

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

FAKULTA ŽIVOTNÍHO PROSTŘEDÍ

KATEDRA APLIKOVANÉ EKOLOGIE



**Česká
zemědělská
univerzita
v Praze**

**VYUŽITÍ ZELENÝCH STŘECH A STĚN NA
BUDOVÁCH**

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

VEDOUCÍ PRÁCE: PROF. ING. JAN VYMAZAL, CSC.

BAKALANT: FILIP PRŮŠA, DIS

2023

ČESKÁ ZEMĚDĚLSKÁ UNIVERZITA V PRAZE

Fakulta životního prostředí

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Filip Průša

Územní technická a správní služba v životním prostředí

Název práce

Využití zelených střech a stěn na budovách

Název anglicky

The use of green roofs and walls on buildings

Cíle práce

1. Shrnout historický vývoj zelených střech a stěn na budovách.
2. Charakterizovat benefity zelených budov.
3. Popsat technická řešení zelených střech a stěn.
3. Uvést příklady využití zelených střech a stěn v ČR a ve světě.

Metodika

Jedná se o rešeršní práci, která má za úkol zmapovat využití zelených střech a stěn na budovách. Dalším cílem práce je zhodnotit základní technické parametry zelených střech a stěn a popsat výhody a nevýhody zelených střech a stěn. V závěru práce budou popsány některé reálné systémy v České republice a v zahraničí.

Doporučený rozsah práce

40 stran včetně příloh

Klíčová slova

Zelené stěny, zelené střechy, nízkoenergetické budovy, udržitelná výstavba, šedé vody, odpadní vody, znečištění, látky osobní potřeby

Doporučené zdroje informací

- Berndtsson J. C., 2010: Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review. *Ecological Engineering* 36. 351–360.
- Minke G., 2001: Zelené střechy: Plánování, realizace, příklady z praxe. HEL, Ostrava, 92 s.
- Perini K., Rosasco P., 2013: Cost–benefit analysis for green façades and living wall systems. *Building and Environment* 70. 110–121.
- Rowe D. B., 2011: Green roofs as a means of pollution abatement. *Environmental Pollution* 159. 2100–2110.
- 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.

Předběžný termín obhajoby

2022/23 LS – FŽP

Vedoucí práce

prof. Ing. Jan Vymazal, CSc.

Garantující pracoviště

Katedra aplikované ekologie

Elektronicky schváleno dne 22. 3. 2023

prof. Ing. Jan Vymazal, CSc.

Vedoucí katedry

Elektronicky schváleno dne 23. 3. 2023

prof. RNDr. Vladimír Bejček, CSc.

Děkan

V Praze dne 23. 03. 2023

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma *Využití zelených střech a stěn* vypracoval samostatně a citoval jsem všechny informační zdroje, které jsem v práci použil a které jsem rovněž uvedl na konci práce v seznamu použitých informačních zdrojů.

Jsem si vědom, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů, ve znění pozdějších předpisů, především ustanovení § 35 odst. 3 tohoto zákona, tj. o užití tohoto díla.

Jsem si vědom, že odevzdáním bakalářské práce souhlasím s jejím zveřejněním podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů, ve znění pozdějších předpisů, a to i bez ohledu na výsledek její obhajoby.

Svým podpisem rovněž prohlašuji, že elektronická verze práce je totožná s verzí tištěnou a že s údaji uvedenými v práci bylo nakládáno v souvislosti s GDPR.

V Praze dne 30. 3. 2023

.....

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval panu prof. Ing. Janu Vymazalovi, CSc. za pomoc, cenné rady a vedení práce. Také bych rád poděkoval mé rodině a přítelkyni za podporu a trpělivost během studia a psaní bakalářské práce.

ABSTRAKT

Využití zelených střech a stěn na budovách

Bakalářská práce se zabývá využitím zelených střech a stěn na tzv. zelených budovách. Cílem práce je stručné popsání historie zelených budov, charakteristika jejich benefitů, popsání možného technického řešení a typů. Dále stručné zhodnocení využívaných substrátů a vegetace pro zelené střechy i stěny, jejich závlaha a případné využití na čištění šedých vod. Na konci práce jsou uvedeny příklady těchto budov v České republice a ve světě.

Mimo stručných popisů je hlavním cílem kritické zhodnocení jejich benefitů a porovnání výsledků dle různých studií. Jsou popsány výhody a nevýhody různých typů střech a stěn, využitého substrátu a vegetace a možnost závlahy. Mimo jiné také jejich charakteristika, požadované vlastnosti a kritéria, podle kterých se poté daná střecha či stěna navrhuje.

Zelené budovy jsou nepochybně schopné alespoň částečně zmírnit tzv. městské tepelné ostrovy, mají schopnost izolovat budovu, či omezovat a opožďovat množství odtoku dešťové vody ze střechy při velkém množství nárazových srážek. Jejich vliv je také zaznamenáván v případě čištění vody či ovzduší. Nepochybný pozitivní vliv mají i na lidskou mysl a pohodu.

Přínosem práce je objektivní zhodnocení různých studií a jejich výsledků, jelikož se i přes jejich relativně dlouhou historii stále objevují nové poznatky a modifikace. V práci je popsán i požadovaný směr budoucího výzkumu, který je nutný k upřesnění jejich vlivu a schopností.

Klíčová slova

Zelené stěny, zelené střechy, nízkoenergetické budovy, udržitelná výstavba, šedé vody, odpadní vody, znečištění, látky osobní potřeby

ABSTRACT

The use of green roofs and walls on buildings

The bachelor thesis deals with the use of green roofs and walls on so-called green buildings. The aim of the thesis is to briefly describe the history of green buildings, characterize their benefits, describe possible technical solutions and types. Furthermore, a brief evaluation of the substrates and vegetation used for green roofs and walls, their irrigation and possible use for grey water treatment. At the end of the thesis, examples of such buildings in the Czech Republic and worldwide are given.

Apart from brief descriptions, the main goal is to critically evaluate their benefits and compare the results according to various studies. The advantages and disadvantages of different types of roofs and walls, the used substrate and vegetation and the possibilities of irrigation are described. Among other things, their characteristics, the required properties and the criteria according to which the roof or wall is then designed are also presented.

Green buildings are undoubtedly capable of at least partially mitigating the urban heat islands. They have the ability to insulate the building, or to limit and delay the amount of rainwater runoff from the roof during large amounts of heavy rainfall. Their influence is also noted in the case of water and air purification. They also have an undoubted positive effect on the human mind and well-being.

The contribution of the paper is an objective evaluation of the various studies and their results, as new findings and modifications are still emerging despite their relatively long history. The thesis also describes the desired direction of future research that is necessary to clarify their impact and capabilities.

Keywords

Green walls, green roofs, low-energy buildings, sustainable construction, grey water, waste water, pollution, personal care products

Obsah

1. Úvod.....	1
2. Cíle práce.....	2
3. Historie a vývoj zelených budov	2
3.1 Vývoj v posledních desetiletích	4
4. Benefity a funkce zelených budov	5
4.1 Výhody zelených budov	5
4.1.1 Eliminace městských tepelných ostrovů	5
4.1.2 Tepelně izolační vlastnosti a úspora energií	8
4.1.3 Zvuková izolace.....	10
4.1.4 Ochrana střechy	11
4.1.5 Hospodaření s vodou a schopnost zadržovat vodu	11
4.1.6 Čištění ovzduší	13
4.1.7 Estetické a psychologické účinky	14
4.1.8 Zvýšení účinnosti fotovoltaických panelů	14
4.1.9 Ostatní výhody	15
4.2 Nevýhody zelených budov	16
5. Zelené střechy	17
5.1 Technické řešení a popis částí zelených střech	17
5.2 Rozdělení dle nároku na péči.....	18
5.2.1 Biotopní zelené střechy.....	19
5.2.2 Extenzivní zelené střechy	19
5.2.3 Polointenzivní zelené střechy	20
5.2.4 Intenzivní zelené střechy	20
5.3 Rozdělení dle sklonu střechy	21
5.3.1 Ploché střechy	21
5.3.2 Šikmé střechy	22
5.3.3 Strmé střechy	22
5.4 Rozdělení dle skladby vegetačního souvrství.....	22
5.4.1 Jednovrstvá skladba	22
5.4.2 Vícevrstvá skladba	23
5.5 Rozdělení dle funkce střechy	23
5.5.1 Retenční zelené střechy	23
5.5.2 Střechy pro podporu biodiverzity	23
5.5.3 Kombinované střechy s fotovoltaickými panely.....	24
5.5.4 Pěstební střecha	24
5.5.5 Ostatní či možné budoucí funkce	24

5.6	Rozdělení dle přístupnosti.....	25
5.6.1	Nepochozí zelené střechy.....	25
5.6.2	Pochozí zelené střechy.....	25
5.6.3	Pobytové zelené střechy.....	25
5.7	Přestavba z klasické střechy.....	25
6.	Zelené stěny.....	27
6.1	Technické řešení a popis částí zelených stěn.....	27
6.2	Rozdělení zelených stěn.....	27
6.2.1	Zelené fasády.....	28
6.2.2	Vertikální zahrady.....	29
7.	Substrát a vegetace.....	31
7.1	Substrát u zelených budov.....	31
7.1.1	Substrát vhodný pro zelené střechy.....	32
7.1.2	Substrát vhodný pro zelené stěny.....	33
7.2	Vegetace u zelených budov.....	34
7.2.1	Vegetace vhodná pro zelené střechy.....	34
7.2.2	Vegetace vhodná pro zelené stěny.....	38
8.	Závlaha.....	42
8.1	Závlaha zelených střech.....	42
8.2	Závlaha zelených stěn.....	43
8.3	Využití šedých vod.....	43
8.4	Využití dešťových vod.....	45
9.	Příklady budov v České republice a ve světě.....	46
9.1	Příklady budov v České republice.....	46
9.2	Příklady budov ve světě.....	49
10.	Výsledné zhodnocení.....	54
11.	Diskuse.....	56
12.	Závěr a přínos práce.....	57
	Přehled literatury a použitých zdrojů.....	58
	Přílohy.....	67

1. Úvod

V době klimatické krize se hledají způsoby, jak alespoň částečně ulevit již takto zatíženému klimatu. Jedním ze způsobů může být například stavba takzvaných zelených budov, které kromě vysoké energetické úspornosti využívají také zelené stěny a střechy osázené zelení. Mimo jiné se jedná o částečnou kompenzaci lidských zásahů do krajiny (Dostálová et al. 2021).

Zelené domy mohou v zastavěných oblastech zmírnit či narušit tzv. tepelné ostrovy v intravilánu, které komplikují život žijících či jinak pobývajících osob a živočichů v těchto oblastech, případně negativně ovlivňují množství srážek. Prapředci takových staveb byly využívány již dávno v minulosti. Bylo běžné využívání například zatravněných střech, případně stavby částečně či úplně skryté pod úrovní terénu pro snadnější a stabilnější zachování teploty a chladu v budově (Minke 2001). Těchto benefitů je možné využít i u novodobých staveb. Zatravněná střecha nebo stěny posázené zelení mohou budovu ochladit i o několik stupňů. Kromě toho je zde benefit i pro duševní zdraví jedinců, jelikož zeleň má na lidskou mysl pozitivní, uklidňující vliv.

Jedním z hlavních důvodů stavby zelených budov je znečištěné životní prostředí ve městech, které má negativní vliv na jejich obyvatele. Ve městech jsou mnohem vyšší koncentrace znečišťujících látek než v jiných prostředích. Příkladem může být porovnání s lesním prostředím, „oproti lesnímu společenství je koncentrace SO_2 (oxidu siřičitého) 10krát vyšší, NO_x (dusičnanů) 5krát vyšší, CO_2 (oxidu uhličitého) 20krát vyšší, CO (oxidu uhelnatého) 30krát vyšší, prachu 30krát vyšší.“ (Čermáková et Mužíková 2009, s. 23)

V dnešní době se také uvažuje a zkoumá využití šedých odpadních vod na závlahu osázené zeleně. V případě využití obnovitelných zdrojů, např. solárních panelů, lze snížit i energetickou závislost na obvyklých, v České republice často fosilních, zdrojích energie. V takovém případě je budova z velké části nezávislá a nezatěžuje klima, energetické zdroje a kanalizační síť v takovém rozsahu, jako obvyklé budovy.

Je však důležité dodat, že je nedostačující pouze stavět nové zelené budovy, ale je potřeba na přestavbu připravovat i již postavené stavby. Ročně na světě přibude přibližně 1–2 % staveb z celkového množství. Z toho tedy vyplývá, že již nyní je postaveno 87 % budov, které budou stát v roce 2050 (Kelly 2009).

Vývoj zelených budov nabral v posledních letech na rychlosti a jejich obliba stoupá po celém světě (Vijayaraghavan 2016). Hlavní výzvou je nyní implementace zelených

budov do zákonů a stavebních regulací a také jejich rozšíření i do rozvojových či méně rozvinutých zemí.

2. Cíle práce

Cílem je rešeršní shrnutí využití zelených střech a stěn na budovách. Nejprve bude v práci zmapován historický vývoj předchůdců zelených střech i stěn v minulosti. Následně mapován zlom v jejich využití a vývoj v posledních letech.

Dalším cílem je charakterizovat benefity zelených budov a zhodnotit, zda jsou benefity potvrzené vědeckými studiemi, či se jedná spíše o domněnky. V této kapitole bude také porovnání výsledků různých studií.

V následující části bude popsána stručná teorie a technická řešení zelených střech a stěn. Součástí bude i jejich možné rozdělení, kterými je možné je charakterizovat. Také zde bude stručný popis vhodných substrátů a vegetace. Posledním tématem technického řešení bude závlaha. Její součástí bude také možné využití šedých a dešťových vod.

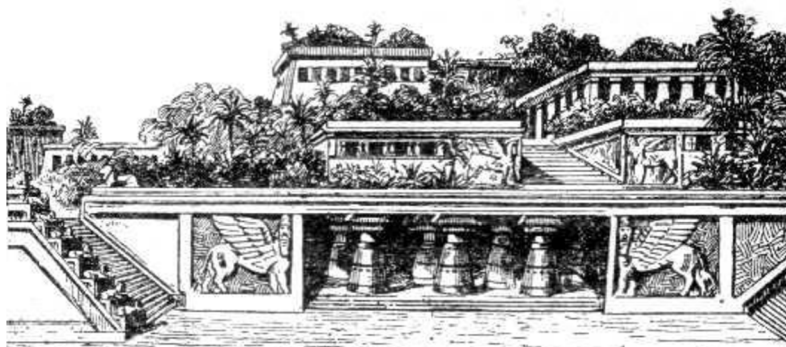
Nakonec budou v práci uvedeny příklady využití zelených střech a stěn v České republice a ve světě. Součástí budou i fotografie zmíněných budov a jejich architektonických řešení.

3. Historie a vývoj zelených budov

Zelené budovy se využívaly již ve starověku, ačkoliv šlo o jejich primitivní předchůdce. Primárně šlo o využívání zelených střech, avšak i na stavbu stěn se v historii využívala zemina a zeleň. První zmínky mluví o existenci zelených střech již před 3 000 lety. Zelená střecha byla dle vykopávek nalezena například ve městě Ninive na území dnešního Iráku, kde byly takové budovy postavené v letech 929–915 př. n. l. za vlády krále Šalomouna (Čermáková et Mužíková 2009).

Mezi další důkazy náleží například Semiramidiny visuté zahrady (1 ze 7 divů světa) v Mezopotámii (viz obrázek 1) z 6. století př. n. l., které založil král Nabukadnesar II. Jednalo se o 22 metrů vysokou stavbu s kolonádou se zděnými klenbami. Technologie byla velice promyšlená, včetně funkční izolace a zásobování vodou kanály. „V konstrukcích střech byla tepelně izolační vrstva provedena z rákosu zalitého asfaltem. Hydroizolaci tvořily olověné pláty, nad nimiž byla navržena zemina a vysázena

řada rostlin – od trvalek přes popínavé dřeviny až po keře (např. růže) a stromy.“ (Čermáková et Mužíková 2009, s. 12)



Obrázek 1: Semiramidiny visuté zahrady, nákres z roku 1912 (Augé 1912)

Jednoduché „zelené budovy“ však byly k vidění po celém světě. Sloužily jako jednoduchý, a přesto účinný ochranný prostředek před klimatickými podmínkami. V severských zemích jako je například Island, Kanada, USA, oblast Skandinávie či Faerské ostrovy budovy sloužily hlavně jako izolace před extrémními, chladnými venkovními podmínkami a k akumulaci tepla uvnitř. Naopak ve velmi teplých podmínkách, například v Tanzanii či Guatemale, chránily obyvatele před extrémními teplotami. Jejich účinnost potvrzují islandské domy, které neměly žádné vytápění a teplota byla zajištěna pouze akumulací tepla jejich obyvatel a zvířat. Nejednalo se však pouze o zelené střechy, jako primitivního předchůdce zelených stěn můžeme označit i budovy, jejichž stěny byly vybudované z travních drnů kladených na sebe zatravněnou částí směrem dolů (Minke 2001).

Vývoj pokračoval i v dalších zemích. V dobách řecké a římské říše, v Pompejích či v době byzantské byly k vidění sady na terasách a palácích, nebo okrasné dřeviny a zeleň v přenosných nádobách na střechách. V 11. století se objevují střešní a terasové zahrady ve Francii a Itálii, později i v ostatních evropských zemích u paláců a sídel šlechtických rodů. V 17. století byly oblíbené v bohatých městech Anglie, Německa či Francie. Jejich oblíbenost pokračovala až do 19. století. Do této doby šlo primárně o záležitost prestiže (Čermáková et Mužíková 2009).

Zlom nastal až v období průmyslové revoluce. V této době dochází k urbanizaci krajiny a velkému přesunu lidí z vesnic do měst. Rozrůstá se nejen plocha, ale i hustota měst (Schröpfer et al. 2015). Stále však byly problémy s konstrukcí střechy, která s tehdejšími technologiemi neměla potřebnou nosnost na udržení zeminy a potřebných konstrukčních prvků. Pokrok přišel vynalezením železobetonu v roce 1867, který

byl ideální pro stavbu střech s vysokou nosností a relativně jednoduchou výstavbou s dlouhou životností. V roce 1923 švýcarský architekt Le Corbusier píše o budoucnosti střešních zahrad, které podle něj již nebudou pouze ojedinělé a zmiňuje jejich podstatný vliv na životní prostředí. Problém s konstrukcí střech však nadále přetrvával. Také chyběly informace o vhodném substrátu a rostlinách. Ve 40. letech 20. století bylo již plno projektů budov se zelenými střechami, avšak jen zlomek z nich byl realizován. Po 2. sv. válce vznikla potřeba rozšiřování zeleně ve městech a také velký pokrok díky vývoji průmyslové chemie a umělých hmot, které zahrály velmi důležitou roli (Čermáková et Mužíková 2009). Jedním z inovátorů bylo také Spojené království, které začalo využívat zelené střechy pro krytí letištních budov v období 2. světové války (Wilkinson et Dixon 2016).

3.1 Vývoj v posledních desetiletích

Moderní zelené budovy začaly vznikat v 60. letech 20. století v období energetické krize primárně v Německu. Hlavně zelené střechy měly sloužit ke zmírnění energetické náročnosti budov (Zhang et al. 2011). Kromě Německa zažívají zelené střechy oblibu také v dalších sousedních zemích, jako je například Švýcarsko, Rakousko či Francie. Důvodem již začíná být i ekologické hledisko (Čermáková et Mužíková 2009).

Zcela zásadní zlom přichází v 80. letech 20. století, kdy byl kladen velký důraz na vývoj ochranných vrstev proti prorůstání kořinek, vývoj drenážních prefabrikátů z pěnového polystyrenu či rozvoj závlahových systémů (Čermáková et Mužíková 2009).

Problémem a také částečným důvodem pomalého rozšiřování zelených střech do zbytku světa bylo nedostatečné množství literatury a studií v anglickém jazyce, jelikož většina z toho byla v jazyce německém (Rowe 2011). Publikace všeobecně dříve nebyly tolik zaměřené na teorii. „Dřívější publikace se primárně zaměřovaly na vyhodnocení a zvýraznění benefitů zelených střech.“ (Vijayaraghavan 2016, s. 741 ex. Dominguez-Hernandez 1997; Del Barrio 1998) S oblibou zelených střech se však ve světě zvýšilo také množství výzkumů a publikací, jejichž množství vzrostlo hlavně v posledních 10–15 letech. Dle výzkumu z roku 2013 ohledně publikací je největší množství z USA (34 %), z EU (33 %) a z Asie (20 %) (Blank et al. 2013). Velmi důležitý je nárůst lokálních studií, jelikož každá země má své specifické klimatické podmínky a není možné spoléhat na studie z jiné části kontinentu či světa (Wong et al. 2003).

V posledních letech je ve vyspělém světě velký tlak na využívání technologie zelených budov, hlavně zelených střech, při stavbě nových budov ve městech. V řešení je také příprava starých budov s plochými střechami na budoucí přestavbu s využitím zelených střech (Vijayaraghavan 2016). V Německu, kde se zelené střechy těší velké oblibě, je již 10 % střech s vegetačním pokryvem (Saadatian et al. 2013), přičemž dle jednoho z výzkumů již 7% pokryv zelenými střechami ve městech může v létě snížit teplotu na ulicích až o 2 °C (Hui 2009). Díky regulacím ve švýcarském Basileji ohledně stavby a rekonstrukcí, využívá zelené střechy již 15 % všech budov (Townshend 2007). Podobný návrh na novelizaci pražských stavebních předpisů je v projednání i v Praze. Dle novely by zde platila povinnost umístování vegetační vrstvy na střechy se sklonem menším než je 20° (IPR Praha ©2022).

4. Benefity a funkce zelených budov

Zelené budovy přicházejí s řadou benefitů, kvůli kterým je jejich výstavba tak oblíbená. Může ale přinést i určité komplikace či nevýhody, které se však dají z velké části eliminovat řádně navrhnutým projektem, typem využitých materiálů a zeleně, či správně nastaveným financováním a podporou takových budov. Výhody a nevýhody jsou popsány v této kapitole.

4.1 Výhody zelených budov

4.1.1 Eliminace městských tepelných ostrovů

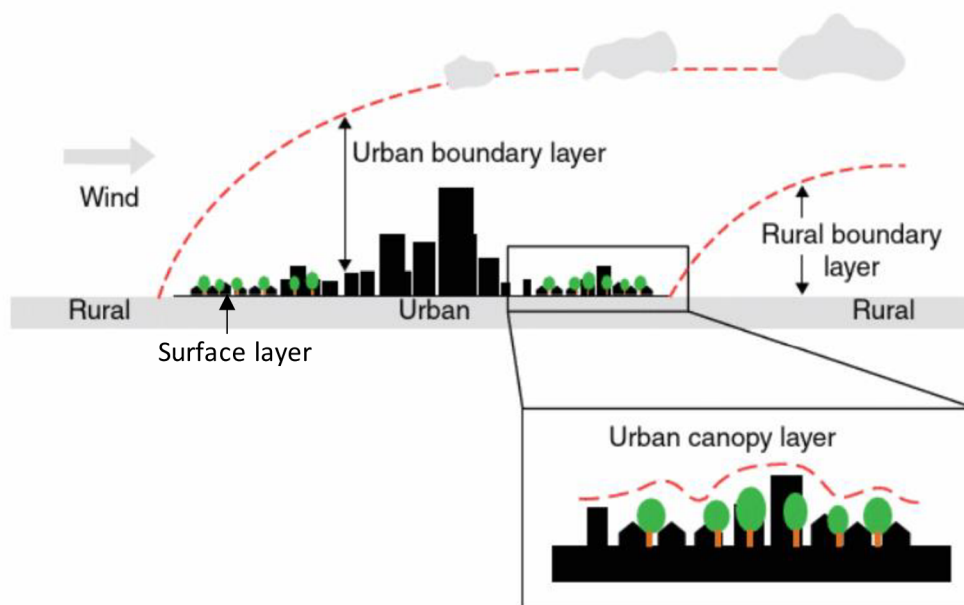
Nejprve je nutné definovat, co vlastně takový městský tepelný ostrov je. První zmínky o jevu městského tepelného ostrova se objevují již v 19. století v Londýně. Ve večerních hodinách zde byl naměřen rozdíl 4 °C mezi Londýnem a jeho okolím v důsledku spalování topných paliv (Howard 1833). Zkráceně se jedná o teplo akumulované ve městě a tím zhoršené teplotní podmínky pro život. Negativně ovlivňuje životní prostředí, společnost i ekonomiku a zvyšuje rizika a hrozby způsobené globálním oteplováním (Wilkinson et Dixon 2016).

Všeobecně je teplota vzduchu ve městech oproti lesní krajině vyšší o 1–2 °C (Čermáková et Mužíková 2009), v centrech měst pak oproti okrajovým částem (v létě) o 4–11 °C (Lötsch 1981). Podobné je to i s vlhkostí vzduchu, která je ve městech o 8–10 % nižší než na venkově, avšak výpar je až o 15–20 % nižší. Kvůli teplu stoupá suchý teplý vzduch, který s sebou zvedá i prach, nečistoty a jiné škodliviny, které poté mohou být vdechovány, nebo mohou páchat jinou škodu na zdraví či majetku. Vyšší teplota v reakci s chemickými polutanty a slunečním svitem napomáhá vzniku smogu

(Čermáková et Mužíková 2009). V důsledku toho je ve městech až 15% pokles slunečního svitu a 30–100% nárůst výskytu mlh (Lötsch 1981). Kombinací těchto faktorů je vyšší riziko bouřek i následných záplav.

Následky vyšších teplot ve městech lze sledovat i v energetické sféře. Dle výzkumu z několika světových měst se spotřeba elektrické energie ve špičce může kvůli vyšší teplotě zvýšit o 0,45–4,6 % (v průměru o 2,64 %) při nárůstu o 1 °C, celková spotřeba pak může být o 0,5–8,5 % vyšší (Santamouris et al. 2015). Podobný nárůst je možný sledovat i u spotřeby vody (Guhathakurta et Gober 2007). Zajímavostí je, že dle jedné studie se až 70 % spotřebované elektrické energie v rezidenčních budovách v Saudské Arábii využívá ke klimatizování a větrání budov (Al kanani et al. 2017). V důsledku toho pak odpadní teplo opět přispívá ke zvyšování městského tepelného ostrova.

Městský tepelný ostrov lze rozdělit do 3 vrstev. Prvním typem je městská vrstva (urban boundary layer), která sahá do určité výšky atmosféry vzhledem k zemskému povrchu. Druhým typem je vrstva zeleně (urban canopy layer), která kopíruje panorama budov a zeleně v těsné vzdálenosti od nich. Posledním typem je povrchová vrstva (surface layer), která se týká teploty povrchů (Voogt 2007). Mimo město je venkovská vrstva (rural boundary layer). Rozložení vrstev lze vidět na obrázku 2.



Obrázek 2: Rozložení vrstev tepelných ostrovů (Wilkinson et Dixon 2016 ex. Voogt 2007)

Tepelný ostrov je způsobený v důsledku malé reflektivity povrchu města, a tedy akumulací tepla ze slunečního záření povrchem, snížené schopnosti sálavého ochlazení kvůli vlastnostem stavebních materiálů, snížené evapotranspirace a tím ochlazení z rostlin, půdy a vodních ploch kvůli jejich absenci, nočnímu uvolňování

akumulovaného tepla, oteplování v důsledku antropogenních činností, například z dopravy, průmyslu, vytápění či klimatizování. Dalšími faktory může být snížená větrnost kvůli hustotě zástavby a tím snížený přenos tepla atp. (Wilkinson et Dixon 2016).

Velmi záleží na materiálu a jeho vlhkosti, „čím sušší půda, tím rychleji se ohřívá její povrch i okolí působením slunce. U suchých povrchů (ulice, chodníky, střechy...) se téměř všechna sluneční energie spotřebuje k jejich ohřátí.“ (Dostálová et al. 2021, s. 15) Důležitým faktorem je také prostorové uspořádání města a reliéf krajiny. Teplý vzduch se zachytává mezi budovami, těmto prostorům se říká městský kaňon (urban canyon), který je definován výškou budov a šířkou, délkou a orientací ulic. Tento městský kaňon pak z velké části určuje rozložení solární tepelné energie a osvit ulic a budov, směr a rychlost větru, rozptyl znečištění a intenzitu tepelného ostrova. S tím, jak se zvyšuje hustota města, se také přesouvá radiačně aktivní plocha ze zemského povrchu na střechy a zmenšuje se plocha, kde lze pěstovat zeleň (Wilkinson et Dixon 2016).

Zelené domy hrají důležitou roli při snižování teploty ve městech. Klima lze výrazně zlepšit zmenšením zpevněných ploch a jejich ozeleněním (Minke 2001). Ve městech je v průměru 28 % rozlohy povrch střech, jejich ozelenění by tedy mělo mít vliv na celkové městské klima (Jacobson et Ten Hoeve 2012). Vegetace snižuje teplotu odrazem záření a také fotosyntézou, kdy spotřebovává solární energii na výrobu kyslíku. U zelených budov je tak tepelné vyzařování do okolí mnohem nižší, než by tomu bylo u běžné holé hydroizolace nebo vrstvy kameniva (Dostálová et al. 2021). Rostliny (a také substrát) mimo jiné zadržují velké množství vody, která je potom odpařována, čímž je vzduch ochlazován a zvlhčován (Čermáková et Mužíková 2009; Minke 2001). „Energie, která v létě dopadá na střechu ve formě slunečního záření a která by se jinak akumulovala ve střešním plášti a ohřívala budovu i její okolí, se díky vlhkosti obsažené ve vegetačním souvrství a rostlinách naopak spotřebovává k jejímu chlazení.“ (Dostálová et al. 2021, s. 15) Akumulace vody v rostlině může spotřebovat až 90 % dopadající solární energie. Naopak v noci a zimě jsou rostliny schopné teplo uvolňovat respirací (Minke 2001). Výhodou je i redukce odpadního tepla z klimatizace či průmyslu (Wilkinson et Dixon 2016).

Nelze však říct, že by zelené budovy byly naprosto zázračné a všemohoucí. Velmi záleží na městském kaňonu. Čím širší kaňon je, tím mají zelené budovy menší vliv na teplotu. Zároveň však v kaňonu mají zelené stěny větší vliv než zelené střechy, které mají naopak větší vliv na úrovni střech i na celkové městské klima (Wilkinson et

Dixon 2016). Celkový efekt na město je však pravděpodobně skromnější, než se často prezentuje.

Je několik studií a analýz, které zkoumaly případné snížení teploty v celém městě se zelenými budovami. Jednou z nich je například simulace z Toronta, podle níž by se teplota ve městě snížila pouze o 0,1–0,8 %, pokud by bylo pokryto zelení 50 % střech. V případě dostatečného zavlažování by redukce mohla být až o 2 % (Liu et Bass 2005). Dle jiné studie by se teplota v New Yorku snížila o 0,4–1,1 % při ozelenění 100 % střech (Rosenzweig et al. 2006). Pozitivnější výsledky přinesla studie, která při hojném využití zelených střech předpokládá snížení teploty ve městech o 0,3–3 °C (Santamouris 2014).

Dle měření je však snížení teploty přímo na zelených budovách značné. Na obyčejných střechách je rozsah teplot v průběhu roku od –20 do 100 °C, s vegetací je to však pouze od –5 až 25 °C. Rozdíl teplot na obyčejné střeše je tedy v průběhu roku až 120 °C, kdežto na střeše zelené pouze 35 °C (Čermáková et Mužíková 2009 ex. Minke et Witter 1982). Dle jiné studie je výsledek u asfaltových střech velmi podobný a teplotní rozdíly jsou 100 °C, u zelených střech 30 °C (Minke 2001). Při testovacím měření na klasické střeše byla naměřena teplota 30–35 °C, oproti střeše zelené, kde bylo v substrátu v hloubce 10 cm naměřeno pouze 20 °C. V zimě pak bylo naměřeno –10 °C na běžné střeše a –1–0 °C na střeše zelené v hloubce 5 cm (Čermáková et Mužíková 2009 ex. Kolb et Schwarz 1999). Dle jiných zdrojů je vegetační střeška schopna snížit teplotu na povrchu střechy o 15–45 °C, okolní plochu poté o 2–5 °C. U zelených stěn byla naměřena teplota na stěně pod vegetací o 8,2 °C nižší než na povrchu listů. I povrch listů byl však o 4,5 °C nižší než u holé stěny (Di et Wang 1999). Tím se sníží spotřeba energie v budově až o 80 %. Zde lze vidět i tepelně izolační vlastnosti budov s vegetací, kterými se zabývá následující kapitola.

4.1.2 Tepelně izolační vlastnosti a úspora energií

Jak bylo možné vyčíst v předchozí kapitole, velkou výhodou zelených budov je dobrá schopnost tepelné izolace, a tedy konzervace tepla či chladu a celkové snížení kolísání teplot. Největší izolační benefity zelené střechy a stěny přinášejí u starších, hůře izolovaných budov. Čím lépe izolovaná budova je, tím méně je vegetace u těchto budov účinná (Santamouris 2014). Vegetace a substrát tlumí tepelné toky překrytím a zastíněním povrchu střechy a stěn, svými izolačními vlastnostmi a podporou evapotranspirace (Wilkinson et Dixon 2016). V chladných podmínkách se díky tomu u budov snižují tepelné ztráty vyzařováním. U substrátu je u jeho účinnosti rozhodující složení, vlhkost a mocnost. Kromě substrátu na tom mají podíl také listy rostlin, které

dlouhovlnné záření částečně odráží a absorbují. Vegetace budovy mimo jiné chrání před větrem a u střeš snižuje ztráty až o 50 % (Čermáková et Mužíková 2009; Minke 2001).

Jak již bylo psáno výše, v ohledu tepelné izolace je nejdůležitější vlhkost a mocnost substrátu. Čím vyšší vrstva substrátu je, tím je vyšší i účinnost (Besir et Cuce 2018; Minke 2001). Dle studie vrstva o mocnosti pouhých 10 cm sniží prostup tepelné energie o 59 %, v případě 20 cm vrstvy to je již 96 %. Co se týká energetické spotřeby, ta se snížila o 31 a 37 %. Velký vliv má také vegetace. Pokud je substrát osázen trávou, prostup tepelné energie je ještě o 58 % nižší než u samotného substrátu (Permpituck et Namprakai 2012). Dle studie je prostup tepla skrz zelenou zeď směřovanou na západ, kde je v letě největší tok tepla, až o 28 % nižší (Di et Wang 1999). Co se týká vlhkosti substrátu, v teplých podmínkách má lepší účinky vlhký substrát, kdežto v chladných podmínkách substrát suchý. Suchá zemina má lepší izolační vlastnosti, tlumí tepelný tok skrz střechu a má vynikající schopnost uchovávání tepla, tím se snižuje spotřeba kvůli vytápění. Vlhká zemina s vegetací je schopna absorbovat velké množství tepla, které je poté spotřebovááno rostlinami k fotosyntéze či evapotranspirací. Teplo se tak nedostane skrz střechu, ale uchová a spotřebuje se na zelené střeše. Akumulace tepla poté snižuje kolísání teplot v nočních hodinách (Besir et Cuce 2018; Wilkinson et Dixon 2016).

Ohledně úspor energií však nelze říct přesný a univerzální účinek zelených budov. Co se tepelných ztrát týče, dle jednoho ze zdrojů se u budov mohou snížit o 10–30 % (Čermáková et Mužíková 2009). Dle jiného zdroje mohou být ztráty menší až o 50 % (Sonne 2006). Zdroje se rozcházejí i v otázce úspor za energie. V tabulce 1 lze vidět porovnání různých studií o úsporách budov se zelenými střechami oproti budovám se střechami klasickými. Ve sloupci „Topení“ jsou vypsané možné úspory za vytápění,

Autor, datum studie	Úspora v %		Lokalita	Poznámka
	Topení	Chlazení		
Niachou et al. 2001	45–46	22–45	Athény, Řecko	
Chiou-Chuan et Soen-Han 2013	x	49	Taichung, Tchaj-wan	
Cummings et al. 2007	x	40	Florida, USA	
Permpituck et Namprakai 2012	37*	37*	Phitsanulok, Thajsko	Při vrstvě substrátu 20 cm
Wong et al. 2003	14,5*	14,5*	Singapur	Pouze blízko u střešy
Alcazar et Bass 2008	12*	12*	Madrid, Španělsko	Pouze blízko u střešy
Liu et Bass 2005	10	6	Toronto, Kanada	V nižších polohách úspora vyšší
Bass et al. 2003	10	x	Santa Barbara, USA	
Berardi 2016	3*	3*	Toronto, Kanada	

Tabulka 1: Porovnání úspor ve spotřebě energie u zelených střech dle různých studií

* – průměrná úspora spotřeby energie za rok

x – neznámá data

ve sloupci „Chlazení“ naopak úspory za chlazení. U studií je také uvedena lokalita měření pro objektivní zhodnocení. Střechy však zabírají pouze přibližně 16 % pláště budov. Vzhledem k stále vyšší oblibě staveb vysokých budov tak střechy mají znatelný účinek na poslední 3 poschodí, nejznatelnější účinek je v poschodí přímo pod střechou (Alcazar et Bass 2008). V kombinaci se zelenými stěnami by však měl být účinek na celou budovu.

Dle některých studií však zelené střechy vyžadují vyšší náklady než klasické střechy a návratnost tedy není vždy jistá. Řešením tohoto problému by bylo snížení cen za stavbu zelené střechy (Carter et Keeler 2008). V některých případech neměla zelená střecha žádný účinek na úspory během zimy (Santamouris et al. 2007). V jiných studiích dokonce zelená střecha vychází jako energeticky náročnější (kvůli velkým ztrátám tepla z vegetační vrstvy při pěstování subtropických rostlin během zimy) (Jim et Tsang 2011). Je tedy velmi důležité použít správné technologie, materiály, substrát a vegetaci pro dané klimatické podmínky. Pro lepší zhodnocení výsledků jsou však potřeba další studie.

4.1.3 Zvuková izolace

Zelené střechy a stěny také fungují jako izolace zvuková. Jako izolace funguje substrát i rostliny. Větší podíl na zvukové izolaci má substrát. Rostlinná vrstva absorbuje oproti substrátu nepatrné množství zvuku o vysoké frekvenci. Rozhodující je i mocnost substrátu. Substrát o mocnosti 20 cm absorbuje až 46 dB. „Rostliny redukuje zvuk absorpcí (přeměnou zvukové energie na pohybovou a tepelnou), reflexí (odrazem) a deflexí (rozptylem).“ (Minke 2001, s. 14) Neplatí však, že čím vyšší vrstva substrátu, tím větší výhody. Od mocnosti 20 cm se již pravděpodobně pozitivní efekty neprojevují (Van Renterghem et Botteldooren 2008). Zelená střecha má oproti klasickým střechám lepší zvukovou izolaci až o 10 dB (Dostálová et al. 2021). Dle jedné ze studií zelené střechy pohlcují zvuk o nízkých a středních frekvencích o 5–13 dB, o vysokých frekvencích o 2–8 dB. Zelené střechy mimo jiné díky absorpci snižují hluk na pouliční úrovni (Connelly et Hodgson 2008). Od stejných autorů je i novější výzkum, který ukázal snížení hluku o nízkých a středních frekvencích o 10–20 dB (Connelly et Hodgson 2013). Rozdílné hodnoty mohou být kromě jiných klimatických podmínek, ve kterých byl výzkum prováděn, kvůli jiným využitým materiálům, substrátu, vegetaci a metodice.

4.1.4 Ochrana střechy

Ochrana střechy je další funkcí zelených střech. „Vegetační souvrství chrání hydroizolaci střechy před mechanickým poškozením vlivem povětrnosti (např. krupobití, vichřice), činnosti člověka (např. proražení v důsledku nedbalosti, poškození zábavní pyrotechnikou), před degradací působením slunečního záření a před velkými výkyvy teplot.“ (Dostálová et al. 2021, s. 16) Také chrání před ozónem a průmyslovými odpadními plyny, které mohou způsobovat společně s deštěm a jinými faktory mechanické poškození a jejich degradaci v důsledku biologických a chemických procesů. Vegetační vrstva mimo jiné snižuje rozdíl teplot na přibližně 30 °C oproti 100 °C např. u střech s asfaltovými pásy. Při správném provedení je životnost zelené střechy téměř neomezená (Minke 2001).

4.1.5 Hospodaření s vodou a schopnost zadržovat vodu

Schopnost zelených střech a stěn zadržovat dešťovou vodu patří mezi jeden z nejdůležitějších benefitů zelených budov. Tato vlastnost má pozitivní vliv na celé město, jelikož zadrží první příval deště až do nasycení půdy, redukuje riziko záplav a snižuje zatížení kanalizační sítě (Dostálová et al. 2021; Minke 2001). „Zelená střecha absorbuje dešťovou vodu, dokud není zemina saturována, poté již začne voda ze zelené střechy odtékat.“ (Luckett 2009, s. 139) Jiní přirovnávají zelenou střechu s vegetací a substrátem k sítu či houbě (Weiler et Scholz-Barth 2009). Tato funkce může alespoň částečně omezit škody napáchané bouřkovými přeháňkami (Wilkinson et Dixon 2016).

Retenční potenciál zelené střechy primárně závisí na mocnosti substrátu, retenčních prvcích a jejich materiálech, retenční kapacitě drenážního systému, typu vegetace či intenzitě deště. Voda se zadrží v pórech substrátu, na povrchu rostlin, případně v drenážním systému, přebytek vody odteče. Rostliny vodu poté mohou využívat k závlaze v sušších obdobích (Vijayaraghavan 2016). Retenční potenciál je mimo jiné i výrazně ovlivněn sklonem střechy (Berardi et al. 2014).

Zelené střechy jsou schopny v krajních případech zadržet až 98 % dešťových srážek (DeNardo et al. 2003). Jiná studie mluví o mírnějších hodnotách 74 % pro extenzivní a 89 % pro intenzivní systém (Razzaghmanesh et Beecham 2014). Dle souhrnu studií z Německa se však retence pohybuje v průměru od 45 do 75 %, přičemž 45 % je u extenzivních střech a 75 % u střech intenzivních (Nagase et Dunnett 2012).

Pro představu, „ozeleněná střecha s 20 cm substrátu ze zeminy a keramzitu může podle Dürra (1995) zadržet 90 mm vody (= 90 l / m²), což v Německu odpovídá asi

měsíčnímu množství srážek.“ (Minke 2001, s. 15 ex. Dürr 1995) Dle výzkumu bylo zjištěno, že při intenzitě deště 20 l / m² za 15 minut oteklo z vegetační střechy o mocnosti 10 cm pouze 5 l / m², zatímco ze štěrkopískové střechy 16 l / m² (Minke 2001).

Co se týká kvality dešťových vod, zelené střechy a stěny mohou být jak zdrojem znečištění, tak i filtrem a úložištěm polutantů (Rowe 2011; Wang et al. 2017). Mají schopnost zadržovat různé chemické prvky, mohou však také uvolňováním některých prvků vodu znečišťovat (např. vápník, hořčík, fosfor a další). Některé vody kvůli znečištění ze zelených střech dokonce překročily hygienické standardy (např. u prvků jako fosfor, hliník, měď, železo, vanad a další) (Van Seters et al. 2009). Znečištění může být z velké části kvůli hnojivům a pesticidům. Dle dalšího zdroje se mohou uvolňovat i jiné kovy (např. zinek, olovo, kadmium, mangan, železo a další) či živiny (dusík, dusičnany, rozpuštěný organický dusík a uhlík, fosfor a další) (Wang et al. 2017).

Je několik faktorů, které ovlivňují toto případné znečištění, lze je rozdělit na faktory přímé a nepřímé. Přímými faktory znečištění je substrát a struktura vrstev zelené střechy. Nepřímými faktory pak jsou například rostliny, zavlažování, hnojiva, pesticidy, atmosférická depozice, déšť, stáří zelené střechy, lokální zdroje polutantů a další (Wang et al. 2017).

Kromě hnojiv a pesticidů může být zdrojem polutantů ovzduší, jelikož se polutanty ze vzduchu zachycují v zemině, což má naopak pozitivní účinek na čistotu ovzduší (Currie et Bass 2008; Yang et al. 2008), jak se lze dočíst v následující kapitole 4.1.6 *Čištění ovzduší*. Tyto polutanty přijaté z ovzduší se poté mohou dostat do odtoku dešťové vody ze střechy (Berndtsson et al. 2006).

Navzdory tomuto se však dá říct, že zelené střechy (a stěny) mají spíše pozitivní a aktivní účinek v čištění dešťových vod (Rowe 2011). Hranice, zda zelená střecha vodu čistí, či znečišťuje, je velmi problematická. Dle Berndtssona (2010) zelená střecha znečišťuje vodu v případě, že se z ní vyluhuje více polutantů, než je v dešťové vodě, nebo je v zelené střeše více polutantů než na střeše klasické, v ostatních případech vodu naopak čistí (Berndtsson 2010). Únik kovů ze zelených střech je však ve většině případů nižší než ze střech klasických (Göbel et al. 2007). Pro snížení rizika znečištění odtokové vody mimo jiné pomůže menší využívání hnojiv a pesticidů (Wang et al. 2017). Zelené budovy tedy lze obecně brát za pomocníka v otázce čištění dešťových vod a napomáhají tak k omezení zanášení měst jejichmi polutanty.

V zelených budovách se také začíná experimentovat s využitím šedých vod k závlaze. Šedá voda by tedy posloužila k závlaze, čímž se ušetří voda pitná a zároveň se voda v zelených střechách a stěnách vyčistí a není tím zatížená kanalizace. Tím

se budova stává ještě více soběstačnou. Více o tomto tématu se lze dočíst v kapitole 8. *Závlaha*.

4.1.6 Čištění ovzduší

Zelené budovy jsou ceněny také kvůli jejich schopnosti čištění ovzduší. Částečně tak nahrazují zeleň zabranou při stavbě budovy. „Rostliny mohou filtrovat částice prachu a nečistot ze vzduchu. Částice se zachycují na povrchu lístků a déšť je pak spláchne do země.“ (Minke 2001, s. 10) Kvalitu ovzduší ovlivňují přímo i nepřímo. Přírodním faktorem je spotřeba plyných polutantů, škodlivin a aerosolů, nepřímým faktorem je poté pozitivní vliv na klima ochlazením ovzduší a dobrými izolačními vlastnostmi, díky kterým se sníží spotřeba energií na vytápění a klimatizování budov (Berardi et al. 2014; Yang et al. 2008). V důsledku toho není do ovzduší vypouštěno množství plyných a pevných polutantů. Snížením teploty ovzduší je ve vzduchu také méně zvířeného prachu. Mimo jiné snižují kolísání vlhkosti, jelikož během sucha vypařují zvýšené množství vody (Minke 2001).

Jak je známo, rostliny, tedy i ty na zelených domech, vážou oxid uhličitý (CO_2) díky fotosyntéze a vyrábí kyslík. CO_2 je poté absorbován a ukládán v rostlině. Dle některých zdrojů dokážou zelené střechy a stěny vázat z ovzduší i těžké kovy (Minke 2001).

Co se týká účinnosti čištění, neúčinnější rostliny jsou v tomto ohledu stromy. Z tohoto důvodu jsou intenzivní střechy mnohem účinnější oproti střechám extenzivním, jelikož se na nich dají osázet stromy i keře (Currie et Bass 2008; Xiao et al. 2014). Zajímavostí je, že dle výpočtů by 1 m^2 zelené střechy mohl kompenzovat roční emise pevných částic 1 auta (Rowe 2011).

Pro představu, 109 ha zelených střech dokáže vyčistit z ovzduší 7 870 kg polutantů za rok (Currie et Bass 2008). Dle studie v Chicagu dokáže 19,8 ha zelených střech odebrat 1 675 kg polutantů za rok, což vychází na 85 kg/ha/rok. Z tohoto množství polutantů bylo poměrově 52 % ozonu (O_3), 27 % oxidu dusičitého (NO_2), 14 % pevných částic (PM_{10}) a 7 % oxidu siřičitého (SO_2). Obdobím, kdy je největší účinnost čištění bylo jaro, nejmenší pak v zimě (Yang et al 2008). Co se týká pevných částic, dle studie v Singapuru došlo kvůli zeleným střechám k navýšení množství pevných částic menších než 2,5 μm ($\text{PM}_{2,5}$) o 16 %, u částic menších než 10 μm (PM_{10}) pak až o 42 %. I přes navýšení však nebyl překročen jejich bezpečný povolený limit. U částic menších než 0,56 μm , které se dají považovat za nejnebezpečnější, došlo k úbytku o 24 %. Měření však probíhalo na střeše, je tedy pravděpodobné, že navýšení může být kvůli suspenzi částic ze substrátu, šterku a jiných materiálů ze zelené

střechy. Stejná studie také naměřila úbytek oxidu siřičitého (SO₂) o 37 %, kyseliny dusité (HNO₂) o 21 %, avšak navýšení množství kyseliny dusičné (HNO₃) o 48 %. Jak bylo psáno výše, hodnoty mohou být zkreslené, jelikož měření probíhalo přímo nad intenzivní zelenou střechou (Tan et Sia 2005).

4.1.7 Estetické a psychologické účinky

Je prokazatelné, že zeleň má pozitivní vliv na lidskou psychiku a výkonost (Kellert et Wilson 1993; Minke 2001). To samé platí i u zelených budov, které jsou v zastavěných městech příjemnou a vítanou změnou. Uklidňující dojem může způsobovat např. samotná přírodní krása bylin, travin a ostatních rostlin a dřevin, případně vegetace pohybující se ve větru. Příjemná může být také jejich vůně, která nahrazuje např. nepříjemný a škodlivý zápach asfaltových pásů (Minke 2001). V celkovém důsledku zlepšují vzhled města a vytvářejí prostředí pro odpočinek, relaxaci či sport (Dostálová et al. 2021).

4.1.8 Zvýšení účinnosti fotovoltaických panelů

V dnešní době klimatické krize se mimo zelených budov těší oblibě také fotovoltaické panely na střechách. Zelené střechy mohou mít pozitivní vliv na jejich účinnost, která při vysokých teplotách klesá. Dokážou pozitivně ovlivnit místní mikroklima, odparem a prouděním vzduchu pod panely znatelně snižují místní teplotu a tím zvyšují jejich účinnost (Dostálová et al. 2021). Fotovoltaické panely mají dvojitý pozitivní účinek, kromě výroby elektrické energie také částečně stíní zelenou střechu před nadměrným slunečním zářením a nadměrným výparem. Tím se snižuje stres rostlin v důsledku sucha, je tedy možné vybírat ze širšího spektra vegetace (Hui 2009; Hui et Chan 2011; Lamnatou et Chemisana 2015). Stín z panelů se ukázal jako důležitá pomoc i pro sazenice, které jsou na suchu a teplo ještě více citlivé. Díky tomu lze využít i rostliny, které by se jinak využít nedaly. To umožňuje mít na střeše větší rostlinnou diverzitu (Schindler et al. 2016).

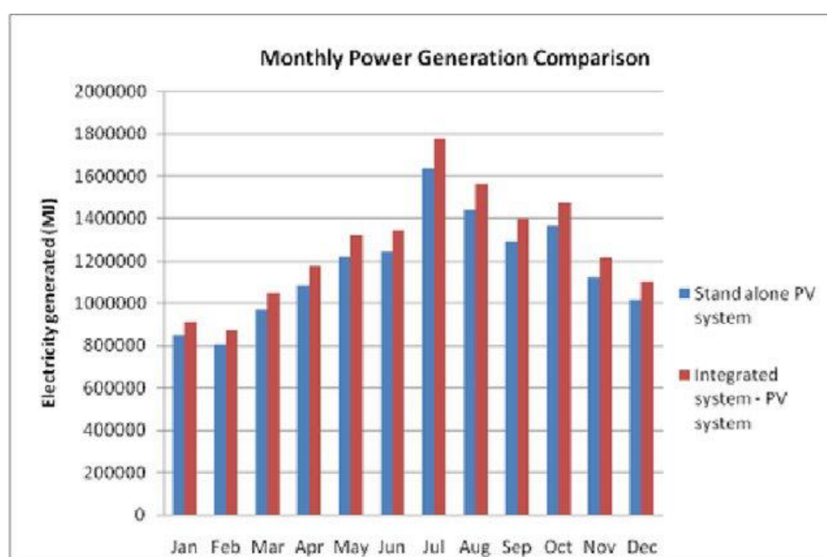
Případné zvýšení účinnosti závisí na správném návrhu systému a celkovém uspořádání u dané budovy s ohledem na klimatické podmínky. Panely by neměly být od vegetační vrstvy příliš daleko, jelikož je žádoucí, aby evapotranspirace přímo ovlivňovala panely. Teoreticky mohou zelené střechy omezit snížení účinnosti také redukcí pevných částic ze vzduchu (viz 4.1.6 *Čištění ovzduší*), které se mohou usazovat na fotovoltaických panelech a tím snižovat jejich účinnost, ovšem není to potvrzené studii (Hui et Chan 2011). Zvýšení účinnosti však závisí na mnoha dalších faktorech, jako jsou například využití rostliny, klimatické podmínky, evapotranspirace, albedo

a další. Mimo jiné fotovoltaické panely alespoň částečně chrání rostliny před přímým mrazem. Neposlední výhodou je také účinnější využití prostoru (Lamnatou et Chemisana 2015). Rostliny však nesmí být příliš vysoké a překrývat spodní část panelů, v takovém případě naopak jejich účinnost snižují (Dostálová et al 2021).

Zvýšení účinnosti (nebo přesněji řečeno zabránění snížení výkonu) díky zeleným střechám se u různých zdrojů liší. Jak bylo zmíněno výše, záleží na místních klimatických podmínkách a správném provedení. Jeden ze zdrojů píše o zvýšení účinnosti o 1–5 % (Dostálová et al. 2021), další o 6 % (Hui 2009) či 8,3 % (Hui et Chan 2011). Všeobecně lze tedy říct, že účinnost se díky správnému provedení a návrhu může zvýšit až o 8–9 %.

Dle výzkumu jsou benefity nejvíce pozorovatelné v teplých klimatech. Jako nejvhodnější rostlina k využití s fotovoltaickými panely v těchto klimatech se ukázala *Sedum clavatum* (rozchodník) (Lamnatou et Chemisana 2015).

Na obrázku 3 lze vidět porovnání výroby elektrické energie u fotovoltaických panelů na klasické střeše (Stand alone PV system) a u fotovoltaických panelů v kombinaci se zelenou střechou (Integrated system – PV system). Dle této studie měla ve všech měsících zelená střecha na výkon panelů pozitivní vliv. Nejvyšší nárůst byl dle předpokladu v letních měsících (Hui et Chan 2011).



Obrázek 3: Porovnání výkonu fotovoltaických panelů v průběhu roku u klasických střech a zelených střech (Hui et Chan 2011)

4.1.9 Ostatní výhody

Zelené budovy nabízejí i plno dalších menších či větších benefitů. Toto vegetační prostředí je velmi důležitým faktorem pro život, i když je na uměle vybudované ploše.

Může alespoň částečně obnovit biodiverzitu ztracenou v důsledku záboru půdy (Vijayaraghavan 2016). „Zelené střechy jsou vítaným prostorem nejen pro rostliny, ale i pro život drobných živočichů. Útočiště zde najdou různé druhy ptactva, brouků, motýlů a jiného hmyzu, často i vzácných druhů, jejichž úbytek v přírodě je kvůli znečištění životního prostředí a intenzivní zemědělské činnosti v posledních desetiletích alarmující.“ (Dostálová et al. 2021, s. 13)

Jedním z nejvýznamnějších benefitů může být také začlenění stavby do okolní krajiny a celkové zlepšení estetické stránky. Taková budova poté nenarušuje ráz či panorama krajiny. Budova může být i částečně zabudována ve svahu, případně může vegetace pozvolna přecházet ze zahrady až na střechu. Zelené střechy jsou výhodné i z hlediska protipožární ochrany, jelikož jsou pokládány za nehořlavé (Minke 2001).

Za velmi příjemný a užitečný benefit se dá považovat možnost pěstování potravin. Obyvatelé či uživatelé budovy zde mohou pěstovat ovoce, zeleninu, bylinky a jiné užité rostliny, například na střeše svého bytového domu. Zahrada může mít i komerční využití jako například venkovní zahrádka restaurace. Neposledním benefitem je také zvýšení užité i celkové peněžní hodnoty nemovitosti (Dostálová et al. 2021).

4.2 Nevýhody zelených budov

Jako všude jinde, i u zelených budov lze nalézt určité nevýhody, které však dle studií nemohou zastínit velkou řadu významných benefitů.

První nevýhodou je jistá finanční náročnost na stavbu a také vyšší finanční nároky na údržbu takové střechy (Wilkinson et Reed 2009). Dle studií mohou být privátní benefity menší než případné benefity veřejné, je tedy velmi důležitá určitá motivace a podpora od státu či města, jako například úleva nebo osvobození od daně či různé dotace, které mohou motivovat obyvatele a investory pro stavbu zelených domů (Nurmi et al. 2013; Tsang et Jim 2011). Nákladná může být také případná budoucí likvidace či rekonstrukce. Pravděpodobnost návratnosti či budoucího zisku z investice do zelené střechy je však dle jedné ze studií mnohem pravděpodobnější než případná ztráta. Jako další motivace by tedy mohla sloužit například dotace na údržbu (Bianchini et Hewage 2012).

Jak již bylo psáno výše (viz 4.1.5 *Hospodaření s vodou a schopnost zadržovat vodu*), zelené budovy mohou způsobovat určité znečištění vody. Mimo to, pravděpodobně i stavba zelené střechy či stěny má větší ekologickou stopu, než tomu bývá u klasické budovy, jelikož je většinou potřeba více stavebních prací a materiálů. Z dlouhodobého hlediska to však střechy vybalancují. Problémem může být i malé využívání

recyklovaných a ekologických materiálů na potřebné stavební prvky, jelikož je jejich výrobou podporováno využívání neobnovitelných zdrojů (Berardi et al. 2014).

Mezi další nevýhody lze řadit například větší riziko zatékání vody při porušení izolace, jelikož vrstva substrátu může zadržovat velké množství vody oproti klasické střeše, odkud voda odteče v podstatě ihned (Wilkinson et Reed 2009). Problém může být i s rostlinami, které jsou sice z estetického hlediska vítaným prvkem, avšak tak jako všude jinde, i zde mohou lidem způsobovat problémy s alergickou reakcí. Další nevýhodou je také riziko případného pádu ze střechy, jelikož oproti klasickým střechám, kam běžně není volný přístup, se u zelených střech více počítá s volným pohybem lidí. Toto se však dá vyřešit vhodným technickým řešením zabezpečení potenciálně nebezpečných míst.

5. Zelené střechy

Benefity zelených střech již byly popsány v předešlých kapitolách, v této kapitole jsou popsány hlavně z technického hlediska. Dle studie je povrch střech v městské zástavbě v průměru okolo 28 %, v centrech měst to může být ještě více, z tohoto důvodu se jejich využití určitě nedá brát za zanedbatelné (Jacobson et Ten Hove 2012).

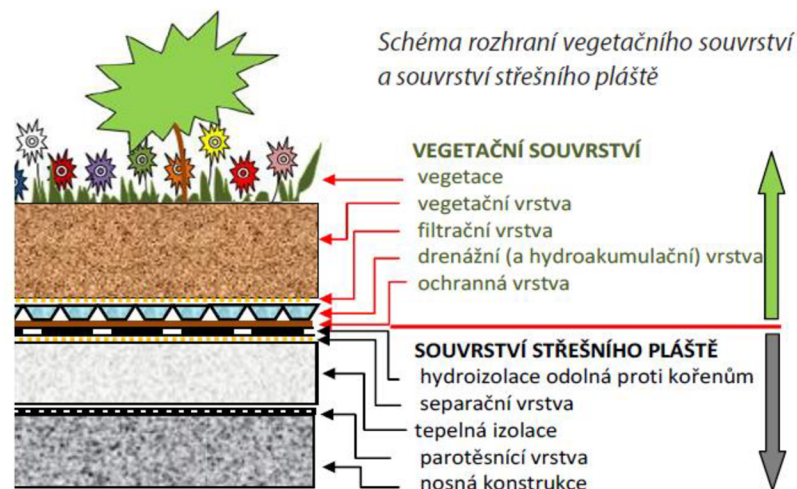
5.1 Technické řešení a popis částí zelených střech

Ke stavbě zelené střechy je nutný plán a pečlivá příprava. Každá střecha je trochu jiná a má jiné klimatické podmínky, její návrh tedy není na každou střechu univerzální. „Aby zelená střecha správně fungovala, musí být zajištěna souhra mezi požadavky stavby a potřebami zeleně.“ (Dostálová et al. 2021, s. 10)

Zelenou střechu lze rozdělit na 4 části – nosnou střešní konstrukci, střešní plášť, vegetační souvrství a funkční vrstvu. Zelená střecha začíná nad střešním pláštěm, od kterého ho dělí hydroizolace (Dostálová et al. 2021).

Základní popis vrstev je zobrazený na obrázku 4. Zelená střecha začíná od hydroizolace, která chrání střechu před vlhkostí a prorůstáním kořenů. Na ní je položena ochranná vrstva, která chrání hydroizolaci proti poškození, drenážní vrstva slouží k odtoku vody (součástí může být i hydroakumulační vrstva, která může uchovávat dešťovou vodu k případné samozávlaze), filtrační vrstva chrání drenážní vrstvu před zanesením částičky půdy z vegetační vrstvy, vegetační vrstva je poté základním prvkem pro růst a kořenění rostlin, které tvoří vrstvu vegetace (Burian et al. 2019;

Dostálová et al. 2021). V závislosti na klimatu je součástí také závlahový systém, který je v extrémních podmínkách potřebný u většiny střeš (Besir et Cuce 2018).



Obrázek 4: Schéma a popis vrstev vegetačního souvrství a střešního pláště. Hranicí mezi nimi je hydroizolace, která je nejsvrchnější součástí střešního pláště (Burian et al. 2019)

Provedení může být buď klasické nebo modulární. U klasických zelených střeš je vegetační souvrství rozprostřeno v celku po celé střeše. Modulární střešy jsou zhotoveny a složeny v jeden celek pomocí samostatných modulů. Výhodou těchto modulů je, že mohou být přivezeny a osazeny přímo na místo i s vegetací. Lze vybrat přesný tvar a rozlohu zelené střešy, případně mohou být časem zmenšeny, či jinak upravovány bez složitých zásahů, pouze s odebráním modulů. Využívají se zejména u extenzivních střeš (Luckett 2009).

5.2 Rozdělení dle nároku na péči

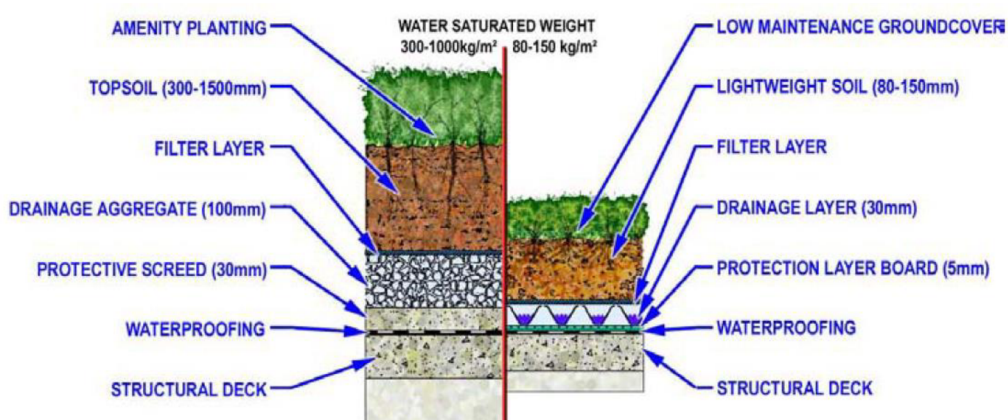
Zelené střešy lze rozdělit podle různých parametrů. Nejčastější rozdělení zelených střeš je dle nároku na péči a míry autoregulace na střešy extenzivní, intenzivní

	Biotopní ZS	Extenzivní ZS	Polo-intenzivní ZS	Intenzivní ZS
Mocnost substrátu (mm)	60-200	60-200	120-300	300<
Hmotnost (kg/m ²)	60-200	60-300	120-350	300<
Pořizovací náklady	nízké	střední	vyšší	vysoké
Nutnost závlahy	ne	ne	občas	pravidelně
Údržba	1-2× ročně	1-2× měsíčně	1-2× měsíčně	jako u běžné zahr.
Sklon střešy	spíše ploché	ploché i šikmé	ploché	ploché
Pochozí	spíše ne	spíše ne	spíše ano	ano
Využití	ekologické	ekologické	zahrada	park/ zahrada
Vhodná vegetace	náletová	rozchodníky, trvalky, byliny, trávy	trávy, byliny, trvalky, dřeviny	trávník, trvalky, keře, stromy

Tabulka 2: Porovnání parametrů zelených střeš (ZS) rozdělených dle nároků na péči. Uvedené hodnoty jsou pouze přibližné a mohou se lišit. Hmotnost substrátu se počítá v nasyceném stavu. Zdroje hodnot (Besir et Cuce 2014; Burian et al. 2019; Čermáková et Mužíková 2009; Dostálová et al. 2021)

a polointenzivní, kdy střechy extenzivní jsou nejjednodušší, intenzivní složitější a s větší zelení, polointenzivní jsou poté kombinace obou typů. Jako poslední typ lze brát biotopní ozelenění střech, které je většinou samovolné a neplánované. Toto rozdělení však nemá přesně určené hranice a není tak vždy jasné, k jakému typu danou střechu přiřadit, proto jsou kapitoly níže pouze přibližné. Na jedné střeše může být i kombinace těchto typů s různou mocností substrátu. Porovnání střech dle jednotlivých parametrů lze vidět v tabulce 2.

Na obrázku 5 je porovnání možné skladby vrstev u intenzivní a extenzivní zelené střechy. Porovnání je však pouze přibližné, přesné složení je závislé na návrhu dané střechy. Více o tématu viz kapitola 5.4 *Rozdělení dle skladby vegetačního souvrství*.



Obrázek 5: Porovnání možné skladby vrstev u intenzivní a extenzivní zelené střechy. Jak lze vidět, vrstvy jsou v podstatě totožné, liší se však jejich mocnost, provedení, případně materiál. Popis jednotlivých vrstev odpovídá obrázku 4 (Townshend 2007)

5.2.1 Biotopní zelené střechy

Jedná se o střechy, které jsou ozeleněné přirozenou cestou a vegetace zde není nijak vysazována. Založení takové střechy může být úmyslné (přípravou substrátu na střechu), případně zcela samovolné. Na střeše není nutná žádná závlaha, údržba vegetace, ani hnojení. Střecha je plně samoregulována. Jelikož se zeď vysazuje přirozeně náletem, rostliny jsou přizpůsobené místnímu klimatu a stanovištním podmínkám. Pouze při náletu větších rostlin (který je většinou způsoben přílišnou mocností substrátu) je nutná občasná údržba a jejich likvidace (Čermáková et Mužíková 2009).

5.2.2 Extenzivní zelené střechy

Jedná se o minimalistické, jednoduché zelené střechy, které jsou výhodné díky snadnější výstavbě, nízkým nárokům na péči, malé mocnosti substrátu a tím i nízké hmotnosti, méně náročné vegetaci, většinou bez nutnosti závlahy, ta je nutná pouze v době

extrémního sucha (Dostálová et al. 2021). Rostliny je nutné co nejvíce přizpůsobit stanovištním podmínkám a musí dlouhodobě snášet extrémní podmínky. Nejvhodnější rostliny jsou tučnolisté, suchomilné a skalničky nenáročné na zavlažování. Není nutná vysoká mocnost substrátu, která vytváří pro dané rostliny konkurenční prostředí (náletové rostliny). Údržba je častější než u biotopních střechech, avšak záleží dle provedení. Nutná je pouze 1–2× do roka, pro odstranění nežádoucích náletů a případné přihnojení (Burian et al. 2019). Extenzivní střecha je tak ideální na předělání klasických střechech bez nutnosti větších konstrukčních zásahů (Wilkinson et Dixon 2016).

5.2.3 Polointenzivní zelené střechy

Tyto střechy jsou kombinací mezi střechami extenzivními a intenzivními. Kombinují tak výhody obou typů, avšak jsou levnější a méně náročnější než střechy intenzivní. Oproti extenzivním střechám je možný širší výběr vegetace a je možné využít i menší dřeviny či rostliny náročnější na závlahu a živiny. Údržba je však podobná jako u střechech extenzivních, v závislosti na využití vegetaci (Burian et al. 2019). Polointenzivní střechy jsou občas brány jako „náročné extenzivní“ nebo „jednoduché/ primitivní intenzivní“ střechy (Čermáková et Mužíková 2009).

5.2.4 Intenzivní zelené střechy

Tento typ střechech se svým vegetačně bohatým vzhledem nejvíce blíží okrasné zahradě či parku. Jsou u ní však nejvyšší nároky jak finanční, tak i stavební a údržbové. Finanční náročnost je oproti ostatním typům vysoká u pořízení i následné údržby. Intenzivní střecha vyžaduje stálou péči a údržbu stejně jako běžná zahrada. Mimo jiné jsou kladeny vyšší nároky také na stavební konstrukci střechy a skladbu vrstev. Další nutností je umělé zavlažování, jelikož je již využívána náročnější vegetace. Možnosti výsadby jsou téměř neomezené, limitem je pouze výška dřevin a velikost kořenů (tedy mocnost substrátu). Je však nutné počítat i s prostorem na případné nářadí a zahradní techniku. Střechy jsou však přizpůsobené i na případnou chůzi a lze je tedy využívat k rekreačním, komerčním či reprezentativním účelům. Vzhledem k stále většímu úbytku orné půdy jsou pokusy využít zelené střechy jako případnou zemědělskou plochu (Čermáková et Mužíková 2009; Dostálová et al. 2021). Intenzivní zelené střechy se téměř výhradně realizují na plochých střechách (Minke 2001). Tyto střechy se dají jen velmi obtížně vybudovat na klasických střechách, jelikož je většinou nutný zásah do konstrukce střechech. Z toho důvodu se střechy využívají spíše u nových budov.

5.3 Rozdělení dle sklonu střechy

Jedním z rozhodujících činitelů při návrhu zelené střechy je její sklon. „Sklon střechy ovlivňuje, jaký typ zeleně lze použít a jaká opatření pro zajištění stability vegetačního souvrství je nutno vykonat.“ (Čermáková et Mužíková 2009, s. 34) Střechy se dělí podle sklonu na ploché, šikmé (s mírným a velkým sklonem) a strmé viz tabulka 3. Kvůli vysoké finanční a technické náročnosti je však většina střech plochá, případně s mírným sklonem. Dle české normy je kvůli případnému nezadržování vody doporučován 3% sklon (v zahraničí i 2%). Avšak od sklonu 3° (5,2 %) je nutné souvrství střešního pláště zabezpečit proti sjíždění například vhodnými kotevními prvky. U šikmých a strmých střech je již většinou nutná stabilizace vegetačních vrstev proti sesuvu (Dostálová et al. 2021).

Typ střechy	Sklon (°)	Sklon (%)
Plochá	do 5	do 8,75
Šikmá s mírným sklonem	5–20	8,75–36,40
Šikmá s velkým sklonem	20–45	36,40–100
Strmá	45–90	nad 100

Tabulka 3: Rozdělení střech dle jejich sklonu (Čermáková et Mužíková 2009)

Čím větší sklon u střechy je, tím extrémnější a pro rostliny náročnější podmínky na ní panují. Vegetaci na střeše s velkým sklonem může negativně ovlivňovat (ve větším měřítku než u ploché střechy) například intenzivní sluneční záření či srážky, vysychání, silný vítr, případně vodní či větrná eroze. Proto je mimo sklon důležité brát v úvahu i nároky vegetace (Čermáková et Mužíková 2009).

5.3.1 Ploché střechy

Jak bylo psáno výše, jako ideální varianta v důsledku nižší ceny a technické náročnosti vycházejí střechy ploché. U sklonu do 5 % je potřeba vyšší tloušťka drenážní vrstvy, není však potřebná tak silná vrstva hydroakumulační. Jako ideální sklon se bere sklon 2–5 %, u menších sklonů jsou již problémy s odvodňováním (Čermáková et Mužíková 2009). U takových střech s malou vrstvou substrátu a bez drenážní vrstvy je nevýhodou možné udržování vysoké vlhkosti, která nesvědčí některým rostlinám, například travám, kterým může omezovat rostlinné dýchání. V důsledku toho mohou rostliny odumírat, případně je může vytlačovat mech (Minke 2001).

5.3.2 Šikmé střechy

Šikmé střechy se v historii využívaly hlavně jako ochrana před nepříznivými podmínkami. Jedná se o střechy se sklonem 5–45°. U šikmých střeš se zvyšuje potřeba hydroakumulační vrstvy, oproti vrstvě drenážní. Podobně jako u klasických střeš, i u těch zelených je mnoho tvarů, například střecha sedlová, pultová, stanová, valbová a další. Co se týká hřebenu, ten je možno buď nechat bez zeleně (v takovém případě slouží i jako ochrana proti erozi), nebo ho lze ozelenit, je však nutné ho pro ozelenění zaoblit. Střechy se sklonem do 30° se většinou dají ozelenit bez komplikací, vyšší sklony už jsou vhodné pouze pro extenzivní zeleň. Technické záležitosti takových střeš se již řeší individuálně, mimo jiné je u nich nutné využití systému proti sesuvu vegetačního souvrství (Čermáková et Mužíková 2009). Při sklonu od 5° není v některých případech nutná drenážní vrstva, jelikož takovou úlohu může plnit substrát, to má za následek snížení nákladů (Minke 2001).

5.3.3 Strmé střechy

Jedná se o střechy se sklonem vyšším, než je 45°. Tyto střechy se využívají velmi málo kvůli jejich vysoké náročnosti z hlediska návrhu, provedení i ceny. Stabilizace vrstev proti sesuvu je již naprostou nutností. Podobně jako u šikmých střeš, i zde je výhodou atraktivní vzhled, jelikož je jejich ozelenění vidět již na první pohled oproti plochým střešám, kde často vidět není (Dostálová et al. 2021). Jedním z příkladů využití může být budova OC Nový Smíchov v Praze, kde je sklon jedné ze zelených střeš neuvěřitelných 58 %.

5.4 Rozdělení dle skladby vegetačního souvrství

Zelené střechy lze rozdělit dle vegetačního souvrství na jednovrstvé a vícevrstvé. Takové vrstvy poté využívají jiné materiály a jejich funkčnost je mírně odlišná. Rozdíly však nejčastěji spočívají v rozdílném pořadí vrstev, jelikož je zásadní pro návrh vrstev sklon střechy a plánovaná vegetace (Čermáková et Mužíková 2009). Porovnání těchto typů lze vidět v příloze 1.

5.4.1 Jednovrstvá skladba

Jedná se o velmi jednoduché a levné řešení, které je ideální pro menší extenzivní střechy. Je vhodná na šikmější sklon, kde je zajištěn přirozený odtok vody a nehrozí přílišné udržování vlhkosti a tvorba kaluží. Substrát v tomto případě slouží jako vrstva vegetační, drenážní i hydroakumulační. Důležitý je substrát s vhodnou zrnitostí

a dostatečnou propustností. Drenážní schopnost se dá zlepšit využitím drenážních kanálků (Dostálová et al. 2021).

5.4.2 Vícevrstvá skladba

Je zde více samostatně funkčních vrstev oproti jednovrstvé skladbě. Navíc se využívá vrstva filtrační, drenážní (může být i v kombinaci s hydroakumulační), případně samostatná hydroakumulační. Může být využita i svrchní a spodní vrstva substrátu. Vícevrstvá skladba se využívá v podstatě u všech typů zelených střech, tedy intenzivních, polointenzivních i extenzivních (Dostálová et al. 2021). Popis těchto vrstev je znázorněn na obrázku 4 v kapitole *5.1 Technické řešení a popis částí zelených střech*.

U vícevrstvé skladby s drenážní sypaninou slouží drenážní sypanina jako drenážní vrstva a lze pomocí ní dorovnávat celkovou mocnost vegetační vrstvy. Dají se v ní využít i přídavné drenážní kanálky. U vícevrstvé skladby s drenážní nopovou fólií slouží fólie jako drenážní a případně i hydroakumulační vrstva. Tento typ má lepší drenážní schopnosti. Posledním typem je vícevrstvá skladba se zvýšenou hydroakumulací, která je ideální pro náročnější vegetaci, případně místo s malým úhrnem srážek. Není vhodná pro extenzivní střechy se suchomilnou vegetací, kde může způsobit zaplevelení (Burian et al. 2019).

5.5 Rozdělení dle funkce střechy

Další možností, podle čeho lze dělit zelené střechy, je jejich primární funkce. Jak již bylo psáno v kapitole o benefitech, tyto střechy mají plno výhod a dle toho také funkcí.

5.5.1 Retenční zelené střechy

Hlavní funkcí takových střech je zadržení dešťové vody a tím zpomalení odtoku do kanalizace během jejího největšího zatížení. Příliš vysoká hydroakumulace zelené střechy je však nevhodná pro suchomilné rostliny. Ta také může podporovat růst plevele (Dostálová et al. 2021). Popis funkcí a jejich výhod je popsán v kapitole *4.1.5 Hospodaření s vodou a schopnost zadržovat vodu*.

5.5.2 Střechy pro podporu biodiverzity

Tento typ střech je určen pro rozvoj a podporu biodiverzity, tedy na velkou rozmanitost různých rostlin, živočichů a bezobratlých. Může zde být proměnlivý substrát a vegetace. Takové střechy většinou představují nějaké dané prostředí (Burian et al. 2019).

5.5.3 Kombinované střechy s fotovoltaickými panely

Kombinace zelených střech a fotovoltaických panelů je jednou z velmi doporučovaných možností využití. Kromě zvýšení energetické nezávislosti budovy má zeď pozitivní vliv na účinnost panelů v létě. Je ale nutné využívat nižší vegetaci, u které nehrozí případné zastínění spodní části panelů, což by naopak mělo negativní vliv na jejich účinnost (Dostálová et al. 2021). Panely naopak svým stínem mohou rozšířit škálu možných rostlin vhodných k pěstování na takové střeše, jelikož některé typy vegetace nejsou vhodné pro pěstování na přímém slunečním světle. Více o benefitech takových střech je popsáno v kapitole 4.1.8 *Zvýšení účinnosti fotovoltaických panelů*.

5.5.4 Pěstební střecha

Dalším funkčním typem zelené střechy může být pěstební střecha. Tyto střechy mohou sloužit pro produkci ovoce, zeleniny, bylin či jinak prospěšných rostlin. Tento způsob je ideální například pro různé komunity, bytové domy, restaurace či hotely, které mohou produkci přímo využívat (Burian et al. 2019). Je však nutné myslet na dostatečnou závlahu a mocnost substrátu (mohou zde být i vyvýšené záhony). Dle studie byly plody z klasické zahrady ve většině případů větší, při zavlažování se však jejich velikost i množství zvýšilo a rozdíl oproti plodům z klasické zahrady byl minimální. Roli hraje také využití hnojiv (Whittinghill et al. 2013). Výhodou pro některé typy rostlin by mohlo být i o něco vyšší sluneční záření na střeše. Pro komerční pěstování vzhledem k jejich vysoké ceně nejsou vhodné.

5.5.5 Ostatní či možné budoucí funkce

Pro komerční využití může být vhodná střešní zahrada, která může sloužit jako venkovní zahrádka restaurace či podobného podniku. Mimo jiné je vhodná pro kancelářské či bytové domy díky jejím pozitivním psychologickým účinkům (viz kapitola 4.1.7 *Estetické a psychologické účinky*).

Možným budoucím využitím může být mokřadní čistička. Ta je ideální v kombinaci s retenčními střechami, kdy může vzniknout kořenová čistírna šedých vod. Zde se využívají mokřadní rostliny dobře snášející zvýšené vlhko. Čištěním šedých vod vzniká zásoba vody pro závlahu jiných ploch (Dostálová et al. 2021). Tomuto tématu se více věnuje kapitola 8.3 *Využití šedých vod*.

Podobnou funkci má také zeleno-modrá střecha, která využívá kombinaci zelené střechy, pod níž je tzv. modrá střecha, která slouží jako zásobník dešťové vody (Shafique et al. 2018). Tomuto tématu se věnuje kapitola 8.4 *Využití dešťových vod*.

5.6 Rozdělení dle přístupnosti

Jedním z posledních běžných dělení zelených střech je dle jejich přístupnosti. Střechy mohou být nepochozí, pochozí či pobytové. Přístupnost u střech je znázorněna v tabulce 2 v kapitole 5.2 *Rozdělení dle nároku na péči*.

5.6.1 Nepochozí zelené střechy

Tento typ není určen pro běžné pohybování se po střeše, přístup je možný pouze pro nutnou údržbu či kontrolu stavu. Využívá se hlavně u biotopních a extenzivních střech, u kterých je využita nenáročná vegetace na údržbu (Burian et al. 2019).

5.6.2 Pochozí zelené střechy

Tyto střechy jsou určené pro pohyb určitého okruhu osob. Využívá se též nenáročná vegetace, proto je vhodné vytvoření chodníků, aby se zabránilo sešlapávání vegetace (Dostálová et al. 2021).

5.6.3 Pobytové zelené střechy

Střechy jsou běžně přístupné a určené pro pohyb osob. Může se jednat o zahrady, terasy či jiné typy zelených střech. Nejčastěji se jedná o intenzivní zelené střechy s bohatší a více odolnou vegetací. Je možná i terénní modelace v kombinaci s náročnějšími dřevinami, avšak je nutné počítat s náročnější a nákladnější údržbou. Mimo jiné musí být zajištěna bezpečnost návštěvníků proti pádu ze střechy (Dostálová et al. 2021). Prostor je možné využít i jako pěstební střechu, pro relaxaci, sport a jiné.

5.7 Přestavba z klasické střechy

Jak již bylo zmíněno, přestavba na zelenou střechu z klasické střechy je do budoucna velmi důležitá, jelikož dle předpokladu je již nyní na světě postaveno 87 % budov, které budou stát v roce 2050 (Kelly 2009). Jde tedy o důležitou přípravu staveb na, velmi pravděpodobně nevyhnutelné, budoucí ekologické změny a jeden z významných faktorů udržitelného rozvoje ve 21. století. Výhodou přestavby je například prodloužení životnosti střešní konstrukce na dvojnásobek (tedy pokud má střešní konstrukce životnost 25 let, prodlouží se na 50 let), jelikož na ní přímo nepůsobí vnější degrační procesy (Wilkinson et Dixon 2016). Avšak hlavním motivačním prvkem

pro majitele je většinou zvýšení tepelné izolace budovy. Taková přestavba však přináší spoustu komplikací a nákladů, jelikož je velmi často nutná rekonstrukce celého domu (Dostálová et al. 2021).

Před plánovanou přestavbou je zásadní a nevyhnutelné střechu a celou budovu prověřit, zda je k takové přestavbě vhodná. Primárně kontrolou, zda jsou materiály a konstrukce dostatečně zachovalé a provedení celého střešního souvrství v pořádku. Neméně důležitou věcí je i případná nosnost střechy, jelikož se celková hmotnost střechy zásadně navýší o hmotnost všech přidaných vrstev, prvků, substrátu a vegetace. Další položkou je stav hydroizolace, která musí být v naprostém pořádku. Nesmí u ní být žádná prasklina ani netěsnost, proto je vždy jistější a doporučené položení nové hydroizolace, ideálně odolné proti prorůstání kořenů. Pokud je ponechána nepropustná hydroizolace původní, měla by se přidat samostatná vrstva proti prorůstání oddělená separační vrstvou. Často je nutné vyměnit či zvýšit tepelnou izolaci, která nemusí být vhodná pro zelenou střechu. Střecha musí mít i minimální požadovaný sklon. Na povrchu se nesmí tvořit kaluže, jelikož by se v budoucnu mohla mezi původní a zelenou střechu zachytávat voda. Ta by poté mohla vést k úhynu zeleně, nebo k destrukci střešního pláště, případnému průsaku a dalším škodám na majetku. Je nutné prověřit i stav a kapacitu stávajících odvodňovacích prvků, které jsou často nedostatečné a musí se upravit. Důležitá je také přístupnost na střechu, jelikož i nenáročná extenzivní střecha potřebuje občasnou péči (Dostálová et al. 2021; Wilkinson et al. 2015; Wilkinson et Dixon 2016).

V případě, že je střecha vyhovující či byla upravena do takového stavu, může začít příprava přestavby. Přestavba by však neměla negativně ovlivnit historickou hodnotu budovy. Nejprve je nutné vybrat, zda bude střecha intenzivní či extenzivní. Dle průzkumu lze zjistit, jaký substrát a vegetaci je vhodné využít. Ve většině případů se u takové přestavby využívají střechy extenzivní, které jsou nenáročné a nezatěžují v takové míře střešní konstrukci. Velmi často není při využití extenzivní střechy nutná přestavba, ani zesílení její konstrukce. U extenzivních střech se dá využít modulární systém, kdy je vegetace osázena v jednotlivých modulech, které se vzájemně propojují a jejichž výhodou je méně náročná stavba, předem vzrostlá vegetace a možnost absence ochranné vrstvy proti prorůstání kořenů. V ojedinělých případech se využívají i střechy intenzivní, ty jsou nicméně těžší, hlubší, a tedy i náročnější a nákladnější na přestavbu (Wilkinson et Dixon 2016).

6. Zelené stěny

Poslední dobou získávají zelené stěny stále větší oblibu hlavně v hustě obydlených městech. V jednoduchosti se jedná o vnější fasádu budovy nebo samostatně stojící konstrukci u vnějšího pláště budovy pokrytou vegetací. Stejně jako zelené střechy, i zelené stěny mají pozitivní vliv na budovu i její okolí. Mezi výhody patří například snižování teploty a vliv na okolní mikroklima, zvýšení tepelné izolace budovy a další benefity, které jsou popsány v kapitole 4.1 *Výhody zelených budov*. Kromě toho také chrání fasádu budovy před větrem, slunečním zářením, kyselým deštěm a dalšími destruktivními faktory (Besir et Cuce 2018). Zelené stěny pravděpodobně mají znatelnější pozitivní vliv na lidskou psychiku, jelikož oproti zeleným střechám jsou více viditelné a vnímatelné. Co se týká vlivu na životní prostředí, dle jedné ze studií mají oproti zeleným střechám mnohem větší vliv, jelikož pokrývají větší plochu. Například u výškových budov může být jejich plocha až 20× větší (Pérez et al. 2014).

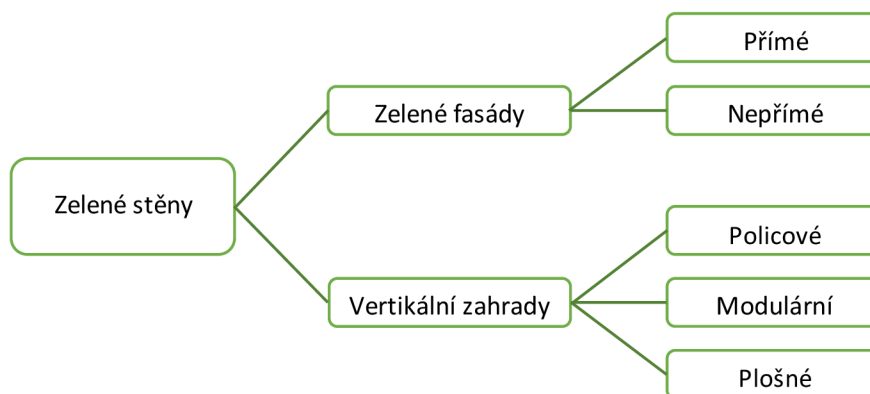
Velkou výhodou zelených stěn je jejich minimální náročnost na prostor, dají se tak využít i v hustě zastavěné oblasti (Burian et al. 2022). V posledních letech se zkoumá jejich možné využití na čištění šedých vod, které se poté dají využít i jako závlaha (Addo-Bankas et al. 2021).

6.1 Technické řešení a popis částí zelených stěn

Zelené stěny jsou, co se týká konstrukčních prvků, oproti zeleným střechám značně jednodušší. Záleží zejména na typu zelené stěny. Ty nejjednodušší, i dříve využívané, si vystačí ve své podstatě pouze se substrátem a dostupnou stěnou. Nově budované zelené stěny jsou však z technického hlediska složitější a náročnější na výstavbu i údržbu. U moderních zelených stěn je jejich běžnou součástí vegetace, substrát, nosná konstrukce (součástí mohou být i boxy na substrát), závlaha a drenáž (Addo-Bankas et al. 2021). Konkrétnější popis je v následující kapitole u každého typu zvlášť.

6.2 Rozdělení zelených stěn

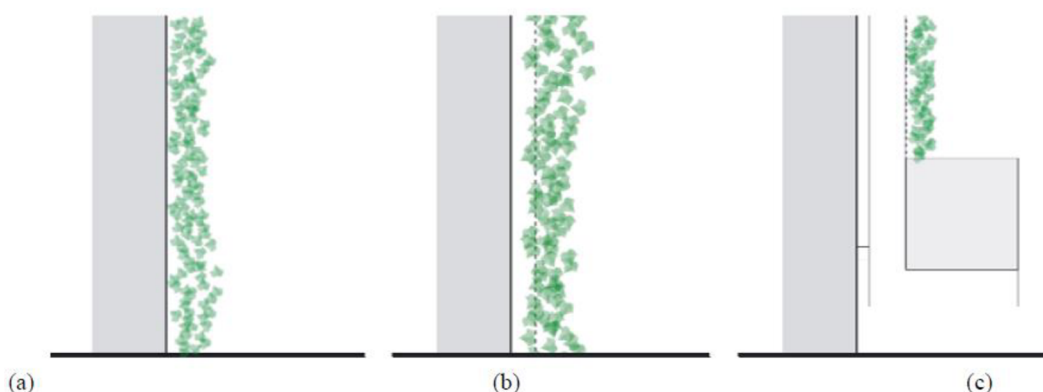
Je několik typů zelených stěn, u všech je však hlavním záměrem jejich ozelenění. Rozdělují se dle místa, kde vegetace koření, konstrukční metody či média pro růst. Hlavní dělení je na zelené fasády se zelení spojenou s volnou půdou (zkráceně zelené fasády) a vertikální zahrady. Na obrázku 6 je možné vidět rozdělení dle daných zdrojů (Addo-Bankas et al. 2021; Burian et al. 2022; Manso et Castro-Gomes 2015).



Obrázek 6: Nejčastější klasifikace zelených stěn dle konstrukčních charakteristik (Burian et al. 2022; Manso et Castro-Gomes 2015)

6.2.1 Zelené fasády

Jedná se o fasády se zelení spojenou s volnou půdou u paty objektu, případně se substrátem v nádobě. Je to nejjednodušší typ zelených stěn, který se často využíval i v historii a byl oblíbený u rodinných domů. Tyto stěny jsou levnější, avšak trvá velmi dlouho, než rostliny stěnu obrostou. Dříve se využívaly pnoucí dřeviny či ovocné dřeviny pěstované u zdi do plochých tvarů (Burian et al. 2022). Zelené fasády jsou děleny na přímé (samopnoucí) a nepřímé (nesamopnoucí). Nepřímé se dají ještě dále dělit (viz obrázek 7). Rostliny mohou růst směrem nahoru, případně dolů, pokud jsou zavěšené v určité výšce v nádobě. U pnoucích rostlin přímých fasád s jejich růstem a zvyšující se hmotností časem hrozí riziko pádu, proto je vhodné využít nepřímý systém (Manso et Castro-Gomes 2015). Tyto fasády vyžadují specifické, odolnější rostliny, které nejsou náročné na zálivku, vydrží zelené po celý rok a negativně neovlivňují vzhled stěny například během zimy (Perini et al. 2011).



Obrázek 7: Rozdělení zelených fasád. Zelené fasády přímé (a), nepřímé s konstrukcí (b) a nepřímé s konstrukcí a pěstitelskými nádobami (c) (Perini et al. 2011)

Přímé zelené fasády využívají samopnoucí rostliny, které se pnou přímo na zeď (viz obrázek 7 – typ a). Tento typ byl využíván hlavně v dřívějších dobách. Výhodou je

nenáročnost, kdy není potřeba žádná konstrukce či zavlažování. Vegetace roste z volné půdy u stěny. Nevýhodou však může být případné poškození či znečištění stěny pnoucí rostlinou.

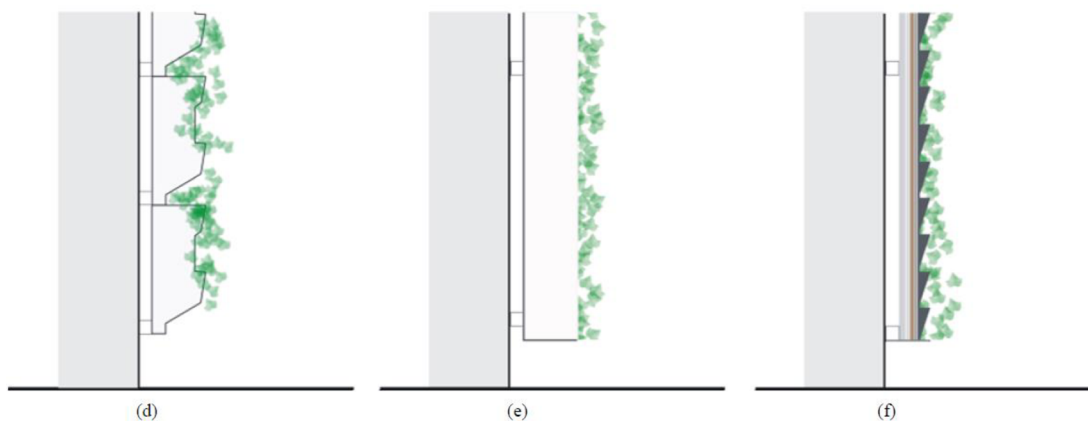
Nepřímé zelené fasády v dnešní době z velké části nahradily fasády přímé, které se využívaly hlavně v minulosti. V tomto případě rostlina neroste přímo na zdi, ale na samostatné nosné konstrukci, či na konstrukci připevněné ke stěně. Vegetace může růst přímo ze země nebo z nádob. Nepřímé fasády se mohou dále dělit na plošné a modulární. Plošné fasády jsou v případě, že rostliny jsou samostatné a dokážou se rozrůst přes celou zeď. Modulární fasády jsou podobné, avšak rostou z více různých nádob rozmístěných po zdi, nicméně výsledek je podobný (Manso et Castro-Gomes 2015; Perini et al. 2011). Jejich výhodou je případná snadnější náhrada či likvidace vegetace, jelikož neroste přímo na zdi a nemá na ní negativní vliv.

Konstrukční prvky nepřímých fasád mohou být různé. Často se využívají dráty, kabely či mříže z galvanizované oceli. Na mřížích mohou být připevněné i různé nádoby na substrát (Manso et Castro-Gomes 2015). Mříže slouží jako podpora a umožňuje hustší růst vegetace. Hustší sítě a drátěné mřížky jsou ideální pro pomalu rostoucí vegetaci (GRHC ©2008).

6.2.2 Vertikální zahrady

Jedná se o inovativní řešení obkladů stěn, které jsou obdobou střešních zahrad (Burian et al. 2022). Vertikální zahrady jsou konstrukčně složitější a nákladnější než zelené fasády. Oproti nim jde o samostatně fungující systémy. Mohou růst přímo ze země, používají se však spíše nádoby se substrátem přidělané ke konstrukci. Konstrukce může být samostatně stojící, nebo připevněná ke zdi. Nutrienty a voda jsou přijímány přímo ze systému, kromě substrátu (či speciální textilní vrstvy) je tedy nutností zavlažování či drenážní vrstva. Údržba je tak nákladnější. Rostliny jsou předem předpěstovány, díky různým konstrukcím je také možný větší výběr rostlin (Addo-Bankas et al. 2021; Manso et Castro-Gomes 2015; Perini et Rosasco 2013). Předpěstování je výhodou také z hlediska případného úmrtí rostliny, kdy se dá snadno nahradit za jinou. Z tohoto hlediska jsou vertikální zahrady účinnější (Raji et al. 2015).

Vertikální zahrady se podobně jako zelené fasády dále dělí na plošné a modulární (Addo-Bankas et al. 2021; Manso et Castro-Gomes 2015). Kromě těchto zmíněných může být dalším typem také vertikální zahrada policová (Burian et al. 2022). Rozdělení vertikálních zahrad lze vidět na obrázku 8, policovou zahradu na obrázku 9.



Obrázek 8: Rozdělení vertikálních zahrad. Vertikální zahrada modulární (d), plošná (e) a plošná se substrátem (f). Další možností může být zahrada policová (Perini et al. 2011)

Díky vertikálním zahradám se dá zeleň využít i na vyšších budovách, jelikož umožňují rychlé pokrytí stěny a ucelenější růst (Manso et Castro-Gomes 2015).

Policové vertikální zahrady jsou zvláštním typem, kdy není ozeleněná přímo stěna budovy, ale vegetace je na tzv. policích či balkonech. Fasáda je rozdělena na segmenty s různými vegetačními nádobami či koryty s vodorovným povrchem substrátu. Často je využívána vegetace, která visí přes polici, případně menší okrasné dřeviny (Burian et al. 2022). Policová vertikální zahrada je zobrazena na obrázku 9.



Obrázek 9: Vzhled policové vertikální zahrady Bosco Verticale v italském Milánu (foto autor)

Modulární vertikální zahrada je oproti plošným zahradám novější systém. Tvoří jí jednotlivé moduly se substrátem či různými granuláty, které se skládají k sobě, čímž vzniká celek na rámové konstrukci či stěně. Moduly mohou být otevřené i uzavřené (Burian et al. 2022, Manso et Castro-Gomes 2015). Je široké spektrum modulárních zahrad, které se liší technologiemi, hmotností i montáží. Může se jednat o různé typy košů, truhlíků, kazet, květináčů, boxů či flexibilních pytlů. Pod moduly je ochranná vrstva, která chrání zeď proti vlhkosti. Moduly jsou většinou z lehkých materiálů, jako

například polypropylen či polyethylen, další možnosti můžou být kovy jako hliník či ocel. Pytle, které jsou naplněné substrátem, jsou vhodné k využití i na zakřivených plochách. Když jsou moduly propojeny, mohou být z vnějšku kryté speciální mřížkou, která chrání zahradu proti pádu rostlin (Manso et Castro-Gomes 2015).

Plošná vertikální zahrada využívá speciální lehké tkaniny, která nahrazuje substrát. Do této tkaniny jsou poté jednotlivě vkládány různé rostliny (Addo-Bankas et al. 2021; Manso et Castro-Gomes 2015). Výhodou je nízká hmotnost a možnost přizpůsobení různým tvarům. Nevýhodou však je nízká konstrukční pevnost. Po instalaci tkaniny se tvoří otvory, do kterých jsou rostliny vkládány. Rostliny jsou díky ní kotveny a hydroponicky zavlažovány. Mohou být i kombinované, kdy jsou díky tkanině vytvořeny kapsy, které se následně plní substrátem (Burian et al. 2022).

7. Substrát a vegetace

Substrát i vegetace patří mezi zásadní části zelených budov, jelikož jejich úspěch a benefity přímo závisí na těchto prvcích. V této kapitole jsou stručně popsány jejich vlastnosti a využívané typy substrátu a vegetace.

7.1 Substrát u zelených budov

Jedná se o zásadní vrstvu zelených střeš a stěn, jelikož přímo ovlivňuje růst rostlin, vyživuje je a jejich úspěšnost z velké části závisí právě na substrátu. Většina benefitů přímo souvisí se substrátem (Shafique et al. 2018). Na zelených budovách se využívá substrát či jeho textilní náhrada (u vertikálních zahrad), některé zeminy se nevyužívají kvůli jejich nevhodným vlastnostem pro toto využití (Čermáková et Mužíková 2009).

Zásadním parametrem je hmotnost zeminy. Ta závisí hlavně na složení a saturaci. Pro představu, typicky využívaná zemina váží přibližně 2 000 kg/ m³, při hloubce 5–100 cm tedy bude hmotnost okolo 100–2 000 kg/ m². Hmotnost ovlivňuje také využitá vegetace, hlavně vzrostlé stromy (Wilkinson et Dixon 2016). Tento parametr je velmi důležité zohlednit zejména při přestavbě z klasické střechy, jelikož to může být přílišná zátěž na konstrukci střechy, která na to není navržena. Klasická střecha bývá konstruována na zátěž přibližně 200 kg/ m². Při zvolení lehkého substrátu lze využít i relativně vysokou mocnost (většinou okolo 10 cm) bez nutné přestavby. Například na budově knihovny v Ontariu byla při přestavbě využita vrstva substrátu o mocnosti až 36 cm, s hmotností 292,6 kg/ m², bez nutnosti úpravy konstrukce (Peck et Kuhn 2003).

U substrátu se sleduje hlavně elektrická vodivost, díky které lze určit obsah rozpustitelných solí. Dalšími ukazateli je pH ve vodném výluhu a obsah spalitelných látek, které zobrazují podíl organických látek v substrátu (Burian et al. 2022).

7.1.1 Substrát vhodný pro zelené střechy

V případě zelených střech je důležité vytvořit vhodné podmínky pro vegetaci v relativně náročném prostředí. Substrát by měl být schopný dopřát rostlinám dlouhodobý růst i přes jeho malou mocnost a při drsných podmínkách jako je vítr, přímé sluneční záření a silný déšť (Xiao et al. 2014). Je také nutné při volbě dbát na oslunění střechy, světovou stranu, zastínění ostatními budovami či výšku budovy (Wilkinson et Dixon 2016). Mimo jiné volba substrátu a jeho mocnost závisí na využití vegetaci (Čermáková et Mužíková 2009).

Mezi hlavní vlastnosti využitého substrátu patří vysoká stabilita za různých podmínek, vysoká vodní zadržovací kapacita, nízká hmotnost, dobré provzdušnění, vysoká sorpční a nízká luhovací vlastnost, neovlivňování (negativní) kvality vody, lokální dostupnost a vhodnost pro vegetaci, nízká cena, nižší obsah organické hmoty (Čermáková et Mužíková 2009; Dostálová et al. 2021; Vijayaraghavan 2016; Xiao et al. 2014). Dalšími vlastnostmi může být i vodní propustnost a nízký obsah jílovitých částic, které mohou ucpávat póry (Dostálová et al. 2021). Mezi neposlední vlastnosti patří i jeho pH, které se považuje za ideální na hodnotách mezi 5,5–7 v závislosti na využití vegetaci (Čermáková et Mužíková 2009; Xiao et al. 2014). Je v podstatě nereálné vybrat substrát se všemi zmíněnými vlastnostmi. Ideální ale je zvolit ho dle primárně žádoucích vlastností s ohledem na lokální klimatické podmínky a dostupnost (Shafique et al. 2018).

Co se týká složení substrátu, měl by být lehký a mít dostatek organického materiálu pro růst rostlin. Je vhodné mixovat různé druhy substrátu s odlišnými vlastnostmi. „Minerální složka provzdušňuje substrát a zadržuje v něm vodu. Humus zajišťuje výživu rostlin.“ (Čermáková et Mužíková 2009, s. 69) Pro snížení hmotnosti však napomáhá omezení množství organické hmoty (Shafique et al. 2018). Doporučené množství organické hmoty závisí na typu střechy a vegetace, u různých zdrojů se však liší. Dle německého průvodce se doporučuje 4–8 % organické hmoty u extenzivních a 8–12 % u intenzivních střech (Shafique et al. 2018 ex. FLL ©2002). Další zdroj poté doporučuje až 15 % organické hmoty u extenzivních a až 70 % u intenzivních střech (Čermáková et Mužíková 2009). Dle jiného zdroje je vhodné přibližně 80 % minerální složky a 20 % organického materiálu (Luckett 2009). Jistotou je, že příliš vysoké množství organické hmoty může podporovat růst plevelů a jiných nežádoucích rostlin.

Takový substrát mimo jiné více podléhá větrné erozi (Čermáková et Mužíková 2009; Vijayaraghavan 2016).

Je možné využít substrát komerční či lokální. Výhodou komerčního substrátu je minimální práce s jeho přípravou a testy saturace, které prokazují přesnou hmotnost nasyceného substrátu. Jejich nevýhodou však je, že mohou obsahovat neznámé nežádoucí příměsi a materiály. Lokální substráty jsou výhodné svou cenou, minimálními náklady na převoz a možností vytvořit si vlastní složení. Nevýhodou je neznámá hmotnost při nasycení (Luckett 2009). V místech, kde nejsou zelené střechy příliš rozšířeny se však zpravidla využívá lokální substrát. Mimo vysoké hmotnosti je nevýhodný také z hlediska nízké vodní kapacity, případné příměsi plevelů a nevhodnosti k daným rostlinám z hlediska složení a živin (Shafique et al. 2018).

Vhodné je využít substrát z velké části z recyklovaných odpadních anorganických materiálů. Využívají se například porézní horniny jako láva, pemza, vermikulit, perlit, spongilit, zeolit, expandovaný jíel keramzit, drcené cihly či střešní tašky, písek, rašelina a další (Dostálová et al. 2021; Nagase et Dunnett 2011; Vijayaraghavan 2016).

Důležitá je také ochrana před erozí. Proti vodní erozi se používají například určité rošty či zábrany k rozdělení a podpoře povrchu. Proti větrné erozi se poté pokládá stabilizační vrstva na povrch. Tato vrstva může být dočasná (do doby, než se uchytí vegetace), případně trvalá. Může se jednat o různé rohože, drátěná pletiva, sítě z plastů či mulčovací vrstvu. Mulčovací vrstva na povrchu chrání půdní částice před odvátním větrem, vodní erozí, zadržuje přílišný výpar vláhly z půdy a udržuje teplo v zemině (Čermáková et al. 2009).

7.1.2 Substrát vhodný pro zelené stěny

Je možné využít širokou škálu substrátů s různými vlastnostmi. Využívané substráty u zelených stěn se příliš neliší od těch u zelených střech. Substrát je jejich velmi důležitou součástí, ovlivňuje vzhled stěny a je z velké části zodpovědný za benefity zelených stěn (Addo-Bankas et al. 2021). Dle studie je celá životnost zelené stěny závislá na zvoleném substrátu. Důležitým parametrem je jeho hmotnost, kvůli konstrukci stěn (Prodanovic et al. 2018). Je třeba zvolit materiál tak, aby se jím neucpával systém drenážní vrstvy. V tomto případě využívání substrátu s nízkým podílem jílovitých částic (Burian et al. 2022; Prodanovic et al. 2021).

Obsah organické hmoty je podobný jako u zelených střech, zpravidla do 20 %. Využívají se organické komponenty jako například rašelina, různá dřevní vlákna či kokosové produkty. Tyto komponenty mají dobrou vododržnost, časem se však rozkládají.

Pro nově vznikající stěny jsou vhodné rašelinné substráty bohaté na živiny. Naopak minerální substráty jsou vhodné pro sukulenty, kaktusy a různé nenáročné rostliny. Složení se však vždy liší dle typu vegetace (Burian et al. 2022).

Co se týká typů stěn, u zelených fasád je nutný substrát v podstatě jen u modulárních systémů. Důležitá je hlavně jeho nízká hmotnost. U vertikálních zahrad jsou možnosti výběru širší. Často se však jedná o mix lehkého substrátu a různého granulátu, například dřevních či kokosových vláken (Manso et Castro-Gomes 2015). U modulárních a policových vertikálních zahrad se dá využít většina druhů substrátů, často se využívá substrát s vyšší minerální složkou, organický substrát, či běžný substrát z organického i anorganického materiálu. Součástí může být i anorganická pěna, která může snížit jeho hmotnost (Burian et al. 2022; Manso et Castro-Gomes 2015). Výjimkou jsou plošné vertikální zahrady, které využívají místo substrátu speciální textilní systém, který funguje na principu hydroponie (tedy pěstování rostlin v živném roztoku). Rostliny jsou vkládány do textilie jednotlivě a kořenový systém mají v textilií. U tohoto typu je nezbytný neustálý přísun vody a živin (Manso et Castro-Gomes 2015).

V oblasti čištění šedých vod hraje největší roli substrát a jeho složení (Addo-Bankas et al. 2021). Dle studie bylo zjištěno, že organický substrát byl schopný odstranit větší množství polutantů než substrát minerální. Vzhledem ke komplexnosti systému je však vždy nutná určitá kombinace, ideální je tedy mix organického a minerálního substrátu (Prodanovic et al. 2017).

7.2 Vegetace u zelených budov

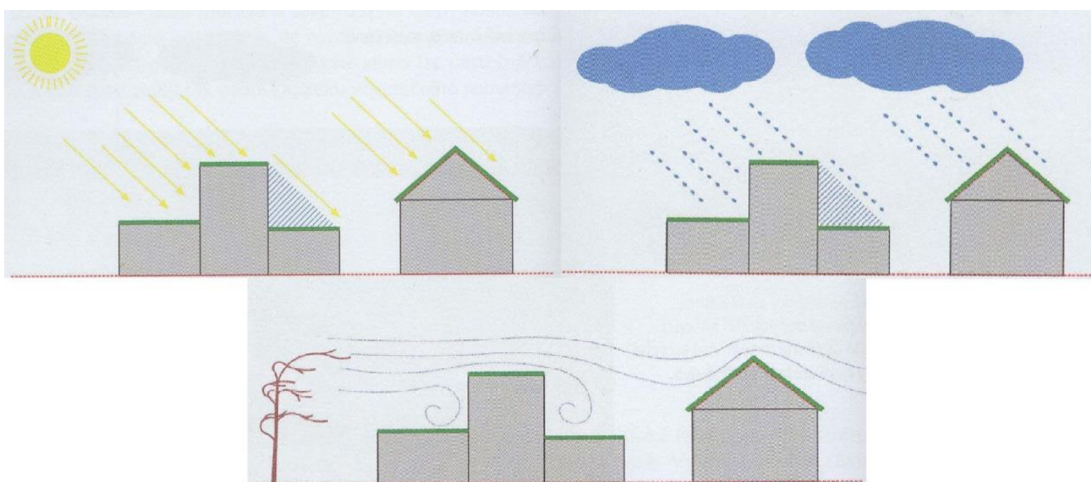
Vegetace společně se substrátem je u zelených budov klíčovým faktorem jejich funkcí a benefitů. Mnoho rostlin se využívá u zelených střech i zelených stěn. Kapitoly níže jsou tedy velmi provázané a velké množství informací platí pro střechy i stěny, i když se každá z nich primárně zabývá svým tématem.

7.2.1 Vegetace vhodná pro zelené střechy

Jedná se o nejvyšší vrstvu zelených střech, která jí dodává život. Vegetace je zodpovědná za většinu benefitů a funkcí zelených střech. Jejich funkčnost a úspěšnost z velké míry závisí právě na jejich vitalitě (Dostálová et al. 2021; Shafique et al. 2018; Vijayaraghavan 2016).

Zelená střecha však není příznivé prostředí pro růst rostlin (Rowe 2011). Výběr rostlin by tak měl být na základě typu střechy, geografické lokaci, lokálním klimatu, typu

substrátu a jeho hloubce, intenzity deště, vlhkosti, větru, intenzity slunečního záření a další (Čermáková et Mužíková 2009; Shafique et al. 2018; Wilkinson et Dixon 2016). Kvůli extrémním podmínkám by měla být vegetace odolná. Mezi hlavní požadované vlastnosti vegetace tedy patří odolnost proti extrémním klimatickým podmínkám, nedostatku závlahy, živin a péče, vyšší evapotranspirace, krátké kořeny, schopnost redukce tepelného ostrova, fytořemediace (schopnost odstranění znečišťujících látek), rychlý růst, dobré pokrytí povrchu a vysoká hustota. Mezi další důležité faktory nepochybně náleží i jejich dostupnost, cena a požadovaný vzhled (Shafique et al. 2018; Vijayaraghavan 2016). Z těchto důvodů by rostliny neměly být vybrané pouze na základě literatury, ale také dle lokálního klimatu a podmínek panujících přímo na dané střeše (Xiao et al. 2014). Za největší limitující faktor u výběru rostlin se však považuje požadavek na zavlažování (Luckett 2009). Na obrázku 10 jsou znázorněné možné lokální klimatické faktory, které vegetaci ovlivňují. Na některých částech střechy může být i při velkém slunečním svitu stín, stejně jako některé místa mohou být stíněny od deště. Na posledním obrázku je znázorněn vliv větru.



Obrázek 10: Možné lokální klimatické faktory ovlivňující zelené střechy. Některé místa mohou být zastíněna od slunečního svitu či dešťových srážek. Některé části střechy naopak mohou být ovlivněny větrem více, než části jiné (Dostálová et al. 2021)

Výsadba zelených střech může mít bodovou (solitérní), plošnou či kombinovanou podobu. Využití samotné bodové výsadby většinou není vhodné z estetického hlediska, plošná výsadba se využívá hlavně u extenzivních střech, kombinovaná je poté kombinací obou typů (Čermáková et Mužíková 2009). Dalším dělením je způsob zakládání výsadby. Ta může probíhat osivem, řízkami či sazenicemi. Výhody a nevýhody daných typů výsadby dle literatury lze porovnat v odstavcích pod tabulkou 4 (Čermáková et Mužíková 2009; Luckett 2009). V tabulce 4 lze vidět vhodnou formu vegetace pro zelenou střechu dle mocnosti substrátu. Střechy jsou rozdělené do 3 kategorií dle typu střechy (extenzivní, polointenzivní a intenzivní).

		Mocnost souvrství využitelná pro kořenění rostlin v cm																							
		4	6	8	10	12	15	18	20	25	30	35	40	45	50	60	70	80	90	100	125	150	200		
Způsoby ozelenění a formy vegetace	Extenzivní zelené střechy	Rozchodníky	▲	■	■																				
		Rozchodníky – trvalky		■	■	■																			
		Rozchodníky – byliny – trávy				■	■	■	■																
		Trávy – byliny						■	■	■	■	■													
	Polointenzivní zelené střechy	Trávy – byliny																							
		Trvalky																							
		Trvalky – dřeviny																							
		Dřeviny																							
	Intenzivní zelené střechy	Trávník																							
		Nízké trvalky a keře																							
		Středně vysoké trvalky a keře																							
		Vysoké trvalky a keře																							
		Velké keře a malé stromy																							
		Střední až vyšší stromy																							
		Velké stromy																							

Tabulka 4: Vhodná forma vegetace v závislosti na mocnosti substrátu a typu střechy (Burian et al. 2019)

Výsadba ze semen je vhodná díky nízkým nákladům na pořízení i na rozlehlé plochy, nevýhodou však je jejich náročnost na závlahu a čas. Střecha také zůstává holá celé týdny až měsíce a je nutné osivo a substrát chránit před větrem a ptáky. Mimo jiné nemusí být znám přesný druh vegetace a jejich poměr namixování.

Řízkování je jedním z typů vegetativního množení. Části jiných květin se zasadí do substrátu, ve kterém poté zakoření a vyrostou z nich nová rostlina. Výhodou je jejich nižší cena než u sazenic. Oproti nim řízky také stačí rozprostřít po povrchu substrátu, kdy jsou schopné samy zakořenit. Nevýhodou je jejich vyšší náročnost na závlahu (avšak menší oproti osivu) a nutnost řízky zasadit co nejdříve.

Výsadba pomocí sazenic je nejdražší, avšak nejběžnější díky své spolehlivosti. Jedná se o mladé rostliny, které již mají rozvinutý kořenový systém, díky čemuž se snadněji uchytí. Často se využívá i kombinace sazenic a řízek. Nejprve se vysadí sazenice, následně v místech s malou hustotou či růstem následuje nasazení řízek, tím se mohou snížit náklady. Oproti předchozím řešením je však tento způsob velmi nákladný, také kvůli nutnosti vysazování jednotlivých rostlin. Nicméně takové vysazování je vhodné z hlediska vyžadovaného přesného umístění rostlin a případného vytváření různých vzorů.

Dalším typem může být zakládání střechy pomocí vegetačních rohoží či koberců. Jedná se o předpěstované pláty cibulovin, mechů, sukulentů, travin a bylin. Jejich součástí může být i substrát. Tento typ je velmi vhodný na šikmé střechy (Čermáková et Mužíková 2009).

Co se týká porovnání úspěšnosti výsadby, sazenice produkují přibližně 90 % životaschopných rostlin, řízky méně než 70 % a osivo přibližně 50 %. Záleží také na aklimatizaci. Čím lepší péči má vegetace po výsadbě, tím rychleji se na střeše rozroste a aklimatizuje. Aklimatizace sazenic většinou trvá okolo 6–10 týdnů, u řízek je tento čas přibližně dvojnásobný, u osiva je to již velmi individuální (Luckett 2009). Co se týká množství, u sazenic na extenzivní střeše se využívá v závislosti na druhu orientačně 20 ks rostlin/ m², u řízek 40 ks/ m², osiva přibližně 2 g/ m² pomocí mokré výsadby a 3–8 g/ m² u výsadby suché (Čermáková et Mužíková 2009; Minke 2001).

V prvních měsících zakládání zelené střechy je tedy velmi důležitá závlaha a dostatek živin (Luckett 2009). Důležité je také co nejdříve docílit souvislého porostu, čímž se zajistí ochrana vegetace i substrátu. Využitá zeleň je s dnešními technologiemi omezena v podstatě pouze mocností substrátu a její velikostí (Čermáková et Mužíková 2009). Nicméně není vhodné vysazovat střechu monokulturně. Takové střechy sice mohou působit esteticky, je u nich však velké riziko zničení škůdci či nevhodnými podmínkami. Z toho důvodu je vhodné mít na střeše vegetační diverzitu, nejlépe 5 či více druhů (Čermáková et Mužíková 2009; Luckett 2009).

Na zelených střeších se využívají různé mechy, sukulenty, trávy, byliny, trvalky, cibuloviny, keře, stromy i užitkové rostliny. Jejich využití se dle různých zdrojů liší. Mechy mají výhodu v nenáročnosti na mocnost substrátu, preferují vlhká a stinná stanoviště. Sukulenty často reprezentuje rod *Sedum* (*rozchodníky*) či *Sempervivum* (*netřesky*) a jsou využívané díky své nenáročnosti (Dostálová et al. 2021).

Dle studií je nejvyužívanějším rodem pravděpodobně *Sedum* (Butler et Orians 2011; Luckett 2009; Wilkinson et Dixon 2016; Xiao et al. 2014). Jedná se o velmi nenáročné sukulenty, které přežijí vysoké teploty i s minimální závlahou a údržbou. Mohou být využity v různých klimatech. Mimo jiné se tyto rostliny velmi snadno rozmnožují, mají rychlý růst a velké pokrytí plochy (Luckett 2009; Wilkinson et Dixon 2016; Xiao et al. 2014). Jejich využití je nejčastější u extenzivních a polointenzivních střech, které mají tendenci vyschnout. Mezi oblíbené druhy patří *S. album* (*rozchodník bílý*), *S. acre* (*rozchodník ostrý*), *S. sexangulare* (*rozchodník šestiřadý*), *S. spurium* (*rozchodník pochybný*) a další (Wilkinson et Dixon 2016). Dle studie v Číně mohou být do teplého klimatu vhodné rostliny *S. lineare* (*rozchodník lineare*) či *S. emarginatum* (*rozchodník emarginatum*). Do chladnějšího klimatu poté *S. lineare* či *S. sarmentosum* (*rozchodník šlahounovitý*) (Xiao et al. 2014).

Velmi často se využívají také trávy, víceleté byliny a cibuloviny (Wilkinson et Dixon 2016). Travniny či prérijní a mokřadní rostliny jsou naopak oproti sukulentům při

vysokých teplotách velmi náročné na závlahu (Luckett 2009). V posledních letech se velmi zkoumá využití lokální vegetace. Tyto rostliny mají výhodu v jejich snadné dostupnosti a návyku na místní klima, díky kterému nejsou tak náročné na intenzivní zavlažování (Luckett 2009; Shafique et al. 2018). Vzhledem ke stále častějšímu využití zelených střech z environmentálních důvodů se zkoumá využití i dalších rostlin vhodných k vylepšení či maximalizování environmentálních benefitů (Wilkinson et Dixon 2016). Některé z těchto rostlin, vhodných například pro čištění šedých vod, jsou popsány v následující kapitole 6.2.2 *Vegetace vhodná pro zelené stěny*. V tabulce 5 jsou znázorněny běžně využívané rostliny na zelených střechách.

Typ	Substrát (mm)	Latinský název	Český název	Výška (cm)
Sukulenty	<80	<i>Sedum acre</i>	rozchodník ostrý	5–12
Sukulenty	<80	<i>Sedum album</i>	rozchodník bílý	10
Sukulenty	<80	<i>Sedum hybridum</i>	rozchodník	10
Sukulenty	<80	<i>Sedum reflexum</i>	rozchodník skalní	15–35
Sukulenty	<80	<i>Sempervivum montanum</i>	netřesk horský	10
Byliny	80<	<i>Achillea millefolium</i>	řebříček obecný	15–50
Byliny	80<	<i>Campanula rotundifolia</i>	zvonek okrouhlostý	9–40
Byliny	80<	<i>Dianthus deltoides</i>	hvozdík kropenatý	9–30
Byliny	80<	<i>Linum perenne</i>	len vytrvalý	20–80
Byliny	80<	<i>Origanum vulgare</i>	dobromysl obecná	20–60
Trávy	80<	<i>Festuca ovina</i>	kostřava ovčí	<60
Byliny	100<	<i>Aster linosyris</i>	hvězdnice zlatovlásek	25
Byliny	100<	<i>Hieracium pilosella</i>	jestřábník chlupáček	20
Byliny	100<	<i>Iris pumila</i>	kosatec nízký	25
Byliny	100<	<i>Prunella grandiflora</i>	černohlávek velkokvětý	12
Byliny	100<	<i>Saponaria ocymoides</i>	mydlice bazalkovitá	15
Byliny	100<	<i>Thymus serpyllum</i>	mateřídouška úzkolistá	12
Byliny	100<	<i>Verbascum nigrum</i>	divizna černá	60
Byliny	100<	<i>Veronica teucrium</i>	rozrazil ožankovitý	40
Trávy	100<	<i>Bromus tectorum</i>	sveřep střešní	40
Trávy	100<	<i>Carex humilis</i>	ostřice nízká	15
Trávy	100<	<i>Festuca rupicaprina</i>	kostřava kamzičí	20
Listnaté d.	100<	<i>Amelanchier ovalis</i>	muchovník oválný	180
Listnaté d.	100<	<i>Salix lanata</i>	vrba bobkolistá	150
Listnaté d.	100<	<i>Rosa pimpinellifolia</i>	růže bedrníkolistá	60
Jehličnaté d.	100<	<i>Juniperus communis</i>	jalovec plazivý	40–60

Tabulka 5: Výběr rostlin vhodných k využití na zelených střechách. V tabulce je vyznačena také požadovaná mocnost substrátu a přibližná výška rostliny (Burian et al. 2019)

7.2.2 Vegetace vhodná pro zelené stěny

Vegetace je hlavní složkou zelených stěn, na které závisí její vzhled a je zodpovědná za většinu jejich benefitů. Jedním z nejdůležitějších parametrů pro jejich výběr jsou závlahové požadavky (Addo-Bankas et al. 2021). Výběr dále závisí na klimatických

podmínkách, vlastnostech budovy a faktorech jako například sluneční záření, stín, vítr, dešťové srážky, přísun živin a další (Addo-Bankas et al. 2021; Manso et Castro-Gomes 2015).

U vícedruhových stěn by měl být řádně zvážen výběr rostlin, včetně jejich rozmístění a hustoty. V opačném případě by si rostliny mohly konkurovat a zabránilo by to tak jejich možnému zdravému růstu (Jørgensen et al. 2018). Všeobecně se u zelených stěn využívají rostliny popínavé (u zelených fasád) a nepopínavé, hlavně ve vertikálních zahradách. Popínavé rostliny jsou brány jako levné řešení zelených stěn, jedná se o nejjednodušší a neefektivnější způsob ozelenění stěn. Tyto rostliny mohou být opadavé či neopadavé. Neopadavé rostliny jsou vhodné díky své stálezelenosti v průběhu celého roku včetně zimy. Popínavé rostliny se využívají u zelených fasád, náklady jsou tedy velmi nízké, pouze u nesamopnoucích typů rostlin je nutná výstavba nosných konstrukcí (Addo-Bankas et al. 2021; Burian et al. 2022; Manso et Castro-Gomes 2015). Pomocí vhodných pomocných konstrukcí je však možné snadné tvarování jejich plochy a růstu. Výhodou je jejich velmi rychlý růst, který je způsoben absencí pevných kmenů či větví. Je třeba brát v úvahu, že některé rostliny mohou zničit opěrné konstrukce svým růstem, tloušťnutím či stahováním (Burian et al. 2022). I tyto popínavé rostliny však mají svou limitaci, hlavně svou výškou. Ta závisí na druhu rostliny. Některé mají výšku okolo 5–6 m, jiné 10 m, nejvyšší mají přibližně 25 m (Manso et Castro-Gomes 2015 ex. Dunnett et Kingsbury 2008). Pnouce dřeviny mají 2 druhy. Samopnoucí a nesamopnoucí, které potřebují opěrnou konstrukci (Burian et al. 2022).

Samopnoucí dřeviny nevyžadují opěrnou konstrukci a dále se dělí dle způsobu jejich uchycení na kořenující a s adhezivními terčíky. Kořenující rostliny se uchycují přichytnými kořeny k hrubému povrchu. Tyto kořeny většinou nemají výživovou funkci jako běžné kořeny a fungují pouze k přichycení. Kořeny však mohou poničit povrch, na který se přichycují. Mezi tyto druhy patří například rostliny rodu *Hedera* (*břečťan*). Rostliny s adhezivními terčíky patří mezi evolučně nejvyvinutější popínavé rostliny. Terčíky, které vznikají na konci úponků, fungují jako přísavky, které se přilepí pomocí lepkavé hmoty (Burian et al. 2022).

Nesamopnoucí dřeviny potřebují opěrnou konstrukci, jelikož se nedokážou přichytit k plochému povrchu. Každý typ má jiný způsob uchycení. Mohou být vzpěrné, ovíjivé a úponkaté. Vzpěrné pnoucí dřeviny se do konstrukce pouze zaklesávají či opírají, využívají k tomu různé zahnuté trny, ostny či šlahouny. Ovíjivé dřeviny se celé ovíjejí kolem podkladu (drátu, tyče apod.), nejsou schopné se zachytit na ploše. Směr ovíjení

je vždy daný dle druhu. Svým ovíjením mohou časem konstrukci zničit. Úponkaté dřeviny se přichytávají pomocí úponků, které se omotávají kolem podkladu (Burian et al. 2022).

Mezi nejběžnější historicky využívané druhy rostlin na zelených fasádách patří *Hedera helix* (břečťan popínavý) a *Parthenocissus tricuspidata* (přisavník trojcípý) (Addo-Bankas 2021; Burian et al. 2022). Dále se často využívají například samopnoucí opadavé *Parthenocissus quinquefolia* (přisavník pětilistý), *Hydrangea petiolaris* (hortenzie řapíkatá) či stálezelené *Euonymus fortunei* (brslen Fortuneův) a *Hedera helix*. U nesamopnoucích rostlin se využívá například *Humulus lupulus* (chmel otáčivý) a *Campsis radicans* (křivouš kořenující). Další možností může být *Forsythia suspensa* (zlatice převislá), nebo *Pyracantha atalantiodes* (hlohyně), které jsou ideální k využití na mřížových strukturách (Addo-Bankas et al. 2021).

Na pokrytí velké plochy jsou ideální samopnoucí rostliny, které rostou i do šířky. Nejlepší rostliny jsou úponkaté či kořenující, například *Hedera helix* a *Parthenocissus tricuspidata*. Naopak na částečné pokrytí plochy, například plochu s okny, jsou ideální rostliny s opěrnou konstrukcí. Příklady využívaných druhů rostlin jsou v následující tabulce 6.

Typ přichycení	Latinský název	Český název
Vzpěrné	<i>Jasminum nudiflorum</i>	Jasmín nahokvětý
Vzpěrné	<i>Forsythia suspensa</i>	Zlatice převislá
Kořenující	<i>Hedera helix</i>	Břečťan popínavý
Kořenující	<i>Hydrangea petiolaris</i>	Hortenzie řapíkatá
Kořenující	<i>Campsis sp.</i>	Trubač
Ovíjivé	<i>Akebia quinata</i>	Akébie pětičetná
Ovíjivé	<i>Aristolochia macrophylla</i>	Podražec velkolistý
Ovíjivé	<i>Fallopia aubertii</i>	Opletka čínská
Ovíjivé	<i>Wisteria sp.</i>	Vistárie
Úponkaté	<i>Ampelopsis aconitifolia</i>	Révovník omějolistý
Úponkaté	<i>Clematis sp.</i>	Plamének
Úponkaté	<i>Vitis</i>	Réva
S adhezivními terč.	<i>Parthenocissus tricuspidata</i>	Přisavník trojcípý
S adhezivními terč.	<i>P. quinquefolia</i>	Přisavník pětilistý

Tabulka 6: Běžně využívané pnoucí rostliny na zelených fasádách (Burian et al. 2022)

Vertikální zahrady mohou být vytvořeny velmi kreativním způsobem, čímž vzniknou estetické stěny. Lze využít a kombinovat různé druhy rostlin s různými vzory a barvami. Vertikální zahrady rozšířily možnost výběru rostlin u zelených stěn, včetně keřů a stromů. Tyto rostliny však mohou být velmi náročné na závlahu, pro původní cíle

udržitelosti by tedy i tak měly být využívány hlavně rostliny navyklé na lokální klima, které nejsou tak náročné na závlahu (Manso et Castro-Gomes 2015).

Plošné vertikální zahrady díky hydroponickému textilnímu systému přinesly další možnou variaci využitelných rostlin (ze sazenic, řízek i osiva) (Manso et Castro-Gomes 2015). Škála rostlin je opravdu pestrá, příkladem mohou být například stálezelené *Achillea tomentosa* (řebříček plstnatý), *Bergenia crassifolia* (bergenie tučnolistá), *Vinca minor* (barvínek menší) či *Sedum album* (rozchodník bílý). Mezi opadavé se řadí například *Achillea sudetica* (řebříček obecný), *Alchemilla grandiflora* (kontryhel měkký), *Dianthus deltoides* (hvězdík kropenatý) či *Hosta fortunei* (bohyška Sieboldova) (Burian et al. 2022).

Modulární a policové vertikální zahrady se velmi podobají zeleným střechám, proto i u nich z velké části platí informace a rostliny z kapitoly 6.2.1 *Vegetace vhodná pro zelené střechy*, kde jsou v tabulce 5 vypsány některé běžně využívané druhy. Kromě trvalek a keřů se i u nich dají využívat sukulenty, které jsou nenáročné na závlahu i údržbu a jejich hmotnost je minimální. Díky sukulentům je možné získat vzhled plochého vegetačního povrchu. U větších ploch je však vhodnější využití trvalek a keřů, které vytvoří zajímavější vzhled. V poslední době se i u zelených stěn uvažuje o využití k pěstování potravin a bylin (Manso et Castro-Gomes 2015). Velmi využívaným druhem rostlin u modulárních stěn je kromě *Sedum* například *Asparagus sprengeri* (chřest hustokvětý), *Begonia tuberhybrida* (begonie hlíznatá) či *Dracanea spp.* (dracena) (Addo-Bankas et al. 2021).

Díky využití japonského systému lze využít některé druhy keřů i na nakloněných plochách, například *Juniperus chinensis* (jalovec čínský), *Juniperus conferta* (jalovec tuhý pobřežní), *Euonymus Fortunei* (brslen Fortuneův) či *Cotoneaster horizontalis* (skalník rozprostřený) (Manso et Castro-Gomes 2015).

Co se týká rostlin vhodných k čištění šedých vod, stále se hledají vhodné druhy. Rostliny však musí být tolerantní k tomu být podmáčené a dostávat velký přísun nutrientů (Dvorak et al. 2014). Mezi rostliny vhodné k čištění šedých vod patří *Carex appressa* (ostřice vysoká), *Nephrolepis obliterata* (kapradina australská), *Dianella tasmanica* (tasmánská lilie), *Liriope muscari* (podzimní modřelec), *Agapanthus praecox* (kalokvět africký) nebo *Phormium tenax* (lenovník novozélandský). Všechny tyto rostliny schopné velmi účinného odstranění dusíku, některé i fosforu. Druhy *Carex appressa*, *Nephrolepis obliterata* však velmi účinně vážou oba prvky a řadí se mezi nejvhodnější rostliny k čištění šedých vod (Prodanovic et al. 2019).

8. Závlaaha

Závlaaha je velmi důležitý prvek u zelených střech i stěn. Jsou možné i typy bez nutného zavlažovacího systému, avšak u většiny typů je zavlažovací systém nutností.

8.1 Závlaaha zelených střech

Zavlažování zelených střech je velmi individuální. Nároky na závlaahu záleží na mnoha faktorech, jako je například škála pěstovaných rostlin, klimatické podmínky, sklon střechy apod. Zhodnocení je poté úkolem projektanta. Nejnáročnější na přísun vláhy jsou vodní a bažinné rostliny, větší přísun vyžadují také rostliny vlhkomilné, naproti tomu suchomilné rostliny a skalničky si vystačí i s velmi malým množstvím vody. Závlaaha je ideální při nižší venkovní teplotě, jinak to může být pro vegetaci teplotní šok (Čermáková et Mužíková 2009). Není pravda, že je možné, aby zelená střecha přežila bez závlahy. I nejméně náročné rostliny potřebují vodu pro život, ať už je závlaaha přirozená z dešťových srážek či ze zavlažovacího systému. Zavlažování je nutné u intenzivních a polointenzivních střech, avšak i u velmi nenáročných extenzivních střech je třeba závlaaha v době extrémního sucha či po vysazení vegetace. Příkladem mohou být suchomilné trvalky, které je nutné zavlažovat i 3–4 měsíce po vysazení, do doby, než se trvale uchytí (Čermáková et Mužíková 2009; Dostálová et al. 2021; Luckett 2009).

Co se týká typu zavlažování, opět je to velmi individuální. Zjednodušeně se však dá říct, že u větších střech s širší škálou rostlin je nutné využít propracovanější komerční systémy, které jsou schopné zavlažovat jen určité části střechy dle požadavků rostlin. Zavlažování může být nad vegetační vrstvou, nebo součástí vegetační vrstvy. V úvahu je třeba brát i hydroakumulační a drenážní vrstvu. Nevýhodou zavlažování nad vegetační vrstvou jsou mírné ztráty vláhy v důsledku evaporace. Ta má naopak pozitivní vliv, jelikož snižuje teplotu povrchu střechy. U podpovrchového zavlažování je tedy potřebné na závlaahu menší množství vody. Nevýhodou však může být odtok vody drenážním systémem dříve, než se dostane ke kořenům vegetace. Toto hrozí hlavně u rostlin s mělkým kořenovým systémem, jako může být například trávník. Důležitým faktorem pro typ zavlažování je také zdroj vody. To může ovlivňovat například i výška budovy, v důsledku menšího tlaku vodovodního řadu (Luckett 2009). Kromě vodovodního řadu se dá využít jako zdroj také voda studniční, dešťová či šedá voda (Čermáková et Mužíková 2009). Tématem využití šedých a dešťových vod se zabývají následující kapitoly.

8.2 Závlaha zelených stěn

Závlaha u zelených stěn je velmi podobná jako u zelených střech. I zde platí závislost na typu stěny, využití vegetaci a klimatických podmínkách. U některých přímých zelených fasád umělá závlaha není nutná, u všech ostatních však bývá samozřejmostí, u vertikálních zahrad v podstatě nezbytností. Oproti zeleným střechám je umělé zavlažování u zelených stěn v podstatě jediný způsob závlahy, jelikož dešťové srážky mají na jejich závlahu většinou jen velmi malý vliv. Mimo jiné se závlahou kromě vody řeší i přísun hnojiv, nutrientů, minerálů apod. podporujících růst rostlin (Burian et al. 2022; Manso et Castro-Gomes 2015).

U nepřímých zelených fasád je většinou závlaha součástí nosné konstrukce s lany. I zde slouží zároveň na přísun hnojiv (Addo-Bankas et al. 2021). U vertikálních zahrad je možná vrchní či spodní závlaha. Velmi využívaná je tzv. kapková závlaha, která malým množstvím vody a pomocí gravitace smáčí substrát či textilii. Podobně jako u zelených střech, může být nad substrátem či v něm, u textilních plošných stěn může být zabalena do textilie. U textilií se doporučuje také využití topných kabelů, které brání případnému zamrznutí. Tento typ závlahy je velmi nákladný na zařízení i údržbu. Často je u této závlahy na delší vzdálenost a výšku problém s tlakem, je nutné s tím počítat již při návrhu stěny (Burian et al. 2022). U modulárních vertikálních zahrad může být voda rozváděna také spádem. Moduly mají různé otvory na zavlažování, ať už přímo na přívod vody či nepřímo například na padající vodu z vyšších modulů. Otvory mohou být mimo jiné na spodní straně modulů. V konstrukčním systému, do kterého se moduly usazují, jsou připravené žlaby, které se v určitých intervalech zaplavují vodou. Otvory na dně modulů poté voda vzlíná do substrátu (Burian et al. 2022; Manso et Castro-Gomes 2015).

Je velmi důležité správné nastavení systému a hlídání jeho funkčnosti, aby nebyl substrát přemokřen ani vysušen. Z tohoto důvodu se doporučuje využívání vlhkostních čidel, jelikož nejčastějším důvodem úhynu rostlin je selhání závlahového systému (Burian et al. 2022).

I u zelených stěn je možné k závlaze využít dešťovou vodu či zachytávat přebytek ze závlahy pod zelenou stěnou. Další možností je využití šedé vody v kombinaci s kořennou čistírnou (Addo-Bankas et al. 2021; Burian et al. 2022).

8.3 Využití šedých vod

Další možností a benefitem zelených budov je možné čištění a využití šedých vod. Jejich využití napomáhá k samostatnosti a udržitelnosti budov a celých měst. Zelené

budovy se díky nim mohou stavět i v oblastech s nedostatkem vody (Pradhan et al. 2019). Šedé vody mohou sloužit jako zdroj závlahy pro zelené stěny a střechy (Burian et al. 2022; Morandi et al. 2021; Van Mechelen et al. 2015). U studií trvajících déle než 1 rok se však prokázaly významné změny na vlastnosti půdy (Pradhan et al. 2019). Jako šedá voda se bere voda odpadní, kromě té z toalet, tedy hlavně voda z umyvadel, sprchy, kuchyně, pračky apod. Dle studie 65–90 % odpadních vod z domácností jsou šedé vody. Množství a složení je závislé na destinaci (Katukiza et al. 2014).

Pravděpodobně nejlepším možným řešením je využití tzv. kořenových čistíren, díky kterým lze šedé vody čistit. Lze je využít na zelených střechách i stěnách, což je ideální příležitost pro jejich budování ve městech, jelikož se v nich doteď téměř nevyužívaly kvůli velkým prostorovým nárokům (Morandi et al. 2021). Díky těmto decentralizovaným čističkám vody se snižuje zatížení klasického kanalizačního systému, jehož výstavba a údržba je velmi nákladná. I přes to, že dokáží zelené střechy a stěny prokazatelně čistit dešťovou vodu, nelze to samé aplikovat na čištění šedých vod, jelikož se liší množstvím škodlivých látek, jejich koncentrací i frekvencí využití (Pradhan et al. 2019). Zásadním parametrem správné funkce a vysoké účinnosti kořenových čistíren na zelených střechách a stěnách je využitý substrát a vegetace (Addo-Bankas et al. 2021; Pradhan et al. 2019).

Dle některých studií byly na závlahu vhodné šedé vody z kuchyně, jelikož jsou bohaté na nutrienty a organické materiály a mohly by tedy částečně nahrazovat hnojiva. Toto tvrzení však není dostatečně prozkoumáno. Jiné studie naopak tvrdí, že rostliny tuto vodu nedokáží využít a může jim škodit (Pradhan et al. 2019; Vijayaraghavan 2016). V dnešní době se kvůli tomu odpadní voda znečištěná tuky z kuchyně velmi často neřadí do šedých vod (Burian et al. 2022).

Relativně nově využívanou variantou je předčištění šedých vod před jejich využitím pomocí biologického či pískového filtru (Vijayaraghavan 2016). Náhradou může být využívání pouze tzv. lehkých šedých vod z umyvadla a sprchy. V takovém případě se (hlavně u zelených stěn) využívá tzv. vertikální kořenová čistírna. Tento typ využívá kaskádu koryt s filtračním pískem či štěrkem, které spolehlivě zachycují hrubé nečistoty. V nich jsou zasazeny mokřadní rostliny jako např. rákos. Bakterie poté rozkládají nečistoty šedých vod, probíhá proces nitrifikace či denitrifikace a oxidace organických látek. Rostliny podporují mikroorganismy napomáhající rozklad. Šedá voda také obsahuje živiny (např. dusík, fosfor, draslík, ...), které mohou sloužit jako hnojivo a ukládají se tedy v biomase rostlin (Burian et al. 2022; Morandi et al. 2021). Mimo jiné byl

dle některých výzkumů zaznamenán citelný úbytek BSK (biochemická spotřeba kyslíku, která slouží jako nepřímý ukazatel znečištění vody) a CHSK (chemická spotřeba kyslíku, která stanovuje množství organických látek ve vodě) (Addo-Bankas et al. 2021; Vijayaraghavan 2016). Čistírna však nemusí být účinná při nízkých teplotách (Morandi et al. 2021).

Vyčištěná šedá voda kořenovými čistírnami odpovídala svými parametry standardům na závlahovou vodu. V případě zvýšeného množství soli pomůže smíchání s dešťovou vodou (Morandi et al. 2021). V dalším výzkumu je však třeba se zaměřit na možné nebezpečné polutanty. S využitím šedých vod je třeba dbát na environmentální a hygienickou bezpečnost a omezit tak případné ohrožení na zdraví. Ve vyčištěné vodě mohou zůstat různé nebezpečné mikropolutanty, mikrobiální látky, případně velmi závažně zdraví ohrožující patogenní organismy (Addo-Bankas et al. 2021; Burian et al. 2022; Morandi et al. 2021; Pradhan et al. 2019).

8.4 Využití dešťových vod

Pravděpodobně nejvhodnější volbou k závlaze je využití dešťové vody, kterou mohou zelené střechy zachytávat. Dešťová voda nepotřebuje žádnou speciální úpravu, většinou stačí prostá filtrace splavenin. Nevýhodou je limitace velikostí nádrže a plochou, ze které se voda schytává. Také není dopředu jisté množství srážek a dešťové vody, z toho důvodu je nutné mít i záložní zdroj závlahy (Burian et al. 2022; Vijayaraghavan 2016). Dešťové vody jsou kvalitnější než vody šedé, je tedy možné i jejich širší využití (Shafique et al. 2018). Avšak jejich případné znečištění může způsobit i zelená střecha či substrát, z toho důvodu se doporučuje využití spíše k zavlažování (Vijayaraghavan 2016). Zásobník dešťové vody může být na povrchu střechy, případně do ní může být zabudován (Čermáková et Mužíková 2009).

Relativně novou formou je využití tzv. zeleno-modrých střech. Jedná se o kombinaci zelené a modré střechy, jejíž součástí je nádrž na zadržování vody (Shafique et al.



Obrázek 11: Struktura zeleno-modrých střech. Na obrázku vlevo lze vidět všechny vrstvy zeleno-modrých střech, konkrétně vrchní zelenou a spodní modrou střechu. Na obrázku vpravo je modrá střecha, jejíž vrchní část je zároveň dno zelené střechy (Shafique et al. 2016)

2018). Strukturu zeleno-modrých střech lze vidět na obrázku 11. Kombinace těchto střech a jejich využití je důležité pro zvýšení environmentální kvality ve městech a o zmírnění klimatických změn (Morandi et al. 2021).

9. Příklady budov v České republice a ve světě

V této kapitole jsou uvedeny vybrané zajímavé zelené budovy v České republice a ve světě. Některé budovy využívají pouze zelenou střechu či stěny, avšak každá snaha o ozelenění budovy zaslouží obdiv.

9.1 Příklady budov v České republice

Název a rok výstavby budovy: Písecká brána, 1721

Lokace: Praha

Typ ozelenění: biotopní/ extenzivní střecha

Písecká brána je historická brána bývalého barokního opevnění v Praze známém jako Mariánské hradby. Jedná se o historické využití zeleně na střechách.



Obrázek 12: Písecká brána v Praze (Tripadvisor ©2017)

Název a rok výstavby budovy: Palác Drn, 2017

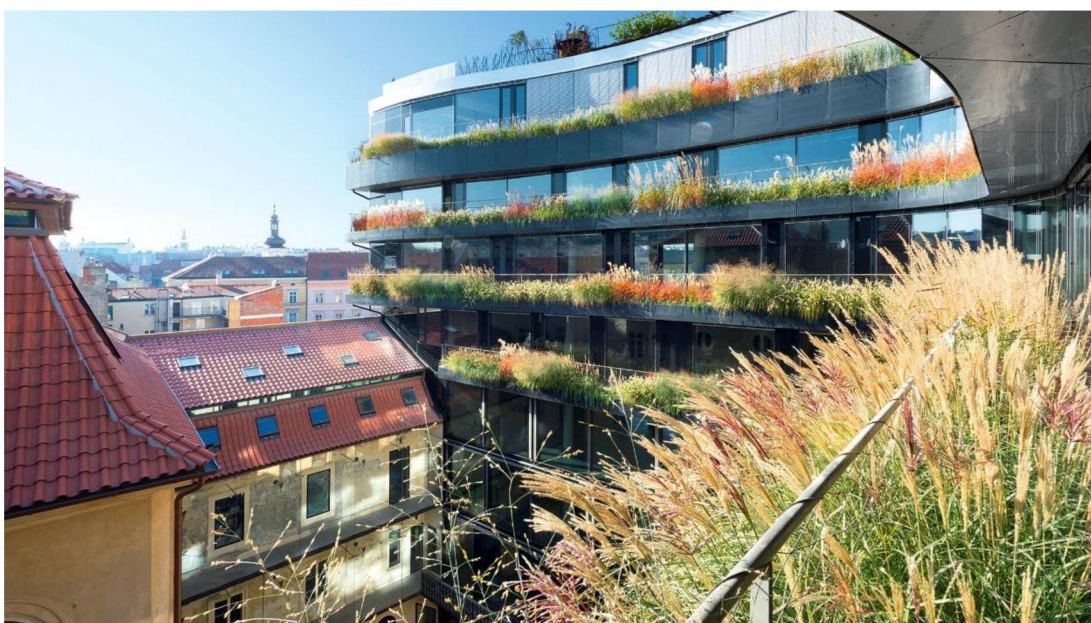
Lokace: Praha

Typ ozelenění: intenzivní střecha, vertikální zahrada

Palác Drn je rohová budova u křižovatky ulic Národní a Mikulandská. Budova navazuje na historický Schönkirchovský palác a využívá vertikální zahrady na fasádě i intenzivní zelenou střechu.



Obrázek 13: Budova Drn z pohledu z ulice Národní (Volf 2018)



Obrázek 14: Palác Drn: pohled ve vnitrobloku (Volf 2018)

Název a rok výstavby budovy: OC Nový Smíchov, 2001

Lokace: Praha

Typ ozelenění: extenzivní, intenzivní střecha

Obchodní centrum má ozeleněnou střechu o rozloze větší než 24 000 m², což je pravděpodobně největší zelená střecha v České republice. Část střechy je o sklonu 58°, což je jedna z nejstrmějších zelených střech na světě (Čermáková et Mužíková 2009).



Obrázek 15: OC Nový Smíchov: světově unikátní střecha se sklonem 58° (Zahradní Architektura Kurz ©2023)



Obrázek 16: OC Nový Smíchov: celková rozloha zelené střechy činí přes 24 000 m² (Zahradní Architektura Kurz ©2023)

9.2 Příklady budov ve světě

Název budovy: Bytová budova v Oberlaa

Lokace: Vídeň, Rakousko

Typ ozelenění: extenzivní střecha

Prvním příkladem ze světa je běžně využívaná extenzivní střecha u bytových domů ve Vídni. Tato střecha však vypadá jako nedostatečně zavlažovaná a ozeleněná.



Obrázek 17: Bytový dům s extenzivní střechou v rakouské Vídni (foto autor)



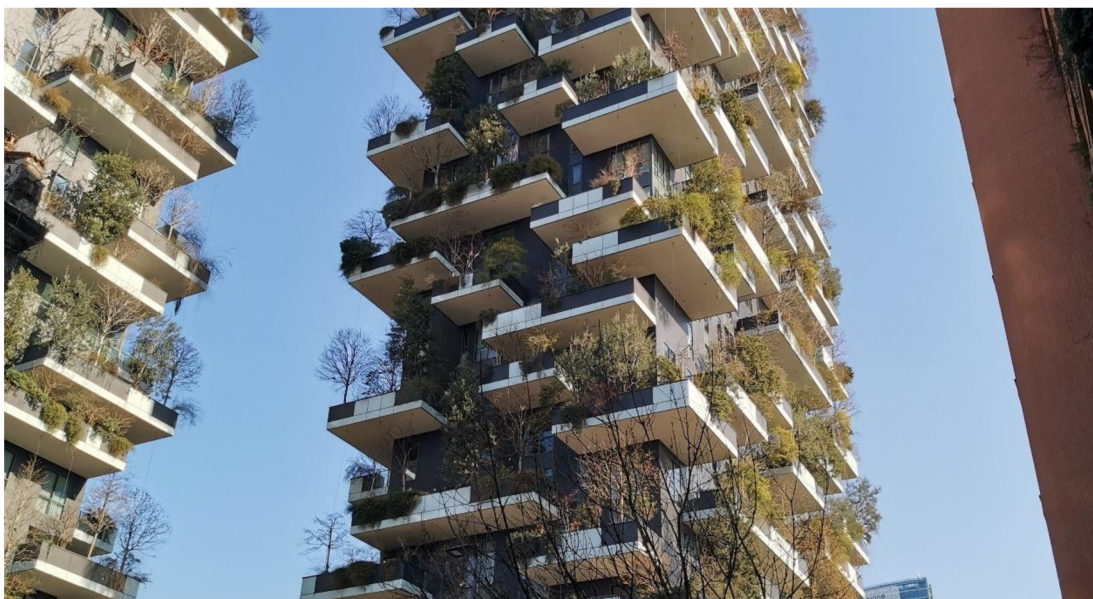
Obrázek 18: Přiblížená extenzivní střecha, hustota zeleně je relativně malá (foto autor)

Název a rok výstavby budovy: Bosco Verticale, 2014

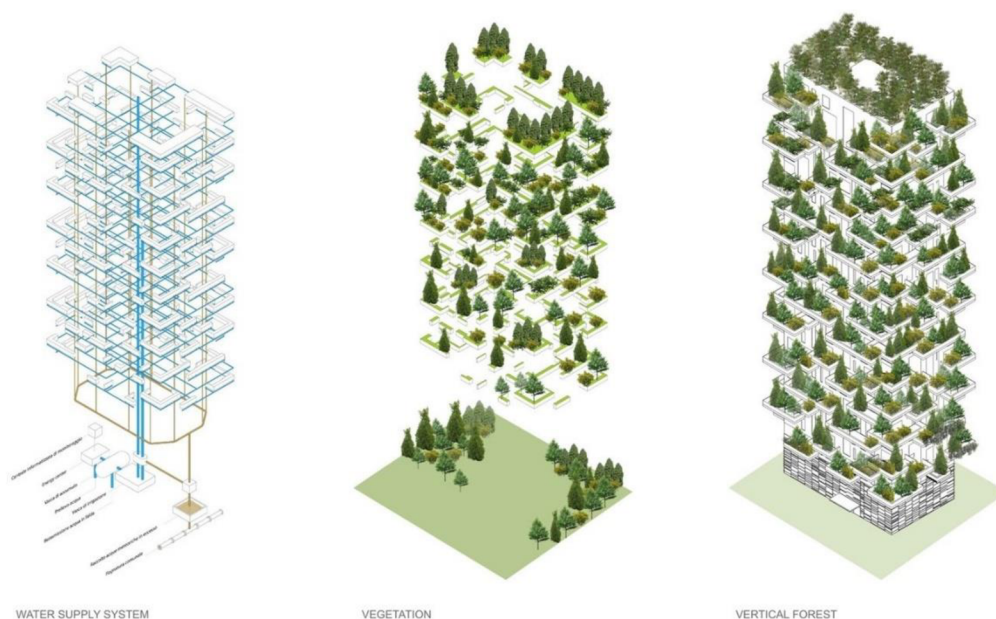
Lokace: Milán, Itálie

Typ ozelenění: policová vertikální zahrada

Bosco Verticale je pár rezidenčních věží v italském Milánu dostavěných v roce 2014. Využívají bohaté policové vertikální zahrady se stromy a keři. Věže o výšce 80 a 112 m hostí 480 stromů, 300 malých stromků, 11 000 víceletých rostlin a 5 000 keřů. Na ploše 1 500 m² je tedy 20 000 m² plochy s porostem (ArchDaily ©2015).



Obrázek 19: Bosco Verticale využívající vertikální policové zahrady v italském Milánu (foto autor)



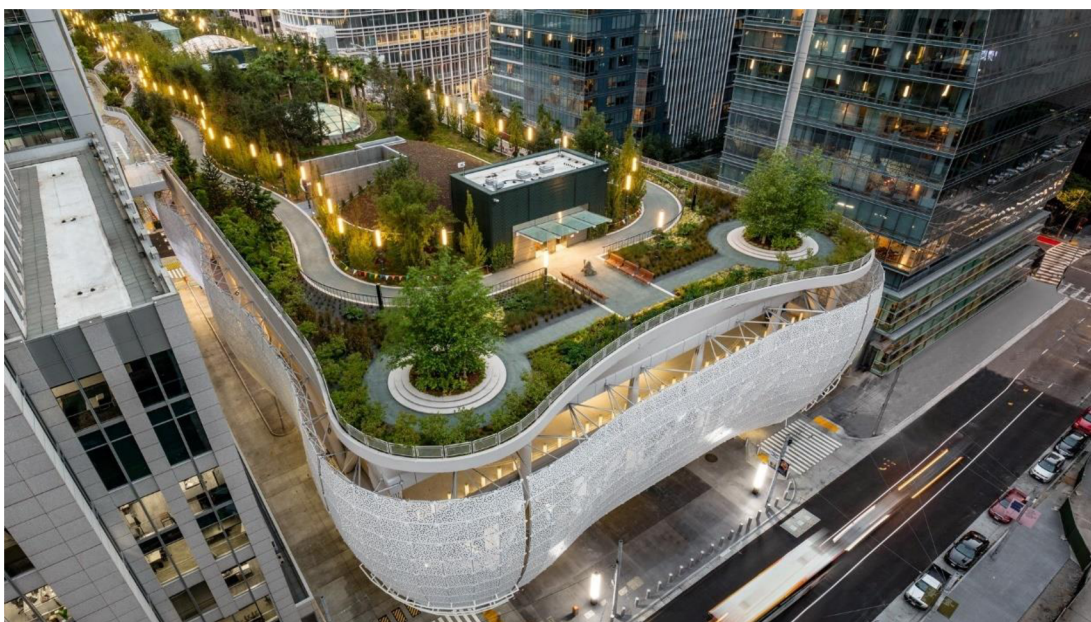
Obrázek 20: Vizualizace vertikálních zahrad. Obrázky zobrazují zavlažovací systém, vegetaci a celou budovu (ArchDaily ©2015)

Název a rok výstavby budovy: Salesforce park, 2018

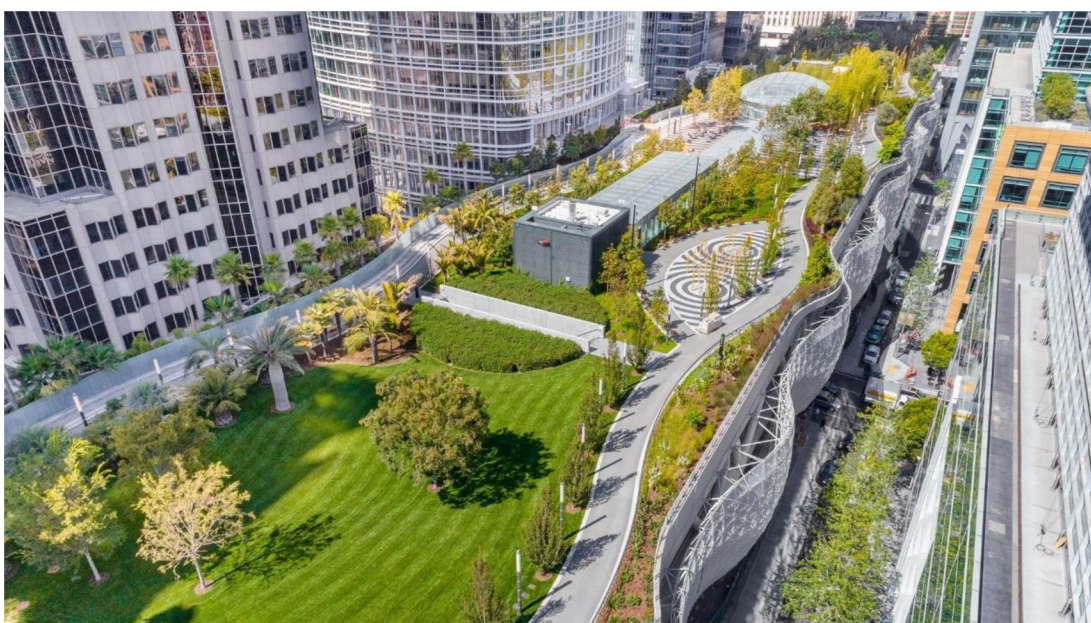
Lokace: San Francisco, USA

Typ ozelenění: intenzivní střecha

Obchodní centrum s velmi bohatou intenzivní střešní zahradou o rozloze 22 000 m². Zahrada je rozdělena do 4 bloků s 13 botanickými částmi, ve kterých je přibližně 600 stromů a 16 000 rostlin (Salesforce Transit Center ©2019–2021).



Obrázek 21: Salesforce park se svou intenzivní střešní zahradou (ULI Americas ©2020)



Obrázek 22: Zahrada na Salesforce park má rozlohu přibližně 22 000 m² (ULI Americas ©2020)

Název a rok výstavby budovy: Villa Vals, 2009

Lokace: Vals, Švýcarsko

Typ ozelenění: biotopní střecha a stěna

Jedná se o vilu ve švýcarských Alpách, která je zabudována přímo ve svahu. Nejedná se tedy čistě o zelenou střechu či stěnu, nicméně ukazuje způsob, jakým může být tato úloha provedena.



Obrázek 23: Villa Vals zabudována ve svahu ve švýcarských Alpách (Maneval 2018)



Obrázek 24: Vrchní pohled na vilu s biotopní střechou a stěnou (Maneval 2018)

Název budovy: Obytné budovy v Amsterdamu

Lokace: Amsterdam, Nizozemsko

Typ ozelenění: zelená fasáda

V tomto případě (obrázek 25) se jedná o klasickou zelenou fasádu a městskou pouliční zeleň využívanou v nizozemském Amsterdamu. Obrázek 26 se netýká zelených budov, je zde však zobrazen možný způsob využití pouliční zeleně napomáhající snížení městského tepelného ostrovu.



Obrázek 25: Zelené fasády a městská zeleň v ulicích Amsterdamu (foto autor)



Obrázek 26: Záhony s vegetací vybudované v amsterdamských vodních kanálech (foto autor)

10. Výsledné zhodnocení

Dle zjištěných výsledků nejsou benefity tak jednoznačné a zelené budovy tak zá-
zračné, jako bývají v některých případech prezentovány. Nicméně jejich pozitivní vliv
je nezpochybnitelný. Některé studie s negativními výsledky mohou naopak pouze
vést k většímu prozkoumání dané oblasti a potvrzení opaku. Větší náklady oproti be-
nefitům mohou být způsobené také špatným navržením a provedením zelených
střech a stěn.

Důležitým benefitem je zmírnění městského tepelného ostrova. Nárůst teploty o 1 °C
může vést ke zvýšení spotřeby elektrické energie o 0,5–8,5 % (Santamouris et al.
2015), podobný nárůst je i u vody (Guhathakurta et Gober 2007). Například v Saud-
ské Arábii slouží ke klimatizování budov až 70 % elektrické energie (Al kanani et al.
2017). Lokální klima lze jednoznačně zlepšit ozeleněním (Minke 2001). Dle simulací
by se teplota ve městech s hojným využíváním zelených střech (přibližně 50–100 %)
a dostatečnou závlahou snížila pouze o 0,1–2 % (Liu et Bass 2005; Rosenzweig et
al. 2006). Další studie ovšem mluví o 0,3–3 °C (Santamouris 2014). Dá se tedy říct,
že snížení teploty je jednoznačné, není však jisté o kolik. Přimo na povrchu střechy
je však snížení teploty velmi znatelné (Čermáková et Mužíková 2009; Minke 2001).

Zelené střechy i stěny mají také funkci izolační. Tato vegetační izolace je nejvíce znát
u méně izolovaných, starších budov (Santamouris 2014). Za izolaci je zodpovědná
hlavně vegetace a substrát, které tlumí tepelné toky skrz stěny (Wilkinson et Dixon
2016). O izolačních vlastnostech substrátu rozhoduje jeho složení, mocnost a vlhkost
(Besir et Cuce 2018; Minke 2001). Není však možné všeobecně určit možný izolační
účinek zelených střech a stěn. Co se týká ztrát tepla u střech, jejich snížení bylo dle
studií přibližně o 10–50 % (Čermáková et Mužíková 2009; Sonne 2006). Nejvyšší
snížení prostupu tepla bylo až o 96 % (Minke 2001). V průměru lze počítat se sniže-
ním prostupu tepelného toku přibližně o 40 %, v závislosti na lokálních podmínkách
a provedení. Zdroje se rozcházejí i v případných úsporách za elektrickou energii. Vět-
šina zdrojů nicméně mluví o jejich snížení přibližně od 10 % (Alcazar et Bass 2008;
Bass et al. 2003; Liu et Bass 2005) až do 45–49 % (Chiou-Chuan et Soen-Han 2013;
Niachou et al. 2001). Ve výjimečných případech dokonce zelená střecha vychází jako
energeticky náročnější, hlavně kvůli velkým ztrátám tepla z vegetační vrstvy při pěst-
ování subtropických rostlin během zimy (Jim et Tsang 2011). Závislost účinnosti je
tedy na použitých technologiích, lokálních podmínkách a správném návrhu a prove-
dení. Co se týká úspory elektrické energie, zelené střechy snížením teploty na střeše
také mohou napomoci účinnosti fotovoltaických panelů až o 9 % (Hui et Chan 2011).

Kromě tepelné izolace může zelená střecha či stěna působit jako zvuková izolace (hlavně díky substrátu) (Minke 2001).

Jedním z nejdůležitějších benefitů zelených budov je zadržovací schopnost a možné čištění vody. Zadržovací schopnost mají hlavně zelené střechy, které zadržují dešťovou vodu, dokud není zemina saturována, tím omezují a zpožďují špičku odtoku vody (Luckett 2009). Účinnost opět závisí na provedení střechy a využitých prvcích (Vijayaraghavan 2016). Dle souhrnu studií z Německa se retence pohybuje v průměru od 45 % (extenzivní střechy) do 75 % (intenzivní střechy) (Nagase et Dunnett 2012). Co se týká kvality dešťových vod, zelené střechy a stěny mohou být jak zdrojem znečištění, tak i filtrem a úložištěm polutantů (Rowe 2011; Wang et al. 2017). Závisí hlavně na využitém substrátu a provedení. Zdrojem polutantů jsou hlavně hnojiva, pesticidy a zachycené polutanty z ovzduší (Currie et Bass 2008; Yang et al. 2008). Všeobecně však na čištění vod mají zelené střechy pozitivní účinek (Rowe 2011).

Významným benefitem je také schopnost čištění ovzduší. Kvalitu ovlivňují přímo – spotřebou plyných polutantů, aerosolů a škodlivin, či nepřímo – pozitivním vlivem na klima, v důsledku čehož se snižuje spotřeba energií (Berardi et al. 2014; Yang et al. 2008). Jak je také všeobecně známo, rostliny díky fotosyntéze vážou oxid uhličitý a vyrábějí kyslík. Z tohoto hlediska jsou nejúčinnější intenzivní střechy se stromy (Currie et Bass 2008; Xiao et al. 2014). Nejvyšší účinnost čištění je na jaře, nejnižší poté v zimě (Yang et al 2008).

Jako hlavní nevýhoda zelených budov se ukázala finanční náročnost na stavbu a údržbu (Wilkinson et Reed 2009). Jejich návratnost se však dle studie ukazuje jako velmi pravděpodobná (Bianchini et Hewage 2012).

Co se týká substrátu a vegetace, jedná se o zásadní část zelených střech a stěn (Addo-Bankas et al. 2021; Dostálová et al. 2021; Shafique et al. 2018; Vijayaraghavan 2016). Hlavním kritériem pro výběr substrátu je jeho hmotnost, typ střechy a plánovaná vegetace. Další možností u zelených stěn je využití hydroponické textilie místo substrátu. Z hlediska vegetace je celosvětově nejvhodnější, nejuniverzálnější a nejvyužívanější rod *Sedum*, který je oblíbený díky své nenáročnosti na závlahu, odolnosti vůči extrémním teplotám a suchu, či snadnému rozmnožování (Butler et Orians 2011; Luckett 2009; Wilkinson et Dixon 2016; Xiao et al. 2014).

Výzkum by se měl nadále zaměřovat na potvrzení benefitů v ohledech úspor energií a vlivu na zlepšení klimatu a městského tepelného ostrova. Důležitý je také výzkum o případném využití střech a stěn k čištění odpadních vod a možné vhodné rostliny

k tomuto účelu. Jedním z hlavních faktorů však i nadále zůstává podpora výstavby těchto domů.

11. Diskuse

Zelené střechy a stěny jsou i v dnešní době využívány spíše výjimečně. Nicméně u rozlehlých a městských budov je jejich využití stále častější. Mělo by se však zapracovat na jejich podpoře i u menších budov, jelikož benefity jsou mimo majitele budovy také na celoměstské úrovni, avšak náklady i na menší budovu jsou relativně vysoké. Nestačí tedy z pohledu autority jejich stavbu pouze vyžadovat, ale i motivovat a podporovat budoucí majitele k takové stavbě. Velkou oblibu mají například v Německu (Saadatian et al. 2013) či ve švýcarském městě Basilej, kde využívá zelené střechy díky městským předpisům již více než 15 % budov (Townshend 2007). S povinností umístování vegetační vrstvy na některé typy střech se v nejbližší době počítá i v Praze (IPR Praha ©2022). Jejich obliba však roste kromě Evropy i v Severní Americe (Wilkinson et Dixon 2016) nebo v Asii. Velký rozmach zelených budov lze sledovat například v Číně (Xiao et al. 2014).

Co se týká benefitů, jejich rozdílné výsledky zcela jistě závisí na lokalitě a velmi odlišném provedení a metodice výzkumu. Nepochybně některé stavby také nebyly postaveny a navrženy tím nejvhodnějším možným způsobem, z toho důvodu mohly být některé výsledky neuspokojivé a spíše negativní. V této práci jsou benefity zhodnoceny z různých zdrojů co nejobjektivnějším způsobem.

Velmi zajímavým odvětvím zelených budov se stává čištění odpadních, zejména šedých vod. V případě většího prozkoumání a potvrzení jejich účinnosti by se jednalo o přelomový okamžik v oblasti stavitelství a městského rozvoje. Naprosto ideálním a v této době nerealistickým případem by byla téměř naprosto samostatná budova, která by získávala velkou část z vody z dešťových srážek, tato voda by se čistila a využívala k závlaze i jako pitná voda uvnitř budovy. Odpadní vody by byly čištěny například na zelených stěnách a využívány k závlaze. Elektrická energie by byla získávána z fotovoltaických panelů s vyšší účinností na střeše. Tím by vznikla z velké části autonomní budova, která by nebyla závislá na vodovodní, kanalizační a energetické městské síti. To by napomohlo i městům, jelikož výstavba a údržba těchto sítí je velmi nákladná.

12. Závěr a přínos práce

Dle výsledků práce lze vidět, že zelené budovy jistě mají své místo v odvětví moderního stavitelství a udržitelné budoucnosti měst. I přes to, že některé benefity nejsou jednoznačné, v celkovém měřítku téměř jistě převládají pozitiva nad negativy. Za hlavní benefit se dá považovat hlavně jejich environmentální a izolační funkce.

V dnešní době se jedná spíše o prestižní záležitost, avšak v blízké budoucnosti se nejspíše bude jednat o naprostou nutnost u většiny staveb. V některých zemích a městech je již teď povinností stavět zelené střechy či stěny (týká se hlavně rozlehlých střešních ploch). Důležitá je případná podpora majitelů ke stavbě takových budov, jelikož benefity nevznikají jen pro majitele, ale také pro celé město.

Další práce by se měly zabývat ověřením a potvrzením benefitů zelených budov a dalším zvýšením jejich úspornosti. Mimo jiné je důležitou oblastí otázka jejich využití k čištění vod (například šedých vod). Neméně důležitou záležitostí je také snaha o aplikaci zelených budov ve městech a případná úprava stavebních předpisů, které podpoří jejich výstavbu.

Přehled literatury a použitých zdrojů

- Addo-Bankas O., Zhao Y., Vymazal J., Yuan Y., Fu J., Wei T., 2021: Green walls: A form of constructed wetland in green buildings. *Ecological Engineering* 169. 106321.
- Alcazar S. S., Bass B., 2008: Energy performance of green roofs in a multi-storey residential building in Madrid. *Green Roofs for Healthy Cities*. 569–582. (Conference).
- Al kanani A., Dawood N., Vukovic V., 2017: Energy Efficiency in Residential Buildings in the Kingdom of Saudi Arabia. *Building Information Modelling, Building Performance, Design and Smart Construction*. 129–143.
- ArchDaily, ©2015: Bosco Verticale / Boeri Studio (online) [cit.2023.03.30], dostupné z <<https://www.archdaily.com/777498/bosco-verticale-stefano-boeri-architetti>>
- Augé C., 1912: *Petite Larousse illustré*. Librairie Larousse, Paris, 1664 s.
- Bass B., Liu K., Baskaran B., 2003: Evaluating rooftop and vertical gardens as an adaptation strategy for urban areas. National Research Council Canada, Institute for Research in Construction, 112 s.
- Berardi U., GhaffarianHoseini Am., GhaffarianHoseini Al., 2014: State-of-the-art analysis of the environmental benefits of green roofs. *Applied Energy* 115. 411–428.
- Berardi U., 2016: The outdoor microclimate benefits and energy saving resulting from green roofs retrofits. *Energy and Buildings* 121. 217–229.
- Berndtsson J. C., Emilsson T., Bengtsson L., 2006: The influence of extensive vegetated roofs on runoff water quality. *Science of The Total Environment* 355. 48–63.
- Berndtsson J. C., 2010: Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: A review. *Ecological Engineering* 36. 351–360.
- Besir A. B., Cuce E., 2018: Green roofs and facades: A comprehensive review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 82. 915–939.
- Bianchini F., Hewage K., 2012: Probabilistic social cost-benefit analysis for green roofs: A lifecycle approach. *Building and Environment* 58. 152–162.
- Blank L., Vasl A., Levy S., Grant G., Kadas G., Dafni A., Blaustein L., 2013: Directions in green roof research: A bibliometric study. *Building and Environment* 66. 23–28.

- Burian S., Dostálová J., Dubský M., Halama P., Chaloupka K., Komzák J., Pařava R., Straková M., Šrámek F., Vacek P., Vokál J., 2019: Vegetační souvrství zelených střech. Svaz zakládání a údržby zeleně, Brno, 41 s.
- Burian S., Dubský M., Vejvara L., 2022. Ozelenění fasád – metodika. Svaz zakládání a údržby zeleně, Brno, 66 s.
- Butler C., Orians C. M., 2011: Sedum cools soil and can improve neighboring plant performance during water deficit on a green roof. *Ecological Engineering* 37. 1796–1803.
- Carter T., Keeler A., 2008: Life-cycle cost–benefit analysis of extensive vegetated roof systems. *Journal of Environmental Management* 87. 350–363.
- Čermáková B., Mužíková R., 2009: Ozeleněné střechy. Grada, Praha, 246 s.
- Connelly M., Hodgson M, 2008: Sound Transmission Loss of Green Roofs – Field Test Result. *Greening Rooftops for Sustainable Cities. (Conference)*.
- Connelly M., Hodgson M, 2013: Experimental investigation of the sound transmission of vegetated roofs. *Applied Acoustics* 74. 1136–1143.
- Cummings J. B., Withers Ch. V., Sonne J., Parker D., Vieira R. K., Jackson D., Norvell D., 2007: UCF Recommissioning, Green Roofing Technology, and Building Science Training; Final Report. University of Central Florida, Florida Solar Energy Center, Florida, 64 s. (Final report).
- Currie B. A., Bass B., 2008: Estimates of air pollution mitigation with green plants and green roofs using the UFORE model. *Urban Ecosystems* 11. 409–422.
- Del Barrio P., 1998: Analysis of the green roofs cooling potential in buildings. *Energy and Buildings* 27. 179–193.
- DeNardo J. C., Jarrett A. R., Manbeck H. B., Beattie D. J., Berghage R., 2003: Green Roofs: A Stormwater BMP. EcoScience, The Pennsylvania State University, Department of Agricultural and Biological Engineering, Department of Horticulture, University Park, 9 s.
- Di H. F., Wang D., 1999: Cooling effect of ivy on a wall. *Experimental Heat Transfer* 12. 235–245.
- Dominguez-Hernandez J., Lozano-Martinez-Luengas A., 1997: Green roof systems. *Advances in Ecological Sciences* 1. 615–624.

- Dostálová J., Burian S., Chaloupka K., Šimečková J., Dubský M., Šrámek F., Komzák J., Pařava R., Vacek P., Dostal P., Mrtka J., Hoffmann J., Nádvorník J., Novotný M., Plachý J., 2021: Zelené střechy: Souhra architektury s přírodou. Grada, Praha, 168 s.
- Dvorak B. D., Laminack K., Volder A., Conlee D., 2014: Plant Survival for Living Walls in a Subtropical Climate. Cities Alive 12th Annual Green Roof & Wall Conference, Nashville, 11 s.
- Göbel P., Dierkes C., Coldewey W. G., 2007: Storm water runoff concentration matrix for urban areas. Journal of Contaminant Hydrology 91. 26–44.
- GRHC, ©2008: Introduction to Green Walls Technology, Benefits & Design (online) [cit.2023.03.12], dostupné z <https://web.peralta.edu/das/files/2012/03/Green-Walls-Intro-908b_c2.pdf>.
- Guhathakurta S., Gober P., 2007: The Impact of the Phoenix Urban Heat Island on Residential Water Use. Journal of the American Planning Association 73. 317–329.
- Howard L., 1833: The Climate of London Deducted from Meteorological Observations. Harvey Darton, London, 302 s.
- Hui S. C. M., 2009: Study of Thermal and Energy: Performance of Green Roof Systems. The University of Hong Kong, Department of Mechanical Engineering, Hong Kong, 71 s. (Final report).
- Hui S. C. M., Chan S. C., 2011: Integration of green roof and solar photovoltaic systems. Proceedings of Joint Symposium 2011: Integrated Building Design in the New Era of Sustainability, Hong Kong, 12 s. (Conference).
- Chiou-Chuan C., Soen-Han L., 2013: Research of Artificial sites green roof for energy-saving efficiency in Taiwan Taichung. Applied Mechanics and Materials 368–370. 1342–1345.
- IPR Praha, ©2022: Podpora pro stromy v ulicích, zelené střechy nebo konec povinnosti oddělených WC pro muže a ženy v restauracích. Praha posílá novelu Pražských stavebních předpisů do projednání (online) [cit.2023.01.31], dostupné z <<https://iprpraha.cz/stranka/4129/podpora-pro-stromy-v-ulicich-zelene-strechy-nebo-konec-povinnosti-oddelenych-wc-pro-muze-a-zeny-v-restauracich-praha-posila-novelu-prazskych-stavebnich-predpisu-do-projednani>>.

- Jacobson M. Z., Ten Hoeve J. E., 2012: Effects of Urban Surfaces and White Roofs on Global and Regional Climate. *Journal of Climate* 25. 1028–1044.
- Jim C. Y., Tsang S. W., 2011: Biophysical properties and thermal performance of an intensive green roof. *Building and Environment* 46. 1263–1274.
- Jørgensen L., Thorup-Kristensen K., Dresbøll D. B., 2018: Against the wall—Root growth and competition in four perennial winter hardy plant species grown in living walls. *Urban Forestry & Urban Greening* 29. 293–302.
- Katukiza A. Y., Ronteltap M., Niwagaba C. B., Kansime F., Lens P. N. L., 2014: A two-step crushed lava rock filter unit for grey water treatment at household level in an urban slum. *Journal of Environmental Management* 133. 258–267.
- Kellert S. R., Wilson E. O., 1993: *The Biophilia Hypothesis*. Island Press, Washington DC, 483 s.
- Kelly M. J., 2009: Retrofitting the existing UK building stock. *Building Research & Information* 37. 196–200.
- Lamnatou C., Chemisana D., 2015: A critical analysis of factors affecting photovoltaic-green roof performance. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 43. 264–280.
- Liu K., Bass B., 2005: Performance of green roof systems. *Cool Roofing Symposium 2005*. 1–18.
- Lötsch B., 1981: *Stadtklima & Grün*. Andritzky, Spitzer: Grün in der Stadt. 134–153.
- Luckett K., 2009: *Green Roof Construction and Maintenance*. McGraw-Hill, New York, 187 s.
- Maneval V., 2018: *Villa Vals (2009) Architects Bjarne Maestenbroek & Christian Müller* (online) [cit.2023.03.30], dostupné z < <http://www.bubblemania.fr/en/bulle-villa-vals-enterree-2009-vals-switzerland-architectes-bjarne-maestenbroek-et-christian-muller/>>
- Manso M., Castro-Gomes J., 2015: Green wall systems: A review of their characteristics. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 41. 863–871.
- Minke G., 2001: *Zelené střechy: Plánování, realizace, příklady z praxe*. HEL, Ostrava, 92 s.

- Morandi C., Schreiner G., Moosmann P., Steinmetz H., 2021: Elevated Vertical-Flow Constructed Wetlands for Light Greywater Treatment. *Water* 13. 2510.
- Nagase 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. 230–236.
- Nagase A., Dunnett N., 2012: Amount of water runoff from different vegetation types on extensive green roofs: Effects of plant species, diversity and plant structure. *Landscape and Urban Planning* 104. 356–363.
- Niachou A., Papakonstantinou K., Santamouris M., Tsangrassoulis A., Mihalakakou G., 2001: Analysis of the green roof thermal properties and investigation of its energy performance. *Energy and Buildings* 33. 719–729.
- Nurmi V., Votsis A., Perrels A., Lehvävirta S., 2013: Cost-benefit analysis of green roofs in urban areas: case study in Helsinki. Finnish Meteorological Institute, Helsinki, 71 s.
- Peck S., Kuhn M., 2003: Design Guidelines for Green Roofs. Ontario Association of Architects and Canada Mortgage and Housing Corporation, Ontario, 22 s.
- Permpituck S., Namprakai P., 2012: The energy consumption performance of roof lawn gardens in Thailand. *Renewable Energy* 40. 98–103.
- Perini K., Ottelé M., Haas E. M., Raiteri R., 2011: Greening the building envelope, façade greening and living wall systems. *Open Journal of Ecology* 1. 1–8.
- Perini K., Rosasco P., 2013: Cost–benefit analysis for green façades and living wall systems. *Building and Environment* 70. 110–121.
- Pérez G., Coma J., Martorell I., Cabeza L. F., 2014: Vertical Greenery Systems (VGS) for energy saving in buildings: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 39. 139–165.
- 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.

- Prodanovic V., Zhang K., Hatt B., McCarthy D., Deletic A., 2018: Optimisation of lightweight green wall media for greywater treatment and reuse. *Building and Environment* 131. 99–107.
- Prodanovic V., McCarthy D., Hatt B., Deletic A., 2019: Designing green walls for greywater treatment: The role of plants and operational factors on nutrient removal. *Ecological Engineering* 130. 184–195.
- 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.
- Razzaghmanesh M., Beecham S., 2014: The hydrological behaviour of extensive and intensive green roofs in a dry climate. *Science of The Total Environment* 499. 284–296.
- Rosenzweig C., Solecki W. D., Slosberg R. B., 2006: Mitigating New York City's heat island with urban forestry, living roofs, and light surfaces. New York State Energy Research and Development Authority, New York, 133 s. (Final report).
- Rowe D. B., 2011: Green roofs as a means of pollution abatement. *Environmental Pollution* 159. 2100–2110.
- Saadatian O., Sopian K., Salleh E., Lim C. H., Riffat S., Saadatian E., Toudeshki A., Sulaiman M. Y., 2013: A review of energy aspects of green roofs. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 23. 155–168.
- Salesforce Transit Center, ©2019–2021: Salesforce park (online) [cit.2023.03.30], dostupné z <<https://salesforcetransitcenter.com/salesforce-park/>>
- Santamouris M., Pavlou C., Doukas P., Mihalakakou G., Synnefa A., Hatzibiros A., Patargias P., 2007: Investigating and analysing the energy and environmental performance of an experimental green roof system installed in a nursery school building in Athens, Greece. *Energy* 32. 1781–1788.
- Santamouris M., 2014: Cooling the cities – A review of reflective and green roof mitigation technologies to fight heat island and improve comfort in urban environments. *Solar Energy* 103. 682–703.
- Santamouris M., Cartalis C., Synnefa A., Kolokotsa D., 2015: On the impact of urban heat island and global warming on the power demand and electricity consumption of buildings—A review. *Energy and Buildings* 98. 119–124.

- 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. 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.
- Schindler B. Y., Blank L., Levy S., Kadas G., Pearlmutter D., Blaustein L., 2016: Integration of photovoltaic panels and green roofs: review and predictions of effects on electricity production and plant communities. *Israel Journal of Ecology and Evolution* 62. 68–73.
- Schröpfer T., Chan H. Ch., Christiaanse K., Dreiseitl H., Phinyawatana N., Yong J. W. H., 2015: *Dense + Green: Innovative Building Types for Sustainable Urban Architecture*. Birkhäuser, Basel, 304 s.
- Sonne J., 2006: *Energy Performance Aspects Of A Florida Green Roof*. University of Central Florida, Florida Solar Energy Center, Florida, 7 s.
- Tan P. Y., Sia A., 2005: A pilot green roof research project in Singapore. *Proceedings of third annual greening rooftops for sustainable communities conference*, Washington DC, 13 s.
- Townshend D., 2007: *Study on Green Roof Application in Hong Kong*. Urbis Limited, Hong Kong, 157 s.
- Tripadvisor, ©2017: Pisecka brana (online) [cit.2023.03.30], dostupné z <https://www.tripadvisor.com/Attraction_Review-g274707-d13074767-Reviews-Pisecka_brana-Prague_Bohemia.html>
- Tsang S. W., Jim C. Y., 2011: Game-Theory Approach for Resident Coalitions to Allocate Green-Roof Benefits. *Environment and Planning A* 43. 363–377.
- ULI Americas, ©2020: *Salesforce Park – 2020 ULI Urban Open Space Awards Finalist* (online) [cit.2023.03.30], dostupné z <<https://americas.uli.org/salesforce-park-2020-uli-urban-open-space-awards-finalist/>>
- Van Mechelen C., Dutoit T., Hermy M., 2015: Adapting green roof irrigation practices for a sustainable future: A review. *Sustainable Cities and Society* 19. 74–90.
- Van Renterghem T., Botteldooren D., 2008: Numerical evaluation of sound propagating over green roofs. *Journal of Sound and Vibration* 317. 781–799.

- Van Seters T., Rocha L., Smith D., MacMillan G., 2009: Evaluation of Green Roofs for Runoff Retention, Runoff Quality, and Leachability. *Water Quality Research Journal* 44. 33–47.
- Vijayaraghavan K., 2016: Green roofs: A critical review on the role of components, benefits, limitations and trends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 57. 740–752.
- Volf P., 2018: Drn je kancelářskou budovou, kde se ani na chvíli necítíte jako v "administračce". Do vyprahlého města přinesl zeleň a přirozeně zapadl na svoje místo (online) [cit.2023.03.30], dostupné z <<https://vikend.hn.cz/c1-66399080-drn-je-kancelarskou-budovou-kde-se-ani-na-chvili-necitite-jako-v-administracce-do-vy-prahleho-mesta-prinesl-zelen-a-prirozene-zapadl-na-svoje-misto>>
- Voogt J., 2007: How Researchers Measure Urban Heat Island. University of Western Ontario, Department of Geography, London (Ontario), 34 s.
- Wang H., Qin J., Hu Y., 2017: Are green roofs a source or sink of runoff pollutants?. *Ecological Engineering* 107. 65–70.
- Weiler S. K., Scholz-Barth K., 2009: *Green Roof Systems*. Wiley, Hoboken, 313 s.
- Whittinghill L. J., Rowe D. B., Cregg B. M., 2013: Evaluation of vegetable production on extensive green roofs. *Agroecology and Sustainable Food Systems* 37. 465–484.
- Wilkinson S., Reed R., 2009: Green roof retrofit potential in the central business district. *Property Management* 27. 284–301.
- Wilkinson S., Lamond J., Proverbs D. G., Sharman L., Heller A., Manion J., 2015: Technical considerations in green roof retrofit for stormwater attenuation in the Central Business District. *Structural Survey* 33. 36–51.
- Wilkinson S., Dixon T., 2016: *Green Roof Retrofit*. Wiley Blackwell, Chichester (West Sussex), 265 s.
- Wong N. H., Cheong D. K. W., Yan H., Soh J., Ong C. L., Sia A., 2003: The effects of rooftop garden on energy consumption of a commercial building in Singapore. *Energy and Buildings* 35. 353–364.
- 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.

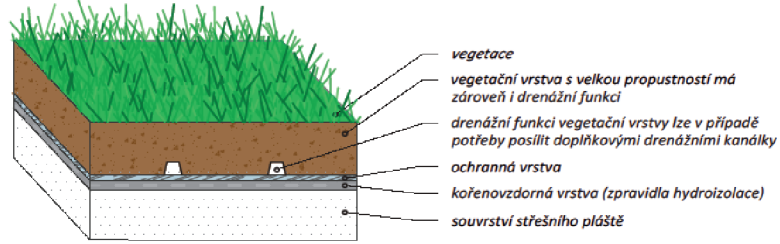
Yang J., Yu Q., Gong P., 2008: Quantifying air pollution removal by green roofs in Chicago. *Atmospheric Environment* 42. 7266–7273.

Zahradní Architektura Kurz, ©2023: Střešní zahrada OC Nový Smíchov (online) [cit.2023.03.30], dostupné z <<https://www.zakurz.cz/stresni-zahrada-1/>>

Zhang X., Shen L., Wu Y., 2011: Green strategy for gaining competitive advantage in housing development: a China study. *Journal of Cleaner Production* 19. 157–167.

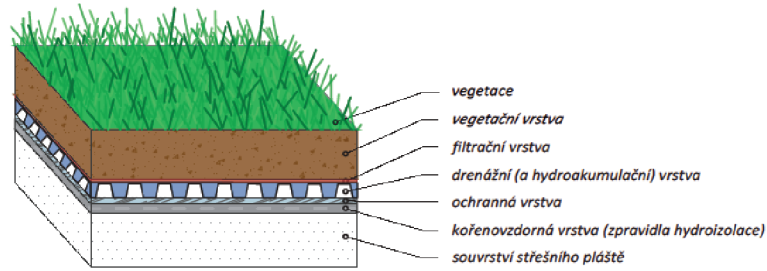
JEDNOVRSTVÁ SKLADBA

Je vhodná pro *extenzivní jednoduché zelené střechy* menších rozměrů s vrstvou do 100 mm a pro *šikmé zelené střechy*. Vegetační vrstva plní zároveň funkci drenážní, proto musí být její propustnost zvýšená.



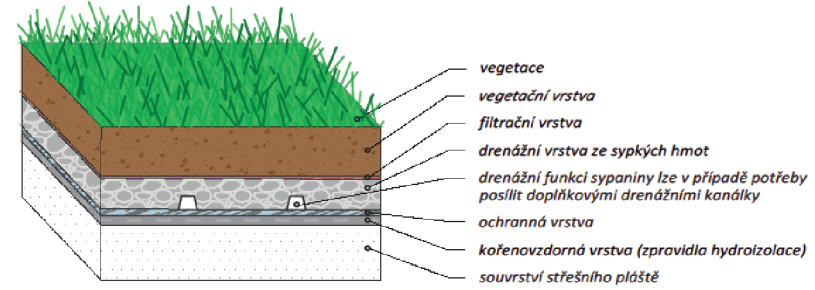
VÍCEVRSTVÁ SKLADBA S DRENÁŽNÍ NOPOVOU FOLIÍ

Je vhodná pro *extenzivní, polointenzivní a intenzivní střechy*. Drenážní funkci mohou plnit i jiné materiály s dostatečnou drenážní kapacitou a potřebnými vlastnostmi.



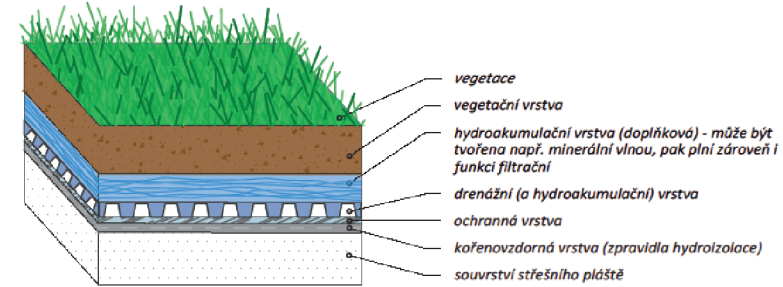
VÍCEVRSTVÁ SKLADBA S DRENÁŽNÍ SYPANINOU

Je vhodná pro *extenzivní, polointenzivní a intenzivní střechy*. Drenážní sypaninou lze vyrovnat spádování střechy tak, aby mocnost vegetační vrstvy mohla být v celé ploše stejná.



VÍCEVRSTVÁ SKLADBA SE ZVÝŠENOU HYDROAKUMULACÍ

Je vhodná pro *zelené střechy s náročnější vegetací* s vyšší potřebou vláhy a v oblastech s nedostatečným úhrnem srážek. U extenzivních střech se suchomilnou vegetací je obzvlášť nutný odborný návrh skladby, neboť vyšší hydroakumulace může způsobit zaplevelení a tedy větší nároky na údržbu.



Příloha 1: Rozdělení střech dle skladby vegetačního souvrství. Lze je rozdělit na jednovrstvé a vícevrstvé. U vícevrstvé skladby jsou uvedené různé typy (Burian et al. 2019)