

Česká zemědělská univerzita

Fakulta životního prostředí

Katedra aplikované ekologie



Zelené střechy – různé typy a jejich využití

Green roofs – types and their use

Bakalářská práce

Autor práce: Pavel Koblenc

Vedoucí práce: prof. Ing. Jan Vymazal, CSc.

Praha, 2019

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Pavel Koblenc

Vodní hospodářství

Název práce

Zelené střechy – různé typy a jejich využití

Název anglicky

Green roofs – types and their use

Cíle práce

1. Charakterizovat pojem "zelená střecha".
2. Popsat historický vývoj využití zelených střech.
3. Charakterizovat typy zelených střech.
4. Shrnout využití zelených střech pro různé účely.

Metodika

Jedná se o rešeršní práci, takže těžiště práce spočívá v sumarizaci dostupných literárních údajů.

Doporučený rozsah práce

40 stran včetně textu

Klíčová slova

zelené střechy, vegetace, dešťové srážky

Doporučené zdroje informací

- Besir, A.B., Cuce, E., 2018. Green roofs and facades: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 82: 915-939
- Kazemi, F., Mohorko, R., 2017. Review on the roles and effects of growing media on plant performance in green roofs in world climates. *Urban Forestry and Urban Greening* 23: 13-26.
- Moeller Francis, L.F., Jensen, M.B., 2017. Benefits of green roofs: A systematic review of the evidence for three ecosystem services. *Urban Forestry and Urban greening* 28: 167-176.
- Pradhan, S., Al-Ghamdi, S.G., Mackey, H.R., 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.
- Shafiques, M., Kim, R., Rafiq, M., 2018. Green roof benefits, opportunities and challenges: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 90: 757-773.
-

Předběžný termín obhajoby

2018/19 LS – FŽP

Vedoucí práce

prof. Ing. Jan Vymazal, CSc.

Garantující pracoviště

Katedra aplikované ekologie

Elektronicky schváleno dne 3. 2. 2019

prof. Ing. Jan Vymazal, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 25. 2. 2019

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 17. 04. 2019

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně pod vedením prof. Ing. Jana Vymazala, CSc.. Uvedl jsem všechny literární prameny a publikace, ze kterých jsem čerpal.

Prohlašuji, že tištěná verze se shoduje s verzí odevzdanou přes Univerzitní informační systém.

V Praze, 24. 4. 2019:

Poděkování

Velice rád bych touto cestou poděkoval vedoucímu mé bakalářské práce prof. Ing. Janu Vymazalovi, CSc. za věnovaný čas, hodnotné informace, rady a především za velmi milý a obětavý přístup. V neposlední řadě děkuji mé rodině a nejbližším za podporu při psaní bakalářské práce ale i během celého studia.

Abstrakt

Zelené střechy představují nástroj udržitelného rozvoje pro snížení nežádoucích efektů urbanizace. Tato rešeršní práce se snaží přehledně zmapovat konstrukční prvky a význam zelených střech. Systémy zelených střech jsou po celém světě využívány za účelem mnoha výhod. Mezi hlavní z těchto výhod patří snižování efektu městského tepelného ostrova, zadržování vody v krajině, čištění ovzduší a rozšiřování biodiverzity. Přínosem této práce je stručné uvedení do problematiky tohoto tématu a vytvoření podkladu pro budoucí výzkum v tomto oboru.

Klíčová slova:

Zelené střechy, vegetace, srážky, městský tepelný ostrov

Abstract

Green roofs are a tool for sustainable development to reduce negative effects of urbanization. This bachelor thesis focuses on characterisation of structural elements of green roofs and the importance of green roof application. Green roof systems are used worldwide for many benefits. The main of these benefits include mitigation of urban heat island, reduction of stormwater runoff, cleaning of the air and creation of biodiversity. Main benefit of this work is a brief introduction to the issue of this topic and the creation of a basis for future research in this scientific field.

Key words:

Green roof, vegetation, precipitation, urban heat island

Obsah

1. Úvod	1
2. Cíle práce.....	3
3. Historie a vývoj zelených střech	4
3.1. Počátky zelených střech	4
3.2. Vývoj zelených střech v průběhu historie.....	5
3.3. Vývoj zelených střech ve světě	6
3.4. Vývoj zelených střech u nás.....	7
3.5. Podpora rozvoje zelených střech.....	8
4. Konstrukce a údržba zelených střech	11
4.1. Nosná konstrukce.....	11
4.2. Hydroizolační vrstva a kořenová bariéra	12
4.3. Drenážní vrstva.....	13
4.4. Filtrační vrstva	14
4.5. Substrát	14
4.6. Vegetace.....	16
4.7. Modulární konstrukce	18
4.8. Kombinace s jinými systémy.....	19
4.9. Údržba zelených střech	21
5. Rozdělení zelených střech	23
5.1. Extenzivní ozelenění.....	23
5.2. Intenzivní ozelenění.....	23
5.3. Polo-intenzivní ozelenění	23
5.4. Další způsoby rozdělení zelených střech	24
6. Význam zelených střech a jejich využití.....	26
6.1. Zadržování vody.....	26
6.2. Snížení efektu tepelného ostrova v urbanizovaných oblastech.....	28
6.3. Snížení energetické náročnosti budov.....	30
6.4. Čištění městského vzduchu	31
6.5. Biodiverzita a tvorba habitatu	32
6.6. Pěstování plodin ve městech.....	32
6.7. Sociologický význam zelených střech	34
7. Šedá voda	36
7.1. Využití šedé vody.....	36
7.2. Technologie upravování šedé vody	36
8. Diskuze	38
9. Závěr.....	40

10.	Seznam literatury a použitých zdrojů	42
11.	Přílohy	49

1. Úvod

Tato bakalářská práce rešeršního charakteru je zaměřena na problematiku zelených střech. Práce popisuje vývoj zelených střech v průběhu historie. Jsou zde uvedeny způsoby rozdělení zelených střech a funkce jednotlivých konstrukčních vrstev. Zvláštní kapitola je věnována šedé vodě a jejímu využití.

Cílem této práce bylo charakterizovat vlastnosti a funkce zelených střech, kterými mohou napomoci k řešení aktuálních problémů především v urbanizovaných oblastech. Atraktivita tohoto tématu spočívá i v myšlence přiblížení zastavěné plochy zpět přírodě.

Velkým trendem současnosti jsou neustále se rozrůstající urbanizované oblasti. Čím dál větší množství obyvatel se stěhuje do měst a tím přispívá k jejich rozšiřování. V současné době žije již více než polovina světové populace ve městech a jejich počet stále narůstá. Předpověď pro rok 2050 uvádí předpokládaný nárůst míry urbanizace až na 68 % (OSN ©2018). Jedním z hlavních negativních efektů tohoto trendu je prudký růst degradace přírodní krajiny. S nárůstem urbanizace roste i její dopad na životní prostředí, především rostoucí emise skleníkových plynů a efekt městského tepelného ostrova (MTO) jsou toho příkladem.

Rozšiřování měst vede k nárůstu nepropustných povrchů, střech, silnic, parkovišť a chodníků, napojených na lokální kanalizační síť. Přirozená filtrační schopnost vegetace, infiltrační schopnost a storativita podkladových zemin je nahrazena zhutněnými půdami a hydraulicky hladkými nepropustnými povrchy na úkor hydrologických funkcí, jako je například zachycování vody rostlinami, infiltrace, ukládání podzemní vody a zpomalení odtoku díky drsnosti povrchu. V důsledku srážkových událostí pak vznikne velký objem přebytečné vody, která rychle odtéká.

Zelené střechy jsou přímo ukázkovým příkladem, jak lze tuto problematiku řešit. Díky svým vlastnostem pomáhají zadržovat vodu v místě jejího spadu, ochlazují vzduch ve svém okolí a oživují městskou krajinu. Současně pomáhají snížit energetickou spotřebu budov a čistit ovzduší v městských oblastech. Pro své četné výhody jsou zelené střechy využívány v mnoha zemích po celém světě.

V termínu zelená střecha představuje přídavné jméno zelená zeleň či vegetaci, která se na těchto typech zastřešení vyskytuje. Setkat se lze i s označeními ozeleněná či vegetační střecha, která mají stejný význam.

Tradiční konstrukci zelených střech tvoří vegetace, substrát, filtrace, drenáž, kořenová bariéra a hydroizolace. Správný výběr jednotlivých komponentů ozeleněných střech je pro jejich funkčnost klíčový. Každá část má svou funkci a v případě selhání jednoho komponentu selže celý systém.

Vzhledem k rozsáhlosti výzkumu v oblasti zelených střech, který v současné době stále probíhá, představuje tato práce pouhý zlomek a stručné uvedení do této problematiky.

2. Cíle práce

- 1) Charakterizovat pojem „zelená střecha“
- 2) Popsat historický vývoj využití zelených střech
- 3) Charakterizovat typy zelených střech
- 4) Shrnout využití zelených střech pro různé účely

3. Historie a vývoj zelených střech

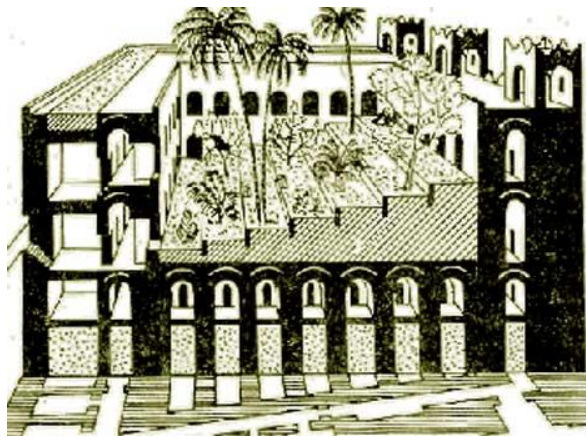
Pojem zelená střecha lze charakterizovat jako střešní konstrukci, pokrytou substrátem osázeným různými druhy vegetace. Zelené střechy, též známé jako vegetační a ozeleněné střechy mají bohatou historii (Čermáková a Mužíková 2009). V kapitolách 3.1–3.4 je stručně zmapována jejich historie od počátků až po současnost.

3.1. Počátky zelených střech

Zelené střechy jsou již po staletí známé. Vykopávky města Ninive prokázaly přítomnost vegetace na střechách již za období vlády krále Šalamouna (929-917 př. n. l.) (Čermáková a Mužíková 2009). Nejznámějším příkladem ozeleněných střech ze starověku byly Babylonské visuté zahrady z doby 500 př. n. l. (Jim 2017) (Obrázek 1). Na tehdejší dobu se jednalo o technicky vyspělou konstrukci, jež disponovala hydroizolací v podobě olověných plátů a vlastním systémem zavlažování pomocí zavodňovacích kanálů (Jim 2017).

Podobné systémy jako v Babylonu si za své doby osvojilo i Řecké a Římské impérium. V oblasti středomoří byly využívány různé druhy rostlin, převážně vinné révy, k ochraně budov před přímým slunečním zářením a snížení teplot v interiéru (Besir a Cuce 2018). V Římě kolem roku 28 př. n. l. se staly střešní zahrady módní záležitostí bohatých měšťanů. Tento trend se snažila napodobovat i chudší vrstva obyvatel tvorbou malých terasových zahrad s rostlinami v nádobách (Čermáková a Mužíková 2009).

Severské země mají v oblasti zelených střech bohatou minulost. V chladném podnebí na území Islandu a Skandinávie zelené střechy sloužili jako izolační vrstva. V Norsku se dochovalo několik domů s ozeleněním střech z 13. století (Jim 2017) (Obrázek 2). Konstrukce s dřevěným krovem a bedněním, na kterou se navršilo několik vrstev březové kůry a následně drnů s travním porostem, měla dobré tepelné vlastnosti. Bylo však nutné volit u střech větší sklon, aby nedocházelo k jejich podmáčení při vydatnějších srážkách (Čermáková a Mužíková 2009).



Obrázek 1: Vyobrazení Semiradiných zahrad (Čermáková a Mužíková 2009)



Obrázek 2: Ozelenění střechy na dobové budově v Norském Lidovém Muzeu, autor: Astrid Santa (NFM ©2018)

3.2. Vývoj zelených střech v průběhu historie

Jak již bylo zmíněno v kapitole 3.1 počátky zelených střech se datují zhruba do doby před 3000 lety. Popularita zelených střech pokračovala v období Byzantské říše, kdy se ozelenění využívalo převážně na palácových střechách. Z období 11. a 12. století se dochovala vyobrazení zelených střech v modlitebních knihách a byzantském evangeliu. V té době vznikají zelené střechy i na území Francie (Čermáková a Mužíková 2009).

Počátkem první poloviny 15. století byl v Italské Florenci vybudován palác Medicejských známý pod jménem „Villa Garegii“ s rozlohou teras a střešní zahrady přes 100 m². V 15. století vznikají zelené střechy i v Německu. Příkladem je květinová zahrada s vinicí a ovocným sadem, kterou roku 1487 císař Fridrich III. nechal vybudovat na střeše Norimberského zámku. Vliv na ozeleňování střech v první polovině 16. století měla i církev. Díky podpoře kardinála Andrea del Vale vzniklo roku 1530 v Římě muzeum ozeleněných střech a teras (Čermáková a Mužíková 2009).

První teoretické práce zaměřené na střešní zahrady byly vydány v 17. století. V následujícím období Baroka se vegetační střechy těší velké oblibě. Vznikají stavební pravidla nařizující výstavbu vegetačních střech, která jsou přijata v několika Italských městských státech. Některé spisy a knihy z přelomu 17. a 18. století doporučují tradiční šikmé střechy nahradit ozeleněnými plochými střechami, které se tak stanou místem pro odpočinek a relaxaci pro obyvatele (Čermáková a Mužíková 2009).

Významný přelom nastává v roce 1867 s vynálezem železobetonu. Ten umožnil vysoké zatížení konstrukcí a výrazně prodloužil životnost nejen střešních pláštěů, ale i celých budov (Čermáková a Mužíková 2009). V 19. století se obyvatelé měst domnívali, že zelené střechy nelze kombinovat se současnou architekturou, kvůli náročnosti dodatečného ozelenění. Díky neustálému vývoji technologií, narůstajícím požadavkům obyvatel a povědomí o stavu životního prostředí, se ozeleněné konstrukce dostávaly rok za rokem do středu pozornosti (Besir a Cuce 2018).

3.3. Vývoj zelených střech ve světě

V kapitolách 3.1 a 3.2 je popsán historický vývoj zelených střech ve světě do 20. století. Začátkem 20. století proniká ozeleňování konstrukcí do architektury. Významným průkopníkem tohoto směru se stal švýcarský funkcionalistický architekt Le Corbusier. Jeho idea navrácení krajiny zabrané městskou zástavbou zpět přírodě pomocí ozeleňování střech dodnes inspiruje řadu architektů (Čermáková a Mužíková 2009).

V průběhu první poloviny 20. století vzniklo ve světě několik studií a projektů ozeleněných střech a střešních zahrad. Většina jich však nebyla realizována, vzhledem k množství nezodpovězených otázek ohledně substrátu a vhodné vegetace pro zelené střechy. Světlou výjimkou je v tomto případě střešní zahrada obchodního domu Derry&Toms v Londýně. Zahrada má rozlohu 6000 m², tloušťku substrátu 1,5 m a vegetaci tvoří přes 500 keřů a stromů (Čermáková a Mužíková 2009).

Základy moderních zelených střech vznikly v Německu v 60. letech 20. století. Hlavním důvodem budování ozeleněných střech pro Němce byla úspora energie v budovách. V současnosti je Německo považováno v oblasti zelených střech za světovou špičku. Schopnost Německé republiky aplikovat ozelenění na střechy ve velkém měřítku se stala inspirací pro mnoho států po celém světě (Shafique et al. 2018).

V 70. a 80. letech začínají západní Evropské státy nahlížet na zelené střechy z pohledu ekologie. V tomto směru se o výzkum nejvíce zasloužili němečtí odborníci. Roku 1978 prof. Dr. Ing. Gernot Minke z univerzity v Kasselu vyvinul první systém ozelenění šikmých střech. Největším přínosem německých odborníků jsou zásady pro zřízení vegetačních úprav střech vydané Výzkumným ústavem pro rozvoj a výstavbu krajiny (FLL) v Bonnu (Čermáková a Mužíková 2009). Hlavním problémem pro aplikaci zásad FLL globálně představovala jazyková bariéra. Publikace byla až do roku 2002 k dostání pouze v německém jazyce. Tentýž rok byly zásady FLL představeny Americké společnosti pro zkoušení a materiály (ASTM), která pak v letech 2005 a 2006 vydala vlastní normy pro konstrukce vegetačních střech (Shafique et al. 2018).

V současnosti je téma zelených střech debatováno v mnoha studiích zaměřených na výhody, které tyto konstrukce nabízí (Battista et al. 2016; Solcerova et al. 2017; Tian et al. 2017; Schultz et al. 2018). Cílem těchto výzkumů je najít cenově příznivý způsob ozeleňování střech, který lze aplikovat ve velkém měřítku (Shafique et al. 2018).

3.4. Vývoj zelených střech u nás

Na území České republiky vznikají zelené střechy v druhé polovině 19. století. V tomto období se ozeleňování týkalo převážně zámků a jejich rekonstrukcí. Příkladem je zámek Lipník nad Bečvou, který v 60. letech 19. století prošel přestavbou. Z roku 1863 se dochovalo několik plánů stavitele Josefa Ziaka (Žáka), který spolu se zahradníkem Ferdinandem Wenzlem přeměnil střešní terasu bývalých stájí západního dvora ve střešní zahradu. Současná podoba střešní zahrady s plochou 600 m² po rekonstrukci mezi lety 2005-2006 neodpovídá původním plánům (Čermáková a Mužíková 2009).

Ozeleněnou konstrukci v podobě vegetační terasy lze nalézt i na zámku Konopiště. Původně sloužila stavba jako gotická pevnost, která svou funkci ztratila v první polovině 18. století. Od té doby prošel zámek množstvím změn, které zachycují dochované dobové fotografie. Na snímcích je zachyceno ozelenění terasy na střeše oranžerie travním porostem a dvěma stromy. Na klenbách střešní konstrukce oranžerie byla navržena vrstva ze-

miny o mocnosti 1,2m. Nedostatečná ochrana proti vlhkosti si v roce 1970 vyžádala rekonstrukci, která odhalila pozůstatky asfaltového nátěru na klenbě. Z dochovaných pramenů však nelze zjistit jakým způsobem byla z konstrukce odváděna přebytečná voda. Problémy s průsakem vody však přetrvávaly i po dokončení rekonstrukce v roce 1974. V průběhu let následovala série úprav, z nichž některé nebyly v souladu s projekčními plány. Problémy s průsaky a vlhkostí má terasa dodnes (Čermáková a Mužíková 2009).

Významným příkladem jsou vegetační pokryvy teras Hotelu Praha na území hlavního města. V druhé polovině 20. století se jednalo o významnou stavbu, která přispěla k hledání technicky spolehlivého způsobu realizace zelených střech (Bohuslávek et al. 2009).

V současnosti vznikají zelené střechy u nás převážně na administrativních budovách, obchodních centrech a hotelech. Příkladem je budova OC Nový Smíchov, která je největší ozeleněnou střechou v České Republice. Z celkové rozlohy komplexu 40 000 m² je vegetací pokryto 24 000 m². Součástí ozelenění je i část šikmé střechy se sklonem 58°, která je v Čechách unikátní (Čermáková a Mužíková 2009). Vegetaci pokrývající střechu tvoří část pochozího travního porostu, celoročně zelený bylinný porost a 33 vzrostlých platanů v kontejnerech o objemu 5 m³ (STAVBAWEB ©2018).

Na výzkumu zelených střech se Česká republika podílí v rámci projektu EnviHUT. Původně vznikl projekt jako spolupráce Vysokého Učení Technického (VUT) v Brně a univerzity v Reykjavíku. Cílem projektu je přenést testování komponentů vegetačních střech z laboratoří do reálných podmínek s využitím lokálně dostupných a recyklovaných materiálů. Koncept je vytvořen s důrazem na snadnou instalaci svépomocí (Selník et al. 2016).

3.5. Podpora rozvoje zelených střech

Mnoho států podporuje rozvoj zelených střech díky jejich ekologickým, ekonomickým a sociálním výhodám. Tato podpora je buď formou různých dotačních příspěvků či snížení nákladů na vodné a stočné. Cílem je povzbudit obyvatele v realizaci zelených k dosažení vyšší kvality životního prostředí. Některé země uplatňují pro aplikaci zelených střech i zákony. V rámci těchto zákonů je stanovena povinnost realizovat zelenou střechu na novostavbách soukromého i veřejného charakteru překračující určitou zastavěnou plochu. V opačném případě musí majitel nemovitosti platit vyšší poplatky za stočné (Shafique et al. 2018).

V Japonském Tokiu byl zaveden zákon o aplikaci zelených střech na soukromých budovách se zastavěnou plochou nad 1000 m² a na veřejných budovách se zastavěnou plochou

větší než 250 m². V Torontu (Kanada), by měla 50-70 % celkového střešního povrchu nových budov tvořit zeleň (Berardi et al. 2014).

Německo ročně podpoří výstavbu 13,5 milionů m² zelených střech (Oberndorfer et al. 2007). V Darmstadtu (Německo) může vlastník za zelenou střechu získat až 5000 €. Podobně v ostatních Německých městech např. Kolíně nad Rýnem, Mannheimu a Bonnu, je pro majitele domů se zelenou střechou snížen poplatek za svod dešťových vod. Ve Švýcarsku a Rakousku jsou zákony podporující zelené střechy samozřejmostí. Švýcarsko proplácí zpětně majiteli 20 % z celkových nákladů na realizaci (Berardi et al. 2014).

Vlastníkům domů v Québecu (Kanada) je placeno za každý čtverečný metr aplikované střešní zeleně (Ansel a Appl 2014). V USA má většina států vlastní programy podporující aplikaci zelených střech. V Chicagu nabízí proplacení 50 % z nákladů na výstavbu nebo 100 000 \$ pokud majitel pokryje 50 % střešního povrchu zelení. Ve Washingtonu pak může majitel požádat o dotaci ve výši až 5 \$ za každou čtvereční stopu zelené střechy (Shafique et al. 2018).

Singapur podporuje používání zelených střech zavedením dotačního plánu, který nabízí finanční výhody. V podobném duchu pracují ostatní asijské státy, jako Čína, Hong Kong, Malajsie a Jižní Korea, na vlastních dotačních programech podporujících rozvoj zelených střech v městských oblastech (Shafique et al. 2018). Způsoby podporování rozvoje zelených střech některých států jsou uvedeny v tabulce 1.

Tabulka 1: Podpora rozvoje zelených střech v některých státech (Berardi et al. 2014, upraveno)

Stát	Způsob podpory aplikace zelených střech
Německo	Mnichov: zelené střechy musí být použity na všech plochých střechách o rozloze > 100 m ² Esslingen: majiteli bude uhrazeno 50 % z ceny zelené střechy Darmstadt: majitel může získat až 5000 € při použití zelené střechy
Dánsko	Copenhagen: všechny nové budovy se sklonem střechy menším než 30° musí být v souladu s krajinným rázem, na těchto budovách by měly být použity zelené střechy
Kanada	Toronto: u nových budov s rozlohou přes 200 m ² musí být střecha ozeleněna nad 60 % celkové plochy Vancouver, BC: všechny nové komerční a průmyslové budovy s rozlohou nad 5000 m ² musí mít zelenou střechu, v opačném případě jsou majiteli účtovány poplatky
Singapur	Podpora používání zelených střech pomocí dotačního plánu
Japonsko	Tokyo: Instalace zelených střech je povinná u soukromých budov s rozlohou nad 1000 m ² a veřejných budov nad 250 m ² . V opačném případě je majiteli účtován roční poplatek.
USA	Chicago, IL: vrácení až 50 % nákladů nebo 100 000 \$ při ozelenění 50 a více % plochy střešního pláště Washington, DC: dotace až 5 \$ na čtvereční stopu zelené střechy New York, NY: majitelé domů s ozeleněním střechy nad 50 % získají jednorázovou daňovou úlevu až 100 000 \$ Baltimore, MA: stát nabízí daňovou úlevu 10 % z ceny aplikace nového systému pro správu dešťových vod Minneapolis, MN: majitel může aplikaci zelené střechy snížit o 50 % poplatek za svod dešťových vod do kanalizace Nashville, TN: majitel dostane slevu 10 \$ ze stočného za každou čtvereční stopu zelené střechy

Zelené střechy jsou ve světě často využívány pro získání štítků udržitelnosti, jako jsou LEED (Leadership in Energy and Environmental Design) a BREEAM (Building Research Establishment Environmental Assessment Method). Udržitelný rozvoj tímto nepřímým způsobem podporuje šíření zelených střech (Berardi et al. 2014).

V České republice je od ledna 2017 až do roku 2021 v platnosti rozšíření dotačního programu Nová zelená úsporám vztahující se i na zelené střechy (Dostal et al. 2017). Podpora se vztahuje na extenzivní a intenzivní zelené střechy na rodinných a bytových domech. Pro získání finanční podpory je však nutné splnit několik podmínek:

- 1) Extenzivní ozelenění musí mít tloušťku substrátu minimálně 8 cm a alespoň 5 druhů vegetace.
- 2) Intenzivní zelená střecha musí být zajištěna závlahou z jiného zdroje než z veřejné vodovodní sítě
- 3) Zelená střecha musí splňovat požadavky na kvalitu dle publikace SZÚZ (Svaz Zakládání a Údržby Zeleně) *Standardy pro navrhování, provádění a údržbu – Vegetační souvrství zelených střech*

Při splnění podmínek je uživateli vyplacena částka 500 Kč/m² (Dostal et al. 2017).

4. Konstrukce a údržba zelených střech

Návrh konstrukce zelené střechy je vždy individuální. V závislosti na umístění a požadovaných vlastnostech se jednotlivé komponenty systému mohou lišit. Všechny vrstvy musí být navrhovány tak, aby celý systém správně plnil svou funkci (Bohuslávek et al. 2009).

Standardně se zelená střecha skládá z následujících vrstev (Obrázek 3):

- 1) Nosná konstrukce střechy
- 2) Hydroizolační vrstva a kořenová bariéra
- 3) Drenážní vrstva
- 4) Filtrační vrstva
- 5) Substrát
- 6) Vegetace

V dnešní době existují systémové konstrukce umožňující realizaci jak na plochých, tak i sklonitých střechách (Čermáková a Mužíková 2009).



Obrázek 3: Vrstvy vegetační střechy (Vijayaraghavan 2016, upraveno)

4.1. Nosná konstrukce

Základem každé střechy je nosná konstrukce. Hlavním požadavkem pro realizaci zelené střechy je dostatečná nosnost této konstrukce. Tak jako v minulosti i dnes se setkáváme

s dřevěnou konstrukcí krovů, která je nejčastěji používána při výstavbě rodinných domů. Sklonité střechy ve velkých městech nahrazují střechy ploché. Pro tento typ střech je zapotřebí vhodnější materiál, který splňuje požadavky na vysokou nosnost konstrukce a rychlost výstavby. V současnosti je nejpoužívanější hojně využívaný železobeton. Beton známý pro svou vysokou pevnost v tlaku je doplněn ocelovou výztuží kompenzující svými vlastnostmi jeho nízkou únosnost v tahu. Kombinace těchto materiálů nabízí široké možnosti pro řešení všech typů nosných konstrukcí (Čermáková a Mužíková 2009).

Ozelenění je možné provádět na všech typech nosných konstrukcí (Čermáková a Mužíková 2009). V případě dodatečného ozelenění střech je třeba staticky ověřit nosnost střešní konstrukce. V některých případech může vyvstat požadavek na zesílení nosné střešní konstrukce (Bohuslávek et al. 2009).

4.2. Hydroizolační vrstva a kořenová bariéra

Hydroizolační vrstva brání proniknutí vody do spodní konstrukce střechy. U zelených střech vlhkost obsažená v substrátu riziko průsaku zvyšuje. Z toho důvodu je hydroizolační vrstva důležitou součástí zelené střechy a při jejím výběru a provádění musí být kladen důraz na dodržení správných pracovních postupů. Během realizace je potřeba chránit hydroizolaci proti chemickému a mechanickému poškození. V případech, kdy se poruchy hydroizolace projeví až po dokončení konstrukce, jsou opravy nákladnou a pracnou záležitostí. Výběr správného typu hydroizolace je klíčem k prodloužení životnosti zelené střechy (Vijayaraghavan 2016). V současnosti patří mezi nejpoužívanější systémy hydroizolace modifikované bitumenové pásy, asfaltové hydroizolační nátěry, systémy jednovrstvých hydroizolačních fólií a termoplastické hydroizolační membrány (Mobasher 2014).

S hydroizolační vrstvou je úzce spjata kořenová bariéra. Hlavní funkcí této vrstvy je ochrana hydroizolace před poškozením kořeny rostlin. Při absenci této vrstvy mohou kořeny narušit celkovou strukturu konstrukce zelené střechy. Nejběžnějším systémem tvořícím kořenovou bariéru jsou tenké polyetylenové pláty, nopové fólie z HDPE spojované speciální těsnicí hmotou a fólie z měkčeného PVC svařované horkým vzduchem. Je důležité aby byla kořenová bariéra kompatibilní s hydroizolací a zajišťovala tak správnou funkčnost (Shafique et al. 2018).

4.3. Drenážní vrstva

Funkcí drenážní vrstvy je akumulace srážkové vody a odvod jejího přebytečného množství ke střešním vtokům. Odváděním přebytečné vody ze substrátu napomáhá snížit zatížení střešní konstrukce a minimalizuje tak šance na selhání a následný kolaps nosného systému budovy. Zároveň slouží drenáž jako ochrana hydroizolační vrstvy a pomáhá zlepšovat energetickou účinnost stavby (Pérez et al. 2012).

Dvěma nejrozšířenějšími způsoby provádění drenážní vrstvy jsou:

- 1) Modulární drenážní panely z polystyrenu a polyetylenu sloužící zároveň jako hydroakumulační vrstva
- 2) Granulovaný porézní materiál zadržující vodu v pórech

Moderními způsoby drenáže je využití drenážních desek a rohoží. Zpravidla se jedná o nopové fólie s perforací. Ty umožňují ve svých kuželovitých výstupcích (nopech) zadržovat srážkovou či závlahovou vodu a zároveň dovolují přebytečné vodě odtékat perforacemi v horní části fólie. Hlavní předností tohoto systému je nízká hmotnost a rychlost provádění. Podmínkou použití je aplikace filtrační vrstvy nad fólií, aby nedocházelo k ucpávání perforací materiálem vyplavovaným ze substrátu. Doporučené je vyplnění nopů hrubozrnným materiálem aby nedošlo k ponoření filtrační textilie do vody v nich obsažené (Bohuslávek et al. 2009).

Tradičním způsobem realizace drenážní vrstvy je využití sypkých materiálů. Mezi nejčastěji využívané přírodní materiály můžeme zařadit štěrk, štěrkopísek, expandovaný jíla či pemzu. Uplatnění v této vrstvě konstrukce však nachází i průmyslově vyráběné materiály a jejich recykláty. Keramzit (umělé kamenivo), cihlová drť a gumové vločky z recyklace starých pneumatik mohou být rovněž využity jako drenáž. Použitím recyklovaných materiálů namísto přírodních se snižuje dopad na životní (Bohuslávek et al. 2009).

Účinnost různých typů drenáží zelených střech byla studována mnoha autory. Pérez et al. (2012) prováděl experimentální studii teplotních vlastností extenzivních zelených střech v suchém středomořském kontinentálním klimatu. Jako drenážní vrstvu použil gumové vločky a pozoroval jejich vliv na úsporu energie. Výsledky jeho studie ukazují lepší tepelné vlastnosti gumy než u drenáže referenční střechy. Wong a Jim (2014) ve své studii hydrologických vlastností extenzivních střech použili drenážní vrstvu Nophadrain 5 + 1, se schopností zadržet množství vody o objemu $4,3 \text{ l.m}^{-3}$ (Wong a Jim 2014).

4.4. Filtrační vrstva

Filtrační vrstva zelené střechy od sebe odděluje drenážní vrstvu a substrát. Její primární funkcí je zabránit drobným částicím zeminy a rostlin v zanášení drenážní vrstvy. Filtrační vrstvu tvoří nejčastěji geotextílie. Tato filtrační látka disponuje vysokou pevností v tahu a dobrou propustností. Právě díky těmto vlastnostem umožňuje volné proudění vody do drenážní vrstvy. Geotextílie může být také využita i jako kořenová bariéra. Schopnost netkané geotextílie zadržovat vodu ve své studii zkoumali Wong a Jim (2014). Výsledky jejich práce uvádí hodnotu nasákavosti téměř 1,5 l vody na m². Filtrační vrstva v jisté míře ovlivňuje množství vody, které dokáže zelená střecha pojmout a zadržet (Wong a Jim 2014).

4.5. Substrát

Vrstvou, která má největší vliv na růst vegetace a celkovou funkčnost systému zelené střechy je právě substrát. Výhody spojené s aplikací zelených střech jako zlepšení kvality vody, snížení odtoku a schopnost tepelně izolovat jsou přímo vázané na vlastnosti substrátu. Požadovanými vlastnostmi substrátu jsou jeho nízká hmotnost a vysoký podíl organických živin podporujících růst vegetace (Čermáková a Mužíková 2009).

Používání substrátů příliš bohatých na živiny není vhodné. Například u extenzivního travního porostu může substrát s vysokým obsahem živin způsobit příliš bujarý růst. Přerostlá vegetace je pak náchylná k poválení větrem, v důsledku, kterého odumírá a vytváří na povrchu vrstvu neproniknutelnou pro nové rostliny (Čermáková a Mužíková 2009).

Použití lokální půdy není pro vegetační střechy vhodné vzhledem k její nízké kvalitě a vysokému zatížení střešní konstrukce. V několika studiích je doporučeno přidávat do substrátu levnější a lehčí materiály a tím dosáhnout množství výhod (Mickovski 2018; Vijayaraghavan a Raja 2015). Přidáním pumice, zeolitu, pemzy, drcených cihel či jiných lokálně dostupných odpadních materiálů lze snížit náklady (Nagase a Dunnett 2011).

V zemích, kde nejsou zelené střechy komerčně dostupné vede používání lokální půdy k nevýhodám jako:

- 1) Nízká schopnost zadržovat vodu
- 2) Nárůst zatížení střešní konstrukce, který může vést až k jejímu selhání
- 3) Podpora růstu lokálních plevelů
- 4) Vyplavování živin důležitých pro správný růst vegetace

a dalším komplikacím (Xiao et al. 2014). Z těchto důvodů je lepší se využití lokální půdy vyhnout.

Substrát zelené střechy by měl mít nízkou objemovou hmotnost, aby zbytečně nepřetěžoval nosnou konstrukci budovy. Obzvláště při realizaci zelených střech na starších budovách je třeba dodržet maximální povolené zatížení. Hmotnost zelené střechy je třeba udržet tak nízko, jak je to jen možné. Toho je možné dosáhnout přidáním anorganických materiálů do substrátu. Použitím substrátu tvořeného z 80 % anorganickými materiály lze dosáhnout značného snížení hmotnosti zelené střechy (Vijayaraghavan 2016).

Organická složka substrátu dodává vegetační střeše potřebné živiny. Tuto složku tvoří mulč, rašeliny a další organická hmota. Některé studie uvádí fakt, že organická složka substrátu zelených střech ovlivňuje kvalitu vody z nich odtékající (Rowe 2011; Vijayaraghavan a Raja 2015). Přesto je však nutné rostlinám dodávat potřebné množství živin. Německá příručka FLL doporučuje podíl organické hmoty v substrátu minimálně 40–65 g/l pro extenzivní a 40–90 g/l pro intenzivní zelené střechy (Losken et al. 2018).

Žádoucí vlastností substrátu zelené střechy je schopnost zadržet velké množství vody a tím napomáhat ke snížení odtoku ze střechy a zásobovat vodou rostliny v období sucha. Množství vody, kterou dokáže substrát zadržet lze snadno zvětšit navýšením jeho kapacit. Dalším způsobem navýšení storativity může být přimíchání aditiv do substrátu. Cao et al. (2014) použili ve své studii k navýšení storativity biouhel (zuhelněná biomasa). Z výsledků studie vyplývá navýšení schopnosti zadržet vodu o 74 % u substrátu se 40 % podílem biouhlu oproti substrátu bez aditiv. Pro substrát je také důležitý objem pórů, které umožňují volné proudění vody během srážkových událostí (Cao et al. 2014).

Ideální substrát by měl splňovat následující charakteristiky:

- 1) Stabilita za různých podmínek
- 2) Snadná lokální dostupnost a podpora široké škály rostlinných druhů
- 3) Cenová dostupnost
- 4) Nízký obsah organického materiálu
- 5) Vysoká schopnost zadržovat vodu
- 6) Nízká hmotnost
- 7) Vysoká hydraulická vodivost
- 8) Nízké množství vyplavovaných látek
- 9) Přispívá ke zlepšení kvality vody (Vijayaraghavan 2016).

4.6. Vegetace

Životně důležitou součástí při návrhu zelené střechy je správný výběr vhodného druhu vegetace. Správná péče o zeleň se významným způsobem projevuje na životnosti a funkčnosti systému.

Při výběru rostlin je třeba zvážit geografické umístění, četnost srážkových událostí, vlhkost podnebí, sílu větru a množství slunečního svitu. Mocnost substrátu rovněž určuje, jaké druhy rostlin můžeme na zelené střeše použít (Mobasher 2014).

Mobasher (2014) uvádí souvislost mezi použitým druhem rostliny a hloubkou substrátu následujícím způsobem:

- 1) Pro substrát hloubky 0-5 cm – rozchodníky, mechy a lišejníky
- 2) Pro substrát hloubky 5-10 cm – nízké luční květiny, trvalky odolávající suchu, trávy, druhy horských rostlin a nízké keře
- 3) Pro substrát hloubky 10-20 cm – směs různých trvalek, trav, letniček ze suchých oblastí, luční květiny a mrazům odolávající keře

Vegetace zelených střech přispívá ke kvalitě odtékající srážkové vody (Berardi et al. 2014), zlepšuje kvalitu vzduchu (Dvorak a Volder 2012) a napomáhá ke snížení tepelných vln v urbanizovaných oblastech (Lehmann 2014). Je potřeba brát v úvahu fakt, že střecha není pro rostliny přirozeným prostředím a panují na ní často extrémní podmínky. Množ-

ství vody je vždy omezujícím faktorem. Čermáková a Mužíková (2009) doporučují rostliny se schopností zadržovat vodu v kořenech, stoncích a listech. Rostliny rovněž potřebují dostatečné množství živin ke svému růstu. K tomu je navíc hloubka substrátu omezena v závislosti na nosnosti konstrukce (Vijayaraghavan 2016).

Vezmeme-li v úvahu všechny výše zmíněné podmínky, pak ideální rostliny by měly splňovat následující charakteristiky:

- 1) Schopnost vydržet sucho a extrémní klimatické podmínky
- 2) Nízké nároky na pravidelné zavlažování
- 3) Mělké a jemné kořeny
- 4) Schopnost přežít i za minimálního příjmu živin
- 5) Nízké požadavky na údržbu
- 6) Vysoká evapotranspirace
- 7) Schopnost snižovat efekt MTO
- 8) Schopnost rychlého množení

Je velice obtížné dosáhnout všech těchto požadovaných charakteristik, přesto však výběr vhodné vegetace pro zelené střechy dosáhl pokroku. Několik studií poukazuje na výhody rozchodníků používaných při ozelenování střech po celém světě pro jejich schopnost vydržet delší období bez zavlažování (Dvorak a Volder 2012; Kazemi a Mohorko 2017). Ne vždy je však využití rozchodníků v dané oblasti dostupné, a proto je potřeba nalézt vhodné lokální rostliny. Lokální druhy rostlin jsou již adaptovány na místní klimatické podmínky a také bývají dostupnější. V oblasti využití lokálních druhů rostlin na zelených střechách je třeba provést další výzkum zaměřující se na jejich schopnost zlepšit kvalitu vody a posílit místní ekosystém (Shafique et al. 2018).

Seznam vhodných a nevhodných druhů rostlin pro ozelenování střech v České republice můžeme nalézt v publikaci *Ozeleněné střechy*. Jedná se však pouze o doporučené druhy běžně používané při realizacích zelených střech v České republice (Čermáková a Mužíková 2009).

4.7. Modulární konstrukce

Vývoj zelených střech přináší za poslední roky stále více nových technologií a současně zdokonaluje komponenty stávajících systémů. Moderní způsob realizace zelených střech představují modulární konstrukční systémy. Jedná se o inovativní řešení, které je energeticky nenáročná. Ozelenění střechy pomocí modulů je navrženo s ohledem na jednoduchou instalaci a umožňuje snadný přístup k údržbě a opravám střešního pláště (Korol a Shushunova 2016).

V hustě osídlených urbanizovaných oblastech má rychlá instalace ozelenění střechy pomocí modulárního systému obrovský potenciál. Nabízí řešení problémů s nedostatkem prostoru pro zeleň ve městech a představuje moderní způsob udržitelného rozvoje. Modulární zelená střecha je technicky pokročilá a představuje inovativní způsob řešení extenzivního i intenzivního ozelenění střech (Korol a Shushunova 2016).

Systémy modulárních zelených střech pokrývají střechy vegetací pomocí modulů v podobě boxů, kazet či kontejnerů. Modulové prvky tvoří podpůrnou konstrukci pro substrát a vegetaci. Jednotlivé prvky lze uspořádat v mřížce a spojit sousedící moduly pomocí systému zámečků (Obrázek 4). Odtok přebytečné vody ze substrátu zajišťuje perforované dno. Vegetace by měla být, stejně jako u tradiční zelené střechy, volena s ohledem na charakteristiku klimatu geografického regionu a v závislosti na typu ozelenění (extenzivní, polo-intenzivní a intenzivní) (Korol a Shushunova 2016).

Realizaci modulární zelené střechy popisují Korol a Shushunova (2016). Lze ji shrnout v následujících krocích:

- 1) Návrh modulárního systému zelené střechy určeného objektu
- 2) Instalace hydroizolační vrstvy na střešní konstrukci
- 3) Instalace výškově nastavitelného srovnávacího systému a umístění prvků vyrovnávací mřížky (v případě nutnosti)
- 4) Instalace zelených střešních modulů
- 5) Naplnění modulů substrátem a osázení vegetací

Výhody modulárních systémů popisují Korol a Shushunova (2016). Oproti tradičním systémům zelených střech nabízí modulární systém následující výhody:

- 1) Lehké konstrukční prefabrikované prvky, které lze naplnit substrátem a osázet vegetací před umístěním na střechu

- 2) Možnost integrace solárních panelů, zavlažovacích zařízení a dekorativních prvků přímo do systému
- 3) Snadná manipulace (vyžaduje pouze jednoho pracovníka) zajišťuje přístup k údržbě střešního pláště bez nutnosti rozebírání celého systému.
- 4) Ochrana životního prostředí díky využití recyklovaných materiálů při výrobě modulových prvků
- 5) Snadná instalace i na těžko přístupných místech kde nelze využít tradiční způsob realizace zelených střech
- 6) Efektivní hospodaření se srážkami umožňující zadržení optimálního množství vody díky speciálně navrženému tvaru modulu
- 7) Vysoká variabilita umožňující širokou škálu architektonických řešení



Obrázek 4: Modulový prvek se zámečky (HYDROTECH © 2017)

4.8. Kombinace s jinými systémy

Současným trendem udržitelného rozvoje je využívání obnovitelných zdrojů energie. Integrace solárních a fotovoltaických (FV) panelů do zelené střechy představuje řešení, které kombinuje výhody obou systémů. Stín vytvářený panely snižuje rychlost odpařování a teplotu, čímž umožňuje větší druhovou rozmanitost rostlin a hmyzu. Vegetace zachycuje prachové částice a díky své chladicí schopnosti zvyšuje účinnost solárních a FV panelů. Podobných výhod lze dosáhnout i použitím střech s vyšší odrazivostí s albedem

mezi 0,7-0,85. U nich však s postupem času dochází k snížení účinnosti vlivem usazování prachu. Vegetační střecha navíc chrání střešní plášť a prodlužuje jeho životnost (Baumann a Catalano 2017). Mezi systémy solárních a FV panelů a zelenými střechami vznikl v Evropě konflikt, protože oba tyto systémy jsou určeny k aplikaci na střeše. S cílem najít řešení tohoto konfliktu vznikl projekt Biosolar Roof v rámci Programu celoživotního vzdělávání EU podpořený částkou 250 000 € (Baumann a Catalano 2017).

Modro-zelená střecha byla vyvinuta Korejským Institutem Stavebnictví a stavebních technologií za účelem mnoha výhod. Koncept tohoto systému popisuje Obrázek 5. Kombinace dvou barev v názvu reprezentuje spojení dvou systémů:

- 1) Modrá představuje akumulční prostor pro srážkovou vodu
- 2) Zelená, podobně jako u ozeleněných střech symbolizuje rostliny a vegetaci

Tradiční konstrukce zelené střechy je v tomto případě rozšířena o další vrstvu plnicí funkci akumulční nádrže. Výhodami tohoto systému jsou schopnost zadržet větší množství vody a snížení odtoku srážkových vod v porovnání s tradiční konstrukcí zelené střechy (Shafique et al. 2016). Díky kvalitě vody zadržené zelenou střechou je možné vodu z akumulční nádrže využívat v domácnosti například ke splachování, zalévání a omývání povrchů. Tím je dosaženo efektivního hospodaření se srážkovou vodou a úspory pitné vody. Problematikou aplikace systému modro-zelené střechy na stávajících budovách se zabývali Skjeldrum a Kvande (2017). Jejich studie poukazuje na absenci v oblasti výzkumu teplotního vlivu tohoto systému na střešní konstrukci a na hromadění vlhkosti a sněhové pokrývky v chladném klimatu (Skjeldrum a Kvande 2017).



Modrá střecha: využití hrzení pro zadržování srážkové vody

+



Zelená střecha: využití substrátu a vegetační vrstvy pro zadržování srážkové vody

=



Modro-zelená střecha: nová upravená verze zelené střechy využívající substrát, vegetaci a dodatečnou akumulční nádrž k zadržení většího množství srážkové vody množství dalších výhod

Obrázek 5: Koncept modro-zelené střechy (Shafique et al. 2018, upraveno)

4.9. Údržba zelených střech

Kvalita a životnost vegetace na střechách je odrazem míry pozornosti majitele (Bohuslávka et al. 2009). K správnému plnění jejich funkcí vyžadují zelené střechy jistou míru údržby. Poškození vegetace může značně ovlivnit požadovanou ochlazovací schopnost. Teplota obnaženého substrátu pak může dosahovat vyšších hodnot než holá střecha (Solcerova et al. 2017). Plán údržby by měl být brán v úvahu už při navrhování zelené střechy. Všechny typy ozelenění střech vyžadují určitý druh údržby. Míru údržby je třeba přizpůsobit ročnímu období, klimatickým podmínkám a druhu ozelenění (GRG ©2018).

Ploché zelené střechy vyžadují pravidelnou kontrolu vtoků. V případě, že jsou vtoky ucpány se na ploše střechy začne hromadit voda a hrozí úhyn rostlin (Čermáková a Mužíková 2009). Součástí údržby je i péče o vegetaci, která obnáší zavlažování, doplňování substrátu, hnojení, odstranění odumřelých částí rostlin, seč a v případě travních porostů i vertikulaci. Na jaře je třeba zbavit sukulenty uschlých loňských květů. Z vegetace je třeba odstraňovat i náletové dřeviny a nežádoucí druhy rostlin, které způsobují ústup vysazených druhů (Čermáková a Mužíková 2009).

Zavlažování je důležité hlavně během prvních měsíců po vysazení vegetace. Návrh systému závlah ovlivňuje tvar a velikost ploch, druh vegetace a sklon střechy. U extenzivních zelených střech není použití zavlažovacích systémů nutné, přesto je však třeba počítat s jejich závlahou během období sucha. U intenzivního ozelenění je nejefektivnější využití automatických závlahových systémů (AZS). AZS mohou být řízeny inteligentními meteorologickými stanicemi, které předávají informace o vnějším prostředí řídicímu systému závlah. Na základě těchto informací je pak systémem vyhodnocena potřeba závlahy (Čermáková a Mužíková 2009).

Použití hnojiv na extenzivně ozeleněných střechách není žádoucí a může způsobit pokles biodiverzity vegetace a navýšit množství živin v odtoku dešťové vody, což má negativní vliv na místní kvalitu vody. Přesto, že některé druhy rostlin vyžadují hnojiva pro podporu jejich růstu, jejich použití by mělo být omezené na minimum. Na zelených střechách určených ke sběru srážkových vod není použití hnojiv možné (GRG ©2018).

Střešní vpusti a žlaby je třeba kontrolovat každé dva měsíce, samotné čištění se provádí jednou až dvakrát ročně (Čermáková a Mužíková 2009). Intenzivní ozelenění vyžaduje údržbu srovnatelnou s údržbou rostlin na běžné zahradě (Bohuslávka et al. 2009). Je potřeba odstranit odumřelé části rostlin, nahradit uhynulou vegetaci a tam kde je potřeba doplnit substrát. U extenzivního ozelenění dodavatelé doporučují pletí nežádoucích druhů

rostlin třikrát ročně a hnojení jednou ročně na jaře pomalu rozpustnými hnojivy. Je-li vegetace tvořena travním porostem, je potřeba ji v době maximálního růstu 1x týdně sekat, průběžně likvidovat náletové plevely a 1-2x ročně čistit od mechů (Bohuslávek et al. 2009).

Během údržby je třeba dodržovat určité zásady. Všichni pracovníci by měli být obeznámeni s konstrukcí a mocnostmi jednotlivých vrstev zelené střechy. Náradí je třeba vybírat tak, aby manipulace s ním nepoškodila vrstvy pod substrátem. Také je třeba minimalizovat množství pohybu přes zelenou střechu, aby nedocházelo k poškození vegetace a ztuhnutí substrátu (GRG ©2018).

5. Rozdělení zelených střech

Odborná literatura rozděluje nejčastěji zelené střechy dle druhu vegetace na extenzivní, intenzivní a polo-intenzivní (Vijayaraghavan 2016; Shafique et al. 2018; Besir a Cuce 2018). Určujícími faktory tohoto rozdělení jsou hloubka substrátu a druh použité vegetace. Tabulka 2 přehledně znázorňuje tento druh rozdělení zelených střech.

5.1. Extenzivní ozelenění

Extenzivní zelená střecha má relativně tenkou vrstvu substrátu o běžné tloušťce 6-20 cm, v extrémních případech se lze setkat s mocností substrátu 2 cm (Čermáková a Mužíková 2009). U extenzivního typu ozelenění může navýšení mocnosti substrátu zvýšit pravděpodobnost uchycení nežádoucích rostlin. Vegetační pokryv tvoří rostliny, které dobře snášejí extrémní podmínky v podobě sucha a chladu. Tradičně se pro extenzivní ozelenění využívají druhy mechů, rozchodníků a některé druhy travin a bylin (Raji et al. 2015). Extenzivní zelené střechy jsou méně náročné na údržbu a zavlažování. Zatížení, které vnáší do nosné konstrukce, se pohybuje mezi 60-150 kg/m². Extenzivně ozeleněné střechy bývají nepochozí a vstupovat na ně mohou jen pověřené osoby (Burian et al. 2016).

5.2. Intenzivní ozelenění

Intenzivní zelené střechy potřebují tlustší vrstvu substrátu mezi 20-100 cm, vyžadují pravidelné zavlažování a údržbu (Raji et al. 2015). Užité zatížení se u intenzivního ozelenění pohybuje od 180 do 500 kg/m². Z finančního hlediska jsou intenzivní zelené střechy nákladnější na pořízení a provoz, který zahrnuje péči o rostliny a jejich pravidelnou závlivku. Vegetaci tvoří esteticky hodnotné a užité rostliny jejichž výběr omezují regionální klimatické podmínky. Druhová rozmanitost rostlin a její rozložení se často podobá zahradám na rostlém terénu. Hojně jsou na těchto střechách vysazovány traviny, trvalky, keře, stromy i užitkové plodiny (zelenina, ovoce). Mocnost substrátu může být proměnlivá vlivem designového modelování povrchu. Intenzivně ozeleněné střechy zpravidla plní funkci střešních zahrad a parků určených k rekreaci a odpočinku (Burian et al. 2016).

5.3. Polo-intenzivní ozelenění

Polo-intenzivní ozelenění představuje typ zelené střechy na rozmezí mezi předchozími dvěma typy. U tohoto typu ozelenění se lze setkat s podobnými rostlinnými druhy jako u extenzivní zeleně navíc doplněnými o nejrůznější druhy travin, trvalek a dřevin

(Vijayaraghavan 2016). V závislosti na použité vegetaci se zvyšují nároky na zavlažování a zásobování živinami. Míra zavlažování je intenzivnější zejména během suchého období. Ostatní nároky údržby jsou srovnatelné s extenzivní zelenou střechou. Mocnost substrátu se pohybuje od 15 do 35 cm. Příznivé klimatické podmínky mohou snížit nutnou tloušťku na 12 cm, naopak použitím náročnějších druhů vegetace se může požadovaná mocnost substrátu navýšit nad 35 cm. U polo-intenzivních zelených střech se nejčastěji setkáváme s druhy trav, bylin, trvalek a nízkých keřů (Burian et al. 2016).

5.4. Další způsoby rozdělení zelených střech




Mezi další způsoby, jak lze zelené střechy dělit, je dle sklonu. V České republice norma *ČSN 73 1901 – Navrhování střech – Základní ustanovení* dělí střechy na: ploché se sklonem do 5°, šikmé s mírným sklonem od 5° do 20°, šikmé s velkým sklonem od 20° do 45° a strmé od 45° do 90°.

Další možné rozdělení udává primární funkce. Ta dělí zelené střechy na:

- 1) Retenční – slouží k zadržování srážkové vody a zpomalují odtok
- 2) Biodiverzní – účelem je maximalizovat druhovou rozmanitost živočišných a rostlinných druhů
- 3) Biosolární (Fotovoltaické) – viz. kapitola 5.8
- 4) Pěstební – využíváné k produkci potravin (ovoce, zelenina, bylinky)
(Burian et al. 2016)

Dle přístupnosti dělíme zelené střech na nepochozí, pochozí a pobytové. Na nepochozí zelené střechy je přístup povolen pouze proškoleným osobám. K zajištění bezpečnosti je na nich nutné použít prvky osobního jištění. Vzhledem k obtížnosti přístupu je nejvhodnější využití druhů vegetace nenáročných na údržbu. U pochozích ozeleněných střech je možné se setkat s chodníčky z kameniva, dlaždic či s ocelovými rošty určenými pro pohyb pověřených osob. Účelem těchto prvků je zabránit poničení rostlin a zhutnění substrátu důsledkem nadměrného pohybu přes vegetaci. Pobytové vegetační střechy jsou běžně přístupné veřejnosti či obyvatelům objektu na němž se nachází. Z toho důvodu musejí být opatřeny bezpečnostními prvky v podobě zábradlí či jiným druhem hrazení zabraňujícím pádu (ZS ©2018)

Tabulka 2: Rozdělení zelených střech dle konstrukčních prvků a náročnosti na údržbu (Raji et al. 2015, upraveno)

			
	Extenzivní	Polo-intenzi-	Intenzivní
Údržba	Nízká	Občasná	Pravidelná
Zavlažování	Minimálně	Občas	Pravidelné
Druh vegetace	Mechy, rozchodníky, byliny a trávy	Trávy, byliny a nízké keře	Trávy a trvalky, keře a stromy
Tloušťka substrátu	60-200 mm	120–250 mm	150-400 mm na podzemních garážích > 1000 mm
Zatížení	60–150 kg/m ²	120–200 kg/m ²	180–500 kg/m ²
Cena	Nízká	Střední	Vysoká
Funkce	Ochranná přírodě blízká vrstva	Designová zelená střecha	Zahradní parky

6. Význam zelených střech a jejich využití

6.1. Zadržování vody

Rozrůstání měst s sebou přináší i nárůst množství nepropustných ploch. Běžnou praxí je svod srážkové vody z těchto povrchů do dešťové kanalizace zaústěné do nejbližšího vodního toku. Oproti tomu jsou zelené střechy navrhovány tak, aby dokázaly zachytiti, infiltrovat srážky a dočasně je zadržet. Voda zachycená v místech srážkových událostí pak nachází další využití a snižuje celkový odtok vody z krajiny. Mnoho studií potvrzuje schopnost zelených střech redukovat odtok srážkových vod o 60-80% (Lamera et al. 2014; Wong a Jim 2014). Množství zadržené vody vegetační střechou je o 40-80% vyšší než u tradičních konstrukcí (Lamera et al. 2014). Těmito vlastnostmi pomáhají zelené střechy předcházet záplavám v městských oblastech (Wong a Jim 2014).

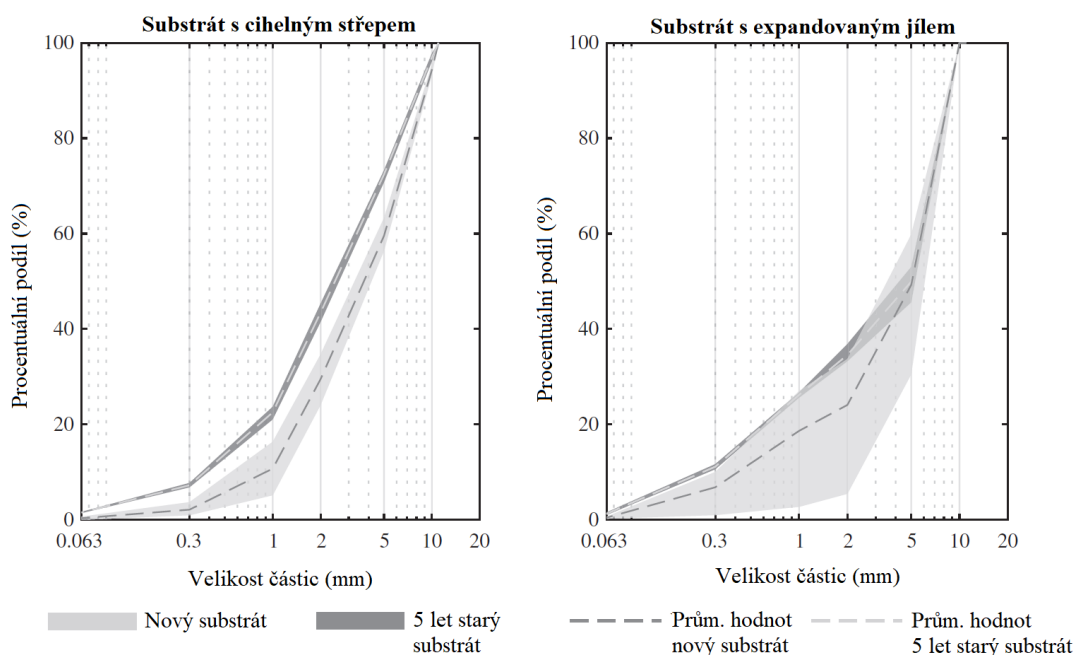
Zelené střechy se odlišují od přirozeného prostředí svým umístěním. Nachází se na vrcholu budovy a tím jsou odpojeny od přírodní půdy. Proto je důležité, aby jejich substrát dokázal zároveň odvádět i zadržovat vodu (Shafique et al. 2018). Použití správného substrátu je zásadní pro správnou funkci systému zelené střechy. Substrát pro zelené střechy musí být tedy speciálně navržen. Je kladen důraz na to, aby byl lehký, dokázal zadržet vodu a umožnil přebytečné vodě odtékat. Pro splnění těchto podmínek je substrát tvořen půdou s příměsemi (neorganickými, nasákavými plnivými) a organickou hmotou. Správný návrh vegetační střechy tedy musí zajišťovat úplný odtok, aby nedocházelo ke zdržování vody na hydroizolační membráně. Tento požadavek lze splnit pomocí kombinace kvalitního substrátu spolu s drenážní vrstvou (Vijayaraghavan 2016).

Dynamika hydraulické odezvy zelené střechy na srážkovou událost je velmi proměnlivá a závisí na klimatických podmínkách a konkrétním typu konstrukce. Hydrologické vlastnosti zelených střech ve své práci popisují Lamera et al. (2014). Aplikací vícevrstvého kbelíkového modelu pozoroval hydrologickou odezvu systému zelené střechy. Po sérii kalibrací a ověření testovaný model vykazoval malé procentuální odchylky v porovnání s experimentálním měřením. Pro širší využití modelu je však potřeba vytvořit databázi s větším množstvím dat určených ke kalibraci. (Lamera et al. 2014)

Mnoho faktorů ovlivňuje schopnost zelené střechy zadržovat vodu. Retenční schopnost je silně závislá na množství a intenzitě srážek a délce jim předcházejícího období sucha. V závislosti na velikosti srážkové události může být i předvídána míra snížení odtoku. Klima a roční období představují další důležité faktory. V suchých letních měsících je redukce odtoku vyšší než během vlhkého období (Wong a Jim 2014).

Často debatovaným faktorem je hloubka substrátu. Výsledky studií se však v této oblasti dostávají do rozporu a poukazují na nevýrazné rozdíly ve schopnosti retence a snížení odtoku v souvislosti s hloubkou substrátu. Na vztah mezi navýšením vrstvy substrátu a zvýšením schopnosti retence je třeba nahlížet v širším úhlu pohledu. Efekty hloubky substrátu a charakteristiky srážek ve své studii popisují Schultz et al. (2018). Studie diskutuje vyšší množství odtoku ze střechy s hloubkou substrátu 125 mm oproti substrátu s mocností 75 mm při srážkové události vyšší než 35 mm. Jako možné vysvětlení uvádí rychlejší ohřev a výpar z mělčího substrátu a následný vznik většího prostoru pro vodu. V závěru uvádí 10% nárůst retence v substrátu se zvětšenou mocností o 50 mm při úhrnu 5-10 mm (Schultz et al. 2018).

Důležitým faktorem ovlivňujícím retenční schopnost zelené střechy je stárnutí substrátu. De-Ville et al. (2017) ve své studii pozorovali změny fyzikální struktury. Testovány byly dva typy substrátů. U každé ze dvou nových a dvou 5 let starých střech byly odebrány 3 vzorky. Pomocí rentgenové mikrotomografie byly pořízeny snímky s rozlišením 30 μm . Snímky byly poté vyhodnoceny pomocí hydrologických modelů. Následně byl na vzorcích proveden síťový rozbor, který stanovil zrnitostní křivky (Obrázek 6). Výsledky studie ukázaly nárůst maximálního možného zadržitého objemu vody o 6–7 % u obou starších substrátů v porovnání s novými. Tento nárůst je připisován změně struktury substrátu, jehož póry se s postupem času zmenšují (De-Ville et al. 2017).



Obrázek 6: Zrnitostní křivky síťového rozboru vzorků substrátů, (De-Ville et al. 2017, upraveno)

6.2. Snížení efektu tepelného ostrova v urbanizovaných oblastech

Poprvé byl efekt městského tepelného ostrova popsán před dvěma sty lety v Londýně (Solcerova et al. 2017). Zástavba značným způsobem ovlivňuje teplotu vzduchu v městských oblastech. V centru města je teplota vzduchu vyšší v porovnání s oblastmi na jeho okraji, či na předměstí. Tento fenomén se nazývá efekt městského tepelného ostrova (MTO), kdy budovy během dne absorbují sluneční radiaci a naakumulované teplo pak během noci vyzařují zpět do svého okolí (Lehmann 2014).

Efekt MTO je přítomný v každém městě nezávisle na klimatické oblasti a dochází k němu v důsledku lidské činnosti ovlivňující vlastnosti povrchu a atmosféry. U měst s miliónem obyvatel je typický nárůst denní teploty až o 3°C a během noci o 12°C (Battista et al. 2016). V souvislosti s narůstající teplotou ve městech se zvyšuje i množství energie spotřebované klimatizačními systémy pro udržení komfortní teploty v budovách. Důsledkem toho je tvorba většího množství skleníkových plynů. Narůstání tepla s sebou přináší i další negativní vlivy zatěžující lidský organismus. Nižší kvalita spánku, vyšší riziko infarktu způsobeného přehřátím organismu, vyšší míra úmrtnosti a pokles pracovní produktivity (Chowdhury et al. 2017). Zhušťování městské zástavby povede ke zvýšení četnosti a intenzity teplotních vln. Aby se zabránilo těmto negativním vlivům, je potřeba zapracovat na snížení venkovní teploty v městském prostředí (Vijayaraghavan 2016).

V dnešní době existuje velké množství studií podporujících fakt, že vegetace a zeleň snižuje efekt MTO (Lehmann 2014; Battista et al. 2016; Solcerova et al. 2017). Veškerá zeleň je zdrojem vlhkosti pro evapotranspiraci, díky které ovlivňuje městské mikroklima. Navýšení množství vegetace se ukázalo jako efektivní, finančně příznivý způsob snížení teploty ve městech. Zelené střechy jsou často navrhovány jako jeden z možných způsobů, jak tohoto cíle dosáhnout (Rowe 2011). Tepelné účinky zelených střech na městské prostředí jsou široce využívaným argumentem k podpoře jejich realizace (Solcerova et al. 2017).

Literatura zaměřená na teplotní vliv zelených střech je obecně rozdělena na dvě témata:

- 1) Chladicí účinky zelených střech na vnitřní prostředí a jejich využití jako izolační vrstvy
- 2) Vliv na teplotu okolí a městské mikroklima

Mnoho studií prokázalo potenciální výhody zelených střech pro vnitřní prostředí budov. Některé studie uvádí snížení teploty interiéru až o několik stupňů (Chowdhury et al. 2017; Battista et al. 2016; Ferrante et al. 2015). S tím je úzce spjata schopnost zelených střech plnit funkci tepelné izolace snížením vysokých letních teplot stejně jako chránit před zimním chladem (Lin et al. 2013).

Pětiletý výzkum v Utrechtu (Nizozemí) se zaměřil na teplotu vzduchu nad zelenou střechou pokrytou mechem. Dvě zelené střechy s různou vlhkostí substrátu byly porovnány se střechou pokrytou bílým štěrkem. Výsledky studie prokázaly efekt mírného oteplení okolního prostředí během dne a ochlazení během noci. Efekt nočního ochlazení byl však nižší než denní oteplení, což vedlo k celkovému oteplení v rámci 24 hodinové periody. Studie diskutuje nejasné důvody vedoucí k těmto výsledkům a doporučuje ohledně této problematiky další výzkum (Solcerova et al. 2017). Jedním z faktorů ovlivňující výsledky mohla být výška substrátu, která byla cca 3,5cm. Tato výška dle Čermákové není v rozmezí doporučených hloubek substrátu pro extenzivní zelené střechy (Čermáková a Mužíková 2009).

6.3. Snížení energetické náročnosti budov

Celková spotřeba energie na světě se za poslední čtyři desetiletí drasticky zvýšila. Mezinárodní Energetická Agentura (IEA) uvádí nárůst celosvětové spotřeby energie mezi lety 1973 a 2016 přibližně o 105%. (IEA ©2018) Podle Programu OSN pro životní prostředí je až 40% celkové světové energie spotřebováno v budovách (Martínez-Molina et al. 2016). Množství spotřebované energie úzce souvisí s produkcí skleníkových plynů. V Evropských zemích se na emisích skleníkových plynů podílejí budovy z 36% (Besir a Cuce 2018).

Stále větší množství zemí si uvědomuje narůstající koncentraci skleníkových plynů a jejich negativní dopad na životní prostředí. V posledních letech se proto rozvíjejí programy podporující takzvaný zelený způsob bydlení. Ten klade důraz na minimalizaci emisí skleníkových plynů a snížení energetické náročnosti budov (Lehmann 2014).

Pro dosažení komfortního prostředí v budově je třeba udržování stálých teplot v interiéru. Ty zpravidla závisí na klimatických podmínkách. Největší množství energie v budovách je vynaloženo na vytápění a klimatizaci (Ran a Tang 2017).

Mezi funkce zelených střech přispívajících k úspoře energie patří především evapotranspirace, ochrana střešního pláště před přímým slunečním zářením a tepelně izolační vlastnosti (Herath et al. 2018).

Zelené střechy se nabízí jako systém, který efektivně snižuje energetické požadavky budovy a zároveň je šetrný k životnímu prostředí. Potenciální množství energetické úspory je zkoumáno ve studiích, jak experimentálně (Pérez et al. 2012; Lin et al. 2013), tak pomocí počítačových simulací (Ran a Tang 2017; Chowdhury et al. 2017).

Pérez et al. (2012) ve své studii porovnává spotřebu energie při použití extenzivní zelené střechy oproti tradiční konstrukci. Porovnávány byly tři kóje stejných vnitřních rozměrů. Na dvou kójích byla použita extenzivní zelená střecha se substrátem tloušťky 5 cm a drenážní vrstvou 4 cm. Konstrukce referenční střechy byla složena z 3 cm vrstvy tepelné izolace a 6 cm šterku. V experimentu byla měřena spotřeba elektrické energie pro dosažení vnitřní komfortní teploty. Z výsledků studie vyplývá vysoký potenciál úspory energie během letního období při použití zelené střechy namísto tradiční konstrukce. I přes podmínky experimentu, kdy byla střecha pokryta vegetací pouze z 20% prokazovaly zelené střechy dobré izolační vlastnosti v porovnání s tradiční konstrukcí (Pérez et al. 2012).

Množství dostupných modelů zelených střech pro energetické simulační programy stále narůstá. Zpravidla se jedná o zjednodušené či komplikované matematické modely proudění a přenosu tepla s předpokladem, že jsou tepelné vlastnosti zelených střech konstantní či proměnlivé v závislosti na množství vody v substrátu (Ferrante et al. 2015). Modely mohou být jedno či vícerozměrné s vysokým nebo nízkým stupněm rozlišení. Jedním z nejpokročilejších a nejnovějších softwarů pro energetické modelování budov je program EnergyPlus (Lin et al. 2013). Jeho rozhraní však není příliš uživatelsky přívětivé, a proto bývá mnohem častěji využíván program DesignBuilder (Ferrante et al. 2015; Ran a Tang 2017). Použitím simulačních programů lze sledovat i potenciální účinnost snížení MTO při použití zelených střech (Battista et al. 2016).

6.4. Čištění městského vzduchu

Zelené střechy mají schopnost zachycovat nebezpečné částice prachu z ovzduší a tím přispívat ke zlepšení kvality vzduchu v silně urbanizovaných oblastech. Částečky prachu a nečistoty v ovzduší ve městech představují hrozbu zdravotních komplikací pro jejich obyvatele. Vegetační střechy pomáhají snížit míru znečištění vzduchu dvěma způsoby. Prvním je zachycování drobných nečistot ze vzduchu pomocí průduchů rostlin (Yang et al. 2008). Druhým je snižování teploty okolního prostředí což napomáhá k menší energetické náročnosti a spotřebě fosilních paliv (Lehmann 2014).

Každá rostlina disponuje vlastní schopností zadržovat prach. Dominantou v zadržování prachových částic jsou stromy. Wang a Shi (2011) ve své studii testovali gravimetrickou metodou schopnost listů zadržovat prach u 14 druhů stromů. Výsledky jejich studie ukázaly rozsah od $0,23\text{g/m}^2$ do $4,51\text{g/m}^2$. Rozdíly v množství zadrženého prachu ve výsledcích jejich měření zdůvodňují odlišnou morfologií listů jednotlivých druhů (Wang a Shi 2011).

Nepřímým způsobem se na odstraňování nečistot podílí vegetace snižováním teploty povrchů. Díky evapotranspiračnímu ochlazování a stínění dochází ke snížení fotochemických reakcí, které vytváří znečištění v podobě atmosférického ozonu (Rowe 2011).

6.5. Biodiverzita a tvorba habitatu

Ozeleněná střecha, podobně jako jiné umělé ekosystémy, napodobuje vlastnosti a funkce přírodního prostředí. Biotopy vznikající na zelených střechách přispívají k ochraně stanovišť v urbanizovaných oblastech. Ekosystém, který ozeleněná střecha vytváří napodobuje několik klíčových vlastností přízemní vegetace, které se na běžné střeše nevyskytují (Oberndorfer et al. 2007). Studie dokumentují výskyt bezobratlých a ptačích komunit na různých typech ozeleněných střech v několika zemích (Baumann 2006; Kadas 2006). Zelené střechy zpravidla obývají různé druhy bezobratlých (*Invertebra*) převážně pavouci (*Araneae*) a hmyz (*Insecta*), například brouci (*Coleoptera*), mravencovití (*Formicidae*) a včelovití (*Apidae*). Druhová rozmanitost hmyzu na zelených střechách je ovlivňována bohatostí druhů rostlin. Výskyt vzácných a neobvyklých druhů brouků a pavouků na zelených střechách byl také zaznamenán (Grant 2006).

Baumann (2006) ve své studii zaznamenala na zelených střechách výskyt na zemi hnízdících ptačích druhů. Diskutuje schopnost těchto druhů adaptovat se na změny v krajině způsobené urbanizací. Též poukazuje na nedostatky vegetace tvořené převážně mechy, které jsou chudé na výskyt potravy a neposkytují dostatečné krytí před predátory (Baumann 2006).

Parkins a Clark (2015) ve své studii využili akustický monitoring k analýze potenciálu zelených střech jako habitatu pro městské netopýry. Z výsledků vyplývá, že na množství aktivity netopýrů nad zelenými střechami se z 50 % podílela okolní vegetace v podobě stromů, keřů a travin. Zelené střechy slouží netopýrům jako spojnice mezi plochami zeleně, která jim poskytuje potravu a umožňuje hnízdění (Parkins a Clark 2015).

Vzácné rostliny a lišejníky se často samovolně vyskytují na starších zelených střechách. Tyto výsledky navíc povzbudily diskusi o strategiích na ochranu životního prostředí s cílem maximalizovat biologickou rozmanitost (Brenneisen 2004).

6.6. Pěstování plodin ve městech

Produkcí potravin na zelených střechách je příkladem, jak se mohou ozeleněné konstrukce podílet na městském zemědělství. Střešní zemědělství zároveň nabízí pracovní příležitosti, které pomáhají řešit problém lokální nezaměstnanosti. Chceme-li využívat výhody, které střešní zemědělství nabízí je potřeba zvážit i jeho negativní dopad. Používání hnojiv může představovat problém v podobě kontaminace odpadních vod. Produkce

plodin bude vždy omezená hloubkou substrátu, kterou ovlivňuje maximální povolené zatížení konstrukce. Je třeba brát v úvahu i náklady na realizaci, provoz a jak bude produkce plodin na zelené střeše ovlivňovat její ostatní funkce (Walters a Midden 2018).

Ekonomický přínos střešního zemědělství lze chápat jako tvorbu pracovních míst, zajištění příjmu pro rodiny či úsporu financí za plodiny vypěstované svépomocí (Ugai 2016). V případě nárůstu ceny potravin je výhodou střešního zemědělství schopnost vlastní produkce. Zároveň vykupování lokálně pěstovaných plodin posiluje ekonomickou návratnost místním farmářům skrze zkrácení dodavatelského řetězce a lepší přístup na trh (Peters et al. 2009).

Ve všech rozvojových a rozvíjejících se zemích je zajištění potravin jedním z hlavních problémů. Zajištění kvalitních potravin v dostatečném množství je však problémem i ve vyspělých zemích. Silně závislé na dovozu potravin je i Japonsko jehož celkové náklady na import zemědělských a rybích produktů v roce 2010 činily 59,3 miliard dolarů (Johnson 2011). Ve spojených státech urazí průměrně potraviny na cestě za spotřebiteli v centrech měst cestu dlouhou 74 km, během níž spotřeba energie dosáhne 10 násobku kalorické hodnoty přepravovaného produktu. Pěstování potravin v městském jádru představuje nižší náklady na přepravu potravin, minimalizaci uhlíkové stopy měst a snížení závislosti na potravinách dovážených z venkovských oblastí a ostatních zemí (Peters et al. 2009).

Střešní zemědělství nabízí skvělou příležitost využití bioodpadu. Při správném kompostování lze využít zbytky potravin jako zdroj živin pro pěstování nových plodin. Bioodpad, který představuje znečištění by tak mohl být využíván jako zdroj přímo v místě svého vzniku (Hui 2011).

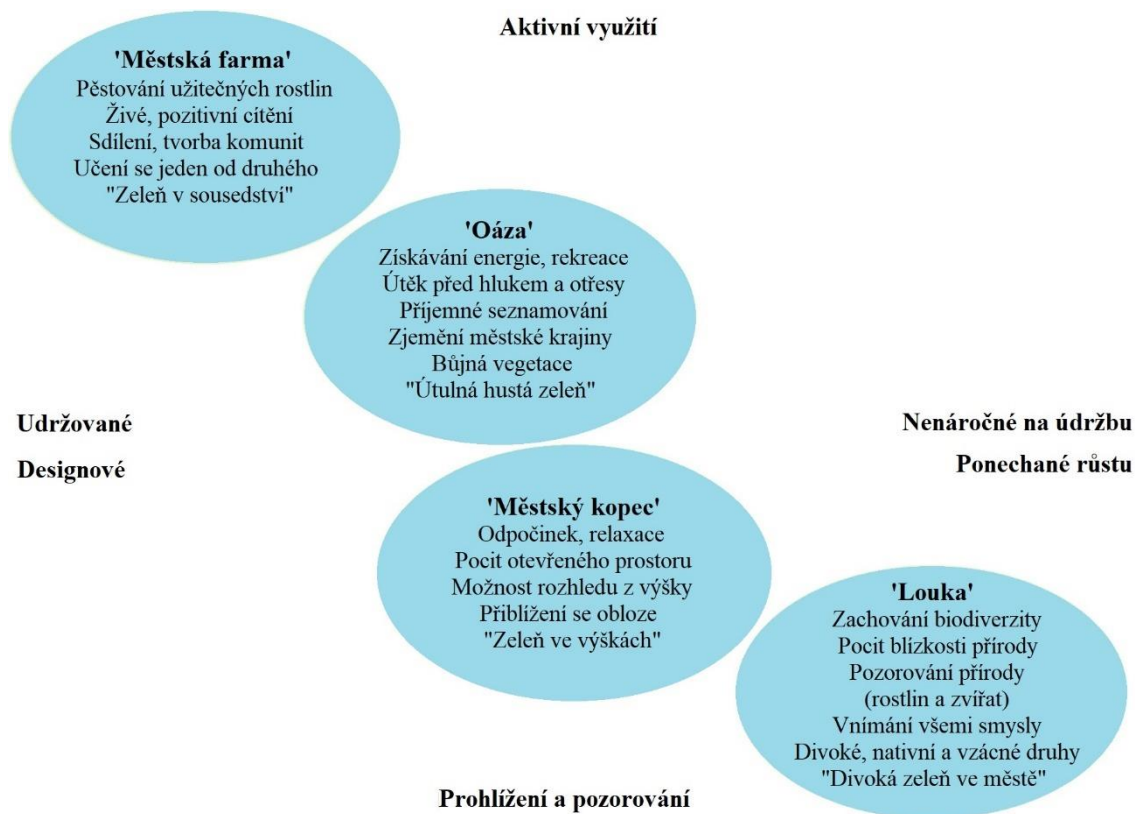
Existuje několik překážek v oblasti městského zemědělství, především omezený přístup ke kvalitním hnojivům, osivu a pořizovací i provozní náklady. V porovnání s tradiční konstrukcí zelené střechy mohou být náklady na realizaci střechy pro zemědělské využití vyšší (Ugai 2016). Zemědělské plodiny zpravidla vyžadují vyšší mocnost substrátu. Pěstování plodin je možné i na mělkých extenzivních zelených střeších s využitím tradičního substrátu, je však potřeba zajistit dostatečný přísun živin a závlahové vody (Walters a Midden 2018). Při používání hnojiv je třeba maximální obezřetnosti. Množství a frekvence hnojení musí být dostačující pro podporu růstu plodin a zároveň nesmí docházet ke kontaminaci odtokových vod (Walters a Midden 2018). Omezujícím faktorem pro pěstování

vání plodin je i množství nebezpečných látek v ovzduší. V městech s vysokou koncentrací škodlivin nelze konzumaci vypěstovaných plodin doporučit (Čermáková a Mužíková 2009).

6.7. Sociologický význam zelených střech

Zeleň ve městech má pozitivní vliv na psychiku a zdraví obyvatel. Ozeleněné střechy nabízejí obyvatelům měst místo k odpočinku a relaxaci. Takzvaný „bílý šum“, který se podobá zvuku listů šustícího ve větru, maskuje rušivý hluk a pomáhá při relaxaci. Vůně květin též přispívá k navození uvolňující atmosféry a její vnímání může být mnohem živější než vizuální podněty. Interakce s rostoucími květinami léčí tělo, zklidňuje mysl a pomáhá obyvatelům měst navrátit se k přírodě od níž jsou odtrženi (Ugai 2016).

Ze sociologického hlediska je potřeba položit si otázku, jaké výhody od zelených střech lidé očekávají. Touto problematikou se ve své studii zabývali Mesimäki et al. (2017). Studie byla založená na faktu, že ve Finsku nejsou zelené střechy tak rozšířené. Na tomto principu byl vytvořen dotazník, který měl podnítit respondenty k sepsání krátkého příběhu. Cílem dotazníků bylo získat reflexi o tom, jak si obyvatelé města představují zelené střechy na různých typech budov. Výsledkem bylo shromáždění 149 příběhů, které byly kvalitativně a kvantitativně roztrženy do 4 skupin (Obrázek 7). Studie navrhuje využití těchto výsledků při navrhování urbanistických řešení zeleně s důrazem na potřeby obyvatel (Mesimäki et al. 2017).



Obrázek 7: Rozdělení zelených střech podle představ obyvatel. Bubliny představují skupiny a jejich charakterizaci na základě zpětné vazby respondentů. Rozdělení do kvadrantů znázorňuje typ využívání a náročnost na údržbu a realizaci. (Mesimäki et al. 2017, upraveno)

7. Šedá voda

Šedá voda je označení pro lehce znečištěnou odpadní vodu z domácností a průmyslových budov vznikající používáním koupelen, umyvadel a praček. Na rozdíl od tzv. černé vody neobsahuje silné organické znečištění z kuchyní a toalet (Pradhan et al. 2019). Vzhledem k nízké míře znečištění je šedá voda vhodná k recyklaci a dalšímu využití v domácnosti. Recyklace šedé vody je atraktivním způsobem jak snížit množství produkce odpadních vod a představuje potenciální úsporu vody v domácnosti o 10 až 50 % (Boyjoo et al. 2013).

7.1. Využití šedé vody

Nejčastěji se setkáváme s využitím šedé vody v domácnostech pro účely splachování toalet (Nolde 2000). Šedou vodu lze využívat i k zavlažování zelených střech. Tím se snižuje spotřeba vody a nabízí se možnosti využití jiné vegetace než sukulentů (Vijayaraghavan 2016). Pro tyto účely však není vhodné využívání šedé vody z kuchyní, která obsahuje různé tuky a oleje. Akumulace těchto znečišťujících látek v substrátu vede k zanášení porů a snížení kapilárního vztlínání až o 60 % (Travis et al. 2008).

V aridních a polo-aridních oblastech, kde jsou přírodní zdroje vody omezené znamená recyklace upravené šedé vody náhradu za vodu pitnou. V porovnání s úpravou splaškové odpadní vody představuje šedá voda jednodušší, méně energeticky náročnou alternativu (Pradhan et al. 2019).

7.2. Technologie upravování šedé vody

Technologie pro úpravu šedé vody byly vyvinuty s cílem snížit spotřebu vody v mnoha zemích. Upravená šedá voda je z 13 % až 65 % využívána k zavlažování zemědělských ploch v Los Angeles a 29 % až 35 % šedé vody je v Brazílii využíváno ke splachování toalet (Ghisi a Ferreira 2007).

K úpravě šedé vody lze využít méně nákladné technologie jako pískové filtry, bioreaktory a kořenové čističky (Nolde 2000). Podobný způsob odstraňování znečištění lze aplikovat na zelených střechách využitím kořenů vegetace a přírodně porézních půd (Prodanovic et al. 2017). Kořenové čistírny jsou však prostorově náročné a proto je nelze využít v silně

urbanizovaných oblastech (Li et al. 2009). Potenciál využití zelených střech jako přírodních systémů k čištění vod spočívá v jejich ceně a provozních nákladech (Fowdar et al. 2017).

Odstraňování organického a anorganického znečištění pomocí kořenů a rostlin využívá nejrozličnější čistící mechanismy jako sedimentace, vstřebávání, filtrace, srážení a rozklad biologického materiálu (Dierberg et al. 2005). Mikrobiální patogeny jsou rovněž redukovány různými komplexními mechanismy zahrnující rostliny i půdu, kdy klíčový faktor tvoří hydraulické zatížení (poměr průtoku ku ploše povrchu) (Wu et al. 2016). Skrze půdu je kořeny přenášen kyslík udržující rostlinné mikroby napomáhající některým z těchto procesů. Souhrn různých čistících procesů je znázorněn v příloze 1.

8. Diskuze

Při popisování historického vývoje zelených střech jsem narazil na problém s nedostatkem literárních zdrojů. Většina zahraničních zdrojů popisuje historii velmi vágním způsobem, zpravidla je zmiňován pouze jeden či dva příklady historicky významných objektů. Jako jediný kvalitní zdroj v oblasti historie jsem uvažil publikaci Ozeleněné Střechy od Čermákové a Mužikové (2009). Autorky danou tematiku řeší do hloubky a v mnohem větším rozsahu, podobně též Jim (2017), který ve své studii rozdělil světový vývoj zelených střech na 5 časových období. Též je zajímavé jeho pojetí zelených střech jako neustále se vyvíjejícího lidského vynálezu.

Problematickou část charakterizace jednotlivých typů zelených střech představuje terminologie. Mezi ustálené pojmy popisující vegetaci na zelených střechách lze zařadit výrazy extenzivní, intenzivní a polo-intenzivní. Toto rozdělení vychází z mezinárodně uznávané německé příručky FLL. Česká i zahraniční literatura se však v definici těchto pojmů liší. Vymezení těchto pojmů se rozchází v rozmezí hloubky substrátu, některé prameny dokonce uvádí i vzájemné prolínání použitých druhů vegetace, mezi těmito skupinami.

Globální adaptace systémů zelených střech představuje velkou výzvu. Přínosem v tomto směru jsou dle mého názoru experimentální i simulační studie zkoumající vlastnosti zelených střech. K tomuto tématu přispívají i studie zaměřené na standardizaci zelených střech a porovnání jejich účinnosti v různých klimatických pásmech. Všechny tyto studie se shodují na tom, že klíčovým faktorem pro globální aplikaci ozeleněných střech je správný výběr vhodné vegetace a kvalitního substrátu. Zároveň by měly být všechny studie prováděny v souladu s obecně uznávanými pokyny a normami, aby bylo možné provádět vzájemné porovnávání výsledků napříč světovými oblastmi.

Je zřejmé, že hloubka a vlastnosti substrátu ovlivňují růst vegetace na zelených střechách. Rozsah, v jakém tyto faktory ovlivňují zeleň v různých klimatických podmínkách však dosud není znám. Bez těchto znalostí je obtížné navrhnout efektivní substrát vhodný k použití v rozdílných klimatech. Je potřeba provést více variabilní výzkum, který bude zkoumat použití různých druhů substrátu ve všech klimatických oblastech a míru účinnosti na růst zeleně. Rovněž je třeba věnovat pozornost suchým klimatickým regionům, které představují mnohem náročnější, méně prozkoumanou oblast výzkumu. V porovnání s ostatními klimatickými oblastmi má suché klima nízký úhrn srážek, vysoké výkyvy teplot a tím dochází k urychlování evapotranspirace a rostliny jsou mnohem více zatěžovány.

Oblast hydraulických vlastností substrátů je také málo probádaná. Pro lepší porozumění hydrologickým vlastnostem zelených střech je potřeba provést další výzkum, který povede k vytvoření rozsáhlejší databáze použitelné pro kalibraci modelů jakým je například vícestupňový kbelíkový model (Lamera et al. 2014). Významným průlomem pro tuto oblast by mohlo být rozšíření využití neinvazivních metod, například rentgenové mikrotomografie. Ta umožňuje mnohem lepší zmapování strukturních charakteristik substrátu zelených střech díky prostorovému snímání. S využitím této metody lze zachovat zkoumaný vzorek v původním stavu a provádět výzkum pomocí simulačních metod.

Optimálním způsobem, jak zkoumat vliv zelených střech na efekt MTO jsou simulační studie. V těchto případech by experimentální studie představovala obrovsky nákladný projekt. Místo toho lze využít simulace v programech jako jsou EnergyPlus a DesignBuilder ve kterých lze vytvořit model celé části města. Na vymodelovaných budovách je pak možné aplikovat ozelenění střešního pláště. Následně je pak možné zkoumat teplotní změny v okolí či přímo uvnitř budov a porovnávat data s naměřenými hodnotami v terénu.

Myšlenku přenést testování zelených střech z laboratoří do terénu dobře vystihuje projekt EnviHUT (Selník et al. 2016). Ten umožňuje testování hned několika variant ozelenění na jednom objektu. Testováním hned několika druhů zelených střech najednou je umožněno porovnávání účinnosti daného typu ozelenění v reálném čase. Vzhledem k tomu, že střecha na testovacím objektu je sklonitá, nabízí se i možnosti testování různých systémů ochrany substrátu proti sesuvu.

9. Závěr

Příklady z historie jsou důkazem o využívání tepelně izolačních funkcí vegetačních střech. Jejich využívání bylo podmíněno nepříznivými klimatickými podmínkami v různých regionech. První z moderních zelených střech, tak jak je známe dnes, vznikly v Německu na začátku druhé poloviny minulého století. Na zelené střechy se začalo nahlížet jako na ekologický prvek až v 70. a 80. letech 20. století. Ve spojení s tím je třeba zmínit fakt, že rok 1972 představoval důležitý milník pro vědce zabývající se klimatickými změnami. Toho roku se totiž konala první světová konference OSN o životním prostředí člověka (Bhandari 2018). Zájem o zelené střechy a jejich výzkum díky tomu vzrostl.

Aplikace systémů zelených střech nabízí řešení problémů spojených s urbanizací. Evapotranspirační funkce zeleně se podílí na ochlazování městského mikroklimatu a díky tomu snižují efekt MTO. Hydraulické vlastnosti substrátu a schopnost rostlin zadržovat vodu pomáhají snížit odtok z městských oblastí po srážkových událostech. Vegetace na střechách napomáhá i k čištění ovzduší zachycováním prachových částic a ostatních nečistot. Díky tepelně-izolační funkci zeleně je snížena spotřeba elektrické energie na vytápění a chlazení a nepřímým způsobem na spotřebu fosilních paliv.

Pro globální adaptaci systémů zelených střech je třeba dalších výzkumů, neboť velká část současných studií je limitována lokálním klimatem. Přesto však existují studie, porovnávající účinky a výhody zelených střech v rozdílných klimatických regionech (Semaan a Pearce 2016; Kazemi a Mohorko 2017). Další příslib nabízí studie zaměřené na standardizaci (Korol a Shushunova 2016) a simulační studie (Lin et al. 2013; Battista et al. 2016), které usnadňují výzkum potenciálu aplikace zelených střech.

Důkazem důležitosti realizace zelených střech je stále narůstající počet dotačních plánů a podpory od států po celém světě.

Konstrukce zelených střech je dělena na několik vrstev, z různých materiálů (vegetační vrstva, substrát, filtrační vrstva, hydroizolační vrstva s kořenovou bariérou a nosná konstrukce), jež mají své místo ve funkčnosti zelené střechy jako celku. Náročnost údržby záleží na konstrukci použitého systému a složení rostlinného společenstva, jímž byla střecha osázena.

Jedním z možných problémů, na který lze v literatuře a studiích o zelených střechách narazit je jejich dělení dle tloušťky substrátu. Pojmy extenzivní, polo-intenzivní a intenzivní zůstávají, liší se však rozmezí hodnot, jež daný pojem určují.

Zelené střechy by též mělo být možné použít jako kořenové čistírny a voda jimi přečištěná následně použita například na zavlažování dalších ozeleněných povrchů. Zatím se jedná pouze o teorii, ke které byl proveden výzkum vhodnosti substrátů (Prodanovic et al. 2017). Je tedy nutné provést ještě rozsáhlý výzkum v této problematice, než bude zjištěno, zda je možné a výhodné tímto způsobem zelené střechy využívat.

10. Seznam literatury a použitých zdrojů

- ANSEL, W. a APPL R., 2011: An International Review Of Current Practices and Future Trends: Green Roof Policies. *Citygreen* 1. 12–15.
- BATTISTA, G., PASTORE, E. M., MARUI, L., BASILICATA C., 2016: Green Roof Effects in a Case Study of Rome (Italy). *Energy Procedia* 101. 1058–1063.
- BAUMANN, N. a CATALANO, C., 2017: Biosolar Roofs: A Symbiosis between Biodiverse Green Roofs and Renewable Energy. *City Green* 1. 42-49.
- BAUMANN, N., 2006: Ground-Nesting Birds on Green Roofs in Switzerland: Preliminary Observations. *Urban Habitats* 4. 37–50.
- 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, A. B. a CUCE, E., 2018: Green roofs and facades: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 82. 915–939.
- BHANDARI, M. P., 2018: Climate change science: a historical outline. *Advances in Agriculture and Environmental Science: Open Access* 1(1). 5–12.
- BOHUSLÁVEK, P., HORSKÝ, V., JAKOUBKOVÁ, Š., 2009: Vegetační střechy a střešní zahrady. DEKTRADE a.s., Praha, 72 s.
- BOYJOO, Y., PAREEK, V. K., ANG, M., 2013: A review of greywater characteristics and treatment processes. *Water Science and Technology* 67. 1403–1424.
- BRENNEISEN, S., 2004: Green Roofs – How Nature Returns to the City. *Acta Horticulturae* 643. 289–293.
- BURIAN, S., DOSTALOVÁ, J., DUBSKÝ, M., HALAMA, P., CHALOUPKA, K., KOMZÁK, J., PAŤAVA, R., STRAKOVÁ, M., ŠRÁMEK, F., VACEK, P., VOKÁL, J., 2016: Standardy pro navrhování, provádění a údržbu Vegetační souvrství zelených střech. Odborná sekce Zelené střechy při Svazu zakládání a údržby zeleně, Brno, 33 s.
- CAO, C. T. N., FARRELL, C., KRISTIANSEN, P. E., RAYNER, J. P., 2014: Biochar makes green roof substrates lighter and improves water supply to plants. *Ecological Engineering* 71. 368–374.

- ČERMÁKOVÁ, B. a MUŽÍKOVÁ, R., 2009: Ozeleněné střechy. Garda Publishing a.s., Praha, 248 s.
- ČSN 73 1901: Navrhování střech-Základní ustanovení. Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, Praha, 2011. 56 s.
- DE-VILLE, S., MENON, M., JIA, X., REED, G., STOVIN, V., 2017: The impact of green roof ageing on substrate characteristics and hydrological performance. *Journal of Hydrology* 547. 332–344.
- DIERBERG, F. E., JUSTON, J. J., DEBUSK, T. A., PIETRO, K., GU, B., 2005: Relationship between hydraulic efficiency and phosphorus removal in a submerged aquatic vegetation-dominated treatment wetland. *Ecological Engineering* 25. 9–23.
- DOSTAL, P., MACHÁČ, J., DUBOVÁ, L., LOUDA, J., 2017: Způsoby systémové podpory výstavby zelených střech. Svaz zakládání a údržby zeleně, z.s., Brno, 30 s.
- DVORAK, B. D. a VOLDER A., 2012: Green roof vegetation for North American ecoregions: A literature review. *Landscape and Urban Planning* 96. 197–213.
- FERRANTE, P., LA GENNUSA, M., PERI, G., SCACCIANOCE, G., SORRENTINO, G., 2015: Comparison between conventional and vegetated roof by means of a dynamic simulation. *Energy Procedia* 78. 2917–2922.
- FOWDAR, H. S., HATT B. E., BREEN, P., COOK, P. L. M., DELETIC, A., 2017: Designing living walls for greywater treatment. *Water Research* 110. 218–232.
- GHISI, E. a FERREIRA, D. F., 2007: Potential for potable water savings by using rainwater and greywater in a multi-storey residential building in southern Brazil. *Building and Environment* 42. 2512–2522.
- GRANT, G., 2006: Extensive Green Roofs in London. *Urban Habitats* 4. 51-65.
- GRG ©2018: Green Roof Guidelines. Maintenance (online) [cit. 4. 4. 2019] Dostupné z: <http://www.greenroofguide.co.uk/maintenance/>
- HERATH, H. M. P. I. K., HALWATURA, R. U., JAYASINGHE, G. Y., 2018: Modeling a Tropical Urban Context with Green Walls and Green Roofs as an Urban Heat Island Adaptation Strategy. *Procedia Engineering* 212. 691–698.
- HUI, S. C. M., 2011: Green roof urban farming for buildings in high-density urban cities. Invited paper for the Hainan China World Green Roof Conference 2011.

- HYDROTECH, ©2017: American Hydrotech, Inc.. Hydrotech Expands Garden Roof® Assemblies with the InstaGreen® GT-4 Tray - American Hydrotech, Inc. (online) [cit. 21. 4. 2019]. Dostupné z: <https://www.hydrotechusa.com/press/hydrotech-expands-garden-roof-assemblies-instagreen-gt-4-tray>
- CHOWDHURY, S., HAMADA, Y., SHABBIR AHMED, K., 2017: Indoor heat stress and cooling energy comparison between green roof (GR) and non-green roof (n-GR) by simulations for labor intensive factories in the tropics. *International Journal of Sustainable Built Environment* 6(2). 449–462.
- IEA ©2018: International Energy Agency. Key World Energy Statistics (online) [cit. 10. 3. 2019] Dostupné z: <https://www.iea.org/statistics>
- JIM, C. Y., 2017: Green roof evolution through exemplars: Germinal prototypes to modern variants. *Sustainable Cities and Society* 35. 69–82.
- JOHNSON, R., 2011: Japan's 2011 Earthquake and Tsunami: Food and Agriculture Implications. *Catastrophe in Japan: The Earthquake and Tsunami of 2011*. 21-34.
- KADAS, G., 2006: Rare invertebrates colonizing green roofs in London. *Urban Habitats* 4(1). 66–86.
- KAZEMI, F. a MOHORKO, R., 2017: Review on the roles and effects of growing media on plant performance in green roofs in world climates. *Urban Forestry & Urban Greening* 23. 13–26.
- KOROL, E. a SHUSHUNOVA, N., 2016: Benefits of a Modular Green Roof Technology. *Procedia Engineering* 161. 1820–1826.
- LAMERA, C., BECCIU G., RULLI, M. C., ROSSO, R., 2014: Green roofs effects on the urban water cycle components. *Procedia Engineering* 70. 988–997.
- LEHMANN, S., 2014: Low carbon districts: Mitigating the urban heat island with green roof infrastructure. *City, Culture and Society* 5(1). 1–8.
- LI, F., WICHMANN, K., OTTERPOHL, R., 2009: Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses. *Science of The Total Environment* 407. 3439–3449.
- LIN, B., YU, C., SU, A., LIN, Y., 2013: Impact of climatic conditions on the thermal effectiveness of an extensive green roof. *Building and Environment* 67. 26–33.

LOSKEN, G., ANSEL, W., BACKHAUS, T., BARTEL Y., BORNHOLDT, H., BOTT, P., HENZE, M., HOKEMA, J., KOHLER, M., KRUPKA, B., MANN, G., MUNSTER, M., NEISSER, H., ROTH-KLEYER, S., RUTTENSBERGER, S., SCHENK, D., SPRENGER, D., UPMEIER, M., WESTERHOLT D., 2018: Guidelines for the Planning, Construction and Maintenance of Green Roofs. Landscape Development and Landscaping Research Society e.V. (FLL), Bonn, 120 s.

MARTÍNEZ-MOLINA, A., TORT-AUSINA, I., CHO, S., VIVANCOS, J., 2016: Energy efficiency and thermal comfort in historic buildings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 61. 70-85.

MESIMÄKI, M., HAURU, K., KOTZE, D. J., LEHVÄVIRTA, S., 2017: Neo-spaces for urban livability? Urbanites' versatile mental images of green roofs in the Helsinki metropolitan area, Finland. *Land Use Policy* 61. 587–600.

MICKOVSKI, S. B., 2018: Laboratory study on the potential use of recycled inert construction waste material in the substrate mix for extensive green roofs. *Ecological Engineering* 61. 706-714

MOBASHERI, M., 2014: Green roofs – construction and functional requirements for four buildings on the IST campus. Técnico Lisboa, Fakultá architektury. 96 s. (diplomová práce).

NAGASE, A. a DUNNETT, N., 2011: The relationship between percentage of organic matter in substrate and plant growth in extensive green roofs. *Landscape and Urban Planning* 103(2). 230–236.

NFK ©2018: Norsk Folkemuseum. Summer 2018 (online) [cit. 21. 4. 2019]. Dostupné z: <https://norskfolkemuseum.no/en/for-media/summer-2018>

NOLDE, E., 2000. Greywater reuse systems for toilet flushing in multi-storey buildings – over ten years experience in Berlin. *Urban Water* 1. 275–284.

OBERNDORFER, E., COFFMAN, R. R., ROWE, B., LIU, K. K. Y., KÖHLER, M., DUNNETT, N., BASS, B., DOSHI, H., GAFFIN, S., LUNDHOLM, J., 2007: Green Roofs as Urban Ecosystems: Ecological Structures, Functions, and Services. *BioScience* 57. 823–833.

OSN, ©2018: 2018 Revision of World Urbanization Prospects. Multimedia Library – United Nations Department of Economic and Social Affairs (online) [cit. 18. 4. 2019].

Dostupné z: <https://www.un.org/development/desa/publications/2018-revision-of-world-urbanization-prospects.html>

PARKINS, K. L. a CLARK, J. A., 2015: Green roofs provide habitat for urban bats. *Global Ecology and Conservation* 4. 349–357.

PÉREZ, G., COMA, J., SOLÉ, C., CASTELL, A., CABEZA, L. F., 2012: Green roofs as passive system for energy savings when using rubber crumbs as drainage layer. *Energy Procedia* 30. 452–460.

PETERS, C. J., BILLS, N. L., LEMBO, A. J., WILKINS, J. L., FICK, G. W., 2009: Mapping potential foodsheds in New York State: A spatial model for evaluating the capacity to localize food production. *Renewable Agriculture and Food Systems* 24. 72-84.

PRADHAN, S., AL-GHAMDI, S. G., MACKEY, H. R., 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.

PRODANOVIC, V., HATT, B., MCCARTHY, D., ZHANG, K., DELETIC, A., 2017: Green walls for greywater reuse: Understanding the role of media on pollutant removal. *Ecological Engineering* 102. 625–635.

RAJI, B., TENPIERIK, M. J., VAN DEN DOBBELSTEEN, A., 2015: The impact of greening systems on building energy performance: A literature review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 45. 610–623.

RAN, J. a TANG, M., 2017. Effect of Green Roofs Combined with Ventilation on Indoor Cooling and Energy Consumption. *Energy Procedia* 141. 260–266.

ROWE, D. B., 2011: Green roofs as a means of pollution abatement. *Environmental Pollution* 159(8–9). 2100–2110.

SELNÍK, P., NEČADOVÁ, K., MOHAPL, M., 2016: Technology of Implementation of the Pitched Green Roof on the Testing Building EnviHut. *Procedia Engineering* 161. 1904–1909.

SEMAAN, M. a PEARCE, A. 2016: Assessment of the Gains and Benefits of Green Roofs in Different Climates. *Procedia Engineering* 145. 333–339.

SHAFIQUE, M., KIM R., LEE, D., 2016: The Potential of Green-Blue Roof to Manage Storm Water in Urban Areas. *Nature Environment and Pollution Technology* 15(2). 715-718

- SHAFIQUE, M., KIM, R., RAFIQ, M., 2018: Green roof benefits, opportunities and challenges – A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 90. 757–773.
- SCHULTZ, I., SAILOR, D. J., STARRY, O., 2018: Effects of substrate depth and precipitation characteristics on stormwater retention by two green roofs in Portland OR. *Journal of Hydrology: Regional Studies* 18. 110–118.
- SKJELDRUM, P. M. a Tore KVANDE, T., 2017: Moisture-resilient upgrading to blue-green roofs. *Energy Procedia* 132. 417–422.
- SOLCEROVA, A., VAN DE VEN, F., WANG, M., RIJSDIJK, M., VAN DE GIESEN, N., 2017: Do green roofs cool the air? *Building and Environment* 111. 249–255.
- STAVBAWEB ©2019: Stavbaweb.cz: Kulturní a obchodní centrum Nový Smíchov (online) [cit. 21. 4. 2019]. Dostupné z: <https://stavbaweb.dumabyt.cz/kulturni-a-obchodni-centrum-novy-smichov-4725/clanek.html>
- TIAN, Z., LEI, Y., GU, X., 2017: Building Energy Impacts of Simple Green Roofs in the Hot Summer and Cold Winter Climate Zone: Suzhou as a Study Case. *Procedia Engineering* 205. 2918–2924.
- TRAVIS, M. J., WEISBROD, N., GROSS, A., 2008: Accumulation of oil and grease in soils irrigated with greywater and their potential role in soil water repellency. *Science of The Total Environment* 394. 68–74.
- UGAI, T., 2016: Evaluation of Sustainable Roof from Various Aspects and Benefits of Agriculture Roofing in Urban Core. *Procedia – Social and Behavioral Sciences* 216. 850–860.
- VIJAYARAGHAVAN, K a RAJA F. D., 2015: Pilot-scale evaluation of green roofs with Sargassum biomass as an additive to improve runoff quality. *Ecological Engineering* 75. 70–78.
- 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.
- WALTERS, S. A., a MIDDEN, K. S., 2018: Sustainability of Urban Agriculture: Vegetable Production on Green Roofs. *Agriculture* 8. 168–184.

WANG, H. a SHI, H., 2011: Leaf Dust Capturing Capacity of Urban Greening Plant Species in Relation to Leaf Micromorphology. Proceedings of 2011 International Symposium on Water Resource and Environmental Protection.

WONG, G. K. L. a JIM, C. Y., 2014: Quantitative hydrologic performance of extensive green roof under humid-tropical rainfall regime. *Ecological Engineering* 70. 366–378.

WU, S., CARVALHO, P. N., MÜLLER, J. A., MANOJ, V. R., DONG, R., 2016: Sanitation in constructed wetlands: A review on the removal of human pathogens and fecal indicators. *Science of The Total Environment* 541. 8–22.

XIAO, M., LIN, Y., HAN, J., ZHANG, G., 2014: A review of green roof research and development in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 40. 633–648.

YANG, J., YU, Q., GONG, P., 2008: Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago. *Atmospheric Environment* 42. 7266-7273.

ZS ©2018: Zelené střechy. Rozdělení zelených střech (online) [cit. 21. 4. 2019]. Dostupné z: <https://www.zelenestrechy.info/rozdeleni-zelenych-strech>

11. Přílohy

Příloha 1: Mechanismy rostlin, půdy a mikrobusů odstraňující znečištění (Pradhan et al. 2019, upraveno)

