,1 °C nižší oproti holým zdem. Nejmenší význam měly zelené stěny v chladnějších klimatických oblastech (Londýn, Moskva anebo Montreal), kde průměrné denní hodnoty klesly v případě použití pouze zelených stěn o 2 °C, přičemž rozdíly v teplotách v případě *all green case* tzn. zelené střechy dohromady se zelenými stěnami, byly naměřené mezi 3 °C až 3,8 °C (Alexandri & Jones, 2008).

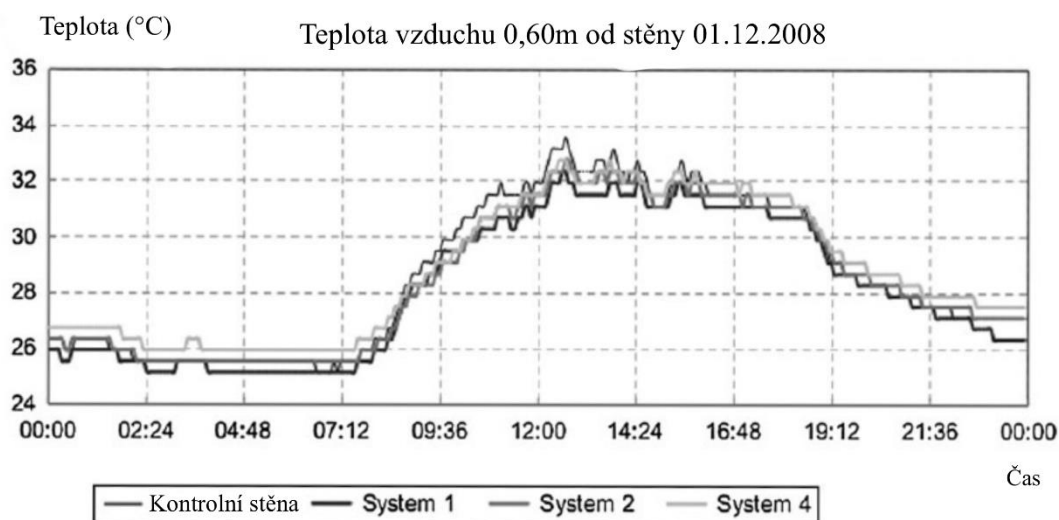


Graf 1 a Graf 2: Snížení teploty v uličním kaňonu v případě použití zelených stěn a "all green case", převzato z Alexandri a Jones (2008)

Co se týče výzkumu tří vertikálních zahrad v Singapuru, jež byl proveden Wong et al. (2010, s. 670–671), je z něj patrné, že vertikální zahrady ovlivňují do určité míry teplotu povrchu (maximálně o 11,58 °C v případě *systemu živé stěny* a 4,36 °C v případě *zelené fasády*), ke kterému jsou připevněné. Nicméně vliv na okolní teplotu je minimální a měřitelný do vzdálenosti nanejvýš 0,6 m od povrchu vertikální zahrady, přičemž snížení teploty okolního vzduchu o 3,33 °C bylo znatelné ve vzdálenost 0,15 m. Pro lepší ilustraci jsou zde přiloženy grafy 3 a 4, jež zobrazují rozdíl mezi teplotou vzduchu v dosahu zelené fasády a teplotou vzduchu u kontrolní zdi.



Graf 3: Rozdíl mezi teplotou okolního vzduchu 0,15 m od zelené stěny a teploty u kontrolní stěny, převzato z Wong et al. (2010)



Graf 4: Rozdíl mezi teplotou okolního vzduchu 0,60 m od zelené stěny a teploty u kontrolní stěny, převzato z Wong et al. (2010)

Ke stejnému závěru dochází i Ottelé (2011, s. 40–41), jež tvrdí že ve vzdálenosti 1 m od vertikální zahrady nelze rozlišit žádný teplotní rozdíl. Obdobně Perini et al. (2011) nezjistili žádnou výraznou změnu v okolní teplotě pomocí zelených fasád a živých stěn v mírném nizozemském podnebí. Z dalšího výzkumu prováděného Manso et al. (2021, s. 7) vychází, že zelené fasády a vertikální zahrady mohou přispět ke snížení teploty ve městech v průměru o 1,37 °C, zejména pak mohou nabývat na významu v teplejších a sušších oblastech.

Z nejnovějších výzkumů prováděných na území Prahy (Geletič et al., 2022; Lehnert et al., 2023) je patrné, že „efekt zelených stěn je velmi malý a omezuje se na okolí jednotek metrů.“ (Lehnert et al., 2023, s. 14) Výsledky prokázaly, že obecně

očekávaná účinnost zelených stěn při řešení vysokých teplot na úrovni měst je velmi sporná, přičemž se omezuje především na povrchovou teplotu (Geletič et al., 2022).

Ačkoliv nelze z uvedených výzkumů prokázat znatelný vliv vertikálních zahrad na okolní teplotu, je jisté, že hrají důležitou roli při působení na vlastnosti samotných budov. Vertikální zahrady zlepšují energetickou bilanci budov, s čímž souvisí snížení spotřeby energie, kdy v letních měsících brání před přehříváním a v zimě mohou přispívat k jejich izolaci. Díky stínění a tepelné izolaci, kterou poskytují zelené fasády, lze očekávat mnohem nižší povrchovou teplotu jejich podkladu. Mnohé studie uvádějí snížení povrchové teploty mezi 6 až 12 °C (Hoelscher et al., 2016; Ottelé, 2011; Pérez et al., 2011; Wong, Kwang Tan, Chen, et al., 2010).

4.2. Význam zelených stěn na úrovni budov

Zelené fasády a systémy zelených stěn vytváří své specifické mikroklima, poměrně odlišné od okolního prostředí. Díky tomuto specifickému mikroklimatu je ovlivňována nejen samotná budova, ale i její okolí. V závislosti na výšce, orientaci a umístění okolních budov je fasáda vystavena neustále extrémním vlivům teploty (tepelné výkyvy v průběhu dne a noci). Přičemž klima na fasádě by se dalo přirovnat k suchému nebo horskému klimatu a je vhodné pouze pro specifické a odolné druhy rostlin (Ottelé, 2011). Z literatury (Davis & Hirmer, 2015) lze identifikovat čtyři hlavní mechanismy, jakými vertikální zahrady ovlivňují své nejbližší okolí:

- a) Ochrana před slunečním zářením, jež poskytuje vegetace a substrát.
- b) Stínění.
- c) Evapotranspirace.
- d) Snížení vlivu větru na budovu díky *ochranné bariéře*, jež poskytují vertikální zahrady.

A teď podrobněji. Jednou z významných vlastností zelených stěn je zabránění přístupu přímého slunce k fasádě objektu. Toto blokování slunečního záření zajišťuje snížení teploty uvnitř domu, což je výhodou zejména v letních měsících. Zastínění listy, má zároveň největší vliv na úsporu energie, kdy ve dne zabraňuje přehřívání budovy a v noci brání vyzařování energie z povrchu fasády (Besir & Cuce, 2018; Hoelscher et al., 2016). Důsledek je zcela zásadní, tepelné výkyvy povrchu fasády, které mohou u holé zdi dosahovat i několika desítek stupňů Celsia se snižují na

minimum (Burian, 2022). Z toho vyplývá, že díky použití zelených stěn lze výrazně ušetřit energii jinak potřebnou na klimatizaci budov a každé snížení teploty vnitřního vzduchu o 0,5 °C, sníží spotřebu elektrické energie na klimatizaci až o 8 % (Dunnett & Kingsbury, 2008).

Výzkum provedený Coma et al. (2017) ve španělském městečku Puigverd de Lleida, potvrzuje vysoký potenciál, jak vertikálních zahrad, tak i zelených fasád při úspoře energie v letních měsících. Kontrolní vertikální zahrada poskytla nejvyšší chladicí výkon a dosáhla úspory 58,9 %, zatímco zelená fasáda představovala snížení o 33,8 % ve srovnání s referenční budovou, s nastavenými podmínkami vnitřního komfortu 24 °C. Výzkum byl prováděn i v zimních měsících, přičemž výsledky prokázaly úsporu energie během období vytápění pouze u vertikální zahrady a to o 4,2 %.

Co se týče zmíněných výzkumů, většina z nich pracuje s vertikálními zahradami a jejich účinky na ochlazování obecně. Každopádně je zde vhodné podotknout, že i volba specifického druhu rostlin může mít zásadní vliv na výslednou teplotu. Jak Cameron et al. (2014) ve své práci zdůrazňují, nejen, že volba druhů rostlin může ovlivnit způsob jakým daná rostlina chladí své okolí (stínění nebo evapotranspirace), také míra ochlazování může být silně ovlivněna individuálními vlastnostmi rostlin. Z toho vyplývá, že ne všechny druhy rostlin ochlazují své okolí ve stejné míře nebo stejným způsobem. Z experimentu vyšlo, že nejlepší chladicí schopnosti mají druhy *Hedera* a *Stachys*. Pokud jde o porovnání jejich vlastností *Hedera* poskytovala chlazení převážně prostřednictvím stínění, naopak u *Stachys* byly dokázány chladicí účinky nejen pomocí stínění, ale i díky evapotranspiraci (Cameron et al., 2014). Mezi další druhy, jež byly v experimentu použity, patří *Jasminum* a *Lonicera*, které své okolí chladí rovněž pomocí stínění. Naopak *Fuchsia* velmi silně závisela na evapotranspiraci.

Další vlastností, jež s použitím zelených stěn souvisí, je vznik vrstvy stojatého vzduchu mezi fasádou a hustou vrstvou vertikální zeleně. Tato vrstva stojatého vzduchu má izolační účinky, tudíž mohou zelené stěny sloužit jako *extra izolační vrstva* při zateplení fasády. Avšak je nutné zdůraznit, i přestože vertikální ozelenění může napomoci izolačním vlastnostem budovy, izolační materiál (např. polystyren, minerální vata) je stále nejvíce účinný a vegetaci nelze zcela nahradit (Ottel, 2011).

S izolační funkcí, zelených stěn souvisí i funkce ochranná. Následkem pnutí způsobeného rychlým kolísáním teplot, působením polutantů v ovzduší (zejména ozonu a oxidů uhlíku a dusíku) a také vlivem UV záření, mohou v průběhu času některé stavební materiály degradovat. Zelená fasáda této degradaci účinně brání tím, že snižuje teplotní výkyvy, chrání fasádu před vlivem polutantů a snižuje množství UV záření, jež dopadá na fasádu objektu. Čím hustší a silnější je vrstva rostlin na zelené fasádě, tím jsou tyto účinky příznivější. To se poté odráží na zvýšení ekonomické hodnoty objektu (Burian, 2022; Ottelé, 2011).

Význam vertikálních zahrad se neprojevuje pouze v rovině teplotní. S výskytem zeleně ve městech souvisí i další podstatné výhody. Patří mezi ně zlepšení kvality ovzduší, také fungují jako protihluková bariéra (Radić et al., 2019), podílí se na zvýšení biodiverzity (Köhler, 2008) a v neposlední řadě ovlivňují estetickou hodnotu místa a tím i pozitivně působí na lidskou psychiku.

4.3. Zlepšení kvality vzduchu

Hlavní způsob, jakým vegetace a zelené stěny zlepšují kvalitu ovzduší, je pohlcování prachových částic (PM¹⁴) a absorpce plynných znečišťujících látek (mezi něž patří: CO₂, oxidy dusíku, SO₂, amoniak nebo těkavé organické látky – VOC's). Prachové částice (PM) jsou všechny rozptýlené pevné částice v atmosféře, jejichž velikost je menší než 10 μm. Mohou se lišit svým původem a vlastnostmi a tvoří se ze sazí, půdy, prachu, spalin, mořské soli, rostlinného materiálu, spor a pylu. Prachové částice a zejména ty nejmenší z nich jsou jedním z nejškodlivějších aspektů znečištění ovzduší, jelikož ohrožují lidské zdraví a vyskytují se převážně v husté městské zástavbě. Obecně platí, že čím jsou částice menší, tím hlouběji pronikají do dýchacího systému, odkud se dále dostávají do krve. Takto způsobují respirační a/nebo kardiovaskulární onemocnění (Ottelé, 2011). Největším zdrojem antropogenních prachových částic jsou doprava a průmysl, avšak stavebnictví a zemědělství jsou také výraznými původci.

Povrch listů a další vegetativní orgány rostlin poskytují prostor, na kterém může docházet k zachycení prachových (PM) a dalších znečišťujících částic. Na povrchu listů dochází k depozici oxidů dusíku a oxidů síry, které se přemění na nitráty a

¹⁴ Particulate matter.

sulfáty v rostlinné tkáni. Oxid uhličitý je prostřednictvím rostlinných stomat využíván při fotosyntéze, přičemž výsledkem reakce je vázaný uhlík ve formě glukózy a do atmosféry uvolněný kyslík (Burian, 2022; Perini, Ottelé, Haas, et al., 2011).

Zlepšení kvality ovzduší díky zeleným fasádám má v prvé řadě přímý přínos pro osoby, jež trpí dlouhodobými onemocněními. Zároveň dochází ke snížení tvorby smogu a také se mohou snížit problémy související s degradací městské infrastruktury, která je náchylná k poškození v důsledku znečištění ovzduší (Ottelé, 2011).

Je důležité podotknout, že u zjišťování schopnosti vertikálních zahrad ovlivnit kvalitu ovzduší záleží, tak jako u zjištění jejich ochlazovací funkce, na specifickém druhu rostlin, jež je k tomuto účelu použita. Například rostliny s menšími listy či s listy s voskovitou vrstvou na povrchu mají vyšší potenciál při odstraňování PM z atmosféry než listy širší, či listy s trichomy (Perini et al., 2017; Radić et al., 2019). Mezi nejčastěji zkoumané rostliny patří *Hedera helix* (Ottelé, 2011; Radić et al., 2019; Sternberg et al., 2010), ale i jiné druhy se dostávají do zájmu výzkumníků, například *Cistus*, *Phlomis fruticosa* nebo *Trachelospermum jasminoides* (Perini et al., 2017).

4.4. Protihluková bariéra

Podle zprávy Evropské agentury pro životní prostředí (EEA) je v současnosti nejméně jeden z pěti Evropanů (cca 20%, což odpovídá asi 100 milionům lidí) vystaven hladinám hluku, které jsou považovány za zdraví škodlivé (European Environment Agency, 2020).

Silniční doprava je hlavním zdrojem hlukového znečištění v Evropě a předpokládá se, že v příštím desetiletí se hladina hluku v městských i venkovských oblastech v důsledku růstu měst a zvýšené poptávky po mobilitě ještě zvýší.

Ve většině evropských zemí je více než 50 % obyvatel městských oblastí vystaveno hluku ze silniční dopravy, jehož hladina dosahuje 55 dB a více v období den-večer-noc. Podle Světové zdravotnické organizace (WHO) je pravděpodobné, že při takové úrovni hluku a zejména při dlouhodobém vystavení, může mít hlukové znečištění

nejrůznější dopady na zdraví člověka. Lze mezi ně zařadit chronické poruchy spánku, stresová reakce organismu, na kterou se vážou negativní účinky na kardiovaskulární a metabolický systém, taktéž může způsobovat poruchy kognitivních funkcí u dětí. A v neposlední řadě mohou lidé trpět kvůli nadměrnému vystavení hluku tzv. *chronickým obtěžováním hlukem*¹⁵ (European Environment Agency, 2020).

Reakcí na vzniklý stav přijímají jednotlivé země za účelem řešení problémů s hlukem různá opatření. Jedním z nich jsou takzvané *tiché oblasti*, většinou parky a jiné zelené plochy, kam se lidé mohou uchýlit před hlukem města. S čímž souvisí i možný protihlukový efekt zelených stěn. Rostliny mohou totiž snížit hlukové znečištění tím, že pohlcují, odrážejí a rozptylují zvuk. Zdá se však, že účinnost závisí na typu rostlin, hustotě výsadby, umístění a frekvenci zvuku (Medl et al., 2017; Ottelé, 2011). Ze zjištění Wong et al. (2010) je patrné, že při nižších frekvencích absorbuje akustickou energii spíše substrát; avšak při vyšších frekvencích mají lepší účinek samotné rostliny.

Z výzkumu prováděného Pérez et al. (2016) bylo prokázáno, že tenká vrstva vegetace (20-30 cm) byla schopna zajistit zvýšení zvukové izolace o 1 dB v případě silničního hluku (v případě využití vertikální zahrady i zelené fasáda) a také zvýšení izolace o 2 dB (u vertikální zahrady) a až 3 dB (u zelené fasády) při působení růžového hluku. Kromě toho platí, že podíl na tlumení hluku se zvyšuje s větším pokrytím zelení.

4.5. Zvýšení biodiverzity

Nezbytnost biologické rozmanitosti pro zachování stability ekosystémů je velmi dobře známá, stejně jako lidská neochota omezit využívání zdrojů v měřítku, jež by výrazně zpomalilo úbytek rostlinných a živočišných druhů. Přičemž ochrana přírody se stále z velké části soustřeďuje na *nevyužívanou* půdu, která se skládá z oblastí vyčleněných pro ochranu před zástavbou nebo přímým využíváním (*přírodní rezervace*), a na obnovu nebo rehabilitaci degradovaných ekosystémů. Francis a

¹⁵ „Jako obtěžování je označován psychický stav vznikající při mimovolném vnímání vlivů, ke kterým má jedinec zamítavý postoj a na které reaguje pocity odporu, podrážděnosti a v některých případech až psychosomatickými poruchami. Pro zjednodušení se označují jako obtěžování i ostatní negativní emoce v souvislosti s hlukem (zlost, nespokojenost, úzkost a rozrušenost).“ (Státní zdravotní ústav, 2023)

Lorimer (2011) ve své práci zmiňují výklad Rosenzweiga, jež se ke zmiňovanému fenoménu vyjadřuje takto:

„[...] celosvětová plocha půdy, která je k dispozici pro chráněné rezervace a obnovu, sama o sobě nestačí na to, aby se dalo zabránit nadcházející kaskádě vymírání druhů [...] Jako realističtější a praktičtější řešení navrhuje *třetí směr* ochrany přírody (vedle rezervací a obnovy poničených ekosystémů) označovaný jako *ekologie usmíření*. Jedná se o úpravu a diverzifikaci antropogenních stanovišť tak, aby podporovala větší škálu druhů, aniž by bylo ohroženo využívání krajiny“ (Rosenzweig 2003 ve Francis a Lorimer 2011, 1429)

Aplikace *ekologie usmíření* je obzvláště důležitá ve městech, která: vykazují vysoce modifikované prostředí; obsahují většinu lidské populace, a jsou tedy místem, kde dochází k interakci většiny lidí s mimolidským prostředím; jsou centry národní a mezinárodní politické, ekonomické a kulturní moci. Francis a Lorimer (2011) dále zmiňují větší zohlednění umělých městských biotopů, jako jsou zdi a chodníky, jako analogických stanovišť, pro rostlinné druhy ze srovnatelných přírodních biotopů (v tomto případě se může jednat například o skalní stěny a útesy). Avšak tyto druhy nemusí být schopny kolonizovat takové biotopy kvůli omezením jejich disperzních schopností (Francis & Lorimer, 2011). Zelené stěny by se v tomto případě daly považovat za napodobeninu přírodních vertikálních stanovišť, jako jsou skály porostlé popínavými rostlinami nebo vegetací porostlé vodopády, které vytvářejí potenciální analogická stanoviště pro organismy.

Problematická může být i skutečnost, že příroda a zeleň ve městech se obvykle soustřeďují v předem vyznačeném a omezeném prostoru. Zpravidla se mezi městskou zelenou infrastrukturu zahrnují parky, zahrady, řeky a jejich okolí. Správné fungování jednotlivých ekosystémů ovlivňuje jejich izolovanost a roztříštěnost. Populace jednotlivých druhů jsou v důsledku toho od sebe odděleny různými překážkami. Proto je důležité ve městech vytvořit síť zelených koridorů, které na sebe budou strategicky navazovat, a tak i chránit biologickou rozmanitost druhů ve městech. Dobře propojená síť zelených koridorů, zvýší stabilitu městské biologické rozmanitosti tváří v tvář zvýšeným disturbancím, jelikož propojenost je klíčová pro odolnost biodiversity vůči změnám (Collins et al., 2017). Při tvorbě takových

koridorů mohou vedle uličních stromořadí, malých parčíků či zelených střech hrát významnou roli i zelené fasády, jež poskytují optimálnější životní podmínky pro živočichy a mohou napomáhat při migraci a styku jednotlivých populací (Burian, 2022; Collins et al., 2017).

Přítomnost zelených stěn může výrazně přispět ke zlepšení biologické rozmanitosti v městských oblastech, které by jinak byly zastavěné pouze holými zdmi. Nejen, že mohou poskytovat hnízdiště či úkryt pro různé druhy ptactva, výzkumy také prokázaly přítomnost široké škály druhů hmyzu, jež jsou dále zdrojem potravy pro ptactvo, netopýry a další živočichy (Bustami et al., 2018; Dunnett & Kingsbury, 2008).

Výzkum prováděný Madre et al. (2015) v Paříži prokázal, že se zelené stěny jeví, oproti holým zdem, jako příležitost k posílení výskytu hmyzu ve městech. Madre et al. (2015, s. 230) dochází k závěru, že typ ozelenění fasády zjevně ovlivňuje druhovou i početní skladbu brouků a pavouků¹⁶. Přičemž zelené fasády připomínají biotopy podobné útesům (jsou teplé a suché) s výskytem florikolních a xerofilních společenstev, kteří se živí hlavně rostlinami a květinami. Naopak plošné a modulární vertikální zahrady tvoří spíše vlhké a chladné biotopy podobné vodopádům, kde lze počítat s mnohem častějším výskytem hygrofilních organismů, včetně mnoha brouků z čeledi hlodníkovitých (*Latridiidae*).

4.6. Estetická hodnota & pozitivní vliv na lidskou psychiku

Už jen kvůli množství holých zdí představuje široké využití systémů vertikálního ozelenění nejen velký potenciál pro zmírnění efektu městského tepelného ostrova, ale také velmi účinný způsob přeměny městské krajiny.

Opakovaně se potvrdilo, že městská zeleň příznivě ovlivňuje duševní pohodu obyvatel. Snižuje stres, deprese a s tím i pocit úzkosti a smutku. Také podporuje smyslové vnímání, paměť, pozornost, schopnost se soustředit a logické myšlení. Co se týče zaměstnanců v kancelářském prostředí snižuje stres z pracovní vypětí

¹⁶ Celkem bylo zaznamenáno 62 druhů – kdy největší zastoupení měla snovačka oválná (*Enoplognatha ovata*), křížák okenní (*Zygiella x-notata*), brouci z rodu *Aphthona sp.* a z čeledi hlodníkovitých (*Latridiidae*)(Madre et al., 2015, s. 224).

(Plesník & Plesníková, 2018). Také bylo prokázáno, že zeleň může usnadnit rychlejší zotavení pacientům v nemocnici (Ulrich, 1984).

Vzhledem k tomu, že vegetace je uznávána pro své léčebné účinky (Plesník & Plesníková, 2018), je lidský komfort obvykle spojován se smyslovými aspekty. Vertikální zahrady pozměňují subjektivní vnímání okolí a narušují jednotvárnost zástavby. V tomto smyslu mohou zelené stěny přispět k městské vybavenosti, a vyvolávat tak symbolické hodnoty a estetické emoce z přítomnosti přírodní krajiny v městském kontextu. V důsledku toho se v přítomnosti zeleně stává městský zážitek pro občany podnětnějším, jako například v příkladu využití zelených stěn k novému pojetí starých průmyslových areálů, které přispívají ke skrytí nevzhledných nebo nudných povrchů a ke zlepšení stávajících prvků, čímž se zvyšuje jejich vizuální hodnota. Více než jen zeď pokrytá popínavými rostlinami je možné vytvořit živé plochy, které mohou měnit barvy, rozmanitost, tvar i svůj obraz v závislosti na ročním období. Avšak výběr druhů rostlin by neměl být založen pouze na vizuálních vlastnostech, ale také na funkčních aspektech, jako je přizpůsobivost rostlin místnímu klimatu, rozdíly v mrazuvzdornosti, velikosti, vitalitě apod. (Virtudes, 2016).

5. Diskuze

Kromě výše popsaných environmentálních benefitů, které zelené stěny do městského prostředí přinášejí, není nakonec zcela zřejmé, do jaké míry jsou udržitelné. Zejména pokud jde o systémy živých stěn. Ačkoliv systémy živých stěn umožňují využití širší škály rostlinných druhů a nabízí téměř okamžitý účinek, ve srovnání s jinými způsoby, jakými lze dostat zeleň do měst, vytváří mnohem větší zátěž pro životní prostředí (Ottelé et al., 2011). Spotřeba pitné vody a hnojiv, materiály potřebné pro jejich konstrukci, trvanlivost, recyklační potenciál a také životnost vegetace. Všechny tyto aspekty ovlivňují jejich dopad na životní prostředí (Cameron et al., 2014; Manso & Castro-Gomes, 2015; Perini, Ottelé, Haas, et al., 2011; Riley, 2017).

Pro zjištění, jakou zátěž mají jednotlivé systémy na životní prostředí, provedl Ottelé et al. (2011) *analýzu jejich životního cyklu*¹⁷, jež se zaměřila na přímé a nepřímé zelené fasády a také na modulární i plošné systémy živých stěn. Ottelé et al. (2011, s. 3428) ve své studii zjistili, že neudržitelnější metodou ozelenění jsou vždy přímé zelené fasády, které nevyžadují žádnou oporu a zároveň téměř minimální zavlažování, dodávání živin nebo výměnu rostlin. U nepřímých zelených fasád, má největší environmentální zátěž nosná konstrukce, pokud je tvořena nerezovou ocelí, jež má desetkrát větší dopad než použití jiných recyklovaných materiálů (Ottelé et al., 2011, s. 3424). Dále bylo zjištěno, že ač mají modulární vertikální zahrady značnou zátěž na životní prostředí, použité materiály pozitivně ovlivňují energetickou bilanci budovy, čímž svou environmentální stopu do jisté míry vyrovnávají. Za nejvíce problematický systém lze podle výsledků studie označit plošné vertikální zahrady¹⁸. Jak Burian podotýká: „Cenou za přínos vertikálních zahrad pro mikroklima prostředí, za jejich estetický přínos a možnost použití

¹⁷ Life Cycle Analysis (LCA)

¹⁸ S tím souvisí závislost plošných vertikálních zahrad na energetických zdrojích, díky kterým se ovládají čerpadla, čidla a ovládací elektronika. Nutná je pravidelná péče a je vyžadován značný objem vody pro závlahu. Firma Graseko tradičně provádí údržbu dvakrát za rok – na jaře a na podzim, přičemž doplní odumřelé rostliny (roční úhyn představuje cca 5 % rostlin), upraví vzhled celé zahrady a doplní hnojivo s postupným uvolňováním živin, jež poté působí po dobu 6 měsíců (Graseko, 2023). Cena za údržbu se může pohybovat mezi 8,5 % až 1/3 částky z pořizovací ceny (Riley, 2017, s. 221). Jelikož i nejlépe navržený systém s vhodně vybranými rostlinami se bez údržby neobejde.

v libovolné výšce, jsou vysoké pořizovací a provozní náklady¹⁹ a nároky na velké množství závlahové vody.“ (Burian, 2022, s. 63)

Systémy živých stěn jsou stále relativně nové odvětví a je nadále potřeba rozvíjet jejich technologie. S čím souvisí upřednostnění přírodních a recyklovaných stavebních materiálů, větší začlenění do celé stavby a také optimální využívání závlahové vody. Pro snížení potřeby zavlažování by měla být vegetace přizpůsobena také místnímu klimatu a povětrnostním podmínkám (Riley, 2017)

Klíčovým slovem je stále samozřejmě systém. Aby se vertikální zahrady staly skutečně udržitelné, začíná být jasné, že se musí změnit paradigmaty a přejít od prodeje jednoduché myšlenky "zelené stěny" k prodeji myšlenky celého systému, jež nabízí společně s estetikou i možnost recyklace šedé vody a/nebo zadržování dešťové vody (Riley, 2017).

Při správném hospodaření s vodou se mohou zelené stěny stát efektivní součástí městské modro-zelené infrastruktury²⁰. Přičemž „využití modro-zelené infrastruktury je prezentováno jako nový systém hospodaření s dešťovou vodou podporující retenci vody a její kvalitu v městské krajině spolu s přínosy pro veřejný prostor, pro adaptaci na klimatické změny a pro biodiverzitu.“ (Kopp et al., 2020, s. 7) Zároveň je modro-zelená infrastruktura koncipována jako systém, který se přibližuje přírodnímu oběhu vody a zároveň se snaží nebyť orientovaný na tradiční technická řešení odvádějící dešťovou vodu do kanalizačního systému. Cílem je propojovat zelenou infrastrukturu (organizovaný systém městské zeleně) a hospodaření s dešťovou vodou na území města (Kopp et al., 2020).

Při systematickém hospodaření s dešťovou vodou lze zlepšovat kvalitu městské krajiny a života občanů hned několika způsoby. Dle metodiky *Voda ve městě (Voda ve městě: Metodika pro hospodaření s dešťovou vodou ve vazbě na zelenou*

¹⁹ Co se týče pořizovací ceny, podle metodiky *Voda ve městě (Voda ve městě: Metodika pro hospodaření s dešťovou vodou ve vazbě na zelenou infrastrukturu*, 2021, s. 168) se cena za vertikální zahrady pohybuje okolo 17 000 Kč/m². Naopak cena za zelené fasády je někde kolem 15 Kč/m².

²⁰ Zelené stěny při zařazení do modro-zelené infrastruktury pomáhají hlavně svými zelenými částmi zachycovat a vypařovat dešťovou vodu. Přínosné se mohou stát zejména, pokud k závlaze využívají dešťovou vodu namísto vody pitné např. ze střechy budovy (*Voda ve městě: Metodika pro hospodaření s dešťovou vodou ve vazbě na zelenou infrastrukturu*, 2021).

infrastrukturu, 2021), správné hospodaření jednak umožňuje vsáknout vodu do půdy a tím zvyšovat půdní vlhkost a zároveň tím ovlivňovat množství podzemní vody. Druhou možností je vodu zadržovat nebo regulovaně odvádět do povrchových vod či kanalizace. Jelikož má zachycená voda možnost se vypařovat, zvyšuje tím vlhkost vzduchu a zároveň snižuje jeho teplotu. Což pozitivně ovlivňuje městské mikroklima a reguluje efekt městských tepelných ostrovů. Zadržanou vodu lze také využívat namísto pitné vody všude tam, kde to hygienické normy a předpisy i dostupná infrastruktura umožní, tedy třeba pro zalévání zeleně, kropení a čištění ulic či splachování toalet, a pitnou vodu tak šetřit (Voda ve městě: Metodika pro hospodaření s dešťovou vodou ve vazbě na zelenou infrastrukturu, 2021).

Závěr

Při představování problematiky vertikálních zahrad, byla nejprve nastíněna jejich historie a s ní i důležití autoři, kteří se zasadili o jejich současnou podobu. Ve druhé části byly popsány jednotlivé pěstební systémy, konstrukce pro zelené stěny a také vhodné rostliny pro naše klimatické podmínky. Při popisu zelených stěn došlo nejprve k rozdělení na dvě hlavní skupiny – na zelené fasády a na systémy živých stěn a ty byly dále rozděleny na menší podskupiny.

Ve třetí části se tato práce zaměřila na význam vertikálních zahrad pro městské prostředí a jejich ochlazovací funkci. Ačkoliv nelze z uvedených výzkumů prokázat znatelný vliv vertikálních zahrad na okolní teplotu, tato práce dochází k závěru, že hrají důležitou roli při ovlivňování dalších faktorů místního klimatu a také při působení na vlastnosti samotných budov. Vertikální zahrady zlepšují energetickou bilanci budov, s čímž souvisí snížení spotřeby energie, kdy v letních měsících brání před přehříváním a v zimě mohou přispívat k jejich izolaci. Také fungují jako protihluková bariéra, pomáhají při zlepšení kvality ovzduší, kdy na listech rostlin dochází k zachycování prachových částic. Zároveň poskytují životní prostor pro ptáky a hmyz a mohou vytvářet biokoridory mezi rozsáhlejšími zelenými plochami. V neposlední řadě do ulic přináší nový estetický rozměr, přičemž mohou pozitivně působit i na lidskou psychiku.

Při instalaci systémů živých stěn je nutné počítat s vysokou pořizovací cenou a environmentální zátěží, kterou s sebou jejich provoz přináší. Avšak jsou zde možnosti, jakými lze jejich zátěž snížit. Ať už používáním účinnějších závlahových systémů a snížením nebo vyloučením spotřeby pitné vody, s využitím jiných zdrojů vody, ať už je to voda šedá nebo dešťová. A zároveň konstrukční materiály by měly být recyklované či mít nízký environmentální dopad, aby se i systémy živých stěn staly udržitelnou variantou.

Bibliografie

- Alexandri, E., & Jones, P. (2008). Temperature decreases in an urban canyon due to green walls and green roofs in diverse climates. *Building and Environment*, 43, 480–493. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.10.055>
- Besir, A. B., & Cuce, E. (2018). Green roofs and facades: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 82, 915–939. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.09.106>
- Blanc, P. (1988). *Device for growing plants without soil on a vertical surface* (Patent Č. FR2634971A1). <https://patentimages.storage.googleapis.com/c8/31/09/e3f2fb0200c21d/FR2634971A1.pdf>
- Blanc, P. (2008). *The Vertical Garden: from nature to the city*. W. W. Norton & Company.
- Boeri, S. (2023). *Bosco Verticale*. <https://www.stefano-boeri-architetti.net/project/bosco-verticale/>
- Burian, S. (2022). *Ozelenění fasád - metodika*.
- Burian, S., & Onřej, J. (1992). *Oživená architektura (Ozeleňování budov)* (1. vyd.). FAHMA Praha.
- Bustami, R. A., Belusko, M., Ward, J., & Beecham, S. (2018). Vertical greenery systems: A systematic review of research trends. *Building and Environment*, 146, 226–237. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2018.09.045>
- Cameron, R. W. F., Taylor, J. E., & Emmett, M. R. (2014). What's „cool" in the world of green façades? How plant choice influences the cooling properties of green walls. *Building and Environment*, 73, 198–207. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2013.12.005>
- Collins, R., Schaafsma, M., & Hudson, M. D. (2017). The value of green walls to urban biodiversity. *Land Use Policy*, 64, 114–123. <https://doi.org/10.1016/j.landusepol.2017.02.025>
- Coma, J., Pérez, G., Gracia, A. de, Burés, S., Urrestarazu, M., & Cabeza, L. F. (2017). Vertical greenery systems for energy savings in buildings: A comparative study between green walls and green facades. *Building and Environment*, 111, 228–237. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.11.014>
- Dalley, S. (2013). *The Mystery of the Hanging Garden of Babylon: An Elusive World Wonder Traced* (1. vyd.). Oxford University Press.
- Davis, M. M., & Hirmer, S. (2015). The potential for vertical gardens as evaporative coolers: An adaptation of the „Penman Monteith Equation". *Building and Environment*, 92, 135–141. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2015.03.033>
- Dostálík, J. (2015). *Organická modernita Ekologicky šetrné tendence v československém urbanismu a územním plánování (1918–1968)* (EDIS). Masarykova univerzita.
- Dunnett, N., & Kingsbury, N. (2008). *Planting Green Roofs and Living Walls*.

Timber Press.

- European Environment Agency. (2020). Environmental noise in Europe - 2020. In *European Environment Agency* (Číslo 22/2019).
- Francis, R. A., & Lorimer, J. (2011). Urban reconciliation ecology: The potential of living roofs and walls. *Journal of Environmental Management*, 92, 1429–1437. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2011.01.012>
- Gartland, L. (2008). *Heat Islands Understanding and Mitigating Heat in Urban Areas*. Earthscan. <https://doi.org/10.4324/9781849771559>
- Geletič, J., Lehnert, M., Resler, J., Krč, P., Middel, A., Krayenhoff, E. S., & Krüger, E. (2022). High-fidelity simulation of the effects of street trees, green roofs and green walls on the distribution of thermal exposure in Prague-Dejvice. *Building and Environment*, 223. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2022.109484>
- Georgi, N. J., & Vissilia, A.-M. (2016). THE VERTICAL GARDENS OF ROBERTO BURLE MARX: AN ARTISTIC EXPRESSION. *53rd IFLA WORLD CONGRESS*. <https://hephaestus.nup.ac.cy/handle/11728/7599>
- Graseko. (2023). *Zelené fasády*. <https://www.graseko.cz/co-nabizime/zelene-fasady/>
- Hindle, R. L. (2012). A vertical garden: Origins of the Vegetation-Bearing Architectonic Structure and System (1938). *Studies in the History of Gardens and Designed Landscapes*, 32(2), 99–110. <https://doi.org/10.1080/14601176.2011.653535>
- Hoelscher, M.-T., Nehls, T., Jänicke, B., & Wessolek, G. (2016). Quantifying cooling effects of facade greening: Shading, transpiration and insulation. *Energy and Buildings*, 114, 283–290. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2015.06.047>
- Köhler, M. (2008). Green facades - a view back and some visions. *Urban Ecosystems*, 11(4), 423–436. <https://doi.org/10.1007/s11252-008-0063-x>
- Kopp, J., Novotná, M., Frajer, J., Ježek, J., Raška, P., & Dolejš, M. (2020). PLÁNOVÁNÍ MODRO-ZELENÉ INFRASTRUKTURY. *Urbanismus a Územní Rozvoj*, 23(4), 7–16.
- Krajčovičová, D. (2005). *Popínavé rostliny v zahradě*. CP Books.
- Lambertini, A. (2007). *Vertical Gardens Bring the City to Life*. THAMES HUDSON.
- Lehnert, M., Geletič, J., & Jurek, M. (2023). Tepelný ostrov města očima současného výzkumu. *Geografické rozhledy*, 32(3).
- LIKO-S. (2021). *ZELENÉ STĚNY BIOTILE Technický list*. <https://www.zivestavby.cz/files/2021/11/biotile-tl-cz-2021-web-1.pdf>
- Madre, F., Clergeau, P., Machon, N., & Vergnes, A. (2015). Building biodiversity: Vegetated façades as habitats for spider and beetle assemblages. *Global Ecology and Conservation*, 3, 222–233. <https://doi.org/10.1016/j.gecco.2014.11.016>
- Manso, M., & Castro-Gomes, J. (2015). Green wall systems: A review of their characteristics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 41, 863–871. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.07.203>

- Manso, M., Castro-Gomes, J., Paulo, B., Bentes, I., & Teixeira, C. A. (2018). Life cycle analysis of a new modular greening system. *Science of the Total Environment*, 627, 1146–1153. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2018.01.198>
- Manso, M., Teotónio, I., Silva, C. M., & Cruz, C. O. (2021). Green roof and green wall benefits and costs: A review of the quantitative evidence. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 135, 1–16. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110111>
- Medl, A., Stangl, R., & Florineth, F. (2017). Vertical greening systems – A review on recent technologies and research advancement. *Building and Environment*, 125, 227–239. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2017.08.054>
- ostrov tepelný. (1993). In *Meteorologický slovník výkladový a terminologický* (1. vyd., s. 594). Ministerstvo životního prostředí ČR.
- Ottelé, M. (2011). The Green Building Envelope Vertical Greening. In *Department of Materials and Environment*. Sieca Repro.
- Ottelé, M., Perini, K., Fraaij, A. L. A., Haas, E. M., & Raiteri, R. (2011). Comparative life cycle analysis for green facades and living wall systems. *Energy and Buildings*, 43, 3419–3429. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2011.09.010>
- Pejchal, M. (2011). Rostliny pro „vertikální zahrady“ ve venkovním prostoru. *Zelené fasády: jednodenní odborný seminář*.
- Pérez, G., Coma, J., Barreneche, C., De Gracia, A., Urrestarazu, M., Bur s, S., & Cabeza, L. F. (2016). Acoustic insulation capacity of Vertical Greenery Systems for buildings. *Applied Acoustics*, 110, 218–226. <https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2016.03.040>
- Pérez, G., Rinc n, L., Vila, A., González, J. M., & Cabeza, L. F. (2011). Green vertical systems for buildings as passive systems for energy savings. *Applied Energy*, 88, 4854–4859. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2011.06.032>
- Perini, K., Ottelé, M., Fraaij, A. L. A., Haas, E. M., & Raiteri, R. (2011). Vertical greening systems and the effect on air flow and temperature on the building envelope. *Building and Environment*, 46(11), 2287–2294. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2011.05.009>
- Perini, K., Ottelé, M., Giulini, S., Magliocco, A., & Roccotiello, E. (2017). Quantification of fine dust deposition on different plant species in a vertical greening system. *Ecological Engineering*, 100, 268–276. <https://doi.org/10.1016/j.ecoleng.2016.12.032>
- Perini, K., Ottelé, M., Haas, E. M., & Raiteri, R. (2011). Greening the building envelope, facade greening and living wall systems. *Open Journal of Ecology*, 1(1), 1–8. <https://doi.org/10.4236/oje.2011.11001>
- Plesník, J., & Plesníková, M. (2018). Zelen  prosp v  fyzick mu a duševn mu zdraví. *Ochrana p rody*, 5.
- Pokorn , J., Hesslerov , P., Jirka, V., Huryna, H., & Sejk k, J. (2018). V znam zelen  pro klima m sta a moŹnosti vyuŹit  term ln ch dat v m stsk m prostred . *Urbanismus a  zemn  Rozvoj*, 21(1), 26–37.

- Price, A., Jones, E. C., & Jefferson, F. (2015). Vertical Greenery Systems as a Strategy in Urban Heat Island Mitigation. *Water, Air, and Soil Pollution*, 226(247), 1–11. <https://doi.org/10.1007/s11270-015-2464-9>
- Radić, M., Dodig, M. B., & Auer, T. (2019). Green facades and living walls-A review establishing the classification of construction types and mapping the benefits. *Sustainability*, 11, 1–24. <https://doi.org/10.3390/su11174579>
- Restany, P. (2004). *Hundertwasser Malír král v pěti podobách*. Nakladatelství Slovart.
- Riley, B. (2017). The state of the art of living walls: Lessons learned. *Building and Environment*, 114, 219–232. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.12.016>
- Shaikh, A. F., Gunjal, P. K., & Chaple, N. V. (2015). A REVIEW ON GREEN WALLS TECHNOLOGY, BENEFITS & DESIGN. *International Journal of Engineering Sciences & Research Technology*, 4(4), 312–322.
- Sternberg, T., Viles, H., Cathersides, A., & Edwards, M. (2010). Dust particulate absorption by ivy (*Hedera helix* L) on historic walls in urban environments. *Science of the Total Environment*, 409, 162–168. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2010.09.022>
- Susorova, I. (2015). Green facades and living walls: vertical vegetation as a construction material to reduce building cooling loads. In *Eco-efficient Materials for Mitigating Building Cooling Needs*. (s. 127–153). Woodhead Publishing. <https://doi.org/10.1016/B978-1-78242-380-5.00005-4>
- Timur, Ö. B., & Karaca, E. (2013). Vertical Gardens. In M. Özyavuz (Ed.), *Advances in Landscape Architecture* (s. 587–622). Intech. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.5772/55763>
- Ulrich, R. S. (1984). View through a window may influence recovery from surgery. *Science*, 224(4647). <https://doi.org/10.1126/science.6143402>
- Ústav, S. zdravotní. (2023). *Zdravotní účinky hluku*. <https://szu.cz/tema/zivotni-prostredi/hluk/zdravotni-ucinky-hluku/>
- Virtudes, A. (2016). Benefits of Greenery in Contemporary City. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 44(3). <https://doi.org/10.1088/1755-1315/44/3/032020>
- Voda ve městě: Metodika pro hospodaření s dešťovou vodou ve vazbě na zelenou infrastrukturu*. (2021). České vysoké učení technické v Praze.
- Wong, N. H., Kwang Tan, A. Y., Chen, Y., Sekar, K., Tan, P. Y., Chan, D., Chiang, K., & Wong, N. C. (2010). Thermal evaluation of vertical greenery systems for building walls. *Building and Environment*, 45(3), 663–672. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.08.005>
- Wong, N. H., Kwang Tan, A. Y., Tan, P. Y., Chiang, K., & Wong, N. C. (2010). Acoustics evaluation of vertical greenery systems for building walls. *Building and Environment*, 45(2), 411–420. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2009.06.017>