

Česká zemědělská univerzita v Praze

Fakulta agrobiologie, potravinových a přírodních zdrojů

Katedra agroekologie a rostlinné produkce



**Fakulta agrobiologie,
potravinových a přírodních zdrojů**

Zelené střechy a využití rostlin z čeledi Poaceae

Bakalářská práce

Autor práce: Tomáš Kopecký

Veřejná správa v zemědělství, rozvoji venkova a krajiny

Vedoucí práce: Ing. Zuzana Hrevušová, Ph.D.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci "Zelené střechy a využití rostlin z čeledi Poaceae" jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce. Jako autor uvedené bakalářské práce dále prohlašuji, že jsem v souvislosti s jejím vytvořením neporušil autorská práva třetích osob.

V Praze dne 24. 4. 2024

Poděkování

Rád bych touto cestou poděkoval vedoucí mé bakalářské práce Ing. Zuzaně Hrevušové, Ph.D., za množství cenných rad, doporučení a zároveň za velkou trpělivost a ochotu při odborném vedení této práce. Dále bych chtěl poděkovat Mgr. Veronice Kalibánové za podnětné rady a konzultace. Mé poděkování patří také Ing. Miloslavovi Čápovi, Ph.D., za vyřešení konstrukčně stavební části mé vlastní zelené střechy, při jejíž realizaci jsem získal praktické zkušenosti a prohloubil se můj zájem o tento obor. Rovněž děkuji mé rodině za jejich trpělivost a podporu během celého studia.

Zelené střechy a využití rostlin z čeledi *Poaceae*

Souhrn

Tématem této práce jsou zelené střechy a možnosti využití rostlin z čeledi *Poaceae* (lipnicovité) při jejich realizaci.

Zelené střechy jsou inovativní stavební prvky, které přispívají k ozelenění městského prostoru a zlepšení městského klimatu. Při správném managementu mají potenciál zmírnit řadu environmentálních, ekonomických i sociálních problémů spojených s populačním růstem a urbanizací, a proto by měly být součástí strategických plánů udržitelného rozvoje měst a obcí.

K nejzásadnějším přínosům zelených střech patří jejich ekosystémové služby, jako je filtrace ovzduší, hospodaření s dešťovou vodou, sekvestrace uhlíku, snižování efektu městského tepelného ostrova a zvyšování biodiverzity, ale i úspora energií, prodloužení životnosti střechy či pozitivní vliv na lidské zdraví. S jejich realizací jsou však přirozeně spojeny také určité výzvy, zejména vyšší počáteční náklady, technické požadavky na konstrukci stavby, zajištění údržby, nedostatečná finanční podpora ze strany obcí a státu, nebo nedostupné poradenství.

Výhody dle odborníků výrazně převažují nad nevýhodami, aby však zelené střechy byly skutečně efektivní, musí být na míru přizpůsobeny podmínkám konkrétní lokality. Za tímto účelem je zapotřebí rozšiřovat výzkum zejména na regionální úrovni.

K nejběžněji užívaným rostlinám patří rozchodníky a další sukulenty, oblíbené jsou ale také právě rostliny z čeledi lipnicovité, které vynikají svou schopností adaptovat se v podstatě na jakékoliv klimatické podmínky. Vděčí za to zejména svým kořenovým systémům, které jim umožňují efektivně nakládat s vodou a živinami. Díky tomu jsou velmi odolné a poskytují významnou protierozní ochranu. Jejich pěstování je navíc v porovnání s jinými druhy ekonomicky nenáročné.

V ČR je vhodné volit spíše neinvazivní domácí druhy, které jsou odolné vůči mrazu i vůči suchu zároveň. Uplatnění mohou najít základní druhy trav používané pro výsev intenzivních trávníků (*Lolium perenne*, *Festuca rubra*, *Poa pratensis*), luční trávy (*Phleum phleoides*, *Bromus hordeaceus*, *Poa compressa* aj.) i okrasné soliterní trávy (*Miscanthus sinensis*, *Pennisetum alopecuroides* aj.).

Klíčová slova: klimatická změna, urbanizace, modro-zelená infrastruktura, udržitelné budovy, trávy

Green roofs and the use of plants from the *Poaceae* family

Summary

This paper focuses on green roofs and the potential uses of the plants from the *Poaceae* family (also known as grasses) in their implementation. Green roofs are innovative architectural elements that contribute to the greening of urban spaces and improve the urban climate. With proper management, they can address numerous environmental, economic and social challenges related to population growth and urbanization, and thus should be part of sustainable development strategy plans of cities and municipalities.

The most significant benefits of green roofs are their ecosystem services, such as air filtration, rainwater management, carbon sequestration, reduction of the urban heat island effect and enhancing biodiversity, as well as energy savings, extended roof lifespan and positive impacts on human health. However, their implementation naturally also presents certain challenges, i.e. particularly higher initial costs, specific technical requirements for building construction, maintenance requirements, insufficient financial support from local and state governments, or lack of expert advice.

According to experts, the advantages significantly outweigh the disadvantages, but to maximize the effectiveness of green roofs, they must be customized to the specific conditions of each location. For this purpose, it is necessary to expand research, particularly at the regional level.

The most commonly used plants are sedums and other succulents, but also plants from the *Poaceae* family (grasses) which excel in their ability to adapt to virtually any climatic conditions. This is mainly due to their root systems which allow them to efficiently manage water and nutrients. As a result, they are very resistant and provide significant anti-erosion protection. Moreover, their cultivation is economically affordable compared to other species.

In the Czech Republic, it is recommended to select rather non-invasive local species that are resistant to both frost and drought. Suitable choices include basic grass species used for intensive lawns (*Lolium perenne*, *Festuca rubra*, *Poa pratensis*), meadow grasses (*Phleum phleoides*, *Bromus hordeaceus*, *Poa compressa*, etc.) and solitary ornamental grasses (*Miscanthus sinensis*, *Pennisetum alopecuroides*, etc).

Keywords: climate change, urbanisation, blue-green infrastructure, sustainable buildings, grasses

Obsah

1 Úvod	7
2 Cíl práce	8
3 Literární rešerše	9
3.1 Zelené střechy	9
3.1.1 Modro-zelená infrastruktura	9
3.1.2 Historický vývoj zelených střech.....	10
3.1.3 Typy zelených střech	11
3.1.4 Vegetační souvrství zelených střech.....	13
3.1.5 Požadavky na konstrukci střechy.....	18
3.1.6 Příklady z praxe	21
3.2 Ekonomika zelených střech	26
3.2.1 Náklady na realizaci a údržbu zelených střech	26
3.2.2 Přímá a nepřímá podpora zelených střech	28
3.3 Přínosy a rizika zelených střech	29
3.3.1 Funkce a přínosy zelených střech	29
3.3.2 Nevýhody zelených střech a výzvy s nimi spojené	38
3.4 Využití rostlin z čeledi Poaceae při realizaci zelených střech	39
3.4.1 Charakteristika čeledi <i>Poaceae</i> (lipnicovité, trávy).....	39
3.4.2 Ekonomický a ekologický význam trav	41
3.4.3 Výhody a nevýhody využití trav při realizaci zelených střech.....	42
3.4.4 Druhy trav vhodné pro realizaci zelených střech v ČR	43
3.4.4.1 Intenzivní trávník.....	44
3.4.4.2 Extenzivní trávník	45
3.4.4.3 Soliterní okrasné trávy.....	46
4 Závěr	48
5 Literatura	50
6 Seznam použitých zkratk	I

1 Úvod

Naše planeta se potýká s rychlou urbanizací (Poptani & Bandyopadhyay 2019). Ve městech nyní žije více než 55 % světové populace a do roku 2050 by tento podíl měl vzrůst až na 68 % (United Nations 2019). Také se odhaduje, že do roku 2030 stoupne počet světových megaměst, tj. měst, která mají více než 10 milionů obyvatel, ze současných 33 na rovných 43 (Abass et al. 2020).

Urbanizace s sebou přináší řadu environmentálních výzev, jako je například městský tepelný ostrov nebo znečištění ovzduší a vodních zdrojů (Besir & Cuce 2018; Jaffal et al. 2012). Přestože města zabírají pouze 3 % pevniny, podílejí se na 60 až 80 % celosvětové spotřeby energie, 75 % celosvětových emisí uhlíku a na více než 60 % spotřeby přírodních zdrojů (Manso et al. 2021). Jen samotné budovy tvoří zhruba 40 % celkové celosvětové spotřeby energie (IPCC 2023; Saadatian et al. 2013). S intenzivní výstavbou je spojen také zásadní úbytek vegetace a biodiverzity ve městech (Madre et al. 2013).

Urbanisté ve spolupráci s architekty, přírodovědci, dalšími odborníky a veřejnými činiteli musí hledat způsoby, jak města rozvíjet udržitelně. Stále častěji se proto skloňuje termín modro-zelená infrastruktura, která buduje a propojuje síť vodních a zelených prvků v lidských sídlech tak, aby města dokázala snižovat negativní dopady urbanizace a změny klimatu, a tím pro své obyvatele zajišťovala zdravé a bezpečné prostředí (Ahern 2007; Dapolito Dunn & Stoner 2007; Jato-Espino et al. 2019; Mell 2008). V praxi to může být například rozvoj městské zeleně, efektivní nakládání s dešťovou vodou, nebo realizace ekologicky šetrných staveb (Jato-Espino et al. 2019; Shafique et al. 2018).

Významnou součástí modro-zelené infrastruktury jsou tzv. zelené střechy, jejichž obliba zejména ve vyspělých zemích neustále stoupá (Mell 2008; SZÚZ 2020; SZÚZ 2023). Mají celou řadu ekologických, ekonomických i sociálních funkcí (Mell 2008; Shafique et al. 2018) – prodlužují životnost střechy, přispívají k tepelnému komfortu uvnitř budovy, zadržují oxid uhličitý, srážkovou vodu i prachové částice, čímž pomáhají zlepšovat klima v okolním prostředí, podporují biodiverzitu, zvyšují estetickou hodnotu krajiny a mají pozitivní vliv na psychiku obyvatel ve městech (Poptani & Bandyopadhyay 2019; Vijayaraghavan 2016).

Střechy jako takové tvoří 20–25 % plošné výměry města (v případě velmi husté zástavby až 40 %). Většinou jde o jinak nevyužitý prostor budov, a proto se v tomto udržitelném způsobu zastřešení skrývá velký potenciál (Abass et al. 2020; Besir & Cuce 2018). Přitom se nejedná o trend posledních let, koncept totiž využívali již naši předkové ve starověku (Abass et al. 2020; Jim 2017). Účel zelených střech se od té doby příliš nezměnil, přirozeně se však vyvíjí skladba použitých rostlin a materiálů, které jsou efektivnější a odpovídají současným požadavkům (Vijayaraghavan 2016).

K běžně využívaným patří i rostliny z čeledi *Poaceae* (lipnicovité) – trávy. Je pro ně charakteristická vysoká odolnost a schopnost adaptovat se na nepříznivé klimatické podmínky. Díky svým rozsáhlým kořenovým systémům dokáží bránit erozi, účinně vázat uhlík v půdě a zachytávat polutanty ze srážek i ovzduší (Svobodová & Cagaš 2013). Povětšinou jsou nenáročné na pěstování a jejich pěstování je ekonomicky výhodné. V našich klimatických podmínkách je vhodné vybírat neinvazivní domácí druhy, které jsou odolné mrazům i vysokým teplotám a suchu (Jato-Espino et al. 2019).

2 Cíl práce

Cílem této práce bylo vytvořit literární rešerši na téma zelených střech a možnosti využití rostlin z čeledi *Poaceae* při jejich realizaci.

Stěžejním cílem bylo vypracovat stručnou charakteristiku, historický vývoj a členění zelených střech, popsat jejich skladbu, ekonomické aspekty, přínosy a rizika.

Dílčím cílem bylo obecně charakterizovat čeleď *Poaceae*, okomentovat její ekologický a hospodářský význam, vybrat a popsat druhy vhodné pro zelené střechy v klimatických podmínkách ČR.

3 Literární rešerše

3.1 Zelené střechy

Termínem zelená střecha (také vegetační střecha, ozeleněná střecha, ekostřecha či střešní zahrada) se označuje střecha, která je záměrně částečně nebo zcela pokryta vegetací a pěstebním substrátem, popřípadě vhodnou propustnou zemínou (Abass et al. 2020; Dostalová et al. 2021; Shafique et al. 2018). Její součástí zpravidla bývá také několik dalších funkčních vrstev (souhrnně nazývaných vegetační souvrství), které jsou instalovány nad hydroizolační membránu střechy (Abass et al. 2020; Poptani & Bandyopadhyay 2019). Vegetačnímu souvrství zelené střechy je věnována kapitola 3.1.4.

Podle některých definic lze za zelenou střechu považovat střechu, která je vybavena zelenou technologií. Kromě výše zmíněné vegetační střechy to může být také studená střecha (větraná dvouplášťová střecha), nebo střecha se solárními panely (Saadatian et al. 2013). V této práci se však termínem „zelená střecha“ rozumí výhradně střecha pokrytá vegetací.

Vedle základní funkce, kterou je chránit prostor pod sebou před povětrnostními vlivy, plní zelené střechy řadu ekologických, ekonomických i sociálních funkcí (Benedict & McMahon 2002; Shahmohammad et al. 2022; podrobněji v podkapitole 3.3.1) a proto v posledních desetiletích výrazně nabývají na popularitě (Mell 2008).

V ČR se v roce 2022 dle kvalifikovaných odhadů založených na základě množství dodaného střešního substrátu nacházelo zhruba 2,5 až 3 miliony m² zelených střech (SZÚZ 2023). To je téměř dvojnásobek hodnot z roku 2019, kdy zelené střechy v ČR pokrývaly plochu zhruba 1,6 milionu m² (SZÚZ 2020). V sousedním Německu, které je průkopníkem odvětví, je takto pokryto již více než 10 % budov (Saadatian et al. 2013) a každý rok zde přibude dalších několik milionů m² vegetačních střech (Oberndorfer et al. 2007; Vijayaraghavan 2016). Stále více zemí (včetně ČR) se tuto technologii snaží podporovat finančně i legislativně (Shafique et al. 2018; SZÚZ 2021).

3.1.1 Modro-zelená infrastruktura

Zelené střechy jsou součástí tzv. modro-zelené infrastruktury, která kombinuje prvky modré (voda) a zelené (vegetace) infrastruktury v lidských sídlech. Jejím cílem je za pomoci vzájemně propojených technických a přírodně blízkých opatření přispívat ke zmírnění dlouhodobých klimatických a urbanistických problémů v sídlech (Ahern 2007; Mell 2008).

Opatření by vždy měla být koncipována tak, aby byla udržitelná, chránila životní prostředí a zároveň zvyšovala kvalitu života obyvatel (Ahern 2007; Dapolito Dunn & Stoner 2007). Správně nastavená infrastruktura umožňuje smysluplné nakládání s vodními zdroji (zadržování vody, protipovodňová opatření apod.), regulaci teploty vzduchu, snižování hluku, efektivní využívání energií, zlepšování kvality ovzduší, podporu biodiverzity a v neposlední řadě prospívá také fyzickému a duševnímu zdraví lidí (IPCC 2023; Jato-Espino et al. 2019; Mell 2008).

Konkrétními prvky modro-zelené infrastruktury jsou například dešťové zahrady, mokřady, rybníky a další vodní plochy, travnaté pásy, městské parky a zahrady, aleje, nebo již zmiňované zelené střechy a fasády (Benedict & McMahon 2002; Jato-Espino et al. 2019).

3.1.2 Historický vývoj zelených střech

Přestože se může zdát, že jde o trend posledních let, zelené střechy se jako střešní krytina využívaly již před několika tisíci lety (Shafique et al. 2018). Jejich význam a provedení záviselo na konkrétní oblasti a kultuře. Někde byly střešní zahrady projevem vyššího společenského postavení a sloužily jako prostor pro odpočinek, jinde se využívaly z ryze praktických důvodů, jako je tepelná izolace, protipovodňová ochrana, pěstování plodin, či maskování domu (Jim 2017; Oberndorfer et al. 2007).

Nejstarší záznamy pocházejí z období neolitu (Poptani & Bandyopadhyay 2019; Vijayaraghavan 2016), kdy se začalo rozvíjet zemědělství a s ním i potřeba člověka začít budovat trvalé a povětrnostním vlivům odolné domy, které měly svislé stěny a šikmou střechu. Do té doby lidé žili zejména v jeskyních, nebo v jednoduchých stavbách kónického tvaru (podobných teepee), kde se střecha od stěny nijak nerozlišovala (Jim 2017). Stavební materiál byl v minulosti limitován na lokální přírodní zdroje. Využívaly byly zejména kameny, dřevo, hlína, sláma a sušené listí, nebo kůže, kosti a jiné části zvířat. Aby se snížila potřeba materiálu, domy se často hloubily do země (tzv. polozemnice) (Abass et al. 2020; Jim 2017).

Ve starověku se lidem ve střední, západní a zejména severní Evropě osvědčilo využívat střešní krytina z travních drnů. Pod drny se pokládaly větve pro odvodnění a pod ně březová kůra, která sloužila jako hydroizolační vrstva (Abass et al. 2020; Jim 2017). Tyto nepochozí zelené střechy (viz kupříkladu Obr. 1) dokázaly svou vahou stabilizovat dům (v severských a alpských oblastech to byly zejména sruby) a zabránit tím kroucení a ohýbání dřeva, v létě ochlazovaly interiér a v zimě naopak zabraňovaly úniku tepla. Tepelnou izolaci v zimě podpořila i sněhová pokrývka, která se na drnové střeše zachycuje snáze (Jim 2017).



Obr. 1 – Tradiční drnová střecha z let 1883–1885 v obci Hof, Island. Zdroj: Jim 2017

Ve Skandinávii a dalších severských zemích byl tento typ střechy běžný až do 19. století, kdy se začaly využívat modernější materiály. Dnes je zde tradiční drnová střecha součástí kulturního dědictví (Abass et al. 2020). V 19. století se střechy rozšířily také do pohraničních osad v Severní Americe, kde se lidé potýkali s nedostatkem dřeva (Magill et al. 2011).

V oblastech s teplým a suchým podnebím plnily zelené střechy zejména funkci ochlazovací a estetickou. Vzhledem k nedostatku vláhy se živá vegetace používala spíše v monumentální architektuře. V lidové architektuře se stavěly doškové střechy ze slámy, rákosu, listů či bambusu. Byly dostupné, chránily před UV zářením a také měly dobré termoizolační vlastnosti. Doškové střechy se běžně využívaly v tropickém i mírném pásu, a v některých rozvojových zemích se používají dodnes (Abass et al. 2020; Magill et al. 2011).

První střešní zahrady se pak objevovaly na terasách starověkých mezopotámských zikkuratů, typických stupňovitých chrámových věží (Abass et al. 2020; Magill et al. 2011). Nejslavnější jsou Visuté zahrady Semiramidiny z 6. století před naším letopočtem. Podle pověstí jimi chtěl babylonský král Nabukadnesar II. potěšit svou manželku Amytis, které scházely hory v rodné Médii (Čermáková & Mužíková 2009; Oberndorfer et al. 2007). Zahrady, které jsou jedním ze sedmi divů antického světa, byly údajně několik desítek metrů vysoké, disponovaly důmyslným zavlažovacím systémem a sestávaly z rostlin z různých částí světa. Někdy bývají označovány jako první botanická zahrada na světě (Abass et al. 2020). Dosud však nebylo jednoznačně prokázáno, zda skutečně existovaly (Jim 2017; Magill et al. 2011). Dle hypotézy Dalley (2013) nestály v Babylónu, ale v Ninive, hlavním městě tehdejší Asýrie.

Ve středověku se zelené střechy zásadněji nerozvíjely a do popředí se opět dostaly až počátkem 20. století (Abass et al. 2020). Německo procházelo na konci 19. století rychlou industrializací a urbanizací. Ve městech se jako střešní krytina používal dehet, který je však vysoce hořlavý. Aby se snížilo riziko požáru, začal se na střechy přidávat písek a šterkový substrát, mezi který se časem přirozeně rozšířila semena rostlin a střechy začaly zarůstat (Magill et al. 2011). Ve Velké Británii byly zelené střechy během válečných let využívány jako maskování vojenských hangárů. Ve 30. letech pak, navzdory hospodářské krizi, vznikly zahrady na střeše Rockefellerova centra v New Yorku (USA) (Abass et al. 2020; Magill et al. 2011).

V 60. letech 20. století došlo v Německu k výraznému technologickému pokroku. Vrstva písku a šterku byla nahrazena pěstebním substrátem, jednoduchým odvodňovacím systémem a dalšími moderními materiály (Abass et al. 2020; Magill et al. 2011). Zelené střechy se staly účinným nástrojem k řešení energetických a environmentálních problémů měst a jako součást udržitelné architektury se rozšířily dále do Evropy, Severní Ameriky, Austrálie, Japonska a Číny (Raimondo et al. 2015).

3.1.3 Typy zelených střech

Zelené střechy lze rozdělit podle několika kritérií (SZÚZ 2016):

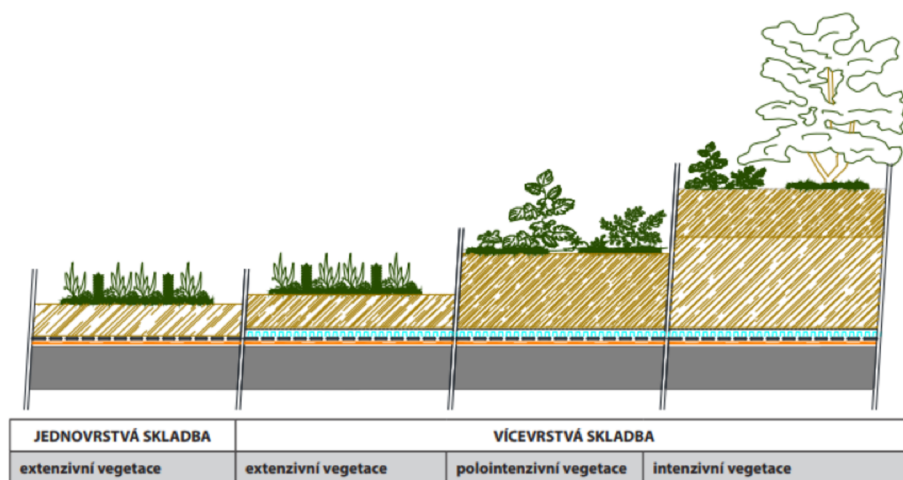
- Podle přístupnosti rozlišujeme **střechy nepochozí** (přístupné pouze technickým pracovníkům, zabezpečeným osobním jištěním), **pochozí** (přístupné pouze proškoleným osobám; vhodné zajistit chodníčky, nutnost zajistit bezpečnost) a **pobytové** (lidem běžně přístupné, rekreační; nutnost zajistit bezpečnost hrazením).

- Podle sklonu pak **střechy ploché** (sklon do 5°), **s mírným sklonem** (od 5° do 20°), **s velkým sklonem** (od 20° do 45°) a **strmé** (od 45° do 90°).
- Podle funkce rozlišujeme **střechy retenční** (zádrž maximálního množství srážkové vody a pomalejší odtok do kanalizace), **pěstební** (rostlinná, zemědělská nebo zahradnická výroba) a **střechy podporující biodiverzitu**. Dle některých odborníků zde patří také střechy **fotovoltaické** (kombinace zelené střechy a solárních panelů).
- Podle prostorové vazby na terén mohou být střechy **v úrovni s parterem** (člověk zpravidla nezaregistruje, že se pohybuje po střeše podzemní stavby – metra, garáže, apod.), **v dotyku s parterem** (spojeny se zemí, umožňují začlenit budovu do prostředí) a **bez dotyku s parterem** (nejběžnější).

Nejčastěji však zelené střechy rozdělujeme podle druhu pěstované vegetace a skladby vegetačního souvrství, a to na střechy (SZÚZ 2016; Vijayaraghavan 2016):

- A) Intenzivní**, pro které je charakteristická hrubší vrstva substrátu, rozmanitý výběr rostlin, vyšší požadavky na údržbu, vyšší váha, zesílená nosná konstrukce střechy a vysoké investiční náklady. Vzhledem k větší hloubce substrátu je možné využít širokou škálu rostlin, včetně keřů a malých stromů.
- B) Extenzivní**, které se naopak vyznačují menší hloubkou substrátu (do 15 cm), minimálními požadavky na údržbu, nízkou váhou a nižšími investičními náklady. Vzhledem k nižší vrstvě substrátu je výběr rostlin omezen na mělce kořenicí, na živiny a závlahu nenáročné rostliny, tj. mechy, trávy a některé druhy sukulentů. Tento typ nepotřebuje dodatečný podpěrný systém střechy. Extenzivní zelené střechy mohou mít vícevrstvou i jednovrstvou skladbu vegetačního souvrství.
- C) Polointenzivní** (též jednoduché intenzivní), jež stojí na pomezí předchozích dvou typů. Díky středně silné vrstvě substrátu se zde pěstují menší byliny, půdopokryvné rostliny, trávy a drobné keře. Vyžadují častější údržbu a jsou investičně náročnější než střechy extenzivní.

Přehlednější srovnání těchto tří typů zelených střech zobrazuje Obr. 2 a Tab. 1.



Obr. 2 – Typy zelených střech podle druhu vegetace a skladby (hloubky) vegetačního souvrství. Zdroj: Burian et al. 2019

Tab. 1 – Charakteristika tří základních typů zelených střech.

Zdroj: vlastní zpracování dle Abass et al. 2020; Berardi et al. 2014; Besir & Cuce 2018; Burian et al. 2019; Oberndorfer et al. 2007

	Intenzivní ZS	Extenzivní ZS	Polointenzivní ZS
Primární funkce	estetická, praktická (rozšíření obytného prostoru)	praktická (izolační, retenční, ekologická), estetická	estetická, praktická
Hloubka substrátu	nad 20 cm	6–15 cm	12–25 cm
Diverzita rostlin	vysoká (travníky, trvalky, keře, malé, střední i vysoké stromy)	nízká (mechy, rozchodníky, suchomilné trávy, byliny, sukulenty)	střední (trávy, byliny, trvalky, keře, malé a střední stromy)
Váha	200–500 kg/m ²	60–150 kg/m ²	120–200 kg/m ²
Drenážní vrstva	nutná	není nutná	nutná
Zavlažování	nutné pravidelně	většinou není nutné	nutné podle počasí a druhu vegetace
Požadavky na údržbu	vysoké	nízké	střední
Vhodná oblast	kdekoliv, pokud jsou zajištěny vhodné podmínky	s dostatečným srážkovým úhrnem	kdekoliv, pokud jsou zajištěny vhodné podmínky
Přístupnost	pochozí, pobytové	nepochozí	ne/pochozí, pobytové
Cena	vysoká	nízká	střední

Udávané hodnoty (zejména u hloubky a váhy substrátu) se v každé publikaci mírně odlišují, tabulka proto vychází z průměrných hodnot.

Volba typu zelené střechy tedy závisí na tom, kde se bude nacházet a co od ní majitel nebo investor očekává. Při rozhodování je potřeba zohlednit zejména její primární účel, finanční nákladnost, klimatické a konstrukční podmínky (Dostalová et al. 2021). Vzhledem k vysoké odolnosti a nižším celkovým nákladům, které mj. souvisí i s tím, že jak u nových, tak u již existujících střech není zapotřebí zpevňovat nosnou střešní konstrukci, jsou nejčastěji využívány střechy extenzivní (Jaffal et al. 2012; Li & Yeung 2014; Vijayaraghavan 2016).

3.1.4 Vegetační souvrství zelených střech

Jak naznačuje předchozí kapitola, zelená střecha kromě samotné vegetace a růstového média (substrátu či propustné zeminy) sestává také z filtrační vrstvy, drenážní vrstvy a dalších funkčních vrstev (Abass et al. 2020; Berardi et al. 2014), které jsou souhrnně označovány jako vegetační souvrství. Vegetační souvrství se nachází nad souvrstvím střešního pláště a nosnou střešní konstrukcí (Burian et al. 2019).

Skladba vegetačního souvrství se v každé zemi (potažmo regionu) mírně liší, závisí totiž na klimatických podmínkách, dostupnosti materiálů, stavebních předpisech a konstrukci budov v dané oblasti (Shafique et al. 2018; Vijayaraghavan 2016). V ČR bylo donedávna doporučováno řídit se aktuálně platnými Standardy pro navrhování, provádění a údržbu vegetačních souvrství zelených střech vydanými SZÚZ (dále Standardy SZÚZ; Burian et al.

2019). S účinností od března 2024 bylo vydáno rozšíření normy ČSN 73 1901-4 týkající se zásad pro navrhování vegetačních střech. Norma vznikla adaptací výše uvedené publikace.

Skladba vegetačního souvrství může být následující (řazeno sestupně od svrchní vrstvy po střešní plášť):

A) Vegetace

Soubor rostlin, které tvoří nejsvrchnější část zelené střechy (Burian et al. 2019). Při výběru rostlin nerozhoduje pouze estetika a preference majitele či investora, ale spíše to, co je na střeše možné a vhodné zasadit. Zelené střechy jsou totiž vzhledem k mělčímu a na živiny chudšímu substrátu poměrně nepříznivým prostředím pro růst rostlin (Oberndorfer et al. 2007; Raimondo et al. 2015).

Zásadním kritériem je dle Li & Yeung (2014) a Naranjo et al. (2020) odolnost rostlin vůči stresovým faktorům, tedy především vůči povětrnostním podmínkám (ať už se jedná o vysoké teploty a s nimi související sucho, nebo naopak vysoké množství srážek, vítr či mráz), jejichž projevy jsou na střechách budov zpravidla výraznější, než v jiných částech městské zástavby. Důležité je také zohlednit hloubku substrátu, možnosti údržby rostlin (zavlažování, hnojení, pleť, apod.), orientaci ke světovým stranám, oslunění či zastínění plochy střechy.

Dalším rozhodujícím faktorem by měl být potenciál ekosystémových služeb rostliny, tzn. její schopnost zlepšovat mikroklima a tepelnou izolaci střechy (Blanusa et al. 2013). Platí, že rostliny s větším indexem listové plochy (LAI, což je poměr celkové plochy listů rostliny k ploše povrchu, na kterém rostlina roste) mají lepší schopnost pohlcovat oxid uhličitý a nečistoty z ovzduší, zadržovat dešťovou vodu, a přispívat k regulaci teploty pomocí transpirace (tedy zvlhčováním a ochlazováním vzduchu) (Berardi et al. 2014). Tyto rostliny bývají náročnější na údržbu, často vyžadují dodatečnou závlahu a přihnojování, což se promítne v celkových nákladech na zelenou střechu. I přesto je však vhodné je do výsevu zařadit (Blanusa et al. 2013).

Často diskutovanou otázkou je rovněž to, zda je vhodnější pěstovat původní nebo nepůvodní druhy rostlin. Obě kategorie dokáží poskytnout vhodné útočiště a potravu původním živočišným druhům. Z nepůvodních druhů rostlin se ale mohou stát druhy invazivní, popřípadě nemusí být schopné se plně adaptovat na místní podmínky, a proto je z pohledu ekologie obecně stále preferován výběr původních druhů rostlin (Li & Yeung 2014; Oberndorfer et al. 2007).

Dunnett (2006) však argumentuje tím, že pro tento předpoklad neexistuje dostatek relevantních výzkumů a spíše než podle lokality původu doporučuje rostliny vybírat podle toho, zda se dokáží přizpůsobit aktuálním klimatickým podmínkám, které se stále rychleji proměňují.

Běžně jsou využívány *Sedum* sp. (rozchodníky), *Sempervivum* sp. (netřesky) a další sukulentní rostliny, které sice vůči ostatním druhům rostlin mají nižší ekologickou hodnotu, zato však dokáží ve svém dužnatém stonku a listech zadržet velké množství vody, díky čemuž jsou vysoce odolné vůči suchu. Ze studie založené na sledování modelových extenzivních zelených střech v amerických státech Georgia a Massachusetts dokonce vyplynulo, že rostliny z rodu *Sedum* jsou jediné, které dokáží přežít letní období sucha bez dodatečné závlahy (Carter & Butler 2008). Rozchodníky vytvářejí nízké koberce a jsou celkově nenáročné na údržbu. Z tohoto důvodu jsou nejčastěji pěstovaným druhem na všech typech zelených střech (Castleton et al. 2010).

Oblíbené jsou také suchomilné trávy (například *Festuca glauca* (kostřava šedá)), nebo suchomilné trvalky (kupříkladu *Dianthus carthusianorum* (hvozdík kartouzek), *Lavandula angustifolia* (levandule lékařská), *Origanum vulgare* (dobromysl obecná), *Saxifraga* sp. (lomikámen), nebo *Allium* sp. (česnek)). Dále pak suchomilné keře (například *Euonymus* sp. (brslen)), nebo keře jehličnatého typu, jako je *Juniperus* sp. (jalovec), *Pinus mugo* (borovice kleč), apod.), a rostliny náročné na hloubku substrátu (30 cm a více, tedy u intenzivních vegetačních střech) – zelenina, drobné ovoce, květiny na řez, ovocné stromy, vzrůstnější jehličnany (Bohuslávek et al. 2009; Shafique et al. 2018).

Pokud to podmínky dovolují, vždy je vhodné kombinovat více druhů rostlin. Při jejich výběru nestačí pouze následovat obecná zahradnická doporučení, ale vždy je potřeba přihlídnout k individuálním podmínkám konkrétní střechy (Naranjo et al. 2020).

Aby rostliny co nejrychleji a nejefektivněji vytvořily požadovaný vegetační pokryv, doporučuje se k vytrvalým druhům přisít také druhy jednoleté a dvouleté, které pomaleji rostoucím rostlinám poskytují stín a také omezují evaporaci (Shafique et al. 2018).

Rostliny je možné vysévat přímo do střešního substrátu, nebo lze využít již předpěstované vegetační (nejčastěji travní či rozchodníkové) koberce, které navíc pomáhají zamezit větrné a vodní erozi (Burian et al. 2019). Další možností je použití modulárního systému, v němž je zabudováno kompletní vegetační souvrství, včetně vzrostlé vegetace. Využívá se u extenzivních zelených střech a jeho výhodou je snadná manipulace. Nevýhodou pak vyšší cena a méně efektivní využití prostoru, jelikož jej vzhledem k předdefinovaným rozměrům lze využít jen u pravoúhlých ploch (Beecham et al. 2018; Shafique et al. 2018).

B) Vegetační vrstva

Vegetační vrstva je tvořena střešním substrátem (nebo propustnou zeminou), který svým fyzikálním, chemickým a biologickým složením a vlastnostmi zajišťuje vhodné prostředí pro kořenění a růst rostlin. Zároveň také pomáhá zadržovat a zpomalovat odtok dešťových srážek. Zadržovaná voda tak slouží jako závlaha pro rostliny, díky evaporaci pomáhá regulovat okolní teplotu a během přivalových dešťů chrání kanalizační síť před přetížením (podrobněji v kapitole 3.3.1) (Naranjo et al. 2020).

Střešní substrát se obvykle skládá z organických (rašelina, kompost) a anorganických látek (minerály) a dalších živin (dusík, fosfor, draslík, hořčík, aj.). Lehké anorganické látky většinou výrazně převažují nad těmi organickými, a to v poměru 80–90 % ku 10–20 % (Beecham et al. 2018; Oberndorfer et al. 2007). Pro výrobu substrátu se využívají porézní horniny, písek, drcené kamenivo, drcené cihly a střešní tašky, jíl, zeminy a další (Oberndorfer et al. 2007). Nedoporučuje se používat větší množství kompostu, jelikož se z něj mohou do odtékající srážkové vody uvolňovat nežádoucí živiny (dusík a fosfor) a navíc se rychle rozkládá, takže je nutné substrát častěji doplňovat (Rowe & Getter 2015).

Složení a barva substrátu se podílí také na celkovém albedu (míře odrazivosti) střechy. Spolu s vegetací poskytuje substrát vhodné prostředí pro nejrůznější organismy, čímž podporuje biodiverzitu ve městě (Li & Yeung 2014).

Hloubka substrátu se odvíjí od nosnosti střechy a také od typu pěstované vegetace. Obecně se usuzuje, že vyšší vrstva substrátu dokáže zadržet větší množství vody (Rowe & Getter 2015). Může to být ale také přesně naopak, jelikož se prokázalo, že suchý substrát má

lepší retenční schopnost než substrát vlhký (bez ohledu na hloubku) a protože mělká vrstva substrátu po dešti usychá rychleji, má také vyšší retenční kapacitu (Dusza et al. 2017).

Dunnett et al. (2008) provedli studii, jejímž cílem bylo zjistit, zda je pro rostliny vhodnější substrát o mocnosti 10 nebo 20 cm. V rámci experimentu do obou těchto hloubek vysadili zástupce 15 různorodých druhů vytrvalých trav a bylin (mezi nimi například *Sedum acre* (rozchodník ostrý), *Festuca glauca* (kostřava šedá) či *Origanum laevigatum* ‚Herrenhausen‘ (dobromysl) a v průběhu 6 let porovnávali jejich růst, pokryvnost, kvetení a další vybrané indikátory. Ukázalo se, že za stejných podmínek rostliny lépe prosperují v substrátu o hloubce 20 cm. Hlubší substrát je také lepší pro přezimování rostlin, jelikož tolik nepodléhají výkyvům teplot (Rowe & Getter 2015; Ampim et al. 2010).

U jednovrstvých extenzivních zelených střech je zásadní vysoká propustnost vody, jelikož zde substrát zároveň plní funkci chybějící drenážní vrstvy a musí odvést veškerou přebytečnou vodu rovnou do odvodňovacího zařízení. Naopak u vícevrstvé skladby vegetačního souvrství má substrát vyšší vodní kapacitu (dokáže déle zadržovat vodu) a nižší obsah vzduchu (Burian et al. 2019).

C) Filtrační vrstva

Tato vrstva zamezuje vyplavování jemných částic z vegetační vrstvy do drenážní vrstvy, kterou tak chrání před zanesením. Umožňuje průtok vody, aniž by bylo vyplaveno příliš velké množství prvků a sypkých částic (Naranjo et al. 2020).

Materiál musí být odolný vůči biologické korozi (tj. vůči kyselinám a zásadám) a nesmí bránit volnému růstu kořenů. Nejběžněji se používá geotextilie o plošné hmotnosti 100–200 g/m² (Burian et al. 2019; Naranjo et al. 2020).

D) Hydroakumulační vrstva

Zadržuje nutné minimální množství dešťové vody pro růst rostlin a zpomaluje její odtok do kanalizační sítě. Použití této vrstvy není nezbytné, používá se jen tehdy, pokud je vegetační vrstva příliš tenká a nedokáže pojmout a zadržet dostatek vody (například u šikmých vegetačních střech) (Bohuslávek et al. 2009).

Vhodným materiálem jsou desky z minerálních vláken a recyklátů, hydroakumulační textilie (PES, PP), nopová fólie se zvýšenou hydroakumulační schopností, či hydroakumulační substráty (Burian et al. 2019).

E) Drenážní vrstva

Drenážní vrstva umožňuje odtok přebytečné dešťové vody do odvodňovacího zařízení, čímž chrání rostliny před přemokřením a zajišťuje bezpečné fungování vrstev, které leží pod ní (tj. střešní souvrství). Zároveň může filtrovat vodu (Burian et al. 2019; Naranjo et al. 2020).

Materiál musí být odolný vůči biologické korozi a vůči zatížení vrstev nad ním. Jeho výběr závisí na nárocích pěstované vegetace a na nosnosti střešní konstrukce. Lze využít drenážní desky nebo rohože, plastové nopové fólie, nebo sypké materiály, jako je štěrk, štěrkopísek, keramzit, pemza, cihlová drť a další (Bohuslávek et al. 2009). V současné době se

doporučuje nahrazovat přírodní kamenivo (jakožto neobnovitelný přírodní zdroj) recyklovanými materiály (Naranjo et al. 2020).

F) Ochranná vrstva

Tato vrstva chrání hydroizolační membránu (popřípadě kořenovzdornou vrstvu) střechy před mechanickým poškozením před a během realizace zelené střechy, a poté před poškozením v důsledku zatížení celým vegetačním souvrstvím. Využívá se geotextilie o plošné hmotnosti nad 300 g/m² (Burian et al. 2019).

G) Separační vrstva

Odděluje sousední materiály, které by se mohly navzájem negativně ovlivňovat (mechanicky, chemicky), například v případě vrstev s různou tepelnou roztažností. Používá se jen v opodstatněných případech. Lze použít geotextilii, PE fólii, apod. (Burian et al. 2019).

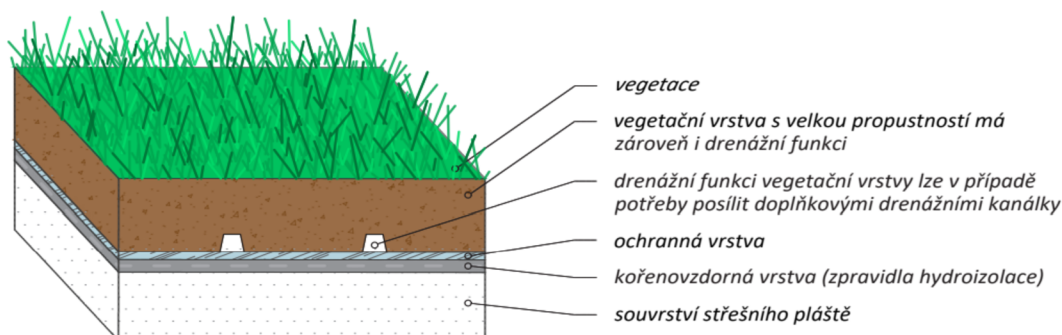
H) Kořenovzdorná vrstva

Chrání konstrukci střešního pláště proti prorůstání kořenů rostlin. Instaluje se tehdy, pokud stávající hydroizolace střechy není dostatečně odolná vůči poškození kořeny (Shafique et al. 2018). Používá se vysoce odolná atestovaná polyethylenová fólie (Naranjo et al. 2020).

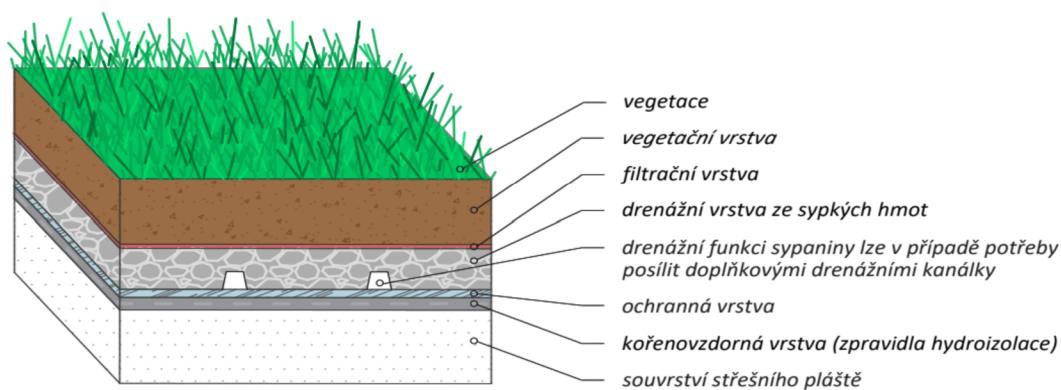
Intenzivní a některé polointenzivní a extenzivní zelené střechy vyžadují také zavlažování. V podmínkách ČR však zavlažovací systémy nejsou vždy nutné, odborníci je doporučují spíše v oblastech, které jsou specifické suchým a teplým podnebím (Konasová & Da Silveira 2016). Zavlažování volíme i v závislosti na druhu vegetace.

Vegetační souvrství může být jednovrstvé, nebo vícevrstvé. Jednovrstvé vegetační souvrství je vhodné pro menší extenzivní zelené střechy s vrstvou do 10 cm a pro šikmé zelené střechy. Vícevrstvé vegetační souvrství se běžně používá u všech ostatních typů zelených střech (Burian et al. 2019).

Obr. 3 a 4 zobrazují orientační schémata vegetačních souvrství dle Standardů SZÚZ. Jak již bylo zmíněno, jejich skladba se u každé střechy může lišit na základě konkrétních podmínek a použitých materiálů.



Obr. 3 – Schéma jednovrstvého vegetačního souvrství. Zdroj: Burian et al. 2019



Obr. 4 – Schéma vícevrstvého vegetačního souvrství s drenážní sypaninou.

Zdroj: Burian et al. 2019

3.1.5 Požadavky na konstrukci střechy

Pod vegetačním souvrstvím se nachází souvrství střešního pláště a nosné střešní konstrukce. Souvrstvím střešního pláště rozumíme střechu, kterou zpravidla tvoří hydroizolační membrána, tepelná izolace a parotěsná zábrana. Nosná střešní konstrukce pak přenáší zatížení ze střešního pláště, klimatického zatížení, a případné vegetační střechy a provozního zatížení do ostatních nosných konstrukcí stavby (Dostalová et al. 2021).

Jelikož se celé vegetační souvrství na střechu pouze pokládá, k jeho realizaci v ČR v současné době není nutné žádat o stavební povolení ani ohlašovat stavbu ve smyslu stavebního zákona č. 283/2021 Sb. (Parlament České republiky 2021). Při projektování, samotné realizaci a údržbě zelených střech je však potřeba dbát pokynů příslušných úřadů a veškerých relevantních předpisů, kterými jsou místní stavební předpisy, územní a regulační plány, předpisy v oblasti památkové péče, ochrany životního prostředí a architektonického rázu oblasti. Povinnost žádat o stavební povolení vzniká v případě, kdy je nutné jakkoliv zasahovat do stávající nosné konstrukce (Burian et al. 2019).

Při realizaci zelené střechy je potřeba řídit se stavebně-technickými podmínkami, které mají oproti klasické střeše svá specifika. Je kladen větší důraz na nosnost a stavební konstrukci střechy a budovy, na sklon střechy, způsob odvádění srážkové vody, a na kvalitu skladby střešního pláště (Beecham et al. 2018; Bohuslávka et al. 2009).

- **Hydroizolační vrstva**

Hydroizolační vrstva je jednou ze stěžejních komponent vegetační střechy. Je to vodotěsná membrána, která zabraňuje pronikání vody a vlhkosti do střešní konstrukce a do vnitřních částí budovy, čímž předchází vzniku plísní a hniloby, koroznímu poškození konstrukce a také ztrátě tepelné izolace. V případě vegetačních střech je její funkce zcela zásadní, protože je střešní plášť nepřetržitě vystaven vlhkosti z rostlin a substrátu (Naranjo et al. 2020; Cascone 2019). Vegetační souvrství však hydroizolaci chrání před přímým slunečním zářením a teplotními výkyvy, čímž prodlužuje její životnost (Cascone 2019).

Hydroizolace musí splňovat požadavky normy ČSN 73 1901-3 (jež nahradila ČSN 73 1901 z roku 2011), která stanovuje pravidla pro střechy s povlakovými hydroizolacemi.

Lze použít pouze spojitou povlakovou izolaci, ne skládanou krytinu. Využívají se zejména atestované asfaltové (bitumenové) pásy, nebo hydroizolační fólie. Přísné požadavky platí také pro střešní vtoky, prostupy a další součásti hydroizolační vrstvy (Bohuslávek et al. 2009).

Kvalita materiálu a správná instalace hydroizolační vrstvy jsou v tomto případě zcela klíčové. Vodotěsná membrána by měla co nejtěsněji přiléhat ke střešní konstrukci. Pokud se pod ni dostane voda, je zapotřebí složitě a nákladně rozebrat všechny ostatní vrstvy vegetačního souvrství. Hydroizolace musí být dlouhodobě odolná vůči prorůstání kořenů vegetace, případně chráněna kořenovzdornou vrstvou (Burian et al. 2019; Cascone 2019).

- **Tepelná izolace a parotěsná zábrana**

Tepelná izolace přispívá ke zlepšení tepelného komfortu uvnitř budovy. Instaluje se pod hydroizolační vrstvu a její použití je u běžných střech volitelné, v případě vegetačních střech je však doporučována. V létě absorbuje sluneční záření, čímž snižuje teplotu v budově, a v zimě zabraňuje úniku tepla z interiéru, čímž udržuje budovu teplejší. Toto funguje díky kombinaci vegetace a izolačních vrstev, které společně zlepšují celkovou energetickou efektivitu budovy. Pro tepelnou izolaci se využívají materiály, které mají pevnost v tlaku a malou stlačitelnost (Burian et al. 2019, Shafique et al. 2018). Například jde o polystyren typu EPS, nebo XPS.

Pod izolaci je vhodné instalovat parotěsnou zábranu, která zamezuje pronikání vodní páry z interiéru do stavební konstrukce, v tomto případě zejména do střešního pláště, kde pára kondenzuje a způsobuje další škody (Dostalová et al. 2021).

- **Nosnost střechy**

Zelené střechy představují pro budovu vyšší zátěž než střechy klasické, a proto jejich realizace klade vyšší nároky na nosnost střechy. Celková hmotnost zelené střechy totiž zahrnuje váhu vegetačního souvrství, kde největší podíl tvoří substrát a vegetace, a také váhu zadržené srážkové vody (Naranjo et al. 2020).

Nosnost úzce souvisí se zvoleným typem zelené střechy. Intenzivní zelené střechy vyžadují silnější nosnou konstrukci, zatímco extenzivní zelené střechy zesílení konstrukce obvykle nepotřebují (Bohuslávek et al. 2009; Shafique et al. 2018). U pobytových (intenzivních) střech, jako jsou terasy a zahrady (například u nemocničních areálů, kancelářských budov nebo obchodních center) je potřeba vzít v úvahu také zatížení způsobené pohybem osob. Rovněž u nich musí být zajištěn bezpečný přístup a musí být zavedena opatření, která zajišťují bezpečnost provozu (Burian et al. 2019; Shafique et al. 2018).

Intenzivní zelené střechy jsou proto častěji instalovány na novostavbách, kde jsou přímo zahrnuty do stavebního plánu (Mell 2008). Při realizaci vegetačních střech na starších budovách je nutné nejprve provést statické posouzení nosné střešní konstrukce a v případě potřeby konstrukci zesílit (Bohuslávek et al. 2009). Z tohoto důvodu jsou při modernizaci stávajících střech preferovány spíše zelené střechy extenzivní (Shafique et al. 2018).

- **Sklon střechy**

Vegetační střechy bývají nejčastěji realizovány na plochých střechách se sklonem do 5° (tj. 8,75 %) a na šikmých střechách s mírným sklonem (od 5° do 20°, tj. 36,4 %), které umožňují stabilní růst i údržbu vegetace (Suszanowicz & Kolasa-Więcek 2019). U plochých střech je však doporučován minimální sklon 2 až 3 %, aby na povrchu nevznikaly kaluže, které negativně ovlivňují růst vegetace (způsobují přemokření, uhnívání rostlin apod.) a vlastnosti hydroizolace. U zelených střech kombinovaných s terasou se doporučuje sklon pochozí plochy v rozmezí 1,5 až 2 % k odvodňovacím zařízením (Burian et al. 2019; Cascone 2019).

Střechy se sklonem nad 3° (tedy více než 5,2 %) už však musí být vhodně zajištěny proti sjíždění střešního pláště, a je proto nutné zajistit polohu hydroizolační vrstvy a tepelné izolace vhodnými kotvicími prvky (Dostalová et al. 2021).

U střech s vyšším sklonem (od 15°, respektive 26,8 %) je pak navíc nutné přizpůsobit celé konstrukční řešení tak, aby byla zajištěna dostatečná stabilita substrátu a rostlin, které jsou náchylné k sesuvu (zejména v důsledku působení větru a deště). K tomu lze využít různé zádržné a stabilizační systémy a prvky (protiskluzové prahy, prostorové mříže aj.), které se mohou položit volně, bez kotvení do nosné konstrukce střechy, popřípadě s ukotvením, které však nesmí narušit hydroizolaci (Burian et al. 2019).

Rovněž je nutné volit vegetaci, která je odolná (vůči suchu i mrazu) a má silný kořenový systém, který dokáže sesuv zmírnit. Proto u šikmých střech obecně převládají extenzivní zelené střechy (Beecham et al. 2018; Cascone 2019).

Sklon střechy má vliv na retenci vody. Zelené střechy dokáží zadržet v průměru 50 až 100 % srážkové vody, přičemž střechy se sklonem 25 % (cca 14°) zadrží zhruba o 10 % vody méně, než střechy se sklonem 2 % (cca 1,2°) (Beecham et al. 2018, Getter et al. 2007).

Při stavbě šikmých zelených střech je také zapotřebí myslet na zajištění bezpečnosti osob, které budou provádět údržbu střechy. Střecha by měla mít nainstalované systémy proti pádu z výšky a (nebo) umožňovat ukotvení pracovního lana (Česká rada pro šetrné budovy 2020).

- **Střechy jednoplášťové, dvouplášťové, nezateplené a další**

Dalším důležitým aspektem je počet střešních plášťů a pořadí vrstev střešního pláště. U plochých střech jsou nejčastěji využívány střechy jednoplášťové, které jsou nevětrané a oddělují vnitřní prostředí od venkovního pomocí jednoho pláště. Ten může být s klasickým pořadím vrstev (na povrchu je hydroizolační vrstva, pod ní vrstva tepelné izolace a parotěsná zábrana, viz předchozí body), které je pro realizaci zelených střech nejvhodnější, nebo s opačným pořadím vrstev (běžně označováno jako inverzní či obrácené střechy), kdy je hydroizolace umístěna pod tepelnou izolaci (Burian et al. 2019).

Existují také tzv. duo střechy, které kombinují skladbu jednoplášťové střechy s klasickým pořadím vrstev a inverzní střechy. Využívají se zejména při rekonstrukci střech, kdy se opravuje nebo vyměňuje stávající svrchní hydroizolace, na kterou je pak položena nová tepelně izolační vrstva. U rekonstrukcí se dále provádějí plus střechy, u kterých je na stávající svrchní hydroizolační vrstvu aplikována vrstva tepelně izolační a na ni další nová hydroizolace.

Původní hydroizolační vrstva tak zastupuje funkci parotěsné zábrany (Čermáková & Mužíková 2009).

Dvouplášťová střecha má pak mezi dvěma střešními pláštěmi větranou vzduchovou mezeru (vrstvu), v níž volné proudění vzduchu odvádí přebytečnou vlhkost, která vzniká difúzí vodní páry, z konstrukce do vnějšího prostředí. Svrchní střešní plášť plní funkci hydroizolace a spodní plášť funkci tepelné izolace (Čermáková & Mužíková 2009).

U garáží, pergol, přístřešků apod. se často setkáváme s nezateplenými střechami bez tepelné izolační vrstvy, na nichž se realizují v podstatě jen extenzivní zelené střechy (Burian et al. 2019).

S přihlédnutím ke specifickým požadavkům se u některých budov instalace vegetační střechy z technických a bezpečnostních důvodů vůbec nedoporučuje. Jsou to především stavby v oblastech srážkového stínu a v oblastech s častým nedostatkem srážek (stepi, polopouště, pouště apod.), nebo stavby v blízkosti komínů a výdechů technologických zařízení či vzduchotechniky. Nevhodná jsou také místa s intenzivním prouděním vzduchu, které může vést k nevratnému poškození vegetace, a uzavřená atria, v nichž může během teplých období docházet k citelnému nárůstu teploty a špatné cirkulaci vzduchu. Pro instalaci zelené střechy nejsou vhodné ani příliš vysoké budovy, a samozřejmě budovy s nevyhovující střešní konstrukcí (Burian et al. 2019; Dunnett & Kingsbury 2004).

3.1.6 Příklady z praxe

- **Příklady zelených střech realizovaných v ČR**

V ČR se dnes nachází celá řada inspirativních udržitelných staveb. Aby se tyto stavby dostaly do širšího povědomí laické i odborné veřejnosti, sekce Zelených střech při SZÚZ pravidelně vyhlašuje soutěž Zelená střecha roku, v níž odborná porota oceňuje úspěšně realizované projekty v oblasti ozeleňování střech a fasád budov (SZÚZ 2024). Jako reprezentativní příklady s krátkým komentářem uvádím některá ze soutěžních děl, která jsou znázorněna na Obr. 5 až 10.



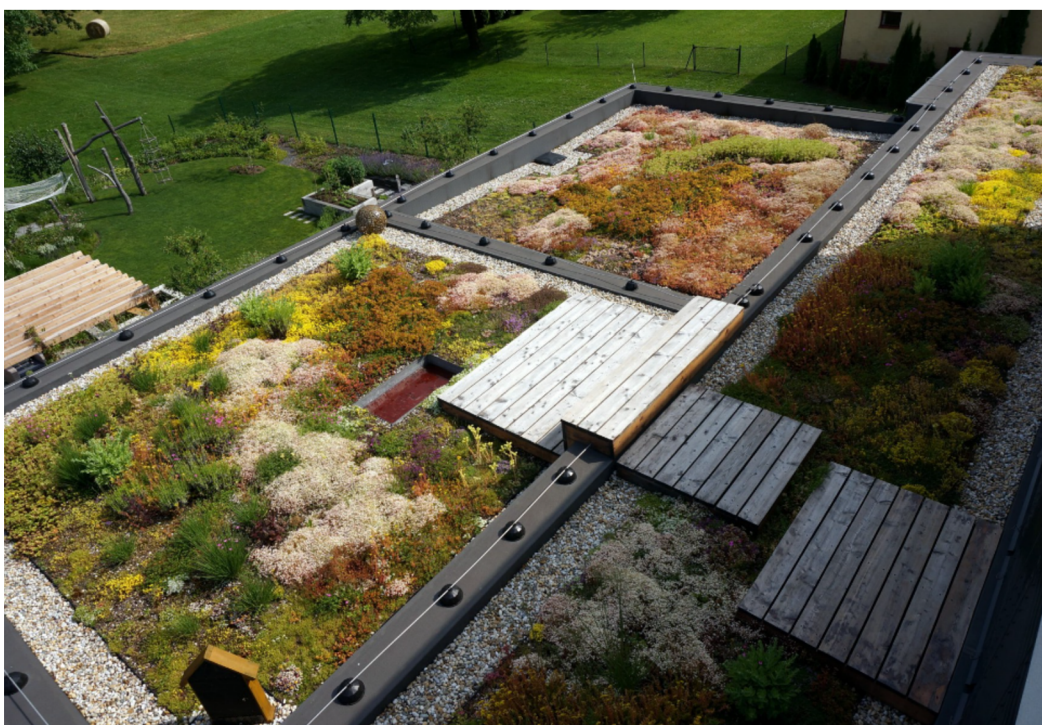
*Obr. 5 – Střešní terasa administrativní budovy DELTA v Praze 4. Pobytová intenzivní zelená střecha slouží jako odpočinkové místo pro zaměstnance a také se zde konají firemní akce.
Zdroj: SZÚZ 2018*



Obr. 6 – Zelená střecha Onkologického pavilonu Fakultní nemocnice Plzeň. Pobytovou intenzivní zelenou střechu využívají pacienti i zaměstnanci nemocnice. Zdroj: SZÚZ 2019



Obr. 7 – Extenzivní zelená střecha na Centru pro výzkum lemurů kata a vstup do zoologické zahrady Olomouc. Stavba má evokovat bránu, průchod zeleným kopcem, a vzbuzovat otázku, zda se vlastně jedná o dům. Zdroj: SZÚZ 2019



Obr. 8 – Pobytová extenzivní zelená střecha na novostavbě rodinného domu v Horních Bludovicích. Střecha se nachází v prvním patře domu a lze ji vidět z většiny místností. Vegetaci doplňuje malá dřevěná terasa, posedové schody a decentní vodní prvek. Zdroj: SZÚZ 2022



Obr. 9 – Šikmá extenzivní zelená střecha na rodinném domě v okrese Praha-západ. Vegetaci tvoří rozchodníky, netřesky a pažitka v předpěstované voštině. Zdroj: SZÚZ 2019



Obr. 10 – Extenzivní zelená střecha na panelovém bytovém domě v Brně-Bohunicích. Pomáhá vyrovnávat extrémní teploty, a to zejména v bytech pod střechou. Zdroj: SZÚZ 2022

- **Vlastní zkušenost**

Vzhledem k osobnímu zájmu o zahradnictví a udržitelné stavebnictví jsem se v roce 2020 rozhodl pro realizaci zelené střechy na vlastní garáži. Jelikož jsem celý projekt pojal jako nízkonákladový, zvolil jsem realizaci extenzivní rozchodníkové střechy a většinu prací (s výjimkou svařování hydroizolační vrstvy a pomocných prací, kdy bylo zapotřebí na střechu manuálně vynést zhruba 1200 kg substrátu) jsem po konzultaci s odborníky ze specializovaných firem provedl svépomocí.

Zelená střecha měla být aplikována na nově postavenou garáž, a proto byla konstrukce celé stavby dopředu nadimenzována tak, aby bez potíží unesla přidanou zátěž vegetačního souvrství. Na základě statického návrhu byla vybudována plochá železobetonová střecha o tloušťce 15 cm. Zelená střecha má celkovou rozlohu 48 m².

Díky výše uvedeným faktorům se při realizaci zelené střechy podařilo dosáhnout výrazně nižších investičních nákladů, než by tomu bylo v případě realizace tzv. na klíč. Projekt jsem uskutečnil bez využití dotace. Celkové náklady všech vrstev nad železobetonovou střechou se pohybovaly kolem 850 Kč/m².

Na střešní konstrukci se nachází dvojitě křížem natavená živičná lepenka, která plní základní hydroizolační funkci. Další vrstvu tvoří recyklovaná tepelná izolace z XPS 100 mm, jež byla získána v rámci rekonstrukce jiné zelené střechy a dále tepelá izolace z EPS spádových klínů. Na ni je položena geotextilie o plošné hmotnosti 300 g/m², dále perforovaná nopová fólie, která zastává funkci drenážní a hydroakumulační, a následně další geotextilie (také 300 g/m²), která funguje jako vrstva filtrační a separační.

Na geotextilii je pak substrát pro extenzivní zelené střechy od firmy AGRO CS o průměrné mocnosti 5 cm. Svrchní vrstvu tvoří rozchodníkové koberce, které jsem zakoupil od zahradnické firmy jako přebytečný materiál z jiné realizace. Rozchodníkový koberec zahrnuje kultivary *Sedum album*, *Sedum sexangulare*, *Sedum hispanicum* ‚Minus‘, *Sedum reflexum*, *Sedum lydium*, *Sedum acre*, *Sedum kamtschaticum* a další. Co se týče údržby, dvakrát ročně ze střechy odstraňuji náletový plevel a jedenkrát ročně na jaře aplikuji hnojivo NPK: 10-08-08 + 2MgO pro vegetační střechy. S výjimkou prvních tří měsíců po vysazení vegetace, kdy byla nutná dodatečná závlaha, jsou rostliny zcela odkázány na dešťové srážky.

Během letních dnů, kdy teplota vzduchu venku přesahovala 35 °C, bylo uvnitř objektu naměřeno maximálně 23 °C. V zimě je naopak omezen únik tepla z interiéru. V rámci energetických úspor jsem zvažoval také dodatečnou instalaci fotovoltaických panelů na vegetační střechu, nicméně vzhledem k tomu, že je střecha v odpoledních hodinách částečně zastíněna rodinným domem, jsem od záměru prozatím ustoupil.

Zelenou střechu pozitivně vnímají také naši sousedé, pro které představuje příjemné zpestření městského prostoru.

Na Obr. 11 je zachycena střecha: A) ihned po pokládce rozchodníkových koberců, B) dva měsíce po pokládce, C) a D) jeden rok po pokládce.



Obr. 11 – Rozchodníková střecha na garáži, vlastní realizace.

3.2 Ekonomika zelených střech

3.2.1 Náklady na realizaci a údržbu zelených střech

Finanční náklady na pořízení a údržbu zelené střechy se odvíjejí od zvoleného typu střechy, jejího rozsahu a použitých materiálů (Feng & Hewage 2018).

Do počátečních nákladů se započítává cena za přípravu projektu, prováděcí práce (stavební, zahradnické a další), veškerý stavební materiál (vegetace, substrát, izolace, zavlažování a další vrstvy vegetačního souvrství) a jeho doprava (Rosasco & Perini 2019). V současné době je kladen důraz na použití kvalitnějších, odolnějších a ekologičtějších stavebních materiálů, a také na složitější stavební postupy, což může vyústit ve zvyšování cen (Vijayaraghavan 2016).

K nákladům je nutné připočítat i případné zesílení konstrukce stavby, instalaci zavlažování a vzduchotechniky. V porovnání s klasickou střechou jsou tak počáteční investice zpravidla vyšší (Burian et al. 2019; Dostalová et al. 2021), většinou se však majiteli či investorovi brzy navrátí v podobě energetických úspor a prodloužení životnosti střechy (Konasová & Da Silveira 2016).

Zelená střecha může být navíc jedním z plusových kritérií při žádosti o některý z mezinárodně uznávaných certifikátů pro trvale udržitelné budovy. Ty jsou udělovány

především komerčním a průmyslovým objektům, mohou se ale vztahovat také na obytné domy a zpravidla zvyšují celkovou hodnotu stavby (Feng & Hewage 2018). V Evropě jsou uznávány zejména certifikační tituly LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) a BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method) (Česká rada pro šetrné budovy 2020; Naranjo et al. 2020).

Ceny vegetačních střech se v jednotlivých zemích a regionech výrazně liší. Například Feng & Hewage (2018) uvádějí, že v kanadské Britské Kolumbii se cena extenzivní zelené střechy pohybuje okolo 150 USD/m² a cena intenzivní zelené střechy překračuje 540 USD/m², v Singapuru a Číně se částky pohybují v rozmezí 40 až 80 USD/m², v Německu v průměru mezi 15 až 45 USD/m². Rosasco & Perini (2019) udávají, že zatímco průměrná cena klasické střechy v Itálii činí od 80 do 100 EUR/m² (v závislosti na typu střešní krytiny a izolační vrstvy), cena zelené střechy se pohybuje od 139 EUR/m² (extenzivní) do 249 EUR/m² (intenzivní). Je však potřeba zdůraznit, že tyto hodnoty jsou několik let staré a s těmi aktuálními se nemusí zcela shodovat.

V ČR se nyní cena vegetační střechy (kompletní instalace vegetačního souvrství bez nákladů na posílení konstrukce a odvodnění střechy) pohybuje přibližně od 800 do 2800 Kč/m², u intenzivních zelených střech to může být až do výše 5000 Kč/m² (Česká rada pro šetrné budovy 2020; Isover 2023).

Německý trh je v tomto odvětví nejrozvinutější (Castleton et al. 2010; Dixon & Wilkinson 2016). Již přes dvě desetiletí zde probíhá intenzivní výzkum a vývoj vegetačních střech. Na trhu je tak více konkurenceschopných firem, což zpravidla vede ke snižování cen. Když se odvětví v dané zemi etabluje, náklady na zelenou střechu mohou klesat o 30 až 50 % (Feng & Hewage 2018; Rosasco & Perini 2019). Kupříkladu Dixon & Wilkinson (2016) ve své studii odhadovali, že průměrná pořizovací cena zelených střech klesne mezi lety 2012 a 2017 o třetinu. Mezi evropskými a americkými cenami jsou však stále poměrně velké rozdíly, které lze dle Blackhurst et al. (2010) přisuzovat právě omezenějšímu intelektuálnímu i fyzickému kapitálu.

Do provozních nákladů je pak nutné započítat veškeré náklady na údržbu zelené střechy, tzn. odstraňování náletových dřevin, bylin a trav (plevelé), hnojení, postřiky proti škůdcům, závlaha, doplňování substrátu, dosévání osiva či dosazování rostlin, kontrolu a čištění odvodňovacích zařízení, sekání trávy apod. Četnost a náročnost údržby se odvíjí od pěstované vegetace, u extenzivních zelených střech to bývá jednou či dvakrát ročně, u intenzivních je péče většinou soustavná (Česká rada pro šetrné budovy 2020). Dle Rosasco & Perini (2019) činí roční náklady na údržbu extenzivní zelené střechy v průměru 2 EUR/m², u střechy intenzivní 7 EUR/m², ceny se ale rovněž mohou lišit v závislosti na lokalitě. V ČR je to zhruba 300 až 500 Kč/hod. práce, kterou by měl v ideálním případě vykonávat specializovaný pracovník (Česká rada pro šetrné budovy 2020).

Zejména investorům je proto před realizací střechy doporučováno provést kompletní analýzu nákladů a přínosů (cost-benefit analysis, CBA), která porovnává veškeré náklady vynaložené v průběhu životního cyklu střechy s veškerými benefity, jež zelená střecha přináší. Výsledek analýzy se nejčastěji udává v tzv. čisté současné hodnotě (net present value, NPV), která určuje výnosnost a proveditelnost projektu (Teotónio et al. 2021). Některé benefity zelených střech (zejména ty sociální a psychologické) však nemohou být řádně kvantifikovány (Shafique et al. 2018).

Rovněž je potřeba vzít v úvahu, že v případě poškození některé z vrstev vegetačního souvrství budou náklady na opravu vzhledem k složitější přístupnosti vyšší. Pokud je však instalace provedena kvalifikovanou firmou, závady se vyskytují jen ojediněle (Dostalová et al. 2021; Konasová & Da Silveira 2016).

Poslední náklady jsou spojeny s koncem životnosti střechy (ta se udává od 40 do 55 let, ale může být i podstatně delší). Materiály lze za poplatek uložit na skládku nebo v ideálním případě zrecyklovat a opětovně použít (Feng & Hewage 2018; Rosasco & Perini 2019).

3.2.2 Přímá a nepřímá podpora zelených střech

Realizace zelených střech je pro majitele (investora) poměrně nákladnou záležitostí. Přitom tato technologie přináší řadu benefitů nejen jemu, ale také životnímu prostředí a celé společnosti. Veřejný sektor by proto měl zeleň na budovách podporovat přímou (finanční pobídka ve formě dotací, příspěvků apod.) i nepřímou (slevy a úlevy na daních, poplatcích apod.) formou (Česká rada pro šetrné budovy 2020; Li & Yeung 2014).

Na národní úrovni je k tomuto účelu v ČR vyčleněna dotační podpora v rámci programu Nová zelená úsporám. Společenství vlastníků jednotek a bytová družstva mohou žádat o zálohové dotace na stavbu zelených střech na bytových domech (včetně památkově chráněných budov) či dalších doplňkových nadzemních stavbách ve svém vlastnictví. Podle typu zelené střechy mohou v současné době čerpat 800–1000 Kč/m² plochy zelené střechy, přičemž celková výše podpory může dosahovat až 400 000 Kč na jednu stavbu. Dotace však může být schválena jen tehdy, kdy je zelená střecha realizována v kombinaci se zateplením, fotovoltaikou, nebo instalací zdrojů tepla (tj. tepelné čerpadlo, plynový kotel apod.). Za stejných podmínek mohou žádat také vlastníci a stavebníci bytových domů (Státní fond životního prostředí ČR 2024).

Žadatelem mohou být také obce, veřejná správa či příspěvkové organizace, které mohou získat 1200–1500 Kč/m² plochy zelené střechy a až 600 000 Kč na jednu stavbu. Vlastníci stávajících a stavebníci nových rodinných a řadových domů mohou získat dotaci v maximální výši 100 000 Kč na podporovanou stavbu (Státní fond životního prostředí ČR 2024). Maximální míra podpory je ve všech případech 50 % celkových přímých realizačních výdajů a střechy musí být navrženy podle Standardů SZÚZ (SZÚZ 2021).

Dotační podpora se začíná objevovat také na komunální úrovni. Statutární město Brno nabízí od roku 2019 podporu skrze program Zeleň střechám a vlastní dotační program mají také města Hodonín nebo Ústí nad Orlicí (SZÚZ 2021).

Další, v zahraničí velmi oblíbenou možností, jak motivovat k ozeleňování budov, je například snižování poplatků za stočné v závislosti na množství zadržené dešťové vody, která neskončí v kanalizační síti (Čermáková & Mužíková 2009; Česká rada pro šetrné budovy 2020). Od roku 2022 mohou v ČR právnické osoby a veřejné instituce, které mají na svých budovách zelené střechy, uplatnit snížení poplatku za srážkovou vodu (domácnosti a další subjekty za odvod této vody neplatí). Výpočet snížení poplatku se řídí Vyhláškou č. 244/2021 Sb. (Ministerstvo zemědělství 2021).

Obce také mohou zahrnout vegetační střechy přímo do svého územního plánu. Kupříkladu v kanadském Torontu je na všech budovách s podlahovou plochou nad 200 m² povinné realizovat zelenou střechu na 20–60 % rozlohy střechy, v Mnichově (Německo) jsou zelené střechy povinnou součástí všech plochých střech s plochou nad 100 m² a v New Yorku

(USA) mohou majitelé zelených střech uplatnit slevu na dani ve výši okolo 5 USD na m² zelené střechy (Feng & Hewage 2018; Shafique et al. 2018). V ČR se touto cestou jako první vydalo středočeské město Říčany, které u všech nových staveb s 300 m² zastavěné plochy (případně u všech přístavbě stávajících objektů, kdy velikost přístavby přesáhne zastavěnou plochu 300 m²) povinně vyžadují zelenou střechu, a to v rozsahu minimálně 80 % plošné výměry střechy (Kaplan & Jelínková 2020; SZÚZ 2021).

Chen et al. (2018) na základě dotazníkového šetření, jehož cílem bylo identifikovat hlavní bariéry při realizaci zelených střech v čínských městech, pro změnu navrhuje, aby místní samospráva finančně kompenzovaly zvýšené náklady za služby související s návrhem (architektonická studie, projektová dokumentace, stavební povolení apod.) a následnou realizací projektu. Rovněž doporučují osvětovou činnost a odbornou pomoc ze strany státu, který by se ve vlastním zájmu měl zasadit o rozvoj udržitelného stavitelství.

3.3 Přínosy a rizika zelených střech

3.3.1 Funkce a přínosy zelených střech

Vzhledem k rostoucímu zájmu o životní prostředí a obavám z klimatických změn se v posledních letech čím dál častěji zavádějí strategie udržitelného rozvoje měst, v rámci kterých je modro-zelená infrastruktura vnímána jako důležitý a efektivní nástroj (Liberalesso et al. 2020). V národní Strategii přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR (Ministerstvo životního prostředí 2015) jsou vegetační střechy v městské krajině vyzdvihovány především pro minimalizaci povrchového odtoku dešťové vody, zajištění funkčního a ekologicky stabilního systému sídelní zeleně, snížení rizik souvisejících s teplotou a kvalitou ovzduší a podporu ekosystémů, přírodních nebo přírodě blízkých ploch a prvků, které pomáhají při adaptaci na dopady klimatické změny.

Rozsah funkcí a přínosů zelených střech, které dokáží zvyšovat výkonnost budovy a zároveň zlepšovat okolní městské prostředí, je skutečně velmi široký a může být detailněji rozdělen do následujících kategorií:

A) Environmentální

- Filtrace ovzduší

Znečištění ovzduší je v silně urbanizovaných oblastech velkým problémem. Stojí za ním faktory jako vysoká koncentrace dopravy, lokální vytápění a průmysl, které jsou zodpovědné za přítomnost oxidu uhličitého, oxidu siřičitého, oxidů dusíku, těžkých kovů a suspendovaných částic (PM) v ovzduší. Všechny tyto polutanty negativně ovlivňují zdraví obyvatel i stav životního prostředí (Suszanowicz & Kolasa-Więcek 2019).

V ČR se kvalita ovzduší v posledních dekádách obecně kontinuálně zlepšuje, ale koncentrace některých nebezpečných látek, konkrétně karcinogenního benzo[a]pyrenu, suspendovaných částic PM₁₀ a PM_{2,5} a přízemního ozonu, stále překračují stanovené imisní limity na mnoha místech republiky (ČHMÚ 2023).

Zelené střechy mohou významně přispívat k filtraci ovzduší. Jejich vegetace dokáže čistit vzduch pomocí přímých a nepřímých procesů. K těm přímým patří schopnost pohlcovat plynné znečišťující látky skrze své průduchy, k procesům nepřímým pak patří schopnost

snižovat spotřebu energie či snižovat efekt městského tepelného ostrova (Vijayaraghavan 2016), a bude jim věnován prostor v následujících podkapitolách.

Yang et al. (2008) vypočítali, že zelená střecha v Chicagu (USA) s plošnou výměrou 19,8 hektarů dokáže během jednoho roku odstranit 1675 kg látek znečišťujících ovzduší, přičemž ozón tvořil 52 % z celkového množství, oxid dusičitý 27 %, PM₁₀ 14 % a oxid siřičitý 7 %. Johnson & Newton (1996) zase odhadují, že zelená střecha o rozloze 2000 m² pokrytá nesečenou trávou může odstranit až 4000 kg pevných částic.

Zásadní je také sekvestrace uhlíku, při níž rostliny pomocí fotosyntézy přeměňují oxid uhličitý z atmosféry na kyslík a uhlík ukládají do své biomasy a půdy (substrátu). Zelené střechy tak pomáhají snižovat uhlíkovou stopu měst (Li & Babcock 2014). Kupříkladu Getter et al. (2009) během studie v USA provedené na 12 zelených střechách zjistili, že nadzemní část rostliny dokáže během jednoho vegetačního období naakumulovat v průměru 162 g uhlíku na m² a její kořeny 107 g uhlíku na m². Všech 12 střech bylo primárně složeno z rostlin rodu *Sedum*. Výsledky těchto studií ale nelze považovat za všeobecně platné vzhledem k odlišným klimatickým podmínkám nebo typu použitých rostlin. Fotosyntéza je účinnější v oblastech s větší délkou slunečního svitu (Suszanowicz & Kolasa-Więcek 2019).

- **Hospodaření s dešťovou vodou**

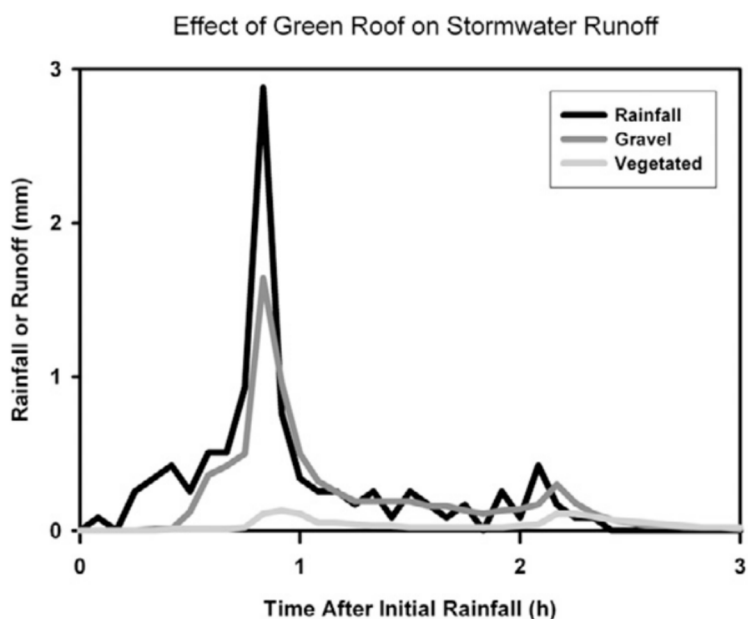
V důsledku densifikace (zahušťování) zástavby ve městech přibývá nepropustných zastavěných povrchů (budovy, silnice, parkoviště, chodníky apod.), které brání vsakování vody do půdy (Stovin et al. 2008). Během přívalových dešťů, bouřek nebo rychlého tání sněhu a ledu dochází k nadměrnému odtoku srážkové vody, která stéká rovnou do kanalizační sítě a často způsobuje její přetížení. Zvýšený odtok také přispívá k rychlejšímu stoupání hladiny řek a dalších vodních zdrojů, což může vyústit v povodně a záplavy (Rowe & Getter 2015).

Vegetační souvrství zelené střechy dokáže výrazně zpomalovat a snižovat odtok srážek. Obce by proto měly zvážit zařazení zelených střech do svého systému vodního hospodářství (Carter & Butler 2008). Voda zadržaná v substrátu slouží rostlinám, popřípadě ze střechy odtéká s až několikahodinovým zpožděním, čímž předchází nárazovému zatížení kanalizace (Suszanowicz & Kolasa-Więcek 2019). Ve srovnání s konvenční střechou se zvyšuje intercepce (tj. zachycování srážek na povrchu vegetace nebo na vyvýšených předmětech), evapotranspirace (tj. celkový výpar ze zemského povrchu do atmosféry, který se skládá z fyzikálního (evaporace) a fyziologického (transpirace) výparu) a celková akumulace srážkové vody (Carter & Butler 2008).

Odtok srážkové vody může být snížen o 50 až 100 % v závislosti na dané lokalitě a typu zelené střechy (Getter et al. 2007). Naranjo et al. (2020) uvádí na základě 8 studií z USA a Evropy rozptyl 45 až 78 %. Množství zadržené vody se odvíjí od faktorů jako je hloubka substrátu, jeho složení, sklon střechy, druh vegetace, předchozí vlhkost substrátu, či intenzita a délka trvání srážek (Rowe & Getter 2015). Kupříkladu Van Seters et al. (2009) ve své studii provedené na 11 modelových površích v USA v letech 2003 až 2005 došli k závěru, že vegetační střecha snižuje a zpomaluje odtok srážek o 63 % ve srovnání s tradičním povrchem, v letních měsících dokonce o 70 až 93 %. Dapolito Dunn & Stoner (2007) udávají, že demonstrační zelená střecha v Chicagu dokáže během bouřky snížit odtok o více než 75 %. Kaiser et al. (2019) při měření v Neubrandenburgu (sever Německa) a Berlíně v letech 2017 a

2018 zjistili, že extenzivní zelené střechy snižují odtok během vegetačního období až o 90 % a že extenzivní zelené střechy starší 10 let s hloubkou substrátu 10 cm mohou snížit průměrný roční odtok až o 70 %. Abdalla et al. (2024) analyzovali na drenážních rohožích v laboratorních podmínkách vliv sklonu střechy na odtok vody, a zjistili, že rohož se sklonem 2 % dokáže odtok zpomalit o 20 minut, zatímco rohož se sklonem 20 % pouze o 14 minut.

Shafique et al. (2018) zmiňují, že retenční funkci mají také střechy zatížené štěrkem či jiným vhodným kamenivem. Tyto střechy mají nižší nároky na konstrukci i údržbu, nemají však tak kladný dopad na životní prostředí jako vegetační střechy. Obr. 12 znázorňuje porovnání odtoku dešťových srážek ze střechy s vegetačním pokryvem a ze střechy se štěrkovým zásypem během říjnového deště v Michiganu v USA (Rowe & Getter 2015). Z grafu je patrné, že vegetační souvrství je mnohem účinnější než štěrk.



Obr. 12 – Porovnání množství (v mm) odtoku dešťových srážek (rainfall) v čase (hod.) ze střechy se štěrkovým (gravel) zásypem a ze střechy s vegetačním (vegetated) pokryvem.
Zdroj: Rowe & Getter 2015

Pro své filtrační schopnosti bývají zelené střechy rovněž spojovány se zlepšením jakosti odtokové vody. Tento efekt je však přímo závislý na kvalitě a stáří použitých materiálů, výběru růstového média a rostlin, způsobu údržby vegetačního souvrství, i na stavu okolního životního prostředí a místních zdrojích znečištění (Suszanowicz & Kolasa-Więcek 2019). Zelená střecha dokáže absorbovat dusík, olovo, zinek a další polutanty obsažené ve srážkách, naopak ale může vylučovat větší množství fosforu a jiných nežádoucích látek, které se uvolňují z odumřelé organické hmoty a hnojiv. Větší riziko znečištění vod je proto u intenzivních zelených střeš (Li & Yeung 2014).

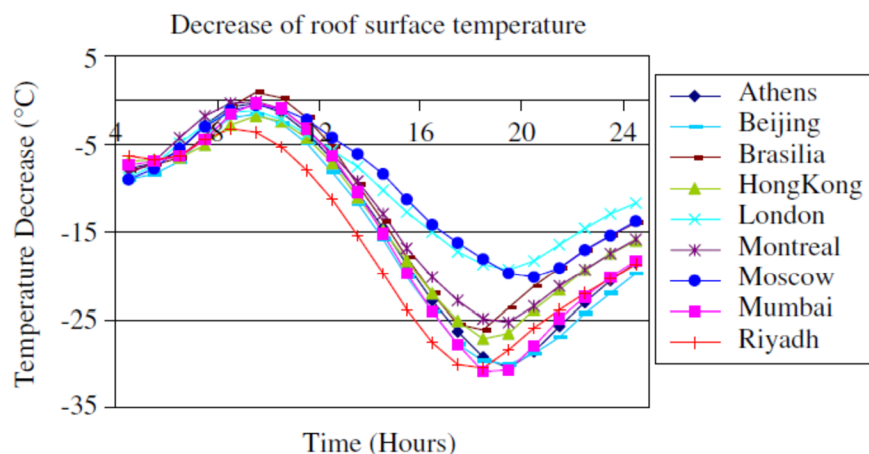
- **Regulace povrchové teploty střechy a teploty okolí**

Městské aglomerace se v posledních dekáдах potýkají s tzv. efektem městského tepelného ostrova (anglicky „Urban Heat Islands“), kdy teploty vzduchu a povrchů ve městech výrazně převyšují teploty v okolní (venkovské a příměstské) krajině (Suszanowicz &

Kolasa-Więcek 2019), a to i o více než 5 °C (Rowe & Getter 2015). K jevu dochází zejména tehdy, když jsou biologicky aktivní povrchy (zeleň) nahrazeny betonem, kamenem, asfaltem a dalšími nepropustnými materiály. Zastavěné plochy v průběhu dne absorbují a akumulují vysoké množství tepla, které pak zpětně vyzařují v průběhu noci. Teplotní rozdíly proto bývají nejvíce patrné v hustě zastavěných oblastech (většinou v centru města) a během noci (Pradhan et al. 2019). Efekt má negativní dopad na stav životního prostředí, na zdraví obyvatel i na ekonomický sektor (IPCC 2023).

Díky tepelnému odporu substrátu, stínící a izolační funkci vegetace, a přirozeně chladicímu účinku evapotranspirace mohou zelené střechy sehrát zásadní a ekonomicky přijatelnou roli při snižování tepelného ostrova (Jaffal et al. 2012). Řada autorů (Köhler & Schmidt 2002; Carter & Butler 2008; Pradhan et al. 2019; Suszanowicz & Kolasa-Więcek 2019 a další) se na základě experimentálních měření shoduje, že vegetační souvrství snižuje povrchovou teplotu střechy, čímž rovněž ochlazuje své bezprostřední okolí a snižuje potřebu aktivního chlazení budovy (snižuje výdaje za klimatizaci).

Například Liu & Baskaran (2003) v Torontu během letních měsíců zjistili, že teplota hydroizolační membrány zelené střechy se pohybovala okolo 25 °C, zatímco teplota membrány konvenční střechy dosahovala 70 °C. Obr. 13 znázorňuje výsledky měření Alexandri & Jones (2008), kteří porovnávali povrchovou teplotu střech s vegetačním pokryvem s povrchovou teplotou střech bez vegetačního pokryvu v různých částech světa. Z grafu je patrné, že vegetační pokryv snižuje teplotu střechy nejvýrazněji v oblastech s teplým a suchým klimatem. V Rijádu, Bombaji (Indie), Pekingu či Athénách se v podvečerních hodinách jedná o pokles v řádu 30 až 35 °C, zatímco v Moskvě nebo Londýně je to okolo 20°C.

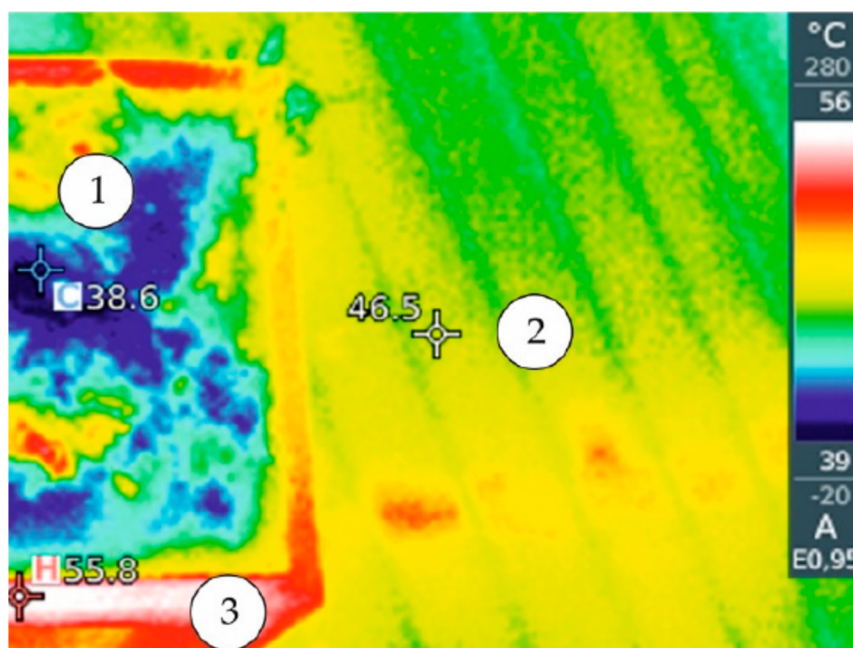


Obr. 13 – Vliv extenzivní zelené střechy na snížení povrchové teploty střechy v různých oblastech světa. Zdroj: Alexandri & Jones 2008

V ČR probíhá měření například na experimentální zelené střeše Univerzity J. E. Purkyně v Ústí nad Labem. Extenzivní zelenou střechu s mocností substrátu 8 cm pokrývá vegetace složená zejména ze *Sedum* sp., *Dianthus* sp. a dalších drobných rostlin. Univerzita porovnáva výsledky z měřících senzorů umístěných na zelené střeše a na vedlejší části střechy s PVC fólií bez vegetačního souvrství. Z dosavadních naměřených výsledků lze vyzdvihnout například ten z dosud nejteplejšího dne (19. 6. 2022), kdy maximální teplota vzduchu dosáhla

40,8 °C (v 16:00), zatímco teplota hydroizolace pod vegetačním souvrstvím po celý den jen zlehka přesahovala 30 °C a teplota hydroizolace na střeše bez vegetačního pokryvu skokově narůstala až na hodnotu 71 °C (ve 13:20) a poté zase razantně klesala ke svým nočním hodnotám (zhruba 20 °C) (Macháč et al. 2024).

Obr. 14 zobrazuje model zelené střechy v polském Opolí (sestavený Suszanowicz & Kolasa-Więcek 2019) zachycený termografickou kamerou během letních měsíců. Je z něj patrné, že při teplotě vzduchu 34 °C se povrchová teplota vegetační vrstvy (1) pohybuje okolo 39 °C, zatímco povrch betonové desky (2) dosahuje 46,5 °C a ocelový střešní rám (3) až 55,8 °C. Toto srovnání je relevantní pro střední a východní Evropu, kde se většina staveb skládá právě z těchto materiálů.



Obr. 14 – Modelové měření povrchové teploty střechy v Opolí během letních měsíců.
(1) vegetační vrstva, (2) betonová deska, (3) ocelový střešní rám.
Hodnoty teploty uvedeny v °C. Zdroj: Suszanowicz & Kolasa-Więcek 2019

- **Redukce hluku**

Zelené střechy mají potenciál regulovat zvukovou zátěž obyvatel (Manso et al. 2021). Vegetační souvrství dokáže absorbovat, rozptýlovat a odrážet zvukové vlny ve větší míře než tvrdý povrch, díky čemuž se snižuje hluk v městském prostředí i uvnitř budovy (Mihalakakou et al. 2023). Efekt může být velmi užitečný zejména pro budovy v blízkosti dálnic, železnic, nočních klubů, pro haly v průmyslových zónách apod. (Feng & Hewage 2018).

Studie na toto téma jsou stále poměrně omezené, například Van Renterghem & Botteldooren (2008) ale udávají, že zelené střechy mohou snižovat hluk zhruba o 10 dB ve srovnání se střechou klasickou. Podobné hodnoty udávají i Connelly a Hodgson (2008), kteří naměřili snížený přenos zvuku o 5 až 13 dB v pásmu nízkých a středních frekvencí (50 až 2000 Hz) a o 2 až 8 dB při vyšších frekvencích.

- **Podpora biodiverzity**

Při správném managementu dokáží zelené střechy vytvořit habitat vhodný pro živé organismy (Carter & Butler 2008). Pomáhají tak obnovit ekologickou stabilitu a zvyšovat biologickou rozmanitost (biodiverzitu), která ve městech ubývá rychlejším tempem než v mimoměstských oblastech. Pokud jsou střechy umístěny v blízkosti (leso)parků, stromořadí, zahrad a dalších izolovaných zelených ploch, mohou se stát také důležitou součástí biokoridorů, které umožňují migraci a pohyb volně žijících živočichů mezi biocentry (Hui & Chan 2011).

Na zelených střechách se daří zejména náletovým rostlinám, hmyzu, ptákům a dalším drobným živočichům, mezi nimiž jsou často i vzácné či ohrožené druhy (Dunnnett 2006). Madre et al. (2013) studovali výskyt a chování členovců (konkrétně *Araneae* (pavouci), *Coleoptera* (brouci), *Hemiptera* (polokřídli) a *Hymenoptera* (blanokřídli)) na 115 vegetačních střechách v severní Francii. Cíleně sledovali tři různé typy zelených střech (střechy s pouze mechovým pokryvem, střechy s kombinací mechu a lučních květin, a střechy s kombinací mechu, lučních květin a nízkých dřevin), přičemž druhová rozmanitost a početnost většiny taxonů byla nejvyšší u střech s nejrozmanitější skladbou vegetace. Fenoglio et al. (2023) ve španělské Córdobě testovali vliv původu rostliny na výskyt hmyzu a zjistili, že původní druhy rostlin podporují vyšší početnost hmyzu na úrovni společenstva v porovnání s exotickými druhy. Pro potvrzení této teorie je ale nutné rozšířit sledování do různých klimatických oblastí.

Ptáci, a zejména ti, kteří hnízdí na zemi, jsou ve městech rovněž silně ohroženi ztrátou habitatu. Baumann (2006) během dvouleté studie na zelených střechách v různých částech Švýcarska zaznamenal výskyt *Charadrius dubius* (kulík říční) a *Vanellus vanellus* (čejka chocholatá). Partridge & Clark (2018) potvrdili, že zelené střechy ve městě New York (USA) poskytují bezpečné útočiště migrujícím a hnízdícím ptákům. Ksiazek et al. (2012) v Chicagu (USA) pro změnu potvrdili výsledky dřívějších studií, které u zelených střech prokázaly nižší počet a pestrost včel a dalších opylovačů ve srovnání se zelení na zemi. Zároveň ale zdůraznili, že přítomný hmyz má i přesto pozitivní vliv na opylování pěstované vegetace.

Občas se objevují názory, že zelené střechy a fasády dokáží fungovat jako samostatné ekosystémy. Tvzení se ale zatím nepodařilo potvrdit (Madre et al. 2013). Aby ze zelených střech živočichové profitovali co nejvíce, je potřeba zejména zajistit druhovou pestrost pěstovaných rostlin (Zavaleta et al. 2010; Hui & Chan 2011). Závěrem je nutné dodat, že všechny výše zmíněné ekosystémové služby poskytují zelené střechy tehdy, pokud jsou ve městě realizovány ve větším měřítku. Jedna zelená střecha menšího rozsahu sice přinese úspory energií i mírné zlepšení klimatu v bezprostřední blízkosti budovy, na klimatickou situaci jako takovou ale příliš velký vliv nemá (Manso et al. 2021).

B) Ekonomické

- **Úspora energií**

Zelené střechy přispívají k lepší tepelné izolaci budovy, která je klíčovým prvkem tzv. pasivních domů. Dokáží zajistit tepelný komfort uvnitř stavby – v letním období v interiéru udržují nižší teploty, v zimě naopak teploty neklesají (Konasová & Da Silveira 2016). Majitel domu díky tomu výrazně ušetří na nákladech za klimatizaci a vytápění, což je jeden ze stěžejních důvodů, proč se lidé rozhodují pro ozelenění střechy (Saadatian et al. 2013).

Vegetační souvrství zesiluje účinnost tepelné izolace, která však zejména u starších budov často zcela chybí, nebo má nedostatečný účinek. Úspora energií je proto zřetelnější u rekonstruovaných střech než u novějších staveb, u kterých je použití tepelné izolace povinné (Castleton et al. 2010). Úspora je také větší u jednopodlažních domů než u domů vícepatrových (Saadatian et al. 2013).

Tepelně izolační efekt zde funguje tak, že rostliny (spolu se substrátem) díky svým biologickým funkcím, jako je fotosyntéza, respirace (dýchání), transpirace a evaporace, absorbují značnou část slunečního záření, čímž se sníží množství tepla, které dosahuje vrstev střešního pláště a střešní konstrukce (Köhler & Schmidt 2002; Berardi et al. 2014). V zimě vegetační souvrství společně s tepelnou izolací naopak zabraňuje úniku tepla z interiéru. S množstvím vrstev a hloubkou substrátu se izolační efekt zpravidla zvětšuje (Rosasco & Perini 2019).

Výše finančních úspor se v jednotlivých zemích a regionech liší. Kupříkladu v případové studii na kancelářské budově v severoitalském Janově (Perini & Rosasco 2016) byly kvantifikovány roční úspory nákladů na vytápění ve výši 0,19 EUR/m² u extenzivní zelené střechy a 0,28 EUR/m² u intenzivní zelené střechy, u klimatizace pak 1,62 EUR/m², respektive 2,69 EUR/m². Niachou et al. (2001) vypočítali, že instalace vegetačních střech v klimatických podmínkách Athén poskytuje potenciální roční energetické úspory ve výši 2 až 44 %, přičemž nejvyšší procento platí pro střechy bez předchozí tepelné izolace. Experiment Wong et al. (2003) s vegetační střechou instalovanou na pětipodlažní komerční budově v Singapuru ukázal, že lze dosáhnout roční energetické úspory ve výši 1 až 15 %.

Zajímavou alternativou pasivních domů jsou také tzv. domy chráněné zemí, které rovněž dokáží výrazně snížit energetickou náročnost budovy. Kromě jižní strany s okny jsou tyto domy obvykle ze všech stran zasypány zeminou. Milanović et al. (2018) uvádí, že pro udržení stabilní teploty uvnitř takového domu v mírných klimatických zónách stačí zelená střecha se zhruba 40 cm vrstvou zeminy (substrátu) a doporučuje tyto stavby jako udržitelnou formu obydlí v 21. století. Pokud má dům vchod na východní straně, lze v interiéru udržet příjemných 21 °C i ve chvíli, kdy venkovní teplota přesahuje 35 °C.

- **Prodloužení životnosti střechy a protipožární ochrana**

Odborníci (Dixon & Wilkinson 2016; Kosareo & Ries 2007; Manso et al. 2021; Rosasco & Perini 2019; Shafique et al. 2018 a další) se shodují, že životnost vegetačních střech předčí životnost klasických střech zhruba dvojnásobně. Zatímco hydroizolační membrána klasické střechy vydrží zhruba 10 až 20 let, zelené střechy by měly zajistit životnost minimálně 40 let. V Berlíně (Manso et al. 2021) a ve švýcarském Curychu (Rowe & Getter 2015) byly dokonce zaznamenány případy vegetačních střech, které bez zásadnějších oprav vydržely rovných 90 let.

Vegetační pokryv chrání střechu (zejména její membránu) před přímým UV zářením, velkými teplotními výkyvy a klimatickými vlivy (kyselá dešť, kroupy apod.), omezují teplotní roztažnost, vytváření kaluží a další nežádoucí jevy (Cascone 2019; Dunnett & Kingsbury 2004).

Někdy bývá vyzdvihována také zvýšená požární odolnost zelených střech. Díky tomu, že vegetační souvrství obsahuje vodu, mohou být ve srovnání se střechami klasickými skutečně

méně náchylné ke vzniku požáru. V případě, že substrát s vegetací vyschne, ale může být riziko naopak mnohem vyšší (Manso et al. 2021).

V některých zemích (například v USA či Velké Británii) se při realizaci zelené střechy provádějí standardizované požární testy. Aby byl protipožární efekt co nejvyšší, je nutné střechu pravidelně udržovat, tzn. odstraňovat suché a odumřelé rostliny, pěstovat suchovzdornou vegetaci a v případě nutnosti substrát sezónně zavlažovat (Suszanowicz & Kolasa-Więcek 2019). U velkoplošných zelených střech je vhodné rozdělit souvislý vegetační povrch několika pásy bez vegetace, které by v případě požáru zabránily jeho šíření (Manso et al. 2021).

- **Zvýšení tržní hodnoty stavby**

Ozelenění střech a fasád zvyšuje tržní hodnotu stavby. Nejen, že se tím zvyšuje její estetická hodnota, ale v případě obytných zelených střech vzniká dodatečný obytný prostor, který slouží jako park či zahrada (Feng & Hewage 2018). Hodnota nemovitosti se může zvýšit o 3,6 až 20 %, v závislosti na typu a využití zelené střechy (Rosasco & Perini 2019). Bianchini & Hewage (2012) uvádějí, že v případě extenzivní zelené střechy narůstá hodnota nemovitosti v průměru o 2 až 5 %, u intenzivní zelené střechy o 5 až 8 %. Extenzivní zelená střecha může zvýšit hodnotu nemovitosti z 2,6 USD/m² na 8,3 USD/m², zatímco intenzivní zelené střechy mohou hodnotu zvýšit z 8,3 USD/m² dokonce až na 43,2 USD/m². Uvedené hodnoty v USD jsou obecný průměr pro Severní Ameriku a Evropu (Feng & Hewage 2018).

- **Pěstování plodin**

Za daných podmínek lze zelené střechy využívat také k pěstování zemědělských plodin. Tzv. „městské zemědělství“ (anglicky „urban agriculture“ nebo „urban farming“) zahrnuje pěstování rostlin i chov hospodářských zvířat v městském prostředí (Hui 2011). Hlavním cílem je zajistit obyvatelům dostatek kvalitních potravin z lokálních zdrojů a snížit ekologickou stopu potravin, které jsou běžně dopravovány z velmi vzdálených míst. Zvyšuje se tím také potravinová bezpečnost regionu (Edmondson et al. 2020). Příkladem městského zemědělství jsou soukromé, komunitní i komerční farmy a zahrady, které mohou být realizovány jak na zemi, tak na střechách či fasádách budov (Dixon & Wilkinson 2016).

Střešní zahrady a farmy jsou nejefektivnější, pokud jsou instalovány na ploché střechy nízkých či středně vysokých budov (například na střechu supermarketu) (Hui 2011). Vhodnější jsou intenzivní zelené střechy, jejichž hlubší substrát umožňuje stabilní růst užitkových rostlin. Whittinghill et al. (2013) ale ve své studii zjistili, že některé běžné plodiny, jmenovitě *Solanum lycopersicum* (lilek rajče), *Cucumis sativus* (okurka setá), *Phaseolus vulgaris* (fazol obecný), *Ocimum basilicum* (bazalka pravá) a *Allium schoenoprasum* (pažitka pobřežní), lze s adekvátní péčí úspěšně pěstovat také na extenzivních střechách. Stále oblíbenější je také včelaření ve městech (Suszanowicz & Kolasa-Więcek 2019).

Někteří autoři tento koncept spíše kritizují. Kupříkladu Hawes et al. (2024) zjistili, že městské zemědělství má ve skutečnosti vyšší uhlíkovou stopu než zemědělství konvenční. V rámci nedávného výzkumu porovnávali data ze 73 low-tech (technicky nenáročných) městských zahrad a farem v USA, Francii, Německu, Polsku a Velké Británii, a došli k závěru, že po sečtení všech nezbytných vstupů (které jsou konkrétně u střešních zahrad vyšší, jelikož

kromě osiva, hnojiv a zavlažování je nutné zajistit také substrát, hydroizolaci a další syntetické materiály) na jednu porci potravin vypěstované v konvenčním zemědělství připadá v průměru 70 gramů ekvivalentu oxidu uhličitého, zatímco u městského zemědělství je to 420 gramů, což znamená šestinásobně vyšší uhlíkovou stopu.

Čísla se ale v různých regionech a u některých plodin (například u rajčat) mírně lišila a ve výjimečných případech dosáhly městské farmy lepších výsledků než farmy konvenční. Tyto výjimky naznačují, že by zemědělci ve městech mohli negativní environmentální dopady výrazně snížit tím, že by pěstovali pouze plodiny, které se obvykle pěstují ve skleníku a/nebo se letecky přepravují. Museli by rovněž využívat svá pole a zahrady dlouhodobě (v řádu několika dekád) a udržitelně (tzn. recyklovat veškeré dostupné zdroje – kompostovat, používat srážkovou vodu, přírodní hnojiva apod.) (Hawes et al. 2024).

C) Psychologické a sociální

- **Estetická funkce**

Zatímco environmentální a ekonomické přínosy zelených střech jsou poměrně dobře kvantifikovatelné a odborníky obecně uznávané, jejich sociální a estetický význam bývá často přehlížen (Feng & Hewage 2018). Pobytové zelené střechy mohou vytvářet příjemný veřejný prostor pro odpočinek nebo setkávání, obdobně jako park (Kotzen 2018). Jsou zajímavým architektonickým prvkem, který rozbíjí často jednotvárnou a šedivou městskou krajinu (Vijayaraghavan 2016). Rostliny zakomponované v městském prostoru a na střechách či fasádách domů upoutají lidskou pozornost více než rostliny v klasických zahradách (Abass et al. 2020).

Sarwar & Alsaggaf (2020) pomocí dotazníkového šetření v pakistánském Láhauru zjistili, že 67 % dotazovaných souhlasí s tvrzením, že nedostatek zeleně ve městě má nepříznivý vliv na kvalitu života. Lidé mají potřebu žít v souladu s přírodou, zároveň ale od zelených veřejných prostorů mají zažitá očekávání. Obecně preferují spíše upravené plochy (parky, okrasné zahrady apod.), zatímco volně rostoucí neudržovaná zeleň na ně působí zanedbaně, nečistě, někdy v nich vzbuzuje i pocit nebezpečí (Dunnett 2006). Mnozí proto považují střechy, které jsou přirozeně zarostlé trávou, mechem či jinou náletovou zelení, za neestetické. Pokud je ale patrné, že se jedná o účelovou a udržovanou zelenou střechu, která plní své funkce, pak jsou ochotni ji akceptovat, a to i tehdy, kdy rostliny zrovna nejsou v ideální kondici (Rowe & Getter 2015). Dle Sutton (2014) by zelená střecha měla v člověku probouzet upřímný zájem o přírodu a její ochranu.

- **Pozitivní vliv na lidské zdraví**

Zelené střechy mají prokazatelně pozitivní vliv na fyzické zdraví lidí. Díky tomu, že filtrují znečištěné ovzduší, snižují hluk a regulují vysokou letní teplotu, dokáží snižovat výskyt civilizačních chorob (respiračních či kardiovaskulárních onemocnění, obezity apod.), snižují tepelný stres i riziko předčasného úmrtí (Rowe & Getter 2015).

Zeleň má pozitivní vliv také na psychické zdraví. Řada studií potvrzuje, že se spolupodílí na snižování stresu, depresí, úzkostných poruch a dalších duševních onemocnění (Oberndorfer et al. 2007). Dalším přínosem je prevence obezity, jelikož dostupnost (leso)parků, (střešních) zahrad a další zeleně motivuje obyvatele k častějšímu pohybu (Abass et al. 2020).

Členství v komunitních zahradách navíc sbližuje obyvatele různých věkových skupin a sociálního postavení. Vznikají nové komunity a lidé se více starají o prostředí, ve kterém žijí. Posílené sociální vazby rovněž vedou k pevnějšímu zdraví (Jasczak et al. 2018).

Dle Oberndorfer et al. (2007) má i samotný pohled na vegetační střechu značný relaxační a terapeutický účinek. Ulrich (1984) ve své studii zjistil, že pacienti, kteří mají z okna výhled do přírody, se zotavují rychleji a také spotřebují méně léků. Podobný efekt může být přisuzován rovněž zeleným střechám (Pradhan et al. 2019), které se začínají objevovat přímo na střechách nemocničních zařízení.

Některé zdroje (například Abass et al. 2020 a Dixon & Wilkinson 2016) uvádí, že zelené střechy (a modro-zelená infrastruktura jako taková) rovněž dokáží zvýšit produktivitu zaměstnanců, kteří se díky příjemnému prostředí cítí spokojenější a bývají odolnější vůči nemocem.

3.3.2 Nevýhody zelených střech a výzvy s nimi spojené

S realizací zelených střech jsou ale přirozeně spojeny také určité výzvy. Za zásadní překážky lze považovat zejména následující body:

- **Vysoké investiční náklady a vyšší konstrukční požadavky**

Pravděpodobně největší nevýhodou zelených střech jsou vysoké počáteční náklady na jejich instalaci. Je nutné počítat s nadstandardní projektovou dokumentací, se zesílením stávající konstrukce nebo nadimenzováním novostavby, výběrem kvalitní hydroizolace a dalších vrstev vegetačního souvrství (Poptani & Bandyopadhyay 2019). K tomu se připočítávají náklady na pravidelnou údržbu. Počáteční náklady jsou proto zpravidla vyšší než u konvenční střechy, je ale potřeba na investici nahlížet z dlouhodobého hlediska, jelikož se investice navrátí v podobě energetických úspor a delší životnosti střechy (Kosareo & Ries 2007).

- **Zajištění údržby**

Problematické může být také finanční a praktické zajištění údržby vegetačního souvrství. Výzvou je především zavlažování rostlin v oblastech s aridním podnebím, kde se dlouhodobě potýkají s nedostatkem vody (Pradhan et al. 2019). Tento problém je ale nutné řešit také v oblastech s výskytem sezónního a nahodilého sucha, kam mj. spadá také ČR (Suszanowicz & Kolasa-Więcek 2019).

Pradhan et al. (2019) navrhuje jako alternativní zdroj závlahy využít tzv. šedou vodu. Šedá voda je definována jako splašková voda, která není kontaminovaná fekáliemi. Je to odpadní voda z domácností a neprůmyslových podniků, která pochází z umyvadel, van, sprch, praček, kuchyní a myček. Obsahuje řadu kontaminantů, mezi nimi organické látky, mikroorganismy nebo chemické látky z čisticích prostředků, a proto ani po úpravě není vhodná k zalévání rostlin určených ke konzumaci (Manso et al. 2021). K biologickému čištění šedé vody lze využít například kořenovou čistírnu odpadních vod, která může být rovněž součástí vegetační střechy či fasády.

- **Nedostatečný výzkum a propagace odvětví**

Zásadním nedostatkem je také nedostatek nebo úplná absence relevantního výzkumu zelených střech v jednotlivých zemích či regionech (Pradhan et al. 2019). Nejvíce publikací na dané téma vyšlo během posledních 30 let v USA (přes 20 %), Číně, v rámci Evropy v Itálii, Velké Británii a Německu. Ve střední Evropě byl proveden jen zlomek studií (Suszanowicz & Kolasa-Więcek 2019). Na základě regionálního výzkumu a monitoringu by měly být vydávány standardy platné pro danou oblast, díky kterým budou zelené střechy skutečně plnit své funkce a nebudou zátěží pro životní prostředí (Naranjo et al. 2020; Oberndorfer et al. 2007).

Slabinou současných výzkumů je především to, že většina z nich probíhá v simulovaných podmínkách nebo po nedostatečně dlouhou dobu. Dunnett et al. (2008) na základě vlastního šestiletého výzkumu doporučují dlouhodobý monitoring, jelikož se výsledky studie mohou v průběhu času výrazně lišit.

Rovněž je nutné usilovat o vývoj nových odolnějších materiálů, které během svého životního cyklu zanechají menší ekologickou stopu a zároveň by měly být co nejefektivněji využívány lokální zdroje (Shafique et al. 2018). K tomu je nutná mezioborová spolupráce odborníků (Suszanowicz & Kolasa-Więcek 2019). Řada zemí řeší obdobné problémy, vhodné je proto vzájemné sdílení zkušeností (Liberalesso et al. 2020). Na mnoha místech není praxe zelených střech běžná, lidé o této technologii vůbec nevědí, nebo jsou vůči ní skeptičtí. To platí zejména v rozvojových zemích (Sarwar & Alsaggaf 2020). Lepší propagace a osvěta v kombinaci s finanční podporou by mohly k instalaci zelených střech motivovat větší procento lidí (Poptani & Bandyopadhyay 2019).

Navzdory uvedeným nedostatkům se většina odborníků shoduje na tom, že vegetační střechy představují efektivní metodu, jak využívat jinak nevyužívané zastavěné plochy ve městech. Střechy tvoří 20 až 40 % nepropustných městských povrchů (Dunnett & Kingsbury 2004) a jejich systematické ozelenění je žádoucí (Abass et al. 2020).

Li & Yeung (2014) však zdůrazňují, že tato technologie nedokáže plnohodnotně zastoupit funkci přirozeného prostředí a neměla by proto sloužit jako záminka k zástavbě zbývajících zelených ploch ve městech.

3.4 Využití rostlin z čeledi Poaceae při realizaci zelených střech

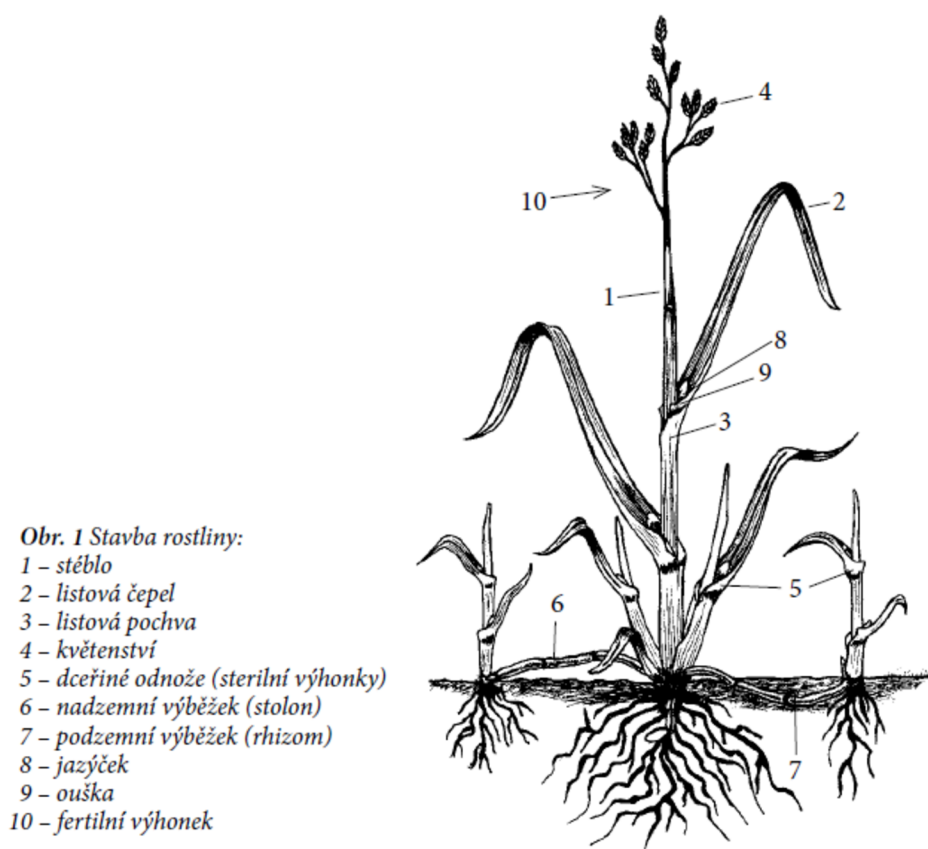
3.4.1 Charakteristika čeledi Poaceae (lipnicovité, trávy)

Čeď *Poaceae*, též *Gramineae* (lipnicovité), běžně označovaná jako trávy, je jednou z druhově nejbohatších a nejvýznamnějších čeledí v rostlinné říši. Spadá do řádu *Poales* (lipnicotvaré) a zahrnuje zhruba 11 500 druhů, které jsou rozděleny do více než 750 rodů a 12 podčeledí (Soreng et al. 2017). Stáří čeledi se odhaduje na 80 až 100 milionů let (García-Mozo 2017).

Trávy jsou jednoleté, víceleté či vytrvalé jednoděložné rostliny (*Liliopsida*) (Šikula & Větvicka 2016). Ve většině případů se jedná o byliny, s výjimkou rostlin podčeledi *Bambusoideae* (bambusovité), jejichž stonky dřevnatěji (Peterson 2013). Podzemní část rostliny tvoří svazčité kořeny, nadzemní část se skládá ze stonku, listů a květenství. Stonek trav se nazývá stéblo. Stéblo je ve většině případů duté (výjimkou s plným stébem je kupříkladu

Zea sp. (kukuřice) a skládá se z článků (internodia) a kolének (nody). Listy jsou úzké, čárkovité, se souběžnou žilnatinou. Tvoří je listová pochva (vagina), která obepíná stéblo, čímž ho chrání a zpevňuje, a listová čepel (lamina), která se směrem od stonku rozšiřuje. Květy lipnicovitých jsou poměrně nenápadné a vytvářejí různá květenství, obvykle klasy (popřípadě lichoklasy, tj. složené klasy) či lavy. Plodem trav jsou obilky (Svobodová & Cagaš 2013; Šikula & Větvička 2016). Stavba trávy je znázorněna na Obr. 15

Mnohé lipnicovité mají také nadzemní (stolony) a podzemní (rhizomy) výběžky, které vznikají na bázi stébla a tvoří se v průběhu celého života rostliny. Výběžky umožňují vegetativní (nepohlavní) rozmnožování trav, tzv. odnožování (Peterson 2013). Odnožování umožňuje rychlé šíření rostlin, které tak dokáží kolonizovat rozsáhlé oblasti. Podle způsobu odnožování (může být intravaginální nebo extravaginální) a směru růstu nových výběžků rozlišujeme trávy trsnaté a trávy výběžkaté (Svobodová & Cagaš 2013). Trávy trsnaté vytvářejí husté trsy (například *Nardus stricta* (smilka tuhá)) nebo volné trsy (*Lolium perenne* (jílek vytrvalý) aj.). Trávy výběžkaté tvoří řidší souvislé porosty a mohou být s nadzemními výběžky (*Poa trivialis* (lipnice obecná) aj.) či s podzemními výběžky (*Poa pratensis* (lipnice luční) aj.) (Regal & Šindelářová 1970). Trávy se rozmnožují také generativně (pohlavně) pomocí semen (obilky), která vznikají z (nejběžněji) větrem opylených květů (Šikula & Větvička 2016).



Obr. 15 – Příklad stavby rostliny z čeledi lipnicovité (Poaceae).

Zdroj: Svobodová & Cagaš 2013

Trávy bývají často mylně označovány jako traviny. Přestože se sobě na první pohled podobají, z botanického hlediska je mezi nimi výrazný rozdíl. Zatímco trávy jsou výlučně

rostliny z čeledi *Poaceae*, traviny zahrnují rostliny z čeledí *Juncaceae* (sítinovitě) a *Cyperaceae* (šáchorovitě), případně *Typhaceae* (orobincovitě), a na rozdíl od trav nemají dutý stonek s kolénky. Většina travin je také vázána na vodu, mokřady, vodní břehy apod. a jejich hospodářské využití je v porovnání s trávami jen minimální (Šikula & Větvička 2016).

Charakteristickým rysem trav je schopnost vytvořit travní drn, který je souborem hustě rostoucích rostlin (včetně odumřelých částí), jejich kořenů a půdy. Drn je zcela klíčový pro zakládání trávníků (Svobodová & Cagaš 2013).

3.4.2 Ekonomický a ekologický význam trav

Lipnicovitě jsou jednou z ekonomicky nejvýznamnějších čeledí (Regal & Šindelářová 1970). Zahrnují řadu základních zemědělských plodin, mezi nimi především obilniny jako *Avena sativa* (oves setý), *Triticum aestivum*, též *T. vulgare* (pšenice setá), *Secale cereale* (žito seté), *Hordeum vulgare* (ječmen setý), *Zea mays* (kukuřice setá) či *Oryza sativa* (rýže setá). Významné jsou také pícní trávy *Dactylis glomerata* (srha laločnatá), *Lolium multiflorum* (jílek mnohokvětý) aj.), které se v kombinaci s jetelovinami využívají ke krmení hospodářských zvířat (García-Mozo 2017) a profitují z nich i divoká zvířata (Yuan 2020). Trávy mají také široké technické využití – například *Phragmites* sp. (rákos) se v minulosti hojně používal jako střešní krytina (došky) a dnes se z něj vyrábí zejména rohože, a rostliny z podčeledi *Bambusoideae* jsou multifunkční materiál hojně využívaný ve stavebnictví, k výrobě nábytku, nádobí, oděvů aj. Travní biomasa pak bývá využívána pro spalování, výrobu bioplynu a biopaliv, kompostování, mulčování apod. (Peterson 2013).

Lipnicovitě mají také řadu mimoprodukčních funkcí. Díky svému rozsáhlému kořenovému systému ochraňují půdu před vodní a větrnou erozí a dokáží absorbovat a zadržovat velké množství vody, která se pak i díky jejich vysoké půdopokryvnosti pomaleji odpařuje. Snižují prašnost a hluk, a po většinu roku produkují velké množství kyslíku (déle, než například listnaté stromy, jež na podzim opadávají) (Svobodová & Cagaš 2013). Díky intenzivnímu růstu rovněž spotřebovávají množství živin, zejména dusíku (Regal & Šindelářová 1970), čímž zabráňují znečištění podzemních i povrchových vod.

Rozsah a kvalita mimoprodukčních funkcí travních ploch ale přímo závisí na jejich druhovém složení a biologické rozmanitosti společenstev, která v nich žijí, a také na způsobu ošetřování těchto ploch (Zavaleta et al. 2010). Víceleté, pravidelně sečené a hnojené trávy omezují výskyt plevelů a zvyšují obsah organické hmoty v půdě, čímž zlepšují její úrodnost. Zanedbaný travní porost obvykle tvoří řídkší a zaplevelené plochy, které mají omezenou protierozní funkci a vzhledem k vysokému množství pylu mohou zvyšovat prašnost prostředí (Svobodová & Cagaš 2013). Pro zachování vysoké biodiverzity je zásadní udržovat extenzivní vícedruhové trávníky (Bengtsson et al. 2019).

Pro většinu druhů víceletých trav je charakteristická vysoká přizpůsobivost ekologickým podmínkám (Regal & Šindelářová 1970) a proto jsou lipnicovitě jako jedna z mála čeledí rozšířeny na všech kontinentech (Gallaher et al. 2022) a ve všech suchozemských biomech – od tundry po tropické deštné lesy (Šikula & Větvička 2016).

Čeď zahrnuje rostliny s C3 i C4 cyklem fixace oxidu uhličitého. Rostliny C3 během fotosyntézy pomocí tzv. Calvinova cyklu (bez přímé účasti světla, v temnostní fázi cyklu) přímo fixují uhlík z oxidu uhličitého a vytváří sloučeniny se 3 atomy uhlíku. Jsou to rostliny

mírného a chladných pásů, a spadá sem většina rostlin na planetě. Rostliny C4 kromě Calvinova cyklu využívají také Hatchův–Slackův cyklus, během kterého jako první stabilní produkt vznikají sloučeniny se 4 atomy uhlíku. Rostliny C4 efektivněji nakládají s vodou, což jim umožňuje zvládat stresové faktory jako je sucho a vysoké teploty. Daří se jim proto i v subtropických oblastech, kde většina jiných rostlin neprosperuje (Yuan 2020). Zhruba 40 % trav využívá fotosyntetický cyklus C4 (Gallaher et al. 2022), díky čemuž travní porosty tvoří zhruba třetinu veškerého vegetačního pokryvu Země (Peterson 2013).

Trávy jsou součástí **přírodních** (stepi, savany a jiné biomy), **polopřírodních** (kosené louky, které vznikly přirozeně nebo zemědělskou činností) i **umělých** (intenzivní pastviny, trávníky apod.) **travních společenstev** (Bengtsson et al. 2019). Travní porosty jsou tedy nedílnou součástí přírodní i kulturní krajiny a urbanistické struktury města. Jejich plocha se ale za poslední dvě staletí dramaticky snížila a je žádoucí jejich systematická ochrana (Yuan 2020).

Trávníky lze z hlediska jejich využití rozdělit na **okrasné** (v okolí veřejných budov, předzahrádky, náměstí apod.), **rekreační** (v parcích, na sídlištích apod.), **zátěžové** (sportovní dětská hřiště, pláže, ale i technické plochy jako parkoviště, cesty apod.) a **krajinné** (extenzivní trávníky podél komunikací, porosty lučního charakteru, porosty na rekultivovaných plochách apod.) (Svobodová & Cagaš 2013).

3.4.3 Výhody a nevýhody využití trav při realizaci zelených střech

Jednou z hlavních výhod lipnicovitých je možnost jejich výsadby do poměrně mělkých substrátů, jelikož rostliny prosperují již v hloubce 10 až 15 cm (Oberndorfer et al. 2007). Jako střešní pokryv jsou trávy oblíbené zejména pro svou dostupnost, nízkou cenu a poměrně snadné zakládání (Li et al. 2018). Přínosem je také jejich rychlé rozmnožování a vysoká pokryvnost.

Díky rozsáhlému kořenovému systému a vysoké adaptabilitě jsou trávy vhodné i pro výsadbu na střeších s vyšším sklonem a na střeších v chladných, větrných a deštivých oblastech. V oblastech s teplým a suchým podnebím lze vysadit C4 trávy. Některé C4 trávy, například *Miscanthus* sp. (ozdobnice) nebo *Panicum virgatum* (proso prutnaté) snášejí kromě vysokých teplot i lehké mrazy – jejich podzemní výběžky přežijí i při teplotách okolo -5 °C (Sage et al. 2015) – a tak se hodí i pro pěstování v našich zeměpisných šířkách.

V porovnání s běžněji používanými rozchodníky a dalšími sukulenty dokáží trávy lépe zadržovat vodu. Whittinghill et al. (2014) ve své studii v Michiganu (USA) porovnávali odtok a kvalitu srážkové vody ze zelené střechy s rozchodníky, ze zelené střechy se zeleninou a bylinkami (rajčata, okurky, bazalka a další), a ze zelené střechy s préríjní vegetací, která byla významně zastoupena travami. Z výsledků vyplynulo, že střecha s préríjní vegetací dokáže nejučinněji snižovat odtok, zatímco množství nitrátů a fosfátů v odtokové vodě bylo u všech typů střech přibližně stejně nízké. Ke srovnatelným závěrům došli také Li et al. (2018), kteří v Šanghaji (Čína) porovnávali retenční kapacitu *Agrostis stolonifera* (psineček výběžkatý), *Lolium perenne* (jílek vytrvalý), *Poa pratensis* (lipnice luční) a *Festuca arundinacea* (kostřava rákosovitá) se sukulentními rostlinami *Callisia repens* a *Sedum lineare*.

Dalším důležitým parametrem je transpirace, která je u trav vyšší než u sukulentů (Li et al. 2018). Travnaté střechy proto mají vyšší chladicí potenciál. Díky většímu množství biomasy trávy také sekvestrují vyšší množství uhlíku. Dle Shahmohammad et al. (2022) dokáží snížit uhlíkovou stopu budovy o zhruba 26 kg/m². Speak et al. (2012) v Manchesteru (Velká Británie)

pro změnu zjistili, že trávy (konkrétně *Agrostis stolonifera* a *Festuca rubra* (kostřava červená)) dokáží zachycovat pevné částice PM₁₀ účinněji než *Plantago lanceolata* (jitrocel kopinatý) či *Sedum album* (rozchodník bílý).

Nevýhodou využití lipnicovitých je potřeba vyšší péče v porovnání s rozchodníky a dalšími sukulenty. Přestože jsou trávy zpravidla nenáročné a odolné nejrozličnějším klimatickým podmínkám, k optimálnímu růstu jim musí být zajištěny vhodné podmínky (Svobodová & Cagaš 2013). Většina druhů vyžaduje pravidelnou závlahu, obzvláště pak během suchých období. Nezbytná bývá také pravidelná seč (zejména u intenzivních trávníků), která může být vzhledem k přístupnosti střechy složitější než u běžných zahrad. Střešní trávníky se také zpravidla neobejdou bez hnojiva (Li et al. 2018), které by mělo být aplikováno alespoň pětkrát do roka (Šikula & Větvička 2016). Trávy jsou náročné zejména na dusík, jehož nedostatek se projevuje chudším druhovým složením či světlejší barvou. Také je důležité respektovat požadavky rostlin na světlo, do zastíněných ploch by měly být vybírány pouze druhy, které snášejí stín a polostín (Regal & Šindelářová 1970).

Za nedostatek může být považována také skutečnost, že pyl trav (a zejména *Phleum* sp. (bojínek), *Dactylis* sp. (srha), *Lolium* sp. (jílek), *Trisetum* sp. (trojštět), *Festuca* sp. (kostřava), *Poa* sp. (lipnice), *Agrostis* sp. (psineček), *Anthoxanthum* sp. (tomka) aj.) je hlavní příčinou pylové alergie v Evropě a Severní Americe a patří k vůbec největším aerogenním (vzduchem přenášeným) alergenům (García-Mozo 2017). Kvetoucí travnaté střechy proto mohou v husté městské zástavbě prohlubovat zdravotní potíže alergiků a dalších znevýhodněných osob. Správnou a pravidelnou péčí (zejména sečí) se ale množství uvolněného pylu dá částečně regulovat (Svobodová & Cagaš 2013).

Dalším, do značné míry subjektivním nedostatkem je nižší estetická hodnota trav v porovnání kupříkladu se sukulenty nebo trvalkami. Výzkum Jungels et al. (2013) na severu USA poukázal na to, že travnaté střechy lidem často připomínají divokou prérii, která se dle jejich mínění do upraveného městského prostoru nehodí. Pokud rostliny nemají dostatek vláhy, žloutnou, usychají a zatahují se, a hezký porost pak opět vytvářejí až v příznivějších měsících.

3.4.4 Druhy trav vhodné pro realizaci zelených střech v ČR

Čeď lipnicovité zahrnuje množství druhů vhodných pro použití na vegetačních střeších (Shahmohammad et al. 2022). Vzhledem k postupujícím klimatickým změnám, které se v ČR projevují zejména výrazně rostoucí teplotou vzduchu (v roce 2022 činila průměrná roční teplota 9,2 °C, což je o 0,9 °C více než byl normál v letech 1991 až 2020), častějšími epizodami sucha, nerovnoměrně rozloženými srážkami, silnějšími bouřkami a dalšími extrémními projevy počasí (ČHMÚ 2023), je vhodné vybírat druhy odolné všem těmto stresovým faktorům. Zároveň by také vzhledem k rychlému šíření trav měly být pěstovány spíše původní (domácí) a neinvazivní druhy (Jato-Espino et al. 2019).

Pro účely této práce jsem vybral několik zástupců, které lze rozdělit podle následujících typů travní vegetace.

3.4.4.1 Intenzivní trávník

Intenzivní trávník vyžaduje častou a pravidelnou údržbu. Během vegetačního období (od pozdního jara do podzimu) by měl být sečen ideálně jednou či dvakrát do týdne, minimálně však jednou za 14 dní, tak, aby výška rostlin nepřesahovala 7 cm. Díky pravidelné seči se porost rovnoměrně rozvětňuje a vytváří pěkný kompaktní trávník (Šikula & Větvička 2016).

Intenzivně pěstovaný střešní trávník je oblíben především z estetických důvodů (působí upraveně, elegantně), plní však méně ekosystémových služeb než extenzivní porosty. Pokud se navíc majitel rozhodne pěstovat monokulturní porost (travní i jakýkoliv jiný), je potřeba mít na paměti, že takový trávník bude zranitelnější vůči škůdcům a chorobám (Watson et al. 2019).

Trávník může být založen klasicky vysetím travního osiva nebo položením již hotových travních koberců (Svobodová & Cagaš 2013). Travní směs se obvykle skládá ze základních a velmi odolných travních druhů, kterými jsou *Lolium perenne*, *Festuca rubra* a *Poa pratensis*.

- ***Lolium perenne* (jílek vytrvalý)**

Jílek vytrvalý je víceletá, tmavě zelená, volně trsnatá tráva (Šikula & Větvička 2016). Jeho stéblo běžně dorůstá do výšky 10 až 70 cm. Kvete od května do října (Kaplan et al. 2019), kdy produkuje mnohokvěté bezosinné klásky, jejichž pleva dosahuje délky až do dvou třetin klásku (Šikula & Větvička 2016).

Je rozšířen po celém světě a oblíben pro svou odolnost a nenáročnost. Dobře snáší okusování, sečení i sešlapání, a proto se běžně uplatňuje na pastvinách, okrasných trávnících i zátěžových trávnících. Pokud je pěstován spolu s vyššími rostlinami, trpí nedostatkem světla (Šikula & Větvička 2016).

- ***Festuca rubra* (kostřava červená)**

Kostřava červená je vytrvalá tráva, která se vyskytuje v trsnaté formě i ve formě s krátkými či dlouhými podzemními výběžky (Regal & Šindelářová 1970). Zpravidla vytváří řídký podrost v různých travních společenstvech (Šikula & Větvička 2016). Stébla jsou 20 až 100 cm vysoká a mají přímou či mírně skloněnou, mnohdy načervenalou latu (Regal & Šindelářová 1970). Kvete od května do července (Kaplan et al. 2019).

Ze zde jmenovaných trav má nejnižší nároky na podmínky stanoviště. Roste v subarktickém pásmu, v horských polohách, i v mírných a subtropických pásech (Regal & Šindelářová 1970). I díky tomu je velmi vhodná pro použití v extrémních podmínkách, které na střeších panují.

Vyskytuje se v několika poddruzích: *Festuca rubra* L. subsp. *rubra* (kostřava červená pravá) a *Festuca rubra* L. subsp. *commutata* (kostřava červená načernalá), *Festuca rubra* L. subsp. *trichophylla* (kostřava niťolistá) (Kaplan et al. 2019). Podle studie Mihalakakou et al. (2023) a Speak et al. (2012) je kostřava červená vhodným druhem pro regulaci pevných částic PM₁₀.

- ***Poa pratensis* (lipnice luční)**

Lipnice luční je vytrvalá, svěže zelená, výběžkatá tráva (Šikula & Větvička 2016). Dorůstá do výšky od 30 do 120 cm (Kaplan et al. 2019). Je velmi odolná a přizpůsobivá, díky čemuž je celosvětově rozšířena. Má řadu odrůd, od velmi nízkých a obrůstajících, které se využívají pro hřiště a trávníky, po vzrůstné odrůdy, které rostou na loukách, pastvinách či na mýtinách ve světlých lesech (Šikula & Větvička 2016). Je jednou z nejlepších pastevních trav, možnosti jejího využití jsou ale v podstatě neomezené (Regal & Šindelářová 1970).

Patří k velmi ranným druhům, kvete od května do července a vytváří latu klásků (Kaplan et al. 2019). Patří k nejvytrvalejším travám, čemuž odpovídá její pomalý vývoj – plného vývinu dosahuje až v třetím nebo čtvrtém roce (Regal & Šindelářová 1970). Od lipnic je odvozen název celé čeledi – lipnicovité.

3.4.4.2 Extenzivní trávník

Péče o extenzivní (krajinný) trávník je ve srovnání s intenzivními trávníky podstatně méně náročná. Nároky těchto trávníků jsou podobné jako u klasických luk, s tím rozdílem, že cílem jejich pěstování není produkce vysokého množství biomasy a tudíž nepotřebují tak vysoké dávky hnojiv. Neznamená to však, že by extenzivní trávníky byly bezúdržbové, i zde je pro zajištění zdravého a zapojeného porostu vhodné minimálně dvakrát do roka provádět seč a dodávat rostlinám chybějící živiny (Svobodová & Čagaš 2013).

Osevní směsi pro střešní zahrady obvykle zahrnují nenáročné (suchomilné) domácí druhy trav v kombinaci s lučními květinami. Trávy zastupuje například *Phleum nodosum* (bojínek hliznatý), *Phleum phleoides* (bojínek tuhý), *Festuca ovina* (kostřava ovčí), *Festuca filiformis* (kostřava vláskovitá), *Festuca valesiaca* (kostřava waliská), *Poa bulbosa* (lipnice cibulkatá), *Poa compressa* (lipnice smáčknutá), *Vulpia myuros* (mrvka myši ocásek), *Corynephorus canescens* (paličkovec šedavý), *Agrostis capillaris* (psineček obecný), *Koeleria macrantha* (smělek štíhlý), *Bromus hordeaceus* (sveřep měkký) a další nepříliš vzrůstné druhy, které nekonkurují ostatním rostlinným druhům (Planta Naturalis 2024).

- ***Phleum phleoides* (bojínek tuhý)**

Bojínek tuhý (zastarale též bojínek Boehmerův) je vytrvalá trsnatá tráva šedavě zelené barvy (Regal & Šindelářová 1970). Má tuhá a přímá stébla, navrchu neolistěná a lehce načervenalá (Šikula & Větvička 2016). Dorůstá do výšky 30 až 60 cm (Kaplan et al. 2019).

Kvete v červnu a červenci a vytváří lichoklas klásků (Kaplan et al. 2019). Od ostatních bojínků se odlišuje tím, že po ohnutí lichoklasu vytváří výrazné naježené laloky. Nejlépe prosperuje v nížinách až pahorkatinách, roste roztroušeně na suchých výslunných stráních i v lesostepích, preferuje sušší a vápenité půdy (Šikula & Větvička 2016). Z hospodářského hlediska nemá příliš vysokou hodnotu, jelikož neprodukuje mnoho biomasy, je však vysoce odolný vůči suchu (Regal & Šindelářová 1970), díky čemuž je velmi vhodný pro výsadbu v rámci městské zeleně.

- ***Bromus hordeaceus* (sveřep měkký)**

Sveřep měkký je jednoletá až ozimá tráva, která v podmínkách mírného klimatu někdy také přezimuje a stává se tak dvouletou (Šikula & Větvička 2016). Tvoří drobné svazčité trsy (Regal & Šindelářová 1970) a dorůstá výšky 10 až 80 cm (Kaplan et al. 2019).

Kvete od května do října a tvoří latu klásků (Kaplan et al. 2019). Spodní větévky lavy jsou delší než klásky. Rostlina vytváří pěkný šedozelený porost, který během vegetace získává nafialovělou barvu. Poté celá zasychá. Sveřep není příliš odolný vůči suchu, potřebuje závlahu (Šikula & Větvička 2016). Je charakteristický svými chloupky, které pokrývají celou rostlinu včetně klásků (Regal & Šindelářová 1970).

Je to významná teplomilná rostlina rozšířená v Evropě a Asii, která se běžně vyskytuje na holých půdách, podél cest, poblíž lidských sídel (Šikula & Větvička 2016) i v rámci rudérálních (člověkem silně pozmeněných) společenstev (Regal & Šindelářová 1970). Někdy bývá považován za plevel.

- ***Poa compressa* (lipnice smáčknutá)**

Lipnice smáčknutá je vytrvalá tráva modrozeleného až šedozeleného zbarvení. V porovnání s lipnicí luční má pozvolna zašpičatělé čepele listů (Regal & Šindelářová 1970). Vytváří bohaté podzemní výběžky a dosahuje výšky v rozmezí 10 až 80 cm (Kaplan et al. 2019).

Poznávacím znakem lipnice smáčknuté je elipsovité smáčknuté stéblo, které nelze volně otáčet mezi prsty (Šikula & Větvička 2016). Kvete od května do srpna, kdy vytváří latu klásků (Kaplan et al. 2019).

Je to pionýrský druh nenáročný na živiny, roste i na stanovištích s chudou půdou. Díky svému mohutnému kořenovému systému je také velmi odolná suchu. Daří se jí podél cest, na rumišťích, náspech, zídkách a v dalších na vláhu chudých místech (Šikula & Větvička 2016).

3.4.4.3 Soliterní okrasné trávy

Další velmi zajímavou variantou jsou soliterní okrasné trávy. Jak jejich název napovídá, jsou vysazovány samostatně a ne jako přímá součást travního porostu nebo směsi. Pěstují se zejména pro svou vizuální přitažlivost, obvykle ale mají také pozitivní vliv na biodiverzitu. Okrasné trávy často tvoří netradiční tvary a textury, mají atraktivní květy nebo zajímavé zbarvení listů (Tomaškin et al. 2015). Jsou výrazným designovým prvkem, v městském prostředí je běžně doplňují trávníky, vhodná je také kombinace se skalničkami nebo jinými ozdobnými trvalkami (Oberndorfer et al. 2007).

U soliterních okrasných trav lze vybírat z širokého sortimentu, který se částečně překrývá s druhy užívanými u extenzivních trávníků. Většinou jsou velmi odolné a vhodné pro výsadbu ve městech i ve stížených podmínkách zelených střech. Aby si zachovaly reprezentativní vzhled, musí být obvykle z kraje jara zastříhány. Nevýhodou a možnou hrozbou pro okolní původní biotopy je invazivnost některých druhů (Tomaškin et al. 2015).

- ***Miscanthus sinensis* (ozdobnice čínská)**

Ozdobnice čínská je vytrvalá okrasná tráva původem z jihovýchodní Asie. Tvoří husté trsy stébel, která rostou do výšky 80 až 220 cm, výjimečně dosahují i 400 cm. Kvete od července do října a vytváří velmi pěkné peříčkovité laty, které mohou mít v různých kultivarech běžovou, hnědou či fialovou až červenou barvu (Kaplan et al. 2019).

Dominantním rysem jsou příčné svítivě žluté pásy na listech, které připomínají dikobrazí ostny. V některých zemích se jí proto říká dikobrazí tráva. Prosperuje na slunečných místech a v propustné živné půdě, nicméně snáší i většinu běžných půd a bez závlahy. Je také mrazuvzdorná a v evropských podmínkách povětšinou nevyžaduje zimní krytí (Šikula & Větvička 2016).

- ***Pennisetum alopecuroides* (dochan psárkovitý)**

Dochan psárkovitý je mohutná vytrvalá trsnatá tráva, která pochází z Asie. Dorůstá až do výšky 120 cm (Kaplan et al. 2019). Na konci léta na krátkých stopkách vykvétají podlouhlé lichoklasy s nahnědlými štětinkami, které připomínají načechrané peří. Klásky se ukrývají mezi mnohem delšími hustými trsy a nejhezčího vzhledu dosahují během podzimu. Listy jsou sytě zelené a lesklé (Šikula & Větvička 2016).

Rostlinám se daří na slunných a na živiny bohatých půdách okrasných parků a zahrad, kde se vyskytují čím dál častěji. Jsou rovněž mrazuvzdorné (Šikula & Větvička 2016).

- ***Calamagrostis epigejos* (třtina křovištní)**

Třtina křovištní je mohutná vytrvalá šedozelená tráva s dlouhými podzemními výběžky a silnými kořeny. Roste do výšky 60 až 150 cm a kvete od června do srpna (Kaplan et al. 2019). Její květenství tvoří hustá, přímá, laločnatá lata, která ve zralosti nabývá žlutooranžové či nahnědlé barvy (Regal & Šindelářová 1970). Klásky jsou chlupaté a krátce osinaté (Šikula & Větvička 2016).

Třtina křovištní je přirozeně rozšířená na většině území Evropy, včetně ČR, kde na ni lze běžně narazit od nížin až po horské polohy. Vytváří husté porosty na suchých místech, na okrajích lesů, na písčitéch a chudých půdách, nedaří se jí ale ve stínu. Je vhodná jako protierozní ochrana a zároveň je vizuálně zajímavá (Šikula & Větvička 2016).

Při její výsadbě je ale potřeba opatrnosti, jelikož se expanzivně šíří ve volné přírodě a potlačuje méně konkurenceschopné druhy a ekosystémy, zejména v některých přírodních rezervacích (Regal & Šindelářová 1970).

4 Závěr

- V rámci této bakalářské práce byl vypracován literární přehled zaměřený na problematiku zelených střech a potenciál využití rostlin z čeledi *Poaceae* při jejich realizaci.
- Zelené střechy jsou střechy pokryté vegetačním souvrstvím, které se skládá z vegetace, substrátu, filtrační vrstvy, drenážní vrstvy a dalších funkčních vrstev. Jsou to inovativní a funkční stavební prvky, které přispívají k ozelenění budov a zlepšení klimatu ve městech. Nejběžněji jsou pěstovány rozchodníky a další sukulenty, mechy, suchomilné trávy a trvalky, suchomilné či jehličnaté keře, popřípadě stromy.
- Obvykle se rozlišují tři typy zelených střech: extenzivní, polointenzivní a intenzivní. Extenzivní zelené střechy jsou díky nižším celkovým nákladům, menším nárokům na údržbu a na konstrukci střechy (mají mělčí a lehčí vrstvu substrátu a jsou snáze aplikovatelné na starší budovy) celosvětově nejrozšířenější. Intenzivní střechy mají vyšší požadavky na nosnost a konstrukci střechy, vyžadují pravidelnou údržbu a jsou nákladnější, na druhou stranu ale mají vyšší ekologickou i estetickou hodnotu, umožňují volný pobyt osob a lze je rovněž využít k pěstování plodin. Ideální je všechny typy střech ve městech kombinovat, přičemž extenzivní zelené střechy jsou vhodné pro rodinné či bytové domy, zatímco intenzivní zelené střechy najdou uplatnění hlavně na střechách komerčních a veřejných objektů.
- Pokud jsou zelené střechy ve městech realizovány ve větším měřítku, mají potenciál poskytovat důležité ekosystémové služby. Umožňují lépe hospodařit s dešťovou vodou (zpomalují a snižují odtok srážek o 50 až 100 %), čistí okolní ovzduší, podílejí se na sekvestraci uhlíku, přispívají ke snižování okolní teploty (teplota povrchu vegetační střechy může být i o více než 30 °C nižší v porovnání s teplotou povrchu klasické střechy) a efektu městského tepelného ostrova, tlumí hluk (v průměru o 10 dB) a chrání biologickou rozmanitost ve městě. Rovněž přispívají k lepšímu fyzickému i psychickému zdraví lidí a zvyšují estetickou hodnotu městské krajiny.
- Přínosy lze spatřovat také z pohledu ekonomiky. Počáteční investiční náklady jsou sice vyšší než u klasických střech, promítnou se však v následných energetických úsporách či zvýšení životnosti střechy, která se u zelených střech odhaduje na minimálně 40 let oproti 20 letům u střechy konvenční.
- Za největší nedostatky zelených střech lze považovat: celkově vyšší investiční náročnost; vysokou hmotnost, se kterou se pojí vyšší nároky na statiku střechy; nutnost zajistit pravidelnou údržbu vegetačního souvrství; náročnější opravy v případě poškození hydroizolace; chybějící nebo nedostatečnou veřejnou finanční podporu a odborné poradenství; nedostatečný výzkum v některých geografických oblastech (například ve střední Evropě). Odborníci se však obecně shodují, že přínosy zelených střech převažují nad nevýhodami.
- Čeleď *Poaceae* je jednou z nejbohatších a ekonomicky i ekologicky nejvýznamnějších čeledí. Významná je zejména jejich schopnost přizpůsobit se v podstatě jakýmkoliv klimatickým podmínkám, zadržovat vysoké množství vody, sekvestrovat vysoké množství uhlíku a čistit ovzduší. Z pohledu vegetačních střech jsou výhodné také

jejich nízké požadavky na hloubku substrátu (prosperují již v hloubce 10 až 15 cm) a schopnost rychle se rozrůstat. Oproti sukulentům ale vyžadují vyšší péči (závlahu, hnojivo, seč), během kvetení jsou významným alergenem a dle mnohých mají nižší estetickou hodnotu.

- Pro realizaci zelených střech v podmínkách ČR jsou vhodné druhy, které jsou odolné jak mrazům, tak vysokým teplotám a suchu, a zároveň patří k druhům domácím a neinvazivním. Je to například: *Lolium perenne*, *Festuca rubra*, *Poa pratensis*, *Phleum phleoides*, *Bromus hordeaceus*, *Poa compressa*, *Miscanthus sinensis*, *Pennisetum alopecuroides* a *Calamagrostis epigejos*.

Na základě získaných poznatků lze učinit některá doporučení pro další rozvoj tohoto odvětví:

- Aby bylo možné zelené střechy upravit na míru konkrétním klimatickým podmínkám a tím maximalizovat jejich účinnost, je nutné rozšířit dosavadní výzkum. K tomu je zapotřebí u co největšího počtu již existujících zelených střech monitorovat základní parametry, jako je teplota povrchu a retenční schopnost střechy, míra přežití rostlin nebo složení použitého materiálu. Měly by být vyvíjeny udržitelnější (ideálně recyklované a recyklovatelné) materiály a postupy.
- Aby se plocha zelených střech (nejen) ve městech kontinuálně zvětšovala, je žádoucí téma přibližovat široké veřejnosti a zajistit případným zájemcům odborné poradenství. Instalace zelené střechy je většinou nákladný projekt, z jejích benefitů ale profituje celá komunita a proto je vhodné, aby investorům byla nabídnuta možnost využít dotace nebo jiné finanční výhody.
- Na základě osobních zkušeností také doporučuji osvětu členů obecních zastupitelstev, kteří prostřednictvím územních plánů přímo ovlivňují to, v jaké podobě a zda vůbec se v dané obci budou zelené střechy realizovat.

5 Literatura

Abass F, Ismail LH, Wahab IA, Elgadi AA. 2020. A Review of Green Roof: Definition, History, Evolution and Functions. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering **713** (e012048). DOI:10.1088/1757-899X/713/1/012048.

Abdalla EMH, Alfredsen K, Muthanna TM. 2024. Impacts of Slope and Length on the Hydrological Performance of Green Roof Drainage Mats. Journal of Hydrology **632**:130974.

Ahern J. 2007. Green Infrastructure for Cities: The Spatial Dimension. Cities of the Future: Towards Integrated Sustainable Water and Landscape Management **13**:267-283.

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.

Ampim PA, Sloan JJ, Cabrera RI, Harp DA, Jaber FH. 2010. Green Roof Growing Substrates: Types, Ingredients, Composition and Properties. Journal of Environmental Horticulture **28**:244-252

Baumann N. 2006. Ground-Nesting Birds on Green Roofs in Switzerland: Preliminary Observations. Urban Habitats **4**:37-50.

Beecham S, Razzaghamanesh M, Bustami R, Ward J. 2018. The Role of Green Roofs and Living Walls as WSUD Approaches in a Dry Climate. Pages 409-430 in Sharma A, Gardner T, Begbie D, editors. Approaches to Water Sensitive Urban Design – Potential, Design, Ecological Health, Urban Greening, Economics, Policies, and Community Perceptions. Elsevier Science Publishing Co Inc, USA. ISBN: 9780128128435.

Benedict MA, McMahon ET. 2002. Green Infrastructure: Smart Conservation for the 21st Century. Renewable Resources Journal **20**:12-17.

Bengtsson J, Bullock JM, Egoh B, Everson C, Everson T, O'Connor T, O'Farrell PJ, Smith HG, Lindborg R. 2019. Grasslands-More Important for Ecosystem Services than You Might Think. Ecosphere **10** (e02582). DOI:10.1002/ecs2.2582.

Berardi U, Ghaffarianhoseini A, Ghaffarianhoseini A. 2014. State-of-the-Art Analysis of the Environmental Benefits of Green Roofs. Applied Energy **115**:411-428.

Besir AB, Cuce E. 2018. Green Roofs and Facades: A Comprehensive Review. Renewable and Sustainable Energy Reviews **82**:915-939.

Bianchini F, Hewage K. 2012. Probabilistic Social Cost-Benefit Analysis for Green Roofs: A Lifecycle Approach. Building and Environment **58**:152-162.

- Blackhurst M, Hendrickson C, Matthews HS. 2010. Cost-Effectiveness of Green Roofs. *Journal of Architectural Engineering* **16**:136-143.
- Blanusa T, Vaz Monteiro MM, Fantozzi F, Vysini E, Li Y, Cameron RW. 2013. Alternatives to Sedum on Green Roofs: Can Broad Leaf Perennial Plants Offer Better ‘Cooling Service’? *Building and Environment* **59**:99-106.
- Bohuslávek P, Horský V, Jakoubková Š. 2009. Vegetační střechy a střešní zahrady. Dektrade. Available from <https://cdn1.idek.cz/dek/document/1765944883> (accessed February 2023).
- Burian S, et al. 2019. Standardy pro navrhování, provádění a údržbu – vegetační souvrství zelených střech. Svaz zakládání a údržby zeleně, Brno.
- Carter T, Butler C. 2008. Ecological Impacts of Replacing Traditional Roofs with Green Roofs in Two Urban Areas. *Cities and the Environment* **1**:1-17.
- Cascone S. 2019. Green Roof Design: State of the Art on Technology and Materials. *Sustainability* **11**:3020.
- Castleton HF, Stovin V, Beck SBM, Davison JB. 2010. Green Roofs; Building Energy Savings And The Potential For Retrofit. *Energy and Buildings* **42**:1582-1591.
- Connelly M, Hodgson M. 2008. Sound Transmission Loss of Green Roofs. In Proceedings of 6th North American Green Roof Conference: Greening Rooftops for Sustainable Communities, Baltimore, MD. Toronto, Canada, 30 April–2 May 2008.
- Čermáková B, Mužíková R. 2009. Ozeleněné střechy. Grada, Praha.
- Česká rada pro šetrné budovy. 2020. Ekonomika a přínosy zelených střech - Příručka pro investory, architekty a projektanty, představující efektivitu zelených střech. Available from <https://www.czgbc.org/files/2021/01/91b65a0bf6725d54354f59daa9f46f0b.pdf> (accessed January 2024).
- ČHMÚ. 2023. Znečištění ovzduší na území České republiky v roce 2022. Available from <https://info.chmi.cz/rocnka/ko2022/ko2022.pdf> (accessed February 2024).
- ČSN 73 1901-3. 2020. Navrhování střech - Část 3: Střechy s povlakovými hydroizolacemi. Česká agentura pro standardizaci, Praha.
- ČSN 73 1901-4. 2024. Navrhování střech – Část 4: Vegetační střechy. Česká agentura pro standardizaci, Praha.
- Dalley S. 2013. The Mystery of the Hanging Garden of Babylon: An Elusive World Wonder Traced. Oxford University Press, Oxford.

Dapolito Dunn A, Stoner N. 2007. Green Light for Green Infrastructure. Elisabeth Haub School of Law Faculty Publications, New York.

Dixon T, Wilkinson S. 2016. Building Resilience in Urban Settlements Through Green Roof Retrofit. Green Roof Retrofit: 1-13. DOI:10.1002/9781119055587.ch1.

Dostalová J, Burian S, Chaloupka K. 2021. Zelené střechy – souhra architektury s přírodou. Grada, Praha.

Dunnett N. 2006. Roofs for Biodiversity: Reconciling Aesthetics with Ecology. Greening Rooftops for Sustainable Communities. In Proceedings of the 4. annual international greening rooftops for sustainable communities conference, awards and trade show. Boston, MA (United States), 11-12 May 2006.

Dunnett N, Kingsbury N. 2004. Planting Green Roofs and Living Walls. Timber Press, Oregon.

Dunnett N, Nagase A, Hallam A. 2008. The Dynamics of Planted and Colonising Species on a Green Roof Over Six Growing Seasons 2001–2006: Influence of Substrate Depth. Urban Ecosystems **11**:373-384.

Dusza Y, Barot S, Kraepiel Y, Lata JC, Abbadie L, Raynaud X. 2017. Multifunctionality is Affected by Interactions Between Green Roof Plant Species, Substrate Depth, and Substrate Type. Ecology and Evolution **7**:2357-2369.

Edmondson JL, et al. 2020. The Hidden Potential of Urban Horticulture. Nature Food **1**:155-159.

Feng H, Hewage KN. 2018. Economic Benefits and Costs of Green Roofs. In Nature Based Strategies for Urban and Building Sustainability: 307-318. ISBN: 9780128121504.

Fenoglio MS, González E, Tavella J, Beccacece H, Moreno ML, Fabian D, Salvo A, Estallo EL, Calviño A. 2023. Native Plants on Experimental Urban Green Roofs Support Higher Community-Level Insect Abundance than Exotics. Urban Forestry & Urban Greening **86**:128039.

Gallaher TJ, Peterson PM, Soreng RJ, Zuloaga FO, Li DZ, Clark LG, Tyrrell CD, Welker CAD, Kellogg EA, Teisher JK. 2022. Grasses Through Space and Time: An Overview of the Biogeographical and Macroevolutionary History of Poaceae. Journal of Systematics and Evolution **60**:522-569.

García-Mozo H. 2017. Poaceae Pollen as the Leading Aeroallergen Worldwide: A Review. Allergy **72**:1849-1858.

- Getter KL, Rowe DB, Andresen JA. 2007. Quantifying the Effect of Slope on Extensive Green Roof Stormwater Retention. *Ecological Engineering* **31**:225-231.
- Getter KL, Rowe DB, Robertson GP, Cregg BM, Andresen JA. 2009. Carbon Sequestration Potential of Extensive Green Roofs. *Environmental Science & Technology* **43**:7564-7570.
- Hawes J, et al. 2024. Comparing the Carbon Footprints of Urban and Conventional Agriculture. *Nature Cities* **1**:164-173.
- Hui SCM. 2011. Green Roof Urban Farming for Buildings in High-Density Urban Cities. In Invited paper for the Hainan China World Green Roof Conference 2011. Hainan (Haikuo, Boao and Sanya), China, 18-21 March 2011.
- Hui SCM, Chan KL. 2011. Biodiversity Assessment of Green Roofs for Green Building Design. In Proceedings of Joint Symposium 2011: Integrated Building Design in the New Era of Sustainability. Kowloon, Hong Kong, China, 22 November 2011.
- Chen X, Shuai C, Chen Z, Zhang Y. 2018. What are the Root Causes Hindering the Implementation of Green Roofs in Urban China? *Science of The Total Environment*. DOI:10.1016/j.scitotenv.2018.11.051.
- IPCC. 2023. Summary for Policymakers. In Lee H, Romero J, editors. *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. IPCC, Geneva, Switzerland. DOI:10.59327/IPCC/AR6-9789291691647.001.
- Isover. 2023. Ceník produktů Isover platný od 1. 8. 2023. Available from <https://www.isover.cz/aplikace/modrozelená-reseni/zelená-strecha/stresni-zahrada-isover> (accessed January 2024).
- Jaffal I, Ouldboukhite SE, Belarbi R. 2012. A Comprehensive Study of the Impact of Green Roofs on Building Energy Performance. *Renewable Energy* **43**:157-164.
- Jaszczak A, Vaznoniene G, Vaznonis B. 2018. Green Infrastructure Spaces as an Instrument Promoting Youth Integration and Participation in Local Community. *Management Theory and Studies for Rural Business and Infrastructure Development* **40**:37-49.
- Jato-Espino D, Sañudo-Fontaneda LA, Andrés-Valeri VC. 2019. Green Infrastructure: Cost-Effective Nature-Based Solutions for Safeguarding the Environment and Protecting Human Health and Wellbeing. In Hussain CM, editor. *Handbook of Environmental Materials Management*. Springer, Cham.
- Jim CY. 2017. An Archaeological and Historical Exploration of the Origins of Green Roofs. *Urban Forestry & Urban Greening* **27**:32-42.

Johnson J, Newton J. 1996. *Building Green: A Guide for Using Plants on Roofs and Pavement*. The London Ecology Unit, London.

Jungels J, Rakow DA, Allred SB, Skelly SM. 2013. Attitudes and aesthetic reactions toward green roofs in the Northeastern United States. *Landscape and Urban Planning* **117**:13-21.

Kaiser D, Köhler M, Schmidt M, Wolff F. 2019. Increasing Evapotranspiration on Extensive Green Roofs by Changing Substrate Depths, Construction, and Additional Irrigation. *Buildings* **9**:173.

Kaplan Z, Danihelka J, Chrtek J jun., Kirschner J, Kubát K, Štech M, Štěpánek J, editors. 2019. *Klíč ke květeně České republiky [Key to the flora of the Czech Republic]*. Ed. 2. Academia, Praha. ISBN 978-80-200-2660-6.

Kaplan I, Jelínková K. 2020. *Změna č. 4 Územního plánu Říčany*. Available from <https://www.ricany.cz/radnice/strategicke-dokumenty/uzemni-planovani-ve-meste-ricany/zmena-c-4-uzemniho-planu-rican/> (accessed January 2024).

Köhler M, Schmidt M, Grimme FW, Laar M, de Assunção Paiva VL, Tavares S. 2002. Green roofs in temperate climates and in the hot-humid tropics—far beyond the aesthetics. *Environmental management and health* **13**:382-391.

Konasová Š, Da Silveira RV. 2016. Zelené střechy: Střešní systém snižující náklady na vytápění a chlazení. *Business & IT* **6**:60-65.

Kosareo L, Ries R. 2007. Comparative Environmental Life Cycle Assessment of Green Roofs. *Building and Environment* **42**:2606-2613.

Kotzen B. 2018. Green Roofs Social and Aesthetic Aspects. *Nature Based Strategies for Urban and Building Sustainability*: 273-281. DOI:10.1016/b978-0-12-812150-4.00025-2.

Ksiazek K, Fant J, Skogen K. 2012. An Assessment of Pollen Limitation on Chicago Green Roofs. *Landscape and Urban Planning* **107**:401-408.

Li WC, Yeung KKA. 2014. A Comprehensive Study of Green Roof Performance from Environmental Perspective. *International Journal of Sustainable Built Environment* **3**:127-134.

Li X, Cao J, Xu P, Fei L, Dong Q, Wang Z. 2018. Green Roofs: Effects of Plant Species Used on Runoff. *Land Degradation & Development* **29**:7645.

Li Y, Babcock RW. 2014. Green Roofs Against Pollution and Climate Change. A review. *Agronomy for Sustainable Development* **34**:695-705.

- Liberalesso T, Oliveira Cruz C, Matos Silva C, Manso M. 2020. Green Infrastructure and Public Policies: An International Review of Green Roofs and Green Walls Incentives. *Land Use Policy* **96**:104693.
- Liu K, Baskaran B. 2003. Thermal Performance of Green Roofs through Field Evaluation. In *Proceedings of 1st North American Green Roof Conference: Greening Rooftops for Sustainable Communities*. Chicago, The Cardinal Group Toronto, 2003.
- Madre F, Vergnes A, Machon N, Clergeau P. 2013. A Comparison of 3 Types of Green Roof as Habitats for Arthropods. *Ecological Engineering* **57**:109-117.
- Magill JD, Midden K, Groninger JW, Therrell MD. 2011. *A History and Definition of Green Roof Technology with Recommendations for Future Research*. Southern Illinois University, Carbondale, Illinois.
- Macháč J, Mlejnek J, Hekrlé M. 2024. ZPRÁVA PRO KLÍČOVÉ AKTÉRY č. 4. Téma: Extenzivní zelené střechy a jejich teplotní vlivy na budovy a město. Available from https://www.fse.ujep.cz/wp-content/uploads/2024/01/Zprava_pro_klicove_aktery_c_4_zelene_strechy.pdf (accessed March 2024).
- Manso M, Teotónio I, Silva CM, Cruz CO. 2021. Green Roof and Green Wall Benefits and Costs: A Review of the Quantitative Evidence. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **135**:110111.
- Mell IC. 2008. Green Infrastructure: Concepts and Planning. *International Journal for Postgraduate Studies in Architecture, Planning and Landscape* **8**:69-80.
- Mihalakakou G, et al. 2023. Green Roofs as a Nature-Based Solution for Improving Urban Sustainability: Progress and Perspectives. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **180**:113306.
- Milanović AR, Folić NK, Folić R. 2018. Earth-Sheltered House: A Case Study of Dobraca Village House near Kragujevac, Serbia. *Sustainability* **10**:3629.
- Ministerstvo zemědělství. 2021. Vyhláška č. 244 ze dne 22. června 2021, kterou se mění vyhláška č. 428/2001 Sb., kterou se provádí zákon č. 274/2001 Sb., o vodovodech a kanalizacích pro veřejnou potřebu a o změně některých zákonů (zákon o vodovodech a kanalizacích), ve znění pozdějších předpisů. Pages 2466-2534 in *Sbírka zákonů České republiky, 2021, částka 104*. Česká republika.
- Ministerstvo životního prostředí. 2015. *Strategie přizpůsobení se změně klimatu v podmínkách ČR*. Praha.

- Naranjo A, Colonia A, Mesa J, Maury H, Maury-Ramírez A. 2020. State-of-the-Art Green Roofs: Technical Performance and Certifications for Sustainable Construction. *Coatings* **10**:69.
- Niachou A, Papakonstantinou K, Santamouris M, Tsangrassoulis A, Mihalakakou G. 2001. Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance. *Energy and Buildings* **33**:719-729.
- Oberndorfer E, Lundholm J, Bass B, Coffman RR, Doshi H, Dunnett N, Gaffin S, Köhler M, Liu KKY, Rowe B. 2007. Green Roofs as Urban Ecosystems: Ecological Structures, Functions, and Services. *BioScience* **57**:823-833.
- Parlament České republiky. 2021. Zákon č. 283 ze dne 13. července 2021, stavební zákon. Pages 3122-3324 in *Sbírka zákonů České republiky, 2021, částka 124*. Česká republika.
- Partridge DR, Clark JA. 2018. Urban Green Roofs Provide Habitat for Migrating and Breeding Birds and their Arthropod Prey. *PLOS ONE* **13** (e0202298). DOI:10.1371/journal.pone.0202298.
- Perini K, Rosasco P. 2016. Is Greening the Building Envelope Economically Sustainable? An Analysis to Evaluate the Advantages of Economy of Scope of Vertical Greening Systems and Green Roofs. *Urban Forestry & Urban Greening* **20**:328-337.
- Peterson PM. 2013. Poaceae (Gramineae). eLS. DOI:10.1002/9780470015902.a0003689.pub2.
- Planta Naturalis. 2024. Střešní zahrada. Available from <https://plantanaturalis.com/wp-content/uploads/2021/08/stresni-slozeni.pdf> (accessed April 2024).
- Poptani H, Bandyopadhyay A. 2019. A Study on Green Roofs: Benefits, Challenges and Possibilities. *International Journal of Scientific Engineering and Research (IJSER)* **7**:15-19.
- Pradhan S, Al-Ghamdi SG, Mackey HR. 2019. Greywater Recycling in Buildings Using Living Walls and Green Roofs: A Review of the Applicability and Challenges. *Science of The Total Environment* **652**:330-344.
- Raimondo F, Trifilò P, Lo Gullo MA, Andri S, Savi T, Nardini A. 2015. Plant Performance on Mediterranean Green Roofs: Interaction of Species-Specific Hydraulic Strategies and Substrate Water Relations. *AoB PLANTS* **7**.
- Regal V, Šindelářová J. 1970. Atlas nejdůležitějších trav. Státní zemědělské nakladatelství, Praha. ISBN: 07-016-70-04/28.
- Rosasco P, Perini K. 2019. Selection of (Green) Roof Systems: A Sustainability-Based Multi-Criteria Analysis. *Buildings* **9**:134.

- Rowe DB, Getter KL. 2015. Green Roofs and Garden Roofs. *Urban Ecosystem Ecology*: 391-412. DOI: 10.2134/agronmonogr55.c19.
- Saadatian O, Sopian K, Salleh E, Lim CH, Riffat S, Saadatian E, Toudeshki A, Sulaiman MY. 2013. A Review of Energy Aspects of Green Roofs. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **23**:155-168.
- Sage RF, de Melo Peixoto M, Friesen P, Deen B. 2015. C4 bioenergy crops for cool climates, with special emphasis on perennial C4 grasses. *Journal of Experimental Botany* **66**: 4195-4212.
- Sarwar S, Alsaggaf MI. 2020. The Willingness And Perception Of People Regarding Green Roofs Installation. *Environmental Science and Pollution Research* **27**. DOI:10.1007/s11356-020-08511-y.
- Shafique M, Kim R, Rafiq M. 2018. Green Roof Benefits, Opportunities and Challenges – A Review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **90**:757-773.
- Shahmohammad M, Hosseinzadeh M, Dvorak B, Bordbar F, Shahmohammadmirab H, Aghamohammadi N. 2022. Sustainable Green Roofs: A Comprehensive Review of Influential Factors. *Environmental Science and Pollution Research* **29**:78228-78254.
- Soreng RJ, Peterson PM, Romaschenko K, Davidse G, Teisher JK, Clark LG, Barberá P, Gillespie LJ, Zuloaga FO. 2017. A Worldwide Phylogenetic Classification of the Poaceae (Gramineae) II: An Update and a Comparison of Two 2015 Classifications. *Journal of Systematics and Evolution* **55**:259-290.
- Speak AF, Rothwell JJ, Lindley SJ, Smith CL. 2012. Urban Particulate Pollution Reduction by Four Species of Green Roof Vegetation in a UK City. *Atmospheric Environment* **61**:283-293.
- Státní fond životního prostředí ČR. 2024. Program Nová zelená úsporám. Available from <https://novazelenausporam.cz/> (accessed January 2024).
- Stovin VR, Jorgensen A, Clayden A. 2008. Street trees and stormwater management. *Arboricultural Journal* **30**:297-310.
- Suszanowicz D, Kolasa-Więcek A. 2019. The Impact of Green Roofs on the Parameters of the Environment in Urban Areas—Review. *Atmosphere* **10**:792.
- Sutton R. 2014. Aesthetics for Green Roofs and Green Walls. *Journal of Living Architecture*. **1**:1-20.
- Svobodová M, Cagaš B. 2013. *Trávník: zakládání, ošetřování a údržba*. Grada Publishing, Praha. ISBN: 978-80-247-4279-3.

SZÚZ. 2016. Zelené střechy: naděje pro budoucnost II. Svaz zakládání a údržby zeleně, Brno. ISBN: 978-80-270-1072-1.

SZÚZ. 2018. Zelená střecha roku 2018. Available from <https://www.zelenastrecharoku.cz/cs/menu/predchozi-rocniky/2018/> (accessed February 2024).

SZÚZ. 2019. Zelená střecha roku 2019. Available from <https://www.zelenastrecharoku.cz/cs/menu/predchozi-rocniky/2019/> (accessed February 2024).

SZÚZ. 2020. Plocha zelených střech v České republice se za posledních pět let zdvojnásobila. Available from <https://www.zelenestrechy.info/tz-plocha-zelenych-strech-2019> (accessed October 2023).

SZÚZ. 2021. Zpráva o trhu zelených střech v České republice. Available from https://www.zelenestrechy.info/media/_file/539/Zelen%C3%A9%20st%C5%99echy%20v%20%C4%8CR_%20Zpr%C3%A1va%20o%20trhu.pdf (accessed October 2023).

SZÚZ. 2022. Zelená střecha roku 2022. Available from <https://www.zelenastrecharoku.cz/cs/menu/predchozi-rocniky/2022/> (accessed March 2024).

SZÚZ. 2023. Zelených střech přibývá stále rychleji. Trendem je kombinace s fotovoltaikou. Available from <https://www.zelenestrechy.info/front-articles/view/154> (accessed October 2023).

SZÚZ. 2024. Zelená střecha roku – O soutěži. Available from <https://www.zelenastrecharoku.cz/cs/menu/o-soutezi/> (accessed February 2024).

Šikula J, Větvička V. 2016. Trávy: traviny a trávničky v ilustracích Vojtěcha Štolfy a Zdenky Krejčové. Artia (Aventinum), Praha. ISBN: 978-80-7442-036-8.

Teotónio I, Silva CM, Cruz CO. 2021. Economics of Green Roofs and Green Walls: A Literature Review. *Sustainable Cities and Society* **69**:102781.

Tomaškin J, Tomaškinová J, Kizeková M. 2015. Ornamental Grasses as Part of Public Green, their Ecosystem Services and Use in Vegetative Arrangements in Urban Environment. *Thaiszia, Journal of Botany* **25**:1-13.

Ulrich R. 1984. View Through a Window May Influence Recovery from Surgery. *Science* **224**: 420-421.

United Nations. 2019. World Urbanization Prospects: The 2018 Revision. United Nations, New York. eISBN: 978-92-1-004314-4.

- Van Renterghem T, Botteldooren D. 2008. Numerical Evaluation of Sound Propagating over Green Roofs. *Journal of Sound and Vibration* **317**:781-799.
- Van Seters T, Rocha L, Smith D, MacMillan G. 2009. Evaluation of Green Roofs for Runoff Retention, Runoff Quality, and Leachability. *Water Quality Research Journal* **44**:33–47.
- Vijayaraghavan K. 2016. Green roofs: A critical review on the role of components, benefits, limitations and trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* **57**:740-752.
- Watson CJ, Carignan-Guillemette L, Turcotte C, Maire V, Proulx R. 2019. Ecological and Economic Benefits of Low-Intensity Urban Lawn Management. *Journal of Applied Ecology*. DOI:10.1111/1365-2664.13542.
- Whittinghill LJ, Rowe DB, Andresen JA, Cregg BM. 2014. Comparison of stormwater runoff from sedum, native prairie, and vegetable producing green roofs. *Urban Ecosystems* **18**:13-29.
- Whittinghill LJ, Rowe DB, Cregg BM. 2013. Evaluation of Vegetable Production on Extensive Green Roofs. *Agroecology and Sustainable Food Systems* **37**:465-484.
- Wong NH, Chen Y, Ong CL, Sia A. 2003. Investigation of Thermal Benefits of Rooftop Garden in the Tropical Environment. *Building and Environment* **38**:261-270.
- Yang J, Yu Q, Gong P. 2008. Quantifying Air Pollution Removal by Green Roofs in Chicago. *Atmospheric Environment* **42**:7266-7273.
- Yuan H. 2020. Poaceae: Shaper of the Modern World. *Imperial Bioscience Review*. Available from https://imperialbiosciencereview.wordpress.com/2020/11/06/poaceae-shaper-of-the-modern-world/?fbclid=IwAR1SGak12fFCOfDaYUY4SIK26D72xAWxgQ_eH7PWhlCfH7tkPufBE4CVlkI_aem_ARtrTk0CilbYzFuhUQVHRkQQ8rbb1M2_ih2LILZJpoEbbtLVdMHG16FLrwOvFsyBJK8eUw5d4har3sa68ue88Oq0 (accessed March 2024).
- Zavaleta ES, Pasari JR, Hulvey KB, Tilman GD. 2010. Sustaining multiple ecosystem functions in grassland communities requires higher biodiversity. *Proceedings of the National Academy of Sciences* **107**:1443-1446.

6 Seznam použitých zkratek

aj.	a jiné
apod.	a podobně
ČR	Česká republika
ČSN	Soustava českých technických norem
dB	decibel
EPS	expandovaný polystyren
EUR	euro
Hz	hertz
Kč	česká koruna
mj.	mimo jiné
PM	suspendované částice
SZÚZ	Svaz zakládání a údržby zeleně
Standardy SZÚZ	Standardy pro navrhování, provádění a údržbu vegetačních souvrství zelených střech vydané SZÚZ (aktuálně z roku 2019)
tj.	to je
tzn.	to znamená
tzv.	takzvaný, takzvaně
USD	americký dolar
XPS	extrudovaný polystyren